

# Chemische Schul- experimente



Gerhard Meyendorf



**Meyendorf**  
**Chemische Schulexperimente**  
**Band 1**

# **Chemische Schulexperimente**

Eine Anleitung für Lehrer in fünf Bänden

Von einem Autorenkollektiv  
unter Leitung von  
Professor Dr. paed. habil. et Dr. rer. nat. habil.  
Hans Keune

# Chemische Schulexperimente

**Band 1**

**Geräte, Chemikalien und Arbeitstechniken**

Von Professor Dr. sc. paed. Gerhard Meyendorf  
unter Mitarbeit von

Professor Dr. sc. paed. Rudi Kuhnert

und dem Autorenkollektiv des Gesamtwerkes



**Volk und Wissen**

**Volkseigener Verlag Berlin**

**1982**

**Autorenkollektiv des Gesamtwerkes:**

**Oberlehrer Adolf Block (Band 5)**

**Professor Dr. paed. habil. Helmut Boeck (Band 3, Band 5)**

**Professor Dr. rer. nat. habil. Heinz Böhland (Band 5)**

**Johannes Elsner (Band 3)**

**Hanna Fickel (Band 3)**

**Studienrat Chem.-Ing. Wolfgang Filbry (Band 2)**

**Oberstudienrat Dipl.-Ing. Albert Hradetzky (Band 4)**

**Dr. rer. nat. Wolfgang Jankowsky (Band 5)**

**Dozent Dr. sc. nat. Manfred Just (Band 4)**

**Professor Dr. paed. habil. et Dr. rer. nat. habil. Hans Keune (Band 1, Band 2, Band 3; Mikrotechnik)**

**Dr. rer. nat. Gerhard König (Band 5)**

**Professor Dr. sc. paed. Rudi Kuhnert (Band 1, Band 3, Band 5; Halbmikrotechnik)**

**Professor Dr. sc. paed. Gerhard Meyendorf (Band 1)**

**Dr. paed. Volker Mirschel (Band 3; Projektionstechnik)**

**Dr. rer. nat. Walter Müller-Litz (Band 5)**

**Dr. paed. Ludwig Schenk (Anhang: Erste Hilfe bei Unfällen, Brandbekämpfung)**

**© Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1977**

**2. Auflage**

**Lizenz Nr. 203 · 1000/82 (BN 03 21 40-2)**

**LSV 0644**

**Redaktion: Werner Trebing, Edward Gutmacher**

**Zeichnungen: Heinrich Linkwitz**

**Einband: Heinz Hellmis**

**Typografische Gestaltung: Atelier vvv, Wolfgang Lorenz**

**Printed in the German Democratic Republic**

**Gesamtherstellung: INTERDRUCK Graphischer Großbetrieb Leipzig – III/18/97**

**Schrift: 10/11 Gill Monotype**

**Redaktionsschluß: 15. Juli 1981**

**Bestell-Nr.: 706771 2**

**DDR 12,00 M**

---

# Inhalt

---

Verzeichnis der verwendeten Symbole und Formelzeichen . . . . .	9
Vorwort des Gesamtwerkes . . . . .	11
Vorwort zum Band 1 . . . . .	15

<b>1.</b>	Geräte . . . . .	17
1.1.	Wichtige Geräte im Überblick . . . . .	17
1.2.	Geräteausstattung für den Chemieunterricht – Geräte- sammlung . . . . .	105
1.2.1.	Beschaffung der Geräte . . . . .	105
1.2.2.	Aufbewahrung der Geräte . . . . .	107
1.3.	Reinigen von Geräten . . . . .	113
1.3.1.	Grundsätzliche Hinweise . . . . .	113
1.3.2.	Reinigungsmittel und Reinigungsgeräte . . . . .	114
1.3.3.	Einzelne Reinigungsarbeiten . . . . .	115

<b>2.</b>	Arbeitstechniken und Apparaturen . . . . .	119
2.1.	Wichtige Arbeitstechniken und Apparaturen für die Makrotechnik . . . . .	120
2.1.1.	Erwärmen und Kühlen beim Experimentieren . . . . .	120
2.1.1.1.	Beheizen von Reaktionsräumen . . . . .	120
2.1.1.2.	Thermostatisierung und Kühlung . . . . .	133
2.1.2.	Messen von Flüssigkeiten und Feststoffen . . . . .	140
2.1.2.1.	Volumenmessung von Flüssigkeiten . . . . .	140
2.1.2.2.	Massenbestimmungen, Wägungen . . . . .	146
2.1.2.3.	Dichtebestimmung . . . . .	151
2.1.3.	Darstellen von Gasen . . . . .	156
2.1.3.1.	Reaktion einer Flüssigkeit mit einem festen Stoff . . . . .	156
2.1.3.2.	Reaktion zweier Flüssigkeiten . . . . .	165

---

2.1.3.3.	Thermische Zersetzung von festen Stoffen . . . . .	167
2.1.3.4.	Erhitzen von Flüssigkeiten . . . . .	169
2.1.3.5.	Herstellungsmöglichkeiten einiger Gase . . . . .	170
2.1.4.	Auffangen, Aufbewahren und Messen von Gasen . . .	172
2.1.4.1.	Trockenes Auffangen und Messen von Gasen . . . . .	172
2.1.4.2.	Auffangen und Messen von Gasen über Sperrflüssigkeiten	178
2.1.5.	Reaktion von Gasen mit Flüssigkeiten und festen Stoffen	188
2.1.5.1.	Reaktion von Gasen mit Flüssigkeiten . . . . .	189
2.1.5.2.	Reaktion von Gasen mit festen Stoffen . . . . .	192
2.1.5.3.	Trocknen und Reinigen von Gasen . . . . .	193
2.1.6.	Destillieren . . . . .	198
2.1.6.1.	Einfache Destillation . . . . .	198
2.1.6.2.	Wasserdampfdestillation . . . . .	202
2.1.6.3.	Vakuumdestillation . . . . .	204
2.1.7.	Trennen, Zerkleinern, Mischen und Lösen von Stoffen .	206
2.1.7.1.	Filtrieren, Dekantieren und Zentrifugieren . . . . .	207
2.1.7.2.	Trocknen von festen Stoffen . . . . .	211
2.1.7.3.	Extrahieren . . . . .	213
2.1.7.4.	Zerkleinern und Mischen . . . . .	214
2.1.7.5.	Herstellen von Lösungen . . . . .	215
2.1.8.	Transport von Gasen durch Apparaturen . . . . .	229
2.1.8.1.	Saugen . . . . .	229
2.1.8.2.	Drücken . . . . .	230
2.1.9.	Arbeiten mit elektrischem Strom . . . . .	232
2.1.9.1.	Möglichkeiten der Stromversorgung . . . . .	233
2.1.9.2.	Umgang mit elektrischen Meßgeräten . . . . .	242
2.1.9.3.	Durchführen elektrochemischer Experimente . . . . .	244
2.1.9.4.	Erzeugen von Funkenstrecken . . . . .	252
2.2.	Wichtige Arbeitstechniken und Apparaturen für die Halbmikrotechnik . . . . .	253
2.2.1.	Erwärmen und Kühlen beim Experimentieren . . . . .	255
2.2.1.1.	Beheizen von Reaktionsräumen . . . . .	255
2.2.1.2.	Thermostatisierung und Kühlung . . . . .	256
2.2.2.	Messen von Flüssigkeiten und festen Stoffen . . . . .	257
2.2.2.1.	Volumenmessung von Flüssigkeiten . . . . .	257
2.2.2.2.	Massenbestimmungen, Wägungen . . . . .	259
2.2.3.	Darstellen von Gasen . . . . .	259
2.2.3.1.	Reaktion einer Flüssigkeit mit einem festen Stoff . . .	259
2.2.3.2.	Reaktion zweier Flüssigkeiten . . . . .	262
2.2.3.3.	Thermische Zersetzung von festen Stoffen . . . . .	262
2.2.4.	Auffangen, Aufbewahren und Messen von Gasen . . .	263
2.2.4.1.	Trockenes Auffangen und Messen von Gasen . . . . .	263
2.2.4.2.	Auffangen und Messen von Gasen über Sperrflüssigkeiten	266
2.2.5.	Reaktion von Gasen mit Flüssigkeiten und festen Stoffen	268
2.2.5.1.	Reaktion von Gasen mit Flüssigkeiten . . . . .	269

2.2.5.2.	Reaktion von Gasen mit festen Stoffen . . . . .	271
2.2.6.	Destillieren . . . . .	273
2.2.6.1.	Einfache Destillation . . . . .	273
2.2.6.2.	Wasserdampfdestillation . . . . .	274
2.2.7.	Trennen, Zerkleinern, Mischen und Lösen von Stoffen .	276
2.2.7.1.	Dekantieren, Filtrieren und Zentrifugieren . . . . .	277
2.2.7.2.	Extrahieren . . . . .	278
2.2.7.3.	Zerkleinern und Mischen . . . . .	280
2.2.7.4.	Herstellen von Lösungen . . . . .	280
2.2.8.	Transport von Gasen durch Apparaturen . . . . .	281
2.2.9.	Arbeiten mit elektrischem Strom . . . . .	282
2.3.	Anwendung der Mikrotechnik . . . . .	283
2.3.1.	Allgemeine Bemerkungen . . . . .	283
2.3.2.	Mikrochemische Kristallreaktionen . . . . .	284
2.3.3.	Tüpfelreaktionen . . . . .	288
2.3.4.	Chromatografische Trennungen . . . . .	289
2.3.4.1.	Papierchromatografie . . . . .	289
2.3.4.2.	Dünnschichtchromatografie . . . . .	292
2.4.	Techniken bei der Experimentprojektion . . . . .	293
2.4.1.	Allgemeine Bemerkungen . . . . .	293
2.4.2.	Schattenbildprojektion . . . . .	295
2.4.3.	Projektion mit dem Diaprojektor . . . . .	295
2.4.4.	Projektion von Experimenten mit dem Tageslicht- Schreibprojektor . . . . .	296
2.5.	Techniken beim Zusammenstellen von Apparaturen . .	300
2.5.1.	Grundforderungen für den Aufbau von Apparaturen .	300
2.5.2.	Vereinheitlichung von Bauteilen für Apparaturen . .	304
2.5.3.	Einige wichtige Apparaturen . . . . .	308
2.5.4.	Glasbearbeitung . . . . .	310
2.5.4.1.	Glassorten . . . . .	310
2.5.4.2.	Techniken der Glasbearbeitung . . . . .	314
2.5.5.	Stopfenbearbeitung . . . . .	316
2.5.5.1.	Gummistopfen . . . . .	316
2.5.5.2.	Korkstopfen . . . . .	318
2.5.6.	Schlauchverbindungen . . . . .	318
2.5.7.	Kegelschliffverbindungen . . . . .	319
2.5.8.	Abdichten und Beschriften von Apparaturen . . . . .	321
2.5.8.1.	Abdichten von Apparaturen . . . . .	321
2.5.8.2.	Beschriften von Glas und Porzellan . . . . .	322

<b>3.</b>	<b>Chemikalien</b>	<b>323</b>
3.1.	Übersicht über Chemikalien für den Chemieunterricht	323
3.1.1.	Hinweise zur Bezeichnung von Chemikalien	323
3.1.2.	Anorganische Chemikalien	326
3.1.3.	Organische Chemikalien	335
3.1.4.	Naturstoffe und technische Produkte	341
3.1.5.	Reagenzlösungen und -papiere	346
3.1.5.1.	Reagenzlösungen	346
3.1.5.2.	Reagenzpapiere	353
3.1.6.	Zündgemische	356
3.1.7.	Katalysatoren	358
3.1.7.1.	Allgemeines	358
3.1.7.2.	Vorschriften für die Herstellung einzelner Katalysatoren	360
3.2.	Umgang mit Chemikalien	366
3.2.1.	Grundsätzliche Hinweise	366
3.2.2.	Umgang mit Giften und gefährlichen Stoffen	370
3.2.2.1.	Gifte	371
3.2.2.2.	Ätzende Stoffe	374
3.2.2.3.	Feuergefährliche und explosive Stoffe	375
3.2.2.4.	Giftige und explosive Gase und Dämpfe	380
3.2.2.5.	Einzelhinweise für den Umgang mit gefährlichen Flüssigkeiten und festen Stoffen	387
3.3.	Chemikalienausstattung für den Chemieunterricht	391
3.3.1.	Aufbewahrung von Chemikalien	391
3.3.1.1.	Gefäße für Chemikalien	391
3.3.1.2.	Beschriftung von Chemikalienflaschen	392
3.3.1.3.	Entnahme von Chemikalien	394
3.3.2.	Chemikaliensammlung	396
3.3.2.1.	Beschaffung der Chemikalien	396
3.3.2.2.	Anlage der Chemikaliensammlung	397
3.3.2.3.	Anordnung der Chemikalien	398
3.3.2.4.	Chemikalienbereitstellung für Schülerexperimente	400
3.3.2.5.	Arbeitsplatzchemikalien	402
	Literaturverzeichnis	403
	Anhang	409
	Nomogramme und Tabellen	409
	Erste Hilfe bei Unfällen	415
	Brandbekämpfung	419
	Register	421

---

## Verzeichnis der verwendeten Symbole und Formelzeichen

---

$b$	Breite
$C$	Stoffmengenkonzentration (Molarität)
$C_A$	Stoffmengenkonzentration des Stoffes A
$C_{\bar{A}}$	Äquivalentmengenkonzentration (Normalität)
$C_{\bar{A}_B}$	Äquivalentmengenkonzentration des Stoffes B
$d$	Durchmesser
$E$	Empfindlichkeit einer Waage
$f_A$	Gehaltsfaktor der Lösung A
$h$	Höhe
$I$	Stromstärke
$l$	Länge
$m$	Masse
$M$	molare Masse
$n$	Stoffmenge
$n_{\bar{A}}$	Äquivalentmenge
$p$	Druck
$pH$	negativer dekadischer Logarithmus des Zahlenwerts der Konzentration von Wasserstoff-Ionen
$R$	Widerstand
$R_b$	Ruhelage der Waage, belastet
$R_u$	Ruhelage der Waage, unbelastet
$t$	Zeit
$U$	Spannung
$V$	Volumen
$V_m$	molares Volumen
$w$	Massenanteil in Prozent
$z$	wirksame Wertigkeit
$\vartheta$	Temperatur
$\vartheta_s$	Schmelztemperatur
$\vartheta_v$	Siedetemperatur
$\varrho$	Dichte
$\varphi$	Volumenanteil in Prozent



---

## Vorwort des Gesamtwerkes

---

Der pädagogisch-methodische Wert chemischer Schulexperimente ist für den Bereich der allgemeinbildenden Schulen durch viele Untersuchungen ermittelt, breite Erprobungen spezifiziert und umfassende Erfahrungen bestätigt worden. Die vollständige Integration chemischer Experimente in den Unterrichtsprozeß ermöglicht maßgeblich die Realisierung aller wesentlichen Ziele des Chemieunterrichts. So sind Planung, Vorbereitung, technische Ausführung und verallgemeinernde Auswertung chemischer Schulexperimente innerhalb des Erkenntnisprozesses beim Schüler für den Kenntniserwerb ebenso von Bedeutung wie für die Ausbildung geistiger und manueller Fähigkeiten und Fertigkeiten. Eine wesentliche Rolle spielt dabei die Anwendung der experimentellen Methode.

Weiterhin kann das chemische Schulexperiment, das sich in den unterschiedlichsten Unterrichtssituationen einsetzen läßt, erzieherisch wirksam werden. Durch Experimentieren ist eine Unterstützung der Ausbildung wertvoller Gewohnheiten und Überzeugungen sowie ein Beitrag zur Bewußtseinsbildung und zur Weiterentwicklung kollektiver Verhaltensweisen möglich.

Es ist sicher, daß durch einen methodisch gut geplanten Einsatz chemischer Schulexperimente viele wirksame Möglichkeiten erschlossen werden können, die inhaltliche Ausgestaltung unserer Oberschule zu verbessern.

Aus den hohen Bildungs- und Erziehungsaufgaben, die unserer Schule – und damit auch dem Chemieunterricht – von der Partei der Arbeiterklasse gestellt worden sind, ergaben sich neue Anforderungen für ein Werk über chemische Schulexperimente. Bei der Entwicklung des Gesamtwerkes „Chemische Schulexperimente“ wurde deshalb das Ziel verfolgt, in einem einheitlichen und in sich geschlossenen Werk alle wichtigen Fragen und Probleme für die Durchführung chemischer Schulexperimente zu behandeln.

Autorenkollektiv und Leiter waren bei diesem Vorhaben bemüht, die in der Deutschen Demokratischen Republik vorhandenen Traditionen auf dem Gebiet der Entwicklung, der Erprobung und des Einsatzes chemischer Schulexperimente zielstrebig fortzuführen. So wird an das von *Helmut Stapf* bereits im Jahre 1950 begonnene Werk „Chemische Versuche im Unterricht“ angeknüpft, das dann im Jahre 1961 von *Eberhard Rossa* und *Albert Hradetzky* als „Chemische Schulversuche“ verdienstvoll weiterentwickelt worden ist. Auch das Buch von *Günter Langhammer* „Versuche zur physikalischen Chemie“ aus dem Jahre 1956 ist in diesem Zusammenhang zu nennen.

Weiter sind die Bücher „Laborgeräte und Chemikalien“ von *Gerhard Meyendorf* 1964 und „Chemische Schulversuche, Teil 4, Halbmikrotechnik“ von *Hans Keune* und *Rudi Kuhnert* unter Mitarbeit von *Helmut Boeck* und *Helmut Herbig* 1967 teils zusammengefaßt und teils aufgegliedert in das Gesamtwerk eingegangen. Bei der Auswahl und Konzipierung der chemischen Schulexperimente wurden die grundlegenden Arbeiten von *Gerhard Meyendorf* „Einfache chemische Schülerversuche“ (1961), *Günter Wirsing*, *Armin Klein* und *Helmut Barthel* „Das Experiment im Chemieunterricht“ (1966) und *Armin Klein* „Quantitative Demonstrationsexperimente“ (1969) ausgewertet. Es ist also versucht worden, alles Bewährte zu berücksichtigen und, soweit das möglich gewesen ist, zu übernehmen. Die Arbeit am Gesamtwerk „Chemische Schulexperimente“ begann somit unter günstigen Voraussetzungen. Autorenkollektiv und Leiter haben sich bemüht, dem Chemielehrer in der Praxis eine Vielzahl experimentiertechnisch und pädagogisch-methodisch erprobter chemischer Experimente – klar, eindeutig und unmißverständlich beschrieben – zur Auswahl anzubieten. Dabei wurde versucht, die verschiedensten Unterrichtssituationen ebenso wie die objektiven Gegebenheiten, wie Raumverhältnisse, Ausstattungsweise, Geräte- und Chemikalienbestände, zu berücksichtigen. Die in der Zeitschrift „Chemie in der Schule“ veröffentlichten Beiträge zum chemischen Schulexperiment sind systematisch ausgewertet worden.

Die Auswahl der in den jeweiligen Bänden dieses Werkes beschriebenen Experimente ist auf der Grundlage des Unterrichtsstoffes für das Fach Chemie der allgemeinbildenden Schulen (obligatorischer wie fakultativer Unterricht) vorgenommen worden. Das Angebot der Experimente ist über diesen Rahmen hinaus erweitert worden, um neben einer Berücksichtigung der vielfältigen Möglichkeiten des Fachunterrichts den Aufgabenstellungen und Interessen der Arbeitsgemeinschaften gerecht werden zu können oder auch, um einen Beitrag für den Chemieunterricht in der Erwachsenenqualifizierung (Volkshochschule), in den Fachschulen und nicht zuletzt in der Lehreraus- und -weiterbildung zu leisten.

Die Anordnung der Experimente, also ihre systematische Einteilung, besonders in den Bänden 2, 3 und 4, ist nach stofflichen Gesichtspunkten vorgenommen worden. Autorenkollektiv und Leiter haben sich nach vielen Diskussionen entschieden, die bisher gebräuchlichen klassischen Teilgebiete der Chemie (Anorganische und Organische Chemie) ebenso zu berücksichtigen wie die in diesen Teilgebieten verwendeten Unterteilungen. Den Autoren ist bekannt, daß Einwände gegen eine solche Gliederung der Wissenschaft Chemie erhoben und – besonders im Rahmen der Hochschulbildung – andere Klassifizierungsgruppen als Elemente der Stoffanordnung erprobt werden. Autorenkollektiv und Leiter haben sich dennoch entschlossen, die Experimente nach klassisch-stofflichen Gesichtspunkten anzuordnen und dabei strukturelle, energetische oder reaktionstheoretische Parameter zu berücksichtigen. Auf diese Weise ergeben sich keine zu großen Abweichungen von dem bisher üblichen Vorgehen im Chemieunterricht, es werden aber auch keine direkten Bezüge zur Anordnung des Unterrichtsstoffes im Chemielehrgang notwendig.

Chemische Schulexperimente können in ihrer experimentiertechnischen Durchführung sehr unterschiedlichen Gestaltungsmerkmalen angepaßt sein. Es war zu berücksichtigen, daß in bestimmten Situationen des Chemieunterrichts die che-

mischen Experimente als Demonstration – gut sichtbar vor der gesamten Klasse – eingesetzt werden müssen, während in anderen Situationen die analogen Experimente – unter Anwendung der Halbmikrotechnik – auch selbständig von den Schülern auszuführen sind. Es war daher das Problem der „Techniken der Durchführung chemischer Experimente“ im Sinne einer optimalen Gestaltung des Chemieunterrichts zu lösen. Heute werden Experimente nach der Makrotechnik, der Halbmikrotechnik, der Mikrotechnik (einschließlich der mikroskopischen Technik) und der Projektionstechnik im Chemieunterricht der allgemeinbildenden Schulen durchgeführt.

Auch die Auswahl der einzusetzenden und zu empfehlenden Geräte ist nicht problemlos gewesen. Es mußte den von den Fachlehrern gestellten Forderungen nach Bezugsmöglichkeit und nach Berücksichtigung des Bestandes der Schulsammlung ebenso entsprochen werden wie den Gesichtspunkten der Standardisierung und den Entwicklungstendenzen der künftigen Produktion. Schließlich sei noch erwähnt, daß auch die Auswahl der einzusetzenden Chemikalien nicht immer leicht gewesen ist. Das gilt zum Beispiel für die verschiedenen Darstellungsmöglichkeiten des Sauerstoffs aus Wasserstoffperoxid, Kaliumnitrat, Kaliumchlorat oder Kaliumpermanganat, bei denen neben Problemen der Bezugsmöglichkeiten und Lagerung von Chemikalien auch Fragen des Unfallschutzes, der Materialökonomie und der pädagogisch-methodischen Zweckmäßigkeit eine Rolle spielen. Autorenkollektiv und Leiter haben sich bemüht, mit dem fünfbändigen Werk „Chemische Schulerperimente“ eine neue Qualität der chemischen Experimentierbücher zu entwickeln. Das kommt auch in einer einheitlichen Gliederung des Gesamtwerkes zum Ausdruck.

Band 1 enthält das Gebiet der „Geräte, Chemikalien und Arbeitstechniken“ und ist somit Voraussetzung und Grundlage für ein erfolgreiches Experimentieren. Die Bände 2, 3 und 4 enthalten Experimente aus dem Bereich der „Anorganischen Chemie“ (Band 2 und 3) und der „Organischen Chemie“ (Band 4). Im Band 5 werden abschließend diejenigen Experimente beschrieben, die den Sachgebieten „Allgemeine Chemie“ und „Physikalische Chemie“ sowie darüber hinaus der „Analytischen Chemie“ zuzuordnen sind.

Auf der Grundlage dieser Bereiche wird dem Chemielehrer ein umfassendes Angebot an Experimenten zur Verfügung gestellt. Durch eine beträchtliche Zahl von Erweiterungen – es sind auch Experimente mit relativ seltenen Elementen und Verbindungen aufgenommen – und durch Veränderungen innerhalb der Auswahl sollte ebenfalls zu einer Qualitätssteigerung beigetragen werden.

Es ist auch versucht worden, das theoretische Niveau der Auswertung der Experimente zu verbessern. Obwohl bewußt vermieden worden ist, hier den Grad einer fachlichen Unterweisung eines Lehrbuches der Chemie anzustreben, dienen Hinweise beispielsweise auf analoge Eigenschaften der Elemente und Verbindungen, Reaktionsmechanismen und -typen sowie theoretische Erläuterungen sicher einer effektiveren Unterrichtsgestaltung. Durch viele praktische Erprobungen ist sichergestellt, daß die beschriebenen Experimente in der angegebenen Weise auch erfolgreich und gefahrlos ablaufen. Allerdings werden manche Experimente nur dann vollkommen gelingen, wenn der Ausführende auch über eine Reihe voll ausgebildeter Experimentierfertigkeiten verfügt. Durch sorgfältige Berücksichtigung der

„Richtlinie für den Arbeits- und Brandschutz im naturwissenschaftlichen Unterricht und in der außerunterrichtlichen Arbeit auf dem Gebiet der Naturwissenschaften“ ist ein unfallfreier Ablauf der beschriebenen Experimente möglich. Alle auftretenden Gefahren sind deutlich gekennzeichnet.

Eine verbesserte Qualität des Gesamtwerkes ist schließlich durch den Versuch angestrebt worden, Wiederholungen weitgehend zu vermeiden und dennoch jeden Band einzeln für sich verwendbar zu machen. Diesen beiden – teilweise gegenläufigen – Forderungen zu entsprechen ist nicht ohne Konzession möglich gewesen. Autorenkollektiv und Leiter hoffen, daß sich die „Chemischen Schulexperimente“ wie ihre Vorgänger, die „Chemischen Versuche im Unterricht“ und die „Chemischen Schulversuche“, zu einem rationellen, wertvollen und häufig verwendeten Arbeitsmittel des Chemielehrers entwickeln mögen. Eine für die einzelnen Bände spezifische Gestaltung und Darstellung des Inhaltes soll dazu beitragen. Die angestrebte neue Qualität für das Gesamtwerk in allen Teilen durchzusetzen war eine schwierige Aufgabe. Daher sollten alle in der Praxis tätigen Chemielehrer und Arbeitsgemeinschaftsleiter, alle Methodiker und Fachwissenschaftler durch ihre Hinweise dazu beitragen, dieses Werk weiterzuentwickeln, damit das gemeinsame Ziel der weiteren inhaltlichen Ausgestaltung unserer Oberschule – hier bezogen auf die Erteilung eines niveaureichen Chemieunterrichts – systematisch verfolgt werden kann.

Allen denen, die zum Gelingen des Gesamtwerkes „Chemische Schulexperimente“ beigetragen haben, gebührt besonderer Dank. Autorenkollektiv und Leiter danken den Gutachtern und Chemielehrern für ihre vielen wertvollen Ratschläge, Verbesserungen und unterrichtspraktischen Ermittlungen, den Studenten der Pädagogischen Hochschule „Dr. Theodor Neubauer“ Erfurt/Mühlhausen, Sektion Chemie/Biologie, für ihre experimentalpraktischen Erprobungen und den verantwortlichen Mitarbeitern des Verlages Volk und Wissen Berlin, Abteilung Chemie, mit ihrem Leiter, Herrn *Studienrat Dipl.-Gwl. Edward Gutmacher*, für ihre verständnisvolle, stets entgegenkommende und umfassende Zusammenarbeit.

*Hans Keune*

---

## Vorwort zum Band 1

---

Der vorliegende erste Band der „Chemischen Schulexperimente“ enthält wesentliche Grundlagen für die erfolgreiche Arbeit mit allen folgenden Bänden, obwohl das Gesamtwerk so gestaltet wurde, daß jeder Band auch für sich allein nutzbar bleibt.

Im ersten Kapitel dieses Bandes sind wesentliche Geräte für den Chemieunterricht und die außerunterrichtliche Arbeit auf dem Gebiet der Chemie zusammengestellt worden. Die Anordnung der Geräte erfolgt alphabetisch. Dort, wo noch andere Bezeichnungen gebräuchlich sind, werden diese mit entsprechenden Verweisen aufgeführt. Bestimmte Gruppen von Geräten, wie Kolben, Thermometer, Trichter, stehen unter einem Stichwort. Zu allen Geräten werden Einsatzmöglichkeiten und wichtige Hinweise zur Benutzung angeführt. Außerdem sind die wesentlichen Größen für den Chemieunterricht mit Angabe der Nenngröße und einigen für die praktische Arbeit wichtigen Abmessungen enthalten. Gebräuchliche Größen der Geräte wurden besonders hervorgehoben, um eine günstige Geräteauswahl zu erleichtern.

Den größten Raum nimmt das zweite Kapitel ein, in dem wichtige Techniken bei der experimentellen Arbeit im Chemieunterricht mit den zugehörigen Apparaten und Apparaturen ausführlich dargestellt worden sind. Damit sollen dem Chemielehrer Kenntnisse zu wichtigen experimentellen Tätigkeiten vermittelt und zugleich Variationsmöglichkeiten für die Lösung experimenteller Aufgaben gezeigt werden. Das erleichtert eine Variation der beschriebenen Experimente in den folgenden Bänden entsprechend den Bedingungen an den einzelnen Schulen. Der noch unerfahrene Chemielehrer und der in der Ausbildung befindliche Lehrestudent erhalten aus diesem Kapitel einen Überblick über wichtige Arbeitstechniken beim chemischen Experimentieren. Der erfahrene Chemielehrer wird dieses Kapitel verstärkt als Nachschlagematerial bei auftretenden Fragen zum Experimentieren nutzen können.

Die Gliederung des zweiten Kapitels erfolgt nach Arbeitstechniken. Grundsätzlich wird zwischen Makro- (MaT), Halbmikro- (HmT) und Mikro- (MiT) sowie Projektionstechnik (PrT) unterteilt und dann weiter nach einzelnen Arbeitsoperationen differenziert. Außerdem sind Teilabschnitte zum Zusammenstellen von Apparaturen und deren Benutzung aufgenommen worden.

Viele, verstreut in der Literatur anzutreffende Vorschläge zur Experimentier-technik sind bei der Gestaltung dieses Buches aufgegriffen, kritisch gewertet und

mit bewährten Erfahrungen vereinigt worden. Ein besonderes Anliegen bestand darin, auf einen variabel einsetzbaren Grundbestand an Apparaten zu orientieren (siehe auch Innendeckel dieses Buches) und dennoch die Breite der möglichen Variationen zu zeigen. Für die einzelnen Apparatetypen werden Symboldarstellungen konsequent benutzt, die eine vereinfachte Wiedergabe von Geräteanordnungen ermöglichen.

Das dritte Kapitel enthält schließlich eine Übersicht über wichtige Chemikalien und Stoffe für das Experimentieren im Chemieunterricht mit allen notwendigen Hinweisen zum Umgang mit Chemikalien.

Die Bezeichnung der Chemikalien erfolgt nach den neuen Empfehlungen der IUPAC. Einheiten und Formelzeichen von physikalischen Größen entsprechen den gesetzlichen Bestimmungen.

Die Erarbeitung dieses Bandes erfolgte unter bewußter Nutzung des eingeführten und bewährten Buches „Laborgeräte und Chemikalien“. Im Sinne der versuchten Integration der Halbmikrotechnik in alle Bände sind auch diesem Band Teile des Buches „Chemische Schulversuche, Teil 4, Halbmikrotechnik“ zugrunde gelegt worden. Diese Vorlagen mußten jedoch teilweise völlig umgestaltet werden, um erhöhten Anforderungen an die Qualität des Experimentierwerkes zu entsprechen. So sind beispielsweise die Abschnitte über Arbeitstechniken beim chemischen Experimentieren völlig neu entstanden. Ferner ist versucht worden, Weiterentwicklungen der Experimentiertechnik zu erfassen, die aktuellen Ausstattungsrichtlinien für den Chemieunterricht und derzeitige Festlegungen zur Standardisierung von Laborgeräten und Chemikalien zu berücksichtigen. Wesentliche gesetzliche Grundlagen zum Gesundheits- und Arbeitsschutz haben Eingang in den Text gefunden.

Wertvolle Hinweise zur Verbesserung des Manuskripts sind den Gutachtern, insbesondere den Herren *Dr. Wolfram Felber*, Dresden, *Dr. Norbert Franke*, Berlin, *Dr. Armin Klein*, Potsdam, *Dr. Volker Mirschel*, Berlin, *Dr. Otto Kownatzki*, Greifswald, *Dr. Klaus-Peter Richter*, Potsdam, und *Manfred Schwesinger*, Ilmenau, zu verdanken. *Dr. med. Friedrich Laass* hat wertvolle Anregungen zur Überarbeitung des Abschnitts Erste Hilfe bei Unfällen gegeben.

Viele Vorschläge erwuchsen auch aus Diskussionen im eigenen Lehr- und Forschungskollektiv an der Pädagogischen Hochschule „Wolfgang Ratke“ Köthen, an denen in besonderer Weise die Herren *Hans-Joachim Rochor* und *Dr. Gerhard Schellenberg* mitwirkten. Frau *Ursula Brandt*, Frau *Krimhild Krech* und Frau *Doris Paeslack* ist für die Erprobung von Experimenten zu danken.

Möge der vorliegende Band des Experimentierwerkes freundliche Aufnahme bei den Fachlehrern finden und dazu beitragen, die experimentelle Grundlegung des Chemieunterrichts weiter zu verbessern.

*Gerhard Meyendorf*



In Laborgeräten oder daraus zusammengefügt Apparaten und Apparaturen können chemische Reaktionen durchgeführt werden, an denen die Schüler mit chemischen Sachverhalten vertraut gemacht werden. Geräte und Apparate ermöglichen ein zielgerichtetes, sicheres und erkenntnisförderndes Experimentieren und sind damit für den Bildungs- und Erziehungsprozeß im Chemieunterricht bedeutsame Unterrichtsmittel. Kenntnisse über Arten, Bau, Größe, Handhabung und Einsatzmöglichkeiten von Geräten für chemische Schulexperimente sind deshalb für den Lehrer unerlässlich.

Die folgende Zusammenstellung soll wichtige Angaben dazu vermitteln. Ihr sind Abschnitte zur Geräteausstattung für den Chemieunterricht und zum Reinigen von Geräten angefügt.

## 1.1. Wichtige Geräte im Überblick

In diese Zusammenstellung wurden im wesentlichen solche Geräte aufgenommen, die für die Arbeit im Chemieunterricht und in den chemiebezogenen Arbeitsgemeinschaften wichtig sind. Bei den einzelnen Geräten sind Verwendungszweck und Größen angeführt. Dabei ist zu beachten, daß die Volumenangabe bei den Geräten in Kubikzentimetern ( $\text{cm}^3$ ) und nicht in der Einheit Milliliter (ml) erfolgt. Ferner sind solche Angaben aufgenommen worden, die dem Lehrer das Zusammenstellen von Apparaten und Apparaturen erleichtern, zum Beispiel Hinweise auf einander ergänzende Gerätegrößen. Auf den Umgang mit den Geräten wird nur dort hingewiesen, wo keine ausführliche Darstellung im Kapitel 2 erfolgt.

Die meisten Geräte werden mit verschiedenen Abmessungen hergestellt. In diesem Abschnitt wird auf die Angabe solcher Größen verzichtet, die für den Chemieunterricht keine Bedeutung haben. Durch Fettdruck sind die Größen hervorgehoben, die besonders empfohlen werden. Größen von Geräten, die vornehmlich für Schülerexperimente benötigt werden, sind durch Kästchen (■) gekennzeichnet. Sofern diese Geräte zur Ausstattung für die Halbmikrotechnik gehören, sind sie mit einem Punkt (●) markiert, wobei allerdings nicht immer eine eindeutige Ab-

grenzung möglich ist. Diese Geräte müssen in einer entsprechend größeren Anzahl für alle Schülerarbeitsgruppen angeschafft werden. Die Angaben sind als Vorschläge zu betrachten.

Die folgenden Tabellen enthalten im Kopf jeweils die Nenngröße, die bei der Bestellung der Geräte anzugeben ist. Die Anordnung erfolgt alphabetisch. Bestimmte Gerätegruppen, zum Beispiel Kolben, Tiegel, Trichter, sind unter einem Stichwort zusammengefaßt. Bei gebräuchlichen Zweitbezeichnungen von Geräten erfolgen Verweise in der alphabetischen Anordnung.

**Abdampfschalen** dienen zum Eindampfen von Lösungen. Sie werden aus Porzellan, Glas oder Quarz hergestellt.

*Abdampfschalen aus Porzellan* werden in flacher Form (Tab. 1) und in halbtiefer Form (Tab. 2) angeboten (Abb. 1 a und b).

**Tabelle 1** *Abdampfschalen aus Porzellan (flach)*

Durchmesser $d$ in mm (Nenngröße)	■ 50	60	80	100	120	160	200
Höhe $h$ in mm	10	13	20	25	33	45	55
Mindestinhalt in $\text{cm}^3$	10	16	60	100	200	600	900

**Tabelle 2** *Abdampfschalen aus Porzellan (halbtief)*

Durchmesser $d$ in mm (Nenngröße)	40	■ 50	60	80	100	120	160	200
Höhe $h$ in mm	18	21	24	30	35	43	53	65
Mindestvolumen in $\text{cm}^3$	10	20	30	80	150	270	600	1100

*Abdampfschalen aus Glas* (Abb. 1 c) haben einen abgeflachten Boden (Tab. 3). Bei Demonstrationsexperimenten kann in ihnen der Vorgang des Eindampfens gut von den Schülern beobachtet werden.

**Tabelle 3** *Abdampfschalen aus Glas*

Durchmesser $d$ in mm (Nenngröße)	40	50	60	70	80	95	115	140	190	230
Höhe $h$ in mm	18	25	30	35	45	55	65	80	100	130

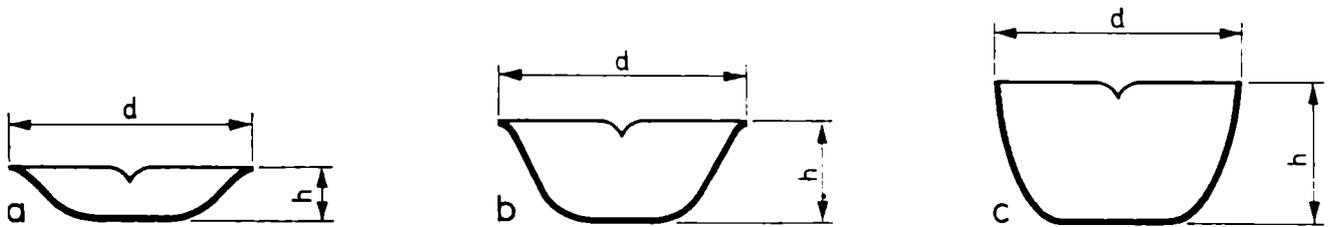


Abb. 1

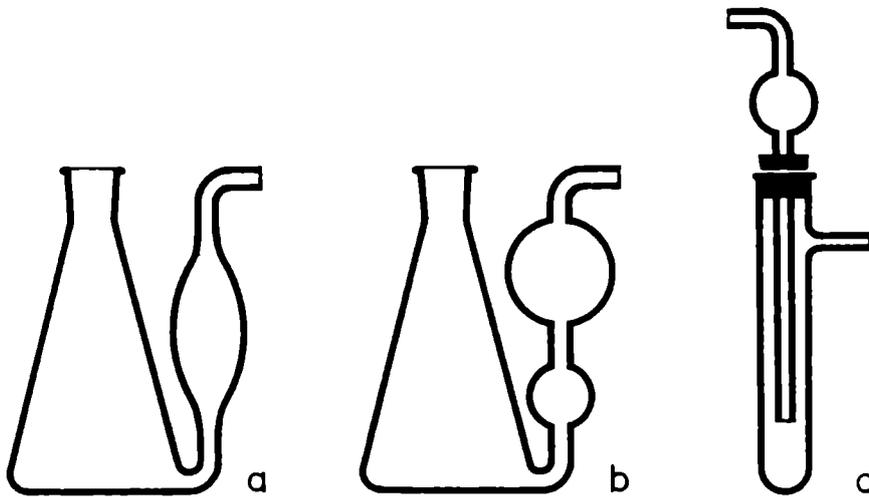


Abb. 2

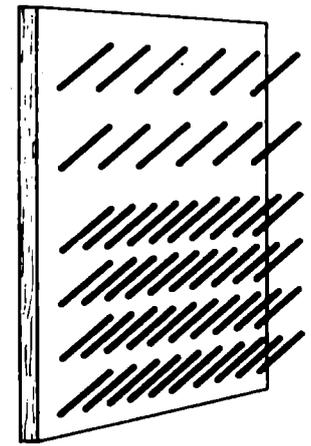


Abb. 3

Abb. 1 Abdampfschalen

Flache (a) und halbtiefe (b) Abdampfschalen aus Porzellan mit Ausguß, Abdampfschale aus Glas (c)

Abb. 2 Absorptionsvorlagen

a) nach *Volhard*; b) nach *Fresenius*; c) für Schülerexperimente

Abb. 3 Abtropfbrett

**Absorptionsvorlagen** (Abb. 2 a und b) sollen das Aufnehmen von Gasen in Flüssigkeiten erleichtern, indem sie eine bessere Gleichgewichtseinstellung zwischen flüssiger Phase und Gasphase und damit eine Verbesserung des Verteilungsgrades gegenüber dem einfachen Einleiten ermöglichen. Die Absorptionsvorlagen verhindern außerdem das Zurücksteigen der Flüssigkeit entgegen der Strömungsrichtung (↗ S. 164). Für den Chemieunterricht sind Vorlagen mit 300 cm<sup>3</sup> und 500 cm<sup>3</sup> Inhalt am günstigsten. Für Schülerexperimente ist ein einfacher Apparat (Abb. 2 c) ausreichend.

**Abtropfbretter** dienen zum Trocknen gespülter Glasgeräte (Abb. 3). Sie werden auch aus Ekadur oder ähnlichen Werkstoffen hergestellt, die nicht faulen und gut zu reinigen sind. Die Abtropfbretter werden am zweckmäßigsten über einem Wasserbecken aufgehängt. Gegebenenfalls ist es möglich, am unteren Rand des Brettes eine U-förmige Schiene aus Ekadur zum Ableiten des Wassers anzubringen. Das Abtropfbrett kann auch auf zwei keilförmigen Hölzern befestigt werden und neben dem Ausgußbecken stehen. Die Normalgröße der Abtropfbretter ist 400 mm × 500 mm.

**Abzweigstücke und Verbindungsstücke.** Mit Hilfe von Abzweigstücken ist es möglich, Verzweigungen in Schlauchverbindungen zwischen Geräten herzustellen.

Sie werden vorwiegend in T- und Y-Form in verschiedenen Rohrstärken geliefert (Abb. 4). Für Schalexperimente ist ein Außendurchmesser des Rohres von 8 mm vorteilhaft.

Im Chemieunterricht werden ferner Verbindungsstücke benötigt, die an den Enden mit **Oliven** versehen sind (Abb. 5).

**Akkumulatoren** können für die Behandlung der Elektrochemie in der Abiturstufe und für einige spezielle Experimente bedeutsam sein. Zur Anschaffung kommen Blei- oder Nickel-Eisen-Akkumulatoren in Betracht. Akkumulatoren erfordern gründliche Wartung (↗ S. 240).

**Analysentrichter** (↗ Trichter, S. 92)

**Aräometer** (Spindeln). Mit Aräometern wird die Dichte von Flüssigkeiten gemessen (↗ S. 154). Es sind drei Sätze von Aräometern festgelegt, von denen nur zwei für den Chemieunterricht in Betracht kommen: *Laborspindeln* (Abb. 6) zur genauen Bestimmung der Dichte (Tab. 4) und *Suchspindeln* zur groben Eingrenzung des Meßbereiches (Tab. 5). Im Chemieunterricht wird im allgemeinen je ein Satz benötigt.

**Tabelle 4** *Laborspindeln*

Spindel-Nr. (Nenngröße)	Meßbereich in $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	Körperlänge in mm	Stengellänge in mm
1	0,630 ... 0,715	90 ... 100	140 ... 150
2	0,715 ... 0,788		
3	0,789 ... 0,860	85 ... 95	145 ... 155
4	0,860 ... 0,930		
5	0,930 ... 1,000	80 ... 90	150 ... 160
6	1,000 ... 1,110		
7	1,090 ... 1,210		
8	1,190 ... 1,310		
9	1,290 ... 1,410		
10	1,390 ... 1,510		
11	1,490 ... 1,610		
12	1,600 ... 1,720		
13	1,720 ... 1,842		
14	1,842 ... 2,000		

**Tabelle 5** *Suchspindeln*

Spindel-Nr. (Nenngröße)	Meßbereich in $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	Körperlänge in mm	Stengellänge in mm
A	0,60 ... 0,85	90 ... 100	140 ... 150
B	0,85 ... 1,10	80 ... 90	150 ... 160
C	1,10 ... 1,50		
D	1,50 ... 2,00		

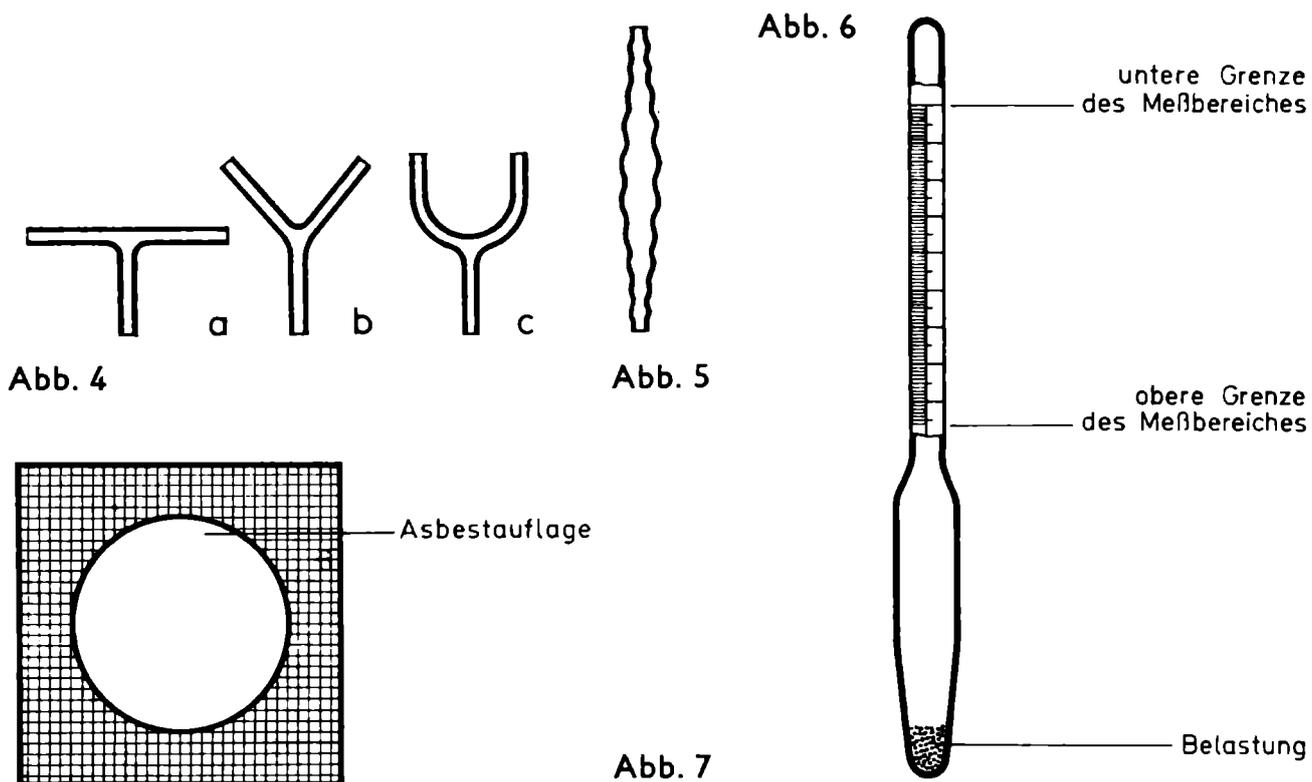


Abb. 4 Verschiedene Abzweigstücke; T-Form (a), Y-Form (b, c)

Abb. 5 Doppelolive,

Abb. 6 Laborspindel,

Abb. 7 Asbestdrahtnetz

**Asbest** ist eine hitze- und feuerbeständige mineralische Faser. Sie wird oft in Form von Pappe, Schnur oder Fasern zur Wärmeisolation von Geräten, zum Schutz der Geräte vor der direkten Berührung mit der Flamme, als Trägermaterial für Katalysatoren (z. B. Platinasbest) sowie beim Einfüllen fester Stoffe in Verbrennungsrohre als Asbestpfropfen empfohlen. Da Asbeststaub Gesundheitsschäden verursachen kann, sollte die Verwendung stark eingeschränkt werden.

**Asbestdrahtnetze** (Abb. 7) werden beim Erhitzen von Gefäßen, besonders Glasgeräten, untergelegt. Sie sollen die direkte Berührung der Geräte mit der Flamme verhindern und ermöglichen den Wärmeübergang auf eine große Fläche (↗ S. 127). Durch Unterlegen eines Asbestdrahtnetzes verlängert sich allerdings die Zeit für das Erwärmen von Stoffen in Geräten. Ähnliche Wirkung haben auch Drahtnetze ohne Asbesteinlage. Drahtnetze müssen für den Chemieunterricht in angemessener Anzahl angeschafft werden, für Schülerexperimente vorwiegend in der Größe 120 mm × 120 mm, für Demonstrationsexperimente 160 mm × 160 mm.

**Babotrichter** werden beim Erhitzen von Kolben, vor allem Rundkolben, untergesetzt, die nicht direkt erwärmt werden sollen. Sie haben die Form eines Kegelstumpfes und sind aus Stahlblech gefertigt. An ihren Innenseiten befinden sich Streifen aus Asbestpappe (Abb. 8). Die direkte Berührung der Kolben mit der Flamme verhindert eine Stahlscheibe mit drei Stegen. Der Babotrichter soll so eingespannt werden, daß die Flamme gerade diese Stahlscheibe berührt. Für den Chemieunterricht sollen Exemplare mit einem oberen Durchmesser von 110 mm und 130 mm angeschafft werden, die zu Rundkolben mit 500 cm<sup>3</sup> beziehungsweise 1000 cm<sup>3</sup> Inhalt passen.

**Becher** – oder meist Bechergläser – sind dünnwandige, zylindrische Glasgefäße, in denen Flüssigkeiten erhitzt werden können. Außerdem sind sie zum Mischen von Flüssigkeiten oder zur Herstellung von Lösungen geeignet. Im Chemieunterricht dienen Becher ferner bei Schülerexperimenten zur Ausgabe von Chemikalien sowie als Sammelgefäße für Rückstände. Becher werden in höher und niedriger Form hergestellt.

*Hohe Becher* (Abb. 9a und b) gibt es mit und ohne Ausguß (Tab. 6). Die Angaben treffen auf beide Reihen zu. Für den Chemieunterricht sind nur Becher mit Ausguß zu empfehlen.

**Tabelle 6** *Becher, hohe Form*

Nennvolumen in cm <sup>3</sup>	■ 50	■ 100	150	■ 250	400	600	1000	2000	3000
Durchmesser <i>d</i> in mm	38	47	53	62	72	82	95	120	135
Höhe <i>h</i> in mm	69	85	95	112	130	148	180	240	280

*Niedrige Becher* (Abb. 9c) gibt es ebenfalls mit und ohne Ausguß (Tab. 7).

**Tabelle 7** *Becher, niedrige Form*

Nennvolumen in cm <sup>3</sup>	250	● 400	■ 600	1000
Durchmesser <i>d</i> in mm	69	80	90	106
Höhe <i>h</i> in mm	95	110	126	148

Becher sollten stets auf einem Drahtnetz oder einer anderen Unterlage, aber nicht direkt erhitzt werden. Heiße Becher sollen nur mit seitlich aufgeschnittenen Gummischlauchstücken transportiert werden, die über die Finger gezogen sind. Zu starkes Verdampfen von Flüssigkeiten bei längerem Erhitzen im Becher kann durch Abdecken mit einer Uhrglasschale auf drei Unterlagen (Abb. 10a) vermieden werden. Dazu werden Glashaken aus Glasstäben oder etwa 1 cm lange, aufgeschnittene saubere Gummischlauchstücke über den Rand des Bechers geschoben (Abb. 10b).

**Blasenzähler** (Abb. 11a) sind beim Experimentieren mit Gasen erforderlich, um die Stärke des Gasstroms zu messen. Aus dem Einleitungsrohr treten Blasen gleicher Größe aus, die bei nicht zu großem Gasstrom gezählt werden können. Die Anzahl der Blasen läßt Rückschlüsse auf das Volumen des durchströmenden Gases zu. Die Sperrflüssigkeit ist so zu wählen, daß sie nicht mit dem Gas reagiert. Sie soll nur etwa 2 ... 3 mm über die Eintauchöffnung des Gaseinleitungsrohres reichen.

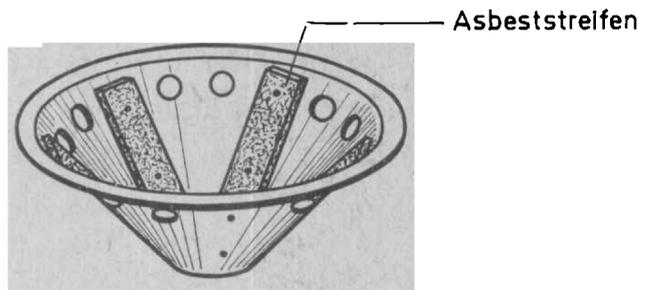


Abb. 8

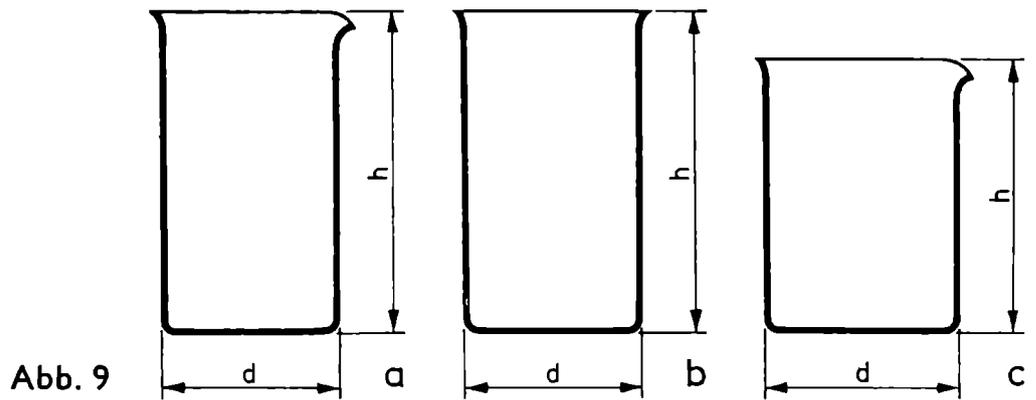


Abb. 10

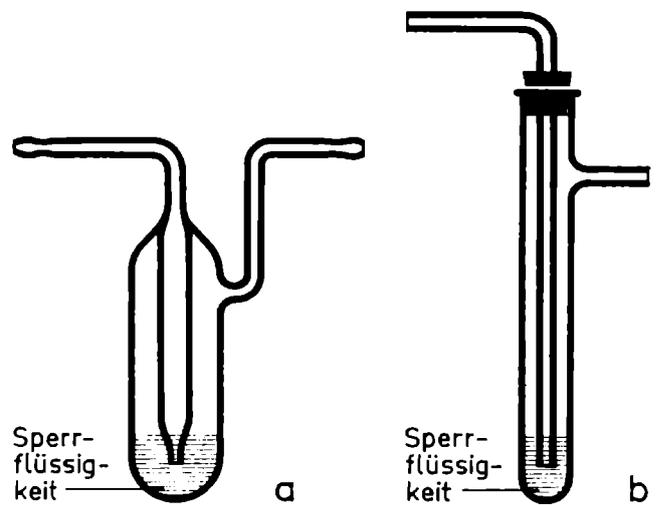


Abb. 11

Abb. 8 Babotrichter

Abb. 9 Hohe Form eines Bechers mit Ausguß (a) und ohne Ausguß (b), niedrige Form (c)

Abb. 10 Glashaken (a) und Gummiunterlage (b) beim Abdecken eines Bechers

Abb. 11 Blasenähler (a) und Reagenzglas mit Seitenrohr und Einleitungsrohr (b)

Für den Chemieunterricht genügt meist ein behelfsmäßiger Blasenähler (Abb. 11 b) oder eine Gaswaschflasche (↗ S. 48).

**Blauglas** (↗ Kobaltglas, S. 56).

**Brenner** sind die wichtigsten Wärmequellen beim chemischen Experimentieren. Sie kommen in verschiedenen Formen und Ausführungen in den Handel.

Bei den *Gasbrennern* (Handhabung, S. 122) ist der *Bunsenbrenner* die Grundform (Abb. 12). Er findet in seiner ursprünglichen Form gegenwärtig allerdings kaum noch Anwendung. In vielfältiger Weise ist er weiterentwickelt und speziellen Erfordernissen angepaßt worden. Bunsenbrenner sind meist mit einem Hahn am Brennerfuß ausgestattet, mit dem sich der Gasstrom einstellen läßt. Für den Chemieunterricht eignet sich sehr gut der *Landmann-Brenner*, ein Brenner mit Sparflamme (Abb. 13a). Durch einen Stellhebel wird bei gedrosseltem Hauptgasstrom ein geringer Nebenstrom in ein dünnes Rohr geleitet, an dessen Mündung ständig eine kleine Flamme brennt. Beim Öffnen der Gaszufuhr dient sie als Zündflamme. Die Sparflamme kann zum schwachen Erwärmen benutzt werden.

Besonders häufig wird der *Teclubrenner* (Abb. 13b) im Chemieunterricht verwendet. Sein Kamin ist nach unten kegelförmig erweitert. Dadurch werden Gas und angesaugte Luft besser durchmischt. So können etwas höhere Temperaturen erreicht werden als beim Bunsen- oder Landmannbrenner. Die Luftzufuhr wird durch Auf- und Abwärtsschrauben einer Rändelmutter unter dem Kamin verändert. Im Fuß befindet sich bei einigen Typen ein Kegelventil zum Einstellen des Gasstroms.

Als Beispiel für ein spezielles Heizgerät wird der *Mekerbrenner* (Abb. 13c) angeführt. Bei ihm befindet sich an der Brenneröffnung ein Nickeldrahtrost, der das Zurückschlagen der Flamme verhindert. Deshalb kann die gesamte Luftmenge in den Kamin eingesaugt werden. Auf diese Weise sind Temperaturen von etwa 1700 °C in der Flamme zu erreichen. Die hohe Temperatur wird auch durch die Vorwärmung der Brenngase am Drahtnetz sowie die Konstruktion des Kamins ermöglicht.

*Reihenbrenner* sind eine Form der Mehrfachbrenner (Abb. 14). Günstig sind nur solche Brenner, bei denen jede einzelne Flamme durch einen Hahn gesondert eingestellt werden kann. Die Wirkung eines Reihenbrenners kann auch durch mehrere nebeneinanderstehende einzelne Brenner erreicht werden.

*Gebläsebrenner* (Abb. 15) dienen zur Erzeugung hoher Temperaturen, zum Beispiel für die Glasbearbeitung (↗ S. 124).

Die *Propangasbrenner* sind für alle die Schulen notwendig, die keinen Stadtgasanschluß haben und deshalb mit Flüssiggas (Propan und Butan) versorgt werden müssen. Propangasbrenner entsprechen im Prinzip denen für Stadtgas, haben aber andere Düsenweiten und oft ein Sieb an der Kaminmündung als Sicherung gegen das Zurückschlagen der Flamme. Propangasbrenner werden sowohl nach dem Prinzip des Bunsenbrenners (Abb. 16) als auch des Teclubrenners hergestellt. Am Brenner befindet sich meist kein Hahn. Außerdem werden für Gebiete, die bereits mit Erdgas versorgt werden, spezielle Erdgasbrenner angeboten.

Für Schülerexperimente nach der Halbmikrotechnik gibt es besondere *Halbmikrobrenner* für Stadtgas und Propan (Abb. 17). Ist kein Stadtgasanschluß vorhanden, so kann der *Flüssigkeitsbrenner*, vor allem der einfache Spiritusbrenner (Spirituslampe), verwendet werden (Abb. 18). Einfache Spiritusbrenner werden aus Glas oder Metall hergestellt. Die Metallgeräte sind aus Arbeitsschutzgründen vorzuziehen. Fehlt die Einfüllöffnung, so wird die Brennflüssigkeit nach Herausziehen des Dochthalters nachgefüllt (↗ S. 126).

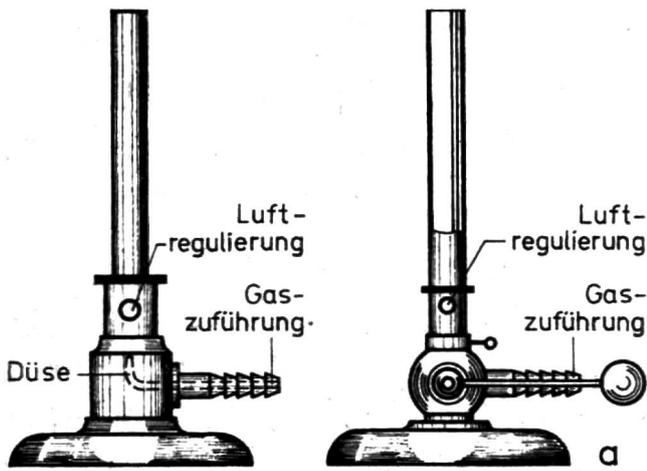
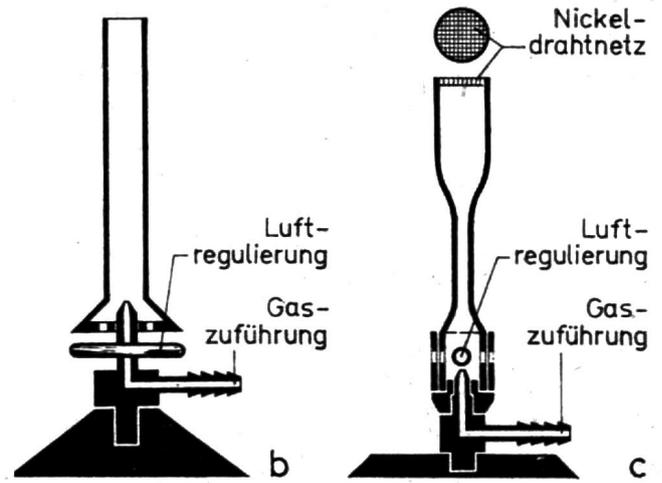


Abb. 12

Abb. 13



b

c

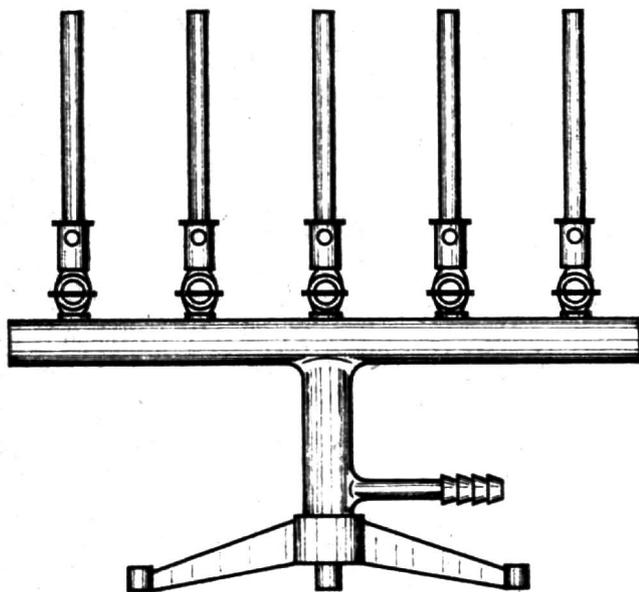


Abb. 14

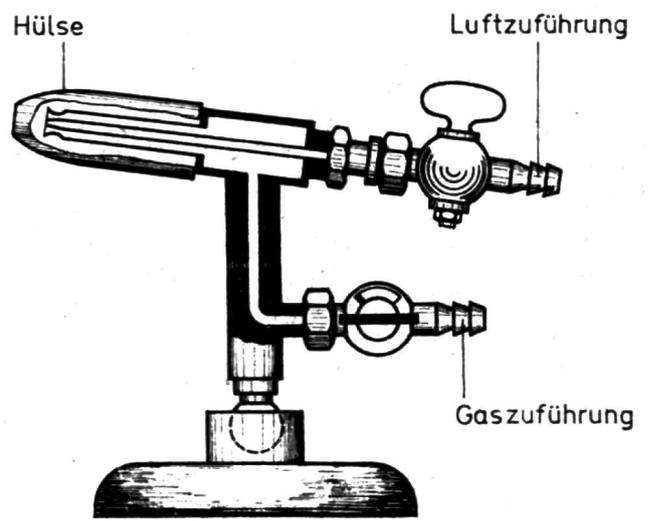


Abb. 15

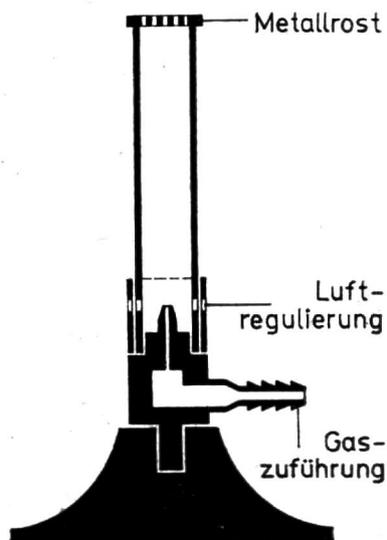


Abb. 16

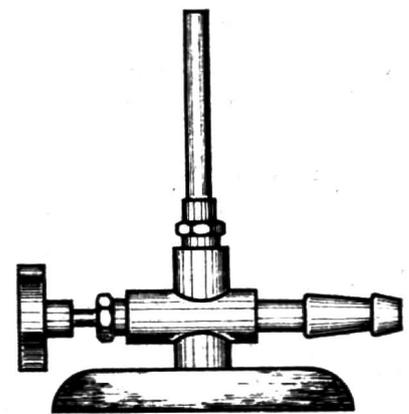


Abb. 17

- Abb. 12 Bunsenbrenner
- Abb. 13 Brenner mit Sparflamme (a), Teclubrenner (b) und Mekerbrenner (c)
- Abb. 14 Reihenbrenner
- Abb. 15 Gebläsebrenner
- Abb. 16 Propangasbrenner
- Abb. 17 Halbmikro-Brenner

**Brenneraufsätze** sollen der Flamme eine bestimmte Form geben, um ein gleichmäßiges und intensives Erwärmen von Stoffen zu erleichtern. Bei Schlitzaufsätzen (Abb. 19a) ist zu beachten, daß die Aufsätze für Bunsen- und Teclubrenner nach dem Kamindurchmesser verschiedene Abmessungen aufweisen. Pilz- und Schornsteinaufsätze (Abb. 19b und c) werden nur in geringer Anzahl benötigt.

**Bunsenbrenner** (↗ Brenner, S. 24)

**Bunsenventile.** Das Bunsenventil gestattet es, Stoffe in einem Gefäß gegen das Eindringen der Außenluft abzuschließen, ermöglicht aber andererseits das Entweichen von Gas beziehungsweise Dampf bei entstehendem Überdruck im Gefäß. Zur Selbstherstellung eines Bunsenventils wird ein etwa 5 cm langer, elastischer, aber möglichst starkwandiger Gummischlauch in der Mitte in Längsrichtung etwa 1 cm mit der Rasierklinge eingeschnitten. Eine Seite des Schlauchstückes ist fest mit einem Glasstababschnitt zu verschließen, die andere Seite ist auf ein kurzes Glasrohr zu schieben. Mittels eines durchbohrten Stopfens kann das Bunsenventil auf das abzuschließende Gefäß gesetzt werden (Abb. 20).

**Büretten** sind Geräte zum Abmessen von Flüssigkeitsvolumen, die vor allem in der Maßanalyse benutzt werden (↗ S. 144). Diese Geräte (Tab. 8) werden in zwei Genauigkeitsklassen (A eichfähig und B nicht eichfähig) hergestellt. Ferner sind Büretten mit seitlichem Hahn (S) und geradem Hahn (G) zu unterscheiden (Abb. 21). Die Skale kann drei verschiedene Formen haben (Abb. 22). Büretten werden auf Auslauf (↗ S. 141) und für eine Temperatur von 20 °C geeicht.

**Tabelle 8** Büretten

Nennmeßbereich in cm <sup>3</sup>	● 10	■ 25	50	100
Skalenteilung in cm <sup>3</sup>	0,05	0,05 — 0,1	0,1	0,2
Außendurchmesser <i>d</i> in mm	16	18	20	26
Gesamtlänge bei Reihe S <i>l</i> <sub>1</sub> in mm	570	820	820	870
Gesamtlänge bei Reihe G <i>l</i> <sub>2</sub> in mm	570	820	820	870

Außer den genannten Büretten sind für besondere Zwecke noch weitere Typen in Gebrauch, zum Beispiel Mikrobüretten (Abb. 23a) zum Zugeben sehr kleiner, genau zu bemessender Flüssigkeitsvolumen sowie Büretten mit automatischer Nullpunkteinstellung (Abb. 23b). Sie können für die außerunterrichtliche Arbeit Bedeutung haben.

**Bürsten** verschiedener Größen und Stärken werden zum Reinigen von Geräten benötigt. Es ist darauf zu achten, daß Bürsten mit einem Drahtalter auch an der Spitze mit Borsten oder einem Schwammstück versehen sind, da sonst die Glasgefäße beim Reinigen sehr leicht durchstoßen werden können. Um Reagenzgläser und Kolben davor zu schützen, ist die Bürste am besten so zu halten, daß der

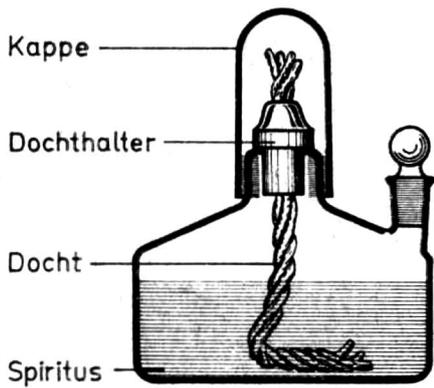


Abb. 18

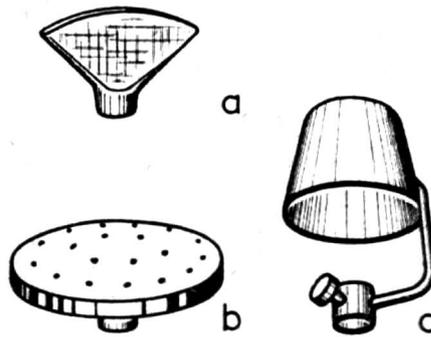


Abb. 19

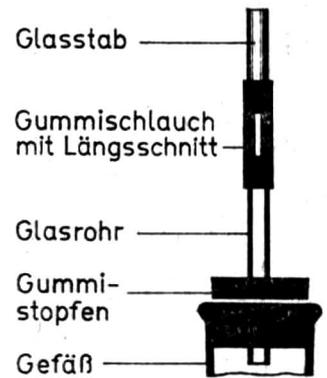


Abb. 20

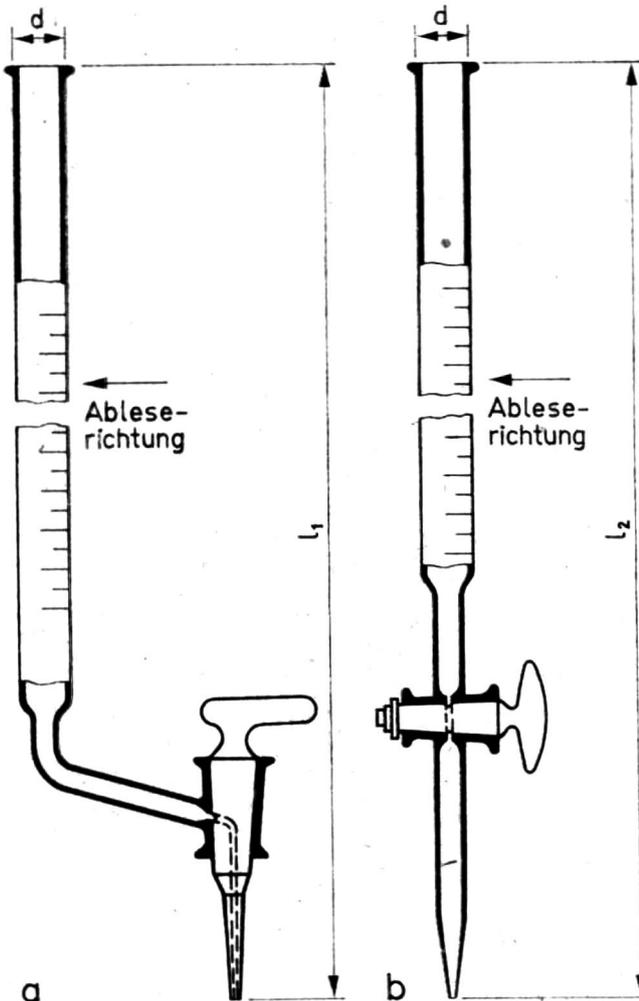


Abb. 21

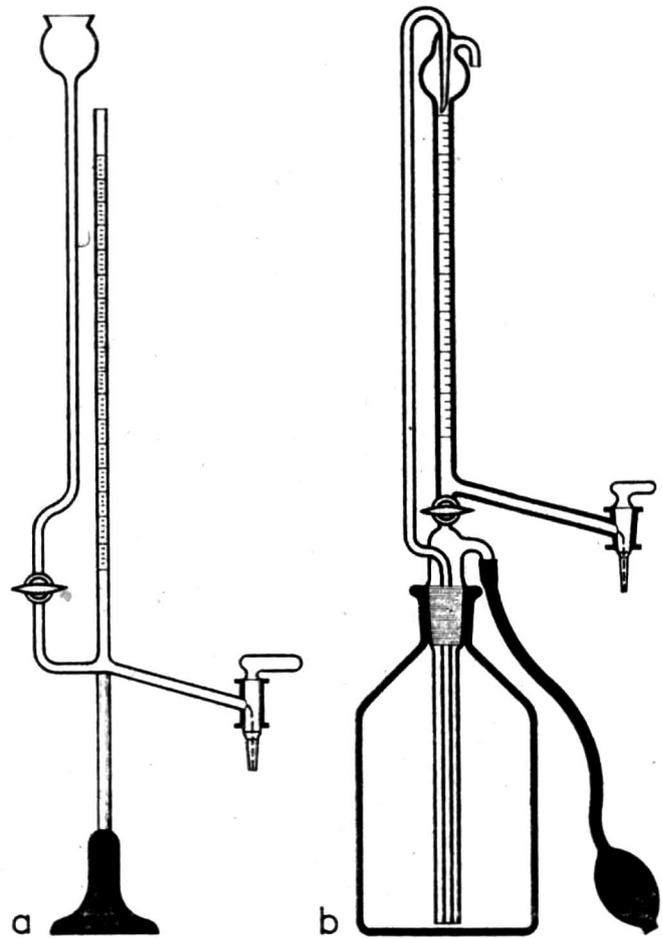


Abb. 23

Abb. 18 Einfacher Spiritusbrenner (Spirituslampe)

Abb. 19 Brenneraufsätze

- a) Schlitzaufsatz zur Erzeugung einer langen, schmalen Flamme,
- b) Pilzaufsatz zur gleichmäßigen Erwärmung einer großen Fläche,
- c) Schornsteinaufsatz zur Erzeugung höherer Temperaturen

Abb. 20 Bunsenventil

Abb. 21 Büretten

Büretten mit seitlichem (a) und geradem (b) Hahn

Abb. 23 Mikrobürette (a) und Zulaufbürette (b)

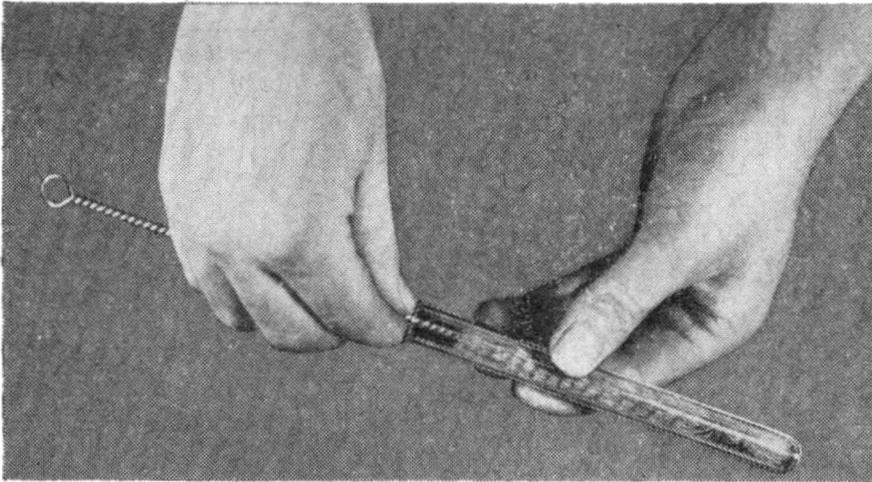


Abb. 24 Einführen der Bürste beim Reinigen eines Glasgefäßes

Daumen beim Einführen in das Gefäß auf dessen Rand aufstößt, ehe die Spitze der Bürste den Boden berührt (Abb. 24). Auch die Schüler sind an diese Technik zu gewöhnen.

**Dampfentwickler** werden bei der Wasserdampfdestillation (↗ S. 202) benötigt. Es ist nicht nötig, eine Dampfkanne aus Metall (Abb. 25a) anzuschaffen. Dampfentwickler lassen sich aus einem Rundkolben mit Ableitungsrohr selbst herstellen (Abb. 25b). Um Überdruck auszugleichen, muß ein etwa 1 m langes, weites Glasrohr aufgesetzt werden, das fast auf den Boden des Rundkolbens reicht. Das obere Ende dieses Rohres soll leicht gewinkelt sein.

**Deckgläser** sind dünne Glasplättchen zum Abdecken von Objekten auf Objektträgern (↗ S. 69) beim Mikroskopieren. Sie werden meist in quadratischer Form (10 mm × 10 mm), aber auch rund und rechteckig geliefert.

**Demonstrationsmeßgeräte** sind spezielle Konstruktionen für das Demonstrieren quantitativer Experimente. Da die herkömmlichen Meßgeräte nur für das unmittelbare Ablesen der Meßwerte durch eine Person eingerichtet sind, soll mit den Demonstrationsmeßgeräten ein Ablesen für alle Schüler in der Klasse ermöglicht werden. Ein Satz von Demonstrationsmeßgeräten für den Chemieunterricht ist von A. Klein [37] entwickelt worden.

Das *Demonstrations-Densimeter* (Abb. 26) dient zum Messen der Dichte von Flüssigkeiten durch Vergleich mit einer bekannten Flüssigkeit, meist Wasser (↗ S. 156).

*Demonstrations-Flüssigkeitsthermometer* (Abb. 27) werden zur Demonstration von Temperaturmessungen eingesetzt und entsprechen in ihrem grundsätzlichen Aufbau und der Wirkungsweise den üblichen Thermometern.

Die *Demonstrations-Flüssigkeitsuhr* ermöglicht Zeitmessungen, indem eine Flüssigkeit entlang einer Skale langsam aus einem Rohr durch eine entsprechend feine Spitze ausläuft (Abb. 28). Das Gerät kann auch leicht selbst hergestellt werden [37]. Durch Wahl von Spitzen unterschiedlicher Weite und entsprechend geeichten Skalen können unterschiedliche Zeitbereiche erfaßt werden.

Die *Demonstrations-Gasbürette* (Abb. 29) wird benutzt, um die Volumen von Gasen, die bei chemischen Reaktionen entstehen oder verbraucht werden, zu demonstrieren. Das Gerät entspricht in seiner Wirkungsweise etwa der des Kolbenprobers oder der Müllerschen Gasmeßglocke.

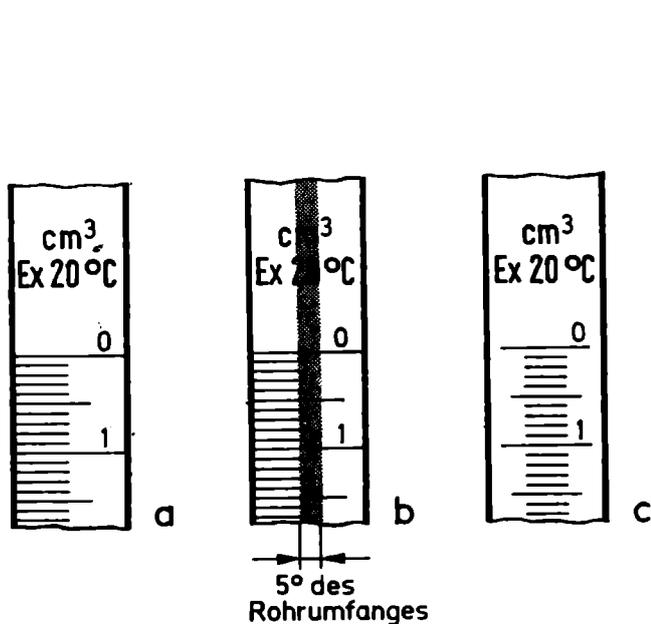


Abb. 22

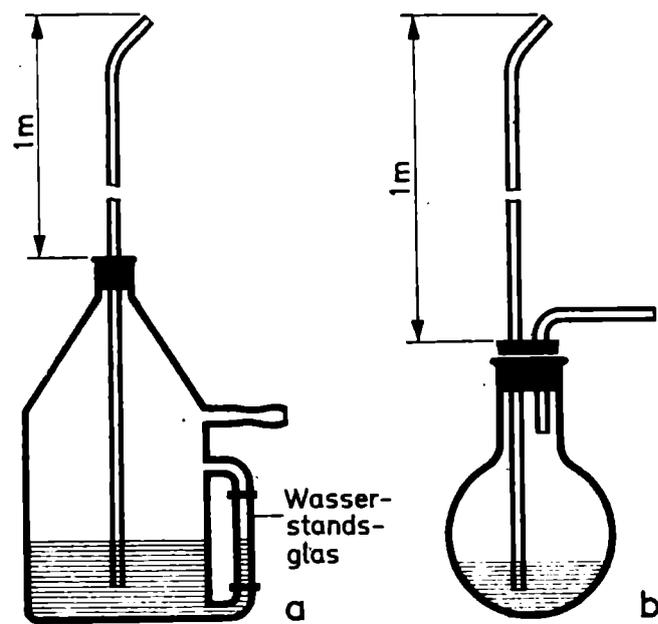


Abb. 25

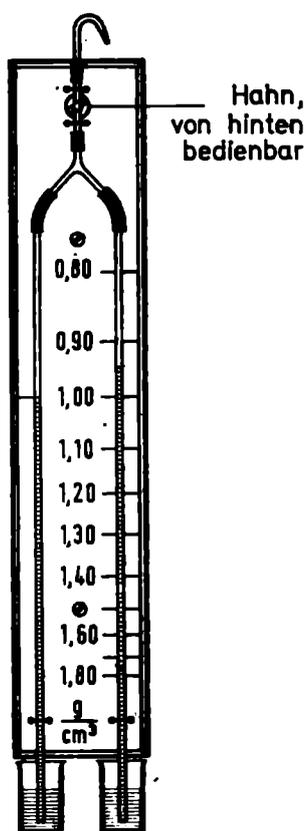


Abb. 26

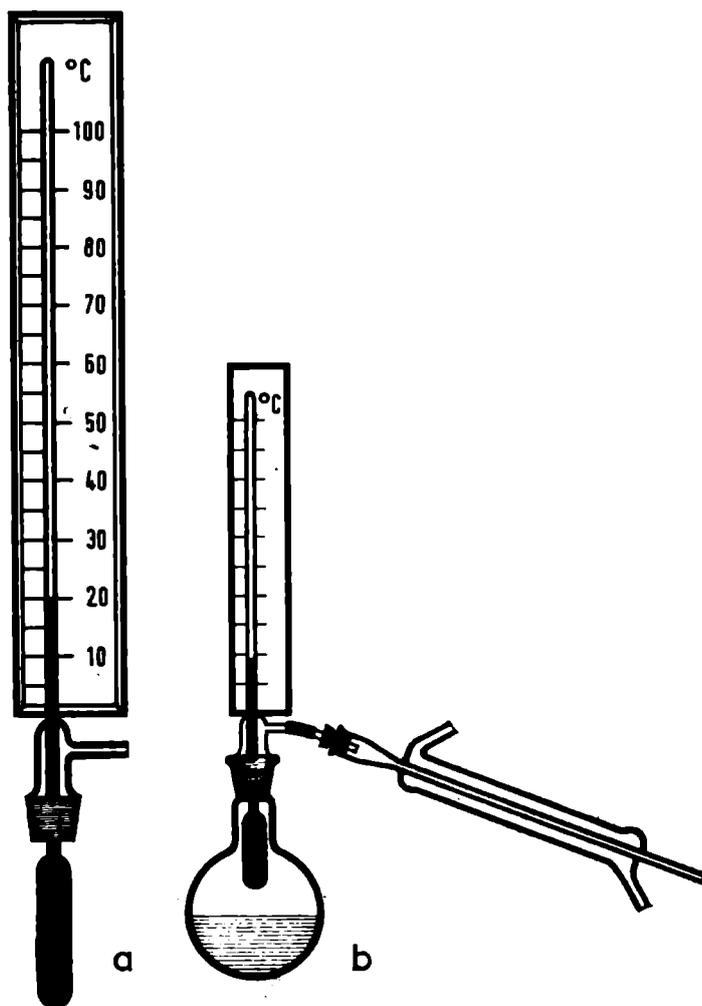


Abb. 27



Abb. 28

Abb. 22 Rundteilung (a), Schellbachstreifen (b) und Strichteilung (c) bei Büretten

Abb. 25 Dampfentwickler

Abb. 26 Demonstrations-Densimeter nach A. Klein

Abb. 27 Demonstrations-Flüssigkeitsthermometer nach A. Klein

Abb. 28 Demonstrationsuhr nach A. Klein

Die *Demonstrations-Titrationsbürette* (Abb. 30) gestattet es, den Flüssigkeitsverbrauch bei einer Titration sichtbar zu machen, indem aus dem angeschlossenen „Maßstabtransformator“ das gleiche Volumen Flüssigkeit in einen Sammelbehälter abfließt, das der Bürette entnommen wird. Durch den geringen Querschnitt des Maßstabrohres wird die Flüssigkeitsabnahme dort für die Schüler deutlicher erkennbar als in der Bürette selbst.

Bei der *Demonstrations-Zeigerwaage* (Abb. 31 a) erfolgt der Massenvergleich an einer stabilisierten Balkenwaage. In verschiedenen, durch das Auflegen von Wägestücken (gegenüber dem Zeiger) bestimmbar Bereichen können Massen am Zeigerausschlag über der Skala bestimmt werden. Durch Abdecken eines Teiles der Zeigerwaage (Abb. 31 b) kann ein Effekt wie bei einer Einschalenwaage erreicht werden.

**Destillierkolben** (↗ Kolben, S. 60)

**Destillieraufsätze, Destilliervorlagen** (↗ Schlißbauteile, S. 78)

**Dewargefäße** werden als Kalorimetergefäße verwendet, wenn Wärmeerscheinungen bei chemischen Reaktionen mit hohen Genauigkeitsansprüchen zu untersuchen sind (↗ S. 138). Dewargefäße (Abb. 32) sind doppelwandige, innen verspiegelte Glasgefäße, bei denen der Raum zwischen den Glaswänden evakuiert ist. Ein Wärmeaustausch mit der Umgebung wird weitgehend vermieden. Die Gefäße stehen meist in hölzernen ausgepolsterten Fußteilen. Sie sind empfindlich gegen Stoß und können leicht implodieren. Verwendet werden auch Speiseeis-Isoliergefäße mit einem Inhalt von 1 l.

**Dimrothkühler** (↗ Kühler, S. 64)

**Dreifüße** werden zum Erhitzen von Gefäßen benötigt (Abb. 33). Auf den Dreifuß wird ein Drahtnetz beziehungsweise ein Tondreieck aufgelegt. Kolben sind darüber hinaus noch an einem Stativ zu befestigen. Neben den Dreifüßen mit einem Ring aus Flacheisen und Rundeisenfüßen (Tab. 9) gibt es auch Geräte, die vollständig aus Rundeisen gefertigt sind. Die gleichen Funktionen wie ein Dreifuß kann ein Stativring übernehmen, der an einem Stativ befestigt ist.

**Tabelle 9** Dreifüße

Durchmesser $d$ in mm	■ 100	110	120	140	150	160	170	180	200	210	220
Höhe $h$ in mm	180	240	240	220	225	260	260	270	275	280	280

Eine Höhe von 220 ... 240 mm ist bei üblichen Gasbrennern günstig. Spiritusbrenner sind auf Unterlegklötze geeigneter Größe zu stellen.

**Druckgasflaschen** dienen zum Transport und zum Aufbewahren größerer Vorräte häufig benutzter Gase. Die Gase befinden sich in den Flaschen unter hohem

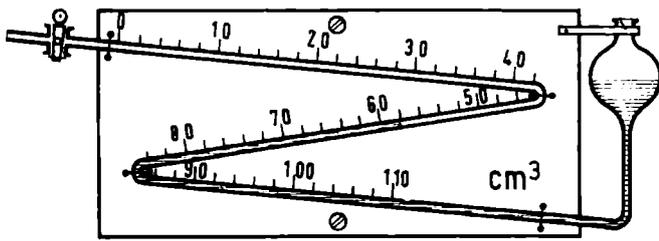


Abb. 29

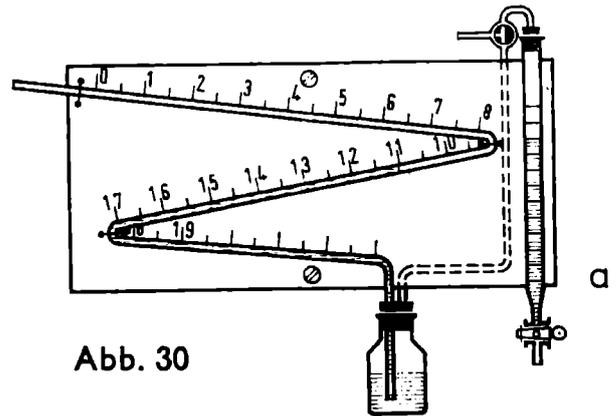


Abb. 30

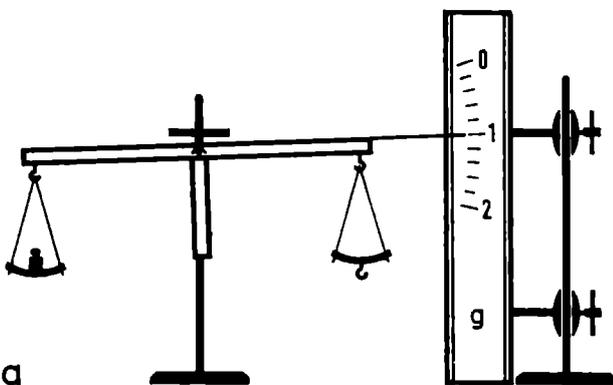
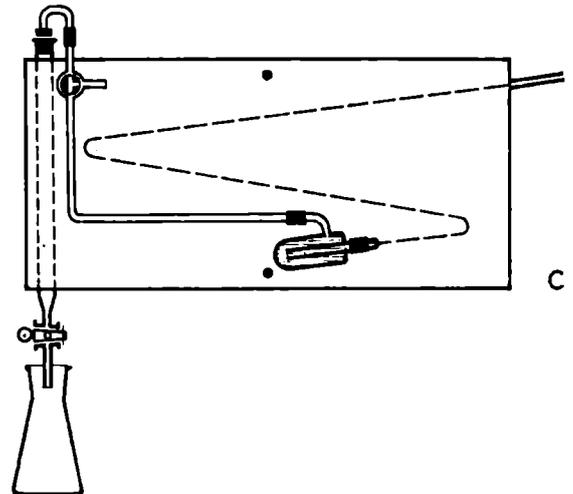
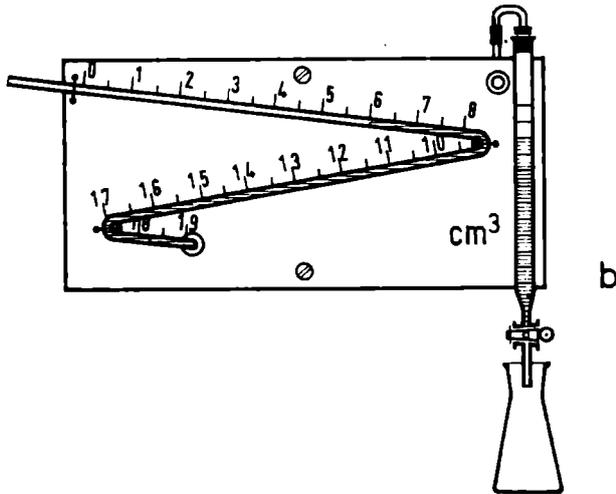


Abb. 31

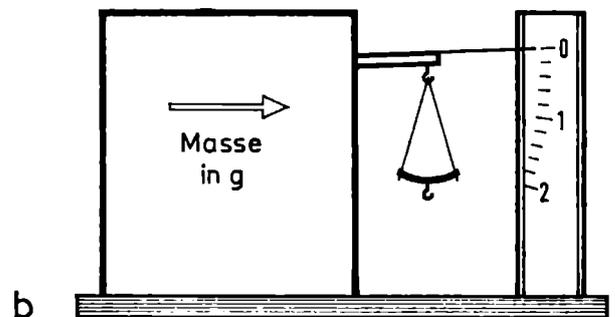


Abb. 29 Demonstrations-Gasbürette nach A. Klein

Abb. 30 Demonstrations-Titrationsbürette nach A. Klein

a) Anordnung bei Selbstbau, b) Vorderansicht, c) Rückansicht

Abb. 31 Demonstrations-Zeigerwaage nach A. Klein

a) Vorderansicht ohne Sichtblende, b) Vorderansicht mit Sichtblende

Druck als Flüssigkeiten, wenn die Aufbewahrungstemperatur (Zimmertemperatur) unter der kritischen Temperatur des betreffenden Gases liegt.

Zuweilen wird empfohlen, Gase, wie Sauerstoff, Wasserstoff und Kohlendioxid, in der Schule in Druckgasflaschen vorrätig zu halten. Der Aufwand ist allerdings recht hoch, wenn auch die Entnahme der Gase sehr bequem ist. Bei dem geringen Verbrauch dieser Gase im Chemieunterricht entstehen der Schule hohe Kosten, wenn die Flaschen nicht Eigentum der Schule sind.

Beim Umgang mit Druckgasflaschen müssen die entsprechenden Arbeitsschutzbestimmungen beachtet werden.

Zur Benutzung jeder Druckgasflasche ist ein Druckminderventil oder Reduzierventil für das entsprechende Gas erforderlich. Um ein Verwecheln der Gase auszuschließen, sind Flaschen und Reduzierventile durch Farben gekennzeichnet (Tab. 10).

**Tabelle 10** Kennzeichnung von Druckgasflaschen

Gas	Kennfarbe	Anschlußgewinde
Sauerstoff	blau	rechts
Wasserstoff und andere brennbare Gase (z. B. Propan)	rot	links
Stickstoff	grün	rechts
Kohlendioxid und andere nichtbrennbare Gase	grau	rechts

Der Name des Gases ist am Kopf der Flasche eingepreßt. Außerdem haben Ansatzstutzen für die Ventile bei Druckgasflaschen für brennbare Gase Linksgewinde, alle anderen Rechtsgewinde. Bei der *Benutzung* der Druckgasflaschen sind folgende *Grundregeln* zu beachten:

- Druckgasflaschen sind vor starken Erschütterungen, starker Erwärmung (Heizkörper), Sonneneinstrahlung und Frost zu schützen.
- Der Transport von Druckgasflaschen darf nur erfolgen, wenn das Druckminderventil abgeschraubt und die Schutzkappe über dem Flaschenventil aufgeschraubt ist. Die Flaschen dürfen nicht am Flaschenventil angehoben werden.
- Druckgasflaschen werden waagrecht liegend aufbewahrt und stehend in Betrieb genommen. Sie sind dann unbedingt zu sichern, indem am Experimentiertisch oder an der Wand Schellen (Abb. 34) angebracht werden, welche die Flaschen im oberen Teil umfassen. Der Fuß der Flasche soll in einer entspre-

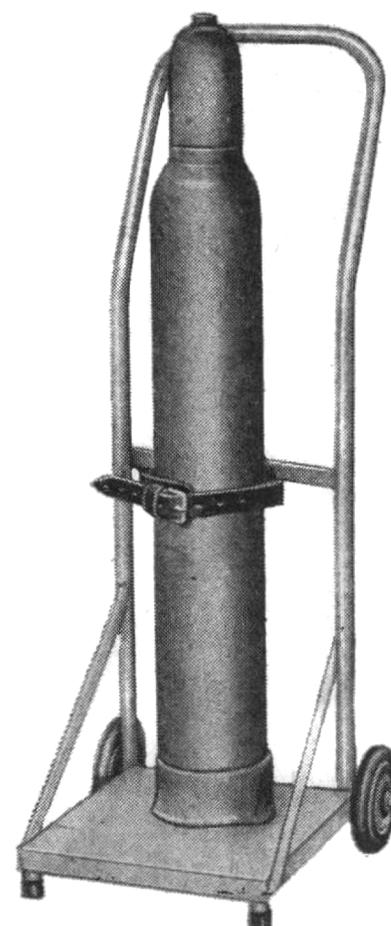


Abb. 35 Fahrbares Gestell für Druckgasflaschen

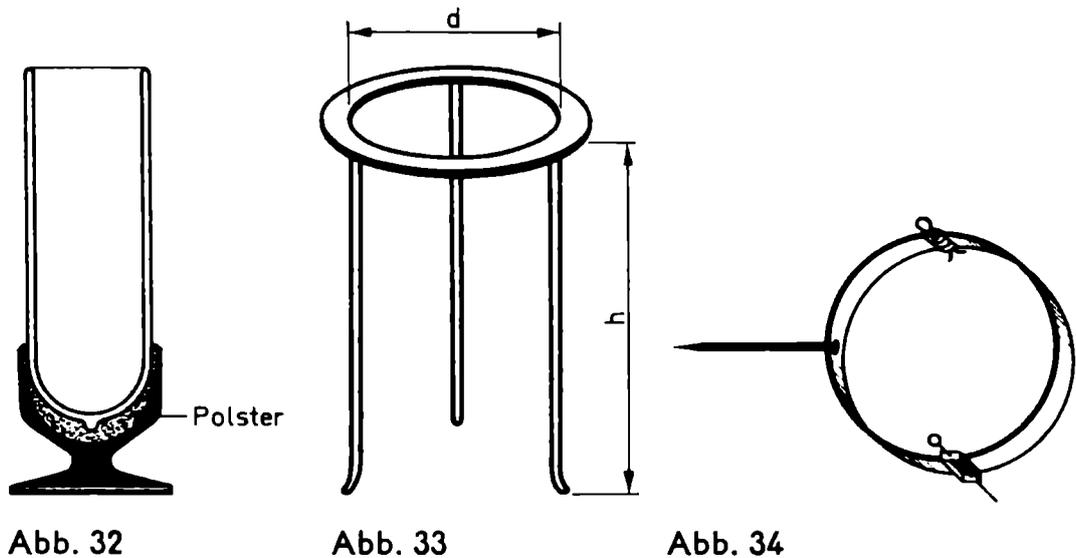


Abb. 32

Abb. 33

Abb. 34

Abb. 32 DewargefäÙe

Abb. 33 DreifuÙ

Abb. 34 Sicherungsschelle für Stahlflaschen

chenden Aussparung im Boden stehen. Statt der Schelle wird oft auch eine Kette mit Karabinerhaken benutzt, weil bei Gefahr schnell ausgehakt und die Flasche in Sicherheit gebracht werden kann. Verboten sind Draht oder Bindfaden. Zweckmäßig sind auch fahrbare Gestelle für Druckgasflaschen (Abb. 35), die an jede Stelle des Unterrichtsraumes gebracht werden können.

- Der Inhalt neu gelieferter Druckgasflaschen ist zunächst zu überprüfen. Dazu wird bei angeschlossenem Druckminderventil etwas Gas (meist pneumatisch) aufgefangen. Es sind die Eigenschaften festzustellen und Verunreinigungen durch andere Gase zu ermitteln. Treten Unstimmigkeiten auf, so ist sofort die Abfüllstation zu benachrichtigen.
- Druckgasflaschen dürfen von Schülern nie ohne Aufsicht des Lehrers betätigt werden.
- Bei Druckgasflaschen für Sauerstoff dürfen keine Gummi- oder Lederdichtungen benutzt werden. Außerdem dürfen alle Teile einer Sauerstoffanlage nicht mit Öl oder Fett in Berührung kommen, da die Entzündungstemperaturen aller Stoffe in Sauerstoffatmosphäre niedrig liegen (Explosions- und Brandgefahr). Schmorende Stopfen können in diesem Fall zu heftigen Verpuffungen führen.
- Druckgasflaschen dürfen nur in entleertem Zustand an die Füllstationen zurückgegeben werden.

Der Gasvorrat in Druckgasflaschen für Sauerstoff und Wasserstoff kann nach dem Boyle-Mariotteschen Gesetz aus dem Produkt aus dem 10fachen des abgelesenen Flaschendruckes in MPa und dem Flascheninhalt ermittelt werden. Bei einem Überdruck von 6 MPa (etwa 60 at) können aus einer 12-l-Flasche noch 720 l Gas entnommen werden. Bei Kohlendioxid ist der Gasvorrat nur durch Wägen festzustellen. Für Propanflaschen gelten sinngemäß die gleichen Hinweise. Es sind aber besondere Arbeits- und Brandschutzbestimmungen zu beachten. Der Anschluß von Brennern darf nur über ein Druckminderventil und einen mit Schellen befestigten Druckschlauch erfolgen.

**Druckminderventile** (Reduzierventile) sind grundsätzlich anzuwenden, wenn aus einer Druckgasflasche Gas entnommen werden soll. Die Druckminderventile (Abb. 36) sind jeweils für bestimmte Gase hergestellt. Die Kennzeichnung erfolgt durch Farbanstrich (↗ Tab. 10, S. 32) und die Angabe des Namens auf dem Absperrventil für den Niederdruckteil.

Zur Entnahme eines Gases mit einem *großen Druckminderventil* (Abb. 36a) wird zunächst die Schutzkappe von der Druckgasflasche abgenommen und dann das Druckminderventil an den Gewindestutzen des Flaschenventils angeschraubt. Die Mutter ist mit einem passenden Schlüssel festzuziehen. Das Gas wird dann mit folgenden Arbeitsschritten entnommen:

- Membranstellschraube nach links drehen, bis das Drehmoment spürbar nachläßt, Absperrventil im Niederdruckteil schließen
- Flaschenventil langsam vollständig öffnen; am ersten Manometer Flaschendruck ablesen
- Membranstellschraube nach rechts drehen, bis der gewünschte Arbeitsdruck am zweiten Manometer angezeigt wird
- Apparatur an den Schlauchanschluß anschließen
- Gastrom mit dem Absperrventil in der gewünschten Stärke einstellen
- Ventile und deren Umgebung während des Ausströmens des Gases auf Erwärmung prüfen; gegebenenfalls das Flaschenventil sofort schließen

Der Gastrom wird durch das Schließen des Absperrventils vorübergehend abgestellt. Zum endgültigen Abstellen ist danach das Flaschenventil zu schließen. Nachdem die Apparatur für das Experiment abgetrennt wurde, ist der Druck aus dem Hochdruckteil des Druckminderventils auszugleichen. Dazu wird das Absperrventil wieder geöffnet, die Membranstellschraube etwas nach rechts gedreht, bis

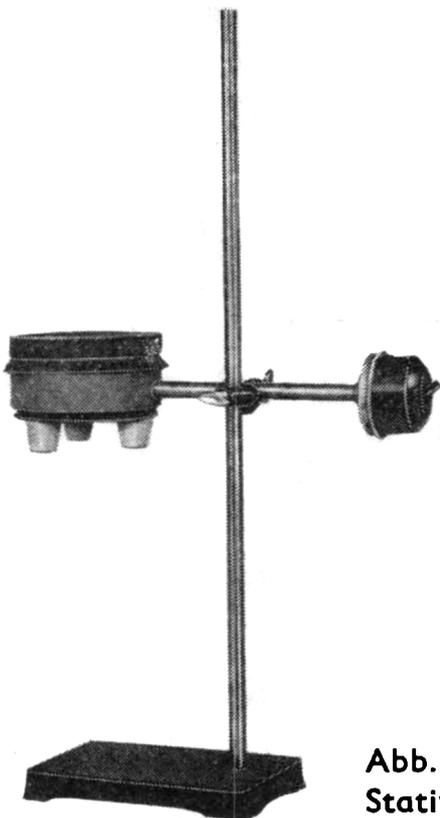


Abb. 37  
Stativheizplatte

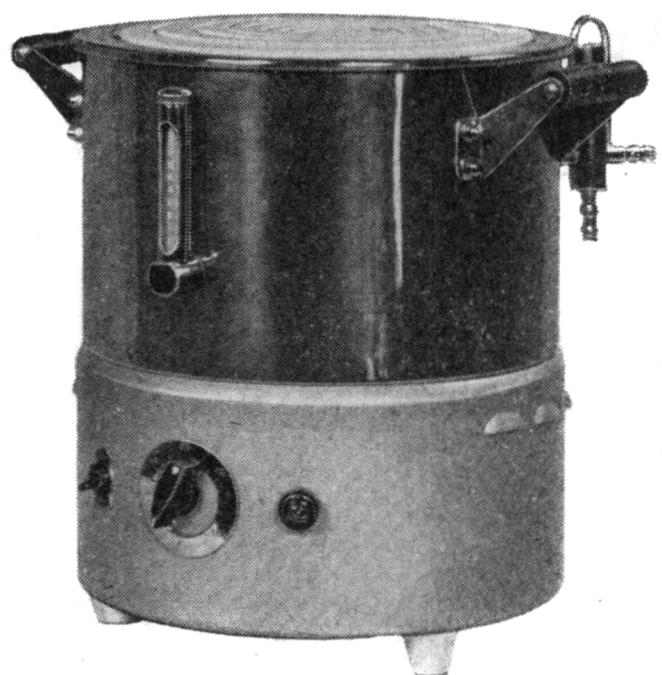


Abb. 38 Elektrisches Wasserbad

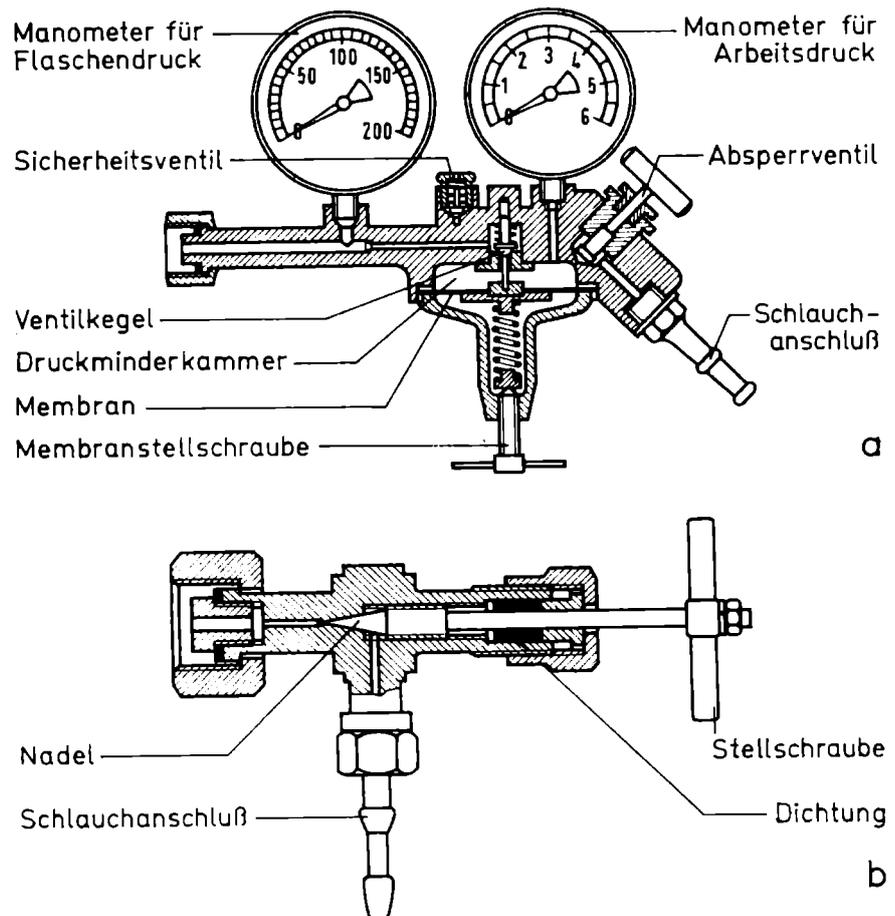


Abb. 36

## Abb. 36 Druckminderventile

a) großes Druckminderventil mit Manometer, b) kleines Druckminderventil

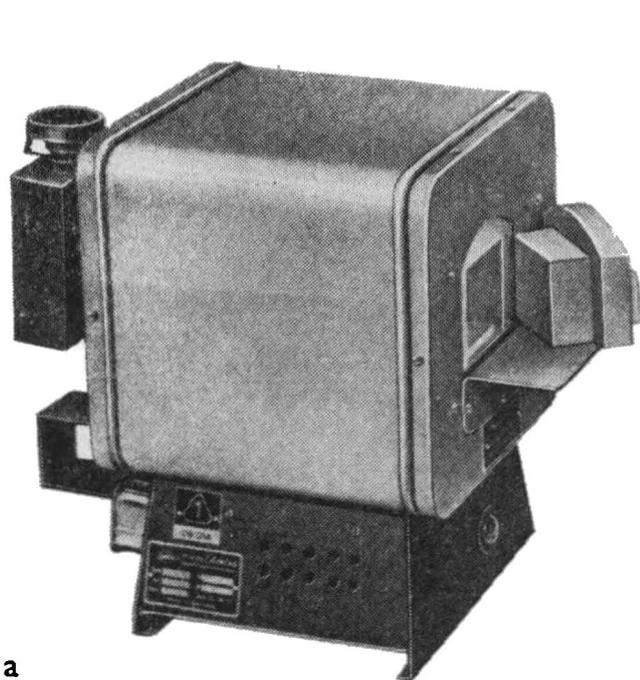
der Druck beseitigt ist. Danach ist die Stellschraube wieder nach links locker zu drehen und das Druckminderventil abzuschrauben.

Das *kleine Druckminderventil* (Abb. 36 b), das zum Beispiel an Propanflaschen verwendet werden kann, ist ebenfalls am Gewindestutzen des Flaschenventils fest anzuschließen. Zur Gasentnahme wird zunächst die Stellschraube des Kegelventils festgeschraubt und damit geschlossen. Dann ist das Flaschenventil vollständig zu öffnen und danach die Stellschraube wieder zu lockern, bis ein Gasstrom gewünschter Stärke entweicht. Beim Abstellen des Gastroms ist zunächst wieder die Stellschraube und danach das Flaschenventil zu schließen.

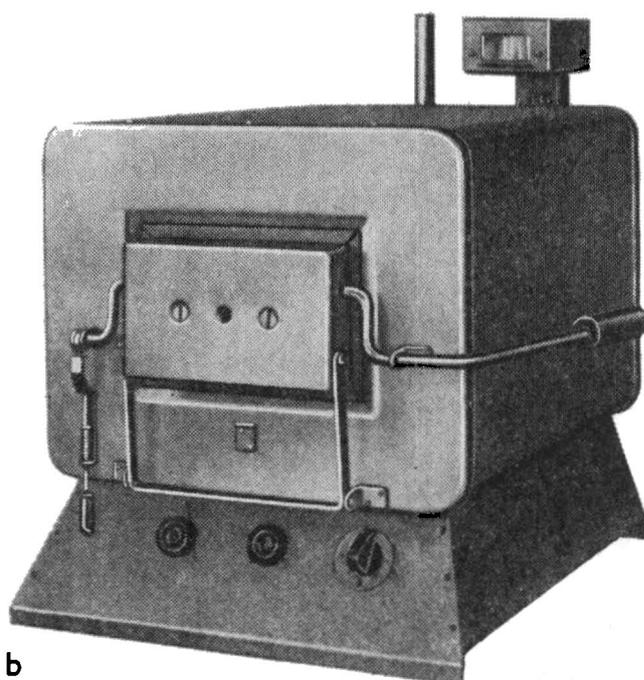
**Elektrische Heizgeräte** finden in vielfältigen Ausführungen in der Laborpraxis Anwendung. Für die Arbeit im Chemieunterricht haben nur wenige Bedeutung (↗ S. 127).

*Stativheizplatten* (Abb. 37) sind geeignet, Stoffe, besonders Flüssigkeiten, in Kolben oder Bechern längere Zeit gleichmäßig zu erhitzen. Sie können vor allem bei der Vorbereitungsarbeit des Lehrers sowie beim Praktikum der Schüler benutzt werden.

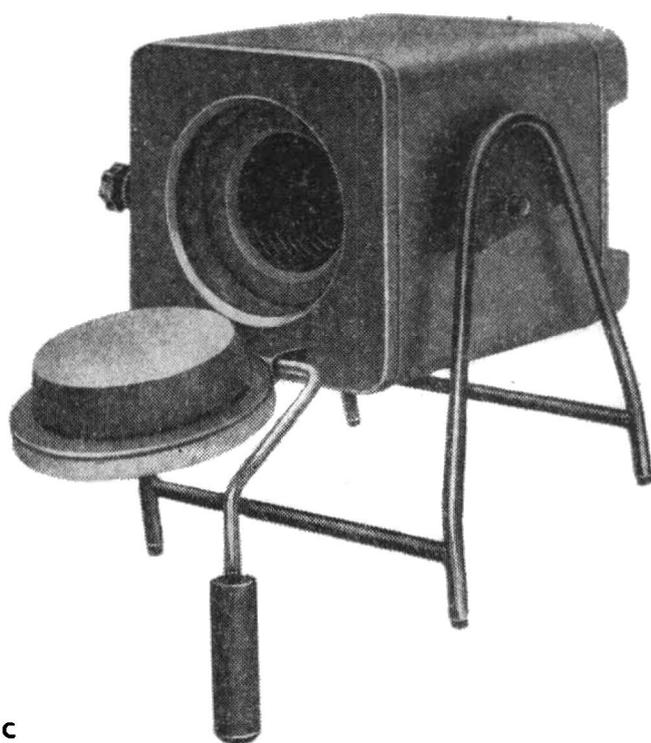
*Wasserbäder* aus Metall mit elektrischer Beheizung und einstellbarer Temperaturregelung haben den Vorteil einer geringen Wartung. Bei der Anschaffung ist deshalb ein solches elektrisches Wasserbad auszuwählen, wobei entweder ein Einzelwasserbad (Abb. 38) oder ein Gerät, das nach dem Baukastenprinzip mit anderen Geräten kombiniert werden kann (↗ Abb. 181, S. 129), in Frage kommt.



a



b



c

Abb. 39 Elektrische Öfen

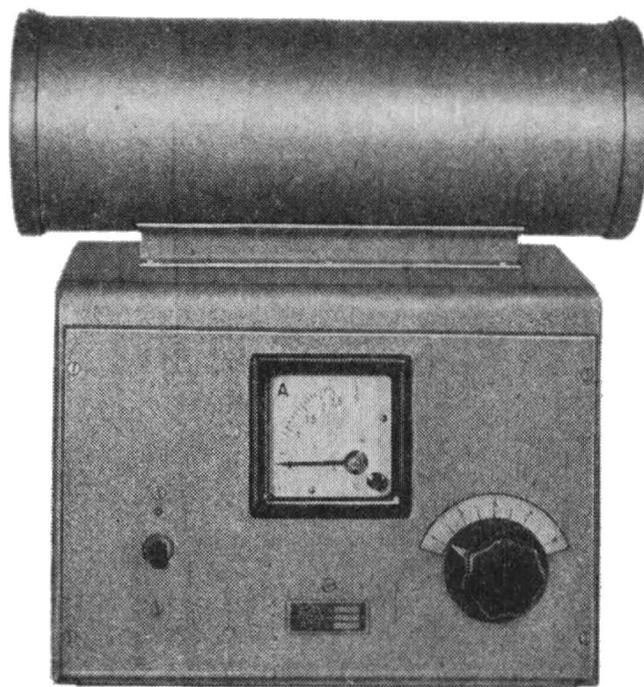


Abb. 40 Röhrenofen

*Elektrische Öfen* werden zuweilen zum Glühen von Stoffen benötigt. Da auch beim Glühen in einem Tiegel über dem Brenner recht hohe Temperaturen zu erreichen sind (wenn nötig, kann noch mit Asbestpappe abgedeckt werden), ist die Anschaffung eines elektrischen Ofens für den Unterricht nicht vordringlich. Elektrische Öfen können aber wie Wasserbäder für Arbeitsgemeinschaften notwendig sein. Bei der Bestellung ist auf eine ausreichende Größe zu achten. Der Nutzraum sollte so gewählt werden, daß mehrere Tiegel bequem unterzubringen sind. Ein kleiner Muffelofen (Abb. 39a) mit einem Nutzraum von 50 mm × 94 mm × 50 mm reicht oft nicht aus. An Stelle mehrerer kleiner Öfen ist es dann günstig, einen Ofen mit Nutzraumabmessungen von etwa 150 mm × 80 mm × 250 mm zu verwenden (Abb. 39b). Vielfach sind auch Tiegelöfen mit Schwenkgestell (Abb. 39c)

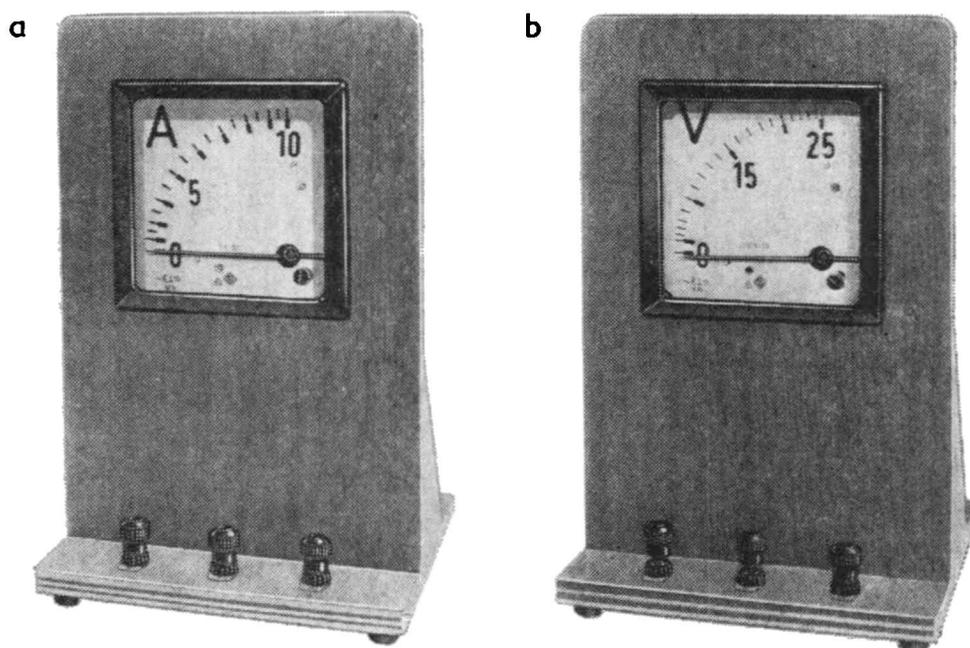


Abb. 41 Dreheisenstrommesser (a) und -spannungsmesser (b)

günstig. Für den Chemieunterricht reichen Öfen aus, die Temperaturen bis  $1\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$  erreichen. Öfen mit einer Einrichtung zum Messen der Temperaturen haben sich als vorteilhaft erwiesen. In der Literatur sind verschiedene Vorschläge zum Selbstbau einfacher elektrischer Öfen enthalten [15] [40].

Röhrenöfen dienen speziell zum Beheizen von Verbrennungsrohren. Solche Öfen (Abb. 40) sind aber kaum erforderlich, da die Verwendung selbstergestellter Heizrohre ( $\nearrow$  S. 129) möglich ist.

**Elektrische Meßgeräte** dienen im Chemieunterricht zum Messen elektrischer Spannungen, Stromstärken und Widerstände ( $\nearrow$  S. 242). Für Demonstrationsexperimente reicht im allgemeinen ein Spannungs- und ein Strommeßgerät aus, wenn sich deren Meßbereiche verändern lassen. Beim Experimentieren im Chemieunterricht ist besonders in folgenden Bereichen zu messen:

Spannungen:  $0,1 \dots 5\text{ V}$  und  $10 \dots 25\text{ V}$ ; Stromstärken:  $0,1 \dots 0,6\text{ A}$  und  $1 \dots 3\text{ A}$ . Für mittlere Genauigkeitsansprüche genügen Dreheisen-Demonstrationsgeräte (Abb. 41). Sie haben den Nachteil recht großer Unempfindlichkeit und besitzen eine stark von der Linearität abweichende Skale. Besonders brauchbar sind Meßgeräte, die sich für Spannungs- und Strommessungen verwenden lassen. Solche Geräte sind zum Beispiel das Drehspul-Demonstrationsinstrument (Abb. 42a) und das Demonstrations-Drehspul-Meßinstrument (Abb. 42b). Diese Geräte sind durch den Chemieunterricht allein nicht ausgelastet. Deshalb sollten sie gleichfalls im Physikunterricht eingesetzt und allgemein beschafft werden.

Für einige Schülerexperimente reicht in der zehnklassigen Oberschule zum Anzeigen des Stromflusses eine Glühlampe aus. In der Abiturstufe und der Berufsschule können Meßgeräte bei Schülerexperimenten nützlich sein. Hier wird der Chemielehrer auf die Geräte für den Physikunterricht zurückgreifen. Im allgemeinen genügen kleinere Meßgeräte. Dazu können auch Schalttafelmeßgeräte für geeignete Bereiche in Holz- oder Plastgestelle montiert und mit Anschlußbuchsen versehen werden. Sind nicht genügend Meßgeräte für alle Schülergruppen vor-

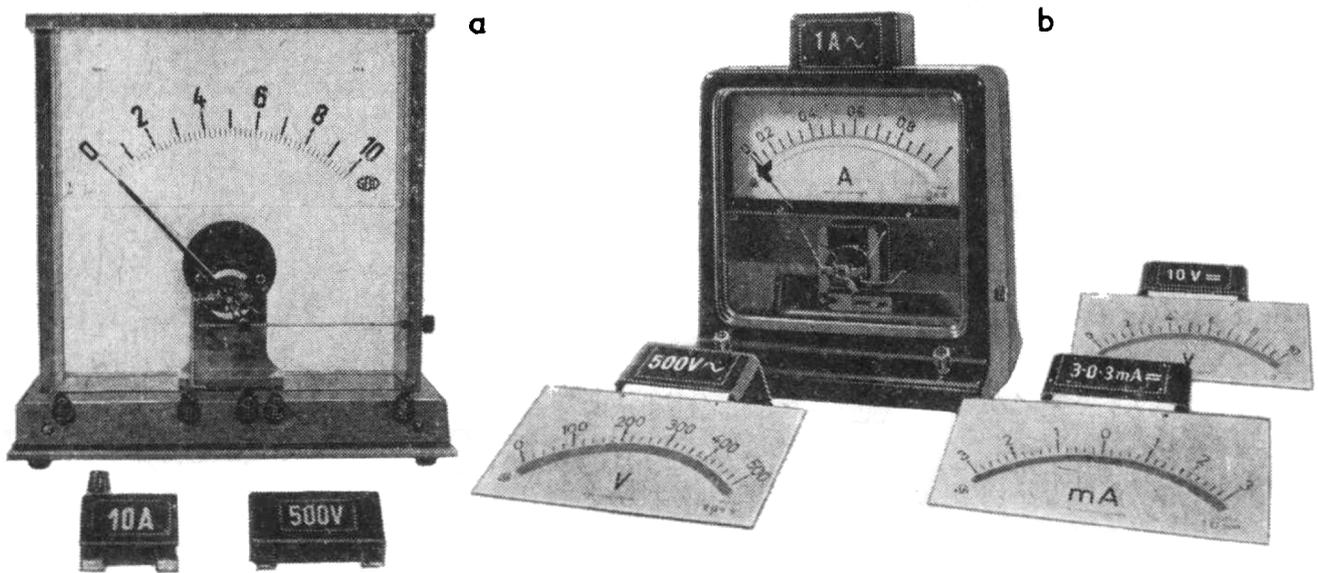


Abb. 42 Drehspul-Demonstrationsinstrumente

handen, so lassen sich die Schwierigkeiten durch arbeitsteilige Arbeitsweise im Unterricht überbrücken. Beim Arbeiten mit Wechselspannung können bei Schülerexperimenten auch *Kopfhörer* als Stromindikatoren eingesetzt werden. Für Brückenmessungen kann auch ein *Nullinstrument* (Drehspul-Mikro-Strommesser mit Ruhelage in der Mitte) notwendig sein.

Für experimentelle Arbeiten des Lehrers bei der Vorbereitung des Unterrichts ist die Anschaffung eines *Vielfachmeßgerätes* zu empfehlen. Dieses sehr genau arbeitende Gerät läßt sich bei Gleich- und Wechselspannung einsetzen und kann in verschiedenen Meßbereichen als Strom- und Spannungsmeßgerät verwendet werden. Die verschiedenen Meßbereiche sind mit einem Schalter zu wählen. Für Demonstrationsexperimente ist ein solches Gerät nicht geeignet, da es nur in waagerechter Lage benutzt werden kann und die Skale klein ist.

**Elektrisches Kleinmaterial** ist für das Ausführen elektrochemischer Experimente erforderlich.

*Glühlampnbrettchen* (Abb. 43) können bei Schülerexperimenten in den Stromkreis geschaltet werden, um den Stromfluß anzuzeigen.

*Holtzsche Klemmen* sind in einigen Fällen bei Experimenten zur Elektrolyse nützlich. Sie bestehen aus einem Eisenfuß, auf dem sich ein Porzellanisolator mit einem senkrechten Eisenstab befindet. Dieser besitzt Bohrungen, in die Metallstäbe oder Drähte eingeführt werden können (→ S. 247). An den Eisenstäben lassen sich dann Elektroden anbringen. Sind Holtzsche Klemmen nicht vorhanden, so kann auch Stativmaterial verwendet werden.

*Zuleitungen* (Verbindungsleitungen) werden in beträchtlicher Anzahl benötigt. Sie sind an beiden Seiten mit Bananensteckern zu versehen. Vorteilhaft sind solche Stecker, die mit dem Kabel verlötet werden können. Günstige Längen für Zuleitungen sind 30 cm, 50 cm, 100 cm und 150 cm. Gut eignet sich Litze, da sie flexibel ist und daher weit weniger Kabelbrüche auftreten als bei Volldraht. Steht nur Volldraht zur Verfügung (isolierter Volldraht von 0,5 ... 1 mm<sup>2</sup> Querschnitt), so läßt sich dessen Flexibilität erhöhen, indem er um ein 1 cm starkes Rundholz gewickelt

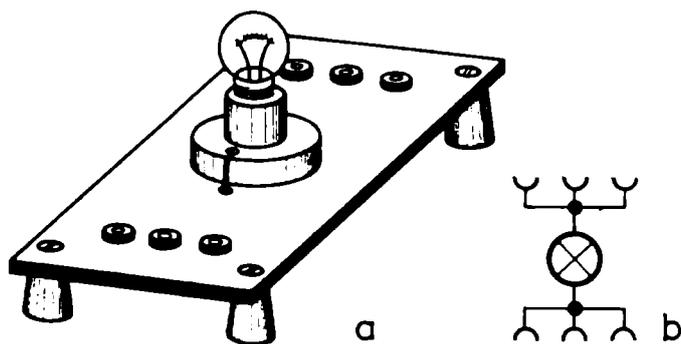


Abb. 43

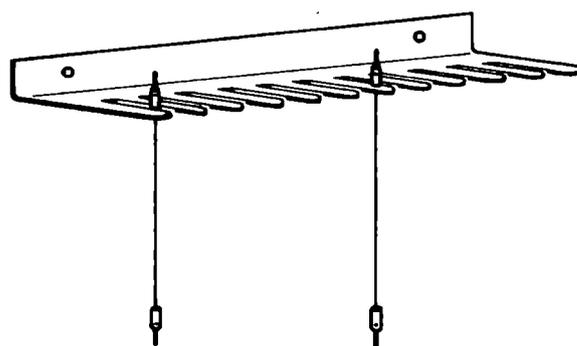


Abb. 44

Abb. 43 Glühlampenbrett (a) und dessen Schaltung (b)

Abb. 44 Vorrichtung zum Aufhängen von Zuleitungsdrähten

und die entstehende Drahtwendel dann auf die erforderliche Länge ausgezogen wird. Für einige Experimente, bei denen mit höheren Stromstärken zu arbeiten ist (z. B. Schmelzflußelektrolyse), sind Zuleitungen mit einem stärkeren Leiterquerschnitt erforderlich. Die Zuleitungen werden am besten nach Art und Länge sortiert in einem Gestell (Abb. 44) aufgehängt, das sich gegebenenfalls selbst herstellen läßt. Ferner sollte in beschrifteten Schachteln folgendes Zubehör vorhanden sein:

*Bananenstecker* (möglichst mit Berührungsschutz), ein- und zweiseitige *Kupplungen* für *Bananenstecker*, *Krokodilklemmen*, *Kabelschuhe* und kleine *Glühlampen* für verschiedene Spannungen. *Gleitwiderstände* werden gesondert behandelt (↗ S. 52).

**Elektroden** werden bei elektrochemischen Experimenten nach den jeweiligen Reaktionsbedingungen ausgewählt. Verschiedene Materialien finden Anwendung. Vorschläge für die häufigsten Fälle unterbreitet *P. Lange* [41].

*Graphitelektroden* sind im Chemieunterricht vor allem als *Anode*, aber auch als *Katode* geeignet. Sie werden bei der anodischen Sauerstoffabscheidung langsam zerstört, sind aber bei der Abscheidung von Halogenen sehr beständig. Neben den besonders für elektrolytische Experimente gelieferten Kohleelektroden sind auch *Lichtbogenkohlen* (ohne Docht) und *Graphitelektroden* aus Taschenlampenbatterien (besonders für Schülerexperimente) geeignet.

Elektroden können weiterhin aus verschiedenen *Metallen* bestehen (Tab. 11).

**Tabelle 11** Elektroden aus Metall

Reaktion der Lösung oder Schmelze		
stark sauer	neutral, schwach sauer oder schwach basisch	stark basisch
Kupfer <sup>1</sup>	fast alle Schwermetalle	Eisen Nickel
Blei <sup>2</sup>		Kupfer

<sup>1</sup> Nicht in konzentrierter Salpetersäure

<sup>2</sup> Nicht in Salpeter- oder Ethansäure

Bei einigen Experimenten zur technischen Anwendung der Elektrolyse sind besondere Anoden notwendig (z. B. Aluminium zur Aloxidierung, Messing oder Neusilber zur Demonstration der Kupferraffination).

*Platinelektroden* (Abb. 45) stehen für Schulexperimente kaum zur Verfügung. Platin darf nicht mit konzentrierten Lösungen oder Schmelzen von Alkalimetallhydroxiden sowie Alkalimetall- und Erdalkalimetallnitraten und -nitriten in Berührung kommen. Außerdem wird Platin von Halogenen, besonders in atomarem Zustand, angegriffen. Platinelektroden sind deshalb für die Elektrolyse von Halogeniden und Halogenwasserstoffsäuren nicht geeignet. Sie dürfen auch nicht mit Königswasser gereinigt werden.

**Eudiometer** sind einseitig verschlossene Glasrohre mit Millimetereinteilung, in denen Gase aufgefangen, gemessen und bestimmte Gasreaktionen durchgeführt werden können. Es dürfen maximal 15 ml explosives Gemisch zur Reaktion gebracht werden. Die reagierenden Stoffe sollen möglichst nicht im stöchiometrischen Verhältnis vorliegen. Muß in Ausnahmefällen damit gearbeitet werden, darf das Volumen 8 ml nicht übersteigen. Die im Chemieunterricht üblichen Eudiometer (Abb. 46) sind am zugeschmolzenen Ende mit zwei Elektroden zum Zünden von Gasgemischen versehen. Zuweilen sind auch durch einen Hahn einseitig verschlossene Rohre anzutreffen. Sie unterscheiden sich von den Büretten mit geradem Hahn nur dadurch, daß die Skale direkt am Hahn beginnt. Durch Zuschmelzen abgebrochener Bürettenrohre können Eudiometer ohne Elektroden auch selbst hergestellt werden. Eudiometer sind fest an einem standsicheren, möglichst beschwerten Stativ anzubringen.

**Exsikkatoren** dienen zum Trocknen und Aufbewahren von Stoffen und Stoffgemischen (Tab. 12). Der Exsikkator (Abb. 47) besteht aus Unterteil und Deckel. In das Unterteil werden die hygroskopischen Stoffe gebracht (↗ S. 211).

**Tabelle 12** *Exsikkatoren*

Innendurchmesser $d$ in mm (Nenngröße)	100	150	200	250	300
Außendurchmesser $d_2$ in mm	152	212	267	317	372
Durchmesser am Fuß $d_3$ in mm	62	96	125	160	189
Gesamthöhe $h_1$ in mm	172	227	273	330	386
Höhe des Unterteils $h_2$ in mm	104	146	178	220	260

Die *Exsikkatorplatten* aus Porzellan werden als Unterlage für die zu trocknenden Gegenstände in den Exsikkator eingelegt. Platten mit großen oder kleinen siebartigen Löchern sind je nach dem Verwendungszweck auszuwählen (Tab. 13).

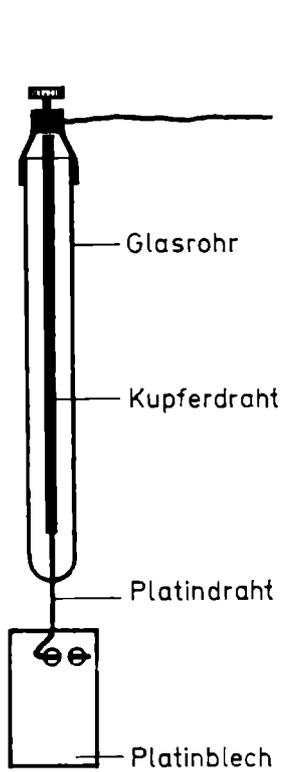


Abb. 45

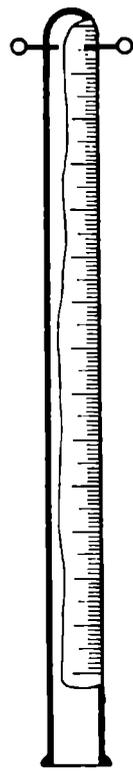


Abb. 46

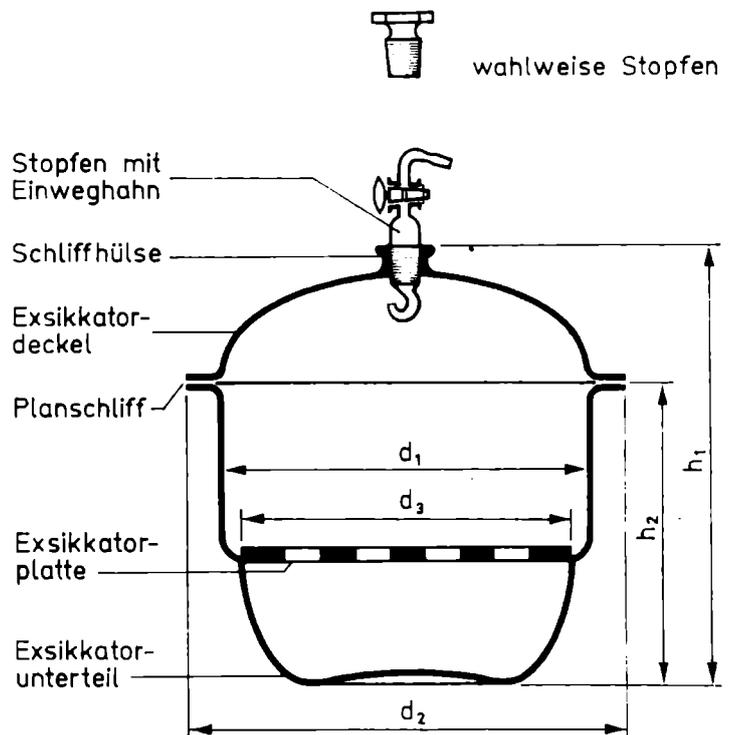


Abb. 47

Abb. 45 Platinelektrode

Abb. 46 Eudiometer

Abb. 47 Exsikkator

**Tabelle 13 Exsikkatorplatten**

Durchmesser $d$ in mm (Nenngröße)	92	132	186	234	283
Passend zum Exsikkator in mm (Nenngröße)	100	150	200	250	300

**Extraktionsapparate** (↗ Abschnitt 2.1.7.3., S. 213)

**Fettstifte** können zum Beschriften von Glasgeräten benutzt werden. Die Schrift kann nach schwachem Erwärmen mit einem Tuch abgewischt werden. Das Entfernen gelingt auch mit einem alkoholbefeuchteten Tuch. Beständigere Beschriftungen können mit anderen Materialien erreicht werden (↗ S. 322).

**Filter** zum Trennen von Flüssigkeiten und festen Stoffen können aus sehr verschiedenen Materialien bestehen. Im Chemieunterricht haben Papierfilter große Bedeutung. Je nach der Art der auszuführenden Trennung ist die Papiersorte des Filters zu wählen (Tab. 14). Neben großen Filterpapierbogen ist eine größere Anzahl *Rundfilter* und *Faltenfilter* anzuschaffen. Diese Filter sind mit Größen zwischen 50 mm und 500 mm in Abstufungen von je 10 mm im Handel. Im Chemieunterricht werden vornehmlich die Größen 50 mm, 70 mm, 80 mm, 110 mm und 120 mm benötigt.

**Tabelle 14** Filter für qualitative Arbeiten

Qualität	Anwendungsgebiet
3 Weich	für größere Filtrationsgeschwindigkeiten zur Abtrennung grober Niederschläge
<b>3 Mittel</b>	mittlere Filtrationsgeschwindigkeit zur Abtrennung mittelfeiner Niederschläge
3 Hart	für geringere Filtrationsgeschwindigkeiten zur Abtrennung feiner Niederschläge
50 Patent	für schwer zu klärende Flüssigkeiten
460 Tr	für Absaugarbeiten
488 Gehärtet	zum Filtrieren aggressiver Lösungen (z. B. Basen und Säuren)

Filter für quantitative Arbeiten (Tab. 15) sind für den Chemieunterricht selbst kaum erforderlich, jedoch für analytische Experimente in der außerunterrichtlichen Arbeit.

**Tabelle 15** Filter für quantitative Arbeiten

Qualität	Anwendungsgebiet
388 Weich 389 Mittel 390 Hart 391 Extra hart	aschefreie Filterpapiere für alle quantitativen Arbeiten mit unterschiedlicher Filtrationsgeschwindigkeit in den Abmessungen 55 mm, 70 mm, 90 mm, 110 mm, 125 mm, 150 mm und 185 mm

Sinterglas sowie poröse Tonmassen sind als Filtermaterial in verschiedene Laborgeräte, zum Beispiel Gaswaschflaschen, fest eingebaut.

Filter aus Sinterglas werden in verschiedener Porenweite hergestellt. Für die Arbeit im Chemieunterricht können die Größen G 3 (Porenweite 15 ... 50  $\mu\text{m}$ ) und G 4 (Porenweite 5 ... 15  $\mu\text{m}$ ) wichtig sein.

**Filtriergeräte.** An dieser Stelle werden alle für das Filtrieren im Rahmen des Chemieunterrichts und der außerunterrichtlichen Arbeit ( $\nearrow$  S. 207) wichtigen Geräte mit Ausnahme der Trichter ( $\nearrow$  S. 92) zusammengefaßt.

Nutschen oder Büchnertrichter sind zum Abtrennen von Flüssigkeiten durch Absaugen geeignet (Abb. 48). In diese Trichter (Tab. 16) sind bei der Verwendung angefeuchtete Papierfilter entsprechender Größe einzulegen. Büchnertrichter werden auch aus Glas mit einer Schlitzfritte oder mit einer Glassinterplatte gefertigt.

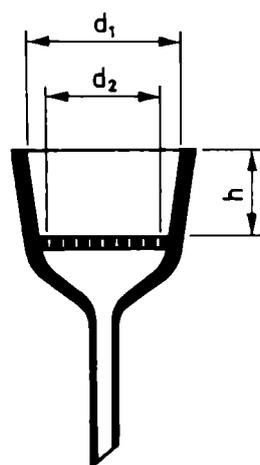


Abb. 48

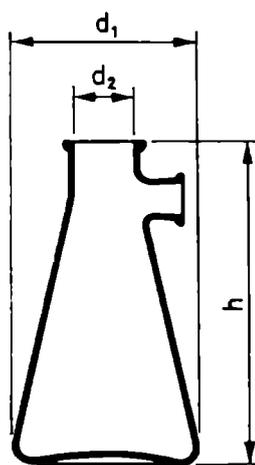


Abb. 49

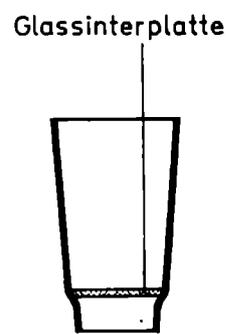


Abb. 50

Abb. 48 Filternutsche (Büchnertrichter) aus Porzellan

Abb. 49 Saugflasche

Abb. 50 Fritte (Glasfiltertiegel)

**Tabelle 16** Filternutschen nach Büchner

Durchmesser des passenden Papierfilters in mm (Nenngröße)	45	55	70	90	125	150
Durchmesser der Nutsche $d_1$ in mm	48	60	75	95	130	156
Großer Durchmesser der Lochplatte $d_2$ in mm	39	47	61	80	114	137
Inhalt des Filterraums in $\text{cm}^3$	45	85	150	280	700	1100
Passende Saugflasche in $\text{cm}^3$	250	250	500	500	1000	1000

Saugflaschen (Abb. 49) haben die Form von Erlenmeyerkolben mit Seitenrohr (Tab. 17). Sie bestehen aus dickwandigem Glas. Mit Hilfe von durchbohrten Stopfen lassen sich auf Saugflaschen Trichter und Nutschen aufsetzen. Die Filtration kann beschleunigt werden, indem die Saugflasche über eine zwischengeschaltete Sicherheitswaschflasche an eine Wasserstrahlpumpe angeschlossen und damit ein Unterdruck erzeugt wird (↗ S. 210).

Saugflaschen sind wegen der starken Wandung als Kolben für Gasentwickler ungeeignet.

**Tabelle 17** Saugflaschen

Nennvolumen in $\text{cm}^3$	250	500	1000	2000
Größter Durchmesser $d_1$ in mm	85	105	135	170
Innendurchmesser des Halses $d_2$ in mm	34,5	34,5	45	45
Gesamthöhe $h$ in mm	155	185	230	265

*Fritten* oder Glasfiltertiegel (Abb. 50) dienen in der analytischen und präparativen Chemie zum Absaugen von Fällungen, die sich dann später in der Fritte direkt auswiegen lassen. Diese Geräte können nicht geglüht werden. Stark basische Stoffe zerstören die Fritten. Fritten werden in einer hohen, schmalen (1; Inhalt 30 cm<sup>3</sup>) und einer flachen weiten Form (2; Inhalt 15 cm<sup>3</sup>) mit Glasfiltern (→ S. 42) hergestellt. Für Arbeitsgemeinschaften in der Chemie kommen Fritten G 3 und G 4 in Betracht.

In *Filtertiegeln* aus keramischem Material, die einen porösen, zur Filtration geeigneten Boden besitzen, kann der Filterrückstand direkt geglüht werden.

**Flaschen** (Standflaschen, Chemikalienflaschen) werden im Chemieunterricht vor allem zur Chemikalienaufbewahrung in Vorratsschränken, für Demonstrationsexperimente sowie als Pipettenflaschen für Schülerarbeitsplätze benötigt.

*Standflaschen* aus Glas werden mit austauschbaren Kegelschliffstopfen (Abb. 51) hergestellt, aber auch mit einem Tubus für Gummi-, Plast- oder Korkstopfen geliefert. Von jeder Größe gibt es eine enghalsige Form für Flüssigkeiten und eine weithalsige Form für feste Stoffe (Tab. 18).

**Tabelle 18** *Standflaschen*

Nennvolumen in cm <sup>3</sup>	10 <sup>1</sup> ● 25	50	100	250	500	1000	2000		
Flaschendurchmesser <i>d</i> in mm	27	34	42	52	70	87	108	133	
Höhe <i>h</i> in mm	58	72		89	103	132	163	200	246
<b>Enghalsflasche</b> Kegelschliff NS	–	14/23		19/26	24/29		29/32		
<b>Weithalsflasche</b> Kegelschliff NS	–	19/26	24/29	29/32	34/35	45/40		60/46	

<sup>1</sup> Weithalsflasche notwendig

Für lichtempfindliche Stoffe sind Flaschen aus braunem Glas zu verwenden. Weithals- und Enghalsflaschen werden auch mit einem Nennvolumen von 5000 cm<sup>3</sup>, 10000 cm<sup>3</sup> und 20000 cm<sup>3</sup> hergestellt. Weithalsflaschen sind für den Chemieunterricht besonders in Größen zwischen 50 cm<sup>3</sup> und 250 cm<sup>3</sup> Inhalt nötig. Für Flüssigkeiten werden besonders Enghalsflaschen mit 250 cm<sup>3</sup> Nennvolumen, für einige häufiger benutzte Reagenzien 500-cm<sup>3</sup>-Flaschen verwendet. Bei gefährlichen Stoffen sind die Flaschengrößen in Abhängigkeit von den zulässigen Höchstgrenzen zu wählen. Für Schülerexperimente sollten Flaschen mit 25 cm<sup>3</sup> Inhalt bevorzugt werden, sofern nicht Pipettenflaschen zur Verfügung stehen. Pipettenflaschen werden mit eingeschliffenem Pipettenstopfen (Abb. 52a) in runder oder viereckiger Form oder mit Gewindekappe (Abb. 52b) in runder, sechseckiger und viereckiger Form

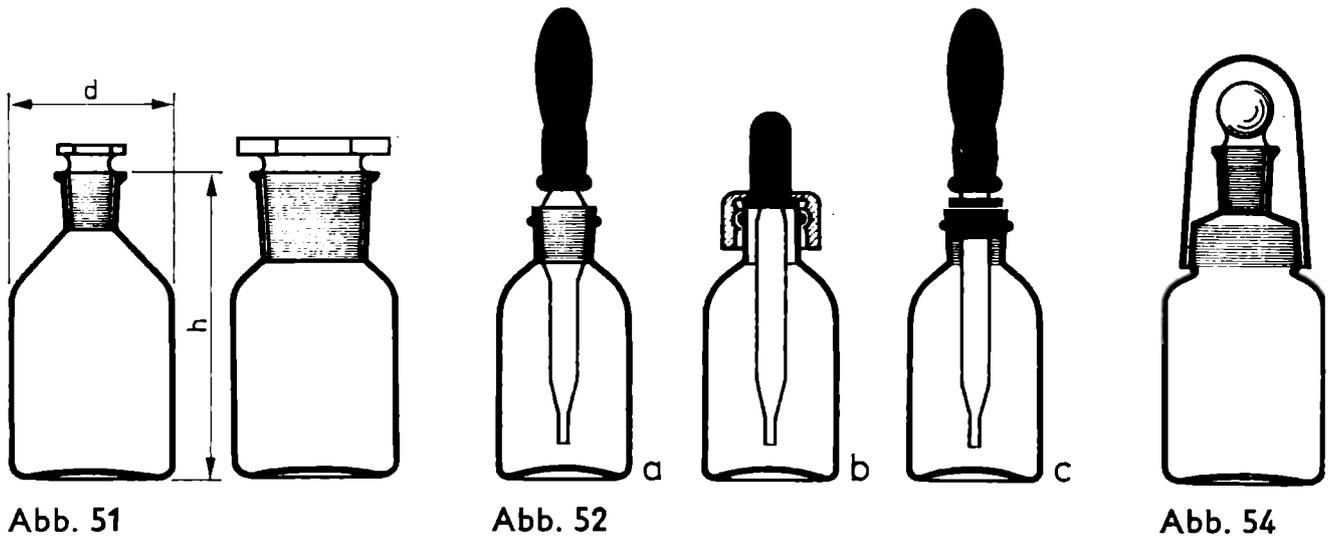


Abb. 51 Enghalsflasche (Steilbrustform) und Weithalsflasche (Steilbrustform)

Abb. 52 Pipettenflaschen

a) mit eingeschliffenem Stopfen,

b) mit Gewinde,

c) mit Gummistopfen

Abb. 54 Kappenflasche

(für Halbmikro-Flaschengestelle) hergestellt. Die viereckige Form ist am günstigsten. Pipettenflaschen lassen sich auch aus kleinen Flaschen selbst anfertigen, wenn ein Glasrohr mit Spitze in einen passenden durchbohrten Gummistopfen ( $d = 8 \text{ mm}$ ) geschoben und ein Sifonsauger aufgesetzt wird (Abb. 52c). Diese Ausführung ist für Alkalimetallhydroxidlösungen unbedingt erforderlich, da Schliffstopfen nach kurzer Zeit nicht mehr lösbar sind. Einige größere Pipettenflaschen mit  $50 \text{ cm}^3$  oder  $100 \text{ cm}^3$  Inhalt sind bei Demonstrationsexperimenten für Indikatorlösungen zu empfehlen.

Für Halbmikroarbeitssätze werden *Halbmikro-Standflaschen* (Abb. 53) mit  $30 \text{ cm}^3$  Inhalt verwendet. Die Halbmikro-Standflaschen mit Kegelschliff (Abb. 53c) sind für Säuren und leichtflüchtige Verbindungen, besonders aus der organischen Chemie, vorzusehen. Sie dürfen nicht am Sifonsauger transportiert werden.

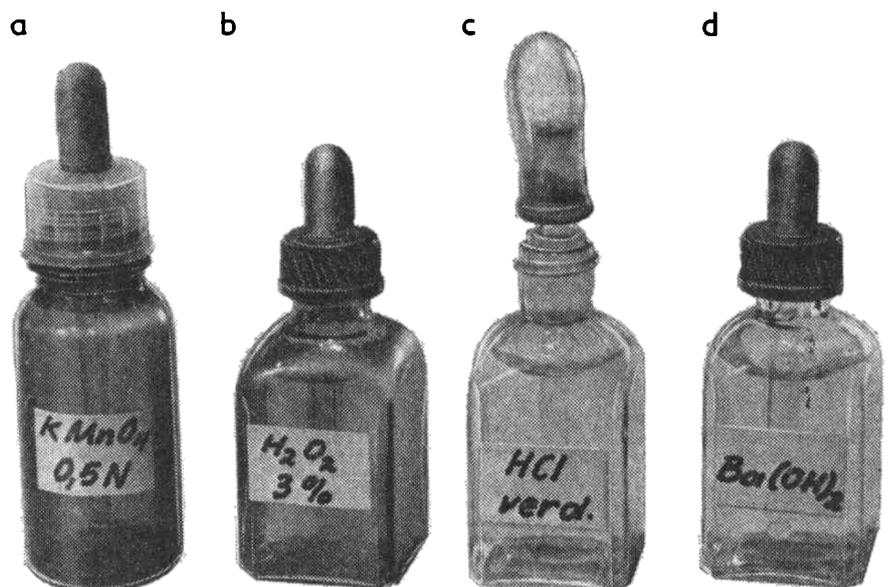


Abb. 53 Halbmikro-Standflaschen

a) rund, mit Gewinde,

b) viereckig, braun, mit Gewinde

c) mit Kegelschliff,

d) viereckig, weiß, mit Gewinde

Sifonsauger auf Flaschen mit konzentrierten Säuren und ätzenden Stoffen müssen von Zeit zu Zeit erneuert werden.

Flüssigkeiten, die ätzende Dämpfe abgeben, sind am besten in *Säureflaschen* (*Kappenflaschen*) (Abb. 54) aufzubewahren, die doppelt verschlossen werden können. Ihre Abmessungen, außer der Höhe, entsprechen denen anderer Flaschen. Für Schulexperimente sind 3 bis 5 solcher Flaschen mit 250 cm<sup>3</sup> Inhalt notwendig.

**Füllkörper** werden benötigt, um Hohlräume in Reaktionsgefäßen auszufüllen. Die Vergrößerung der Oberfläche begünstigt Reaktionen zwischen Gasen und Flüssigkeiten. Für den Chemieunterricht sind vor allem Glasperlen und Glasringe (Raschigringe) wichtig, von denen immer eine gewisse Anzahl vorrätig sein muß. Die Ringe können aus Glasrohrstückchen auch selbst hergestellt werden.

**Funkeninduktoren** werden bei einigen chemischen Experimenten zur Erzeugung von Funkenstrecken (↗ S. 252) benötigt. Es finden vor allem Geräte mit Hammerunterbrecher (Abb. 55) Anwendung. Sehr zweckmäßig ist der Ersatz des Funkeninduktors durch einen kleinen Teslatransformator. Es ist ratsam, diese Geräte aus der Physiksammlung zu entleihen.

**Gärrohre** werden im Chemieunterricht als gasdichte Ventile auf Geräten, zum Beispiel auf Kippschen Gasentwicklern, verwendet (Abb. 56).

**Gasbüretten** dienen zum Auffangen und Messen kleiner Gasvolumen bei der quantitativen Analyse von Gasgemischen.

In der *Hempel-Bürette* (Abb. 57 a), die recht einfach zu handhaben ist, können genau 100 cm<sup>3</sup> Gasgemisch aufgefangen und zur Absorption in besondere Vorlagen, die Gaspipetten, übergeführt werden (↗ S. 185).

In der *Bunte-Bürette* (Abb. 57 b) können Messung und Absorption im gleichen Rohr durchgeführt werden.

**Gaseinleitungsrohre** sind sehr zweckmäßig, wenn eine innige Berührung eines Gases mit einer Flüssigkeit erreicht werden soll (z. B. Demonstrationsexperiment zum Ammoniak-Soda-Verfahren). Sie werden in drei Formen (Abb. 58), die jeweils

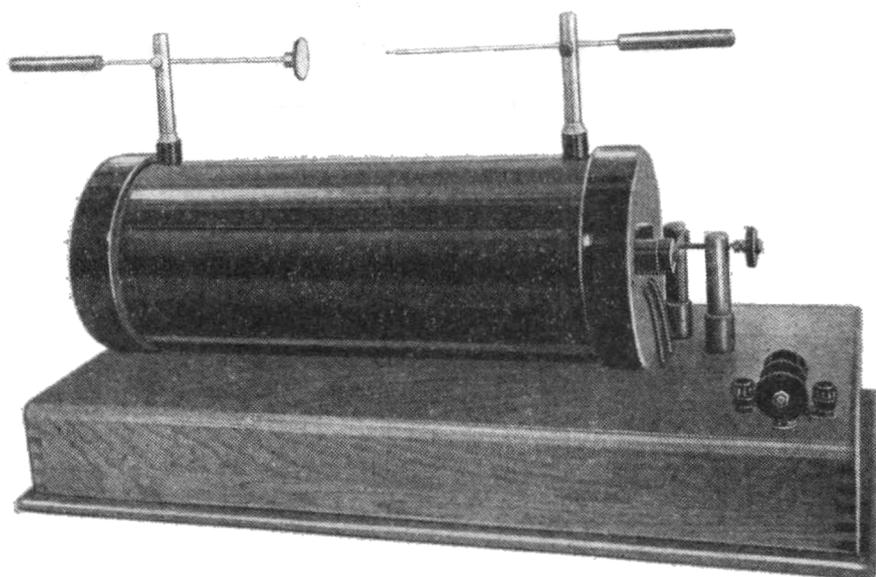


Abb. 55  
Funkeninduktor

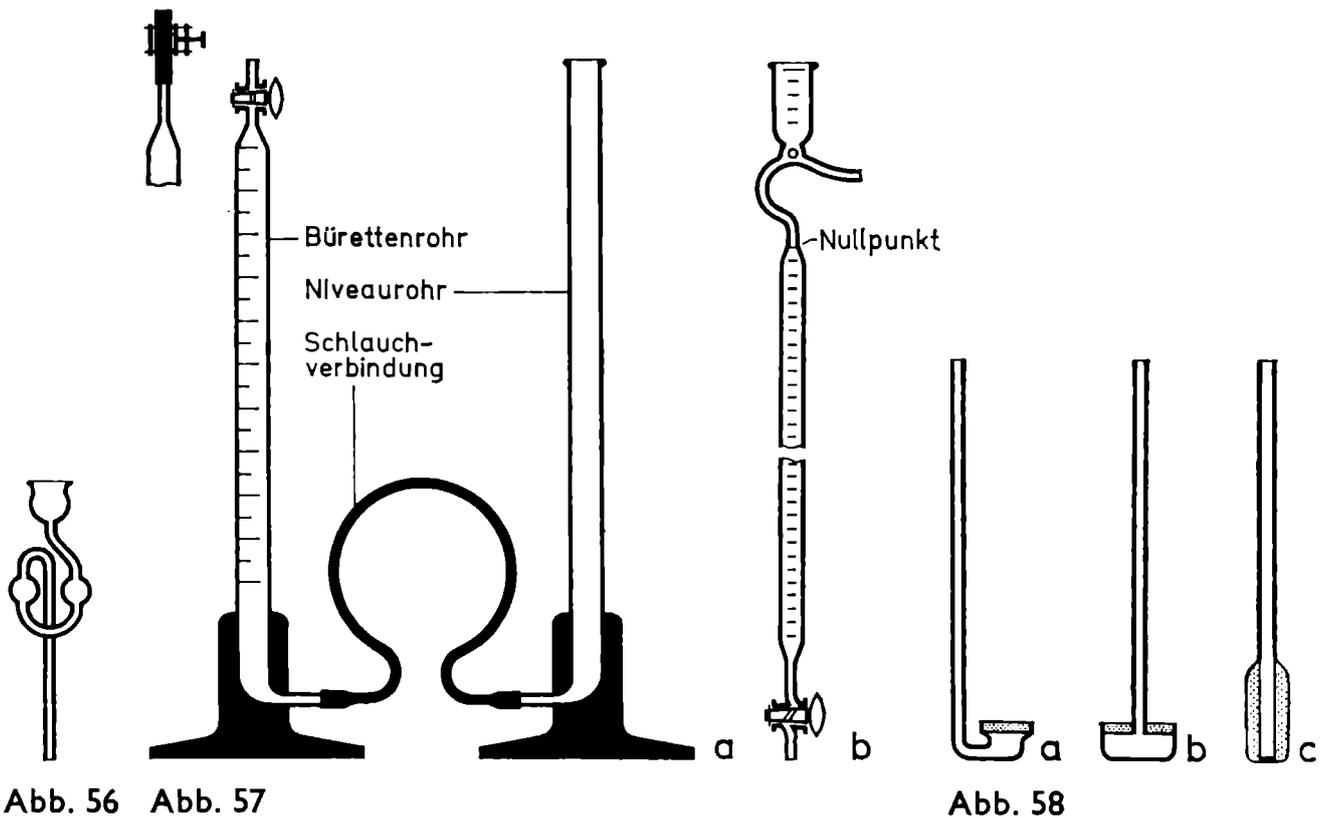


Abb. 56 Abb. 57

Abb. 58

Abb. 56 Gärrohr

Abb. 57 Gasbüretten a) Hempel-Bürette, b) Bunte-Bürette

Abb. 58 Gaseinleitungsrohr mit Fritte in drei Formen

4 verschiedene Porenweiten (G 1 bis G 4) aufweisen, geliefert. Für Schulexperimente ist die Form B (Abb. 58b) mit Fritte G 3 oder G 4 nützlich.

**Gasentwickler** stellt sich der Lehrer in den meisten Fällen aus Geräten selbst zusammen (↗ S. 156ff.). An dieser Stelle soll nur auf die Größen der Kippschen Gasentwickler (Abb. 59) hingewiesen werden (Tab. 19). Das Nennvolumen bezieht sich auf die mittlere Kugel.

**Tabelle 19** Kippscher Gasentwickler

Nennvolumen in cm <sup>3</sup>	250	500	1000	2000
Fußdurchmesser $d$ in mm	140	180	210	220
Gesamthöhe $h_1$ in mm	350	400	480	540
Höhe des Unterteils $h_2$ in mm	180	220	270	320

**Gasmeßglocken** nach Müller werden zum Messen von Gasvolumen benutzt (Abb. 60). Bei Schulexperimenten sind Glocken mit einem Volumen von 250 cm<sup>3</sup> vorteilhaft. Der Standzylinder, in den die Glocke taucht, ist so hoch und weit zu wählen, daß die Glocke nach dem Füllen mit Gas noch vollständig in das Wasser

eintauchen kann. Die Glocke kann durch eine auf dem Standzylinder aufliegende Metallklammer in der jeweils notwendigen Höhe gehalten werden. In den Stopfen sind Kapillarröhre einzuführen.

**Gasometer** zum Auffangen und zur Wiederentnahme von Gasen werden in den meisten Fällen aus verschiedenen Geräten zusammengesetzt (↗ S. 172). Als kompletter Apparat findet der Gasometer nach *Berzelius* (↗ Abb. 229, S. 187) zuweilen Anwendung.

**Gaspipetten** nach *Hempel* dienen im Zusammenwirken mit Gasbüretten zur Untersuchung der Zusammensetzung von Gasgemischen. Im einfachsten Falle besteht die Pipette aus zwei kommunizierend miteinander verbundenen Glaskugeln mit einem Volumen von  $150 \text{ cm}^3$  (Abb. 61).

**Gasprobenrohre** (Gassammelrohre, Glaswalzen) werden zuweilen benutzt, um die Litermasse von Gasen durch Wägung zu bestimmen (Abb. 62). Gasprobenrohre haben im allgemeinen ein Volumen von  $250 \text{ cm}^3$  oder  $500 \text{ cm}^3$ .

**Gaswaschflaschen** werden für Reaktionen zwischen Gasen und Flüssigkeiten, vor allem zum Reinigen und Trocknen von Gasen, eingesetzt (Tab. 20). Die für den Chemieunterricht besonders günstige Gaswaschflasche (Abb. 63a) hat die Grundform nach *Kölliker*, jedoch ohne Fritte, und einen Nutzinhalt von  $200 \text{ cm}^3$ , einen Stopfen (NS 29/32) sowie Anschlußrohre mit 8 mm Außendurchmesser. Diese Gaswaschflasche ist relativ stand- und bruchstabil. Oft wird auch die Gaswaschflasche nach *Drechsel* (Abb. 63b und c) mit Inhalten von  $100 \text{ cm}^3$  und  $250 \text{ cm}^3$  verwendet. Sie wird in unterschiedlichen Ausführungen geliefert. Die langen Gasleitungsrohre brechen beim Abnehmen des Oberteiles leicht ab. Die mit standardisierten Kegelschliffen versehenen Unter- und Oberteile sind beim Experimentieren, zum Beispiel beim Auffangen von Chlor (↗ S. 174), gegeneinander austauschbar.

**Tabelle 20** Gaswaschflaschen

Form	Abb. 63b		Abb. 63c		Abb. 63d		
	100	250	500	1000	200	250	500
Nennvolumen in $\text{cm}^3$							
Durchmesser $d_1$ in mm	34	55	75	120	55	65	80
Fußdurchmesser $d_2$ in mm	60	75	—	—	75	—	—
Höhe bis Ansatzrohr $h$ in mm	$250 \pm 4$		$250 \pm 4$		150	170	225
Kegelschliff NS	29/32		29/32		29/32		34,5/35

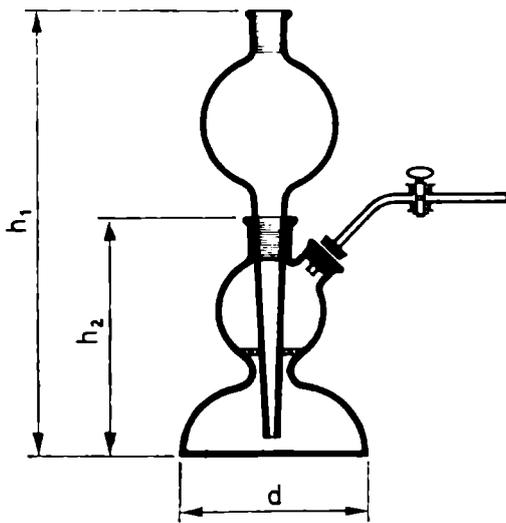


Abb. 59

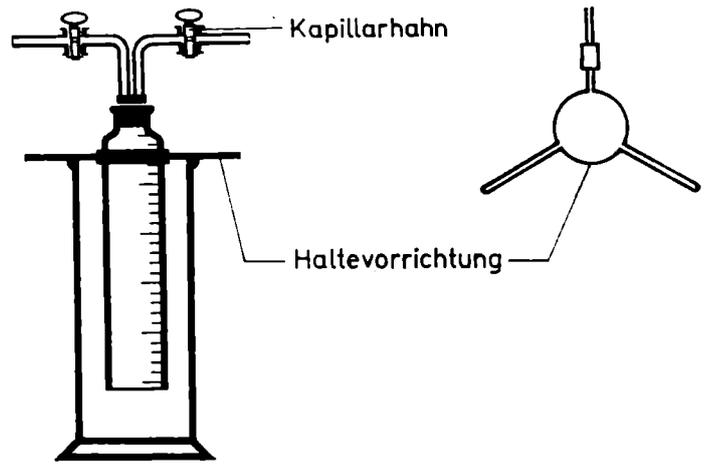


Abb. 60

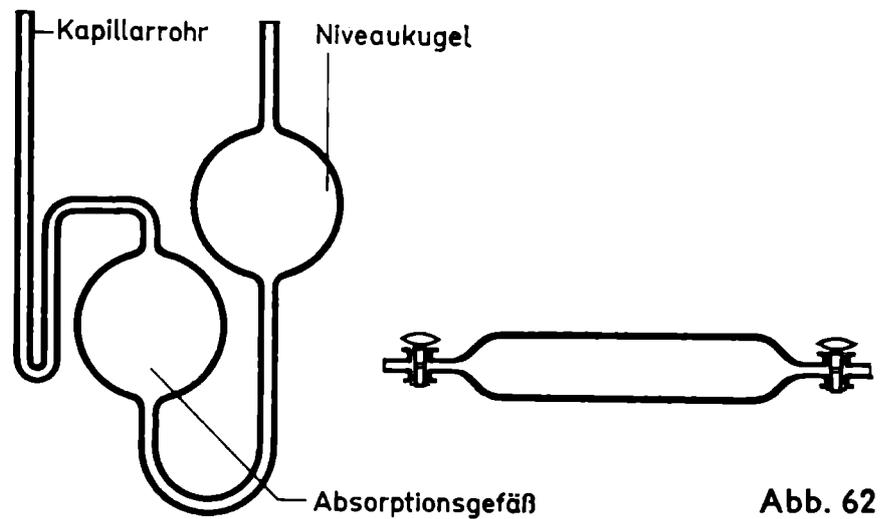


Abb. 61

Abb. 62

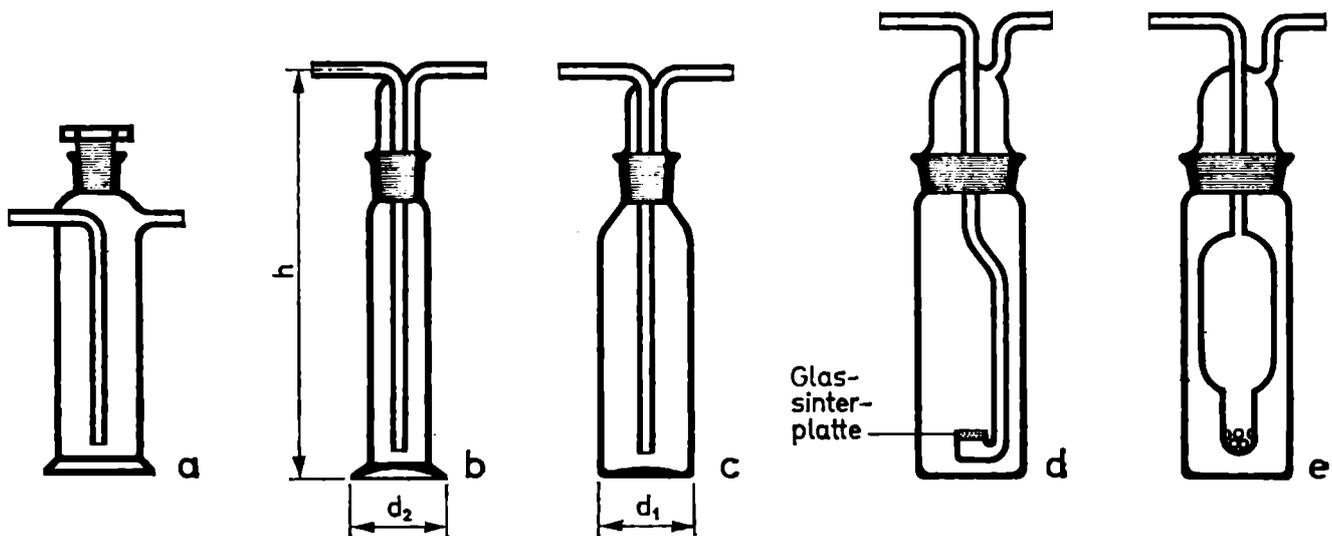


Abb. 63

- Abb. 59 Kippscher Gasentwickler
- Abb. 60 Müllersche Gasmeßglocke mit Halteklammer
- Abb. 61 Gaspipette nach *Hempel* mit zwei Kugeln
- Abb. 62 Gasprobenrohr
- Abb. 63 Gaswaschflaschen a) mit Schliffstopfen, b) nach *Drechsel* (mit Fuß), c) nach *Drechsel* (ohne Fuß), d) mit Fritte, e) nach *Müncke*

Die angegebenen Gaswaschflaschen garantieren nur bei recht schwachem Gasstrom (wenige Blasen je Sekunde) eine wirksame Berührung des Gases mit der Flüssigkeit. Im Chemieunterricht ist das allerdings meist ausreichend.

Gaswaschflaschen mit weitem Einleitungsrohr nach Müncke (Abb. 63e) vermindern die Gefahren des Zurücksteigens von Flüssigkeit entgegen der Strömungsrichtung. Einige solcher Geräte sollten ebenfalls vorrätig sein. In Frittenwaschflaschen (Abb. 63d) berühren sich Flüssigkeit und Gas besonders intensiv, da das Gas in sehr feinen Blasen aufsteigt. Diese Flaschen sind jedoch für Hydroxidlösungen nicht geeignet.

**Gebläse** dienen zur Erzeugung eines kräftigen Luftstroms. Günstig sind *elektrische Gebläse* (Abb. 64), wie sie zum Schweißen von Platten angewendet werden. Bei den meisten Experimenten sind allerdings nur geringe Luftvolumen je Sekunde zu transportieren, so daß Gummihandgebläse ausreichen. Vorteilhaft sind *Gummi-doppelgebläse* (Abb. 65) mit einer zweiten Gummiblase, durch deren Aufblasen ein gleichmäßiger Gastrom erreicht werden kann. Andere drucklufterzeugende Geräte sind Drehschieberpumpen, die im Fachunterrichtsraum für den Physikunterricht vorhanden sein können. Viele Gebläse sind zugleich auch als Pumpen zum Ansaugen von Luft oder Gasen geeignet, wobei die Wahl des betreffenden Gerätes von den Eigenschaften des Gases abhängig ist.

**Glasplatten** sind zum Abdecken der Standzylinder notwendig, wenn Gase aufgefangen und untersucht werden sollen. Für den Chemieunterricht ist die runde Form wichtig. Glasplatten mit plangeschliffenem Rand sind nur für Standzylinder mit dazu passendem Durchmesser geeignet, wenn diese dicht abgeschlossen werden sollen. Vielseitiger verwendbar sind Glasplatten mit vollständig gesandeter Fläche. Runde Glasplatten werden mit folgendem Durchmesser geliefert: 40 mm, 60 mm, 80 mm, 120 mm, 160 mm.

**Glasrohre** sind zum Aufbau von Apparaten und Apparaturen unerlässlich. Im Chemieunterricht werden besonders Biege- und Kapillarrohre benötigt. Biege-

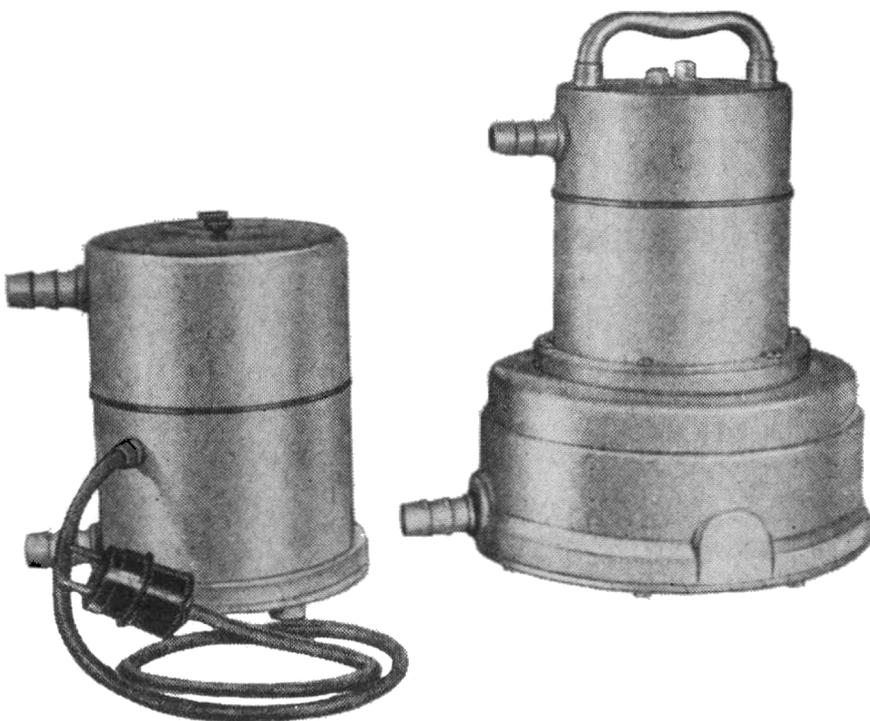


Abb. 64  
Elektrische Gebläse

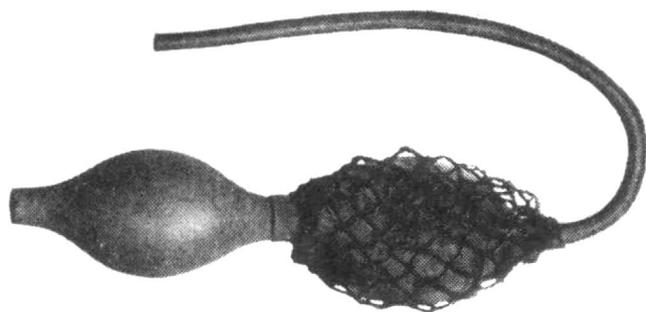


Abb. 65 Gummidoppelgebläse

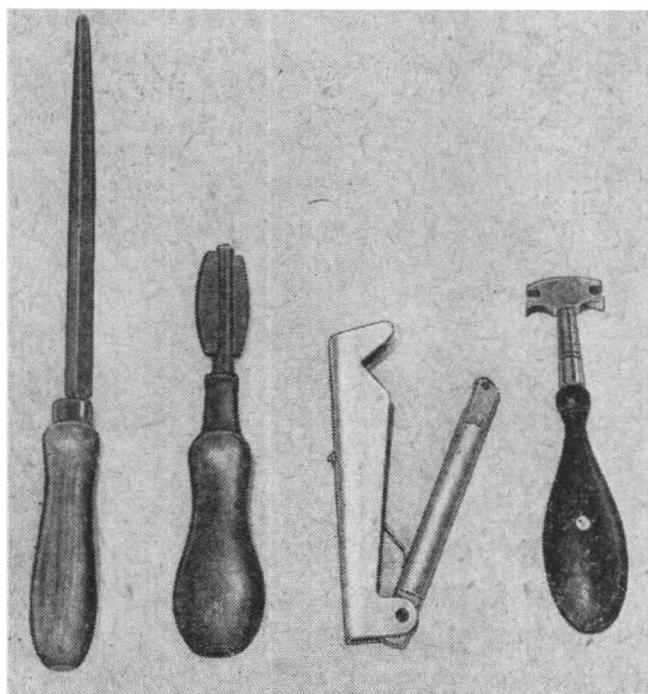


Abb. 66 Geräte zum Glasschneiden  
 a) Dreikantfeile, b) Widiameser,  
 c) Glasrohrschneider,  
 d) Glasschneider mit Diamant

rohre sollten Außendurchmesser von 5 mm und 8 mm haben. Die Rohre werden meist in Längen von 1,40 m geliefert. Kapillarrohre mit sehr kleinem Innendurchmesser gehören für besondere Fälle zur Ausrüstung. Auch hier sind Kapillarrohre mit einem Außendurchmesser von 8 mm (Innendurchmesser 1,5 mm) vorteilhaft.

**Glasrohrschneider** dienen zum Trennen von Glasrohren. Dabei werden die Glasrohre angeritzt und anschließend unter gleichzeitigem Ziehen gebrochen (↗ S. 314). Neben der bewährten Dreikantfeile finden besondere Glasrohrschneider Verwendung (Abb. 66).

**Glasstäbe** werden in einer Länge von 1,40 m geliefert. Sie sind auf die gewünschte Länge zu schneiden und entweder an beiden Enden oder nur an einem Ende rund zu schmelzen, wobei im letzten Falle dann das andere Ende zur Verwendung nach der Halbmikrotechnik abgeplattet wird. Es sollten Glasstäbe mit 5 mm und in geringer Anzahl mit 8 mm Durchmesser verwendet werden. Bei einzelnen Experimenten empfiehlt es sich, Glasstäbe aus Schwarzglas einzusetzen.

**Glasverbindungsrohre** (↗ Abzweigstücke, S. 19)

**Glaswolle** wird im Chemieunterricht vor allem zur festen Anordnung von Stoffen in Rohren, als Füllmaterial in Geräten sowie als flüssigkeitsdurchlässige Unterlage zum Aufbringen fester Stoffe benutzt. Die aus feinen Glasfasern bestehenden Füllungen in Geräten dürfen nicht hoch erhitzt werden, da sie sonst sintern. Die feinen Glasfasern können zu unangenehmen Verletzungen der Haut führen. Deshalb soll Glaswolle nie mit bloßen Händen angefaßt werden. Pinzetten, Tiegelzangen und Schutzhandschuhe bieten notwendigen Schutz.

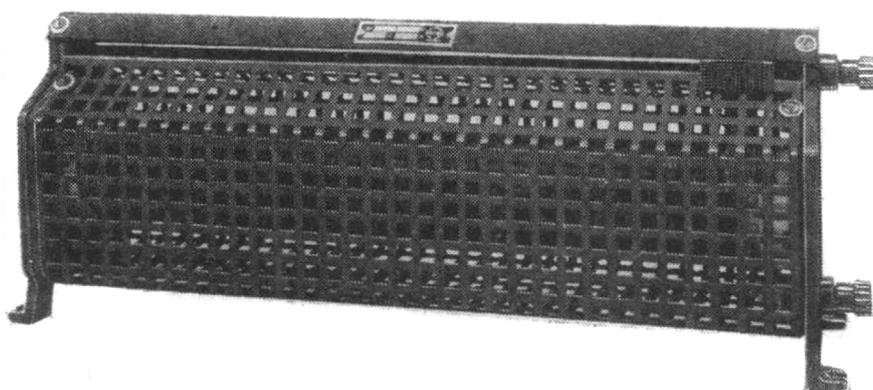


Abb. 67 Gleitwiderstand

**Gleitwiderstände** (Stellwiderstände, Potentiometer) sind bei elektrochemischen Experimenten notwendig. Häufig soll der Widerstand veränderbar sein. Dann sind Gleitwiderstände mit einem Widerstand von  $20\ \Omega$  und  $100\ \Omega$  und einer Belastbarkeit von  $6\ \text{A}$  zweckentsprechend (Abb. 67). Die Kenngrößen des Widerstands sind auf einem Schild angegeben. Mit Hilfe des verschiebbaren Gleitschuhs auf einer Gleitschiene kann ein beliebiger Teil der Drahtwicklung in den Stromkreis einbezogen werden (Abb. 68a). Der Anschluß erfolgt über die Klemme der Gleitschiene und an einem Ende der Wicklung. Ferner kann auch der gesamte Widerstand unverändert eingeschaltet werden, wenn die Klemmen an beiden Enden der Wicklung benutzt werden (Abb. 68b). Schließlich ist eine Spannungsteilerschaltung möglich (Abb. 68c), bei der sich ein Teil der Gesamtspannung am Widerstand abgreifen läßt.

Oft genügt bei chemischen Experimenten aber ein fester, nicht veränderbarer Widerstand. Dazu kann schon eine Glühlampe benutzt werden. Die Größe des Widerstands ist aus den Daten der Glühlampe (Stromstärke, Spannung, Leistung) annähernd zu errechnen oder durch Widerstandsmessung zu ermitteln.

**Glühlampnbrett** (↗ elektrisches Kleinmaterial, S. 38)

**Glühöfen** (↗ elektrische Öfen, S. 36)

**Glühröhrchen** sind etwa  $4 \dots 5\ \text{mm}$  weite und  $60 \dots 80\ \text{mm}$  lange, einseitig zugeschmolzene Röhrchen aus schwerschmelzbarem Glas. Sie werden vor allem zu Vorproben bei der qualitativen Analyse benötigt.

**Glüschiffchen** (Abb. 69) ermöglichen ein bequemes Einfüllen von festen Stoffen in Verbrennungsrohre und verhindern deren starke Verschmutzung. Sie können aber zuweilen auch als Reaktionsgefäße (z. B. bei der Schmelzflußelektrolyse, beim Verbrennen von Natrium) dienen. Bei Reaktionen in Verbrennungsrohren sind Glüschiffchen besonders zu empfehlen, wenn Stoffe mit dem Glas des Verbrennungsrohres reagieren könnten oder Massenveränderungen an festen Stoffen festgestellt werden sollen. Die Glüschiffchen werden aus verschiedenen keramischen Werkstoffen glasiert und unglasiert hergestellt. Es gibt zwei voneinander etwas abweichende Grundformen (Tab. 21).

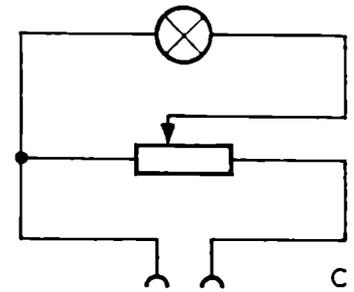
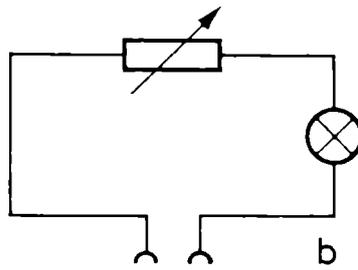
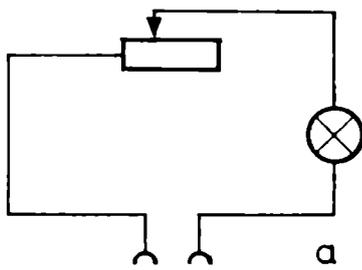


Abb. 68

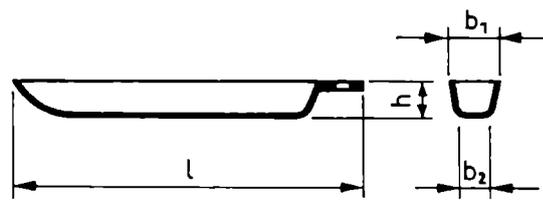


Abb. 69

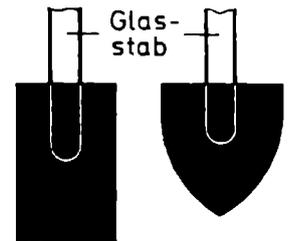


Abb. 70

Abb. 68 Verschiedene Schaltungen eines Stellwiderstands, a) Spannung einstellbar, b) Spannung nicht veränderbar, c) Spannungsteilerschaltung

Abb. 69 Glühschiffchen

Abb. 70 Gummiwischer

**Tabelle 21** Glühschiffchen

Nenninhalt in cm <sup>3</sup>	0,5	1	2,5	3 <sup>1</sup>	4 <sup>1</sup>	5
Größte Breite $b_1$ in mm	8	11	14	12	15	17
Untere Breite $b_2$ in mm	6	7	9	10	12	11
Höhe $h$ in mm	5	6	8	9	11	10
Länge $l$ in mm	26	35	42	82	89	72
Mindestweite von Verbrennungsrohren in mm	12	13	15	14	17	20

<sup>1</sup> Pyrolan

**Gummiwischer** sind notwendig, um Aufschlämmungen vollständig in andere Gefäße zu überführen. Dazu werden sie auf passende Glasstäbe gesteckt (Abb. 70). Ein Stück gereinigter Gummischlauch, der auf einem passenden Glasstab sitzt, kann ein gleichwertiger Ersatz sein. Das freie Ende dieses Schlauches läßt sich noch breitdrücken und innen mit Gummilösung zusammenkleben. PVC-Schlauch kann im Gegensatz zu Gummischlauch nach dem Erwärmen durch Zusammendrücken verklebt werden.

**Hähne** werden zum Einbau in Apparaturen benötigt. Sie gestatten die recht feine Einstellung eines Flüssigkeits- oder Gasstroms. Mehrweghähne ermöglichen außerdem, bestimmte Teile einer Apparatur in den Flüssigkeits- oder Gasstrom ein- oder auszuschalten. Die Hähne bestehen aus der Hahnhülse mit den Ansatzrohren sowie dem Hahnküken mit Bohrung. An dem schmalen, aus der Hülse heraus-

ragenden Teil des Kükens muß das Hahnküken gegen Herausfallen aus der Hahn-  
hülse gesichert sein. Hähne werden mit austauschbarem Hahnküken hergestellt.

Für den Chemieunterricht haben 4 Typen Bedeutung:

*Einweghähne* (Abb. 71 a) sind besonders wichtig (Tab. 22). Die Abmessungen für  
*Zweiweghähne* (Abb. 71 b) sind verschieden (Tab. 23).

*Dreiweghähne* (Abb. 72 a) werden in verschiedenen Größen hergestellt (Tab. 23).

*Schwanzhähne* (Abb. 72 b) sind in verschiedenen Größen standardisiert (Tab. 23).

Alle Schliffe an Glashähnen sind sorgfältig zu pflegen (↗ S. 320). Fremdkörper kön-  
nen die Schliffflächen beschädigen. Sie sind regelmäßig leicht mit Hahnfett (Ram-  
say-Fett) einzureiben, nachdem zuvor die alten Fettreste mit einem alkohol-  
getränkten Wattebausch entfernt worden sind. Werden Hähne längere Zeit nicht  
benutzt, so ist zwischen Hahnküken und Hahnülse ein Streifen Papier zu legen,  
um ein Festklemmen zu verhüten.

*Quetschhähne* (↗ S. 72) werden vielfach an Stelle von Einweghähnen eingesetzt.

**Tabelle 22** *Einweghähne*

Bohrung im Hahnküken in mm (Nenngröße)	1,5 <sup>1</sup>	2,5 <sup>1</sup>	4	6	10
Außendurchmesser des Ansatzrohres in mm	7,5	7,5	9,5	11	15

**Tabelle 23** *Zweiweghähne, Dreiweghähne, Schwanzhähne*

Bohrung im Hahnküken in mm (Nenngröße)	1,5 <sup>1</sup>	2,5 <sup>1</sup>	4
Außendurchmesser des Ansatzrohres <i>d</i> in mm	7,5	7,5	9,5

<sup>1</sup> Ansatzrohre werden auch als Kapillarrohre ausgebildet.

**Halbmikro-Ausgleichrohre** (Abb. 73) ermöglichen eine Verbindung zwischen  
einzelnen Geräten nach der Halbmikrotechnik. Unter Verwendung von Halb-  
mikro-Ausgleichrohren können die Geräte in einer Ebene eingespannt werden  
(Abb. 74).

**Halbmikro-Brenner** (↗ Brenner, S. 24)

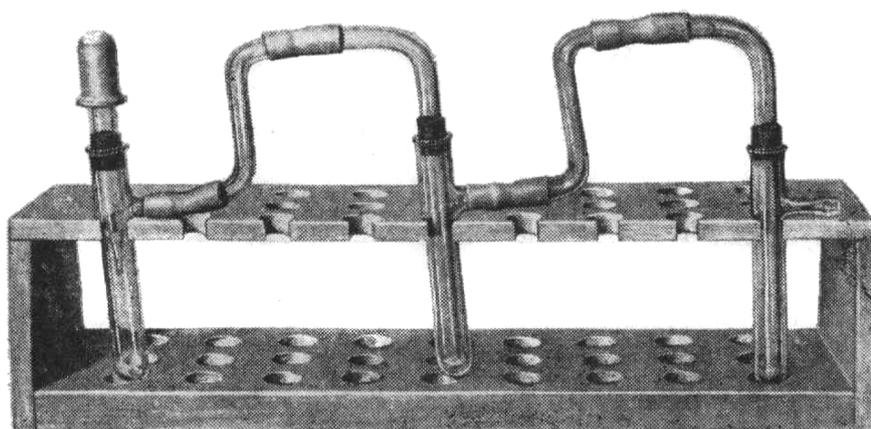


Abb. 74 Anordnung  
einer Apparatur  
im Reagenzglasstell

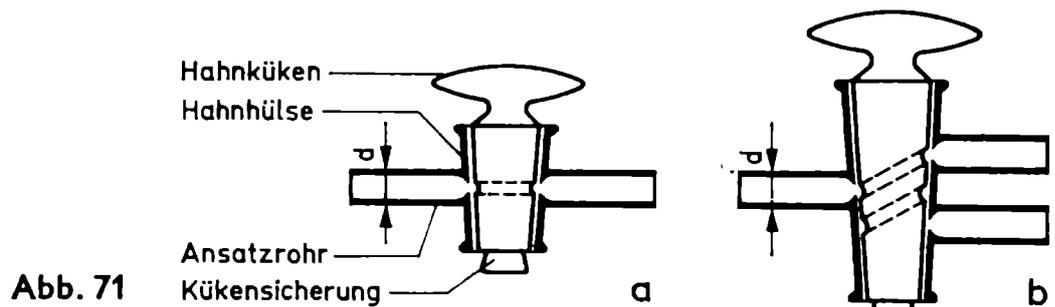


Abb. 71

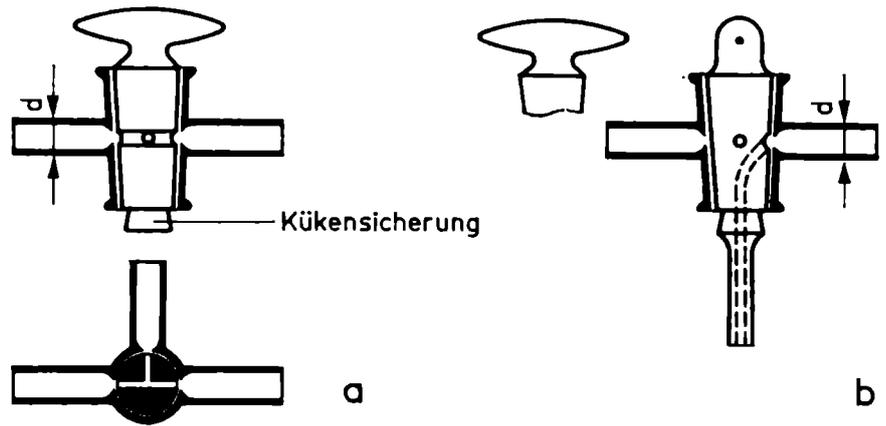


Abb. 72

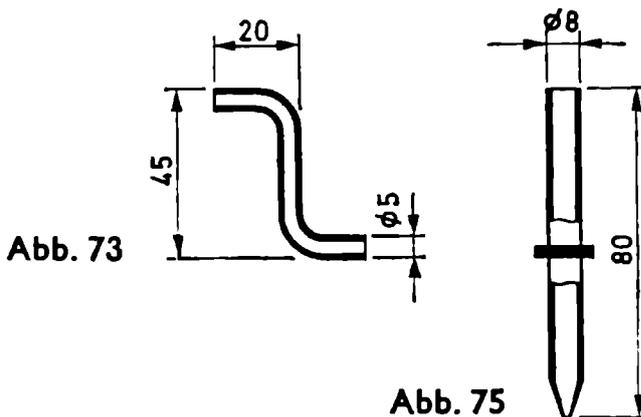


Abb. 73

Abb. 75

- Abb. 71 Einweghahn (a) und Zweiweghahn (b)
- Abb. 72 Dreiweghahn (a) und Schwanzhahn (b)
- Abb. 73 Halbmikro-Ausgleichrohr
- Abb. 75 Halbmikro-Filtrerröhrchen

**Halbmikro-Filtrerröhrchen** (Abb. 75) werden zum Filtrieren nach der Halbmikrotechnik benutzt. Sie lassen sich aus 160 mm langem und 8 mm starkem Glasrohr herstellen. Das Glasrohr wird an beiden Enden rundgeschmolzen und dann in der Mitte zu einer kurzen Spitze ausgezogen (↗ S. 315). Durch Entfernen der Kapillare entstehen zwei Filtrerröhrchen, die jeweils mit einem 2 mm breiten Gummiring (Gasschlauchstück) versehen werden und damit auf ein Halbmikro-Reagenzglas passen.

**Halbmikro-Flaschengestelle** werden zum Einstellen der Halbmikro-Standflaschen benötigt. In ihnen können 20 Flaschen übersichtlich angeordnet werden. Sie sind 355 mm lang, 180 mm breit und 180 mm hoch (Abb. 76 a). Unter der ersten Reihe Flaschen befindet sich ein Schubkasten, der wichtige Geräte und Apparate aus Glas enthält, gleichzeitig als Experimentierunterlage und zur Halterung der Stativstäbe (Bohrungen) dient (Abb. 76 b). In dem aufklappbaren Oberteil werden

Geräte aus Eisen (Stativmaterial, Spatel) aufbewahrt. Für das Ausgeben einer kleinen Anzahl Standflaschen können auch Halbmikro-Flaschenständer mit einer Grundfläche  $37 \text{ mm} \times 35 \text{ mm}$  benutzt werden.

**Halbmikro-Gasableitungsrohre** (Abb. 77) dienen als Verbindungselemente in Apparaturen nach der Halbmikrotechnik. Sie können aus 200 mm langem Glasrohr angefertigt werden.

**Halbmikro-Gaseinleitungsrohre** (Abb. 78) werden zum Aufbau von Apparaturen nach der Halbmikrotechnik benötigt. Sie lassen sich aus 135 mm langen Glasrohren herstellen.

**Halbmikro-Kochgläser** (Abb. 79) sind vor allem zum Eindampfen von Lösungen geeignet. Da Halbmikro-Kochgläser einen gewölbten Boden besitzen, müssen sie in einer besonderen Vorrichtung abgestellt werden. Ein Ständer in Form eines Pyramidenstumpfes zur Erhöhung der Standsicherheit (Abb. 80) kann aus Holz angefertigt werden.

**Halbmikro-Kühler** (Abb. 81) sind speziell für das Arbeiten nach der Halbmikrotechnik entwickelt worden.

**Halbmikro-Reagenzgläser** werden mit 8 mm Außendurchmesser und 75 mm Länge hergestellt (↗ S. 73) und sind auch in graduierter Form notwendig.

**Halbmikro-Reagenzglasgestelle** dienen zum Einstellen von Reagenzgläsern und Apparaten (↗ Abb. 74, S. 54). Auf einer Seite sind die Bohrungen so angeschnitten, daß Reaktionen in den eingestellten Geräten gut beobachtbar bleiben. Oft werden aber auch *Reagenzglasständer für einzelne Reagenzgläser* verwendet (Abb. 82).

**Halbmikro-Standflaschen** (↗ Flaschen, S. 45)

**Halbmikro-Stativ** (↗ Stativmaterial, S. 84)

**Halbmikro-Tropfer** (↗ Tropfer, S. 97)

**Heizrohre** (↗ S. 130)

**Holtzsche Klemmen** (↗ elektrisches Kleinmaterial, S. 38)

**Kästen aus Glas** (pneumatische Wannen) dienen im Chemieunterricht vor allem zum Auffangen von Gasen über Wasser oder einer anderen Sperrflüssigkeit. Meist werden rechteckige Glaskästen, z. B. Instrumentenschalen, verwendet, die noch mit einem Einsatz versehen sein können (↗ S. 180). Für die Schule sind Größen von  $300 \text{ mm} \times 200 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$  oder  $200 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$  günstig. Bei Schülerexperimenten haben sich größere Becher oder Kristallisierschalen (↗ S. 62) bewährt. Ungünstig sind Geräte aus undurchsichtigem Material oder eingebaute pneumatische Wannen, da die Schüler hierbei das Auffangen des Gases nicht beobachten können.

**Kobaltglas** (Blauglas) dient zum Erkennen der Flammenfärbung von Kalium neben Natrium, da es die intensiv gelbe Spektrallinie der Natriumflamme absorbiert. Es wird in folgenden Abmessungen (in mm) geliefert:

**50 × 50, 100 × 100, 50 × 100.**

Alle Schülerarbeitssätze sind mit einem Kobaltglas auszustatten.

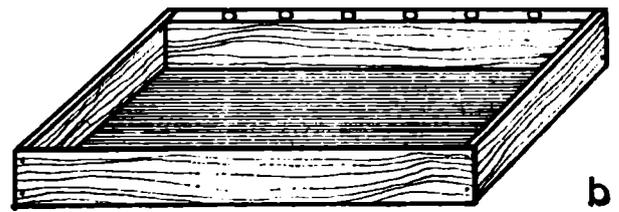
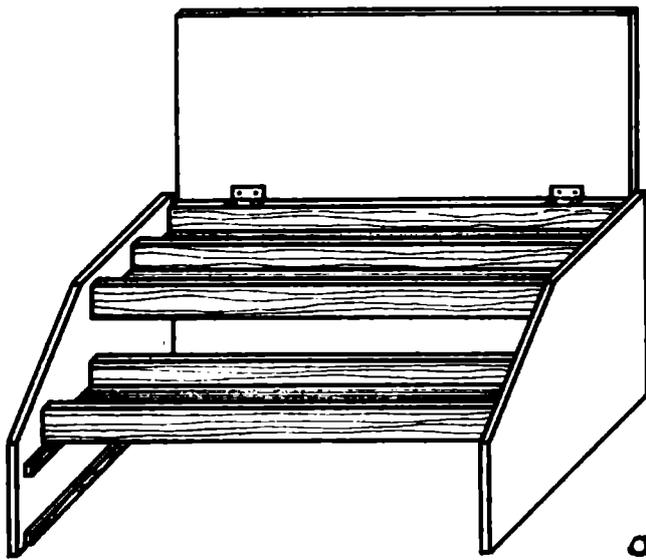


Abb. 76

a

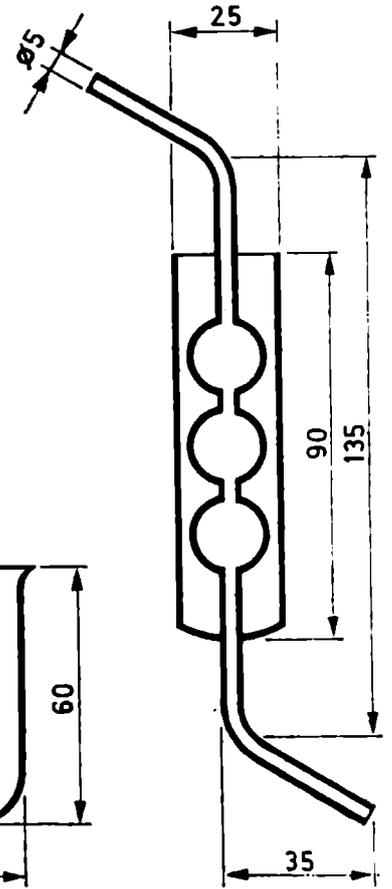


Abb. 81

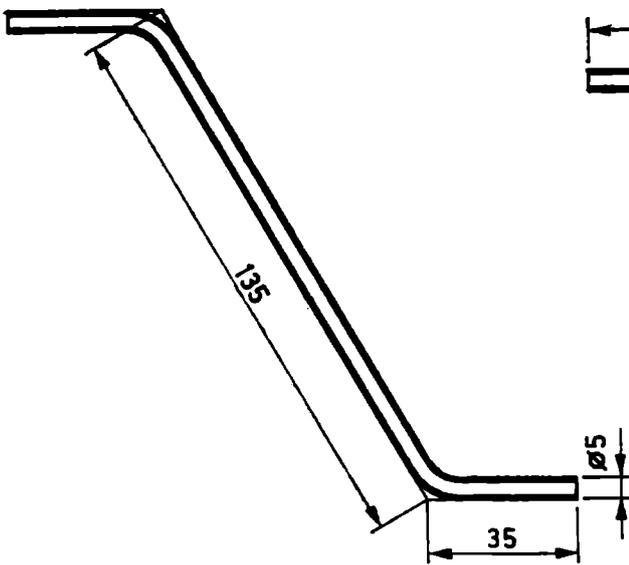


Abb. 77

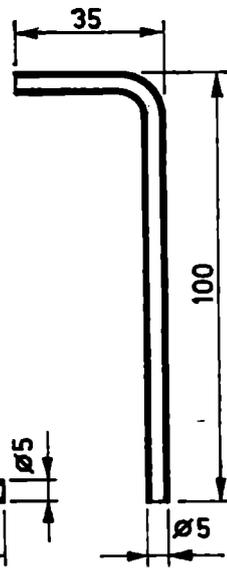


Abb. 78

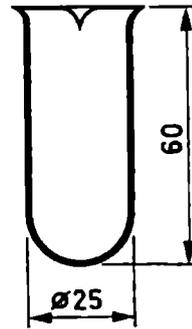


Abb. 79

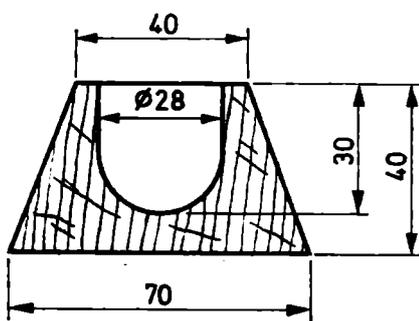


Abb. 80

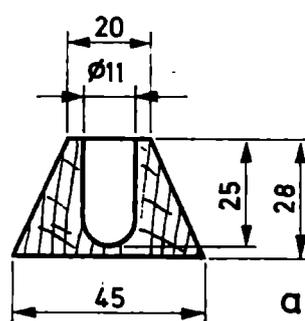
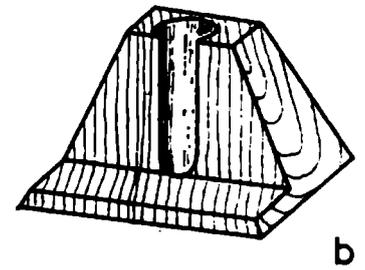


Abb. 82



b

- Abb. 76 Halbmikro-Flaschengestell (a) und -Einschubkasten (b)  
 Abb. 77 Halbmikro-Gasableitungsrohr  
 Abb. 78 Halbmikro-Gaseinleitungsrohr  
 Abb. 79 Halbmikro-Kochglas  
 Abb. 80 Ständer für Halbmikro-Kochglas  
 Abb. 81 Halbmikro-Kühler  
 Abb. 82 Halbmikro-Reagenzglasständer  
 a) Abmessungen, b) Ansicht mit angeschnittener Bohrung

**Kochbecher** (↗ Halbmikro-Kochglas, S. 56)

**Kolben** werden in großer Anzahl besonders für das Arbeiten mit Flüssigkeiten benötigt. Sie werden in verschiedenen Formen und Größen hergestellt. Von jeder Kolbensorte gibt es eine Ausführung mit zylindrischem Hals für Stopfen und eine mit Kegelschliffhülse. Die Abmessungen stimmen bis auf die Halsformen überein. In den folgenden Tabellen sind daher die Werte beider Ausführungen zusammengefaßt.

*Rundkolben* sind durch ihre kugelige Gestalt besonders stabil und sollten deshalb häufig als Reaktionsgefäße eingesetzt werden. Nur sie sind auch für Arbeiten unter Vakuum oder Druck geeignet. Die Rundkolben werden als *Mittelhals-Kolben* mit engem Hals und weitem Hals (Abb. 83) hergestellt (Tab. 24). Enghalsige Mittelhals-Rundkolben in Schliffausführung gibt es auch als *Zwei- oder Dreihals-Kolben* mit schrägen oder parallelen Hälsen (Abb. 84). Werden Schliffapparaturen für Demonstrationsexperimente vorgesehen, so sind davon einige *Zweihals- und Dreihals-Rundkolben* mit schrägem Seitenhals anzuschaffen. Vor allem eignen sich *Zweihals-Rundkolben* mit einem Volumen von 500 ml, einem Mittelhals NS 29/32 und einem Seitenhals NS 14/23 für Demonstrationsexperimente.

Für die Halbmikrotechnik gibt es einen *Halbmikro-Rundkolben mit Seitenrohr* (Abb. 87c).

**Tabelle 24** *Rundkolben*

Nennvolumen in cm <sup>3</sup>	25	50	100	250	500	1000	2000	4000	6000
Kugeldurchmesser $d_1$ in mm	40	51	64	85	105	131	166	207	236
Höhe $h$ in mm	95	105	115	145	175	210	260	315	355
<b>Enghalsige Ausführung</b>									
Außendurchmesser des Halses $d_2$ in mm	● 22	■ 22	22	34	34	34	34	50	50
Kegelschliff bei Schliffausführung NS	19/26			29/32				45/40	
<b>Weithalsige Ausführung</b>									
Außendurchmesser des Halses $d_2$ in mm	34	34	34	50	50	50	50	76	76
Kegelschliff bei Schliffausführung NS	29/32			45/40				71/51	

*Stehkolben* gibt es ebenfalls in eng- und weithalsiger Form (Abb. 85), jeweils in Ausführungen mit zylindrischem Hals und mit Kegelschliffhülse (Tab. 25).

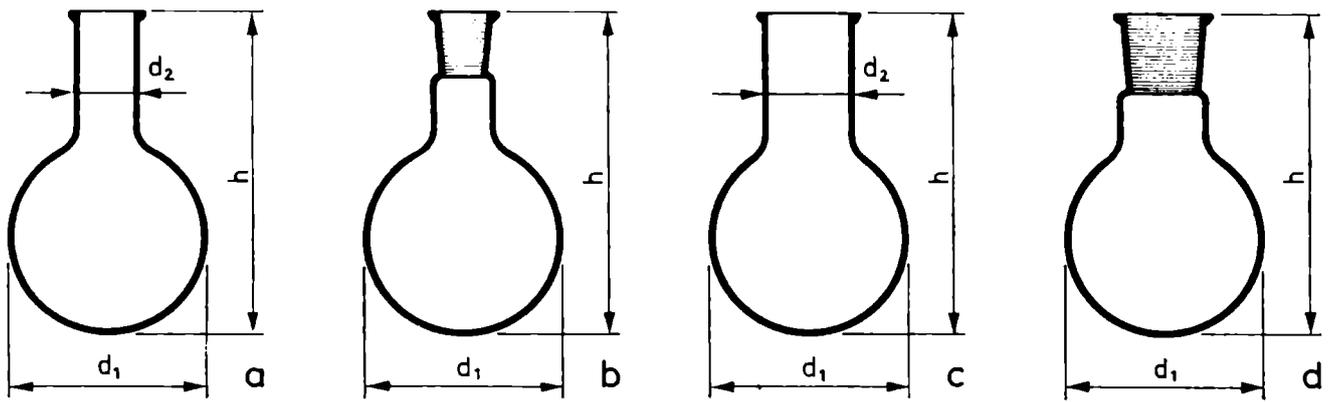


Abb. 83

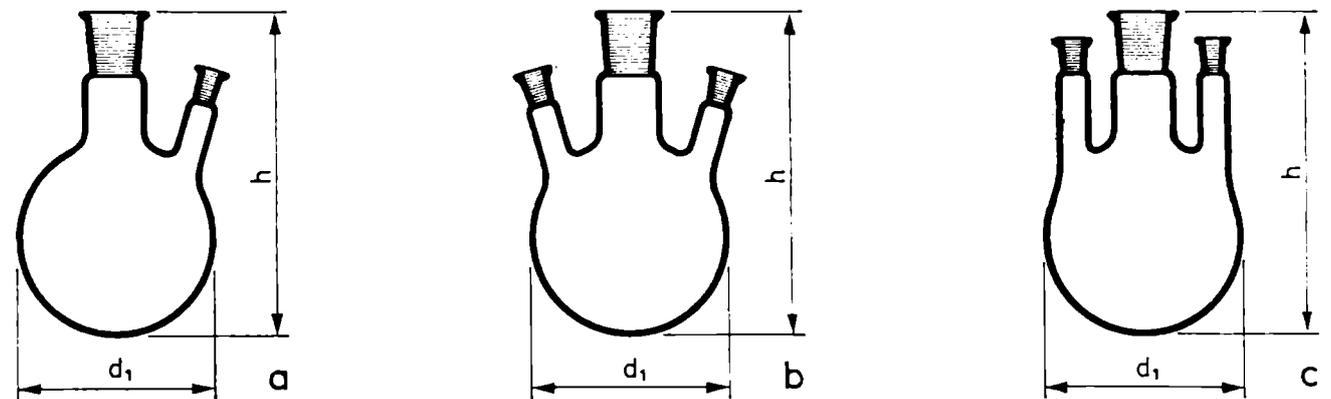


Abb. 84

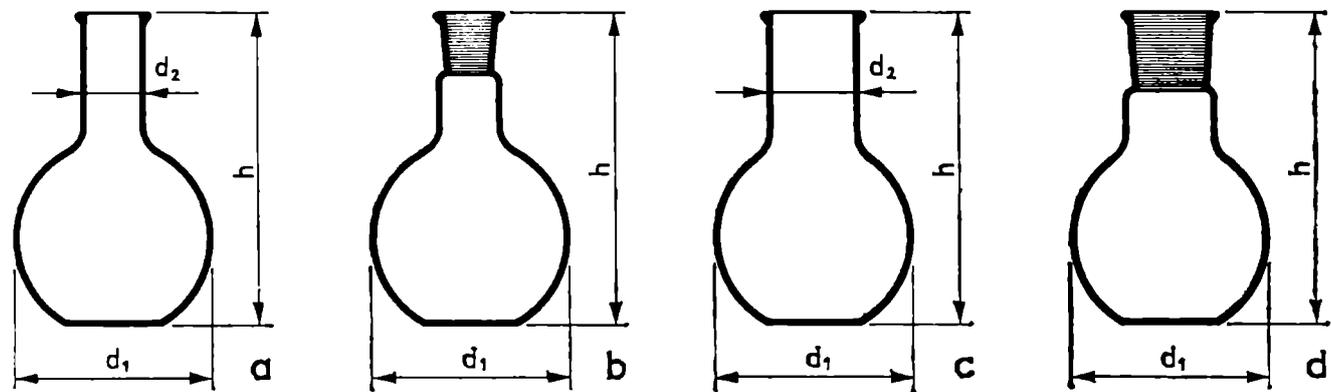


Abb. 85

Abb. 83 Enghalsiger Mittelhals-Rundkolben ohne (a) und (b) mit Schliff und weithalsiger Mittelhals-Kolben ohne (c) und mit (d) Schliff

Abb. 84 Zweihals-Rundkolben (a) und Dreihals-Rundkolben mit schrägen (b) und geraden (c) Halsen

Abb. 85 Enghalsiger Mittelhals-Stehkolben ohne (a) und mit (b) Schliff und weithalsiger Mittelhals-Stehkolben mit (c) und ohne (d) Schliff

Tabelle 25 Stehkolben

Nennvolumen in cm <sup>3</sup>	50	100	250	500	1000	2000	4000	6000
Kugeldurchmesser $d_1$ in mm	51	64	85	105	131	166	207	236
Höhe $h$ in mm	100	110	140	170	200	250	300	340
<b>Enghalsige Ausführung</b>								
Außendurchmesser des Halses $d_2$ in mm	22	22	34	34	34	34	50	50
Kegelschliff bei Schliffausführung NS	19/26				29/32			45/40
<b>Weithalsige Ausführung</b>								
Außendurchmesser des Halses $d_2$ in mm	34	34	50	50	50	50	76	76
Kegelschliff bei Schliffausführung NS	29/32				45/40			71/51

Erlenmeyerkolben werden im Chemieunterricht als Reaktionsgefäße und Vorlagen verwendet. Auch hier wird eine eng- und eine weithalsige Form hergestellt (Abb. 86), wobei es Ausführungen mit zylindrischem Hals und Kegelschliffhülse gibt (Tab. 26).

Tabelle 26 Erlenmeyerkolben

Nennvolumen in cm <sup>3</sup>	25	50	100	250	500	1000	2000	3000
Größter Durchmesser $d_1$ in mm	42	51	64	85	105	131	166	187
Höhe $h$ in mm	70	85	100	140	175	220	280	310
<b>Enghalsige Ausführung</b>								
Außendurchmesser des Halses $d_2$ in mm	● 22	22	■ 22	34	34	34	50	50
Kegelschliff bei Schliffausführung NS	19/26				29/32			45/40
<b>Weithalsige Ausführung</b>								
Außendurchmesser des Halses $d_2$ in mm	-	● 34	■ 34	50	50	59	69	69
Kegelschliff bei Schliffausführung NS	-	29/32		45/40		60/46		71/51

Destillierkolben (Fraktionierkolben) haben ein Seitenrohr (Abb. 87 a). Dieses ist oben oder unten am Hals angesetzt (Tab. 27). Die Auswahl der Geräte erfolgt nach

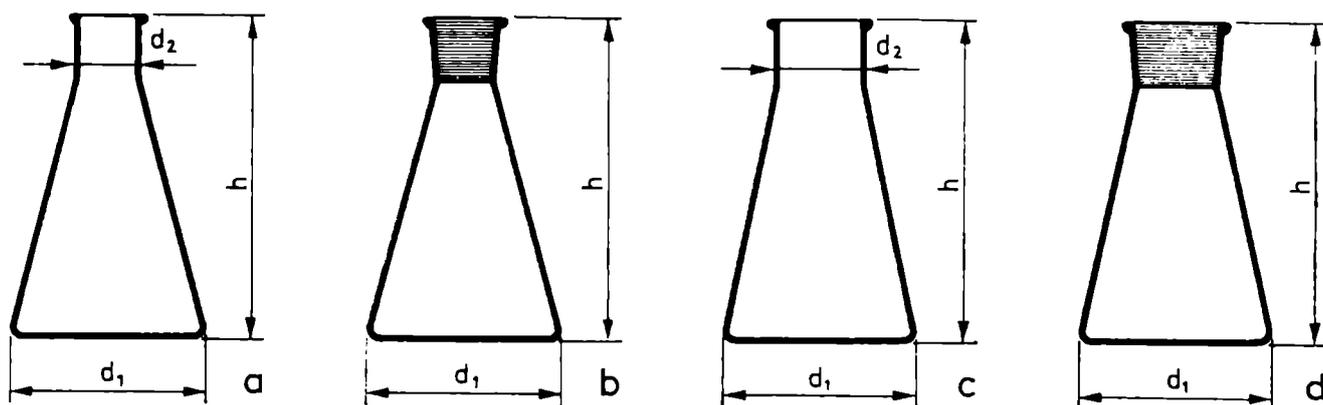


Abb. 86

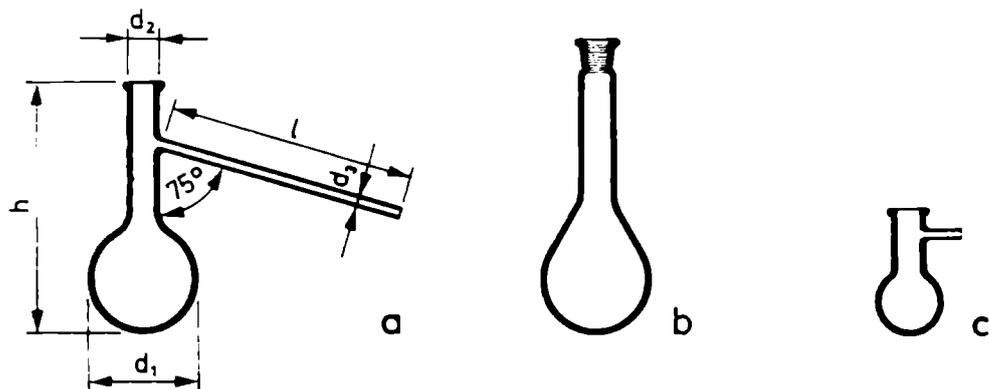


Abb. 87

Abb. 86 Enghalsiger Erlenmeyerkolben ohne (a) und mit (b) Schliff, weithalsiger Erlenmeyerkolben ohne (c) und mit (d) Schliff

Abb. 87 Fraktionierkolben mit oben angesetztem Rohr (a), Kjeldahlkolben (b), Halb- mikro-Rundkolben mit Seitenrohr (c)

den Siedetemperaturen der betreffenden Stoffe. Für den Chemieunterricht kommen vor allem Kolben mit oben angesetztem Seitenrohr in Betracht.

**Tabelle 27 Destillierkolben**

Nennvolumen in cm <sup>3</sup>	● 25	■ 50	■ 100	250	500	1000
Kugeldurchmesser $d_1$ in mm	41	51	63	85	105	131
Stopfenbett $d_2$ in mm	19	19	19	29	29	29
Höhe $h$ in mm	110	120	150	200	250	300
Länge des Seitenrohres $l$ in mm	200	200	200	200	200	250
Außendurchmesser des Seitenrohres $d_3$ in mm	9,5	9,5	9,5	9,5	13	13

*Kjeldahlkolben* mit birnenartiger Form und langem Hals (Abb. 87 b) werden bei der Stickstoffbestimmung<sup>3</sup> benutzt, um stickstoffhaltige Stoffe unter Zusatz geeigneter Chemikalien (Schwefelsäure, Zusätze) aufzuschließen.

**Kolbenprober** (Abb. 88) sind besonders zum Messen von Gasvolumen bei quantitativen Gasreaktionen (→ S. 176) im Chemieunterricht geeignet (Tab. 28). Zuweilen werden auch Injektionsspritzen als Ersatz empfohlen.

**Tabelle 28** Kolbenprober

Nennvolumen in cm <sup>3</sup>	50	100
Außendurchmesser der Hülse $d$ in mm	35	40
Länge des Hülse $l$ in mm	130	170
Teilung in ml	1	2

**Kristallisierschalen** werden zum Eindunsten von Lösungen verwendet. Sie dienen bei genügender Größe im Chemieunterricht auch als pneumatische Wannen (↗ S. 180 und 267), besonders beim Arbeiten nach der Halbmikrotechnik. Kristallisierschalen bestehen meist aus Glas. Sie werden aber auch aus Porzellan hergestellt. Kristallisierschalen aus Glas (Abb. 89) gibt es ohne und mit Ausguß (Tab. 29). Kristallisierschalen aus Porzellan (Abb. 90) werden mit weißer oder dunkler Innenglasur hergestellt (Tab. 30).

**Tabelle 29** Kristallisierschalen (Glas)

Außendurchmesser $d$ in mm (Nenngröße)	40	■ 50	60	70	80	● 95	115	140	190	230
Höhe $h$ in mm	25	30	35	40	45	55	65	75	90	100

**Tabelle 30** Kristallisierschalen (Porzellan)

Nennvolumen in cm <sup>3</sup>	80	160	320
Großer Durchmesser $d_1$ in mm	95	115	145
Kleiner Durchmesser $d_2$ in mm	85	100	125
Höhe $h$ in mm	22	30	40

**Kugelrohre** (Abb. 91) können vorteilhaft zur Gasabsorption sowie zur Reaktion von Gasen mit festen Stoffen benutzt werden. Die festen Stoffe dürfen nicht zu feinkörnig sein, damit das Gas ungehindert hindurchtreten kann. Da Kugelrohre bei chemischen Schalexperimenten selten Anwendung finden, sind nur wenige Exemplare anzuschaffen. Mit gleichem Erfolg können in den meisten Fällen auch Verbrennungsrohre eingesetzt werden.

**Kühler** (Wärmeaustauscher) dienen im Chemieunterricht vorwiegend zum Kondensieren von Dämpfen (↗ S. 136). Als Kühlmittel wird dabei Wasser verwendet. Da diese Geräte auch zum Erwärmen von Flüssigkeiten und Gasen geeignet sind, setzt sich langsam die Bezeichnung „Wärmeaustauscher“ durch.

**Liebigkühler** (Abb. 92) bestehen aus Kühlrohr und Mantel (Tab. 31). Beide Teile sind fest miteinander verschmolzen. Der Wasserzufluß muß stets an der tief gelegenen Stelle des Kühlers erfolgen.

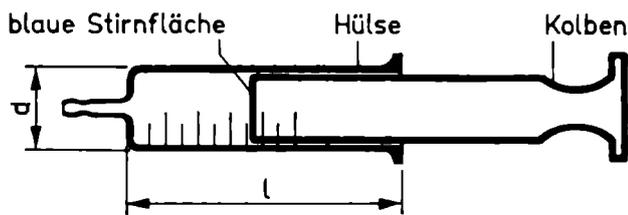


Abb. 88

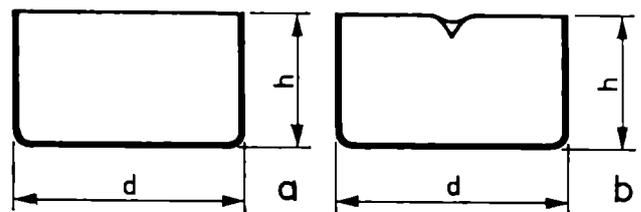


Abb. 89

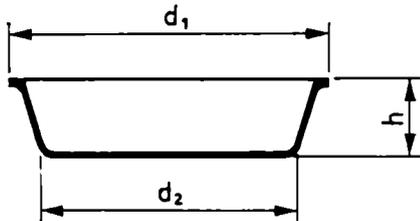


Abb. 90



Abb. 91

Abb. 88 Kolbenprober

Abb. 89 Kristallisierschalen aus Glas ohne (a) und mit (b) Ausguß

Abb. 90 Kristallisierschalen aus Porzellan

Abb. 91 Kugelrohr

**Tabelle 31 Liebigkühler**

**Kühler mit Kegelschliff**

Mantellänge $l_1$ in mm (Nenngröße)	200	200	400	700
Längen zwischen den Schliffen $l_2$ in mm	300	340	540	840
Durchmesser $d$ in mm	22	26	26	26
Kegelschliffe NS	14/23	29/32		

**Kühler ohne Kegelschliff**

Mantellänge $l_1$ in mm (Nenngröße)	200	400	700
Gesamtlänge $l_2$ in mm	380	580	880

Kugelkühler (Abb. 93) weisen kugelförmige Erweiterungen des inneren Rohres auf (Tab. 32). Die Kühlfläche wird dadurch wesentlich vergrößert. Diese Kühler sollen nur in lotrechter Lage verwendet werden. Sie sind fast ausschließlich als Rückflußkühler in Gebrauch.

**Tabelle 32 Kugelkühler**

Mantellänge $l_1$ in mm (Nenngröße)	200	300
Länge zwischen den Schliffen $l_2$ in mm	300	400
Durchmesser $d$ in mm	26	42
Anzahl der Kugeln	5	6
Kegelschliffe NS	14/23	29/32

Schlangen- und Dimrothkühler (Abb. 94) gewährleisten durch ein spiralförmiges inneres Rohr eine sehr starke Kühlwirkung (Tab. 33). Sie sind ebenfalls nur in lot-rechter Lage zur Kondensation kleiner Dampfmengen einzusetzen.

**Tabelle 33** Schlangen- und Dimrothkühler

Mantellänge $l_1$ in mm (Nenngröße)	200	300	400
Gesamtlänge $l_2$	340	400	540
Anzahl der Windungen	12 ... 13	21 ... 24	31 ... 34
Kegelschliffe NS	29/32	29/32	

**Lötrohre** (Abb. 95) werden in der analytischen Chemie vor allem zur Untersuchung von Salzen, Erzen und Mineralien benutzt (→ S. 132). Mit Hilfe dieses Gerätes kann eine feine, sehr heiße Stichflamme erzeugt werden.

**Magnesiageräte** sind teilweise als Ersatz für Platingeräte, zum Beispiel bei Vorprobenreaktionen in der analytischen Chemie, geeignet. Sie bestehen aus einer Magnesia-Kaolin-Masse, die Temperaturen bis 1300 °C ausgesetzt werden kann. Für den Chemieunterricht sind Magnesiastäbchen ( $d = 1,7$  mm;  $l = 140$  mm) und Magnesiarrinnen wichtig, auf denen feste Stoffe in Verbrennungsrohre eingeführt werden können.

**Manometer** zur genauen quantitativen Messung von Gasdrücken werden im Chemieunterricht kaum benötigt. Häufiger ist es aber erforderlich, Druckänderungen in einem abgeschlossenen Reaktionsgefäß qualitativ zu demonstrieren, um daraus Rückschlüsse auf die chemische Reaktion zu ziehen (→ S. 192). In diesen Fällen wird ein U-förmig gebogenes Glasrohr mit langen Schenkeln benutzt, das meist mit angefärbtem Wasser gefüllt ist (Abb. 96).

**Meßflaschen** sind zum genauen Abmessen von Flüssigkeitsvolumen geeignet. Die Geräte werden in gleicher Weise wie die bekannteren Meßkolben (→ S. 66) benutzt. Meßflaschen haben lediglich eine andere Form (Abb. 97), sind standfester und werden bis zu einem Volumen von 10000 cm<sup>3</sup> hergestellt (Tab. 34).

**Tabelle 34** Meßflaschen

Volumen bis zur Marke in cm <sup>3</sup> (Nenngröße)	250	500	1000	2000
Größter Durchmesser $d$ in mm	67	85	107	134
Höhe $h$ in mm	200	250	300	375
Durchschnittliche Halsweite in mm	18	20	23	28
Kegelschliff NS	19/26		24/29	29/32

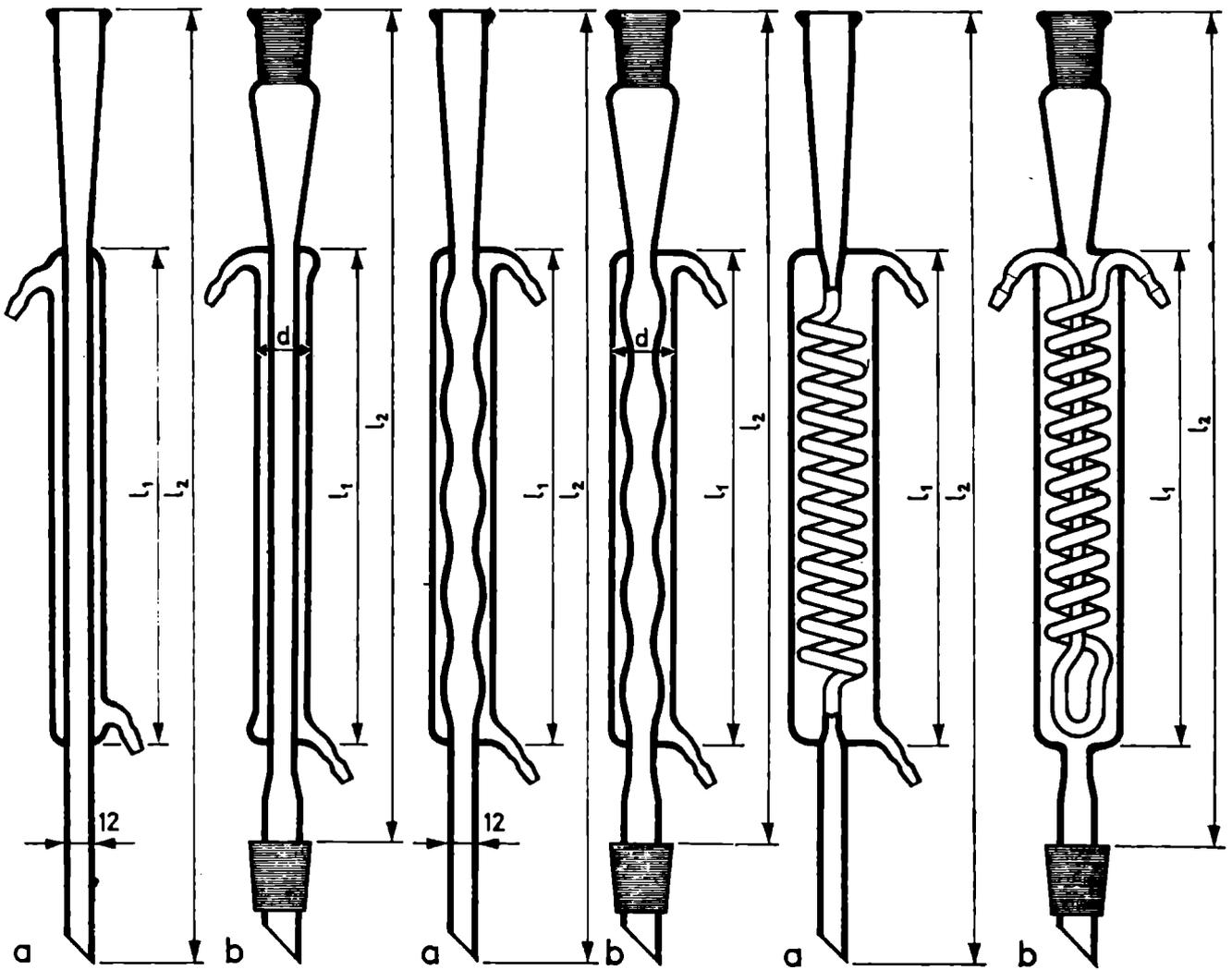


Abb. 92

Abb. 93

Abb. 94

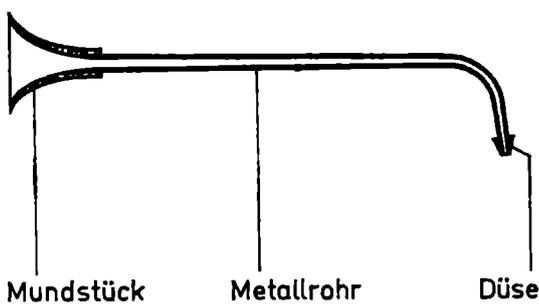


Abb. 95

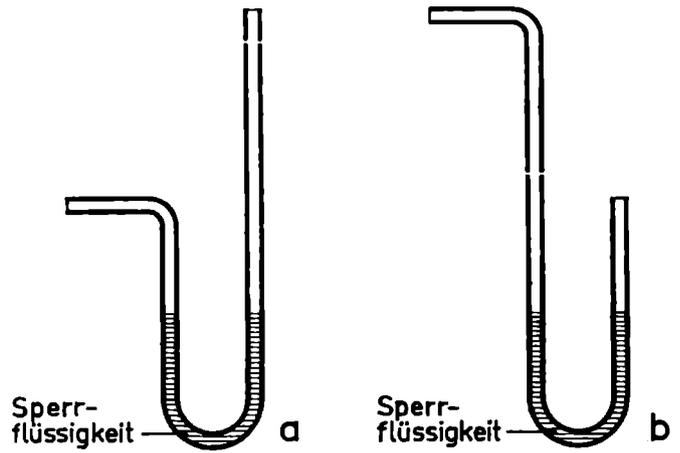


Abb. 96

- Abb. 92 Liebigkühler
- a) Liebigkühler ohne Kegelschliff, b) mit Kegelschliff
- Abb. 93 Kugelkühler
- a) Kugelkühler ohne Kegelschliff, b) mit Kegelschliff
- Abb. 94 Schlangenkühler (a) und Dimrothkühler (b)
- Abb. 95 Lötrohr
- Abb. 96 Manometer
- a) Manometer bei Druckzunahme, b) bei Druckabnahme

**Meßkolben** werden zum Abmessen bestimmter Flüssigkeitsvolumen, besonders zum Herstellen normaler und molarer Lösungen, benötigt (↗ S. 145). Meßkolben ohne und mit Kegelschliff weichen lediglich in der Halsform voneinander ab (Abb. 98). Enghalsmeßkolben gibt es ohne Kegelschliff und mit Kegelschliff (Tab. 35). Weithalsmeßkolben ohne und mit Kegelschliff werden im Chemieunterricht kaum benötigt.

**Tabelle 35** Meßkolben mit engem Hals

Volumen bis zur Marke in cm <sup>3</sup> (Nenngröße)	10	25	■ 50	■ 100	250	500	1000	2000
Größter Durchmesser <i>d</i> in mm	27	38	48	60	81	102	128	160
Gesamthöhe <i>h</i> in mm	100	118	140	170	200	250	300	375
Durchschnittliche Halsweite in mm	5,5	7,5	9	11	14	15	17	23
Kegelschliff NS	7,5/16		10/19		14/23		19/26	24/29

Alle Meßkolben sind bei 20 °C auf Einguß geeicht. Das Flüssigkeitsvolumen entspricht also beim Einfüllen bis zur Eichmarke genau dem angegebenen Wert. Wird die Flüssigkeit in ein anderes Gefäß umgefüllt, so ist darin das Volumen geringer, da ein Flüssigkeitsfilm im Meßkolben zurückbleibt. Diese Art der Eichung „In“ (früher E) wird in der Beschriftung angegeben, zum Beispiel:

250 cm<sup>3</sup>  
In 20 °C

**Meßzylinder** (Abb. 99) zum Abmessen beliebiger Flüssigkeitsvolumen haben eine zylindrische Form und sind mit einer Skale versehen (Tab. 36). Meßzylinder sind ebenfalls auf Einguß (In) geeicht. Die Ablesung erfolgt an der Unterkante des Flüssigkeitsmeniskus (↗ S. 142). Zum sehr genauen Abmessen von Flüssigkeitsvolumen sind Pipetten (↗ S. 70) notwendig.

**Tabelle 36** Meßzylinder

Volumen bis zum oberen Teilstrich in cm <sup>3</sup> (Nenngröße)	● 10	■ 25	50	■ 100	250	500	1000	2000
Höhe <i>h</i> in mm	160	170	200	260	335	370	460	530
Graduierung in cm <sup>3</sup>	0,1	0,5	0,5	1	2	5	10	20
Fehlergrenze in ml	0,1	0,5	0,5	1	2	5	10	20

**Mikrobürette** (↗ Bürette, S. 26)

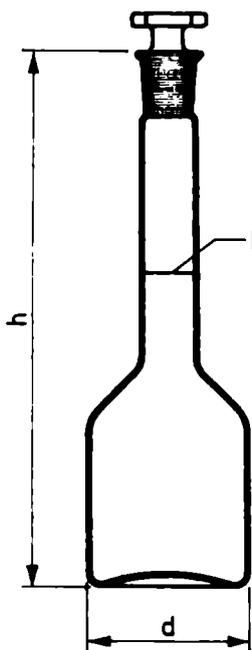


Abb. 97

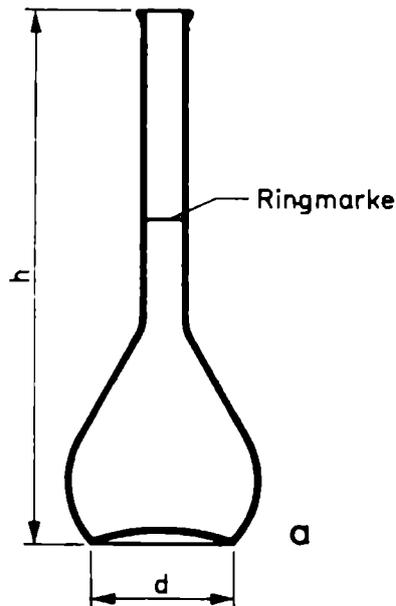


Abb. 98

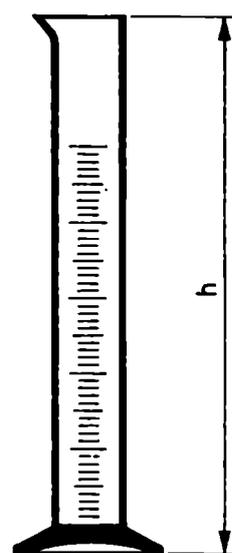
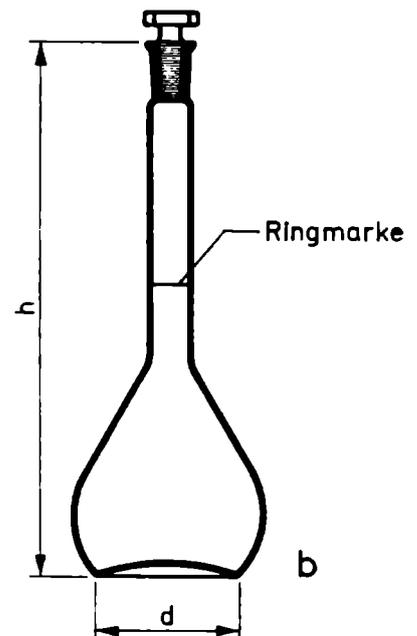


Abb. 99

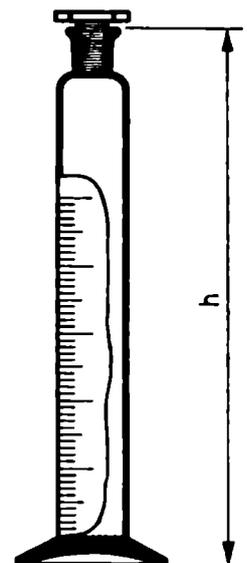


Abb. 100

Abb. 97 Meßflasche mit Kegelschliff

Abb. 98 Meßkolben ohne Kegelschliff (a) und mit Kegelschliff (b)

Abb. 99 Meßzylinder mit Skale

Abb. 100 Mischzylinder mit Skale

**Mikroskope** sind vor allem zur Beobachtung von Kristallbildungsvorgängen und Kristallformen bei einigen speziellen Nachweisverfahren notwendig. Der Einsatz wird auf die außerunterrichtliche Arbeit im Fach Chemie beschränkt bleiben. Notwendige Mikroskope stehen im allgemeinen aus der Ausstattung für den Biologieunterricht zur Verfügung.

**Mischzylinder** (Abb. 100) zum Mischen von Flüssigkeiten werden mit und ohne Skale hergestellt (Tab. 37). Sie sind auf Einguß (In) geeicht. Graduierte Mischzylinder können als Auffanggefäße für verschiedene Gase benutzt werden (S. 172).

**Tabelle 37** Mischzylinder

Volumen bis zum obersten Teilstrich in cm <sup>3</sup> (Nenngröße)	10	25	50	100	250	500	1000	2000
Höhe $h$ in mm	180	195	225	285	375	400	490	570
Kegelschliff NS	10/19	14/23		19/26	24/29	29/32		45/40

**Mörser** (↗ Reibschalen, S. 74)

**Natriumlöffel** (Abb. 101) werden benutzt, um Natrium unter die Wasseroberfläche zu drücken. Es sind nur Löffel zu verwenden, die ein halbkugelförmiges Kupferdrahtnetz besitzen. Bei Löffeln mit zwei solchen Netzen treten leicht Knallgasexplosionen auf, da die Luft aus der Kugel beim Eintauchen in das Wasser zu langsam entweicht. Aus dem gleichen Grunde ist auf eine genügend große Maschenweite des Siebes zu achten. Keinesfalls darf an Stelle von Natrium mit Kalium gearbeitet werden.

**Niveaugefäße** (Abb. 102) dienen dazu, in einem Gefäß einen bestimmten Flüssigkeitsstand herzustellen (↗ S. 184). Neben den birnenförmigen Niveaugefäßen (Tab. 38) können Niveauflaschen, besonders bei größeren Flüssigkeitsvolumen, eingesetzt werden (Tab. 39).

**Tabelle 38** Niveaugefäße, Birnenform

Nennvolumen in cm <sup>3</sup>	100	250	500
Maximale Aufnahmefähigkeit in cm <sup>3</sup>	130	300	600
Kugeldurchmesser $d$ in mm	62	83	105
Gesamtlänge $l$ in mm	135	165	200
Kegelschliff NS	14/23	29/32	

Die Niveaugefäße sind durch einen Schlauch mit den Gefäßen zu verbinden, in denen der Flüssigkeitsstand einzustellen ist (↗ S. 184). Gegebenenfalls muß der Schlauch durch Schlauchband oder Schellen gesichert werden.

**Tabelle 39** Niveauflaschen

Nennvolumen in cm <sup>3</sup>	100	250	500	1000
Höhe $h$ in mm	104	136	179	258
Durchmesser $d$ in mm	52	68	83	92
Kegelschliff NS	14/23	19/26	24/29	29/32



Abb. 101

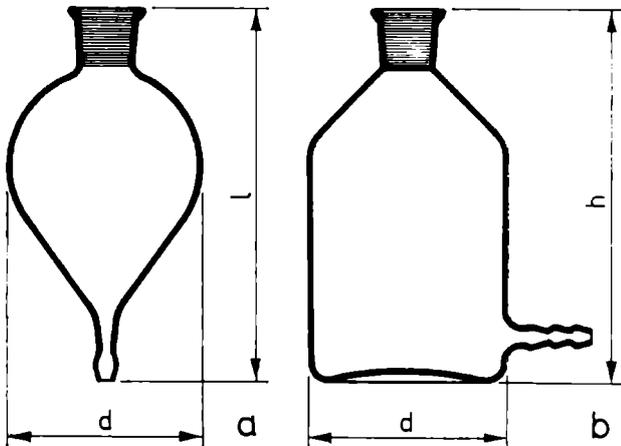


Abb. 102

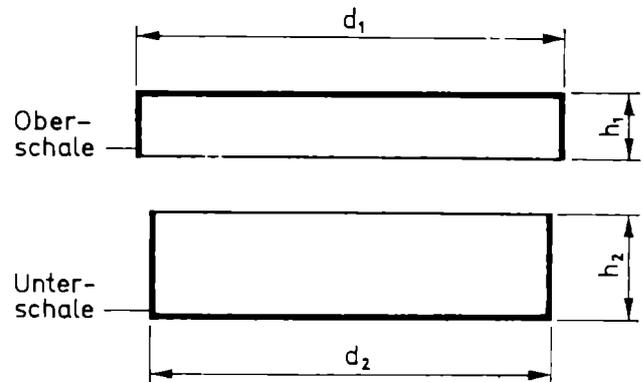


Abb. 103

Abb. 101 Natriumlöffel

Abb. 102 Niveaugefäße a) Birnenform, b) Niveauflasche

Abb. 103 Petrischale

**Objekträger** sind Glasplatten mit einer Größe von 76 mm × 26 mm und einer Stärke von durchschnittlich 1 mm, auf die beim Mikroskopieren die Objekte aufgelegt werden. Im Chemieunterricht sind oft kleine Volumen einer Lösung (1 bis 2 Tropfen) einzudampfen. Das geschieht am besten, wenn der Objekträger auf eine vorgewärmte Stahlplatte gelegt wird.

**Oliven** (↗ Abzweigstücke, S. 19)

**Petrischalen** (Doppelschalen, Tab. 40) werden im Chemieunterricht zum Eindampfen von Lösungen sowie auch zum Aufbewahren von Reagenzpapieren bei Schülerexperimenten benutzt (Abb. 103). Die Einzelteile der Petrischalen sind mit anderen Schalen austauschbar.

**Tabelle 40** Petrischalen

Oberschale (Deckel)	Außendurchmesser $d_1$ in mm (Nenngröße)	■ 40	60	80	100	120	150	200	240
	Höhe $h_1$ in mm	12	12	12	12	15	15	20	20
Unterschale	Außendurchmesser $d_2$ in mm	32	52	72	92	112	140	190	230
	Höhe $h_2$ in mm	20	20	20	20	20	30	50	70

**Pinzetten** sind in mehreren Exemplaren zum sauberen Arbeiten im Chemieunterricht notwendig. Sie sollen zum Schutz gegen aggressive Dämpfe vernickelt oder verchromt sein und sind regelmäßig zu reinigen und danach leicht einzufetten.

**Pipetten** werden in verschiedenen Ausführungen zum Messen von Flüssigkeitsvolumen eingesetzt.

*Vollpipetten* (Abb. 104) werden zum Abmessen häufig benutzter Flüssigkeitsvolumen verwendet (Tab. 41). Sie sind bei 20 °C auf Auslauf geeicht, da die abgemessene Flüssigkeit im allgemeinen in ein anderes Gefäß übergeführt werden soll. Der verbleibende Flüssigkeitsfilm nach dem Auslaufen der Flüssigkeit aus der Pipette (etwa 10 s) ist also bei der Eichung berücksichtigt, so daß ein dem Nennwert genau entsprechendes Volumen vollständig in das andere Gefäß übertragen wird. Auf der Eichmarke werden in diesem Falle die Buchstaben „Ex“ (früher A) verwendet. Die vollständige Beschriftung könnte beispielsweise lauten:

10 cm<sup>3</sup>  
Ex 20 °C

**Tabelle 41** *Vollpipetten*

Nennvolumen in cm <sup>3</sup>	0,5	1	2	■ 5	■ 10	20	25	50	100	200
Gesamtlänge <i>l</i> in mm	310	325	340	410	460	530	540	550	600	650

*Meßpipetten für völligen Auslauf* (Abb. 105) sind zum Abmessen von Flüssigkeitsvolumen innerhalb des Nennvolumens vorgesehen (Tab. 42).

Die Teilung der Skale beginnt daher an der Auslaufspitze mit Null. Der oberste Teilstrich entspricht dann dem Nennvolumen. Diese Pipetten sind ebenfalls bei 20 °C auf Auslauf geeicht.

**Tabelle 42** *Meßpipetten*

Nennvolumen in cm <sup>3</sup>	1	2	5	10	25
Form	ohne Saugrohr			mit Saugrohr	
Teilung in cm <sup>3</sup>	0,01	0,02	0,1	0,1	0,1
Gesamtlänge <i>l</i> in mm	360	360	360	360	360

*Meßpipetten für teilweisen Auslauf* entsprechen in ihrer Gestaltung denen für vollständigen Auslauf. Lediglich die Skale ist von oben nach unten angeordnet, so daß die Nullmarke der oberste Teilstrich ist. Außerdem endet die Teilung 30 ... 35 mm über der Auslaufspitze. Die aufgenommene Flüssigkeit kann aus diesen Pipetten in mehreren genau meßbaren Teilvolumen abgelassen werden.

**Pneumatische Wannen** (↗ Kästen aus Glas, S. 56, und Kristallisierschalen, S. 62)

**Porzellanrohre** sind in einigen Fällen als Reaktionsrohre und zum Herstellen von Heizrohren (↗ S. 129) zweckmäßig. Günstig sind Längen von 400 mm.

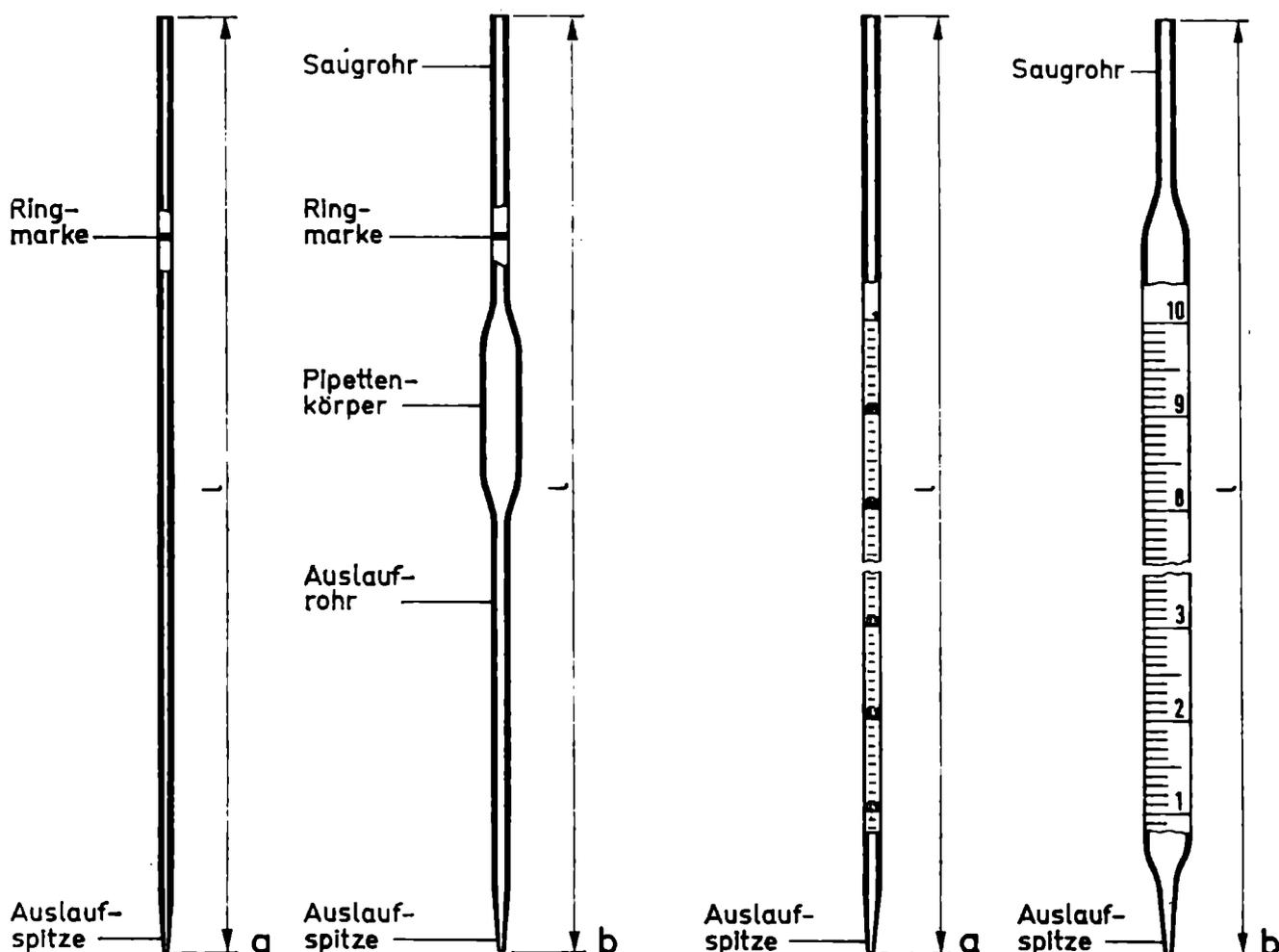


Abb. 104

Abb. 105

Abb. 104 Vollpipetten für kleine (a) und größere Volumina (b)

Abb. 105 Meßpipetten für vollständigen Auslauf für kleine Volumina (a) und größere Volumina (b)

**Potentiometer** (↗ Gleitwiderstände, S. 52)

**Präparatgläser** eignen sich neben Weithals-Pulverflaschen zur Ausstellung von festen Stoffen im Chemiefachunterrichtsraum (Abb. 106 a) sowie zum Aufbewahren von Watte und Reagenzpapieren (Abb. 106 b). Deshalb ist es zweckmäßig, einige Gläser mit einem Volumen von  $100 \text{ cm}^3$  und  $250 \text{ cm}^3$  anzuschaffen.

**Propangegeräte** (↗ Brenner, S. 24, und Druckgasflaschen, S. 30)

**Pumpen** werden im Chemieunterricht dazu benutzt, Luft durch Apparaturen zu saugen (↗ S. 229). Wasserstrahlpumpen (Abb. 107) bestehen aus Glas, Kunststoffen oder Metall. Die Geräte aus Kunststoffen sind für Schüler besonders geeignet. Gebläse können oft gleichzeitig als Pumpen benutzt werden.

**Pyknometer** (Abb. 108) dienen zum Bestimmen der Dichte von Flüssigkeiten durch Wägung (↗ S. 153). Es sind kleine Kolben mit genau justiertem Volumen, die einen länglichen Schliffstopfen mit Kapillare besitzen. Sie sind meist bei  $20 \text{ °C}$  auf Einguß geeicht. Pyknometer werden mit und ohne Thermometer hergestellt.

Nennvolumen in cm<sup>3</sup> ohne Thermometer: 2 5 10 25 50 100

Nennvolumen in cm<sup>3</sup> mit Thermometer: 25 50 100

Für Dichtebestimmungen mit Pyknometern muß eine Analysenwaage zur Verfügung stehen.

**Quarzgeräte** besitzen besonders hohe chemische Widerstandsfähigkeit und Temperaturwechselbeständigkeit (↗ S. 312). Klares, durchsichtiges Quarzglas und durchscheinendes Quarzglas sind voneinander zu unterscheiden. Aus Quarzglas werden vor allem Tiegel und Schalen sowie Rohre hergestellt, während aus Quarzglas fast alle Laborgeräte wie aus Glas gefertigt werden können. Für den Chemieunterricht haben Verbrennungsrohre aus Quarzglas Bedeutung. Sie sollten wegen der hohen Anschaffungskosten aber nur dort eingesetzt werden, wo sich Verbrennungsrohre aus schwerschmelzbarem Glas nicht mehr verwenden lassen (↗ S.129). Quarzglas setzt sich bei hohen Temperaturen mit einigen Oxiden um und verliert besonders in Gegenwart von Alkalimetallsalzen seine Temperaturwechselbeständigkeit. Deshalb sind diese Stoffe stets auf Glüschiffchen oder Magnesiumrinnen in Quarzrohren zu erhitzen.

**Quecksilberauffangwannen** sind als Unterlage beim Arbeiten mit Quecksilber gedacht; denn bei Experimenten mit Quecksilber muß stets ein genügend großes Auffanggefäß untergestellt werden (↗ S. 390).

Oft werden *Quecksilberbretter* benutzt. Sie haben die Form von Holztablets mit hohem Rand und weisen an einer Ecke eine Bohrung auf, die durch einen Holzstopfen verschlossen wird. Durch diese Öffnung kann verschüttetes Quecksilber in die Vorratsflasche zurückgegeben werden.

Bei Experimenten mit Quecksilber können auch große Fotoschalen untergestellt werden. Nach dem Experimentieren ist verschüttetes Quecksilber aus der Schale sofort wieder in ein geschlossenes Aufbewahrungsgefäß zu füllen. Vorratsgefäße mit Quecksilber sind in eine geeignete Schale zu stellen.

**Quecksilberzangen** werden zum Aufnehmen von Quecksilbertropfen verwendet (Abb. 109). Kleine Quecksilbertropfen lassen sich auch mit einem Streifen blankem Zinkblech, Kupferblech oder mit Zinkstaub unter Amalgambildung beseitigen (↗ S. 390).

**Quetschhähne** gestatten es, Schlauchstücke vollständig oder teilweise abzuklemmen und damit einen Gas- oder Flüssigkeitsstrom einzustellen. Im Chemieunterricht sind sie beim Aufbau der Apparaturen häufig den Glashähnen vorzuziehen. Quetschhähne werden in zwei Ausführungen hergestellt.

Der *Quetschhahn nach Mohr* (Abb. 110 a) gestattet nur das vollständige Abquetschen des Schlauches. Er muß vor dem Zusammenbau der Apparatur mit dem Ring auf den Schlauch geschoben werden. Zum Abklemmen des Schlauches sind die Arme des Hahns durch Druck auf die beiden Köpfe zu spreizen und über den Schlauch zu schieben.

Mit dem *Quetschhahn nach Hoffmann* (Abb. 110 b) kann der Schlauch mit Hilfe der Schraube beliebig verengt werden. Sofern das Unterteil klappbar ist, läßt sich der Quetschhahn auch noch nach dem Zusammenbau von Apparaturen auf Schlauchstücke aufsetzen. Zu empfehlen sind Quetschhähne mit 30 mm und 50 mm Breite.

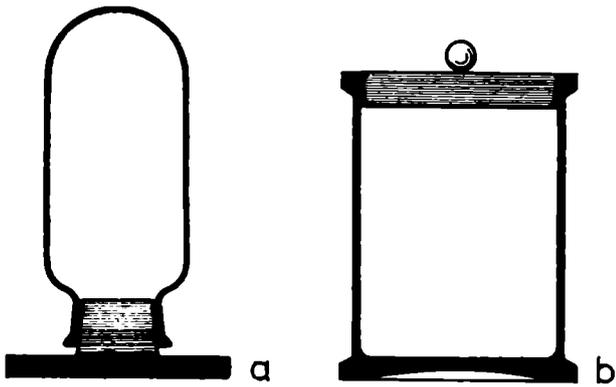


Abb. 106

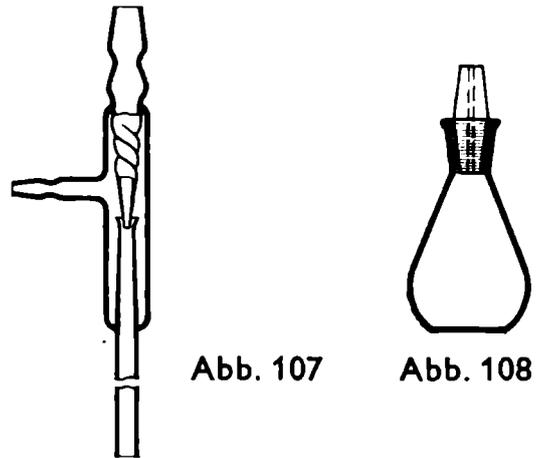


Abb. 107

Abb. 108

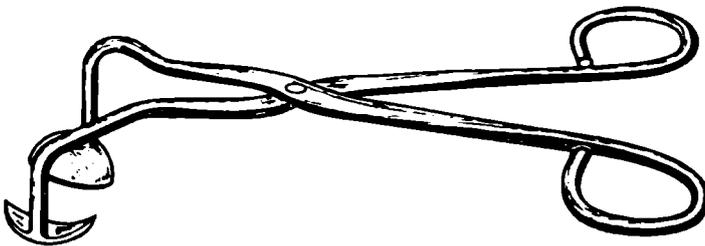


Abb. 109

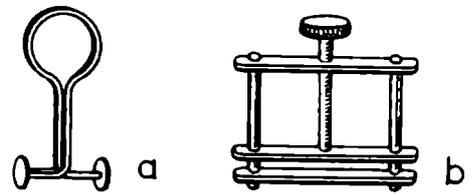


Abb. 110

- Abb. 106 Präparategläser in zwei Formen  
 Abb. 107 Wasserstrahlpumpe aus Glas  
 Abb. 108 Pyknometer  
 Abb. 109 Quecksilberzange  
 Abb. 110 Quetschhähne a) Quetschhahn nach *Mohr*, b) nach *Hoffmann*

**Reagenzgläser** (Abb. 111) sind im Chemieunterricht häufig und vielseitig benutzte Geräte. Sie werden aus verschiedenen Glassorten (↗ S. 312) in unterschiedlichen Größen hergestellt (Tab. 43). Reagenzgläser sollten in großer Anzahl vorrätig sein. Neben einfachen Reagenzgläsern sind für den Chemieunterricht auch Reagenzgläser mit Seitenrohr erforderlich (Tab. 44).

**Tabelle 43** Reagenzgläser

Außendurchmesser $d$ in mm (Nenngröße)	8	10	12	14	16	18	20	30	40		
Länge $l$ in mm	75	100	100	130	160	180	180	200	180	200	200

**Tabelle 44** Reagenzgläser mit Seitenrohr

Außendurchmesser $d$ in mm (Nenngröße)	8	12	16	18	30
Länge $l$ in mm	75	100	160	180	200
Durchmesser des Seitenrohres	5	6	8	8	8

Bei einigen Experimenten sind graduierte Reagenzgläser und Reagenzgläser mit Kegelschliff (NS 14/23) und Schliffstopfen recht vorteilhaft. Hierbei sollten Gläser der Größe 16 mm × 160 mm ausgewählt werden.

**Reagenzlashalter** sind in verschiedenen Formen in den Schulen anzutreffen. Zweckmäßig sind Reagenzlashalter aus Holz (Abb. 112 a) oder Metall (Abb. 112 b).

**Reagenzglasständer** sind Gestelle aus Holz, in denen 12 oder 24 Reagenzgläser meist in zwei Reihen hintereinander abgestellt werden können. Vielfach sind sie noch mit einer Reihe Abtropfstäben ausgestattet. Für Schülerexperimente werden Reagenzglasgestelle oder Reagenzglasständer für Halbmikrotechnik (↗ S. 56) eingesetzt. Bei Anwendung der Makrotechnik reichen Gestelle für eine Reihe Gläser aus. Reagenzglasständer können im Werkunterricht selbst gebaut werden.

**Reduzierventil** (↗ Druckminderventile, S. 34)

**Reibschalen mit Pistill** dienen zum Zerreiben fester Stoffe. Je nach dem Verwendungszweck werden sie in verschiedener Form aus Porzellan oder Achat hergestellt. Im Chemieunterricht sind hauptsächlich die einfachen Reibschalen mit Pistill (Abb. 113 a) gebräuchlich (Tab. 45). Für die Halbmikrotechnik sind Freiburger Mörser mit Pistill (Abb. 113 b) erforderlich ( $d_1 = 45$  mm,  $d_2 = 60$  mm).

**Tabelle 45** Reibschalen mit Pistill

Innendurchmesser $d_1$ in mm (Nenngröße)	■ 50	67	90	125	160	200
Außendurchmesser $d_2$ in mm	62	83	110	147	184	228
Höhe $h$ in mm	30	40	55	70	90	115
Inhalt in cm <sup>3</sup>	43	85	225	575	1340	2575
Pistilldurchmesser $d_3$	11	18	24	27	30	36
Stieldurchmesser $d_4$ in mm	6	8	11	13	15	18
Länge $l$ in mm	80	90	100	130	130	150

**Retorten** sind Gefäße, in denen schwerflüchtige Stoffe, die Schlauchverbindungen und Stopfen angreifen, destilliert werden können (Abb. 114 a). Solche Experimente sind aber vorteilhafter in Apparaturen aus Geräten mit Kegelschliffen durchzuführen.

Zu den Retorten gehören Kugelvorlagen (Abb. 114 b). Die dreifach tubulierte Kugelvorlage hat gewisse Bedeutung bei Demonstrationsexperimenten (z. B. Oxydation des Stickstoffs der Luft).

**Rezipientenglocken** (Abb. 115) werden hauptsächlich bei Demonstrationsexperimenten über die Zusammensetzung der Luft benötigt. Zweckmäßig ist dafür die Glocke mit einem Tubus (Tab. 46). Beim Experimentieren sollten die Glocken auf Glasstäben stehen, damit das Wasser von unten nachströmen kann.

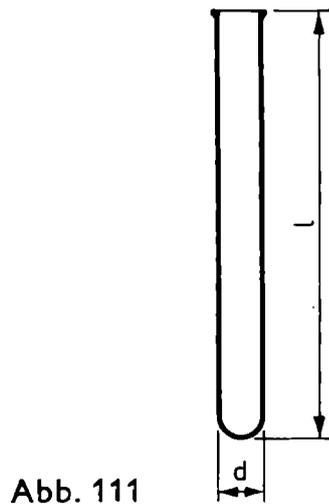


Abb. 111

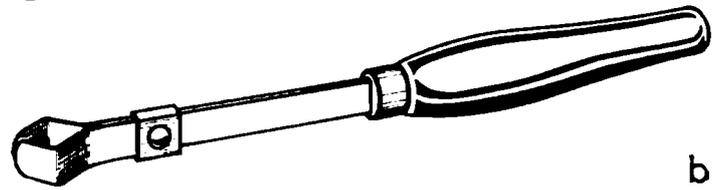
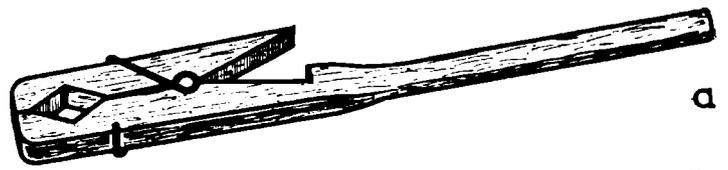


Abb. 112

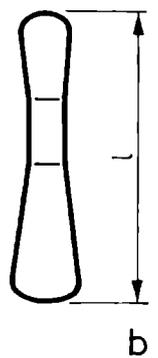
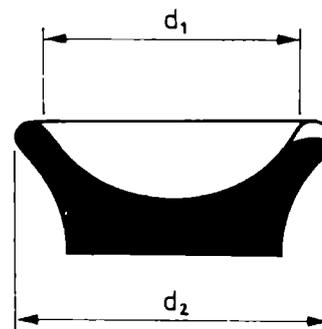
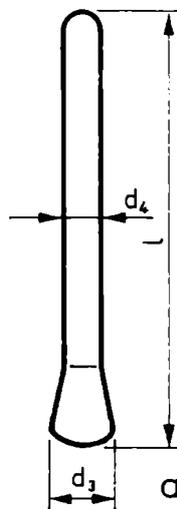
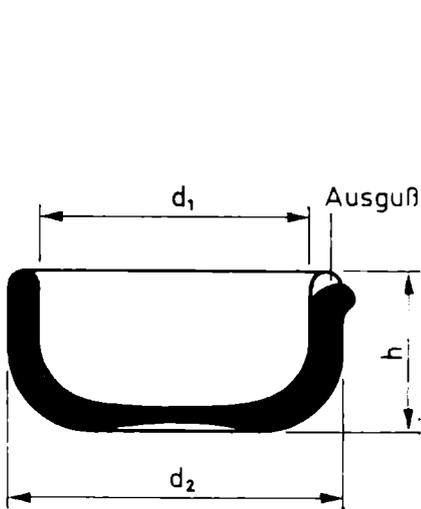


Abb. 113

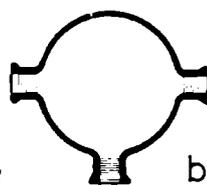
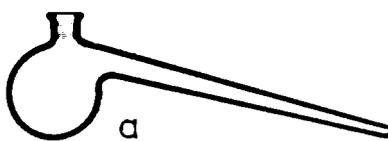


Abb. 114

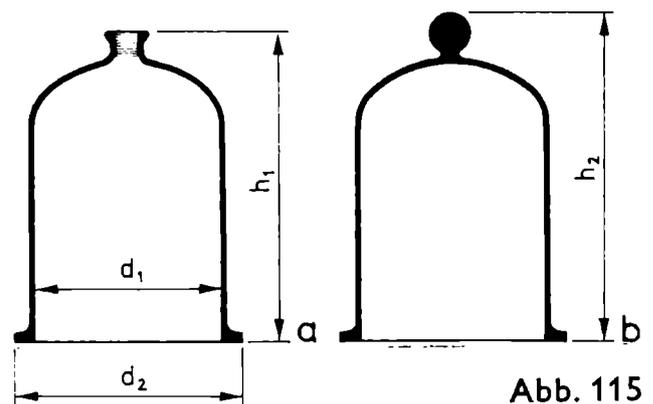


Abb. 115

Abb. 111 Reagenzglas

Abb. 112 Reagenzglashalter

a) Reagenzglashalter aus Holz, b) aus Metall

Abb. 113 Einfache Reibschale mit Pistill (a) und Freiberg Mörser mit Pistill (b)

Abb. 114 Retorte (a) und Kugelvorlage (b)

Abb. 115 Rezipientenglocken

a) Rezipientenglocke mit Tubus, b) ohne Tubus

**Tabelle 46** Rezipientenglocken

Innendurchmesser $d_1$ in mm (Nenngröße)	100	150	200	250	300				
Größter Durchmesser $d_2$ in mm	150	200	250	300	360				
Höhe $h_1$ in mm	162	212	232	282	292	342	360	410	420
Höhe $h_2$ in mm	180	230	260	300	320	370	390	440	450
Kegelschliff NS	29/32						45/40		

**Sandbäder** werden zum langsamen und gleichmäßigen Erwärmen von Gefäßen verwendet. In den größeren Laboratorien finden Sandbäder mit elektrischer Heizung Anwendung, weil dadurch eine gute Temperaturregelung möglich ist. Wegen des seltenen Einsatzes im Chemieunterricht sind einfache Sandbadschalen aus Metall ( $d = 150$  mm) ausreichend, die auf einem Dreifuß über dem Brenner erhitzt werden. Für das Erhitzen von Glasgeräten ist nur Seesand zu verwenden, da anderer Sand das Glas leicht ritzt. Sandbadschalen lassen sich mit einer Sandfüllung auch gut als Unterstellgefäße bei Experimenten (z. B. Reduktion von Eisen(III)-oxid durch Aluminium) benutzen. Für ein gleichmäßiges Erhitzen geringer Stoffmengen werden *Metallheizblöcke* empfohlen [25].

**Schalen** (↗ Abdampfschalen, S. 18, Kristallisierschalen, S. 62, Uhrglasschalen, S. 98, und Petrischalen, S. 69)

**Scheidetrichter** (↗ Trichter, S. 92)

**Schläuche** werden zur Verbindung von Geräten in verschiedenen Ausführungen benötigt. Am besten geeignet ist der weiche Gummischlauch (rot oder grau), der lange elastisch bleibt (Tab. 47). Glasrohre, die mit einem Schlauch verbunden werden, sollen stets rundgeschmolzen sein und einander berühren. Zum Anschluß von Bunsenbrennern muß der Innendurchmesser des Schlauches 8 mm betragen. Für Experimente mit Chlor sind Schläuche aus Weich-PVC geeignet.

**Tabelle 47** Schläuche

Innendurchmesser in mm (Nenngröße)	● 3	● 4	5	6	8	10	12	15
Passend zu Rohren mit Außendurchmesser in mm	4	6	7	8	9	11	12,5	16
Wandstärke bei normalem Schlauch in mm	1,2	2,0	1,5	2,0	2,0	2,0	3,0	4,0
Wandstärke bei Vakuumschlauch in mm	–	4	–	5	6	8	–	8

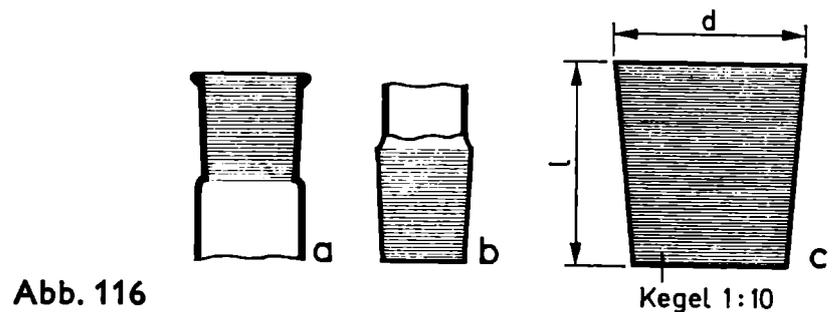


Abb. 116 Kegelschliffhülse (a) und -kern (b) mit Abmessungen (c)

*Vakuumschläuche* mit großer Wandstärke sind zum Verbinden von Geräten notwendig, die evakuiert werden sollen (Tab. 47). Der Schlauch ist mindestens 2 bis 4 cm auf die Glasrohre zu schieben.

*Druckschläuche* sind zum Beispiel zum Anschluß von Wasserstrahlpumpen an die Wasserleitung erforderlich. Sie besitzen eine Kordeinlage. Für den Chemieunterricht sind vor allem Schläuche mit einem Innendurchmesser von 13 mm bei 3 mm Wandstärke erforderlich. Sie müssen an den Anschlußstellen durch Schlauchschellen gesichert werden.

**Schliffarten** (Schliffe, Normalschliffe) sind Schliffstellen an Geräten mit standardisierter Form und Abmessung, die ein leichtes und sicheres Zusammenfügen einzelner Geräte zu Apparaturen ermöglichen. Es gibt sphärische Schliffe, Zylinder-, Plan- und Kegelschliffe. Kegelschliffe haben im Chemieunterricht die größte Bedeutung.

Bei Kegelschliffen ist jeweils zwischen Schliffhülse (Abb. 116a) und Schliffkern (Abb. 116b) zu unterscheiden, die ineinander gesetzt werden können. Die Form der Kegelschliffe wird durch die Neigung des Kegels bestimmt. Sie ergibt sich als Quotient aus der Differenz von großem und kleinem Durchmesser sowie der Länge  $l$  (Abb. 116c).

Am wichtigsten sind Kegelschliffe mit der Neigung 1:10.

Die Kennzeichnung dieser Kegelschliffe erfolgt durch die Buchstaben NS und die Angabe des großen Kegeldurchmessers  $d$  sowie der Länge  $l$  (Abb. 116c). Beide Zahlen sind durch einen Schrägstrich getrennt (Tab. 48), zum Beispiel: NS 29/32

Tabelle 48 Abmessungen des Kegelschliffs für Schliffbauteile

Nenngröße NS	10/19	12/21	14/23	19/26	24/29	29/32
Großer Durchmesser $d$ in mm	10	12,5	14,5	18,8	24	29,2
Länge $l$ in mm	19	21	23	26	29	32
Nenngröße NS	34/35	45/40	60/46	71/51	85/55	
Großer Durchmesser $d$ in mm	34,5	45	60	71	85	
Länge $l$ in mm	35	40	46	51	55	

Hierbei handelt es sich um einen Kegel mit dem großen Kegeldurchmesser von 29 mm und einer Höhe von 32 mm. Die Angabe der Höhe ist notwendig, da 4 Reihen von Schlifflinien mit dem Kegel 1:10 festgelegt sind, die bei gleich großem Durchmesser verschiedene Höhen aufweisen.

**Schliffbauteile** sind Laborgeräte aus Glas, die mit Kegelschliffhülse oder -kern versehen sind, um sie zu größeren Apparaten zusammenfügen zu können. Auf die wichtigsten solcher Geräte, wie Kolben, Kühler, Tropftrichter, ist an den entsprechenden Stellen hingewiesen worden. Neben den angegebenen Glasgeräten mit Kegelschliff wird eine große Anzahl von Schliffbauteilen mit Kegelschliff hergestellt (Abb. 117). Für den Chemieunterricht wird ein entsprechender Gerätesatz angeboten, der auch Kolben und Laborthermometer mit Kegelschliff enthält. Apparaturen aus Schliffbauteilen sind vorzugsweise für Demonstrationsexperimente geeignet.

**Schmelzlöffel** bestehen aus einer halbkugelförmigen Metallschale ( $r = 35 \text{ mm}$ ) mit Ausguß und einem Stiel mit Holzgriff.

**Schmelztemperaturbestimmungsapparate** werden in zwei Formen hergestellt (Abb. 118). Die zugehörigen Schmelztemperaturbestimmungsröhrchen mit einer Weite von etwa 1 mm lassen sich durch Ausziehen von Glasrohren und Zerschneiden der entstehenden Kapillare auf etwa 8 cm Länge selbst herstellen. Sie werden einseitig zugeschmolzen (↗ S. 315). Zur Bestimmung der Schmelztemperatur wird etwas von dem festen Stoff mit der Öffnung des Schmelztemperaturbestimmungsröhrchen aufgenommen und auf dessen Boden befördert. Dazu muß das Röhrchen in einem längeren Glasrohr mehrmals auf eine Holzunterlage herabfallen.

Nachdem das Röhrchen mit der Substanz an der Quecksilberkugel des Laborthermometers anliegt, wird die Badflüssigkeit Glycerol oder Paraffinöl langsam erwärmt (Abb. 118a). Die Temperatur soll nicht schneller als  $2 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$  ansteigen. Gegenwärtig wird besonders für Schülerexperimente das Arbeiten mit einem Heizblock empfohlen, der Bohrungen für die Röhrchen mit der Substanz und das Laborthermometer enthält. Der Heizblock ist ebenfalls langsam zu erwärmen [25].

**Spatel** gehören in mehreren Exemplaren zu jedem Arbeitsplatz im Fachunterrichtsraum. Sie werden als Spatellöffel (Tab. 49) aus Porzellan hergestellt (Abb. 119). Ferner gibt es Spatellöffel und Doppelspatel aus Horn, Kunststoffen, Nickel und rostfreiem Stahl. Für Schulen sind vor allem Spatel aus Kunststoffen und aus Stahl zu empfehlen.

**Tabelle 49** Spatellöffel

Länge $l$ in mm (Nenngröße)	90	140	200	300
Spatelbreite $b_1$ in mm	11	17	25	37
Löffelbreite $b_2$ in mm	15	25	35	50

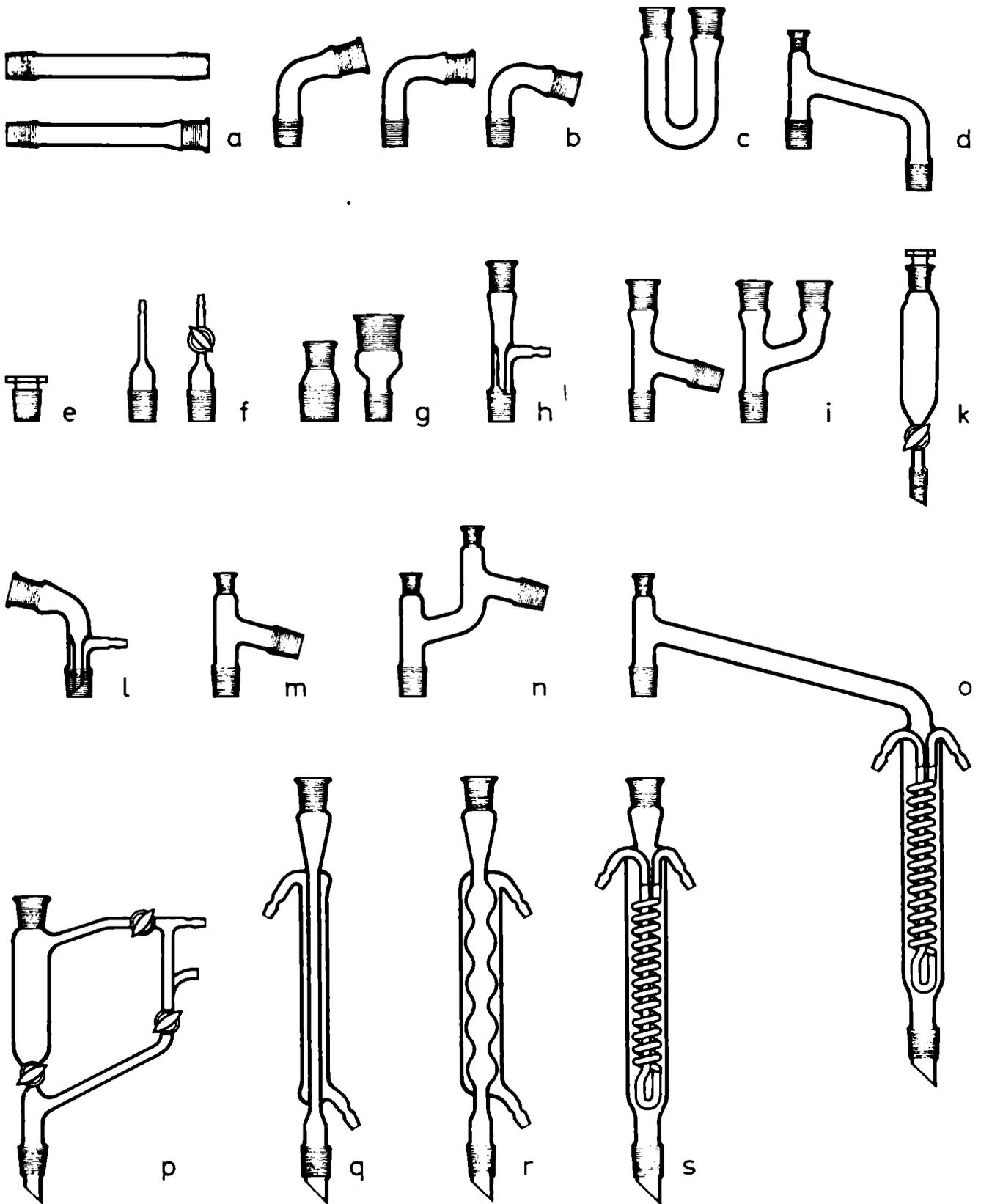


Abb. 117

Abb. 117 Schliffbauteile

a) Rohre, b) Winkelstücke (Krümmer), c) Trockenrohr, d) Destillieraufsatz, e) Stopfen, f) Kopfstücke, g) Zwischenstücke, h) Vorstoß, gerade, i) Zwischenstücke mit Abzweigung, k) Tropftrichter, l) Vorstoß, gebogen, m) Destillieraufsatz, n) Claisenaufsatz, o) Destillieraufsatz mit Dimrothkühler, p) Destilliervorlage nach Anschütz-Thiele, q) Liebigkühler, r) Kugelkühler, s) Dimrothkühler

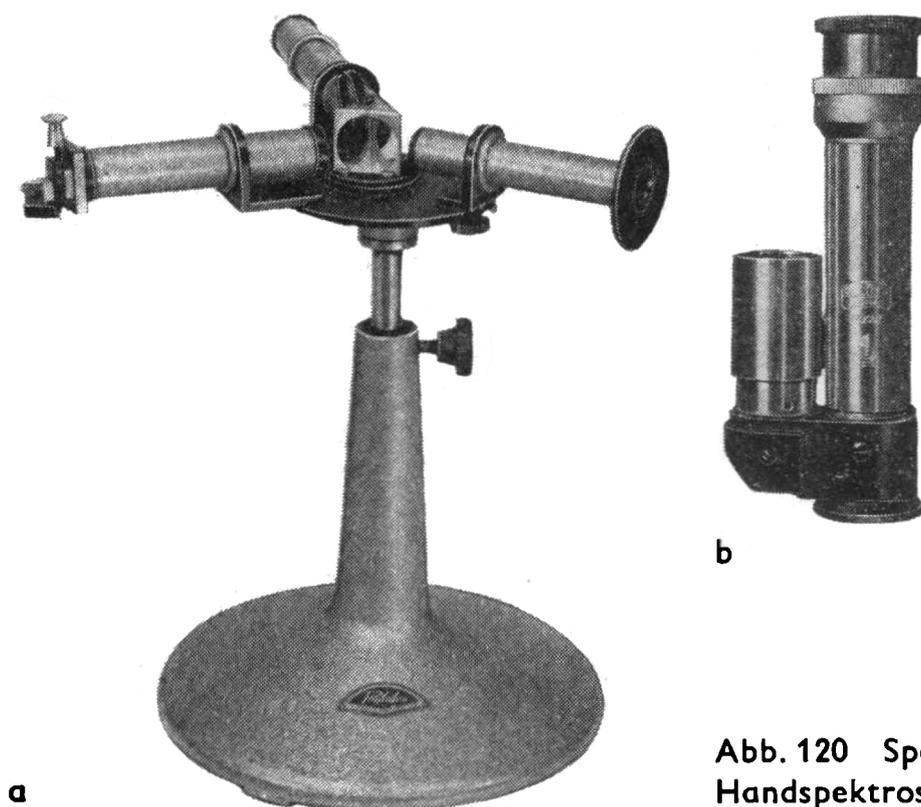


Abb. 120 Spektralapparat (a) und Handspektroskop (b)

**Spektralapparate** werden zur Beobachtung von Emissions- und Absorptionsspektren bei der Analyse von Stoffen verwendet. Innerhalb des Chemieunterrichts ist der Einsatz derartiger Geräte schwierig, weil – ähnlich wie beim Mikroskopieren – jeweils nur ein Schüler am Gerät arbeiten kann. In der außerunterrichtlichen Arbeit ist die Verwendung jedoch möglich. Der betreffende Stoff wird im allgemeinen in der Flamme verdampft und das Licht (Flammenfärbung) durch ein Prisma dispersiert beziehungsweise separiert. Das Spektrum kann am Okular der Gerätes beobachtet werden. Für diesen Zweck sollten die einfachen Handspektroskope (Abb. 120b) dem Spektralapparat (Abb. 120a) vorgezogen werden.

**Spindeln** (↗ Aräometer, S. 20)

**Spritzflaschen** (Abb. 121) dienen hauptsächlich als Vorratsflaschen für destilliertes Wasser. Sie können jedoch auch für andere Flüssigkeiten benutzt werden. Der Inhalt muß dann aber entsprechend gekennzeichnet sein.

Die Spritzflasche besteht aus einem Stehkolben mit Schliffaufsatz (NS 29/32) in den Größen  $250\text{ cm}^3$ ,  $500\text{ cm}^3$  und  $1000\text{ cm}^3$ . Sie kann auch aus einem Stehkolben und Glasrohren selbst zusammengestellt werden (Abb. 121b). Für die Arbeit im Chemieunterricht bietet die Spritzflasche aus Polyethylen wesentliche Vorteile (Abb. 121a). Sie ist weit weniger empfindlich als die Spritzflasche aus Glas.

**Standzylinder** sind zum Auffangen von Gasen bei Demonstrationsexperimenten unerlässlich. Sie werden mit abgeschliffenem Rand (Abb. 122a) oder mit umgelegtem und plangeschliffenem Rand (Abb. 122b) hergestellt. Die erstgenannte Form wird auch mit Graduierung hergestellt (Tab. 50).

Standzylinder bestehen aus starkwandigem Glas. Sie dürfen deshalb nicht erhitzt werden. Flüssigkeiten sollten in Standzylindern nicht gemischt werden, wenn dabei Wärme entsteht.

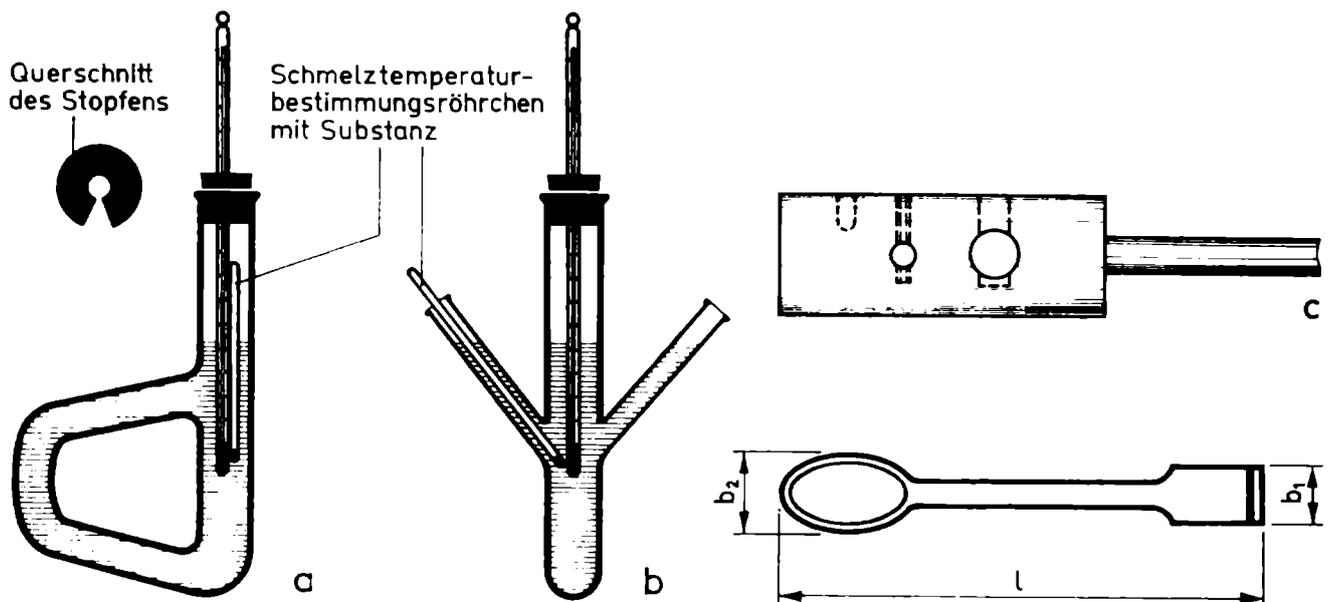


Abb. 118

Abb. 119

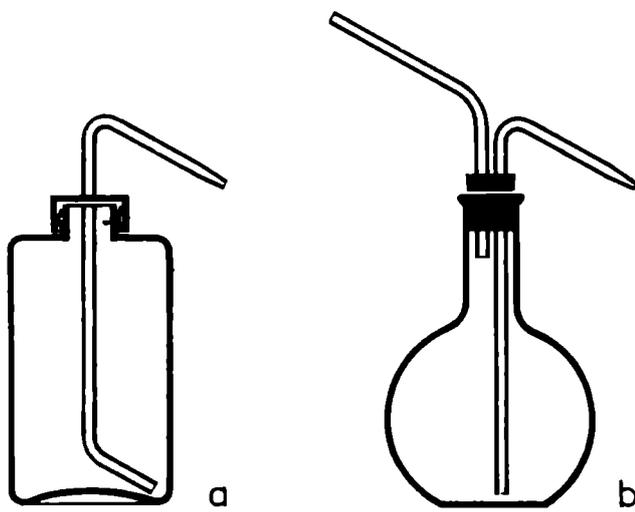


Abb. 121

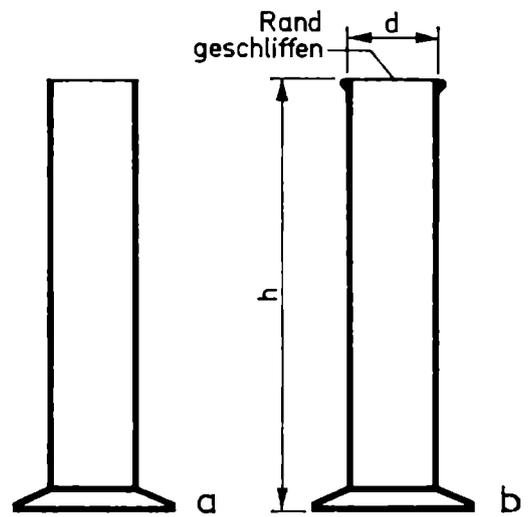


Abb. 122

Abb. 118 Schmelztemperaturbestimmungsapparate ohne (a) und mit (b) Seitenrohr sowie Heizblock (c)

Abb. 119 Spatellöffel

Abb. 121 Spritzflasche aus Polyethylen (a) und aus Glas (b)

Abb. 122 Standzylinder mit abgeschliffenem (a) und umgelegtem plangeschliffenem Rand (b)

**Tabelle 50** Standzylinder

Höhe $h$ in mm (Nenngröße)	100	■ 150	200	200	250	300	300	400
Durchmesser $d$ in mm	60	60	60	80	80	100	80	80

**Stativheizplatten** (↗ elektrische Heizgeräte, S. 35)

**Stativmaterial** ist zum Aufbau aller Apparaturen notwendig. Im Chemieunterricht ist das Stativ mit Zubehör nach *Bunsen* gebräuchlich. Einzelne Teile des Zubehörs sollten entsprechend der Häufigkeit des Bedarfs angeschafft werden.

Stativplatten (Abb. 123 a) bestehen meist aus Grauguß (Tab. 51). Oft, besonders zum Befestigen von Büretten, werden aber auch Stative mit Dreifuß (Abb. 124) verwendet.

**Tabelle 51** Stativplatten

Nenngröße	●	■ 1	2	4	5
Breite $b$ in mm	100	125	160	200	200
Länge $l$ in mm	120	200	250	315	315
Gewinde	M10	M10	M10	M10	M12

Stativstäbe (Abb. 123 b) bestehen aus Aluminium oder Stahl (Tab. 52).

**Tabelle 52** Stativstäbe für Stativplatten

Länge $l$ (Nenngröße) in mm	● 350	500	600	750	1 000
Durchmesser $d$ in mm		13			16
Gewinde		M10			M 12
Passende Stativplattengröße	1	2	3	4	5

Stativklappen ohne Muffe (Abb. 125) werden aus Grauguß, Stahlblech, vor allem aber aus lackiertem Stahl und eloxiertem Leichtmetall (wenig hitzebeständig) hergestellt (Tab. 53). Es gibt sie in zwei Formen (Abb. 125 a und b).

**Tabelle 53** Stativklappen

Form	A			B		
Wirksamste Spannweite $d$ in mm (Nenngröße)	■ 25	40	60	37	65	95

Beim Einspannen von Glasgeräten müssen sich zwischen dem Glas und den Backen der Stativklappe elastische Stoffe, wie Kork, Filz oder Gummi, befinden.

Stativmuffen dienen zum Verbinden gleichartiger, zylindrischer Stativteile, zum Beispiel zur Befestigung von Stativklappen oder Ringen an Stativstäben. Für den Chemieunterricht sind Kreuzdoppelmuffen und Doppelmuffen wichtig (Abb. 126). An Muffen müssen zylindrische Stativteile von 10 ... 17,25 mm Durchmesser befestigt werden können. Die Nennweite beträgt 16 mm. Kreuzdoppelmuffen sind so am Stativ anzubringen, daß die einzuspannenden Teile von oben in die Muffe eingelegt werden können.

Stativringe bestehen im allgemeinen aus Grauguß. Sie werden ohne Muffe (Abb. 127; Tab. 54) und mit Muffe (Abb. 128; Tab. 55) hergestellt.

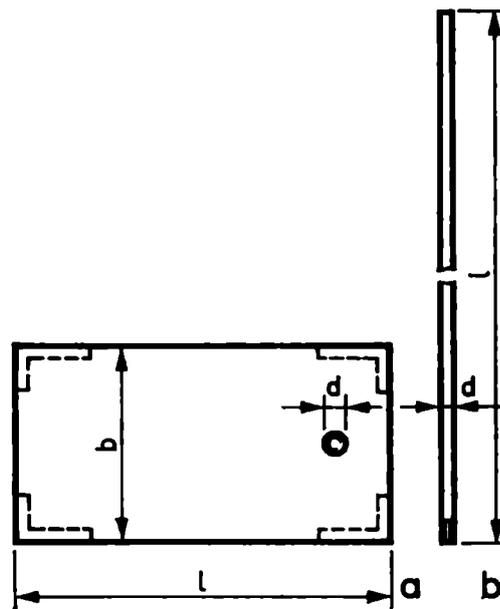


Abb. 123

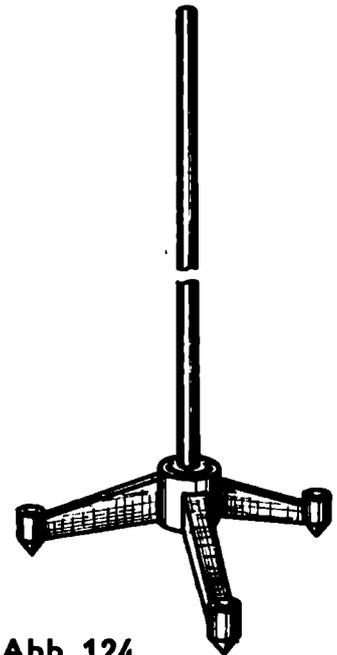


Abb. 124

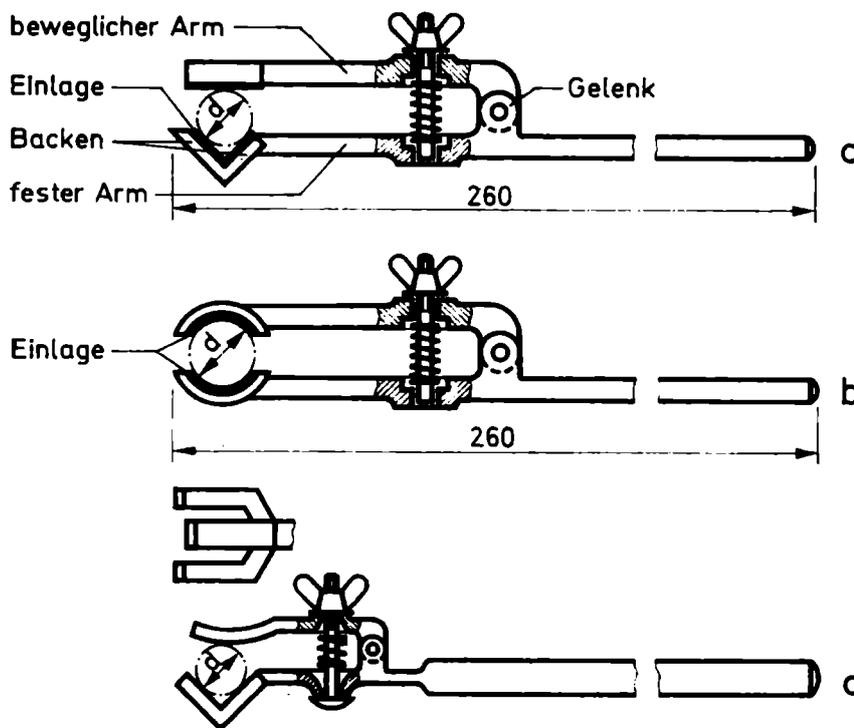


Abb. 125

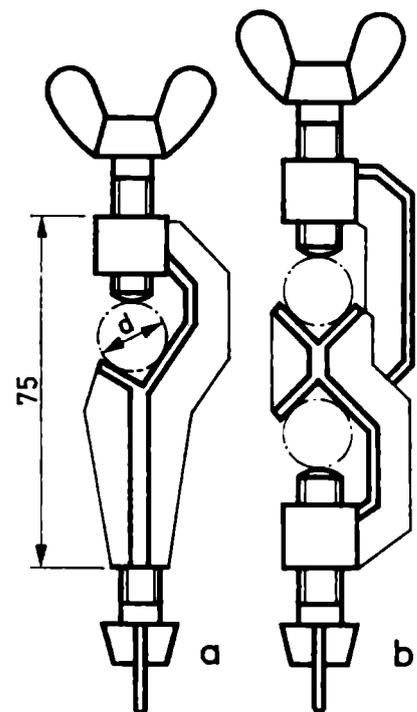


Abb. 126

Abb. 123 Stativplatte (a) und Stativstab (b)

Abb. 124 Stativ mit Dreifuß

Abb. 125 Stativklemme ohne Muffe a) Form A, b) Form B, c) Form C

Abb. 126 Stativmuffe a) Kreuzdoppelmuffe, b) Doppelmuffe

**Tabelle 54 Stativringe ohne Muffe**

Innendurchmesser des Ringes $d_1$ in mm (Nenngröße)	70	■ 100	130	160
Durchmesser des Stiels $d_2$ in mm	11	11	13	13

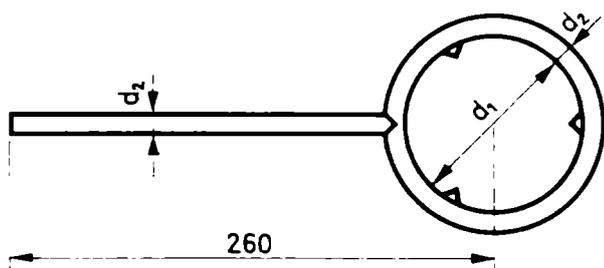


Abb. 127

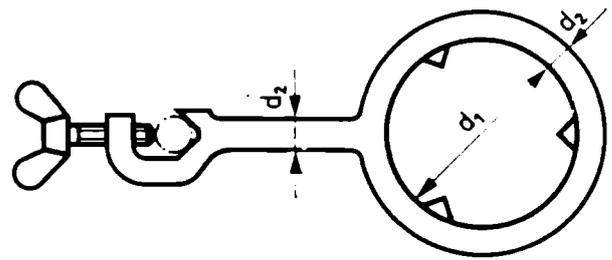
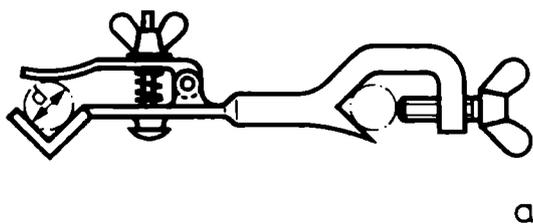
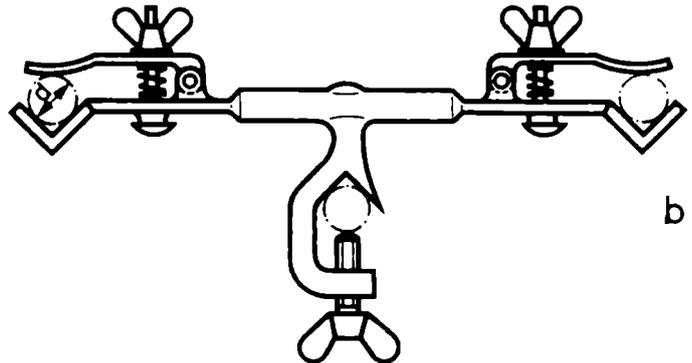


Abb. 128



a



b

Abb. 129

Abb. 127 Stativring ohne Muffe

Abb. 128 Stativring mit Muffe

Abb. 129 Bürettenklemmen a) einarmig, b) zweiarmig

**Tabelle 55** Stativringe mit Muffe

Innendurchmesser des Ringes $d_1$ in mm (Nenngröße)	70	■ 100	130	160
Ringdurchmesser $d_2$ in mm	11	11	13	13

**Bürettenklemmen** (Abb. 129) sind zum Anbringen von Büretten oder ähnlichen Geräten am Stativ notwendig. Sie werden vorwiegend aus Grauguß, Stahlblech oder eloxiertem Leichtmetall hergestellt. Büretten können auch an Bürettenstativen aus Holz (Abb. 130) befestigt werden.

**Universalstative** (Abb. 131) ermöglichen das Befestigen ganzer Apparaturen, deren Teile dabei neben- und übereinander angebracht und so für die Schüler gut sichtbar angeordnet werden können. Ihr Einsatz ist dann ratsam, wenn im Fachunterrichtsraum durch relativ hohe Anordnung des Experimentiertisches das Beobachten von Apparaturen auf der Tischplatte erschwert ist. Die Verwendung ist auch dann sinnvoll, wenn beim Aufbau komplizierter Apparaturen auf dem Tisch Teile hintereinander stehen müßten.

**Halbmikro-Stative** mit zugehörigen speziellen Klemmen (Abb. 132) werden für das Experimentieren der Schüler benötigt.

**Filtrierstative** (Abb. 133) werden beim Filtrieren benutzt. Sie bestehen aus Holz oder Plastikwerkstoffen. Da auch anderes Stativmaterial geeignet ist, erscheint diese Anschaffung nicht unbedingt erforderlich.

**Pipettenständer** werden aus Holz gefertigt und für den Chemieunterricht nur in ein bis zwei Exemplaren benötigt.

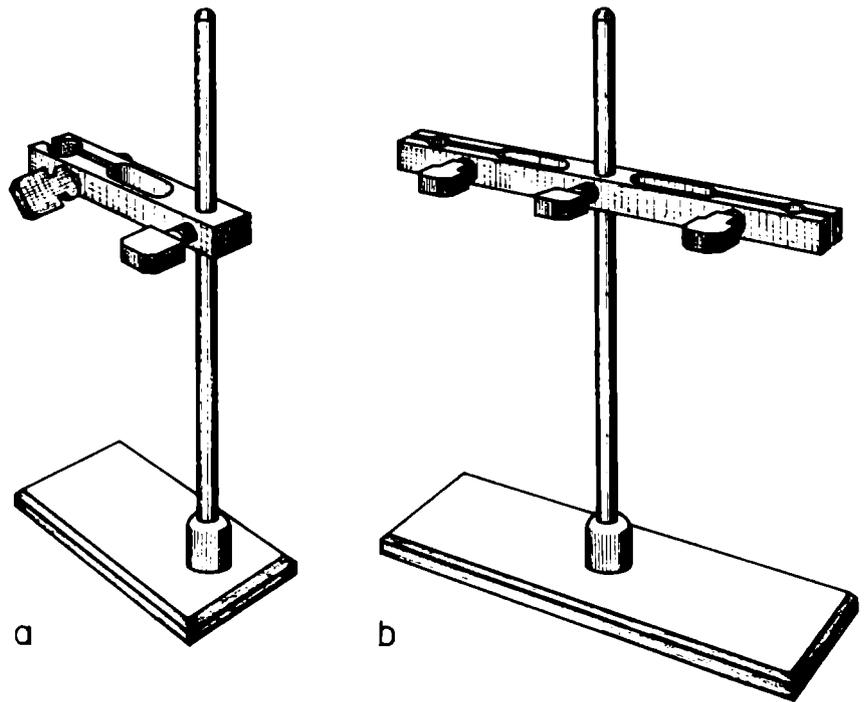
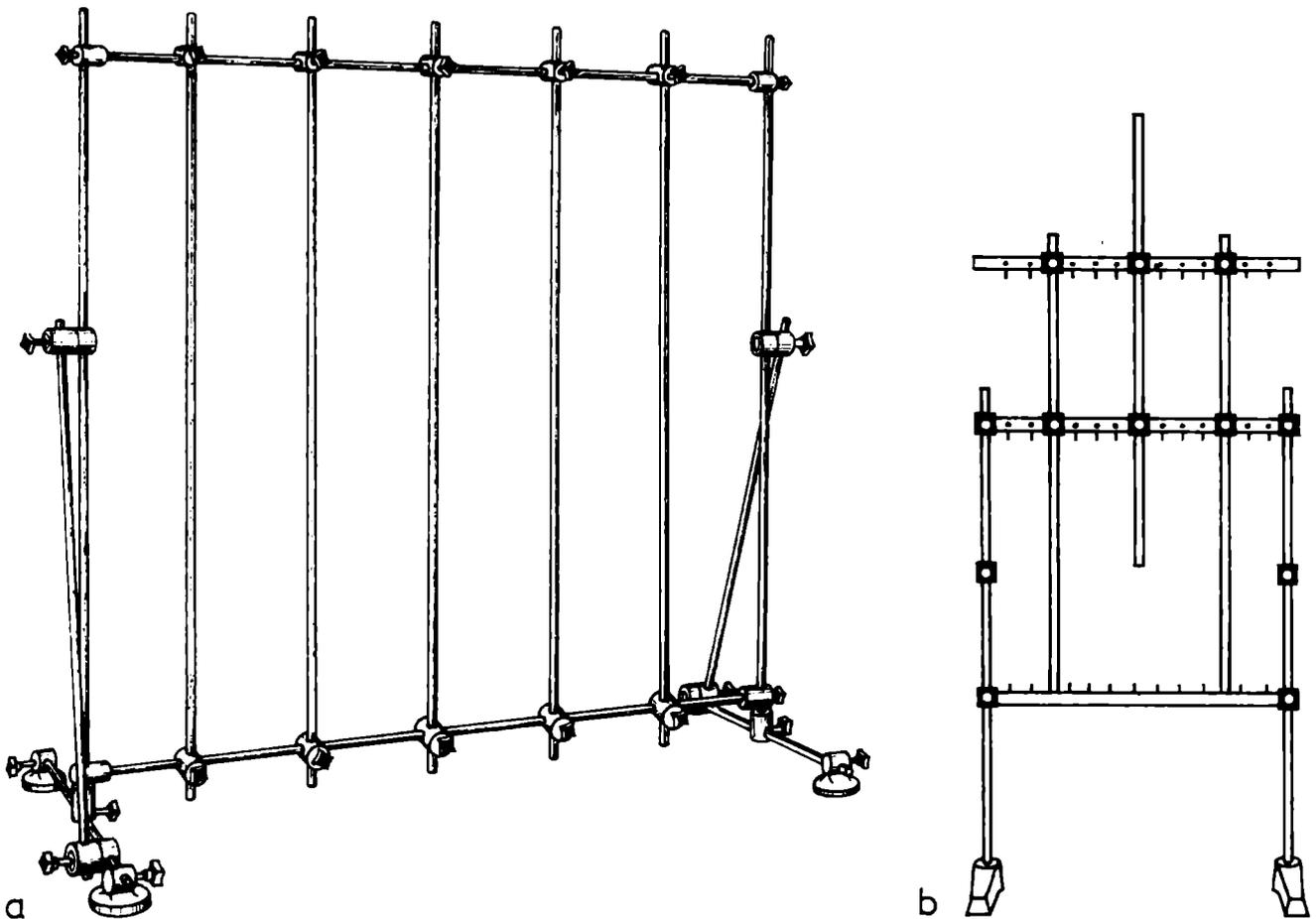


Abb. 130

a

b



a

b

Abb. 131

Abb. 130 Bürettenstative

a) Bürettenstativ aus Holz für eine Bürette, b) für zwei Büretten

Abb. 131 Universalstative in zwei Formen

In der Literatur sind viele Hinweise für den Selbstbau von Stativen enthalten, die vor allem für Schülerexperimente Bedeutung haben. Derartige Vorschläge sind jedoch nur als Übergangslösungen zu betrachten.

**Stopfen** zum Verschließen von Geräten werden besonders aus weichem, elastischem Gummi, PVC, Glas, Polyethylen, in Einzelfällen auch aus Kork benötigt. *Gummistopfen* (Abb. 134) werden in vielen Größen hergestellt (Tab. 56). Gummistopfen sind auch mit Bohrungen im Handel. Häufig müssen aber Bohrungen geeigneter Größe und Anordnung selbst angefertigt werden (↗ S. 317).

**Tabelle 56** *Gummistopfen*

Großer Durchmesser $d$ (oben) in mm	● 6,5	● 9,5	● 12	● 15	17	20	22
Höhe $h$ in mm	15	15	20	20	20	25	25
Zugehöriger Kegelschliff	5/13	7/16	10/19	12/21	14/23	19/26	
Großer Durchmesser $d$ (oben) in mm	24	27	32	34	38	45	50
Höhe $h$ in mm	25	27	30	30	35	35	40
Zugehöriger Kegelschliff	–	24/29	29/32	–	34/35	–	45/40
Großer Durchmesser $d$ (oben) in mm					54	60	65
Höhe $h$ in mm					40	54	45
Zugehöriger Kegelschliff					–	–	60/40

*Glasstopfen* sind Kegelschliffstopfen mit einem Kegel 1:10 (↗ S. 77). Da alle Geräte mit Glasstopfen nur noch mit standardisierten Schliffen hergestellt werden, ist ein Austausch der Glasstopfen möglich. Bei Schliffgeräten sind Schliffstopfen der Größen NS 14/23 und NS 29/32 erforderlich.

*Polyethylenstopfen* werden in Größen hergestellt, die zu Kegelschliffhülsen passen.

**Stopfenbohrer** sind Metall-, meist Messingröhrchen mit unterschiedlichem Durchmesser. Sie sind an einer Seite angeschärft und an der anderen mit einem Metallgriff (Abb. 135a) oder einer Bohrung zum Durchschieben eines Metallstabes (Abb. 135b) versehen, damit sie unter leichtem Drehen durch den Stopfen gedrückt werden können (↗ S. 317).

**Stopfenbohrerschärfer** (Abb. 136) werden benötigt, um die Schneidkante der Stopfenbohrerröhrchen anzuschärfen (↗ S. 317).

**Stopfenbohrmaschinen** (Abb. 137) erleichtern das Bohren von Stopfen und gewährleisten senkrechte Bohrungen. Zu solchen Maschinen sind spezielle Stopfenbohrer erforderlich, die in das Futter des drehbaren Teils der Maschine eingesetzt werden können. Das Anschärfen erfolgt wie bei den Handbohrern.

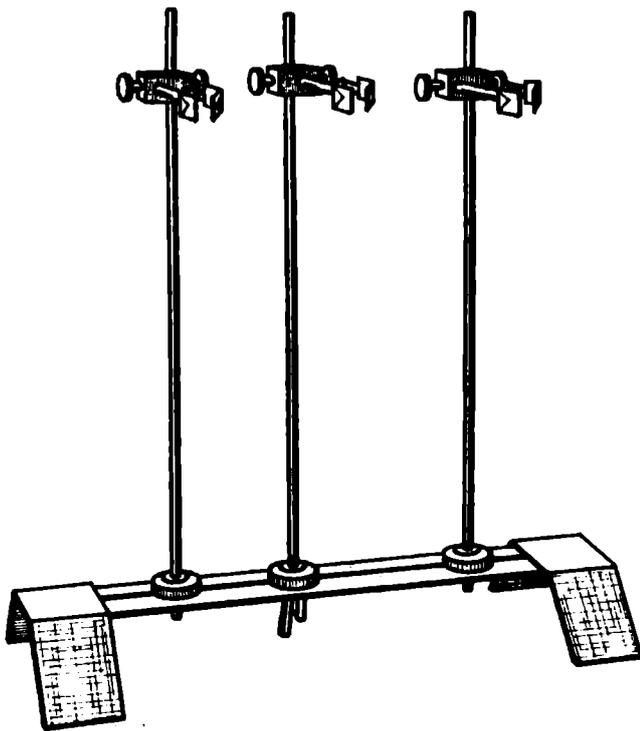


Abb. 132

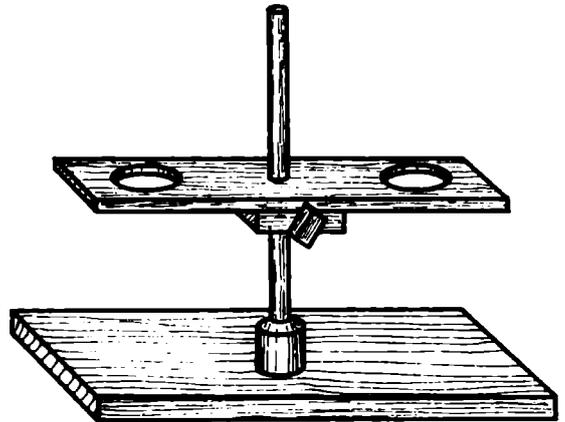
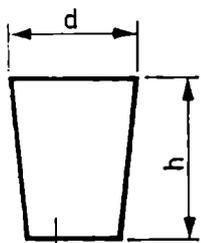


Abb. 133



Kegel 1:5  
Abb. 134

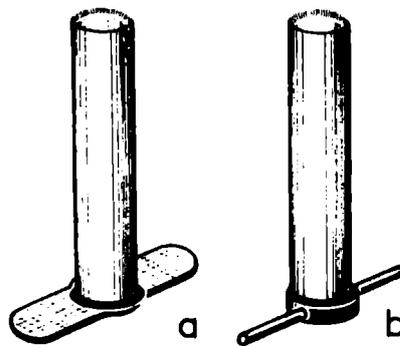


Abb. 135

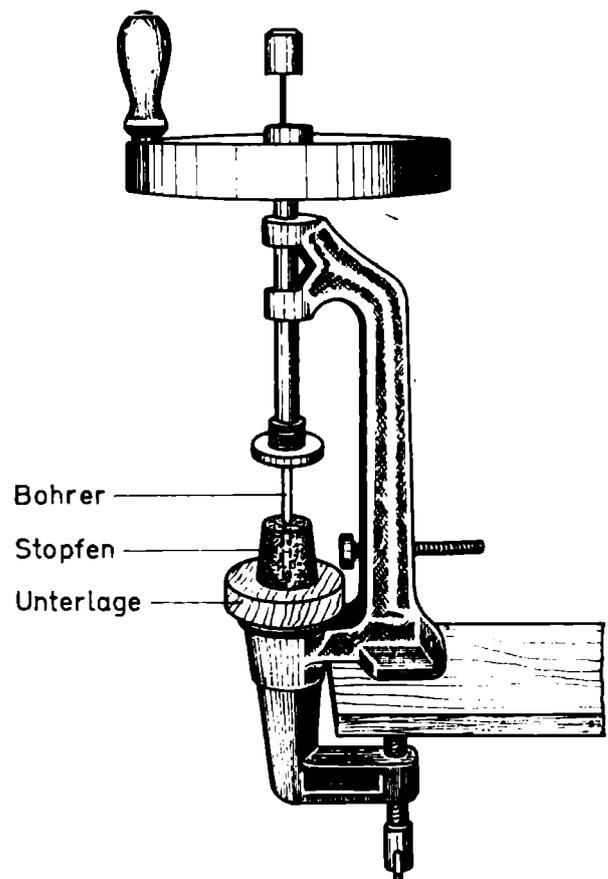


Abb. 137



Abb. 136

- Abb. 132 Halbmikro-Stativ
- Abb. 133 Filtrierstativ
- Abb. 134 Gummistopfen
- Abb. 135 Stopfenbohrer in zwei Formen
- Abb. 136 Stopfenbohrerschärfer
- Abb. 137 Stopfenbohrmaschine

**Stromversorgungsgeräte** werden bei der gegenwärtig üblichen Ausstattung der Fachunterrichtsräume mit dezentraler Stromversorgung in mehreren Exemplaren benötigt (↗ S. 234ff.).

**Thermometer** werden zum Messen von Temperaturen in sehr verschiedener Weise eingesetzt. Nach dem jeweiligen Verwendungszweck sind sie unterschiedlich ausgeführt. Folgende Thermometer sind standardisiert (Tab. 57):

**Tabelle 57** *Thermometer*

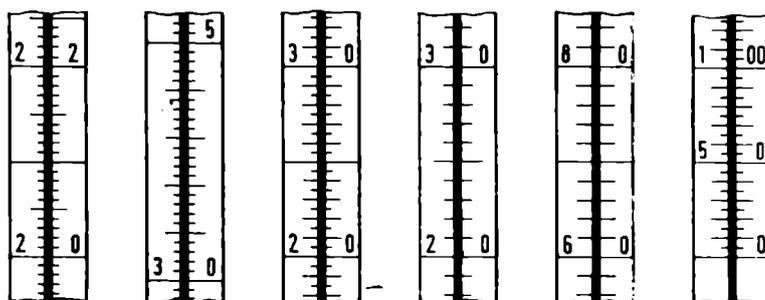
Bezeichnung	Bemerkungen
Kalorimeterthermometer	große Empfindlichkeit; zur Messung kleiner Temperaturänderungen
Fünfsatzlaborthermometer	Satz von 5 Thermometern für den Bereich 0 ... 300 °C
Siebensatzlaborthermometer	Satz von 7 Thermometern für den Bereich 0 ... 400 °C
Laborthermometer	für den Bereich -200 ... +600 °C

Im Chemieunterricht werden hauptsächlich Laborthermometer gebraucht (Tab. 59). Die Skaleneinteilung bei Thermometern ist unterschiedlich (Tab. 58):

**Tabelle 58** *Skaleneinteilung bei Thermometern*

Kleinster Teilabschnitt der Skaleneinteilung in °C	0,1	0,2	0,5	1	2	5
Ganze Skalenbreite in °C	1	5; 10	5; 10	10	10; 20	50
$\frac{2}{3}$ Skalenbreite in °C	0,5	-	-	5	-	10
Länge $\frac{1}{3}$ der Skalenbreite Teilstriche in °C	-	1	1	-	2	5
Skalenbreite in °C	0,1	0,2	0,5	1	-	-

Beispiele



**Tabelle 59** Laborthermometer (Abb. 138a und 138b)

Gesamtlänge $l$ in mm (Nenngröße)	200			300		
Meßbereich in °C	-90/+30	-58/+30	0/+100	-200/+30	-35/+50	
Teilung in K	1	1	1	1	0,5	
Durchmesser bei Einschlußthermometern $d_1$ in mm	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	
Durchmesser bei Stab- thermometern $d_2$ in mm	7	7	7	-	7	
Gesamtlänge $l$ in mm (Nenngröße)	300		400			
Meßbereich in °C	0/+200	0/+300	-58/+30	+35/+50	0/+100	
Teilung in K	1	1	0,2	0,2	0,2	
Durchmesser bei Ein- schlußthermometern $d_1$ in mm	8,5	8,5	10	10	10	
Durchmesser bei Stabthermometern $d_2$ in mm	7	7	7	7	7	
Gesamtlänge $l$ in mm (Nenngröße)	400		550			
Meßbereich in °C	0/+400	0/+600	-58/+30	-35/+50	0/+100	0/+200
Teilung in K	1	2	0,1	0,1	0,1	0,2
Durchmesser bei Einschlußthermo- metern $d_1$ in mm	10	—	10	10	10	10
Durchmesser bei Stabthermometern $d_2$ in mm	7	7	7	7	7	7

Die Thermometer können auch mit Kegelschliff (NS 14/23) versehen sein (Abb. 138 d). Bei der Bestellung dieser Thermometer sind die Einbaulängen (Abstand zwischen Schliff und Quecksilberkugel) anzugeben. Thermometer für Destillationsaufsätze haben im allgemeinen Einbaulängen von 50 mm und sind damit auf entsprechende

Geräte abgestimmt. Sollen Temperaturen von Flüssigkeiten in Rundkolben abgelesen werden, so sind beim Einführen der Thermometer in den schrägen Seitenhals folgende Einbaulängen erforderlich:

Kolbeninhalt in cm <sup>3</sup>	250	500	1000
Einbaulänge in mm	100	125	160

Außer den genannten Thermometern werden noch Thermometer für spezielle Anwendungszwecke hergestellt.

Mit dem *Einstellthermometer* (Beckmannthermometer) können Temperaturdifferenzen von  $10^{-3}$  K bei einem jeweils einstellbaren Meßbereich von 5 K bestimmt werden. Der Einstellbereich beträgt etwa  $-10 \dots +150$  °C (Abb. 138c). Dieses Thermometer wird besonders zur Bestimmung von Siedetemperaturerhöhungen und Gefriertemperaturerniedrigungen benutzt.

Für Demonstrationsexperimente gibt es große Thermometer, sogenannte *Schau-thermometer*. Der Stand der intensiv gefärbten Thermometerflüssigkeit kann vom Arbeitsplatz der Schüler beobachtet, meist jedoch nicht abgelesen werden. Die Meßgenauigkeit ist geringer als bei anderen Thermometern. Vor allem ergeben sich aber Nachteile, weil solche Thermometer wegen ihres großen Durchmessers nicht in Apparate eingebaut werden können. Günstiger sind deshalb Temperaturmeßeinrichtungen, wie sie von A. Klein entwickelt wurden (→ S. 28).

*Kontaktthermometer* gestatten im Zusammenwirken mit einem Relais und einer elektrischen Heizvorrichtung, die Temperatur in Reaktionsgefäßen konstant zu halten (→ S. 138). Sie werden nicht einstellbar und einstellbar produziert.

**Thermoskope** (Abb. 139) können benutzt werden, um Temperaturveränderungen bei chemischen Reaktionen qualitativ anzuzeigen [54]. Das Reaktionsgefäß ist von Luft umgeben, deren Volumen sich entsprechend den Wärmeerscheinungen bei der Reaktion ändert. Dadurch wird der Flüssigkeitsstand im Manometer beeinflusst.

**Tiegel** zum kräftigen Erhitzen von Stoffen sind im Chemieunterricht vor allem in Form der Schmelztiegel, der gepreßten hessischen Tontiegel (Schamottetiegel) und vereinzelt als Graphittiegel in Gebrauch.

*Schmelztiegel* (Abb. 140) werden in verschiedenen Formen mit dazugehörigen Deckeln aus Porzellan hergestellt (Tab. 60).

Von den *Schamottetiegeln* (Abb. 141) soll nur der gepreßte hessische Tontiegel (Tab. 61) erwähnt werden, der als Diaphragma bei elektrolytischen Experimenten und für aluminothermische Reaktionen geeignet ist. Im letzteren Fall werden jedoch oft auch kleine Blumentöpfe mit einem Durchmesser von etwa 40 ... 50 mm benutzt. Um den Abfluß des geschmolzenen Eisens durch das Bodenloch zu begünstigen, kann der Topf am Boden kegelförmig mit Lehm oder Zement ausgekleidet werden.

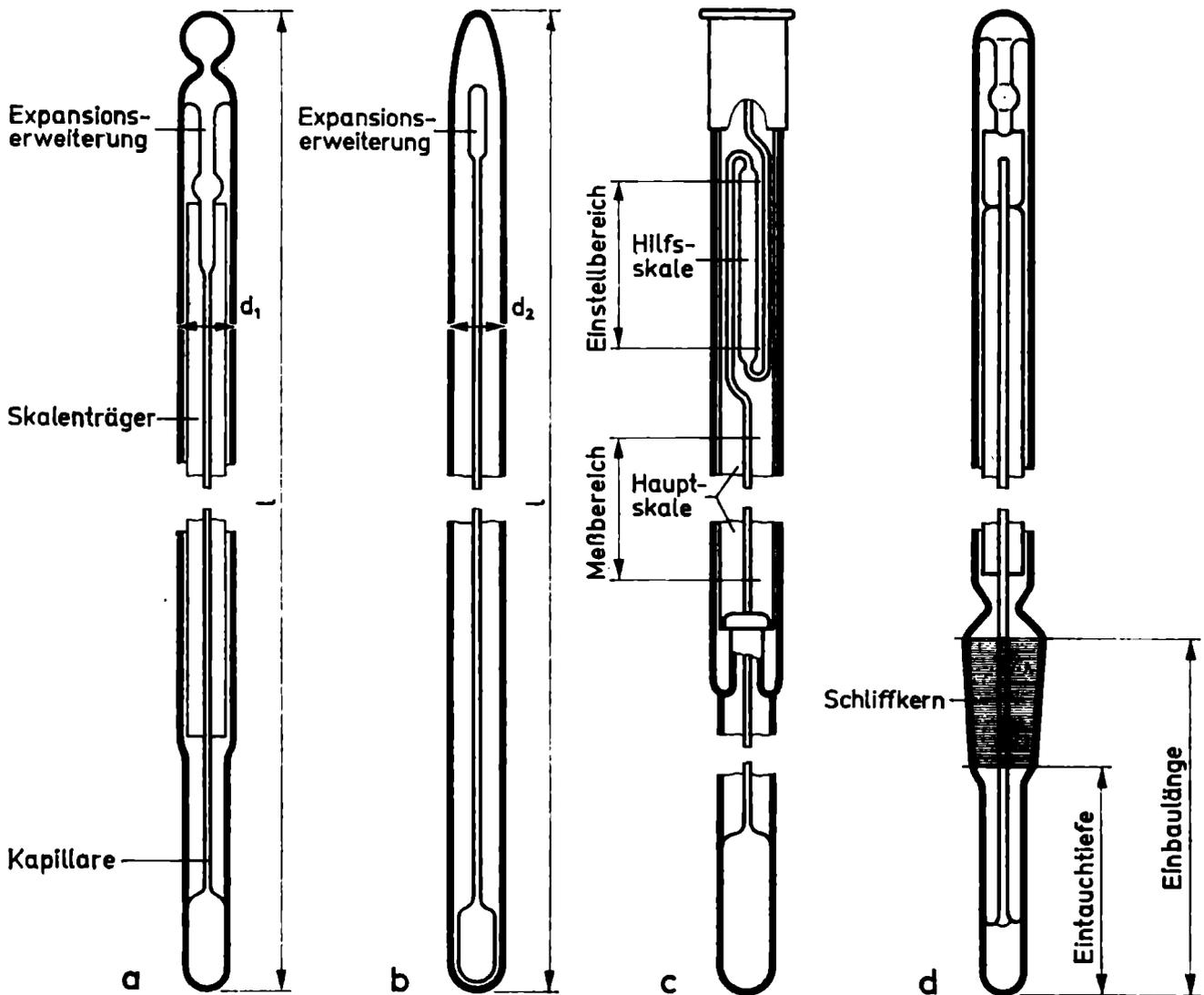


Abb. 138

Abb. 138 Laborthermometer a) Einschußthermometer, b) Stabthermometer, c) Einstellthermometer, d) Einschußthermometer mit Schliffkern

Tabelle 60 Schmelztiegel

Durchmesser $d_1$ in mm (Nenngröße)		20	25	30	40	50	60	80	100
Niedrig	Höhe $h$ in mm	—	—	20	26	33	40	53	66
	Volumen in $\text{cm}^3$	—	—	7	14	33	63	152	336
Mittelhoch	Höhe $h$ in mm	—	20	24	32	40	48	64	—
	Volumen in $\text{cm}^3$	—	5	9	23	45	79	202	—
Hoch	Höhe $h$ in mm	25	31	38	50	63	75	100	—
	Volumen in $\text{cm}^3$	4	7	16	36	73	125	312	—
Deckel	Durchmesser $d_2$ in mm	25	30	36	46	58	70	90	115
Passendes Tondreieck	Schenkellänge in mm					60	80	100	
			(40)	40	60	(80)	(100)		

**Tabelle 61** Schamottetiegel (gepreßte hessische Tontiegel)

Nenngröße Nr.	1	2	■ 3	4	5	6	7	8	9	10
Durchmesser $d$ in mm	25	30	35	40	50	60	70	80	85	95
Höhe $h$ in mm	25	35	50	60	80	100	135	150	165	190
Volumen in $\text{cm}^3$	4	8	22	32	65	140	220	330	430	600

*Graphitschmelztiegel* eignen sich für hohe Temperaturen, *Filtertiegel* haben Siebboden oder porösen Boden.

*Eisentiegel* sind ebenfalls für einige Arbeiten, vor allem für das Herstellen von Schmelzen, geeignet.

**Tiegelzangen** (Abb. 142) dienen zum Transportieren heißer Tiegel oder Glühen von Metallen. Sie werden für alle Schülerarbeitsplätze ( $l = 15 \text{ cm}$ ) und in einigen Exemplaren für den Lehrer ( $l = 20 \text{ cm}$  oder  $30 \text{ cm}$ ) benötigt. Es gibt Zangen aus Reinnickel oder Eisen, das brüniert, vernickelt oder verchromt sein kann. Für die Schülerarbeitsplätze genügen Zangen aus brüniertem Eisen.

**Tondreiecke** (Abb. 143) werden auf den Dreifuß oder den Stativring gelegt, um darauf Tiegel über einer Flamme zu glühen. Die gebräuchlichen Schenkellängen sind **40 mm**, **60 mm**, **80 mm** und **100 mm**. Ihre Auswahl richtet sich nach der Größe der Tiegel (↗ Tab. 60, S. 91).

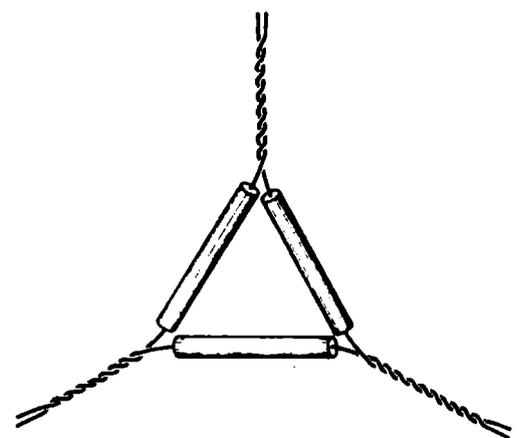
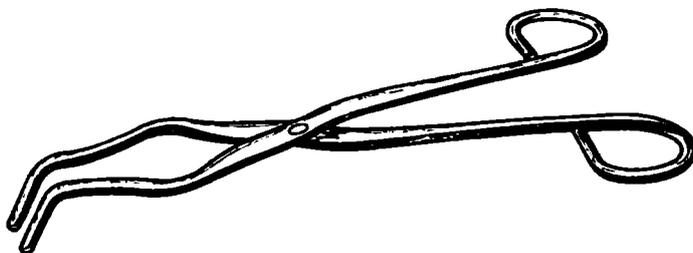
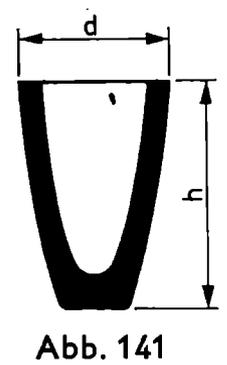
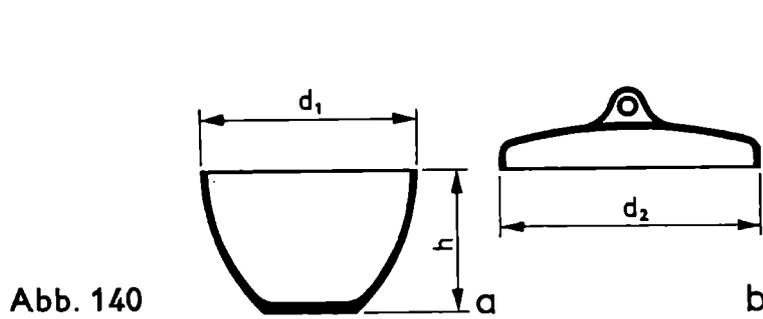
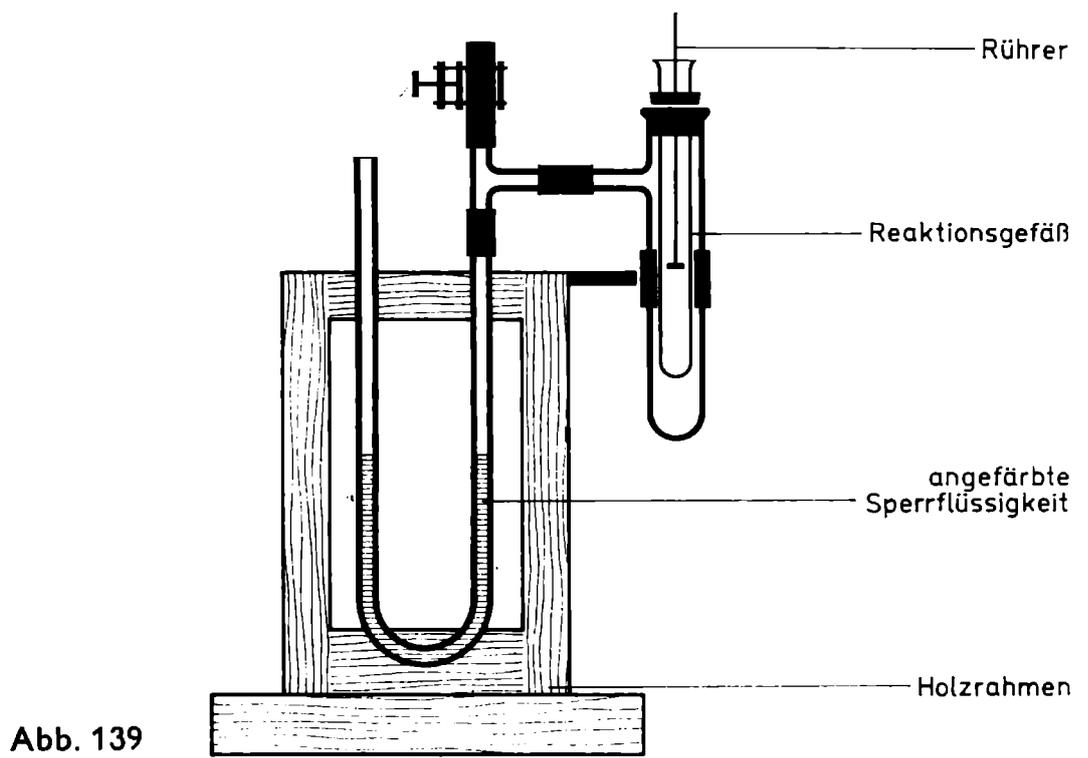
**Trichter** kommen in den verschiedensten Formen zum Einsatz.

*Trichter mit kurzem Stiel* (Abb. 144) bestehen aus Glas (Tab. 62). Der Öffnungswinkel des Trichters beträgt etwa  $60^\circ$ . Die Filter zum Einlegen in diese Trichter dürfen nicht genau in Viertelsektoren gefaltet werden (↗ S. 208). Die Größen mit 35 mm, 50 mm, 70 mm und 80 mm Trichterweite werden auch mit 150 mm langem Stiel geliefert.

**Tabelle 62** Trichter aus Glas

Trichterweite $d$ in mm (Nenngröße)	● 35	50	60	70	80	100	125	150	175	200	250	300
Gesamthöhe $h$ in mm	80	110	130	150	170	220	270	320	345	375	430	480
Passende Rundfilter Durchmesser in mm	50	80	100	120	140	160	210	260	300	350	400	500

*Analysentrichter* ermöglichen ein schnelles Filtrieren. Sie bestehen aus starkem Glas (Tab. 63). Ihr Öffnungswinkel ist so bemessen, daß die genau in Viertelsektoren gefalteten Filter gut anliegen. Die hohe Filtrationsgeschwindigkeit wird durch das auf den Rippen frei hängende Filter und das ständig gefüllte Ablaufrohr erreicht.



- Abb. 139 Thermoskop
- Abb. 140 Schmelztiegel (a) mit Deckel (b)
- Abb. 141 Gepreßter hessischer Tontiegel
- Abb. 142 Tiegelzange
- Abb. 143 Tondreieck

**Tabelle 63** Analysentrichter

Trichterweite $d_1$ Nenngröße in mm	60	75	105
Passendes Papierrundfilter Durchmesser in mm	80	120	170

**Pulvertrichter** mit einem nur wenige Zentimeter langen, sehr weitem Stiel sind zum Einfüllen von festen Stoffen in Vorratsflaschen vorteilhaft.

**Trichterrohre** (Abb. 145) werden eingesetzt, wenn während einer Reaktion Flüssigkeit in einen Kolben nachzufüllen ist.

**Tropftrichter**, die für den Chemieunterricht außerordentlich wichtig sind, gibt es mit und ohne Tropfenzähler (Abb. 146). Sie werden mit  $50 \text{ cm}^3$ ,  $100 \text{ cm}^3$ ,  $250 \text{ cm}^3$  und  $500 \text{ cm}^3$  Volumen hergestellt. Tropftrichter sind in birnenförmiger und zylindrischer Form bekannt. Für Schlißapparaturen werden Tropftrichter mit Kegelschliffen geliefert. Eine besonders praktische Form ist unten mit Kern NS 29/32 und oben mit Hülse NS 14/23 ausgestattet.

Tropftrichter werden beim präparierten Arbeiten auch als **Scheidetrichter** zum Trennen nicht mischbarer Flüssigkeiten verwendet (Abb. 146 d).

**Trockenpatronen** werden in die Gehäuse von Analysenwaagen gestellt, um den Raum innerhalb des Gehäuses trocken zu halten (Abb. 147). Die Patrone enthält Silicagel, das mit Cobaltsalzen als Feuchtigkeitsindikator getränkt ist. Im trockenen Zustand ist die Füllung blau, im feuchten rot-violett. Bei Auftreten der Rotfärbung muß die Patrone im Trockenschrank bei  $150 \text{ }^\circ\text{C}$  bis zur Blaufärbung regeneriert werden.

**Trockenrohre** werden zum Trocknen von Gasen, oft aber auch in verschiedener anderer Weise als Reaktionsgefäß benutzt. Sie werden als gerades Trockenrohr (Abb. 148 a) sowie in der U-Form mit und ohne Hahnstopfen hergestellt (Abb. 148 b und c). Sie sind mit festen Trockenmitteln zu füllen (↗ S. 194). Das gerade Trockenrohr (Tab. 64) wird meist auf Gefäße gesetzt, in denen Stoffe vor Feuchtigkeit geschützt werden sollen, während U-förmige Trockenrohre (Tab. 65) in Apparaturen einzubauen sind. Für Schülerexperimente kommen vor allem U-förmige Trockenrohre ohne eingeschliffenen Hahn in Betracht.

**Tabelle 64** Trockenrohre, gerade

Oberrohrlänge $l_1$ in mm (Nenngröße)	80	120	160
Gesamtlänge $l_2$ in mm	130	170	210
Innendurchmesser des Oberrohres $d_1$ in mm	13	17	22
Außendurchmesser des Unterrohres $d_2$ in mm	7,5	7,5	9,5

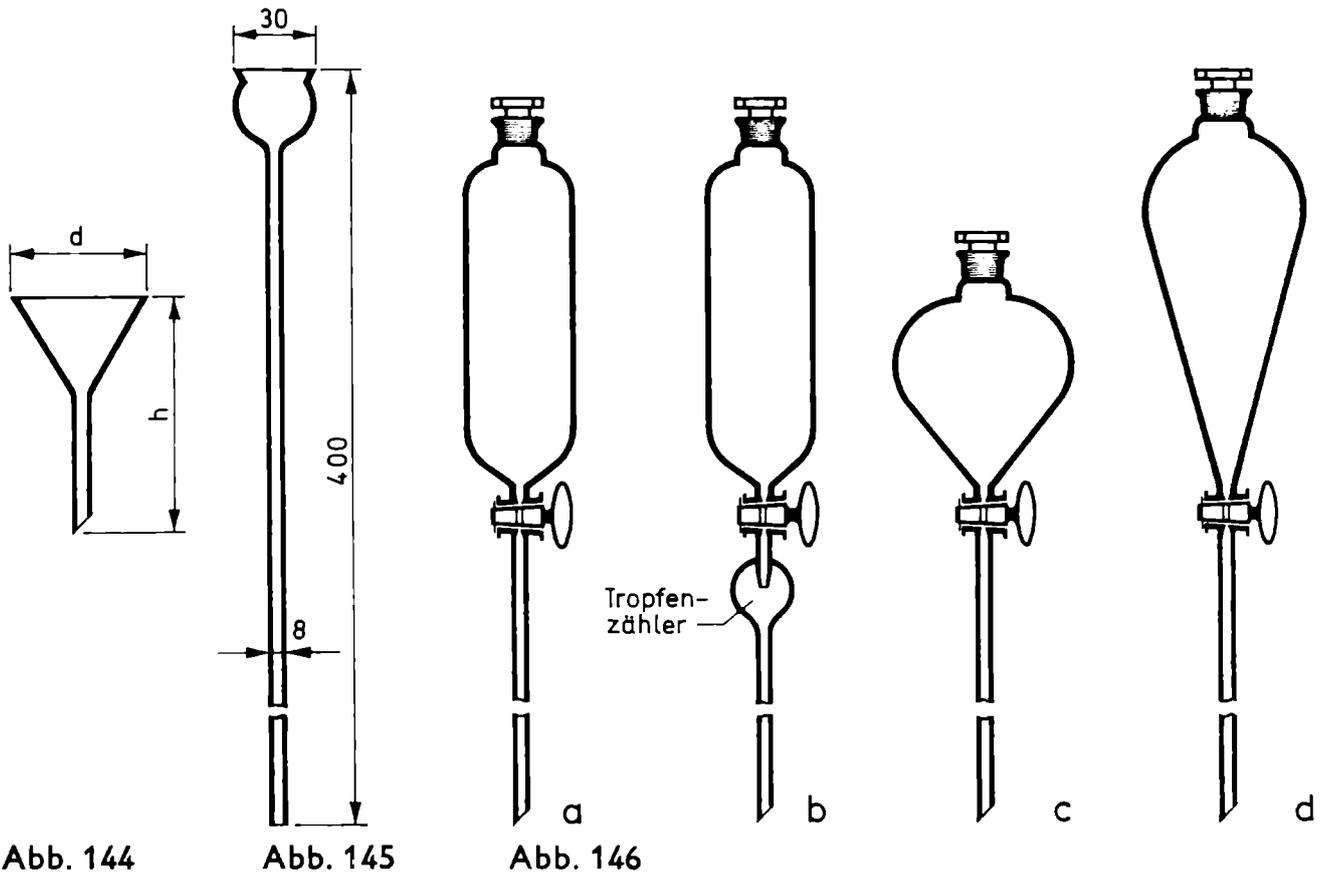


Abb. 144

Abb. 145

Abb. 146

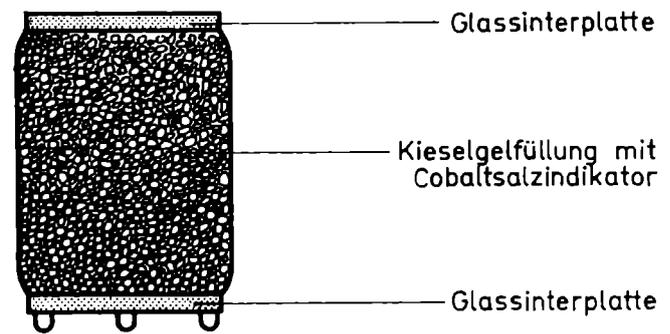


Abb. 147

- Abb. 144 Trichter
- Abb. 145 Trichterrohr
- Abb. 146 Tropftrichter in zylindrischer Form (a) ohne und (b) mit Tropfen-zähler sowie Birnenform (c und d)
- Abb. 147 Trockenpatrone

**Tabelle 65** Trockenrohre, U-Form

Gesamtlänge $l$ in mm (Nenngröße)	80	120	160
Rohrdurchmesser innen $d_1$ in mm	13	17	22
Durchmesser des Ansatzrohres außen $d_2$ in mm	5,5	5,5	7,5
Schenkelabstand $a$ in mm	35	45	60
Kegelschliffhülse und Stopfen NS	10/19	14/23	19/26

**Trockenschränke** leisten wertvolle Hilfe beim Trocknen von Stoffen und gereinigten Glasgeräten. Sie sind aber auch geeignet, um Stoffe längere Zeit auf einer bestimmten Temperatur zu halten. Moderne Trockenschränke (Abb. 149) haben elektrische Heizung mit Temperaturregelung zwischen 40 °C und 220 °C.

Da nur eine ungefähre Einstellung der Temperatur möglich ist, empfiehlt es sich, in den Entlüftungstubus an der Schrankdecke ein Kontrollthermometer einzuführen. Es hat sich bewährt, die Skale für die Temperaturwahl mit Hilfe des Kontrollthermometers nachzuprüfen. Sie ist bei neueren Typen durch Lösen einer Schraube drehbar. Bei älteren Typen kann eine Papierskale aufgeklebt werden.

Stoffe, die ätzende Dämpfe abgeben, und Quecksilberverbindungen dürfen nicht in offenen Gefäßen in den Trockenschrank gestellt werden, da sie das Aluminiumblech im Innern des Schrankes angreifen. Das Innere des Schrankes ist regelmäßig auszuwaschen (vorher unbedingt Netzstecker ziehen!) und anschließend sorgfältig zu trocknen. Trockenschränke werden in verschiedenen Größen und Formen hergestellt, von dem abgebildeten Schrank ist für den Chemieunterricht die Größe 1 (Tab. 66) ausreichend.

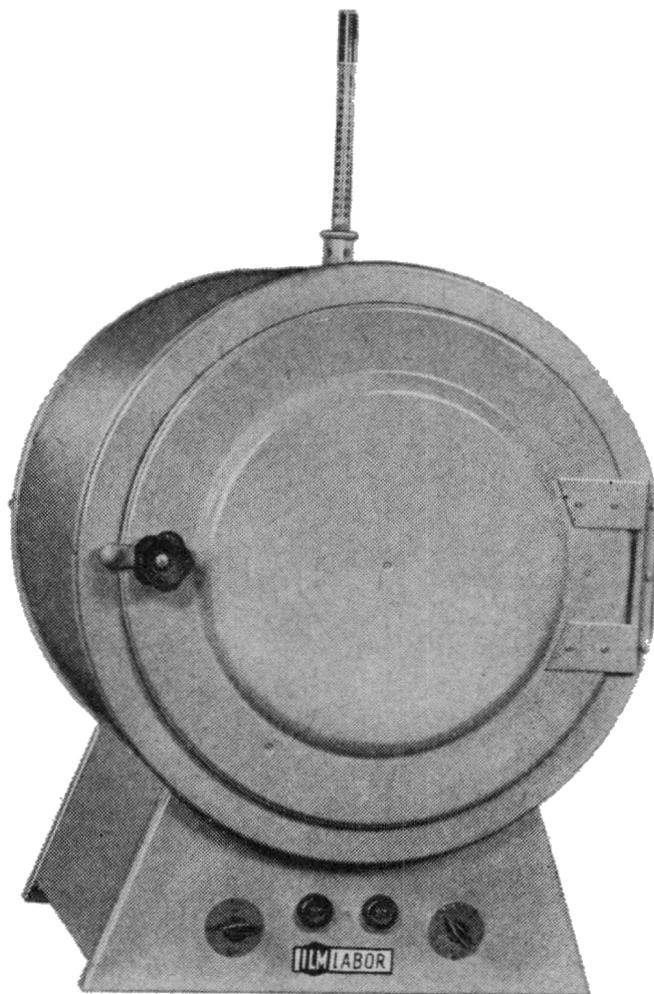


Abb. 149 Trockenschrank

**Tabelle 66** *Trockenschränke*

Größenangabe	1	2
Arbeitsraum		
Durchmesser in mm	350	500
Tiefe in mm	250	390
Höhe in mm	620	820
Abmessungen der Standfläche in cm	48 × 42	65 × 58

**Trockentürme** (Abb. 150) sind zum Einbau in Geräteanordnungen geeignet (Tab. 67). Sie werden mit festen Trockenmitteln gefüllt. Trockentürme können auch als Waschtürme Verwendung finden (↗ S. 190).

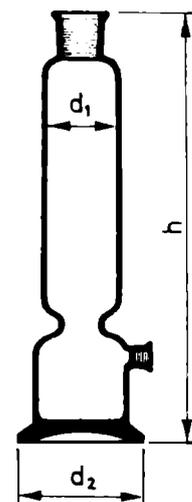
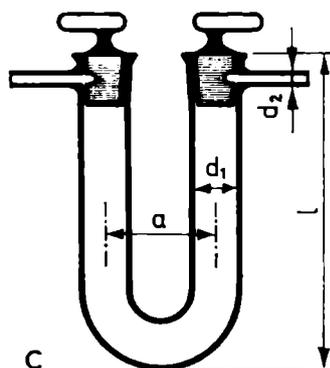
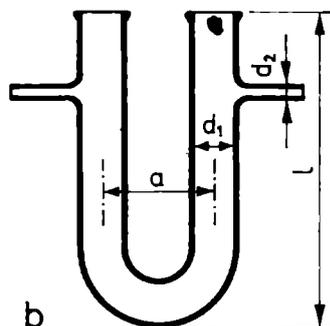
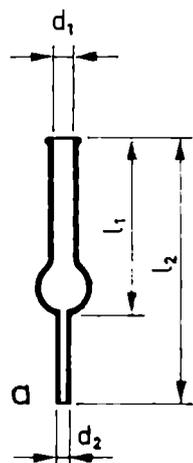


Abb. 148

Abb. 150

Abb. 148 Trockenrohre  
 a) gerades Trockenrohr,  
 b) U-Rohr ohne Hahnstopfen, c) mit Hahnstopfen  
 Abb. 150 Trockenturm

**Tabelle 67** Trockentürme

Gesamthöhe $h$ in mm (Nenngröße)	250	400
Außendurchmesser des Oberteils $d_1$ in mm	45	70
Fußdurchmesser $d_2$ in mm	80	11
Kegelschliff NS	29/32	45/40

**Tropfer** (Tropfpipetten, Stechpipetten) werden zur tropfenweisen Zugabe von Flüssigkeiten in Reaktionsgefäße und zur Entnahme von Flüssigkeiten benutzt. Sie bestehen aus einem zur Spitze ausgezogenen Glasrohr, das mit einem Sifonsauger versehen ist (Abb. 151). Tropfer sind sowohl für die Demonstration von Experimenten als auch für Schülerexperimente erforderlich. Die abgebildeten drei Formen von Halbmikro-Tropfern werden für die Halbmikrotechnik benötigt. Form C ist in Halbmikro-Standflaschen enthalten und wird nach Entfernen der Gewindekappe zum Aufbau von Halbmikro-Gasentwicklern (↗ S. 259) benutzt. Bedeutsam ist auch Form A zum Entnehmen von Flüssigkeiten aus Filterröhrchen und Halbmikro-Reagenzgläsern. Die Tropfer können aus Glasrohren entsprechender Weite selbst hergestellt werden. Das Volumen des Glasrohres muß mindestens ein Drittel größer sein als das des Saugers. Dadurch soll verhindert werden, daß die Flüssigkeiten den Gummi berühren und ihn zerstören.

**Tropferablagen** werden benutzt, um Tropfer während des Arbeitens so aus der Hand zu legen, daß der Arbeitsplatz sauber bleibt (Abb. 152). Die Geräte sind für das Arbeiten nach der Halbmikrotechnik bedeutsam. Sie können auch selbst hergestellt werden.

**Tropftrichter** (↗ Trichter, S. 92)

**Tubusflaschen** (Stutzenflaschen, Abklärflaschen, Mariottesche Flaschen) dienen zum Zusammenstellen von Gasometern (↗ S. 184) und als Niveaugefäße (↗ S. 179). Tubusflaschen (Abb. 153) sind Flaschen mit einem seitlichen Tubus über dem Boden (Tab. 68).

Tubusflaschen mit größerem Volumen werden auch zur Aufbewahrung von Flüssigkeiten, wie destilliertem Wasser, benutzt. In den Tubus am Boden läßt sich ein Stopfen einführen, aus dem die Flüssigkeit leicht abzulassen ist. Oft können die Flaschen gleich mit passendem Schliffstopfen und angeschmolzenem Hahn bezogen werden.

**Tabelle 68** *Tubusflaschen*

Nennvolumen in cm <sup>3</sup>	500	1000	2000	5000
Gesamthöhe $h$ in mm	163	200	246	320
Durchmesser $d$ in mm	87	108	133	182
Kegelschliff NS	24/29	29/32		45/40
Tubus NS		19/26		29/32

**Tüpfelplatten** (Abb. 154) gestatten die Ausführung von Tüpfelreaktionen (Farbreaktionen und teilweise auch Fällungsreaktionen) vor allem bei der Halbmikrotechnik. Sie werden aus glasiertem Porzellan (weiß oder dunkel), aber auch aus Glas gefertigt. Für Schülerexperimente können auch weiße Plastunterlagen von einzelnen Tablettenpackungen nach gründlicher Reinigung benutzt werden.

**Uhrglasschalen** (Abb. 155) dienen zum Abdecken von Schalen und Gläsern, zum Beispiel von Bechern, zur Ausgabe von Stoffen für Schülerexperimente sowie zur Ausführung von Tüpfelreaktionen. Zueinander passende Schalen, Deckel und Uhrglasschalen sind durch Standardisierung festgelegt. Uhrglasschalen werden mit folgenden Außendurchmessern (in mm) hergestellt:

45, ● 53, ● 63, 75, 90, 106, 125, 150, 180, 210, 250, 300.

**Unterlegeklötze** sind zum Ausgleich von Höhenunterschieden beim Aufbau von Apparaturen notwendig. Ein Satz Holzklötze kann im Werkunterricht oder bei einem Tischler angefertigt werden. Die Unterlegeklötze sind entweder schwarz zu beizen oder zu streichen. Die Grundfläche sollte 100 mm × 100 mm betragen. Folgende Anzahl und Höhen sind zweckmäßig (Tab. 69).

**Tabelle 69** *Unterlegeklötze*

Höhe in mm	3	5	10	20	30	50	100
Zweckmäßige Anzahl	1	2	5	5	3	2	1

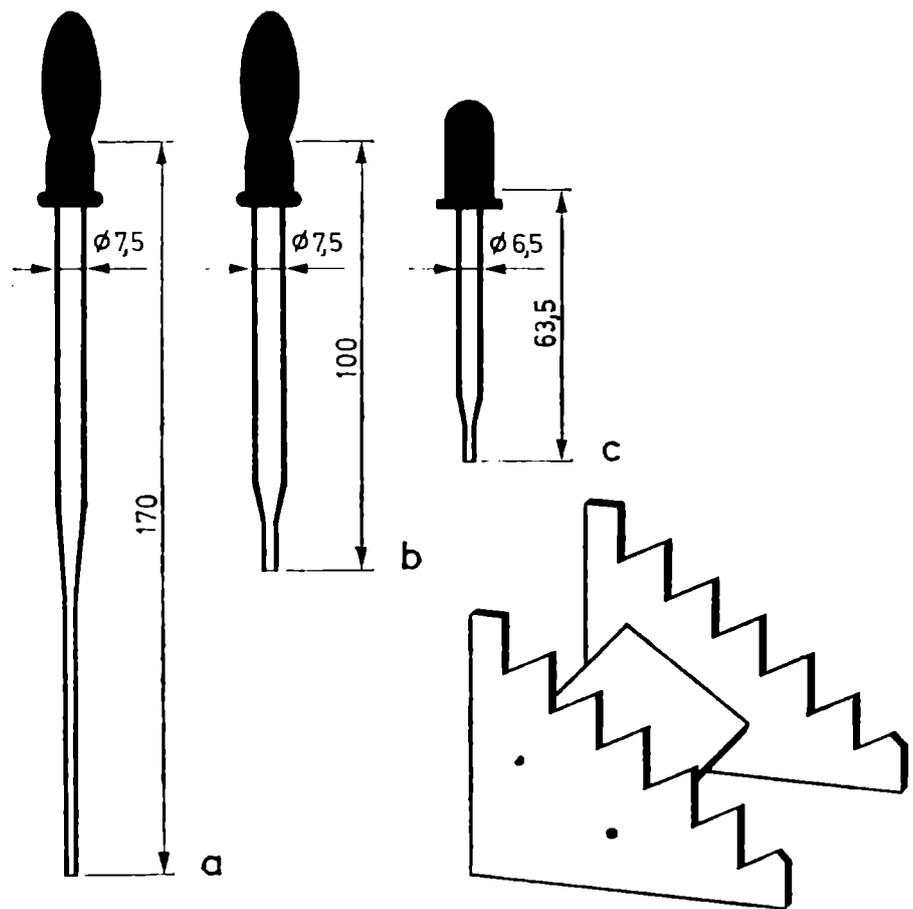


Abb. 151

Abb. 152

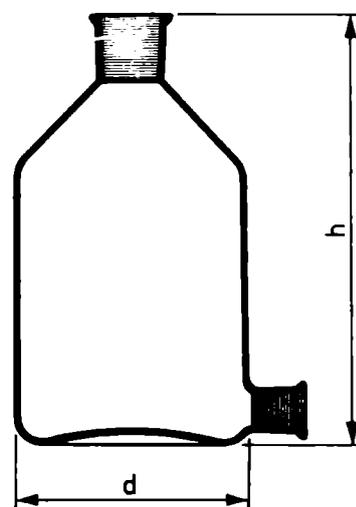


Abb. 153

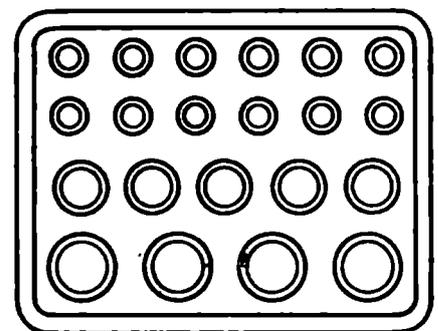


Abb. 154

- Abb. 151 Halbmikro-Tropfer  
 a) mit langer Spitze, b) und c) kurze Halbmikro-Tropfer  
 Abb. 152 Tropferablage  
 Abb. 153 Tubusflasche  
 Abb. 154 Tüpfelplatte

**Untersatzschalen** für Flaschen mit ätzenden Stoffen (Abb. 156) sind geeignet, um Schränke und Regale vor Beschädigungen durch herabtropfende Flüssigkeitsreste zu schützen (Tab. 70). Soll in ein Schrankfach eine größere Anzahl von Flaschen mit ätzenden Stoffen eingestellt werden, so sind Einlagen aus Drahtglas zu empfehlen.

**Tabelle 70** Untersatzschalen

Maximaler Durchmesser der Flaschen $d_1$ in mm (Nenngröße)	95	106	125	190
Geeignet für Flaschen mit Volumen in $\text{cm}^3$	500	1000	2000	
Außendurchmesser $d_2$ in mm	103	134	157	227
Gesamthöhe $h_1$ in mm	17	26	26	28
Erhöhung der eingestellten Flaschen $h_2$ in mm	9	9	9	13

**Verbrennungslöffel** (Phosphorlöffel) werden im Chemieunterricht häufig benutzt (Abb. 157). Der Stiel des Löffels muß meist in einem geeigneten Stopfen sitzen. Dazu wird der Stiel erhitzt und dann durch den Stopfen gedrückt. Vorhandene Spitzen sind abzufeilen oder am Ende zu einer Öse von etwa 1 cm Durchmesser umzubiegen. Dadurch wird die Verletzungsgefahr vermindert. Zusammenstellungen von Verbrennungslöffeln mit verschiedenen großen Stopfen sollten ständig vorrätig sein. Für Schülerexperimente können Verbrennungslöffel aus starkem Draht und Blech hergestellt werden (Abb. 157 b, c, d).

Bei der Verbrennung von Schwefel ist es möglich, einen etwa 40 mm langen, stärkeren Draht in einen Stopfen zu bohren und ihn dann in flüssigen Schwefel zu tauchen (Abb. 158). Der Schwefel, der haften bleibt, reicht für die Verbrennung im Reagenzglas aus.

**Verbrennungsrohre** werden im Chemieunterricht vor allem zur Reaktion von Gasen mit festen Stoffen bei hohen Temperaturen benötigt. Verbrennungsrohre bestehen aus temperaturbeständigem Material (Supremaxglas, Quarzglas, Pyrolyan). Glas- und Quarzverbrennungsrohre werden in zwei Formen A und B (Abb. 159) hergestellt, und zwar in Längen von **150 mm**, 200 mm, 250 mm, **300 mm** und **400 mm** bei verschiedenen Durchmessern (**20 mm**, **25 mm**, 70 mm). Für die Benutzung von Glüschiffchen müssen die Verbrennungsrohre eine Mindestweite haben (↗ Tab. 21, S. 53). Die Form A (Abb. 159a) ist besonders praktisch, da nur auf einer Seite ein Stopfenanschluß benötigt wird.

**Waagen** sind wichtige Geräte zur Massenbestimmung von Stoffen im Chemieunterricht (↗ S. 146ff.). Bei der Beschaffung muß sehr überlegt vorgegangen werden, da es sich in fast allen Fällen um sehr hochwertige und teure Präzisionsgeräte handelt.

**Präzisionswaagen** (Abb. 160) sind auf ein Brett montierte Balkenwaagen mit Arretierung sowie Dreipunktauflage und Stellschrauben. Teilweise werden sie mit einem Glasgehäuse geliefert. Bei einer recht großen Belastbarkeit von 200 g bis 3 kg ist die Empfindlichkeit dieser Waagen mit  $0,5 \dots 0,05 \text{ Skt} \cdot \text{mg}^{-1}$  (↗ S. 149f.) für den Chemieunterricht völlig ausreichend. Empfindlichkeit von  $0,5 \text{ Skt} \cdot \text{mg}^{-1}$  heißt, daß bei Belastungserhöhung um 1 mg ein Zeigerausschlag von einem halben Skalteil (Skt) auftritt. Präzisionswaagen können vielseitig eingesetzt werden. Für

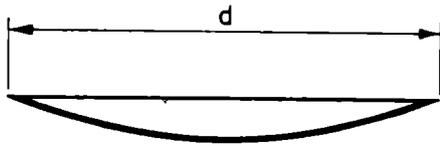


Abb. 155

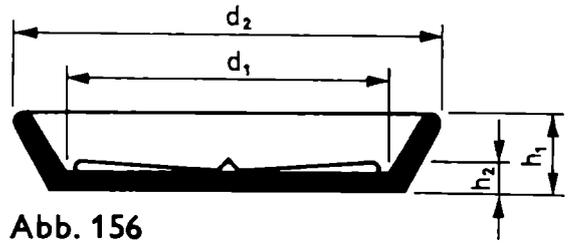


Abb. 156

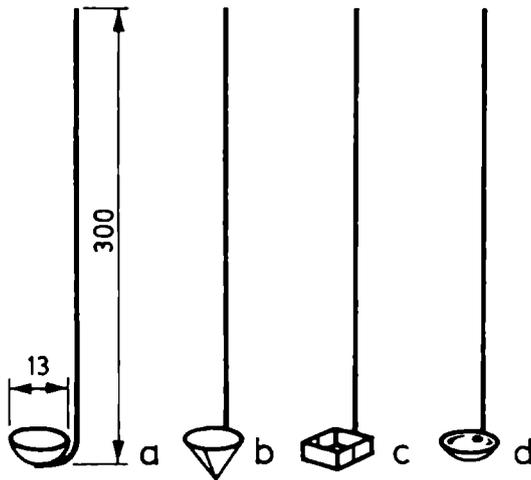


Abb. 157

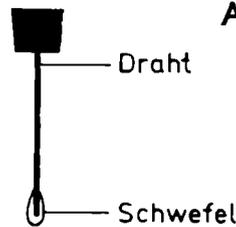


Abb. 158

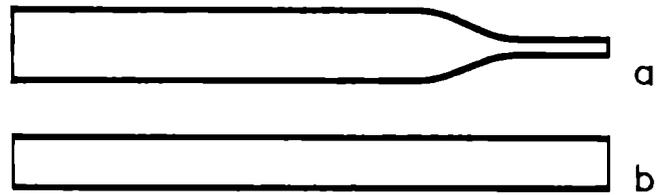


Abb. 159

Abb. 155 Uhrglasschale

Abb. 156 Untersatzschale

Abb. 157 Verbrennungslöffel

a) Phosphorlöffel, b) bis d) selbstangefertigte Verbrennungslöffel

Abb. 158 Vorrichtung zum Verbrennen von Schwefel im Reagenzglas

Abb. 159 Verbrennungsrohre a) Form A, b) Form B

quantitative Demonstrationsexperimente genügt eine Waage mit einer Belastbarkeit von 1 kg. In welchem Umfang die Ausstattung des Fachunterrichtsraumes mit weiteren solchen Waagen notwendig ist, hängt davon ab, ob für die außerunterrichtliche Arbeit eine Analysenwaage erforderlich wird und welche Geräte für Schülerexperimente geplant sind. Zu den Präzisionswaagen werden auch Zusatzgeräte für spezielle Experimente, zum Beispiel eine verkürzte Waagschale für Dichtebestimmungen (→ S. 152), geliefert.

**Analysenwaagen** (Abb. 161) sind hochempfindliche Balkenwaagen, die meist mit einer Dämpfung ausgestattet sind. Zum Schutz vor Staub und anderen äußeren Einflüssen befindet sich die Waage stets unter einem Glaskasten. Solche Waagen mit einer Empfindlichkeit von  $10 \text{ Skt} \cdot \text{mg}^{-1}$  sind für viele quantitative Arbeiten erforderlich. Die Anschaffung muß jedoch gründlich überlegt werden. Bei der Aufstellung und Benutzung einer Analysenwaage ist besondere Sorgfalt notwendig (→ S. 147f.).

**Handwaagen oder Hornschalenwaagen** (Abb. 162) sind für schnelle Wägungen hergestellt worden und besitzen im Bereich um 100 mg ausreichende Genauigkeit für Schülerexperimente.

Speziell für Schülerexperimente wird auch eine *einfache Handwaage* angeboten, die nach dem Prinzip der Neigungswaage arbeitet und bei der die Belastung durch den Zeigerausschlag an einer Skale abgelesen werden kann (Abb. 163). Die Waage

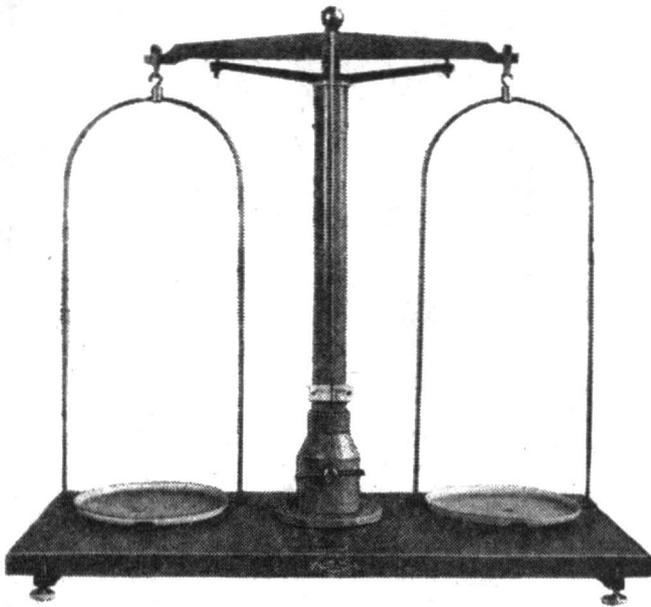


Abb. 160 Präzisionswaage

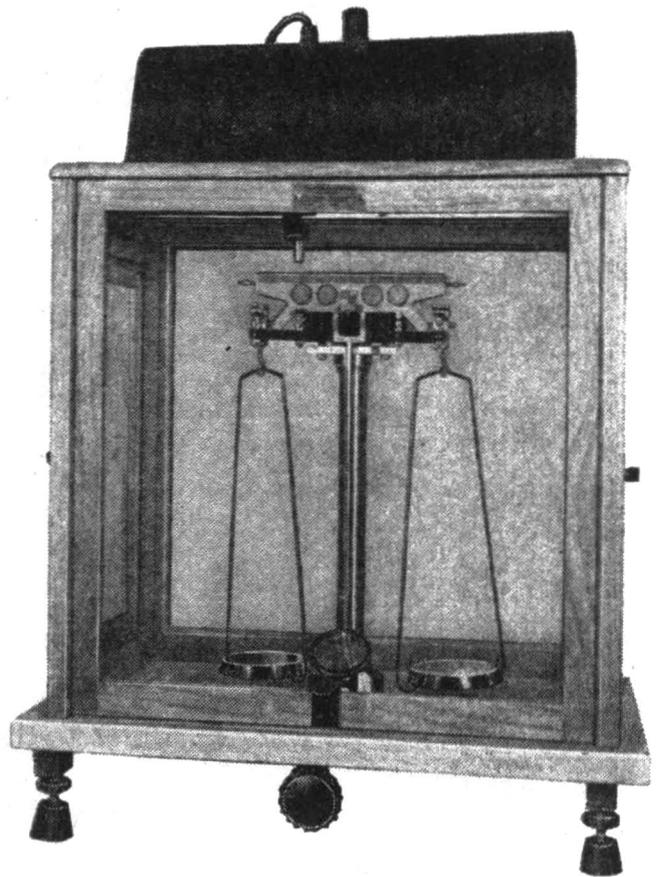


Abb. 161 Analysenwaage

Abb. 162 Handwaage  
(Hornschaalenwaage)Abb. 163 Handwaage  
für Schülereperimente mit Stativ

kann bei einer Wägegenauigkeit von 0,5 g bis 15 g belastet werden. Leider gestattet die geringe Empfindlichkeit nur den Einsatz bei sehr groben Wägungen. Für höhere Genauigkeitsanforderungen (z. B. bei der Ableitung quantitativer Gesetzmäßigkeiten) muß auf die Handwaage zurückgegriffen werden. Für schnelle Wägungen ohne hohe Ansprüche an die Genauigkeit sind gut arbeitende *Briefwaagen* brauchbar. Ferner ist es nützlich, große Massen auf einer *Tafelwaage* zu wägen.

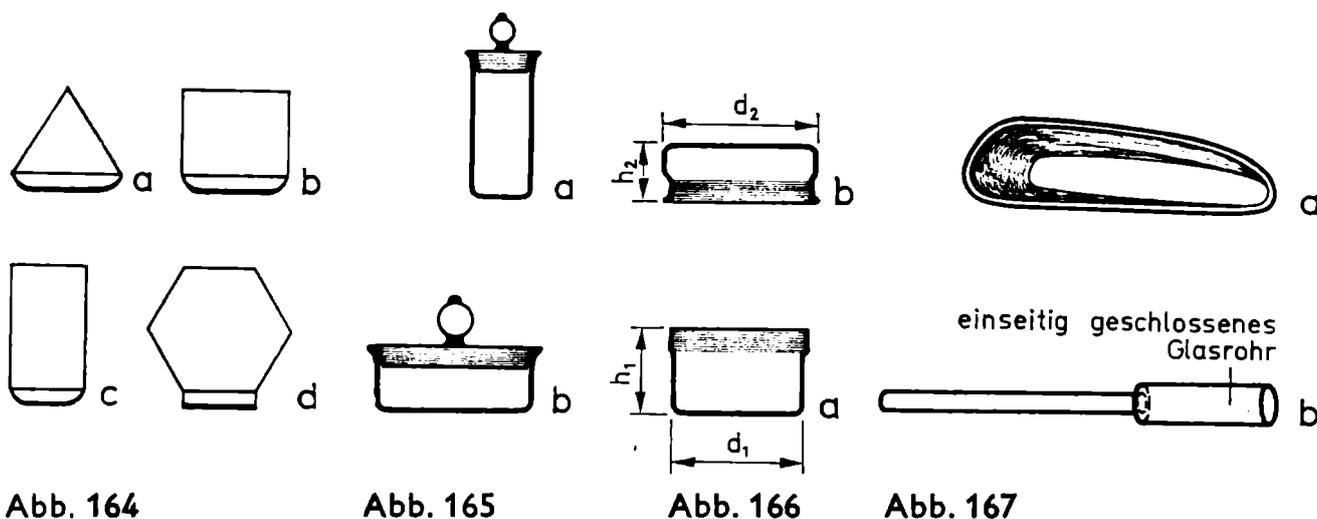


Abb. 164

Abb. 165

Abb. 166

Abb. 167

Abb. 164 Verschiedene Formen der Bruchgramm-Wägestücke

a) für 1 mg, 10 mg und 100 mg, b) für 2 mg, 20 mg und 200 mg,

c) für 3 mg, 30 mg und 300 mg, d) für 5 mg, 50 mg und 500 mg

Abb. 165 Wägegias mit Schliffstopfen a) hohe Form, b) niedrige Form

Abb. 166 Wägegias (a) mit Kappe (b)

Abb. 167 Wägeschiffchen (a) und Wägetulpe (b)

**Wägesätze** müssen passend zu den Typen der vorhandenen Waagen angeschafft werden. Für Analysenwaagen ist ein eichfähiger analytischer Wägesatz notwendig. Er enthält Wägestücke von 1 ... 500 mg und 1 ... 100 g. Sie befinden sich in einem mit Samt ausgekleideten Holzkasten und bestehen meist aus Nickel, Chromnickel oder Neusilber. Die Wägestücke sind nur mit einer Pinzette zu entnehmen, deren Spitze aus Plast besteht. Für Präzisionswaagen reichen Wägesätze aus Messing bis 200 g in einem Holzkasten aus. Auch hier sollten die Wägestücke mit der Pinzette entnommen werden. Für die Handwaage (Hornschaalenwaage) kann dieser Wägesatz ebenfalls genutzt werden. Es gibt aber auch spezielle Wägesätze, die nur Wägestücke bis 50 g enthalten. Ihre Benutzung hat den Vorteil, daß Überlastungen dieser Waage vermieden werden. Für grobe Wägungen auf der Tafelwaage sind Wägestücke aus Stahl von 100 g ... 2 kg oder 5 kg notwendig. Bruchgramm-Wägestücke haben zur besseren Unterscheidung unterschiedliche Formen (Abb. 164).

Alle Wägestücke sind vor Korrosion, besonders vor aggressiven Gasen und Dämpfen, durch geeignete Aufbewahrung zu schützen.

Bei vielen Experimenten im Chemieunterricht sind keine absoluten Wägungen notwendig. Es kann zum Beispiel darauf ankommen, lediglich eine Massenzunahme oder -abnahme beziehungsweise die Konstanz der Masse festzustellen. In allen solchen Fällen sind Schrotkugeln oder sorgfältig gereinigte Steinchen als Tariermaterial geeignet. Zur Aufnahme dieser Stoffe auf der Waage sollten Tarierbecher, Becher oder Uhrglasschalen benutzt werden.

**Wägegefäße** werden benutzt, um darin die Masse von Stoffen zu bestimmen.

Wägegias sind entweder mit Schliffstopfen (Abb. 165) oder mit Kappen verschließbar (Abb. 166). Wägegias mit Kappen werden nur mit Kegelschliffen (Kegel 1:10) hergestellt (Tab. 71). Außerdem werden noch Wägeschiffchen und Wägetulpen benutzt (Abb. 167).

**Tabelle 71** Wägegäser mit Kappen

Nenngrößen	Schliff NS	14/12	19/12	24/12	29/12	34/12	45/12	60/12	85/12
	Unterteilhöhe $h_1$ in mm	30	<u>25 40</u>	<u>25 40</u>	<u>30 50</u>	<u>30 70</u>	<u>30 80</u>	35	35
Durchmesser der Kappe $d_2$ in mm		17	21	26	32	37	48	63	88
Höhe der Kappe $h_2$ in mm		25	25	25	30	30	30	35	35
Durchmesser des Unterteils $d_1$ in mm		13	17,5	22,5	27,5	33	43	58	83

**Wärmeaustauscher** (↗ Kühler, S. 62)

**Wasserbäder** ermöglichen das gleichmäßige Erwärmen von Stoffen und Geräten auf Temperaturen bis 100 °C. Im Chemieunterricht ist im allgemeinen ein Wasserbad ausreichend (↗ S. 128). Es sollte ein Einzelwasserbad oder eine kombinierfähige Wasserbadeinheit (↗ S. 129) gewählt werden.

**Wasserzersetzungsgapparate** nach Hofmann (↗ S. 250)

**Widerstände** (↗ Gleitwiderstände, S. 52)

**Woulffsche Flaschen** sind mehrfach (meist dreifach) tubulierte, starkwandige Glasflaschen (Abb. 168), die teilweise auch noch mit einem Bodentubus versehen sind. Bei einigen Demonstrationsexperimenten werden sie zum Reinigen oder Mischen von Gasen eingesetzt. Besondere Bedeutung haben sie als Sicherheitsflaschen beim Arbeiten mit Wasserstrahlpumpen (↗ S. 204). Woulffsche Flaschen sind mit Inhalten von 500 cm<sup>3</sup> und 1 000 cm<sup>3</sup> für das Arbeiten im Chemieunterricht bedeutsam.

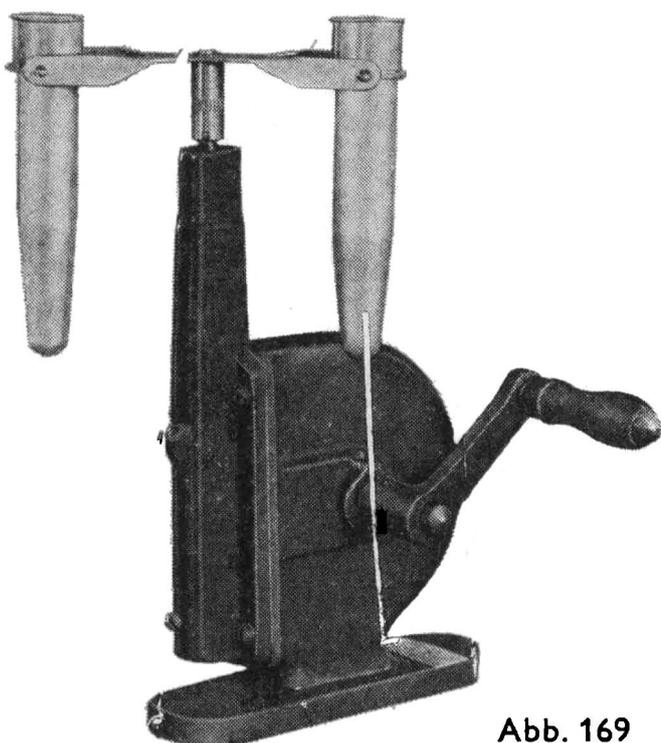


Abb. 169 Handzentrifuge (Schutzblech abgenommen)

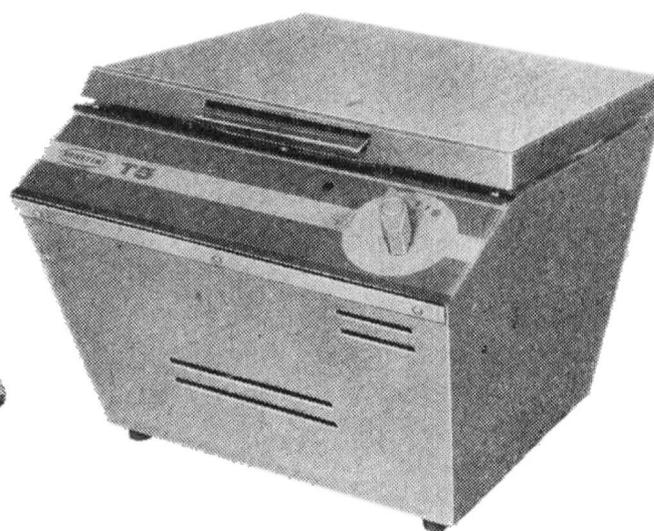


Abb. 171 Elektrische Zentrifuge

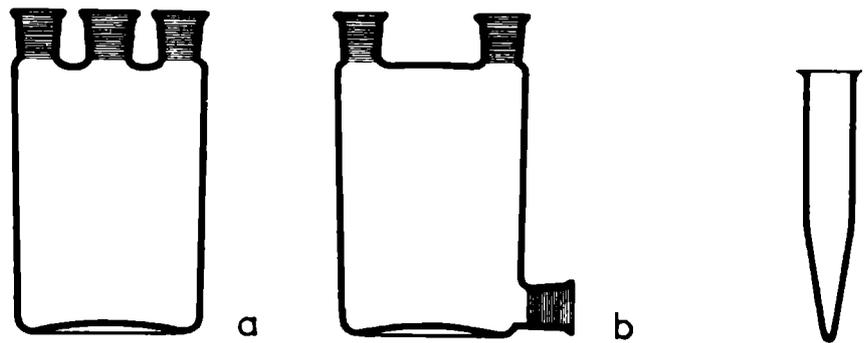


Abb. 168

Abb. 170

Abb. 168 Woulffsche Flaschen ohne Bodentubus (a) und mit Bodentubus (b)

Abb. 170 Zentrifugenglas

**Zentrifugen** ermöglichen das Abtrennen feinkörniger Niederschläge aus einem Stoffgemisch (↗ S. 210). Diese Arbeitsweise kommt eventuell für die außerunterrichtliche Arbeit in Betracht. Dann ist die einfache Handzentrifuge (Abb. 169) geeignet, die mit Hilfe einer Handkurbel in Gang gesetzt werden kann. Am Rotor der Zentrifuge befindet sich eine gerade Anzahl Zentrifugenbecher, in die passende Zentrifugengläser (Abb. 170) mit dem Stoffgemisch eingesetzt werden. Bei der Benutzung der Zentrifuge muß in Höhe des Rotors ein ringförmig gebogener Blechstreifen angebracht sein. Er dient als Schutz für den Fall, daß sich ein Zentrifugenbecher aus der Halterung löst. Handzentrifugen werden immer mehr von elektrischen Zentrifugen abgelöst (Abb. 171).

## 1.2. Geräteausstattung für den Chemieunterricht – Gerätesammlung

### 1.2.1. Beschaffung der Geräte

Grundlage für die Ausstattung der Schule mit Geräten für den Chemieunterricht sind der Lehrplan und der sich daraus ergebende Ausstattungsplan. Darin wird die Ausstattung festgelegt, die in einzelnen Klassenstufen zur Erfüllung der Forderungen des Lehrplans notwendig ist. Eine entsprechende Ausstattung für den Chemieunterricht muß gesichert werden. Ist der geforderte Ausstattungsstand noch nicht erreicht, so sind die notwendigen Ergänzungen vorzunehmen. Kann das nur schrittweise erfolgen, so sollten zunächst solche Geräte beschafft werden, die möglichst vielseitig nutzbar sind. Dabei sollten besonders Bauteile für die wichtigsten Apparate (↗ S. 304) sowie einfache Reaktionsgefäße, wie Reagenzgläser, Becher, Kolben, Vorrang haben. Die einmal festgelegte Grundausstattung darf

keinesfalls starr ausgelegt werden. In vielen Fällen ist die Erfüllung des Lehrplans auch mit etwas abgewandelten Geräten möglich. Die Ausstattung muß auch den Erfordernissen der außerunterrichtlichen Arbeit an der Schule angepaßt sein. Ferner entwickelt sich die Experimentiertechnik laufend weiter. Ein obligatorisches Experiment kann möglicherweise durch eine neue, veränderte Gestaltung noch effektiver ausgeführt werden als bisher. Zu berücksichtigen ist ferner, daß viele Geräte für den Chemieunterricht aus Glas gefertigt und deshalb Verbrauchsmaterial sind. Die einmal erreichte Ausstattung muß deshalb ständig ergänzt werden. Dazu ist es zweckmäßig, festgestellte Lücken in der Ausstattung oder den Bruch von Geräten während des gesamten Schuljahres in einem Buch oder auf Karteikarten zu registrieren, damit zum Zeitpunkt der Unterrichtsmittelbestellung der notwendige Überblick vorhanden ist. Bei der Gerätebeschaffung für den Chemieunterricht muß auch eine sinnvolle Größenbestimmung angestrebt werden. Chemische Laborgeräte sind standardisiert; sie werden also in festgelegten Abmessungen gefertigt. Diese günstigen Voraussetzungen können aber nur dann zu einer Rationalisierung der Arbeit führen, wenn aus dem Angebot an Geräten jene ausgewählt werden, die sich günstig kombinieren lassen und die eine Verwendung einheitlicher Bauteile (z. B. Hals- und passende Stopfenweite) ermöglichen (↗ S. 306). Die Hervorhebung in der Geräteübersicht (↗ S. 17) sollen Anhaltspunkte für eine günstige Geräteausstattung sein.

Die Geräteausstattung wird weiterhin stark von der angewandten Arbeitstechnik im Chemieunterricht bestimmt. Für Demonstrationsexperimente wird gegenwärtig fast ausschließlich die Makrotechnik angewandt. Daran dürfte sich auch grundsätzlich nichts ändern, wenn die Projektion von Geräteanordnungen (↗ S. 293ff.) künftig noch größere Bedeutung erlangt.

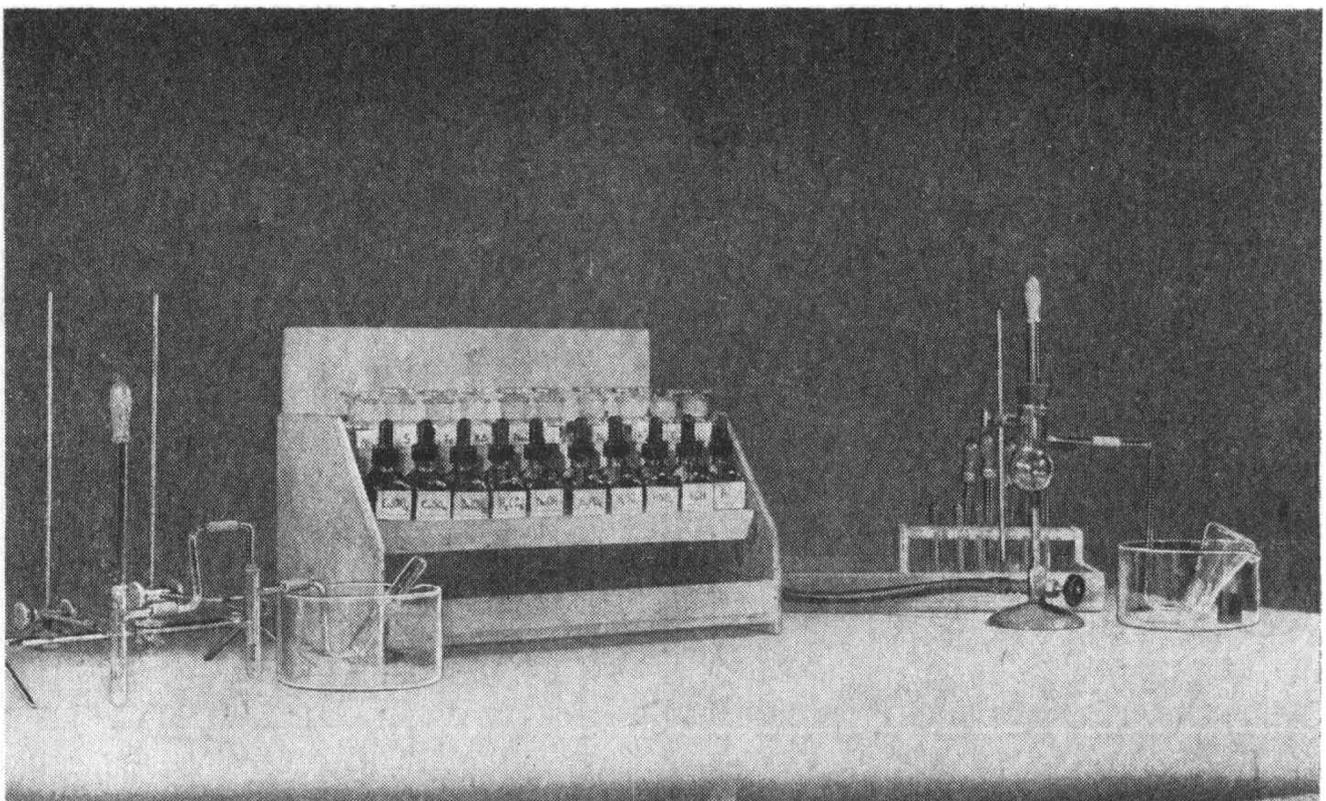


Abb. 172 Schülerarbeitsplatz

Bei Schülerexperimenten wird fast ausschließlich die Halbmikrotechnik (↗ S. 253) eingesetzt, die sich im Chemieunterricht als brauchbare, rationelle und effektive Arbeitsweise erwiesen hat (Abb. 172). Trotz dieser Entwicklungstendenz in der Experimentiertechnik sind aber auch künftig einige Schülerexperimente nach der Makrotechnik auszuführen. So erweist sich beispielsweise zur Untersuchung physikalischer Eigenschaften von Gasen die Makrotechnik als notwendig. Dafür sind entsprechende Geräte in größerer Anzahl bereitzustellen.

Bei der Geräteausstattung für Schülerexperimente kann davon ausgegangen werden, daß mit einer geringen Grundausstattung aus Reagenzgläsern, Stopfen, Schlauchverbindungen, Glasrohren und Brennern bereits vielfältige Einsatzmöglichkeiten bestehen. Die Erweiterung einer solchen einfachen Ausstattung kann stufenweise erfolgen, wobei die Reihenfolge stets durch die mögliche Einsatzbreite bestimmt werden sollte.

Die *Beschaffung der Geräte* erfolgt über den Unterrichtsmittelhandel. Grundlage für die Bestellung bilden die Fachkataloge, in denen alle Geräte aufgeführt und größtenteils auch abgebildet sind. Für den Chemieunterricht sind neben dem Katalog „Chemie“ auch der für Physik und für die allgemeine Schulausstattung bedeutsam. Für die Bestellung sollten die vorgesehenen Bestellisten und Vordrucke verwendet werden.

### 1.2.2. Aufbewahrung der Geräte

Die Aufbewahrung der Geräte erfolgt in der Gerätesammlung für den Chemieunterricht, die sich im Vorbereitungsraum oder im Fachunterrichtsraum selbst befinden kann. Die Art der Aufbewahrung der Geräte hängt von verschiedenen Faktoren ab, zum Beispiel vom Umfang der Ausstattung, den räumlichen Verhältnissen an der Schule und dem vorhandenen Mobiliar. Regale und fast alle Arten von Schränken sind zur Aufbewahrung geeignet. Schränke haben den Vorteil, daß die Geräte nicht einstauben können. Besonders günstig ist eine Anbauschränkwand aus variablen Teilen (Abb. 173). Sie enthält auch einen Palettenschrank, in den 18 Paletten zur Aufnahme der Geräte für Schülerexperimente eingeschoben werden können. Für neu einzurichtende Fachunterrichtsräume wird empfohlen, ständig benutzte Geräte in der Schränkwand unterzubringen und Vorräte im Vorbereitungsraum zu konzentrieren. Die Vorbereitungsarbeit des Lehrers für den Einsatz von Schülerexperimenten ist am geringsten, wenn alle Geräte und die wichtigsten Chemikalien an den Arbeitsplätzen der Schüler aufbewahrt werden. Dazu eignen sich am besten Fachunterrichtsräume, die mit Energieblöcken und den dazugehörigen Schülerarbeits-tischen mit Schrankteil (Ausstattungsvariante I) eingerichtet sind [18; S. 149], oder Fachunterrichtsräume mit besonderen Schülerexperimentiertischen (Ausstattungsvariante II) [18; S. 151]. Für Chemikalien, Geräte und Apparate ergibt sich entsprechend der Ausstattungsvariante I folgende Anordnung:

Geräte und Apparate werden in den Ablagefächern der Schülertische verschließbar abgestellt. Die Geräte und Apparate eines Schülerarbeits-satzes sind dabei am

besten jeweils für einen Schüler in einem entsprechend der Tischnummer gekennzeichneten Kasten aufzubewahren. Es ist darauf zu achten, daß die Apparate nach dem Reinigen nicht in ihre Teile zergliedert, sondern komplett weggelegt werden, weil auf Grund der Schwankungen im Durchmesser der Rohre die Einzelteile nicht beliebig zusammenpassen.

Stehen spezielle Schülerexperimentiertische (Abb. 174) zur Verfügung, erfolgt die Ausstattung entsprechend der Ausstattungsvariante II. Die Geräte können in den Schubkästen untergebracht werden, wobei sich noch Paletten einlegen lassen. Beim folgenden Vorschlag sind die Böden des ersten und dritten Kastens durch PVC-Platten vor Feuchtigkeit zu schützen.

### 1. Schubkasten

Er wird in der Längsrichtung durch zwei Hartfaserplatten in drei Teile unterteilt, in die folgende Geräte und Apparate eingelagert werden:

1 Reagenzglasgestell mit	1 Tiegelzange	Pipettenablage
6 Reagenzgläsern	1 Reagenzglashalter	3 Reagenzglasständer
1 Reagenzglasbürste	1 Spatel	1 Kochbecherständer
	1 Pinzette	1 Halbmikro-Gasent-
	1 Eisenblechrinne	wickler
	1 Holzspan	

### 2. Schubkasten

In der Plastikpalette dieses Schubkastens können verschiedene Geräte aufbewahrt werden (Abb. 175).

### 3. Schubkasten

Durch Hartfaserplatten wird dieser Schubkasten mehrfach längs und quer unterteilt. Die dabei erhaltenen neun Teilfächer eignen sich zur Aufnahme folgender Geräte:

1 Schutzbrille	1 Freiburger Mörser	1 Tüpfelplatte
1 Gummidoppelgebläse	1 Glühschiffchen	1 Porzellantiegel
Schläuche	Korken	1 Quetschhahn
	Sifonsauger	Filterpapier
	1 Putztuch	Unitestpapier

Nachfolgend soll ein Überblick über die für Schülerexperimente zur Verfügung stehenden Halbmikro-Geräte gegeben werden (Halbmikro-Schülerarbeitssatz).

3	Ausgleichrohre
1	Becher (als Kochbecher verwendbar, 25 cm <sup>3</sup> )
1	Becher (50 cm <sup>3</sup> )
2	Becher (400 cm <sup>3</sup> )
250 cm	Biegerohr (Außendurchmesser $d = 4 \dots 5$ mm)
250 cm	Biegerohr (Außendurchmesser $d = 7 \dots 8$ mm)
2	Erlenmeyerkolben (25 cm <sup>3</sup> )
1	Satz Filterpapier, rund, weich ( $d = 7$ cm)
1	Freiburger Mörser mit Pistill
1	Flaschenständer für 10 Flaschen (Länge $l = 370$ mm, Höhe der Hinterwand $h_1 = 38$ mm, Höhe der Vorderwand $h_2 = 18$ mm)

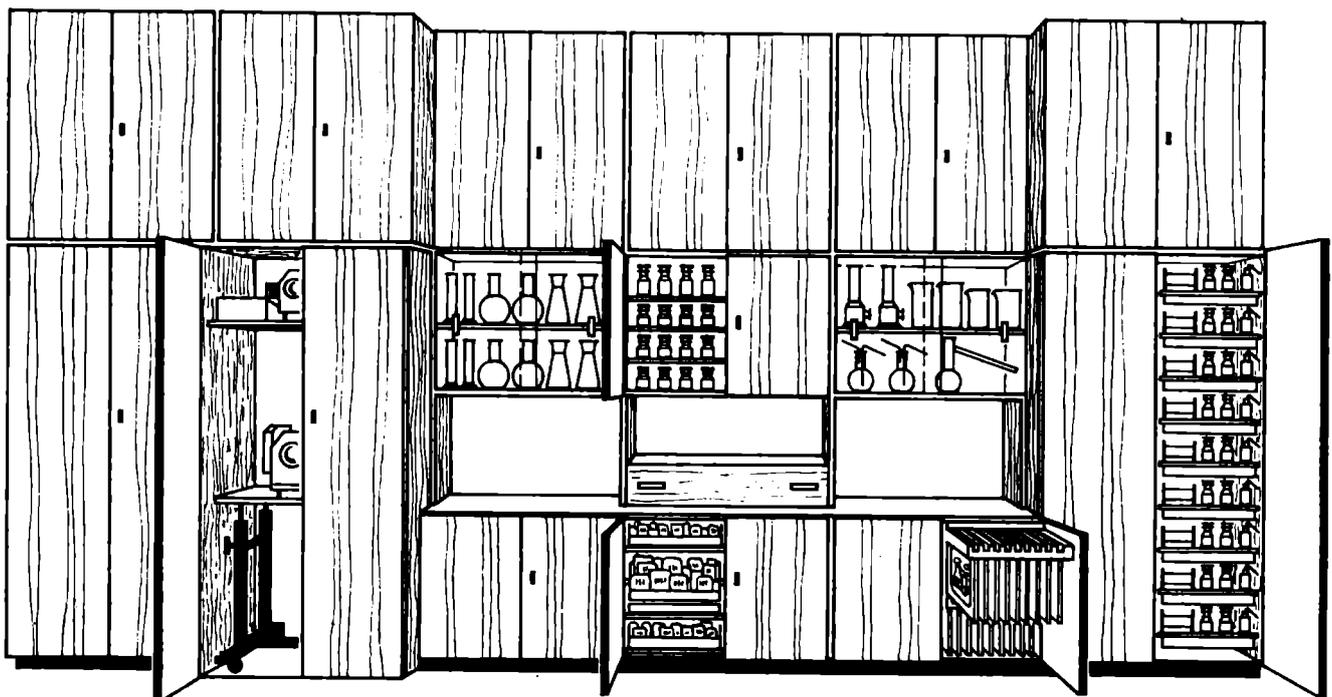


Abb. 173

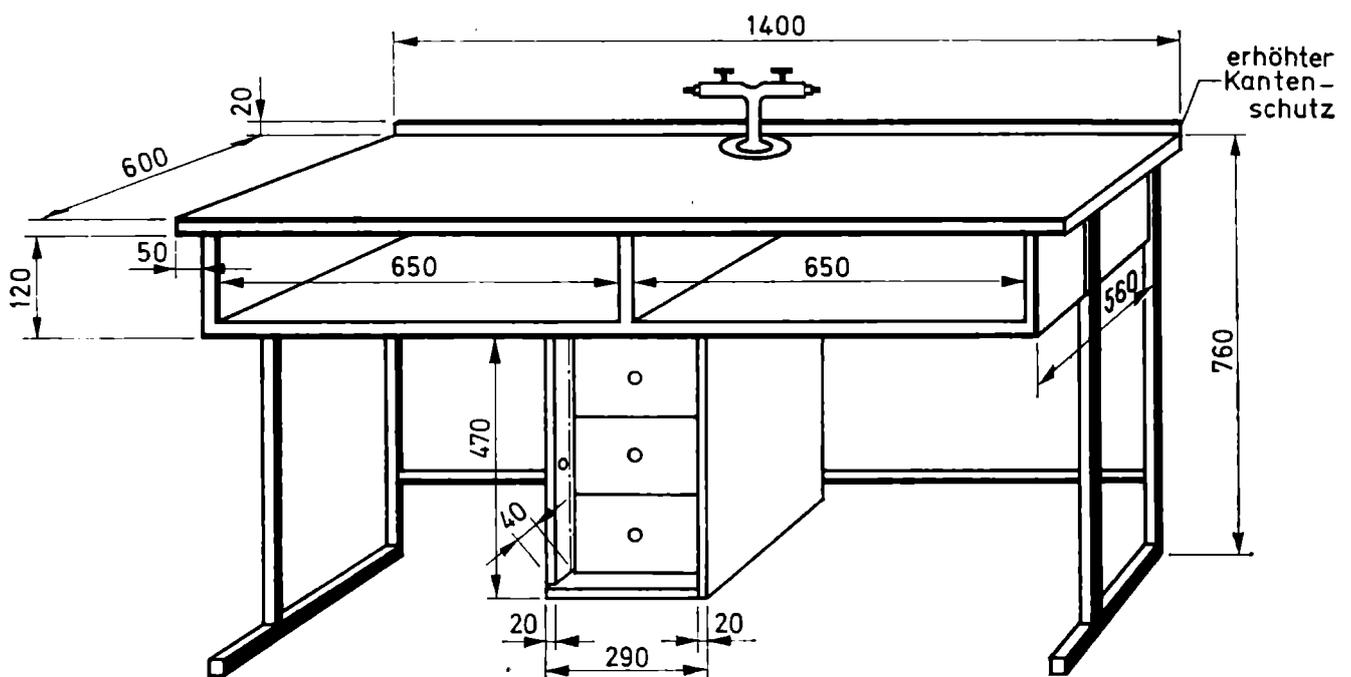


Abb. 174

Abb. 173 Schrankwand für einen Fachunterrichtsraum Chemie

Abb. 174 Zweisitziger Schülerexperimentiertisch für Fachunterrichtsräume Chemie

3	Gasableitungsrohre
3	Gaseinleitungsrohre
50 cm	Glasstab (Außendurchmesser $d = 4 \dots 5$ mm)
1	Gummidoppelgebläse
3	Gummistopfen (9,5/7/15) für Halbmikro-Reagenzglas
3	Gummistopfen (12/9/20) für graduiertes Reagenzglas
3	Gummistopfen (22/19/25) für Erlenmeyerkolben und Rundkolben
50 cm	Gummischlauch (innere Weite 4 mm)
50 cm	Gummischlauch (innere Weite 6 mm)
50 cm	Gummischlauch (innere Weite 8 mm)
1	Halbmikro-Kühler
20	Halbmikro-Reagenzgläser (8 mm $\times$ 75 mm)
5	Halbmikro-Reagenzgläser mit Seitenrohr (8 mm $\times$ 75 mm)
2	Halbmikro-Reagenzgläser, graduiert (12 mm $\times$ 100 mm)
10	Halbmikro-Standflaschen mit Schliff, viereckig, weiß (30 cm <sup>3</sup> )
15	Halbmikro-Standflaschen, viereckig, mit Gewindekappe, weiß (30 cm <sup>3</sup> )
20	Halbmikro-Standflaschen, viereckig, weithalsig, mit Gewindekappe (30 cm <sup>3</sup> )
5	Halbmikro-Standflaschen, viereckig, mit Gewindekappe, braun (30 cm <sup>3</sup> )
1	Kristallisierschale ( $d = 110$ mm, $h = 40$ mm)
2	Meßzylinder (15 cm <sup>3</sup> )
1	Pinzette, vernickelt ( $l = 9$ cm)
1	Reagenzglasbürste mit Pinsel, zylindrische Form ( $d = 10$ mm)
1	Reagenzglasgestell mit Abtropfvorrichtung
1	Reagenzglashalter aus Holz mit Stahlfeder ( $l = 130$ mm)
1	Reagenzglasständer, Grundplatte 45 mm, Höhe $h = 28$ mm, Tiefe der Bohrung 25 mm, Durchmesser der Bohrung $d = 12$ mm
1	Rundkolben, weithalsig, Durchmesser des Halses $d = 22$ mm (25 cm <sup>3</sup> )
1	Rundkolben mit Seitenrohr, Durchmesser des Halses $d = 22$ mm (25 cm <sup>3</sup> )
1	Quetschhahn nach <i>Hoffmann</i>
2	Schutzbrillen
10	Sifonsauger, Typ A (klein)
5	Sifonsauger, Typ B (groß)
1	Spritzflasche (250 cm <sup>3</sup> )
1	Stabthermometer (0 ... 100 °C)
1	Stativfuß für Halbmikro-Stativ
4	Stativmaterial zum Halbmikro-Stativ
1	Tamponträger
1	Trichter, Glas, Nenngröße 35 mm
5	Tropfpipetten ( $l = 120$ mm)
1	Tüpfelplatte aus Plast
3	Uhrglasschalen ( $d = 53$ mm)
1	Unitestpapier
1	Verbrennungslöffel (Länge $l = 150$ mm, Außendurchmesser $d = 12$ mm)

Die Geräte des Halbmikro-Schülerarbeitsatzes werden meistens komplett gehandelt. In Ergänzung dazu ist es auch möglich, die dem besonderen Verschleiß

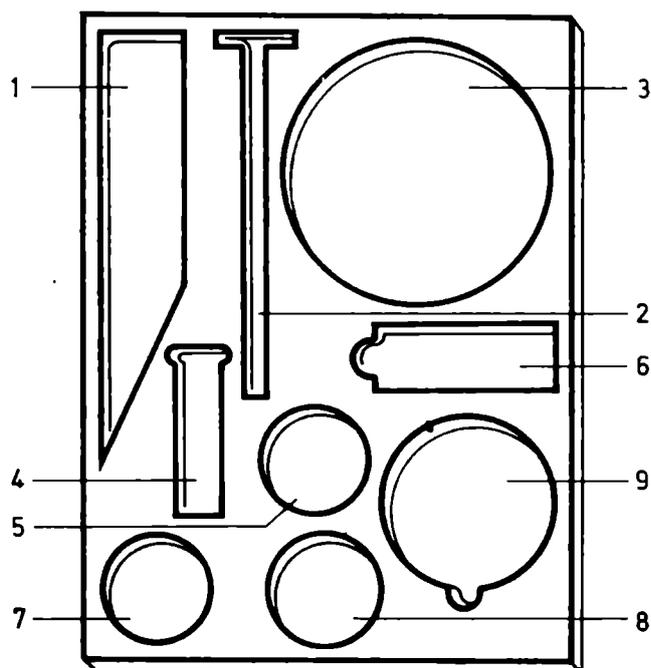


Abb. 175

Abb 175 Einsatz für Schubfächer im Schülerexperimentiertisch (Palette)

1 Halbmikro-Tropfer, Filterröhrchen, Glasstab, Reagenzglas,  
 2 Meßzylinder, 3 Kristallisierschale, 4 Becher, 5 Erlenmeyerkolben,  
 6 Objektträger, 7 Kochbecher, 8 Trichter, 9 Uhrglasschalen

unterliegenden Einzelgeräte und Zusatzgeräte zu beziehen. Folgende Zusatzgeräte können zur Komplettierung des Halbmikro-Schülerarbeitsatzes besonders empfohlen werden.

- 1 Becher (50 cm<sup>3</sup>)
- 1 Einschlaglupe (12fach)
- 1 Erlenmeyerkolben (25 cm<sup>3</sup>)
- 1 Gummidoppelgebläse
- 1 Halbmikro-Brenner für
  - Stadtgas
  - Erdgas
  - Propangas
- 1 Halbmikro-Drahtnetz 120 mm × 120 mm
- 1 Halbmikro-Dreifuß (Höhe  $h = 140$  mm, Durchmesser  $d = 100$  mm)
- 1 Halbmikro-Kühler
- 100 Halbmikro-Reagenzgläser (8 mm × 75 mm)
- 1 Halbmikro-Reagenzglas, graduiert (8 mm × 75 mm)
- 100 Halbmikro-Reagenzgläser mit Seitenrohr (8 mm × 75 mm)
- 1 Halbmikro-Stativfuß mit 3 Stäben
- 1 Halbmikro-Stativdoppelmuffe
- 1 Halbmikro-Stativklemme (groß)
- 1 Halbmikro-Stativklemme (klein)
- 1 Kristallisierschale (Durchmesser  $d = 100$  mm, Höhe  $h = 40$  mm)
- 1 Meßzylinder (15 cm<sup>3</sup>)
- 1 Rundkolben, weithalsig (25 cm<sup>3</sup>)
- 1 Rundkolben mit Seitenrohr (25 cm<sup>3</sup>)

100 Sifonsauger, Typ A (klein)

100 Sifonsauger, Typ B (groß)

Bei der *Anlage der Gerätesammlung* für den Chemieunterricht sollten folgende allgemeine Gesichtspunkte beachtet werden:

- In der Gerätesammlung muß peinliche Ordnung herrschen.
- Alle Geräte müssen sorgfältig gereinigt und funktionstüchtig in die Sammlung eingestellt werden:
- Jedes Gerät muß einen genau bestimmten Platz in der Gerätesammlung haben, der entsprechend zu kennzeichnen ist. Die Anordnung der Geräte bleibt hier weitgehend dem Lehrer überlassen. Allerdings ist es günstig, bestimmte Gerätearten (z. B. Becher, Kolben, Meßgeräte) an einem gemeinsamen Platz sortiert aufzubewahren.
- Schneidwerkzeuge (Messer, Stopfenbohrer, Stopfenbohrerschärfer, Rasierklingen) gehören in geschlossene Behälter.
- Vorbereitete Bauteile und Apparate sollten sortiert in der Gerätesammlung aufbewahrt werden.
- Geräte für einzelne Experimente, die schwer zu reinigen sind, aber mehrmals benutzt werden können (z. B. Geräte für Experimente mit Schwefel), sollten in beschrifteten Kartons gesammelt werden.
- Alle Geräte sind vor ihrem Einsatz auf den funktionstüchtigen Zustand zu überprüfen.
- Schüler dürfen ohne Zustimmung des Lehrers nicht an die Geräte gelangen. Die Gerätesammlung ist deshalb ständig unter Verschuß zu halten.

Für die Gerätesammlung kann eine Kartei angelegt werden. Sie ist regelmäßig zu führen und gibt über den jeweiligen Bestand Auskunft.

*Gewisses Kleinmaterial* muß der Lehrer im Chemieunterricht stets griffbereit haben. Es läßt sich zweckmäßig in entsprechend aufgeteilten Schubfächern des Experimentiertisches im Fachunterrichtsraum unterbringen. Dazu gehört neben einer Grundausstattung an Werkzeugen (z. B. Hammer, Zange, Schraubenzieher) sowie etwas Draht und Bindfaden folgendes Material:

Schlauchstücke verschiedener Länge und Weite,  
verschiedene Glasrohrstücke (gerade und gebogene, T-Stücke)

Glasstäbe

1 ... 2 Trichter

2 ... 3 Reagenzglasalter

einige Tiegelzangen

einige Reagenzgläser verschiedener Größe

einige Uhrglasschalen verschiedener Größe

Quetschhähne

mehrere Tropfer verschiedener Form

eine Auswahl durchbohrter und nicht durchbohrter Stopfen

1 Glasrohrschneider oder 1 Dreikantfeile

Schere, Messer, Pinzetten

Brenneraufsätze

Filterpapier

Rundfilter

Karton zur Herstellung von Füllrinnen

1 Gasanzünder (oder Streichhölzer)

1 Schutzbrille oder Gesichtsschutzmaske

2 ... 3 Spatel verschiedener Form

1 Quecksilberzange

1 Wägesatz, der nur vom Lehrer benutzt wird

Zuleitungen für elektrischen Strom

einige häufig benötigte Aufsätze für Kolben und Reagenzgläser (↗ S. 306).

Diese Materialien werden bei der Angabe der Geräte für die einzelnen Experimente in den Bänden 2 bis 5 dieses Experimentierwerkes nicht besonders aufgeführt. Außerdem werden dort nicht erwähnt: Stativmaterial, Dreifuß, Drahtnetz und Brenner, weil auch diese Geräte ständig verfügbar in der Nähe oder im Experimentiertisch untergebracht werden sollten. Schließlich werden dort auch keine Geräte, wie Waagen, Trichter, Meßzylinder oder Exsikkatoren, aufgeführt, wenn sie nur zu Vorbereitungsarbeiten, also zum Herstellen notwendiger Lösungen oder Stoffgemische, zum Trocknen, Aufbewahren von Stoffen oder Geräten eingesetzt werden.

### 1.3. Reinigen von Geräten

#### 1.3.1. Grundsätzliche Hinweise

Alle Geräte für den Chemieunterricht sind sofort nach Gebrauch gründlich zu reinigen. *Sauberkeit der Geräte* in der Sammlung des Lehrers ist stets Vorbild für die Sauberkeit und Benutzung von Geräten durch die Schüler. Darüber hinaus ist peinliche Sauberkeit erste Voraussetzung für den Erfolg jeder experimentellen Arbeit.

Folgende *Hinweise* sind grundsätzlich zu beachten:

- Alle Geräte sollen möglichst sofort nach dem Gebrauch gereinigt werden, da sich dann viele Verunreinigungen wesentlich leichter entfernen lassen als nach längerem Stehen.
- Es ist günstig, im Fachunterrichtsraum oder im Vorbereitungsraum einen festen Arbeitsplatz zum Reinigen von Geräten einzurichten, an dem sich ein größeres Abwaschbecken befindet. Dort sollten auch die wichtigsten Reinigungsmittel und Trockenvorrichtungen, wie zum Beispiel Abtropfbretter, stehen.
- Bei der Ausführung aller Reinigungsarbeiten ist Schutzkleidung zu tragen, da ein Spritzen von Flüssigkeiten kaum vermieden werden kann. Dazu gehören eine Schürze aus Weich-PVC und eine Schutzbrille. Oft werden auch Gummihandschuhe erforderlich sein.

- Bei der Reinigung von Geräten sind zunächst immer die einfachsten Mittel (mechanische Reinigung, Spülen mit Leitungswasser) anzuwenden. Erst wenn diese Mittel versagen, müssen spezielle Reinigungsmittel verwendet werden. In manchen Fällen kann allerdings von Anfang an die Verwendung spezieller Reinigungsmittel ratsam sein.
- Bei sehr billigen Geräten (z. B. bei Reagenzgläsern) ist zu überprüfen, ob der Einsatz spezieller Reinigungsmittel (z. B. organischer Reinigungsmittel) wirtschaftlich vertretbar ist. Der Preis des erforderlichen Reinigungsmittels soll nicht höher sein als der Preis des verunreinigten Gerätes.
- Vor dem Einsatz spezieller Reinigungsmittel ist stets zu überlegen, ob zwischen den Reinigungsmitteln und den Verunreinigungen gefährliche Reaktionen eintreten können (z. B. Bildung giftiger Gase, Explosionen). Bei unbekanntem Rückständen ist sehr vorsichtig zu verfahren.
- Oft werden Schüler zur Hilfe bei Reinigungsarbeiten herangezogen. Sie dürfen nur unter Aufsicht des Lehrers arbeiten, müssen Schutzkleidung tragen und dürfen nur Geräte reinigen, die keinerlei gefährliche Stoffe mehr enthalten. Die Schüler sind vorher vom Lehrer über das richtige Verhalten bei diesen Arbeiten zu belehren.

### 1.3.2. Reinigungsmittel und Reinigungsgeräte

Häufig benutzte Reinigungsmittel, die ständig bereitgehalten werden sollten, sind im folgenden zusammengestellt:

Wasser steht im allgemeinen als Leitungswasser bereit. Ein Heißwasserbereiter ist vorteilhaft. Außerdem ist manchmal destilliertes Wasser zum Nachspülen erforderlich.

*Dichromatschwefelsäure* (Chromschwefelsäure) dient zum Entfetten von Geräten und zur Beseitigung organischer Reste. Sie wird aus 50 g gepulvertem Natriumdichromat  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  (nicht das häufig empfohlene Kaliumsalz!) und 1 l konzentrierter roher Schwefelsäure unter dem Abzug hergestellt. Das Gemisch ist verbraucht, wenn es eine grünliche Färbung annimmt.

Von den *Säuren und Basen* werden vor allem konzentrierte Chlorwasserstoffsäure und verdünnte Chlorwasserstoffsäure und konzentrierte Natriumhydroxidlösung gebraucht.

*Seesand* ist für eine mechanische Reinigung geeignet.

Ferner sind handelsübliche Wasch- und Putzmittel notwendig.

Ein *Gemisch organischer Lösungsmittel* (Ethanol, Aceton, Ethansäureethylester) kann ebenfalls wertvolle Dienste beim Beseitigen von Rückständen organischer Chemikalien leisten.

Zum Reinigen sind Chemikalien in den Reinheitsgraden „roh“ und „technisch“ zu verwenden. Da sie sich meist mehrmals benutzen lassen, sind dafür Vorratsflaschen auszuwählen, die neben der Angabe des Stoffes die deutliche Aufschrift „zum Reinigen“ tragen müssen.

Zur *Reinigung* wird ferner ständig folgendes Material benötigt:  
Reagenzglas-, Zylinder- und Kolbenbürsten,  
Holz- oder Plastespatel,  
Schmirgelpapier für Metalle,  
Schrotkugeln (etwa 3 mm Durchmesser),  
Pfeifenreiniger für dünne Rohre und  
Gummiwischer.

### 1.3.3. Einzelne Reinigungsarbeiten

Grobe Verunreinigungen sind zunächst mit dem Spatel abzukratzen. Häufig genügt es bereits, mit Leitungswasser auszuspülen. In manchen Fällen wird dabei gleichzeitig eine mechanische Behandlung mit der Bürste notwendig sein. Oft erleichtert es die Arbeit, wenn heißes Wasser verwendet wird oder die Geräte vor dem Bearbeiten einige Zeit in Wasser liegen. Gegebenenfalls können dem Wasser Natriumcarbonat (Soda) oder handelsübliche Putzmittel zugesetzt werden. Starkwandige Gefäße lassen sich durch Schütteln mit etwas Schrot und Wasser reinigen. Statt des Schrotes läßt sich auch eine Metallkette benutzen, die am Stopfen zu befestigen ist. Zur Reinigung sehr feiner Rohre (z. B. Bohrungen in Hahnküken) haben sich Pfeifenreiniger bewährt.

Die Geräte werden nach dem Reinigen nochmals gründlich mit Leitungswasser und anschließend mit destilliertem Wasser ausgespült, damit die Salze im Leitungswasser vor dem Trocknen der Geräte vollständig beseitigt sind. Die gereinigten Geräte werden zum Trocknen auf Abtropfbretter gestürzt oder in den Trockenschrank gelegt. Ist in besonderen Fällen sehr schnelles Trocknen erforderlich, so werden die Geräte mehrmals mit Ethanol, Methanol oder Aceton ausgespült. Die Lösungsmittelreste sind nicht wegzuschütten, sondern für Reinigungszwecke in einer Flasche aufzubewahren. Dieses teure Reinigungsverfahren sollte aber nur auf Ausnahmefälle beschränkt bleiben. Dabei sind wegen der Brand- und Explosionsgefahren die notwendigen Arbeitsschutzbestimmungen einzuhalten.

Metalle werden durch Abreiben mit Schmirgelpapier von groben Verunreinigungen befreit. Gegebenenfalls wird später ein Film Paraffinöl oder ein neuer Farb-anstrich aufgetragen. Reibschalen lassen sich sehr gut reinigen, wenn in ihnen etwas Sand mit dem Pistill gerieben wird.

Grundsätzlich muß die Wahl des Reinigungsmittels der Art der Verunreinigung angepaßt sein (Tab. 72).

Alle Geräte, die mit Hydroxidlösungen oder Hydroxidresten verunreinigt waren oder beim Reinigen mit solchen Stoffen in Berührung kamen, müssen nach dem Reinigungsvorgang nochmals mit verdünnter Chlorwasserstoff- oder Salpetersäure behandelt und erneut gespült werden.

Zum *Reinigen von Halbmikro-Geräten* sind spezielle Hinweise notwendig. Geräte und Apparate für die Halbmikrotechnik sind besonders sorgfältig zu säubern, denn bei dem geringen Chemikalieneinsatz bei diesen Experimenten würden sich Verunreinigungen stärker als in der Makrotechnik auswirken.

**Tabelle 72** Spezielle Reinigungsmittel

Art der Verunreinigung	Reinigungsmittel	Bemerkungen
Salze, Oxidreste (bis auf einige Ausnahmen)	verdünnte Chlorwasserstoff- oder Salpetersäure, evtl. auch konzentrierte Chlorwasserstoffsäure	notfalls erwärmen
Bariumsulfat	warme konzentrierte Schwefelsäure	
Blei(II)-sulfat	heiße ammoniakalische Ammoniumacetatlösung	Abzug!
Silberchlorid	a) konzentrierte Ammoniaklösung b) Zinkpulver und verdünnte Schwefelsäure	Abzug!
Phosphor(V)-oxid	zunächst den größten Teil mechanisch entfernen, danach mit Ethanol schütteln und durch langsame Zugabe von Wasser verdünnen	vorsichtig verfahren, nicht direkt Wasser benutzen
Mangan(IV)-oxid (Braunstein)	a) Lösung von Natriumsulfit und verdünnter Schwefelsäure b) konzentrierte Chlorwasserstoffsäure, sofern das Mangan(IV)-oxid noch frisch ist c) schweflige Säure	Abzug! Abzug!
Kesselstein	a) verdünnte Säuren, evtl. auch Weinsäure b) mehrere Tage mit Ammoniumsulfatlösung feucht halten	
Quecksilber und Quecksilberverbindungen	zunächst mit einer Paste aus Zinkstaub und Wasser, danach mit konzentrierter Chlorwasserstoffsäure und evtl. konzentrierter Salpetersäure behandeln	Abzug! Vorsicht! Gifte der Abteilung 1! Aufarbeitung der Rückstände (↗ S. 390)
Silber- oder Kupferspiegel	Lösen in konzentrierter Salpetersäure	Abzug!
Phosphor	a) auf Metallgeräten soweit möglich ausbrennen b) Nachspülen mit 5%iger Kaliumpermanganat- oder Kupfer(II)-sulfatlösung	Vorsicht! Gift!
Schwefel	a) Geräte mehrere Tage in Wasser legen b) Lösen mit Kohlendisulfid (Schwefelkohlenstoff)	Abzug! Alle Flammen löschen! Sehr teuer!

Art der Verunreinigung	Reinigungsmittel	Bemerkungen
Kohle, Graphit	a) mindestens 6 h mit einem Gemisch von Natriumdichromat und konzentrierter Schwefelsäure auf 100 °C erhitzen b) mit etwas Kaliumnitrat ausschmelzen	Vorsicht!
Fette, Fettsäuren	a) 1 N Kaliumpermanganatlösung 24 h einwirken lassen, dann mit Wasser spülen, Mangan(IV)-oxid-Belag wie oben angegeben entfernen b) Dichromatschwefelsäure  c) Erwärmen mit konzentrierter Natriumhydroxidlösung (auch mit handelsüblichen Reinigungsmitteln) d) Lösungsmittel wie Benzin, Petrolether	Vorsicht! Vor der Anwendung Gefäße stets mit Wasser ausspülen, da aus Chloriden Chlor entwickelt wird und einige organische Stoffe mit dem Reinigungsmittel explosionsartig reagieren!  alle Flammen im Raum löschen! Abzug mit explosions sicherem Exhaustor! (↗ Fette, Fettsäuren)
Teerartige Produkte	a) Aceton oder Tetrachlormethan  b) Gemisch aus organischen Lösungsmittelresten (↗ S. 114)	Vorsicht! Alle Flammen im Raum löschen! Abzug mit explosions sicherem Exhaustor! Vorsicht! Alle Flammen im Raum löschen! Abzug mit explosions sicherem Exhaustor!
Harze	Terpentinöl	
Hahnfett an Schliffen und Hahnküken	Abreiben mit toluen- oder xylenegetränktem Wattebausch; toluengetränkten Pfeifenreiniger durch die Bohrung im Hahnküken ziehen	

Art der Verunreinigung	Reinigungsmittel	Bemerkungen
Verunreinigung in Glasfiltertiegeln	<p>a) Rückspülung: dazu Geräte umgekehrt auf einen Gummistopfen mit mehreren Bohrungen setzen, der sich auf einem Vorstoß befindet; dann Wasser oder andere geeignete Lösungsmittel (z. B. Säuren) durchsaugen; sorgfältig nachwaschen</p> <p>b) Einlegen in heißes Gemisch von Schwefelsäure und Salpetersäure</p>	<p>möglichst sofort nach Gebrauch ausführen; bei der Wahl des Rückspülmittels sind Stoffe unbedingt zu meiden, die mit der Verunreinigung unlösliche Verbindungen ergeben; Dichromatschwefelsäure und Alkalimetallhydroxidlösungen sind ungeeignet!</p>

Das Reinigen der Halbmikro-Geräte und -Apparate erfolgt wie bei Geräten für die Makrotechnik durch Ausspülen mit Wasser, das am besten einer Polyethylen-Spritzflasche entnommen wird. Gute Reinigungswirkung ist besonders bei Reagenzgläsern und Rundkolben zu erreichen, wenn nach teilweisem Herausziehen des Spritzrohrs die Spritzflasche mit dem Kopfende nach unten gerichtet wird. Die Halbmikro-Geräte sind dabei mit der Öffnung nach unten über das Spritzrohr zu halten, das ausfließende Wasser ist in einer Kristallisierschale aufzufangen. Um Verletzungen beim Herausziehen des Spritzrohrs zu vermeiden, sollte stets am geraden und nicht am abgewinkelten Teil gezogen werden. Außerdem empfiehlt es sich, die Gummidichtung vorher etwas anzufeuchten.

Zur Säuberung der meisten rohrförmigen, engen Geräte und Apparate sind Pfeifenreiniger recht gut geeignet. Verschmutzte Kapillarrohre, wie Halbmikro-Tropfer, die nicht vollständig durch sofortiges Ausspülen mit Wasser gesäubert werden können, sind in einem Reagenzglas in ein entsprechendes Lösungsmittel (↗ S. 115ff.) einzutauchen. Dabei ist jedoch zu überlegen, ob die Anwendung des Lösungsmittels einschließlich des erforderlichen Zeitaufwands nicht teurer als das Neuanfertigen des Gerätes wird.

---

## Arbeitstechniken und Apparaturen

---



Geräte, wie sie im ersten Kapitel angeführt sind, werden zum Durchführen von Experimenten vielfach zu Kombinationen zusammengestellt und dann als Apparate und Apparaturen bezeichnet. Die Abgrenzung wird verschieden vorgenommen und ist auch nicht immer eindeutig möglich. Nachfolgend sind Geräte Einzelteile aus Glas, Keramik, Metall, Gummi oder Holz, die zuweilen direkt zur Ausführung einfacher chemischer Reaktionen benutzt, häufig aber zu Apparaten und Apparaturen kombiniert werden. *Apparate* sind aus zwei oder mehreren Geräten zusammengefügt und stellen funktionelle Einheiten dar, in denen meistens bestimmte Einzelvorgänge ablaufen. Als *Apparaturen* werden schließlich zusammengesetzte komplexe Kombinationen aus Geräten und Apparaten bezeichnet.

Die Apparatur zum Darstellen und Auffangen von Kohlenmonoxid durch Reduktion von Kohlendioxid (Abb. 176) enthält beispielsweise als Apparat einen Gasentwickler, der wiederum aus den Geräten Rundkolben und Tropftrichter besteht. An diesem Beispiel wird auch deutlich, daß eine Apparatur aus Bauteilen besteht, in denen bestimmte Vorgänge ablaufen. Die Aufgliederung kann dabei unterschiedlich erfolgen. Die Apparate und Geräte innerhalb einer Apparatur sind in gewissem Grade variabel. Sie lassen sich oft gegen ähnliche Bauteile austauschen. So kann in dem gewählten Beispiel zur Herstellung von Kohlendioxid auch ein Kippscher Gasentwickler oder ein anderer entsprechender Apparat eingesetzt werden. Die Absorption von Kohlendioxidresten ist auch in einem geraden Trockenrohr oder mit Kaliumhydroxidlösung in einer Gaswaschflasche oder in einem Reagenzglas mit Seitenrohr und Gaseinleitungsrohr möglich. Schließlich kann das entstehende Kohlendioxid auch noch auf andere Weise aufgefangen werden. Der Lehrer hat damit die Möglichkeit, die Apparatur der Zielsetzung des Experiments anzupassen und darüber hinaus die materiellen Bedingungen an der Schule zu berücksichtigen.

Zur Unterstützung der experimentellen Arbeit ist es nützlich, auf wichtige Arbeitstechniken einzugehen, zugehörige Apparate und Apparaturen zu besprechen und einige Fragen des Aufbaus von Apparaturen zu erörtern. In den folgenden Abschnitten soll deshalb zunächst auf wichtige Experimentiertechniken für die Arbeit im Chemieunterricht, die Makrotechnik, die Halbmikrotechnik, die Mikrotechnik und die Techniken der Experimentprojektion eingegangen werden. Diese Techniken sind vor allem durch den Einsatz unterschiedlicher Massen und Volumen

der Stoffe gekennzeichnet. Das bedingt auch jeweils charakteristische Techniken des Experimentierens, weil die Verwendung spezifischer Geräte, Apparate und Apparaturen und mehr oder weniger voneinander abweichender Arbeitsoperationen notwendig wird. Dabei gibt es zwischen den einzelnen Experimentiertechniken Übergänge. So kann die Stoffmenge, die für eine Technik charakteristisch ist, mitunter mit den Geräten einer anderen Technik untersucht werden.

Nach der Darstellung einzelner Arbeitstechniken wird versucht, typische Apparaturen zu kennzeichnen und Techniken zu besprechen, die beim Zusammenstellen solcher Anordnungen zu beachten sind.

## 2.1. Wichtige Arbeitstechniken und Apparaturen für die Makrotechnik

Bei der Ausführung chemischer Schulexperimente nach der Makrotechnik werden Massen über 100 mg oder Volumen über 5 ml eingesetzt. Die Makrotechnik ist die älteste und verbreitetste Experimentiertechnik. Im Chemieunterricht an den Schulen findet diese Arbeitsweise gegenwärtig vor allem bei *Demonstrationsexperimenten* Anwendung, die so angelegt sein müssen, daß die auftretenden Effekte von allen Schülern einer Klasse beobachtet werden können. Schülerexperimente werden zum großen Teil nach der Halbmikrotechnik durchgeführt, wengleich zuweilen noch Geräte und Arbeitsweisen genutzt werden müssen, die eigentlich zur Makrotechnik gehören.

### 2.1.1. Erwärmen und Kühlen beim Experimentieren

Chemische Reaktionen sind stets mit Energieumsetzungen verbunden. Energiezufuhr ist oft notwendig, um eine Reaktion zwischen den Ausgangsstoffen einzuleiten oder aufrechtzuerhalten. Andererseits kann es auch notwendig sein, überschüssige Energie abzuführen. Die häufigste Energieform ist die Wärme. Deshalb sind geeignete Heiz- und Kühleinrichtungen und deren sinnvolle Anwendung eine wesentliche Voraussetzung für erfolgreiches experimentelles Arbeiten im Chemieunterricht.

#### 2.1.1.1. Beheizen von Reaktionsräumen

##### Allgemeine Grundsätze

Das Beheizen von Reaktionsgefäßen erfolgt mit Hilfe verschiedenartiger Heizgeräte, die mit Stadt-, Propan- oder Erdgas, brennbaren Flüssigkeiten (Spiritus) und elektrischer Widerstandsheizung arbeiten. In Reaktionsgefäßen sind folgende Temperaturen erreichbar (↗ Tab. 74, S. 130):

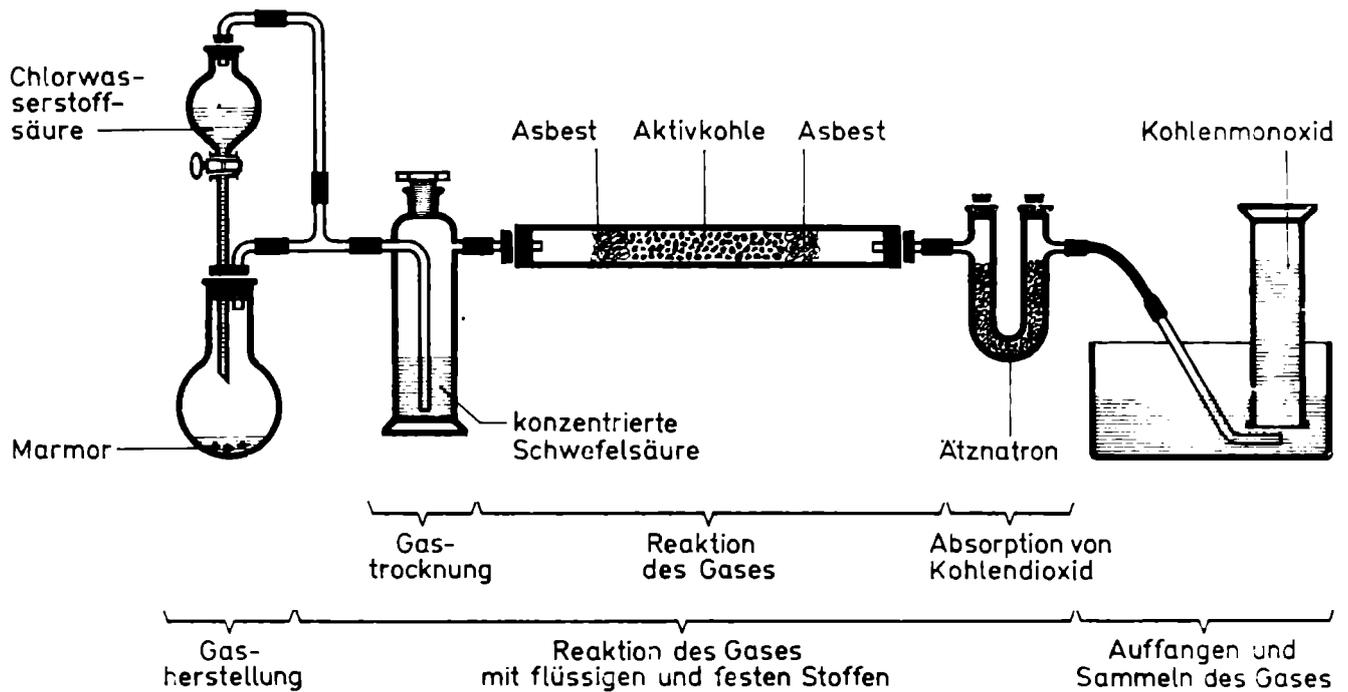


Abb. 176

Abb. 176 Experiment mit mehreren Arbeitsstufen  
(Herstellung von Kohlenmonoxid aus Kohlendioxid)

Spiritusbrenner	bis 520 °C
Stadtgas- (Propangas-) Brenner	bis 800 °C
Elektrische Heizrohre	bis 1100 °C

An geeignete Heizgeräte für den Chemieunterricht sind folgende *Forderungen* zu stellen:

- Die Heizgeräte müssen vielseitig, möglichst bei allen auftretenden Arbeiten einsetzbar sein.
- Alle für die Durchführung von Experimenten notwendigen Temperaturen (z. B. Glühen von festen Stoffen, einfache Glasarbeiten) sollen erreichbar sein.
- Die Geräte sollen einen gut einstellbaren Wärmestrom liefern, um sie dem jeweiligen Verwendungszweck anpassen zu können.
- Die ablaufenden Vorgänge in den Reaktionsgefäßen sollen beim Erwärmen beobachtet werden können.
- Die Heizgeräte sollen möglichst einfach zu benutzen sein.

Damit ergibt sich eine gewisse Auswahl an Arbeitsweisen für den Chemieunterricht. Besondere Bedeutung hat die Beheizung mit Gasbrennern für Stadtgas oder für Propangas. Entsprechende Geräte gibt es sowohl für Demonstrationsexperimente als auch für den Einsatz bei Schülerexperimenten.

Die Anwendung von flüssigen Brennstoffen kommt vor allem bei Schülerexperimenten in Betracht, wenn die Voraussetzungen für das Arbeiten mit Halbmikro-Gasbrennern im Fachunterrichtsraum fehlen. Die Verwendung elektrischer Heizquellen gewinnt an Bedeutung, wenn auch die teilweise recht speziellen Einsatzmöglichkeiten und die Tatsache, daß die einzuführenden Geräte oft nicht beobachtet werden können, gewisse Grenzen setzen. Besonderen Wert haben elektrische

Heizrohre, wenn Temperaturen zwischen 800 °C und 1100 °C erreicht werden sollen (↗ S. 129).

Bei der Anwendung der einzelnen Heizungsarten ist folgendes zu beachten:

**Stadtgasbrenner:** Es sind fest installierte Gasanschlüsse notwendig. Diese Anschlüsse müssen für Schüler- und Lehrertische getrennte Absperrventile aufweisen, die unter Verschluss liegen. Hinweise auf die Absperrmöglichkeiten sind auf den vorgeschriebenen Schildern auszuhängen und die Rohre sowie Hahnküken mit der vorgeschriebenen gelben Farbe zu kennzeichnen. Schlauchanschlüsse sind an Hähnen und Brennern mit Schlauchschellen zu sichern.

**Propangasbrenner:** Bei Verwendung am Lehrertisch kann eine Druckgasflasche mit 14 kg Flüssiggas (Propan und Butan) im Fachunterrichtsraum benutzt werden. Es sind dabei Druckgasflaschen mit einem Prüfdruck von 2,53 MPa (25 at) vorgeschrieben. Der Brenneranschluß muß über einen benzinfesten Hochdruckschlauch erfolgen, der mit Schlauchband oder Schlauchschellen befestigt ist und nicht länger als 2 m sein darf. Einfache Gummischläuche sind nicht zugelassen.

Sollen die Arbeitsplätze der Schüler mit Propangas versorgt werden, so müssen die Anlagen den besonderen Bestimmungen über Propanganlagen entsprechen. Größere Propangasflaschen sind dann außerhalb des Fachunterrichtsraums unterzubringen.

**Elektrische Heizgeräte:** Sie sind entsprechend den jeweiligen Bedienungsanweisungen zu benutzen. Der Anschluß darf nur an Steckdosen mit Schutzkontakt über eine entsprechend eingerichtete Geräteleitung erfolgen.

## Umgang mit Gasbrennern

Der *Bunsenbrenner* (Abb. 177) ist der Grundtyp aller Gasbrenner. Das Gas strömt durch die Düse in den Kamin des Brenners. Die notwendige Luft zur Verbrennung kann durch die seitlichen Bohrungen im unteren Teil des Kamins vom Gasstrom angesaugt werden oder an der Brenneröffnung zutreten. Beim *Entzünden des Gas-Luft-Gemisches* entsteht an der Brenneröffnung unter folgenden Voraussetzungen eine stehende Flammenfront:

- Das Gas-Luft-Gemisch muß zündfähig sein. Wenn der Gasstrom zu klein oder die Luftzufuhr zu stark ist, so macht der Luftüberschuß im Gemisch ein Entzünden unmöglich.
- Die Strömungsgeschwindigkeit des zündfähigen Gemisches muß der Zündgeschwindigkeit entsprechen. Unter Zündgeschwindigkeit ist die Geschwindigkeit zu verstehen, mit der sich die Flammenfront in einem Gasgemisch nach erfolgter Zündung ausbreitet. Wenn diese Voraussetzung nicht erfüllt ist, dann dringt die Flammenfront in den Kamin zurück, der Brenner schlägt durch.

Die *Zündgeschwindigkeit* ist von der Art des Gases und vom Mischungsverhältnis des Gases mit der Luft abhängig. Sie kann also bei einem bestimmten Gas durch das Einstellen der Luftzufuhr verändert werden.

Da die Zündgeschwindigkeit beim günstigsten Verhältnis zwischen Stadtgas und Luft zu groß würde, sind die meisten Brenner so konstruiert, daß der Gasstrom nur maximal zwei Drittel der nötigen Luft im unteren Teil des Kamins ansaugt. Der

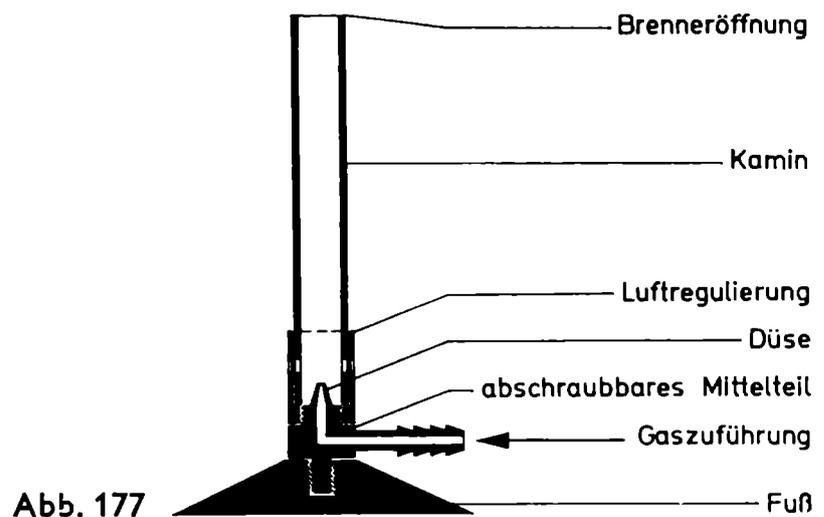


Abb. 177

Abb. 177 Aufbau eines Bunsenbrenners

Rest tritt dann erst an der Brenneröffnung hinzu. Der Bereich, in dem ein Gas-Luft-Gemisch zündfähig ist (Zündgrenze), und die Zündgeschwindigkeit hängen wesentlich von der Art des Gases ab. Für jede Gasart müssen deshalb spezielle Brenner verwendet werden. Aus diesem Grunde sind Stadtgasbrenner nicht für andere Gase, wie Erd- oder Propangas, brauchbar.

Durch Variation der Kaminform, des Lufteintritts und anderer Teile können die Brenner in Details verändert und damit speziellen Anwendungsmöglichkeiten angepaßt werden.

Bei der *Bedienung der meisten Gasbrenner* sind folgende Arbeitsgänge auszuführen:

- **Anzünden:** Luftzufuhr schließen, Hahn für Gaszufuhr öffnen; Gas entzünden; Luftzufuhr nach Bedarf öffnen.
- **Kleiner- oder Größerstellen:** Luftzufuhr schließen; Gaszufuhr drosseln oder verstärken; Luftzufuhr wieder in der gewünschten Weise öffnen.
- **Löschen:** Luftzufuhr schließen; Gaszufuhr unterbrechen.

Weiterhin ist folgendes zu beachten:

- Die Flamme soll normalerweise eine Höhe von etwa 5 ... 10 cm haben.
- Die größte Wärmeenergie der Flamme liegt im mittleren Teil des Flammenkegels oder oberhalb des inneren Flammenkegels bei rauschender Flamme.

Nach steigender Flammentemperatur können vier *Flammenarten* unterschieden werden:

- **Sparflamme:** Im Schornstein des Landmannbrenners (↗ S. 24) befindet sich ein dünnes Metallrohr, aus dem auch bei geschlossener Hauptgaszufuhr, wenn also der Stellhebel nach unten gelegt ist, Gas ausströmt. Das Gasflämmchen an der Spitze dieses Rohres wird als Sparflamme bezeichnet. Es dient als Zündflamme für den Brenner und wird zum schwachen Erwärmen von Gegenständen benutzt.
- **Leuchtende Flamme:** Die Luftzufuhr ist vollständig geschlossen. Die notwendige Luft zur Verbrennung tritt nur an der Brenneröffnung hinzu. Das Gas verbrennt mit langer Flamme, deren oberer Teil leuchtet. Die Flamme ist nicht sehr heiß und wirkt innerhalb des unteren Teiles des Flammenkegels reduzierend.

- *Entleuchtete Flamme*: Die Luftzufuhr wird geöffnet, bis die Flamme nicht mehr gelb leuchtet. Ein beträchtlicher Teil der notwendigen Luft tritt an der Brenneröffnung zu.
- *Rauschende Flamme*: Die Luftzufuhr wird weit geöffnet. Dann ist deutlich ein innerer, hellblauer, begrenzter Flammenkegel zu erkennen, in dem sich unverbranntes Gas-Luft-Gemisch befindet und recht niedrige Temperaturen herrschen, sowie der heiße Flammenmantel (Abb. 178). Das Rauschen ist die Folge unvollständiger Durchmischung von Gas und Luft im Kamin des Brenners.

Um günstige Bedingungen für die verschiedensten Arbeiten und eine möglichst gute Wärmeausnutzung zu erreichen, ist eine Reihe spezieller Gasbrenner konstruiert worden (↗ S. 24). Außerdem kann durch *Brenneraufsätze* (↗ S. 26) der Flamme eine spezielle Form gegeben werden. Mit dem Schlitzaufsatz wird eine schmale Flamme, etwa zum Erhitzen von Stoffen im Verbrennungsrohr, erzeugt. Der Pilzaufsatz ermöglicht das gleichmäßige Erwärmen größerer Flächen; der Schornsteinaufsatz gestattet es, die Flamme zu konzentrieren und erhöhte Temperaturen zu erreichen.

Regelmäßige und sorgfältige *Reinigung* ist Voraussetzung für ein sicheres Arbeiten mit Gasbrennern. Verschmutzungen treten vor allem durch Flüssigkeitstropfen, Roststückchen oder Schmelzrückstände auf, die in den Kamin fallen. Ferner unterliegen alle Brennerteile der Korrosion durch aggressive Gase oder Säuredämpfe. Ganz besonders gilt das für Brenner, die unter dem Abzug benutzt werden. Deshalb sollen die eingesetzten Brenner alle 4 ... 8 Wochen gründlich durchgesehen werden. Auch alle nicht ständig benutzten Brenner müssen in größeren Zeitabständen überprüft werden, damit sie jederzeit einsatzfähig sind. Bei der Durchsicht und Reinigung ist folgendermaßen zu verfahren:

- Brenner durch Auseinanderschrauben in seine Bestandteile zerlegen.
- Kamin (Schornstein) und Fuß mit Bürste und Lappen sorgfältig reinigen.
- Salzrückstände mit einem feuchten Lappen entfernen; Schmelzreste mit einem Holzspatel vorsichtig mechanisch beseitigen (nicht mit Metall).
- Düse und gegebenenfalls vorhandenen Hahn besonders sorgfältig reinigen; grobe Bearbeitung mit Metallwerkzeugen vermeiden.
- Bohrung der Düse mit einer Borste oder einem feinen Holzspan säubern; nur im äußersten Falle mit großer Vorsicht feinen Draht benutzen; Bohrung beim Reinigen nicht erweitern.
- Alle Teile des Brenners nach dem Reinigen leicht einfetten und wieder zusammensetzen.
- Den Fuß bei Bedarf außen mit einem neuen Nitrolackanstrich versehen (vorher jedoch alle Roststellen sorgfältig mit Schmirgelpapier entfernen).

### Umgang mit Gebläsebrennern

Hohe Temperaturen, wie sie zum Beispiel zur Bearbeitung von Glas notwendig sind, lassen sich mit Gebläsebrennern erzeugen (↗ S. 24). Der zentrale Teil eines solchen Brenners besteht aus zwei ineinandergeschobenen Rohren, von denen das äußere mit Gas, das innere mit Luft aus einem Gebläse (↗ S. 50) beschickt wird (Abb. 179).

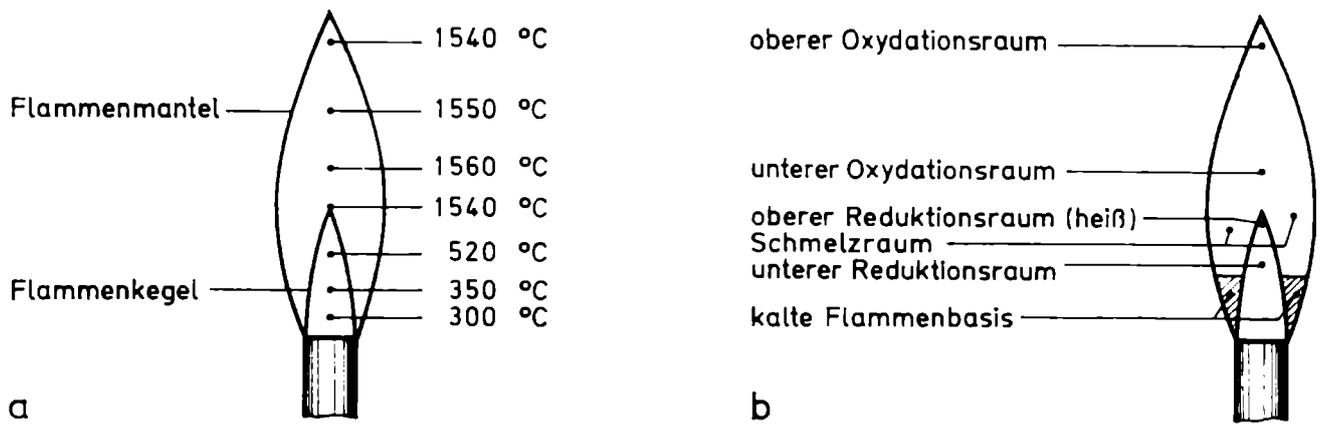


Abb. 178

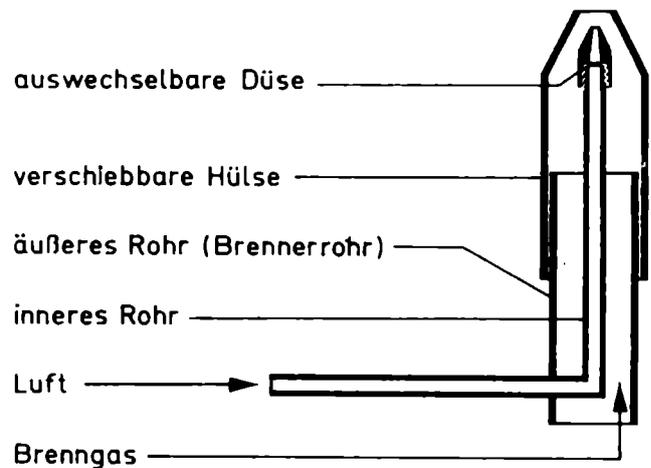


Abb. 179

Abb. 178 Temperaturverhältnisse (a) und Reaktionsbereiche (b) der Flamme des Bunsenbrenners

Abb. 179 Prinzipieller Aufbau eines Gebläsebrenners

Gas- und Luftstrom sind durch Hähne einzustellen. Bei einigen Brennertypen wird durch eingeschlagene Buchstaben an den Hähnen (G, L) auf den richtigen Anschluß von Gas und Luft hingewiesen. Auf das innere, für Luft bestimmte Rohr lassen sich Düsen verschiedener Größe aufschrauben. Ein Satz solcher Düsen ist meist im Fußteil des Brenners befestigt. Durch die Größe der Düse läßt sich die Form der Flamme beeinflussen. Ferner können Form und Temperatur der Flamme durch Veränderung des Gas- und Luftstroms eingestellt werden. Mit steigendem Luftanteil erfolgt ein Übergang von der Flatterflamme zur Stichflamme. Die Flammentemperatur nimmt zunächst zu. Wird der Luftanteil allerdings zu hoch, so sinkt die Temperatur wieder ab.

Die Hülse (Abb. 179) auf dem Brennerrohr ist so zu verschieben, daß kein Gas neben der Stichflamme verbrennt. Der Brenner ist auf dem Fuß durch Gelenke beweglich befestigt, so daß die Stichflamme in verschiedene Richtungen gebracht werden kann.

Bei der *Benutzung* des Gebläsebrenners sind folgende Regeln zu beachten:

- **Entzünden:** Gebläse in Gang setzen; Lufthahn aber noch geschlossen halten; Hahn für Gaszufuhr zur Hälfte öffnen; ausströmendes Gas entzünden; Lufthahn langsam öffnen; gewünschte Flammenform durch Betätigen des Luft- und Gasahns am Brenner einstellen.

- **Löschen:** Lufthahn am Brenner schließen; Gaszufuhr abstellen; Gebläse abstellen. Wird beim Löschen der Lufthahn am Brenner nicht geschlossen, so besteht besonders beim Arbeiten mit einem Wasserstrahlgebläse bei der nachfolgenden Benutzung des Gebläsebrenners Explosionsgefahr.

### Umgang mit Spiritusbrennern

Einfache Spiritusbrenner (↗ S. 24) können vor allem bei Schülerexperimenten verwendet werden. Die Flammentemperatur liegt zwar unter der des Gasbrenners, reicht aber für die meisten Schülerexperimente aus.

In die Brenner aus Metall, manchmal auch noch aus Glas oder Porzellan, wird Brennspritus eingefüllt. Die Verwendung anderer brennbarer Flüssigkeiten ist nicht gestattet.

Zur *Inbetriebnahme des Spiritusbrenners* ist folgendes notwendig:

- **Überprüfen des Dochtes:** Der aus Baumwollfäden bestehende Docht soll so fest in dem Dochthalter aus Metall oder keramischem Material sitzen, daß er bei Durchfeuchtung nicht in den Brenner hineinfallen kann. Andererseits muß ein starkes Zusammendrücken im Dochthalter vermieden werden, um das Aufsteigen des Brennspritus nicht zu behindern. Der Docht soll etwa 1 cm über den oberen Rand des Dochthalters hinausragen, frei von verkohlten Rückständen sein und im unteren Teil mindestens bis auf den Boden des Gefäßes reichen.
- **Einfüllen von Brennspritus:** Das erfolgt mittels eines Trichters in die spezielle Einfüllöffnung oder durch die Öffnung, in welcher der Dochthalter sitzt. Die Flüssigkeit soll höchstens 1 ... 2 cm unter die obere Öffnung reichen. Die Einfüllöffnung ist dann gut zu verschließen beziehungsweise der Dochthalter wieder aufzusetzen. Das Einfüllen von Brennspritus darf niemals bei entzündetem oder heißem Brenner erfolgen. Sofort nach dem Füllen ist die Verschlusskappe aufzusetzen.
- **Entzünden:** Die Verschlusskappe wird abgenommen und mit einem Streichholz der überstehende Teil des Dochtes angezündet.
- **Löschen:** Die Flamme des Brenners ist durch Aufsetzen der Kappe zu löschen. Wird die Flamme ausgeblasen, so verglüht der Docht.

Nicht benutzte Brenner sind stets mit aufgesetzter Kappe aufzubewahren, um ein Verdunsten des Brennspritus und das Austrocknen des Dochtes zu verhindern. Zur Erhöhung der Standfestigkeit des Brenners bei Schülerexperimenten ist es ratsam, den Brenner in einen Holzfuß mit entsprechend großer Bohrung zu setzen. Die Unterseite des Holzfußes sollte mit Velourpapier oder Stoff beklebt werden.

### Erhitzen von Geräten und Apparaten

Die einfachste Form der Wärmezufuhr zu Geräten und Apparaten ist das *direkte Erhitzen*, bei dem Reagenzgläser, Porzellanschalen, Rundkolben und andere Geräte direkt mit der *Flamme* in Berührung kommen (Abb. 180a). Reagenzgläser werden dabei mit Reagenzglasaltern etwas schräg gehalten, so daß die Flammenspitze nicht den Boden, sondern die Seitenwand des Reagenzglases etwas unterhalb der

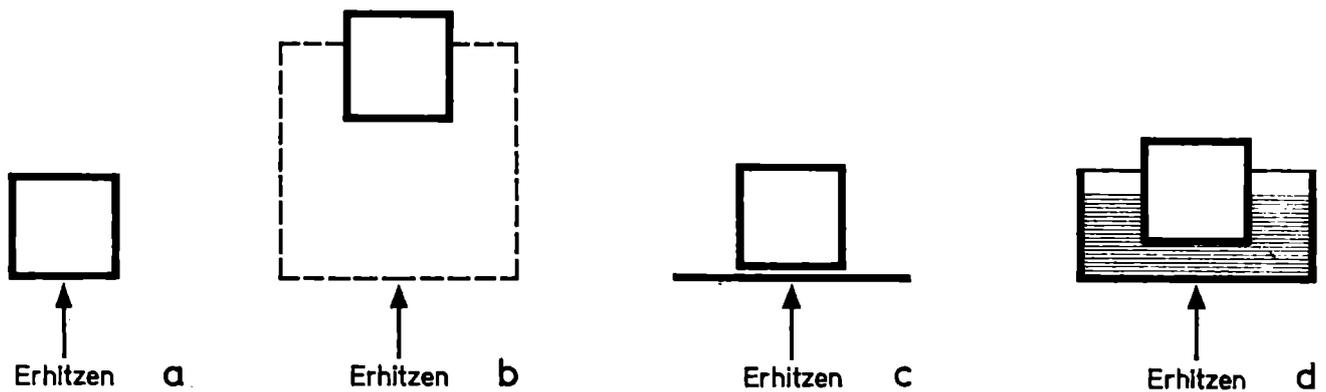


Abb. 180

Abb. 180 Schematische Darstellung der Beheizung von Geräten mit Gasbrennern  
 a) direkte Beheizung, b) indirekte Beheizung durch erwärmte Luft,  
 c) indirekte Beheizung über Unterlage, d) indirekte Beheizung durch Heizbäder

Flüssigkeitsoberfläche berührt. Andere Geräte werden mit Hilfe einer Stativklemme an einem Stativ befestigt und dann erhitzt. Dabei ist durch Bewegen des Brenners oder des Gerätes zu sichern, daß eine gleichmäßige Erwärmung erfolgt. Bei großen Geräten kommt es bei diesem Vorgehen jedoch leicht zur Überhitzung einzelner Stellen, zu ungleichmäßiger Wärmeverteilung und schließlich zum Bruch des Glases. Bei quantitativen Experimenten können Abstrahlungen der Brennerflamme auf die Thermometerflüssigkeit zu Meßfehlern führen.

*Direkte elektrische Beheizung* kann unmittelbar durch Heizspiralen an den Wänden von Geräten oder durch Einführen von Heizaggregaten in die Geräte erfolgen. Für den Chemieunterricht sind in diesem Zusammenhang vor allem Heizrohre bedeutsam (↗ S. 129).

Oft werden Formen des *indirekten Erhitzens* angewendet, bei denen sich die unmittelbare Berührung zwischen der Brennerflamme oder der Heizspirale und dem Gerät vermeiden läßt (Abb. 180 b bis d). Die Geräte lassen sich so hoch am Stativmaterial befestigen, daß die Erwärmung nur noch durch aufsteigende erwärmte Gase der Brennerflamme erfolgt (Abb. 180 b). Die Wärme wird aber besser ausgenutzt, wenn der Raum zwischen Brenner und Gerät von einem ringförmigen Mantel aus geeignetem Material (Metall, Keramik) umgeben ist.

Die direkte Berührung von Heizquelle und Gerät wird am häufigsten durch unbrennbare *Unterlagen* verhindert (Abb. 180 c). Am bekanntesten sind Drahtnetze, die in geeignetem Abstand über dem Brenner auf einem Dreifuß oder einem Stativring liegen. In besonderen Fällen kommen aber auch Metall- oder Graphitplatten in Betracht, die etwas Wärme speichern und deshalb auch nach dem Löschen des Brenners noch einige Zeit nachheizen. In diesem Sinne wirken auch elektrische Heizplatten (↗ S. 35). Besonders gleichförmige und schonende Erwärmung kann durch die Verwendung von Heizbädern erreicht werden (Abb. 180 d).

Müssen Flüssigkeiten bis zum Sieden erhitzt werden, so sind zur Verhinderung von Siedeverzug Siedesteine zuzusetzen. Siedesteine sind Stückchen einer Magnesia-rinne oder saubere kleine Tonscherben, bei denen die Dampfblasenbildung an der Phasengrenze Luft/Flüssigkeit an der Oberfläche der porösen Stoffe erfolgt.

## Verwendung von Heizbädern

Heizbäder bestehen aus weiten Gefäßen, in einfachen Fällen aus Bechern, Metall-, Glas- oder Keramikschalen, die mit einem geeigneten Stoff gefüllt sind (Tab. 73). Dieser Stoff wird erwärmt und überträgt die Wärme langsam und gleichmäßig auf das Gerät mit den reagierenden Stoffen, wobei dessen Eintauchtiefe dementsprechend zu bemessen ist.

**Tabelle 73** Stoffe für Heizbäder

Stoff	Maximale Temperatur des Bades in °C	
Wasser	80	
Sand	} für nahezu alle erforderlichen Temperaturen im Chemieunterricht über 500 °C	
Salze		
Metall		
Glycerol	160	} Nachteile durch Brenn- barkeit und Entstehung von Nebenprodukten
festes Paraffin (30 ... 60 °C)	300	
Mineralöl je nach Art.	330	
Siliconöle	350	

Heizbäder haben bei quantitativen Experimenten große Bedeutung, da die Temperatur des Bades und damit die Reaktionsbedingungen relativ gut eingehalten werden können. Die Gefahr der Abstrahlung der außerhalb der Bäder befindlichen Flammen auf die Thermometerflüssigkeit besteht kaum noch.

Heizbäder haben außerdem den Vorteil, daß bei einem Bruch von Geräten die Reaktionsprodukte von dem Heizbad aufgenommen werden können, wenn dieses groß genug gewählt worden ist. Das verringert die Brandgefahr beim Arbeiten mit brennbaren Stoffen.

Die Heizbäder können mit Gasbrennern oder elektrisch beheizt werden. Gegenwärtig setzen sich immer mehr elektrisch beheizte Bäder durch, insbesondere elektrische Wasserbäder (↗ S. 35). Sie haben den Vorteil, daß die Erwärmung den jeweiligen Bedürfnissen angepaßt werden kann und sich mit Hilfe von Regeleinrichtungen eine bestimmte Temperatur einhalten läßt.

Handelsüblich sind verschiedene Formen solcher *Heizbäder*. Günstig sind Geräte, die sich nach dem Baukastenprinzip kombinieren lassen (Abb. 181). Beim Umgang mit Heizbädern ist die entsprechende Arbeitsschutzanordnung zu beachten. Im Chemieunterricht finden vor allem Wasser- und Sandbäder Anwendung. Als *Sandbad* kann eine Eisenschale benutzt werden, die mit gereinigtem Seesand gefüllt ist und auf einem Dreifuß oder Stativring mit dem Gasbrenner erhitzt wird. Als *Wasserbad* wird oft ein Becher benutzt, der über einem Drahtnetz erhitzt werden kann. Für die Halbmikrotechnik gibt es besondere Wasserbadeinsätze, in die die Geräte eingestellt werden können. Dabei sind Geräte mit den eingefüllten Stoffen vor dem Erwärmen in das Bad einzusetzen [33].

Größere Wasserbäder sind mit einer Einrichtung versehen, die bei ständigem Wasserzulauf einen bestimmten Wasserstand ermöglicht (Abb. 182). Durch Heben oder Senken des Überlaufs im Wasserstandsregler kann die gewünschte Höhe des Flüssigkeitsniveaus im Gefäß eingestellt werden.

Heizbäder sind regelmäßig zu reinigen und wenn notwendig, neu zu füllen. Beim Wasserbad muß in regelmäßigen Abständen der Kesselstein entfernt werden. Das gilt vor allem für die sehr dünnen Rohre zur Regelung des Wasserstands. Geeignet sind verdünnte Lösungen schwacher Säuren, bei Wasserbädern aus Kupfer kann auch verdünnte Chlorwasserstoffsäure genommen werden. Nach dem Einwirken der Säure ist sofort gründlich mit Wasser zu spülen.

Für spezielle Zwecke werden Wasserbäder in besonderer Form hergestellt. Als Beispiel sei der *Heißwassertrichter* genannt (Abb. 183). Er wird bei Filtrierarbeiten benutzt, bei denen die zu filtrierende Flüssigkeit nicht abkühlen darf. Die Beheizung solcher Geräte erfolgt entweder an dem Rohransatz mit dem Gasbrenner oder durch eingebaute elektrische Heizung.

### Beheizen von Reaktionsrohren

Rohre, in denen Reaktionen bei höheren Temperaturen ablaufen sollen, können mit Gasbrennern, Spiritusbrennern oder elektrisch beheizt werden. Die maximale Temperatur ist bei den einzelnen Gasbrennern unterschiedlich (Tab. 74).

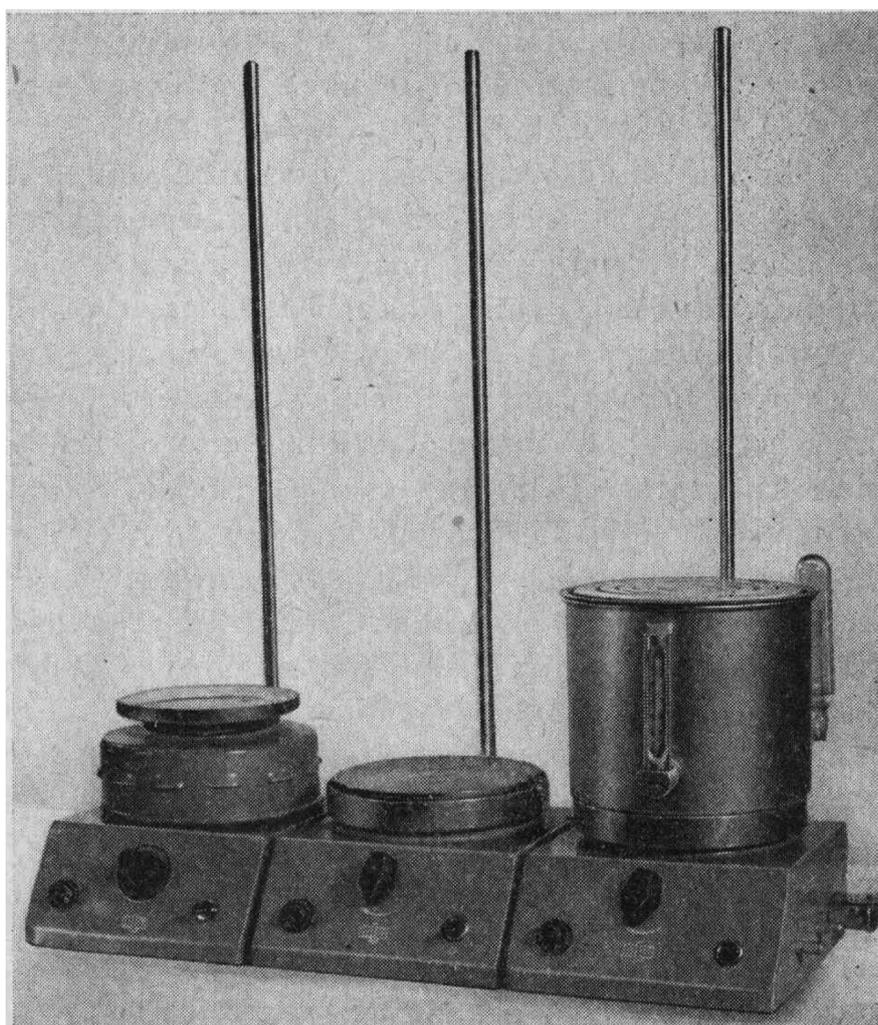


Abb. 181  
Kombination  
von verschiedenen  
elektrischen Laborheiz-  
geräten

**Tabelle 74** Maximale Temperaturen in Apparaturen bei Beheizung mit Gasbrennern in °C (gemessen bei größter entleuchteter Flamme) nach H. Boeck [9]

Reaktionsraum	Flammenart				
	Bunsen- brenner- flamme	Landmann- brenner- flamme	Teclu- brenner- flamme	Propan- brenner- flamme	Spar- flamme
Verbrennungsrohr ( $d = 14 \text{ mm}$ )	744	754	790	773	500
Verbrennungsrohr ( $d = 21 \text{ mm}$ )	693	713	776	727	400
Reagenzglas <sup>1</sup> ( $16 \text{ mm} \times 160 \text{ mm}$ )	785	772	823	783	550

<sup>1</sup> senkrecht eingespannt; 10 ... 15 mm über dem Boden des Glases gemessen

Im Verbrennungsrohr tritt bei *Gasheizung* starker Temperaturabfall nach oben hin auf. Er beträgt oft mehr als 200 °C. Durch Abdecken des Verbrennungsrohres wird dem Temperaturabfall oft entgegenzuwirken versucht. Höhere Temperaturen können jedoch nur erreicht werden, wenn die Abdeckung dachförmig aufgesetzt wird und an der oberen Kante Löcher besitzt, durch welche die heißen Gase abziehen können.

Um die Heizzone auf etwa 40 cm zu verbreitern, wird oft ein Schlitzaufsatz auf Gasbrennern benutzt. Die maximal erreichbare Temperatur kann dadurch aber nicht erhöht werden. Immer dann, wenn mittlere Temperaturen in einer begrenzten Heizzone im Verbrennungsrohr erreicht werden sollen, empfiehlt sich die Beheizung mit Gasbrennern. Die Vorgänge im Verbrennungsrohr können dabei gut beobachtet werden, wenn das Verbrennungsrohr aus Supremaxglas besteht. Lediglich bei Temperaturen unter 300 °C lassen sich auch Rohre aus Geräteglas einsetzen. Sollen hohe Temperaturen erreicht werden, so ist die *elektrische Beheizung* notwendig. Im Laborgerätehandel gibt es dafür zwar besondere Röhrenöfen; ihre Anschaffung erscheint aber kaum erforderlich. Für die Arbeit im Chemieunterricht reichen *Heizrohre* aus, die nach Vorschlägen von H. Boeck hergestellt werden können [9]. Solche Heizrohre von 20 ... 24 mm Durchmesser bestehen für Temperaturen von 800 ... 900 °C aus Supremaxglas. Für darüber liegende Temperaturen müssen Pyrolan- oder Quarzrohre verwendet werden. Diese Rohre sind auf einer Länge von 120 ... 150 mm mit einer Heizspirale zu umwickeln. Der Abstand zwischen den Wicklungen beträgt 8 mm. Zur Abschirmung nach außen kann noch ein weiteres Rohr über die Wicklung geschoben werden. Die maximalen Temperaturen (Abb. 184) hängen ab

- von der Heizleistung der Heizspirale und
- von der Art der Abschirmung.

Zur Abschirmung sind Glasrohre, Pyrolanrohre oder außen verspiegelte Quarzrohre geeignet (Abb. 185). Für den Lehrer empfiehlt es sich, einige solcher Rohre

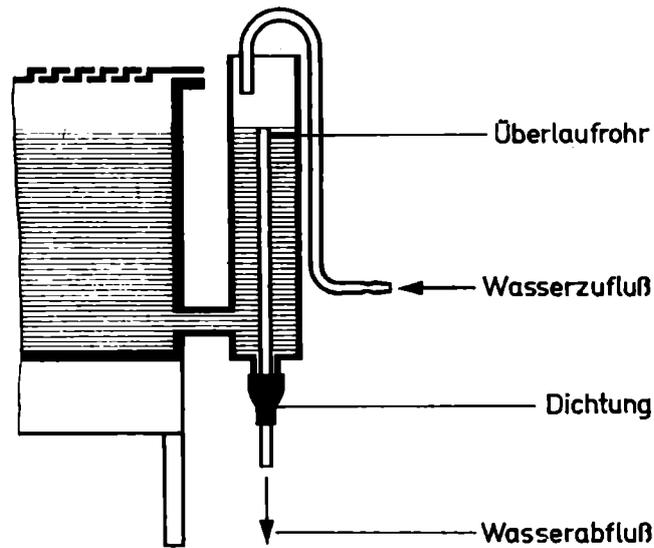


Abb. 182

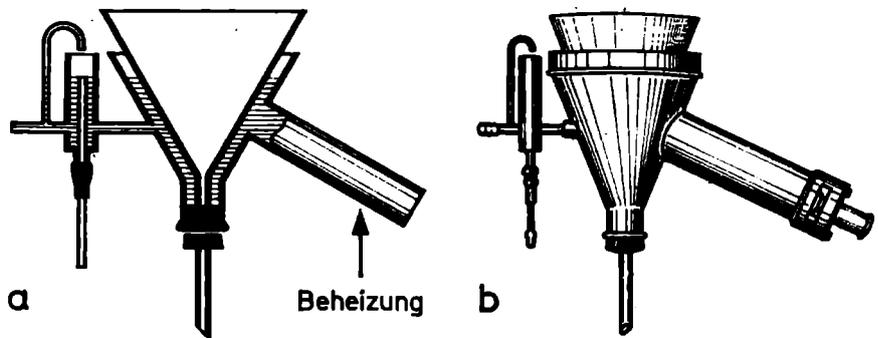


Abb. 183

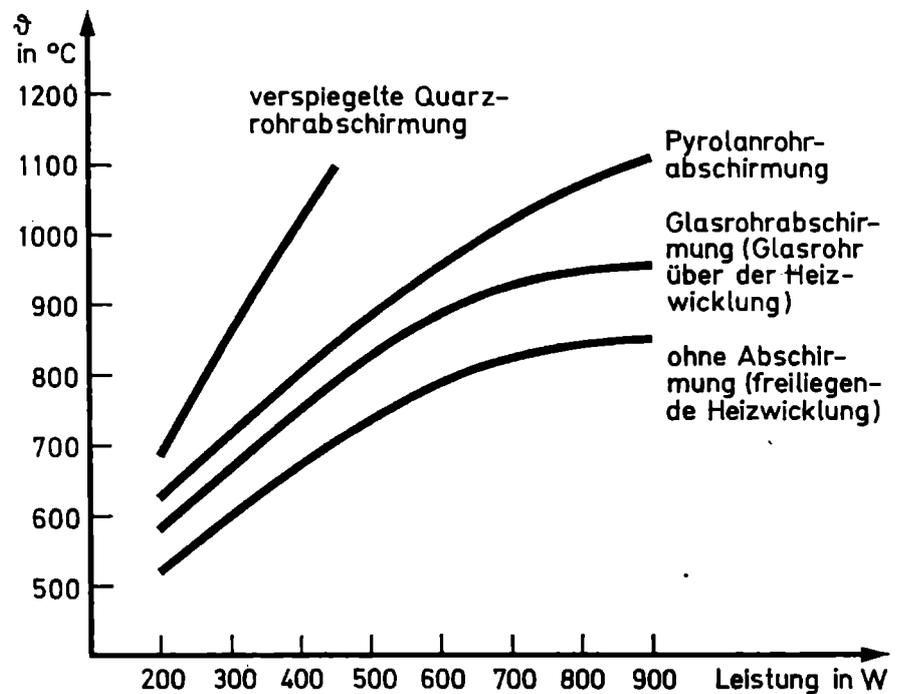


Abb. 184

Abb. 182 Reguliereinrichtung für den Wasserstand im Wasserbad

Abb. 183 Heißwassertrichter

a) Schnittdarstellung,

b) Zeichnung

Abb. 184 Maximal erreichbare Temperaturen mit elektrischen Heizrohren nach H. Boeck

herzustellen und in der Sammlung bereitzuhalten. Die *Herstellung der Rohre* erfolgt in folgender Weise:

- Die ausgewählte Heizspirale der gewünschten Leistung muß auf eine Länge von 90 ... 95 cm ausgezogen werden. Hierbei ist zu beachten, daß ein weiteres Dehnen, nicht aber ein nachträgliches Stauchen der Spirale möglich ist. Weiterhin ist eine Asbestschnur mit 5 ... 8 mm Durchmesser zuzuschneiden, die etwas länger als die Heizspirale ist.
- Jeweils ein Ende der Heizspirale und der Asbestschnur werden mit einem Haltdraht (Kupferdraht) auf dem Rohr befestigt (Abb. 185). Dann wird die Spirale mit der Asbestschnur um das Rohr gewickelt. Dabei muß ein fester Sitz der Wicklung und ein gleichmäßiger Abstand von 8 mm zwischen den Heizwicklungsdrähten gesichert sein. Das Ende der Spirale und der Asbestschnur ist wieder mit einem Haltdraht zu befestigen.
- Die Zuleitung zur Spirale kann mit einer Metallschelle am Rohr befestigt werden. Über eine isolierte Klemme ist der Anschluß zu ermöglichen.
- Die Abschirmung ist vorsichtig über die Wicklung zu schieben und zentrisch, beispielsweise durch Zwischenschieben von Asbestschnur, zu befestigen. Beim späteren Gebrauch soll dadurch die direkte Berührung mit dem Asbest verhindert werden.

Die Heizrohre sind zur Benutzung über isolierte Zuleitungen an Netzspannung (220 V) anzuschließen, wobei auf die Absicherung entsprechend der Leistungsaufnahme zu achten ist. Nach etwa 5 min Anheizzeit ist eine Temperatur erreicht, die auch bei längerer Dauer des Experiments annähernd konstant bleibt (↗ Abb. 184, S. 131).

### **Erhitzen mit der Lötrohrflamme**

Wird mit dem Lötrohr ein feiner Luftstrom seitlich in die Flamme des Gasbrenners geblasen, so kann eine spitze Stichflamme erzeugt werden (Abb. 186). Diese Stichflamme wirkt oxydierend, wenn die Spitze des Lötrohrs in die Mitte der leuchtenden Flamme des Brenners gehalten wird. Eine „Reduktionsflamme“ entsteht, wenn in den Rand der Flamme so schwach geblasen wird, daß auch die Stichflamme noch leuchtend ist.

Die Benutzung des Lötrohrs erfordert einige Übung. Um einen gleichbleibenden Luftstrom zu erzeugen, soll das Blasen aus dem Mund erfolgen, während gleichzeitig durch die Nase ruhig ein- und ausgeatmet wird. Von Zeit zu Zeit muß beim Ausatmen frische Luft in den Mund hineingelangen.

Das Lötrohr wird im Chemieunterricht und vor allem in Arbeitsgemeinschaften zu Vorproben bei qualitativen Analysen und zur Untersuchung von Erzen und Mineralien verwendet, besonders um Metallverbindungen zu Metallen zu reduzieren. Dazu muß in einem Stück Holzkohle (Lötrohrkohle, Lindenholzkohle) mit einem Messer, einer Münze oder einem Metallspatel eine Vertiefung angebracht werden, in welche die zu reduzierende Verbindung mit der 2- bis 3fachen Menge wasserfreiem Natriumcarbonat gegeben wird. Nach dem Anfeuchten mit einem Tropfen Wasser ist mit der reduzierenden Flamme des Lötrohrs zu arbeiten.

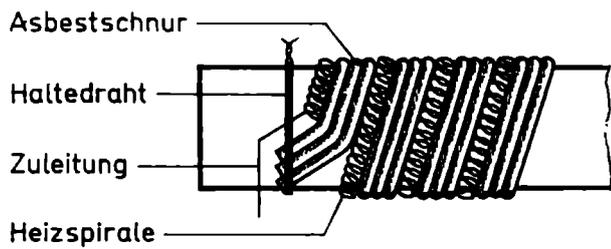


Abb. 185

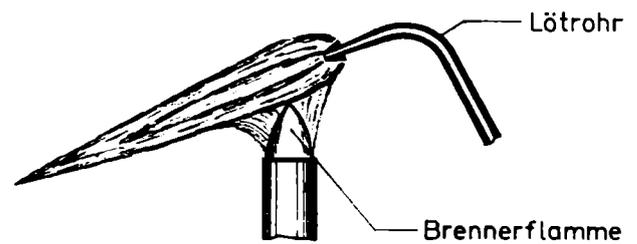


Abb. 186

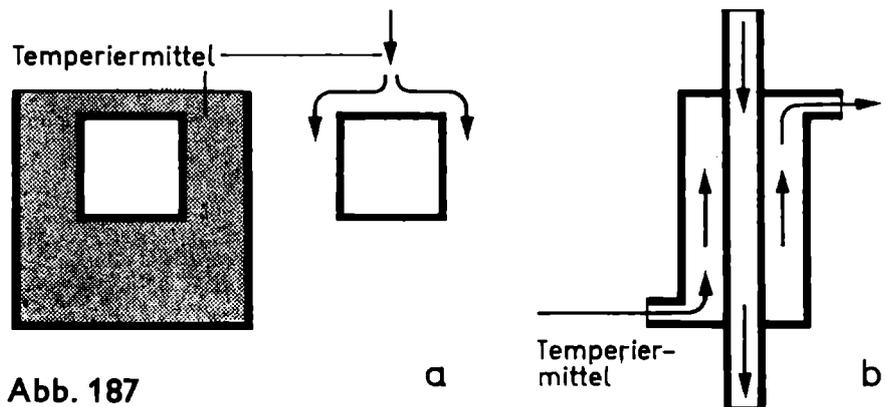


Abb. 187

Abb. 185 Prinzip der Heizrohrkonstruktion

Abb. 186 Erzeugen einer Lötrohrstichflamme

Abb. 187 Schematische Darstellung der Arbeitsweise beim Wärmeaustausch (auch Kühlen)

a) Eintauchen in das Temperiermittel,

b) Verwendung von Wärmeaustauschern (Kühlern)

### 2.1.1.2. Thermostatisierung und Kühlung

#### Allgemeine Grundsätze

Die Schaffung günstiger Reaktionsbedingungen erfordert nicht nur das Erhitzen von Geräten und Apparaten, sondern auch das Konstanthalten der Temperatur (Thermostatisierung) oder das Kühlen bei zu starker Wärmeentwicklung. In allen Fällen geht es um den Austausch von Wärme. Je nach den erforderlichen Bedingungen für den Ablauf der Reaktion kann es notwendig sein, die reagierenden Stoffe in eine Umgebung mit höherer oder niedrigerer Temperatur zu bringen. Erwärmen, Konstanthalten der Temperatur und Kühlen müssen also stets in Beziehung zum Reaktionsverlauf gesehen werden. Bei der Thermostatisierung sind Kühlen und Erwärmen miteinander verknüpft. Häufig ist eine Zufuhr von Wärme notwendig.

Beim Kühlen wird Wärme mit einem geeigneten *Kühlmittel* abgeführt. Kühlmittel sind häufig Luft sowie Wasser, in flüssiger Form oder als Eis. Sollen tiefere Temperaturen des Kühlmittels als  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  erreicht werden, so müssen Kältemischungen verwendet werden (Tab. 75).

Kühlen ist in zwei unterschiedlichen Arbeitsweisen möglich (Abb. 187), die sich durch den Einsatz spezieller Geräte variieren lassen. Die Geräte mit den reagierenden Stoffen können in das Kühlmittel eintauchen (Abb. 187 a). Die reagierenden

**Tabelle 75** Einige Kältemischungen

Stoffgemisch	Etwa erreichbarer Temperaturabfall in °C
100 g Wasser; 30 g Kaliumchlorid	12
100 g Wasser; 30 g Ammoniumchlorid	18
100 g Wasser; 250 g Calciumchlorid-6-Wasser	23
100 g Wasser; 31,2 g Ammoniumchlorid 31,2 g Kaliumnitrat	27
100 g Wasser; 100 g Ammoniumnitrat 100 g Natriumcarbonat	35
100 g Eis; 20 g Ammoniumchlorid 40 g Natriumchlorid	30
100 g Eis; 41,6 g Ammoniumnitrat 41,6 g Natriumchlorid	40
festes Kohlendioxid (Kohlendioxidschnee) und Ethanol	bis $-72\text{ °C}$ erreichbar

Stoffe und das Kühlmittel können auch durch Wärmeaustauscher (im allgemeinen Sprachgebrauch „Kühler“) strömen (Abb. 187 b). Ein Sonderfall der ersten Variante liegt vor, wenn über das Gerät mit den reagierenden Stoffen das Kühlmittel, meistens Wasser, läuft. Die genannten Arbeitsweisen können aber auch zum Erwärmen beziehungsweise zum *Thermostatisieren* benutzt werden, wenn die entsprechenden Flüssigkeiten im Bad (Heizbad) oder im Wärmeaustauscher eine geeignete Temperatur aufweisen.

### Einfaches Kühlen mit Luft und Wasser

Die Kühlung von Geräten erfolgt durch die *Wärmeübertragung an die Luft*. Die Wirkung wächst mit der Größe der Oberfläche des Geräts und ist besonders günstig, wenn eine relativ große Temperaturdifferenz zur Umgebung besteht. Hochsiedende Flüssigkeiten (Siedetemperatur  $\vartheta_v > 150\text{ °C}$ ) kondensieren deshalb oft an kälteren Teilen von Geräten, wie Kolben oder Reagenzgläsern. Sind solche Stoffe längere Zeit zu erhitzen, ohne daß Verluste eintreten dürfen, dann kann auf das Gerät ein längeres Kühlrohr oder eventuell auch ein Kugelrohr aufgesetzt werden (Abb. 188). Da die kondensierte Flüssigkeit in das Reaktionsgerät zurückgelangt, liegt hier die einfachste Form der Rückflußkühlung vor.

Mit Ausnahme des Quarzglas haben alle Glasarten, aus denen Geräte hergestellt werden, eine geringe Temperaturwechselbeständigkeit ( $\nearrow$  S. 312) und geringe Wärmeleitfähigkeit. Die Geräte springen deshalb leicht bei zu schneller Abkühlung. Deshalb muß bei der Kühlung an der Luft eine zu schnelle Abführung von Wärme verhindert werden, indem beispielsweise mit der leuchtenden Brenner-

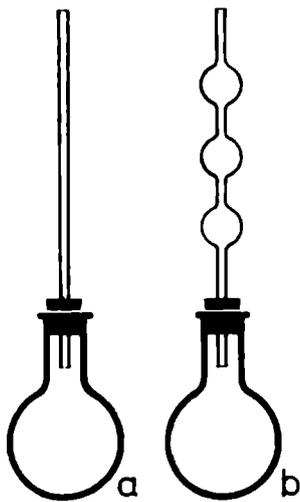


Abb. 188

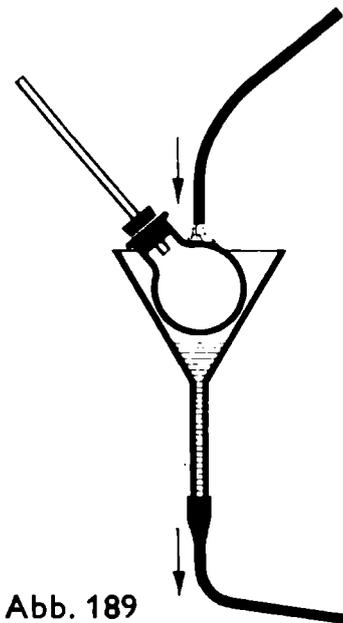


Abb. 189

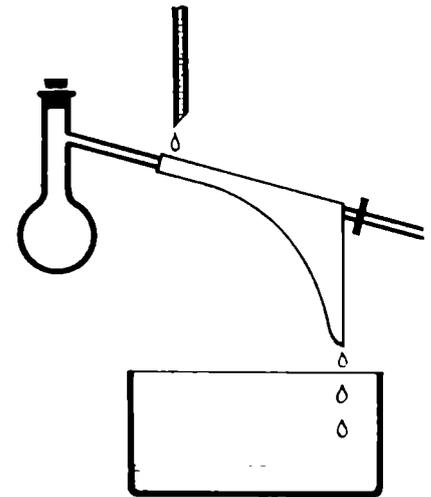


Abb. 190

Abb. 188 Rückflußkühlung mit Luft an geradem (a) oder Kugelkühlrohr (b)

Abb. 189 Kühlung von Kolben unter fließendem Wasser

Abb. 190 Kühlung mit feuchtem Filterpapier

flamme nachgeheizt wird. Plötzlich auftretende Zugluft kann zum Zerspringen von Glasgeräten führen. Sollen Geräte zum Abkühlen an der Luft abgestellt werden, so ist eine Holzunterlage, keinesfalls eine Metallunterlage zu verwenden. Oft wird die Kühlwirkung bei Geräten durch *direkte Berührung* mit Wasser erreicht, da hierbei eine günstige Wärmeabführung möglich ist. Die Gefahr des Zerspringens von Geräten bei plötzlicher Abkühlung mit Wasser ist aber noch größer als bei Luft. Heiße Glasgeräte (mit Ausnahme von Quarzgeräten) dürfen deshalb nicht in kaltes Wasser getaucht oder mit kaltem Wasser berieselt werden. Die Kühlung mit Wasser muß im allgemeinen bereits einsetzen, bevor es zu größerer Wärmeentwicklung bei der Reaktion in den Geräten kommt.

Zum direkten Kühlen mit Wasser sind im Chemieunterricht vornehmlich drei Arbeitsweisen geeignet:

- Das Gerät mit den reagierenden Stoffen wird vor Beginn oder bei zu heftigem Verlauf der Reaktion in ein Gefäß mit Wasser oder sogar mit Eiswasser (Wasser mit Eisstücken) eingetaucht. Bei Demonstrationsexperimenten ist eine Schale aus Glas vorteilhaft.
- Über das (nicht heiße) Gerät mit den reagierenden Stoffen strömt Wasser. Das ist allerdings nur mit enghalsigen oder weitgehend geschlossenen Geräten möglich, um ein Eindringen von Kühlwasser zu vermeiden. Reagenzgläser, die mit dem Reagenzglasshalter gehalten werden, lassen sich unter dem Wasserstrahl am Ausgußbecken kühlen. Analog kann mit kleinen Kolben und ähnlichen Geräten verfahren werden. Für größere Kolben empfiehlt sich eine Vorrichtung aus einem passenden Trichter (Abb. 189).
- Schrägliegende Kühlrohre können mit einer Filterpapierfahne umwickelt werden, auf die Wasser getropft wird (Abb. 190). Dadurch ist eine höhere Kühlwirkung als mit Luft erreichbar.

## Verwendung von Wärmeaustauschern

Wärmeaustauscher, die meistens als Kühler bezeichnet werden, sind Geräte aus Glas mit zwei ineinandergesetzten, voneinander unabhängigen Röhren, die von Gasen oder Flüssigkeiten durchströmt werden können (↗ Abb. 187, S. 133). Die klassische Form ist der *Liebigkühler* mit verschiebbarem Mantel (Abb. 191 a). Heute wird er meistens mit verschmolzenem Rohr und Mantel benutzt (Abb. 191 b). In den meisten Fällen strömt durch das äußere Rohr, den Mantel, kaltes Wasser und kühlt damit die Dämpfe im inneren Rohr. Durch den Mantel kann aber auch temperiertes Wasser strömen und damit eine Flüssigkeit oder ein Gas im inneren Rohr erwärmen. Das Gerät dient also nicht nur zum Kühlen, sondern allgemein dem *Wärmeaustausch*.

Die beiden Stoffe, zwischen denen Wärme ausgetauscht werden soll, strömen beim Gegenstromwärmeaustausch einander entgegen oder bewegen sich beim Gleichstromwärmeaustausch in gleicher Richtung (Abb. 191 c und d). Im ersten Falle ist die Wirksamkeit größer. Sie hängt aber vor allem von der Oberfläche ab, an welcher der Wärmeaustausch erfolgt, sowie von der Strömungsgeschwindigkeit der Stoffe. Vorteilhaft sind deshalb oft Formen, die eine größere wirksame Oberfläche für den Wärmeaustausch haben als sie bei einem Rohr vorliegt (↗ Schlangenkühler, Kugelkühler, S. 63). Besonders günstige Kühlwirkung läßt sich erreichen, wenn eine kühlmitteldurchflossene Spirale in die zu kühlenden Dämpfe eintaucht (↗ Dimrothkühler, S. 64). Die Strömungsgeschwindigkeit des *Kühlwassers* beziehungsweise des Temperiermittels muß entsprechend den Reaktionsbedingungen gewählt werden. Je stärker zum Beispiel die Kühlwirkung sein soll, desto größer muß die Kühlwassergeschwindigkeit eingestellt werden. Der Wasserzufluß soll stets an der tiefsten Stelle des Wärmeaustauschers (Kühlers) erfolgen. Auch beim Arbeiten mit Wärmeaustauschern ist auf gleichmäßige Erwärmung der Geräte zu achten. Deshalb muß beim Kühlen das Kühlmittel durch das Gerät fließen, bevor dieses durch heiße Dämpfe oder Flüssigkeiten stark aufgeheizt ist. Wenn mit Wasser gekühlt werden soll, ist in folgender Reihenfolge vorzugehen:

- Apparatur zusammenstellen, Wärmeaustauscher einbauen und einspannen
- Kühlwasseranschluß herstellen (Zufluß unten)
- Kühlwasserdurchfluß prüfen und Kühlwasserstrom einstellen
- Stoff einleiten, der gekühlt werden soll
- Kühlwasserstrom eventuell nachstellen.

## Verwendung von Thermostaten

Thermostaten sind abgeschlossene, wärmeisolierte, meistens mehrere Liter fassende Flüssigkeitsbäder, in denen eine eingestellte Temperatur über längere Zeit erhalten bleibt (Abb. 192). Die Geräte sind mit einer elektrischen Heizeinrichtung, einem Kontaktthermometer, einem Rührwerk und einer Kühlschlange aus Metall versehen. Am Kontaktthermometer (↗ S. 138) wird die gewünschte Temperatur eingestellt. Es ist zugleich Temperaturfühler und Steuerorgan und steuert über ein Relais die Heizung. Das Rührwerk sorgt für Temperierung des gesamten Bades. Durch die Kühlschlange kann Kühlsole gedrückt werden, wenn besonders

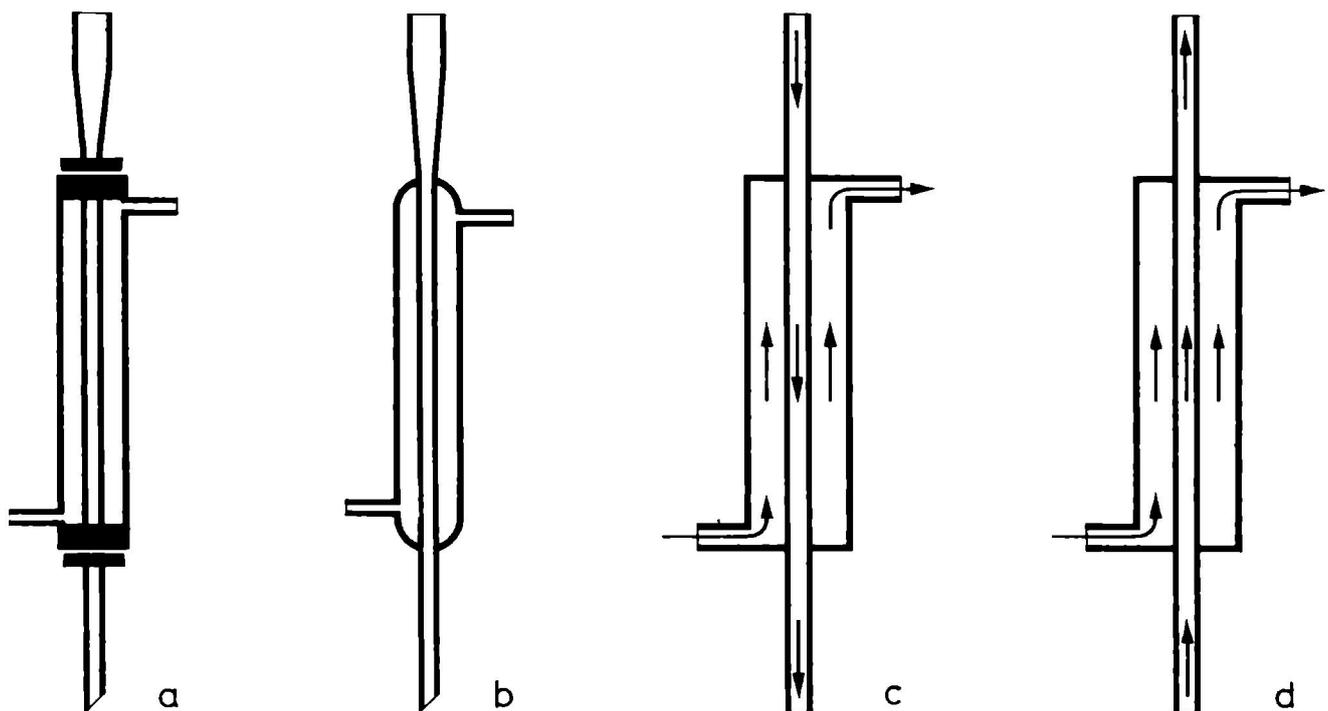


Abb. 191

Abb. 191 Wärmeaustauscher

a) und b) Liebigkühler, c) Gegenstromwärmeaustausch, d) Gleichstromwärmeaustausch

niedrige Temperaturen notwendig sind. Die häufig benutzten *Umwälzthermostaten* gestatten, über besondere zusätzliche Anschlüsse Verbindungen zu anderen Geräten, zum Beispiel Wärmeaustauschern, herzustellen. Mit einer Umwälzpumpe wird dann die temperierte Flüssigkeit aus dem Thermostaten durch das angeschlossene Gerät gedrückt. Das ermöglicht, in diesem Gerät genau festgelegte Temperaturverhältnisse zu erreichen. Die Badflüssigkeit ist entsprechend den benötigten Temperaturen zu wählen. In der Schule könnte ein solches Gerät nur in der außerunterrichtlichen Arbeit bedeutsam sein, und zwar nur mit Wasser oder Eiswasser als Badflüssigkeit.

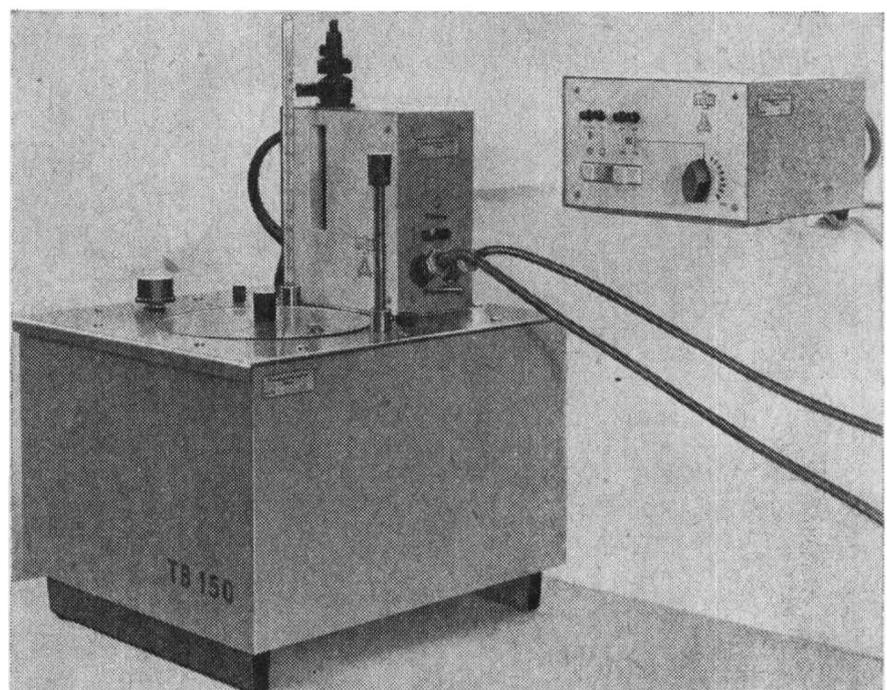


Abb. 192 Thermostat

## Arbeit mit Kontaktthermometern

Bei der Verwendung von Thermostaten, aber auch in einfachen Wasserbädern, Sandbädern, in Trockenschränken und anderen Geräten, ist es oft wünschenswert, eine bestimmte Temperatur einzuregulieren und über einen gewissen Zeitraum konstant zu halten. Bei elektrischer Beheizung bestehen verschiedene Möglichkeiten für eine automatische Temperaturregelung. Dafür kommen Kontaktthermometer, Stabausdehnungs- und Bimetalltemperaturregler in Betracht. Während die beiden letztgenannten Geräte meist in andere Geräte eingebaut sind, lassen sich Kontaktthermometer (↗ S. 90) variabel nutzen. Es handelt sich dabei um Thermometer, bei denen im unteren Teil, unterhalb der Skale, ein Anschlußkontakt in die Thermometerflüssigkeit (Quecksilber) hineinragt. Ein zweiter Kontakt befindet sich weiter oben in der Flüssigkeitskapillare. Er ist je nach Konstruktion des Gerätes fest angeordnet oder mit Hilfe einer geeigneten Vorrichtung (meist Spirale, die mit einem Magneten am Kopf drehbar ist) beweglich. Sobald der Meniskus der Quecksilbersäule diesen Kontakt berührt, wird ein Stromkreis geschlossen, beim Sinken der Quecksilbersäule wieder geöffnet. Durch Drehen des Einstellmagneten (Abb. 193) kann der obere Kontakt bewegt und auf die gewünschte Temperatur eingestellt werden.

Die feinen Kontakte und Leiter im Thermometer gestatten nur eine Belastung bis zu 30 mA. Deshalb läßt sich mit dem Thermometer ein Heizgerät nicht direkt steuern. Ein Schaltrelais – meist werden Quecksilberrelais verwendet – ist notwendig. Das Relais sollte auf eine geeignete Unterlage, zum Beispiel aus Hartpapier, montiert und bereits so weit geschaltet werden, daß über einfache Steckverbindungen die notwendigen Anschlüsse zur Spannungsquelle, zum Heizgerät und zum Kontaktthermometer möglich sind (Abb. 194). Bei der Benutzung eines einstellbaren Kontaktthermometers ist folgende Reihenfolge zu beachten:

- Temperatur auf dem Kontaktthermometer einstellen (Einstellmagnet drehen und mit Rändelschraube feststellen); Quecksilbersäule kontrollieren (sie darf nicht unterbrochen sein)
- Apparatur mit dem Thermometer aufbauen
- Schaltung für die Temperaturregelung herstellen (Abb. 194)
- Schließen des Stromkreises, Funktion überprüfen
- Temperatureinstellung mit einem Kontrollthermometer im Gerät kontrollieren, das thermostatisiert werden soll; nötigenfalls Einstellung am Kontaktthermometer etwas verändern.

## Arbeiten mit Thermosgefäßen

Thermosgefäße wie Speiseeis-Isoliergefäße, Thermosflaschen oder Dewargefäße (↗ S. 30) sind vor allem bei kalorimetrischen Messungen notwendig, bei denen der Wärmeaustausch mit der Umgebung weitgehend vermieden werden soll. Die doppelwandigen evakuierten Gefäße, die meistens in hölzernen, ausgepolsterten Füßen stehen, sind außerordentlich empfindlich gegen Stoß und können leicht implodieren. Deshalb ist mit ihnen sehr vorsichtig umzugehen. Die Anordnungen zum Arbeitsschutz sind zu beachten. Die Geräte dürfen niemals in Stative und

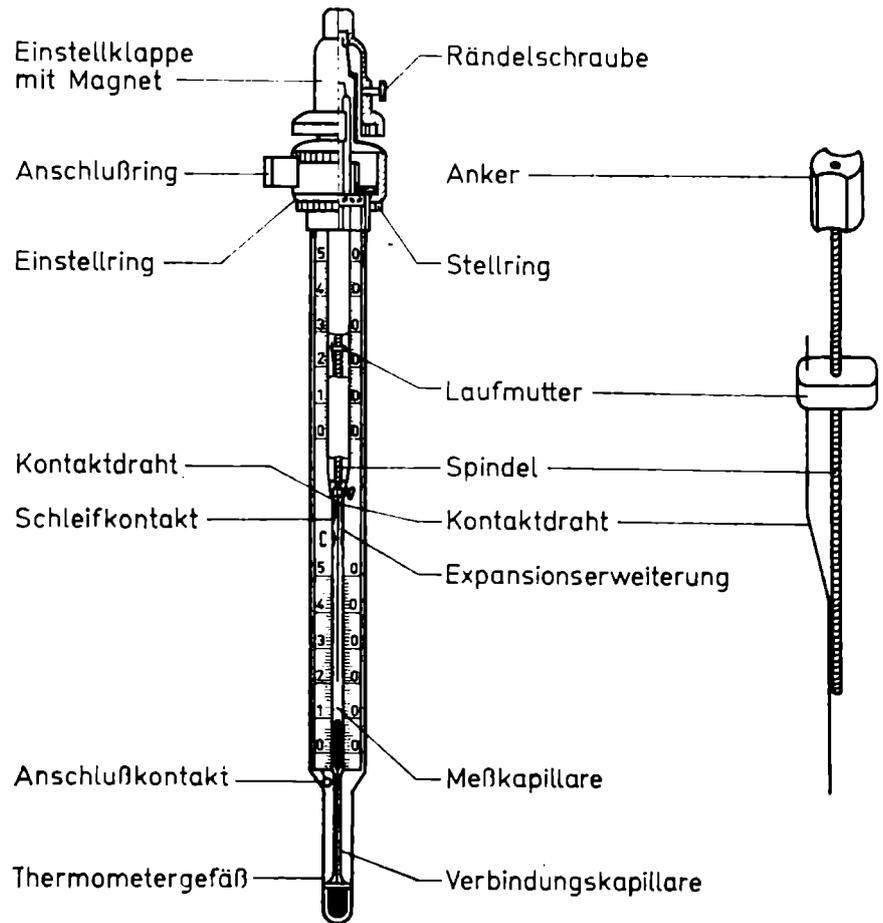


Abb. 193

Thermometergefäß

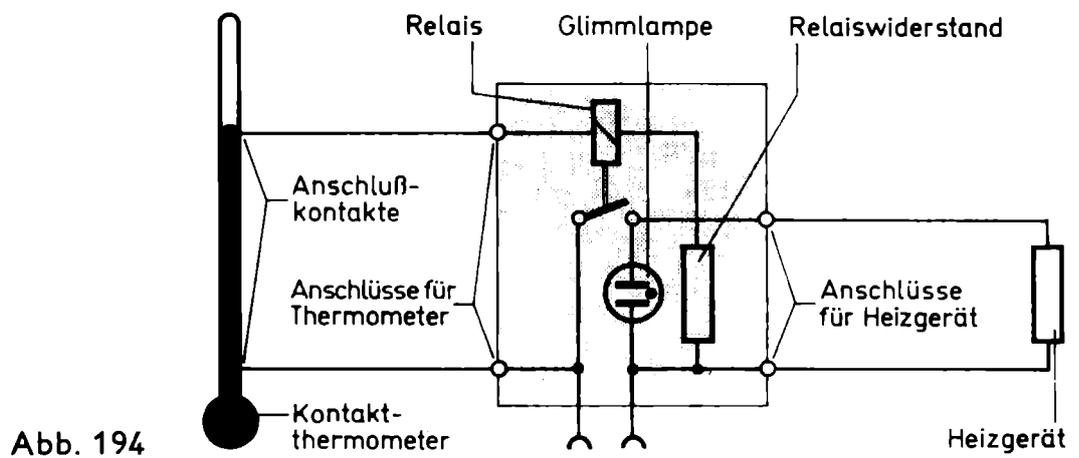


Abb. 194

Abb. 193 Kontaktthermometer

Abb. 194 Schaltung für eine Temperaturregelung mit Kontaktthermometer

ähnliche Vorrichtungen eingespannt werden. Heiße Flüssigkeiten sind in kleinen Anteilen unter Umschwenken einzufüllen. Beim Arbeiten müssen Schutzhandschuhe und Schutzbrille getragen werden. Zur Vorsicht sollte das Gefäß, besonders beim Füllen, mit einem Tuch umwickelt werden. Zur Verringerung der Implosionsgefahr hat es sich bewährt, Thermosgefäße innen und außen mit PVC-Kleber zu bestreichen und an der Luft zu trocknen. Gute Isolierwirkung bei Schülerexperimenten kann auch mit einem in Schaumpolystyren eingebetteten Becher erreicht werden. Bei weniger hohen Ansprüchen an die Genauigkeit der Ergebnisse des Experiments läßt sich der Wärmeaustausch mit der Umgebung schon dadurch

wesentlich verringern, daß zwei Becher ineinandergesetzt und durch dazwischengelegte Korkstücke in gleichem Abstand gehalten werden. Ferner kann auf den Boden des äußeren Bechers eine 1 cm hohe Schicht Glaswatte gebracht werden.

### **Herstellen von Kohlendioxidschnee**

Kohlendioxidschnee ist bei einigen Experimenten zur Herstellung stark wirkender Kältemischungen unentbehrlich. Beim Umgang mit Druckgasflaschen für Kohlendioxid ist folgendes zu beachten:

- Die Druckgasflasche mit Kohlendioxid wird so auf eine feste Unterlage gelegt, daß der Fuß höher als das Flaschenventil liegt (z. B. Ziegelstein unterlegen). Das Ventil darf aber dabei nicht aufliegen.
- Zweckmäßig ist es, daß der Boden der Druckgasflasche an einer festen Wand anliegt und mit Keilen gegen seitliches Abrollen gesichert ist. Die Flasche kann auch in einen flachen Holzblock mit keilförmigen Einschnitten gelegt werden.
- Ein Beutel von etwa 20 cm × 20 cm Größe aus sehr festem Leinen wird mit einer Schnur fest auf den Gewindestutzen des Flaschenventils gebunden.
- Das Flaschenventil ist durch einige Umdrehungen nach links zu öffnen. Während das Kohlendioxid ausströmt, ist mehrfach von allen Seiten auf den Beutel zu klopfen, damit die sich bildende Eisschicht abfällt.
- Das Ausströmen darf nicht zu lange dauern, da sonst das Ventil einfrieren und dann nicht wieder verschlossen werden kann.
- Ist genügend Kohlendioxidschnee hergestellt, so wird das Flaschenventil geschlossen, der Beutel abgebunden und das feste Kohlendioxid in ein Thermosgefäß, einen Becher oder ein anderes Gerät übergeführt.
- Der Kohlendioxidschnee soll nur mit Gummihandschuhen, Spateln oder Löffeln berührt werden.

## **2.1.2. Messen von Flüssigkeiten und Feststoffen**

Zur Ausführung von Experimenten ist es oft notwendig, Volumen von Flüssigkeiten abzumessen, Massen von Stoffen durch Wägung festzustellen und die Dichte von Stoffen zu ermitteln.

### **2.1.2.1. Volumenmessung von Flüssigkeiten**

#### **Allgemeine Grundlagen**

Das Volumen von Flüssigkeiten wird im Chemieunterricht in Litern und Millilitern angegeben, wenn auch in jüngerer Zeit die Angabe in Kubikzentimetern wieder an Bedeutung gewinnt. Je nach dem Zweck der Volumenmessung werden unterschiedliche Meßgeräte benutzt (Tab. 76).

**Tabelle 76** Meßgeräte zur Volumenmessung von Flüssigkeiten

Beabsichtigte Operation	Geeignete Geräte
Abmessen von Flüssigkeitsvolumen ohne sehr hohe Genauigkeitsforderungen	Meßzylinder, graduierte Reagenzgläser (↗ S. 66)
Zugabe genau gemessener Flüssigkeitsvolumen	Büretten, Pipetten (↗ S. 26, 70)
Entnahme bestimmter Flüssigkeitsvolumen aus einem größeren Volumen	Pipetten (↗ S. 70)
Herstellung genau bestimmter Flüssigkeitsvolumen (Lösungen)	Meßkolben, Meßflasche (↗ S. 64ff.)

Sollen genaue *Volumenmessungen* vorgenommen werden, so ist folgendes zu beachten:

- Volumenmessungen müssen bei einer bestimmten *Temperatur* vorgenommen werden, da sich alle Körper beim Erwärmen ausdehnen. Im allgemeinen sind die Volumenmeßgeräte bei 20 °C geeicht. Diese Eichtemperatur ist auf dem Gerät angegeben. Um zu sehr genauen Werten zu gelangen, müßte vor jeder Messung der Temperatursgleich auf die angegebene Temperatur abgewartet werden. Die Abweichungen sind allerdings nicht sehr groß, wenn sich die Temperaturen nicht zu stark voneinander unterscheiden (0,01% bei etwa 5 K). Da die meisten Messungen im Chemieunterricht bei Zimmertemperatur vorgenommen werden, ergeben sich kaum Schwierigkeiten.
- Beim Ausgießen einer Flüssigkeit aus einem Glasgefäß bleibt stets ein kleiner Flüssigkeitsfilm an der Wand haften. Es gibt unterschiedliche Eichungen von Geräten (↗ S. 70), je nachdem, ob ein bestimmtes Flüssigkeitsvolumen eingefüllt wird (z. B. Meßkolben) oder das genau bemessene Volumen auslaufen soll (z. B. Büretten). Bei der Geräteauswahl ist die Art der *Eichung* zu beachten. Bei der Eichung auf Ausguß muß mit dem Ablesen nach der Flüssigkeitsentnahme 20 ... 30 s gewartet werden, damit Flüssigkeit von den Wänden bis auf den Restfilm ablaufen kann.
- Für genaue Meßergebnisse müssen die Wände der Meßgeräte vollständig benetzt werden können. Deshalb sind alle Geräte vor der Verwendung mit geeigneten Mitteln, wie Dichromatschwefelsäure (↗ S. 114), gründlich zu entfetten sowie anschließend auszuspülen und zu trocknen.
- Je enger der Querschnitt des Geräteteils ist, an dem die Skale angebracht ist, desto feiner kann die Teilung und desto genauer die Volumenangabe sein. Dieser Zusammenhang ist bei der Auswahl der Geräte zu beachten.

Die Genauigkeit der Messung hängt weiterhin vom richtigen *Ablesen des Flüssigkeitsstandes* an der Skale ab. Ungenauigkeiten können dadurch auftreten, daß nicht senkrecht auf die Skale geblickt (Abb. 195) oder die Ablesung durch Lichtreflexe erschwert wird. Fehler lassen sich weitgehend vermeiden, wenn folgende Gesichtspunkte beachtet werden:

- Das Ablesen erfolgt grundsätzlich an der untersten Stelle des Flüssigkeitsmeniskus. Nur bei dunkel gefärbten Flüssigkeiten (z. B. Kaliumpermanganatlösung) ist an der oberen Flüssigkeitsgrenze abzulesen.
- Beim Ablesen sollen sich die Augen stets in Höhe des Flüssigkeitsspiegels befinden, so daß senkrecht auf die Skale geblickt wird (Abb. 195). Einige enghalsige Geräte sind mit einer um den gesamten Hals gehenden Rundteilung versehen. Die eingezätzte Linie an der Vorder- und Rückseite muß sich dann bei der Ablesung decken.
- Soweit das möglich ist, sollten Hilfsmittel zur Verbesserung der Ablesegenauigkeit genutzt werden. Einige Meßgeräte besitzen einen senkrechten, kräftigen, meist blauen Streifen auf weißem Grund an der Rückseite, einen sogenannten Schellbachstreifen. Am Flüssigkeitsmeniskus ist beim richtigen Ablesen eine Einschnürung des Streifens zu sehen (Abb. 196 a). Ferner kann ein kantiger Reagenzglashalter geschwärzt und an der Rückseite mit einem Stück dunklem Karton versehen werden. Der Halter wird um das Rohr geklemmt, an dem sich die Skale befindet. Durch Visieren über die obere Kante erfolgt das Ablesen (Abb. 196 b). Schließlich lassen sich Ablesefehler auf Grund von Lichtreflexen vermeiden, wenn ein zur Hälfte schwarz gefärbtes Kartonblatt so hinter die Bürette gehalten wird, daß die Grenzlinie zwischen schwarz und weiß knapp unterhalb des Meniskus liegt (Abb. 196 c).

Handelsübliche *Volumenmeßgeräte* sind für die Benutzung durch einen Experimentator im Labor hergestellt. Finden sie bei Demonstrationsexperimenten Verwendung, so können die Schüler von ihren Plätzen die Skaleneinteilung kaum beobachten. Zur Behebung dieses Mangels können Kartonstreifen mit einer groben Skalenteilung am Gerät befestigt werden (Abb. 197). Geht es nur um die Demonstration der Veränderung des Flüssigkeitsvolumens, so reicht die Markierung mit Fettstift, Heftpflaster oder Kartonstreifen aus (Abb. 198). In vielen Fällen können auch spezielle Meßgeräte für Demonstrationsexperimente nach A. Klein benutzt werden (↗ S. 28ff.).

### **Arbeiten mit Meßzylindern**

Mit Meßzylindern (↗ S. 66) werden Flüssigkeitsvolumen gemessen, die in andere Gefäße zu überführen sind. Da diese Meßgeräte einen recht großen Durchmesser haben, ist die Meßgenauigkeit nicht groß. Zum Abmessen von Flüssigkeitsvolumen im Chemieunterricht reicht sie jedoch fast immer aus. Der Meßbereich des Meßzylinders muß dem abzumessenden Flüssigkeitsvolumen angepaßt sein. Es ist weder günstig, ein größeres Flüssigkeitsvolumen in mehreren Teilen mit einem kleinen Meßzylinder abzumessen, noch sollte für ein kleines Volumen ein zu großes Meßgerät benutzt werden. Die Flüssigkeit wird bis dicht unter die gewünschte Volumenmarke in den Meßzylinder gefüllt. Der Rest ist bei Wasser tropfenweise aus einer Spritzflasche oder mit einem Tropfer zuzugeben.

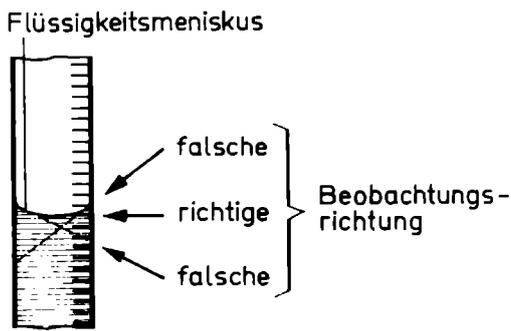


Abb. 195

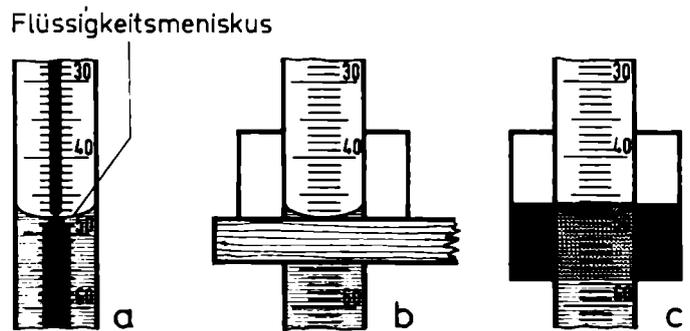


Abb. 196

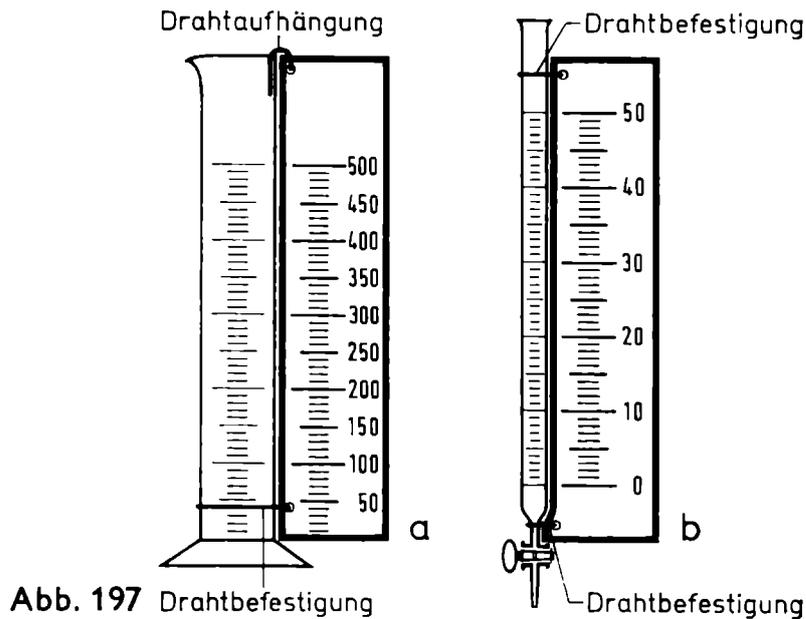


Abb. 197 Drahtbefestigung

Abb. 198

Abb. 195 Richtiges und fehlerhaftes Ablesen an einer Skale

Abb. 196 Hilfseinrichtung beim Ablesen an der Bürette

a) Schellbachstreifen, b) Visierblende, c) Ableseblatt

Abb. 197 Kartonstreifen mit Skalen am Maßzylinder (a) und an der Bürette (b)

Abb. 198 Markierung des Flüssigkeitsstandes an einem dünnen Rohr

### Arbeiten mit Pipetten

Pipetten werden ebenfalls verwendet, wenn bestimmte Flüssigkeitsvolumen abzumessen und in andere Geräte zu überführen sind. Pipetten müssen dann gewählt werden, wenn auf Grund der Eigenart des Experiments höhere Meßgenauigkeit notwendig ist als mit Maßzylindern erreicht werden kann.

*Vollpipetten* (↗ S. 70) eignen sich zum Messen häufig benutzter Flüssigkeitsvolumen bis maximal 200 ml. Für bestimmte Volumen lassen sich mehrere solcher Geräte verwenden, beispielsweise für 12 ml eine 10- und eine 2-cm<sup>3</sup>-Vollpipette. Dabei verringert sich jedoch die Genauigkeit der Messung. Deshalb ist es in solchen Fällen günstig, Meßpipetten mit Graduierung zu benutzen, bei denen nur eine Bestimmung notwendig ist.

Beim Einsatz von *Meßpipetten* muß beachtet werden, daß es zwei unterschiedlich gestaltete Arten dieser Geräte gibt. Meßpipetten für völligem Auslauf (↗ S. 70) werden genutzt, um ein gegebenes Volumen, zum Beispiel 18 ml einer Flüssigkeit, mit einem Mal abzumessen und in ein anderes Gefäß zu überführen. Diese Geräte

dürfen nicht mit den Meßpipetten für teilweisen Auslauf verwechselt werden, bei denen die Skalenteilung oben beginnt und ein Stück über der Auslaufspitze endet. Die Meßpipetten werden dann angewendet, wenn nur ein Teil der angesaugten Flüssigkeit oder mehrmals Teilvolumen, zum Beispiel dreimal 6 ml, auslaufen sollen.

Das *Arbeiten mit Pipetten* erfordert einige Übung. Die Flüssigkeit wird, sofern sie ungefährlich ist, mit dem Mund so lange vorsichtig angesaugt, bis der Meniskus etwas über der Ringmarke steht. Die Auslaufspitze der Pipette muß dabei stets in der Flüssigkeit bleiben. Nach dem Ansaugen wird die Öffnung des Saugrohrs zunächst mit dem angefeuchteten Zeigefinger verschlossen. Durch leichtes Anheben des Fingers ist der Meniskus dann auf die gewünschte Höhe einzustellen. Für das Ablesen sind die oben genannten Hinweise zu beachten (↗ S. 141). Dann ist mit der Auslaufspitze die Innenwand des Gerätes zu berühren, in das die Flüssigkeit übergeführt werden soll. Beim Anheben des Fingers läuft die Flüssigkeit aus der Pipette. Nach etwa 20 ... 30 s sind die Flüssigkeitsreste aus der Pipette abgelaufen, die Pipette kann dann nach oben hin von der Gefäßwand abgezogen werden. Der letzte Tropfen in der Auslaufspitze ist bei der Eichung berücksichtigt. Er soll nicht ausgeblasen werden. Ätzende, giftige oder gesundheitsschädigende Flüssigkeiten dürfen nicht mit dem Mund angesaugt werden. Dazu ist ein Kolbenprober geeignet, der über einen Schlauch mit dem Mundstück der Pipette verbunden ist. Oft wird auch eine Wasserstrahlpumpe benutzt, die über einen Gummischlauch und eine zwischengeschaltete Woulffsche Flasche mit der Pipette verbunden ist. Es gibt auch sogenannte *Sicherheitspipetten* (Fortuna-Pipetten), bei denen das Saugrohr mit einer zylindrisch geschliffenen Hülse verbunden ist, in der sich ein Schliffkolben ähnlich wie beim Kolbenprober bewegen läßt. Diese Pipetten sind sehr teuer und werden im Chemieunterricht kaum benötigt.

## Verwendung von Büretten

Büretten (↗ S. 26) werden benutzt, um ein ablesbares Volumen einer Flüssigkeit zu einem anderen Stoff oder in ein anderes Gefäß zu geben. Das wichtigste Anwendungsgebiet ist die Maßanalyse.

Bei der *Arbeit mit der Bürette* ist in folgender Weise zu verfahren:

- Vor jeder Verwendung ist die Bürette gründlich, auch durch Ausspülen mit Dichromatschwefelsäure, zu reinigen.
- Die Bürette ist mit einer Bürettenklemme so am Stativ zu befestigen, daß sie lotrecht hängt.
- In die trockene Bürette wird mit einem Trichter so viel Flüssigkeit eingefüllt, daß sie 2 ... 3 cm über dem obersten Eichstrich steht. Durch vorsichtiges Öffnen des Hahns wird die Luft aus dem engen Hahnrohr entfernt und der Flüssigkeitsmeniskus genau bis zur Nullmarke gesenkt. Soll die Flüssigkeit einige Zeit in der Bürette stehen (Vorsicht bei Lösungen mit basischer Reaktion wegen Festfressens des Hahnkükens in der Hülse!), so ist zum Schutz gegen Verunreinigungen ein entsprechend weites Reagenzglas oder ein kleiner Becher über den oberen Teil des Bürettenrohrs zu stülpen.

- Vor der Entnahme wird zunächst der Flüssigkeitsstand notiert. Dann muß durch vorsichtiges Öffnen des Hahns das erforderliche Flüssigkeitsvolumen ablaufen. Dabei sollte bei Annäherung an den Endpunkt nur ein tropfenweiser Ablauf erfolgen. Damit Flüssigkeitsreste von den Bürettenwänden nachlaufen können, muß etwa 20 ... 30 s mit dem Ablesen gewartet werden.
- Nach der Verwendung wird die Bürette entleert, sorgfältig gereinigt und getrocknet. Hahnküken und -hülse sind leicht mit Hahnfett einzureiben, ohne daß dabei Fett in die Bohrungen des Kükens gelangen darf.

Sollen Titrationsen während des Chemieunterrichts demonstriert werden, so besteht die Schwierigkeit, daß die Schüler von ihren Plätzen die Skale der Bürette nicht ablesen können. Eine Papierskale kann Abhilfe schaffen (↗ S. 142). Günstiger ist die Verwendung einer speziellen Demonstrations-Titrationsbürette nach A. Klein (↗ S. 30) [53; S. 15ff.]. Wenn aus der normalen Bürette bei diesem Apparat Flüssigkeit entnommen wird, strömt ein etwa gleichgroßes Volumen gefärbten Wassers aus dem Maßstabtransformator in das Vorratsgefäß. Da das Rohr des Transformators sehr geringen Querschnitt hat, läßt sich die Volumenänderung aus größerer Entfernung gut beobachten.

Die genaue Bestimmung des Endpunktes bei der Titration, also die vollständige Umsetzung der reagierenden Stoffe, erfolgt entweder direkt durch Veränderungen der einzelnen Stoffe, wie beim Entfärben von Kaliumpermanganatlösung, oder mit Hilfe geeigneter Indikatoren. Von den Indikatorlösungen dürfen nur einige Tropfen entsprechend der jeweiligen Vorschrift zugesetzt werden. Aus dem verbrauchten Volumen der Maßlösung kann mit Hilfe stöchiometrischer Beziehungen die Konzentration der vorgelegten Lösung errechnet werden (↗ S. 226). Als Vorlage für die zu untersuchende Flüssigkeit bei der Titration eignen sich hohe Becher oder weithalsige Erlenmeyerkolben.

### Arbeit mit Meßkolben

Meßkolben (↗ S. 66) werden fast ausschließlich zur *Herstellung von Maßlösungen* verwendet.

Der entfettete und sorgfältig gereinigte Meßkolben wird etwa zur Hälfte mit Lösungsmittel gefüllt. Darin ist dann der abgewogene Stoff zu lösen und unter Einhaltung der angegebenen Temperatur auf dem Meßkolben bis etwa 2 cm unter die Eichmarke mit Lösungsmittel aufzufüllen. Danach muß, wie schon während des Auffüllens, gut durchgemischt werden. Unterbleibt das, so könnte sich eine Volumenzu- oder Volumenabnahme, die mit vielen Lösungsvorgängen verbunden ist, nachteilig auswirken. Teilweise tritt beim Lösen von Stoffen auch Erwärmung oder Abkühlung ein. Die Lösung muß dann temperiert werden. Erst danach kann endgültig soweit aufgefüllt werden, daß die Linie, die sich durch Deckung des vorderen und hinteren Teiles der Ringmarke bildet, den Flüssigkeitsmeniskus von unten tangiert. Die hergestellte Lösung muß anschließend noch auf ihre genaue Konzentration untersucht werden (↗ S. 226). Maßlösungen mit genauer Konzentration lassen sich mit Hilfe der *Testal-Substanzen* herstellen. Es handelt sich dabei um Ampullen (Abb. 199), die eingewogene Feststoffe oder Lösungen enthalten.

Um die Ampullen zu öffnen, ist ein Zertrümmerungsgerät notwendig (Abb. 200). Es wird auf einen 1-l-Meßkolben gesetzt. Dann wird die Ampulle an der seitlichen Vertiefung im oberen Teil und am Ampullenboden durchstoßen. Mit destilliertem Wasser aus einer Spritzflasche sind die Stoffe nun in den Meßkolben zu spülen. Dabei muß mit der Spritzflasche auch reichlich Wasser durch die obere Öffnung in das Innere der Ampulle gegeben werden. Der Meßkolben ist dann genau auf einen Liter aufzufüllen. Bei hohen Anforderungen sollte die Konzentration dieser Lösungen überprüft werden (↗ S. 226).

Auf Grund seiner Anwendungsweise ist der Meßkolben auf Einguß geeicht. Wird das Flüssigkeitsvolumen in ein anderes Gefäß übergeführt, so liegt das Volumen dann etwas unter der Nenngröße des Meßkolbens. Geräte, wie Chemikalienflaschen, in die Maßlösungen abgefüllt werden, müssen völlig trocken sein.

### 2.1.2.2. Massenbestimmungen, Wägungen

#### Allgemeine Grundlagen

Zur Vorbereitung und Durchführung von Experimenten ist oft die Bestimmung der Masse von Stoffen in Kilogramm beziehungsweise Gramm notwendig. Dazu werden Waagen benötigt. Bei ihrer Anschaffung müssen Empfindlichkeit und Belastbarkeit gleichzeitig beachtet werden. Mit steigender Belastbarkeit einer Waage verringert sich deren Empfindlichkeit beträchtlich. Für den Chemieunterricht sollten möglichst vielseitig einsetzbare Waagen beschafft werden (↗ S. 100ff.).

Im wesentlichen kommen in Betracht:

Handwaagen (Hornschaalenwaagen)

Präzisionswaagen (technische Waagen)

Analysenwaagen

Briefwaagen sowie Handwaagen für Schülerexperimente

Waagen sind gegenüber äußeren Einflüssen sehr empfindlich und müssen deshalb sorgfältig *bedient* und *gepflegt* werden.

Dabei sind folgende Regeln zu beachten:

- Je größer die Empfindlichkeit einer Waage ist, desto vorsichtiger und sorgfältiger ist sie zu benutzen.
- Waagen müssen vor mechanischer Beanspruchung, wie Erschütterung und Stoß, geschützt werden.
- Die Einwirkung von Staub, Feuchtigkeit, aggressiven Gasen und Dämpfen muß verhindert werden.
- Die meist am Waagebalken angegebene Belastbarkeit ist nicht zu überschreiten.
- Chemikalien dürfen niemals direkt auf die Waagschale gelegt werden. Geeignete Unterlagen sind Filterpapier für trockene Stoffe sowie Uhrglasschalen, Wägegläschen, Becher, kleine Steh- oder Erlenmeyerkolben, Wägeschiffchen oder für sehr kleine Massen Wägetulpen (↗ S. 103).
- Die zu wägenden Gegenstände oder Stoffe sollten vom Benutzer aus gesehen links, die Wägestücke rechts aufgelegt werden, es ist also stets die gleiche Seite für Wägegut und Wägestücke zu benutzen.

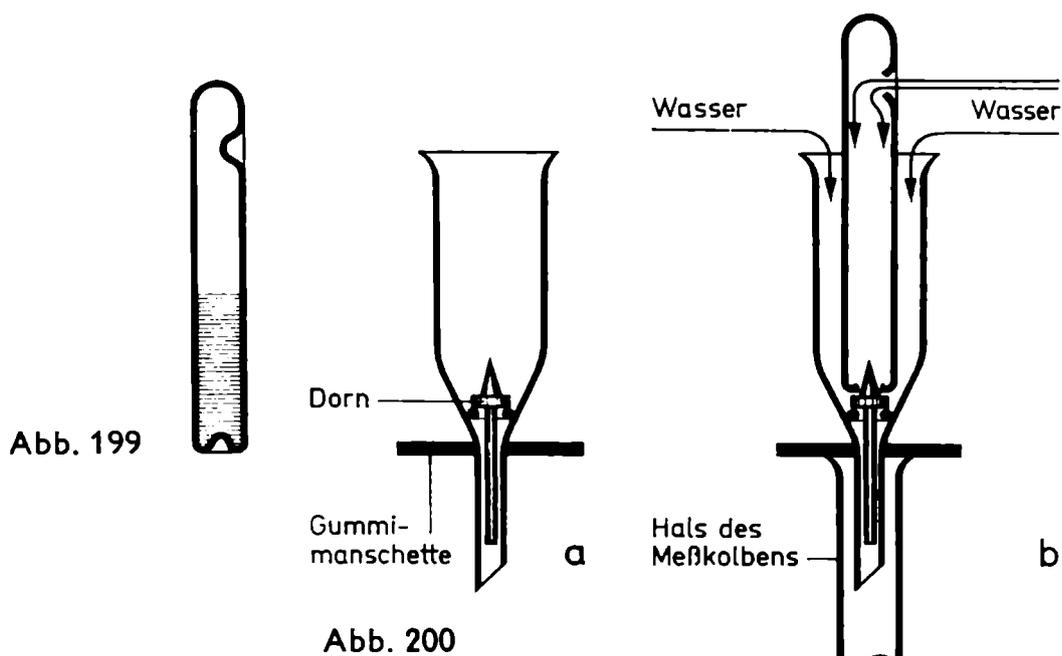


Abb. 199 Testlampulle

Abb. 200 Zertrümmerungsgerät für Testlampullen

a) Gerät, b) Funktion des Gerätes

- Bei Waagen mit Arretiereinrichtung dürfen die zu wägenden Gegenstände, Stoffe und Wägestücke nur aufgelegt werden, wenn die Waagschalen festgestellt sind. Nach jeder Wägung ist die Waage zu arretieren. Die Arretierung ist langsam und vorsichtig zu lösen.

Bei der Benutzung der verschiedenen Arten von Waagen sind einige Besonderheiten zu beachten.

### Handhabung einzelner Waagetypen

*Handwaagen* (Hornschaalenwaagen) eignen sich für schnelles Abwägen kleiner Massen von Stoffen, ohne daß besonders hohe Anforderungen an die Genauigkeit gestellt werden. Für den Chemieunterricht reicht diese Meßgenauigkeit in vielen Fällen aus. Diese Waagen besitzen eine gabelartige Aufhängevorrichtung, mit der sie an einem speziellen Stativ, am Querstab eines normalen Stativs oder auf einem selbstgebauten Gerät aus Holz (Abb. 201) befestigt werden können. In den Stab eines solchen Holzstativs wird in geeigneter Höhe ein Rundhaken geschraubt, an dem die Waage bei den Wägungen aufzuhängen ist. Zweckmäßig ist ein zweiter Haken an der entgegengesetzten Seite, dessen Höhe so bemessen wird, daß die Waagschalen in Ruhelage auf der Grundplatte aufliegen.

Höheren Anforderungen an die Genauigkeit genügen *Präzisionswaagen*. Sie sollten an einem bestimmten Platz auf einer festen Unterlage aufgestellt werden. Zur Ausführung von Demonstrationsexperimenten müssen diese Waagen aber zuweilen auch transportiert werden. Dabei ist darauf zu achten, daß Waagebalken und Waagschalen nicht aus ihrer Aufhängung herauspringen. Das Grundbrett ist vor jeder Wägung mit Hilfe des angebrachten Lotes oder der Libelle unter Betätigung der Stellschrauben an den Füßen in waagerechte Lage zu bringen. Vor der erstmaligen Benutzung ist die Waage einzurichten. Dazu ist die Waage in der ange-

gebenen Weise aufzustellen, dann ist vorsichtig die Arretierung zu lösen und die Ruhelage zu überprüfen. Gegebenenfalls muß die Justierschraube an der entsprechenden Seite des Waagebalkens etwas verstellt werden. Die Ruhelage der Waage soll in der Nähe des Nullpunkts der Skale liegen und nach mehrmaliger Arretierung unverändert bleiben. Vor jeder Wägung ist die Nullstellung zu überprüfen. Die Wägung erfolgt, indem die Masse des betreffenden Stoffes durch Auflegen entsprechender Wägestücke immer stärker eingegrenzt wird, bis sie ermittelt ist (↗ S. 150).

Zur Präzisionswaage für Demonstrationsexperimente sollten einige häufig benutzte Zusatzgeräte angefertigt werden. Das sind zum Beispiel ein Drahtnetz, das sich auf einer Seite der Waage über der Waagschale aufhängen läßt und zum Glühen von Stahlwolle benutzt wird (Massenzunahme bei der Verbrennung), oder ein Zylinder mit Drahteinsatz für das Absorptionsmittel sowie mit einer Aufhängevorrichtung (Massenzunahme bei der Verbrennung einer Kerze).

*Analysenwaagen* sind hochempfindliche Balkenwaagen mit Luft- oder magnetischer Dämpfung (teilweise auch ohne Dämpfung), die in einem Glaskasten untergebracht sind und hohen Ansprüchen an die Meßgenauigkeit, wie sie bei quantitativen Analysen auftreten, gerecht werden. Die Vorderwand des Glaskastens der Waage kann nach oben herausgeschoben werden; an den Seiten befinden sich Türen. Die Grundplatte hat zur waagerechten Einstellung eine Dreipunktauflage mit Stellschrauben. Alle Lager und Schneiden am Waagebalken bestehen aus Achat oder Karneol. Die Metallteile sollten säureunempfindlich sein. Die Höchstbelastung der Waagen liegt meist bei 200 g. Die Analysenwaage muß erschütterungsfrei an einem festen Standort und in einem gleichmäßig temperierten Raum, im allgemeinen an einem Wägeplatz im Vorbereitungsraum, aufgestellt werden. Zum Abschwächen auftretender Erschütterungen (z. B. durch den Straßenverkehr) werden Gummiuntersätze unter die Füße der Waage gelegt. Analysenwaagen dürfen nicht in der Nähe der Heizung stehen oder der Sonneneinstrahlung ausgesetzt sein. Besondere Waagenbeleuchtungen sind entweder auf dem Gehäuse (nur Kaltlicht) oder als Wandbeleuchtung anzubringen.

Die Analysenwaage sollte möglichst von einem Fachmann aufgestellt und justiert werden. Zum Schutz vor Feuchtigkeit wird in das Waagegehäuse eine Trockenpatrone (↗ S. 94) gestellt. Staub ist vorsichtig mit einem weichen Haarpinsel zu entfernen. Für die Behandlung der Analysenwaage muß neben den allgemeinen Hinweisen für Waagen (↗ S. 146) noch folgendes beachtet werden:

- Die Arretierung ist bei der Analysenwaage besonders vorsichtig zu betätigen.
- Gegenstände und Wägestücke sind möglichst vorsichtig auf die Waagschalen zu setzen, ohne daß diese stärker erschüttert werden. Dabei ist stets zu arretieren, auch wenn besonders kleine Wägestücke aufgelegt werden oder eine Reiterverschiebung vorgenommen wird.
- Das Wägegut und die Wägestücke sollen möglichst gleichmäßig auf den Waagschalen verteilt sein, damit diese beim Lösen der Arretierung nicht unnötig stark schwingen. Die Wägestücke sind mit der Pinzette anzufassen.
- Während der Wägung ist jeder Luftzug zu vermeiden. Deshalb sind die Seitentüren nur zum Auflegen des Wägegutes und der Wägestücke zu öffnen und dann sofort wieder zu schließen.

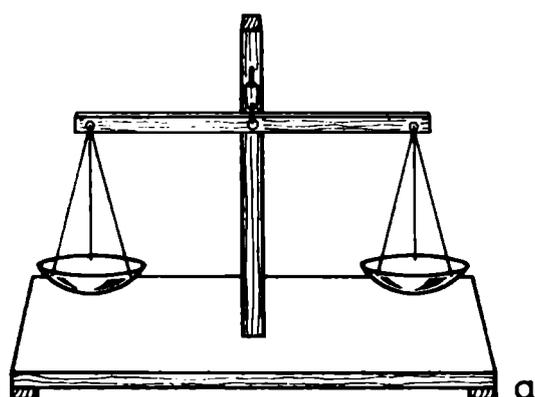


Abb. 201

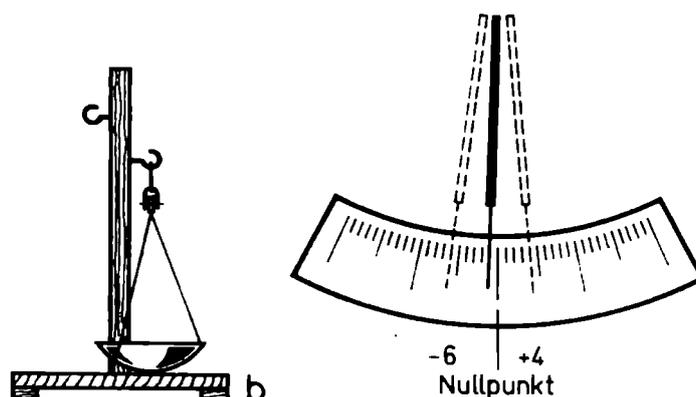


Abb. 202

Abb. 201 Holzstativ für Handwaage; Vorderansicht (a), Seitenansicht (b)

Abb. 202 Ablesung an der Skale der Analysenwaage

- Die vordere Glasscheibe ist während der Wägung grundsätzlich geschlossen zu halten, um die Waage vor der Bewegung und der Feuchtigkeit der Atemluft zu schützen.

Heute werden zuweilen auch schon *Einschalenwaagen* mit elektrischer Anzeige eingesetzt. Sind nicht genügend Waagen vorhanden, kann es vorteilhaft sein, bereits gewogene Proben auszugeben und Gefäße vorzuwägen. Weiterhin ist es möglich, durch volumetrische Messungen die Anzahl der notwendigen Wägungen stark einzuschränken [29].

### Empfindlichkeitsbestimmung

Die folgenden Hinweise gelten für die Arbeit mit Analysenwaagen, sind aber auch in vereinfachter Form auf Präzisionswaagen übertragbar.

Bevor die Waage benutzt wird, ist die *Ruhelage*  $R_u$  des Zeigers auf der Skale zu bestimmen. Bei neueren Analysenwaagen mit guter Dämpfung kann sie meist nach wenigen Schwingungen direkt an der Skale abgelesen werden. Bei Waagen mit geringer Dämpfung oder ohne Dämpfung läßt sich die zu erwartende Ruhelage durch Mittelwertbildung aus 5 aufeinanderfolgenden Umkehrpunkten des Zeigerausschlags feststellen. Die Umkehrpunkte werden vom Nullpunkt der Skale aus nach beiden Seiten in Skalenteilen abgelesen. Sie erhalten links vom Nullpunkt negative, rechts positive Vorzeichen (Abb. 202). Die Ruhelage der Waage ist dann wie folgt zu finden:

Ausschläge	nach links	nach rechts
	-6,0	
		+4,0
	-5,5	
		+3,7
	-5,1	
Mittelwert	-5,5	+3,9
Summe der Mittelwerte		-1,6
halbe Summe der Mittelwerte		-0,8

Die zu erwartende Ruhelage liegt bei  $-0,8$ , das heißt  $0,8$  Skalenteile ( $0,8$  Skt) links neben dem Nullpunkt der Skale. Die Ruhelage wird vor jeder Wägung kontrolliert. Bei einer richtig aufgestellten und justierten Waage sollte die Ruhelage bis auf  $\pm 0,1$  Skalenteile ( $\pm 0,1$  Skt) konstant sein. Die *Empfindlichkeit*  $E$  einer Waage wird bei Belastung beider Seiten mit gleichgroßen Wägestücken bestimmt. Nachdem die Ruhelage festgestellt ist, wird der Ausschlag ermittelt, den eine Belastung von  $1$  mg hervorruft. Das ist für mehrere, häufig auftretende Belastungen zu wiederholen. Die Empfindlichkeit ist grafisch in Skalenteilen je Milligramm über der Belastung aufzutragen. Diese Eichkurve verbleibt bei jeder Waage. Meist genügt es aber, mit einer mittleren Empfindlichkeit zu rechnen.

### Durchführung der Wägung

Nach dem Auflegen des Wägegutes wird bei der Wägung durch *Auflegen von Wägestücken* zunächst eine Massenbestimmung auf  $\pm 10$  mg vorgenommen. Dabei ist zunächst mit *dem Wägestück* zu beginnen, dessen Masse mit Sicherheit zu groß ist. Dann sind systematisch nächstkleinere Wägestücke einzusetzen, bis die Masse des Wägestückes zu klein wird. Gegebenenfalls muß dann die Masse des Wägegutes bis auf  $\pm 10$  mg weiter eingegrenzt werden. Die grobe Ermittlung der Masse aus den aufgelegten Wägestücken erfolgt zur Sicherheit doppelt, einmal durch deren Zählung und zur Kontrolle aus den Freiplätzen im Wägestückkasten. Bei modernen Analysenwaagen werden die Wägestücke über einen Schaltmechanismus aufgelegt. Die Masse ist dann an der Stellung der Schaltknöpfe direkt ablesbar. Die weitere Ermittlung der Masse erfolgt durch *Auflegen von Reitern*. Der Reiter läßt sich mit einem von außen zu betätigenden Mechanismus auf dem mit einer Skale versehenen Waagebalken verschieben. Da der Reiter meistens eine Masse von  $10$  mg hat, entspricht – bei einer Teilung jeder Seite des Balkens in  $10$  Abschnitte – die Verschiebung um einen Teil einer Auflage von  $1$  mg. Die Reiterstellung wird so oft korrigiert, wobei jedesmal zu arretieren ist, bis der Zeiger der Waage innerhalb der Skale schwingt und schließlich die vorher ermittelte Ruhelage einnimmt. Die aus der Reiterstellung abgelesene Masse zwischen  $0$  mg und  $10$  mg wird zu der Masse der Wägestücke addiert beziehungsweise von dieser subtrahiert. Das genaue Einstellen auf die Ruhelage ist kompliziert und langwierig. Deshalb ist nur die Ruhelage im belasteten Zustand  $R_b$  innerhalb der Skale an einer beliebigen Stelle abzuwarten oder diese Ruhelage aus  $5$  Umkehrpunkten in der oben angegebenen Weise zu bestimmen. Aus dieser Ruhelage  $R_b$  und der im unbelasteten Zustand  $R_u$  ( $\nearrow$  S. 149) wird die Differenz  $\Delta R$  gebildet. Mit Hilfe der Empfindlichkeit  $E$  läßt sich dann die Massendifferenz  $\Delta m$  zwischen Wägestücken (einschließlich Reiter) und Wägegut nach der Beziehung

$$\Delta m = \frac{R_b - R_u}{E} \quad \Delta m = \frac{\Delta R}{E}$$

errechnen.

Das soll an einem Beispiel erläutert werden:

Aus Wägestücken und Reiterstellung ist grob eine Masse des Wägegutes von  $14,362$  g ermittelt worden.

Ferner sind gefunden worden:

Ruhelage im unbelasteten Zustand  $R_u$

$$R_u = -0,8 \text{ Skt (0,8 Teilstriche links neben dem Nullpunkt der Skale)}$$

Ruhelage im belasteten Zustand  $R_b$

$$R_b = +2,0 \text{ Skt (2 Teilstriche rechts neben dem Nullpunkt)}$$

$$\Delta R = R_b - R_u$$

$$\Delta R = +2,8 \text{ Skt}$$

Ist die Empfindlichkeit der Waage

$$E = 2,5 \text{ Skt} \cdot \text{mg}^{-1},$$

so ergibt sich daraus für das genannte Beispiel

$$\Delta m = \frac{2,8 \text{ Skt} \cdot \text{mg}}{2,5 \text{ Skt}}$$

$$\Delta m = 1,1 \text{ mg.}$$

Zu der ermittelten Masse durch Wägestücke und Reiterverschiebung von 14,362 g sind also 1,1 mg zu addieren.

Die Masse des Wägegutes beträgt also 14,3631 g.

## Demonstration von Wägungen

Wie bei vielen Messungen entstehen auch beim Wägen Schwierigkeiten, wenn der Vorgang vor der Klasse demonstriert werden soll. Die Schüler können den Ausschlag auf der Skale von ihren Plätzen nicht beobachten. Manche Handwaagen (Hornschaalenwaagen) haben Bohrungen oder durchbrochene Stellen in der gabelförmigen Aufhängung, so daß die Zeigereinstellung durch Schattenbildprojektion auf einer weißen Wand sichtbar wird. Voraussetzung ist eine spezielle Aufhängevorrichtung, bei der sich kein Stativmaterial hinter der Gabel der Waage befindet. Günstig ist auch die Verwendung einer Zeigerwaage (↗ S. 30) [53; S. 17ff.] [37].

### 2.1.2.3. Dichtebestimmung

#### Allgemeine Grundlagen

Die Dichte ist unter definierten Bedingungen eine Stoffkonstante. Für homogene Körper ist sie der Quotient aus der Masse und dem Volumen des Körpers. Die Einheit der Dichte ist Kilogramm je Kubikmeter ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) oder Gramm je Kubikzentimeter ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ). Die Dichte ist temperatur- und druckabhängig. Für feste und flüssige Stoffe kann allerdings die Druckabhängigkeit vernachlässigt werden. Die Abhängigkeit der Dichte von der Temperatur ist jedoch bei allen Messungen zu beachten. Dichtebestimmungen laufen auf Massen- und Volumenmessungen hinaus, wobei günstige und einfache Bedingungen möglich sind. Bei vielen Verfahren zur Dichtebestimmung wird die Tatsache ausgenutzt, daß Körper in einer Flüssig-

keit einen Auftrieb haben, der gleich dem Gewicht des verdrängten Flüssigkeitsvolumens ist. Die Volumenbestimmung kann deshalb auch auf eine Gewichtsbeziehungsweise bei entsprechender Umrechnung auf eine Massenbestimmung zurückgeführt werden. Bei den Verfahren, die auf den Auftrieb der Körper in einer Flüssigkeit zurückzuführen sind, müssen für genaue Messungen die Temperaturabhängigkeit der Dichte sowie die Oberflächenspannung der Flüssigkeit berücksichtigt werden (↗ Anhang, S. 413).

Für das Arbeiten im Chemieunterricht sind in den meisten Fällen Vereinfachungen möglich, indem die Dichte des Wassers mit  $1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  ( $1 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$ ) angenommen wird. Im folgenden werden einige Verfahren zur Dichtebestimmung für homogene Festkörper und für Flüssigkeiten erläutert.

### Dichtebestimmung von homogenen festen Körpern durch direkte Wägung

Im einfachsten Fall ist die Masse  $m$  des Körpers durch Wägung zu bestimmen. Dann wird der Körper in einen Meßzylinder mit Wasser gegeben. Die Volumenzunahme  $\Delta V$  des Wassers wird abgelesen, nachdem die Entwicklung von Luftblasen an der Oberfläche des Körpers aufgehört hat (evtl. leicht bewegen). Unter Berücksichtigung der genannten Vereinfachungen ergibt sich

$$\rho \approx \frac{m}{\Delta V}.$$

Bei diesem Vorgehen sind die beiden notwendigen Teilmessungen (Masse, Volumen) für die Schüler direkt erkennbar. Die Genauigkeit ist allerdings recht gering, weil vor allem die Volumenmessung an der relativ groben Skalenteilung des Meßzylinders ungenau ist. Bessere Ergebnisse sind möglich, wenn der Körper bekannter Masse in ein mit Wasser voll gefülltes Überlaufgefäß getaucht wird. Das überlaufende Wasser ist in einem Becher aufzufangen, dessen Masse vorher bestimmt worden ist. Die Massenzunahme des Bechers ist die Masse des verdrängten Wassers  $m_{\text{H}_2\text{O}}$ . Bei geringen Genauigkeitsansprüchen kann die Masse  $m_{\text{H}_2\text{O}}$  etwa dem Volumen des Wassers gleichgesetzt werden. Besser ist jedoch, die Dichte des Wassers  $\rho_{\text{H}_2\text{O}}$  bei der Meßtemperatur zu berücksichtigen. Die Dichte des festen Körpers ist dann

$$\rho = \frac{m \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}}}{m_{\text{H}_2\text{O}}}.$$

### Dichtebestimmung von homogenen festen Stoffen durch Auftrieb

Dazu ist eine Präzisionswaage mit einer speziellen Waagschale notwendig, an deren Unterseite sich ein Haken befindet (Abb. 203). Solche Zusatzgeräte werden vom Unterrichtsmittelhandel geliefert.

Zunächst ist die Masse des festen Körpers  $m_1$  zu bestimmen, indem der Körper auf die Waagschale aufgelegt oder besser mit einem dünnen Faden am Haken unter der Schale aufgehängt wird. Die Waage soll sich im Gleichgewicht befinden. Dann muß der feste Körper in vorher möglichst auf  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  temperiertes Wasser eintauchen.

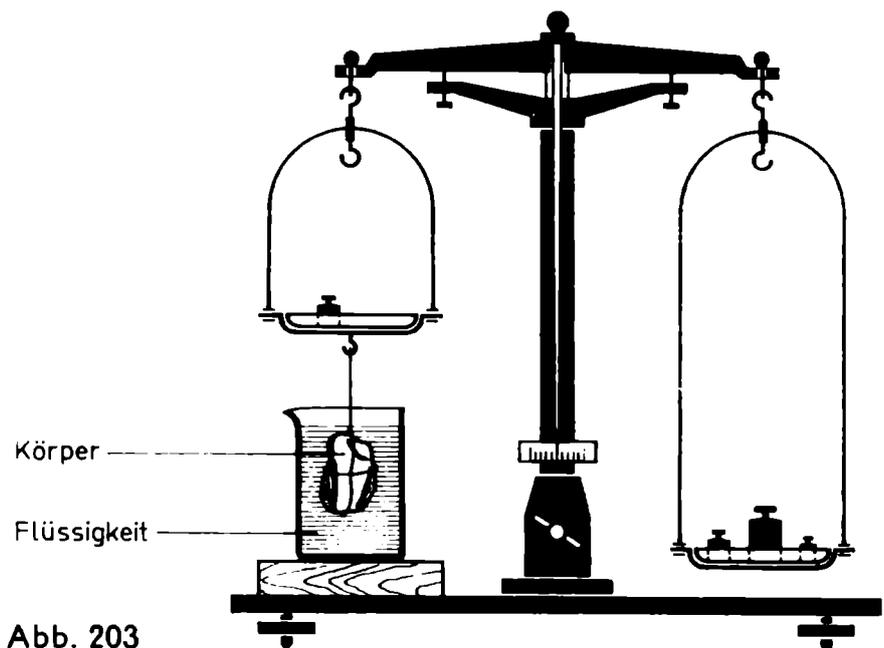


Abb. 203

Abb. 203 Dichtebestimmung eines festen Körpers mit der Balkenwaage

chen. Durch Auflegen von Wägestücken wird die Waage erneut ins Gleichgewicht gebracht. Die aufzulegende Masse  $m_2$  entspricht der Masse des verdrängten Wassers. Die gesuchte Dichte ergibt sich dann nach der Beziehung

$$\rho = \frac{m_1 \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}}}{m_2}.$$

Zur Erhöhung der Genauigkeit kann der Faden der Aufhängung auch bereits bei der ersten Wägung in die Flüssigkeit getaucht werden. Zur Vereinfachung wird meistens

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}} \approx 1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$$

gesetzt.

Grobe Messungen sind im Chemieunterricht auch mit einer entsprechend eingerichteten Handwaage (Hornschaalenwaage) in analoger Weise möglich.

### Dichtebestimmung von Flüssigkeiten durch Wägung

Die Bestimmung erfolgt mit Hilfe eines *Pyknometers* ( $\nearrow$  S. 71) und kann mit hoher Genauigkeit durchgeführt werden. Das Verfahren ist allerdings für den Unterricht zu aufwendig und kommt nur für die außerunterrichtliche Arbeit in Betracht. Wird mit einem geeichten Pyknometer gearbeitet, so ist zur Bestimmung der Dichte zunächst das saubere, trockene Pyknometer auf der Analysenwaage genau zu tarieren  $m_p$ . Dann ist das Gerät bis zum Überlaufen mit der betreffenden Flüssigkeit zu füllen. Nach dem Temperatúrausgleich auf  $20^\circ\text{C}$  im Wasserbad wird der Stopfen aufgesetzt und erneut gewogen, nachdem die übergelaufene Flüssigkeit sorgfältig abgetupft wurde,  $m_1$ . Die Masse der Flüssigkeit  $m_1 - m_p$ , bezogen auf das Volumen des Pyknometers  $V$ , ergibt die Dichte bei  $20^\circ\text{C}$

$$\rho = \frac{m_1 - m_p}{V}.$$

Ist das Pyknometer nicht geeicht, so ist das gründlich gespülte, gereinigte und getrocknete Gerät mit destilliertem Wasser zu füllen, ebenfalls auf 20 °C zu temperieren und nach Aufsetzen des Stopfens und Abtupfen nochmals zu wägen  $m_2$ . Aus der dann zu ermittelnden Masse des Wassers  $m_2 - m_p$  kann das Volumen des Geräts genau bestimmt werden. Es ergibt sich für die Dichteberechnung der untersuchten Flüssigkeit

$$\rho = \frac{(m_1 - m_p) \rho_{\text{H}_2\text{O}}}{m_2 - m_p}.$$

### Dichtebestimmung von Flüssigkeiten durch Auftrieb

Bei Dichtebestimmungen von Flüssigkeiten unter Nutzung des Auftriebs spielen zwei Verfahren eine wesentliche Rolle, das Arbeiten mit Aräometern (Senkspindeln) und mit der Mohr-Westphalschen Waage.

Das Arbeiten mit Aräometern (↗ S. 20) ist einfach und liefert schnell recht brauchbare Angaben über die Dichte einer Flüssigkeit. Aräometer bestehen aus einem Hohlkörper bestimmter Masse mit einem langen Stiel. Die Eintauchtiefe ist um so größer, je kleiner die Dichte der Flüssigkeit ist. Am Stiel befindet sich eine Skale, an der die Dichte der untersuchten Flüssigkeit direkt abgelesen werden kann. Aräometer werden im allgemeinen in Sätzen von mehreren Stück geliefert, um den Dichtebereich in kleinere Meßbereiche aufteilen zu können (↗ S. 20).

Die Eintauchtiefe des Aräometers hängt nicht nur von der Dichte, sondern auch von der Oberflächenspannung der Flüssigkeit ab. Deshalb sind sehr genaue Messungen nur mit Aräometern möglich, deren Eichung für eine bestimmte Flüssigkeit vorgenommen wird. Ferner sind Aräometer wegen der Temperaturabhängigkeit der Dichte für eine Temperatur geeicht, die beim Arbeiten einzuhalten ist.

Für die Dichtebestimmung muß die Flüssigkeit in ein genügend hohes, trockenes Gerät, beispielsweise einen Standzylinder, übergeführt werden, damit das Aräometer frei in der Flüssigkeit schwimmen kann. Das Aräometer darf nicht an der Wand des Zylinders haften. Aus dem Aräometersatz wird das Aräometer mit dem vermuteten Meßbereich ausgewählt. Ist kein Anhaltspunkt für den Meßbereich vorhanden, so wird mit dem Aräometer begonnen, das den niedrigsten Dichtebereich hat. Zu größeren Sätzen gibt es Suchspindeln, mit denen sich feststellen läßt, welches Aräometer aus dem Satz zu benutzen ist. Die Eintauchtiefe wird an der Skale des Aräometers abgelesen. Das geschieht bei durchsichtigen Flüssigkeiten an dem sich unter der Flüssigkeitsoberfläche um das Aräometer bildenden kleinen Trichter, der bei genau waagerechter Beobachtung als Strich erscheint. Bei undurchsichtigen Flüssigkeiten wird die scharfe Begrenzung am oberen Teil des Aräometers zur Ablesung genutzt. Für genaue Messungen sind in einem solchen Falle besonders geeichte Aräometer zu verwenden, die die Aufschrift tragen „Ablesung am oberen Rand“ oder „Ablesung oben“.

Genauere Werte für die Dichte können mit der Mohr-Westphalschen Waage ermittelt werden (Abb. 204). Das Gerät besteht meist aus einem Waagebalken, dessen Schneide in ein spezielles Stativ eingesetzt wird. Am rechten Ende des Waagebalkens befindet sich ein Haken zum Anbringen des Senkkörpers, eines kleinen

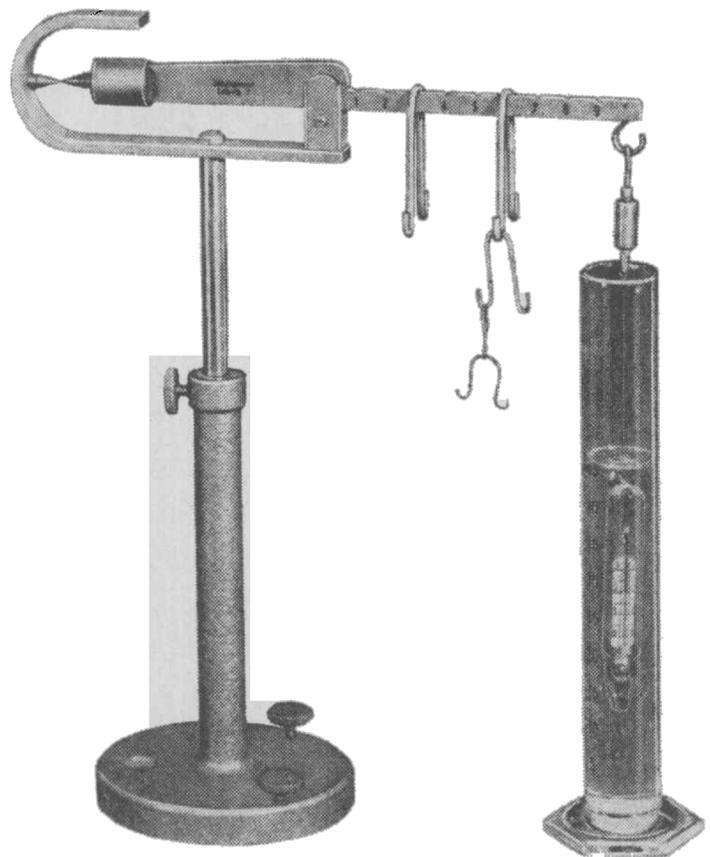


Abb. 204 Mohr-Westphalsche Waage

Thermometers mit einem Volumen von  $5\text{ cm}^3$ . Der Teil zwischen diesem Haken und der Schneide des Balkens ist mit 10 Kerben im gleichen Abstand versehen, in die Reiter eingehängt werden können. Die linke Seite des Waagebalkens hat entsprechende Massenstücke und eine Zunge zum Ermitteln der waagerechten Lage. Der größte Reiter ist so bemessen, daß er in der Kerbe unmittelbar über der Aufhängung des Senkkörpers gerade den Auftrieb des Senkkörpers in Wasser ausgleicht ( $\rho = 1\text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ). Die anderen sind 10-, 100- beziehungsweise 1000mal leichter. Bei der Dichtebestimmung sind folgende Schritte notwendig:

- Waage auf einer festen Unterlage aufstellen; richtige waagerechte Lage mit Hilfe der Libelle und der Stellschraube im Fuß einstellen
- Senkkörper in Luft anhängen und Waagebalken (ohne Reiteraflage) mittels der Tarierschrauben ins Gleichgewicht bringen
- Flüssigkeit in den zur Waage gehörenden Zylinder gießen und Senkkörper eintauchen lassen, ohne daß der Senkkörper an der Zylinderwand anliegt
- Waagebalken durch Einhängen von Reitern in die Kerben wieder ins Gleichgewicht bringen; dabei mit dem großen Reiter beginnen; bei Dichten, die größer als die des Wassers sind, muß ein großer Reiter über dem Senkkörper eingehängt und noch ein zweiter Reiter benutzt werden; in eine Kerbe nur einen Reiter einhängen; ist ein zweiter, kleinerer Reiter an der gleichen Stelle anzubringen, so muß er am Haken des größeren Reiters hängen; Reiter dürfen nur mit der Pinzette angefaßt werden
- Aus der Reiterstellung kann unmittelbar die Dichte abgelesen werden, der größte Reiter gibt die erste Dezimale nach dem Komma an, der nächstkleinere die folgende Dezimale. Die vierte Dezimale kann sinnvoll nur dann angegeben werden, wenn auch die Temperatur (am Senkkörper) genau beachtet und berücksichtigt ist.

Eine Kontrolle der Waage kann erfolgen, indem der Senkkörper in destilliertes Wasser getaucht wird. Allein durch Auflegen des großen Reiters an der äußersten Kerbe muß bei Einhaltung der Temperaturbedingungen Gleichgewicht an der Waage eintreten.

### **Dichtebestimmung mit dem Demonstrations-Densimeter**

Beim Arbeiten mit dem Demonstrations-Densimeter (↗ S. 28) nach A. Klein [37] [53; S. 19ff.] wird die Höhe der unter gleichem Druck stehenden Flüssigkeitssäulen in zwei Rohren miteinander verglichen. Sie ist der Dichte direkt proportional. Eine der Flüssigkeiten ist im allgemeinen Wasser mit bekannter Dichte als Vergleichsstoff. Das Wasser und die zu untersuchende Flüssigkeit werden in die Becher des Densimeters gefüllt. Danach können mit Hilfe eines angeschlossenen Kolbenprobers die Flüssigkeiten so weit nach oben gesaugt werden, bis die Oberfläche des Wassers die 1,00-Marke erreicht. Dann ist der Hahn zu schließen. Im zweiten Rohr kann aus der Höhe des Flüssigkeitsstands die Dichte an der Skale abgelesen werden. Mit Wasser als Vergleichsflüssigkeit läßt sich die Dichte im Bereich  $0,7 \dots 1,9 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  bestimmen.

## **2.1.3. Darstellen von Gasen**

Für den Chemieunterricht ist ein recht hoher Anteil an Experimenten charakteristisch, bei denen mit Gasen gearbeitet wird. Deshalb ist es notwendig, auf den Umgang mit solchen Stoffen näher einzugehen. Zunächst werden Techniken für das Darstellen von Gasen behandelt.

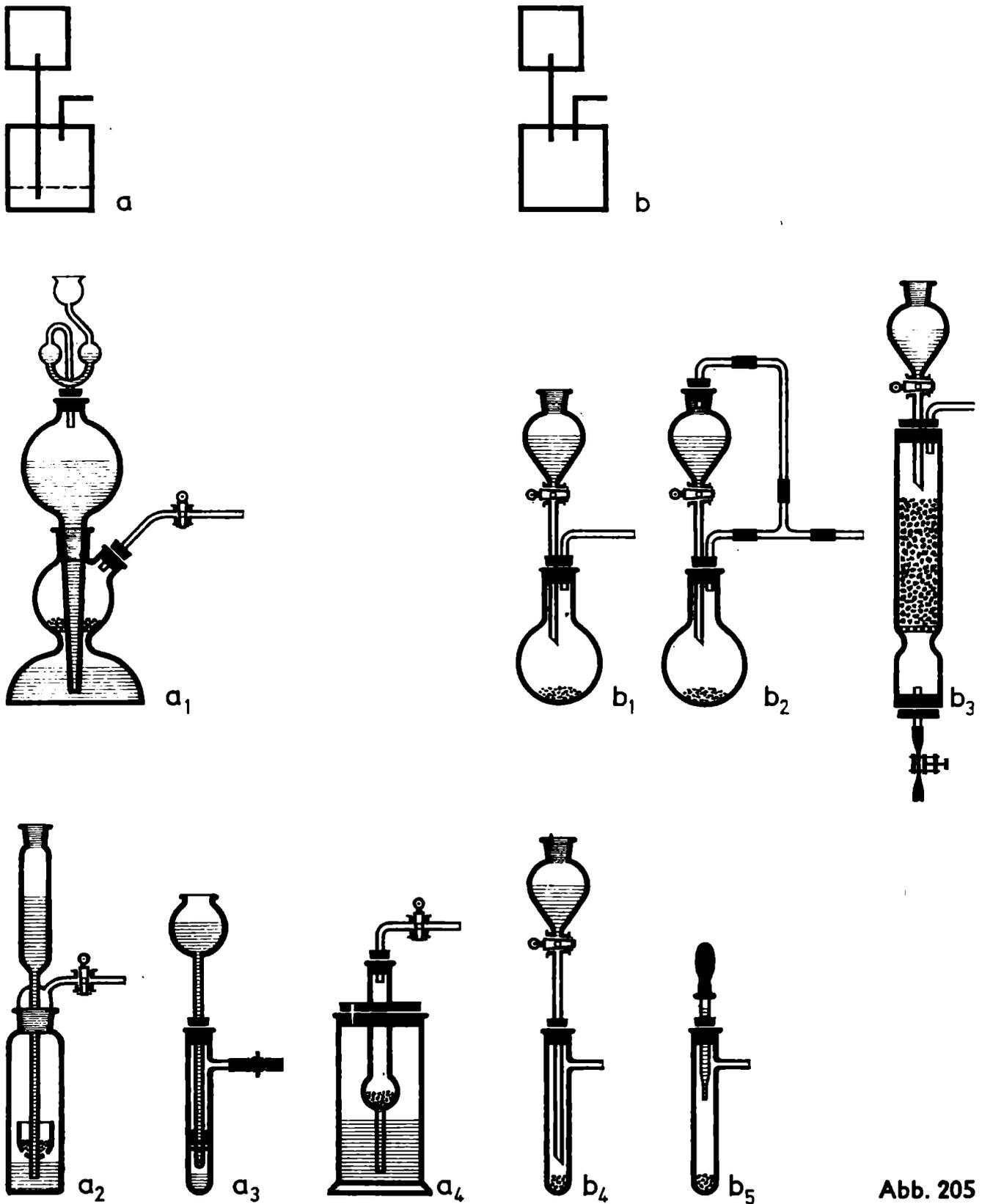
Im Chemieunterricht werden Gase hauptsächlich auf vier Wegen dargestellt, die sich aus dem Aggregatzustand der eingesetzten Ausgangsstoffe ergeben:

- Reaktion einer Flüssigkeit mit einem festen Stoff
- Reaktion zweier Flüssigkeiten
- Thermische Zersetzung von festen Stoffen
- Erhitzen von Flüssigkeiten

### **2.1.3.1. Reaktion einer Flüssigkeit mit einem festen Stoff**

#### **Allgemeine Grundlagen**

Bei den Apparaten zur Gasentwicklung ist zwischen selbstregelnden und nicht selbstregelnden Typen zu unterscheiden (Abb. 205). Im *selbstregelnden Gasentwickler* befindet sich der feste Stoff auf einer flüssigkeitsdurchlässigen Unterlage. Beim Öffnen eines in die Gasableitung eingebauten Hahns kann die Flüssigkeit von unten hinzutreten, so daß Gas gebildet wird. Beim Schließen des Hahns entsteht auf Grund des Weiterlaufens der Reaktion ein Überdruck, der die Flüssigkeit in



**Abb. 205 Gasentwicklungsapparate für die Reaktion von Flüssigkeiten mit festen Stoffen**  
 a) Prinzip selbstregelnder Gasentwickler a<sub>1</sub>) Kippscher Gasentwickler, a<sub>2</sub>), a<sub>3</sub>) und a<sub>4</sub>) Gasentwickler für Schülerexperimente,  
 b) Prinzip nicht selbstregelnder Gasentwickler, b<sub>1</sub>) Gasentwickler ohne Druckausgleich für Demonstrationsexperimente, b<sub>2</sub>) Gasentwickler mit Druckausgleich für Demonstrationsexperimente, b<sub>3</sub>) Gasentwickler mit Ablauf verbrauchter Lösung für Demonstrationsexperimente (Durchlaufgasentwickler), b<sub>4</sub> und b<sub>5</sub>) Gasentwickler für Schülerexperimente

das Vorratsgefäß zurückdrückt. Diese Gasentwickler haben den Vorteil, daß jederzeit Gas entnommen werden kann, vorausgesetzt, daß alle Verbindungen, wie Schliffe und Stopfen, zwischen den Einzelteilen dicht schließen. Beim Gebrauch solcher Gasentwickler ist auf das Vorratsgefäß ein Sicherheitsrohr (Gärrohr) aufzusetzen, das bei Nichtgebrauch oder beim Nachfüllen von festem Stoff durch einen Stopfen ersetzt werden kann.

Beim *Einfüllen des festen Stoffes* ist darauf zu achten, daß dieser nicht in den mit Flüssigkeit gefüllten unteren Teil des Gasentwicklers gelangt. Die Korngröße ist so zu wählen, daß der Stoff nicht durch die Löcher der Unterlage fallen kann, sich andererseits aber durch den Stutzen für die Gasableitung (besonders beim Kippischen Gasentwickler) einfüllen läßt. Selbstregelnde Gasentwickler sind für häufig benötigte Gase, wie Wasserstoff, Kohlendioxid oder Schwefelwasserstoff, besonders geeignet. Für diese Gase sollte je ein Gerät arbeitsbereit vorhanden sein. Ethin darf in solchen Gasentwicklern wegen seiner Druckempfindlichkeit und der damit verbundenen Explosionsgefahr nicht hergestellt werden.

Bei den *Gasentwicklern ohne Selbstregelung* entsteht der Gasstrom durch Auftropfen der Flüssigkeit auf feste oder flüssige Stoffe. Die Unterbrechung der Gasentwicklung zu beliebiger Zeit ist nicht möglich. Sie kann und darf nur durch das Sperren der Zutropfeinrichtung erfolgen. Günstig ist ein Gasentwickler, bei dem die verbrauchte Flüssigkeit nach unten abfließen kann (Abb. 205 b<sub>3</sub>) [21].

Es gibt viele Vorschläge zur Abwandlung der abgebildeten Typen von Gasentwicklern. An Stelle der Rundkolben (Abb. 205 b<sub>1</sub>) werden häufig auch Stehkolben, Erlenmeyerkolben oder Saugflaschen angegeben. Solche Geräte sind zu meiden und durch die stabileren Rundkolben zu ersetzen. Der Druckausgleich (Abb. 205 b<sub>2</sub>) kann prinzipiell bei allen nicht selbstregelnden Gasentwicklern angebracht werden. Er bewirkt, daß bei beliebigem Druck stets Flüssigkeit in den Gasentwickler tropft, da über der Flüssigkeit der gleiche Druck wie im Gerät herrscht. Für die Ethindarstellung soll der Druckausgleich jedoch nicht benutzt werden.

Bei den Apparaten für Schülerexperimente (Abb. 205 b<sub>4</sub> und b<sub>5</sub>) läßt sich an Stelle der Reagenzgläser mit Seitenrohr auch ein großes Reagenzglas benutzen, wenn der Stopfen noch eine Bohrung mit einem Gasableitungsrohr enthält. Wird nur ein sehr kleines Flüssigkeitsvolumen in einer Pipette verwendet (Abb. 205 b<sub>5</sub>), so verringert sich die Unfallgefahr, falls das Gerät umfallen sollte. Das herstellbare Gasvolumen ist allerdings begrenzt, reicht jedoch für viele Schülerexperimente aus.

Die Gasentwickler sind nur so groß zu wählen, daß Störungen durch Überschäumen bei der Reaktion vermieden werden. Größere Apparate erfordern nur einen unnötig hohen Aufwand an Chemikalien. Die festen Stoffe sollen nicht pulverförmig vorliegen, da die chemische Reaktion sonst zu heftig verläuft. Tote Räume, die nicht gut vom Gas durchströmt werden, sind zu vermeiden. Deshalb sollen Ableitungsrohre nur 1 ... 2 mm in den Rundkolben ragen. Auf das Vorratsgefäß für die Flüssigkeit wird bei den großen Gasentwicklern ein Sicherheitsrohr (Gärrohr) aufgesetzt. Ist bei der Gasentwicklung zu erwärmen oder wird bei der Reaktion selbst Wärme frei, so müssen die nicht selbstregelnden Gasentwickler beim Abklingen der Reaktion sofort von angeschlossenen Apparaten getrennt werden, weil beim Abkühlen leicht Flüssigkeit aus Gaswaschflaschen oder pneumatischen Wannen zurückströmen kann. Zum *Schutz vor dem Zurückströmen* kann auch eine

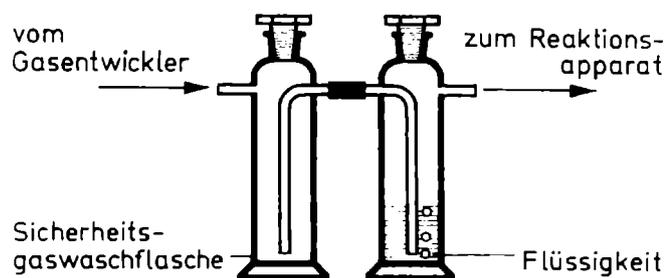


Abb. 206

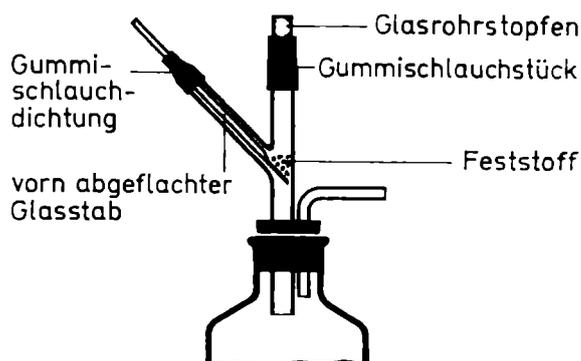


Abb. 207

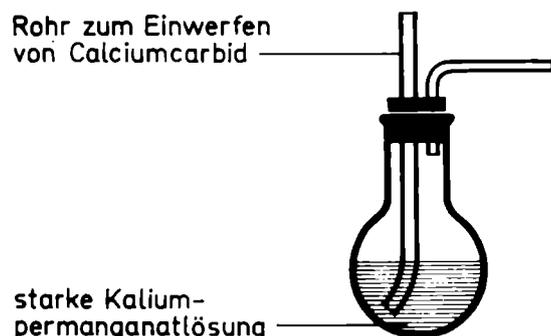


Abb. 208

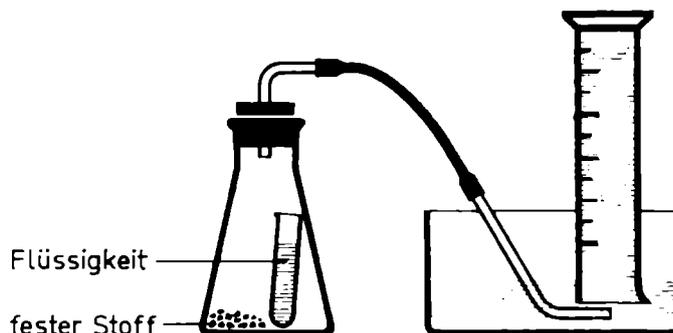


Abb. 209

Abb. 206 Sicherheitsgaswaschflasche

Abb. 207 Einwurfgerät für feste Stoffe

Abb. 208 Einwurfentwickler für die Ethinherstellung

Abb. 209 Anordnung zur Äquivalentmengenbestimmung unedler Metalle

Gaswaschflasche als Sicherheitsflasche zusätzlich in die Apparatur eingefügt werden (Abb. 206). Da dann häufig zwei Gaswaschflaschen nebeneinander in einer Apparatur angeordnet werden müssen, erweckt diese Stelle jedoch verstärkt das Interesse der Schüler und kann von der Beobachtung wesentlicher Effekte des Experiments ablenken:

Für besondere Zwecke muß abweichend von der üblichen Verfahrensweise fester Stoff in die Flüssigkeit gegeben werden. Dazu sind besondere Vorrichtungen entwickelt worden, zum Beispiel ein Rohr mit schräg angesetztem Seitenrohr (Abb. 207). Der feste Stoff fällt in den Kolben, wenn der Glasstab herausgezogen wird. Einen Einwurfentwickler für die Ethindarstellung (Abb. 208), bei dem durch das Zusammenbringen kleiner Stücke Calciumcarbid ein recht gleichmäßiger Gasstrom erreicht werden kann, beschreibt *F. Hofmann* [27]. Flüssigkeiten und feste Stoffe können auch miteinander in Berührung kommen, indem in ein größeres Gerät mit dem festen Stoff ein kurzes Reagenzglas mit der Flüssigkeit (oder umgekehrt) eingestellt und später umgeworfen wird (Abb. 209). Bei Schülerexperimenten wird oft der feste Stoff im Reagenzglas oder kleinen Rundkolben direkt mit einem geeigneten Volumen Flüssigkeit übergossen und das Gerät schnell mit einem Stopfen, der eine Gasableitung enthält, verschlossen. Bei dieser Arbeitsweise sind der Stoffeinsatz und die Konzentrationsverhältnisse genau zu erproben, damit ein ausreichendes Gasvolumen entsteht, andererseits aber eine zu heftige Reaktion vermieden wird.

Einen vielseitig einsetzbaren, aber recht komplizierten und damit auch sehr empfindlichen, selbstregelnden Gasentwickler beschreibt *H. Liebetrau* [49].

Für den Chemieunterricht können wichtige Gase aus festen Stoffen und Flüssigkeiten dargestellt werden (Tab. 77). In der vorletzten Spalte der Tabelle sind Angaben enthalten, welche Gasvolumen beim Einsatz von 1 g festem Stoff entstehen, vorausgesetzt, daß ein ausreichendes Volumen Flüssigkeit zugegeben wird. Um das notwendige Gasvolumen für ein Experiment zu erzeugen, muß ein entsprechendes Vielfaches der Masse an festem Stoff eingesetzt werden. Die Angaben beziehen sich auf die heftig ablaufende Gasentwicklung in den ersten Minuten. Da die Ausbeuten von verschiedenen Faktoren, wie Temperatur, Oberfläche, Art der Apparatur, abhängen, stellen die Angaben nur Richtwerte dar.

**Tabelle 77** Darstellung von Gasen aus festen Stoffen und Flüssigkeiten

Gas	Ausgangsstoffe		Darstellbares Gasvolumen aus 1 g des festen Stoffes in ml	Bemerkungen Arbeitsschutz
	Fester Stoff	Flüssigkeit		
Wasserstoff	Zink, mit 1 Tropfen Kupfer(II)-sulfatlösung (Gift 2) befeuchten	3M bis 6M Chlorwasserstoffsäure (etwa 10 ... 20%ig)	380	mit Luft entsteht Knallgas Explosionsgefahr!
	Aluminium	4,5 M Chlorwasserstoffsäure (etwa 15%ig)	400	
Sauerstoff	Mangan(IV)-oxid (Braunstein) oder Kaliumpermanganat	Wasserstoffperoxidlösung (10%ig)	330 aus 10 ml Wasserstoffperoxidlösung	
Chlor	Kaliumpermanganat	konzentrierte Chlorwasserstoffsäure (Gift 2) <sup>1</sup>	300	Chlor ist stark giftig (Gift 2)!
Chlorwasserstoff	Natriumchlorid	konzentrierte Schwefelsäure (Gift 2)	300	Vorsicht! Konzentrierte Schwefelsäure! Bei der Reaktion schwach erwärmen!
	Ammoniumchlorid	konzentrierte Schwefelsäure (Gift 2)	400	
Bromwasserstoff	Kaliumbromid	konzentrierte Phosphorsäure (Gift 2) (schwach erwärmen)	45	
Schwefelwasserstoff	Eisen(II)-sulfid (Schwefeleisen)	3 M bis 6 M Chlorwasserstoffsäure (etwa 10 ... 20%ig)	50	Schwefelwasserstoff ist stark giftig!

Gas	Ausgangsstoffe		Darstellbares Gasvolumen aus 1 g des festen Stoffes in ml	Bemerkungen Arbeitsschutz
	Fester Stoff	Flüssigkeit		
Ammoniak	Ammoniumchlorid	konzentrierte Natrium- oder Kaliumhydroxidlösung (Gift 2) <sup>1</sup>	280	
	Natriumhydroxid (Gift 2)	konzentrierte Ammoniaklösung (Gift 2)	2000 aus 10 ml Lösung	
Kohlendioxid	Calciumcarbonat (Marmor)	3 M Chlorwasserstoffsäure (etwa 10%ig)	230	
Schwefeldioxid	Natriumsulfit	konzentrierte Schwefelsäure oder konzentrierte Chlorwasserstoffsäure (Gift 2)	55	
Stickstoffmonoxid	Kupfer	5,6 M Salpetersäure (etwa 30%ig) (Gift 2)	110	Produkt stark mit Distickstoffmonoxid N <sub>2</sub> O verunreinigt
	Natriumnitrit (Gift 2)	1 M Schwefelsäure	200	
Methan	Aluminiumcarbid	warmes Wasser oder 2 M Chlorwasserstoffsäure	180	nur für kleine Gasvolumen geeignet
Ethin	Calciumcarbid Durch Einbetten des Calciumcarbids in Sand entsteht ein gleichmäßiger Gastrom	Wasser	280	Mit Luft explosiv! Nicht im Kippischen Gasentwickler oder anderen starkwandigen Geräten herstellen!

<sup>1</sup> Abkürzungen kennzeichnen die Gifte nach den gesetzlichen Bestimmungen (→ S. 371 ff.)

### Verwendung des Kippschen Gasentwicklers

Der Kippsche Gasentwickler (Abb. 205 a<sub>1</sub>; Innendeckel vorn 1 M c) ist der bekannteste selbstregelnde Apparat. Er ist benutzbar, wenn der feste Stoff grobkörnig ist und sich nicht oder nur schwer in der Flüssigkeit löst. Wenn der Apparat regelmäßig gewartet wird, kann er jederzeit einsatzbereit sein. Der sorgfältig gereinigte Kippsche Gasentwickler (Abb. 210) wird in folgender Weise gefüllt und in Betrieb genommen:

- Kugeltrichter entfernen und Kegelschliff leicht und gleichmäßig mit Hahnfett einreiben; in die Verbindung zwischen der mittleren und der unteren Kugel Glaswolle oder besser passende Siebplatte aus Plast einbringen; Apparat wieder zusammensetzen
- Hahnrohr entfernen und durch den seitlichen Tubus an der mittleren Kugel grobkörnigen festen Stoff (Stücke, Stangen) auf die durchlässige Unterlage bringen; dabei soll nichts in die untere Kugel gelangen; die Füllhöhe soll etwa ein Drittel des Kugeldurchmessers betragen
- Hahnrohr fest aufsetzen, Hahn öffnen und durch den Kugeltrichter so viel Flüssigkeit einfüllen, daß der feste Stoff in der mittleren Kugel gerade bedeckt ist
- Nachdem die Reaktion eingesetzt hat, Hahn schließen und warten, bis sich die reagierenden Stoffe wieder getrennt haben; diesen Vorgang noch ein- bis zweimal wiederholen; bei brennbaren Gasen (z. B. Wasserstoff) ist die Wiederholung so lange notwendig, bis die Knallgasprobe mit dem ausströmenden Gas eindeutig negativ ausfällt
- Abschließend noch 50 ml Flüssigkeit durch den Kugeltrichter nachfüllen und Sicherheitsrohr aufsetzen.

Zur Entnahme von Gas wird der Hahn so weit geöffnet, daß die Flüssigkeit den festen Stoff nicht überspült. Im Trichterrohr der oberen Kugel muß sich dabei immer Flüssigkeit befinden. Werden brennbare Gase entnommen, so ist vor jeder Gasentnahme die Knallgasprobe durchzuführen. Besondere Vorsicht ist geboten, wenn der Gasentwickler an eine Apparatur angeschlossen wird, in der Unterdruck entsteht, beispielsweise wenn Gas in entsprechenden Gassammelapparaten aufgefangen werden soll. Dann ist darauf zu achten, daß keine Luft, zum Beispiel durch zu niedrigen Flüssigkeitsstand im Kugeltrichter, angesaugt wird (Knallgasbildung).

Ist der feste Stoff verbraucht oder läßt die Gasentwicklung merklich nach, so ist der Gasentwickler zu reinigen. Die Flüssigkeit wird dazu nach Abnahme des Kugeltrichters in einen entsprechend großen Becher gegossen. Der Apparat wird gründlich ausgespült und getrocknet. Die Schliffflächen am großen Tubus sind mit Hahnfett einzureiben, nachdem altes Fett vorher mit einem toluengetränkten Lappen entfernt worden ist. Die abgefüllte Flüssigkeit ist auf ihre weitere Brauchbarkeit zu untersuchen, indem bei einer kleinen Probe im Reagenzglas die Heftigkeit der Reaktion mit dem entsprechenden festen Stoff geprüft wird. Tritt noch lebhafte Gasentwicklung ein, so ist eine Wiederverwendung möglich. Sonst sind die Reste wegzugießen. Das Wiedereingangssetzen erfolgt wie oben beschrieben. Wird ein gefüllter Kippscher Gasentwickler einige Zeit nicht gebraucht, so kann das Sicherheitsrohr durch einen passenden Stopfen ersetzt werden, der jedoch bei Inbetriebnahme wieder zu entfernen ist. Bei selbstregelnden Gasentwicklern für Schülerexperimente (↗ Abb. 205a<sub>2-4</sub>; S. 157) gelten die gleichen Hinweise. Gasentwickler nach *Wunderlich* (↗ Abb. 205a<sub>2</sub>; S. 157) und nach *Stude* (↗ Abb. 205a<sub>3</sub>; S. 157) haben im allgemeinen einen Hahn im Gasableitungsrohr, mit dem der Gasstrom eingestellt wird. Außerdem befindet sich oft ein zweiter Hahn im Zulaufrohr für die Flüssigkeit. Er muß während der Benutzung ständig geöffnet sein und kann lediglich im Ruhezustand geschlossen werden.

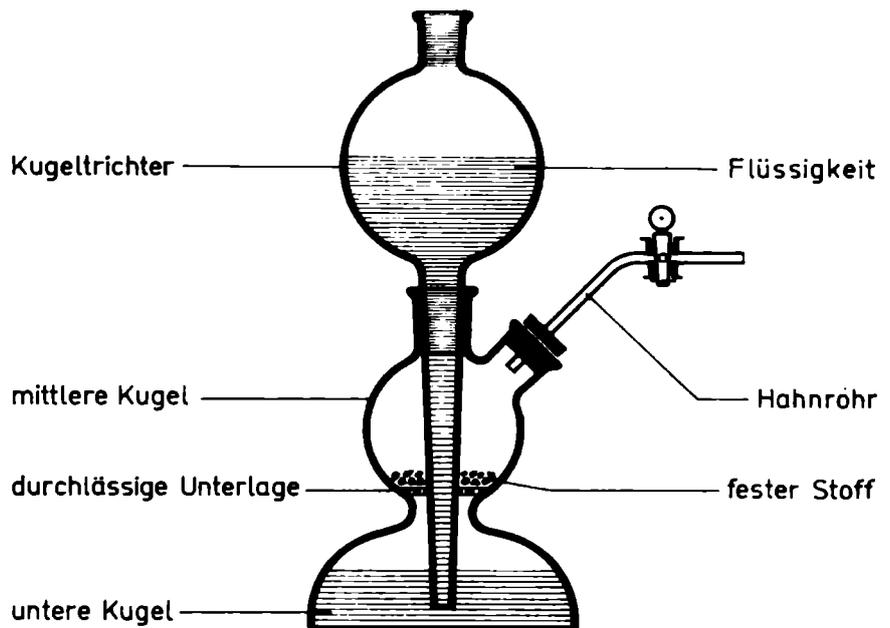


Abb. 210

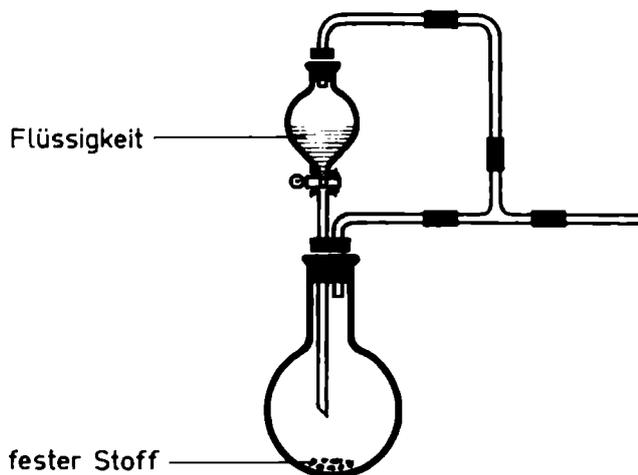


Abb. 211

Abb. 210 Kippscher Gasentwickler

Abb. 211 Zutropfgasentwickler mit Druckausgleich

### Verwendung des Zutropfgasentwicklers

Am vielseitigsten ist der Gasentwickler verwendbar, der aus Rundkolben, Tropftrichter und Druckausgleich besteht (Abb. 211; Innendeckel vorn 1 Ma und b). Er wird als Zutropfgasentwickler bezeichnet. Die Bedienung dieses nicht selbstregelnden Gasentwicklers ist relativ einfach. Es empfiehlt sich, einige solcher Apparate in der Sammlung aufzubewahren.

Die *Kolbengröße* ist dem herzustellenden Gasvolumen anzupassen und der Stoffeinsatz (↗ Tab. 77, S. 160) darauf abzustimmen. Im Chemieunterricht werden besonders häufig Rundkolben mit einem Nennvolumen von  $500 \text{ cm}^3$  benutzt. Der einzufüllende feste Stoff darf den Rundkolben maximal zu einem Drittel ausfüllen. Harte, scharfkantige Stoffe sollen vorsichtig an der Wand des schräg gehaltenen Kolbens herabrutschen (nicht einwerfen). Das Flüssigkeitsvolumen ist ebenfalls auf den Gasbedarf abzustimmen. Zur *Inbetriebnahme* werden zunächst nur 1 bis 2 ml Flüssigkeit in den Rundkolben getropft, um die Heftigkeit der Reaktion zu prüfen. Aus den Beobachtungen ergibt sich, mit welcher Geschwindigkeit das Zu-

tropfen der Flüssigkeit erfolgen muß. Der Gasstrom kann nur durch die Zutropfgeschwindigkeit der Flüssigkeit eingestellt werden. Die Zutropfgeschwindigkeit soll am Beginn der Gasentnahme so groß sein, daß während des Experimentablaufs ein möglichst gleichmäßiger Gasstrom entsteht, ohne daß der Lehrer ständig korrigieren muß. Die Gasentwicklung kann nur durch Schließen des Hahns am Tropftrichter beendet werden. Die Reaktion läuft aber noch bis zur völligen Umsetzung der wirksamen Stoffe weiter. Wird kein Gas mehr benötigt, so ist es häufig ratsam, den Gasentwickler von der übrigen Apparatur zu trennen und unter den Abzug zu stellen. Dieses Abtrennen ist unerlässlich, wenn der Gasentwickler nach der Reaktion warm ist.

Werden giftige oder stark riechende Gase dargestellt, so ist das Ausbauen des Gasentwicklers während der Unterrichtsstunde zu vermeiden. Dann wird an die Gasleitung ein Dreiweghahn angeschlossen, über den einerseits die Verbindung zur Apparatur oder dem Auffanggerät und andererseits zu einer Absorptionsvorlage (Gaswaschflasche) mit einem geeigneten Absorptionsmittel (↗ Tab. 85, S. 196) möglich ist. Das entstehende Gas wird dann nach Schließen des Tropftrichterhahns bei entsprechender Hahnstellung in diese Vorlage geleitet. Gasentwickler, in denen Gase, wie Chlor, Chlorwasserstoff, Schwefelwasserstoff, Kohlenmonoxid, entstehen, sind grundsätzlich unter dem Abzug zu reinigen.

### **Verwendung des Gasentwicklers mit Flüssigkeitsablauf (Durchlaufgasentwickler)**

Gasentwickler, bei denen die verbrauchte Flüssigkeit nach der Reaktion mit dem festen Stoff abgelassen werden kann (↗ Abb. 205b<sub>3</sub>; S. 157), haben erst in jüngerer Zeit Bedeutung für den Chemieunterricht erlangt. Besonders bewährt haben sie sich für die Darstellung von Sauerstoff aus Wasserstoffperoxid und Mangan(IV)-oxid (Braunstein). In diesem Falle kann der einmal eingefüllte feste Katalysator ständig benutzt werden. Damit steht ein ständig einsatzbereiter Gasentwickler für Sauerstoff zur Verfügung. Sollen andere Gase, zum Beispiel Kohlendioxid, in einem solchen Apparat hergestellt werden, so ist der feste Stoff von Zeit zu Zeit zu erneuern. Der Gasentwickler (Abb. 212) kann aus einem an einer Stelle verjüngten Glasrohr (Abb. 212a) oder einem Trockenturm (Abb. 212b) hergestellt werden. Auf die Verjüngung des Rohrs wird eine Sieblochscheibe aus Plast gelegt. Dann ist der gekörnte feste Stoff einzufüllen. Für die Sauerstoffentwicklung ist das entweder gekörntes Mangan(IV)-oxid, mit Kaliumpermanganatlösung getränkte und dann getrocknete Aktivkohle oder Mangan(IV)-oxid auf Bimsstein, der durch Tränken von Bimsstein mit Mangan(II)-nitratlösung und Glühen bei etwa 500 °C, bis keine nitrosen Gase mehr entweichen, hergestellt wird.

Aus dem Tropftrichter wird die Flüssigkeit – für die Sauerstoffentwicklung 10%ge-Wasserstoffperoxidlösung – tropfenweise zugegeben und die Tropfgeschwindigkeit so eingestellt, daß ein ausreichender Gasstrom entsteht. Hat sich ein größeres Volumen Flüssigkeit im unteren Teil des Apparates gesammelt, so kann Flüssigkeit – bei der Darstellung von Sauerstoff auch während der Gasentnahme – abgenommen werden. Es ist aber darauf zu achten, daß keine Luft durch den Ablaßhahn einströmt.

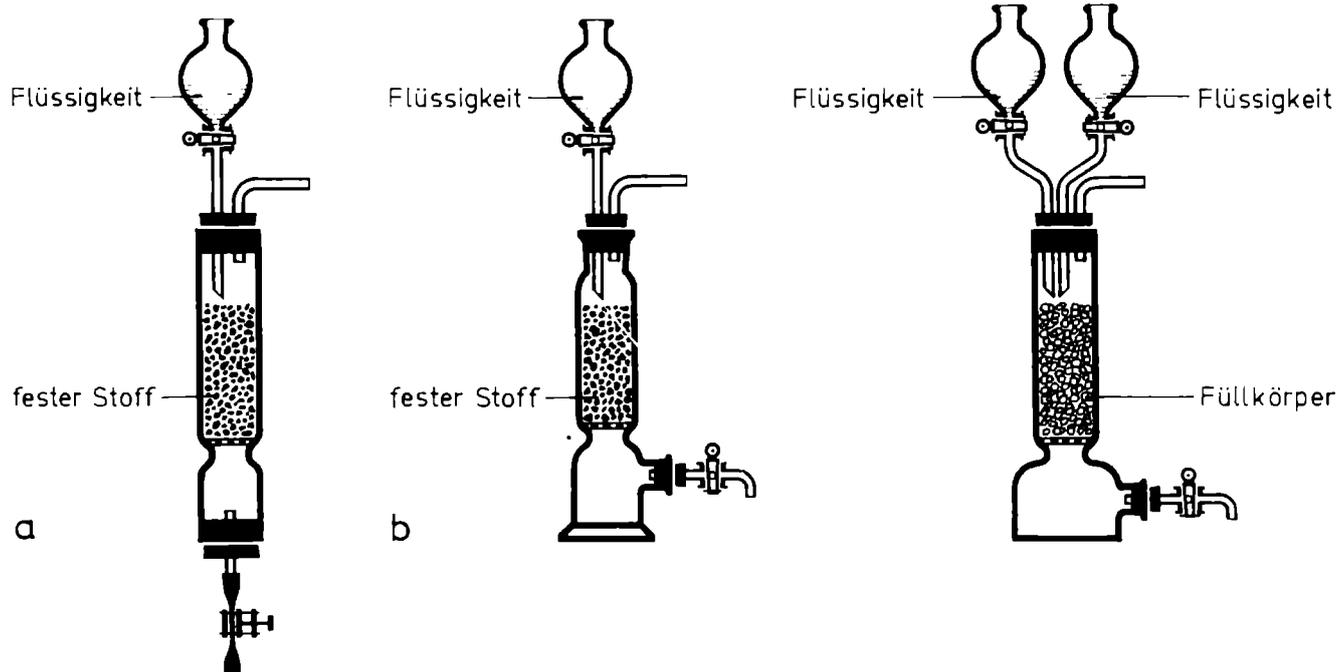


Abb. 212

Abb. 213

Abb. 212 Gasentwickler mit Flüssigkeitsablauf (Durchlaufgasentwickler)

Abb. 213 Durchlaufgasentwickler für die Reaktion von zwei Flüssigkeiten

### 2.1.3.2. Reaktion zweier Flüssigkeiten

Eine zweite Möglichkeit zur Darstellung von Gasen ist die Reaktion von zwei Flüssigkeiten miteinander. Als Gasentwickler werden meist die nicht selbstregelnden Apparate (↗ Abb. 205 b, S. 157; Innendeckel vorn 1 M a und b) verwendet, vor allem der Zutropfgasentwickler.

Der selbstregelnde Gasentwickler nach *Liebetau* (↗ S. 160) ist ebenfalls für die Reaktion zweier Flüssigkeiten geeignet.

Im Rundkolben wird beim *Zutropfgasentwickler* die thermisch stabilere oder, wenn das nicht zu beachten ist, die billigere Flüssigkeit vorgelegt. Bei Schülerexperimenten ist es zur besseren Durchmischung der Flüssigkeiten günstig, statt der Reagenzgläser kleine Rundkolben einzusetzen.

Eine Variante des *Durchlaufgasentwicklers* ist auch für die Reaktion von zwei Flüssigkeiten verwendbar, wenn statt des festen Stoffes Füllkörper, zum Beispiel Glasperlen oder Raschigringe, in das Rohr oder den Trockenturm gebracht werden (Abb. 213). Die beiden Flüssigkeiten werden aus zwei Tropftrichtern in etwa stöchiometrischem Verhältnis (Reaktionsgleichung und Konzentrationen beachten!) möglichst auf eine Stelle der Füllkörper getropft. Der Umgang mit diesem Apparat entspricht sonst den früheren Angaben (↗ S. 164). Durch Reaktion zweier Flüssigkeiten können verschiedene Gase dargestellt werden (Tab. 78).

**Tabelle 78** Darstellung von Gasen aus zwei Flüssigkeiten

Gas	Ausgangsstoffe		Darstellbares Gasvolumen aus 10 ml vorgelegter Flüssigkeit in ml	Bemerkungen Arbeitsschutz
	Vorgelegte Flüssigkeit	Zugesetzte Flüssigkeit		
Stickstoff	gesättigte Ammoniumchloridlösung	gesättigte Natriumnitritlösung (Gift 2)	800 (stark schwankend)	Starke Wärmeentwicklung! Wird Schaumkrone höher als 2 cm, durch Eintauchen in Wasser kühlen!
Sauerstoff	konzentrierte Lösung von Kaliumpermanganat in 1 M Schwefelsäure	Wasserstoffperoxidlösung (15%ig)	750 bezogen auf 10 ml Wasserstoffperoxidlösung	
Ammoniak	konzentrierte Ammoniaklösung (Gift 2)	konzentrierte Natrium- oder Kaliumhydroxidlösung (Gift 2)	700	
Kohlendioxid	konzentrierte Natriumcarbonatlösung	3 M Chlorwasserstoffsäure (etwa 10%ig)	170	
Schwefeldioxid	gesättigte Natriumhydrogensulfidlösung	7 M Schwefelsäure (etwa 50%ig) (Gift 2)	750	
Kohlenmonoxid	Methansäure 50 ... 60 °C warm (Gift 2)	konzentrierte Schwefelsäure (Gift 2)	900	Starkes Blut- und Atemgift! Darstellung nur in sehr kleinen Gasentwicklern unter gut ziehendem Abzug!
Chlorwasserstoff	konzentrierte Chlorwasserstoffsäure (Gift 2)	konzentrierte Schwefelsäure (Gift 2)	250	
Ethen	bei 250 °C entwässerte Phosphorsäure (Gift 2) auf 220 °C erhitzt	Ethanol	740 aus 10 ml Ethanol	Mit Luft explosiv!



Abb. 214 Beginn des kräftigen Erhitzens

Abb. 214 Gasentwickler für die Zersetzung von festen Stoffen

### 2.1.3.3. Thermische Zersetzung von festen Stoffen

#### Darstellung von Gasen aus einem Stoff oder aus Stoffgemischen

Als einfacher Apparat für diese Art der Gasdarstellung wird ein Reagenzglas mit Stopfen und Gasableitungsrohr benutzt (Abb. 214; Innendeckel vorn 6 M a). Der Apparat ist waagrecht zum Stopfen hin etwas nach unten geneigt einzuspannen, damit Flüssigkeitstropfen, die sich in der Nähe des Stopfens abscheiden, nicht an die stark erhitzten Reagenzglassteile gelangen können. Kolben sind deshalb ungeeignet. Um das Herausschleudern von Stoffen, besonders von pulverförmigen Stoffen, zu vermeiden, kann vor der Gasableitung ein Glaswattebausch angeordnet werden. An der oberen Seite des Reagenzglases soll über dem festen Stoff ein Kanal zum Abzug der Gase frei bleiben. Dieser Kanal entsteht durch vorsichtiges Klopfen auf das Reagenzglas bei waagerechter Lage. Der Kanal kann auch mit einer Stricknadel gestochen werden.

Die Stärke der Gasentwicklung hängt vom *Erhitzen der Ausgangsstoffe* ab. Zunächst ist das gesamte Reagenzglas mit leuchtender Brennerflamme vorzuwärmen. Dann wird der Stoff oder das Stoffgemisch an der der Gasableitung nächstgelegenen Stelle erhitzt. Mit fortschreitender Zersetzung ist der Brenner jeweils 1 ... 2 cm in Richtung des Reagenzglasbodens weiterzurücken. Die Stärke der Gasentwicklung muß durch einen Blasenähler oder an einer Gaswaschflasche ständig kontrolliert werden. Beim Erhitzen von Alkalimetallhydroxiden wird das Glas stark angegriffen und zerspringt leicht. Deshalb ist zu empfehlen, mehrere Reagenzgläser mit dem Stoffgemisch bereitzulegen, die ausgetauscht werden können. Wird das Erhitzen unterbrochen, so ist der Gasentwickler sofort von der übrigen Apparatur zu trennen, da die Gefahr des Zurückströmens von Flüssigkeit besteht. Oft braucht dazu nur der Stopfen am Gasentwickler gelockert zu werden. Durch thermische Zersetzung von festen Stoffen können verschiedene Gase dargestellt werden (Tab. 79).

**Tabelle 79** Darstellung von Gasen durch thermische Zersetzung fester Stoffe

Gas	Ausgangsstoffe	Darstellbares Gasvolumen aus 1 g festem Stoff oder Stoffgemisch in ml	Bemerkungen Arbeitsschutz
Sauerstoff	a) Kaliumpermanganat	100	Vorsicht, nur reines Kaliumchlorat verwenden – Explosionsgefahr!
	b) 3 g Kaliumchlorat, gemischt mit 2 g Mangan(IV)-oxid (Braunstein)	160	
Ammoniak	Gemisch von 10 g Ammoniumchlorid und 7 g Calciumhydroxid (Gift 2)	160	
Schwefelwasserstoff	Gemisch von 1 g Paraffin, 1 g Kieselgur und 2 g Schwefel, auf 150 °C erwärmt Gemisch muß vor dem Einfüllen durch Erwärmen auf 50 °C zu einer homogenen Masse verschmolzen worden sein	210	Vorsicht, giftiges Gas!
Stickstoffdioxid	Blei(II)-nitrat (Gift 2)	120	Giftiges Gas!
Kohlenmonoxid	Gemisch aus 2 g Zink mit 1 g Calciumcarbonat	75	Starkes Blut- und Atemgift! Mit Luft explosiv!
Methan	1 g entwässertes Natriumacetat, gemischt mit 1 g Natronkalk	80	Mit Luft explosiv!

### Arbeiten mit einem einfachen Dampferzeuger

Eine Sonderform der beschriebenen Verfahren zur Darstellung von Gasen ist das Erzeugen eines schwachen Dampfstroms leicht verdampfbarer Flüssigkeiten, zum Beispiel Wasserdampf, Methanoldampf. In diesem Falle wird der gleiche Apparat wie bei der Gasdarstellung durch thermische Zersetzung benutzt (Abb. 214; Innendeckel vorn 6 M a und b). In das Reagenzglas wird ein feinkörniges Trägermaterial (z. B. Sand, feiner Bimsstein, Aktivkohle) eingefüllt und mit einem Tropfer dann die Flüssigkeit so aufgetropft, daß das Trägermaterial durchfeuchtet ist, sich aber keine Flüssigkeitstropfen an der Reagenzglaswand befinden. Beim waagerechten Einspannen des Reagenzglases darf ebenfalls keine Flüssigkeit aus dem Trägermaterial herauslaufen. Nach dem Aufsetzen der Gasableitung wird ebenfalls von der Seite der Gasableitung zum Boden des Reagenzglases hin erwärmt, wobei die Temperatur der Brennerflamme der Siedetemperatur der Flüssigkeit anzupassen ist. Meistens reicht eine kleine, leuchtende Flamme oder sogar die Sparflamme des Brenners aus.

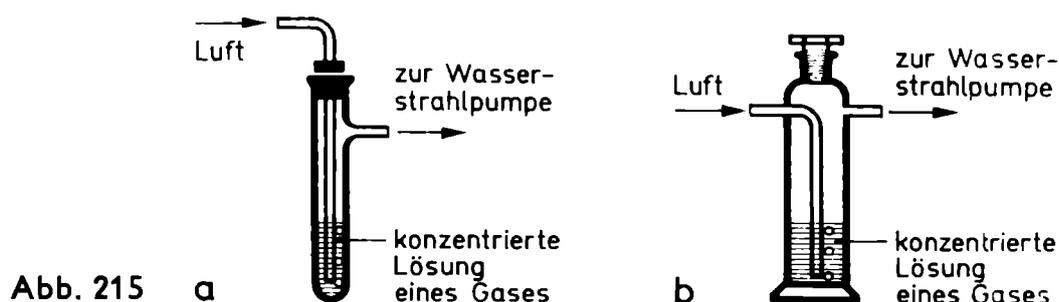


Abb. 215 Reagenzglas mit Seitenrohr (a) und Gaswaschflasche (b) zur Herstellung von Gas-Luft-Gemischen

Nach Abschluß des Verdampfungsvorgangs muß der Gasentwickler sofort von der Apparatur getrennt werden, was durch Lockern des Stopfens zu erreichen ist.

### 2.1.3.4. Erhitzen von Flüssigkeiten

Einige Gase können durch vorsichtiges Erwärmen aus Flüssigkeiten oder aus wäßrigen Lösungen von Gasen auf maximal 60 ... 70 °C ausgetrieben werden (Tab. 80). Sie weisen in letztgenanntem Falle allerdings einen sehr hohen Anteil an Wasserdampf auf und müßten gegebenenfalls getrocknet werden (↗ S. 194). Als Apparate sind Rundkolben mit Stopfen und Gasableitung oder für Schülerexperimente Reagenzgläser mit einer Gasableitung geeignet (Innendeckel vorn 6 M).

**Tabelle 80** Darstellung von Gasen durch Erhitzen von Flüssigkeiten

Gas	Ausgangsstoffe	Darstellbares Gasvolumen aus 10 ml Flüssigkeit in ml	Bemerkungen Arbeitsschutz
Chlorwasserstoff	rauchende Chlorwasserstoffsäure (Gift 2)	600	
Ammoniak	konzentrierte Ammoniaklösung (Gift 2)	1 400	
Schwefeldioxid	schweflige Säure	100	
Ethen	Gemisch von 10 ml Ethanol und 20 ml konzentrierter Schwefelsäure (Gift 2) auf 160 ... 170 °C erhitzen	700	Mit Luft explosiv!

Sind für bestimmte Experimente Gemische der aufgeführten Gase (Tab. 80) mit Luft notwendig, zum Beispiel zur katalytischen Oxydation von Ammoniak oder Schwefeldioxid, so kann ein Luftstrom durch oder besser noch dicht über die entsprechenden konzentrierten Lösungen gesaugt oder gedrückt werden (Abb. 215). Das Gasgemisch hat dann gleichfalls einen hohen Anteil an Wasserdampf.

### 2.1.3.5. Herstellungsmöglichkeiten einiger Gase

In den vorangegangenen Abschnitten sind verschiedene Möglichkeiten zur Herstellung von Gasen beschrieben worden. Dabei haben die unterschiedlichen Arbeitstechniken im Vordergrund gestanden. Nachstehend sind die Herstellungsmöglichkeiten der wichtigsten Gase zusammengestellt worden. Dabei werden jeweils nur die gebräuchlichsten Verfahren und Geräte angegeben (Tab. 81).

**Tabelle 81** Gebräuchliche Darstellung einiger Gase

Gas	Ausgangsstoffe	Gebräuchlicher Gasentwickler für Demonstrationen (Innendeckel vorn)	Hinweis
Sauerstoff <sup>2</sup>	Wasserstoffperoxidlösung (10%ig) und Mangan(IV)-oxid	Durchlaufgasentwickler Zutropfgasentwickler (1 M a, b)	(↗ S. 164) (↗ Band 3, Experiment 297)
	Erhitzen von Kaliumpermanganat	Reagenzglas mit Ableitung (6 M a)	Glaswattebauch in Reagenzglas-mündung bringen!
Wasserstoff <sup>2</sup>	Zink und 3 ... 6 M Chlorwasserstoffsäure (10 ... 20%ig) (Gift 2)	Kippscher Gasentwickler (1 M c) Zutropfgasentwickler (1 M a, b)	(↗ S. 161) (↗ Band 2, Experiment 4) Knallgasprobe!
	Luft über glühendes Kupfer (Drahtform) leiten <sup>1</sup> gesättigte Natriumnitritlösung (Gift 2) und Ammoniumchloridlösung (40 ... 50 °C)	Verbrennungsröhr Zutropfgasentwickler (1 M a, b)	(↗ Band 3, Experiment 154) Meist Kühlung notwendig! (↗ Band 3, Experiment 155)
Ammoniak	Erhitzen von konzentrierter Ammoniaklösung (Gift 2) auf 60 ... 70 °C	Rundkolben mit Ableitung	Gas ist sehr feucht! (↗ Band 3, Experiment 159)
	konzentrierte Ammoniumchloridlösung und Natriumhydroxid (Gift 2)	Zutropfgasentwickler (1 M a, b)	(↗ Band 3, Experiment 158)

<sup>1</sup> Nicht als besondere Technik zur Gasentwicklung beschrieben.

<sup>2</sup> Das Gas kann auch aus Druckgasflaschen entnommen werden.

Gas	Ausgangsstoffe	Gebräuchlicher Gasentwickler für Demonstrationen (Innendeckel vorn)	Hinweis
Chlor	Kaliumpermanganat und konzentrierte Chlorwasserstoffsäure (Gift 2)	Zutropfgasentwickler (1 M a, b)	Giftigkeit des Gases (Gift 2) (↗ Band 3, Experiment 500)
Chlorwasserstoff	Natriumchlorid und konzentrierte Schwefelsäure (Gift 2) unter Erwärmen	Zutropfgasentwickler (1 M a, b)	stark ätzend (↗ Band 3, Experiment 509)
Schwefeldioxid	gesättigte Natriumhydrogensulfid-lösung und 7 M Schwefelsäure (50 %ig) (Gift 2) Natriumsulfit und konzentrierte Schwefel- oder 5 M Chlorwasserstoffsäure (Gift 2)	Zutropfgasentwickler (1 M a, b) Zutropfgasentwickler (1 M a, b)	
Schwefelwasserstoff	Eisen(II)-sulfid und 3 M Chlorwasserstoffsäure (10 %ig)	Kippscher Gasentwickler (1 M c) Zutropfgasentwickler (1 M a, b)	Giftigkeit des Gases (↗ Band 3, Experiment 342)
	Erhitzen eines Gemisches von Paraffin, Kieselgur und Schwefel	Reagenzglas mit Ableitung (6 M a)	
Kohlendioxid	Calciumcarbonatstücke und 3 M Chlorwasserstoffsäure (10 %ig)	Kippscher Gasentwickler (1 M c) Zutropfgasentwickler (1 M a)	(↗ Band 3, Experiment 40)
Kohlenmonoxid	konzentrierte Methansäure (Gift 2) (50 ... 60 °C) und konzentrierte Schwefelsäure (Gift 2)	Zutropfgasentwickler (1 M a, b)	Starke Giftigkeit des Gases, darf nicht in den Klassenraum entweichen! Knallgasprobe! (↗ Band 4, Experiment 240)
Methan	Erhitzen eines Gemisches aus Natriumacetat und Natriumhydroxid (Gift 2)	Reagenzglas mit Ableitung (6 M a)	Knallgasprobe! (↗ Band 4, Experiment 25)

Gas	Ausgangsstoffe	Gebräuchlicher Gasentwickler für Demonstrationen (Innendeckel vorn)	Hinweis
Ethen	Erhitzen eines Gemisches von Ethanol und konzentrierter Schwefelsäure (Gift 2) auf 160 °C Überleiten von Ethanoldampf über Aluminiumoxid-Katalysator	Rundkolben mit Ableitung (8 M) Verbrennungsröhr (4 M)	(↗ S. 169) (↗ Band 4, Experiment 44)
Ethin	Calciumcarbid und Wasser	Zutropf- oder Einwurfgasentwickler	Knallgasprobe! Carbidreste nicht in Ausguß- oder Abfallgefäße geben! (↗ Band 4, Experiment 56)

## 2.1.4. Auffangen, Aufbewahren und Messen von Gasen

Gase sind bei vielen Experimenten aufzufangen und gegebenenfalls für eine spätere Verwendung aufzubewahren. Dabei lassen sich grundsätzlich zwei Verfahrensweisen unterscheiden, das trockene Auffangen und das Auffangen über Sperrflüssigkeiten. Welche Verfahrensweise gewählt wird, hängt von den Eigenschaften des jeweiligen Gases und den Reaktionsbedingungen ab. Apparate, in denen das aufgefangene Gas nur gesammelt wird (Gassammelapparate), und Apparate zum Messen von Gasvolumen (Gasmeßapparate) sind oft nach dem gleichen Prinzip gebaut. Deshalb sollen sie auch jeweils im Zusammenhang dargestellt werden. Explosive Gasgemische und Ethin dürfen in Gassammel- oder Gasmeßapparaten nicht aufgefangen werden. Brennbare Gase (Wasserstoff, Methan) dürfen nur vorübergehend aufbewahrt werden.

### 2.1.4.1. Trockenes Auffangen und Messen von Gasen

#### Allgemeine Grundlagen

Da im Chemieunterricht fast ausschließlich Wasser und konzentrierte wäßrige Lösungen als Sperrflüssigkeit beim Auffangen von Gasen in Betracht kommen, müssen Gase, die sich stark oder merklich in Wasser lösen (Tab. 82), im allgemeinen trocken aufgefangen werden. Das kann auch notwendig sein, wenn ein trockenes Gas als Ausgangsstoff zu verwenden ist. Beim trockenen Auffangen von Gasen wird

aus einem Gefäß die darin befindliche Luft durch Einleiten eines anderen Gases verdrängt. Dabei sind zwei charakteristische Arbeitsweisen üblich, das Einleiten in ein offenes Gefäß und das Durchströmen eines geschlossenen Gefäßes (Abb. 216). Einen Sonderfall stellt das Einsaugen eines Gases in den Kolbenprober dar. Bei der Auswahl der Arbeitsweise sind neben den Reaktionsbedingungen die *Eigenschaften der Gase* zu berücksichtigen. Beim Einleiten in offene Gefäße muß das Gas eine deutlich unterschiedliche Dichte gegenüber Luft haben. Außerdem ist stets mit dem Entweichen von Gas in den Unterrichtsraum zu rechnen. Bei brennbaren Gasen, die explosive Gemische mit Luft bilden, oder bei giftigen, ätzenden oder stark riechenden Gasen ist deshalb möglichst eine andere Arbeitsweise zu wählen (Tab. 82).

**Tabelle 82** Wichtige Eigenschaften von Gasen

Gas	Löslichkeit in Wasser l Gas in 1 l Wasser bei 20 °C <sup>1</sup>		Dichte bezogen auf Luft (=1)	Brennbarkeit- Explosivität mit Luft
Sauerstoff	0,031	kaum löslich	1,10	wenig größer
Wasserstoff	0,018	kaum löslich	0,07	kleiner ja
Stickstoff	0,015	kaum löslich	0,97	wenig kleiner
Ammoniak	702	sehr stark löslich	0,59	kleiner ja (in reinem Sauerstoff)
Chlor	2,26	merklich löslich	2,49	größer
Chlorwasserstoff	450	sehr stark löslich	1,27	größer
Schwefeldioxid	39,37	stark löslich	2,26	größer
Schwefelwasserstoff	2,55	merklich löslich	1,19	größer ja
Kohlendioxid	0,88	wenig löslich	1,53	größer
Kohlenmonoxid	0,023	kaum löslich	0,97	wenig kleiner ja
Methan	0,033	kaum löslich	0,55	kleiner ja
Propan	0,06	kaum löslich	1,55	größer ja
Ethen	0,12	kaum löslich	0,97	wenig kleiner ja
Ethin	1,05	wenig löslich	0,91	kleiner ja

<sup>1</sup> Es gilt: bis 0,1 l Gas je l Wasser kaum löslich  
 0,1 ... 1 l Gas je l Wasser wenig löslich  
 1 ... 10 l Gas je l Wasser merklich löslich  
 über 10 l Gas je l Wasser stark löslich

### Trockenes Auffangen in einem offenen Gefäß durch Luftverdrängung

Das Gas wird in das Gefäß mit einem rechtwinkligen Glasrohr eingeleitet, wobei die Dichte gegenüber Luft zu beachten ist (Abb. 216 a<sub>1</sub>). Das Einleitungsrohr soll bis zum Boden des Gefäßes reichen und der Gasstrom langsam sein, damit die Luft aus dem Auffanggefäß gleichmäßig durch das einströmende Gas verdrängt werden kann. Zur *Füllung des Gefäßes* ist eine angemessene Zeit notwendig. In manchen Fällen kann durch geeignete Hilfsmittel, zum Beispiel Reagenzpapiere oder einen glimmenden Holzspan bei Sauerstoff, geprüft werden, ob das Auffanggefäß bis zur Mündung gefüllt ist. Dann wird das Einleitungsrohr langsam herausgezogen. Enghalsige Gefäße sind mit einem Stopfen, weithalsige Gefäße, wie Standzylinder, mit einer Deckplatte zu verschließen.

Zum Einleiten von Gasen in Reagenzgläser sollte kein Schlauch benutzt werden, da er ein zu großes Volumen hat. In der angegebenen Weise ist auch mit Reagenzgläsern zu verfahren, wenn die *Knallgasprobe* ausgeführt werden soll. Das Einleiten erfolgt in das senkrecht mit der Öffnung nach unten gehaltene Reagenzglas. Nach dem Füllen wird es sofort mit dem Daumen verschlossen, mit der Öffnung nach unten in die Nähe der Brennerflamme gebracht und dort in etwa 20 ... 30 mm Abstand geöffnet. Die Knallgasprobe ist nur negativ, wenn sich das Gas im Reagenzglas unter leichtem Puffen entzündet und ruhig abbrennt. Dabei ist die Flammenzone zu beobachten oder das Fortschreiten der Erwärmung des Glases mit dem Handrücken zu verfolgen. Tritt ein pfeifendes Geräusch oder gar kein Effekt auf, so ist die Probe positiv; es ist also noch Knallgas oder sogar nur Luft vorhanden. Die Knallgasprobe ist so oft mit jeweils einem neuen Reagenzglas zu wiederholen, bis sie eindeutig negativ ausfällt. Gegebenenfalls ist nochmals zu überprüfen, ob der Gasentwickler oder die Apparatur völlig dicht ist.

### Trockenes Auffangen beim Durchströmen geschlossener Gefäße

Beim trockenen Auffangen durch Einleiten in offene Gefäße (z. B. Standzylinder, Reagenzgläser), entweicht stets ein Teil des Gases in die umgebende Luft. Das muß jedoch oft vermieden werden. Zuweilen wird empfohlen, über das Einleitungsrohr eine Pappscheibe zu schieben und das Auffanggefäß damit abzudecken. Dieses Vorgehen kann natürlich kein ausreichender Schutz sein. Er läßt sich nur erreichen, wenn geschlossene Gefäße benutzt werden, die eine Zu- und Ableitung haben. Das aufzufangende Gas strömt durch dieses Gerät, und überschüssiges, ausströmendes Gas kann mit einer *Absorptionsvorlage* (↗ S. 190), durch Einleiten in den Abzug oder in bestimmten Situationen auch durch Verbrennen (↗ S. 196f.) beseitigt werden, ohne daß Gefahren oder Belästigungen entstehen.

Im Chemieunterricht werden vor allem zwei Möglichkeiten benutzt. Meist sind *Gaswaschflaschen* üblich, die von dem aufzufangenden Gas durchströmt werden. Recht günstig sind Flaschen nach *Drechsel* (↗ S. 48). Nach Abnehmen des Schliffaufsatzes mit dem Einleitungsrohr kann das Gas in diesen Flaschen wie in einem Standzylinder untersucht werden. Oft ist es günstig, mehrere leere, hintereinander angeordnete Gaswaschflaschen mit einem Gas, zum Beispiel Chlor, für verschiedene Reaktionen zu füllen (z. B. Bleichwirkung, Reaktion mit Kupfer- oder Eisendraht).

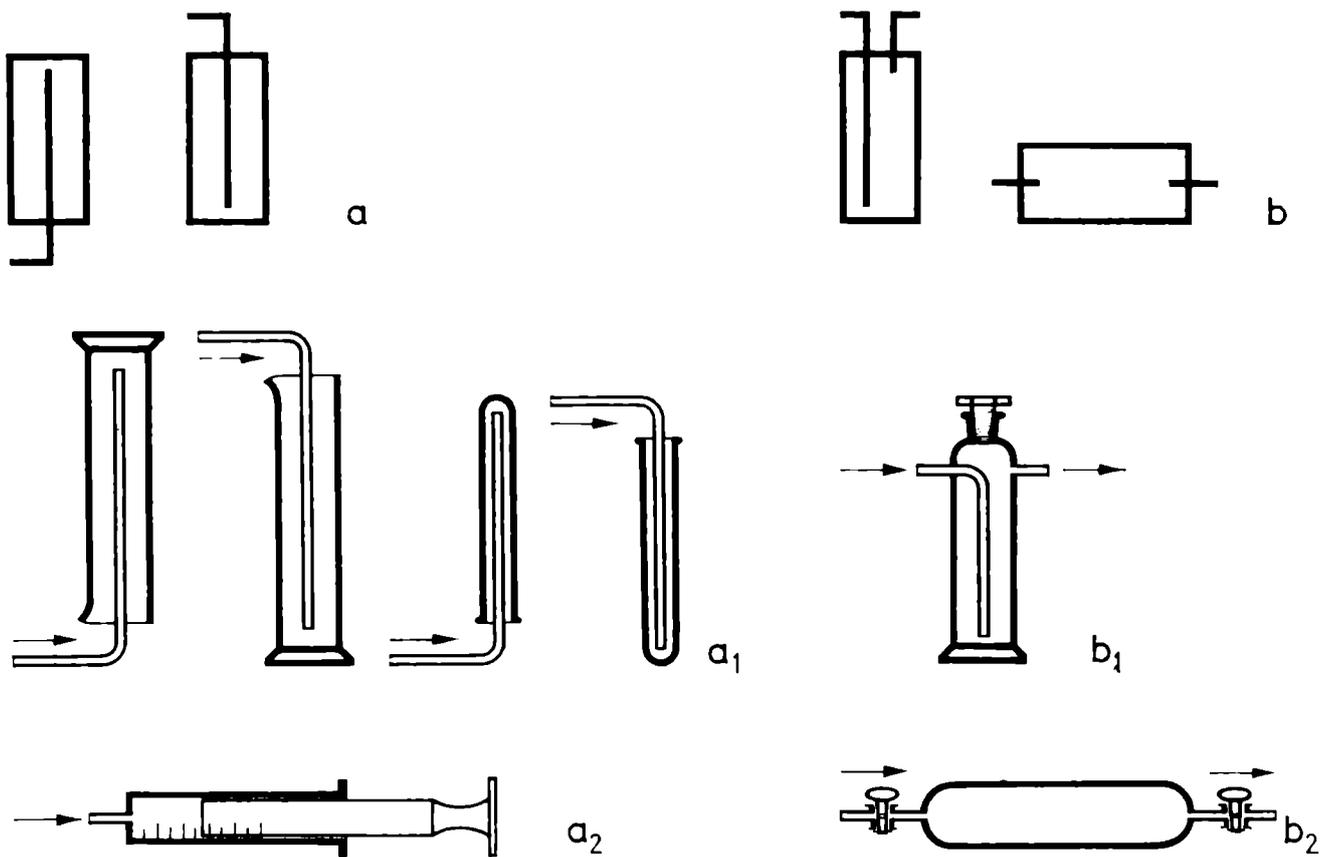


Abb. 216

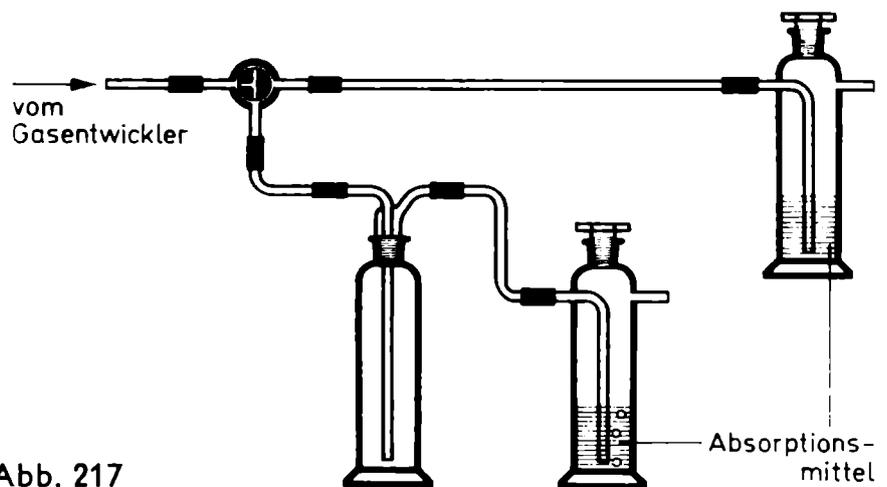


Abb. 217

Abb. 216 Trockenes Auffangen und Messen von Gasen

a) Prinzip des Einleitens a<sub>1</sub>) Auffangen durch Luftverdrängung, a<sub>2</sub>) Kolbenprobe, b) Prinzip des Durchströmens b<sub>1</sub>) Gaswaschflasche, b<sub>2</sub>) Gassammelrohr (Glaswalze)

Abb. 217 Auffangen giftiger Gase in geschlossener Apparatur

Um ein Entweichen des Gases in den Unterrichtsraum zu verhindern, besonders wenn ein nicht selbstregelnder Gasentwickler benutzt wird (↗ S. 163), empfiehlt sich eine Anordnung der Gaswaschflasche mit Hilfe eines Dreiweghahns (Abb. 217). Bis zur Füllung der Gefäße muß eine angemessene Zeit gewartet werden. Gegebenenfalls ist eine Kontrolle durch die Färbung (z. B. bei Chlor) oder durch Reagenzpapier in der Ableitung des letzten Auffanggefäßes möglich.

Eine weitere, aber recht spezielle Möglichkeit besteht darin, das Gas durch eine Glaswalze (↗ S. 48) zu leiten, in der es dann auch einige Zeit aufbewahrt werden kann. Zur Füllung muß das Gas die Glaswalze ausreichende Zeit durchströmen,

bevor die beiden Hähne geschlossen werden. Glaswalzen haben ein Volumen von 250 ml oder 500 ml. Sie werden hauptsächlich benutzt, um die Dichte von Gasen durch Wägung zu ermitteln. Dazu erfolgt zunächst die Wägung des Gerätes mit Luft und dann mit dem betreffenden Gas. Der Massenunterschied ist die Differenz zur entsprechenden Masse der Luft bei der jeweiligen Temperatur.

### Verwendung von Kolbenprobern

Ein spezieller Gasmessapparat für die Arbeit im Chemieunterricht ist der Kolbenprober (↗ S. 61). Er ist auch geeignet, ein Gas anzusaugen und später bei Bedarf wieder herauszudrücken, ohne dabei Messungen vorzunehmen. Das geschieht jedoch bei chemischen Experimenten kaum.

Beim Kolbenprober läßt sich in einer graduierten Glashülse mit Ansatzrohr ein gasdicht eingeschliffener Kolben bewegen. Da kein Wasser als Sperrflüssigkeit benutzt wird, ist der Kolbenprober auch für Experimente mit wasserlöslichen Gasen geeignet. Weitere Vorteile sind das leicht verständliche Arbeitsprinzip und die Möglichkeit, im Sonderfall auch einige Reaktionen direkt im Kolbenprober auszuführen. Nachteilig ist, daß das aufgefangene Gas nicht ohne weiteres, zum Beispiel für die Spanprobe, zugänglich ist. Im allgemeinen stört das aber kaum. Der Kolbenprober kann prinzipiell in zweierlei Weise im Chemieunterricht eingesetzt werden:

- Feststellen des Gasvolumens, das bei einer Reaktion verbraucht oder freigesetzt wird, durch Anschluß des Kolbenprobers an das Reaktionsgefäß (Abb. 218 a)
- Feststellen der Volumenänderung eines Gases bei einer Reaktion mit zwei Kolbenprobern, zwischen denen das Reaktionsgefäß angeordnet wird (Abb. 218 b).

Die Geräteanordnung kann dabei noch erweitert und verändert werden. Für den *Anschluß des Kolbenprobers* gibt es je nach den Reaktionsbedingungen vier Einsatzmöglichkeiten (Abb. 219):

- direkter Anschluß mit Schlauchverbindung
- Anschluß mit Schlauchverbindung und Quetschhahn beziehungsweise über ein Hahnrohr, um den Kolbenprober abnehmen und eventuell auswechseln zu können
- Anschluß über Dreiweghahn oder T-Stück mit Schlauch und Quetschhahn (Abb. 218 b) bei Apparaturen mit zwei Kolbenprobern, um das Gas ansaugen und gegebenenfalls Druckausgleich herstellen zu können
- Anschluß mit zusätzlichem Manometerrohr über Dreiweghahn, der nur beim Ablesen zum Erhöhen der Genauigkeit (Angleichen an äußeren Luftdruck) eingeschaltet wird. Diese Anordnung ist wegen ihrer Kompliziertheit nur bei sehr hohen Ansprüchen an die Genauigkeit gebräuchlich.

Jeder Kolbenprober ist vor der Benutzung auf *Dichtheit* zu prüfen. Dazu wird der Kolben etwa zur Hälfte herausgezogen und das Ansatzrohr mit dem Daumen verschlossen. Wird nun der Kolben etwas herausgezogen oder in die Hülse hineingedrückt, so muß er beim Nachlassen des Druckes in die Ausgangsstellung zurück-

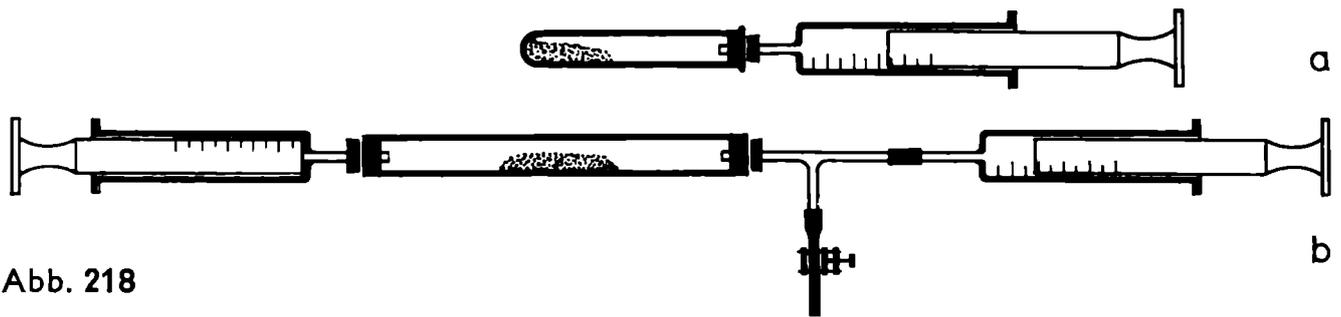


Abb. 218

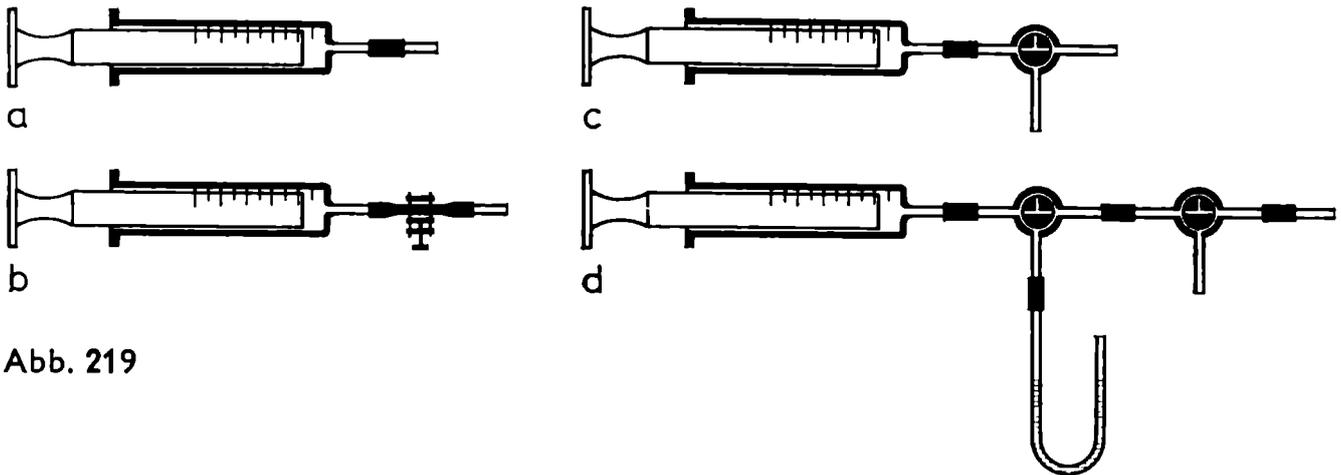


Abb. 219

Abb. 218 Typische Anwendungsmöglichkeiten des Kolbenprobers

- a) Bestimmen des Gasvolumens mit einem Kolbenprober,  
 b) Feststellen der Änderung des Gasvolumens mit zwei Kolbenprobern

Abb. 219 Varianten für den Anschluß von Kolbenprobern

gehen. Der Kolben darf dabei keinesfalls zurückschnellen, sondern die Bewegung muß etwas mit der Hand gebremst werden. Diese Probe ist mehrmals nacheinander zu wiederholen. Der Kolben soll ferner bei allen Stellungen leicht in der Hülse drehbar sein. Kolbenprober, die diesen Forderungen nicht entsprechen, sind nur bedingt verwendbar. Der Schliff wird im allgemeinen nicht gefettet oder befeuchtet. Nur wenn das in der Experimentbeschreibung ausdrücklich angegeben ist, kann leicht mit Paraffinöl oder Glycerol eingerieben werden.

Bei der Verwendung des Kolbenprobers im Chemieunterricht ist folgendes zu beachten:

- Der Kolbenprober darf nicht mit einer Stativklemme, die eckige Backen hat, am Stativ befestigt werden, da durch den hierbei auftretenden Druck die Hülse etwas deformiert und damit die freie Beweglichkeit des Kolbens eingeschränkt werden kann und außerdem erhöhte Bruchgefahr besteht. Es sind Stativklammen mit runden Backen zu verwenden, in die der Kolbenprober nur eingelegt, aber nicht festgeklemmt wird. Es können aber auch besondere Haltevorrichtungen aus Holz angefertigt werden (Abb. 220).
- Der Kolbenprober soll möglichst in waagerechter Lage benutzt werden, damit durch die Masse des Kolbens kein zusätzlicher Über- oder Unterdruck entsteht.
- Es ist jeweils nur mit Gasvolumen zu arbeiten, die 50 ... 60% des Kolbenprobervolumens ausmachen; das gilt ganz besonders bei Experimenten mit Wasserstoff (Schliff gegen dieses Gas nicht dicht genug).

- Wird ein Gas mit Hilfe von zwei Kolbenprobern durch ein Reaktionsgefäß geleitet, so sind stets beide Kolben zu bewegen. Wird nur an einem geschoben oder gezogen, so kann ein entstehender Über- oder Unterdruck zu Gasverlusten führen.
- Die Kolben sind beim Bewegen leicht in den Hülsen zu drehen.

Kolbenprober können durch trockenes Auswischen mit einem Leinentuch gereinigt werden. Dabei dürfen keine Faserstückchen auf dem Schliff haften bleiben. Nach der Reinigung mit destilliertem Wasser sollten die Kolbenprober etwa 30 min bei 120 °C im Trockenschrank trocknen und dann im Exsikkator über Calciumchlorid abkühlen. Zueinander gehörende Teile (Hülse und Kolben) sind mit übereinstimmenden eingezätzten Nummern zu versehen, um ein Vertauschen zu vermeiden. Zur Lagerung der Kolbenprober sind in die Hülsen dünne Korkscheiben zum Schutz einzulegen.

#### 2.1.4.2. Auffangen und Messen von Gasen über Sperrflüssigkeiten

##### Allgemeine Grundlagen

Eine zweite, besonders häufig angewandte Verfahrensweise ist das Auffangen von Gasen über Sperrflüssigkeiten, wobei im Chemieunterricht vorwiegend Wasser, in einzelnen Fällen auch gesättigte Natriumchloridlösung, jedoch kaum Quecksilber geeignet ist. Voraussetzung ist geringe Löslichkeit des Gases in der Sperrflüssigkeit (↗ Tab. 82, S. 173).

Bei vielen Demonstrationsexperimenten ist es günstig, die Sperrflüssigkeit anzufärben, wobei, abgesehen von einigen beabsichtigten Ausnahmen, das aufzufangende Gas nicht mit dem Farbstoff reagieren darf. Sperrflüssigkeiten dürfen nicht für verschiedene Gase benutzt werden. Ausgenommen davon ist Quecksilber.

Die Apparate für das Auffangen und Messen von Gasen über Sperrflüssigkeiten lassen sich auf vier Typen zurückführen (Abb. 221):

- Einseitig geschlossenes Rohr, das von unten durch Wasserverdrängung mit Gas gefüllt wird (pneumatische Gas auffangvorrichtung; Innendeckel vorn 3 M)
- Glasglocke in einem größeren Gefäß mit Wasser
- Apparat mit Niveaugefäß
- Apparat mit Sperrflüssigkeitsüberlauf oder -ablauf

Der erstgenannte Typ ist nur zum Auffangen des Gases geeignet. Die drei anderen Typen werden außerdem zur Gas aufbewahrung verwendet, da aus den Auffanggefäßen das Gas leicht wieder zu entnehmen ist.

*Gassammel- und Gasmeßapparate* des gleichen Typs unterscheiden sich oft wenig in ihrem Aufbau und der Bedienung. Für die Gasmeßapparate werden nur graduierte Auffanggefäße benutzt, die je nach der erforderlichen Genauigkeit und dem zu erwartenden Gasvolumen auszuwählen sind. Je geringer der Durchmesser eines solchen Gefäßes ist, desto genauere Ablesungen sind möglich.

Das Ablesen eines aufgefangenen Gasvolumens darf erst erfolgen, wenn das Gas Zimmertemperatur angenommen hat. Deshalb sollte die Sperrflüssigkeit stets

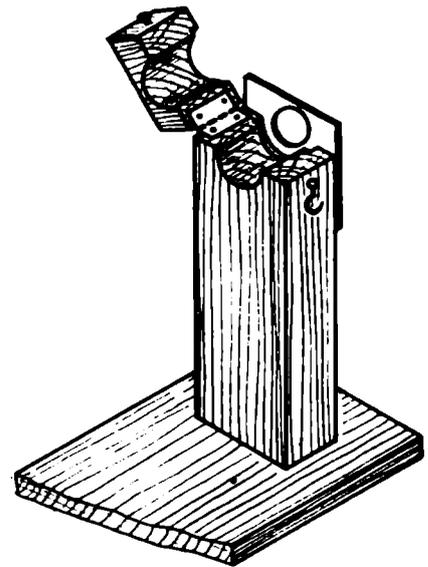


Abb. 220

Abb. 220 Selbstgebaute Haltevorrichtung für Kolbenprober

rechtzeitig eingefüllt werden. Gasmeßapparate sollen auch nicht direkt mit der Hand angefaßt werden, da sich die Körperwärme auf das aufgefangene Gas übertragen kann.

Die abgelesenen Gasvolumen  $V$  müssen bei den meisten Experimenten auf den Normzustand ( $p_0 = 101\,325\text{ Pa}$ ;  $T_0 = 273\text{ K}$ ) umgerechnet werden.

$$V_0 = \frac{p \cdot T_0}{p_0 \cdot T} V$$

$p$  Druck in Pa  
 $T$  Temperatur in K  
 $V$  abgelesenes Volumen

Dabei leisten Umrechnungstabellen oder entsprechende Nomogramme gute Dienste. Sofern Gase über Wasser als Sperrflüssigkeit gemessen werden, ist der Partialdruck des Wasserdampfes im Gasgemisch zu berücksichtigen. Dazu ist vom Barometerstand ein Wert abzuziehen, der dem Wasserdampfdruck  $p_{\text{H}_2\text{O}}$  bei der jeweiligen Temperatur entspricht (Tab. 83).

Tabelle 83 Wasserdampfdruck bei verschiedenen Temperaturen

Temperatur	in °C	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Wasserdampfdruck $p_{\text{H}_2\text{O}}$	in Pa	1600	1813	2067	2333	2540	2987	3360	3773	4240

Die Umrechnung des feucht gemessenen Gasvolumens kann auch mit einem dafür entwickelten Nomogramm erfolgen. Bei sehr hohen Genauigkeitsansprüchen müßten zusätzlich noch weitere Korrekturen, wie Thermometer- und Barometerkorrekturen, Breitengradkorrekturen, vorgenommen werden. Diese können jedoch im Chemieunterricht im allgemeinen vernachlässigt werden.

Voraussetzung für alle Umrechnungen ist Niveaugleichheit zwischen Flüssigkeitsspiegel und Niveaugefäß vor dem Ablesen. Bei vielen Apparaturen (Abb. 221 b bis d)

ist das ohne weiteres möglich. Kann nicht bei Niveauausgleich abgelesen werden, so ist die Druckdifferenz  $\Delta p$  aus der Niveaudifferenz der Wasserspiegel  $\Delta a$  vorher zu errechnen und zum äußeren Luftdruck bei Druckstellung zu addieren beziehungsweise bei Saugstellung von ihm zu subtrahieren.

Bei der Umrechnung ist zu beachten, daß 1 mm Wassersäule einem Druck von 9,81 Pa entspricht.

$$\Delta p = \Delta a \cdot 9,81 \text{ Pa} \cdot \text{mm}^{-1}$$

$\Delta p$  Druckdifferenz in Pa  
 $\Delta a$  Niveaudifferenz des Wasserspiegels in mm

Bei der folgenden Darstellung einzelner Techniken wird der Umgang mit Gassammel- und Gasmessapparaten zusammengefaßt, wenn große Ähnlichkeiten vorhanden sind.

### Pneumatisches Auffangen von Gasen

Gase werden sehr häufig direkt in den Geräten durch Wasserverdrängung (pneumatisch) aufgefangen, in denen später die Untersuchung oder Reaktion erfolgen soll. Als pneumatische Gasauffangvorrichtung für Demonstrationsexperimente (Abb. 221 a<sub>1</sub>; Innendeckel vorn 3 M) werden meist rechteckige Glaskästen verwendet, in denen ein Einsatz zum Aufsetzen der Auffanggefäße (Abb. 222) angebracht sein kann. Große Kristallisierschalen an Stelle der Glaskästen ermöglichen eine günstige Beobachtung von allen Seiten. Die pneumatische Gasauffangvorrichtung wird im Chemieunterricht am häufigsten nur für das Sammeln von Gasen verwendet.

Um ein gleichmäßiges Aufsteigen der Gasblasen zu erreichen, wird empfohlen, ein rechtwinklig nach oben gebogenes Einleitungsrohr zu verwenden (Abb. 223c). Nach einem anderen Vorschlag [8] soll kein Gaseinleitungsrohr aus Glas benutzt werden, sondern eine bewegliche Schlauchverbindung, die in der Wanne in einem flachen Winkelrohr endet (Abb. 223a). Allerdings muß das Rohr dann vom Lehrer überwacht und eventuell festgehalten werden. Der Wasserstand in der pneumatischen Gasauffangvorrichtung soll nicht höher als unbedingt notwendig sein. In vielen Fällen dienen *Standzylinder* mit umgelegtem, plangeschliffenem Rand als Auffanggefäße. Diese Geräte sind durch Untertauchen vollständig mit Wasser zu füllen und dann aufzurichten, ohne daß die Öffnung aus dem Wasser herausgehoben wird. Nur wenn ein Untertauchen nicht möglich ist, wird der Standzylinder mit Leitungswasser gefüllt und dann von der Seite eine einseitig plangeschliffene Glasplatte so über die Öffnung geschoben, daß keine Luftblasen im Gerät verbleiben. Danach ist der Standzylinder in die wassergefüllte Wanne zu bringen und die Glasplatte unter Wasser abziehen und herauszunehmen. Nachdem das Auffanggefäß mit Gas gefüllt ist, kann es wieder mit der Glasplatte verschlossen werden. Wenn das Auffanggerät nicht durch Untertauchen in der pneumatischen Gasauffangvorrichtung gefüllt werden kann, ist darauf zu achten, daß das Wasser aus dem Auffanggefäß nicht zum Überlaufen führt.

Für Schülerexperimente werden Gase meist in *Reagenzgläsern* aufgefangen, die vorher durch Untertauchen in der pneumatischen Gasauffangvorrichtung mit Wasser zu füllen sind (Abb. 221 a<sub>2</sub>). Als Wannen eignen sich Kristallisierschalen. Der Stop-

Abb. 221

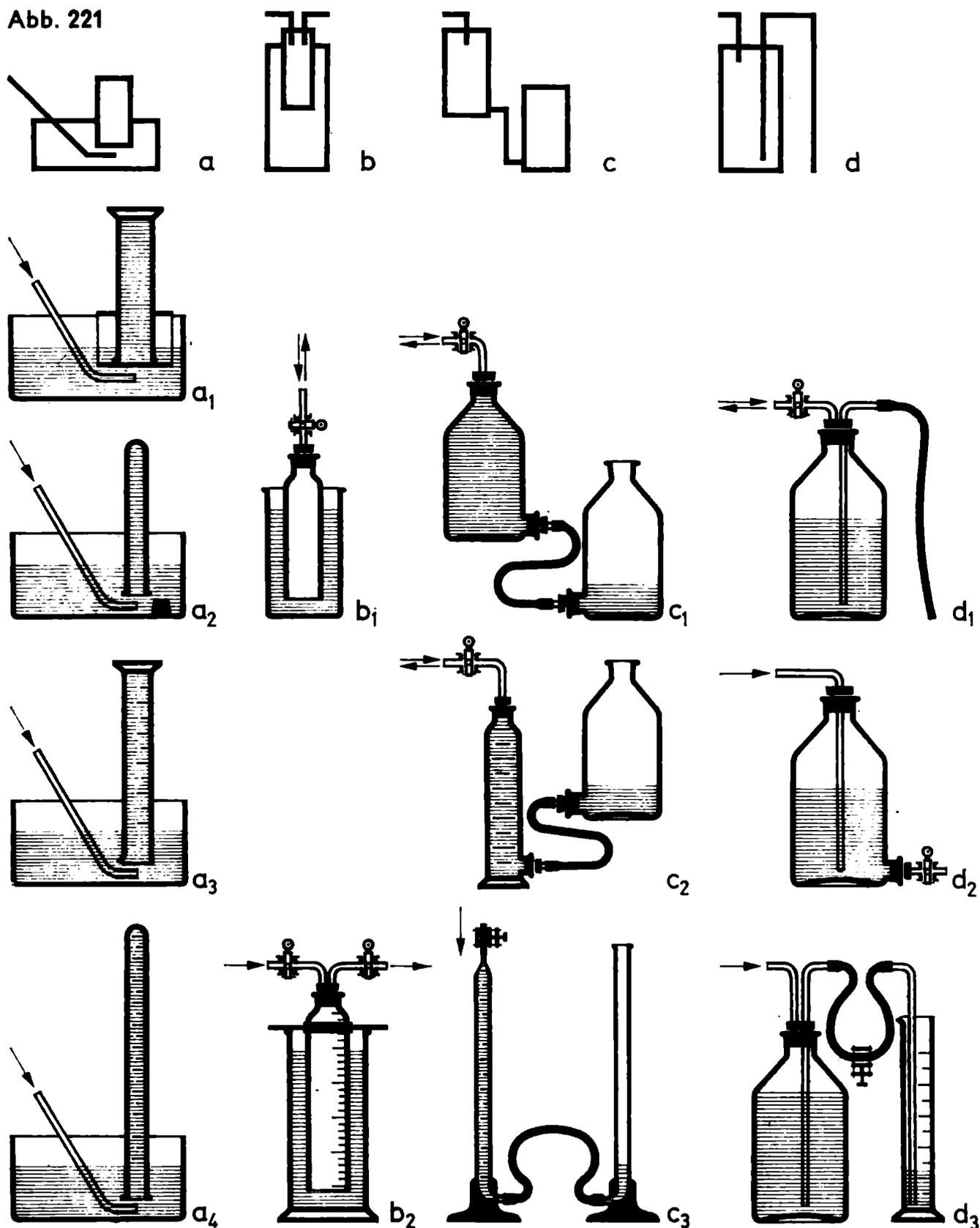


Abb. 221 Auffang- und Aufbewahrungsgefäße für Gase mit Sperrflüssigkeit

a), b), c), d) Prinzip der vier Typen dieser Apparate

Gassammelapparate: a<sub>1</sub>) pneumatische Gas auffangvorrichtung für Demonstrationsexperimente, a<sub>2</sub>) pneumatische Gas auffangvorrichtung für Schülerexperimente, b<sub>1</sub>) Gassammelglocke, c<sub>1</sub>) Gassammelapparat mit Niveaugefäß, d<sub>1</sub>) Gassammelapparat mit Überlauf, d<sub>2</sub>) Gassammelapparat mit Flüssigkeitsablauf

Gasmeßapparate: a<sub>3</sub>) Meßzylinder, a<sub>4</sub>) Eudiometerrohr, b<sub>2</sub>) Müllersche Gasmeßglocke, c<sub>2</sub>) Mischzylinder mit Niveaugefäß, c<sub>3</sub>) Hempelbürette, d<sub>3</sub>) Meßspritzflasche

fen zum Verschließen des Reagenzglases wird vorher so in die Wanne gelegt, daß sich das Reagenzglas mit Gas später daraufdrücken läßt.

Neben Standzylindern und Reagenzgläsern ist zuweilen auch in anderen Geräten, wie zum Beispiel in Kolben, Gas aufzufangen. Die Geräte sind dann soweit möglich durch Untertauchen mit Wasser zu füllen oder das Wasser ist einzugießen und mit dem Stopfen so zu verschließen, daß keine Luftblasen erhalten bleiben. Analog ist zu verfahren, wenn das entstehende Gasvolumen gemessen werden soll und dazu wassergefüllte Meßzylinder oder Eudiometerrohre in die Wanne gebracht werden sollen.

### Arbeiten mit Glockengasbehältern – Müllersche Gasmeßglocke

Pneumatisch aufgefangene Gase können zwar in den Auffanggefäßen untersucht werden; es ist aber nicht möglich, die Gase daraus langsam und kontrolliert, zum Beispiel unter Volumenmessung, zu entnehmen. Das ist nur bei anderen Apparaten möglich. Ein solcher Apparat kann aus einer einfachen, dazu geeigneten Glocke aus Glas mit Tubus und einem großen Becher hergestellt werden (↗ Abb. 221 b<sub>1</sub>, S. 181) [5; S. 59]. Die Glocke wird mit Hilfe eines Metallrings am Tubus, einem doppelt rechtwinkligen Metallstab und einer Muffe am Stativ befestigt. Das Hahnrohr darf nach unten nicht aus dem Stopfen herausragen. Durch vorsichtiges Heben der Glocke kann das Gas angesaugt, durch Senken aus dem Apparat herausgedrückt werden.

Bekannter als die Gassammelglocke ist der analoge Gasmeßapparat, die *Müllersche Gasmeßglocke* (Abb. 221 b<sub>2</sub>, S. 181, Innendeckel vorn 13 M). Dieser Apparat kann ähnlich wie der Kolbenprober (↗ S. 176) in zwei *Varianten* Anwendung finden (Abb. 224):

- Messen des Gasvolumens, das bei einem Vorgang verbraucht oder freigesetzt wird, mit einer Glocke
- Messen der Volumenabnahme oder -zunahme eines Gases bei einer chemischen Reaktion mit zwei Glocken.

Wie beim Kolbenprober sind zuweilen Dreiweghähne in die Apparatur einzubauen (↗ S. 176). Beim Arbeiten mit der Müllerschen Gasmeßglocke sind Saug- und Druckstellung zu unterscheiden (Abb. 225).

Beim Arbeiten mit der Müllerschen Gasmeßglocke ist folgendermaßen zu verfahren:

- Die Glocke ist mit aufgesetztem Stopfen und geöffneten Hähnen in das Standgefäß zu stellen, das etwas höher als der Tubus der Glocke sein soll.
- Durch Eingießen von Wasser werden Standgefäß und Glocke vollständig gefüllt (die Hahnrohre dürfen unten nicht aus dem Stopfen herausragen); dann sind die Hähne zu schließen.
- Die Dichtheit der Glocke ist zu prüfen, indem bei geschlossenen Hähnen etwas angehoben und etwa 1 min gewartet wird. Es darf sich keine Luftblase in der Glocke bilden. Die Glocke ist dann wieder zu senken und das Wasser aus dem Standgefäß weitgehend abzugießen.

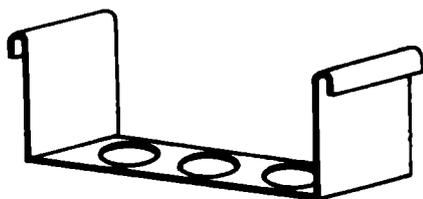


Abb. 222

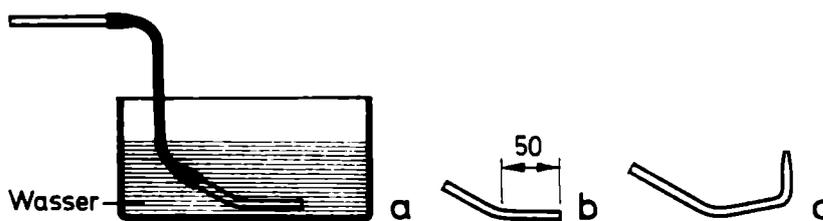


Abb. 223

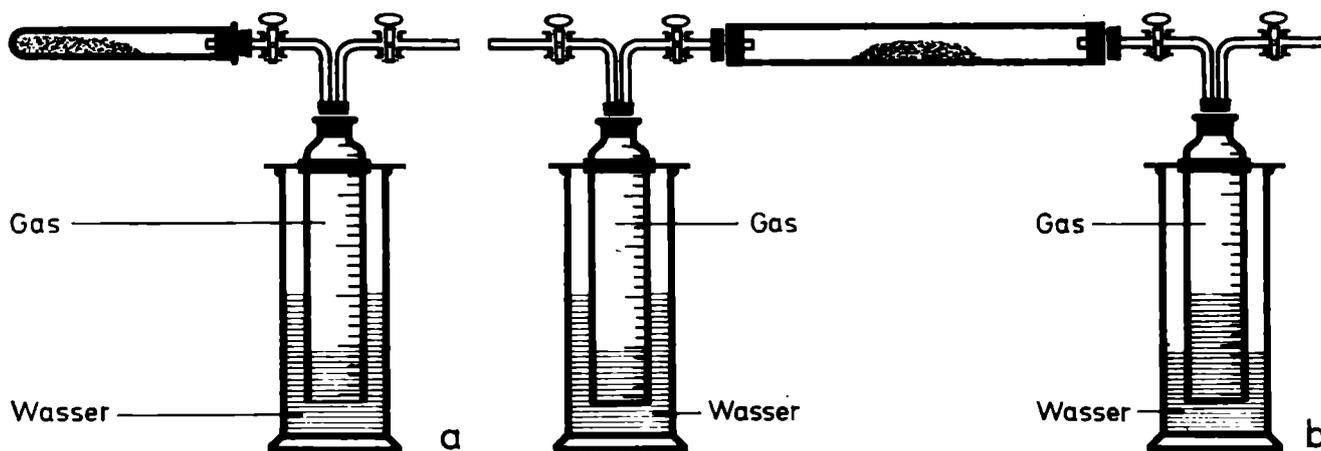


Abb. 224

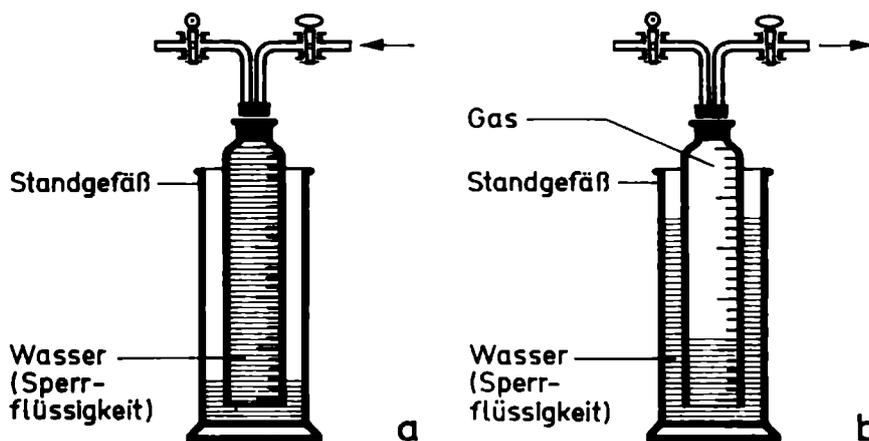


Abb. 225

Abb. 222 Einsatz für pneumatische Gasauffangvorrichtung

Abb. 223 Gaseinleitung der pneumatischen Gasauffangvorrichtung (a), flach gewinkeltes (b) und stark gewinkeltes (c) Einleitungsrohr

Abb. 224 Anwendungsmöglichkeiten der Müllerschen Gasmeßglocke

a) Bestimmung eines Gasvolumens mit einer Glocke,  
b) Ermittlung der Änderung des Gasvolumens mit zwei Glocken

Abb. 225 Grundstellung der Müllerschen Gasmeßglocke

a) Saugstellung (Füllen), b) Druckstellung (Entnahme)

- Der Anschluß des Gasentwicklers oder der Apparatur an einen Hahn kann dann erfolgen. Der Hahn wird anschließend geöffnet. Soll die Glocke nahezu vollständig mit Gas gefüllt werden (vorher Überschlagrechnung durchführen), so muß sie eventuell gegen Ende des Einströmvorgangs etwas angehoben werden, um den notwendigen Unterdruck zu erzielen.
- Zum anschließend notwendigen Ablesen des Volumens muß nach Erreichen der Zimmertemperatur der Druck in der Glocke mit dem äußeren Luftdruck ausgeglichen werden. Dazu wird das Flüssigkeitsniveau in der Glocke und im

Standgefäß auf gleiche Höhe gebracht. Je nach den Reaktionsbedingungen muß dabei entweder der Hahn geschlossen und nur das Gas in der Glocke berücksichtigt werden, oder die Verbindung zum Gas in der gesamten Apparatur durch Offenhalten des Hahns bis zum Druckausgleich erhalten bleiben. Sind an einer Apparatur zwei Gasmeßglocken angeschlossen (↗ Abb. 224 b, S. 183), dann bleiben die Hähne beider Glocken geöffnet, und in beiden Gasmeßglocken muß zum Ablesen Niveaugleichheit hergestellt werden.

Zur *Entnahme des Gases* aus der Müllerschen Gasmeßglocke muß das äußere Standgefäß bis zum Rand mit Wasser gefüllt sein (Abb. 225 b). Durch Öffnen eines Hahns kann Gas aus- oder in eine angeschlossene Apparatur einströmen.

Ist ein wasserlösliches Gas (z. B. Chlor) in einer Gasmeßglocke aufzufangen, so kann eine Paraffinscheibe auf die Wasseroberfläche in die Glocke gebracht werden. Dazu ist die Paraffinscheibe auf die Wasseroberfläche im Standgefäß zu legen und die Glocke mit geöffnetem Hahn so darüber zu stülpen, daß die Scheibe darin auf der Wasseroberfläche liegt. Beim weiteren Eintauchen kann die Glocke dann nur bis zur Wölbung mit Wasser gefüllt werden. Das restliche Volumen an Luft ist später zu berücksichtigen.

Zur Herstellung dieser Scheibe wird Hartparaffin in einem Schmelzlöffel verflüssigt und dann bis zu einer Höhe von 1 ... 2 mm auf ein Rundfilter in einer Petrischale gegossen. Kurz vor dem völligen Erstarren ist durch Eindrücken des unteren Randes der Querschnitt der Gasmeßglocke zu markieren. Nach dem Erstarren läßt sich das Plättchen mit der Schere so ausschneiden, daß es sich bequem in der Glocke bewegen kann [8].

Ein weiterer Glockengasbehälter wird im Zusammenhang mit den Arbeitstechniken und Apparaturen der Halbmikrotechnik beschrieben (↗ S. 268). Er eignet sich auch für die Makrotechnik.

### **Umgang mit einem Apparat mit Niveaugefäß**

Ein solcher Apparat (↗ Abb. 221 c<sub>1</sub>, S. 181), der zuweilen auch als *Gasometer nach Rheinboldt* bezeichnet wird, läßt sich aus Tubus- oder Niveauflaschen herstellen. Das Gas kann durch Senken des Niveaugefäßes eingesaugt, durch Heben wieder herausgedrückt werden (Abb. 226). Dabei läßt sich der Druck durch den Niveauunterschied verändern. Auch bei diesem Apparat darf das Hahnrohr nicht in den Gasraum hineinragen. Zum Füllen wird zunächst Wasser in das Niveaugefäß gegeben und dieses in Druckstellung gebracht. Das Wasser fließt in das Auffanggefäß. Der Hahn bleibt so lange geöffnet, bis Wasser in das Hahnrohr hineingedrückt worden ist. Gegebenenfalls muß noch etwas Wasser in das Niveaugefäß nachgefüllt werden. Ist das Auffanggefäß luftfrei mit Wasser gefüllt, so wird der Hahn geschlossen. Nach luftfreiem Anschluß eines Gasentwicklers oder einer Apparatur kann Gas nach Öffnen des Hahns durch Senken des Niveaugefäßes (Saugstellung) in das Auffanggefäß gelangen und später wieder entnommen werden, wenn der Apparat wieder in Druckstellung steht. Sind keine Tubus- oder Niveauflaschen vorhanden, so läßt sich auch aus Chemikalienflaschen geeigneter Größe ein entsprechender Apparat zusammenstellen (Abb. 227).

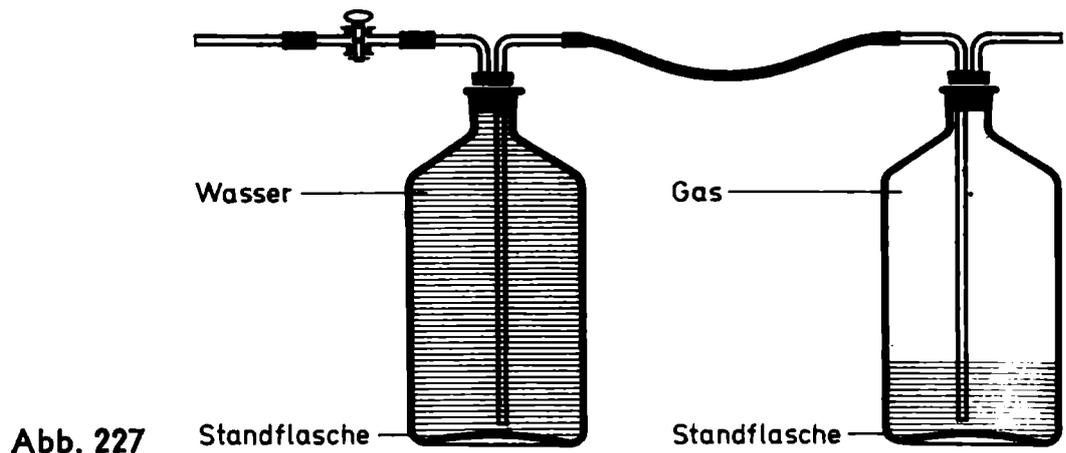
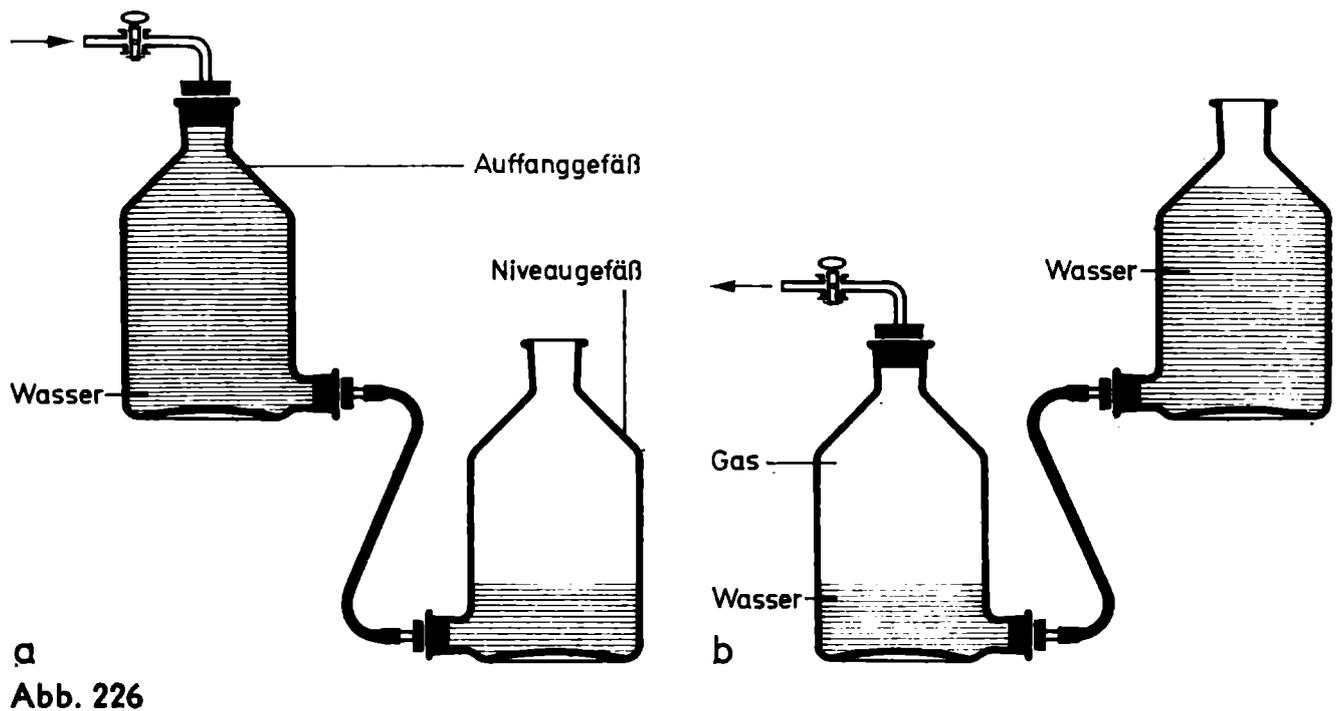


Abb. 226 Grundstellung eines Gassammelapparates mit Niveaugefäß  
 a) Saugstellung (Füllen), b) Druckstellung (Entnahme)  
 Abb. 227 Gassammelapparat aus Standflaschen

### Arbeiten mit Gasmessbüretten

Die beschriebene Technik zum Auffangen von Gas ist zum Messen geeignet, wenn ein graduiertes Auffanggefäß benutzt wird (↗ Abb. 221 c<sub>2</sub>, S. 181). Die gleiche Verfahrensweise findet auch bei der *Gasmessbürette nach Hempel* (↗ Abb. 221 c<sub>3</sub>, S. 181) Anwendung. Allerdings sind hierbei die Gefäße in Rohrform gestaltet, um möglichst genaue Meßwerte zu erhalten. In das Niveauröhr wird eine für das aufzufangende Gas geeignete Sperrflüssigkeit eingefüllt, im einfachsten Falle Wasser. Durch Heben des Niveauröhres kann die Bürette zunächst bei geöffnetem Hahn mit Wasser gefüllt werden, bis Wasser auch in das Kapillarrohr des Hahns steigt. Dann ist der Hahn zu schließen. Nun kann ein Gasentwickler oder eine Apparatur angeschlossen werden. Durch Senken des Niveauröhres läßt sich Gas einsaugen. Vor dem Ablesen muß, solange noch Verbindung zwischen Bürette und Reaktionsgefäß besteht, das Niveau in Büretten- und Niveauröhr ausgeglichen werden. Dazu

sind beide Rohre so nebeneinander zu halten, daß das Sperrflüssigkeitsniveau in beiden Rohren gleich hoch ist. Gegebenenfalls sind die abgelesenen Werte noch zu korrigieren (↗ S. 179). Besondere Bedeutung hat das Arbeiten mit der Hempelburette bei der quantitativen Analyse von Gasgemischen.

In ähnlicher Weise arbeitet auch die *Demonstrations-Gasburette* nach A. Klein (↗ S. 28), bei der allerdings durch die Eichung Niveauunterschiede zwischen Meßrohr und dem fest angeschlossenen Niveaugefäß bereits berücksichtigt sind. Mit Hilfe eines angeschlossenen Kolbenprobers wird die Sperrflüssigkeit bis an die Nullmarke der Skale angesaugt und der Hahn geschlossen. Beim Anschluß eines Gasentwicklers oder einer Apparatur, in der ein Gas entsteht, kann an der Burette nach Öffnen des Hahns die Volumenveränderung von den Schülern gut abgelesen werden.

### Arbeiten mit Apparaten mit Flüssigkeitszu- oder -ablauf

Ein Apparat zum Auffangen größerer Gasvolumen kann aus einer großen Flasche, zum Beispiel auch aus einem Gärballon, hergestellt werden (↗ Abb. 221 d<sub>1</sub>, S. 181). Zur *Inbetriebnahme* wird der Gummischlauch an die Wasserleitung angeschlossen. Die Flasche ist vollständig mit Wasser zu füllen. Nachdem dann eine Verbindung zum Gasentwickler besteht, wird etwas Wasser am Schlauch angesaugt und der Schlauch in den Ausguß gelegt, so daß so viel Wasser ablaufen kann, wie Gas zuströmt. Durch erneuten Anschluß an den Wasserhahn läßt sich das Gas mit dem zuströmenden Wasser wieder aus der Flasche drücken. Nachteilig kann sein, daß ständig frisches Wasser und mit ihm auch darin gelöste Luft zugeführt wird. Die Sperrflüssigkeit kann hier nicht wie bei anderen Auffanggefäßen durch vorheriges Erhitzen luftfrei gemacht oder auch mit dem aufzufangenden Gas gesättigt werden.

Es ist auch möglich, eine Tubusflasche zu verwenden (Abb. 228), aus der das Wasser beim Zuströmen von Gas abfließt (Mariottesche Flasche). Der Vorteil besteht darin, daß stets unter gleichem Druck angesaugt wird, wobei dieser vom Abstand zwischen Flaschenboden und Gaseinleitungsrohrende abhängt. Nach dem gleichen Prinzip arbeitet der *Gassammelapparat nach Berzelius* (Abb. 229).

Bei der Bedienung sind folgende Arbeitsgänge notwendig:

- Das Hahnküken am Trichterrohr des sorgfältig gereinigten Apparates ist leicht einzufetten, alle Stopfen sind auf festen Sitz zu prüfen.
- Durch das Trichterrohr wird bei geöffneten oberen Hähnen Leitungswasser oder eine andere Sperrflüssigkeit hinzugegeben, bis das Gefäß vollständig gefüllt ist. Im oberen Teil sollen sich, besonders wenn brennbare Gase aufgenommen werden, keine Luftblasen befinden. Gegebenenfalls ist der Apparat schräg zu stellen, so daß der Hahn am Hahnrohr die höchste Stelle ist. Nach dem Füllen sind alle Hähne zu schließen. Im Trichterrohr soll sich etwa 5 cm hoch Sperrflüssigkeit befinden.
- Zum Einfüllen des Gases wird der Gasentwickler – bei brennbaren Gasen nach negativer Knallgasprobe – an das Hahnrohr angeschlossen. Dann sind Hahn und Quetschhahn zu öffnen; der Hahn am Trichterrohr bleibt geschlossen. Die Gasentwicklung muß so eingestellt werden, daß das Wasser aus dem Ablauf-

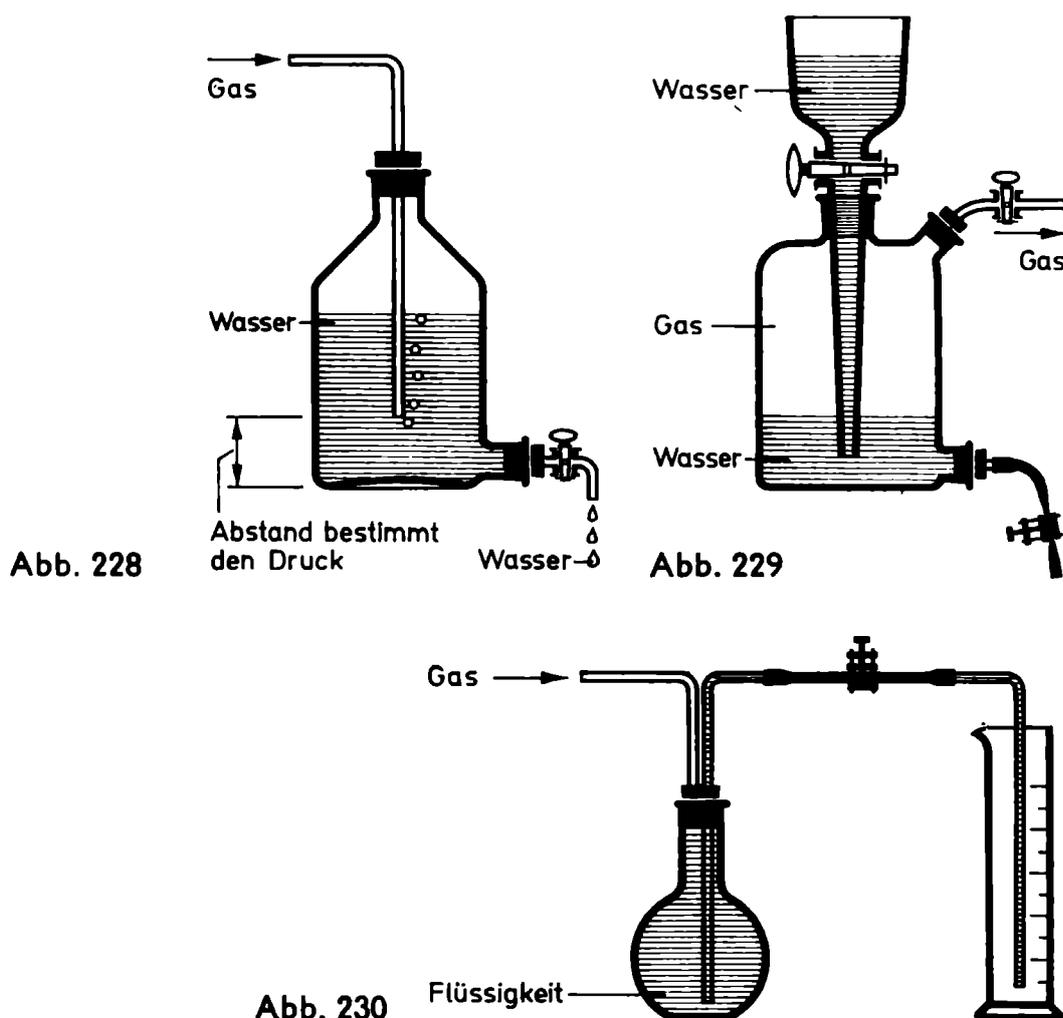


Abb. 228 Mariottesche Flasche

Abb. 229 Gassammelapparat nach Berzelius

Abb. 230 Meßspritzenflasche

schlauch gleichmäßig, ohne Druck, aber auch nicht tropfend (Gefahr des Eindringens von Luft) abläuft. An den kurzen Ablaufschlauch dürfen keine weiteren Schläuche zur Wasserableitung angeschlossen werden.

- Ist der Apparat mit Gas gefüllt, so werden alle Hähne geschlossen und der Gasentwickler abgetrennt.
- Zur Entnahme des Gases wird Wasser in das Trichterrohr gegeben. Durch Öffnen der oberen Hähne wird das Gas herausgedrückt. Mit dem Hahn am Trichterrohr kann der Gasstrom eingestellt werden.

Zur Reinigung des Apparates sind sämtliche Hähne zu öffnen.

### Verwendung der Meßspritzenflasche

Das Prinzip der beschriebenen Gassammelapparate findet auch zum Messen von Gasen in der Meßspritzenflasche, einer Spritzenflasche mit Meßzylinder, Anwendung (↗ Abb. 221 d<sub>3</sub>, S. 181). Dieser Apparat hat sich vor allem bei Schülerexperimenten bewährt. Das Gas strömt in eine Weithalsflasche (500 ml oder 1000 cm<sup>3</sup>) oder einen Kolben (Abb. 230). Das entsprechend große Volumen Wasser wird in den Meßzylinder gedrückt und kann dort abgemessen werden.

Die Sperrflüssigkeit (Wasser bei Zimmertemperatur) wird vor dem Experimentieren in die Flasche gefüllt. Nach dem Öffnen des Quetschhahns kann etwas Luft in das Gaseinleitungsrohr geblasen werden, bis das Wasser gerade aus dem zur Spitze ausgezogenen Überlaufrohr auszufließen beginnt. Danach ist der Quetschhahn zu schließen. Im Schlauch und Glasrohr sollen sich keine Luftblasen befinden. Der Gasentwickler kann nun angeschlossen und der Quetschhahn geöffnet werden. Bevor abgelesen wird, muß das Niveau in der Flasche und dem Meßzylinder durch Heben oder Senken des Meßzylinders übereinstimmen. Danach darf der Quetschhahn geschlossen werden. Zum Ablesen des Flüssigkeitsvolumens ist das Glasrohr vorher aus dem Meßzylinder herauszunehmen.

### 2.1.5. Reaktion von Gasen mit Flüssigkeiten und festen Stoffen

Da im Chemieunterricht die Untersuchung von Gasen einen breiten Raum einnimmt, spielen neben dem Herstellen und Auffangen auch Reaktionen der Gase mit Flüssigkeiten und festen Stoffen eine wichtige Rolle. Solche Reaktionen werden mit sehr verschiedener *Zielstellung* durchgeführt:

- Chemische Reaktion eines Gases oder Gasgemisches als zentrale Reaktion eines Experiments
- Abtrennen von unerwünschten Bestandteilen aus Gasen, zum Beispiel beim Trocknen oder Reinigen von Gasen
- Absorption beziehungsweise Adsorption zur Beseitigung gefährlicher oder giftiger Gase
- Herstellung von Gasgemischen für Experimente, beispielsweise eines Schwefeldioxid-Luft-Gemisches für die Oxydation von Schwefeldioxid
- Nachweis von Gasen, zum Beispiel die Reaktion von Kohlendioxid mit Kalkwasser

Bei Experimenten mit Gasen laufen oft mehrere Vorgänge gleichzeitig ab. Ist zum Beispiel Kohlenmonoxid aus Kohlendioxid und Kohlenstoff herzustellen (→ Abb. 176, S. 121), so wird das Kohlendioxid zunächst mit konzentrierter Schwefelsäure getrocknet und danach durch den festen Stoff Kohlenstoff im Verbrennungsrohr reduziert. Schließlich ist es noch notwendig, nicht umgesetztes Kohlendioxid durch Natriumhydroxidlösung zu binden. Der Erfolg derartiger Experimente hängt von verschiedenen Faktoren ab. Entscheidend sind die Temperatur und die Berührungszeit der Stoffe. Letztere wird besonders von der Größe der Apparate und der Strömungsgeschwindigkeit des Gases beeinflusst. Der Lehrer muß die Bedingungen bei der Vorbereitung der Experimente erproben.

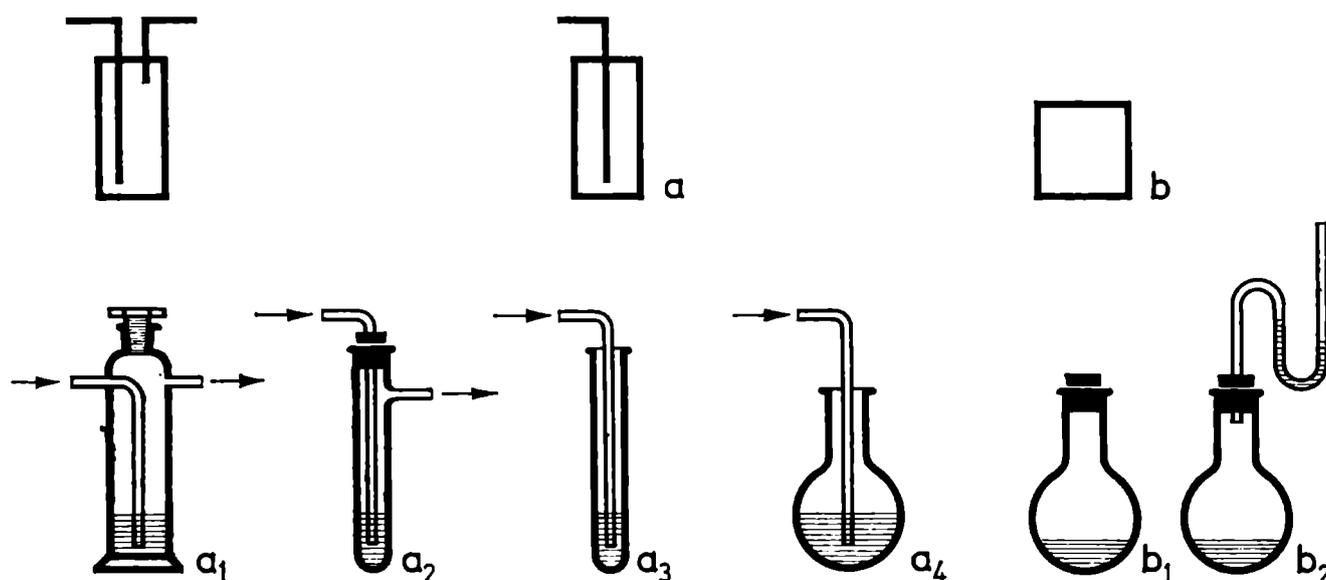


Abb. 231

Abb. 231 Apparate zur Reaktion von Gasen mit Flüssigkeiten  
 a<sub>1</sub>), a<sub>2</sub>), a<sub>3</sub>) und a<sub>4</sub>) Einleitung von Gasen in Flüssigkeiten,  
 b<sub>1</sub>) und b<sub>2</sub>) Reaktion von Gasen mit einer Flüssigkeit in einem abgeschlossenen Gefäß

### 2.1.5.1. Reaktion von Gasen mit Flüssigkeiten

#### Allgemeine Grundlagen

Das Vorgehen bei der Reaktion von Gasen mit Flüssigkeiten läßt sich auf zwei wesentliche *Varianten* zurückführen (Abb. 231).

Das Gas kann in die Flüssigkeit eingeleitet werden. Oft ist es allerdings erforderlich, aus der Flüssigkeit wieder austretendes Gas weiterzuleiten. Dann werden geschlossene Geräte mit Gasein- und -ableitung benutzt (Abb. 231 a).

Die zweite Variante besteht in der Reaktion im abgeschlossenen Gerät. Oft wird die Berührung von Gas und Flüssigkeit durch Schütteln begünstigt (Abb. 231 b).

#### Einleiten von Gasen in Flüssigkeiten

Das Gas strömt im allgemeinen durch ein Einleitungsrohr in die Flüssigkeit. Die Geräte können offensein, wie beim Reagenzglas, Becher, Standzylinder (Abb. 231 a<sub>3</sub>), oder geschlossen und eine Ableitung besitzen, wie Gaswaschflaschen oder Reagenzgläser mit Seitenrohr (Abb. 231 a<sub>1</sub> und a<sub>2</sub>, Innendeckel vorn 2 M). Das wichtigste Gerät für die Makrotechnik ist die Gaswaschflasche.

Beim *Einleiten* ist folgendes zu beachten:

- *Wasserlösliche Gase*, wie Ammoniak oder Chlorwasserstoff (↗ Tab. 82, S. 173), dürfen nicht direkt in Wasser eingeleitet werden, da dieses leicht in die vorgeschaltete Apparatur zurückströmen kann.
- Es ist darauf zu achten, daß in der vorgeschalteten Apparatur kein Druckabfall (z. B. durch Abkühlung) entsteht, damit die Flüssigkeit aus dem Einleitungsgefäß nicht zurückströmt.

- Um eine intensive Berührung von Gas und Flüssigkeit zu erreichen, soll die *Flüssigkeitssäule* über der Öffnung des Einleitungsrohres ausreichende Höhe haben. Dabei nimmt mit der Höhe der Flüssigkeitssäule der zu überwindende Druck zu. Außerdem muß ein Übersäumen durch zu starke Füllung vermieden werden. Deshalb sind schlanke hohe Gefäße besonders geeignet. Oft wird außerdem die Verteilung des Gases in der Flüssigkeit durch besondere Vorkehrungen, wie die Verwendung von Gaseinleitungsrohren mit Fritten oder ausgezogenen Düsen, erhöht und dadurch eine intensive Berührung ermöglicht.
- Die *Strömungsgeschwindigkeit* soll nicht zu groß werden. Günstig ist ein Gasstrom, bei dem die Gasblasen am Einleitungsrohr noch einzeln beobachtet werden können (nicht mehr als 2 bis 3 Blasen je Sekunde).
- Beim Einleiten muß das Gas den *Druck der Flüssigkeitssäule* zwischen Einleitungsrohrende und Flüssigkeitsoberfläche überwinden. Deshalb sind Gase aus Gasentwicklern mit Druckausgleich zu entnehmen. Ohne diesen Druckausgleich ist die Flüssigkeitssäule im Tropftrichter oft geringer als im Einleitungsgerät. Das Gas entweicht dann durch den Tropftrichter. Werden Gassammelapparate vorgeschaltet, so muß die Niveaudifferenz der Sperrflüssigkeit dort deutlich größer als der Abstand zwischen Einleitungsrohrende und Flüssigkeitsoberfläche im Einleitungsgerät sein.

In Einzelfällen können sich auf Grund der speziellen Bedingungen bei einem Experiment Abweichungen von diesen Hinweisen als notwendig erweisen.

Eine besondere Gefahr beim Einleiten von Gasen in Flüssigkeiten ist das *Zurückströmen der Flüssigkeit* aus dem Einleitungsrohr in die vorgeschaltete Apparatur oder den Gasentwickler. Wird ein Ansteigen der Flüssigkeit im Einleitungsrohr beobachtet, so sind sofort Sicherheitsvorkehrungen zu treffen, wie Verstärkung des Gasstroms und Temperaturerhöhung. Notfalls ist die Schlauchverbindung zwischen Apparatur und Einleitungsgefäß zu lösen. Bei Apparaturen, in denen die Gefahr des Zurückströmens recht groß ist, sind besondere Sicherheitsmaßnahmen zu empfehlen. So können Münckesche Gaswaschflaschen eingesetzt werden, bei denen das Einleitungsrohr so weit ist, daß darin die Flüssigkeit, die über der Mündung der Austrittsöffnung steht, aufgenommen werden kann (Abb. 232 a). Ferner ist es möglich, eine zweite Gaswaschflasche in umgekehrter Anordnung als Sicherheitsflasche in die Apparatur einzubauen (Abb. 232 b). Bei selbst zusammengestellten Apparaten kann ein Kugelrohr zur Einleitung benutzt werden (Abb. 232 c). Sind wasserlösliche Gase in Wasser einzuleiten, so sind *Absorptionsgefäße* nach *Volhard* oder nach *Fresenius* (→ S. 19) günstig. Die Flüssigkeit darf bei diesen Geräten nur bis 1 cm über das Ansatzrohr eingefüllt werden (Abb. 233), damit sie bei der Inbetriebnahme nicht aus dem Ableitungsrohr gedrückt werden kann.

### Waschen von Gasen

Beim Waschen eines Gases sollen durch intensive Berührung mit einer Flüssigkeit Verunreinigungen entfernt werden, wobei die Zielstellung dabei unterschiedlich sein kann. Das häufigste Verfahren ist das Durchleiten des Gases durch eine geeignete Flüssigkeit. Als Geräte kommen dafür vorwiegend *Gaswaschflaschen* in Betracht. Deren Einleitungsrohre haben oft besondere Form oder Zusatzteile. Fritten

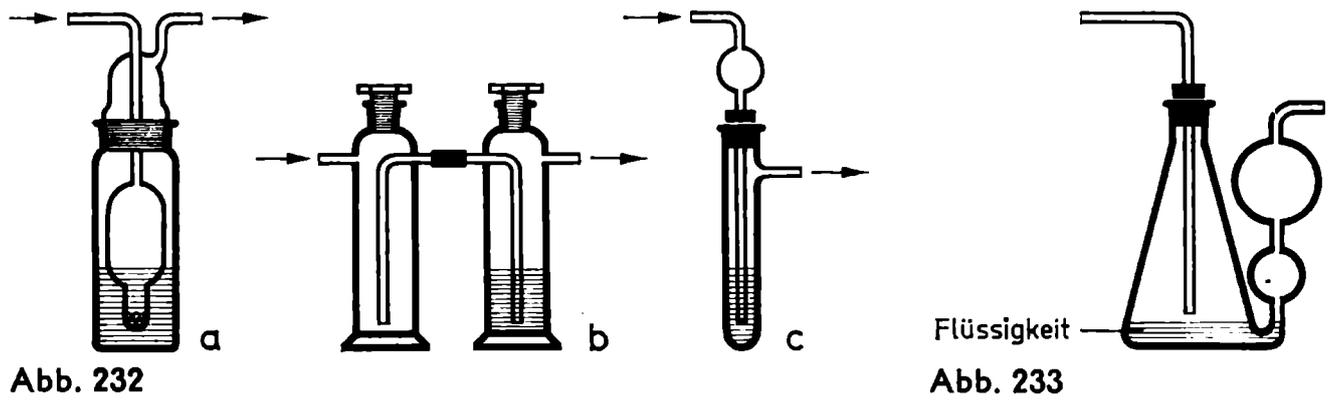


Abb. 232

Abb. 233

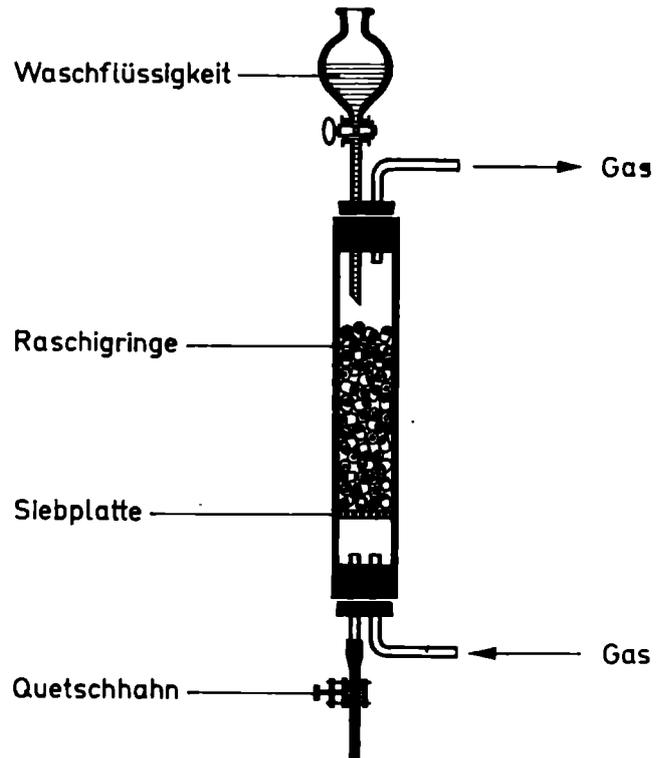


Abb. 234

Abb. 232 Verhinderung des Zurückströmens von Flüssigkeiten  
 a) Gaswaschflasche nach Müncke, b) Vorschalten einer Sicherheitswaschflasche, c) Kugelrohr als Gaseinleitungsrohr  
 Abb. 233 Füllung der Absorptionsvorlage nach Fresenius  
 Abb. 234 Waschen von Gasen in einem Rieselturm

erhöhen zum Beispiel den Dispersionsgrad und ermöglichen damit die möglichst intensive Berührung der Stoffe. Alle Hinweise zum Einleiten von Gasen in Flüssigkeiten sind bei dieser Verfahrensweise zu beachten.

Das Waschen von Gasen kann auch in einem Trockenturm erfolgen, der hier allerdings besser als *Rieselturm* zu bezeichnen wäre. Eine solche Durchführung ist im Zusammenhang mit Experimenten zu technischen Prozessen günstig, um an dem Apparat zugleich die Wirkungsweise eines Waschturms in der chemischen Technik zu verdeutlichen. Ein solcher Turm kann aus einem weiten Verbrennungsrohr (Abb. 234) oder einer Müllerschen Gasmeßglocke hergestellt werden. Das Gas strömt von unten nach oben durch das Rohr, das auf einer Siebplatte oder Glaswollschicht Füllmaterial, zum Beispiel Raschigringe, enthält. Von oben läuft die Flüssigkeit aus einem Tropftrichter zu. Flüssigkeitsreste werden unten abgezogen.

## Reaktion im geschlossenen Gefäß

Soll ein genau bemessenes Gasvolumen mit einer Flüssigkeit reagieren, so werden beide Stoffe in ein abgeschlossenes Gefäß, meist eine Flasche, gebracht (Abb. 231 b, S. 189, Innendeckel vorn 12 M). Dazu ist entweder das Gas durch Luftverdrängung in den Raum über der Flüssigkeit einzuleiten oder die Flüssigkeit in das vorher mit dem Gas gefüllte Gefäß zu geben und danach zu verschließen. Gegebenenfalls kann der Verschluß mit einem Manometer versehen werden, so daß sich Druckveränderungen im Reaktionsgefäß demonstrieren lassen (↗ Abb. 231 b<sub>2</sub>, S. 189). Ist starke Volumenverminderung bei der Reaktion zu erwarten, so sollte ein Einweghahn in den Stopfen gesetzt werden, um vor dem Öffnen den Druck ausgleichen zu können.

### 2.1.5.2. Reaktion von Gasen mit festen Stoffen

Für Reaktionen zwischen Gasen und festen Stoffen werden meist Rohre verschiedener Form benutzt, in denen der feste Stoff enthalten ist (Abb. 235). Dieser kann den Querschnitt des Rohres ausfüllen, muß aber dann genügende Korngröße haben, damit das Gas hindurchströmen kann. Durch Glaswolle, die jedoch nur für Temperaturen bis 400 °C brauchbar ist, läßt sich der feste Stoff im Rohr fest anordnen. Das Gas darf aber nicht durch ein zu festes Einlegen der Pfropfen am Durchströmen gehindert werden. Bei Verbrennungsrohren wird der feste Stoff auch in Einsätzen, wie Glühschiffchen und Magnesiarrinnen, in das Rohr gebracht.

Ein Gas kann auch in einem abgeschlossenen Gerät mit dem festen Stoff zur Reaktion gebracht werden (Abb. 235 b; Innendeckel vorn 12 M).

Der charakteristische Apparat für den Chemieunterricht ist das Verbrennungsrohr mit Anschlußrohren, das *Reaktionsrohr* (Innendeckel vorn 4 M). Der Umgang damit bedarf keiner besonderen Erläuterung; lediglich einige Hinweise erscheinen notwendig:

- Je nach den benutzten Temperaturen ist die richtige *Glassorte des Verbrennungsrohrs* auszuwählen (↗ Tab. 95, S. 312).
- Verbrennungsrohre sind am kälteren Rohrende, bei längeren Rohren an beiden Seiten mit *Stativklammern ohne starke Spannung* zu befestigen.
- Ist damit zu rechnen, daß sich in kälteren Rohrteilen *Flüssigkeitstropfen* niederschlagen, so muß das Rohr so eingespannt werden, daß diese Flüssigkeit nicht in die beheizten Teile laufen kann.
- Die *Einleitungsrohre* sollen nur 1 ... 2 mm aus dem Stopfen in das Verbrennungsrohr hineinragen. Dadurch wird ein Gasstau hinter lang herausragenden Rohrenden vermieden.
- Verbrennungsrohre, die brennbare Gase enthalten, dürfen nur erhitzt werden, wenn zuvor die *Knallgasprobe* negativ ausgefallen ist.
- Beim *Erhitzen mit Brennern* ist im allgemeinen erst das ganze Rohr durch Befächeln mit der Flamme zu erwärmen, ehe an einer Stelle langsam stark erhitzt wird (↗ S. 129f.).

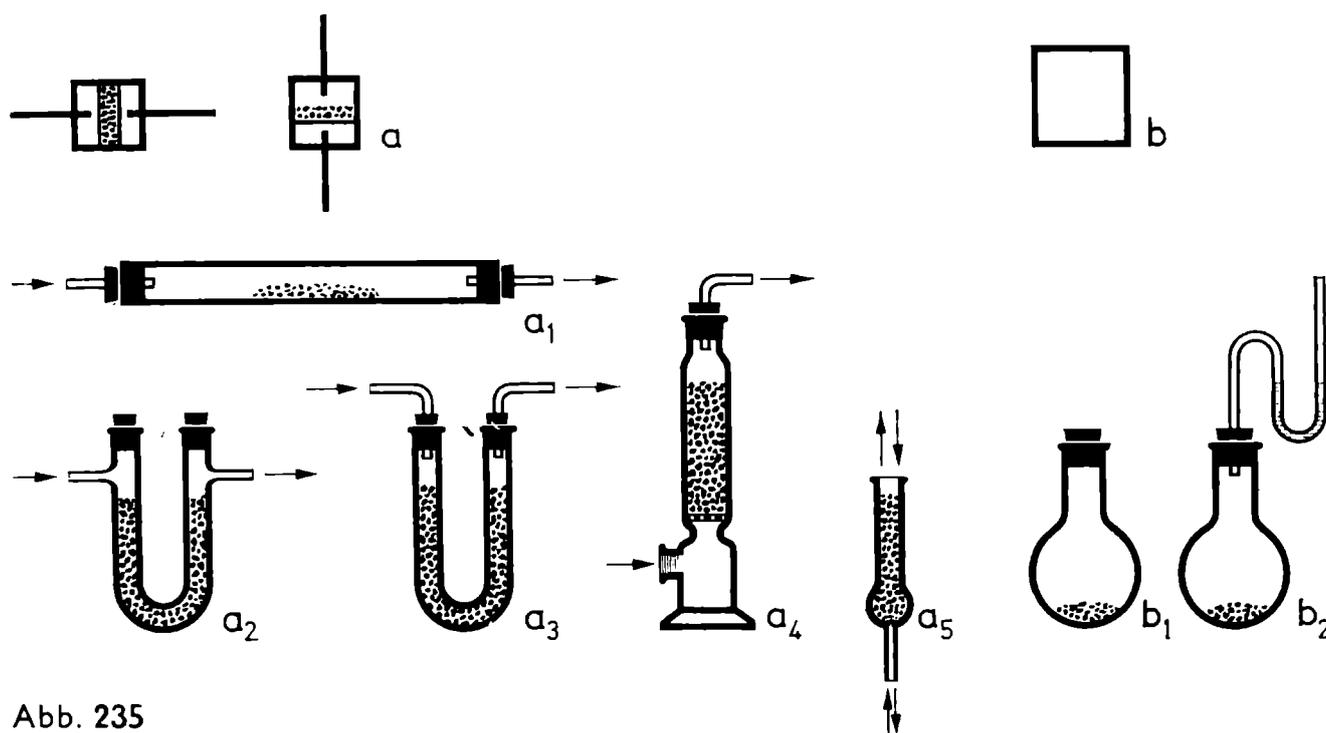


Abb. 235

Abb. 235 Apparate zur Reaktion von Gasen mit festen Stoffen

a) Prinzip kontinuierlich arbeitender Apparate

a<sub>1</sub>) Verbrennungsrohr, a<sub>2</sub>) und a<sub>3</sub>) U-Rohre, a<sub>4</sub>) Trockenturm,

a<sub>5</sub>) gerades Trockenrohr

b) Prinzip periodisch arbeitender Apparate

b<sub>1</sub>) und b<sub>2</sub>) Apparate des Typs b

- Zum Einschieben von Glühschiffchen (↗ Tab. 21, S. 53), Magnesiumrinnen und anderen Rohrfüllungen in Rohre werden tellerförmig angestauchte Glasstäbe, gebogene Drahhaken und Spatel verwendet.

Für die Reaktion in abgeschlossenen Gefäßen gelten die Hinweise wie zum Arbeiten mit Flüssigkeiten (↗ S. 192).

### 2.1.5.3. Trocknen und Reinigen von Gasen

#### Allgemeine Bemerkungen

Die Reaktion von Gasen mit Flüssigkeiten oder festen Stoffen ist in vielen Fällen unmittelbares Ziel der Demonstration eines Experiments, wird aber sehr häufig auch zum Trocknen und Reinigen von Gasen sowie zur Beseitigung gefährlicher und giftiger Gase benutzt. Die Zielsetzungen stehen in engem Zusammenhang, da in allen Fällen Gase oder Dämpfe von geeigneten Flüssigkeiten und festen Stoffen aufgenommen werden, wobei es sich um Absorptions-, Adsorptionsvorgänge und teilweise spezifische chemische Reaktionen handelt.

Beim Reinigen sollen Bestandteile aus einem Gasgemisch entfernt werden. Das Trocknen ist der Spezialfall, bei dem es um das Entfernen von Wasserdampf aus dem Gemisch geht. Eine gesonderte Betrachtung ist jedoch aus praktischen Gründen sinnvoll. Bei der Beseitigung von giftigen oder gefährlichen Gasen wird nicht

ein Teil, sondern das gesamte Gas entfernt. Die dazu verwendeten Stoffe sind oft mit denen identisch, die zum Reinigen Anwendung finden.

In allen drei Fällen werden sowohl Flüssigkeiten als auch feste Stoffe eingesetzt. Deshalb ist eine Zuordnung zu einem der beiden vorangegangenen Abschnitte nicht möglich. Allerdings sind Hinweise zum Umgang mit den notwendigen Apparaten dort zu finden.

### Trocknen von Gasen

Zum Trocknen von Gasen sind sowohl flüssige als auch feste Stoffe geeignet. Bei der Wahl des Trockenmittels müssen dessen Eigenschaften sowie die Eigenschaften des Gases genau beachtet werden. Deshalb gilt bei sauer oder basisch reagierenden Gasen die Regel:

Bei sauer reagierenden Gasen (z. B. Chlorwasserstoff) dürfen keine basischen Trockenmittel, bei basisch reagierenden Gasen (z. B. Ammoniak) keine sauren Trockenmittel benutzt werden (Tab. 84).

Von den aufgeführten Trockenmitteln wirken Phosphor(V)-oxid und konzentrierte Schwefelsäure besonders stark. Festes Kaliumhydroxid hat wesentlich höhere Wirksamkeit als Natriumhydroxid. Besonders günstig ist die Anwendung von Silicagel, das Cobalt(II)-chlorid als Indikator enthält und dessen Färbung Aufschluß über den Anteil an Wasserdampf gibt (trocken: blau; feucht: rotviolett). Silicagel kann durch Erhitzen auf 150 °C im Trockenschrank regeneriert werden.

Als Geräte finden für das Arbeiten mit Flüssigkeiten, Gaswaschflaschen, für feste Stoffe U-Rohre oder gerade Trockenrohre Anwendung (↗ Innendeckel vorn 5 M).

**Tabelle 84** Trockenmittel für Gase

Gas	Geeignete Trockenmittel	Ungeeignete Trockenmittel
Luft	Calciumchlorid, Silicagel, konzentrierte Schwefelsäure (Gift 2), Kalium- oder Natriumhydroxid (Gift 2), Natronkalk	
Wasserstoff	konzentrierte Schwefelsäure (Gift 2), Silicagel, Calciumchlorid, Kalium- oder Natriumhydroxid (Gift 2), Natronkalk	
Sauerstoff	konzentrierte Schwefelsäure (Gift 2), Silicagel, Calciumchlorid, Kalium- oder Natriumhydroxid (Gift 2), Natronkalk	
Stickstoff	konzentrierte Schwefelsäure (Gift 2), Silicagel, Calciumchlorid, Kalium- oder Natriumhydroxid (Gift 2), Natronkalk	

Gas	Geeignete Trockenmittel	Ungeeignete Trockenmittel
Chlor (Gift 2)	konzentrierte Schwefelsäure (Gift 2)	Phosphor(V)-oxid, Alkalimetallhydroxide
Chlorwasserstoff	konzentrierte Schwefelsäure (Gift 2), Silicagel	Alkalimetallhydroxide
Schwefelwasserstoff	Calciumchlorid, Phosphor(V)-oxid	Schwefelsäure, Alkalimetallhydroxide
Ammoniak	Kalium- oder Natriumhydroxid (Gift 2), Natronkalk	Schwefelsäure, Calciumchlorid
Schwefeldioxid	konzentrierte Schwefelsäure (Gift 2), Silicagel, Phosphor(V)-oxid	Alkalimetallhydroxide
Kohlenmonoxid	konzentrierte Schwefelsäure (Gift 2), Silicagel	Alkalimetallhydroxide, Phosphor(V)-oxid
Kohlendioxid	konzentrierte Schwefelsäure (Gift 2), Silicagel, Phosphor(V)-oxid	Alkalimetallhydroxide
Ethan	konzentrierte Schwefelsäure (Gift 2), Silicagel, Kalium- oder Natriumhydroxid (Gift 2), Calciumchlorid	
Ethen	Silicagel, Calciumchlorid, Kalium- oder Natriumhydroxid (Gift 2)	konzentrierte Schwefelsäure (Gift 2)
Ethin	Silicagel, Kalium- oder Natriumhydroxid (Gift 2)	konzentrierte Schwefelsäure (Gift 2), Calciumchlorid

## Reinigen von Gasen

Durch Reaktion von Gasen mit festen Stoffen oder Flüssigkeiten werden häufig störende Beimengungen aus Gasmischen abgetrennt. Um die Apparaturen bei Schulexperimenten möglichst einfach zu gestalten, ist ein Reinigen von Gasen nur dann vorzunehmen, wenn es auf Grund der Experimentierbedingungen unerlässlich ist. Die Auswahl der erforderlichen Chemikalien ist von der Herstellungsart des Gases und dem Verwendungszweck abhängig. In vielen Fällen sind Trockenmittel gleichzeitig zur Reinigung geeignet. Davon sollte möglichst oft Gebrauch gemacht werden. Im folgenden sind einige wichtige Fälle für den Chemieunterricht zusammengestellt.

Oft sind *Beimengungen von Kohlendioxid* in Gasen zu beseitigen. So wird vielfach Luft angesaugt, aus der Kohlendioxid zu entfernen ist. Vielfach entsteht Kohlendioxid auch als Nebenprodukt bei der Darstellung anderer Gase (z. B. Kohlenmonoxid, Stickstoff). Indem die Gase durch Kalium- oder Natriumhydroxid, Natronkalk oder konzentrierte Alkalimetallhydroxidlösungen geleitet werden, läßt sich Kohlendioxid weitgehend entfernen und das Gas außerdem trocknen.

Bei der Wasserstoffentwicklung aus Zink und einer Säure entsteht oft etwas *Arsenwasserstoff*. Dieses giftige Gas kann durch Oxydation mit konzentrierter Ka-

liumpermanganatlösung beseitigt werden, die mit verdünnter Schwefelsäure oder Natriumhydroxidlösung versetzt ist. Die gleiche Lösung ermöglicht auch, manche organische Bestandteile zu entfernen, die in Gasen enthalten sein können.

*Ammoniak*, das bei der Stickstoffdarstellung in Spuren anfallen kann, ist beim Trocknen durch konzentrierte Schwefelsäure zu binden.

Bei der Sauerstoffdarstellung aus *Kaliumpermanganat* wird häufig etwas vom festen Stoff mitgerissen. In fast jeder nachgeschalteten Flüssigkeit löst sich Kaliumpermanganat auf. Im einfachsten Falle wird Wasser benutzt, wenn der beim Durchströmen aufgenommene Wasserdampf nicht störend wirkt.

### Beseitigung gefährlicher und giftiger Gase

Bei chemischen Experimenten im Chemieunterricht ist dem vollständigen Beseitigen von gefährlichen und giftigen Gasen besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Entsprechende Hinweise bei den Experimentbeschreibungen sind sorgfältig zu beachten. Der günstigste Weg, das Ausführen des Experiments unter einem Abzug, ist nicht in jedem Fachunterrichtsraum möglich. Dann wird es notwendig, mit einer gut abgedichteten Apparatur zu arbeiten und schädliche oder giftige Gase nach Ablauf der chemischen Reaktion zu binden oder anders zu vernichten, zum Beispiel zu verbrennen. Zur Beseitigung der Gase dienen Flüssigkeiten und feste Stoffe (Tab. 85). Als Geräte werden Gaswaschflaschen und gefüllte Verbrennungsrohre verwendet. In vielen Fällen sind Natrium- oder Kaliumhydroxidlösung günstig. Gaswaschflaschen, die solche Lösungen enthalten, sind nach Beendigung des Experiments gründlich zu reinigen, die Schliffflächen in verdünnte Chlorwasserstoffsäure zu tauchen und mit destilliertem Wasser zu spülen. Nur so kann das Festfressen der Schliffverbindungen vermieden werden.

**Tabelle 85** Beseitigen gefährlicher und giftiger Gase

Gas	Verwendetes Mittel	Bemerkungen
Wasserstoff	nach Knallgasprobe abbrennen	möglichst am Unterteil eines Brenners (ohne Schornstein) entzünden
Chlor (Gift 2)	halbkonzentrierte Alkalimetallhydroxidlösungen (Gift 2)	weites Einleitungsrohr (Kugelrohr) oder Absorptionsvorlagen nach <i>Volhard</i> oder <i>Fresenius</i> (↗ S. 19 und 190) verwenden
Chlorwasserstoff	Wasser	Zuleitungsrohr zum Absorptionsgefäß darf keinesfalls in die Flüssigkeit tauchen

Gas	Verwendetes Mittel	Bemerkungen
Schwefelwasserstoff	konzentrierte Alkalimetallhydroxidlösungen (Gift 2)	weites Einleitungsrohr oder Absorptionsvorlagen nach <i>Volhard</i> oder <i>Fresenius</i> verwenden
	Aktivkohle Ammoniaklösung (Gift 2)	falls der Schwefelwasserstoff nicht vorher verunreinigt wurde, kann die Lösung später als Ammoniumsulfid für analytische Arbeiten benutzt werden
Ammoniak	Wasser	Zuleitungsrohr darf keinesfalls in die Flüssigkeit eintauchen; Absorptionsvorlage nach <i>Volhard</i> oder <i>Fresenius</i> ist geeignet
Schwefeldioxid	Wasser	bei kleinen Volumen
	Alkalimetallhydroxidlösung (Gift 2)	Zuleitungsrohr darf nicht in die Flüssigkeit tauchen; Absorptionsvorlage nach <i>Volhard</i> oder <i>Fresenius</i> kann benutzt werden
Kohlenmonoxid	Einleitung in Luftregulierung eines entzündeten Bunsenbrenners oder nach Prüfung auf Abwesenheit von Luft abbrennen;	
	ammoniakalische Kupfer(I)-chloridlösung (Gift 2)	Herstellung: 20 g Kupfer(I)-chlorid (Gift 2), 25 g Ammoniumchlorid und 75 ml Wasser in geschlossener Flasche schütteln; wenn sich nichts mehr löst, 25 ml Ammoniaklösung ( $\rho = 0,910 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) zugeben, erneut schütteln, schnell filtrieren und in verschlossener Flasche über Kupferdraht aufbewahren
Stickstoffdioxid	Wasser, Alkalimetallhydroxidlösung (Gift 2)	Zuleitungsrohr darf keinesfalls in die Flüssigkeit tauchen; Absorptionsvorlage nach <i>Volhard</i> oder <i>Fresenius</i>
Ethin	Propanon (Aceton)	sehr feuergefährlich, im Raum dürfen keine Flammen brennen

## 2.1.6. Destillieren

Bei der Destillation wird ein flüssiger Stoff oder ein Stoffgemisch zum Sieden erhitzt und der Dampf in einem angeschlossenen Teil der Apparatur kondensiert. Auf diesem Wege können in einer Lösung das Lösungsmittel von gelösten Stoffen oder Flüssigkeitsgemische getrennt beziehungsweise Angaben über deren Siedeverlauf gewonnen werden.

In der chemischen Laborpraxis sind viele stark spezialisierte Arbeitsweisen bei der Destillation in Anwendung. Im folgenden wird nur auf grundsätzliche, für die Arbeit des Lehrers wichtige Arbeitsweisen eingegangen, die sich noch in vielfältiger Weise abändern und ergänzen lassen.

### 2.1.6.1. Einfache Destillation

#### Allgemeine Grundlagen

Bei diesem Verfahren wird eine Flüssigkeit in einem Rundkolben zum Sieden erhitzt, der entstehende Dampf einem Wärmeaustauscher zugeführt, wo er kondensiert. Das Kondensat ist schließlich in einer Vorlage aufzufangen. Der Grundtyp einer dazu notwendigen Destillationsapparatur besteht demnach aus drei Hauptteilen, dem Rundkolben zum Erhitzen der Flüssigkeit, dem Kühler (Wärmeaustauscher) und der Vorlage zum Sammeln des Kondensats (Abb. 237; Innendeckel vorn 15 M und 16 M). Es ist zwischen Gleich- und Gegenstromdestillation zu unterscheiden (Abb. 236; Innendeckel vorn 15 M).

Im ersten Fall wird der erzeugte Dampf im Rundkolben unmittelbar dem Kühler zugeführt, wo er kondensiert. Dampf und Kondensat strömen dabei in gleicher Richtung. Nur wenn sich die Siedetemperaturen der zu trennenden Stoffe deutlich unterscheiden, ist dabei eine wirksame Trennung zu erreichen. Liegen die Siedetemperaturen dicht beieinander, so gehen Dämpfe beider Bestandteile über und kondensieren. Dann ist nur eine Anreicherung der leichter siedenden Komponente im Kondensat möglich. Auch mehrmalige Wiederholung der *Gleichstromdestillation* muß nicht zu einem vollen Erfolg führen. In solchen Fällen ist die *Gegenstromdestillation* (Rektifikation) günstig, bei der auf den Rundkolben ein längeres Rohr, eine Kolonne, aufgesetzt wird, wodurch sich der Weg zwischen Kolben und Kühler verlängert. Die Kolonne kann ein einfaches Rohr sein, enthält aber meist Füllungen oder Einbauten, welche die Oberfläche vergrößern. In diesem senkrechten Rohr kondensieren die höher siedenden Anteile des Dampfes. Da sich ein temperaturabhängiges Gleichgewicht zwischen Dampf und Flüssigkeit einstellt, wird eine Trennung der Komponenten erreicht. In den Kühler gelangt dann Dampf, der weitgehend nur aus einer Komponente besteht. Da in der Kolonne die kondensierte Flüssigkeit nach unten und damit dem aufsteigenden Dampf entgegenströmt, wird von Gegenstromdestillation gesprochen. Das ist nicht mit der Unterscheidung zwischen Gleich- und Gegenstromkühlung (↗ S. 136) zu verwechseln.

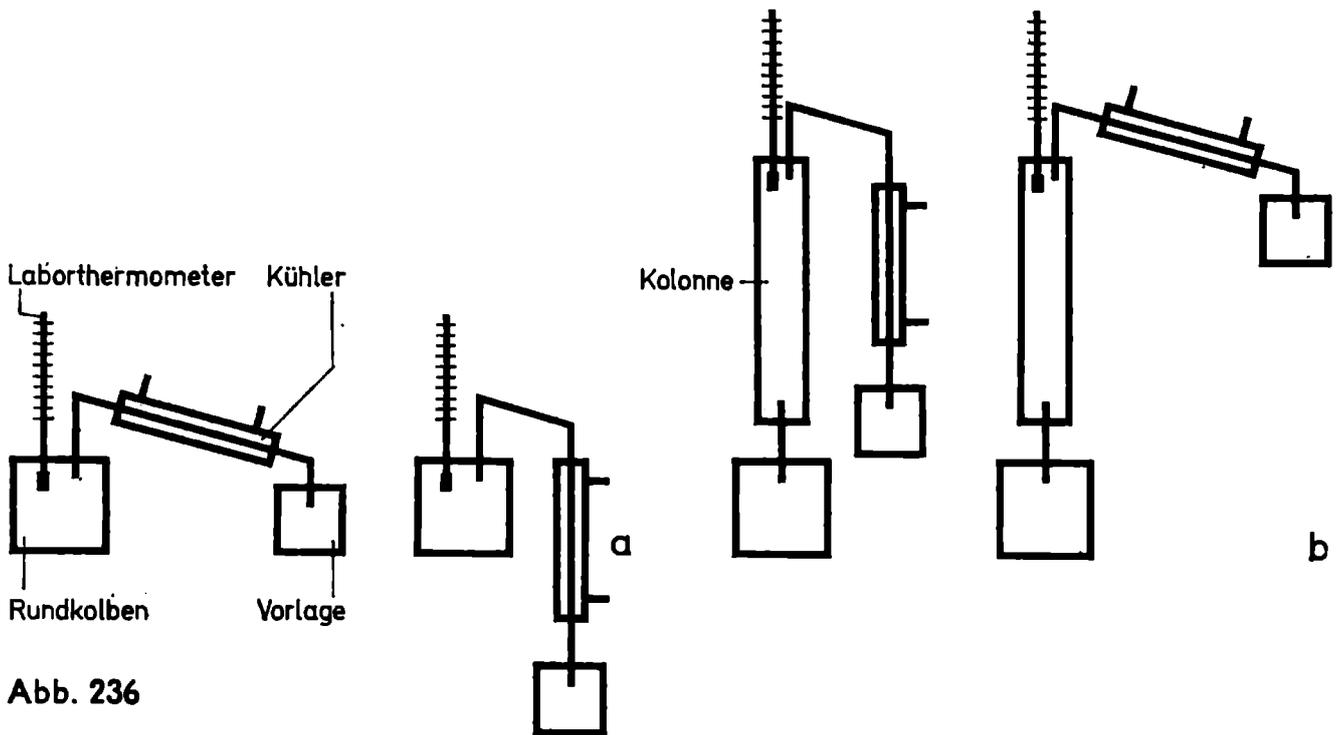


Abb. 236

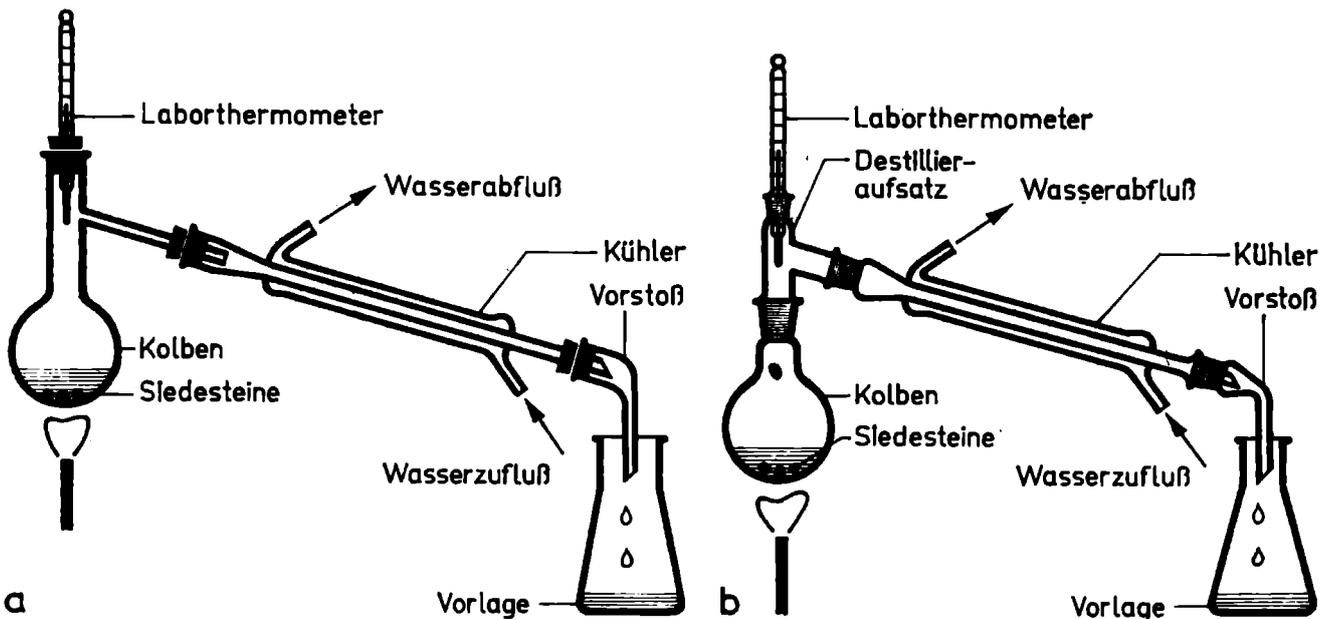


Abb. 237

Abb. 236 Prinzip der Gleichstrom- (a) und Gegenstromdestillation (b)

Abb. 237 Apparaturen für die Gleichstromdestillation

a) mit Stopfenverbindungen, b) mit Kegelschliffverbindungen

Bei der Destillation ist folgendes zu beachten:

- Zum Erhitzen der Flüssigkeit sind nur *Rundkolben* zu benutzen, da sie größere thermische Stabilität als andere Kolben aufweisen.
- Der Rundkolben muß genügend groß gewählt werden, damit die siedende Flüssigkeit nicht in das Ableitungsrohr spritzen oder überschäumen kann (höchstens zur Hälfte füllen).
- Zur *Vermeidung des Siedeverzugs* (Stoßen) sind der Flüssigkeit einige Siedesteine (z. B. poröse Ton- oder Glasscherben, Ziegelsteinbrocken) zuzugeben. Das gilt besonders bei basisch reagierenden Flüssigkeiten.

- Die Flüssigkeit ist zunächst vorsichtig zu erwärmen. Wird nicht auf dem Sand- oder Wasserbad erhitzt, so ist stets ein Babotrichter oder Drahtnetz unter den Kolben zu legen.
- Der Rundkolben soll nicht oberhalb der Flüssigkeit erwärmt werden.
- *Leicht brennbare Flüssigkeiten* sind stets über einem Sand- oder Wasserbad zu erwärmen. Dessen Schale soll so groß sein, daß sie beim Zerspringen des Rundkolbens die Flüssigkeit aufnehmen kann. Für das Erwärmen von Flüssigkeiten der Gefahrklasse A I beziehungsweise B I (↗ S. 375 ff.) sind nur geschlossene Wärmequellen zu benutzen.
- Die *Wärmezufuhr* ist vor dem Ende der Destillation rechtzeitig zu unterbrechen, damit der Rundkolben nicht überhitzt wird.

Destillationsapparaturen sind früher mit Stopfenverbindungen aufgebaut worden (↗ Abb. 237, S. 199). Da oft mit Dämpfen gearbeitet wird, die das Stopfenmaterial angreifen, finden jetzt meist Apparaturen Verwendung, die aus *Schliffbauteilen* bestehen. Teile für Apparaturen mit Stopfenverbindungen werden kaum noch geliefert.

### Gleichstromdestillation

Bei Apparaturen mit Stopfenverbindungen (↗ Abb. 237 a, S. 199) werden als *Kolben* meist Destillierkolben verwendet, auf deren Öffnung ein Stopfen mit Laborthermometer zu setzen ist. Dessen Quecksilberkugel soll sich mit ihrem oberen Rand in Höhe des Ansatzrohrs befinden. Zuweilen werden auch einfache Rundkolben empfohlen, die ein gebogenes Ableitungsrohr haben. Derartige Anordnungen sind für höhersiedende Flüssigkeiten wenig geeignet, da der Übertritt des Dampfes in den Kühler wesentlich länger dauert als bei Verwendung eines Destillierkolbens.

Die *Destillation höhersiedender Flüssigkeiten* kann mit Destillierkolben beschleunigt werden, deren Seitenrohr unten angesetzt und deren Hals wärmeisoliert ist. Für Demonstrationsexperimente hat sich ein Luftbad bewährt, das die Beobachtung des Stoffgemisches im Rundkolben gestattet. Auf den Babotrichter unter dem Rundkolben wird dazu ein Luftbadmantel aus Rasothermglas gesetzt. Er ist mit einem Drahtnetz abgedeckt, welches in der Mitte kreisförmig aus geschnitten ist und einen Einschnitt von der Seite her zum Überschieben über den Kolbenhals besitzt.

Die Auswahl des *Kühlers* hängt von dem notwendigen Grad der Kühlung ab (↗ S. 136).

Als *Vorlage* eignen sich Kolben (auch Becher), die bei höhersiedenden Flüssigkeiten direkt unter das Ablaufrohr des Kühlers gestellt oder auf dieses aufgeschoben werden. Günstig ist es, einen gebogenen Vorstoß zu verwenden, weil die Vorlage dann fest auf dem Tisch stehen kann. Bei der Destillation leicht flüchtiger Stoffe sollte ein Gerät mit Seitenrohr, zum Beispiel eine Saugflasche, benutzt werden, das fest mit dem Vorstoß verbunden ist. An das Seitenrohr kann ein längerer Schlauch angeschlossen und in den Abzug geleitet werden. Außerdem muß hierbei die Vorlage oft in ein Gefäß (z. B. Becher) mit Wasser, Eiswasser oder einer Kältemischung gestellt werden.

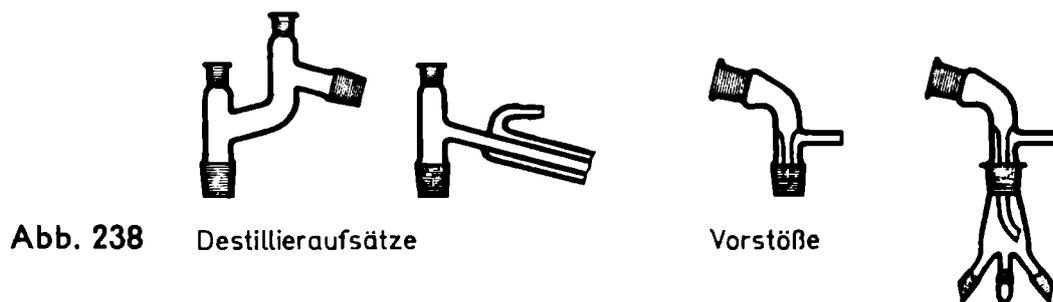


Abb. 238

Destillieraufsätze

Vorstöße

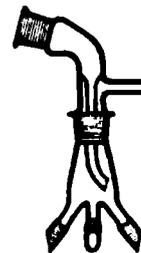


Abb. 238 Verschiedene Formen von Destillationsaufsätzen und Vorstößen

Apparaturen aus Bauteilen mit Kegelschliff ( $\nearrow$  Abb. 237 b, S. 199) werden nach Auswahl der geeigneten Geräte und Verbindungsstücke zusammengestellt. Die Schliffe sind vorher leicht zu fetten. Die Apparatur ist so am Stativ zu befestigen, daß keine Spannungen an den Schliffverbindungen auftreten. Die Anordnung läßt sich vielseitig variieren. So gibt es sehr unterschiedlich gestaltete Destillationsaufsätze (Abb. 238), von denen je nach den experimentellen Bedingungen der geeignetste auszuwählen ist. Auch die Form des Vorstoßes kann je nach den Erfordernissen verändert werden.

Bei der *Gleichstromdestillation* ist in folgender Weise zu verfahren:

- Die Apparatur wird aufgebaut, wobei auf die richtige Wahl der Heizquelle und des Kühlers zu achten ist.
- Mit einem Trichter, dessen Rohr unterhalb des Seitenrohransatzes endet, ist die zu destillierende Flüssigkeit bis höchstens zur halben Höhe des Rundkolbens einzufüllen. Dann sind Siedesteine zuzugeben. Ein Laborthermometer mit günstigem Meßbereich wird aufgesetzt.
- Das Kühlwasser wird eingeleitet und ein nicht zu starker Wasserstrom eingestellt.
- Der Rundkolben wird langsam erhitzt und dabei der Temperaturanstieg am Laborthermometer beobachtet. Die Temperatur steigt zunächst langsam und bleibt bei Erreichen der Siedetemperatur des übergehenden Bestandteils konstant.
- Hat sich bereits vor Erreichen der konstanten Siedetemperatur Destillat von leichtflüchtigen Verunreinigungen, der sogenannte Vorlauf, in der Vorlage gesammelt, so ist die Vorlage auszutauschen.
- Das entstehende Destillat bei konstant bleibender Temperatur (Schwankungen höchstens 2 K), der Hauptlauf, wird dann aufgefangen. Das Erhitzen sollte so erfolgen, daß sich je Sekunde ein Tropfen abscheidet. Bei zu heftigem Sieden besteht die Gefahr der Verunreinigung durch schwerflüchtige Stoffe.
- Bleibt die Temperatur des übergehenden Dampfes bis zum Ende etwa konstant, so muß die Destillation abgebrochen werden, solange noch etwas Flüssigkeit im Rundkolben ist. Steigt die Temperatur des Dampfes nach einiger Zeit wieder an, dann ist die Vorlage erneut zu wechseln und gegebenenfalls noch der Nachlauf aufzufangen.

Zum schnellen und sauberen Wechseln der Vorlagen gibt es spezielle Vorrichtungen (Abb. 238).

Für *Schülerexperimente* sind wesentlich vereinfachte Geräte zu bevorzugen, da kaum mit leichtsiedenden, brennbaren Stoffen gearbeitet wird ( $\nearrow$  Innendeckel vorn 15 M). Bei hochsiedenden Stoffen ( $\vartheta_v > 100^\circ\text{C}$ ) reicht nämlich die Kühlwirkung der Luft am Ansatzrohr des Destillierkolbens bereits zur Kondensation des Dampfes aus (Abb. 239a). Eine einfache Lösung ist in solchen Fällen auch die direkte Verbindung von Reagenzglas mit Seitenrohr und Vorstoß (Abb. 239b). Ferner kann das Ableitungsrohr des Fraktionierkolbens mit einem zurechtgeschnittenen Filterpapier umwickelt werden, auf das aus einem Tropftrichter laufend Wasser tropft (Abb. 239c). Hierdurch ist eine stärkere Kühlwirkung als bei den anderen Apparaturen zu erreichen. Gleichfalls hat sich bewährt, eine Vorlage und einen Kühler zu vereinigen, indem über ein Reagenzglas mit abgesprengtem Boden ein zweites, etwas größeres Reagenzglas geschoben wird (Abb. 239d).

### **Gegenstromdestillation (Rektifikation)**

Sollen Flüssigkeiten getrennt werden, deren Siedetemperaturen dicht beieinander liegen, so ist die Gegenstromdestillation zu wählen. Entsprechend den Experimentbeschreibungen wird eine geeignete Kolonne ausgewählt und auf den Rundkolben gesetzt (Abb. 240). Die Arbeitsweise unterscheidet sich nicht prinzipiell von der bei der Gleichstromdestillation. Es ist lediglich zu beachten, daß so lange mit der Abnahme von Destillat gewartet werden muß, bis sich das betreffende temperaturabhängige Gleichgewicht zwischen Dampf und Kondensat in der Kolonne eingestellt hat, was sich am Laborthermometer des Aufsatzes kontrollieren läßt.

#### **2.1.6.2. Wasserdampfdestillation**

Viele, vor allem organische Stoffe, werden bei kräftigem Erhitzen schon unterhalb der Siedetemperatur zersetzt oder können nicht längere Zeit auf eine erhöhte Temperatur erwärmt werden. Deshalb lassen sich die bisher beschriebenen Destillationsverfahren nicht anwenden. Eine effektive Senkung der Siedetemperatur der betreffenden Flüssigkeit muß erreicht werden, um schonende Bedingungen zu schaffen. Eine Möglichkeit besteht darin, Wasserdampf zuzuführen. Die Destillation erfolgt bei der Temperatur, bei der die Summe der Partialdrücke von Wasserdampf und abzutrennendem Stoff gleich der des äußeren Luftdrucks ist. Der temperaturempfindliche Stoff wird also weniger stark erhitzt als bei der normalen Destillation. Besonders günstig ist diese Arbeitsweise bei Stoffen, die mit Wasser nicht mischbar sind.

Bei einer *Apparatur zur Wasserdampfdestillation* (Abb. 241) wird die normale Destillationsapparatur durch einen Dampfwickler ergänzt, von dem ein Einleitungsrohr in den Rundkolben führt. Als Dampfwickler kommt eine Metallkanne oder auch ein Rundkolben in Betracht ( $\nearrow$  S. 28). Zur Sicherung gegen Überdruck ist ein 1 m langes Steigrohr aufzusetzen, das bis in das Wasser hineinreichen muß. Zwischen Dampfwickler und Dampfeinleitungsrohr können Zusatzgeräte eingebaut werden, wie Abscheider für kondensiertes Wasser (Abb. 241), aber auch Metallschlangen zum Überhitzen des Dampfes.

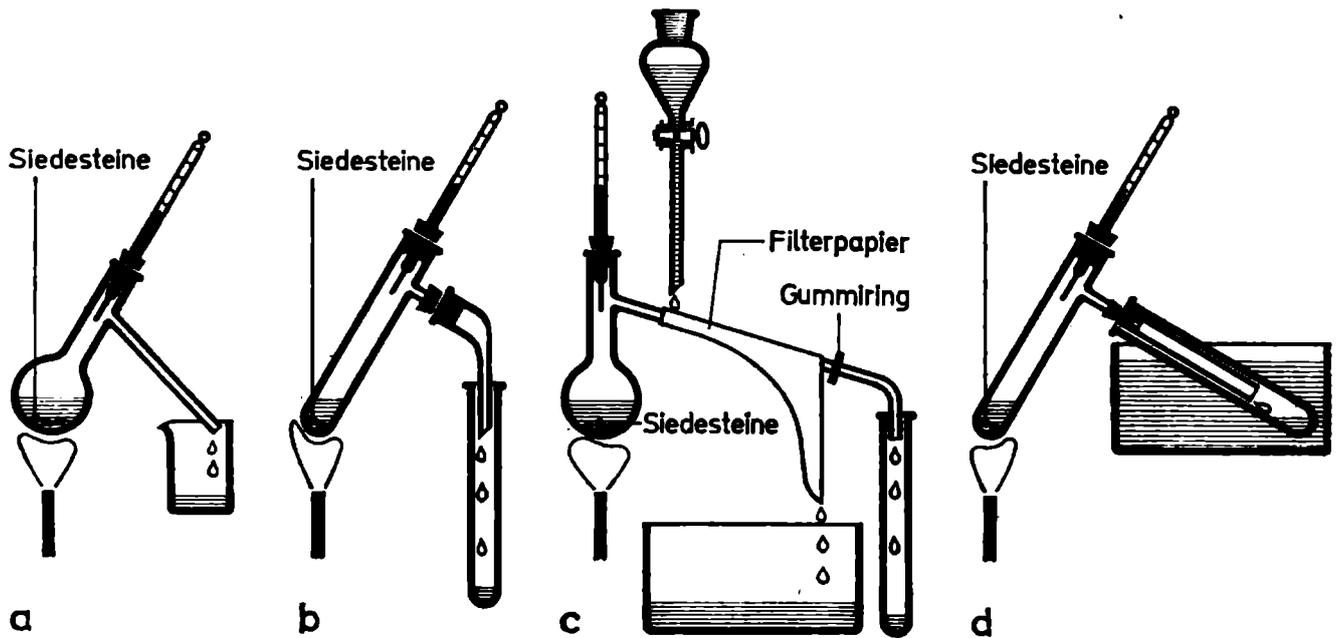


Abb. 239

- a) Destillierkolben (Luftkühlung),
- b) Reagenzglas mit Seitenrohr und Vorstoß (Luftkühlung),
- c) Destillierkolben mit Filterpapier umwickeltem Ansatzrohr (Wasserkühlung aus Tropftrichter)
- d) Reagenzglas mit Seitenrohr und Kühleinrichtung aus Reagenzgläsern (Wasserkühlung)

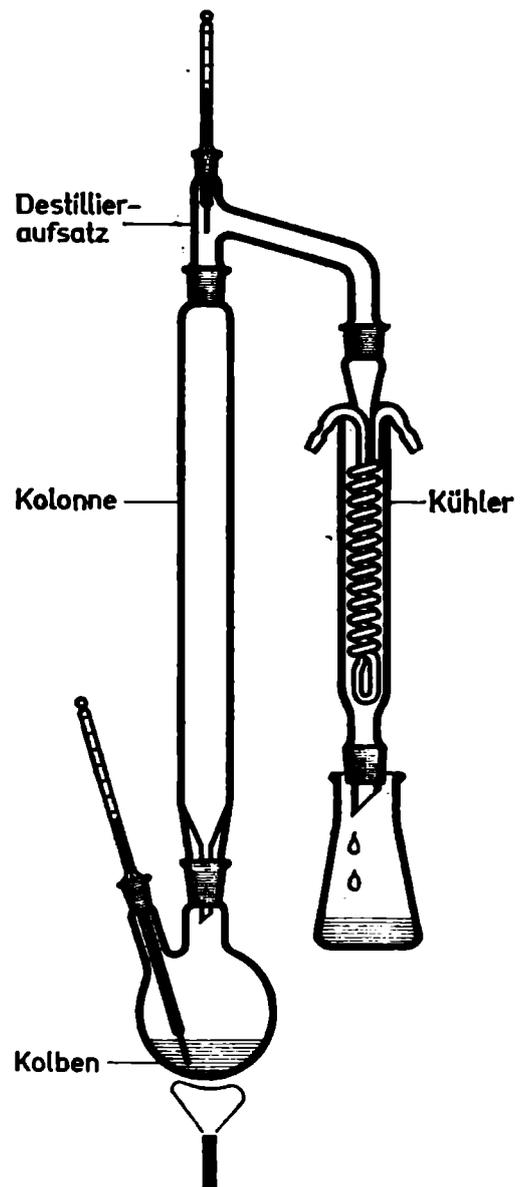


Abb. 240

Abb. 239 Vereinfachte Destillationsapparate für Schülerexperimente  
 Abb. 240 Anordnung für die Gegenstromdestillation

Nachdem die Apparatur zusammengestellt und die Flüssigkeit in den Rundkolben eingefüllt ist, werden der Dampfwickler erhitzt und gleichzeitig das Stoffgemisch im Rundkolben auf etwa 100 °C erwärmt. Wenn der erste Wasserdampf in den Rundkolben mit dem Stoffgemisch übertritt, muß die Wasserzufuhr zum Kühler angestellt werden. Das Destillat ist getrübt. Wird es klar, dann scheidet sich nur noch Wasser ab; die Destillation kann abgebrochen werden. Um ein Zurückfließen der Flüssigkeit aus dem Rundkolben in den Dampfwickler zu vermeiden, muß erst die Verbindung zwischen Dampfwickler und Rundkolben gelöst werden, ehe das Erhitzen des Dampfwicklers unterbrochen werden darf. In dieser Reihenfolge ist auch zu verfahren, wenn die Destillation aus anderen Gründen unterbrochen werden muß, zum Beispiel weil der Wasservorrat im Dampfwickler nicht ausreicht.

Die Flüssigkeit in der Vorlage scheidet sich in zwei Schichten, den destillierten Stoff und Wasser, die im Scheidetrichter getrennt werden können. Dabei ist genau zu überlegen, welcher Stoff die größere Dichte hat und somit die untere Schicht bildet. Manchmal ist nicht eindeutig zu bestimmen, welches die wäßrige Schicht ist. Dann sind 1 ... 2 Tropfen Wasser zuzusetzen und zu prüfen, mit welcher Schicht sie sich vereinigen.

### 2.1.6.3. Vakuumdestillation

Eine zweite Möglichkeit zur schonenden Destillation empfindlicher Stoffe besteht darin, mit vermindertem Druck zu arbeiten. Als Regel gilt, daß Verminderung des Druckes auf die Hälfte zu einer Verminderung der Siedetemperatur um etwa 15 K führt.

Auch für eine einfache Apparatur zur Vakuumdestillation (Abb. 242) sind immer Geräte mit Kegelschliffverbindungen zu verwenden. Gegenüber der Apparatur für normale Destillation bestehen folgende Besonderheiten:

In den Rundkolben ragt eine Siedekapillare, aus deren Öffnung später feine Luftblasen strömen, die einen Siedeverzug verhindern. Siedesteine sind bei der Vakuumdestillation unwirksam. Vorstoß und Vorlage sind luftdicht verbunden; der Vorstoß hat eine Olive zum Anschließen der Pumpe. Muß während der Destillation die Vorlage gewechselt werden, so sind spezielle Vorstöße zu verwenden, die es ermöglichen, das Vakuum in der Apparatur aufrecht zu erhalten. Entweder wird mit einer Destilliervorlage nach Brodt (↗ Abb. 238, S. 201) oder mit einer solchen nach Anschütz-Thiele (Abb. 243) gearbeitet. Zum Wechseln der Vorlage nach Anschütz-Thiele sind zunächst die Hähne 1 und 3 zu schließen. Durch langsames Öffnen des Hahnes 2 wird dann das Vakuum in der Vorlage aufgehoben und die Vorlage gegen eine andere ausgetauscht. Danach ist der Hahn 2 wieder zu schließen und Hahn 3 langsam zu öffnen. Wenn das Vakuum in der Vorlage erneut hergestellt ist, wird auch Hahn 1 geöffnet.

Zum Evakuieren dient meist eine Wasserstrahlpumpe, die über eine Woulffsche Flasche als Sicherheitsflasche und ein Quecksilbervakuummeter mit der Apparatur verbunden ist. Mit einer solchen Apparatur kann ein Vakuum von 2000 Pa erreicht werden. Der dritte Anschluß der Woulffschen Flasche ist mit einem Hahn-

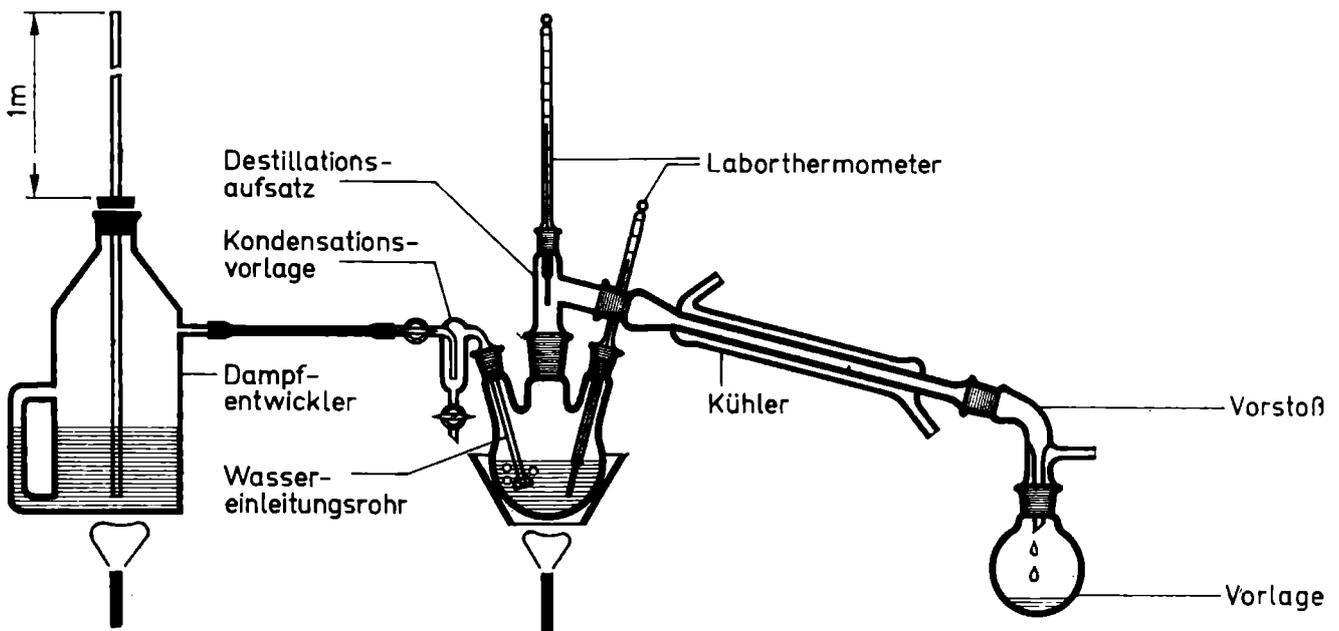


Abb. 241

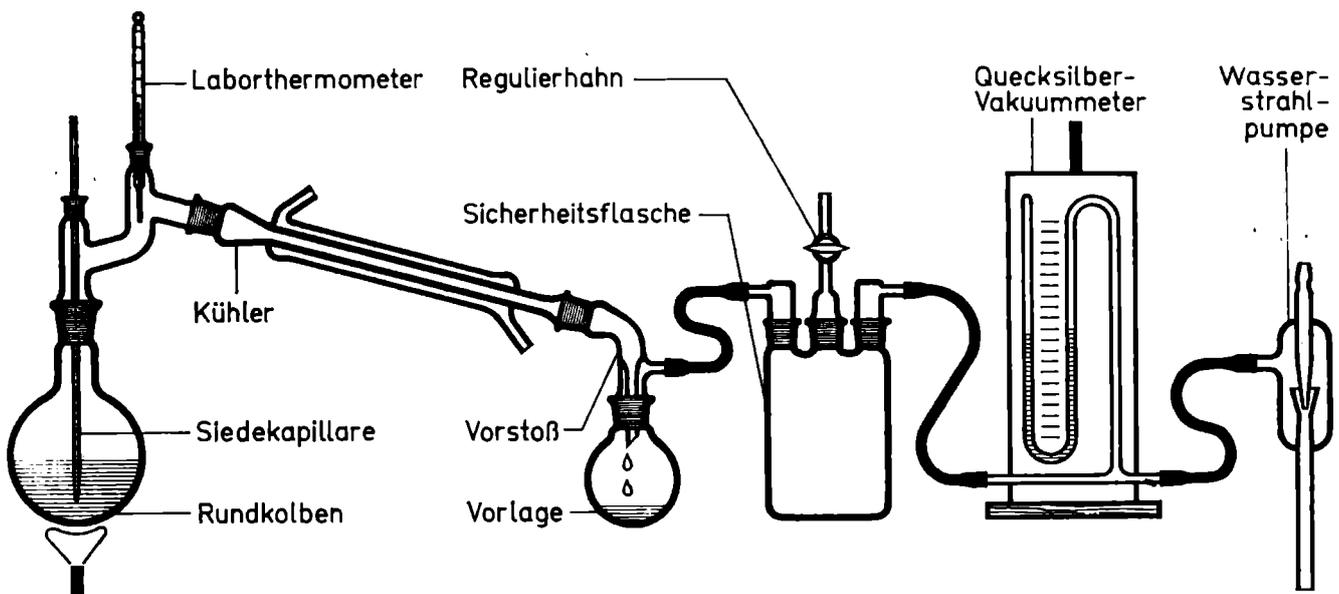


Abb. 242

Abb. 241 Apparatur zur Wasserdampfdestillation

Abb. 242 Apparatur zur Vakuumdestillation

rohr versehen, mit dem das Vakuum durch schwaches Öffnen oder Schließen eingestellt werden kann, da die Wasserzufuhr an der Wasserstrahlpumpe konstant bleiben muß. Außerdem läßt sich mit diesem Hahn das Vakuum aufheben. Das Manometer ist nur kurzzeitig durch Öffnen des entsprechenden Hahns einzuschalten. Der Hahn ist sehr langsam wieder zu schließen, wie überhaupt alle Hähne beim Betrieb der Apparatur sehr vorsichtig bedient werden müssen.

Aus Arbeitsschutzgründen ist folgendes zu beachten:

- Es dürfen nur völlig einwandfreie *vakuumfeste Geräte*, wie Rundkolben, Birnenkolben, Saugflaschen, Woulffsche Flaschen, verwendet werden. Auf keinen Fall sind Stehkolben, Erlenmeyerkolben und andere unregelmäßig geformte dünnwandige Geräte verwendbar.

- Geräte für Vakuumanlagen sind vorsichtig auf weichen Unterlagen abzustellen und zu lagern.
- Die Apparatur ist spannungsfrei am *Stativmaterial* zu befestigen; alle Klemmen müssen mit Gummi oder Kork belegt sein.
- Das *Erhitzen* darf nie direkt, sondern nur mit Heizbädern erfolgen.
- Zum Verbinden aller Teile der Apparatur wird *Vakuumschlauch* verwendet.
- Solange die Anlage unter Vakuum steht, muß eine *Schutzbrille* getragen werden.

Zur Durchführung der Vakuumdestillation wird die Apparatur unter Beachtung eventueller Besonderheiten zusammengestellt. Alle Schliffe werden mit sauberer Vaseline eingerieben. Jede Verschmutzung der Schliffe führt zu Undichtigkeit.

Zunächst ist die Pumpe in Betrieb zu nehmen und die *Einstellung des Vakuums* sowie die sichere Funktion der Apparatur zu überprüfen, indem das Einperlen von Luft an der Siedekapillare beobachtet wird und die kurzzeitige Druckkontrolle mit dem Manometer erfolgt. Erst danach darf mit dem Erwärmen begonnen werden.

Wie bei allen Destillationen scheiden sich auch hier die Stoffe bei annähernd konstanten Temperaturen in der Vorlage ab – konstante Druckverhältnisse vorausgesetzt. Steigt die Temperatur danach an, so wird die Destillation abgebrochen. Das gleiche muß geschehen, wenn die Kapillare nicht mehr in die Flüssigkeit ragt oder andere Störungen auftreten. Beim Beenden des Vorgangs ist unbedingt in folgender Reihenfolge zu verfahren:

- Heizquelle entfernen
- Vakuum in der Apparatur aufheben
- Wasserstrahlpumpe abstellen

Bei Wiederinbetriebnahme muß erst das Vakuum hergestellt sein, ehe erneut erwärmt wird.

### 2.1.7. Trennen, Zerkleinern, Mischen und Lösen von Stoffen

Neben den bisher beschriebenen Arbeitstechniken werden viele weitere Reaktionen von festen Stoffen und Flüssigkeiten in chemischen Schulexperimenten durchgeführt. Die meisten dieser Vorgänge können in einfachen Geräten, wie Reagenzgläsern, Schalen oder Tiegeln, ausgeführt werden. Darauf wird hier nicht näher eingegangen. Es sollen lediglich einige, im Zusammenhang mit solchen Experimenten wichtige Techniken, wie das Trennen von festen Stoffen und Flüssigkeiten, bei denen Besonderheiten zu beachten sind, sowie das Zerkleinern und Mischen von Stoffen, dargestellt werden.

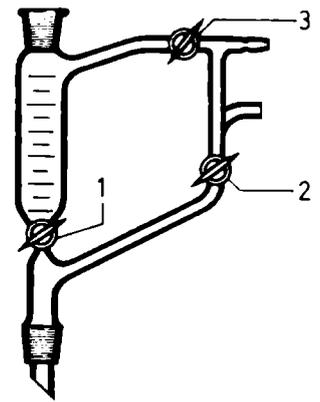


Abb. 243

Abb. 243 Vorstoß nach Anschütz-Thiele

### 2.1.7.1. Filtrieren, Dekantieren und Zentrifugieren

#### Allgemeine Grundlagen

Filtrieren, Dekantieren und Zentrifugieren dienen zum *Trennen von Aufschlämungen*, also von Flüssigkeiten und darin grob verteilten festen Stoffen. Beim Dekantieren wird der Dichteunterschied zwischen den Stoffen ausgenutzt. Meist scheidet sich der feste Stoff auf Grund seiner größeren Dichte nach einer gewissen Zeit am Boden der Gefäße ab (Sedimentation). Die überstehende klare Flüssigkeit kann dann vorsichtig abgegossen (dekantiert) werden. Dieses Verfahren ermöglicht nur eine erste grobe Trennung.

Vollständige Trennung ist durch *Filtrieren* möglich, bei dem die betreffenden Stoffe auf ein poröses Filter gegeben werden. Dieses ist so gewählt, daß nur die Flüssigkeit hindurchtreten kann und sich in einem untergestellten Gefäß als Filtrat sammelt. Der feste Stoff verbleibt als Filtrerrückstand auf dem Filter. Als Filtermaterial kommen Papier, Glassintermaterial und poröse Tonmassen in Betracht. Je nach Korngröße des abzuscheidenden Stoffes und dem Ziel der Arbeit können die Filtermaterialien mit unterschiedlicher Porosität ausgewählt werden (↗ S. 41 f.). Je feinporiger das Filtermaterial ist, desto länger dauert unter sonst gleichen Bedingungen der Vorgang des Filtrierens. Besonders feinkörnige und flockige Niederschläge lassen sich durch *Zentrifugieren* gut abtrennen.

#### Dekantieren

Als *Dekantiergefäß* werden meist Becher oder Erlenmeyerkolben verwendet. Die Becher sind zum Absetzen des aufgeschlämmten festen Stoffes an der dem Ausguß entgegengesetzten Seite durch Unterlegen eines Schlauchstückes etwas anzuheben. Die zu trennende Aufschlämung wird in das Dekantiergefäß gebracht und nach dem Absetzen die überstehende Flüssigkeit langsam abgegossen (Abb. 244). Oft ist es günstig, den Rückstand noch zu reinigen. Dazu wird er nach Zugabe einer Waschflüssigkeit – meist Wasser – erneut aufgewirbelt. Er muß sich dann wieder absetzen und wird dekantiert. Durch mehrmaliges Wiederholen des Vorgangs läßt sich der Bodensatz weitgehend reinigen.

## Einfaches Filtrieren

Bei diesem Verfahren wird die Aufschlammung auf ein Papierfilter in einen Trichter gegeben (Abb. 245). Der Trichter ist in ein geeignetes Filtriergestell oder einen passenden Stativring einzulegen. Der Trichterstiel soll an der Wand des untergestellten Geräts, meist eines Bechers, anliegen und auch am Ende des Vorgangs noch nicht in das Filtrat eintauchen. Im Trichterstiel bildet sich während des Filtrierens eine Flüssigkeitssäule, die einen Sog und damit höhere Filtriergeschwindigkeit bewirkt. Die Wirkung der Flüssigkeitssäule kann durch einen Flüssigkeitsfilm an der Wand der Vorlage verstärkt werden. Außerdem läßt sich auf diese Weise das Spritzen beim Eintropfen vermeiden. Die Aufschlammung soll an einem Glasstab in den Trichter laufen. Das Filter soll maximal bis zu zwei Dritteln seiner Höhe mit Flüssigkeit gefüllt werden. Als *Papierfilter* können glatte Rundfilter oder Faltenfilter gewählt werden. Glatte Filter liegen an der Trichterwand weitgehend an und lassen sich später recht gut herausnehmen, um den Filtrerrückstand zu gewinnen. Faltenfilter zerreißen leicht beim Herausnehmen, weisen aber bedeutend höhere Filtriergeschwindigkeit als glatte Filter in einem normalen Glastrichter auf. Werden Analysentrichter verwendet, die an der Trichterinnenwand erhabene Rippen aufweisen, so können mit glatten Filtern ebenfalls bedeutend höhere Filtriergeschwindigkeiten erreicht werden. Faltenfilter sind deshalb dann zu benutzen, wenn größere Flüssigkeitsvolumen filtriert werden sollen. Bei der *Auswahl der Filter* sind zu beachten:

- Größe des Trichters. Nach dem Einlegen soll das Filter etwa 1 cm unterhalb des Trichterrands enden (↗ Tab. 62, S. 92).
- Art des zu trennenden Niederschlags. Davon wird die Art des Filterpapiers bestimmt (↗ S. 41). Im Normalfall findet mittleres Filterpapier Anwendung.
- Weitere Bearbeitung des Rückstands. Sie hat ebenfalls Einfluß auf die notwendige Filterpapierqualität. Soll zum Beispiel für eine quantitative Bestimmung der Filtrerrückstand gegläht werden, so ist ein spezielles aschefreies Filter zu benutzen.

Zum Einlegen in den Trichter sind die Filter zu falten. Durch zweimaliges *Falten des Rundfilters* (Abb. 246a) entsteht ein Kegel, der als glattes Filter in den Trichter eingelegt werden kann. Werden die Kanten beim Falten genau übereinander gelegt, so paßt dieses Filter in einen Analysentrichter. Soll das Filter in einen einfachen Glastrichter eingelegt werden, so muß die Öffnung etwas weiter sein. Das läßt sich erreichen, wenn beim letzten Faltvorgang die Kanten nicht genau übereinander, sondern so gelegt werden, daß sie einen Winkel von etwa  $10^\circ$  bilden. Das trockene Filter wird nach dem Einlegen in den Trichter mit destilliertem Wasser angefeuchtet und so an die Glaswand gedrückt, daß keine Luftblasen entstehen. Dann kann die Aufschlammung hineingegeben werden. Wenn sich der feste Stoff bereits vorher weitgehend abgesetzt hat, so sollte zunächst ein wesentlicher Teil der Flüssigkeit abgegossen werden, ehe der feste Stoff wieder aufzuwirbeln und in den Trichter zu geben ist. Reste sind mit einem Gummiwischer zu überführen. Soll ein *Faltenfilter* hergestellt werden, so wird das bis zum Viertelkreis gefaltete Filter noch zwei weitere Male zusammengelegt, wodurch ein Sechstelkreis entsteht. Dann wird es wieder zum Halbkreis auseinandergenommen, jeder Kreisaus-

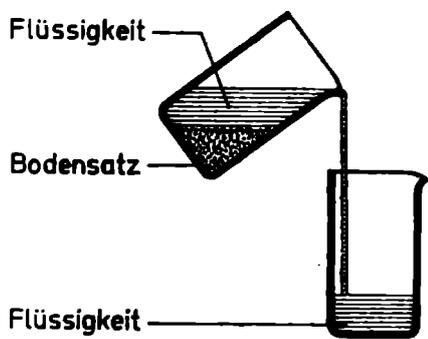


Abb. 244

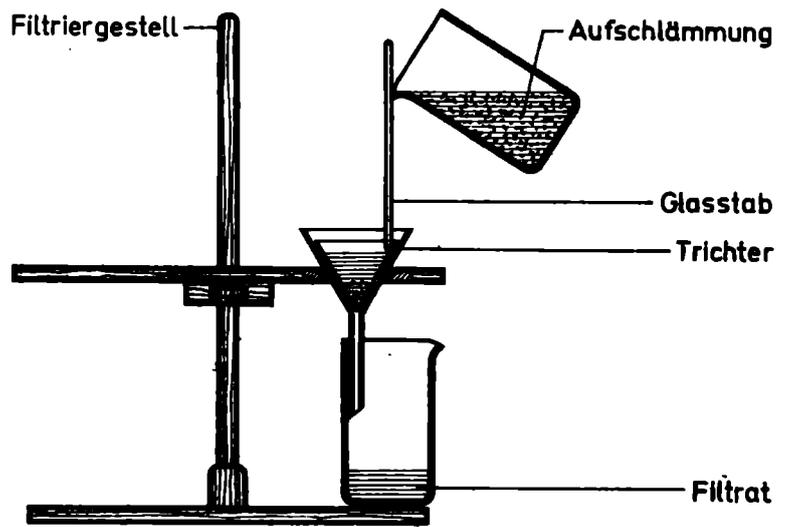


Abb. 245

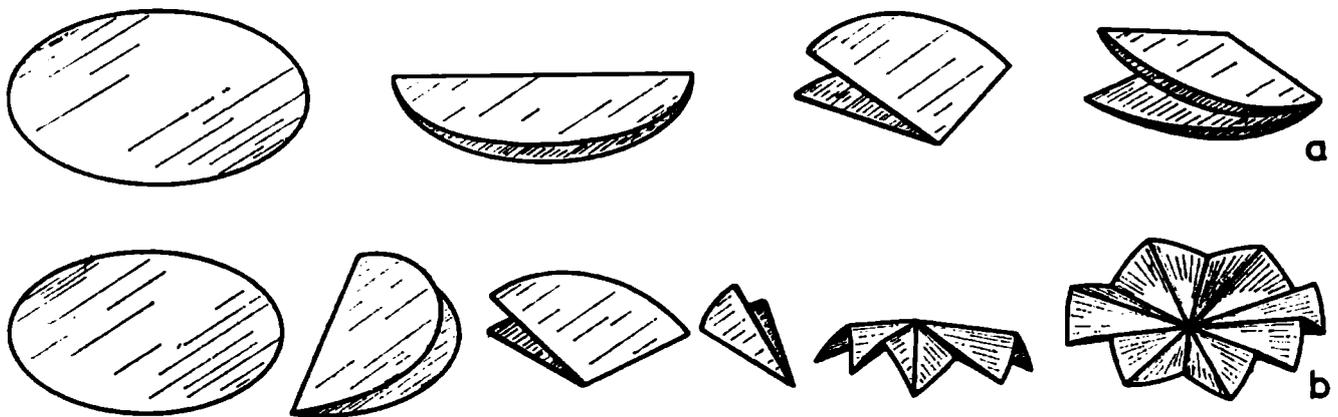


Abb. 246

Abb. 244 Dekantieren

Abb. 245 Anordnung zum Filtrieren

Abb. 246 Falten eines Rundfilters (a)  
und eines Faltenfilters aus einem Rundfilter (b)

schnitt nochmals gefaltet, und das Filter geöffnet. Schließlich sind die beiden einander gegenüberliegenden Sektoren mit gleichgerichteten Kanten nochmals zu halbieren (Abb. 246b). Oft, besonders bei analytischen Arbeiten, ist es notwendig, den Filtrerrückstand von Flüssigkeitsresten gründlich zu reinigen, ihn zu waschen. Wenn die gesamte Flüssigkeit aus dem Filter herausgelaufen ist, wird vorsichtig etwas Waschflüssigkeit – meist Wasser – an den oberen, von Filtrerrückständen freien Teil des Filterpapiers gegeben. Hat sich im Filter Flüssigkeit gesammelt, kann der Rückstand bei weiterer Flüssigkeitszugabe durchgewirbelt werden. Je nach den Experimentierbedingungen muß entschieden werden, ob zum Auffangen der durchlaufenden Waschflüssigkeit das Auffanggefäß zu wechseln ist. Vor einem Wiederholen des Waschens soll die Flüssigkeit erst wieder vollständig abgelaufen sein.

Soll bei erhöhter Temperatur filtriert werden, so sind beheizbare Trichter (↗ S. 129) zu benutzen.

## Filtrieren unter vermindertem Druck

Durch Unterdruck unter dem Filter kann das Filtrieren wesentlich beschleunigt werden. Das wirkt sich besonders dann günstig aus, wenn sehr feinkörnige Niederschläge mit feinporigen Filtern abzutrennen sind. In solchen Fällen sind an Stelle des normalen Trichters *Büchnertrichter* (Nutschen) zu verwenden, in denen das Filterpapier auf einer siebartig durchlöchernten festen Unterlage liegt. Die Büchnertrichter werden mit Hilfe eines Gummistopfens auf eine Saugflasche (Abb. 247) gesetzt. Der Anschlußstutzen wird mit einem Vakuumschlauch über eine Sicherheitsflasche an die Wasserstrahlpumpe angeschlossen. Als Sicherheitsflasche ist wie bei der Vakuumdestillation (↗ S. 204) eine dreifach tubulierte Woulffsche Flasche zu verwenden, in deren dritten Tubus ein Hahn zum Einstellen des Vakuums einzusetzen ist. Zum Filtrieren wird auf die Siebplatte des Büchnertrichters ein genau passendes, der Nenngröße des Trichters entsprechendes Rundfilter gebracht, durchfeuchtet und so angedrückt, daß keine Luftblasen erkennbar sind. Dann wird die Wasserstrahlpumpe angestellt, das gute Anliegen des Filters nochmals geprüft und die zu filtrierende Aufschlämmung wie bei der einfachen Filtration zugegeben. Diese soll sich vorher bereits stark abgesetzt haben, so daß zunächst weitgehend klare Flüssigkeit durchläuft und erst gegen Ende der Arbeiten der Hauptteil des festen Stoffes in den Trichter gelangt, um ein frühzeitiges Verstopfen der Poren des Filters zu vermeiden. Das Filtrieren soll langsam erfolgen, damit das Papierfilter nicht beschädigt wird. Das läßt sich durch Öffnen des Hahns an der Sicherheitsflasche erreichen. Das Waschen geschieht wie beim einfachen Filtrieren. Die Wasserstrahlpumpe darf erst abgestellt werden, wenn der Unterdruck in der Apparatur durch Öffnen des Hahns an der Sicherheitsflasche beseitigt ist. Zum Absaugen von Fällungen, die anschließend getrocknet und dann gewogen werden sollen, sind *Fritten* günstig (↗ S. 44). Soll gegläht und gewogen werden, eignen sich *Filtertiegel*. Zum Absaugen ist die Fritte oder der Tiegel mit Hilfe eines geraden Vorstoßes und einer Gummimanschette auf eine Saugflasche (Abb. 248 a) oder ein Reagenzglas mit Seitenrohr (Abb. 248 b) zu setzen.

Das Rohr des Vorstoßes soll unterhalb des Seitenrohrs der Saugflasche enden. Der untere Rand der Fritte beziehungsweise der Boden des Tiegels soll sich unterhalb der Gummimanschette befinden. Das Filtrieren erfolgt wie bei Verwendung des Büchnertrichters.

## Zentrifugieren

Mit Hilfe von Zentrifugen (↗ S. 105) können auch sehr feinkörnige Niederschläge von Flüssigkeiten abgetrennt werden. Diese Arbeitsweise kommt bei der Tätigkeit in Arbeitsgemeinschaften in Betracht. In die Zentrifugenbecher am Rotor werden die passenden Zentrifugengläser mit den Substanzen eingesetzt. Beim *Arbeiten mit Zentrifugen* ist folgendes zu beachten:

- Vor jeder Benutzung der Zentrifuge ist die sichere und bewegliche *Aufhängung der Becher* am Rotor zu kontrollieren (außer bei elektrischen Winkelzentrifugen).

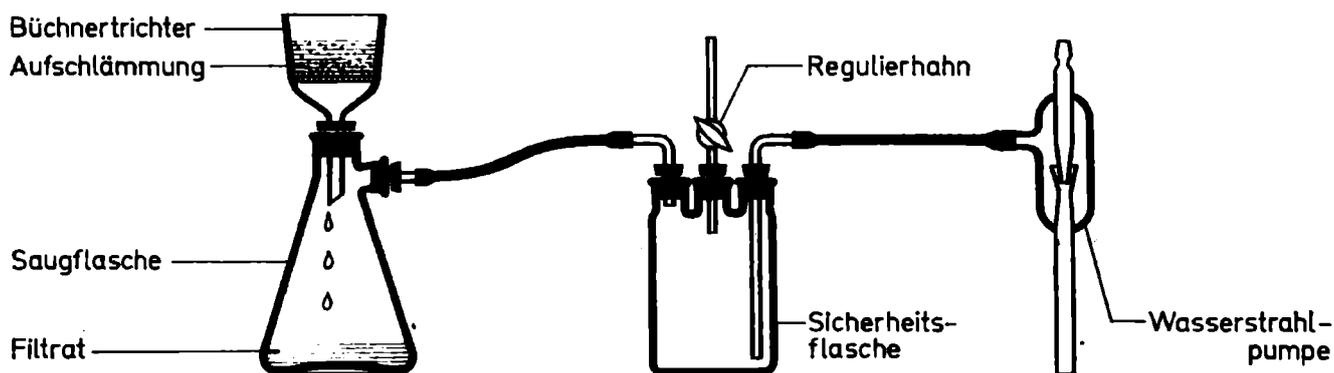


Abb. 247

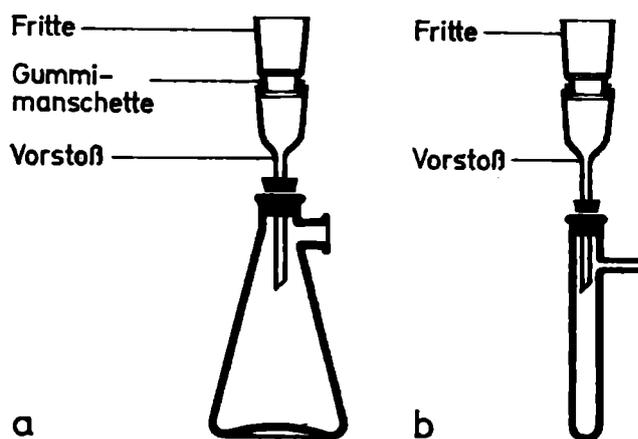


Abb. 248

a

b

Abb. 247 Anlage zum Filtrieren bei vermindertem Druck

Abb. 248 Filtrieren mit Fritten

- Der Rotor ist stets symmetrisch zu belasten. Gegenüberliegende Becher sind mit gleichgefüllten Zentrifugengläsern zu besetzen. Soll nur in einem Glas eine Trennung erfolgen, dann ist das gegenüberliegende Glas mit Wasser zum Massenausgleich zu füllen.
- Vor Ingangsetzen sind die Schutzvorrichtungen, wie Schutzhauben oder Schutzbleche, anzubringen und auf richtigen Sitz zu prüfen, der Zentrifugenbehälter ist betriebssicher zu verschließen.

Nach 1 ... 2 min ist oft schon eine gute Trennung der Stoffe im Zentrifugenglas erreicht. Erst nach völligem Stillstand des Rotors dürfen die Zentrifugengläser entnommen werden. Die überstehende Flüssigkeit kann meist abgegossen werden, da der Niederschlag am Boden stark verdichtet ist. Gegebenenfalls muß sie abgesaugt werden.

### 2.1.7.2. Trocknen von festen Stoffen

#### Allgemeine Bemerkungen

Das Trocknen von Stoffen, aber auch von Geräten, ist eine häufige Tätigkeit bei chemischen Experimenten. Das Trocknen von Geräten erfolgt im Trockenschrank (↗ S. 96), bei kleineren Geräten auch im Exsikkator. Das Trocknen von Gasen erfolgt nach verschiedenen Verfahren (↗ S. 194). Organische Flüssigkeiten werden

in vielen Fällen durch Zugabe eines in der Flüssigkeit nicht löslichen, aber stark Wasser bindenden festen Stoffes getrocknet. Das kann beispielsweise entwässertes Kupfer(II)-sulfat oder Natriumdraht sein. Bei festen Stoffen gibt es einmal die Möglichkeit, Feuchtigkeit von saugfähigen Stoffen aufnehmen zu lassen; zum anderen kann der zu trocknende Stoff in einen Raum mit stark verringerter Luftfeuchtigkeit gebracht werden, wobei sich der Trockenvorgang durch Erzeugen von Unterdruck noch begünstigen läßt.

### **Trocknen auf saugfähigen Unterlagen**

Ein einfaches, auch im Chemieunterricht oft benutztes Verfahren zum groben Trocknen fester Stoffe besteht darin, sie auf eine saugfähige Unterlage zu bringen oder mit saugfähigen Stoffen abzutupfen. Im einfachsten Fall können das mehrere Lagen *Filterpapier* sein. Je nach den Eigenschaften des zu trocknenden Stoffes ist zu entscheiden, was später mit dem Filterpapier geschehen soll. Filterpapier, das beispielsweise zum Abtupfen von weißem Phosphor benutzt worden ist, muß anschließend verbrannt und darf nicht in Abfallbehälter geworfen werden.

Besonders beim präparativen Arbeiten ist es üblich, größere Massen von festen Stoffen, zum Beispiel einen Kristallbrei, auf poröse, noch nicht voll gebrannte *Tonteller* zu bringen. Der Stoff muß gut auf der Unterlage aufliegen, soll aber nicht besonders angedrückt werden.

Die genannten Verfahren ermöglichen nur ein grobes Trocknen und setzen voraus, daß es sich nicht um empfindliche Stoffe handelt.

### **Trocknen im Exsikkator**

Schonende und intensive Trocknung kann im Exsikkator erreicht werden, der auch zur trockenen Aufbewahrung von Stoffen dienen kann. Das Unterteil des Exsikkators wird durch eine Exsikkatorplatte aus Porzellan in zwei Räume getrennt. In dem unteren Raum befindet sich das *Trockenmittel*. Im Chemieunterricht wird dazu wasserfreies Calciumchlorid sowie Kieselgel (Blaugel) verwendet.

Die Exsikkatorplatten werden mit unterschiedlich großen Löchern geliefert. Sie sind so auszuwählen, daß hineinzustellende Geräte, zum Beispiel Tiegel, fest stehen. Der zu trocknende Stoff ist in geeigneten, möglichst weiten Gefäßen auf diese Platte zu stellen. Dann wird der Deckel von der Seite auf den sorgfältig gereinigten und mit Paraffinöl leicht eingeriebenen Planschliff des Unterteils geschoben. Dabei soll ein luftdichter Verschuß gesichert sein. Zum Öffnen wird der Deckel später wieder nach der Seite abgezogen.

Zum Beschleunigen des *Trocknungsvorgangs* kann der Exsikkator evakuiert werden, wenn statt des Deckelstopfens ein Schliffstopfen mit Hahn und seitlichem Absaugrohr in der Kegelschliffhülse des Deckels vorhanden ist (↗ Abb. 47, S. 41). Das Absaugrohr soll im Deckel nach oben umgebogen sein. Auch hier ist zwischen Exsikkator und Wasserstrahlpumpe eine Sicherheitsflasche einzuschalten (↗ S. 204). Wegen der Implosionsgefahr dürfen evakuierte Exsikkatoren nicht transportiert werden, sondern sollen auf weicher Unterlage unter einer Schutzhaube aus Draht stehen.

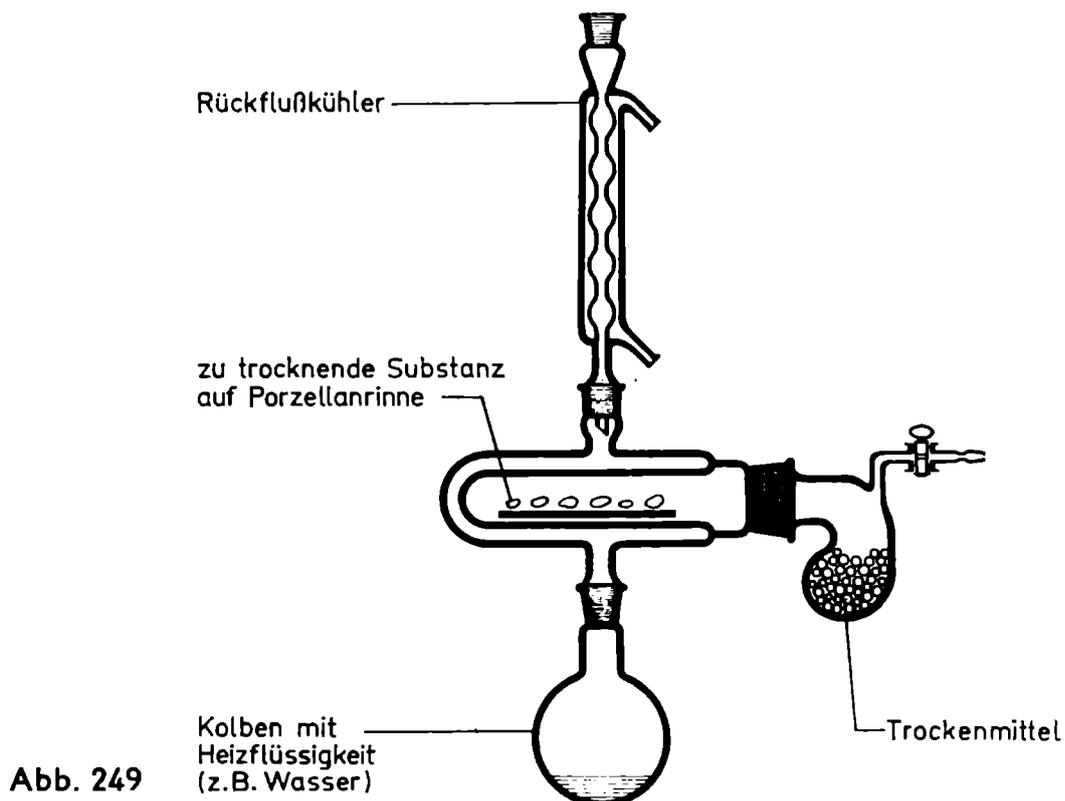


Abb. 249

Abb. 249 Trockenpistole mit Rückflußkühler

Im Exsikkator können neben festen Stoffen auch Flüssigkeiten getrocknet werden. Das Evakuieren ist dann allerdings wegen des Verdampfens der Flüssigkeit meist nicht möglich. Bei chemischen Experimenten werden weitere spezielle Trockenapparate verwendet. Besonders bekannt ist die Trockenpistole (Abb. 249).

### 2.1.7.3. Extrahieren

Beim Extrahieren wird ein Stoff aus einem Stoffgemisch mit Hilfe eines Lösungsmittels herausgelöst. Solche Extraktionen lassen sich bei Zimmertemperatur durchführen, indem im einfachsten Falle Extraktionsgut und Lösungsmittel in einem verschlossenen Kolben geschüttelt, filtriert und dann der extrahierte Stoff aus dem Extraktionsmittel durch Eindampfen oder Destillation gewonnen wird. Oft muß aber bei erhöhten Temperaturen gearbeitet werden. Im Chemieunterricht spielt das bei der Behandlung der Fette eine Rolle. Als Extraktionsmittel kommt dann Tetrachlormethan in Betracht. Bei Demonstrationsexperimenten zur Extraktion wird häufig der *Extraktionsapparat nach Soxhlet* für 100 ml (Abb. 250 a) verwendet.

Der zu extrahierende Stoff kommt gut zerkleinert in einer Extraktionshülse aus Filterpapier in den Mittelteil des Apparates. Dabei ist zu beachten, daß die Extraktionshülse mit ihrem oberen Rand höher als das seitliche Überlaufrohr (Heberrohr) steht. Nach dem Einfüllen des Extraktionsmittels in den Rundkolben, dem Zusammenbau des Apparates und dem Einstellen des Kühlwasserflusses wird die Flüssigkeit erhitzt. Ihr Dampf kondensiert im Rückflußkühler und tropft auf den zu extrahierenden Stoff. Steht dort die Flüssigkeit genügend hoch, so hebt sie

sich selbständig ab und fließt in den Rundkolben zurück. Nach etwa 20 min kann bei der Extraktion von Ölsaaten das Extraktionsmittel vorsichtig abgedampft und das gewonnene Fett gezeigt werden. Für Schülerexperimente sind vereinfachte Geräte entwickelt worden (Abb. 250c und d) [84]. Als Extraktionsmittel darf hierbei nur das nicht brennbare Tetrachlormethan benutzt werden. Bei einzelnen Apparaten (Abb. 250c) ist nach einiger Zeit das Extraktionsmittel vom Extraktionsgut durch Filtrieren zu trennen.

#### 2.1.7.4. Zerkleinern und Mischen

Zerkleinern und Mischen werden bei chemischen Schalexperimenten fast immer in einfachen Geräten durchgeführt. Bei festen Stoffen findet sehr häufig die *Reibschale* (der Mörser) Anwendung. Das Herstellen von Lösungen als eine besondere Form des Mischens von festen Stoffen und Flüssigkeiten wird gesondert behandelt (↗ S. 215).

##### Mischen von festen Stoffen

Sind feste Stoffe zu mischen, ohne daß deren Korngröße zu verändern ist, so werden sie im einfachsten Falle in einem Gefäß zusammengegeben und kräftig umgerührt. Eine andere Möglichkeit besteht im mehrmaligen Umschütten zwischen zwei Gefäßen oder auf Kartonstücken.

Handelt es sich um Stoffe, die *explosive Gemische* bilden können, so dürfen sie nur durch Umschütten auf Kartonstücken in Berührung gebracht werden (↗ S. 356).

##### Arbeiten mit der Reibschale

In die Reibschale wird der grobkörnige, trockene Stoff gegeben. Das Gerät darf dabei nur bis zu etwa einem Viertel der Höhe gefüllt sein. Dann wird mit dem passenden Pistill unter leichtem Druck drehend gerieben, bis der gewünschte Zerteilungsgrad erreicht ist. Oft werden auch mehrere feste Stoffe in der Reibschale bearbeitet. Nach dem Entfernen der bearbeiteten Stoffe ist die Reibschale gründlich zu säubern. Vielfach reicht die Behandlung mit Wasser aus. Haben sich an der rauhen Innenfläche der Reibschale und dem Pistill Stoffreste festgesetzt, so ist zur Beseitigung etwas Seesand zu pulverisieren.

Feste Stoffe, die miteinander reagieren, insbesondere, wenn sie explosive Gemische bilden, dürfen keinesfalls in der Reibschale bearbeitet werden.

##### Mischen von Flüssigkeiten

Mehrere Flüssigkeiten sind unter Umrühren in einem Becher, einem Mischzylinder oder einem ähnlichen Gerät miteinander zu vermischen. Die Auswahl der Geräte muß unter Beachtung der möglichen Effekte erfolgen. Ist das Mischen mit Wärmeentwicklung verbunden, so darf beispielsweise kein dickwandiges Gerät benutzt werden. Beim Mischen wird im allgemeinen die weniger konzentrierte Lösung

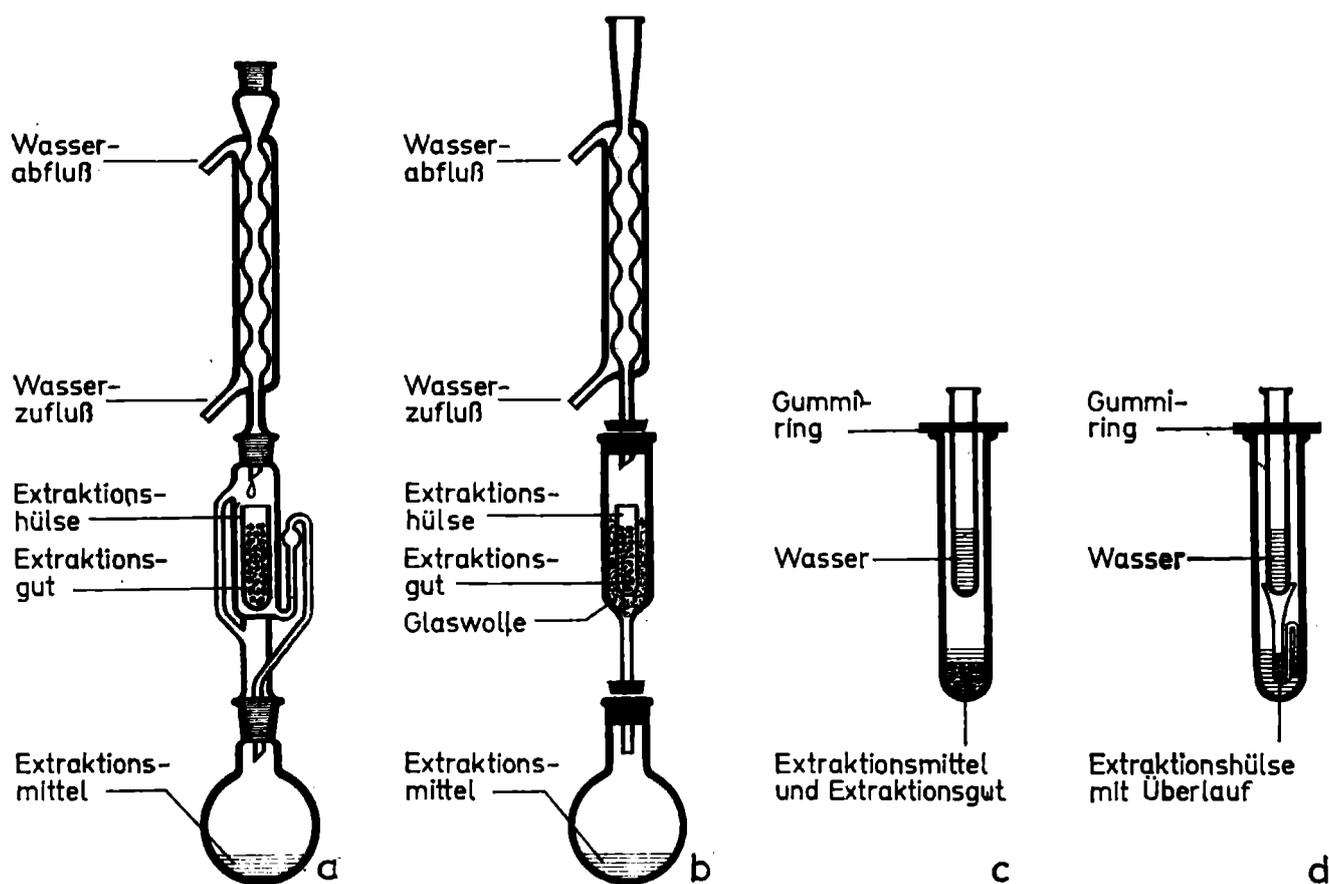


Abb. 250

**Abb. 250 Extraktionsapparate**

a) nach Soxhlet, b) vereinfachte Apparatur für Demonstrationsexperimente, c) und d) Apparaturen für Schülerexperimente

oder das Wasser vorgelegt und die höher konzentrierte Lösung langsam in feinem Strahl zugegeben. Das gilt ganz besonders für das Verdünnen von konzentrierten Säurelösungen und Alkalimetallhydroxidlösungen. Während des Vorgangs sind Veränderungen des entstehenden Gemisches genau zu beobachten, um bei unerwünschten Effekten sofort notwendige Sicherheitsvorkehrungen treffen zu können. Im gewählten Beispiel wäre die Zugabe des konzentrierten Stoffes zu verlangsamen und gegebenenfalls auch noch zu kühlen.

**2.1.7.5. Herstellen von Lösungen**

Eine besondere Form des Mischens ist das Herstellen von Lösungen. In vielen Fällen sind Lösungen mit einer vorgegebenen Konzentration des gelösten Stoffes herzustellen.

**Konzentration**

Viele chemische Reaktionen laufen in flüssiger Phase ab. Deshalb werden Chemikalien oft in Form von Lösungen verwendet. Der Anteil eines Stoffes in einem Stoffgemisch, wie einer Lösung, wird als Konzentration bezeichnet. Dafür gibt es unterschiedliche Angaben.

### Massenanteil $w$

Der Massenanteil eines Stoffes  $m$  an der Gesamtmasse des Stoffgemisches  $m_G$  kann in Prozent angegeben werden.

$$w = \frac{m}{m_G} \cdot 100\%$$

*Beispiel:* Sind in 200 g Lösung 40 g eines Stoffes gelöst, so liegt eine 20%ige Lösung vor.

### Volumenanteil $\varphi$

Die Angabe des Volumenanteils ist vorwiegend bei Gemischen einiger organischer Flüssigkeiten (z. B. Ethanol in Wasser) sowie bei Gasen üblich. Angegeben wird der Volumenanteil eines Stoffes  $V$  am Gesamtvolumen des Stoffgemisches  $V_G$

$$\varphi = \frac{V}{V_G} \cdot 100\%$$

### Stoffmengenkonzentration (Molarität) $C$

Die Angabe der Konzentration von Lösungen durch die Molarität wird bei quantitativen Experimenten häufig benutzt. Die Molarität  $C$  ist definiert als Quotient aus der Stoffmenge  $n$  und dem Volumen der Lösung  $V_L$ .

$$C = \frac{n}{V_L}$$

Unter Berücksichtigung der molaren Masse  $M$ , die als Quotient aus der Masse  $m$  und der Stoffmenge  $n$  definiert ist, läßt sich die Gleichung umstellen:

$$M = \frac{m}{n}$$

$$C = \frac{m}{M \cdot V_L}$$

Die letzte Form ist zum Ermitteln der Massen für das Herstellen von molaren Lösungen wesentlich.

*Beispiel:* Es sollen 500 ml 0,5 M Natriumchloridlösung ( $M = 58,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) hergestellt werden.

$$m = C_{\text{NaCl}} \cdot M \cdot V_L$$

$$m = 0,5 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1} \cdot 58,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot 0,5 \text{ l}$$

$$m = 14,63 \text{ g}$$

Es sind also 14,63 g Natriumchlorid zu 500 ml Lösung zu verarbeiten (↗ S. 223).

### Äquivalentmengenkonzentration (Normalität) $C_{\ddot{A}}$

Die Normalität ist eine von der Molarität abgeleitete Angabe der Konzentration, die vor allem bei der Maßanalyse angewandt wird. An Stelle der Stoffmenge ist bei der Normalität die Äquivalentmenge  $n_{\ddot{A}}$  einzusetzen.

$$C_{\ddot{A}} = \frac{n_{\ddot{A}}}{V_L}$$

Die Äquivalentmenge  $n_{\ddot{A}}$  ist das Produkt aus der Stoffmenge  $n$  und der wirksamen Wertigkeit  $z$ .

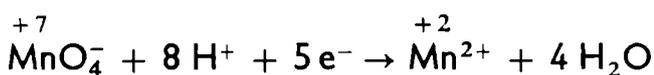
$$n_{\ddot{A}} = n \cdot z$$

Die Einheit der Äquivalentmenge ist wie die Einheit der Stoffmenge Mol (Kurzzeichen mol).

Bei Ionenreaktionen ist die *wirksame Wertigkeit* gleich der Ladung der Ionen, unabhängig von der Art der Ladung. In der Schwefelsäure sind die Sulfat-Ionen zweifach negativ geladen, die wirksame Wertigkeit ist 2. Die Äquivalentmenge  $n_{\ddot{A}}$  für Schwefelsäure ist demnach

$$n_{\ddot{A}_{\text{H}_2\text{SO}_4}} = 2n_{\text{H}_2\text{SO}_4}$$

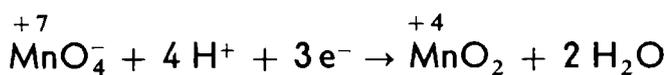
Bei Redoxreaktionen ergibt sich die wirksame Wertigkeit des Oxydations- und des Reduktionsmittels aus der Änderung der Oxydationszahl des betreffenden Elements. Soll die Äquivalentmenge von Kaliumpermanganat bestimmt werden, so ist zu berücksichtigen, daß dieser Stoff unterschiedlich reagieren kann. In saurer Lösung wirken Permanganat-Ionen oxydierend und werden dabei zu Mangan(II)-Ionen reduziert:



Bei dieser Reaktion ändert Mangan seine Oxydationszahl um 5. Die wirksame Wertigkeit ist also mit 5 einzusetzen.

$$n_{\ddot{A}_{\text{KMnO}_4}} = 5n_{\text{KMnO}_4}$$

Im allgemeinen wird mit dieser Äquivalentmenge für Kaliumpermanganat gerechnet. In neutraler oder schwach saurer Lösung läuft folgende Reaktion ab:



Die Änderung der Oxydationszahl ist hier 3. Die Äquivalentmenge von Kaliumpermanganat wäre in diesem Falle also das Dreifache der Stoffmenge.

*Beispiel:* Soll 1 l einer 0,1 N Kaliumpermanganatlösung für Redoxreaktionen in saurer Lösung hergestellt werden, so kann die einzuwägende Masse des Kaliumpermanganats berechnet werden.

$$C_{\ddot{A}} = \frac{n_{\ddot{A}}}{V_L}$$

$$C_{\ddot{A}} = \frac{n \cdot z}{V_L}$$

Weiterhin kann die Stoffmenge durch den Quotienten aus Masse  $m$  und molarer Masse  $M$  ausgedrückt werden:

$$C_{\bar{A}} = \frac{m \cdot z}{M \cdot V_L}$$

Daraus folgt durch Umformung:

$$m = \frac{C_{\bar{A}} \cdot M \cdot V_L}{z}$$

Für das gewählte Beispiel gilt:

$$V_L = 1 \text{ l}, \quad M = 158 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}, \quad C_{\bar{A}} = 0,1 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}, \quad z = 5.$$

$$m = \frac{0,1 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1} \cdot 158 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot 1 \text{ l}}{5}$$

$$m = 3,16 \text{ g}$$

3,16 g Kaliumpermanganat müssen also eingewogen und im Meßkolben zu 1 l Lösung aufgefüllt werden.

Neben den angeführten Konzentrationsangaben sind auch noch die *Molalität*, bei der die Stoffmenge des gelösten Stoffes auf 1000 g Lösungsmittel bezogen ist, und die Angabe des *Stoffmengenanteils* gebräuchlich.

Die verschiedenen Konzentrationen können ineinander umgerechnet werden (Tab. 86).

Beim Arbeiten mit den angegebenen Formeln ist auf die teilweise notwendige Umrechnung von Milliliter in Liter und umgekehrt zu achten.

**Tabelle 86** Umrechnung von Konzentrationen

Gegebene Konzentration	Gesuchte Konzentration		
	Massenanteil	Stoffmengen- konzentration	Äquivalentmengen- konzentration
Massenanteil	–	$C = \frac{w \cdot \rho}{M \cdot 100\%}$	$C_{\bar{A}} = \frac{w \cdot \rho \cdot z}{M \cdot 100\%}$
Stoffmengen- konzentration	$w = \frac{C \cdot M \cdot 100\%}{\rho}$	–	$C_{\bar{A}} = C \cdot z$
Äquivalentmengen- konzentration	$w = \frac{C \cdot M \cdot 100\%}{\rho \cdot z}$	$C = \frac{C_{\bar{A}}}{z}$	–

$M$  molare Masse in  $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$\rho$  Dichte der Lösung in  $\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$

$C$  Stoffmengenkonzentration in  $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$

$C_{\bar{A}}$  Äquivalentmengenkonzentration in  $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$

$z$  wirksame Wertigkeit

$w$  Massenanteil

*Beispiel:* Für eine 2 M Schwefelsäure sind Massenanteil und Normalität zu berechnen. Die Dichte beträgt  $\rho = 1,123 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$ .

$$w = \frac{C \cdot M_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot 100\%}{\rho}$$

$$w = \frac{2 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1} \cdot 98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot 100\%}{1,123 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}}$$

$$w = \frac{2 \cdot 98 \cdot 100\% \text{ mol} \cdot \text{g} \cdot \text{l}}{1,123 \cdot 1000 \text{ l} \cdot \text{mol} \cdot \text{g}}$$

$$w = 17,47\%$$

Die 2 M Schwefelsäure ist 17,47% ig.

$$C_{\bar{A}} = C \cdot z$$

$$C_{\bar{A}} = 2 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1} \cdot 2$$

$$C_{\bar{A}} = 4 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$$

Die 2 M Schwefelsäure ist 4-normal.

Wenn es nicht auf hohe Genauigkeit ankommt, können Umrechnungen auch auf grafischem Wege vorgenommen werden ( $\nearrow$  Anhang, S. 412).

### Herstellen von Lösungen mit einem bestimmten Massenanteil

Lösungen einer gewünschten Konzentration können durch Lösen eines Stoffes im Lösungsmittel oder durch Verdünnen bereits vorliegender Lösungen hergestellt werden. Dabei sind die zu lösenden Stoffe stets in das Lösungsmittel zu geben und nicht umgekehrt. Das gilt besonders für das Verdünnen von Säuren und Basen.

Zur Herstellung von *Lösungen mit einem bestimmten Massenanteil* wird die notwendige Masse Lösungsmittel in einen Becher eingewogen und darin die ebenfalls durch Wägung bestimmte Masse des festen Stoffes gelöst. Das Wägen des Lösungsmittels läßt sich durch Abmessen eines entsprechenden Volumens unter Beachten der Dichte ersetzen. Diese Arbeitsweise ist für die Herstellung wäßriger Lösungen sehr günstig, weil die Dichte des Wassers beim Arbeiten im Chemieunterricht meist gleich  $1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  gesetzt werden kann.

*Beispiel:* Es soll eine 2%ige wäßrige Natriumchloridlösung hergestellt werden. 100 g Natriumchloridlösung enthalten 2 g Natriumchlorid und 98 g Wasser. Daher werden 98 g Wasser abgewogen oder 98 ml Wasser abgemessen und darin 2 g Natriumchlorid gelöst.

Viele Chemikalien lassen sich nicht genau wägen, da sie Wasser, Kohlendioxid oder Sauerstoff aus der Luft aufnehmen oder langsamer Zersetzung unterliegen (z. B. Natriumhydroxid, Calciumoxid). In solchen Fällen können nur annähernd genaue Massen der Stoffe in das Lösungsmittel gegeben werden. Wenn nötig, ist die Konzentration nachträglich genau zu bestimmen ( $\nearrow$  S. 226).

Durch die bei Experimentieranleitungen angegebenen Konzentrationen von Lösungen sollen oft nur annähernd genaue Mengen der reagierenden Stoffe ge-

währleistet werden. Das gilt besonders, wenn die Angaben als Massenanteil erfolgen. In diesen Fällen kann auf eine nachträgliche, exakte Ermittlung der Konzentration verzichtet werden.

Eine zweite Möglichkeit, Lösungen herzustellen, deren Massenanteil gegeben ist, besteht darin, konzentrierte Lösungen zu verdünnen. Aufgaben des Mischungsrechnens können mit der *Mischungsgleichung* gelöst werden:

$$m_1 \cdot w_1 + m_2 \cdot w_2 = (m_1 + m_2) w_E$$

$m_1$  Masse der Lösung I  
 $m_2$  Masse der Lösung II  
 $w_1$  Massenanteil von Lösung I  
 $w_2$  Massenanteil von Lösung II  
 $w_E$  Massenanteil der Endlösung

Mit Hilfe der Mischungsgleichung kann die *Masse einer Lösung* berechnet werden, wenn die Masse der anderen Lösung sowie die Konzentrationen ( $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_E$ ) bekannt sind.

*Beispiel:* Aus 10 g 65%iger Salpetersäure soll durch Verdünnen mit Wasser eine 12%ige Säure hergestellt werden.

Gegeben:		Gesucht:
$m_1 = 10 \text{ g}$	$w_2 = 0\%$	$m_2$
$w_1 = 65\%$	$w_E = 12\%$	

Aus der Mischungsgleichung ergibt sich:

$$(10 \text{ g} \cdot 65\%) + (0\% \cdot m_2) = (10 \text{ g} + m_2) \cdot 12\%$$

$$650 \text{ g} \cdot \% = 120 \text{ g} \cdot \% + 12\% \cdot m_2$$

$$m_2 = 44,2 \text{ g}$$

Es müssen also 44,2 g Wasser vorgelegt werden.

Die Mischungsgleichung ermöglicht außerdem, den *prozentualen Anteil eines Stoffgemisches aus zwei bekannten Lösungen* zu berechnen.

*Beispiel:* 20 g einer 37%igen Chlorwasserstoffsäure werden mit 100 g Wasser vermischt.

Gegeben:		Gesucht:
$m_1 = 20 \text{ g}$	$m_2 = 100 \text{ g}$	$w_E$
$w_1 = 37\%$	$w_2 = 0\%$	

Aus der Mischungsgleichung ergibt sich:

$$(20 \text{ g} \cdot 37\%) + (100 \text{ g} \cdot 0\%) = (20 \text{ g} + 100 \text{ g}) w_E$$

$$740 \text{ g} \cdot \% = 120 \text{ g} \cdot w_E$$

$$w_E = 6,2\%$$

Die entstehende Chlorwasserstoffsäure ist also 6,2%ig.

Das Mischungsverhältnis läßt sich auch mit dem *Mischungskreuz* ermitteln (Abb. 251), wobei allerdings keine physikalischen Größen eingesetzt werden können.



Lösung	Dichte $\rho$ in $\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$	Annähernde Konzentration		Beschaffung
		in %	in $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$	
rauchende Salpetersäure (Gift 2)	1,48	86	20	käuflich
konzentrierte Salpetersäure	1,40	65	15	käuflich
verdünnte Salpetersäure	1,066	12	2	100 ml konzentrierte Salpetersäure (Gift 2) vorsichtig in 620 ml Wasser lösen
rauchende Chlorwasserstoffsäure (Gift 2)	1,19	37	12	käuflich
konzentrierte Chlorwasserstoffsäure (Gift 2)	1,12	24	7,5	käuflich oder 100 ml rauchende Chlorwasserstoffsäure (Gift 2) mit 65 ml Wasser mischen
verdünnte Chlorwasserstoffsäure	1,03	7	2	100 ml rauchende Chlorwasserstoffsäure (Gift 2) in 510 ml Wasser lösen
konzentrierte Natriumhydroxidlösung (Gift 2)	1,36	33	11	käuflich
verdünnte Natriumhydroxidlösung	1,085	7,5	2	100 ml konzentrierte Natriumhydroxidlösung (Gift 2) vorsichtig in 460 ml Wasser lösen
konzentrierte Ammoniaklösung (Gift 2)	0,910	25	13	käuflich
verdünnte Ammoniaklösung	0,985	3,5	2	100 ml konzentrierte Ammoniaklösung (Gift 2) vorsichtig in 560 ml Wasser lösen

Lösung	Dichte $\rho$ in $\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$	Annähernde Konzentration		Beschaffung
		in %	in $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$	
Wasserstoff- peroxidlösung	1,010	3	1	käuflich oder 10 ml 30%ige Wasserstoffper- oxidlösung in 100 ml Wasser lösen

### Herstellen normaler und molarer Lösungen im Meßkolben

Die *Herstellung normaler und molarer Lösungen* erfolgt im Meßkolben ( $\nearrow$  S. 66), da hier die Masse des gelösten Stoffes nicht auf die Masse, sondern auf das Volumen der Lösung bezogen wird. Der Kolben ist zunächst teilweise mit Wasser oder dem erforderlichen Lösungsmittel zu füllen. Dann wird darin der genau eingewogene Stoff gelöst und bis zur Eichmarke des Meßkolbens aufgefüllt ( $\nearrow$  S. 145).

*Beispiel:* Es soll eine 0,1 M Natriumcarbonatlösung hergestellt werden.

Die Lösung enthält 0,1 mol Natriumcarbonat in 1 l. Ein Meßkolben ( $1000 \text{ cm}^3$ ) wird etwa zur Hälfte mit destilliertem Wasser gefüllt. Reines Natriumcarbonat ist durch Glühen unter Umrühren bei kleiner Flamme im Schmelztiegel, ohne daß der Stoff sintert oder schmilzt, vollständig zu entwässern. Nach 20 min Erhitzen muß das Natriumcarbonat im Exsikkator abkühlen. Die in einem Wägeschiffchen genau eingewogene Masse Natriumcarbonat ist vollständig in den Meßkolben zu geben und im Wasser aufzulösen. Unter Umschwenken wird dann genau bis zur Marke aufgefüllt.

Neben Meßkolben ( $1000 \text{ cm}^3$ ) können auch Meßkolben anderer Größen benutzt werden. Es sind dann entsprechende Massen der Stoffe einzusetzen.

Soll eine Lösung aus dem Meßkolben in eine Chemikalienflasche umgefüllt werden, so muß diese völlig trocken sein. Die Konzentration der hergestellten Lösung würde sonst verändert. Viele Stoffe können nur annähernd genau eingewogen werden. Dann wird meist ein geringer Überschuß gewählt. Für viele Experimente im Chemieunterricht reicht auch diese Genauigkeit aus, da nur ungefähr molare oder normale Lösungen erforderlich sind.

Die Ausgangsstoffe zur Herstellung einiger molarer und normaler Lösungen sind nachstehend zusammengestellt (Tab. 88).

**Tabelle 88** Ausgangsstoffe zur Herstellung molarer und normaler Lösungen

Gelöster Stoff	Ausgangsstoff	Kurzzeichen der Einheit des zugegebenen Stoffes	Masse oder Volumen für 1 l Lösung				
			molar			normal	
			0,1	0,2	0,5	0,1	0,5
Schwefelsäure	analysenreine Schwefelsäure ( $\rho = 1,84 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$ )	ml	5,6	11,1	27,8	2,8	13,9
Chlorwasserstoffsäure	analysenreine Chlorwasserstoffsäure ( $\rho = 1,19 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$ )	ml	8,2	16,4	41,0	8,2	41,0
Salpetersäure	analysenreine Salpetersäure ( $\rho = 1,40 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$ )	ml	7,0	14,0	35,0	7,0	35,0
Methansäure (Ameisensäure)	analysenreine Methansäure (85% ig)	ml	4,6	9,1	22,7	4,6	22,7
Ethansäure (Essigsäure)	analysenreine Ethansäure (98% ig)	ml	5,8	11,6	29,0	5,8	29,0
Oxalsäure (Ethandisäure)	analysenreines Dihydrat	g	12,607	25,214	63,035	6,303	31,517
Natriumhydroxidlösung	Plätzchen, nach Einwaage schnell mit destilliertem Wasser abspülen und lösen	g	5,0	10,0	25,0	5,0	25,0
Kaliumhydroxidlösung	Plätzchen, nach Einwaage schnell mit Wasser abspülen und lösen	g	7,0	14,0	35,0	7,0	35,0
Ammoniaklösung	konzentrierte analysenreine Ammoniaklösung ( $\rho = 0,91 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$ )	ml	7,8	15,6	39,0	7,8	39,0
Natriumcarbonat	wasserfrei; gegläht	g	10,600	21,200	53,000	5,300	26,500
Kaliumpermanganat	analysenreines Salz 1 h auf dem Wasserbad erhitzen	g	16,0	32,0	80,0	3,20	16,0

Gelöster Stoff	Ausgangsstoff	Kurzzeichen der Einheit des zugegebenen Stoffes	Masse oder Volumen für 1 l Lösung				
			molar			normal	
			0,1	0,2	0,5	0,1	0,5
Natriumthiosulfat	analysenreines Salz	g	25,0	50,0	125,0	25,0	125,0
Silbernitrat	analysenreines Salz, bei 150 °C getrocknet	g	16,988	33,976	84,940	16,988	84,940
Kupfer(II)-sulfat-5-Wasser	$\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	g	24,9	49,8	124,8	–	–
Kupfer(II)-chlorid-2-Wasser	$\text{CuCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ trocken	g	17,0	34,1	85,25	–	–
Zinksulfat-7-Wasser	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	g	28,8	57,5	143,7	–	–
Zink(II)-chlorid	$\text{ZnCl}_2$ trocken	g	13,6	27,3	68,2	–	–
Eisen(III)-chlorid-6-Wasser	$\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	g	27,0	54,0	135,1	–	–
Bariumchlorid-2-Wasser	analysenreines Dihydrat	g	24,43	48,86	122,15	12,22	61,07
Natriumchlorid	analysenreines Salz mit Eiswasser gewaschen und bei 500 °C gegläht	g	5,85	11,70	29,25	5,85	29,25
Iodlösung	reines Iod in einer Lösung von 23 g iodatfreiem Kaliumiodid in 40 ml Wasser vollständig lösen, dann erst auffüllen	g	12,7	–	–	12,7	–
Kaliumpalmitat	Stoff in 500 ml Propanol und 300 ml Wasser auf Wasserbad mischen; Lösung von 15 g Kaliumhydroxid in 100 ml Ethanol ( $\varphi = 95\%$ ) und etwas festem Phenolphthalein zugeben, auffüllen	g	23,6	–	–	–	–

## Bestimmen der Konzentration von Maßlösungen

Sind die Lösungen für die Maßanalyse vorgesehen, oder ist die sehr genaue Einhaltung der Konzentration erforderlich, so muß die Lösung „eingestellt“ werden. Das geschieht durch Bestimmung der Konzentration mit einer anderen Lösung, deren Konzentration genau bekannt ist. Dabei wird ein Korrekturfaktor  $f$  ermittelt. Er ist die Zahl, mit der das verbrauchte Volumen an Maßlösung zu multiplizieren ist, um das Volumen der Lösung mit genauer Konzentration zu erhalten. Der Korrekturfaktor soll nahe bei 1 liegen und wird auf drei Dezimalstellen berechnet. Er kann auf zwei Wegen ermittelt werden:

- Das Volumen  $V_A$  einer Lösung A mit genau bekannter Konzentration (gegebenenfalls mit Korrekturfaktor  $f_A$ ) ist vorzulegen und mit der einzustellenden Lösung B zu titrieren. Wird davon das Volumen  $V_B$  verbraucht, so ergibt sich der Korrekturfaktor  $f_B$  aus folgender Gleichung:

$$f_B = \frac{V_A \cdot f_A}{V_B}$$

- Ein geeigneter Stoff C mit bekannter Zusammensetzung (Urtitersubstanz) wird auf der Analysenwaage sehr genau eingewogen (Masse  $m$  in Gramm) und anschließend in etwas Wasser gelöst. Dann ist mit der einzustellenden Lösung B zu titrieren. Wird hierbei das Volumen  $V_B$  verbraucht, so ergibt sich der Korrekturfaktor  $f_B$  aus den nachstehenden Gleichungen:

$$f_B = \frac{1000 \cdot m}{V_B \cdot M_C \cdot C_{\bar{A}_B}}$$

beziehungsweise

$$f_B = \frac{1000 \cdot m}{V_B \cdot M_C \cdot C_B}$$

$M_C$  ist die molare Masse der Urtitersubstanz,  $C_{\bar{A}_B}$  beziehungsweise  $C_B$  sind die gewünschten Konzentrationen der Lösung B.

Es ist nicht immer möglich, eine Maßlösung zu verwenden und anschließend mit dem Korrekturfaktor Umrechnungen vorzunehmen. So sind bei einigen elektrochemischen Experimenten genau molare oder normale Lösungen notwendig. Können diese Lösungen nicht genau hergestellt werden, so ist stets ein geringer Überschuß des Stoffes zu lösen und später zu verdünnen. Das Volumen Wasser  $V_{H_2O}$ , das einem bestimmten Volumen  $V_L$  der Lösung B zugesetzt werden muß, errechnet sich aus dem ermittelten Korrekturfaktor  $f_B$ . Dann ergibt sich

$$V_{H_2O} = (f_B - 1) \cdot V_L$$

Sofern von 1 l der Lösung B ausgegangen wird, gilt die Beziehung:

$$V_{H_2O} = (f_B - 1) \cdot 1000 \text{ ml}$$

Bei der Berechnung kann auch direkt von den Titrationsergebnissen zur Bestimmung des Korrekturfaktors ausgegangen werden. Unter Berücksichtigung der oben angegebenen Gleichungen ergibt sich:

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = \left( \frac{V_A \cdot f_A}{V_B} - 1 \right) \cdot V_L$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = \left( \frac{10^3 \cdot m}{V_B \cdot M_C \cdot C_{\bar{A}_B}} - 1 \right) \cdot V_L \quad \text{beziehungsweise}$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = \left( \frac{10^3 \cdot m}{V_B \cdot M_C \cdot C_B} - 1 \right) V_L$$

Dabei wird meist mit 1000 ml für das Volumen  $V_L$  gerechnet. Die beschriebenen Möglichkeiten der Bestimmung von Konzentrationen einer Lösung basieren auf chemischen Vorgängen. Daneben gibt es physikalische Methoden, die im wesentlichen auf eine Dichtebestimmung hinauslaufen (↗ S. 154ff.).

### Herstellen von molaren und normalen Lösungen durch Verdünnen

*Molare und normale Lösungen* lassen sich ferner mit großer Genauigkeit durch Verdünnen konzentrierter Lösungen herstellen. Besonders günstig ist die Anwendung dieses Verfahrens bei Säurelösungen und Hydroxidlösungen.

Zunächst ist in der Ausgangslösung A möglichst genau die Dichte zu bestimmen. Mit Hilfe von Tabellen (↗ S. 412) kann daraus die Normalität  $C_{\bar{A}_A}$  oder die Molarität  $C_A$  der Ausgangslösung gefunden werden (↗ S. 412). Ist eine Lösung der Normalität  $C_{\bar{A}}$  oder der Molarität  $C$  gesucht, so kann das Volumen  $V_A$  der Ausgangslösung A, das zum Volumen  $V_L$  aufzufüllen ist, ermittelt werden.

$$V_A = \frac{V_L \cdot C_{\bar{A}}}{C_{\bar{A}_A}} \quad V_A = \frac{V_L \cdot C}{C_A}$$

oder für 1 l Lösung

$$V_A = \frac{1000 \text{ ml} \cdot C_{\bar{A}}}{C_{\bar{A}_A}} \quad V_A = \frac{1000 \text{ ml} \cdot C}{C_A}$$

Zur Herstellung einer solchen Lösung ist zunächst etwas Lösungsmittel in den Meßkolben zu geben, dann wird das genau abgemessene Volumen Ausgangslösung zugesetzt und unter Umschwenken bis zur Eichmarke aufgefüllt.

*Beispiel:* Es soll 0,1 N Schwefelsäure durch Verdünnen hergestellt werden. Die Dichte der verwendeten Schwefelsäure beträgt  $\rho = 1,107 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$ . Die dazugehörige Molarität kann zu  $C_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 1,728 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$  abgelesen werden, das entspricht einer Normalität von  $C_{\bar{A}_{\text{H}_2\text{SO}_4}} = 3,456 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ . Daraus ergibt sich:

$$V_A = \frac{1000 \text{ ml} \cdot C_{\bar{A}}}{C_{\bar{A}_A}}$$

$$V_A = \frac{1000 \text{ ml} \cdot 0,1 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}}{3,456 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}}$$

$$V_A = 28,93 \text{ ml}$$

Es sind also 28,93 ml der verwendeten Schwefelsäure zu 1 l 0,1 N Schwefelsäure aufzufüllen.

Normale und zehntelnormale Lösungen können auch sehr einfach mit Hilfe von Stoffen hergestellt werden, die in Ampullen bereits in einer solchen Einwaage vorhanden sind, daß nur noch auf 1 l zu verdünnen ist (↗ S. 145).

### Herstellen gesättigter Lösungen

Gesättigte Lösungen enthalten den größtmöglichen Massenanteil an festem Stoff im Lösungsmittel bei der jeweiligen Temperatur. Die Herstellung kann so erfolgen, daß aus einer Tabelle (Tab. 89) die lösliche Masse in einer vorgegebenen Masse Flüssigkeit, etwa 100 g Wasser, abgelesen wird. Es ist dann etwas mehr einzuwägen und in das Lösungsmittel zu bringen. Unter Umrühren wird der größte Teil des festen Stoffes aufgelöst. Die Lösung ist über einem Bodenkörper aus restlichem noch nicht gelöstem Stoff aufzubewahren. Oftmals kann der Lösungsvorgang durch Erwärmen beschleunigt werden. Beim Abkühlen scheidet sich dann der überschüssige feste Stoff am Boden ab.

**Tabelle 89** Löslichkeit einiger Stoffe in 100 g Wasser bei 20 °C

Name des Stoffes	Formel	Lösliche Masse in g	Name des Stoffes	Formel	Lösliche Masse in g
Ammoniumchlorid	$\text{NH}_4\text{Cl}$	37,4	Magnesiumchlorid-6-Wasser	$\text{MgCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	54,3
Ammoniumsulfat	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	75,4	Magnesiumsulfat-7-Wasser	$\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	35,6
Bariumchlorid-2-Wasser	$\text{BaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	35,7	Natriumchlorid	$\text{NaCl}$	35,9
Calciumchlorid-6-Wasser	$\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	74,5	Natriumhydroxid	$\text{NaOH}$	107,0
Eisen(III)-chlorid-6-Wasser	$\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	91,9	Natriumcarbonat-10-Wasser	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	21,6
Eisen(II)-sulfat-7-Wasser	$\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	26,6	Natriumnitrat	$\text{NaNO}_3$	88,0
Kaliumchlorid	$\text{KCl}$	34,4	Natriumthiosulfat-5-Wasser	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	70,0
Kaliumhydroxid	$\text{KOH}$	111,4	Silbernitrat	$\text{AgNO}_3$	215,5
Kaliumpermanganat	$\text{KMnO}_4$	6,4	Zinkchlorid-1-Wasser	$\text{ZnCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	367,0
Kupfer(II)-sulfat-5-Wasser	$\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	20,9			

## 2.1.8. Transport von Gasen durch Apparaturen

Bei vielen chemischen Schulexperimenten müssen Gase durch die Apparaturen bewegt werden. Dafür gibt es zwei Möglichkeiten, den Transport durch Saugen oder Drücken. Welches Vorgehen gewählt wird, hängt von den Besonderheiten des Experiments ab. Sollen gasförmige Reaktionsprodukte trocken oder über Sperrflüssigkeiten aufgefangen werden, so kommt nur das Drücken in Betracht, wenn nicht durch den Auffangapparat selbst ein Sog entsteht.

### 2.1.8.1. Saugen

#### Allgemeine Grundlagen

Soll Luft oder ein anderes Gas durch eine Apparatur gesaugt werden, so muß an der Ausströmungsöffnung des letzten Gerätes Unterdruck bestehen. Dabei muß die Apparatur insgesamt nach außen hin abgeschlossen sein, alle Verbindungen zwischen einzelnen Geräten und Apparaten müssen luftdicht sein.

Das Saugen von Luft oder Gas durch Apparaturen erfolgt oft durch Apparate, die in Saugstellung gebracht werden können und notwendiger Bestandteil der Apparatur sind. In dieser Funktion sind viele Arten von Gassammelapparaten sowie die ihnen in der Arbeitsweise entsprechenden Meßapparate (↗ S. 178ff.) verwendbar. Diese Apparate gehören insofern zur Apparatur selbst, als in ihnen ein gasförmiges Reaktionsprodukt gesammelt oder gemessen werden soll. Ist das nicht vorgesehen, so wird es notwendig, besondere Hilfsmittel zum Ansaugen des Gases einzusetzen. Für den Chemieunterricht sind die Wasserstrahlpumpe und die Mariottesche Flasche bedeutsam.

Bevor mit dem Durchsaugen von Gasen durch eine Apparatur begonnen wird, muß geprüft sein, ob Gaswaschflaschen oder ähnliche Geräte mit Einleitungsrohren in Flüssigkeiten richtig angeordnet sind, damit nicht eventuell Flüssigkeit aus der Apparatur herausgesaugt wird.

#### Saugen mit der Wasserstrahlpumpe

Im Chemieunterricht können zum Durchsaugen von Gasen durch Apparaturen oft Wasserstrahlpumpen aus Glas verwendet werden. Geräte aus Metall oder Plast sind oft robuster als Glasgeräte, haben aber den Nachteil, daß die Vorgänge im Gerät nicht beobachtet werden können.

Beim *Anschließen von Wasserstrahlpumpen* an die Wasserleitung ist folgendes zu beachten:

- Zum Anschluß der Wasserstrahlpumpe muß der Wasserhahn mit einem *Schlauchstutzen* versehen sein.
- Das Anschließen der Wasserstrahlpumpe erfolgt durch einen *Druckschlauch* mit Gewebeeinlage, der an der Wasserstrahlpumpe und am Wasserhahn durch Schlauchschellen zu sichern ist.

- Der *Auslauf* darf nicht direkt mit einem Schlauch in die Abwasserleitung oder den Abflußbeckenauslauf geführt werden, sondern soll mindestens 4 cm über diesem frei enden.

Der Anschlußstutzen der Wasserstrahlpumpe wird mit der Apparatur verbunden, wobei es ratsam ist, eine Woulffsche Flasche als Sicherheitsflasche mit einem Hahnrohr zwischenschalten (↗ S. 204 und 210). Wird kein Vakuum in der Apparatur hergestellt, sondern nur Luft durchgesaugt, so ist es nicht notwendig, zur Verbindung der einzelnen Geräte Vakuumschlauch zu benutzen. Dickwandiger Schlauch reicht aus. Die Stärke des Ansaugens wird durch teilweises Öffnen des Hahns an der Sicherheitsflasche eingestellt und keinesfalls durch die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers in der Wasserstrahlpumpe, da Rückschlaggefahr besteht. Der Wasserzufluß zur Wasserstrahlpumpe darf erst unterbrochen werden, wenn die Verbindung zwischen Wasserstrahlpumpe und Apparatur gelöst worden ist oder der Hahn an der Sicherheitsflasche völlig offen ist.

### Saugen mit der Mariotteschen Flasche

Bei diesem Verfahren fließt aus einer Glasflasche das Wasser langsam aus und saugt dabei ein gleichgroßes Gasvolumen aus der Apparatur an. Als Mariottesche Flasche wird eine größere Tubusflasche verwendet, auf die ein Gasableitungsrohr aufgesetzt ist. Im Tubus am Boden befindet sich in einem durchbohrten Stopfen ein zweimal in zwei Ebenen rechtwinklig gebogenes Glasrohr (Abb. 252 a), das über die Flüssigkeitsoberfläche in der Flasche hinausragt.

Wenn die Flasche vollständig mit Wasser gefüllt und an die Apparatur angeschlossen ist, wird das Abflußrohr durch Drehung gesenkt (Abb. 252 b), bis das Wasser ausströmt. Je stärker das Rohr geneigt wird, desto größer ist die Ablaufgeschwindigkeit und damit auch die Ansauggeschwindigkeit des Gases. Durch Heben des Rohres wird das Saugen unterbrochen.

Der Vorteil der Mariotteschen Flasche besteht darin, daß die Strömungsgeschwindigkeit des Gases durch die Abflußrohrneigung und -stärke eingestellt und kontrolliert werden kann und konstanter Absaugdruck besteht. Nachteilig wirkt sich in manchen Fällen aus, daß die Sauggeschwindigkeit relativ klein bleiben muß und das absaugbare Gasvolumen durch die Flaschengröße eng begrenzt ist.

### 2.1.8.2. Drücken

#### Allgemeine Grundlagen

Wird an der Einströmungsöffnung einer Apparatur der Druck erhöht, dann bewirkt das ebenfalls das Strömen der Gase durch die Geräteanordnung. Auch beim Drücken von Gasen durch Apparaturen müssen die Geräte und Apparate gasdicht verbunden und richtig angeordnet sein. Der Überdruck muß so groß sein, daß Widerstände in der Apparatur, wie sie durch Flüssigkeitssäulen an Einleitungsrohren oder durch Rohrfillungen entstehen, überwunden werden können. Andererseits ist darauf zu achten, daß der Überdruck nur so groß gewählt wird,

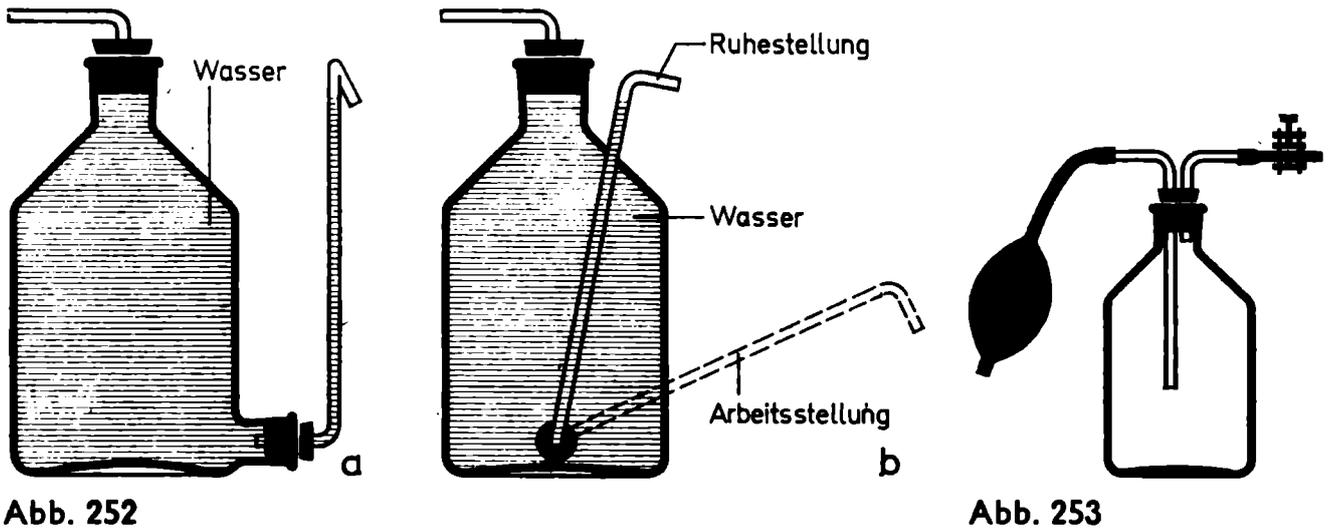


Abb. 252

Abb. 253

Abb. 252 Mariottesche Flasche a) Seitenansicht, b) Vorderansicht

Abb. 253 Handgebläse mit vorgeschalteter Druckausgleichflasche

daß der Gasstrom kontrollierbar bleibt. Wie beim Saugen gibt es auch beim Drücken zum Transport von Gasen durch Apparaturen zwei *Möglichkeiten*. Der Überdruck des Gases kann in Apparaten erzeugt werden, die selbst notwendiger Bestandteil einer Apparatur sind. Das sind in vielen Fällen Gasentwickler, die dann stets mit Druckausgleich aufzubauen sind (↗ S. 158 und 163) und Gassammelapparaturen in Druckstellung. Daneben können verschiedene Arten von Gebläsen verwendet werden, die lediglich zur Entwicklung des Gasstroms dienen.

### Verwendung von Gummihandgebläsen

Gummihandgebläse sind im Chemieunterricht geeignet, um den für viele Experimente, besonders für Schülerexperimente, notwendigen Luftstrom in Apparaturen zu entwickeln. Im allgemeinen sollten Doppelgebläse (↗ S. 50) benutzt werden, die neben dem Druckball noch über eine Gummiblase verfügen, die durch ein Hanfnetz gegen zu starkes Aufblasen geschützt ist.

Zur Entwicklung eines gleichmäßigen Luftstroms wird ein Quetschhahn nach *Mohr* auf den Schlauch des Handgebläses geschoben und das Gebläse mit der Apparatur verbunden. Nach Schließen des Quetschhahns ist zunächst mit dem Druckball die Gummiblase aufzupumpen. Durch teilweises Öffnen des Hahns kann dann ein Luftstrom gewünschter Stärke eingestellt werden. Je nach Bedarf muß die Gummiblase während der Durchführung des Experiments mehrmals erneut aufgepumpt werden. Ist nur ein einfaches Handgebläse ohne Gummiblase verfügbar, so läßt sich auch ein konstanter Luftstrom erzeugen, wenn eine größere Gasflasche von mindestens 1 l Inhalt vorgeschaltet wird, vor deren Ableitungsröhre ein Quetschhahn nach *Mohr* sitzt (Abb. 253). Im Prinzip ist wie beim Doppelgebläse zu verfahren. Es ist allerdings auf festen Sitz des Stopfens auf der Flasche zu achten. Der Stopfen kann eventuell mit einem Apothekerknoten festgebunden werden (↗ S. 318). Die Kontrolle über die Druckverhältnisse in der Flasche ist allerdings schwer. Deshalb ist der Gasstrom in der Apparatur genau zu beobachten und öfters nachzupumpen.

## Verwendung der Wasserflasche

Die Wirkungsweise der Wasserflasche entspricht der Wirkungsweise eines analogen Gassammelapparats, nur wird hier ein Luftstrom erzeugt. Aus einer großen Flasche, in die Wasser einströmt, wird das entsprechende Luftvolumen herausgedrückt. Durch den Zustrom des Wassers kann der Luftstrom durch die Apparatur eingestellt werden. Die Größe der Flasche ist nach dem erforderlichen Luftvolumen auszuwählen.

## Arbeiten mit dem Gebläse

Mit Gebläsen kann ein kräftiger Luftstrom entwickelt werden, der nicht nur zum Transport von Luft durch Apparaturen, sondern auch für andere Zwecke, zum Beispiel zum Betreiben von Gebläsebrennern, erforderlich sein kann.

Für den Chemieunterricht sind vor allem *elektrisch betriebene Gebläse* nützlich, wie sie zum Schweißen von Platten Anwendung finden. Gewisse Bedeutung können ferner *Wasserstrahlgebläse* haben. Bei ihnen strömt die angesaugte Luft aus einer Wasserstrahlpumpe mit dem Wasser in einen Windkessel aus und erzeugt Überdruck (Abb. 254 a). Bevor das Wasserstrahlgebläse an ein Gerät, zum Beispiel an einen Gebläsebrenner oder eine Apparatur, angeschlossen wird, ist der Wasserabfluß so einzustellen, daß der Wasserstand im Windkessel konstant bleibt. Bei Windkesseln aus Metall ist dazu außen ein Wasserstandglas angebracht. Als Behelfslösung ist eine Apparatur aus Wasserstrahlpumpe und Woulffscher Flasche (Abb. 254 b) geeignet [7].

Die Gebläse fördern stets mehr Luft als zum Entwickeln eines Luftstroms in einer Apparatur notwendig ist. Aus Sicherheitsgründen ist das *Einstellen des Luftstroms* mit einem Hahn nicht statthaft, da starker Überdruck vor dem Hahn entstehen kann. Bei elektrischen Gebläsen können zusätzliche Störungen auftreten, weil die geförderte Luft gleichzeitig zur Kühlung des Geräts dient. Deshalb ist es notwendig, den Luftstrom in Haupt- und Nebenstrom aufzuteilen und nur den Nebenstrom einzustellen und durch die Apparatur zu leiten (Abb. 255).

### 2.1.9. Arbeiten mit elektrischem Strom

Viele Experimente im Chemieunterricht werden mit Hilfe des elektrischen Stroms durchgeführt, vor allem bei der Untersuchung elektrochemischer Erscheinungen, aber auch bei der Anwendung von Funkenstrecken oder Lichtbogen. Dazu sind besondere Geräte notwendig. Bei der Vorbereitung der entsprechenden Experimente, vor allem aber auch bei der Nutzung und Pflege empfindlicher Geräte, wie elektrischer Meßgeräte, Funkeninduktoren und Transformatoren, sollte eng mit dem Fachlehrer für Physik zusammengearbeitet werden. Es ist sogar ratsam, empfindliche Geräte in der Physiksammlung aufzubewahren, damit sie vor aggressiven Dämpfen geschützt sind.

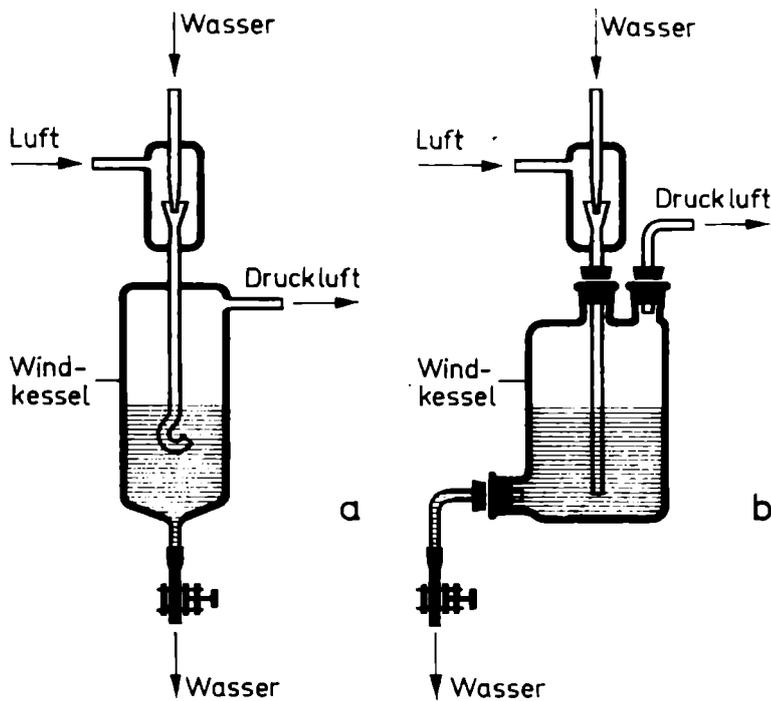


Abb. 254

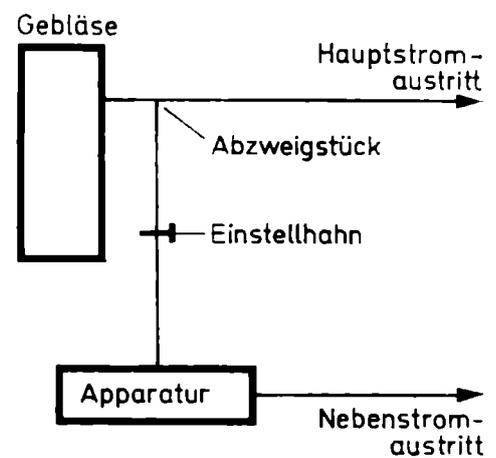


Abb. 255

Abb. 254 Prinzip des Wasserstrahlgebläses (a)  
und behelfsmäßiges Wasserstrahlgebläse (b)

Abb. 255 Prinzip einer Anordnung  
zum Erzeugen eines schwachen Luftstroms mit Gebläsen

### 2.1.9.1. Möglichkeiten der Stromversorgung

#### Allgemeine Grundlagen

Netzspannung bis zu 250 V wird im Chemiefachunterrichtsraum als Gleich- oder meist Wechselspannung bei der experimentellen Arbeit fast ausschließlich zum Anschluß von elektrischen Heizgeräten, Stromversorgungsgeräten und Transformatoren benötigt. Unter Beachtung der zulässigen Belastbarkeit sind dafür Anschlüsse mit Schutzkontakt und Zuleitungen mit Schutzleitern vorgeschrieben. Entsprechende Steckdosen müssen am Experimentiertisch des Lehrers und den Schülerarbeitsstischen vorhanden sein. Für die Schülerarbeitsstische müssen die Zuleitungen von einer zentralen, nur dem Lehrer zugänglichen Stelle schaltbar sein. Das Einschalten erfolgt nur, wenn Geräte angeschlossen werden. Für alle anderen Zwecke ist bei Experimenten Kleinspannung zu verwenden. Darunter wird Gleichspannung bis 60 V und Wechselspannung bis 42 V verstanden. In diesen Fällen dürfen auch unabgedeckte und nichtisolierte Bauteile verwendet werden. Für die dazu notwendige Versorgung der Arbeitsplätze der Schüler und des Lehrers ist zwischen zentraler und dezentraler Form zu unterscheiden:

- Bei *zentraler Stromversorgung* können von einer Schalttafel der Experimentiertisch des Lehrers und die Schülerarbeitsstische mit der notwendigen Spannung und Stromart versorgt werden.
- Bei *dezentraler Stromversorgung* werden an den einzelnen Arbeitsplätzen Netzanschlußgeräte (Stromversorgungsgeräte) benutzt.

Beide Formen der Stromversorgung haben Vor- und Nachteile. Eine zentrale Stromversorgungsanlage ist schnell einsetzbar. Die Spannungen, die an den Arbeitstischen der Schüler vorhanden sind, lassen sich gut kontrollieren. Sie können aber nur differenziert werden, wenn mehrere Stromkreise vorhanden sind. Beim Ausfall der Schalttafel ist die Stromversorgung des gesamten Fachunterrichtsraums gestört.

Bei einer dezentralen Anlage ist die große Variabilität vorteilhaft. Das ist vor allem im Praktikum und bei arbeitsteiligem Experimentieren der Schüler nützlich. Welche Form der Stromversorgung zu wählen ist, hängt stark von den örtlichen Bedingungen ab.

### **Schalttafeln für die zentrale Stromversorgung**

Die Schalttafeln in den Schulen sind meist Sonderanfertigungen, die in ihrem Aufbau, den Einsatzmöglichkeiten und der Bedienung sehr voneinander abweichen. Deshalb ist jedem Lehrer zu empfehlen, sich genau über die Bedienung der Schalttafeln an seiner Schule zu informieren. Bei Konstruktion und Bau solcher Anlagen für Chemiefachunterrichtsräume sind die einschlägigen gesetzlichen Bestimmungen zu beachten. Die Anlage muß vor der Inbetriebnahme abgenommen werden. Unabhängig von diesen gesetzlichen Grundlagen sind für Schalttafeln in Chemiefachunterrichtsräumen folgende *allgemeine Forderungen* zu erheben:

- Die Schalttafel soll einfach und übersichtlich sein.
- Die Bedienung der Schalttafel muß mit wenigen Handgriffen möglich sein.
- Durch geeignete Sicherheitseinrichtungen sollen Bedienungsfehler weitgehend ausgeschlossen werden.
- Bei den Meßgeräten soll ein Ablesen der Spannung und der Stärke des abgenommenen Stroms von allen Arbeitsplätzen aus möglich sein.
- Es darf von der Konstruktion der Schalttafel her nur möglich sein, Kleinspannungen an die Meßklemmen der Schülerarbeitsplätze anzuschließen. Die Zuleitungen für die Schülerarbeitsplätze müssen in Gruppen abschaltbar sein [36] [59]. Sie sind möglichst auch getrennt abzusichern, damit bei Schaltfehlern nicht sofort die gesamte Anlage außer Betrieb gesetzt wird.

### **Verwendung von Stromversorgungsgeräten**

Stromversorgungsgeräte sind meistens für den Einsatz unmittelbar am Arbeitsplatz vorgesehen. In den Schulen sind verschiedene Typen vorhanden. Die Mehrzahl dieser Geräte ist so ausgelegt, daß ein Einsatz sowohl im Chemie- als auch im Physikunterricht erfolgen kann. Die Anforderungen hinsichtlich der notwendigen Stromart und Spannungen sind für chemische Schulexperimente meistens geringer als für physikalische Schulexperimente. Das ist gegebenenfalls bei der Beschaffung zu beachten.

Die meisten Stromversorgungsgeräte sind für Anschluß an Wechselspannung des Stromnetzes mit einer Spannung von 220 V vorgesehen. Ihnen können dann im allgemeinen Gleich- und Wechselspannungen entnommen werden. Höhere Spannungen, als sie ein Gerät liefert, sind zu erzielen, wenn mehrere Geräte in Reihe

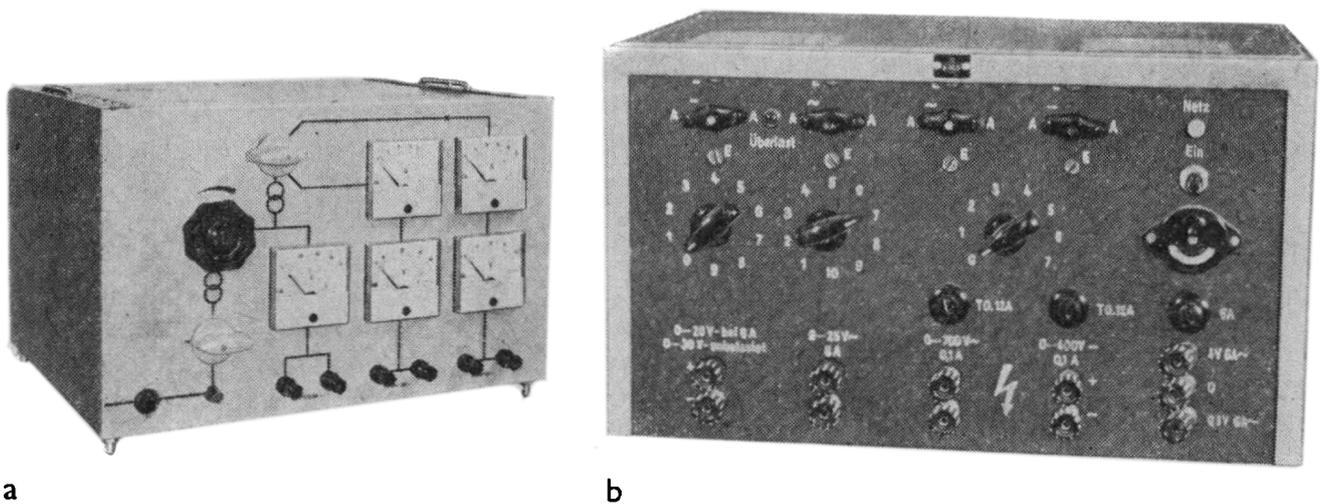


Abb. 256 Beispiele für große Stromversorgungsgeräte  
 a) mit Spannungs- und Stromstärkeanzeige, b) mit Stufenschaltung für verschiedene Meßbereiche

geschaltet werden. Bei der Stromentnahme ist die Belastbarkeit der Geräte genau zu beachten. Meistens sind sie mit einem Überlastungsschutz ausgerüstet, der in Form von Schmelzsicherungen, Warnlampen oder durch akustische Signale gewährleistet wird.

Bei den Stromversorgungsgeräten lassen sich generell zwei Formen unterscheiden, große Geräte für Demonstrationsexperimente und teilweise auch für die Klassenversorgung und kleine Geräte für die Schülerarbeitsplätze.

Die großen Stromversorgungsgeräte sind für die Handhabung durch den Lehrer bestimmt (Abb. 256). Das ergibt sich schon daraus, daß neben Kleinspannungen auch höhere Spannungen abgenommen werden können. Manche Geräte verfügen sogar über einen Hochspannungsteil (Abb. 256b). Bei der Spannungsentnahme können die großen Geräte mit Stromstärken zwischen 4 A und 6 A belastet werden. Die für das jeweilige Gerät spezifischen Werte können dem Leistungsschild auf dem Gerät entnommen werden. Diese Stromstärke darf insgesamt nicht überschritten werden. Leuchtet bei Überlastung eine Warnlampe auf oder ertönt ein akustisches Signal, so sind die Verbraucher sofort abzuschalten.

Die Geräte verfügen im allgemeinen über einen Netzhauptschalter, der mit einer Signallampe gekoppelt ist. Leuchtet diese Netzkontrollampe nach dem Einschalten des Geräts nicht auf, so kann trotzdem Spannung am Gerät liegen. Die Lampe ist oft nicht als Sicherung geschaltet.

Mit Stufenschaltern lassen sich gewünschte Gleich- und Wechselspannungen einstellen, die an entsprechenden Buchsen oft gleichzeitig abgenommen werden. Die Teilbereiche für Gleich- und Wechselspannung sind fast immer durch besondere Schalter oder eine entsprechende Stellung des Stufenschalters abschaltbar (Abb. 257). Bei der Benutzung sollte der jeweilige Bereich zunächst ausgeschaltet sein. Erst wenn der Verbraucher angeschlossen ist – wobei auf die richtige Polung bei Gleichspannung zu achten ist – wird eingeschaltet. Meistens ist die Spannung zunächst niedrig einzustellen und dann langsam durch Betätigen des Stufenschalters zu erhöhen. Vor dem Abtrennen des Verbrauchers ist der Bereich zunächst wieder auszuschalten.

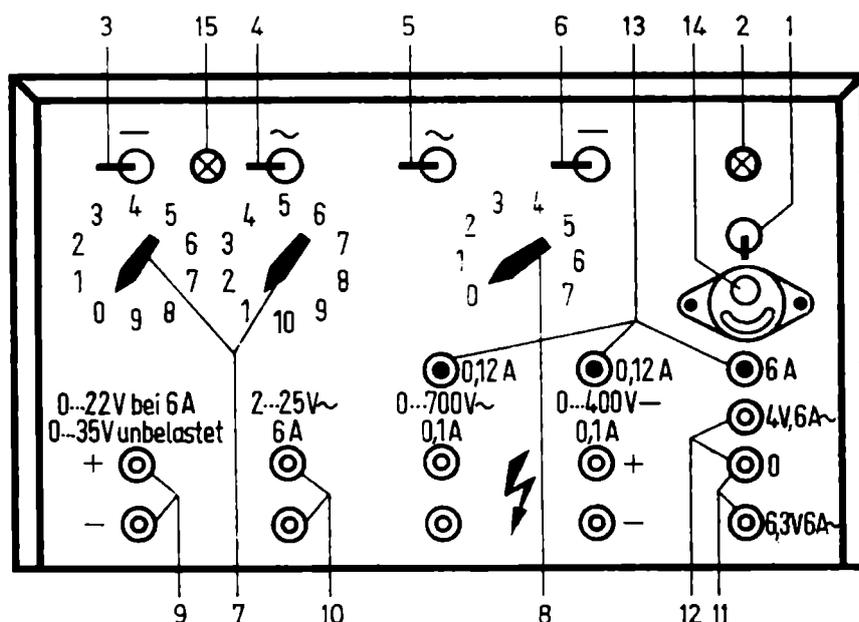


Abb. 257

Abb. 257 Schalteinrichtung des großen Stromversorgungsgeräts nach Abb. 256 b

- 1) Netzhauptschalter, 2) Netzkontrolllampe,
- 3) Hauptschalter für Gleichspannung (Niederspannung),
- 4) Hauptschalter für Wechselspannung (Niederspannung),
- 5) Hauptschalter für Wechselspannung (Hochspannung),
- 6) Hauptschalter für Gleichspannung (Hochspannung),
- 7) Stufenschalter für Gleichspannung beziehungsweise Wechselspannung,
- 8) Stufenschalter für Hochspannungsteil, 9) Klemmen für einstellbare Gleichspannung,
- 10) Klemmen für einstellbare Wechselspannung,
- 11) Anschluß für Wechselspannung von 6,3 V,
- 12) Anschluß für Wechselspannung von 4 V, 13) Schmelzsicherungen,
- 14) Hauptsicherung, 15) Warnlampe für Überlastung

Aus kleinen Stromversorgungsgeräten kann nur Kleinspannung abgenommen werden. Deshalb sind sie für Schülerarbeitsplätze geeignet. Voraussetzung für die Verwendung sind Steckdosen für Netzanschluß an den Schülertischen, die nur während des Arbeitens der Schüler eingeschaltet werden. Die kleinen Stromversorgungsgeräte sind weniger belastbar als die großen. Die Werte liegen meistens bei 3 A bis 4 A. Den Geräten kann im allgemeinen Gleich- und Wechselspannung entnommen werden. Oft ist es auch möglich, beide Spannungsarten gleichzeitig nebeneinander zu verwenden, wenn die Belastbarkeit des Geräts insgesamt nicht überschritten wird.

Die Geräte verfügen jeweils über einen Hauptschalter, der oft auch noch mit einer Kontrollampe gekoppelt ist. Das Einschalten des Stromversorgungsgeräts sollte erst erfolgen, nachdem die Schüler die Schaltung aufgebaut und den Verbraucher angeklemt haben. Der Lehrer muß die Richtigkeit kontrollieren. Beim Arbeiten mit Gleichspannung ist die richtige Polung zu beachten. Wenn die Spannung nicht genau in der Experimentieranordnung festgelegt ist, sollte zunächst ein niedriger Wert eingestellt werden. Er läßt sich dann nach dem Einschalten bei Bedarf erhöhen.



Abb. 258 Stromversorgungsgerät mit direkter Spannungswahl

Auch die meisten kleinen Stromversorgungsgeräte sind mit einem Überlastungsschutz ausgerüstet. Wird beim Einschalten oder während der experimentellen Arbeit eine Überlastung des Geräts erkennbar, so sind die Verbraucher sofort abzuschalten. Manche Geräte schalten sich bei Überlastung automatisch ab (Abb. 258).

Für die Spannungswahl gibt es drei verschiedene Systeme. Dabei ist zu beachten, daß die auf den Geräten angegebenen Spannungswerte ungenau sind. Wenn genau definierte Spannungen notwendig sind, so muß ein entsprechendes Meßgerät benutzt werden.

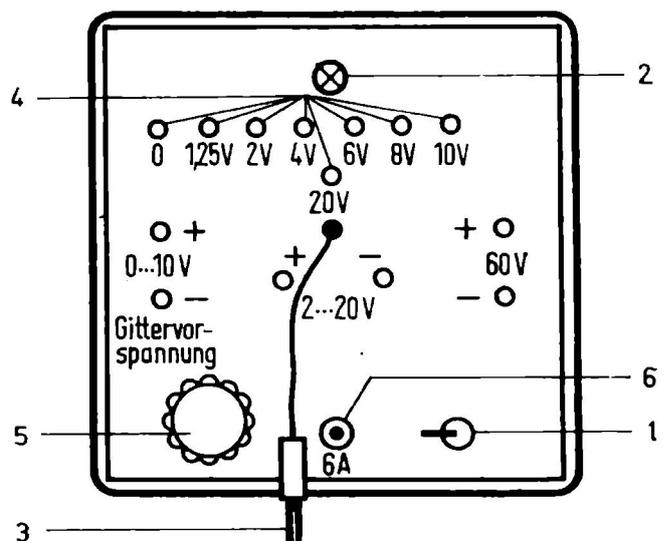


Abb. 259

Abb. 259 Schalteinrichtung eines Stromversorgungsgeräts mit direkter Spannungswahl

- 1) Netzhauptschalter, 2) Netzkontrolllampe, 3) Stecker für Spannungswahl, 4) Buchsen für Spannungswahl, 5) Schaltknopf, 6) Sicherung, 7) Klemmen für gewählte Spannung

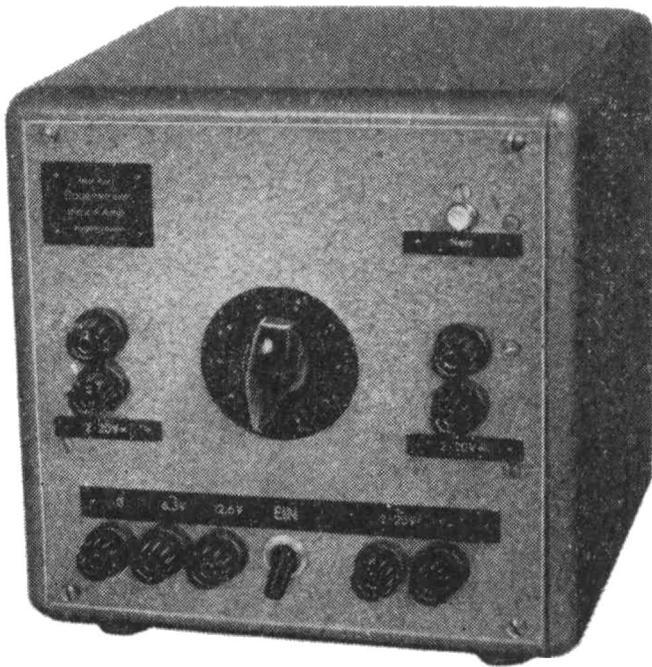


Abb. 260 Stromversorgungsgerät mit Stufenschalter

Eine Möglichkeit der Spannungswahl besteht im direkten Abgriff an entsprechend bezeichneten Buchsen. Dabei kann der Verbraucher entweder direkt an solche Buchsen angeschlossen werden, oder es gibt ein Buchsenpaar für den Verbraucheranschluß, für das die Spannung mit Hilfe eines beweglichen Verbindungsleiters gewählt werden kann (Abb. 258 und 259).

Eine zweite Möglichkeit besteht in der Verwendung von Stufenschaltern, mit denen die gewünschte Spannung eingestellt werden kann (Abb. 260 und 262).

Schließlich kann die Spannung auch nach der Differenzsteckweise abgegriffen werden. In diesem Fall sind zwei Verbindungsleiter mit Steckern am Gerät vorhanden. Durch geeignete Wahl der Buchsen können außer den angegebenen Spannungswerten auch alle Zwischenwerte erreicht werden (Abb. 261 und 263):

Gewünschte Spannung in V	1	2	3	4	5	6	8	9	10	12
Wahl der Steckbuchsen	2	0	0	8	3	2	0	2	2	0
	3	2	3	12	8	8	8	12	12	12

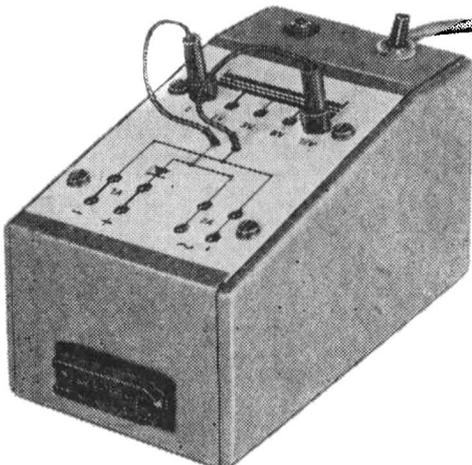


Abb. 261 Stromversorgungsgerät mit Differenzsteckweise

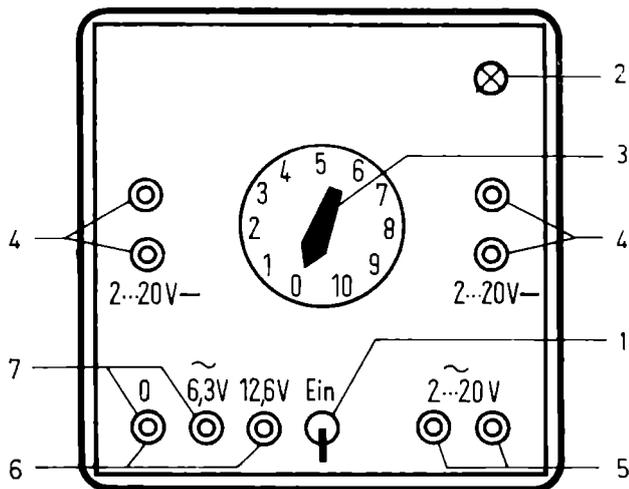


Abb. 262

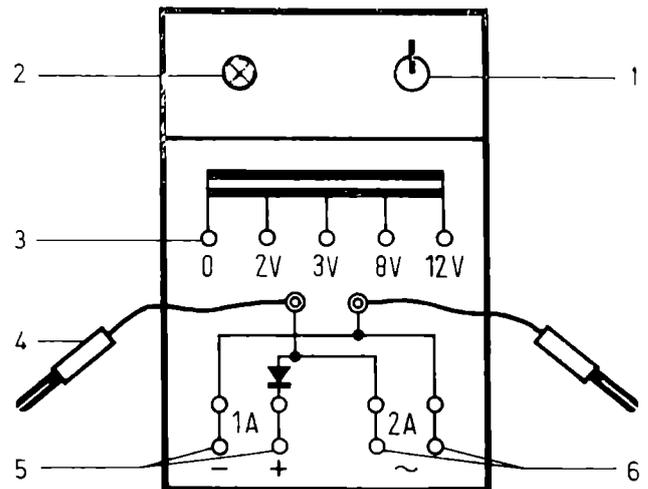


Abb. 263

Abb. 262 Schalteinrichtung des Stromversorgungsgeräts nach Abb. 260

- 1) Netzhauptschalter,
- 2) Netzkontrollampe,
- 3) Stufenschalter für Gleich- und Wechselspannung,
- 4) Klemmen für einstellbare Gleichspannung (parallel geschaltet),
- 5) Klemmen für einstellbare Wechselspannung,
- 6) Anschluß für Wechselspannung von 12,6 V,
- 7) Anschluß für Wechselspannungen von 6,3 V

Abb. 263 Schalteinrichtung des Stromversorgungsgeräts nach Abb. 261

- 1) Netzhauptschalter, 2) Netzkontrollampe,
- 3) Buchsen für Spannungswahl, 4) Stecker für Spannungswahl,
- 5) Buchsenpaare für Verbraucheranschluß-Gleichspannung,
- 6) Buchsenpaare für Verbraucheranschluß-Wechselspannung

Viele kleine Stromversorgungsgeräte mit Spannungswahlvorrichtungen besitzen noch zusätzliche Buchsen, aus denen häufig benutzte Spannungen direkt abgenommen werden können.

Einen selbstgebauten Gleichrichter für Elektrolyseexperimente, der an einen Netztransformator für eine Betriebsspannung von 8 ... 12 V angeschlossen wird, empfiehlt E. H. Jennicke [31].

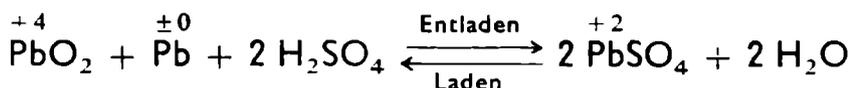
Zum Betreiben eines elektrischen Lichtbogens ist ein Transformator mit galvanisch getrennten Wicklungen und einer Betriebsspannung von etwa 40 V notwendig, der bis zu 8 A belastet werden kann.

### Stromversorgung mit Batterien und Akkumulatoren

Die Stromversorgung aus Batterien und Akkumulatoren ist als allgemeine Lösung nicht empfehlenswert, da Stromversorgungsgeräte vielseitiger verwendbar und rentabler als Batterien und Akkumulatoren sind. Außerdem erfordern Akkumulatoren umfangreiche Pflege. Als Behelfslösung ist jedoch vorübergehend die Verwendung von Batterien geeignet, wenn in einem Raum unterrichtet wird, der noch keine Anschlußmöglichkeiten für Stromversorgungsgeräte besitzt. Außerdem sind für einige Experimente in der Abiturstufe und in der außerunterrichtlichen Arbeit Akkumulatoren günstig.

Werden für Schülerexperimente *Taschenlampenbatterien* als Energiequelle benutzt, so ist es ratsam, diese auswechselbar auf einem Brett zu montieren (Abb. 264). Die Buchsen A und B gestatten eine direkte Stromentnahme aus der Batterie. Eine Zweigleitung führt außerdem über eine Glühlampe zur Anschlußbuchse C. Wird ein Verbraucher an die Buchsen A und C angeschlossen, so ist diese Glühlampe in Reihe geschaltet. Sie kann zur Kontrolle des Stromflusses dienen, zum Beispiel bei der Prüfung der Leitfähigkeit von Flüssigkeiten, und wirkt gleichzeitig als Vorschaltwiderstand. Damit liegt an den Buchsen A und C eine geringere Spannung als an den Buchsen A und B.

Werden Akkumulatoren im Chemieunterricht verwendet, so kommen vornehmlich Blei- oder Nickel/Eisen-Akkumulatoren in Betracht. Der *Bleiakkumulator* weist im geladenen Zustand eine Klemmenspannung je Zelle von 2,0... 2,1 V auf. Die positive Blei(IV)-oxidplatte muß dunkelbraun, die negative Bleiplatte hellgrau aussehen. Als Elektrolyt dient im allgemeinen Schwefelsäure der Dichte  $\rho = 1,26 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ . Die Ladungs- und Entladungsvorgänge sind mit einer Konzentrationsänderung der Schwefelsäure verbunden (Dichteabnahme bis  $\rho = 1,16 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ):



Der *Ladungszustand* des Akkumulators kann deshalb aus der Konzentration der Schwefelsäure mit Hilfe eines Säureprüfers bestimmt werden. Dazu wird etwas Schwefelsäure aus dem Akkumulator in einen Hohlraum des Prüfers angesaugt, in dem an Schwimmern der Ladungszustand ablesbar ist. Oft dienen dazu drei verschiedenfarbige Körper. Der Akkumulator ist geladen, wenn ein Körper auf der Säure schwimmt, der zweite in ihr schwebt und der dritte am Boden bleibt. Er ist entladen, wenn alle drei zu Boden sinken. Die Zellspannung darf beim Entladen nicht unter 1,8 V absinken, da sonst Sulfatierung der Platten eintritt und der Bleiakkumulator damit unbrauchbar wird.

Bei der *Benutzung und Pflege des Bleiakkumulators* ist folgendes zu beachten:

- Die *Säure* muß stets etwa 1 cm über den Platten stehen. Gegebenenfalls ist destilliertes Wasser, niemals aber Leitungswasser nachzufüllen.
- Eine bestimmte *Stromstärke* darf entsprechend der Betriebsanleitung beim Laden und Entladen nicht überschritten werden, da der Bleiakkumulator sonst unbrauchbar wird. Besondere Gefahren bestehen bei Kurzschluß. Deshalb ist bei jeder Schaltung die zu erwartende Belastung vorher zu ermitteln.
- Der Bleiakkumulator ist vor starken Erschütterungen zu schützen.
- Der Bleiakkumulator darf niemals längere Zeit im entladenen Zustand stehen, da sich dann die Bleisulfatschicht auf den Platten verändert und ein Laden nicht mehr möglich ist.
- Falls der Bleiakkumulator ungenutzt steht, muß er in Abständen von einigen Monaten entladen und erneut geladen werden.
- Es ist ratsam, die Akkumulatorsäure jeweils nach zwei Jahren zu wechseln.

Das *Laden* kann in der Schule erfolgen, wenn ein geeignetes Lade- oder Stromversorgungsgerät vorhanden ist. Folgende Arbeitsgänge sind durchzuführen:

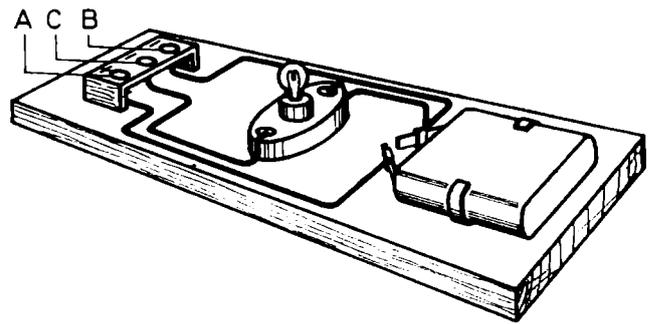


Abb. 264

Abb. 264 Anschlußvorrichtung für Taschenlampenbatterie

- Verschraubungen des Bleiakкумуляtors öffnen.
- Säurestand kontrollieren und gegebenenfalls destilliertes Wasser nachfüllen.
- Ladegerät direkt oder Gleichspannungsteil der Stromversorgungsgeräte über Gleitwiderstand und Strommeßgerät an die Klemmen des Bleiakкумуляtors anschließen; dabei negativen Pol an die mit  $-$ , positiven Pol an die mit  $+$  gekennzeichnete Klemme des Bleiakкумуляtors legen.
- Ladegerät oder Stromversorgungsgerät einschalten; beim Stromversorgungsgerät Spannung etwas höher als die Klemmenspannung des geladenen Bleiakкумуляtors wählen, beim einzelligen Bleiakкумуляtor sind 2,5 ... 3 V, beim dreizelligen etwa 7 ... 8 V einzustellen. Dabei ist auch die Spannung des Ladegeräts zu beachten.
- Regelmäßige Kontrolle der Ladestromstärke; sie darf den angegebenen Wert in der Betriebsanleitung nicht überschreiten; gegebenenfalls muß sie mit einem Gleitwiderstand richtig eingestellt werden. Die maximale Ladestromstärke sollte ein Zehntel der Kapazität des Bleiakкумуляtors nicht überschreiten.
- Laden beenden, wenn an den Elektroden ständig Gasblasen auftreten; Strom abschalten; Verbindung zu den Klemmen lösen, Bleiakкумуляtor säubern und Verschraubungen wieder aufsetzen.

Der *Nickel/Eisen-Akkumulator* enthält als Elektroden in Röhren oder Taschen untergebrachtes aktives Eisenpulver und Nickel(III)-oxid. Der Elektrolyt besteht aus 20%iger reiner Kaliumhydroxidlösung. Dieser Akkumulator, der je Zelle eine mittlere Klemmenspannung von 1,3 V aufweist, ist wesentlich unempfindlicher gegen mechanische Beanspruchung und zeitweilige Überlastung beim Laden und Entladen als der Bleiakкумуляtor. Beim Laden muß die Spannung so hoch gewählt werden, daß eine lebhafte Wasserstoffentwicklung an der Katode auftritt. Zum Unterschied vom Bleiakкумуляtor ist mindestens einmal im Jahr der Elektrolyt zu erneuern, weil die Kaliumhydroxidlösung durch die Einwirkung von Kohlendioxid der Luft allmählich neutralisiert wird.

### 2.1.9.2. Umgang mit elektrischen Meßgeräten

#### Bauprinzip und Arbeitsweise der Meßgeräte

Zur Stromstärke- und Spannungsmessung sind auch im Chemieunterricht Meßgeräte notwendig. Allerdings kann bei einigen Experimenten, besonders bei Leitfähigkeitsuntersuchungen, statt des Strommeßgeräts auch eine Glühlampe in den Stromkreis geschaltet werden. Ihr Aufleuchten zeigt die Stromleitung im Elektrolyten an. Es lassen sich sogar Aussagen hinsichtlich quantitativer Veränderungen machen. Es ist deshalb ratsam, für Schülerexperimente einen Klassensatz Glühlampenbrettchen (↗ S. 38) bereitzustellen.

Die Funktion der verwendeten elektrischen Meßgeräte beruht auf magnetischen Wirkungen des elektrischen Stroms. Grundsätzlich sind Strommesser und stromdurchflossene Spannungsmesser gleich aufgebaut. Sie unterscheiden sich nur durch die Schaltung und die Wahl der Bauteile. Hauptsächlich werden Dreheisen- und Drehspulmeßgeräte verwendet.

Die Arbeitsweise des *Dreheisenmeßgeräts* beruht auf der abstoßenden Wirkung gleichartig magnetisierter Weicheisenstücke. Im Inneren einer ringförmigen Spule befindet sich ein Weicheisenstück, dem ein zweites gleichartiges Weicheisenstück gegenübersteht, das auf einer drehbaren Zeigerachse angebracht ist. Die beiden Weicheisenstücke stoßen einander um so weiter ab, je stärker der Strom ist, der durch die Spule fließt. Der Zeiger wird dadurch verschieden weit über eine nicht linear geteilte Skale bewegt. Eine Spiralfeder erzeugt das mechanische Gegenmoment zum Meßmoment. Dreheisenmeßgeräte sind zum Messen sowohl von Gleich- als auch von Wechselspannung brauchbar.

Die Arbeitsweise des *Drehspulmeßgeräts* beruht auf der Kraftwirkung des magnetischen Feldes eines Dauermagneten auf eine stromdurchflossene Spule. Beim Drehspulmeßgerät befindet sich eine Spule mit Zeiger zwischen den Polen eines Dauermagneten. Beim Stromfluß entsteht in der Spule ein magnetisches Feld, dessen Pole denen der Dauermagneten bei Nullstellung der Zeiger gleichnamig gegenüberstehen. Je nach Stärke des Stroms wird die Spule mit dem Zeiger verschieden weit gedreht. Der Zeiger bewegt sich über eine Skale. Bei den Drehspulinstrumenten dienen zwei Spiralfedern gleichzeitig zur Rückführung der Zeiger in die Nullstellung und zur Stromzufuhr in die Spule. Da die Drehrichtung der Spule von der Stromrichtung abhängig ist, können diese Geräte nur für Gleichspannung benutzt werden. Dabei ist auf die richtige Polung des Geräts zu achten. Die Messung von Wechselspannungen wird durch den Einbau eines Gleichrichters ermöglicht. Drehspulmeßgeräte sind wesentlich empfindlicher als Dreheisenmeßgeräte, das heißt, geringe Ströme und Spannungen rufen noch einen deutlichen Ausschlag hervor.

In der Skale von Meßgeräten – meist links unten – befinden sich Hinweiszeichen über Bau und Benutzung des Geräts:

- Zeichen für den *Bautyp* des Meßgeräts (Abb. 265 a und b)
- Angabe, ob das Meßgerät für die Benutzung in senkrechter, waagerechter oder schräger *Lage* gebaut worden ist (Abb. 265 c bis e)
- Angabe, ob das Gerät für Gleich-, Wechselspannung oder beide *Spannungsarten* anwendbar ist (Abb. 265 f)
- Hinweise auf die *Meßgenauigkeit*.



Abb. 265

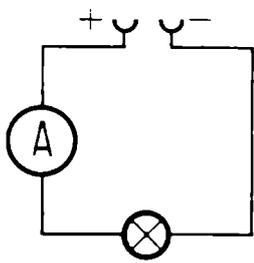


Abb. 266

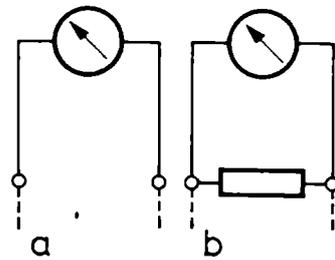


Abb. 267

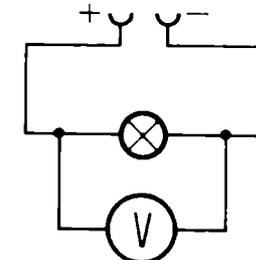


Abb. 268

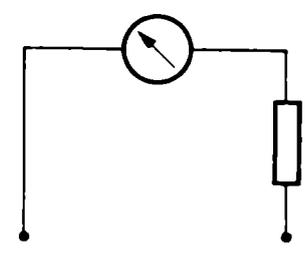


Abb. 269

Abb. 265 Kennzeichen auf elektrischen Meßgeräten

a) Dreheisenmeßgerät, b) Drehspulmeßgerät,

c) Gerät für waagerechte Gebrauchslage, d) Gerät für senkrechte Gebrauchslage  
e) Gerät für schräge Gebrauchslage, f) verwendbare Spannungsarten

Abb. 266 Strommessung mit einem Strommeßgerät

Abb. 267 Schaltung innerhalb eines Strommeßgeräts

a) normale Schaltung, b) erweiterter Meßbereich

Abb. 268 Spannungsmessung mit einem Spannungsmeßgerät

Abb. 269 Schaltung innerhalb eines Spannungsmeßgeräts

Es werden Feinmeßgeräte mit Meßungenaugigkeiten von  $\pm 0,2 \dots \pm 0,5\%$ , bezogen auf den vollen Zeigerausschlag, und Betriebsmeßgeräte mit Meßungenaugigkeiten von  $\pm 1,0 \dots \pm 2,5\%$  unterschieden. Für den Chemieunterricht sind besonders Feinmeßgeräte geeignet.

## Umgang mit Meßgeräten

Elektrische Meßgeräte werden zu Strom- und Spannungsmessungen eingesetzt. Bei *Stromstärkemessungen* ist das Meßgerät in Reihe mit dem Verbraucher geschaltet (Abb. 266). Da der gesamte Strom durch das Gerät fließt, muß es geringen Eigenwiderstand haben. Aus diesem Grund können mit dem Meßwerk selbst nur sehr geringe Stromstärken gemessen werden (Abb. 267a). Soll das Gerät für höhere Stromstärken benutzt werden, so ist parallel zum Meßwerk ein Nebenwiderstand (Shunt) zu schalten. Durch ihn fließt dann der Hauptstrom (Abb. 267b) und nur ein kleiner Zweigstrom durch das Meßwerk. Viele Strommeßgeräte werden mit einer größeren Anzahl auswechselbarer Nebenwiderstände geliefert, die eine Verwendung in verschiedenen Meßbereichen ermöglichen. Vor dem Auswechseln der Shunts ist der Stromkreis zu unterbrechen, da das Meßwerk sonst zerstört wird. Eine Spannung besteht zwischen zwei Punkten eines Stromkreises, zwischen denen ein Verbraucher angeschlossen werden kann. Das Meßgerät wird zur *Spannungsmessung* parallel zu diesen Punkten geschaltet (Abb. 268). Da nur ein sehr kleiner Zweigstrom durch das Spannungsmeßgerät fließt, muß sein Eigenwiderstand möglichst groß gehalten werden. Im Spannungsmeßgerät sind deshalb Meßwerk und Vorschaltwiderstand in Reihe geschaltet (Abb. 269). Durch Veränderung des Vor-

schaltwiderstands ist ein größerer Meßbereich möglich. Spannungsmeßgeräte werden häufig mit auswechselbaren Vorschaltwiderständen geliefert.

Bei einer *Strom- oder Spannungsmessung* sind folgende Hinweise zu beachten:

- Nach dem zu erwartenden Stromstärke- oder Spannungsbereich wird das geeignete Gerät oder der notwendige *Meßbereich* ausgewählt. Sind keine Anhaltspunkte für die Belastung der Meßgeräte vorhanden, ist zunächst der höchste Meßbereich zu wählen und dann zu erniedrigen.
- Das Meßgerät ist erschütterungsfrei aufzustellen und die festgelegte Lage bei der Benutzung einzuhalten.
- Größere Eisenmassen, Elektromagnete oder Transformatoren sollen sich nicht in unmittelbarer Nähe befinden. Sie können ungenaue Meßergebnisse bewirken.
- Die *Nullstellung* des Zeigers ist zu überprüfen. Gegebenenfalls muß an der Stelleneinrichtung reguliert werden.
- Die Schaltung wird unter genauer *Beachtung der richtigen Polung* von Meßgerät und Verbraucher zunächst stromlos hergestellt. Besteht bei Strommessungen die Möglichkeit, an die Meßklemmen des austauschbaren Nebenwiderstands und an die Klemmen des Geräts anzuschließen, so ist es ratsam, nur die Klemmen des Nebenwiderstands zu benutzen. Bei dessen Wechsel kann das Meßgerät nicht zerstört werden.
- Nach nochmaligem *Überprüfen der Schaltung* – alle Schaltungen der Schüler sind grundsätzlich vom Lehrer zu kontrollieren – wird Spannung angelegt. Dabei ist das Meßgerät genau zu beobachten, um bei einer Störung den Stromkreis sofort unterbrechen zu können.
- Voraussetzung für eine brauchbare Messung sind gute *Kontakte* an allen Verbindungsstellen im Stromkreis.
- Soll der *Meßbereich* eines Geräts verändert werden, so ist vorher der Stromkreis zu unterbrechen, weil sonst Schäden am Gerät entstehen können.
- Beim *Ablezen* muß senkrecht auf Zeiger und Skale gesehen werden. Bei einigen Geräten ist die Skale mit einem Spiegel unterlegt. In diesen Fällen muß sich der Zeiger beim Ablezen des Meßwerts mit seinem Spiegelbild decken.

Die empfindlichen elektrischen Meßgeräte erfordern sehr sorgfältige Behandlung. Beim Umgang mit ihnen sind folgende *Grundregeln* zu beachten:

- Die Geräte sind vor mechanischen Belastungen, besonders vor Stoß und Schlag, zu bewahren.
- Die Aufbewahrung muß in Räumen erfolgen, die frei von korrodierend wirkenden Dämpfen sind. Ein Sammlungsraum, in dem Chemikalien gelagert werden, ist ungeeignet.
- Die Geräte sind vor starken Temperaturschwankungen zu schützen. Günstig sind Temperaturen von 10 ... 30 °C.
- Die Geräte sind vor Feuchtigkeit und starken Staubeinwirkungen zu schützen.
- Ein Putzen der Scheibe über der Skale kann zu elektrischer Aufladung und dadurch zu Meßfehlern führen. Die elektrische Aufladung läßt sich durch kurzes Anhauchen beseitigen.

### 2.1.9.3. Durchführen elektrochemischer Experimente

#### Allgemeine Grundlagen

Im Chemieunterricht und in der außerunterrichtlichen Arbeit werden vor allem zu folgenden Komplexen elektrochemische Experimente durchgeführt:

- Untersuchung der Stromleitung in Lösungen
- Elektrolytische Zersetzung von Elektrolytlösungen, wobei meistens Abscheidungsprodukte nachzuweisen oder sogar quantitativ zu bestimmen sind
- Technische Anwendung der Elektrolyse
- Ionenreaktionen, einschließlich pH-Wert-Bestimmungen
- Aufbau und Wirkungsweise von galvanischen Elementen und Sammlern
- Ableitung und Anwendung der elektrochemischen Spannungsreihe

Für die meisten Experimente zum letztgenannten Komplex sind keine besonderen Apparate notwendig. In allen anderen Fällen ist charakteristisch, daß Elektroden in verschiedenartige Lösungen eintauchen. Für die Durchführung sind im Laufe der Zeit vielfältige Apparate entwickelt worden. Sie lassen sich weitgehend auf vier Grundformen zurückführen (Abb. 270a bis d, ↗ Innendeckel vorn 9 M).

Bei der Auswahl und Gestaltung der Apparatur sind die Zielstellung des Experiments sowie die jeweiligen Bedingungen zu berücksichtigen. *Elektroden* erfordern geeignetes Material (↗ S. 39). Da es bei Schulexperimenten oft nur um qualitative Aussagen zu einem Elektrolysevorgang geht, ohne daß besondere Anforderungen an Genauigkeit oder Reinheit der Produkte gestellt werden, sind vielfach sehr einfache und billige Elektrodenmaterialien, wie Graphit, geeignet [41].

Bei der Anordnung der Elektroden muß beachtet werden, daß sich der innere Widerstand einer Elektrolysezelle erhöht, wenn sich die Elektrodenoberfläche verringert, der Elektrodenabstand vergrößert, wenn Diaphragmen zwischen die Elektrodenräume gebracht werden.

Für die *Befestigung der Zuleitungen an Graphitelektroden* bestehen verschiedene Möglichkeiten (Abb. 271 a bis e):

- Eine *Messinghülse* entsprechender Größe wird auf die Elektrode aufgesetzt. Mit der Rändelschraube der Hülse ist der Zuleitungsdraht zu befestigen.
- Um die Elektrode wird ein *Blechstreifen* gelegt und mit einer Telefonbuchse zusammengeschraubt. Die Zuleitung ist mit einem Bananenstecker anzuschließen.
- Über die Elektrode wird ein etwa 1 ... 2 cm langes Stück *Gummischlauch* geschoben. Zwischen Schlauch und Elektrode ist der Zuleitungsdraht einzuführen.
- An die Messingkappe einer Graphitelektrode aus Taschenlampenbatterien wird eine *flexible Verbindungsleitung* angelötet.
- In die Elektrode wird mit dem Messer eine *Vertiefung* eingeritzt. Die Drähte der als Zuleitung benutzten Litze sind zu teilen, von beiden Seiten um die Elektrode zu legen und die Enden zu verdrehen.
- An Elektroden mit geringem Durchmesser können Zuleitungen über *Krokodilklemmen* und Bananenstecker befestigt werden.

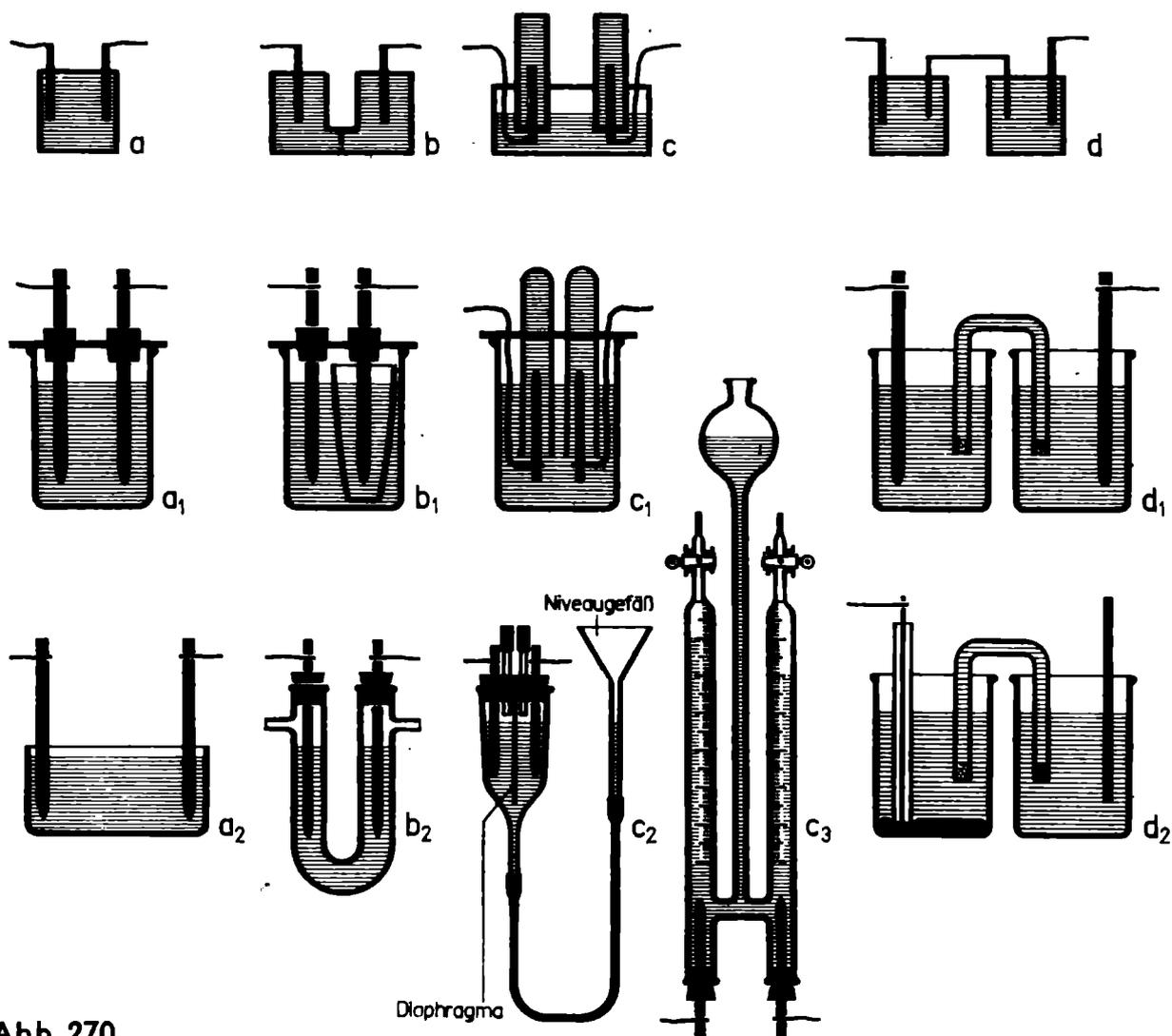


Abb. 270

Abb. 270 Apparate für elektrochemische Experimente

a) Prinzip des trogförmigen Apparats

a<sub>1</sub>) Becher als Elektrolysezelle a<sub>2</sub>) pneumatische Wanne als Elektrolysezelle,

b) Prinzip eines Apparats mit getrennten Elektrodenräumen

b<sub>1</sub>) Becher mit Diaphragma, b<sub>2</sub>) Trockenrohr, U-förmig

c) Prinzip eines Apparats zum Auffangen gasförmiger Produkte

c<sub>1</sub>) Becher mit Reagenzgläsern, c<sub>2</sub>) Anordnung mit Niveaurohr

c<sub>3</sub>) Hofmannscher Apparat

d) Prinzip der galvanischen Zelle mit Stromschlüsseln

d<sub>1</sub>) Galvanische Zelle mit Metallelektroden

d<sub>2</sub>) Galvanische Zelle mit Kalomelektrode

*Metallelektroden* sind in Form von Blech oder Draht notwendig. Die Zuleitungen an Bleche können auf verschiedene Weise angeschlossen werden:

- Befestigung des Bleches an einer Holtzschen Klemme mittels eines zugehörigen Metallstabs mit angeschnittenem Gewinde; die Zuleitung führt zur Klemme
- Einschrauben von Buchsen, am besten in ein waagrecht umgebogenes Blechteil, der Anschluß der Zuleitung erfolgt mit einem Bananenstecker (Abb. 272 a)
- Anschluß mit Hilfe von Krokodilklemme und Bananenstecker
- Anlöten der Zuleitung

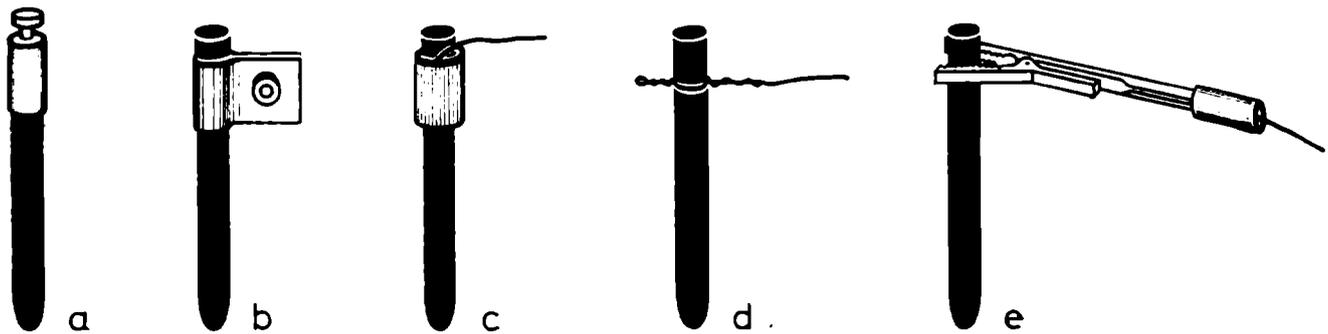


Abb. 271

Abb. 271 Befestigung von Zuleitungen an Graphitelektroden

- a) mit Messinghülse und Rändelschraube,
- b) mit Blechstreifen und Telefonbuchse,
- c) mit Gummischlauch,
- d) durch direkten Anschluß, e) Krokodilklemme und Bananenstecker

Wird ein Metalldraht als Elektrode benutzt, so ist die Verbindung zur Zuleitung über eine einseitige Bananensteckerkupplung und einen Bananenstecker herzustellen (Abb. 272 b).

Für einige Experimente wird elektrische Fernzündung benötigt (Abb. 273), zu deren Realisierung zwei Kupferdrähte nach Vorstechen mit heißem Eisendraht durch einen Stopfen geschoben werden. Ein 15 mm langes Stück Heizwendel ist etwas ausziehen und an den Drahtenden zu befestigen. Etwa 2 ... 3 mm unter der Wendel kann noch ein Verbrennungslöffel angebracht werden. Gezündet wird mit Wechselspannung von 8 ... 12 V.

## Untersuchung der Stromleitung in Lösungen

Bei einer Untersuchung der Stromleitung in Lösungen sind im Chemieunterricht hauptsächlich folgende Aufgaben zu lösen:

- Unterscheidung von Elektrolyten und Nichtelektrolyten
- Vergleich von Elektrolyten

Zur Ausführung werden Becher oder kleine Wannen benutzt, in die ein Elektrodenpaar taucht (↗ Abb. 270 a, S. 246). Die Stromleitung ist durch ein Strommeßgerät oder in einfachen Fällen auch durch eine Glühlampe kontrollierbar (↗ S. 242). Sollen Elektrolyte untereinander verglichen werden, so müssen Stärke, Abstand und Eintauchtiefe der Elektroden, die Temperatur sowie die Konzentration der Lösungen bei den einzelnen Experimenten gleich sein. Um einen bestimmten *Elektrodenabstand* zu sichern, sollten für solche Experimente fest montierte Elektrodenpaare Anwendung finden. Hierfür können zwei Kohleelektroden in einem doppelt durchbohrten Stopfen oder an einer Sturmklammer angebracht werden, an der ein Schenkel einer zweiten Sturmklammer mit Hilfe deren Feder befestigt ist (Abb. 274). Ferner wird vorgeschlagen, den Sockel einer Glühlampe mit den Stromzuführungen ohne Kolben und Glühdraht zu benutzen [19]. Der Sockel ist

in eine einfache Glühlampenfassung zu schrauben, an der die Zuleitungen angeschlossen sind. Zu Demonstrationsexperimenten können die Elektroden am Stativ in geeigneter Höhe befestigt und Becher mit den entsprechenden Lösungen von unten herangeführt werden. Dabei muß die Eintauchtiefe konstant sein.

Geeignet ist auch ein Apparat, zu dessen Herstellung eine weite, nicht zu hohe, tubulierte Glocke oder eine Enghalsflasche mit abgesprengtem Boden und glattgeschliffener Bruchfläche notwendig ist (Abb. 275). Das Hahnrohr soll nach innen nicht aus dem Stopfen herausragen, damit die Untersuchungsflüssigkeit vollständig abgelassen werden kann. Zur Durchführung der Experimente wird die zu prüfende Lösung jeweils bis zur Marke eingefüllt. Nach jeder Untersuchung ist zweimal mit destilliertem Wasser zu spülen.

### Durchführen der Elektrolyse von wäßrigen Lösungen

Zu Elektrolyseexperimenten finden drei Typen von Apparaten (↗ Abb. 270a bis c, S. 246) Anwendung. Trogförmige Gefäße eignen sich zur Beobachtung von Veränderungen an den Elektroden, wie der Gasabscheidung oder der Abscheidung von Metallen. Es können Galvanisierungsexperimente ausgeführt werden. Als Tröge dienen kleine Glaskästen (100 mm × 60 mm × 50 mm bis 250 mm × 150 mm × 80 mm), Becher mittlerer Größe und weite Reagenzgläser. Der Elektrodenabstand läßt sich bei dieser Anordnung leicht variieren.

Die Elektroden können an trogförmigen Gefäßen auf verschiedene Weise befestigt werden:

- Beim Befestigen von Elektrodenpaaren am *Metallstativ* ist darauf zu achten, daß zwischen ihnen keine leitende Verbindung besteht. Das ist mit zwei getrennten Stativen zu erreichen. Dadurch kann allerdings die Apparatur unübersichtlich werden. Ist nur ein Stativ in Gebrauch, dann sind die Elektroden durch einen Gummistopfen, bei höheren Spannungen durch einen Korkstopfen zu isolieren. An Stelle von Metallklemmen lassen sich auch Reagenzlashalter aus Holz benutzen. Metallelektroden (z. B. Bleche) sollten an Holtzschen Klemmen (↗ S. 38) befestigt werden.
- Die Elektroden werden in die Bohrungen eines großen, flachen *Stopfens* eingeführt, der auf einem Becher sitzt (Abb. 276a). Damit die entstehenden Gase entweichen können, ist der Stopfen an der Seite einzukerben oder ein kleines Glasrohr einzuführen.
- In einen *Bierfilz* werden größere Löcher gebohrt, in die sich die in Gummistopfen sitzenden Elektroden einstecken lassen. Diese Anordnung ist auswechselbar und ermöglicht, Becher verschiedener Größe abzudecken (Abb. 276b). Der Elektrodenabstand ist dabei allerdings nicht sehr genau zu halten.

Bei trogförmigen Apparaten durchmischen die Abscheidungsprodukte einander leicht. Es ist nur schwer möglich, gasförmige Produkte aufzufangen und zu untersuchen. Deshalb werden oft Apparate gewählt, bei denen durch die Form eine *getrennte Abscheidung der Elektrolyseprodukte* möglich ist. Vielfach werden die Elektrodenräume durch Diaphragmen noch stärker gegeneinander abgegrenzt. Durch den größeren Elektrodenabstand und die Diaphragmen haben solche Elek-

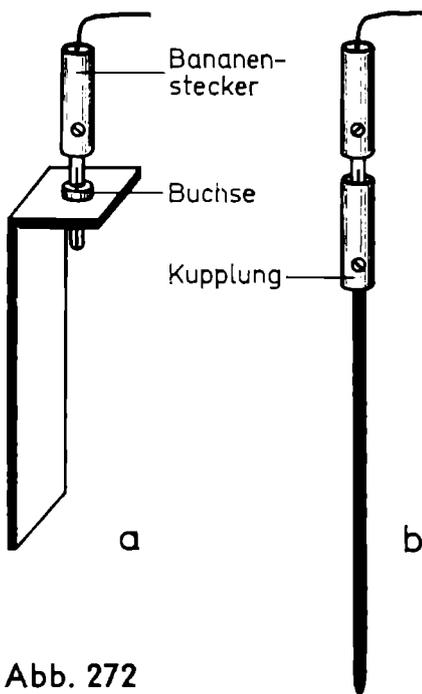


Abb. 272

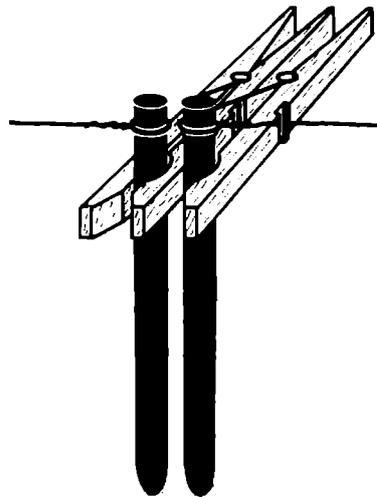


Abb. 274

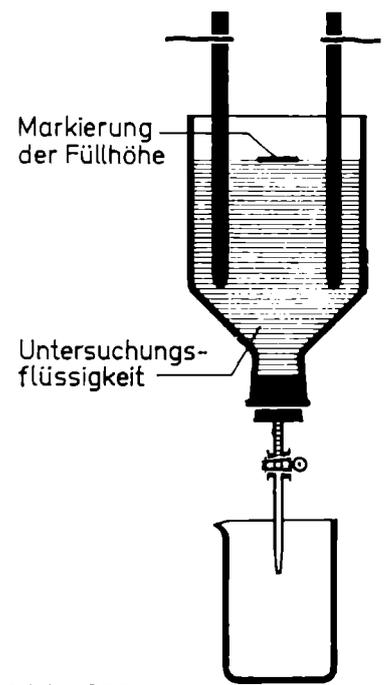


Abb. 275

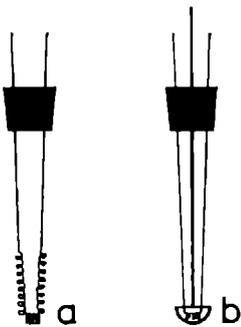


Abb. 273

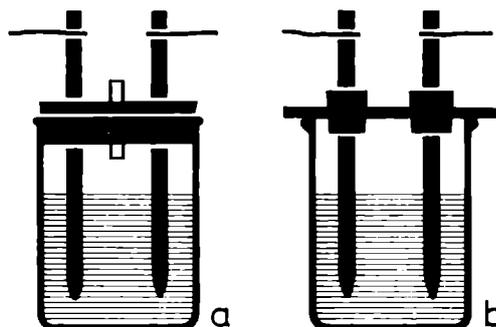
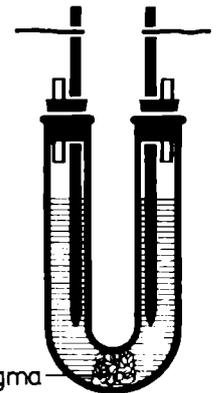


Abb. 276



Diaphragma  
Abb. 277

- Abb. 272 Möglichkeiten des Anschlusses von Zuleitungen an Elektroden  
 a) Anschluß an Elektrodenblechen, b) Anschluß an Drahtelektroden  
 Abb. 273 Aufsätze für Fernzündung  
 Abb. 274 Elektrodenbefestigung mit Sturmklammern  
 Abb. 275 Apparat zur Prüfung der Leitfähigkeit von Lösungen  
 Abb. 276 Elektrodenbefestigung auf einem Becher  
 a) mit flachem Gummistopfen, b) Bierdeckel und Gummistopfen  
 Abb. 277 U-förmiges Trockenrohr als Elektrolysezelle mit Diaphragma

trolysezellen jedoch einen hohen inneren Widerstand. Die Apparate dieses Typs werden meist als U-Rohre verwendet (↗ Abb. 270 b<sub>2</sub>, S. 246). Die Elektroden lassen sich dort leicht in durchbohrten Stopfen befestigen. Sie sollen im allgemeinen möglichst weit in die Flüssigkeit hineinragen, um den inneren Widerstand der Zelle so klein wie möglich zu halten. Damit die entstehenden Gase an den Elektroden entweichen können, müssen die Stopfen eingekerbt oder Glasröhrchen eingeführt werden (Abb. 277). Besser geeignet sind U-Rohre mit Seitenrohren (↗ Abb. 270 b<sub>2</sub>, S. 246). Das ermöglicht, entstehende Gase aufzufangen. Durch einen Watte- oder Filterpapierpfropfen im gebogenen Teil des U-Rohrs lassen sich beide Elektrodenräume trennen (Diaphragma).

Neben den hier angeführten Möglichkeiten für die Elektrolyse finden spezielle Anordnungen Verwendung. Als Beispiel seien Apparate zu den verschiedenen Verfahren der Elektrolyse von Alkalimetallchloridlösungen angeführt (Abb. 278) oder Anordnungen, die brauchbar sind, wenn nur an einer Elektrode gasförmige Produkte entstehen (Abb. 279).

Sollen schließlich *gasförmige Elektrolyseprodukte* aufgefangen und näher untersucht werden, so sind Apparate eines dritten Typs (↗ Abb. 270 c, S. 246) vorteilhaft. Am bekanntesten ist der *Hofmannsche Wasserzersetzungsapparat* (↗ Abb. 270 c<sub>3</sub>, S. 246), bei dem aus einem Vorratsgefäß je nach Bedarf Lösung nachströmt beziehungsweise dorthin verdrängt wird. Bei diesem Apparat lassen sich die Volumen der entstehenden Gase leicht ablesen. Da sich die entstehenden Gase teilweise im Elektrolyt lösen, dürfen die Volumen erst verglichen werden, wenn das Experiment längere Zeit gelaufen und die Lösung an den Gasen gesättigt ist. Bei der Verwendung von Kohlelektroden ist zu beachten, daß einige Gase *in statu nascendi* teilweise mit der Kohle reagieren und dadurch Verfälschungen von Ergebnissen auftreten können. Zur Inbetriebnahme werden die Elektroden so weit in die Meßrohre eingeführt und jeweils mit einem Glasrohr isoliert, daß die entstehenden Gase einander nicht durch das Verbindungsrohr der beiden Meßrohre vermischen (Knallgasgefahr). Dann wird das Trichterrohr mit dem Elektrolyten gefüllt und der Elektrolyt anschließend durch Öffnen der Hähne in die beiden Meßrohre bis in das Hahnrohr hinein gebracht. Nötigenfalls ist noch Elektrolytlösung nachzufüllen. Sie soll vor der Inbetriebnahme bis zu einem Viertel der Höhe der Trichterrohrkugel stehen. Nach dem Anlegen der Spannung muß mehrmals das entstehende Gas durch gleichzeitiges Öffnen beider Hähne entweichen, bis die Lösung an Gas gesättigt ist.

Sollen die entstehenden gasförmigen Produkte nicht quantitativ bestimmt, sondern nur auf ihre Eigenschaften untersucht werden, so ist ein Apparat vom Typ c (↗ Abb. 270 c<sub>1</sub>, S. 246) günstig. Der Elektrolyt wird in den Becher gefüllt. Danach sind zwei gefüllte Reagenzgläser, mit Stopfen verschlossen, mit der Mündung nach unten in den Becher zu setzen und zu öffnen. Elektroden, deren Zuleitungen in der Flüssigkeit isoliert sein müssen, können von unten eingeführt werden. Es sind noch andere Apparate zum Auffangen von gasförmigen Elektrolyseprodukten geeignet (Abb. 280) [4] [20] [55].

### **Durchführen der Schmelzflußelektrolyse**

Bei Schulexperimenten zur Schmelzflußelektrolyse werden meist Kohleanoden und Eisendrahtkatoden benutzt. Die Gefäße müssen aus feuerfestem Material bestehen, um die festen Stoffe schmelzen zu können. Die häufig empfohlenen Tonpfeifen (Abb. 281 a) werden kaum noch zur Verfügung stehen. Deshalb sind Schmelztiegel, Metalltiegel oder Glühschiffchen angebracht (Abb. 281 b und c). Der Elektrolyt wird zunächst durch Erwärmen geschmolzen und erst dann Spannung angelegt. Ist sie genügend hoch, so hält die Stromwärme die Schmelze flüssig. Bei niedrigen Spannungen muß die Schmelze auch während der Elektrolyse erhitzt werden.

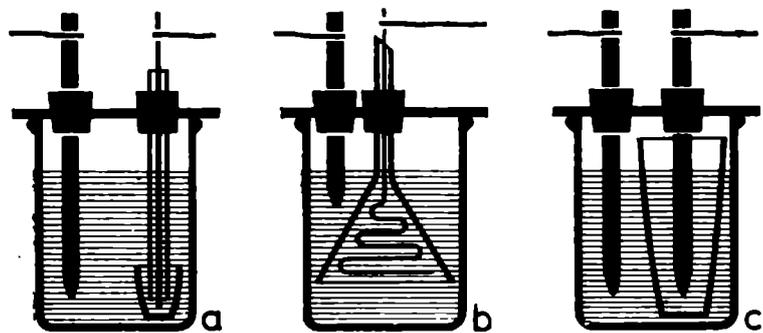


Abb. 278

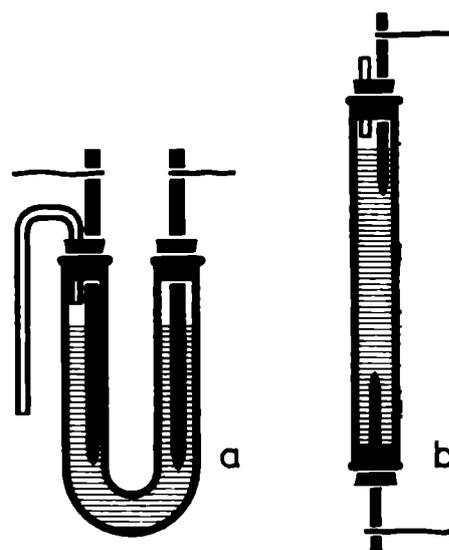


Abb. 279

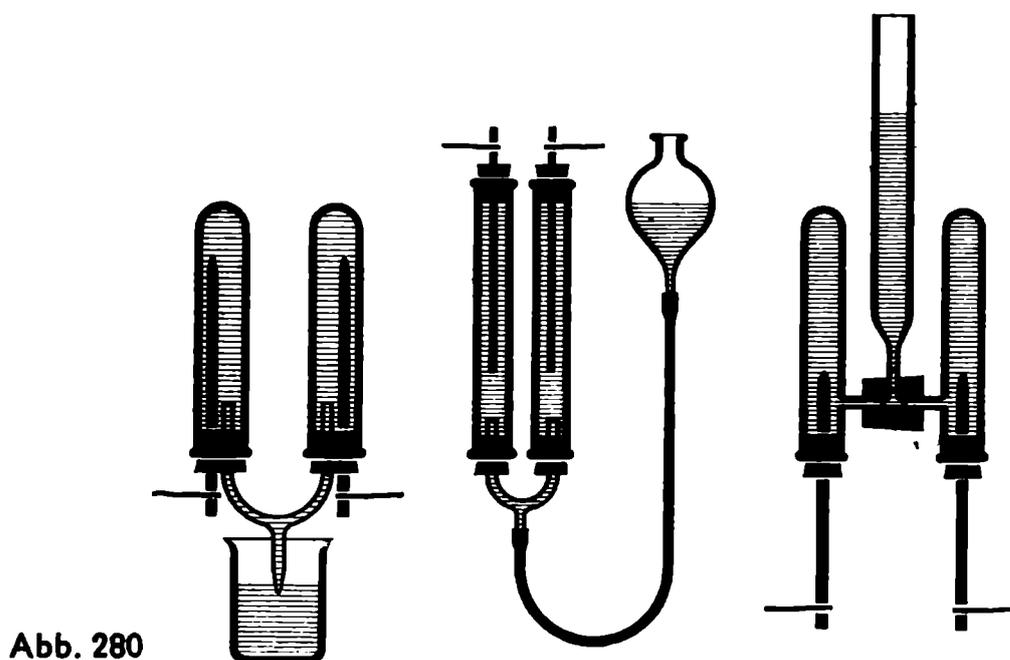


Abb. 280

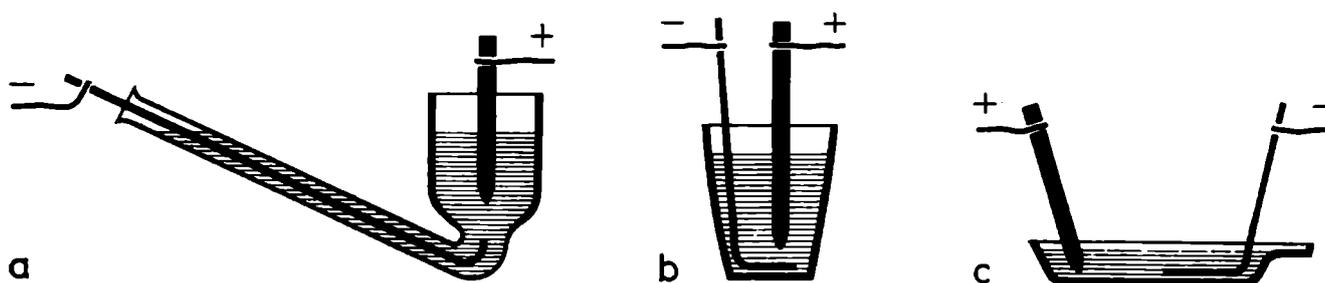


Abb. 281

Abb. 278 Apparate für Experimente zur Elektrolyse der Lösungen von Alkalimetallchloriden  
 a) zum Quecksilberverfahren, b) zum Glockenverfahren, c) zum Diaphragmaverfahren  
 Abb. 279 Apparate für Elektrolysevorgänge, bei denen nur an einer Elektrode Gase entstehen  
 Abb. 280 Verschiedene Elektrolyseapparate zum Auffangen von Gasen  
 Abb. 281 Anordnung für die Schmelzflußelektrolyse  
 a) Tonpfeife, b) Schmelztiegel, c) Glühschiffchen

#### 2.1.9.4. Erzeugen von Funkenstrecken

Für einige chemische Reaktionen sind hohe Temperaturen erforderlich, wie sie bei der Funkenentladung kurzzeitig auftreten und die etwa bei 50000 °C liegen. Ein Beispiel für eine solche Reaktion ist die Bildung von Stickstoffoxiden aus Stickstoff und Sauerstoff der Luft (Abb. 282). Das Gelingen dieses und ähnlicher Experimente hängt davon ab, daß das Ausgangsgemisch sehr genau in die Funkenstrecke geleitet wird. Dabei beeinflußt die Geschwindigkeit, mit der Gas durch die Funkenstrecke strömt, die Reaktion. Die Geschwindigkeit ist vom Bau der Apparatur abhängig und jeweils zu erproben. Der elektrische Funke kann mit dem *Funkeninduktor* erzeugt werden. Dieses Gerät ist ein Hochspannungstransformator, bei dem um einen geraden Kern ineinandergeschoben eine Primärspule mit wenigen Windungen und eine Sekundärspule mit sehr vielen Windungen angebracht sind. Der Primärstrom wird in rascher Aufeinanderfolge unterbrochen. Dadurch entsteht sekundär eine hochgespannte, zerhackte Gleichspannung von 10000 ... 100000 V. Die Sekundärspule ist offen, so daß sich zwischen ihren Enden ein Funke ausbilden kann. Seine Länge hängt von der Spannung ab. Der Primärstrom wird bei kleineren Induktoren, die für den Chemieunterricht ausreichen, durch einen Wagnerschen Hammer unterbrochen, der 40 Unterbrechungen je Sekunde ermöglicht. Zur Erregung ist Gleichspannung von etwa 4 V üblich. Um sekundär hohe Spannungsspitzen zu erhalten, muß die Unterbrechung möglichst schnell erfolgen. Deshalb ist parallel zum Unterbrecherkontakt ein Kondensator geschaltet, der die Ausbildung eines gut leitenden Öffnungsfunkens am Wagnerschen Hammer verhindert und damit dem Kontaktabbrand entgegenwirkt.

An Stelle des Funkeninduktors sind auch *Tesla-Transformatoren* (Abb. 283) geeignet, bei denen die hochgespannte Wechselspannung in der Sekundärspule durch die starke Induktionswirkung in der Primärspule erzeugter elektrischer Schwingungen hervorgerufen wird. Die Benutzung ist noch einfacher als die des

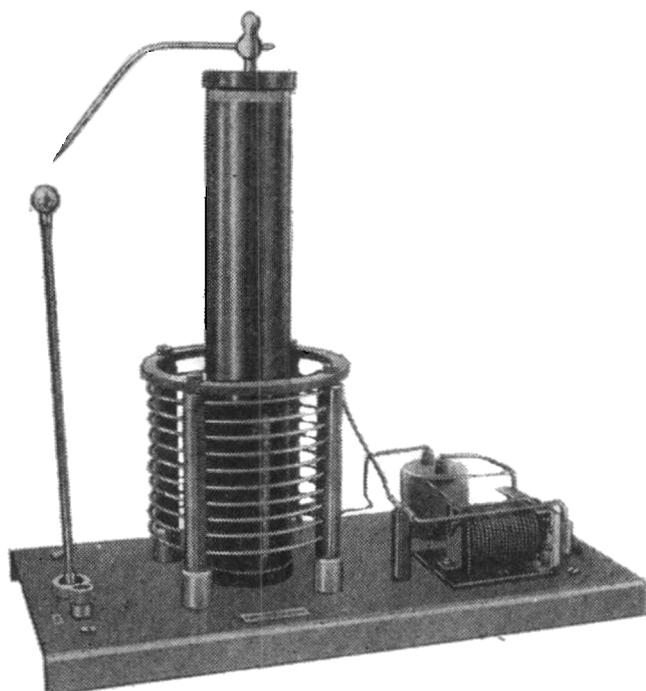


Abb. 283 Tesla-Transformator

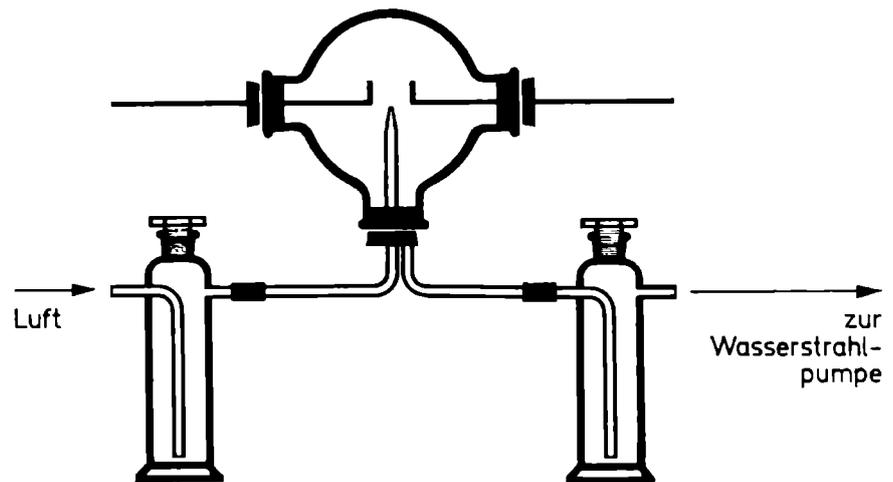


Abb. 282

Abb. 282 Reaktion von Stickstoff mit Sauerstoff in der Funkenstrecke

Funkeninduktors. Der Apparat wird mit Wechselspannung von 20 ... 25 V betrieben.

Sollen *Funkenstrecken* innerhalb von Geräten erzeugt werden, so sind die Spitzen an der Sekundärspule der Geräte so weit auseinanderzustellen, daß zwischen ihnen gerade noch ein Funken überspringen kann (Schutzfunkenstrecke). Über nicht zu lange, gut isolierte Leitungen werden die beiden Spitzen zusätzlich mit den Elektroden in der Apparatur verbunden. Der Elektrodenabstand muß dort kleiner sein als die Schutzfunkenstrecke.

## 2.2. Wichtige Arbeitstechniken und Apparaturen für die Halbmikrotechnik

Die Halbmikrotechnik wird etwa seit dem Jahre 1930 besonders für analytische Arbeiten angewendet. Sie ist ein Teilbereich der Mikrochemie. Die angewandten Techniken in der Mikrochemie unterscheiden sich nach der Menge der eingesetzten Stoffe (Tab. 90). Selbst kleinste Mengen von Naturstoffen lassen sich nach speziellen Verfahren noch untersuchen.

**Tabelle 90** Techniken in der Mikrochemie, nach Ackermann [1; S. 10]

Technik	Eingesetzte Massen in mg	Eingesetzte Volumen in ml
Halbmikrotechnik	100 ... 10	5 ... 0,5
Mikrotechnik (im engeren Sinne)	10 ... 0,1	0,5 ... 0,05
Ultramikrotechnik	<0,1	<0,05

Obwohl sich diese Festlegung ausschließlich auf analytische Experimente bezieht, kann sie auch auf die präparativen, technologischen und physikalisch-chemischen Experimente im Unterricht übertragen werden. Im Chemieunterricht findet die Halbmikrotechnik vorzugsweise für die *Durchführung von Schülerexperimenten* Anwendung. Es können aber auch Demonstrationsexperimente, insbesondere im Zusammenhang mit der Projektionstechnik, mit den Geräten und Apparaten der Halbmikrotechnik ausgeführt werden.

Beim chemischen Experimentieren im Unterricht, besonders beim Einsatz chemischer Schülerexperimente, sind einige grundsätzliche Forderungen zu berücksichtigen:

- Die Benutzung der Geräte und Apparate muß von den Schülern leicht erlernbar sein.
- Die eingesetzten Stoffmengen sollten so gering wie möglich gehalten werden, ohne daß dadurch eine einwandfreie Erkennbarkeit der Effekte in Frage gestellt wird.
- Die Gefährdung der Schüler darf selbst bei falschem Experimentieren nur gering sein.
- Die Zugriffszeit für das Bereitstellen der Geräte, Apparate und Chemikalien muß möglichst kurz sein.
- Das Zusammenstellen der Apparaturen darf die Unterrichtsstunde zeitlich nicht zu stark belasten.

Diese Anforderungen werden bei der Anwendung der Halbmikrotechnik für Schülerexperimente optimal erfüllt. Es ergeben sich sogar gegenüber Schülerexperimenten nach der Makrotechnik noch zusätzliche *Vorteile*:

- die einfache Ausstattung der Fachunterrichtsräume, da weder Wasseranschluß noch ein Ausguß an jedem Schülertisch vorhanden sein müssen,
- die einfache Bereitstellung und Instandhaltung der Geräte und Chemikalien,
- der geringe finanzielle Aufwand, bedingt durch den Einsatz geringer Stoffmengen und die Verwendung einfacher, kleiner Geräte.

Für die Halbmikrotechnik wurde ein Gerätesystem entwickelt, bei dem ähnlich wie für die Makrotechnik die einzelnen Geräte und Apparate aufeinander abgestimmt sind. Für den Einsatz der Halbmikrotechnik im Chemieunterricht eignet sich am besten der Fachunterrichtsraum [18, S. 139 ... 156] [67]. Dabei ergeben sich bestimmte Konsequenzen hinsichtlich der Aufbewahrung der Geräte, Apparate und Chemikalien (↗ S. 107 und 400).

Für quantitative chemische Schülerexperimente sind die Geräte und Apparate nach der Halbmikrotechnik ungeeignet. Derartige Experimente sollten daher mit speziellen Geräten und Apparaten ausgeführt werden.

In Analogie zur Behandlung der Makrotechnik wird in den folgenden Abschnitten die Halbmikrotechnik in Zusammenhang mit dem Einsatz der erforderlichen Geräte, Apparate und Apparaturen beschrieben. Dabei stehen die Besonderheiten der Halbmikrotechnik im Vordergrund der Betrachtungen.

## 2.2.1. Erwärmen und Kühlen beim Experimentieren

Auf Grund der geringen Abmessungen der Geräte und Apparate und der minimalen Stoffmengen, die beim Arbeiten nach der Halbmikrotechnik zum Einsatz gelangen, genügen als Heizquellen einfache Geräte, der Spiritusbrenner (↗ S. 24) beziehungsweise der Halbmikro-Brenner (↗ S. 24).

### 2.2.1.1. Beheizen von Reaktionsräumen

#### Erhitzen von Geräten und Apparaten

In den meisten Fällen erfolgt das Erhitzen der Geräte direkt und unmittelbar durch Einwirkung einer Flamme. Nur in wenigen Fällen ist ein indirektes Erhitzen über ein Wasserbad notwendig. Beim *direkten Erhitzen von Flüssigkeiten* in Halbmikro-Reagenzgläsern ist die Möglichkeit des Siedeverzugs noch größer als beim Arbeiten nach der Makrotechnik. Soll hier einem Siedeverzug entgegengewirkt werden, so ist das am sichersten durch Einführen des Rührers in das Reagenzglas zu erreichen, und zwar mit dem abgeplatteten Ende nach unten. Der Stiel des Rührers stellt dabei für den aufsteigenden Dampf eine relativ große Kondensationsfläche dar. Andererseits kann es bei Verwendung von Rührern auf Grund ihrer eigenen Masse nicht geschehen – wie das beim Einsatz von Siedesteinchen durchaus möglich ist –, daß sie beim Erhitzen zusammen mit der Flüssigkeit aus dem Reagenzglas herausgeschleudert werden.

Das *Erhitzen von Flüssigkeiten* beziehungsweise Lösungen in Halbmikro-Reagenzgläsern sollte nur erfolgen, um die Reaktionsgeschwindigkeit für eine bestimmte Reaktion zu beschleunigen. Es ist sehr schwer möglich, Lösungen in Halbmikro-Reagenzgläsern einzuengen. Dafür ist das Halbmikro-Reagenzglas zu eng beziehungsweise sind die im Vergleich zur vorhandenen Flüssigkeitsoberfläche vorhandenen Kondensationsflächen – einschließlich Reagenzglaswand – zu groß. Sollen Lösungen eingeengt werden, so ist dazu der Halbmikro-Kochbecher geeignet. Sowohl beim Erhitzen von Flüssigkeiten in Reagenzgläsern als auch beim Einengen von Lösungen in Halbmikro-Kochbechern müssen die Schüler dazu angehalten werden, die Öffnungen der Geräte nicht auf Personen zu richten, damit Unfälle durch herausspritzende Flüssigkeiten ausgeschlossen werden. Beim Arbeiten nach der Halbmikrotechnik können alle Apparate erhitzt werden, zum Beispiel der Gasentwickler, der Gaswäscher, der Destillierkolben und der Reaktionskolben. Demnach besteht ein zusätzlicher Vorteil der Halbmikrotechnik im direkten Erhitzen der Halbmikro-Gaswäscher.

Soll in einem der genannten Apparate durch Verdampfen von Flüssigkeiten ein *gleichmäßiger Gasstrom* erzeugt werden, so gibt es dafür zwei Möglichkeiten:

- Die Flüssigkeit wird direkt bei Gegenwart eines oder mehrerer Siedesteinchen erhitzt.
- Die Flüssigkeit wird in einem indifferenten festen Stoff, zum Beispiel Quarzsand, aufgenommen und dann indirekt erhitzt, da die Flüssigkeit auf den Körnern des festen Stoffes einen Film bildet.

Bei der zweiten Möglichkeit läßt sich eine relativ gleichmäßige Wärmeübertragung und damit verbunden eine gleichmäßige Verdampfung erreichen. Da Überhitzungen weitgehend ausgeschlossen werden, ist es nicht möglich, daß Flüssigkeitsteilchen unverdampft mit übergetrieben werden, wie das beim direkten Erhitzen leicht geschieht. Treffen solche Flüssigkeitsteilchen auf stark erhitzte Glaswände anderer Apparate, so kann das Glas springen.

### **Verwendung von Heizbädern**

Ein *indirektes Erhitzen von Flüssigkeiten* in den Halbmikro-Geräten mit Hilfe von Wasserbädern und anderen Bädern ist nur bei einigen Experimenten erforderlich und dann ausschließlich auf Wasserbäder beschränkt. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, daß die im Handel erhältlichen Wasserbäder, bestehend aus 400-cm<sup>3</sup>-Bechern und Wasserbadeinsatz, für den Chemieunterricht wenig geeignet sind. Das ist insbesondere durch das große Wasservolumen und die damit verbundene lange Anheizzeit dieser Wasserbäder bedingt. Für Schülerexperimente sind Becher oder Erlenmeyerkolben mit einem Nennvolumen von 50 cm<sup>3</sup> zu empfehlen.

### **Erhitzen von festen Stoffen**

Sollen feste Stoffe erhitzt werden, so ist das in allen Apparaten nach der Halbmikrotechnik direkt möglich. Auch hier bestehen durch das direkte Erhitzen von festen Stoffen in Halbmikro-Gaswäschern zusätzliche Möglichkeiten für den Einsatz dieser Apparate im Vergleich zur Makrotechnik. So ist es beispielsweise gut möglich, bei bestimmten Experimenten die Halbmikro-Gaswäscher an Stelle von Verbrennungsrohren einzusetzen. Diese Möglichkeit ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn feste Stoffe längere Zeit stark erhitzt werden müssen, da die Reagenzgläser mit Seitenrohr widerstandsfähiger sind als die Verbrennungsrohre aus normalem Biegeglas.

Für die Befestigung der erhitzten Geräte und Apparate werden Reagenzglasalter aus Holz benutzt, soweit es sich um Halbmikro-Reagenzgläser oder um Einzelapparate handelt, die unter Verwendung eines Reagenzglases mit Seitenrohr hergestellt werden. Alle übrigen Apparate und Apparaturen werden beim Erhitzen in das Halbmikro-Stativ eingespannt.

#### **2.2.1.2. Thermostatisierung und Kühlung**

##### **Einfaches Kühlen mit Luft und Wasser**

Die Kühlung gasförmiger Stoffe bis zur Kondensation wird beim Arbeiten nach der Halbmikrotechnik relativ einfach erreicht. Ist ein gasförmiges Reaktionsprodukt aus dem Destillierkolben oder Reaktionskolben in der Halbmikro-Kondensationsvorlage zur Kondensation zu bringen, so erfolgt die Abkühlung allein schon durch Luftkühlung in dem Ausgleich- und Gaseinleitungsrohr der Kondensationsvorlage. Durch Verwendung eines Halbmikro-Kühlers (↗ Abb. 298, S. 275) kann

die Kühlwirkung verstärkt werden. Dieser Halbmikro-Kühler ist universell einsetzbar und eignet sich sehr gut für Schülerexperimente. Er wurde an der Friedrich-Fröbel-Oberschule Oberweißbach entwickelt. Das sonst für Kühlzwecke benutzte Gasableitungsrohr ist mit drei kugelförmigen Aufweitungen versehen und von einem Glasmantel umgeben, der nach unten mit dem äußeren Kühlrohr verschmolzen und nach oben geöffnet ist (↗ S. 56). Die Kühlwirkung wird durch eine stehende Wassersäule erreicht. Dem Kühlwasser können Eisstückchen zugefügt werden. Damit entfällt das sonst erforderliche Zutropfen des Wassers während der Durchführung des Experiments. Die Schüler können sich besser auf den eigentlichen Ablauf des Experiments konzentrieren. Außerdem wird vermieden, daß Wasser auf den Arbeitsplatz tropft, wie das bei ungeschicktem Umgang mit dem filterpapierumwickelten Kühlrohr (↗ Abb. 190, S. 135) mitunter geschieht. Ein weiterer Vorteil dieses Kühlers besteht darin, daß er auch sehr leicht als echter Wärmeaustauscher zur gleichmäßigen Wärmeübertragung benutzt werden kann. In diesem Fall ist der Mantel mit heißem Wasser oder einer anderen heißen Flüssigkeit zu füllen.

Eine weitere Verstärkung der Kühlwirkung ist erreichbar, wenn der als Kondensationsvorlage fungierende Halbmikro-Gaswäscher in einem Erlenmeyerkolben mit Wasser steht.

Es ist auch möglich, unter vollständigem Rückfluß zu arbeiten. Dann wird der Reaktionskolben benutzt. Bei zu starkem Erhitzen des Reaktionskolbens kann aber der Gasinnendruck so groß werden, daß das im Kühler gebildete Kondensat herausspritzt. Es ist daher erforderlich, das Erhitzen von Zeit zu Zeit zu unterbrechen, um so den Rückfluß des Kondensats zu ermöglichen. In bestimmten Fällen kann das Erhitzen unter Rückfluß auch in einem normalen Reagenzglas der Makrotechnik ausgeführt werden, wenn dieses durch einen durchbohrten Gummistopfen verschlossen ist, durch den ein entsprechend langes Glasrohr eingeführt ist.

## **2.2.2. Messen von Flüssigkeiten und festen Stoffen**

### **2.2.2.1. Volumenmessung von Flüssigkeiten**

Die Angabe der Volumen erfolgt beim Arbeiten nach der Halbmikrotechnik für Flüssigkeiten fast ausschließlich in Tropfen, die aus Halbmikro-Tropfern entnommen werden. Alle qualitativen Experimente werden damit exakt genug beschrieben. Dennoch ist es notwendig, den Schülern möglichst bald einen Eindruck von den wahren Volumenverhältnissen dieser Reaktionen zu vermitteln. Das geschieht in der Weise, daß häufig benutzte Flüssigkeiten, wie Wasser, konzentrierte Schwefelsäure, in graduierte Reagenzgläser oder kleine Meßzylinder ( $10 \text{ cm}^3$ ) eingetropft werden, wobei durch Zählen der Tropfen die Anzahl der Tropfen für 1 ml der entsprechenden Flüssigkeit ermittelt wird. Auf diese Weise ist es auch möglich, Halbmikro-Tropfer zu eichen und sie so für quantitative Experimente zu benutzen. Dieses Vorgehen wird aber nicht empfohlen, da die

Fehlergrenze zu hoch ist. Außerdem ist es wichtig, daß die Schüler mit den gebräuchlichen Geräten und Apparaten für quantitative Experimente direkt arbeiten und deren Benutzung und Funktion kennen. Das schließt in sich ein, für Schülerexperimente entsprechende kleine Geräte und Apparate zu benutzen, zum Beispiel Büretten mit einem Nennmeßbereich von  $10 \text{ cm}^3$ .

Wichtig ist es, in diesem Zusammenhang darauf hinzuweisen, daß beim Arbeiten nach der Halbmikrotechnik Flüssigkeiten grundsätzlich mit dem Halbmikro-Tropfer (↗ S. 97) in ein Gerät übertragen und nicht aus einem Meß- und Vorratsgefäß in ein anderes Gefäß direkt eingeschüttet werden. Das ist erforderlich, weil einmal die Öffnungen der Geräte und Apparate relativ eng sind und weil zum anderen die Flüssigkeiten auf Grund der Adhäsion sehr schwer aus den engen Geräten und Apparaten herausfließen. Es ist falsch, den gefüllten Tropfer beim Transport am Sifonsauger oder am ungefüllten Rohrteil anzufassen, weil durch ungewolltes Zusammendrücken beziehungsweise durch Wärmeübertragung Flüssigkeit aus dem Tropfer austreten kann. Soll Flüssigkeit aus einer Halbmikro-Standflasche entnommen werden, so müssen die Schüler die nachstehende Reihenfolge einhalten:

- Aufschrauben der Flaschenverschlusses,
- Sifonsauger langsam zusammendrücken und ebenso wieder entspannen,
- Herausheben und Transport des Tropfers am Schraubverschluß.

Soll mit einem Halbmikro-Tropfer Flüssigkeit oder auch ein Flüssigkeits-Feststoff-Gemisch aus einem Halbmikro-Reagenzglas entnommen werden, so ist auch in diesem Fall eine bestimmte Reihenfolge der Arbeiten einzuhalten:

- Erfassen des Halbmikro-Tropfers am Sifonsauger,
- Zusammendrücken des Sifonsaugers,
- Eintauchen der Halbmikro-Tropferspitze in die Flüssigkeit,
- langsames Entspannen des Sifonsaugers,
- Herausheben des Halbmikro-Tropfers, Anfassen direkt am Gummiwulst des Saugers,
- Halbmikro-Tropfer immer senkrecht mit der Öffnung nach unten halten.

Würde das Zusammendrücken des Sifonsaugers erst dann erfolgen, wenn der Halbmikro-Tropfer bereits in die Flüssigkeit eintaucht, so ist es leicht möglich, daß durch die aufsteigende Luft Flüssigkeit herausgedrückt wird.

### 2.2.2.2. Massenbestimmungen, Wägungen

Soll bei Schülerexperimenten nach der Halbmikrotechnik die Masse von Stoffen bestimmt werden, so sind dazu am besten *Hornschaalenwaagen* geeignet. Es ist wünschenswert, für jeden Schülergerätesatz eine solche Hornschaalenwaage bereitzustellen. Die Benutzung und Pflege dieser Waagen ist relativ einfach (↗ S. 147) und die Meßgenauigkeit für Schülerexperimente durchaus befriedigend. Bei der Verwendung einer Schülerwaage nach dem Prinzip der Briefwaage (↗ S. 102) ist die Benutzung zwar noch einfacher als bei der Hornschaalenwaage, aber die Meßgenauigkeit geringer.

Bei einigen Schülerexperimenten steht nicht das Bestimmen der Massen, sondern ein Vergleich der Massen von Ausgangsstoffen und Reaktionsprodukten mit der Hornschaalenwaage im Vordergrund. Ein typisches Beispiel dafür ist das Experiment zum Nachweis des Gesetzes von der Erhaltung der Masse. In diesem Fall genügt es, wenn mit Hilfe von Seesand austariert wird. Dieses Verfahren ist auch dann anwendbar, wenn nicht für jeden Schüler beziehungsweise für jede Arbeitsgruppe eine Waage zur Verfügung steht. Nach dem Herstellen des Gleichgewichts geben die Schüler den Sand zum Beispiel in eine leere Kristallisierschale und von dort nach Ausführung des Experiments erneut auf die Hornschale. Auf diese Art können mehrere Schüler die gleiche Hornschaalenwaage benutzen.

### 2.2.3. Darstellen von Gasen

Auch beim Arbeiten nach der Halbmikrotechnik hat das Darstellen von Gasen große Bedeutung, da viele Schülerexperimente mit der Darstellung, der Reaktion und dem Nachweis von Gasen verbunden sind. Der Einsatz der Apparate und Apparaturen im Zusammenhang mit dem Darstellen von Gasen ist besonders vom Aggregatzustand der Ausgangsstoffe abhängig (↗ Tab. 91, S. 264).

#### 2.2.3.1. Reaktion einer Flüssigkeit mit einem festen Stoff

##### Verwendung des Halbmikro-Zutropfgasentwicklers

Die betreffenden Reaktionen werden bei Schülerexperimenten in Halbmikro-Gasentwicklern ausgeführt. Ein solcher Halbmikro-Gasentwickler besteht aus einem kleinen Reagenzglas mit Seitenrohr (8 mm × 75 mm) und einem kleinen Tropfer (↗ S. 97), Typ C (6,5 mm × 50 mm). Es ist der gleiche Tropfer, der auch für Halbmikro-Standflaschen benutzt wird. Ein Stück weicher Gummischlauch ist beginnend an der konischen Verjüngung des Halbmikro-Tropfers über den Halbmikro-Tropfer zu schieben. Beim Aufsetzen auf das Reagenzglas muß der Halbmikro-Gasentwickler luftdicht verschlossen werden.

Der Halbmikro-Gasentwickler entspricht dem Zutropfgasentwickler, der beim Arbeiten nach der Makrotechnik eingesetzt wird (↗ S. 163). Bei einem Vergleich

zwischen Makrotechnik und Halbmikrotechnik besteht dabei die Möglichkeit, die Vorzüge der Halbmikrotechnik beim Einsatz für Schülerexperimente deutlich zu machen (Abb. 284, Innendeckel hinten 1 H). Schon die Herstellung des Zutropfgasentwicklers ist im Vergleich zum Halbmikro-Gasentwickler mit einem höheren Zeit- und Materialaufwand verbunden (↗ S. 163). Hinzu kommt, daß die Gefahren in der Benutzung des Zutropfgasentwicklers für Schüler groß sind. Das ist besonders dann der Fall, wenn die erzeugten Gase durch eine umfangreiche Apparatur hindurchgedrückt werden müssen. Dabei wird der Gasinnendruck im Zutropfgasentwickler leicht so groß, daß die Gase beim Öffnen des Hahnküens vom Tropftrichter durch die darin befindliche Flüssigkeit nach oben entweichen. Die Flüssigkeit im Tropftrichter ist häufig eine Säure, die durch die entweichenden Gase verspritzt werden kann. Diese zusätzlichen Gefahrenmomente für die Schüler lassen sich vermeiden, wenn für Druckausgleich gesorgt wird (Abb. 284c). Damit wird der Apparat aber noch komplizierter.

Die beschriebenen Schwierigkeiten treten beim Gebrauch eines Halbmikro-Gasentwicklers nicht auf, weil durch das Zusammendrücken des Sifonsaugers der Innendruck jederzeit überwunden werden kann. Außerdem wird der Halbmikro-Gasentwickler auf sehr einfache Art durch das Einstellen in einen Reagenzglasständer, in ein Reagenzglasgestell oder durch Einspannen in ein Halbmikro-Stativ befestigt. Das Einspannen des Zutropfgasentwicklers ist – bedingt durch die hohe Lage des Schwerpunkts – kompliziert. Er kippt leicht um. Dadurch können größere Mengen Säure verschüttet werden. Auch diese Schwierigkeiten treten bei Verwendung eines Halbmikro-Gasentwicklers nicht auf.

Der Halbmikro-Gasentwickler kann für alle die Reaktionen benutzt werden, bei denen ohne zusätzliches Erwärmen durch Reaktion von festen Stoffen mit Flüssigkeiten Gase entstehen, wie beim Darstellen von Ethin aus Calciumcarbid und Wasser oder von Wasserstoff und anderer Gase bei Einwirkung von Säuren auf feste Stoffe.

Ist für die Reaktion zwischen dem festen Stoff und der Flüssigkeit mit dem Ziel der Gasentwicklung das Erhitzen erforderlich, wird dazu meist nicht der Halbmikro-Gasentwickler benutzt, sondern der Reaktionskolben (↗ Abb. 287, S. 263). Damit wird weitgehend ausgeschlossen, daß Flüssigkeitstropfen durch Verspritzen in die Vorlage übergehen.

Werden Halbmikro-Gasentwickler zur Zusammenstellung umfangreicher Apparaturen benutzt, so ist es erforderlich, an das Seitenrohr des Reagenzglases ein Ausgleichrohr anzuschließen (Abb. 285). Durch das Ausgleichrohr wird eine stufenweise Anordnung vermieden, die bei direktem Anschluß anderer Apparate an das Ansatzrohr des Halbmikro-Gasentwicklers entstehen würde. Das hätte eine wenig übersichtliche Apparatur und außerdem Schwierigkeiten bei der Befestigung der Gäte zur Folge.

Für einige Experimente mit organischen Stoffen ist es wichtig, die im Halbmikro-Gasentwickler dargestellten Gase in Apparate einzuleiten, die in einem Stativ wesentlich höher eingespannt sind und zusätzlich erhitzt werden müssen. In diesen Fällen erfolgt die Verbindung der Apparate über ein Gasableitungsrohr, das an das seitliche Ansatzrohr des Halbmikro-Gasentwicklers angeschlossen ist (Abb. 286).

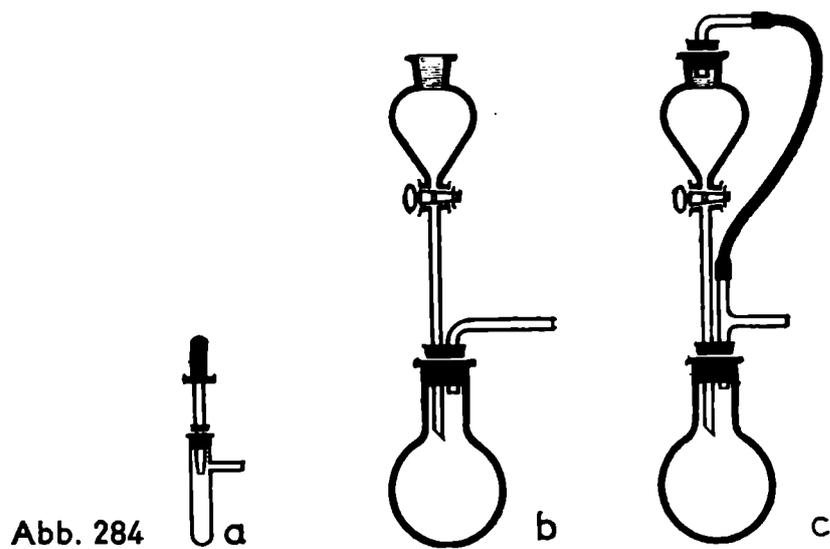


Abb. 284

Abb. 285

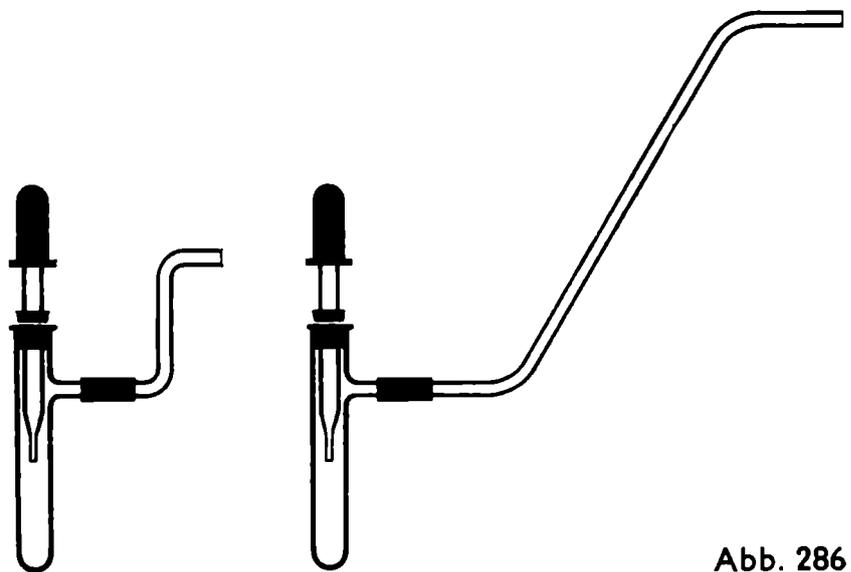


Abb. 286

Abb. 284 Gasentwickler a) Halbmikro-Gasentwickler, b) Zutropfgasentwickler, c) Zutropfgasentwickler mit Druckausgleich

Abb. 285 Halbmikro-Gasentwickler mit aufwärts gerichtetem Ausgleichrohr

Abb. 286 Halbmikro-Gasentwickler mit aufwärts gerichtetem Gasableitungsrohr

### Verwendung selbstregelnder Halbmikro-Gasentwickler

Auch beim Arbeiten nach der Halbmikrotechnik ist es möglich, selbstregelnde Gasentwickler einzusetzen (↗ S. 156). Für Schülerexperimente werden sie jedoch selten empfohlen, da der Umgang mit ihnen kompliziert und aufwendig ist.

Ist für bestimmte Experimente ein selbstregelnder Halbmikro-Gasentwickler notwendig, zum Beispiel in Arbeitsgemeinschaften, dann sollte der Halbmikro-Gasentwickler von S. Wache benutzt werden [81]. Dieser Halbmikro-Gasentwickler (↗ Abb. 205a<sub>3</sub>, S. 157) besteht aus einem etwa 230 mm langen Tulpensteigrohr mit einem Außendurchmesser von 4 mm mit Stopfen und einem Reagenzglas mit Seitenrohr in den Abmessungen 16 mm × 160 mm. Das Tulpensteigrohr ist mit seinem unteren Ende durch zwei Gummiblättchen hindurchgeführt und besitzt eine seitliche Öffnung. Liegen die Gummiblättchen zu fest an der Glasinnenwand an, sollte auf der Blättchenoberfläche ein Loch oder am Rande eine Kerbe angebracht

werden. Auf die Gummiblättchen wird der feste Stoff aufgelegt. Handelt es sich um feinkörnige oder lösliche Stoffe, muß eine etwa 10 ... 15 mm breite Watterschicht zwischen die Blättchen gegeben werden. Am Seitenrohr befindet sich ein Stück Gummischlauch mit einem Quetschhahn nach *Hoffmann*.

### 2.2.3.2. Reaktion zweier Flüssigkeiten

Sollen Gase durch Reaktion zweier Flüssigkeiten hergestellt werden, so ist das in einfachen Fällen, wie bei der Einwirkung von Chlorwasserstoffsäure auf Natriumcarbonatlösung, auch im Halbmikro-Gasentwickler möglich. Bei stürmisch verlaufenden Reaktionen beziehungsweise bei Reaktionen, für die ein zusätzliches Erhitzen notwendig ist, kann der Reaktionskolben vorteilhaft eingesetzt werden.

Der Reaktionskolben besteht aus einem Rundkolben (25 cm<sup>3</sup>) mit einem passenden zweifach durchbohrten Stopfen (Abb. 287, Innendeckel hinten 8 H) und einem Halbmikro-Tropfer, Typ B, in den Abmessungen 8 mm × 85 mm (↗ S. 97). Bei der Verwendung des Reaktionskolbens muß beachtet werden, daß das Volumen des Sifonsaugers nicht größer als das des Tropfers sein darf, weil sonst die Flüssigkeit in den Sifonsauger geraten kann. Als Winkelrohr wird ein Biegerohr mit einem Außendurchmesser von 5 mm und einer Länge von 60 mm eingesetzt.

In diesen Reaktionskolben werden bereits vorgemischte Flüssigkeiten zur Reaktion gebracht. Die Darstellung der Gase kann aber durch Zugabe einer Flüssigkeit aus dem Halbmikro-Tropfer während der Durchführung des Experiments in die vorgelegte Flüssigkeit erfolgen. Wenn dabei gleichzeitig zu erhitzen ist, kann durch die aufsteigenden Gase auch der Halbmikro-Tropfer erwärmt und durch die sich ausdehnende Luft im Tropfer die Flüssigkeit von selbst weitgehend herausgedrückt werden. Dadurch ist es möglich, daß die Flüssigkeit zu einem ungünstigen Zeitpunkt zutropft. In solchen Fällen muß das Erhitzen zunächst vorgenommen und die Flüssigkeit erst zum geeigneten Zeitpunkt in den Halbmikro-Tropfer aufgenommen werden.

### 2.2.3.3. Thermische Zersetzung von festen Stoffen

Unabhängig davon, ob es sich um einen reinen festen Stoff oder um ein Stoffgemisch handelt, erfolgt das Darstellen von Gasen aus festen Stoffen durch thermische Spaltung oder durch trockene Destillation oder durch Reaktionen, für deren Ablauf ein starkes Erhitzen erforderlich ist. Das gilt für das Entgasen der Kohle, die Zersetzung von Calciumcarbonat, das Herstellen von Aceton.

Im einfachsten Fall erfolgt das Erhitzen des festen Stoffes im horizontal oder leicht schräg eingespannten, mit einem Stopfen verschlossenen Reagenzglas mit Seitenrohr (8 mm × 75 mm) oder im trockenen Reaktionskolben. Die erforderliche Wärme wird dabei von außen mit Hilfe des Spiritus- beziehungsweise Halbmikro-Brenners zugeführt.

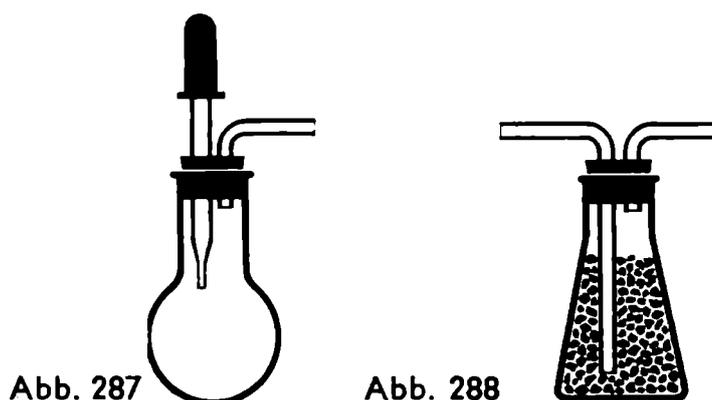


Abb. 287

Abb. 288

Abb. 287 Reaktionskolben

Abb. 288 Adsorptionskolben

## 2.2.4. Auffangen, Aufbewahren und Messen von Gasen

Bei der Durchführung von Schülerexperimenten nach der Halbmikrotechnik sind im Zusammenhang mit dem Auffangen, Aufbewahren und Messen von Gasen ebenfalls die beiden grundsätzlichen Arbeitsweisen des trockenen Auffangens und Messens und die des Auffangens und Messens über Sperrflüssigkeiten üblich. Allerdings sind dabei die folgenden Besonderheiten zu beachten.

### 2.2.4.1. Trockenes Auffangen und Messen von Gasen

#### Trockenes Auffangen beim Durchströmen geschlossener Gefäße

Bei Schülerexperimenten ist es in den meisten Fällen nicht erwünscht, daß die erzeugten Gase in den Unterrichtsraum gelangen. Das gilt besonders für übelriechende oder giftige Gase. Wenn auch bei Einsatz der Halbmikrotechnik nur geringe Gasmengen entstehen, so treten doch Gefahren auf, wenn die Experimente von jeder Schülergruppe der Klasse ausgeführt werden. Das bedeutet, daß auch das trockene Auffangen und Messen von Gasen vorwiegend in geschlossenen Apparaturen ausgeführt werden sollte.

Den Abschluß derartiger Apparaturen bildet häufig ein Aktivkohleadsorptionsrohr. Bei nicht zu großer Strömungsgeschwindigkeit der Gase nimmt die Aktivkohle entstehende, gesundheitsschädigende Gase weitgehend auf (Tab. 91). Die Aktivkohle bleibt relativ lange funktionsfähig. Dennoch muß sie in Abhängigkeit von der Häufigkeit ihres Gebrauchs von Zeit zu Zeit erneuert werden.

Durch die Länge des Rohrs, die einerseits eine weitgehende Adsorption ermöglicht, behindern sich die Schüler andererseits manchmal beim Experimentieren. Deshalb ist eine andere Art von Adsorptionsvorrichtung vorteilhaft, die durch Füllen von Erlenmeyerkolben ( $25\text{ cm}^3$ ) oder Rundkolben ( $25\text{ cm}^3$ ) mit körniger Aktivkohle hergestellt wird (Abb. 288). Die Kolben sind mit einem doppelt durchbohrten Stopfen zu verschließen. Durch die eine Bohrung wird ein Gaseinleitungs-

rohr bis kurz über den Boden eingeführt. Die zweite Bohrung enthält ein Winkelrohr. Bei Anwendung der Halbmikrotechnik spielt die Absorption von Gasen durch Umsetzung mit entsprechenden Lösungen keine Rolle, weil dadurch nur eine unvollkommene Entfernung der Gase möglich ist.

**Tabelle 91** *Herstellen von Gasen und Beseitigen gefährlicher und giftiger Gase beim Arbeiten nach der Halbmikrotechnik*

Gas	Ausgangsstoffe, Apparatur zur Herstellung	Bemerkungen zur Beseitigung von Gasen
Wasserstoff	Zink und Chlorwasserstoffsäure, Halbmikro-Gasentwickler mit abwärts gerichtetem Ausgleichrohr und pneumatischer Wanne (↗ Abb. 289, S. 267)	Durch Verunreinigung des Metalls können gesundheitsschädigende, gasförmige Nebenprodukte entstehen. Nach pneumatischem Auffangen wird weiteres Gas durch Aktivkohleadsorption beseitigt.
Chlor	Kaliumpermanganat und konzentrierte Chlorwasserstoffsäure, Halbmikro-Gasentwickler als Bestandteil einer größeren Apparatur	Reaktionen des Chlors werden in Halbmikro-Gaswäschern ausgeführt, die zu einer geschlossenen Apparatur verbunden sind. Abschluß Aktivkohleadsorption. Reinigung der Apparatur unter dem Abzug nur durch den Lehrer!
Schwefelwasserstoff	Eisen(II)-sulfid und Chlorwasserstoffsäure, Halbmikro-Gasentwickler als Bestandteil einer größeren Apparatur	Analog wie bei Chlor
Schwefeldioxid	Rösten von Pyrit oder Verbrennen von Schwefel im Verbrennungsrohr, Natriumhydrogensulfid und konzentrierte Schwefelsäure im Halbmikro-Gasentwickler	Reaktionen des Schwefeldioxids werden in Halbmikro-Gaswäschern durchgeführt, die zu einer geschlossenen Apparatur verbunden sind. Abschluß Aktivkohleadsorption.
Ammoniak	Ammoniumchlorid und konzentrierte Natriumhydroxidlösung, Halbmikro-Gasentwickler	Gas wird durch Luftverdrängung aufgefangen. Nach Füllen der Geräte unmittelbarer Anschluß der Aktivkohleadsorption an den Halbmikro-Gasentwickler.
Stickstoffdioxid	Kupfer und konzentrierte Salpetersäure, Halbmikro-Gasentwickler als Bestandteil einer größeren Apparatur	Analog wie bei Chlor

Gas	Ausgangsstoffe, Apparatur zur Herstellung	Bemerkungen zur Beseitigung von Gasen
Ethin	Calciumcarbid und Wasser, Halbmikro-Gasentwickler mit abwärts gerichtetem Ausgleichrohr und pneumatischer Wanne (↗ Abb. 289, S. 267)	Durch Verunreinigung (da technisches Produkt) des Calciumcarbids können giftige, gasförmige Nebenprodukte, besonders Phosphorwasserstoff, entstehen. Nach pneumatischem Auffangen des Ethins wird weiteres Gas durch Aktivkohleadsorption beseitigt.
Chlorwasserstoff	Natriumchlorid und konzentrierte Schwefelsäure, Reaktionskolben (schäumt)	Gas wird entweder durch Luftverdrängung (größere Dichte als Luft) aufgefangen oder in Halbmikro-Gaswäschern, die zu einer geschlossenen Apparatur verbunden sind, zur Reaktion gebracht. Abschluß Aktivkohleadsorption

Werden die Gase in geschlossenen Apparaturen hergestellt und aufgefangen, dann ist es durchaus vertretbar, daß die Schüler auch mit einigen giftigen Gasen arbeiten (außer Kohlenmonoxid und Cyanwasserstoffgas). In solchen Fällen ist es dann allerdings erforderlich, daß die Reinigung der Apparaturen nicht von den Schülern selbst, sondern im Anschluß an die Unterrichtsstunde vom Lehrer unter dem Abzug vorgenommen wird.

Werden Gase in geschlossenen Apparaturen hergestellt und aufgefangen, so geschieht das in Analogie zur Makrotechnik (↗ S. 174) in Form des Durchströmens geschlossener Apparate – im allgemeinen der Halbmikro-Gaswäscher –, wobei die Luft aus diesen Apparaten mehr oder weniger herausgespült wird. Die Schüler können in solchen Apparaturen recht gut die Farbe der erzeugten Gase bestimmen, vorausgesetzt, daß die Gase nicht mit der restlichen Luft reagieren.

Von größerer Bedeutung als die Farbe der Gase sind aber für Schülerexperimente Reaktionen dieser Gase mit Lösungen oder festen Stoffen. Gewöhnlich werden daher Apparaturen zusammengestellt, in denen sowohl das Auffangen als auch das Reagieren von Gasen möglich ist. Man kann natürlich auch so vorgehen, daß nach trockener Füllung zum Beispiel eines Halbmikro-Gaswäschers in einer geschlossenen Apparatur das Gas in einem Halbmikro-Tropfer aufgesaugt und mit diesem zur Reaktion in ein anderes Gefäß übertragen wird.

## Trockenes Auffangen in einem offenen Gefäß durch Luftverdrängung

Werden zum trockenen Sammeln offene Gefäße verwendet, so ist dabei folgendes zu beachten:

Halbmikro-Reagenzgläser sind für die gebräuchlichen, auch für Schülerexperimente wichtigen Gasproben wenig geeignet. Auf Grund der kleinen Öffnung gelingt zum Beispiel die Knallgasprobe oft nicht. Für solche und ähnliche Reaktionen, wie den Nachweis von Sauerstoff durch die Spanprobe, wird daher empfohlen, kurze Reagenzgläser der Makrotechnik, die Fischblasen, oder den Rundkolben (25 cm<sup>3</sup>) beziehungsweise Erlenmeyerkolben zu benutzen. Das gilt aber nicht für Knallgasreaktionen.

Das trockene Füllen offener Reagenzgläser oder Kolben mit Gas erfolgt durch das Gaseinleitungsrohr. In vielen Fällen ist es empfehlenswert, auch für das trockene Füllen auf der Grundlage der Luftverdrängung den Halbmikro-Gaswäscher oder den Reaktionskolben zu benutzen. Unabhängig davon, welche Gase im Halbmikro-Gaswäscher gesammelt werden sollen, ist er ohne jede Veränderung einsetzbar, da die verdrängte Luft durch das Ansatzrohr entweicht. Soll ein Reaktionskolben zum Sammeln der Gase benutzt werden, erfolgt die Zuleitung der Gase nach Entfernen des Saugers durch den Tropfer.

### 2.2.4.2. Auffangen und Messen von Gasen über Sperrflüssigkeiten

#### Pneumatisches Auffangen von Gasen

Wenn es darauf ankommt, das erzeugte Gas möglichst wenig durch Luft verunreinigt aufzufangen, eignet sich für alle Gase, die sich selbst nur wenig in Wasser lösen, das pneumatische Auffangen am besten. Für Schülerexperimente nach der Halbmikrotechnik kommen dabei folgende *Varianten* in Betracht:

- *Unmittelbares pneumatisches Auffangen im Anschluß an die Darstellung*

Erfolgt die Darstellung des Gases durch Zutropfen einer Lösung zu einem festen Stoff oder zu einer anderen Lösung ohne zusätzliches Erhitzen, so wird an das Ansatzrohr des Halbmikro-Gasentwicklers ein abwärts gerichtetes Ausgleichrohr angeschlossen, das direkt in die pneumatische Wanne eintaucht (Abb. 289). Wenn bei gleichem Vorgehen zusätzlich erhitzt werden muß, ist es erforderlich, den Halbmikro-Gasentwickler oder den Reaktionskolben in ein Stativ einzuspannen. Das Ableiten der Gase in die pneumatische Wanne erfolgt dann durch das Gasableitungsrohr (Abb. 290).

- *Mittelbares pneumatisches Auffangen nach teilweiser Reaktion*

Für eine größere Anzahl von Schülerexperimenten nach der Halbmikrotechnik ist es erforderlich, vor dem pneumatischen Auffangen der Gase mit ihnen bestimmte Reaktionen auszuführen. Zu diesem Zwecke werden sie vor dem pneumatischen Auffangen durch Halbmikro-Gaswäscher oder durch Verbrennungsrohre geleitet. Am Ende einer solchen Apparatur steht dann ein Halbmikro-Gaswäscher, an dessen Ansatzrohr ein abwärts gerichtetes Ausgleichrohr angeschlossen ist (Abb. 291). Beim Arbeiten nach der Halbmikro-

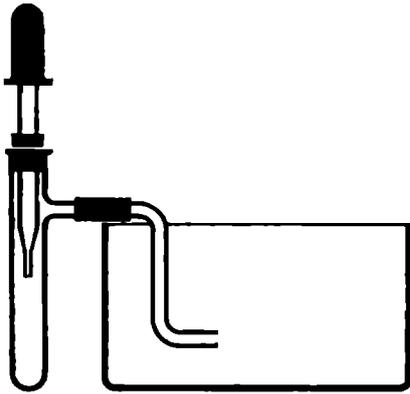


Abb. 289

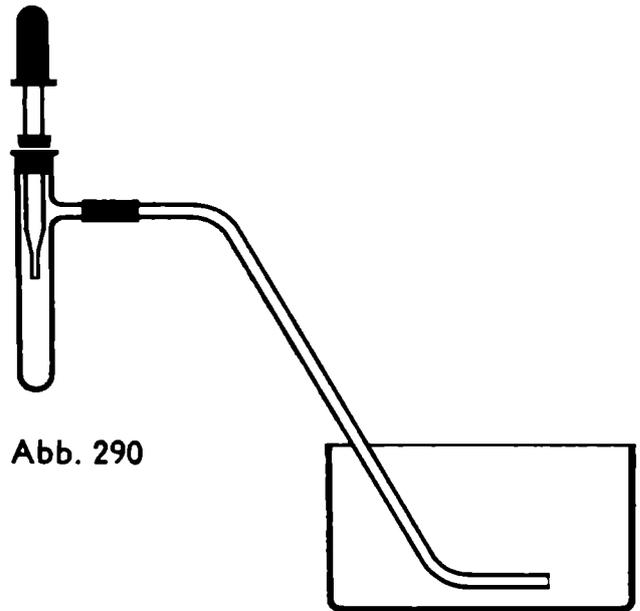


Abb. 290

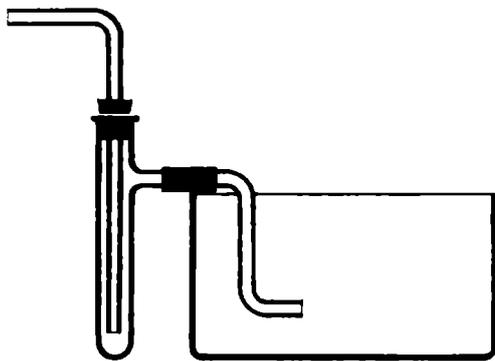


Abb. 291

Abb. 289 Halbmikro-Gasentwickler  
mit abwärts gerichtetem Ausgleichrohr und pneumatischer Wanne

Abb. 290 Halbmikro-Gasentwickler  
mit abwärts gerichtetem Gasableitungsrohr und pneumatischer Wanne

Abb. 291 Halbmikro-Gaswäscher  
mit abwärts gerichtetem Ausgleichrohr und pneumatischer Wanne

technik erfolgt das pneumatische Einleiten der Gase grundsätzlich über Glasrohre und nicht über Gummischlauch. Man benutzt dazu die vielseitig einsetzbaren Gasableitungsrohre oder Ausgleichrohre. Die starre Verbindung dieser Glasteile ermöglicht es den Schülern, sich beim pneumatischen Auffangen der Gase auf das Auffanggefäß oder auf den Gasentwickler zu konzentrieren, ohne auch noch den beweglichen Gummischlauch beachten oder halten zu müssen. Außerdem können die Gase im Glasrohr und auch das drohende Zurücksteigen der Flüssigkeit gut beobachtet werden.

Als pneumatische Wanne kommt in allen Fällen eine Kristallisierschale mit einem Durchmesser  $d = 95 \text{ mm}$  und einer Höhe  $h = 55 \text{ mm}$  zum Einsatz. Für Schülerexperimente eignen sich am besten Kristallisierschalen aus Glas mit flachem Boden und mit Ausguß. Um ein Überlaufen zu vermeiden, das beim Füllen eines Erlenmeyerkolbens ( $25 \text{ cm}^3$ ) mit Gas entstehen könnte, sollte das Wasser zum Füllen der größeren Gas auffanggeräte vorher aus der Kristallisierschale entnommen werden.

Während es bei Demonstrationsexperimenten oft erforderlich ist, im Interesse einer guten Erkennbarkeit das Wasser durch indifferente Farbstoffe anzufärben, spielt das für Experimente nach der Halbmikrotechnik keine Rolle. Das pneumatische Füllen der Geräte und Apparate bereitet keine Schwierigkeiten.

## Arbeiten mit Gassammel- beziehungsweise Gasmeßapparaten

Für einige Schülerexperimente, wie die Darstellung von Ammoniak aus Stickstoff und Wasserstoff, ist der Einsatz eines größeren Gassammel- oder Gasmeßapparats erforderlich. An Stelle der Müllerschen Gasmeßglocke wird für Schülerexperimente nach der Halbmikrotechnik die nachfolgend beschriebene Apparatur benutzt.

Ein Meßzylinder ( $100\text{ cm}^3$ ) wird durch einen doppelt durchbohrten Stopfen verschlossen. Durch die eine Bohrung ist ein zu einer Kapillare ausgezogenes Glasrohr bis dicht über den Boden des Meßzylinders eingeführt. Das andere Ende dieses Glasrohrs ist rechtwinklig gebogen und mit einem etwa 5 cm langen Schlauchstück verbunden. Der Schlauch kann durch einen Quetschhahn verschlossen werden. Die zweite Bohrung enthält ein Winkelrohr. Der Meßzylinder wird vollständig mit Wasser gefüllt, durch einen fest sitzenden Stopfen gut verschlossen und mit der Öffnung nach unten in ein Stativ eingespannt. Dabei muß der Quetschhahn den Schlauch gut verschließen.

An das Winkelrohr des Meßzylinders ist ein leerer Rundkolben ( $100\text{ cm}^3$ ) angeschlossen. Das rechtwinklig gebogene Glasrohr ist durch einen doppelt durchbohrten Stopfen wiederum bis zum Boden des Rundkolbens eingeführt. Die zweite Bohrung enthält ein Winkelrohr, an das ein Gummidoppelgebläse mit einem Quetschhahn angeschlossen ist (Abb. 292). Dieser Gassammel- beziehungsweise Gasmeßapparat wird folgendermaßen in Betrieb genommen:

An die Kapillare im Meßzylinder wird ein entsprechend vorbereiteter Halbmikro-Gasentwickler oder ein Reaktionskolben angeschlossen. Nach Öffnen beider Quetschhähne wird mit der Gasentwicklung begonnen. Durch das einströmende Gas fließt das Wasser aus dem Meßzylinder in den Rundkolben.

Ist der Meßzylinder mit dem gewünschten Gasvolumen gefüllt, verschließt man den Quetschhahn zwischen Gasentwickler und Meßzylinder. Soll im Meßzylinder ein Gasgemisch mit bestimmter Zusammensetzung erzeugt werden, müßte mit einem zweiten Gasentwickler die Gaszuführung wiederholt werden.

Aus dem so gefüllten Gassammelapparat kann das Gas leicht jeder beliebigen Apparatur zugeführt werden. Die benutzte Apparatur wird dabei an Stelle des Gasentwicklers angeschlossen. Der Quetschhahn des Gummidoppelgebläses wird verschlossen und der Vorratsball mit Luft gefüllt. Nun wird der Quetschhahn zur Apparatur geöffnet und aus dem Gummidoppelgebläse langsam Luft zugeführt. Die Flüssigkeit im Rundkolben wird dadurch wieder in den Meßzylinder zurückgedrückt, wobei das Gasgemisch durch die Apparatur hindurchgespült wird.

### 2.2.5. Reaktion von Gasen mit Flüssigkeiten und festen Stoffen

Bei vielen Schülerexperimenten nach der Halbmikrotechnik werden die Gase mit Flüssigkeiten und festen Stoffen zur Reaktion gebracht. Die entsprechenden Apparate sind daher Bestandteil des Schülergerätesatzes.

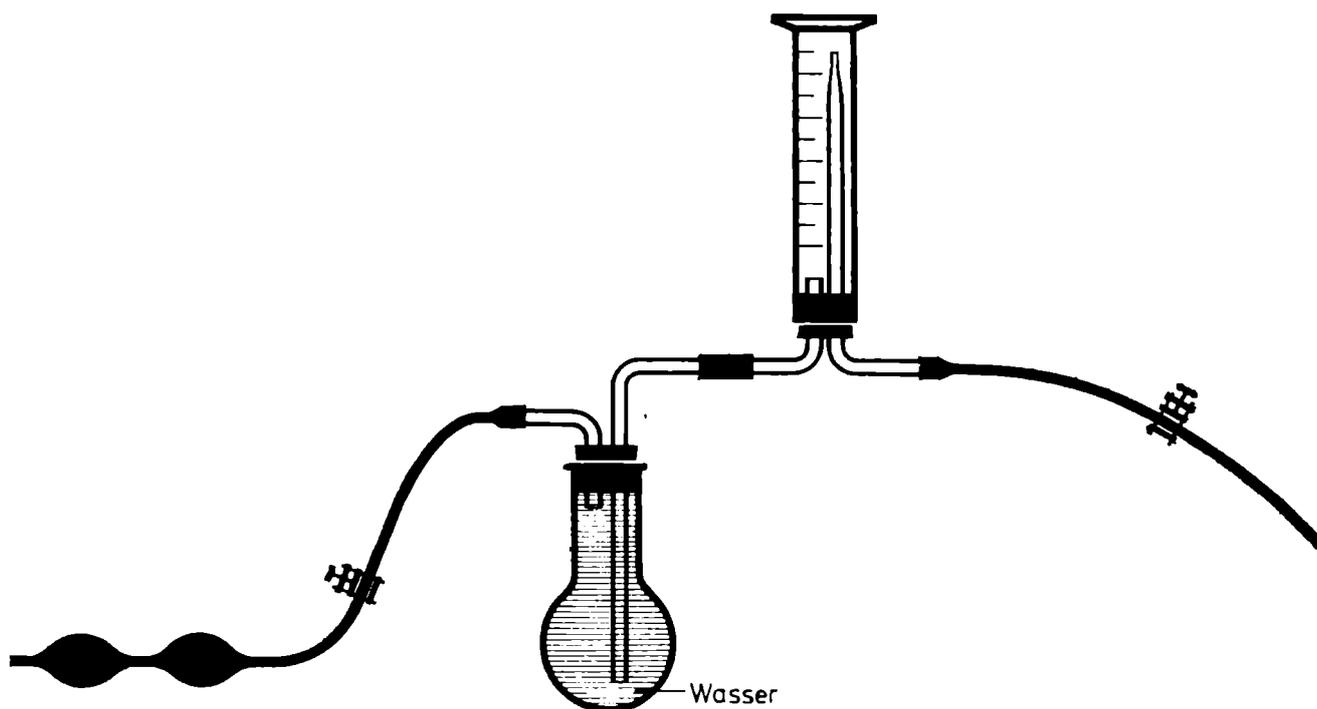


Abb. 292

Abb. 292 Gassammel- beziehungsweise Gasmeßapparat für Schülerexperimente nach der Halbmikrotechnik

### 2.2.5.1. Reaktion von Gasen mit Flüssigkeiten

#### Einleiten von Gasen in Flüssigkeiten

Der Grundapparat für solche Schülerexperimente ist der Halbmikro-Gaswäscher. Er wird aus einem Reagenzglas mit Seitenrohr in den Abmessungen  $8\text{ mm} \times 75\text{ mm}$  und einem Gaseinleitungsrohr hergestellt. Das Gaseinleitungsrohr ist ein rechtwinklig gebogenes Glasrohr mit einem Außendurchmesser von  $5\text{ mm}$  und einer Schenkellänge von  $100\text{ mm} \times 35\text{ mm}$ . Es wird durch ein  $25 \dots 30\text{ mm}$  langes Stück dickwandigen Gummischlauch (innerer Durchmesser  $d = 5\text{ mm}$ , Wandstärke  $2\text{ mm}$ ) hindurch bis dicht über den Boden des Reagenzglases mit Seitenrohr geführt (Abb. 293). Durch den dickwandigen Schlauch muß ein guter Verschluss des Reagenzglases erreicht werden. Die Schwankungen der Rohrweiten und der Reagenzglasdurchmesser erlauben es nicht, daß mit einem so vorbereiteten Gaseinleitungsrohr jedes beliebige Reagenzglas mit Seitenrohr gut verschlossen wird. Die einmal zusammengestellten Halbmikro-Gaswäscher sollten daher stets als fertige Apparate aufbewahrt werden (Innendeckel hinten 2 H).

Das Gaseinleitungsrohr sollte man nicht zu einer Kapillare ausziehen. Dadurch würde zwar eine intensive Durchmischung des Gases mit der Flüssigkeit erreicht. Der Gasdruck in der Apparatur wird aber zu hoch. Das ist besonders dann der Fall, wenn sich bei der Einleitung des Gases in der Flüssigkeit Niederschläge bilden und dadurch die Kapillare verstopft wird. Das Gas kann nicht entweichen und drückt meist den Tropfer des vorgeschalteten Gasentwicklers heraus. Für die Schüler entstehen durch eine derartige Ausführung der Gaseinleitungsrohre zusätzliche Gefahrenquellen. Im Interesse einer besseren Durchmischung kann man

das Gaseinleitungsrohr aber zu einer nicht zu engen Düse ausziehen. Die Benutzung des Halbmikro-Gaswäschers ist für den Schüler wesentlich einfacher als der Umgang mit den Gaswaschflaschen nach der Makrotechnik. Es kommt kaum vor, daß die Schüler Halbmikro-Gaswäscher in eine Apparatur falsch einfügen. Halbmikro-Gaswäscher sind außerdem vielseitiger einsetzbar als Gaswaschflaschen, denn man kann sie zum Beispiel direkt in der Flamme erhitzen. Der Halbmikro-Gaswäscher kann in komplizierte Apparaturen einbezogen werden. Wie beim Einsatz des Halbmikro-Gasentwicklers wird eine stufenweise Anordnung einer Apparatur mit mehreren Halbmikro-Gaswäschern durch Verwendung der Ausgleichrohre vermieden. Wird an das Ansatzrohr des Halbmikro-Gaswäschers ein Ausgleichrohr nach oben gerichtet angeschlossen, so wird dadurch der Höhenunterschied zum Gaseinleitungsrohr des nächsten Gaswäschers überbrückt (Abb. 294).

Die Funktion der Halbmikro-Gaswäscher besteht darin, unerwünschte Beimengungen aus den erzeugten Gasen durch innige Berührung mit der Flüssigkeit zu entfernen. So ist es bei einigen Gasreaktionen erforderlich, das dargestellte Gas vor der Reaktion zu trocknen. Man erreicht das zum Beispiel, indem das Gas bei entsprechenden Eigenschaften in einem Halbmikro-Gaswäscher durch konzentrierte Schwefelsäure hindurchgeleitet wird.

Oft werden Halbmikro-Gaswäscher aber auch eingesetzt, wenn Gase durch Reaktion mit Lösungen identifiziert werden sollen. So ist es möglich, in Gaswäschern durch Farbreaktionen oder durch Niederschlagsbildung bestimmte Eigenschaften von Gasen nachzuweisen.

In einigen Fällen, wie bei der Darstellung von Ethanal, werden im erhitzten Halbmikro-Gaswäscher durchströmende Gase mit Dämpfen oder entstehenden Gasen vermischt.

Die Vorteile, die sich in bezug auf Materialersparnis für Schülerexperimente bei Verwendung des Halbmikro-Gaswäschers ergeben, werden allein schon bei einem Größenvergleich deutlich.

### **Waschen von Gasen**

Eine besondere Form des Gaswäschers, die in Analogie zum Trocken- oder Waschturm nach der Makrotechnik zu sehen ist (↗ S. 190), erhält man aus zwei gegeneinander verdrehten T-Stücken (Abb. 295). Diese sind in der Mitte durch ein Stück Gummischlauch verbunden. Die senkrechte Säule ist mit körnigem Bimsstein gefüllt, der durch Glaswollepfropfen am Verrutschen gehindert wird. Das untere Ende ist durch einen Sifonsauger verschlossen. Auf das obere Ende ist ein Halbmikro-Tropfer, Typ C (↗ S. 97), mit Hilfe eines Stückes Gummischlauch aufgesetzt. Mit diesem Halbmikro-Waschturm ist es gut möglich, den Schülern das Gegenstromprinzip zu verdeutlichen. Der Apparat kann besonders für technologische Modellexperimente eingesetzt werden, zum Beispiel bei der katalytischen Oxydation von Ammoniak, wobei die nitrosen Gase im Gegenstrom ausgewaschen werden.

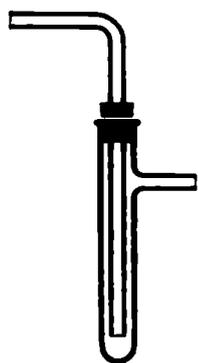


Abb. 293

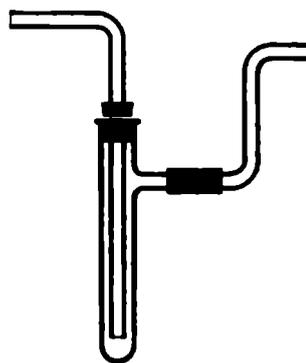


Abb. 294

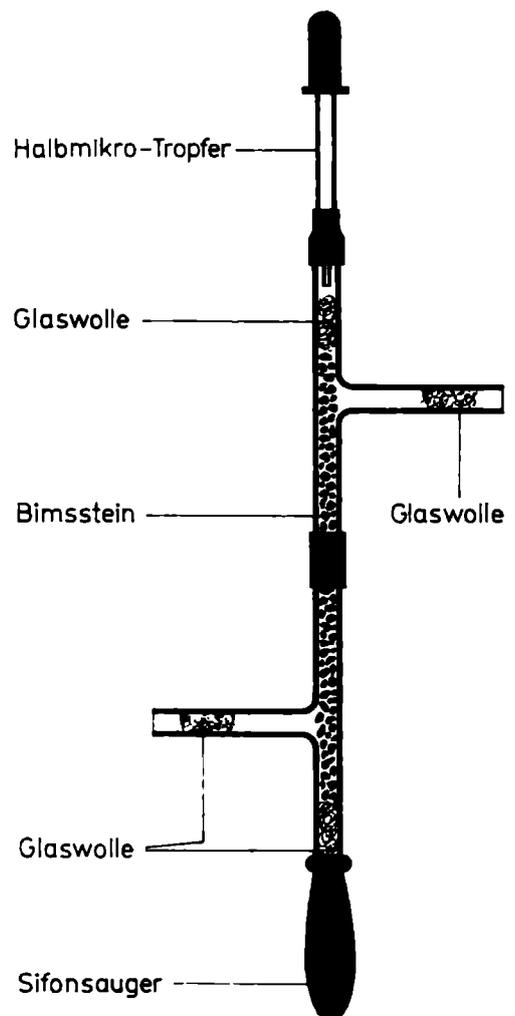


Abb. 295 Sifonsauger

Abb. 293 Halbmikro-Gaswäscher

Abb. 294 Halbmikro-Gaswäscher mit aufwärts gerichtetem Ausgleichrohr

Abb. 295 Halbmikro-Waschturm

### 2.2.5.2. Reaktion von Gasen mit festen Stoffen

Bei vielen Reaktionen von Gasen mit festen Stoffen muß die Reaktion in einem geschlossenen Apparat vorgenommen werden. Einen besonders innigen Kontakt der erhitzten festen Stoffe mit zugeführten Gasen erreicht man auch bei der Halbmikrotechnik im Verbrennungsrohr, das in den Abmessungen 120 mm × 7,5 mm aus Normalglas oder aus Supremaxglas oder Quarzglas zum Einsatz gelangt. Die Verwendung derartiger Verbrennungsrohre ermöglicht eine Einbeziehung in Apparaturen ohne den Einsatz von Stopfen. Die Verbindung der einzelnen Apparate wird nur durch Schlauchstücke hergestellt (Innendeckel hinten 4 H).

Bei der Füllung des Verbrennungsrohrs mit den festen Stoffen bestehen verschiedene Möglichkeiten:

- Pulverförmige Stoffe gibt man am besten auf eine kleine Papprinne, schiebt diese in das waagrecht gehaltene Verbrennungsrohr, dreht das Verbrennungsrohr mit Inhalt um etwa 180° und zieht dann die Papprinne wieder heraus.
- Körnige oder massive und faserige Stoffe werden mit der Pinzette oder direkt mit der Hand eingefüllt.

In beiden Fällen ist es erforderlich, die festen Stoffe auf beiden Seiten, mindestens aber auf einer Seite, so einzuschließen, daß sie während des Experiments nicht verrutschen oder durch den Gasstrom nicht ungewollt in andere Apparate übergeführt werden. Als Material für dieses Festsetzen der Stoffe eignet sich Glaswolle.

Glaswolle muß grundsätzlich mit der Pinzette eingeführt und anschließend mit dem nicht abgeplatteten Ende des Rührers bis zur gewünschten Stelle geschoben werden; denn bei direkter Berührung mit der Hand können Teile der Glasfäden in die Haut eindringen und Vereiterungen hervorrufen. Glaswolle hat sonst den Vorteil, daß sie dem Gasstrom im Verbrennungsrohr nur einen geringen Widerstand entgegensetzt und somit die Reaktion kaum behindert.

Das Entfernen der Glaswolle nach erfolgter Reaktion wird entweder mit einem Drahtaken vorgenommen oder der gesamte Inhalt des Verbrennungsrohrs wird mit einem Glasstab herausgedrückt.

Mitunter ist es erforderlich, die Wärme zur thermischen Zersetzung fester Stoffe durch eine Oxydationsreaktion im Reaktionsraum selbst zu erzeugen. Eine solche Reaktion, wie sie bei der Hitzespaltung des Calciumcarbonats im Gemisch mit Kohle erfolgt, wird dann am besten im Verbrennungsrohr durchgeführt. Dadurch ist es ohne Schwierigkeiten möglich, den erforderlichen Sauerstoff zuzuführen.

Für Reaktionen von Gasen mit festen Stoffen können auch Halbmikro-Gaswäscher oder Reaktionskolben eingesetzt werden. Der Gaswäscher sollte dabei horizontal eingespannt und die festen Stoffe nicht zu kompakt eingefüllt werden. Außerdem muß das Gaseinleitungsrohr bis dicht an den festen Stoff herangeführt werden. Bei Verwendung des Reaktionskolbens erfolgt die Luft- beziehungsweise Gaszufuhr nach Entfernen des Sifonsaugers über den Tropfer.

Unabhängig davon, welcher Apparat zur Reaktion der Gase mit festen Stoffen benutzt wird, entnimmt man bei der Halbmikrotechnik die erforderliche Luft einem Gummidoppelgebläse, man benutzt also Druckluft. Der innere Durchmesser des Schlauches, der vom Gummidoppelgebläse weggeführt, unterliegt beträchtlichen Schwankungen. Die Schüler können diesen Schlauch daher in einigen Fällen nur erschwert auf Glasrohre aufziehen. Abhilfe wird durch eine kleine Olive mit einem etwas stärkeren, kurzen Schlauchstück geschaffen, die man zwischen Gebläseschlauch und Rohr schaltet. Die einfachen Gummihandgebläse sind für Schülerexperimente nicht zu empfehlen.

Der Halbmikro-Waschturm (↗ S. 270) kann bei entsprechender Füllung auch als Halbmikro-Trockenturm eingesetzt werden.

## 2.2.6. Destillieren

Für Schülerexperimente nach der Halbmikrotechnik kommen Gleichstromdestillationen, Gegenstromdestillationen und Wasserdampfdestillationen zum Einsatz. Vakuumdestillationen werden als Schülerexperimente nicht ausgeführt. Obwohl im Handel eine entsprechende Schliffapparatur angeboten wird, kann ihr Einsatz nicht für Schülerexperimente empfohlen werden.

### 2.2.6.1. Einfache Destillation

#### Gleichstromdestillation

Eine einfache Destillationsanlage für Schülerexperimente nach der Halbmikrotechnik besteht aus einem Destillierkolben und einer Kondensationsvorlage. Als Destillierkolben (Abb. 296) dient ein Rundkolben ( $25\text{ cm}^3$ ) mit passendem, zweifach durchbohrtem Stopfen. Durch die eine Bohrung des Stopfens wird ein Winkelrohr eingeführt. Die zweite Bohrung enthält ein Laborthermometer mit entsprechendem Meßbereich ( $0 \dots 200\text{ °C}$ ). Es muß darauf geachtet werden, daß die Enden von Winkelrohr und Laborthermometer möglichst gleich weit in den Rundkolben hineinragen.

Als Kondensationsvorlage werden zwei Varianten empfohlen, eine mit Tropfwasserkühlung und eine andere mit Standwasserkühlung. Die Kondensationsvorlage mit Tropfwasserkühlung erhält man aus einem Ausgleichrohr und einem Halbmikro-Gaswäscher. Das Ausgleichrohr wird mit einem Stück angefeuchtetem Filterpapier umwickelt und mit einem Wollfaden zur Ableitung des Tropfwassers versehen. Das Gaseinleitungsrohr des Halbmikro-Gaswäschers wird bis kurz unterhalb des Ansatzrohrs nach oben gezogen. Dadurch kann das Kondensat bei einem Entzug der Heizquelle nicht in das Reaktionsgefäß zurückgesaugt werden. Während des Destillierens wird auf den oberen Rand des Filterpapiers aus einem Halbmikro-Tropfer Kühlwasser aufgetropft. Das abfließende Wasser wird in einem Becher ( $150\text{ cm}^3$ ) aufgefangen (Abb. 297). Das Wasser soll langsam durch das Papier und über den Wollfaden abfließen. Günstig ist es auch, den Wollfaden bereits vor der Durchführung des Experiments anzufeuchten.

Eine intensive Kühlwirkung kann bei Anwendung der Standwasserkühlung erreicht werden. An Stelle des Ausgleichrohrs kommt dabei der Halbmikro-Kühler (↗ S. 56) zum Einsatz. Die Kondensationsvorlage wird außerdem in einen mit Wasser gefüllten Erlenmeyerkolben ( $25\text{ cm}^3$ ) eingestellt (Abb. 298). Mit dieser einfachen Destillationsanlage können zwei Flüssigkeiten aus einem Gemisch durch Destillation getrennt werden, wenn die Siedetemperaturen der Flüssigkeiten weit genug auseinander liegen. Beim Erhitzen entweicht zunächst vorzugsweise die Flüssigkeit mit der niedrigen Siedetemperatur, da sie einen höheren Dampfdruck besitzt. Die kondensierte Phase wird abgetrennt, ohne daß sich ein Rückfluß bildet.

Die Gefahr des zu starken Erhitzens ist bei Verwendung dieser kleinen Apparaturen besonders groß. Die Flamme muß daher von Zeit zu Zeit entfernt werden. Günstig ist es, daß übelriechende oder giftige Gase durch Anschluß eines Aktivkohleadsorptionsrohrs an das seitliche Ansatzrohr der Vorlage ohne Schwierigkeiten entfernt werden können.

### **Gegenstromdestillation (Rektifikation)**

Die Gegenstromdestillation wendet man an, wenn Flüssigkeitsgemische mit geringer relativer Flüchtigkeit zu trennen sind. Bei der Makrotechnik werden dazu am einfachsten Kolonnen eingesetzt.

Für die Gegenstromdestillation nach der Halbmikrotechnik genügt oft ein einfaches Rohr als Kolonne. Die Wirksamkeit dieser Kolonnenart sinkt allerdings mit zunehmendem Durchmesser des Rohrs. Füllkörperkolonnen sind weniger geeignet, weil in ihnen größere Stoffvolumen eingesetzt werden müssen.

Eine einfache Apparatur für Gegenstromdestillationen kann man wie folgt herstellen: Von einem Reagenzglas mit Seitenrohr der Größe 16 mm × 160 mm wird der Boden bis zu einer verbleibenden Gesamtlänge von 100 mm abgeschnitten. Die Schnittfläche wird rundgeschmolzen und mit einem 10 mm langen Stück PVC-Schlauch von 16 mm Durchmesser überzogen. Man erhält so einen Destillationsaufsatz (Abb. 299). Dieser Destillationsaufsatz wird mit einem einfach durchbohrten Stopfen verschlossen. Durch die Bohrung ist ein Laborthermometer bis zur Höhe des Seitenrohrs eingeführt. Der so vorbereitete Destillationsaufsatz wird auf einen Rundkolben (25 cm<sup>3</sup>) aufgesetzt (Abb. 300).

Einen höheren Trenneffekt und gleichzeitig mehrere Fraktionen erhält man bei Verwendung einer „einfachen Fraktionierkolonne“. Die dazu erforderliche Apparatur wird aus 5 Reagenzgläsern mit Seitenrohr, einem Rundkolben, 4 Winkelrohren und einem Halbmikro-Kühler zusammengestellt (Abb. 301). In dieser Form erfolgt die Trennung unter vollständigem Rückfluß.

Es ist ebensogut möglich, den Halbmikro-Kühler vom seitlichen Ansatz des letzten Reagenzglases nach unten zu richten und mit einer Kondensationsvorlage zu verbinden. Die leichtflüchtige Komponente könnte dadurch getrennt aufgefangen werden. Außerdem kann die Anzahl der „Glockenböden“ vergrößert werden.

#### **2.2.6.2. Wasserdampfdestillation**

Auch für Schülerexperimente nach der Halbmikrotechnik ist es in einigen Fällen erforderlich, eine Wasserdampfdestillation auszuführen. Insbesondere in der organischen Chemie können auf diese Weise im Schülerexperiment Stoffe schonend getrennt werden, die in Wasser weitgehend unlöslich sind und die bei 180 °C einen merklichen Dampfdruck besitzen. Es werden dabei folgende Apparaturen verwendet:

Der Gegenstromdestillationsapparat wird mit einem Einsatzrohr zur Wasserdampfdestillation versehen (Abb. 302). Dieses Einsatzrohr erhält man aus einem 110 mm langen Glasrohr mit einem Durchmesser von  $d = 5$  mm, indem man es

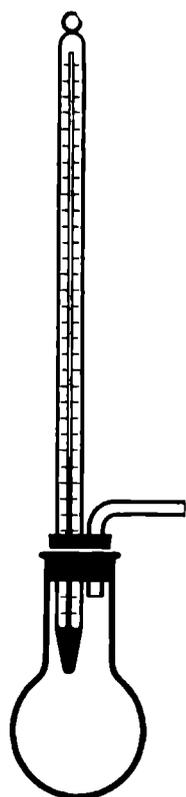


Abb. 296

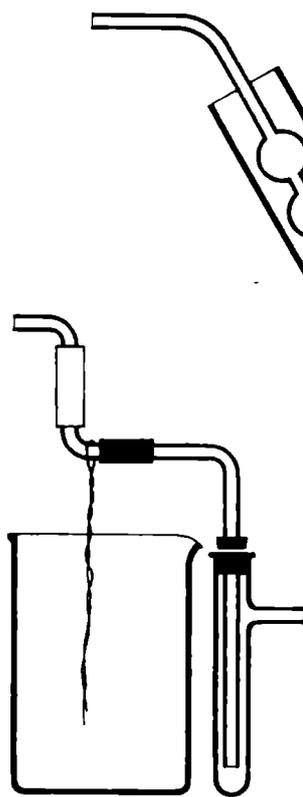


Abb. 297

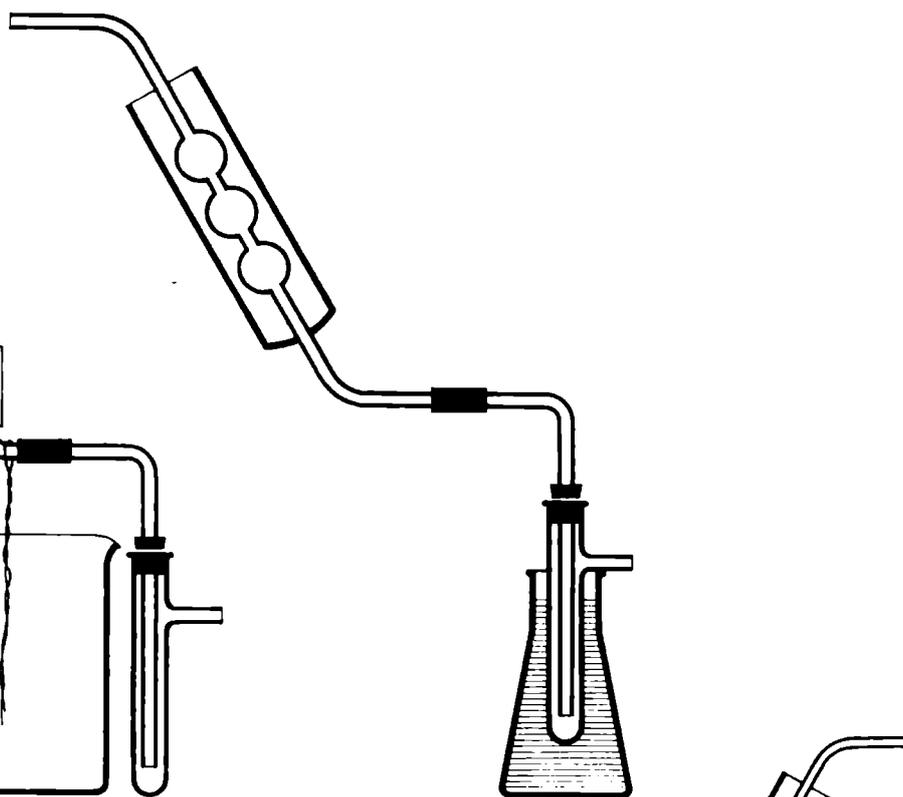


Abb. 298

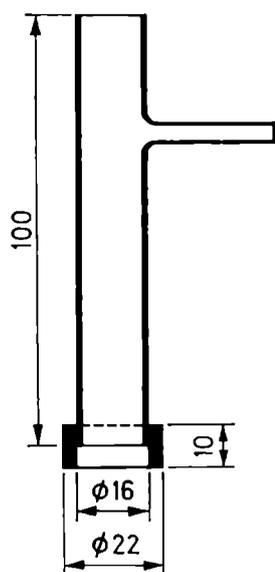


Abb. 299

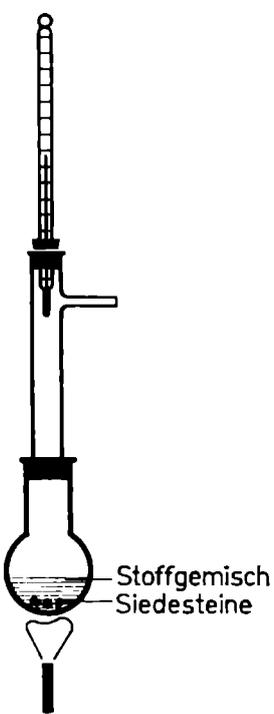


Abb. 300

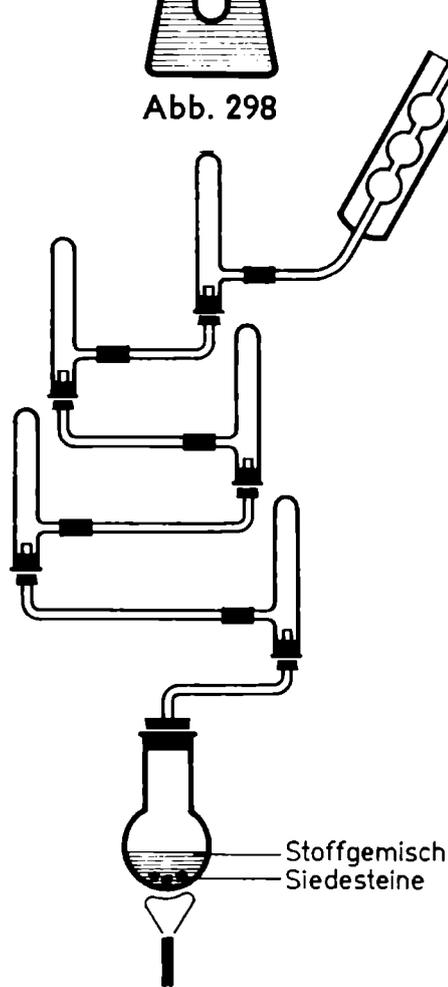


Abb. 301

Abb. 296 Destillierkolben

Abb. 297 Kondensationsvorlage mit Tropfwasserkühlung

Abb. 298 Kondensationsvorlage mit Standwasserkühlung

Abb. 299 Destillationsaufsatz

Abb. 300 Gegenstromdestillationsapparat

Abb. 301 Apparat bei Verwendung einer einfachen Fraktionierkolonne

in einer Länge von  $l = 65 \text{ mm}$  so um  $180^\circ$  biegt, daß der verbleibende kürzere Schenkel parallel verläuft. Es wird auf einen einfach durchbohrten Korkstopfen aufgesetzt, dessen unterer Durchmesser  $14 \text{ mm}$  beträgt. Mit diesem Stopfen wird gleichzeitig der Destillationsaufsatz verschlossen (Abb. 303).

In den so vorbereiteten Destillationsaufsatz gibt man das durch Wasserdampfdestillation zu trennende Gemisch und erhitzt das Wasser im Rundkolben zum Sieden. An das Ansatzrohr wird eine Halbmikro-Kondensationsvorlage angeschlossen. Nach Beendigung des Erhitzens muß der Destillationsaufsatz abgenommen werden, da sonst Flüssigkeit aus dem Aufsatz in den Kolben zurücksteigt.

Für eine andere Variante der Durchführung der Wasserdampfdestillation nach der Halbmikrotechnik benutzt man zwei Rundkolben mit Seitenrohr ( $25 \text{ cm}^3$ ). In dem einen Rundkolben wird Wasserdampf erzeugt. Er ist etwa zur Hälfte mit Wasser gefüllt und mit einem einfach durchbohrten Stopfen verschlossen. Durch die Bohrung wird ein  $300 \text{ mm}$  langes, zu einer Kapillare ausgezogenes Glasrohr mit dem Kapillarende bis auf den Boden des Rundkolbens eingeführt (Abb. 304).

Der zweite Rundkolben enthält das durch Wasserdampfdestillation zu trennende Stoffgemisch. Er ist ebenfalls mit einem durchbohrten Stopfen verschlossen. Durch die Bohrung ist ein Gaseinleitungsrohr bis dicht über den Boden des Rundkolbens eingeführt. Dieses Rohr ist mit dem Wasserdampfentwickler verbunden. An das Seitenrohr ist ein Halbmikro-Kühler mit einer Halbmikro-Kondensationsvorlage angeschlossen. Der Rundkolben mit dem zu trennenden Stoffgemisch taucht in einen zur Hälfte mit Wasser gefüllten Becher ein, der als heißes Wasserbad fungiert.

Will man die Wasserdampfdestillation in dieser Apparatur durchführen, so muß zunächst der Rundkolben im Wasserbad erhitzt werden. Das Wasser im Wasserbad muß während des Experiments ständig im leichten Sieden gehalten werden. Anschließend erzeugt man im anderen Rundkolben Wasserdampf und drückt diesen durch die Apparatur hindurch.

### **2.2.7. Trennen, Zerkleinern, Mischen und Lösen von Stoffen**

Auch diese Arbeiten sind nicht prinzipiell anders auszuführen als die entsprechenden der Makrotechnik. Dennoch sind auch hierbei einige Besonderheiten zu beachten.

Das Trennen eines Feststoff-Flüssigkeits-Gemisches in einzelne Phasen oder Komponenten erfolgt beim Arbeiten nach der Halbmikrotechnik auf mechanischem oder auf thermischem Wege.

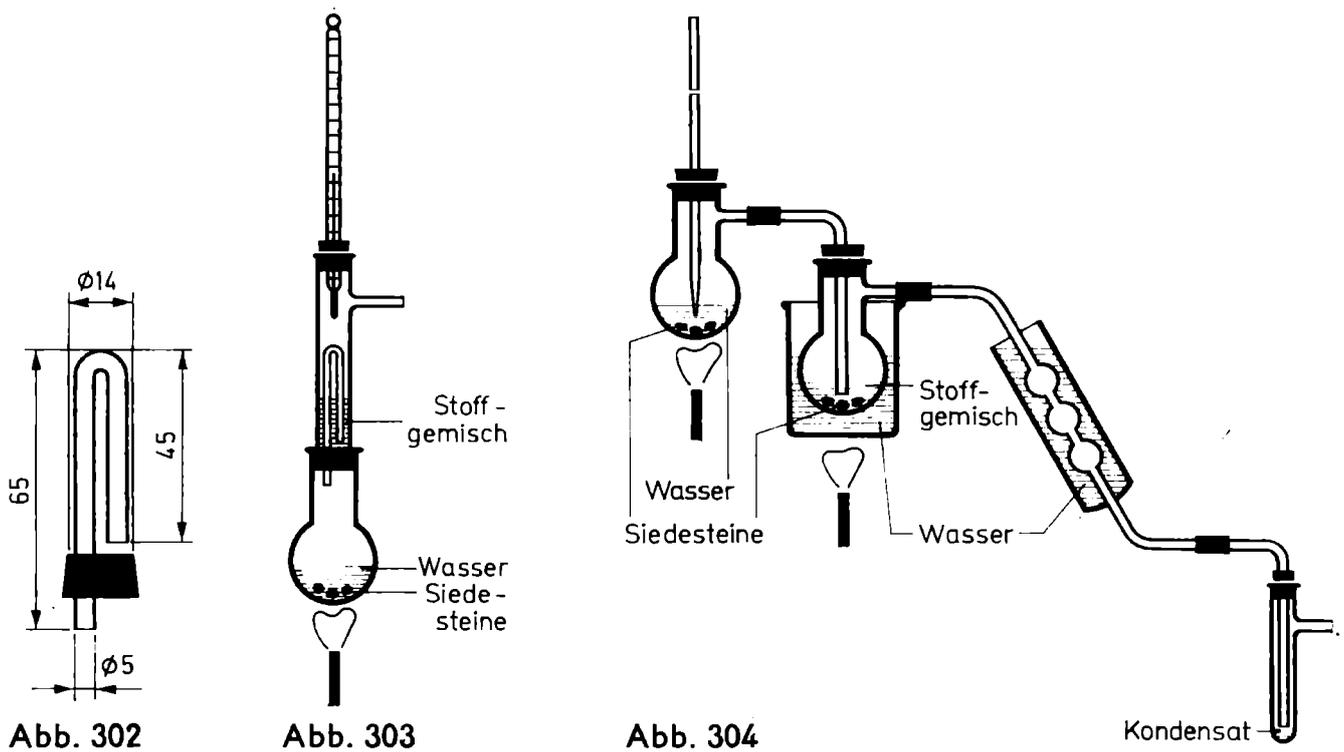


Abb. 302

Abb. 303

Abb. 304

Kondensat

Abb. 302 Einsatzrohr für Wasserdampfdestillation

Abb. 303 Wasserdampfdestillation  
mit dem Gegenstromdestillationsapparat

Abb. 304 Wasserdampfdestillation

### 2.2.7.1. Dekantieren, Filtrieren und Zentrifugieren

#### Dekantieren

Soll der Niederschlag in einem Halbmikro-Reagenzglas von der Lösung getrennt werden, so ist das Dekantieren oder Absaugen der Lösung möglich. Voraussetzung dafür ist, daß sich der Niederschlag gut abgesetzt hat. Er muß also vor dem Absaugen einige Zeit ruhig stehen. Beim Absaugen selbst hält man das Reagenzglas mit der einen Hand leicht schräg, ohne den Niederschlag dabei aufzuwirbeln, und führt mit der anderen Hand den Tropfer bei zusammengedrücktem Sifonsauger bis dicht über den Niederschlag. Durch vorsichtiges, allmähliches Entspannen des Sifonsaugers wird die Lösung in den Tropfer eingesaugt.

#### Einfaches Filtrieren

Beim Filtrieren trennt man das Feststoff-Flüssigkeits-Gemisch mit Hilfe eines durchlässigen Materials, das die feste Phase weitgehend zurückhält. Für Schülerexperimente nach der Halbmikrotechnik dienen Filterröhrchen (↗ S. 55). Das Filterröhrchen wird in folgender Weise für das Filtrieren vorbereitet: Mit der nicht abgeplatteten Seite des Rührers wird ein kleiner Wattebausch bis zur Verengung in das Filterröhrchen eingeführt und ein wenig angedrückt. Das Einlegen der Watte muß geübt werden, denn sowohl zu fest gestopfte als auch zu locker eingeführte Watte würde sich beim Filtrieren als ungeeignet erweisen. Die Watte wird vor dem

Filtrieren mit destilliertem Wasser durchnäßt. Das Wasser soll leicht abfließen. Ist die Watte zu fest angepreßt worden, muß sie vor der Zugabe des Stoffgemisches aufgelockert werden. Dazu und auch zum Entfernen der Watte benutzt man einen Tamponträger, das ist eine Rouladennadel, deren Spitze durch Aufdrücken gegen eine feste Unterlage zu einem feinen Häkchen umgebogen ist.

Das Stoffgemisch gibt man mit einem Halbmikro-Tropfer in das vorbereitete Filterröhrchen, wobei dieses auf ein Halbmikro-Reagenzglas aufgesetzt ist. Das Filtrieren kann durch den Anschluß eines Gummidoppelgebläses an das obere Ende des Filterröhrchens und die Anwendung eines geringen Überdrucks beschleunigt werden, da die Filtriergeschwindigkeit unter anderem auch vom Druckunterschied auf beiden Seiten des Filters abhängig ist.

Das Filterröhrchen eignet sich zur Abtrennung geringer Mengen eines Rückstands aus einer Flüssigkeit. Der Rückstand sollte nach dem Filtrieren nicht höher als 2 ... 3 mm über der Watte stehen. Größere Mengen eines Rückstands erschweren das Filtrieren und sollten durch den Einsatz mehrerer Filterröhrchen von der Flüssigkeit abgetrennt werden.

Bei zu locker eingeführter Watte ist das Filtrat trüb. Es muß in ein zweites vorbereitetes Filterröhrchen übertragen und noch einmal filtriert werden.

Die Rückstände können durch Zugabe von Wasser im Filterröhrchen gewaschen und danach in einem entsprechenden Lösungsmittel gelöst werden. Konzentrierte Säuren oder Hydroxidlösungen darf man als Lösungsmittel nicht verwenden, da sie die Watte angreifen.

## **Zentrifugieren**

Obwohl das Zentrifugieren insbesondere bei analytischen Arbeiten nach der Halbmikrotechnik sehr häufig angewandt wird, da es eine elegante und schnelle Trennung der Niederschläge von den Lösungen erlaubt, wird es für Schülerexperimente nicht empfohlen. Abgesehen davon, daß Zentrifugen im Unterricht relativ selten gebraucht werden, sprechen auch finanzielle Gründe und die entstehenden zusätzlichen Gefahrenquellen dagegen. Handzentrifugen ohne Schutzvorrichtung müssen aus diesem Grund völlig abgelehnt werden.

### **2.2.7.2. Extrahieren**

Für Schülerexperimente nach der Halbmikrotechnik ist die einfache Extraktion von geringer Bedeutung. Viel wichtiger ist es, daß die Schüler die kontinuierliche Extraktion selbst experimentell ausgeführt haben, weil daran das für chemisch-technische Prozesse und auch für die Behandlung im Chemieunterricht so wichtige Kreislaufprinzip erkannt werden kann. Für diese kontinuierliche Extraktion kommen für Schülerexperimente nach der Halbmikrotechnik folgende Apparate zum Einsatz:

Der „einfache Soxhlet“ (Abb. 305) wird hergestellt, indem man ein Reagenzglas mit Seitenrohr am unteren Ende bis zum Erweichen des Glases erhitzt. Dann drückt man einen ebenfalls erhitzten, abgeplatteten Glasstab oder ein Glasrohr auf das

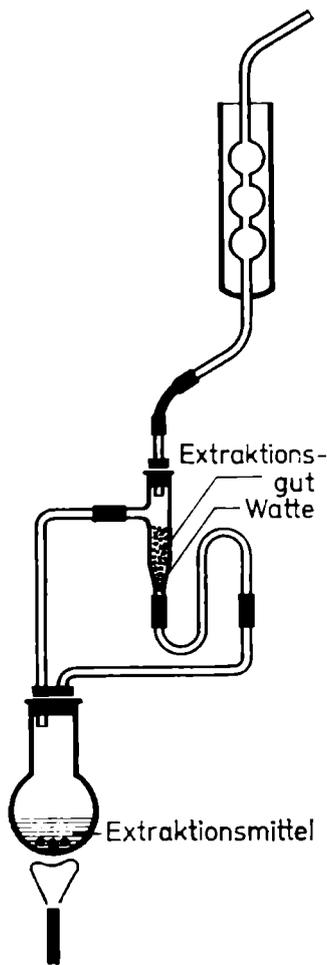


Abb. 305

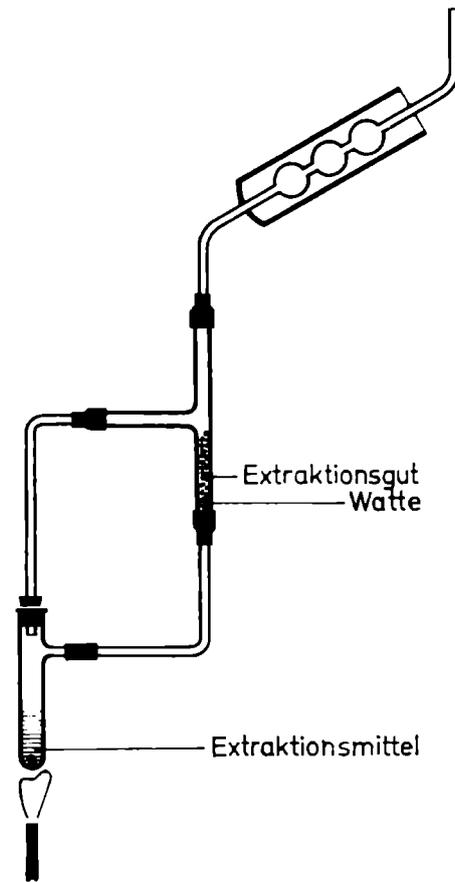


Abb. 306

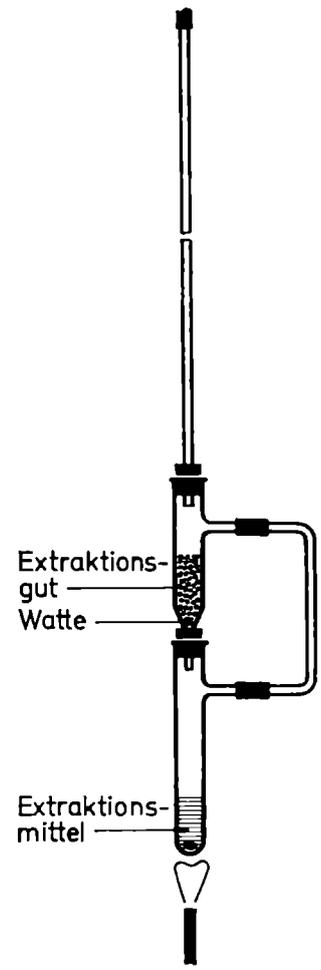


Abb. 307

Abb. 305 Einfacher Soxhlet

Abb. 306 Extraktionsapparat mit Wasserkühlung

Abb. 307 Extraktionsapparat mit Luftkühlung

erweichte Ende des Reagenzglases und zieht dieses außerhalb der Flamme zu einer kurzen Röhre aus. Weiter benötigt man einen Rundkolben (25 cm<sup>3</sup>), der mit einem zweifach durchbohrten Stopfen verschlossen wird. Die eine Bohrung enthält ein 70 mm langes, winklig gebogenes Glasrohr, das mit dem Seitenrohr des Reagenzglases verbunden ist. Auf das ausgezogene Reagenzglas ist ein Halbmikro-Kühler aufgesetzt. Die ausgezogene Röhre des Reagenzglases wird über ein mehrfach gebogenes Glasrohr mit dem Ausgleichrohr verbunden. Dieses Ausgleichrohr ist durch die zweite Bohrung in den Rundkolben eingeführt. In das ausgezogene Reagenzglas des „einfachen Soxhletapparats“ gibt man einen kleinen Wattebausch, den man mit dem abgeplatteten Ende des Rührers leicht andrückt, und fügt anschließend das Extraktionsgut hinzu. Der Rundkolben enthält das Extraktionsmittel. Der „einfache Soxhlet“ arbeitet genauso wie der Soxhletapparat für die Makrotechnik. Wenn die Watte zu fest angepreßt worden ist oder das Extraktionsgut zu feinkörnig ist, erfolgt kein Abhebern der Lösung, sondern ein ständiges, kontinuierliches Zurückfließen. Das mehrfach gebogene Glasrohr darf deshalb nicht über den seitlichen Ansatz des ausgezogenen Reagenzglases hinausragen. Neben dem „einfachen Soxhlet“ können für Schülerexperimente nach der Halbmikrotechnik noch zwei weitere, kontinuierlich arbeitende Extraktionsapparate empfohlen werden.

Einen Extraktionsapparat erhält man aus einem Halbmikro-Gaswäscher, indem man das Gaseinleitungsrohr in die gleiche Richtung wie das Seitenrohr dreht und so weit wie möglich aus dem Reagenzglas herauszieht (Abb. 306). Das Seitenrohr wird mit einem Winkelrohr verbunden und daran ein T-Stück angeschlossen. In den nach unten gerichteten Schenkel des T-Stücks wird ein Wattebausch locker eingeführt. Abschließend gibt man darauf das Extraktionsgut, verbindet den waagerechten Schenkel des T-Stücks mit dem bis auf diese Höhe herausgezogenen Gaseinleitungsrohr. Auf dem nach oben gerichteten Schenkel des T-Stücks wird ein Halbmikro-Kühler aufgesetzt. Das Reagenzglas enthält ein Siedesteinchen und ist bis kurz unterhalb des Seitenrohrs mit dem Extraktionsmittel aufgefüllt. Beim Erhitzen bewegt sich das Extraktionsmittel im Kreislauf. Übermäßiges Erhitzen muß vermieden werden.

Eine andere Form des Extraktionsapparats erhält man, wenn man ein zur Spitze ausgezogenes Reagenzglas mit Seitenrohr auf ein großes Reagenzglas aufsetzt, beide Seitenrohre durch ein U-förmig gebogenes Glasrohr oder zwei rechtwinklige Glasrohre verbindet und auf das obere Reagenzglas ein durch einen Stopfen geführtes Glasrohr mit einer Länge von 140 mm und einem Durchmesser von 8 mm aufsetzt (Abb. 307). Das obere Reagenzglas wird wiederum mit Watte und dem Extraktionsgut und das untere mit einem Siedesteinchen und dem Extraktionsmittel gefüllt. Beim Erhitzen bewegt sich auch hier das Extraktionsmittel im Kreislauf, und aus dem Extraktionsgut wird der zu extrahierende Stoff kontinuierlich herausgelöst.

### 2.2.7.3. Zerkleinern und Mischen

Feste Stoffe werden mit Hilfe des Freiburger Mörsers (↗ S. 74) zerkleinert. Verglichen mit größeren Reibschalen hat der Freiburger Mörser den Vorteil, daß geringe Stoffmengen nach dem Zerkleinern oder Mischen leicht und vollständig wieder entfernt werden können.

Das Mischen von festen Stoffen kann mit Hilfe einer Papprinne oder einem Halbmikro-Reagenzglas vorgenommen werden. Auf der Papprinne erreicht man das Mischen durch einseitig hebende und senkende Bewegungen. im Halbmikro-Reagenzglas werden feste Stoffe durch Drehbewegungen bei leicht schräg gehaltenem Reagenzglas gemischt.

Das Erzeugen eines möglichst homogenen Gemisches ist bei festen Stoffen vom Zerteilungsgrad beziehungsweise von der Korngröße der Stoffe abhängig.

### 2.2.7.4. Herstellen von Lösungen

Der Vorgang des Auflöserns fester Stoffe in Flüssigkeiten kann beschleunigt werden durch ständige Bewegung der Gemisches Flüssigkeit–Feststoff, durch entsprechende Zerkleinerung der festen Stoffe vor dem Einfüllen in die Flüssigkeit und durch Erwärmung. Das Mischen von Flüssigkeiten wird durch Rühren oder Schütteln beschleunigt.

Wird das Lösen der festen Stoffe im Halbmikro-Reagenzglas vorgenommen, so erfolgt die Bewegung des Gemisches Flüssigkeit–Feststoff am besten mit Hilfe des Rührers. Er wird dabei mit dem abgeplatteten Ende in das Reagenzglas eingeführt. Durch Auf- und Abwärtsbewegung wird das Gemisch aufgewirbelt.

Die Bewegung der Lösung kann auch mit Hilfe eines Halbmikro-Tropfers erzeugt werden, indem sie in den Tropfer eingesaugt und anschließend wieder herausgedrückt wird. Man wird so vorgehen, wenn das Auflösen nicht in Halbmikro-Reagenzgläsern erfolgt, sondern in anderen Geräten oder Apparaten oder im Reaktionskolben vorgenommen wird.

Schließlich kann die Bewegung des Flüssigkeits-Feststoff-Gemisches auch durch Schütteln erreicht werden. Enge Geräte oder Apparate müssen dabei gegebenenfalls verschlossen und durch Auf- und Abwärtsbewegung geschüttelt werden.

Die Beschleunigung des Auflöserns ist darauf zurückzuführen, daß die konzentrierte Lösung in unmittelbarer Nähe des festen Stoffes ständig entfernt wird, die bei Nichtbewegung den weiteren Lösungsvorgang behindert. Auch durch einen entsprechend feinen Zerteilungsgrad der festen Stoffe kann der Vorgang des Auflöserns beschleunigt werden, weil hierdurch eine große Oberfläche beziehungsweise Berührungsfläche zwischen festem Stoff und Flüssigkeit geschaffen wird.

Schließlich wird das Lösen von festen Stoffen in Flüssigkeiten auch durch Erhitzen beschleunigt. Das hat seine Ursachen in der Beschleunigung der Eigenbewegung der Moleküle der Flüssigkeit und des festen Stoffes und auch darin, daß die meisten Flüssigkeiten in der Hitze mehr feste Stoffe auflösen.

## 2.2.8. Transport von Gasen durch Apparaturen

Der Transport von Gasen durch Apparaturen erfolgt bei Schülerexperimenten nach der Halbmikrotechnik ausschließlich durch Drücken und nicht durch Saugen. Geeignete Apparate zur Erzeugung des Gasdrucks sind das Gummidoppelgebläse (↗ S. 50), der Gassammel- beziehungsweise Gasmeßapparat (↗ S. 268), der Halbmikro-Gasentwickler (↗ S. 259) und der Reaktionskolben (↗ S. 262).

Bei Schülerexperimenten nach der Halbmikrotechnik hat das Gummidoppelgebläse häufig eine ähnliche Funktion wie die Wasserstrahlpumpe bei der Makrotechnik. Ein Vergleich beider Apparate macht deutlich, warum dem Gummidoppelgebläse für Schülerexperimente der Vorzug zu geben ist; denn durch seine Verwendung können folgende Vorteile genutzt werden:

- Die Benutzung ist für die Schüler einfach.
- Die Gefahr des zu kräftigen Gasstroms kann leicht durch das Abklemmen mit einem Quetschhahn vermieden werden. Dieser Quetschhahn kann mehr oder weniger geöffnet werden.
- Die Schülerexperimente können unabhängig von einem Wasseranschluß am Arbeitsplatz der Schüler ausgeführt werden.

## 2.2.9. Arbeiten mit elektrischem Strom

Für elektrochemische Schülerexperimente kommt ein einfaches Stromversorgungsgerät (↗ Abb. 261, S. 238) zum Einsatz. Das gilt insbesondere für Leitfähigkeitsuntersuchungen und für Elektrolysen.

Für Leitfähigkeitsuntersuchungen genügt als Kontrollgerät ein Leitfähigkeitsprüfer (Abb. 308). Die auf Leitfähigkeit zu untersuchende Lösung wird auf eine kleine Uhrglasschale gegeben. Der Leitfähigkeitsprüfer wird an die Spannungsquelle angeschlossen, und durch Eintauchen der beiden Prüfelektroden läßt sich feststellen, ob die Lösung den elektrischen Strom leitet. Nach jeder Prüfung müssen beide Prüfelektroden durch Abspülen, am besten mit destilliertem Wasser, gründlich gesäubert werden.

Für Elektrolysen wäßriger Lösungen benutzt man am besten die im Schülergerätesatz enthaltene Kristallisierschale. Es ist erforderlich, einen Elektrodenhalter und geeignete Elektroden zusätzlich bereit zu halten. Als Elektrodenhalter eignet sich eine 10 ... 15 mm starke Kork- oder Gummischeibe mit einem Durchmesser, der größer als 35 mm ist. Diese Scheibe wird im Abstand von 30 mm (Abb. 309) mit zwei Löchern versehen, in welche die Anschlußbuchsen von Krokodilklemmen straff eingesetzt werden können. Die Bananenstecker der elektrischen Zuleitungen werden in die so geschaffenen Buchsen gesteckt. Die Elektroden sind an den Krokodilklemmen zu befestigen. Als Elektroden werden für Schülerexperimente Drahtelektroden und Kohleelektroden empfohlen.

Geeignete Drahtelektroden erhält man aus defekten Glühlampen (60 W). Der Glaskolben wird abgeschlagen (Schutzbrille tragen!), und mit einer Zange werden die Glasteile des Sockels zerstört. Es muß darauf geachtet werden, daß die Zuleitungen zu den Haltedrähten möglichst lang sind. Mit dem Zuleitungsdraht wird ein 50 mm langer, an den Enden gut isolierter Kupferdraht fest verdreht (nicht verlötet!) und in ein Glasrohr von 60 mm Länge und 5 mm Außendurchmesser eingeschoben. Der Haltedraht (freies Elektrodenende) soll 10 mm herausragen. Über einer kleinen Flamme wird das Ende des Glasrohrs zugeschmolzen und auf einer Länge von 10 mm abgewinkelt. Nun ist das freie Ende nach oben zu biegen. Die Zuleitung zur Elektrode wird verkürzt, auf 10 mm umgebogen und dann verlötet (Abb. 310), damit ein guter Kontakt zu den Krokodilklemmen des Elektrodenhalters vorhanden ist. Als Kohlestabelektroden eignen sich für elektrolytische Schülerexperimente Kohlestäbe aus Taschenlampenbatterien mit einer Länge von 60 mm und einem Durchmesser von 4 mm.

Je nach den Eigenschaften der Elektrolytlösung beziehungsweise der Zielstellung, mit der die Elektrolyse durchgeführt wird, benutzt man die Kohlestab- oder die Drahtelektroden. Beide werden bei der Elektrolyse verdünnter Chlorwasserstoffsäure gleichzeitig eingesetzt (Abb. 311).

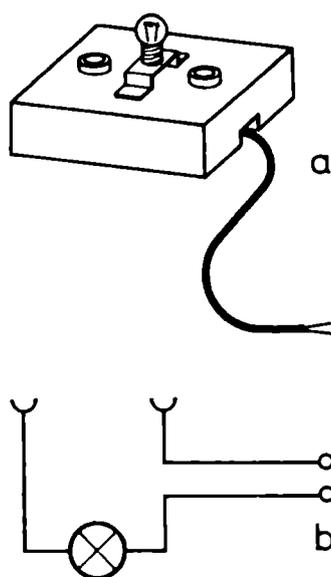


Abb. 308

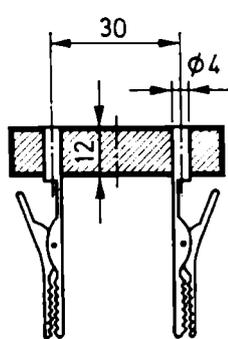


Abb. 309

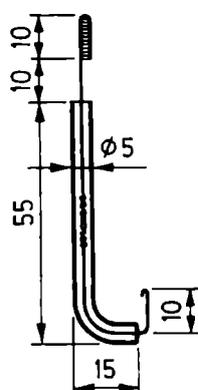


Abb. 310

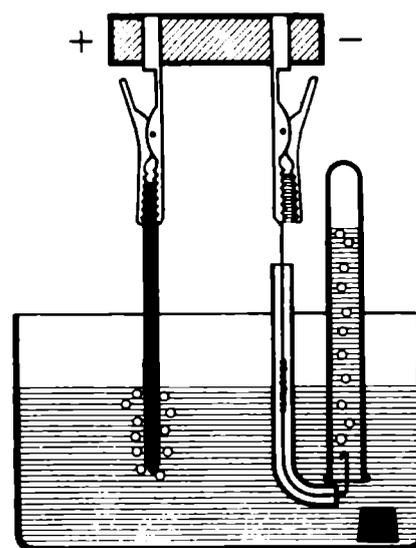


Abb. 311

Abb. 308 Leitfähigkeitsprüfer a) Gerät, b) Schaltbild

Abb. 309 Elektrodenhalter

Abb. 310 Drahtelektrode

Abb. 311 Apparatur zur Elektrolyse verdünnter Chlorwasserstoffsäure

## 2.3. Anwendung der Mikrotechnik

### 2.3.1. Allgemeine Bemerkungen

Experimente werden dann nach der Mikrotechnik ausgeführt, wenn Stoffmengen von 0,1 ... 10 mg beziehungsweise 0,05 ... 0,5 ml zum Einsatz gelangen. Diese Experimente erstrecken sich auf alle Bereiche der Chemie. Sie sind mit anorganischen wie mit organischen Stoffen möglich, und sie können auch zur Analyse und Darstellung von Stoffen verwendet werden.

Der Einsatz der Mikrotechnik bei chemischen Schulexperimenten bringt einige Vorteile:

- Bestimmte Techniken (etwa die mikrochemischen Kristallreaktionen oder die Tüpfelreaktionen) haben für den Unterricht eine besondere demonstrative Wirkung.
- Unter dem Gesichtspunkt der Materialökonomie können wertvolle Stoffe eingespart oder komplizierte Geräte vermieden werden.
- Durch einen relativ schnellen Ablauf von Reaktionen nach der Mikrotechnik ist es möglich, die Ökonomie der Zeit zu berücksichtigen.
- Durch den Einsatz so geringer Stoffmengen läßt sich eine mögliche Unfallgefahr durch giftige, brennbare oder explosive Stoffe sehr stark herabsetzen, in den allermeisten Fällen sogar ausschließen.

Nachteile der Mikrotechnik sind die geringe Erkennbarkeit der Ergebnisse und die notwendige Exaktheit bei der Ausführung der Bestimmung. Sie werden fast immer durch die spezifischen Verfahren dieser Technik ausgeglichen.

Wie beim chemischen Experimentieren nach der Makrotechnik oder Halbmikrotechnik gibt es auch bei der Mikrotechnik typische Geräte, Apparate und Arbeitsoperationen.

Die Anwendung der Mikrotechnik erfordert deshalb das Vorhandensein spezifischer Geräte und Apparate sowie Voraussetzungen zum korrekten Umgang mit ihnen.

Eine vollständige und umfassende Darstellung der Mikrotechnik ist hier nicht möglich. Deshalb sollen nur die Bereiche der Mikrotechnik vorgestellt werden, die für den Chemieunterricht der allgemeinbildenden Schule und die Tätigkeit in Arbeitsgemeinschaften Chemie von Bedeutung sind. Das sind

- mikrochemische Kristallreaktionen,
- Tüpfelreaktionen und
- chromatografische Trennungen

### 2.3.2. Mikrochemische Kristallreaktionen

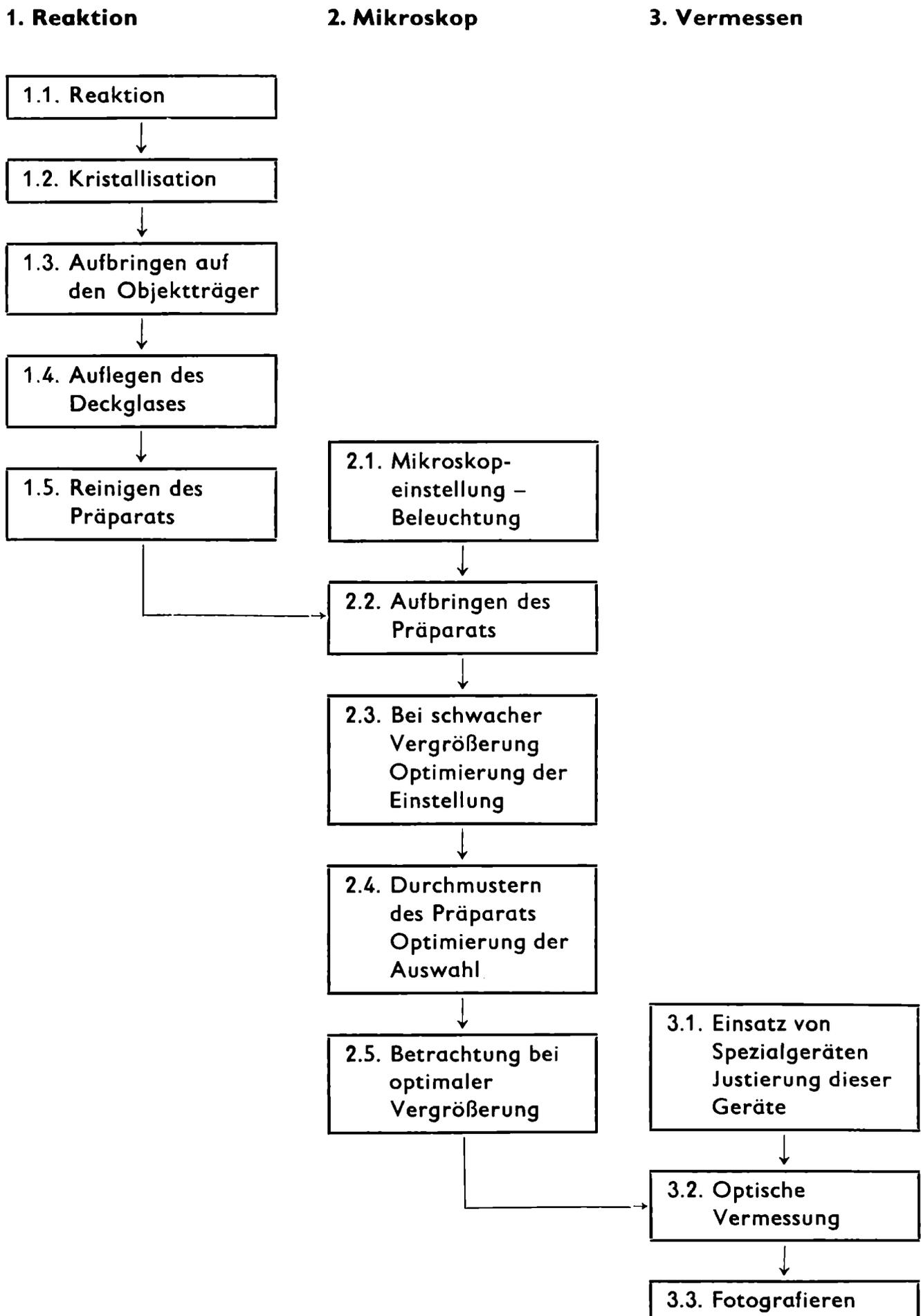
Wenn bei chemischen Reaktionen in der flüssigen Phase (Flüssigkeiten oder Lösungen) oder durch andere Bedingungen (z. B. durch Sublimation) Stoffe entstehen, die eine mikrokristalline Struktur haben, läßt sich in vielen Fällen eine Identifizierung leicht und schnell durch Betrachtung unter einem Lichtmikroskop erreichen.

Neben einem Mikroskop (für normales oder für polarisiertes Licht) gelangen nur relativ einfache Geräte zum Einsatz, wie Objektträger, Deckgläser, Halbmikro-Reagenzgläser, Kristallisierschalen, Glasstäbe, Tropfer. Vereinzelt werden auch Spezialgeräte, wie Feuchtigkeitskammern, benötigt, die selbst anzufertigen sind.

Um bei Reaktionen typische Kristalle zu erhalten, die eine günstige Größe und möglichst auch keine zu verzweigten Verwachsungen haben, müssen durch Anwendung bestimmter Techniken günstige Bedingungen geschaffen werden. Der Ablauf eines mikrochemischen Kristallisationsvorgangs ist in einem Schema wiedergegeben (Tab. 92).

Jede mikrochemische Kristallisation setzt eine entsprechende *chemische Reaktion* voraus. Diese Reaktion ist bestimmt durch die Ausgangsstoffe, die zur Reaktion zu bringen sind, und durch das Reaktionsprodukt, das dabei entstehen soll. Die Reaktion kann zur Analyse oder zur Darstellung von Stoffen dienen.

Weiter ist zu beachten, daß das erhaltene Reaktionsprodukt noch solchen Bedingungen ausgesetzt ist, die für die mikroskopische Betrachtung (oder sogar Vermessung) eine günstige Kristallisation ermöglichen. Das ist dann zu erwarten, wenn durch geeignete Wahl von Konzentration und Temperatur der reagierenden Stoffe Verhältnisse geschaffen werden, durch die das Löslichkeitsprodukt des sich

**Tabelle 92** Schema der Arbeitsgänge einer mikrochemischen Kristallisation

bildenden ausfallenden Stoffes nur langsam überschritten wird. Bei einem plötzlichen sehr starkem Überschreiten dieses Wertes bilden sich meist Kristalle mit weniger typischem und unregelmäßigem Aufbau. Sie besitzen dann teilweise weit ausgebildete Verwachsungen, die den Habitus überdecken. Verschiedentlich entstehen aber auch zu kleine Kristalle, deren typischer Aufbau mit einem Kursmikroskop der Schule kaum noch erkennbar ist. Allgemein muß beachtet werden, daß es keine festgelegten Grundbedingungen für alle mikrochemischen Kristallreaktionen geben kann; denn schon die Löslichkeitsverhältnisse sind von Fall zu Fall grundverschieden.

Die Reaktionen werden entweder in Halbmikro-Reagenzgläsern oder direkt auf den Objektträgern ausgeführt. Beide Arten erfordern spezielle Arbeitstechniken und haben Vor- und Nachteile.

Bei einer *Ausführung der chemischen Reaktion im Halbmikro-Reagenzglas* muß das erhaltene Reaktionsprodukt nach der Auskristallisation mit einem Tropfer auf den Objektträger gebracht werden. Dabei werden die beschriebenen Arbeitsgänge 1.1 bis 1.3 in der angegebenen Reihenfolge durchlaufen (↗ Tab. 92, S. 285). Vorteile dieser Art der Ausführung bestehen in einer großen Variationsbreite der einzusetzenden Konzentrationen, deren Veränderung während der Reaktion und Kristallisation durch erweiterte Zugabe von Lösungsmitteln, Lösungen, festen Stoffen ebenso möglich ist wie durch einengendes Erwärmen (direkt oder im Wasserbad) des Stoffgemisches insgesamt. Auf diese Weise lassen sich optimale Kristallisationsbedingungen schaffen. Nachteilig auf die Kristallausbildung kann sich gegebenenfalls die Übertragung der entstandenen Kristalle in der Lösung (entsprechend Arbeitsgang 1.3 des Schemas) auf den Objektträger auswirken, wenn die Kristalle keine feste Konstitution haben, also leicht zerbrechlich sind.

Manche *Reaktionen* lassen sich direkt *auf dem Objektträger* ausführen. Die Arbeitsgänge 1.1 bis 1.3 des Schemas fallen dann räumlich, jedoch nicht zeitlich, zusammen. Das erforderliche Deckglas zur mikroskopischen Beobachtung und zur Schonung der Frontlinse des Mikroskopobjektivs kann in diesem Falle vor oder nach erfolgter Reaktion aufgelegt werden. Der Arbeitsgang 1.4 des Schemas würde dann vor den Arbeitsgang 1.1 rücken. Bei der nachfolgend genannten Variante sind Vorteile zu erkennen:

Bei schwierigen Kristallisationen lassen sich oftmals gute Erfolge erzielen, wenn nach der *Verlaufsmethode* gearbeitet wird. Diese Methode beruht auf dem Prinzip, ein Konzentrationsgefälle der reagierenden Stoffe gegeneinander aufzubauen. Das kann in folgender Weise geschehen:

- Auflage des Deckglases auf den sauberen, trockenen Objektträger,
- Auftragen der flüssigen reagierenden Stoffe mittels eines Tropfers an den gegenüberliegenden Rändern des Deckglases,
- Einsaugen der Lösungen (durch Adhäsionswirkung) und
- langsames Verlaufen der reagierenden Stoffe.

Dabei bilden sich Bereiche der unterschiedlichsten Konzentrationen aus, und es wird immer Stellen relativ günstiger Kristallisation geben. Eine Voraussetzung muß jedoch durch die Wahl günstiger Ausgangskonzentrationen der Lösungen beider reagierender Stoffe gegeben sein. Durch ein exaktes und systematisches Durch-

mustern des Präparats (Arbeitsgang 2.4) lassen sich nun die Stellen optimaler Kristallisation finden. Ein Auflegen des Deckglases vor der Kristallisation ist auch dann zu empfehlen, wenn leicht zerbrechliche Kristalle entstehen, die durch die nachfolgende Belastung wieder zerstört würden.

Vor dem Auftragen des Präparats, das aus dem Objektträger, dem Objekt und dem Deckglas besteht, auf den Tisch des Mikroskops ist ein Reinigen erforderlich. Das geschieht meist in der Weise, daß die an den Rändern des Deckglases überstehende Flüssigkeit mit einem schmalen Streifen Filterpapier (Größe etwa 60 mm × 10 mm) abgesaugt wird (Arbeitsgang 1.5).

Vor Auflage des Präparats auf den Tisch des Mikroskops muß die ordnungsgemäße Aufstellung des Geräts und die richtige Einstellung der Beleuchtung kontrolliert werden (Arbeitsgang 2.1). Das Mikroskop sollte mit einem vollständigen Beleuchtungsapparat (Kondensator mit Irisblende) versehen sein, und es sollte nach Möglichkeit auch eine Mikroskopierlampe zur Verfügung stehen, damit günstige Lichtverhältnisse (nach dem Köhlerschen Prinzip) zu jeder Tageszeit gegeben sind. Natürlich reicht für viele mikroskopische Betrachtungen ein Instrument aus, das mit Hohlspiegel und Tageslicht arbeitet und bei dem die Lichtverhältnisse mit einer rastbaren Lochblende geregelt werden. Jedoch sind Beobachtungsqualität und Arbeitsbedingungen im zuerst genannten Fall wesentlich besser.

Für die meisten mikrochemischen Kristalluntersuchungen reicht ein Mikroskop mit einer maximalen Vergrößerung von 400mal (linear) aus. Günstiger ist eine Vergrößerung von maximal 600mal, wobei eine Objektivvergrößerung von 40mal (mit einer numerischen Apertur von 0,65) und eine Okularvergrößerung von 15mal vorteilhaft ist. Eine Ausstattung des Mikroskops mit Spezialobjektiven, wie Immersionsobjektiven, Planobjektiven, ist für den Normalfall nicht erforderlich. Es sollte möglichst immer mit einem aufgelegten Deckglas und einem gereinigten Präparat gearbeitet werden, da Gase, wie Ammoniak oder Chlorwasserstoff, bereits in geringer Konzentration zu einer Trübung mancher, meist sehr wertvoller Objektiv beziehungsweise Frontlinsen führen. Vorteilhaft für das systematische Absuchen des Präparats bei niedriger oder auch mittlerer Vergrößerung (entsprechend den Arbeitsgängen 2.3 und 2.4) wirkt sich das Vorhandensein eines Objektführers oder Kreuztisches aus. Nach dem Auffinden einer für die mikroskopische Betrachtung geeigneten Stelle wird stufenweise zu der Vergrößerung übergegangen, die als optimal anzusehen ist (Arbeitsgang 2.5).

Beim Fokussieren des Objekts der mikrochemischen Kristalluntersuchung, also beim Scharfstellen der Abbildung mittels des Grob- und des Feintriebs des Mikroskops, gibt es eine allgemeine Regel:

Bei erstem Scharfstellen des aufgelegten Präparats ist so vorzugehen, daß mit geringer Objektiv- und Okularvergrößerung begonnen und im Normalfall durch Heben des sehr tief eingestellten Tubus (also Objektivs) das Fokussieren vollzogen wird. Ist die optimale Vergrößerung erreicht, erfolgt die sorgfältige Betrachtung, wobei gewisse Korrekturen in der Stellung des Präparats und der Wahl der Vergrößerung durch Objektiv und Okular noch zulässig sind (Arbeitsgang 2.5). Hier ist der Punkt erreicht, der den Ausgang für weitere spezielle Arbeitsgänge des Mikroskopierens darstellt, wie Mikroprojektion, Mikrofotografie oder optische Vermessungen im polarisierten Licht.

Ein erfolgreiches Herstellen gut ausgebildeter Kristalle mit typischem Habitus setzt das exakte Einhalten der vorgeschriebenen Reaktionsbedingungen voraus. Durch Anwesenheit nicht kontrollierbarer Kristallisationskeime ergeben sich auch dann noch nicht immer optimal verlaufende Kristallisationen. Auch bei völligem Fehlen dieser Keime können Mißerfolge auftreten. Hier kann jedoch durch Reiben mit einem Glasstab an der mit dem Stoffgemisch benetzten Fläche des Reaktionsraums oder durch Impfen mit einem früher hergestellten gleichen Kristall Abhilfe geschaffen werden.

### 2.3.3. Tüpfelreaktionen

Tüpfelreaktionen eignen sich besonders zur Identifizierung von Stoffen durch Spezialreagenzien. Vor allem der Einsatz organisch-chemischer Reagenzien bei der qualitativen anorganischen Analyse hat zur Entwicklung der Tüpfelanalyse beigetragen. Für diese Arbeitsweise sind vor allem Reaktionen zwischen zwei Flüssigkeiten (meist Lösungen) geeignet, die zu deutlichen Farbeffekten führen oder deren Reaktionsprodukte durch anschließende Behandlung mit einem weiteren Stoff nachgewiesen werden können. In Einzelfällen können auf Tüpfelplatten auch kleine Körnchen fester Stoffe mit Flüssigkeiten behandelt werden. Sollen Tüpfelreaktionen innerhalb von Trennungsgängen Anwendung finden, so müssen alle störenden Beimengungen anderer Stoffe vorher entfernt worden sein.

Werden *Tüpfelplatten aus Glas oder Porzellan* zum Vereinigen von einem oder wenigen Tropfen der Reagenzlösung und der Probelösung benutzt, so sind die Lösungen mit einem Tropfer zuzugeben. Die Tropfen sollen aus geringer Höhe frei in die Vertiefung der Tüpfelplatte fallen. In einigen Fällen, insbesondere wenn bei der Reaktion Dämpfe oder Gase entstehen, wird das Reagens erst auf einen Glasstab getropft und dann mit Hilfe dieses Glasstabs in die Probelösung gegeben.

Durch Unterlegen von Papier geeigneter Färbung unter Tüpfelplatten aus Glas oder durch Wahl von Porzellantüpfelplatten mit Glasur in geeigneter Farbe (weiß, schwarz, grün) kann eine Kontrastwirkung erreicht werden. Farbänderungen oder Niederschläge lassen sich dadurch besser erkennen.

Häufig werden *Tüpfelreaktionen* aber auch *auf Filterpapier* durchgeführt. Besonders geeignet sind dazu Rundfilter für die quantitative Analyse (↗ S. 41). Das Übertragen der Probelösung und der Reagenzlösung auf das Papier erfolgt mittels Kapillarröhrchen, indem die gefüllte Kapillare auf das Filterpapier aufgesetzt wird. Die Verwendung von Filterpapier hat den Vorteil, daß nicht deutlich sichtbare Reaktionsprodukte durch Nachbehandeln mit geeigneten Stoffen erkennbar gemacht werden können. Solche Stoffe können dann ebenfalls mit Kapillarröhrchen aufgetragen, aber auch aufgestäubt werden (↗ S. 290). Beim Arbeiten auf Filterpapier besteht auch die Möglichkeit, die Reaktionsprodukte wieder aus dem Papier herauszulösen (Eluieren). Dazu muß der Fleck mit dem Reaktionsprodukt geschnitten und in ein kleines Volumen eines geeigneten Lösungsmittels gebracht werden.

## 2.3.4. Chromatografische Trennungen

Als Chromatografie werden physikalisch-chemische Verfahren zur Trennung gelöster und gasförmiger Stoffe bezeichnet. Sie finden in analytischer und präparativer Zielsetzung Anwendung. Sehr geringe Stoffmengen, die auch hinsichtlich ihrer Eigenschaften sehr ähnlich sein können (z. B. Eiweiße, Aminosäuren, Lanthanide) lassen sich nachweisen und trennen. Die Trennung beruht auf Wechselwirkungen zwischen einer beweglichen, also einer wandernden Phase (mobile Phase) mit einer ruhenden, nichtwandernden Phase (stationäre Phase) und dem gelösten Stoff. Während der Wanderung der mobilen Phase werden die zu trennenden Stoffe mit verschiedener Geschwindigkeit transportiert und die Bestandteile eines Stoffgemisches auf Grund des Nernstschen Verteilungsgesetzes unterschiedlich verteilt. Die unterschiedlichen Wanderungsgeschwindigkeiten werden durch Vorliegen verschiedener Adsorptionsgleichgewichte mit verursacht.

Als *stationäre Phase* werden Stoffe, wie Aluminiumoxid, Kieselgel, Stärke, Cellulose, Siliconöl oder Ionenaustauscher, als Trägermaterialien eingesetzt. Sie können beispielsweise gemeinsam mit dem aufgenommenen Wasser wirken. Mobile Phasen sind meist organische Lösungsmittel.

Bei Anwendung eines bestimmten Trägermaterials und eines bestimmten Lösungsmittels, das oft auch als Laufmittel bezeichnet wird, ist der Quotient aus der Wanderungstrecke des Stoffes und der des Lösungsmittels als  $R_f$ -Wert (Retentionsfaktor) definiert. Er besitzt einen charakteristischen Wert und beträgt im Höchstfall 1,0 (Maximalwert). Zu seiner Bestimmung wird zweckmäßigerweise auf eine Substanz mit bekanntem  $R_f$ -Wert bezogen.

$$R_f = \frac{\text{Wanderungstrecke der Substanz}}{\text{Wanderungstrecke des Laufmittels}}$$

Heute ist eine Vielzahl chromatografischer Verfahren bekannt, die nach der Art der Wechselwirkung der Stoffe während des Trennprozesses und der Untersuchungsmethodik bezeichnet werden. Es können Adsorptions-, Verteilungs-, Säulen-, Papier-, Ionenaustausch-, Dünnschicht- und Gaschromatografie unterschieden werden.

Für das Arbeiten mit Schülern, vor allem in Arbeitsgemeinschaften, kommen vorwiegend einfache Varianten in Betracht. Auf die Papier- und Dünnschichtchromatografie soll etwas näher eingegangen werden.

### 2.3.4.1. Papierchromatografie

#### Allgemeine Bemerkungen

Bei der Papierchromatografie wird saugfähiges Spezialpapier als Träger verwendet. Normales Filterpapier ist nur bedingt anwendbar, da keine ausreichende Trennschärfe zwischen den Stoffen zu erreichen ist. Es eignet sich höchstens dazu, die Schüler mit dem Prinzip chromatografischer Trennungen bekannt zu machen.

Zunächst ist die Fließrichtung in dem Papier zu bestimmen. Dazu wird ein Tropfen Wasser auf eine Ecke des Papierbogens gegeben. Der entstehende Wasserfleck hat im allgemeinen elliptische Form. Die größere Hauptachse entspricht der Faserichtung und damit der zweckmäßigen Fließrichtung, die bei der folgenden Arbeit mit dem Papier zu beachten ist. Das Papier wird dann je nach der gewählten Arbeitsweise zurechtgeschnitten (Abb. 312).

Nach dem Markieren der Startlinie und der Startpunkte darauf wird jeweils ein Tropfen 1 ... 3%iger Lösungen der zu untersuchenden Stoffe mit Hilfe einer Mikro- oder Blutpipette aufgetragen, ohne daß er stark ausläuft. Das erfordert einige Vorübungen. Soll ein Stoffgemisch getrennt und untersucht werden, so sind das Stoffgemisch und die möglichen Bestandteile aufzutragen. Wenn die Flecke getrocknet sind, kann die Einwirkung des Laufmittels, das Entwickeln, in einem geschlossenen, mit Laufmitteldämpfen gefüllten Raum (Entwicklungskammer) erfolgen. Nach einer, den jeweiligen experimentellen Bedingungen angemessenen Zeit wird das Chromatogramm herausgenommen, die Laufmittelfront markiert und getrocknet. Bei Farbstoffen kann die Auswertung direkt erfolgen. Nicht sichtbare Verbindungen werden durch Besprühen mit geeigneten Reagenzien lokalisierbar gemacht. Zum Besprühen können einfache Zerstäuber Verwendung finden, wie sie für Parfüm oder Inhalationsapparate gebräuchlich sind. Das Chromatogramm soll nur leicht angefeuchtet sein. Zu große Durchfeuchtung mit dem Reagens kann zu beträchtlicher Vergrößerung des Flecks für den jeweiligen Stoff führen und die Ermittlung der  $R_f$ -Werte erschweren.

### **Aufsteigende Papierchromatografie**

Bei der relativ geringen Anwendungsbreite chromatografischer Verfahren im Chemieunterricht und in Arbeitsgemeinschaften Chemie werden vorwiegend Arbeitsweisen in Betracht kommen, die mit der üblichen Geräteausstattung für den Chemieunterricht realisierbar sind. Zwei Möglichkeiten bieten sich dann an:

- In einem weiten Reagenzglas (30 mm × 200 mm) oder einem Standzylinder als Entwicklungskammer befindet sich etwa 1 ... 2 cm hoch das Laufmittel. Schmale Streifen Papier werden an einem Glashäkchen des Verschlußstopfens so aufgehängt, daß sie bis in das Laufmittel hineinreichen (Abb. 313a) und die Wand des Geräts nicht berühren.
- Ein rechteckiges Stück Papier ist zu einem Zylinder zu rollen und mit Plastebüroklammern zusammenzuhalten. Es wird dann in einen weiten Standzylinder oder ein anderes zylindrisches Gefäß gestellt, in dem sich etwa 1 cm hoch das Laufmittel befindet. Diese Entwicklungskammer wird mit einer Glasplatte verschlossen (Abb. 313b). Nach dem Auftragen des Stoffgemisches werden die Apparate zusammengestellt und die Entwicklung durchgeführt.

### **Rundfilterchromatografie**

Ein Blatt Papier wird hier zwischen Bodenteil und Deckel eines Exsikkators oder zwischen zwei gleichgroße Petrischalen eingelegt. Das Laufmittel wird im Zentrum des Papierblatts mit einem Filterpapierdocht aus einer untergestellten

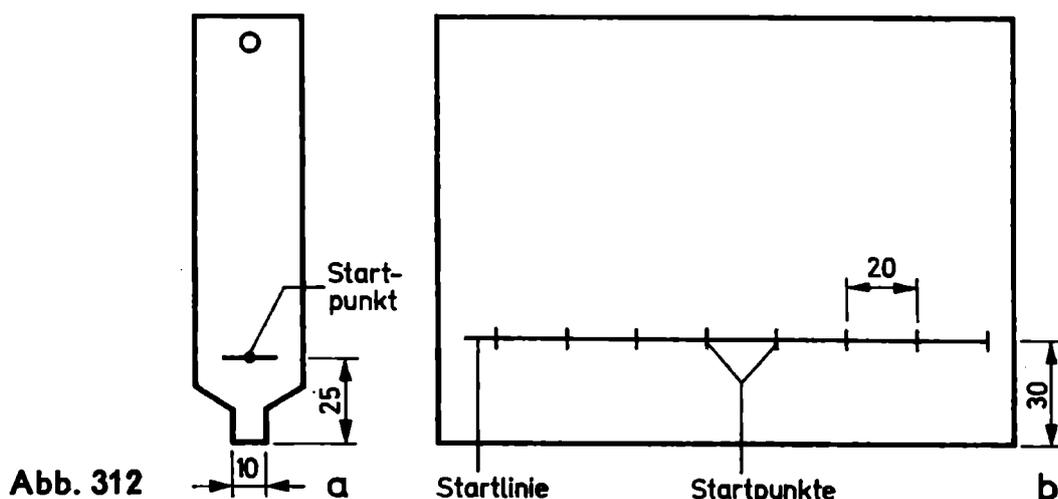


Abb. 312

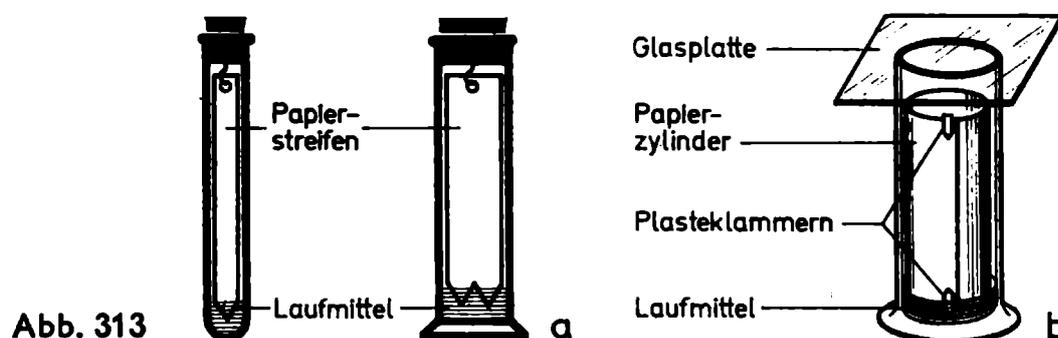


Abb. 313

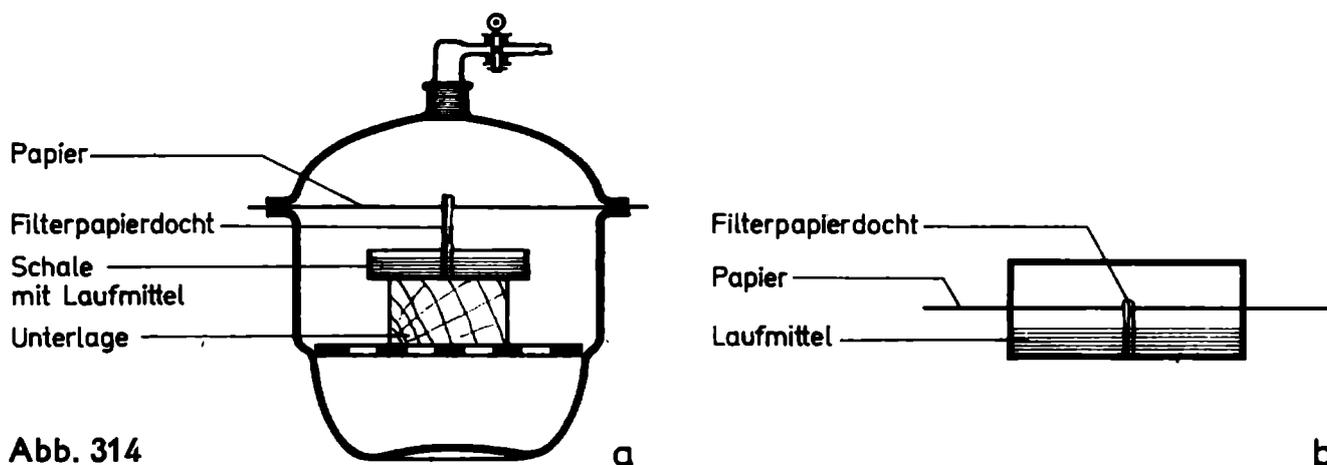


Abb. 314

Abb. 312 Chromatografiepapier für aufsteigende Papierchromatografie

a) hängender Papierstreifen, b) stehender Papierzylinder

Abb. 313 Apparate für die aufsteigende Papierchromatografie

a) hängender Papierstreifen, b) stehender Papierzylinder

Abb. 314 Apparate für die Rundfilterchromatografie

a) Exsikkator, b) Petrischalen

Petrischale beziehungsweise der Schale direkt aufgesaugt (Abb. 314). Bei anderen Anordnungen kann die Zugabe auch von oben durch eine geeignete Vorrichtung erfolgen. Zur Vorbereitung wird zunächst um den Schnittpunkt der Diagonalen eines quadratisch zugeschnittenen Stücks Papier mit dem Zirkel ein Kreis von etwa 2 cm Radius als Startlinie gezeichnet und in Segmente geteilt. Danach muß mit einem geschärften Stopfenbohrer von etwa 5 mm Durchmesser ein Loch im Zentrum ausgestochen werden (Abb. 315). Die Stoffproben werden entlang der

Startlinie in dem jeweiligen Segment so aufgetragen, daß sie einander beim Auslaufen nicht berühren. Dann ist der gerollte Filterpapierdocht durch das Loch zu schieben. Er soll fest sitzen und auf dem Boden der Petrischale mit Laufmittel aufstehen, um die Papierfläche in der Mitte etwas zu unterstützen. Die weitere Verfahrensweise entspricht den allgemeinen Hinweisen. Da die zu trennenden Stoffe mit dem Laufmittel bei diesem Verfahren in einer, mit der Entfernung vom Zentrum immer breiter werdenden Front wandern, läßt sich das Chromatogramm später in kleinere Segmente zerschneiden, die mit unterschiedlichen Reagenzien besprüht werden (Abb. 316). Das ist zum eindeutigen Erkennen einiger Stoffe notwendig, aber nur bei dieser Arbeitsweise realisierbar.

### 2.3.4.2. Dünnschichtchromatografie

Bei diesem Verfahren werden dünne Trägerschichten auf Glasplatten verwendet. Als Trägermaterial kommt häufig Aluminiumoxid, aber auch Kieselgel zur Anwendung. Der Trägerstoff wird mit destilliertem Wasser zu einer homogenen dickflüssigen Suspension verarbeitet, die dann auf saubere, sorgfältig entfettete Glasplatten oder andere Unterlagen aufzutragen ist. So können beispielsweise 8 g Aluminiumoxid D und 15 ml Wasser in einem verschlossenen Erlenmeyerkolben bis zur völligen Homogenität und Klumpenfreiheit geschüttelt werden. Auf die Glasplatte von 100 mm × 200 mm Größe, die sich auf einer ebenen Unterlage befindet, wird die Suspension mit Hilfe eines Glasstabs aufgetragen, der an beiden Seiten Gummimanschetten besitzt (Abb. 317 a). Er darf dabei nicht gerollt werden, die Schichtdicke von 0,50 ... 0,75 mm läßt sich durch die Stärke der Gummimanschetten beeinflussen. Die beschichtete Platte muß 5 ... 10 min an der Luft trocknen, wird danach 30 ... 40 min bei 105 °C im Trockenschrank behandelt und erneut auf Zimmertemperatur abgekühlt. Die Startpunkte werden mit Bleistift 20 mm von einer schmalen Seite entfernt markiert (keine Startlinie zeichnen!) und die zu untersuchenden Stoffe wie bei der Papierchromatografie aufgetragen. Als Entwicklungskammer kann ein Exsikkator ohne Einsatzplatte benutzt werden (Abb. 318). Vor dem Einlegen der Glasplatte ist mit dem Laufmittel etwas zu schütteln, so daß der notwendige Dampfdruck der Laufmittels erzeugt wird. Es ist auch möglich, an einen Teil der Wände des Exsikkators mit Laufmittel durchfeuchtetes Filterpapier anzudrücken, das bis in die Flüssigkeit hineinreicht. Die weitere Behandlung beim Entwickeln und Auswerten des Chromatogramms erfolgt wie bei der Verwendung von Papier.

Vorteile der Dünnschichtchromatografie sind die gute Trennschärfe bei geringen Entwicklungszeiten von 30 ... 40 min.

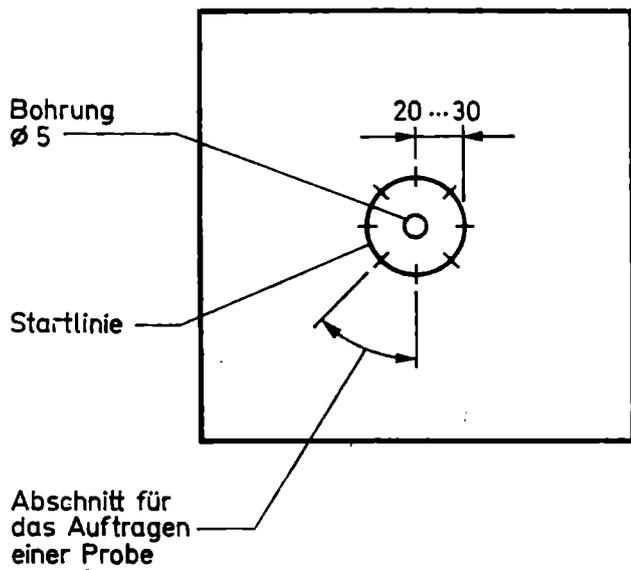


Abb. 315

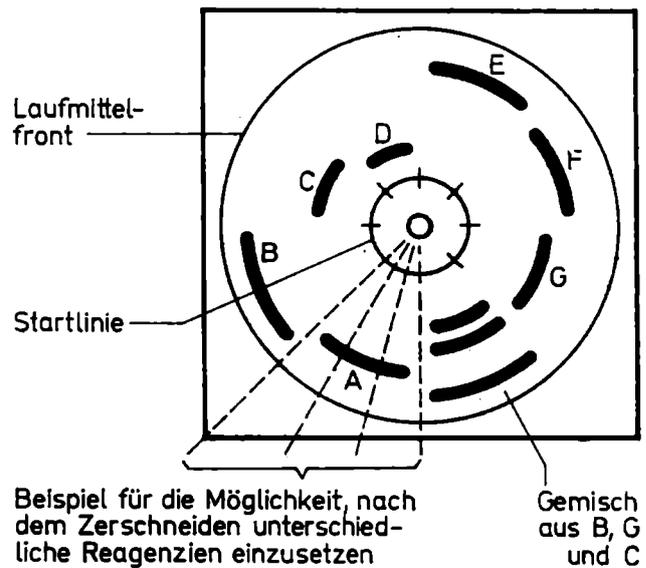


Abb. 316

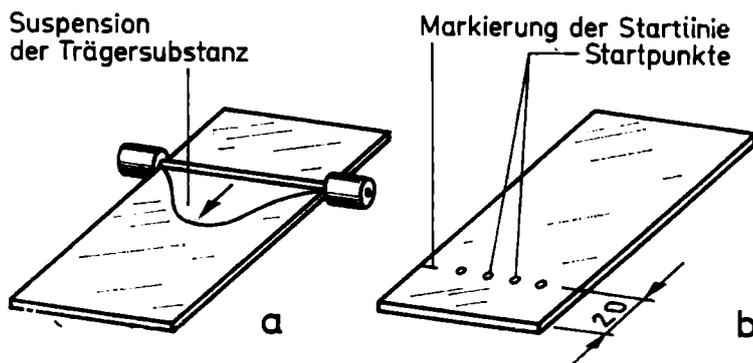


Abb. 317

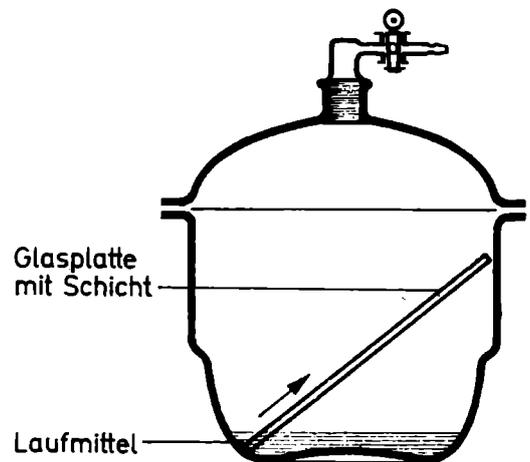


Abb. 318

Abb. 315 Papier für Rundfilterchromatografie

Abb. 316 Teilungsmöglichkeiten eines Rundfilterchromatogramms

Abb. 317 Herstellen einer Glasplatte für Dünnschichtchromatografie

a) Aufbringen der Schicht, b) Markieren der Startpunkte

Abb. 318 Entwicklungskammer für Dünnschichtchromatografie

## 2.4. Techniken bei der Experimentprojektion

### 2.4.1. Allgemeine Bemerkungen

Das Projizieren von Experimenten ist eine Technik der Demonstration. Besonders in der jüngeren Zeit sind einige Vorteile dieser Technik erkannt worden:

- Durch die Projektionsvergrößerung sind die beobachtbaren Effekte der Experimente für alle Schüler einer Klasse gut sichtbar.
- Experimenteffekte, die nur in unmittelbarer Nähe zu beobachten sind, können durch das Projektionsbild der gesamten Klasse verdeutlicht werden.

- Zur Projektion von Experimenten genügen im allgemeinen niedrige Konzentrationen und geringe Stoffmengen. Die Durchführung der Experimente ist vielfach mit der Halbmikrotechnik vergleichbar. Dadurch wird die Unfallgefahr vermindert.

Den Vorteilen stehen auch einige *Nachteile* oder begrenzende Faktoren bei der Projektion von Experimenten gegenüber:

- Da nur Reaktionsgefäße mit planparallelen Flächen benutzt werden können, ist die Anzahl der möglichen Reaktionsgefäße begrenzt. Vorwiegend werden Küvetten und Petrischalen verwendet. Runde Gefäße eignen sich nur dann, wenn sie in wassergefüllte Küvetten gestellt werden.
- Alle beschriebenen Projektionstechniken beruhen auf der Durchlichtprojektion und erfordern deshalb die Durchsichtigkeit, zumindest jedoch die Transparenz der reagierenden Stoffe. Daher kommen für die Projektionsexperimente nur ausgewählte Reaktionen in Betracht (Tab. 93).
- Bei allen Projektoren ist es wegen der Empfindlichkeit der optischen und mechanischen Teile unmöglich, mit der offenen Flamme eines Brenners zu erhitzen. Daher lassen sich bei Projektionsexperimenten solche Trennoperationen, wie das Destillieren und Eindampfen, nicht realisieren. Die Wärmezuführung durch die Lichtquellen der Projektoren ist selbst oft nicht ausreichend. Möglichkeiten der elektrischen Beheizung sind bisher noch nicht erprobt worden.
- Durch die zweidimensionale Wiedergabe beim Projizieren von Experimenten geht die räumliche Wirkung der Experimenteffekte verloren. Möglicherweise können deshalb Erscheinungen nur unvollkommen wahrgenommen werden.

**Tabelle 93** Möglichkeiten für das Ausführen von Projektionsexperimenten (nach Mirschel)

Reagierende Stoffe	Erkennbare Effekte
Durchsichtige Flüssigkeiten	a) Farbänderungen b) Fällungen c) Gasbildung
Durchsichtige Flüssigkeit und feste Stoffe	a) Farbänderungen b) Auflösen c) Gasbildung
Durchsichtige Flüssigkeit und Gas	a) Farbänderungen b) Fällungen
Gase	a) Fällungen b) Farberscheinungen

Für die Arbeit im Chemieunterricht kommen vor allem drei Techniken der Projektion von Experimenten in Betracht, die Schattenbildprojektion, die Projektion mit dem Diaprojektor und mit dem Tageslicht-Schreibprojektor, wobei sich die letztgenannte Technik zunehmend durchsetzt.

## 2.4.2. Schattenbildprojektion

Bei dieser Technik werden mit Hilfe einer starken Lichtquelle, zum Beispiel einer Bogenlampe oder dem Licht eines Diaprojektors, Apparaturen auf eine weiße Wand hinter dem Experimentiertisch projiziert. Zur Ausführung der chemischen Reaktion werden die Geräte und Apparate der Makrotechnik benutzt.

Die Projektion erfolgt zusätzlich zur Hervorhebung bestimmter Effekte [61]. Das bewährt sich beispielsweise dann, wenn Dichteänderungen in Flüssigkeiten oder Gasen sichtbar gemacht werden sollen. So läßt sich die Schlierenbildung beim Entstehen von Chlorwasserstoffsäure, wenn Chlorwasserstoff auf Wasser geleitet wird, durch Projizieren besonders gut zeigen. Am besten gelingt die Projektion, wenn in Gefäßen mit rechteckigem Querschnitt gearbeitet wird, deren senkrecht zur optischen Achse stehende Wände möglichst plan sein sollen. Runde Gefäße können zur Projektion in eine wassergefüllte, quaderförmige, pneumatische Wanne gestellt werden, wenn die Experimentierbedingungen dies zulassen.

Wegen der insgesamt doch recht eingeschränkten Anwendungsmöglichkeiten kann diese Technik der Experimentprojektion nur recht selten eingesetzt werden.

## 2.4.3. Projektion mit dem Diaprojektor

Bei dieser Technik laufen die Reaktionen in Küvetten ab, die sich im Strahlengang des Diaprojektors befinden. Aus den vielen Vorschlägen für diese Arbeitsweise sind vor allem zwei von Bedeutung, bei denen ein Diaprojektor mit einem frei zugänglichen Diawechselschlitten benutzt wird.

- Nach Entfernen des Diawechselschlittens werden handelsübliche Küvetten mit rechteckigem Querschnitt – gegebenenfalls auf einer Unterlage entsprechender Höhe – in den Zwischenraum zwischen Lichtwurflampengehäuse mit Kondensator und Objektiv gestellt.
- Auf Vorschlag von *H. B. Sawal* [76] wird ein Diawechselschlitten so umgebaut, daß Küvetten eingesetzt werden können, die aus Diagläsern im Format 5 cm × 5 cm herzustellen sind. Dazu werden mit einem wasserfesten Kleber zwischen zwei solchen Diagläsern schmale Streifen befestigt, die ebenfalls aus Diagläsern geschnitten oder aus Plaststreifen von gleicher Stärke angefertigt werden. Dadurch entstehen unterschiedliche Reaktionsräume (Abb. 319).

Das zweite Verfahren ist zwar mit etwas größerem Arbeitsaufwand bei der Vorbereitung verbunden, bietet aber besonders viele Einsatzmöglichkeiten [76]. In Betracht kommen vor allem Experimente zur Löslichkeit und Mischbarkeit von Stoffen, zur Elektrolyse, einige fotochemische und Farbreaktionen. Nicht geeignet sind Reaktionen von festen Stoffen, Experimente zum Verbrennungsvorgang oder solche, bei denen erhitzt oder stärker gekühlt werden muß. Auch quantitative Untersuchungen sind nur begrenzt möglich, da die Wärmeeinwirkung durch die Projektionslampe, die Seitenverkehrtheit, die Verzerrung von Skalen und Bre-

chungseffekte störend wirken können. Die Zugabe von Stoffen in die Küvetten erfolgt mit Tropfern oder Kanülen auf Injektionsspritzen.

Bei direktem Einsatz des Diaprojektors mit Küvetten entsteht ein auf dem Kopf stehendes Bild, das beispielsweise die Bewegung von Flüssigkeiten oder Gasblasen falsch wiedergibt. Das lenkt von der Beobachtung der wesentlichen Effekte ab. Deshalb ist es ratsam, den Strahlengang so umzulenken, daß ein aufrecht stehendes Bild erscheint. Dafür gibt es drei Möglichkeiten:

- Eine Kombination von zwei etwa rechtwinklig zueinander stehenden Planspiegeln wird ungefähr 20 cm vor dem Projektor so eingespannt, daß die Strahlen über den Projektor hinweg auf die hinter ihm angebrachte Projektionswand geleitet werden. So entsteht ein aufrechtstehendes seitenrichtiges Bild (Abb. 320). Nachteilig wirkt sich aus, daß beim Hantieren an den Küvetten der Strahlengang leicht vignettiert und damit die Projektion gestört wird.
- Die Nachteile des ersten Verfahrens können ausgeglichen werden, wenn unter einem flachen Winkel auf einen waagerechten Spiegel projiziert wird. Hier entsteht ein aufrechtes, jedoch seitenverkehrtes Bild, was aber in den meisten Fällen nicht stört. Allerdings werden bei diesem Verfahren, im Gegensatz zum erstgenannten, hohe Anforderungen an die Qualität des Spiegels gestellt (Abb. 321).
- In Analogie zur zweiten Möglichkeit kann auch ein rechtwinkliges Prisma, ein Umkehrprisma, benutzt werden. Durch schwaches Neigen bis zu  $15^\circ$  nach oben und unten kann etwas von der Richtung der optischen Achse abgelenkt werden.

#### 2.4.4. Projektion von Experimenten mit dem Tageslicht-Schreibprojektor

Seit der Einführung von Tageslicht-Schreibprojektoren in den Schulen werden diese Geräte auch zunehmend als Experimentprojektoren genutzt; denn der Umgang mit ihnen ist recht einfach [26] [62] [65] [66] [77] [78]. Es kann allerdings zu meist nicht so stark vergrößert werden wie bei der Diaprojektion, wenn nicht mit Vorsatzlinsen und einer erhöhten Auflagefläche gearbeitet wird.

Bei der Projektion von Experimenten mit dem Tageslicht-Schreibprojektor lassen sich zwei Arbeitsweisen ableiten,

- die Projektion bei normaler Lage des Geräts – die Horizontalprojektion – und
- die Projektion mit dem in einem Winkel von  $90^\circ$  gekippten Gerät – die Vertikalprojektion.

Die Verwendung des Tageslicht-Schreibprojektors für die *Horizontalprojektion*, also das Experimentieren auf der waagerechten Bildbühne, erfordert den geringsten Aufwand an Vorbereitungszeit. Wichtig ist vor allem, daß vor jedem Experiment die Bildbühne mit einer unbeschrifteten Projektionsfolie – besser noch mit einer Glasscheibe – bedeckt wird, um Verschmutzung und Beschädigung durch Chemikalien zu verhindern.

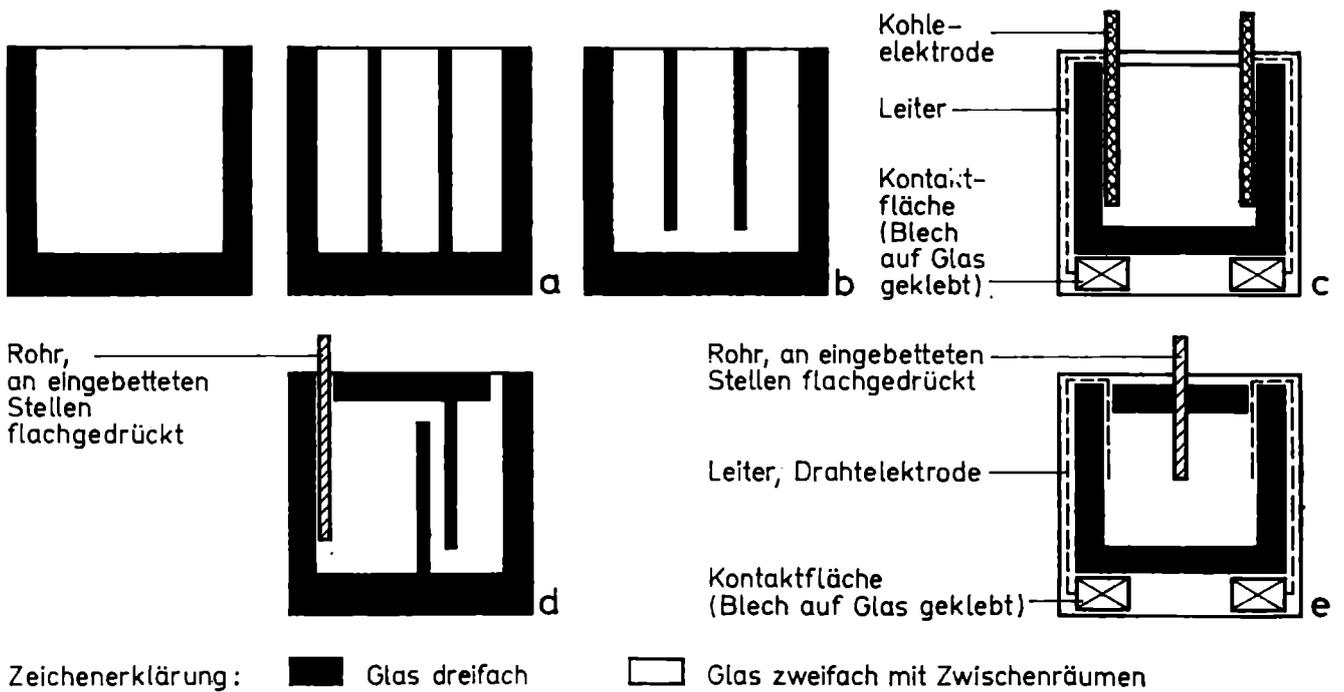


Abb. 319

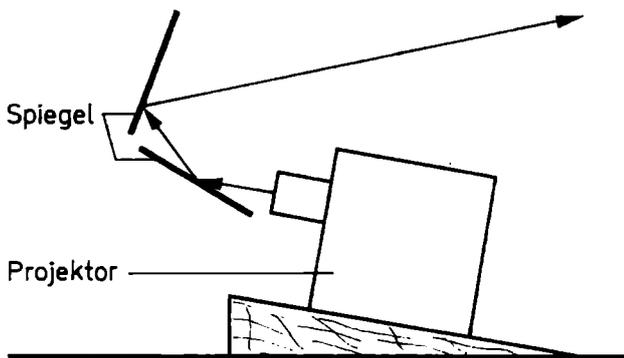


Abb. 320

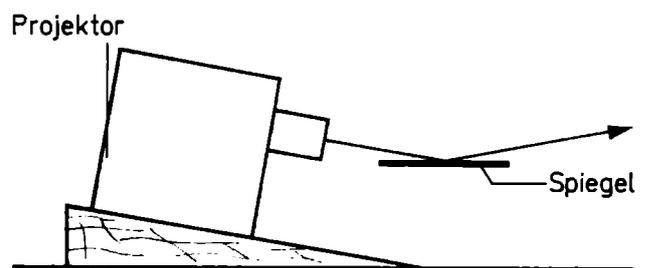


Abb. 321

- Abb. 319 Beispiele für verschiedene Formen von Küvetten nach H. B. Sawal
- a) Reaktion von Flüssigkeiten untereinander oder mit festen Stoffen,
  - b) Reaktion von Flüssigkeiten, c) Elektrolyseexperimente
  - d) Reaktion von Gasen mit Flüssigkeiten, e) Ionenwanderung
- Abb. 320 Umlenkung des Strahlengangs mit zwei Spiegeln
- Abb. 321 Umlenkung des Strahlengangs mit einem hochwertigen Spiegel

Als Reaktionsgefäße werden bei der Horizontalprojektion überwiegend Petrischalen oder Kristallisierschalen kleineren Durchmessers verwendet. Die Gefäße sind durch eingeklebte Stege aus Glas auch teilbar. Uhrglasschälchen sollten wegen ihrer konvexen Form in wassergefüllte Petrischalen gestellt werden. Weiterhin können Kolbenprober projiziert und damit die Bewegung des Kolbens gut sichtbar gemacht werden. Alle Reaktionsgefäße können mit Projektionsfolien unterlegt werden. Diese lassen sich mit geschriebenen oder gezeichneten Informationen zum Experiment, wie Markierungen und Skalen, versehen. Werden die Reaktionsgefäße direkt auf die Schutzfolie der Bildbühne gestellt, so wird die vom Kühlmotor ausgehende mechanische Schwingung auch auf das Experiment übertragen. Eine erschütterungsfreie Auflage der Reaktionsgefäße ist möglich, wenn das Reaktionsgefäß auf einen Stativring aufgelegt ist. Der Stativ-

ring sollte an einem Laborstativ so befestigt sein, daß er etwa 0,5 cm über der Bildbühne steht und das Stativ keine Berührung mit dem Tageslicht-Schreibprojektor hat.

Wichtige Hilfsmittel zur Horizontalprojektion sind Tropfer und Halbmikro-Gasentwickler. Die letztgenannten Geräte sind für die Darstellung der benötigten kleinen Gasvolumen besonders geeignet.

Außerhalb der vom Reaktionsgefäß eingenommenen Fläche ist es ratsam, auf der Schutzfolie eine unauffällige Farbmarkierung aufzutragen. Ein solches Zeichen erleichtert die Scharfeinstellung des Projektionsbilds auf der Projektionswand. Durch Bewegung des Stelltriebs für die Bildscharfe ist beim Experiment der Tiefenschärfebereich zu ermitteln, in dem die Effekte besonders deutlich zu beobachten sind. Von der Bildfläche ausgehend, erfolgt bei längerer Projektionszeit eine leichte Wärmeabgabe an die Chemikalien. Diese Energiezufuhr wirkt sich oft günstig auf den Reaktionsverlauf aus.

Um die Auswahl der durchzuführenden Experimente zu vergrößern, hat *H. B. Sawal* die Verwendung einer Küvette vorgeschlagen [77], die in einem Halter unter einem Winkel von etwa  $22^\circ$  auf die Bildfläche des Tageslicht-Schreibprojektors aufgelegt wird. Die Küvette der Größe  $26\text{ cm} \times 12\text{ cm}$ , die auch noch durch eine Vorküvette ergänzt werden kann (Abb. 323), wird aus zwei Glasplatten entsprechender Größe hergestellt, zwischen denen Distanzstreifen und Einfüllrohre (Kugelschreiberminen, die auch als Elektroden verwendbar sind) mit geeignetem wasserfestem Kleber befestigt werden.

Wird der Tageslicht-Schreibprojektor für die Vertikalprojektion verwendet, ist es notwendig, durch einen Spiegel den Strahlengang so umzulenken, daß auf eine normale senkrecht oder besser schwach geneigt hängende Wand projiziert werden kann. Dazu eignet sich besonders die spezielle Kippanordnung zum Tageslicht-Schreibprojektor (Abb. 322 und 324). Der Umrüstvorgang erfolgt, indem der Haltestab mit Projektorkopf vom Gehäuse des Tageslicht-Schreibprojektors entfernt und auf das Grundbrett des Ablenkspiegels aufgeschraubt wird. Danach ist der Grundkörper des Projektors in den Metallrahmen der Kippanordnung einzulegen.

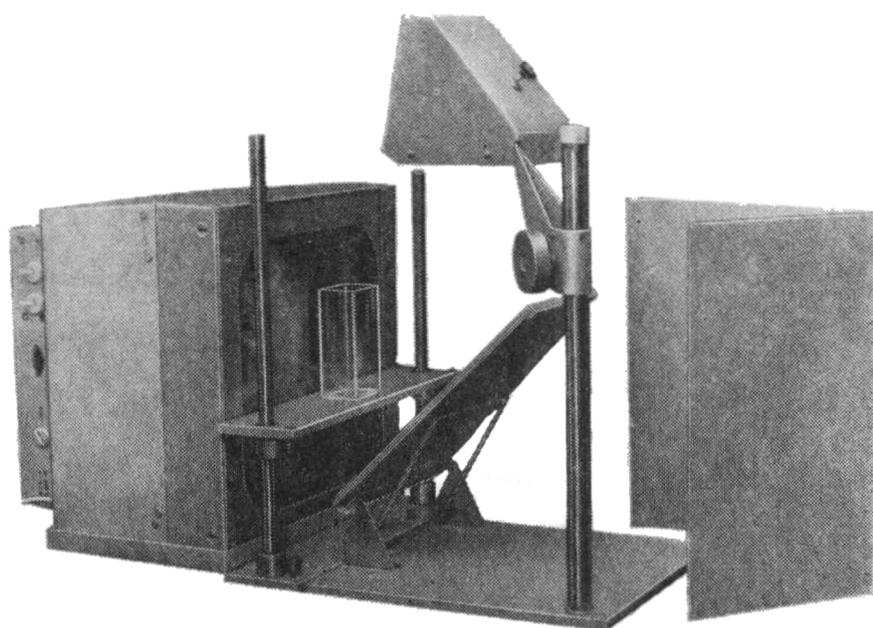


Abb. 322  
Anordnung der Küvette  
auf der Projektionsfläche  
des Tageslicht-Schreib-  
projektors

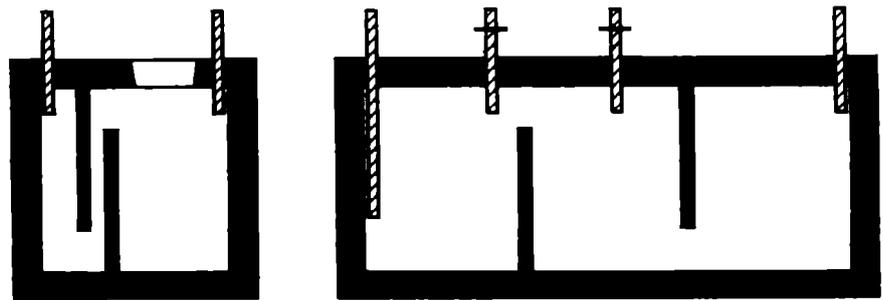


Abb. 323

Vorküvette

Hauptküvette

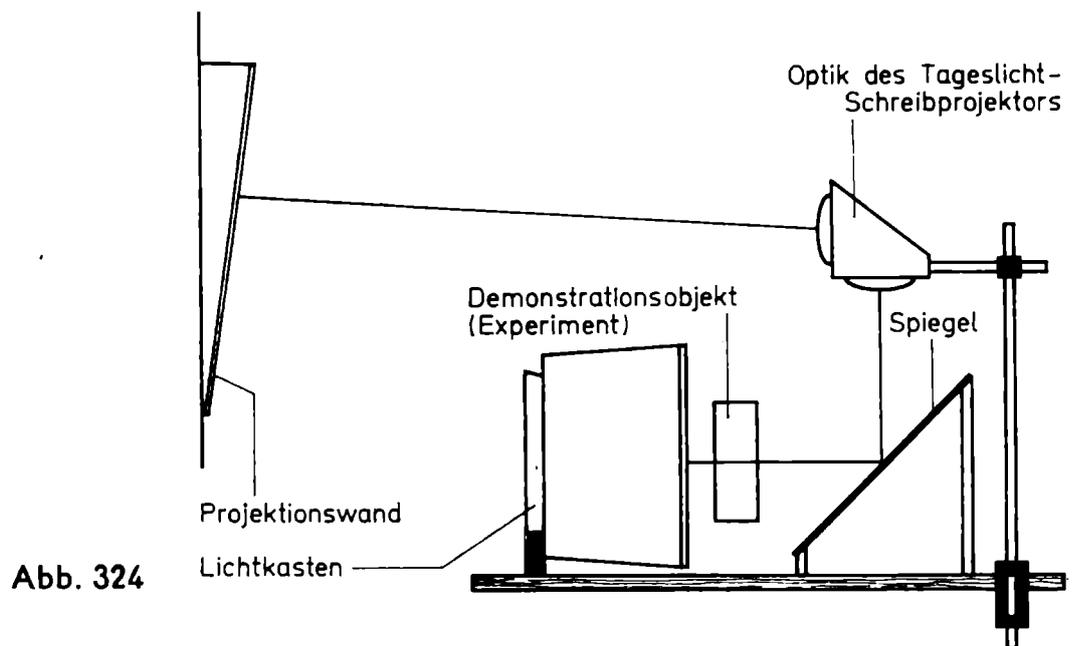


Abb. 324

Abb. 323 Küvetten für die Arbeit

auf dem Tageslicht-Schreibprojektor nach *H. B. Sawal*

Abb. 324 Verwendung des Tageslicht-Schreibprojektors in gekippter Lage

Die fertige Projektionsapparatur leitet die Lichtstrahlen, durch die zwei Spiegel um  $180^\circ$  abgelenkt, über den Grundkörper des Projektors auf die Projektionswand und ergibt ein seitenverkehrtes, aber aufrechtstehendes Bild.

Vor der Projektionsfläche des gekippten Geräts können auf der Experimentierbühne verschiedene Experimente in senkrechter Anordnung durchgeführt werden, wobei sich das Experiment bei entsprechender Gerätewahl als Ganzes oder nur in einem für das Beobachten durch die Schüler wesentlichen Ausschnitt projizieren läßt. Günstig ist die Verstellbarkeit der Experimentierbühne in der Vertikalen. An Stativstäben der Bühne oder zusätzlichen Halbmikro-Stativen können einzelne Geräte befestigt werden. Bei der Gestaltung der Experimentieranordnungen muß jedoch die begrenzte Tiefenschärfe beachtet werden.

Um ungünstige Brechungs- und Reflexionserscheinungen bei Verwendung originaler Geräte zu vermeiden, wird in letzter Zeit verstärkt auf das Arbeiten mit Küvetten hingewiesen. Nach Vorschlägen von *Kuhnert*, *Legall* und *Mayer* lassen sie sich leicht aus planen Glasplatten, Aluminium-U-Profilschienen und Moos-Dichtungsgummi in verschiedenen Formen herstellen ( $\nearrow$  Abb. 319, S. 297 und Abb. 323) [47].

Alle Apparaturen sind mit beschrifteten Folien kombinierbar. Die Folien werden an die vertikale Bildbühne gespannt. Für die Beschaffenheit der Reaktionsgefäße und Chemikalien gelten alle bisher bereits gegebenen Hinweise zur Projektionstechnik von Experimenten.

## 2.5. Techniken beim Zusammenstellen von Apparaturen

Für das Lösen einer experimentellen Aufgabenstellung im Unterricht ist es oft notwendig, verschiedene Arbeitstechniken anzuwenden und demzufolge auch aus verschiedenen Geräten und Apparaten größere Apparaturen zusammenzustellen. Bei aller Vielfalt der Gestaltung solcher Apparaturen lassen sich einige allgemeingültige Hinweise zum Aufbauen häufig benutzter Apparaturen geben.

### 2.5.1. Grundforderungen für den Aufbau von Apparaturen

Bei der experimentellen Vorbereitung des Chemieunterrichts hat der Lehrer die notwendigen Geräte für den Aufbau von Apparaten und Apparaturen zusammenzutragen, diese aufzubauen und in ihrer Funktion zu erproben.

Der richtige und zweckmäßige Aufbau von Experimentieranordnungen kann wesentlichen Einfluß auf den Erfolg der Experimente und damit zum beträchtlichen Teil auf den Erfolg einer Chemieunterrichtsstunde ausüben.

Für die Gestaltung von Experimentieranordnungen sind einige wesentliche Anforderungen zu stellen. Experimentieranordnungen sollen mit zweckentsprechenden Geräten übersichtlich und exakt aufgebaut sein. Die einzelnen Teile müssen *den zu erwartenden Reaktionsbedingungen* angepaßt sein. Dabei ist vor allem folgendes zu beachten:

- Das *Material* der Geräte muß zweckentsprechend sein.

*Beispiele:* Beim kräftigen Erhitzen fester Stoffe müssen Geräte aus schwer-schmelzbarem Glas gewählt werden. Beim Erwärmen von Flüssigkeiten können demgegenüber Geräte aus weniger temperaturbeständigem Glas zum Einsatz kommen (↗ Tab. 95, S. 312). Geräte, die schnell erwärmt und gekühlt werden sollen, müssen aus dünnwandigem Glas oder Porzellan bestehen. Beim Schmelzen von stark sauer reagierenden Stoffen sind keine Geräte aus Eisen zu benutzen. Die Wahl des Elektrodenmaterials bei elektrochemischen Experimenten hängt besonders von den Eigenschaften des Elektrolyten ab.

- Die *Form* der Geräte muß zweckentsprechend sein.

*Beispiele:* Für das Springbrunnenexperiment, bei dem ein beträchtlicher Unterdruck in dem Apparat auftritt, sind nur Rundkolben, keine Stehkolben oder

Erlenmeyerkolben, geeignet. Bei Gasentwicklern sollen ebenfalls nach Möglichkeit nur Rundkolben, keine Stehkolben und auf keinen Fall Saugflaschen, benutzt werden. Geräte, die stärker erwärmt werden, oder in denen exotherme Reaktionen ablaufen, dürfen keine ungleichmäßige Wanddicke und keinen kompakten Glasfuß besitzen.

- Die *Größen der Geräte* müssen aufeinander abgestimmt sein.

*Beispiele:* Beim pneumatischen Auffangen von Gasen hängt die Größe der pneumatischen Wanne von der Größe des Auffanggefäßes ab. Die pneumatische Wanne muß das verdrängte Wasser fassen können. Die Leistungsfähigkeit eines Gasentwicklers und die Abmessungen angeschlossener Apparate müssen so zueinander passen, daß ein ausreichender Gasstrom die Apparatur mit genügend großer Geschwindigkeit passieren kann. Auffanggefäße für Gase oder Flüssigkeiten dürfen nicht zu groß sein.

In den vorhandenen Experimentbeschreibungen sind meist Geräte angegeben, die den obengenannten Forderungen entsprechen. Wenn aber Experimentieranordnungen auf Grund von Bedingungen in der Schule abgewandelt oder neu entwickelt werden, so sind die vorstehenden Hinweise unbedingt zu beachten.

Experimentieranordnungen müssen *betriebs sicher* sein. Das wird bereits durch die richtige Auswahl der Geräte gewährleistet. Alle Arbeits- und Brandschutzbestimmungen müssen gewissenhaft eingehalten werden. Die Geräte sind standsicher aufzubauen. Ferner sind Sicherheitsvorkehrungen notwendig, um Gefahren bei einem unvorhergesehenen Verlauf eines Experiments abzuwenden.

*Beispiele:* Beim Arbeiten mit Wasserstoff und anderen brennbaren Gasen sind in die Apparatur Stahlwollensicherungen oder Sicherheitswaschflaschen einzubauen. Durch Einfügen von Sicherheitswaschflaschen läßt sich ein Überströmen von Flüssigkeiten in ein anderes Gefäß der Apparatur vermeiden. Beim Erhitzen brennbarer Flüssigkeiten sind genügend große Schalen unterzustellen. Zur Gewährleistung der Betriebssicherheit gehört auch, daß entstehende Gase aus Ableitungen oder Einschnitten im Stopfen von Apparaten entweichen können. Schlauchverbindungen und Verschlüsse von Geräten mit Stopfen müssen auf Dichtigkeit geprüft sein (↗ S. 321).

Beim Aufbau der Experimentieranordnungen muß auch das Prinzip der *Sparsamkeit* beachtet werden. Deshalb sind Geräte zu wählen, die bei geringstem finanziellen Aufwand den Reaktionsbedingungen und der Betriebssicherheit entsprechen. Das gilt für die Größe und Kompliziertheit der Geräte genauso wie für die Genauigkeit der eingesetzten Meßgeräte, die im richtigen Verhältnis zu den für die Geräteanordnung angegebenen Fehlergrenzen stehen muß.

*Beispiele:* Es ist unwirtschaftlich, ein sehr feingradiertes Rohr mit einer Skalengenauigkeit von  $0,1 \text{ cm}^3$  zum Auffangen von Gasen zu benutzen, wenn auf Grund der Genauigkeit der Stoffeinwaage oder der Besonderheiten des Reaktionsverlaufs höchstens eine Genauigkeit im Bereich von  $2 \dots 3 \text{ cm}^3$  zu erwarten ist. Schließlich vermeidet man auch unnötig lange Verbindungen zwischen den Geräten. Kurze Verbindungen tragen zur Verringerung des Volumens der Apparatur bei. Sie helfen Verbindungselemente, Ausgangsstoffe und Zeit sparen.

Besonders wichtig für den Chemieunterricht ist es, die Experimentieranordnung so zu gestalten, daß die *Wahrnehmbarkeit durch die Schüler* gesichert ist [36]. Das gilt für alle Experimente, besonders aber für Demonstrationsexperimente. Trotz der Entfernung zur Experimentieranordnung müssen die Schüler den Reaktionsablauf und damit verbundene Effekte gut beobachten können. Eine Voraussetzung ist ein möglichst einfacher und übersichtlicher, deutlich erkennbarer Aufbau der Apparatur. Dem Schüler soll nicht wegen einer großen Anzahl von Geräten mit untergeordneter Bedeutung die Übersicht verlorengehen (Abb. 325). Die meisten Schulexperimente lassen sich in sehr einfachen Apparaturen ausführen.

Die Sicherung guter Wahrnehmbarkeit ist aber auch für Schülerexperimente sehr bedeutungsvoll. Deshalb sind beispielsweise beim Halbmikro-Reagenzglasgestell und -reagenzglasständer (↗ S. 56), die in vielseitiger Weise als Halterungen für Geräte und Apparate benutzt werden, die Bohrungen seitlich so angeschnitten, daß alle Veränderungen innerhalb des Reagenzglases beobachtet werden können, die Standfestigkeit aber erhalten bleibt. Auch beim Halbmikro-Stativ (↗ S. 84) ermöglichen die schmalen Haltefedern eine gute Sicht auf die eingespannten Geräte.

Weiterhin ist die *Übersichtlichkeit einer Experimentieranordnung*, besonders bei Demonstrationsexperimenten, von großer Bedeutung für die Wahrnehmbarkeit durch die Schüler. Da bestimmte Formen bei der *Anordnung einer Apparatur* die Beobachtung begünstigen oder erschweren können, ergeben sich einige weitere Konsequenzen [52; S. 48ff.].

- Die Geräte und Apparate sollen so zur Apparatur zusammengestellt sein, daß sie eine einfache, für das Auge gewohnte Figur, meist ein Rechteck, bilden.
- Zusammengehörende Teile einer Apparatur sollten durch kurze Verbindungen zusammengefügt werden. Andererseits ist es möglich, durch lange Verbindungen Teile einer Apparatur „optisch abzutrennen“, etwa einen Gasentwickler, der für das Erfassen der wesentlichen Erscheinungen bei einem Experiment nicht wichtig ist.
- Da gleichartige und ähnliche Geräte aus der Entfernung als zusammengehörig erscheinen, sollten sich auf dem Experimentiertisch nur die zu einer Apparatur gehörenden Geräte befinden.
- Apparaturen sollten so angeordnet werden, daß der als gewohnt hervortretende Verbindungsverlauf auch dem Stofffluß entspricht.

Darüber hinaus sind folgende Grundsätze zu beachten:

- Alle Apparaturen sind so aufzubauen, daß die Vorgänge, vom Schüler aus gesehen, von links nach rechts ablaufen. Eine solche Anordnung ist wesentlich, weil das Auge gewöhnt ist, Erscheinungen, die nicht mit einem Blick zu erfassen sind, in dieser Weise zu verfolgen. Außerdem wird bei der Darstellung der Experimentieranordnung an der Tafel ebenfalls von links nach rechts gezeichnet.
- Einzelgeräte sind nebeneinander und nicht hintereinander anzuordnen. Bei der Halbmikrotechnik ist das durch die Konstruktion des Halbmikro-Stativs oder durch das Einstellen in das Halbmikro-Reagenzglasgestell gut möglich.

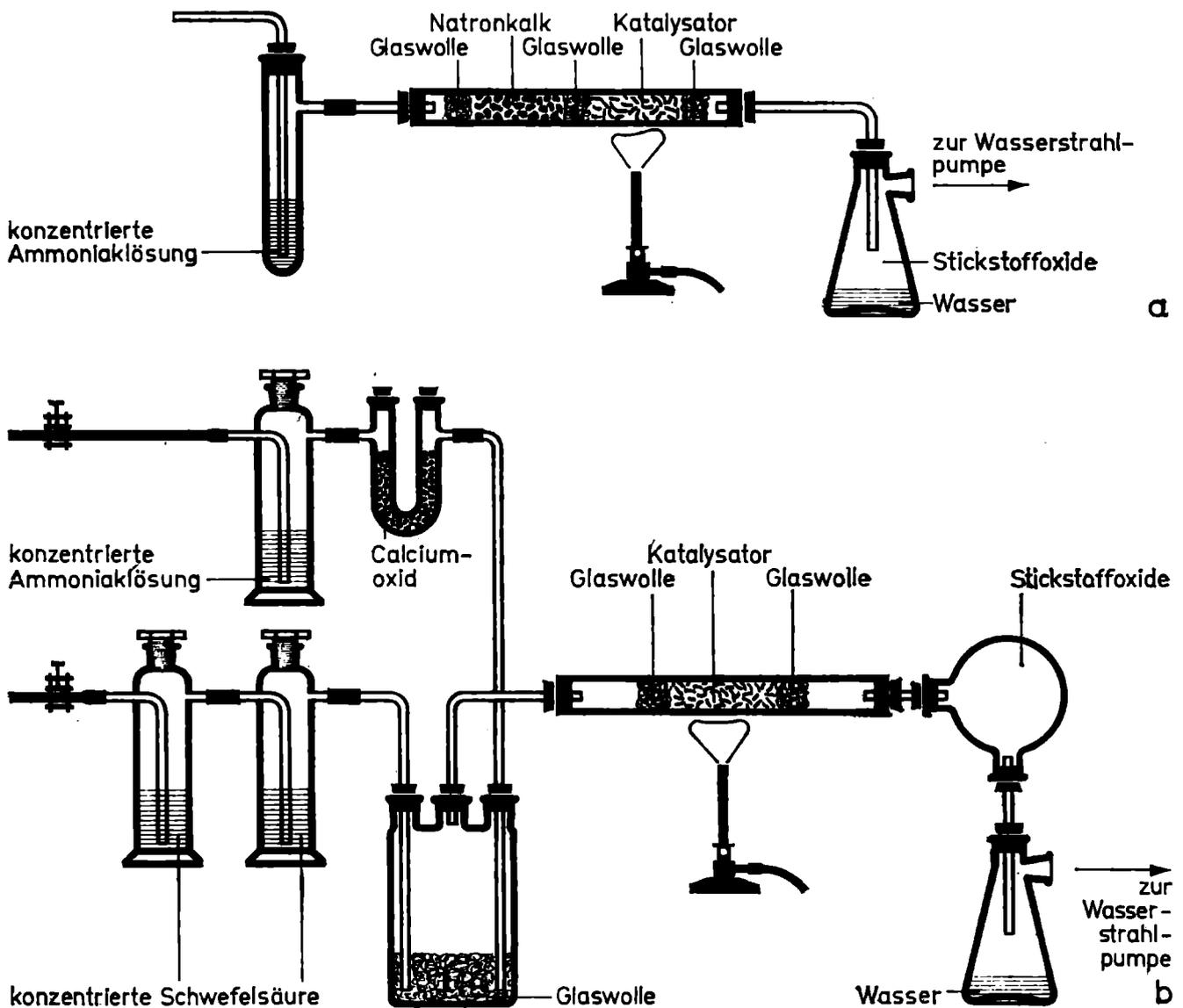


Abb. 325

Abb. 325 Apparaturen zur katalytischen Oxydation von Ammoniak  
a) einfache Apparatur, b) komplizierte Apparatur

- Stative sollen sich, vom Schüler aus gesehen, hinter den Geräten befinden, damit nicht Teile der Apparatur verdeckt werden. Der Lehrer muß sich also daran gewöhnen, daß sich die Stative beim experimentellen Arbeiten zwischen ihm und der Apparatur befinden.
- Klemmen oder andere Befestigungseinrichtungen sind so an den Geräten anzubringen, daß wichtige Einzelheiten, wie Skalen oder Flüssigkeitsoberflächen, sichtbar bleiben.

Schließlich sollen besonders bei Demonstrationsexperimenten wesentliche Erscheinungen hervorgehoben werden.

- Schwache Färbungen von Gasen und Flüssigkeiten sowie schwache Trübungen werden vor einem weißen beziehungsweise schwarzen Hintergrund deutlicher. Chlor oder Stickstoffdioxid sind zum Beispiel vor einem weißen, eine schwache weiße Fällung vor einem schwarzen Hintergrund besser sichtbar. Es ist deshalb ratsam, starke Pappe auf der einen Seite mit weißem, auf der ande-

ren Seite mit schwarzem Papier zu bekleben oder sie so zu bemalen. Mehrere solcher Pappen in verschiedenen Größen sollte jeder Lehrer im Experimentiertisch zur Verfügung haben. Bei der Anwendung muß der Hintergrund so groß gewählt werden, daß sich das unmittelbar davor gehaltene Objekt in der Mitte der Fläche befindet.

- Sperrflüssigkeiten können durch Färbung besser erkannt werden. Im einfachsten Falle läßt sich verdünnte Tinte verwenden. Vielfach sind auch Indikatoren geeignet. Es ist jedoch darauf zu achten, daß sich der Farbstoff nicht in unerwünschter Weise an der chemischen Reaktion beteiligt.
- Oft kann die Sichtbarkeit durch *seitliche Beleuchtung* mit einer Mikroskopier- oder Projektionslampe verbessert werden oder indem von unten mit einem Lichtkasten durchleuchtet wird.
- Schwer erkennbare Details sollen für die Schüler hervorgehoben werden, beispielsweise durch Skalen aus Pappe, Markierung des Flüssigkeitsstands in Röhren (↗ S. 141f.) oder durch Projektion (↗ S. 295ff.).

Der Aufbau von Experimentieranordnungen sollte den Schülern schließlich *Vorbild für Sorgfalt und Exaktheit* bei jeder Arbeit sein. Diese Wirkung kann durch saubere und im Winkel richtig gebogene Verbindungsrohre, kurze Schlauchverbindungen sowie die Anordnung der Geräte in einer aufeinander abgestimmten Höhe erreicht werden. Zum Ausgleich von Höhenunterschieden werden Unterlegklötze (↗ S. 98) benutzt.

Alle Geräte müssen sauber sein. Glasgeräte sind gut zu reinigen und mit einem Tuch nachzupolieren. Metallteile sollen möglichst nicht korrodiert sein. Es läßt sich kaum vermeiden, daß Stative, Brenner und andere Geräte durch aggressive Dämpfe gewissen Korrosionserscheinungen unterworfen sind. Die Geräte müssen deshalb in regelmäßigen Abständen gereinigt und, wenn nötig, nach dem Abreiben mit Sandpapier mit einem Anstrich von Farbe beziehungsweise 10 N Phosphorsäure, die 1% Thioharnstoff enthält, versehen werden. Auch Holzgeräte, wie Reagenzglasständer, sollen stets sauber sein.

## 2.5.2. Vereinheitlichung von Bauteilen für Apparaturen

Trotz der großen Vielfalt sehr unterschiedlich gestalteter Apparaturen, die im Chemieunterricht verwendet werden, ist es möglich, sich auf bestimmte Gerätegrößen und Apparate zu orientieren, mit denen viele Apparaturen nach dem Baukastenprinzip aufbaubar sind. Das hat neben der Rationalisierung der Vorbereitungsarbeit des Lehrers den Vorteil, daß sich die Schüler an bestimmte Formen der Realisierung von experimentellen Aufgaben gewöhnen.

Apparaturen werden manchmal vor der Unterrichtsstunde auf fahrbaren Ansatz-tischen zusammengestellt, sollen im allgemeinen aber vor den Augen der Schüler, bei Schülerexperimenten von den Schülern selbst aufgebaut werden. Das heißt aber nicht, daß die einzelnen Teile erst während des Unterrichts zuzurichten

sind (z. B. Glasrohre schneiden und biegen, Gummistopfen durchbohren). Es ist in jedem Falle zu empfehlen, fertige Bauteile zusammensetzen. Solche Bauteile, besonders Stopfen, in deren Bohrungen bereits Glasrohre, Tropftrichter und Elektroden eingeführt sind, sollte der Lehrer stets vorrätig haben. Darüber hinaus können auch einige häufig benutzte Apparate, wie Gasentwickler oder Reaktionsrohre (↗ Innendeckel vorn) vorbereitet bereitgehalten werden. Wichtige Voraussetzungen für eine solche Bereitstellung ist eine gründliche *Auswahl bei der Beschaffung der Geräte*.

Die Seitenrohre an Reagenzgläsern oder anderen Geräten, die Gaszuleitung und -ableitung von Gaswaschflaschen sollen zum Beispiel 8 mm Außendurchmesser haben. Bei Geräten mit Seitenrohren, die zu verbinden sind, ist ein einheitlicher Abstand der Rohre vom Boden wünschenswert. Halsweiten von Kolben und Reagenzgläsern sollen auf bestimmte Weiten festgelegt sein, damit Stopfen und Aufsätze ausgetauscht werden können.

Seit langem gibt es Bemühungen um eine Vereinheitlichung von Gerätegrößen, die zu verbindlichen Festlegungen für die Produktion geführt haben. Laborgeräte werden nur noch mit genau festgelegten Abmessungen hergestellt. Das enthebt den Lehrer aber nicht der Aufgabe, aus dem Angebot standardisierter Geräte verschiedener Größe diejenigen auszuwählen, die für die Zwecke seines Unterrichts am günstigsten und aufeinander abgestimmt sind.

Unter den gegenwärtigen Bedingungen müssen Fragen der zweckmäßigen Geräteauswahl vom Lehrer in drei Richtungen berücksichtigt werden; denn im Chemieunterricht finden *drei Gerätekomplexe* Verwendung:

- Kegelschliffgeräte, vorwiegend für Demonstrationsexperimente,
- Geräte mit Stopfenverbindungen für Demonstrationsexperimente und
- Geräte für Schülerexperimente, vorwiegend in der Halbmikrotechnik.

Bei *Schliffgeräten* ist die Standardisierung so weit fortgeschritten, daß es gegenwärtig möglich ist, alle für den Chemieunterricht erforderlichen Apparaturen aus entsprechenden Schliffbauteilen (↗ S. 78) in sehr kurzer Zeit zusammenzustellen. Die Verbindungen der Schliffbauteile sind einfach herzustellen, sauber und dicht. Schliffgeräte sind jedoch recht teuer und sehr vorsichtig zu behandeln (↗ S. 319). Deshalb wird es gegenwärtig kaum möglich sein, durchgängig zur Verwendung von Schliffgeräten überzugehen. Sie spielen vor allem bei Destillationen und Reaktionen eine Rolle, an denen organische Lösungsmittel beteiligt sind (Abb. 327; ↗ Innendeckel vorn).

Den wesentlichsten Anteil an Apparaturen für Demonstrationsexperimente haben noch immer *Anordnungen mit Gummistopfenverbindungen*. Zur Vereinheitlichung ist es ratsam, sich für die Normalsituation auf zwei Hals- und Rohrweiten und damit auch auf zwei Stopfenweiten festzulegen. Dann können verschiedene einfache Bauteile hergestellt werden (Tab. 94 und Abb. 326).

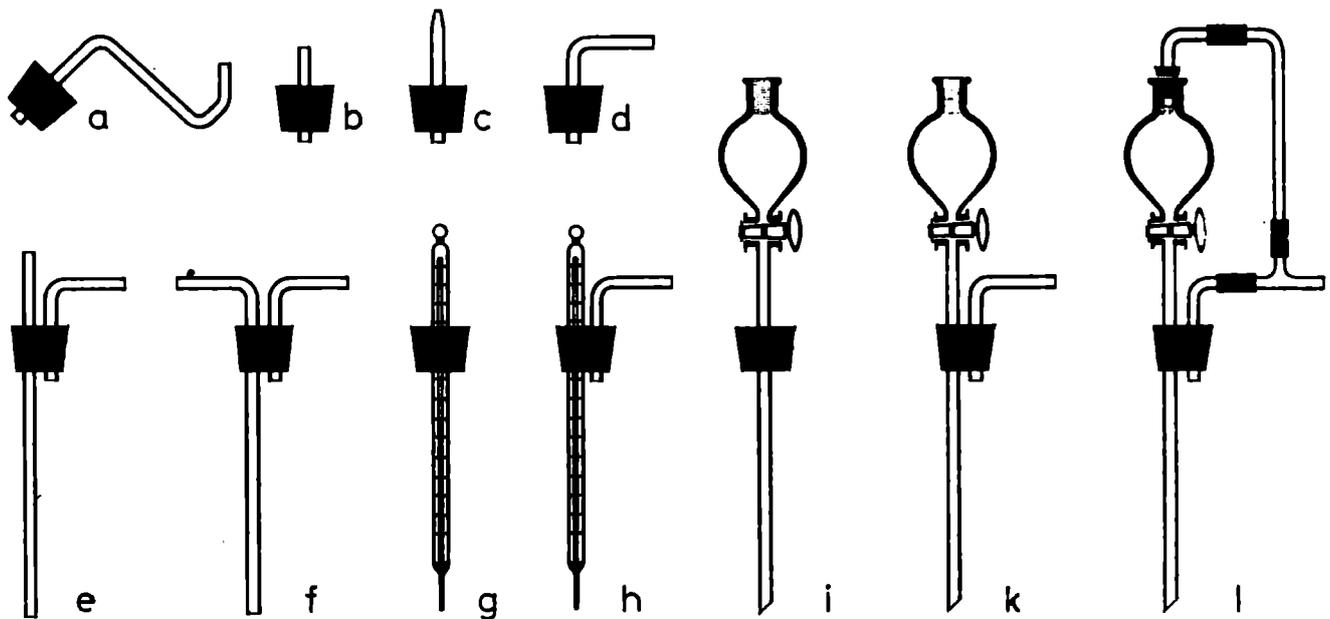


Abb. 326

Abb. 326 Bauteile zu Apparaturen für Demonstrationsexperimente

Tabelle 94 Vorschläge für Bauteile zu Demonstrationsexperimenten

Stopfengröße (großer Durchmesser in mm)	Verwendung für Bauteile nach Abb. 326	Größen weiterer Geräte	passend zu
17 ( $\cong$ NS 14,5/23)	a, b, c, d, e, f, g, i	Rohrdurchmesser 8 mm Tropftrichter 50 cm <sup>3</sup>	Reagenzglas 18 mm $\times$ 180 mm mit und ohne Seitenrohr, enghalsige Rundkolben 25 cm <sup>3</sup> , 50 cm <sup>3</sup> , 100 cm <sup>3</sup> , Stehkolben 50 cm <sup>3</sup> , 100 cm <sup>3</sup> , enghalsige Erlenmeyer- kolben 25 cm <sup>3</sup> , 50 cm <sup>3</sup> , 100 cm <sup>3</sup> , Verbrennungsrohre $d = 20$ mm, Destillierkol- ben 50 cm <sup>3</sup> , 100 cm <sup>3</sup>
32 ( $\cong$ NS 29/32)	d, e, h, k, l	Rohrdurchmesser 8 mm Tropftrichter 100 cm <sup>3</sup> oder 250 cm <sup>3</sup>	Reagenzglas 30 mm $\times$ 200 mm, enghalsige Rundkolben 250 cm <sup>3</sup> , 500 cm <sup>3</sup> , 1000 cm <sup>3</sup> , Stehkolben 250 cm <sup>3</sup> , 500 cm <sup>3</sup> , 1000 cm <sup>3</sup> , enghalsige Erlen- meyerkolben 200 cm <sup>3</sup> , 300 cm <sup>3</sup> , 500 cm <sup>3</sup> , weit- halsige Erlenmeyerkolben 100 cm <sup>3</sup>

Über solche einfachen Bauteile hinaus ist es ratsam, einen *Grundbestand an Apparaten* zu verwenden, in denen diese Bauteile oft Anwendung finden (Abb. 327,  $\nearrow$  Innendeckel vorn). Wenn einzelne Geräte nicht vorhanden sind, dann finden sich in den vorangehenden Abschnitten viele Ausweichmöglichkeiten.

Abb. 327

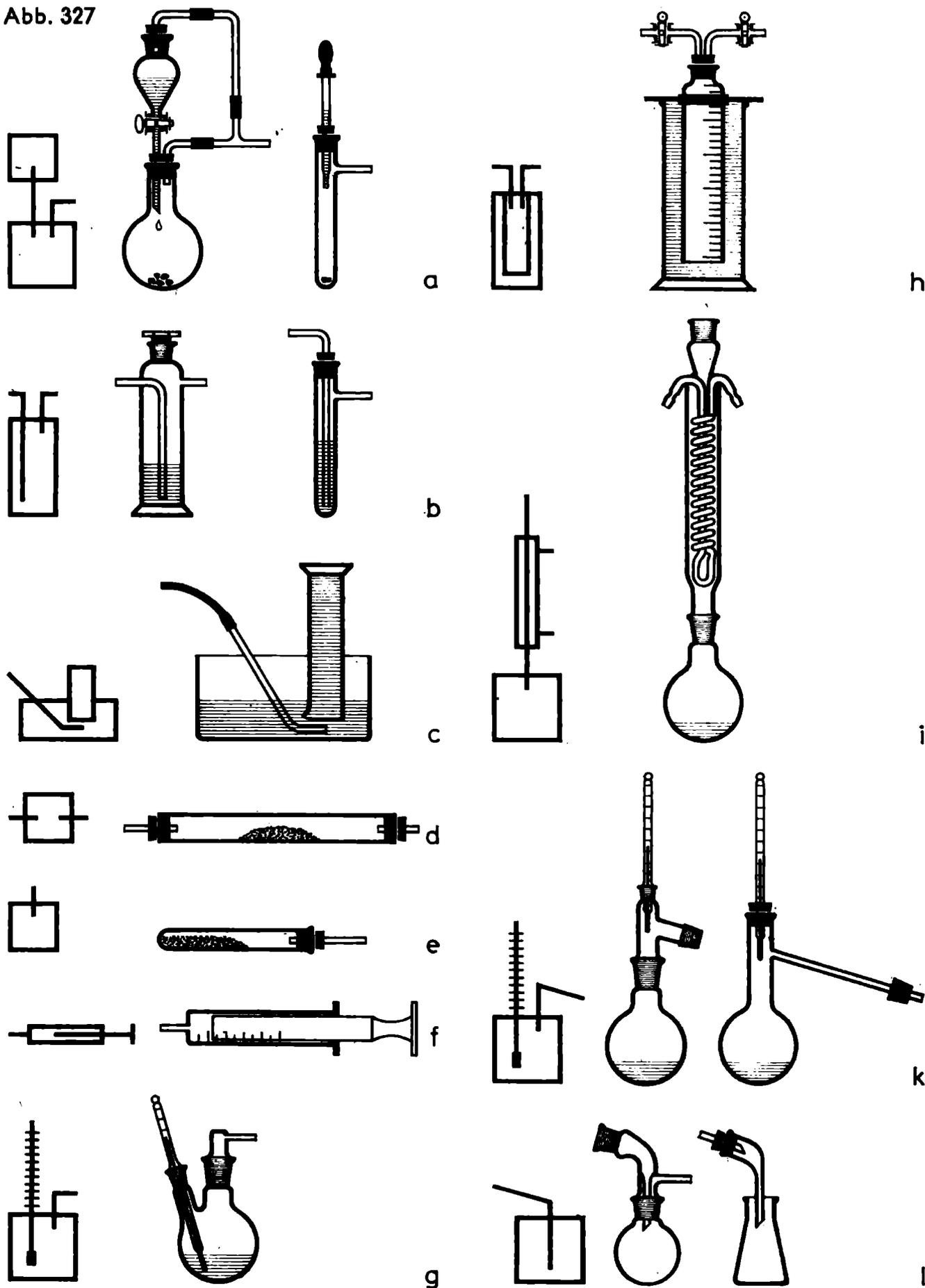


Abb. 327 Häufig benutzte Apparate für den Chemieunterricht a) Gasentwickler, b) Gaswäscher, c) pneumatische Gas auffangvorrichtung, d) Reaktionsrohr, e) Reagenzglas mit Ableitung, f) Kolbenprober, g) Reaktionskolben, h) Gasmeßglocke, i) Reaktionskolben mit Rückflußkühlung, k) Destillierkolben, l) Destillationsvorlage

*Apparaturen für Schülerexperimente* nach der Halbmikrotechnik können ebenfalls zweckmäßig mit Hilfe von Bauteilen zusammengestellt werden. Ist der Lehrer bei Schülerexperimenten in einzelnen Fällen auf die Makrotechnik angewiesen, so läßt sich für Reagenzgläser ebenfalls ein Satz an Stopfen mit Bohrungen vorbereiten. Werden Reagenzgläser der Größe 16 mm × 160 mm verwendet, so müssen dazu Stopfen mit dem oberen Durchmesser von 17 mm verarbeitet werden.

### 2.5.3. Einige wichtige Apparaturen

Die angeführten Bauteile lassen sich beim Aufbau von verschiedenen Apparaturen verwenden. Es seien zunächst vier häufig auftretende Apparaturen jeweils mit einer Prinzipdarstellung (↗ Innendeckel vorn) und einem Beispiel angeführt. Im ersten Fall wird ein Gas dargestellt und aufgefangen (Abb. 328). Im zweiten Fall wird das dargestellte Gas mit einer Flüssigkeit (Abb. 329), im dritten mit einem festen Stoff umgesetzt (Abb. 330). Schließlich ist ein Beispiel für eine Apparatur aus drei Apparaten dargestellt, die sich ergibt, wenn man an eine der beiden vorgenannten noch einen Gassammelapparat, zum Beispiel die pneumatische Gasauffangvorrichtung, oder einen Gaswäscher anschließt (Abb. 331). Diese Apparaturen werden oft noch durch verschiedene Geräte oder Apparate erweitert oder verändert. So lassen sich Apparate zum Reinigen oder Trocknen einfügen, statt des Zutropfgasentwicklers können andere Apparate zur Herstellung von Gasen, Dämpfen oder eines Luftstroms eingesetzt werden. Eine Variation der zuletzt genannten Apparatur ist beispielsweise die Apparatur zur Reduktion von Kohlendioxid mit Zink (↗ Abb. 176, S. 121).

Auch die im Zusammenhang mit den Arbeitstechniken der Halbmikrotechnik (↗ Abschnitt 2.2, S. 253) beschriebenen Apparate können nach dem Baukastenprinzip zu größeren Apparaturen zusammengestellt werden. Dabei ist es wichtig, daß außer bei der Verwendung der Rundkolben oder der Erlenmeyerkolben keine durchbohrten Stopfen benutzt werden müssen, sondern daß alle anderen Verbindungen und Dichtungen mit Hilfe von Gummischlauch erfolgen. Es gibt im Vergleich zur Makrotechnik keine Einschränkungen hinsichtlich der Zusammenstellung umfangreicher Apparaturen. Für die bisher angeführten vier häufig benutzten Apparaturen lassen sich demnach auch Ausführungen in der Halbmikrotechnik angeben (↗ Abb. 328 bis 331).

Als weitere häufig verwendete Apparatur ist die einfache Destillationsapparatur anzusehen (Abb. 332), die ebenfalls in verschiedener Weise variiert werden kann (↗ Abb. 237, S. 199).

Schließlich läßt sich für die Fälle, in denen bei Reaktionen entstehende oder umgesetzte Gasvolumen gemessen werden sollen, auf zwei Grundformen von Apparaturen allerdings nur in Makrotechnik hinweisen (Abb. 333 und 334), die bereits in anderer Form angeführt worden sind (↗ Abb. 218, S. 177, und Abb. 224, S. 183).

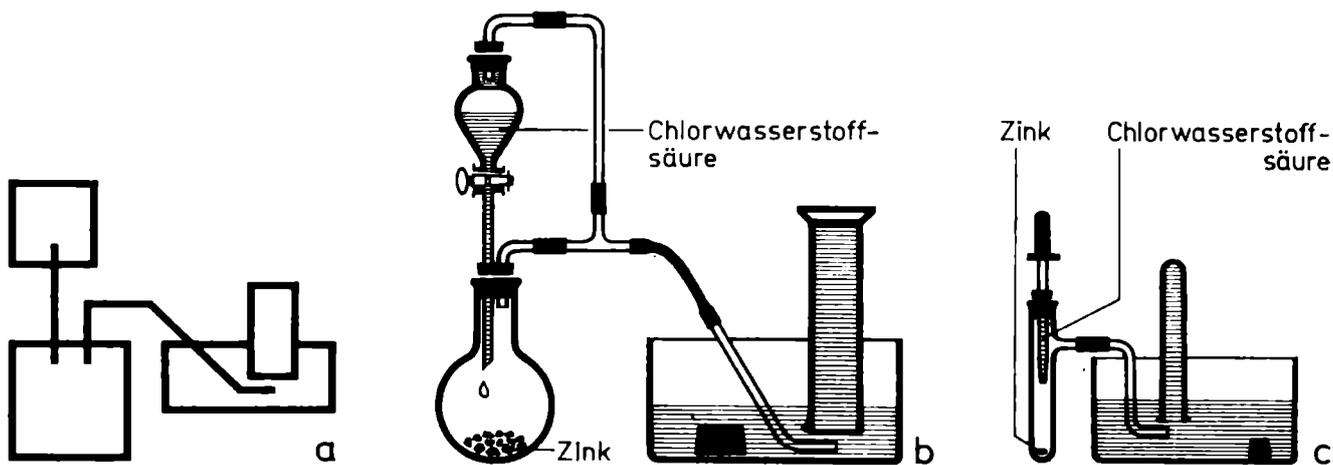


Abb. 328

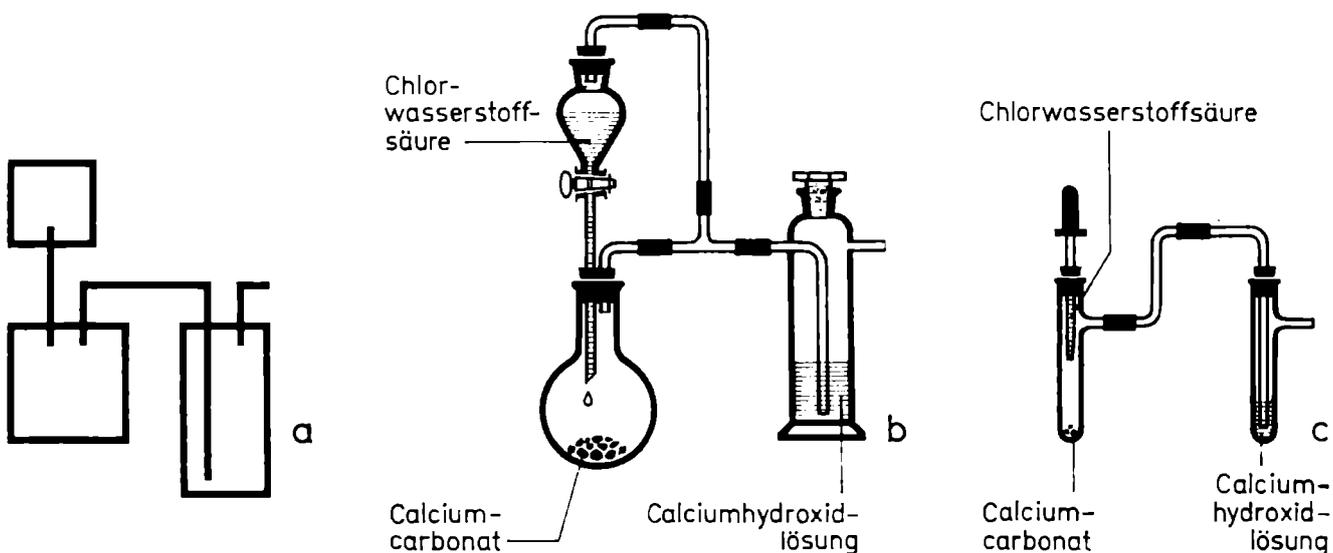


Abb. 329

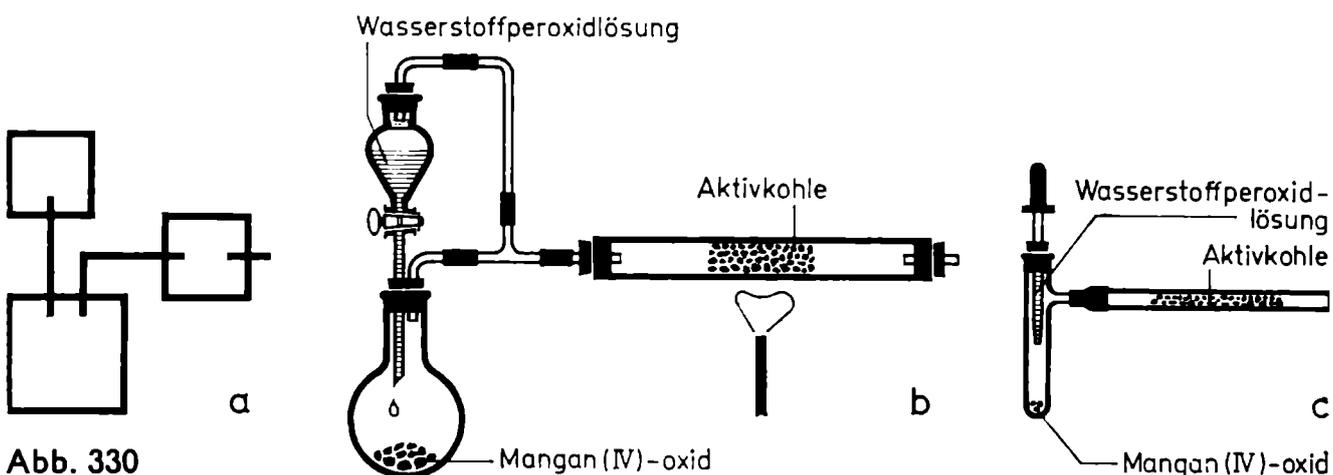


Abb. 330

Abb. 328 Apparatur zum Herstellen und Auffangen eines Gases

(Darstellung von Wasserstoff)

a) Prinzip, b) Apparatur für Makrotechnik, c) Apparatur für Halbmikrotechnik

Abb. 329 Apparatur zur Darstellung und Reaktion eines Gases mit einer Flüssigkeit  
(Darstellung von Kohlendioxid und Reaktion mit Calciumhydroxidlösung)

a) Prinzip, b) Apparatur für Makrotechnik, c) Apparatur für Halbmikrotechnik

Abb. 330 Apparatur und Reaktion eines Gases mit einem festen Stoff

(Darstellung von Sauerstoff und Reaktion mit Kohlenstoff)

a) Prinzip, b) Apparatur für Makrotechnik, c) Apparatur für Halbmikrotechnik

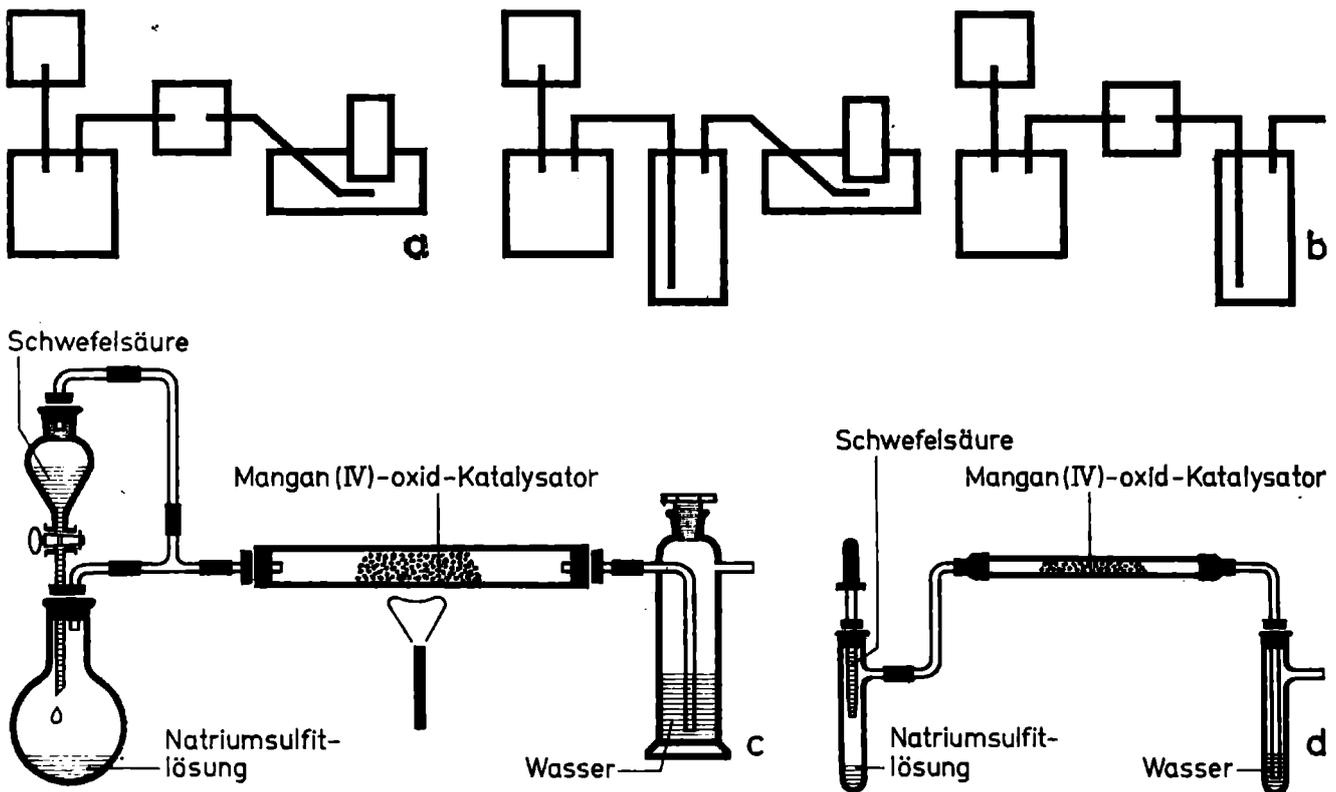


Abb. 331

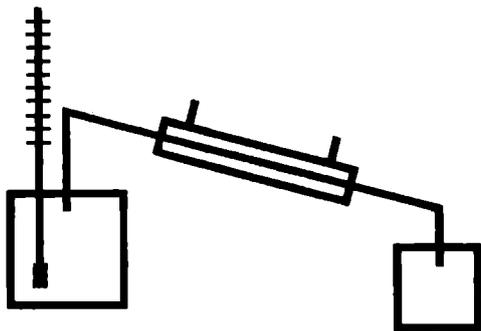


Abb. 332

Abb. 331 Apparatur aus drei Apparaten  
 a) und b) verschiedene Varianten im Prinzip,  
 c) Apparatur für Makrotechnik, d) Apparatur für Halbmikrotechnik  
 Abb. 332 Prinzip der Destillationsapparatur

## 2.5.4. Glasbearbeitung

### 2.5.4.1. Glassorten

Laborgeräte werden aus verschiedenen Glassorten (Tab. 95, S. 312) hergestellt. Diese besitzen unterschiedliche Eigenschaften, so daß eine Auswahl entsprechend den jeweiligen Reaktionsbedingungen möglich ist (↗ S. 300).

Die Auswahl des richtigen Geräteglases ist abhängig von der Temperatur, bis zu der erhitzt werden soll, und von der Temperaturwechselbeanspruchung. Zum Erwärmen von Flüssigkeiten sind Geräte aus Thüringer Normalglas oder Jenaer

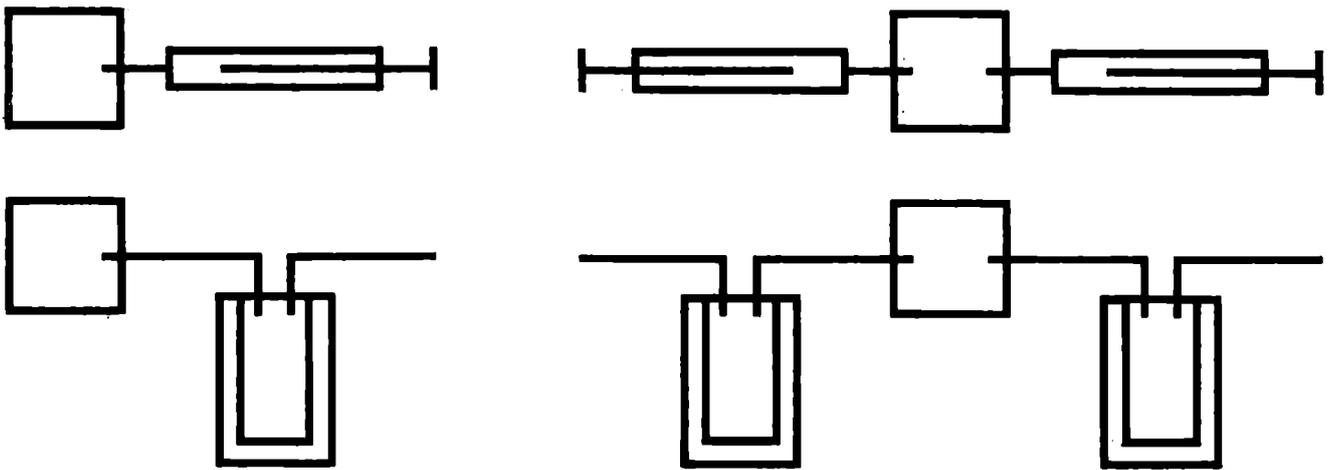


Abb. 333

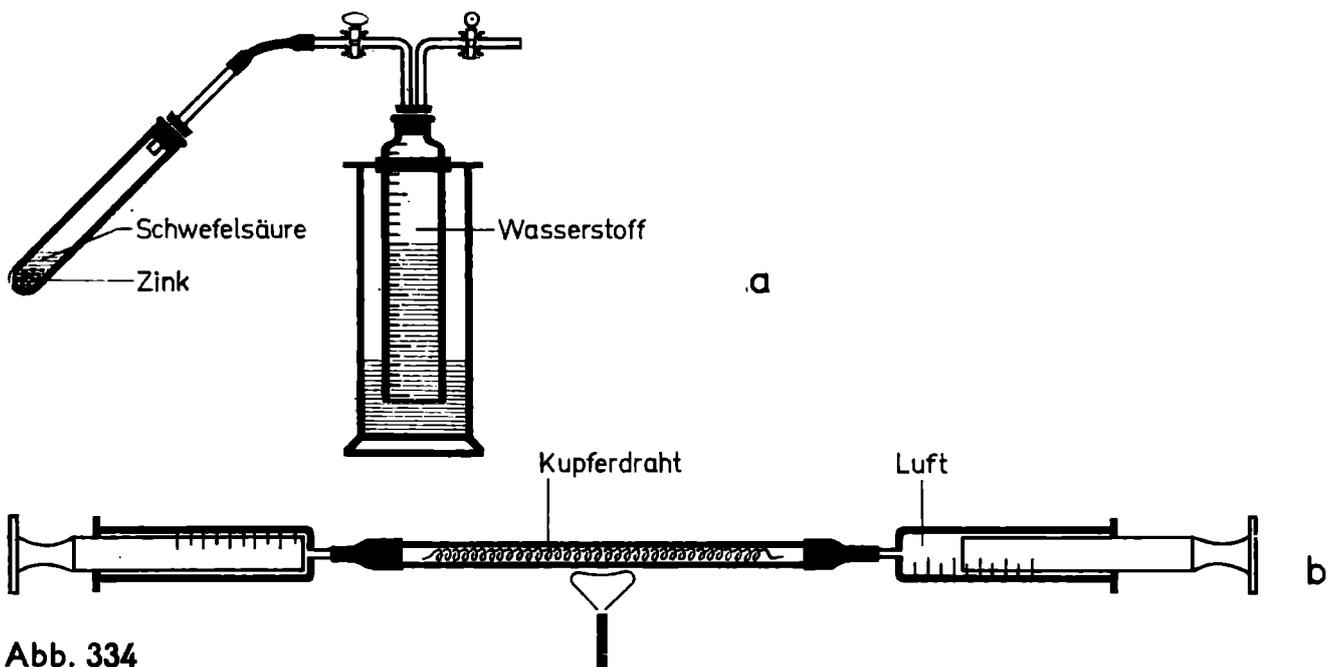


Abb. 334

Abb. 333 Grundformen von Apparaturen zur Messung von Gasvolumen

Abb. 334 Beispiele für Apparaturen zur Messung von Gasvolumen

a) Ermitteln des Wasserstoffvolumens

aus der Reaktion von definierten Massen Zink und Schwefelsäure

b) Ermitteln der Zusammensetzung der Luft mit Kupfer

Geräteglas 20 geeignet. Sollen feste Stoffe erhitzt werden, müssen Glassorten mit höherer Beständigkeit benutzt werden. Bei stark exothermen Reaktionen sind fast nur Geräte aus Supremax- oder Quarzglas zu verwenden. Je nach Eigenart der Experimente kann jedoch auch von diesen Regeln abgewichen werden. So wird die Reaktion von Schwefel mit Eisen oft in einem billigen, wenig temperaturbeständigen Reagenzglas ausgeführt. Bedeutungsvoll für den Einsatz bestimmter Glassorten im Chemieunterricht ist weiterhin die *Temperaturwechselbeständigkeit*. Sie steht in engem Zusammenhang mit dem linearen Ausdehnungskoeffizienten des Glases. Die Temperaturwechselbeständigkeit muß möglichst groß sein, wenn Geräte während der Durchführung des Experiments starken Temperaturschwankungen unterworfen sind oder wenn an verschiedenen Teilen des Geräts beträchtliche Temperaturunterschiede auftreten.

Tabelle 95 Glassorten

Bezeichnung	Linearer Ausdehnungskoeffizient $10^{-7}$	Transformations-temperatur <sup>1</sup> in °C	Temperaturbeständigkeit <sup>2</sup> in °C	Temperaturwechselbeständigkeit <sup>3</sup> in °C	Kennzeichen <sup>4</sup>	Einsatz	Hinweise zur Bearbeitung im Chemieunterricht
Thüringer Normalglas	84 ... 92	515 ... 530	150	sehr klein	ohne	billige, wenig beanspruchte Geräte, besonders zum Erhitzen von Flüssigkeiten	leicht bearbeitbar (sehr großer Bereich zur Bearbeitung)
Geräteglas 20	46	560	210	190	meist schwarzer Streifen; Ätzung „G“	Mehrzahl der Laborgeräte für etwas stärkere Beanspruchung	gut möglich
Duranglas	38	535	270	240	blauer Streifen; Ätzung „D“	Geräte, die stärkeren Temperaturschwankungen ausgesetzt sind	möglich
Rasothermglas	33	540	300	250	Ätzung „Rasotherm“	Geräte für noch höhere Temperaturbeanspruchung (einseitiges Erhitzen, Erhitzen fester Stoffe)	schwer möglich

<sup>1</sup> Temperatur, bei der Glas eine Viskosität von  $10^{13}$  Poise hat.

<sup>2</sup> Temperatur, bis zu der eine Erwärmung im Experiment ohne Gefahr erfolgen kann.

<sup>3</sup> Temperaturdifferenz, bei der ein beiderseits rundgeschmolzener und spannungsfrei gekühlter Glasstab von 30 mm Länge und 6 mm Durchmesser zerspringt, wenn er in Wasser von 20 °C gebracht wird.

<sup>4</sup> Andersfarbige Streifen deuten auf eine andere Gemengezusammensetzung hin.

Bezeichnung	Linearer Ausdehnungskoeffizient $10^{-7}$	Transformations-temperatur <sup>1</sup> in °C	Temperaturbeständigkeit <sup>2</sup> in °C	Temperaturwechselbeständigkeit <sup>3</sup> in °C	Kennzeichen <sup>4</sup>	Einsatz	Hinweise zur Bearbeitung im Chemieunterricht
Supremax-glas	33	710	500	210	Ätzung „S“ grünlich schimmernd, meist blasig	Geräte für sehr starkes Erhitzen (Verbrennungsrohre, Reagenzgläser); besonders beständig gegen Wasserdampf über 300 °C	kaum noch möglich
Quarzglas	5,4	1 500	1 000	äußerst groß	blasig, ungleichmäßige Oberfläche	Geräte mit höchster Beständigkeit gegenüber hohen Temperaturen und starken Temperaturschwankungen	nicht möglich

<sup>1</sup> Temperatur, bei der das Glas eine Viskosität von  $10^{13}$  Poise hat.

<sup>2</sup> Temperatur, bis zu der eine Erwärmung im Experiment ohne Gefahr erfolgen kann.

<sup>3</sup> Temperaturdifferenz, bei der ein beiderseits rundgeschmolzener und spannungsfrei gekühlter Glasstab von 30 mm Länge und 6 mm Durchmesser zerspringt, wenn er in Wasser von 20 °C gebracht wird.

<sup>4</sup> Andersfarbige Streifen deuten auf eine andere Gemengezusammensetzung hin.

## 2.5.4.2. Techniken der Glasbearbeitung

### Allgemeine Vorbemerkungen

Jeder Chemielehrer muß in der Lage sein, einfache Glasarbeiten, wie sie bei der Zusammenstellung von Apparaturen anfallen, selbst auszuführen. Fertigkeiten in der Glasbearbeitung erwirbt der Lehrer erst durch ständiges Üben der einzelnen Arbeitstechniken. Wie sich die einzelnen Glassorten bearbeiten lassen, hängt stark von ihren Eigenschaften ab (↗ Tab. 95, S. 312).

Als *Wärmequelle* stehen im Chemieunterricht im allgemeinen Bunsen- oder Propangasbrenner und Gebläsebrenner für Stadtgas beziehungsweise Propan und Luft zur Verfügung. Deshalb werden für formverändernde Arbeiten nur Gläser mit niedrigem Erweichungsbereich verwendet. Für die Bearbeitung ist es darüber hinaus günstig, wenn das Glas in einem größeren Temperaturbereich langsam erweicht, wie das beim Thüringer Normalglas der Fall ist.

Bei den meisten Arbeiten muß das Glas bis zur beginnenden Erweichung erwärmt und nach der Formveränderung wieder abgekühlt werden. Langsames und gleichmäßiges *Erwärmen und Abkühlen* des Glases ist eine wesentliche Voraussetzung für erfolgreiches Arbeiten. Auf Grund der geringen Wärmeleitfähigkeit des Glases führen ungleichmäßiges und zu schnelles Erwärmen und Abkühlen zu inneren Spannungen. Deshalb zerspringen zu schnell gekühlte Glasgeräte schon bei geringer Beanspruchung. Folgende Regeln sind zu beachten:

- *Erwärmen*: Vorwärmen des Gegenstands durch langsames Erhöhen der Flammentemperatur (leuchtende bis entleuchtete Flamme); danach Bearbeitungsstelle unter ständigem Drehen des Gegenstands allseitig kräftig erhitzen.
- *Abkühlen*: Flammentemperatur langsam bis zur leuchtenden Flamme senken und den Gegenstand dabei ständig in der Flamme bewegen, an der Luft auf einer Asbest- oder Holzunterlage weiter abkühlen lassen (nicht auf Metall oder Fliesen des Tisches legen); bei größeren Teilen besonders langsam verfahren und das bearbeitete Stück längere Zeit in der leuchtenden Flamme belassen.

### Trennen von Glasrohren

Glasrohre bis zu einem Durchmesser von 15 mm werden an der beabsichtigten Schnittstelle mit einer Dreikantfeile, einem Glasrohrschneider oder einem Hartmetallmesser (↗ S. 51) senkrecht zur Achse geritzt. Danach wird das Glasrohr an der angeritzten Stelle so gefaßt, daß die Daumen gegenüber dem Ritz liegen. Unter leichtem Zug in Achsenrichtung wird das Glasrohr nach außen durchgebrochen. Es empfiehlt sich, das Glasrohr mit einem Tuch anzufassen, um Verletzungen der Hand bei einem möglichen Zerspringen zu vermeiden.

*Stärkere Glasrohre* werden ringsherum eingeritzt und dann abgesprengt, wobei verschieden verfahren werden kann:

- Aufsetzen eines weißglühenden Glastropfens von einem dünnen Glasstab auf den Ritz, der etwa zwei- bis dreimal so stark wie die Wandung ist

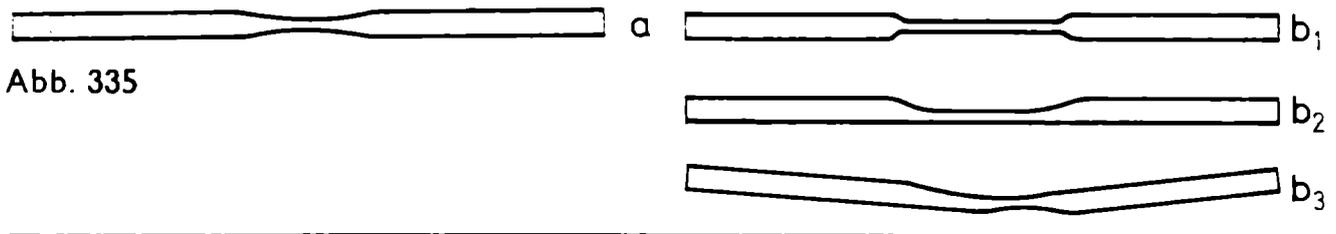


Abb. 335 Gut und schlecht ausgezogene Glasrohre

a) gute Ausführung, b<sub>1</sub>) zu enger Bereich erhitzt,

b<sub>2</sub>) ungleichmäßige Erwärmung, b<sub>3</sub>) nicht in Achsenrichtung ausgezogen

- Berühren der angeritzten Stelle mit einem hellrot glühenden, vorn halbkreisförmig gebogenen, etwa 3 mm starken Eisendraht
- Umlegen einer Heizspirale und Erhitzen auf Rotglut durch Anlegen einer Spannung.

Die scharfe Schnittkante ist abzurunden, indem das Ende des Glasrohrs kurze Zeit bis zur schwachen Rotglut in eine Flamme gehalten wird. Bei Glasrohren mit geringem Querschnitt und geringer Wandstärke ist vorsichtig zu verfahren, um ein Zusammenschmelzen oder eine Verengung des Rohrendes zu vermeiden.

### Ausziehen einer Spitze

Man erfaßt ein Glasrohr an jedem Ende mit einer Hand und bringt es über die Flamme eines Brenners mit Schlitzaufsatz oder in die große, nicht zu heiße Gebläsebrennerflamme. Zur Herstellung sehr kurzer Spitzen wird quer zum Brenneraufsatz erhitzt. Um das Glasrohr gleichmäßig zu erwärmen, wird es langsam und gleichmäßig gedreht, bis das erhitzte Stück glühend und weich ist. Das Glasrohr wird dann aus der Flamme genommen und schnell in Achsenrichtung auseinandergezogen. Wenn keine dünnwandige, leicht zerbrechliche Spitze entstehen soll, muß das Glasrohr nach dem Erweichen unter gleichmäßigem Drehen etwas gestaucht und dann außerhalb der Flamme auseinandergezogen werden. Nach dem Erkalten ist die Spitze entsprechend der gewünschten Öffnungsgröße abzuschneiden und die scharfe Kante abzurunden. Wenn diese Hinweise nicht genau beachtet werden, kann es zu unbefriedigenden Ergebnissen kommen (Abb. 335 b).

In der gleichen Weise können *Kapillarrohre* für Schmelztemperaturbestimmungen hergestellt werden. Dazu wird etwas starkwandiges Glasrohr in einem möglichst großen Bereich bis zum Erweichen erwärmt und danach schnell und kräftig auf etwa 50 ... 100 cm Länge ausgezogen. Die entstehende Kapillare ist in etwa 16 cm lange Stücke zu zerschneiden. Die Röhrchen werden in der Mitte durchgeschmolzen, wodurch jeweils zwei, an einem Ende zugeschmolzene Kapillarrohre entstehen.

### Biegen von Glasrohren

*Biegungen unter 90°* sind zu erreichen, wenn das Glasrohr über einem Brenner mit Schlitzaufsatz oder in einer großen, nicht zu heißen Gebläsebrennerflamme unter ständigem Drehen so lange erhitzt wird, bis es vollständig weich ist.

Biegungen von  $90^\circ$  und darüber herzustellen erfordert Übung, weil leicht Verengungen des Glasrohrs auftreten können. Auch hier wird das Glasrohr in einem möglichst großen Bereich stark erwärmt und schnell außerhalb der Flamme unter leichtem Zug bei gleichzeitigem schwachem Aufblasen gebogen. Das Aufblasen kann geschehen, wenn das linke Glasrohrende mit einem Bohrkern verschlossen und das rechte während des Biegens schnell zum Munde geführt wird. Treten dennoch schwache Einbuchtungen an der Innenseite des Bogens auf, so ist die Stelle nochmals mit einer kleinen Flamme zu erwärmen und in der geschilderten Weise aufzublasen. Die Rohrenden müssen nach dem Biegen in einer Ebene liegen. Gegebenenfalls ist nochmals zu erwärmen und zu richten.

### **Lösen festsitzender Glasstopfen**

Eingeschliffene Glasstopfen der Chemikalienflaschen sitzen häufig fest, wenn die Flaschen längere Zeit nicht benutzt worden sind. Diese lassen sich auf folgende Weise lockern:

- Mit einem hölzernen Gegenstand, zum Beispiel einem Hammerstiel, wird vorsichtig von unten an alle Seiten des Stopfenoberteils geklopft.
- Der Flaschenhals wird langsam und vorsichtig von allen Seiten über der Sparflamme eines Brenners erwärmt (Vorsicht! Gefahr des Zerspringens! Nicht direkt in die Flamme halten! Schutzbrille tragen!). Die Flasche darf bei diesem Verfahren keine feuergefährlichen Stoffe enthalten oder solche, die leicht verdampfen oder leicht Gase abgeben.
- Der Flaschenhals wird ein- bis zweimal mit einer Schlinge aus Hanfschnur umwickelt, deren eines Ende an einen festen Gegenstand zu binden ist. Das äußere Ende ist mit der Hand zu fassen und die Flasche mehrmals hin- und her-zuziehen.

Der Stopfen darf erst wieder aufgesetzt werden, nachdem der Flaschenhals erkaltet ist, da er sonst bei dessen Abkühlung sofort wieder festklemmt. Bei unbenutzten Vorratsflaschen und Geräten, wie Gasentwicklern oder Gaswaschflaschen, läßt sich das Festklemmen eingeschliffener Teile vermeiden, indem ein Papierstreifen oder Wollfaden zwischen die Schiffe gelegt wird.

## **2.5.5. Stopfenbearbeitung**

### **2.5.5.1. Gummistopfen**

Geräte werden meist mit Gummistopfen verschlossen. Diese schließen dichter als Korkstopfen. Das erweist sich beim Arbeiten mit Gasen, vor allem bei quantitativen Untersuchungen, als sehr zweckmäßig. Wird mit gummilösenden Stoffen, zum Beispiel Diethylether, Kohlendisulfid und Benzin, gearbeitet, so dürfen Gummistopfen nur verwendet werden, wenn sie mit Aluminiumfolie geschützt sind. Dann

werden aber häufig Korkstopfen oder Schliffgeräte (↗ S. 78) eingesetzt. Zum Einführen von Laborthermometern und Glasrohren in Stopfen müssen diese durchbohrt werden.

Folgende Tätigkeiten sind beim *Bohren* durchzuführen:

- Unter den vorhandenen Bohrern wird derjenige ausgewählt, der etwa genauso stark wie das einzuführende Glasrohr ist.
- Der Stopfen wird mit der größeren Fläche auf eine Unterlage aus weichem Holz gelegt.
- Die geschärfte Seite des Bohrers ist in Wasser oder in Glycerol zu tauchen.
- Der Bohrer wird senkrecht in einer Richtung unter leichtem Druck durch den Stopfen gedreht.
- Durch Hin- und Herdrehen ist der Bohrer wieder herauszuziehen.
- Der Bohrkern ist mit einem starken Metalldraht aus dem Bohrer herauszustößen. Einige Bohrkern sollten gesammelt werden, da sie sich gut zum einseitigen Verschließen von Gummischlauchstücken und Glasrohren beim Glasbiegen eignen. Lassen sich Bohrkern nicht entfernen, so können sie vorsichtig aus dem Metallrohr herausgebrannt werden.

Die Metallrohre des Stopfenbohrers können mit Hilfe eines *Stopfenbohrerschärfers* (↗ S. 86) wieder angeschärft werden. Dazu werden sie auf die als Kegel ausgebildete Seite des Stopfenbohrerschärfers gedrückt. Mit der Hand wird dessen Griff erfaßt. Der bewegliche Teil des Geräts ist mit dem Daumen gegen den Stopfenbohrer zu drücken und dieser entgegengesetzt zum Stopfenbohrerschärfer zu drehen. Wesentlich leichter lassen sich Stopfen mit einer *Stopfenbohrmaschine* (↗ S. 86) bearbeiten. In das Futter am drehbaren Teil der Maschine sind Stopfenbohrer geeigneter Größe einzuspannen. Nachdem das Stopfenbohrerrohr dann innen und außen mit Wasser oder Glycerol befeuchtet ist, wird der Stopfen, der dabei auf einer Unterlage aus Holz liegt und mit einer Haltevorrichtung befestigt ist, durch Drehen des Handrads der Maschine durchbohrt.

*Glasrohre* werden unter leichtem Druck drehend in die Bohrung eingeführt, nachdem vorher die scharfen Kanten des Glasrohrs rundgeschmolzen worden sind. Das Einführen wird erleichtert, wenn das Glas mit Wasser, Glycerol oder Paraffinöl gleitfähig gemacht worden ist. Das Glasrohr darf beim Einführen in den Stopfen nicht auf eine Unterlage aufgesetzt werden. Um Verletzungen bei einem eventuellen Bruch des Glases zu vermeiden, ist vorgeschrieben, die Hände durch Handschuhe oder einen Lappen zu schützen und das Glasrohr dicht am Stopfen zu fassen.

*Gummistopfen*, die auf Glasrohren fest sitzen, lassen sich entfernen, wenn man sie durch Druck mit dem Daumen auf einer Seite vom Glasrohr abhebt, etwas Wasser in den Zwischenraum gibt und dieses durch Kneten des Stopfens in der Bohrung verteilt.

Ferner ist es möglich, ein passendes Stopfenbohrerrohr über das Glasrohr zu schieben und dieses dann herauszuziehen. Harte und brüchige Gummistopfen können durch Einlegen in Glycerol wieder brauchbar gemacht werden. Auch eine 1%ige Kaliumpentasulfidlösung läßt sich verwenden. Die Stopfen werden im allgemeinen mit Wasser gereinigt.

### 2.5.5.2. Korkstopfen

Korkstopfen werden besonders dann benutzt, wenn Gummistopfen auf Grund der Eigenschaften der in einer Apparatur vorhandenen Stoffe ungeeignet sind. Für das Arbeiten mit Halogenen sowie konzentrierter Schwefel- und Salpetersäure sind Korkstopfen nicht zu verwenden. Die Korkstopfen sollen aus gutem Material bestehen und ihre Poren parallel zu den ebenen Flächen verlaufen, damit Gase nicht zu schnell hindurchdringen können. Die Stopfen werden bei längerer Lagerung hart. Sie müssen daher vor der Verwendung wieder weich gemacht werden. Das kann auf folgende Weise geschehen:

- Mehrmaliges Quetschen in einer Korkpresse
- Rollen unter einem belasteten Brettchen auf der Tischplatte
- Übergießen mit heißem Wasser, anschließendes Einlegen in ein Gemisch von 15 Teilen Wasser und 1 Teil Salicylsäure, Waschen mit reinem Wasser und Trocknen an der Luft.

Das Bohren von Korkstopfen erfolgt wie bei Gummistopfen (↗ S. 317).

*Paraffinierte Korkstopfen* sind gasdicht und wasserundurchlässig, lockern sich allerdings leicht. Zum Paraffinieren werden die Stopfen einige Minuten in flüssiges Paraffin bei 120 °C eingelegt und gegebenenfalls noch mit Aluminiumfolie überzogen. Auf Geräten, insbesondere Flaschen, lassen sich Stopfen durch Bindfaden mittels „Apothekerknoten“ oder durch Draht befestigen (Abb. 336).

Gebrauchte Stopfen können auf folgende Weise gereinigt werden:

- Einlegen in eine heiße Kaliumpermanganatlösung in einem Tongefäß, Abspülen nach 24 h und Nachbehandlung mit einer Natriumthiosulfatlösung [63].
- Nacheinander werden die Korkstopfen 24 h mit lauwarmer Chlorkalkaufschlammung in Wasser, 24 h mit 0,75 M Schwefelsäure (7% ig), erneut mit Wasser und anschließend mit 0,1 M Natriumcarbonatlösung (1,5% ig) behandelt. Nach wiederholtem Abspülen ist an der Luft zu trocknen [63].

### 2.5.6. Schlauchverbindungen

Glasrohre und Geräte werden oft durch möglichst kurze Schlauchstücke verbunden. Deshalb ist ein entsprechender Vorrat an Gummischläuchen erforderlich. Hauptsächlich werden weiche Schläuche von 6 mm lichter Weite benötigt. Es ist ratsam, neben längeren Schlauchstücken eine größere Anzahl 5 cm, 10 cm und 15 cm langer Schlauchstücke in einem besonderen Fach des Experimentiertisches bereitzuhalten. Schlauchverbindungen sind nicht geeignet für Flüssigkeiten oder Gase, die Gummi angreifen (↗ Gummistopfen, S. 316). In solchen Fällen werden nur Glasrohre verwendet oder Schliffgeräte eingesetzt. Lassen sich Schlauchverbindungen nicht vermeiden, so ist Glas an Glas zu setzen und ein Schlauchstück darüber zu ziehen. Beim Arbeiten mit Chlor, können Polyvinylchloridschläuche benutzt werden.

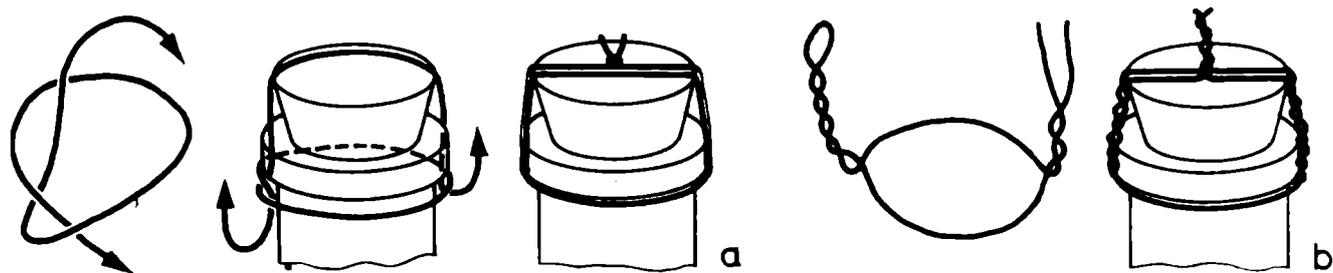


Abb. 336

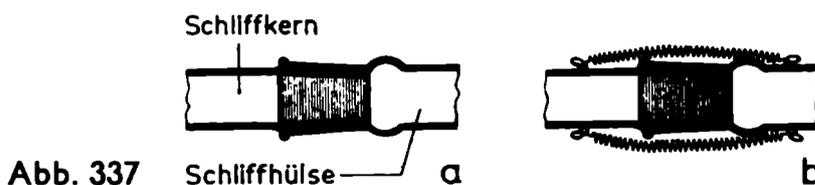


Abb. 337

Abb. 336 Apothekerknoten (a) und Drahtbefestigung (b) für Stopfen

Abb. 337 Zusammengefügte Schlißbauteile a) ohne Spiralfedern, b) mit Spiralfedern

Gummischläuche sind für Temperaturen bis zu 110 °C, kurzzeitig auch bis zu 150 °C geeignet.

Neue Schläuche enthalten Talkum. Vor der ersten Benutzung ist es mit Wasser und verdünnten Alkalimetallhydroxidlösungen zu entfernen. Außerdem muß vor dem Einsatz jedes Schlauchstück auf eventuelle Verstopfungen überprüft werden. Schläuche lassen sich bequem auf Glasrohre schieben, wenn diese vorher mit Wasser oder Glycerol befeuchtet werden. Das Festbacken der Schläuche am Glasrohr läßt sich durch Siliconöl oder -fett vermeiden. Um eine Verbindung von Schläuchen verschiedener Weite herzustellen, werden Glasrohre mit einer Schlaucholive oder Verbindungsstücke mit Doppeloliven verwendet (→ S. 20).

Nach jeder Verwendung sind die *Schläuche* gründlich mit Wasser zu reinigen, gegebenenfalls müssen sie einige Zeit in destilliertes Wasser gelegt werden. Falls sie mit sauren Gasen (z. B. Stickstoffoxiden) oder Chlor in Berührung gekommen sind, werden sie gründlich mit Wasser gespült, indem man Leitungswasser durchströmen läßt. Eventuell kann auch vorher mit verdünnter Natriumhydroxidlösung behandelt werden. Anschließend sind die Schläuche zum Trocknen so aufzuhängen, daß keine Knickstellen entstehen.

## 2.5.7. Kegelschliffverbindungen

In der chemischen Laborpraxis spielen Schlißgeräte (→ S. 78) bereits eine hervorragende Rolle, da sie sich schnell und bequem zu Apparaten und Apparaturen zusammenfügen lassen (Abb. 337a). Auch für Demonstrationsexperimente im Chemieunterricht werden solche Geräte von einigen Lehrern eingesetzt. Diese Tendenz wird sich fortsetzen, zumal die Laborgeräteindustrie immer mehr zur ausschließlichen Herstellung von Schlißgeräten übergeht. Im Chemieunterricht stehen aber einem Einsatz solcher Bauteile noch einige Schwierigkeiten entgegen [58]:

- Schliffgeräte sind sehr empfindlich und erfordern sehr *sorgfältige Behandlung* (keine Spannung beim Einspannen, gleichmäßiges Erwärmen, andere Handhabung als bei Stopfen). Der Lehrer muß dem Aufbau der Apparaturen im Unterricht weit größere Aufmerksamkeit widmen als bisher.
- Die *Anschaffungskosten* für Schliffgeräte sind höher als bei Geräten mit Stopfenverbindung, zumal im Chemieunterricht ein recht hoher Verschleiß an Schliffgeräten anzusetzen ist.
- Eine *Reparatur* beschädigter Schliffgeräte, die die Rentabilität des Arbeitens mit ihnen erhöhen könnte, ist für die Schulen nur schwer zu erreichen.

Daraus ergeben sich folgende Schlußfolgerungen:

- Für viele Bauteile, zum Beispiel Gaswaschflaschen und Glasstopfen, ist der Übergang zu ausschließlicher Verwendung von Schliffgeräten auch im Chemieunterricht zu begrüßen.
- Schliffapparaturen werden vornehmlich bei Demonstrationsexperimenten aus dem Bereich der organischen Chemie einzusetzen sein, bei denen häufig gummlösende Stoffe auftreten. Eine vollständige Umstellung ist gegenwärtig noch nicht möglich.
- Bei Schülerexperimenten scheiden Schliffapparaturen vorläufig aus.

Jeder Lehrer hat deshalb nach sorgfältiger Überlegung zu entscheiden, in welchem Umfang er Schliffgeräte in seinem Unterricht einsetzt.

Für das Arbeiten mit Schliffgeräten sind einige ergänzende Hinweise erforderlich: Um Schliffgeräte gegen Auseinanderrutschen zu sichern, sind unterhalb der Schliffverbindungen Glashäkchen angeschmolzen, in die Wendelfedern eingehängt werden können (Abb. 337 b).

Die *Schliffflächen* müssen beim Zusammenbau der Geräte stets sauber sein. Alle Fremdkörper, sogar Staub, können Beschädigungen hervorrufen. Außerdem sollen die Schliffflächen grundsätzlich mit wenig Hahnfett eingerieben werden. Dadurch werden die Schliffe dicht und die Geräte lassen sich später wieder leicht auseinandernehmen. Nur in besonderen Fällen, zum Beispiel beim Arbeiten mit fettlösenden Substanzen, muß auf Hahnfett verzichtet werden. In solchen Fällen kann jedoch mit Graphit oder Kapsenberg-Schmiere gearbeitet werden.

Beim *Zusammenfügen der Schliffbauteile* ist folgendes zu beachten:

- Werden Schliffbauteile innerhalb einer Apparatur erwärmt, so soll sich die Schliffhülse stets an dem Gerät befinden, das der Wärmequelle am nächsten liegt.
- Damit Flüssigkeiten oder feste Stoffe an Schliffen nicht mit Fett in Berührung kommen, soll sich der Schliffkern stets am höher liegenden, die Schliffhülse am tieferliegenden Gerät befinden.
- Müssen bestimmte Teile der Apparatur ausgewechselt werden, so sind die Teile so zu wählen, daß der Austausch ohne Schwierigkeiten erfolgen kann. Kolben, die beispielsweise als Vorlage auszuwechseln sind, wird man mit der Schliffhülse auf den Schliffkern an der Apparatur schieben.
- Beim Einspannen von Schliffgeräten dürfen die Schliffe nicht unter Spannung stehen.

Nach Benutzung der Apparatur sind die Teile sofort wieder auseinander zu nehmen und gründlich zu reinigen. Das gilt besonders, wenn erwärmt wurde oder Stoffe mit basischer Reaktion eingesetzt waren. Unterbleibt das, verklemmen oder verkleben die Schliffteile. Sie können dann nur noch mit großer Mühe getrennt werden. Lassen sich Schliffe schwer voneinander trennen, sind die Vorschläge zum Lösen festsitzender Glasstopfen (↗ S. 316) sinngemäß anzuwenden. Nach dem Auseinandernehmen werden die Schliffgeräte gründlich gereinigt (↗ S. 113ff.).

Das Fett an den Schliffen ist mit einem toluengetränkten Wattebausch zu entfernen, da es sonst unter Anlagerung von Staub und Schmutz verharzt. Sind Schliffe mit basisch reagierenden Stoffen in Berührung gekommen, so sollten sie mit stark verdünnter Chlorwasserstoffsäure und dann erst mit Wasser gespült werden.

Ganz ähnlich wie die Kegelschliffe an Schliffgeräten sind auch die *Schliffflächen von Glashähnen* zu säubern. Vor dem erneuten Einsetzen muß das Hahnküken ebenfalls gefettet werden. Dazu wird die Schlifffläche ober- und unterhalb der Bohrung dünn mit Hahnfett eingerieben, ohne daß etwas davon in die Bohrung gelangt. Nach dem Einsetzen des Kükens wird dieses so lange gedreht, bis die Schlifffläche gleichmäßig durchsichtig ist.

## 2.5.8. Abdichten und Beschriften von Apparaturen

### 2.5.8.1. Abdichten von Apparaturen

Apparaturen, in denen mit Gasen gearbeitet wird, müssen gasdicht sein. Um das zu prüfen, wird die Ausströmungsöffnung am Ende der Apparatur verschlossen. Dann darf keine Flüssigkeit aus einem Tropftrichter, Vorrats- oder Niveaugefäß in andere Teile der Apparatur einfließen. Durch Abquetschen von Schlauchverbindungen können auch Teile der Apparatur in dieser Weise überprüft werden, um eine gefundene Undichtheit einzugrenzen. Bei einer Apparatur, die von Gas durchströmt wird oder unter etwas erhöhtem Druck steht, lassen sich gefährdete Stellen durch Einpinseln mit Seifenlösung auf Dichtigkeit prüfen. Dort entstehen Blasen.

Werden undichte Stellen festgestellt, so sind sie meist schon durch Auswechseln der Schlauchstücke oder Stopfen und Festdrücken der Stopfen zu beseitigen.

In einigen Fällen kann es jedoch notwendig sein, Apparateteile, vor allem Geräteverbindungen, besonders abzudichten. Dazu bestehen verschiedene Möglichkeiten:

- Eine sehr einfache Art ist das Abdichten mit geschmolzenem Paraffin, das recht unempfindlich gegen viele chemische Einwirkungen, mit Ausnahme organischer Lösungsmittel, ist. Paraffin haftet allerdings schlecht auf Glas. Außerdem darf die Apparatur nicht erwärmt werden.
- Viel verwendet wird ferner Siegelack, der wesentlich fester, aber spröder ist. Die Temperaturbeständigkeit bis zu 50 °C ist ebenfalls gering. Siegelack löst sich in Ethanol und Methanol.

- Gute chemische Beständigkeit besitzt ein Gemisch aus Kolophonium und Bienenwachs im Verhältnis 1:1. Auch hier ist die Temperaturbeständigkeit sehr gering. Der Kitt ist in Wasser unlöslich, löst sich jedoch in einem Gemisch von Tetrachlormethan und Ethanol [50].
- Sehr hitzebeständig, bis zur Rotglut, und auf Glas gut haftend sind Wasserglas-kitte. Sie werden durch Verkneten von Schlämmkreide, Magnesiumoxid oder Zinkoxid mit konzentrierter Wasserglaslösung hergestellt und erhärten irreversibel.
- Ein Gemisch von Kaolin mit 10% Borax kann mit wenig Wasser oder Leinölfirnis angerührt werden. Der Kitt ist für hohe Temperaturen geeignet.
- Gummistopfen und Gummischläuche können durch Bestreichen mit einer Lösung von fein verteiltem Kiefernharz im 10fachen Volumen konzentrierter Ammoniaklösung abgedichtet werden [63].

### 2.5.8.2. Beschriften von Glas und Porzellan

Zuweilen müssen Geräte beschriftet werden. In den meisten Fällen wird dazu im Chemieunterricht Fettstift, Signierstift oder Faserschreiber verwendet oder auf der matten Ätzmarke der Geräte mit Bleistift geschrieben (Entfernung mit Radiergummi). Strichförmige Markierungen lassen sich gut durch Aufkleben von schmalen Heftpflasterstreifen anbringen, vorausgesetzt, daß die Stelle während des Experimentierens nicht feucht wird. Im folgenden werden weitere Vorschläge für die Beschriftung von Glas unterbreitet. Zu beachten ist, daß sich mit Natrium- oder Kaliumsilicat hergestellte Gemische nach dem Erhärten kaum mehr von den Geräten entfernen lassen [63]. Folgende Gemische sind zum Beschriften von Glas geeignet:

- 3 ... 4 g Natriumsilicat und 1 g frisch gefälltes Bariumsulfat werden gemischt und in einer gut verschlossenen Flasche aufbewahrt.
- 1 ... 2 g Natrium- oder Kaliumsilicat und 1 g chinesische Tusche werden gemischt und in einer gut verschlossenen Flasche aufbewahrt. Statt der schwarzen chinesischen Tusche kann auch Methylenblau verwendet werden.
- 12 g Natriumsilicat ( $\rho = 1,25 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ), 15 ... 18 g Bariumsulfat und 1 g frisch gefällte und getrocknete Kieselsäure werden als Grundlösung benutzt. Je nach Wunsch ist ein Mineralfarbstoff zuzufügen.

Porzellangeräte, die geglüht werden, können mit einer 1 N Cobalt(III)-chlorid-lösung beschriftet werden. Beim Glühen entsteht eine fest haftende schwarze Beschriftung.



Neben den Geräten sind Chemikalien die zweite wesentliche Voraussetzung für die experimentelle Arbeit. Sie müssen vom Lehrer beschafft und entsprechend den experimentellen Zielsetzungen und Bedingungen ausgewählt werden. Dabei ist es oft notwendig, die Stoffe für den Einsatz bei bestimmten Experimenten zunächst noch aufzubereiten, zum Beispiel zu lösen (↗ S. 215ff.), Spezialreagenzien oder Katalysatoren herzustellen. Die wichtigen Stoffe für den Chemieunterricht sind in den folgenden Übersichten alphabetisch zusammengestellt. Weiter werden Naturstoffe und technische Produkte, Reagenzlösungen und -papiere sowie Katalysatoren und Zündgemische beschrieben. Ausführlich werden Vorschriften zum Umgang mit gefährlichen Stoffen unter den Bedingungen des Chemieunterrichts erläutert. Vorschläge zur Chemikalienausstattung sind abschließend zusammengestellt.

### **3.1. Übersicht über Chemikalien für den Chemieunterricht**

#### **3.1.1. Hinweise zur Bezeichnung von Chemikalien**

Im Chemieunterricht müssen Stoffe eindeutig und einheitlich bezeichnet werden. Deshalb gibt es bindende *Richtlinien*. Die Nomenklatur entspricht im folgenden den Regeln der IUPAC (Internationale Union für allgemeine und angewandte Chemie). Es wird die c-Schreibweise (nicht wie bisher die k/z-Schreibweise) angewandt. Bei organischen Stoffen sind für einfache Verbindungen die systematischen Namen und bei Verbindungen mit zwei und mehr funktionellen Gruppen im Molekül vorwiegend die Trivialnamen gebräuchlich [35]. Alle Angaben im folgenden Text gehen von diesen Festlegungen aus.

Zur genauen Charakterisierung von Chemikalien sind zusätzlich *Abkürzungen* üblich, die dem Lehrer geläufig sein müssen. Reinheitsgrade von Chemikalien sind festgelegt (Tab. 96, S. 324). Die Reinheitsbezeichnung wird hinter dem Chemika-

**Tabelle 96** Reinheitsgrad von Chemikalien

Bezeichnung	Ältere Bezeichnungen	Reinheitsgrad	Hauptanwendung im Chemieunterricht
reinst, zur Analyse (reinst, z.A.)	pro analysi (p. a.)	Verunreinigung nur in Spuren (häufig werden diese in einem Garantieschein detailliert angegeben)	empfindliche analytische Reaktionen
reinst	purissimum	sehr rein, nur unwesentliche Verunreinigungen	ausreichende Reinheit für die meisten Schulerperimente
rein	purum (pur.)	kaum Verunreinigungen	ausreichende Reinheit für die meisten Schulerperimente
technisch	technicum (techn.)	entspricht den Reinheitsforderungen für technische Zwecke; enthält meist noch viele Verunreinigungen	für einige spezielle Zwecke im Chemieunterricht brauchbar (z. B. Säuren zum Reinigen, Säure zur Herstellung von Kohlendioxid)
AB (DDR); DAB		Reinheitsgrad entspricht den Anforderungen des jeweils genannten Arzneibuches	für den Chemieunterricht gut brauchbar

liennamen angegeben. Die Reinheitsforderungen ergeben sich jeweils aus den Standards der Chemikalien.

Bei der Beschriftung vom Handel gelieferter Chemikalien deuten außerdem Zusätze auf den Verwendungszweck oder die Abwesenheit von bestimmten Stoffen hin, zum Beispiel „für Papierchromatografie“ oder „stickstofffrei“. Zur weiteren Charakterisierung der Stoffe sind zusätzliche Angaben üblich (Tab. 97).

Manche Schulen beziehen auch einzelne Chemikalien aus Apotheken und Drogerien. Dort werden die Stoffe zuweilen noch unter *lateinischen Bezeichnungen* geführt, zum Beispiel Kalium chloratum (für Kaliumchlorid) und Kalium chloricum (für Kaliumchlorat). Es kann daher leicht zu Verwechslungen kommen (Tab. 98). Im Chemieunterricht sind diese Namen keinesfalls zu benutzen. Vorratsgefäße, die mit lateinischen Namen beschriftet sind, müssen neue Schilder mit den für den Chemieunterricht festgelegten Bezeichnungen erhalten.

**Tabelle 97** Zusätzliche Kennzeichnungen von Chemikalien

Deutsche Bezeichnung	Lateinische Bezeichnung	Abkürzung
gefällt		gef.
niedergeschlagen	praecipitatum	praec.
gekörnt, granuliert	granulatum	gran.
kristallisiert	crystallisatum	krist. oder cryst.
metallisch	metallicum	met.
trocken, wasserfrei	siccum	sicc.
wasserfrei	calcinatum	calc. (kalz.)
gepulvert	pulveratum	pulv.
ätzend	causticum	caust.
konzentriert	concentratum	konz. <sup>1</sup>
absolut	absolutum	abs.
wasseranziehend	hygroscopicum	hygr.
medizinisch	medicinalis	med. <sup>2</sup>
arzneilich	officinalis	offic. <sup>2</sup>
rauchend	fumans	fum.
Dichte, z. B. bei 20 °C		$D_{20} = \dots$
gelb	flavum	flav.
rot	rubrum	rubr.
schwarz	nigrum	nigr.
weiß	album	alb.
in Stangen	in baculis	i bacul.
in Plätzchen	in bacillis	i bacill.

<sup>1</sup> Lösung enthält höchstmögliche Konzentration an gelöstem Stoff

<sup>2</sup> Als Heilmittel anerkannt. In das Arzneibuch aufgenommene Arzneimittel

**Tabelle 98** Lateinische Namen einiger Chemikalien

Deutsche Bezeichnung	Lateinische Bezeichnung	Beispiel lateinischer Name	Formel
-oxid	-oxydatum	Ferrum oxydatum	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
-hydroxid	-hydricum	Natrium hydricum	$\text{NaOH}$
-chlorid	-chloratum	Natrium chloratum	$\text{NaCl}$
-bromid	-bromatum	Kalium bromatum	$\text{KBr}$
-iodid	-jodatum	Kalium jodatum	$\text{KI}$
-chlorat	-chloricum	Kalium chloricum	$\text{KClO}_3$
-sulfid	-sulfuratum	Ferrum sulfuratum	$\text{FeS}$
-sulfit	-sulfurosum	Natrium sulfurosum	$\text{Na}_2\text{SO}_3$
-sulfat	-sulfuricum	Cuprum sulfuricum	$\text{CuSO}_4$
-carbonat	-carbonicum	Natrium carbonicum	$\text{Na}_2\text{CO}_3$
-nitrit	-nitrosum	Natrium nitrosum	$\text{NaNO}_2$
-nitrat	-nitricum	Kalium nitricum	$\text{KNO}_3$
-phosphat	-phosphoricum	Natrium phosphoricum	$\text{Na}_3\text{PO}_4$

### 3.1.2. Anorganische Chemikalien

In der folgenden Tabelle sind die anorganischen Stoffe für den Chemieunterricht in der Oberschule und den chemisch orientierten Arbeitsgemeinschaften zusammengestellt (Tab. 99). Dabei sind nur definierte Stoffe aufgeführt worden. Naturstoffe und technische Produkte, die zur Durchführung von Experimenten erforderlich sind, werden gesondert zusammengestellt (↗ S. 341), da eine Einordnung in die Tabelle der Chemikalien zuweilen nicht eindeutig möglich ist.

Zu den einzelnen *Spalten* der Tabelle 99 werden folgende Hinweise gegeben:

*Spalte 1* enthält die Namen unter Berücksichtigung der im Chemieunterricht üblichen Nomenklatur.

*Spalte 3* enthält Handelsnamen, notwendige Reinheitsgrade und gegebenenfalls Trivialnamen.

In der Bestellliste für die Schulchemikalienversorgung der DDR aufgeführte Bezeichnungen sind mit \* versehen.

*Spalte 4* enthält Hinweise zur Aufbewahrung der Stoffe.

Folgende Abkürzungen werden benutzt:

normal	normale Aufbewahrung in üblichen Vorratsflaschen
trocken	hygroskopischer Stoff, trockene Aufbewahrung in gut schließender Flasche
Gummistopfen	nur mit Gummistopfen schließen
Glasstopfen	Glasstopfen, keine Gummistopfen zum Verschluß der Flasche benutzen
Feuergefahr	sehr feuergefährlicher Stoff, Aufbewahrung in feuersicherem Schrank (↗ S. 375)
A I, B II	Gefahrklasse (↗ S. 377)
Gift 2	Gift der Abteilung 2 nach den gesetzlichen Bestimmungen (↗ S. 372); Aufbewahrung unter Verschluß
%	Angaben beziehen sich auf Massenanteile
k	konzentriert
v	verdünnt
AE	Stoff wird vorwiegend in der außerunterrichtlichen Arbeit benötigt

Tabelle 99 Anorganische Chemikalien

Name	Symbol/Formel	Handelsnamen notwendige Reinheit (Trivialnamen)	Aufbewahrung
Aluminium	Al	-blech * -grieß, fein 0,05 mm und 0,5 mm -pulver	normal
Aluminium- chlorid-6-Wasser	$\text{AlCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	* -, z. A.	trocken
Aluminium- nitrat-9-Wasser	$\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$	* -, rein	trocken
Aluminiumoxid	$\text{Al}_2\text{O}_3$	* -, rein, schwefelarm	normal
Aluminium- sulfat-18-Wasser	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$	* -, Sorte E	normal
Ammoniaklösung	$\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	* -, 25% z. A. (Salmiakgeist)	Glasstopfen, über 10%ig Gift 2
Ammonium- carbonat	$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	* -, DAB 7 Praktikum: -, z. A. (Hirschhornsalz)	normal AE
Ammoniumchlorid	$\text{NH}_4\text{Cl}$	* -, DAB 7 (Salmiak, salzsaures Ammoniak)	normal
Ammonium- Eisen(III)-sulfat-12- Wasser	$\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$	* -, z. A. (Ammonium- Eisenalaun)	trocken
Ammonium- hydrogen- carbonat	$\text{NH}_4\text{HCO}_3$	* -, rein	normal
Ammonium- molybdat-4-Wasser	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	* -, reinst, z. A.	normal AE
Ammoniumnitrat	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	* -, z. A. (Ammonsalpeter, salpetersaures Ammoniak)	normal Explosions- gefahr bei raschem Erhitzen
Ammonium- phosphat	$(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$	* -, reinst, z. A.	normal
Ammoniumsulfat	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	* -, z. A. (Ammonsulfat)	normal
Ammoniumsulfid	$(\text{NH}_4)_2\text{S}$	* -lösung, z. A.	Glasstopfen
Ammonium- thiocyanat	$\text{NH}_4\text{SCN}$	* -, z. A.	normal Gift 2
Ammonium- vanadat	$(\text{NH}_4)_3\text{VO}_4$	Ammoniummeta- vanadat -, rein	normal AE

Name	Symbol/Formel	Handelsnamen notwendige Reinheit (Trivialnamen)	Aufbewahrung
Antimon	Sb	–, gepulvert	AE
Antimon(III)-oxid	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–, weiß, rein (Antimonblüte)	AE
Barium	Ba		unter Petro- leum oder Paraffinöl
Bariumchlorid-2- Wasser	BaCl <sub>2</sub> · 2 H <sub>2</sub> O	* –, reinst, z. A.	normal Gift 2
Bariumhydroxid-8- Wasser	Ba(OH) <sub>2</sub> · 8 H <sub>2</sub> O	–, rein * -lösung, z. A.	trocken Gift 2
Bariumperoxid	BaO <sub>2</sub>	* –, rein	Glasstopfen Gift 2, Vorsicht!
Bariumsulfat	BaSO <sub>4</sub>	* –, DAB 7	normal
Bismut	Bi	* –, in Stangen	normal
Bismutchlorid	BiCl <sub>3</sub>	* –, rein	normal
Bismutnitrat-5- Wasser	Bi(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> · 5 H <sub>2</sub> O	–, krist. DAB 7	normal AE
Blei	Pb	* –, rein, gekörnt	normal
Blei(II)-nitrat	Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	* –, z. A.	normal Gift 2
Blei(II)-oxid	PbO	* –, gelb (Bleiglätte)	normal Gift 2
Blei(IV)-oxid	PbO <sub>2</sub>	* –, z. A.	normal Gift 2
Blei(II,IV)-oxid	Pb <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Mennige zur Elementaranalyse	normal AE Gift 2
Borsäure	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	* –, reinst, z. A.	normal
Brom	Br <sub>2</sub>	* –, rein	Kappenflasche Gift 2
Bromwasser	Br <sub>2</sub>		Glasstopfen Gift 2
Cadmium	Cd	* –, gekörnt 99,95%	normal
Calcium	Ca	* –, in Stücken, rein –, geraspelt –, gekörnt	trocken Feuergefahr; unter Sperrflüssig- keit, z. B. Benzen
Calciumcarbid	CaC <sub>2</sub>	* –, pulv.	trocken
Calciumcarbonat	CaCO <sub>3</sub>	* –, gefällt, extrafein * Marmor in Stücken	normal

Name	Symbol/Formel	Handelsnamen notwendige Reinheit (Trivialnamen)	Aufbewahrung
Calciumchlorid-6- Wasser –, kristallisiert –, wasserfrei	$\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	* –, z. A.  –, entwässert gekörnt für Exsikkatoren (Chlorcalcium)	trocken  AE
Calciumhydroxid- lösung	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	* –, technisch * Kalkwasser z. A.	Gummistopfen
Calciumnitrat-4- Wasser	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	* –, reinst, z. A.	trocken
Calciumoxid	$\text{CaO}$	* –, rein, pulv. (gebrannter Kalk)	Gummistopfen, trocken
Calciumphosphat	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	* Tricalcium- phosphat, rein	normal
Calciumsulfat-2- Wasser	$\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	* –, gefällt, rein Praktikum: z. A. oder DAB 7 (Gips)	trocken
Cerium	Ce	als Zereisen (Feuerstein)	normal
Chelaplex		–, III, z. A.	normal AE
Chlorwasser- stoffsäure	HCl	* Salzsäure, 37 % ig, rein Salzsäure roh, arsenfrei Praktikum: Salzsäure z. A.	Glasstopfen, ab 15 % ig Gift 2  AE
Chromium(III)-chlorid-6- Wasser	$\text{CrCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	* –, rein	trocken Gift 2
Chromium(III)-oxid	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	* –, rein	normal
Cobalt(III)-chlorid-6- Wasser	$\text{CoCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	* –, rein	trocken
Cobalt(II)-nitrat-6- Wasser	$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	–, reinst	trocken AE
Diammonium- hydrogenphosphat	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	* –, reinst, z. A.	normal
Dinatriumhydrogen- phosphat-12-Wasser	$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$	–, z. A.	normal

Name	Symbol/Formel	Handelsnamen notwendige Reinheit (Trivialnamen)	Aufbewahrung
Eisen	Fe	* –, Feilspäne * –, pulv., feinst –, Blech –, Draht	trocken
Eisen(III)-chlorid-6-Wasser	FeCl <sub>3</sub> · 6 H <sub>2</sub> O	* –, krist., z. A.	trocken
Eisendisulfid	FeS <sub>2</sub>	* Pyrit	normal
Eisen(III)-oxid	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	* –, rot, Sorte I	normal
Eisen(II,III)-oxid	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	* –, schwarz, pulv. (Hammerschlag)	normal
Eisen(II)-sulfat-7-Wasser	FeSO <sub>4</sub> · 7 H <sub>2</sub> O	* –, rein Praktikum: –, z. A.	normal
Eisen(II)-sulfid	FeS	* –, in Stücken, rein (Schwefeleisen)	normal
Fluorwasserstoff-säure	HF	–, rein, 40%ig	nicht in Glas; Gummi-, Plast- oder paraffinierte Eisengefäße benutzen! Gift 2, über 50%ig Gift 1
Iod	I <sub>2</sub>	* –, doppelt sublimiert, DAB 7	Glasstopfen braune Flasche
Kalium-Aluminium-sulfat-12-Wasser	KAl(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · 12 H <sub>2</sub> O	* –, reinst, z. A.	normal AE
Kaliumbromid	KBr	* –, DAB 7	normal
Kaliumcarbonat	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	* –, techn. 96/98 % * –, wasserfrei, z. A. (Pottasche)	trocken
Kaliumchlorat	KClO <sub>3</sub>	* –, z. A.	normal Explosionsgefahr beim Erhitzen!
Kaliumchlorid	KCl	* –, z. A.	normal
Kaliumchromat	K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	* –, z. A.	normal Gift 2
Kaliumdichromat	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	* –, z. A.	normal Gift 2
Kaliumdihydrogen-phosphat	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	* –, z. A.	normal
Kaliumdisulfid	K <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	* –, krist., techn.	normal

Name	Symbol/Formel	Handelsnamen notwendige Reinheit (Trivialnamen)	Aufbewahrung
Kalium-hexacyano- ferrat(II)-3-Wasser	$K_4[Fe(CN)_6] \cdot 3 H_2O$	–, rein (gelbes Blutlaugen- salz)	normal AE
Kalium-hexacyano- ferrat(III)	$K_3[Fe(CN)_6]$	* –, z. A. (rotes Blutlaugen- salz)	normal
Kaliumhydrogen- sulfat	$KHSO_4$	–, reinst (Kaliumbisulfat)	trocken AE
Kaliumhydroxid –, fest	$KOH$	* Kaliumhydroxid rein, in Plätzchen (Ätzkali)	Gummistopfen, trocken Gift 2
–, lösung		* Kalilauge, 30 % ig, rein	Gummistopfen, ab 5 % ig Gift 2
Kaliumiodid	$KI$	* –, z. A.	normal
Kaliumnitrat	$KNO_3$	* –, DAB 7	normal
Kaliumpermanganat	$KMnO_4$	* –, DAB 7	normal, dunkle Flasche
Kaliumperoxidisulfat	$K_2S_2O_8$	* –, z. A.	normal
Kaliumsilicatlösung	$K_2SiO_3$	–, roh, 28 ... 30 °Be (Kaliwasserglas)	Gummistopfen
Kaliumsulfat	$K_2SO_4$	* –, DAB 7	normal
Kaliumthiocyanat	$KSCN$	–, rein	normal AE
Kohlendisulfid	$CS_2$	* Schwefelkohlen- stoff, z. A.	Feuergefahr Al Gift 2
Kohlenstoff	$C$	* Graphit, synth. pulv. * Kohle, aktiv ge- pulvert EPN * Kohle, aktiv ge- körnt AS	normal
Kupfer	$Cu$	* –, elektrolytisch gepulvert * –, in Stäben * – elektrolytisch gekörnt, z. A. * – elektrolytisch geraspelt, rein * – drahtwolle –, Folie 0,1 mm stark – draht	normal

Name	Symbol/Formel	Handelsnamen notwendige Reinheit (Trivialnamen)	Aufbewahrung
Kupfer(I)-chlorid	CuCl	–, rein	normal Gift 2 AE
Kupfer(II)-chlorid-2- Wasser	CuCl <sub>2</sub> · 2 H <sub>2</sub> O	–, rein	trocken Gift 2
Kupfer(II)-nitrat-3- Wasser	Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 3 H <sub>2</sub> O	* –, rein	trocken Gift 2
Kupfer(II)-oxid	CuO	* –, pulv., z. A. * –, Drahtform zur Elementaranalyse	normal
Kupfer(II)-sulfat-5- Wasser	CuSO <sub>4</sub> · 5 H <sub>2</sub> O	* –, z. A.	normal Gift 2
Magnesium	Mg	* –, Späne nach <i>Grignard</i> * –, Pulver	normal
Magnesiumcarbonat	MgCO <sub>3</sub>	–, basisch	normal
Magnesiumchlorid-6- Wasser	MgCl <sub>2</sub> · 6 H <sub>2</sub> O	* –, DAB 7	trocken
Magnesiumhydrogen- phosphat	MgHPO <sub>4</sub>	* –, rein	normal AE
Magnesiumnitrat-6- Wasser	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 6 H <sub>2</sub> O	–, reinst	trocken AE
Magnesiumoxid	MgO	* –, rein, leicht	normal
Magnesiumsulfat	MgSO <sub>4</sub>	* –, DAB 7	normal
Mangan(II)-chlorid-4- Wasser	MnCl <sub>2</sub> · 4 H <sub>2</sub> O	* –, z. A.	trocken
Mangan(II)-nitrat-6- Wasser	Mn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 6 H <sub>2</sub> O	–, z. A.	trocken AE
Mangan(IV)-oxid	MnO <sub>2</sub>	* –, gemahlen (Braunstein, Mangandioxid)	normal
Mangan(II)-sulfat-4- Wasser	MnSO <sub>4</sub> · 4 H <sub>2</sub> O	* –, z. A.	normal
Messing		* –, pulv.	normal
Natrium	Na	* –, in Stücken	Glasstopfen Feuergefahr, unter Paraffinöl oder Petroleum
Natriumbromid	NaBr	* –, DAB 7	normal
Natriumcarbonat- 10-Wasser	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> · 10 H <sub>2</sub> O	* –, z. A. (Soda)	normal
Natriumchlorid	NaCl	–, Speisesalz –, reinst (Kochsalz)	normal

Name	Symbol/Formel	Handelsnamen notwendige Reinheit (Trivialnamen)	Aufbewahrung
Natriumchromat-4-Wasser	$\text{Na}_2\text{CrO}_4 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	–, kristallisiert	normal Gift 2
Natriumdichromat-2-Wasser	$\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	* –, rein –, technisch	normal Gift 2
Natriumdihydrogenphosphat-1-Wasser	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	* –, z. A.	normal
Natriumfluorid	$\text{NaF}$	* –, z. A.	normal Gift 2
Natriumhydrogencarbonat	$\text{NaHCO}_3$	* –, z. A. (Natriumbicarbonat)	normal
Natriumhydrogensulfit	$\text{NaHSO}_3$	–, rein, trocken Natriumhydrogensulfitlösung, rein (Natriumbisulfit)	Glasstopfen
Natriumhydroxid –, fest –, lösung	$\text{NaOH}$	* –, in Schuppen  * Natronlauge, 45 % ig, rein * Natronlauge, 33 % ig, zur Stickstoffbestimmung	Gummistopfen, Gift 2 Gummistopfen, ab 5 % ig Gift 2
Natriumiodat	$\text{NaIO}_3$	* –, rein	normal Vorsicht!
Natriumiodid	$\text{NaI}$	* –, z. A.	normal
Natriumnitrat	$\text{NaNO}_3$	* –, z. A. (Natronsalpeter)	trocken
Natriumnitrit	$\text{NaNO}_2$	* –, DAB 7	trocken Gift 2
Natriumsilicat-lösung		* –, techn. (Natronwasserglas)	Gummistopfen
Natriumsulfat-10-Wasser	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	* –, DAB 7 (Glaubersalz)	normal
Natriumsulfid	$\text{Na}_2\text{S}$	* –, krist. z. A.	normal
Natriumsulfit-7-Wasser	$\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	* –, rein	Glasstopfen
Natriumtetraborat-10-Wasser	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	* –, chem. rein (Borax)	normal
Natriumthiosulfat-5-Wasser	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	–, z. A.	Glasstopfen
Natronkalk	$\text{CaO}, \text{NaOH}$	* –, grob, für Grundumsatzbestimmung	trocken Gummistopfen
Nickel(II)-chlorid-6-Wasser	$\text{NiCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	* –, cobaltarm, z. A.	trocken

Name	Symbol/Formel	Handelsnamen notwendige Reinheit (Trivialnamen)	Aufbewahrung
Nickel(II)-nitrat-6-Wasser	$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	–, reinst, cobaltarm	trocken AE
Nickel(II)-sulfat-7-Wasser	$\text{NiSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	* –, reinst, z. A.	trocken
Perchlorsäure	$\text{HClO}_4$	* –, 60%ig, reinst, z. A.	Glasstopfen
Phosphor	P	* –, rot, techn.	normal Feuergefahr
Phosphor(V)-oxid	$\text{P}_2\text{O}_5$	* –, rein	Glasstopfen trocken
Phosphorsäure (Ortho-)	$\text{H}_3\text{PO}_4$	* –, 85%ig	Glasstopfen, über 50%ig Gift 2
Quecksilber	Hg	* –, z. A.	starkwandige Flasche, in Queck- silberwanne
Salpetersäure	$\text{HNO}_3$	* –, 65%ig, DAB 7 Praktikum: –, z. A.	Glasstopfen, ab 15%ig Gift 2
Schwefel	S	* –, doppelt gemahlen	normal
Schwefelsäure	$\text{H}_2\text{SO}_4$	* –, in Brocken * –, $D_{20} = 1,84$ , z. A. –, roh, DAB 7 $D_{20} 1,83$	Glasstopfen, ab 15%ig Gift 2
Schweflige Säure	$\text{H}_2\text{SO}_3$	* –, 5 ... 6%ig, z. A.	normal
Silbernitrat	$\text{AgNO}_3$	* –, Lösung, z. A. (Höllenstein)	dunkle Flasche Gift 2
Siliciumdioxid	$\text{SiO}_2$	* Kieselgur (Ce- lite 545) praec. –, gepulvert * Seesand, gereinigt und ausgeglüht	normal
Strontiumnitrat	$\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$	* –, rein	normal Gift 2 AE
Titangelb		–	normal
Trinatriumphosphat- 12-Wasser	$\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$	Natriumphosphat, tertiär, reinst	normal
Wasserstoffperoxid	$\text{H}_2\text{O}_2$	* –, 30%ig, z. A. (Wasserstoff- superoxid)	dunkle Flasche Stopfen längs ein- kerben und leicht aufsetzen

Name	Symbol/Formel	Handelsnamen notwendige Reinheit (Trivialnamen)	Aufbewahrung
Zink	Zn	–, Blech, rein * –, gekörnt, arsenfrei, z. A. * Zinkstaub, rein	normal
Zinkchlorid	ZnCl <sub>2</sub>	–, rein, wasserfrei DAB 7	trocken Gift 2
Zinknitrat-6-Wasser	Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 6 H <sub>2</sub> O	–, rein	trocken Gift 2 AE
Zinkoxid	ZnO	–, rein	normal
Zinksulfat-7-Wasser	ZnSO <sub>4</sub> · 7 H <sub>2</sub> O	* –, z. A.	normal Gift 2
Zinn	Sn	* –, rein, gekörnt	normal
Zinn(II)-chlorid-2- Wasser	SnCl <sub>2</sub> · 2 H <sub>2</sub> O	* –, krist. rein	normal Gift 2
Zinn(IV)-oxid	SnO <sub>2</sub>	–, rein	normal

### 3.1.3. Organische Chemikalien

In einer weiteren Zusammenstellung (Tab. 100) werden organische Chemikalien nach den gleichen Grundsätzen erfaßt, wie sie für die anorganischen Stoffe genannt worden sind. Die dort aufgeführten Hinweise zu den einzelnen Spalten haben auch hier volle Gültigkeit (↗ S. 326).

**Tabelle 100** Organische Chemikalien

Name	Formel	Handelsnamen notwendige Reinheit (Trivialnamen)	Aufbewahrung
Acetylchlorid	CH <sub>3</sub> COCl	–, rein (Ethanoylchlorid)	Glasstopfen Gift 2
Alizarin S	C <sub>14</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub> S	(1,2-Dihydroxy- anthrachinon- sulfonsäure)	Kappenflasche normal
Aminobenzen	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>2</sub>	* Anilin, z. A.	Glasstopfen dunkle Flasche Gift 2 Feuergefahr, A III

Name	Symbol/Formel	Handelsnamen notwendige Reinheit (Trivialnamen)	Aufbewahrung
1-Aminonaphthalen	$C_{10}H_7NH_2$	$\alpha$ -Naphthylamin, techn.	Glasstopfen dunkle Flasche
Ammoniumacetat	$CH_3COONH_4$	* –, reinst, z. A. (Ammonium- ethanat)	trocken
Ammoniumoxalat	$(COONH_4)_2 \cdot H_2O$	–, chem. rein (Ammonium- ethandiat)	normal
Amylase		–, aus Pankreas	normal
Benzaldehyd	$C_6H_5CHO$	* –, rein DAB 7	Gummistopfen Gift 2
Benzen	$C_6H_6$	* –, z. A.	Feuergefahr, A I Gift 2 Glasstopfen
Benzin	↗ Tab. 101, S. 342		
Benzoessäure	$C_6H_5COOH$	–, rein (Benzencarbon- säure)	normal AE
Bleiacetat	$Pb(CH_3COO)_2$ $\cdot 3 H_2O$	* –, z. A. (Bleiethanat)	normal Gift 2
Brenzcatechin	$C_6H_4(OH)_2$	–, rein Benzen-1,2- diol	normal AE
Bromthymolblau		* –, z. A.	normal AE
Butan-1-ol	$C_4H_9OH$	n-Butylalkohol	Glasstopfen Feuergefahr, A II
Butansäure	$C_3H_7COOH$	* n-Buttersäure, rein	Glasstopfen Kappenflasche
Calciumacetat	$(CH_3COO)_2Ca$	* –, entw., rein	normal
Citronensäure	$C_2H_2(OH)(COOH)_3$ $\cdot H_2O$	* –	normal AE
o-Cresol	$C_6H_4CH_3OH$	–, z. Synthese (2-Methylphenol)	Glasstopfen Gift 2 AE
Cyclohexan	$C_6H_{12}$	* –, rein	Glasstopfen A I
Decan	$C_{10}H_{22}$	* –, Decan	Glasstopfen
Diacetyldioxim	$CH_3(CNOH)_2CH_3$	* Dimethylgloxim	normal AE
Dibenzoylperoxid	$(C_6H_5CO)_2O_2$	* –, z. A.	normal
1,2-Dichlorethan	$C_2H_4Cl_2$	–, z. Synthese	Glasstopfen Gift 2 kühl AE

Name	Formel	Handelsnamen notwendige Reinheit (Trivialnamen)	Aufbewahrung
Diethylether	$(C_2H_5)_2O$	* –, DAB 7, (Ethoxyethan, Ether)	Feuergefahr, A I kühl
1,3-Dimethylbenzen	$C_6H_4(CH_3)_2$	* Xylen DAB 7	Glasstopfen A I
Dimethylformamid	$HCO-N(CH_3)_2$	–,	Glasstopfen
Diphenylamin	$NH(C_6H_5)_2$	–, z. A.	normal AE
Dodecanol	$C_{12}H_{25}OH$	Dodecylalkohol, primär (Laurinalkohol)	Glasstopfen
Eosin		* Eosinlösung, alkohol.; Eosin- Calcium DAB 7	normal
Ethanal	$CH_3CHO$	* Acetaldehyd, rein	Gummistopfen kühl Feuergefahr, B I
Ethanol	$C_2H_5OH$	* –, abs., reinst z. A. (Alkohol, Ethylalkohol, Primasprit)	Glasstopfen Feuergefahr B I
Ethansäure	$CH_3COOH$	* Essigsäure 99/100%, z. A. (Eisessig)	Glasstopfen trocken ab 80% Gift 2, Feuergefahr, B II
Ethansäure- ethylester	$CH_3COOC_2H_5$	* Essigsäureethyl- ester, rein (Essig- ester, Ethyl- ethanat)	Feuergefahr A I kühl
Ethylenglykol	$(CH_2OH)_2$	Ethandiol –, rein	trocken
Fructose	$C_6H_{12}O_6$	* –, DAB 7 (Fruchtzucker, Lävulose)	normal
Fuchsin		* –, basisch z. Mikroskopie	normal
Gallussäure	$C_6H_2(OH)_3COOH$ $\cdot H_2O$	3,4,5-Trihydroxy- benzoesäure	normal AE
Gelatine		* –, DAB 7	normal AE
Glucose	$C_6H_{12}O_6$	* D-Glucose, z. A. (Dextropur, Trau- benzucker)	normal
Glycin	$CH_2NH_2COOH$	(Aminoethansäure, Glykokoll)	normal AE

Name	Formel	Handelsnamen notwendige Reinheit (Trivialnamen)	Aufbewahrung
Glycerol	$C_3H_5(OH)_3$	* –, DAB 7 (Propan-1,2,3- triol)	trocken
Harnstoff	$CO(NH_2)_2$	* –, z. A. (Kohlensäure- diamid)	normal
Heptan	$C_7H_{16}$	* –, rein	Glasstopfen A I
Heptanol	$C_7H_{15}OH$	* –,	Glasstopfen
Hexadecansäure	$C_{15}H_{31}COOH$	* Palmitinsäure, rein	normal
Hexamethylen- tetramin	$C_6H_{12}N_4$	* –,	normal AE
Hexan	$C_6H_{14}$	* –, rein	Glasstopfen A I
Hexanol	$C_6H_{13}OH$	* –,	Glasstopfen
Hydrochinon	$C_6H_4(OH)_2$	* –, reinst (Benzen-1,4- diol)	normal
Indigo		–, synthetisch	normal
Kaliumacetat	$CH_3COOK$	* –, entwässert rein	normal
Kaliumhydrogen- tartrat	$KHC_4H_4O_6$	–, reinst (Kaliumhydrogen- 2,3-dihydroxy- butandiat)	normal AE
Kaliumnatrium- tartrat	$KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$	* –, z. A. (Seignettesalz, Kaliumnatrium- 2,3-dihydroxy- butandiat)	normal AE
Kupfer(II)-acetat	$(CH_3COO)_2Cu \cdot H_2O$	* –, DAB 7	normal Gift 2
Lactose	$C_{12}H_{22}O_{11} \cdot H_2O$	* –, DAB 7	normal
Maltose	$C_{12}H_{22}O_{11} \cdot H_2O$	–, DAB 7 (Malzzucker)	normal AE
Mannit	$C_6H_8(OH)_6$	* –, rein	normal
Methanal	$HCHO$	* Formaldehydlösung, 35% ig, DAB 7	Gummistopfen Gift 2
Methanol	$CH_3OH$	* –, reinst, z. A. * –, z. A. (Holzgeist)	Glasstopfen Feuergefahr, B I Gift 2
Methansäure	$HCOOH$	* Ameisensäure, 85% ig, rein	Glasstopfen ab 50% Gift 2
Methylbenzen	$C_6H_5CH_3$	* Toluol, DAB 7	Glasstopfen Feuergefahr, A I

Name	Formel	Handelsnamen notwendige Reinheit (Trivialnamen)	Aufbewahrung
Methylenblau		* –,	normal AE
Methylgrün		* –, Indikator	normal
Methylorange		* –, Indikator	normal
Methylrot		* –, Indikator	normal
Milchsäure	$C_2H_4(OH)COOH$	–, DAB 7, $D_{20}=1,21$ ( $\alpha$ -Oxypropion- säure, 2-Hydroxypropan- säure)	Glasstopfen
Monobrombenzen	$C_6H_5Br$	–, reinst (Brombenzen)	Glasstopfen AE
Monobromethan	$C_2H_5Br$	* Ethylbromid, z. A. (Bromethan)	Glasstopfen A I
Monochlorbenzen	$C_6H_5Cl$	Chlorbenzen, z. S.	Glasstopfen Gift 2 AE
Monoiodethansäure	$CH_2ICOOH$	* Monoiodessig- säure, rein	normal AE
Monoiodmethan	$CH_3I$	* Methyljodid, rein	Glasstopfen
Naphthalen	$C_{10}H_8$	* –, DAB 7	normal
$\beta$ -Naphthol	$C_{10}H_7OH$	–, DAB 7 (2-Hydroxy- naphthalen)	normal dunkle Flasche AE
Natriumacetat	$(CH_3COO)Na \cdot 3H_2O$	* –, DAB 7 * –, entwässert (Natriumethanat)	normal
Natriumformiat	$(HCOO)Na$	* –, entwässert, rein (Natrium- methanat)	normal
Natriumoxalat	$(COO)_2Na_2$	* –, z. A.	normal AE
Neutralrot		* –, Indikator	normal AE
Nitrobenzen	$C_6H_5NO_2$	–, DAB 7	Glasstopfen Gift 2 Feuergefahr, A III AE
Nonan	$C_9H_{20}$	* –, 95 % ig	Glasstopfen A II
n-Nonanol	$C_9H_{19}OH$	* –, 90 % ig	Glasstopfen
Octan	$C_8H_{18}$	* –,	Glasstopfen A II
Olein		* –,	normal
Oxalsäure	$(COOH)_2 \cdot 2 H_2O$	* –, z. A. (Ethandisäure)	normal

Name	Formel	Handelsnamen notwendige Reinheit (Trivialnamen)	Aufbewahrung
Palmitinsäure	$C_{15}H_{31}COOH$	* –, rein	normal
Paraffin		* –, fest 56/58 °C * –, flüssig DAB 7	normal
Pentan	$C_5H_{12}$	* –, rein	Glasstopfen
Pentanol	$C_5H_{11}OH$	* Amylalkohol DAB 7	Glasstopfen
Pepsin		* –, DAB 7	normal
Pepton		* –, pro bact.	normal AE
Phenol	$C_6H_5OH$	* –, krist. DAB 7	Glasstopfen Gift 2
Phenolphthalein		* –, DAB 7	normal
Phenylhydrazin- hydrochlorid	$C_6H_5N_2H_3 \cdot HCl$	–, rein	Glasstopfen dunkle Flasche AE
Phloroglucin	$C_6H_3(OH)_2 \cdot 2 H_2O$	–, diresorcinfrei (Benzen-1,3,5- triol)	Glasstopfen dunkle Flasche AE
Phthalsäure	$C_6H_4(COOH)_2$	–, reinst Benzen-1,2-dicar- bonsäure	normal
Phthalsäureanhydrid	$C_6H_4(C_2O_3)$	–, in Schuppen, rein Anhydrid der Benzen-1,2- dicarbonsäure	trocken AE
Pikrinsäure	$C_6H_2(NO_2)_3OH$	–, rein (25% Was- ser angefeuchtet) (Trinitrophenol)	Gummistopfen Feuergefahr kühl, explosiv
Propan-1-ol	$C_3H_7OH$	* n-Propylalkohol, rein	Glasstopfen trocken Feuergefahr B I
Propan-2-ol	$C_3H_7OH$	i-Propylalkohol, reinst	Glasstopfen Feuergefahr B I
Propan-2-on	$CH_3COCH_3$	* Aceton, z. A.	Glasstopfen Feuergefahr B I
Propansäure	$C_2H_5COOH$	* Propionsäure, rein	Glasstopfen
Pyrogallol	$C_6H_3(OH)_3$	* –, DAB 7 (Benzen-1,2,3- triol)	Glasstopfen dunkle Flasche

Name	Formel	Handelsnamen notwendige Reinheit (Trivialnamen)	Aufbewahrung
Resorcin	$C_6H_4(OH)_2$	* –, rein (Benzen-1,3-diol)	normal
Saccharose	$C_{12}H_{22}O_{11}$	–, reinst (Rohrzucker)	normal
Salicylsäure	$C_6H_4(OH)COOH$	–, reinst und DAB 7 (2-Hydroxybenzoesäure)	normal AE
Stärke	$(C_6H_{10}O_5)_n$	* –, löslich rein	normal
Styren	$C_6H_5C_2H_3$	* –, monomer	Glasstopfen dunkle Flasche A I
Sulfanilsäure	$C_6H_4(NH_2)SO_3H$	–, rein (4-Aminobenzensulfonsäure)	Glasstopfen AE
Tetrachlormethan	$CCl_4$	* Tetrachlorkohlenstoff, reinst, z. A. * –, z. A.	normal Gift 2
Trichlormethan	$CHCl_3$	* Chloroform, DAB 7	Glasstopfen dunkle Flasche Gift 2
Triethylenglykol	$(HOCH_2CH_2OCH_2)_2$	–, rein	Glasstopfen AE
Weinsäure	$C_2H_2(OH)_2(COOH)_2$	–, krist., z. A.	normal AE

### 3.1.4. Naturstoffe und technische Produkte

Außer den im vorliegenden Abschnitt als „Chemikalien“ aufgeführten Stoffen werden auch Naturstoffe und technische Produkte für die Ausführung der Experimente im Chemieunterricht benötigt. Viele solcher Stoffe wird der Lehrer in der Mineraliensammlung und technischen Sammlung unterbringen. Muster aus diesen Sammlungen dienen vor allem dazu, äußere Merkmale und Eigenschaften der Stoffe zu erläutern. Eine Reihe von Stoffen ist auch direkt bei experimentellen Arbeiten einzusetzen.

In die *Mineraliensammlung* gehören Schaustücke aller im Chemieunterricht zu behandelnden Mineralien. Günstig ist es, darüber hinaus von wichtigen Stoffen, zum Beispiel Eisenerz, Steinsalz und Kalkstein, kleinere Stücke in genügender Anzahl

zur Verfügung zu haben, die man den Schülern zur Untersuchung in die Hand geben kann. Arbeitssätze für die Demonstration und die Schülerarbeit werden vom Unterrichtsmittelhandel geliefert.

Die *technische Sammlung* enthält Rohstoffe, Hilfsstoffe, Zwischenprodukte und Produkte von näher im Unterricht zu behandelnden chemisch-technischen Prozessen. Auch hier ist es angebracht, nicht nur Demonstrationsmaterial zur Verfügung zu haben. Eine solche Sammlung sollte verschiedene Verarbeitungsformen, zum Beispiel von Plasten, aber auch Konfektionierungen wichtiger Produkte enthalten. Das Material muß der Lehrer nach und nach unter Mithilfe der Schüler selbst zusammentragen.

Bei der Auswahl der Objekte für die Sammlung sind die Forderungen des Lehrplans unter Beschränkung auf das unbedingt Notwendige zu beachten. Auf diese Weise kann vermieden werden, daß die Sammlung zu stark anwächst, nicht mehr sinnvoll unterzubringen und übersichtlich zu ordnen ist.

Die nachstehende Tabelle enthält nur solche Stoffe, mit denen im Unterricht Experimente auszuführen sind (Tab. 101). In der Tabelle sind wieder Abkürzungen verwendet worden (↗ S. 326).

**Tabelle 101** *Naturstoffe und technische Produkte*

Name	Formen Handelsnamen	Verwendung	Aufbe- wahrung	Besondere Hinweise
Benetzungsmittel	Fit	Experimente mit Natrium	normal	
Benzin	* -, DAB 7 $D_{20} = 0,625 \dots 0,630$ $\vartheta_v = 30 \dots 50 \text{ }^\circ\text{C}$ * -, $\vartheta_v = 90 \dots 100 \text{ }^\circ\text{C}$ * -, $\vartheta_v = 100 \dots 150 \text{ }^\circ\text{C}$ Vergaserkraftstoff	Lösungsmittel, Experimente zu technischen Kohlenwasserstoffen	A I	Feuergefahr
Bimsstein	gekörnt, möglichst gesiebt auf 2 ... 5 mm	Herstellung von Katalysatoren	normal	
Braunkohle	Rohkohlebrocken, Braunkohlebrikettstücke	Experimente zu festen Brennstoffen	normal	
Brennspiritus		Lösungsmittel, Experimente mit Ethanol (Brennstoff für Spiritusbrenner)	B I	Feuergefahr

Name	Formen Handelsnamen	Verwendung	Aufbe- wahrung	Besondere Hinweise
Düngemittel	Kalisalze mit unterschiedlichem Anteil an Kaliumoxid, Ammansulfat Superphosphat, Emgekali, Thomasmehl, Kalkstickstoff, Kalkammonsalpeter	Düngemittel-untersuchung, agrochemische Experimente	normal	
Eiweiß	Eiklarlösung festes, käufliches Ovalbumin, Gelatine, gekörnt Milch, Molke oder Kartoffeleiweiß	Eiweißnachweis		frische Produkte, stets neu beschaffen; einige Tage können die Lösungen durch Zusatz einiger Tropfen Methylbenzen (Toluen) haltbar gemacht werden. Herstellung von Kartoffeleiweißlösung: Geschälte Kartoffeln fein zerreiben und mit der fünffachen Menge Wasser 15 min rühren, danach filtrieren. Das Filtrat ist zu benutzen
Entwickler (für fotografische Zwecke)	beliebig	Experimente zum fotografischen Prozeß	Gummi- stopfen	nur begrenzte Zeit haltbar
Enzyme	zum Beispiel: Amylase, aus Pankreas, Pepsin	Experimente zu Stoffwechselvorgängen	normal	AE
Erdöl		Untersuchung von Erdöl		Feuergefahr, gegebenenfalls ein Modellgemisch aus Mineralöl oder Paraffinöl, Schwerbenzin, Petroleum und Benzin ( $\vartheta_v < 120\text{ °C}$ ) herstellen

Name	Formen Handelsnamen	Verwendung	Aufbe- wahrung	Besondere Hinweise
Faserstoffe	Fäden und Ge- webe aus Wolle, Baumwolle, Zell- wolle; Polyamid- fäden und -reste (Strümpfe), PC- Faserstoffe	Untersuchung der Faserstoff- eigenschaften	normal	
Fett	Speiseöl, Margarine, Hartfett	Untersuchung von Fetten, Herstellung von Seife	normal kühl	nur begrenzte Zeit haltbar
Fixierbad (für fotografische Zwecke)		Experimente zum fotografi- schen Prozeß	Gummi- stopfen	Beispiel für einen Ansatz: 200 g Natrium- thiosulfat und 20 g Natrium- hydrogensulfit in 1 l Wasser lösen
Glas	Glasperlen (Thüringer Glas), Glaswolle	Füllmaterial bei vielen Experi- menten	normal	Glaswolle nie mit ungeschützten Händen anfassen; Pinzette, Tiegel- zange oder Hand- schuhe benutzen
Holz	Stücke, Säge- späne, lange Holzspäne	Eigenschaften von Holz, Sauerstoff- nachweis	normal	
Kerzenmasse		Untersuchung von Flammen, Abdichten von Geräten	normal	alte Kerzen und Kerzenreste sammeln lassen
Kolophonium		Experiment zur Herstellung von Papier	normal	
Mehl	Roggenmehl, Weizenmehl	Experimente zu Kohlenhydraten	normal	
Mineralöl	Getriebeöl, Motorenöl	Experimente über flüssige Brennstoffe	Glas- stopfen, Feuer- gefahr	
Paraffinöl	* Paraffin, flüssig * Paraffin, fest 56/58 °C	Experimente zu höheren Alkanen, Cracken, Sperrflüssigkeit	Glas- stopfen	

Name	Formen Handelsnamen	Verwendung	Aufbe- wahrung	Besondere Hinweise
Plaste	Polyamidschnitzel, Polyvinylchlorid- pulver, Hart-PVC, Weich-PVC, Phenoplast, Aminoplast, Polyethylen, Polystyren, Piacryl, Celluloid	Untersuchung der Eigenschaften von Plasten	normal	am besten in Form von Folien, Strängen oder Stäben
Pyrit	–, Schwefelkies, Brocken, Pulver	Rösten zur Herstellung von Schwefeldioxid	normal	
Sand	Seesand, geglüht	Experimente zu Verbindungen des Siliciums, Füllmaterial zum Aufsaugen von Flüssigkeiten	normal	Schwemmsand aus Flüssen und Bädern Sand mit konzen- trierter Salpeter- säure behandeln, dann mit Chlor- wasserstoffsäure auskochen, gut auswaschen, an der Luft trocknen und glühen
Seife	Seifenlösung nach <i>Boudron</i> und <i>Boudet</i> , Seifenflok- ken, Kernseife, Schmierseife	Experimente zu Eigenschaften von Seife	normal	
Steinkohle	Brocken	Experimente zu festen Brenn- stoffen	normal	
Steinsalz	Brocken, Spaltstücke	Untersuchung von Kristallen, Experimente zur Reinigung von Natriumchlorid	trocken	
Tinte	rote Tinte oder Eosin; blaue Tinte	Anfärben von Sperrflüssigkeiten	normal	
Torf	Stücke	Experimente zu festen Brenn- stoffen	normal	

Name	Formen Handelsnamen	Verwendung	Aufbe- wahrung	Besondere Hinweise
Waschmittel	verschiedene Arten	Experimente zu Waschmitteln	normal	
Watte	Zellstoffwatte	Experimente zur Cellulose, luft- durchlässiger Verschluß von Gefäßen	normal	
Ionenaus- tauschharz	Wofatit F Bitter- feld, Wofatit MB Bitterfeld	Ionenaustauscher	normal	

### 3.1.5. Reagenzlösungen und -papiere

Für die experimentelle Arbeit im Chemieunterricht wird ferner eine Reihe von Spezialreagenzien benötigt, die teilweise fertig vom Chemikalienhandel bezogen werden können, die sich der Lehrer in vielen Fällen aber auch selbst herstellen muß. Neben Lösungen können oft auch Reagenzpapiere eingesetzt werden. Auf beide Möglichkeiten wird getrennt eingegangen.

#### 3.1.5.1. Reagenzlösungen

In diesem Abschnitt wird ein Gesamtüberblick über die Indikatoren und Spezialreagenzien für den Chemieunterricht gegeben und wenn notwendig, auch auf Herstellungsmöglichkeiten verwiesen.

Die folgende Aufstellung der für den Chemieunterricht wichtigen Lösungen enthält keine verdünnten Säuren und Hydroxidlösungen sowie keine einfachen Salzlösungen, die als Reagenzien bei der Analyse anorganischer Stoffe (↗ S. 221 sowie die Tabellen 87 und 88) benutzt werden. In den nachstehenden Tabellen werden Übersichten über die im Chemieunterricht verwendeten Indikatoren und Reagenzien gegeben. Verwendungszweck sowie Angaben zur Aufbewahrung und Haltbarkeit sind aufgeführt. Den Tabellen sind Herstellungsvorschriften für die Lösungen nachgestellt.

#### Indikatoren zum Nachweis basischer beziehungsweise saurer Reaktionen

Indikatorlösungen, die bei Schulexperimenten Verwendung finden, sollen in verschiedenen pH-Wert-Bereichen möglichst deutlich erkennbare und voneinander unterscheidbare Färbungen zeigen. In dieser Hinsicht hat der Indikator S [10] be-

sonders günstige Eigenschaften für die Benutzung im Chemieunterricht (Tab. 102). Bei Demonstrationsexperimenten ist so viel Indikatorlösung zuzusetzen, daß die Färbung auch aus größerer Entfernung noch eindeutig erkannt werden kann. Es ist also oft etwas mehr Indikatorlösung zu verwenden, als in der normalen Laborpraxis üblich ist. Andererseits sollte man sich aber davor hüten, zu große Farbtiefe zu erreichen, weil dann die Farben oft nur dunkel erscheinen und ebenfalls schwer erkennbar sind. Bei der Verwendung von Indikatorlösungen für Experimente ist es oft ratsam, mit Vergleichsproben zu arbeiten. Diese können entweder zur Demonstration des Ausgangszustands dienen oder die Grenzfarben des Indikators zeigen. Letzteres erreicht man, indem einige Tropfen Indikatorlösung in Wasser gegeben und tropfenweise mit einem angemessenen Volumen verdünnter Ethansäure (Essigsäure) beziehungsweise Natriumcarbonatlösung versetzt werden.

**Tabelle 102** Einige Indikatoren

Name	Umschlagbereich pH-Wert	Farbe zum sauren Bereich hin	Farbton, eventuell Zwischenfarbe	Farbe zum basischen Bereich hin
Indikator M	3,1 ... 4,4	violett	hellgrau	grün
Indikator S	4 ... 9	rotgelb	grün	blauviolett
Kongorot	3,0 ... 5,2	blauviolett		rotorange
Lackmus	5,0 ... 8,0	rot	violett	blau
Methylorange	3,1 ... 4,4	rot		gelborange
Phenolphthalein	8,3 ... 10,0	farblos		weinrot <sup>1</sup>
Unitest	je 0,5	rot – gelb – grün – blau – violett (Farbskala auf der Packung)		

<sup>1</sup> Im stark basischen Bereich tritt wieder Entfärbung ein.

Im folgenden wird die *Herstellung einiger Indikatorlösungen* erläutert. Die nicht genannten Lösungen sind fertig zubereitet vom Chemikalienhandel zu beziehen.

**Indikator M.** 125 mg Methylrot und 85 mg Methylenblau werden in 100 ml Methanol gelöst.

**Indikator S.** 5 mg Thymolblau, 12,5 mg Methylrot, 60 mg Bromthymolblau und 100 mg Phenolphthalein werden in 100 ml Methanol gelöst, dann bis zur Grünfärbung mit 0,05 N Natriumhydroxidlösung neutralisiert und mit Wasser auf 200 ml aufgefüllt.

**Kongorotlösung.** 0,1 g Kongorot wird in 100 ml Methanol oder Wasser gelöst.

**Lackmuslösung.** 2 g Lackmusfarbstoff werden in 100 ml Wasser gelöst.

**Methylorangelösung.** 2 g Methylorange werden in 100 ml Wasser gelöst.

**Phenolphthaleinlösung.** 1 g Phenolphthalein wird in 100 ml Methanol gelöst.

## Weitere Reagenzien

Neben Indikatoren sind viele Spezialreagenzien notwendig. Auch hier werden nach einer Übersicht (Tab. 103) Herstellungsvorschriften angeführt. Da bei der Anwendung in den meisten Fällen ebenfalls Farbeffekte auftreten, ist es oft ratsam, mit Vergleichslösungen zu arbeiten.

**Tabelle 103** Spezialreagenzien

Name	Verwendung zum Nachweis von	Aufbewahrung	Bemerkungen
Alizarin-S-Lösung	Aluminium, Anfärben elektrolytisch oxydierter Schichten	Glasstopfen	
Ammonium-molybdatlösung	Phosphat-Ionen	Glasstopfen	begrenzte Zeit haltbar
Baeyers Reagens	ungesättigte organische Stoffe	I Glasstopfen II Gummistopfen	jeweils frisch mischen, Verhältnis 1 (I):10 (II)
Bariumhydroxid-lösung (Barytwasser)	Kohlendioxid, Sulfat-Ionen	Gummistopfen Gift 2	
Cerammonnitrat-Reagens	Hydroxylverbindungen	normal	nur kalt verwenden!
Deniges Reagens	tertiäre und teilweise sekundäre Alkohole	Glasstopfen Gift 1	nicht für Schülerexperimente!
2,4-Dinitrophenylhydrazinlösung	Oxoverbindungen	Glasstopfen braune Flasche	begrenzte Zeit haltbar
Diphenylaminlösung	Nitrat-, Nitrit-, Chlorat-Ionen	Glasstopfen Gift 2	
Esbachs Reagens	Eiweiß	normal	
Fehlingsche Lösung	Reduktionswirkung organischer Stoffe, besonders Aldehyde und Zucker mit reduzierenden Eigenschaften	I normal II Gummistopfen Gift 2	Lösungen im Verhältnis 1:1 mischen
Fuchsinschweflige Säure (Schiffs Reagens)	Aldehyde	Glasstopfen	
Grieß-Reagens	Nitrit-Ionen, besonders Stickstoffnachweis in organischen Stoffen	I und II Glasstopfen braune Flasche	Lösungen im Verhältnis 1:1 mischen

Name	Verwendung zum Nachweis von	Aufbewahrung	Bemerkungen
Haines Reagens	reduzierende Gruppen	Gummistopfen Gift 2	
Indigolösung	Chlor, Ozon	normal	
Iod-Kaliumiodid- lösung (Iod-Iod- kaliumlösung)	Stärke	Glasstopfen	
Iodlösung 20%ig	für Iodoformprobe	Glasstopfen, braune Flasche	
Kaliumiodid-Stärke	Chlor, Ozon, Brom, salpetrige Säure	normal	
Kalkwasser	Kohlendioxid	Gummistopfen	
Lukas Reagens	tertiäre und sekundäre Alkohole	Glasstopfen Gift 2	
Millons Reagens	Eiweiß	Glasstopfen braune Flasche Gift 1	nicht für Schüler- experimente! begrenzte Zeit haltbar
Molisches Reagens	Hydroxymethylfur- fural und Zucker	Glasstopfen braune Flasche	
Neßlers Reagens	Ammoniak in gerin- ger Konzentration	Gummistopfen braune Flasche Gift 1	nicht für Schüler- experimente!
Nylanders Reagens	reduzierende Grup- pen, Aldehyde	Gummistopfen braune Flasche	
Schweizers Reagens (Cuoxam)	Cellulose (Lösen)	Gummistopfen Gift 2	
Silbernitratlösung, alkoholisch	polar gebundenes Halogen	Glasstopfen Gift 2 braune Flasche	
Silbernitratlösung, ammoniakalisch (Tollens Reagens)	reduzierende organi- sche Gruppen	–	stets frisch her- stellen! Gift 2 Bei Aufbewahrung Explosionsgefahr!
Stärkelösung	Iod	normal	
Zinkchlorid-Iod- lösung	Cellulose	normal Gift 2	

Die in der Übersicht (Tab. 103) aufgeführten Spezialreagenzien müssen oft selbst hergestellt werden. Deshalb werden Arbeitsvorschriften angeführt.

**Alizarin S-Lösung.** 1 g Natriumanthrachinonsulfonat wird in 100 ml Wasser gelöst.

**Ammoniummolybdatlösung.** Ammoniummolybdat löst man in destilliertem Wasser und gibt tropfenweise konzentrierte Salpetersäure zu, bis sich der zuerst bildende Niederschlag von Molybdänsäure gerade wieder löst. Einige Tropfen der Salpetersäure sind dann noch im Überschuß zuzusetzen.

**Baeyers Reagens.** *Lösung I:* 6 g Kaliumpermanganat werden in 100 ml Wasser gelöst.

*Lösung II:* 10 g Natriumcarbonat werden in 100 ml Wasser gelöst.

Verwendet wird ein frisch hergestelltes Gemisch von 1 Teil Kaliumpermanganatlösung und 10 Teilen Natriumcarbonatlösung. Das Gemisch soll eine kräftige, aber noch deutlich erkennbare Violettfärbung aufweisen.

**Bariumhydroxidlösung.** 20 g Bariumhydroxid (Gift 2!) werden in 500 ml destilliertem Wasser geschüttelt und anschließend filtriert.

**Cerammonnitrat-Reagens.** 10 g Cerammonnitrat  $(\text{NH}_4)_2[\text{Ce}(\text{NO}_3)_6]$  werden in 25 ml 2 M Salpetersäure (etwa 13% ig) unter schwachem Erwärmen gelöst. Das Reagens soll nur kalt verwendet werden!

**Deniges Reagens.** 12,5 g Quecksilber(II)-oxid (Vorsicht, Gift 1!) werden mit 50 ml konzentrierter Schwefelsäure versetzt. Nach erfolgter Lösung vorsichtig mit Wasser auf 250 ml auffüllen.

**2,4-Dinitrophenylhydrazinlösung.** 6 g 2,4-Dinitrophenylhydrazin werden in 250 ml 3 M Perchlorsäure (30% ig) bei Zimmertemperatur aufgelöst.

**Diphenylaminlösung.** 100 ml konzentrierte Schwefelsäure (Vorsicht, Gift 2!) werden vorsichtig mit 20 ml Wasser gemischt und darin 0,5 g Diphenylamin gelöst.

**Esbachs Reagens.** 1 g Pikrinsäure (Vorsicht, explosiv!) und 2 g Citronensäure werden in 97 ml Wasser gelöst.

**Fehlingsche Lösung.** *Lösung I:* 7 g kristallisiertes Kupfer(II)-sulfat (Gift 2!) werden in 100 ml destilliertem Wasser gelöst.

*Lösung II:* 35 g Kalium-Natriumtartrat (Seignette-Salz) und 10 g Natriumhydroxid werden in 100 ml destilliertem Wasser gelöst.

Verwendet wird ein frisch bereitetes Gemisch im Verhältnis 1:1.

**Fuchsinschweflige Säure.** 0,25 g Fuchsin werden in 1000 ml heißem Wasser gelöst, dann wird abgekühlt und bis zur Entfärbung Schwefeldioxid eingeleitet; oder 0,1 g Fuchsin wird in 100 ml heißem Wasser gelöst. Nach dem Abkühlen werden unter Rühren 1 g Natriumsulfit und 1 ml konzentrierte Chlorwasserstoffsäure zugesetzt. Die Lösung muß sich entfärben; oder 0,25 g Fuchsin werden in 1000 ml Wasser gelöst, danach 15 ml einer gesättigten Natriumhydrogensulfitlösung und nach etwa 10 min unter ständigem Rühren etwa 10 ml konzentrierte Chlorwasserstoffsäure zugegeben, bis Entfärbung eintritt; oder 0,25 g Fuchsin werden in

1 000 ml Wasser gelöst, dann wird unter ständigem Rühren konzentrierte schweflige Säure zugesetzt, bis Entfärbung eintritt. Ein Überschuß der Säure ist zu vermeiden!

**Griß-Reagens.** *Lösung I:* 0,2 g  $\alpha$ -Naphthylamin (1-Aminonaphthalen) werden in 20 ml Wasser gelöst, zum Sieden erhitzt, die Lösung vom Rückstand abgegossen und mit 150 ml 2 M Ethansäure (10% ig) versetzt.

*Lösung II:* 0,5 g Sulfanilsäure (4-Aminobenzensulfonsäure) werden in 150 ml 2 M Ethansäure (10% ig) gelöst.

Verwendet wird ein Gemisch gleicher Volumen der Lösungen I und II. Man kann die Lösungen auch gemischt bereithalten. Das Reagens ist dann aber nur wenige Wochen haltbar.

**Haines Reagens.** 2 g kristallisiertes Kupfer(II)-sulfat (Gift 2!) werden in 90 ml Wasser gelöst und mit 15 ml Glycerol und 75 ml 2 M Kaliumhydroxidlösung (10% ig) versetzt.

**Indigolösung.** 1 g fein gepulvertes Indigo wird in 5 g rauchender Schwefelsäure (Gift 2!) in einem Rundkolben unter Schütteln gelöst. Bei starker Erwärmung ist durch Eintauchen des Rundkolbens in Wasser zu kühlen. Nach einigen Stunden wird mit 100 ml Wasser versetzt (Vorsicht!) und filtriert.

**Iod-Kaliumiodidlösung** (Iod-Iodkaliumlösung). 2 g Kaliumiodid werden in etwa 4 ml Wasser vollständig gelöst und mit 1 g Iod versetzt. Nach dem Lösen des Iods wird auf 300 ml aufgefüllt.

**Iodlösung** (1,5 M; 23% ig). 4 g Iod werden mit 14 g Kaliumiodid in einer Reibschale verrieben. Dabei werden in Anteilen 20 ml Wasser zugesetzt.

**Kaliumiodid-Stärke**lösung. 1 g Stärke wird in wenig Wasser angerührt und in 100 ml siedendes Wasser eingetragen. Darin sind noch 0,5 g Kaliumiodid zu lösen.

**Kalkwasser.** 1 g geglühtes Calciumoxid wird in 500 ml destilliertem Wasser geschüttelt und filtriert.

**Lukas Reagens.** 70 g wasserfreies Zinkchlorid (Gift 2!) werden in 50 ml konzentrierter Chlorwasserstoffsäure (Gift 2!) unter Kühlen gelöst.

**Millons Reagens.** 10 g Quecksilber werden zunächst in der Kälte in 10 ml Salpetersäure ( $\rho = 1,42 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) und dann unter schwachem Erwärmen gelöst (Abzug! Nitrose Gase!). Die Lösung wird mit etwa 20 ml Wasser versetzt und nach 30 min vom Bodensatz abgegossen (Vorsicht, Gift 1!). Für Schülerexperimente darf dieses Reagens nicht benutzt werden.

**Molisches Reagens.** 3 g  $\alpha$ -Naphthol werden in 100 ml 95% igem Ethanol gelöst.

**Neblers Reagens.** 6 g Quecksilber(II)-chlorid werden in 50 ml Wasser gelöst und mit einer Lösung von 7,4 g Kaliumiodid in 50 ml Wasser versetzt. Das ausgefallene Quecksilber(II)-iodid ist zu dekantieren und dreimal mit Wasser gut auszuwaschen. Danach sind 5 g Kaliumiodid und wenig Wasser zuzugeben. Nach dem Lösen unter Bildung des Komplexsalzes  $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$  wird eine Lösung von 20 g

Natriumhydroxid in wenig Wasser zugesetzt und auf 100 ml aufgefüllt. Wenn notwendig, ist noch zu filtrieren (Vorsicht, Gift 1!); oder 5 g Kaliumiodid werden in 5 ml siedendem Wasser gelöst und mit einer konzentrierten Lösung von Quecksilber(II)-chlorid in siedendem Wasser (3 g in 5 ml Wasser) so lange versetzt, bis sich der dabei entstehende Niederschlag nicht mehr löst (höchstens 5 Sechstel der Quecksilber(II)-chloridlösung erforderlich). Nach dem Abkühlen filtriert man und versetzt dann das Filtrat mit einer Lösung von 15 g Kaliumhydroxid in 30 ml Wasser. Die Mischung wird danach mit destilliertem Wasser auf 100 ml aufgefüllt. Sodann werden noch etwa 0,5 ml (Rest) der konzentrierten Quecksilber(II)-chloridlösung zugegeben. Von dem entstehenden Niederschlag dekantiert man die überstehende klare Flüssigkeit. Vorsicht! Gift 1! Das Reagens darf für Schülerexperimente nicht benutzt werden.

**Nylanders Reagens.** 4 g Kalium-Natriumtartrat und 10 g Natriumhydroxid werden in 90 ml Wasser gelöst und dann 2 g basisches Bismutnitrat unter Schütteln hinzugefügt. Gegebenenfalls ist durch Glaswolle zu filtrieren.

**Schweizers Reagens.** Aus einer Kupfer(II)-sulfatlösung (25 g Kupfer(II)-sulfat in etwa 500 ml Wasser) wird Kupfer(II)-hydroxid mit 80 ml frisch bereiteter 3 M carbonatfreier Natriumhydroxidlösung (10% ig) ausgefällt und mit Wasser zu 1 l verdünnt. Nach einiger Zeit ist der blaue Niederschlag durch Dekantieren mehrmals mit Wasser zu waschen. Schließlich wird der Niederschlag abgesaugt oder abfiltriert und in einen Becher gegeben. Danach wird so viel konzentrierte Ammoniaklösung hinzugefügt, bis sich das Kupfer(II)-hydroxid gerade löst (Gift 2!).

**Silbernitratlösung, alkoholische.** 2 g Silbernitrat (Gift 2!) werden mit 120 ml Ethanol (Primasprit) versetzt und unter Rühren gelöst.

**Silbernitratlösung, ammoniakalische (Tollens Reagens).** 2% ige Silbernitratlösung (Gift 2!) wird vorsichtig mit etwa einem Zehntel des Volumens 3 M Natriumhydroxidlösung (10% ig) versetzt. Anschließend fügt man unter ständigem Schütteln so viel 10% ige Ammoniaklösung zu, daß sich der beim Eintropfen entstehende Niederschlag eben wieder löst. Die Lösung sollte stets frisch bereitet und nicht aufbewahrt werden (Vorsicht, Gefahr der Silberacidbildung! Explosionsgefahr!).

**Stärke**lösung. 1 g Stärke wird in wenig Wasser angerührt und in 200 ml kochendes Wasser eingetragen.

**Zinkchlorid-Iodlösung** (Chlorzinkiodlösung). 200 g wasserfreies Zinkchlorid (Gift 2!) werden in 100 ml Wasser gelöst und mit einer Lösung von 21 g Kaliumiodid und 1 g Iod in 500 ml destilliertem Wasser gemischt, vom Bodensatz abgossen, dann noch einige Iodkristalle zugesetzt.

### 3.1.5.2. Reagenzpapiere

Reagenzpapiere sind 10 mm breite Filterpapierstreifen, die mit Reagenzlösungen getränkt und anschließend getrocknet werden. Sie lassen sich bequem handhaben und sind vor allem für die Betrachtung aus geringerer Entfernung, also für Schülerexperimente, geeignet. Die Benutzung von Reagenzpapieren bietet in einigen Fällen noch weitere Vorteile gegenüber dem Arbeiten mit Lösungen:

- Flüssigkeiten, die weiter verarbeitet werden sollen, können gut mit Reagenzpapieren untersucht werden, wogegen nach Zusatz einer Reagenzlösung eine weitere Reaktion im allgemeinen gestört ist.
- Ein Tropfen der zu prüfenden Flüssigkeiten kann mit einem Glasstab auf das Reagenzpapier aufgetragen werden. Dadurch läßt sich jede Verunreinigung der Flüssigkeit mit der Indikatorlösung vermeiden. Außerdem tritt auch keine merkliche Volumenveränderung ein.
- Mit Indikatorpapieren können Gase untersucht werden, indem man die angefeuchteten Streifen wenige Sekunden in das Gas hält.

Für den Chemieunterricht sind deshalb die in der folgenden Aufstellung genannten Indikatorpapiere sehr nützlich. Einige kann man selbst herstellen. Dazu trinkt man größere Stücke Filterpapier mit geeigneten Lösungen, trocknet und zerschneidet in Streifen. Die meisten Reagenzpapiere werden in etwa 80 mm langen Streifen in Papp- oder Plastschachteln oder auf Rollen in Plastschachteln (Abb. 338) geliefert. Letztere bieten den Vorzug, daß Stücke von verschiedener Länge abgetrennt werden können.

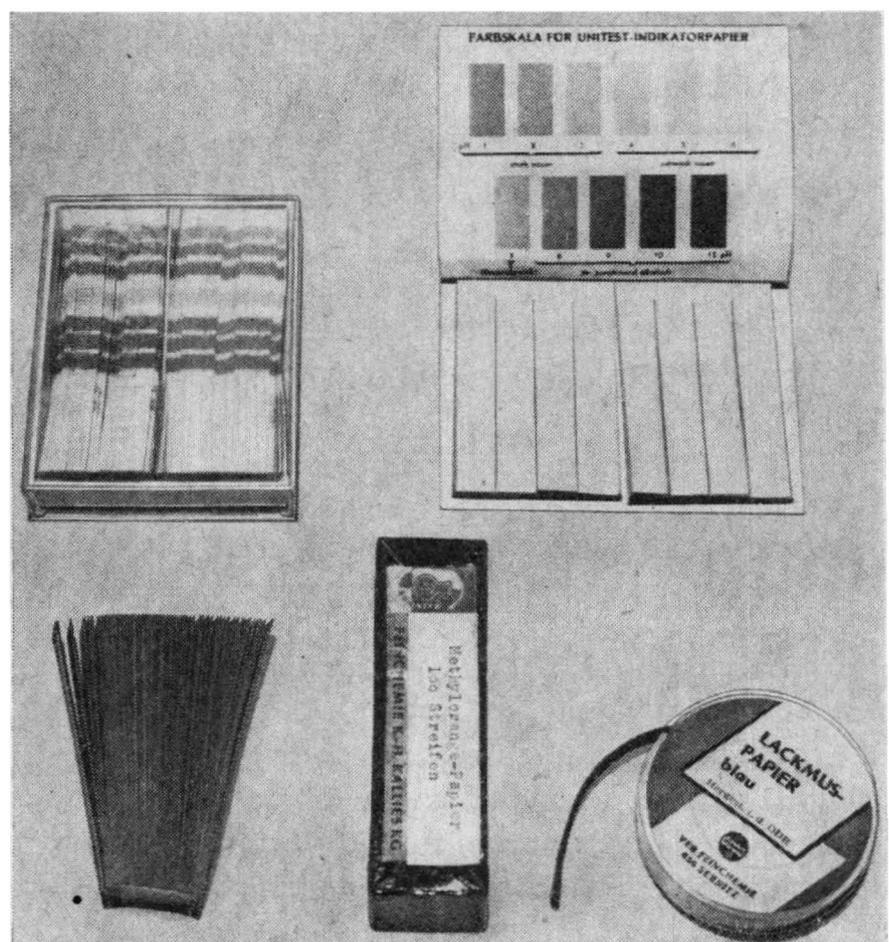


Abb. 338 Handelsformen von Reagenzpapieren

Auf Handhabung, Aufbewahrung und Handelsformen wird bei den folgenden alphabetisch geordneten Angaben nur eingegangen, wenn Besonderheiten zu beachten sind.

**Bleiacetatpapier** (Bleiethanatpapier) wird zum Nachweis von Schwefelwasserstoff durch Bildung des schwarzen Bleisulfids verwendet.

*Herstellung:* Filterpapier wird mit einer konzentrierten Bleiacetatlösung getränkt, der einige Tropfen Ethansäure zugesetzt wurden; danach wird getrocknet (Vorsicht, Gift 2!).

*Aufbewahrung:* Das Bleiacetatpapier ist in einem gut schließenden Gefäß aufzubewahren, da das Papier schon bei geringem Schwefelwasserstoffanteil der Luft geschwärzt wird.

**Indigopapier** wird zum Nachweis von Chlor und Ozon verwendet.

*Herstellung:* Indigopapier ist in jedem Falle frisch herzustellen, indem Filterpapierstreifen in eine Indigolösung (↗ S. 351) eingetaucht werden.

**Kaliumiodid-Stärkepapier** dient zum Nachweis von Chlor und Ozon.

*Herstellung:* Filterpapier wird in eine Kaliumiodid-Stärkelösung eingetaucht und anschließend getrocknet.

**Lackmuspapier** (blau, rot und neutral) dient zum Nachweis saurer und basischer Reaktionen durch Färbung (Umschlagbereich ↗ S. 347).

*Herstellung:* Filterpapier wird mit Lackmuslösung getränkt und anschließend getrocknet (ist wenig zu empfehlen).

**Methylorangepapier** wird zum Nachweis der sauren und basischen Reaktion durch Färbung (Umschlagbereich ↗ S. 347) benutzt.

**Phenolphthaleinpapier** dient zum Nachweis der basischen Reaktion durch Rotfärbung (Umschlagbereich ↗ S. 347).

*Herstellung:* Filterpapier wird mit Phenolphthaleinlösung getränkt (wird kaum empfohlen).

**pH-Wertbestimmungspapier** (z. B. Stuphanpapier).

*Handhabung:* Der Papierstreifen ist mit Vergleichsfarben versehen. Zwischen diesen befindet sich ein Abschnitt, der mit der Indikatorlösung imprägniert ist (Abb. 339). Taucht man den Papierstreifen 1 ... 2 s in die zu untersuchende Lösung, so färbt sich der Indikatorabschnitt entsprechend einer der Vergleichsfarben, wenn der pH-Wert der Lösung in dem Anzeigebereich des gewählten Papierstreifens liegt. Solche Papiere sind für verschiedene pH-Wertbereiche im Chemieunterricht, vor allem aber in der außerunterrichtlichen Arbeit wichtig (Tab. 104).

**Polreagenzpapier** wird zum Feststellen des negativen Pols in Gleichstromkreisen verwendet.

*Herstellung:* Filterpapier wird mit einer Natriumsulfatlösung und einer alkoholischen Phenolphthaleinlösung getränkt und anschließend getrocknet.

*Handhabung:* Das Polreagenzpapier ist anzufeuchten, und die blanken Drahtenden sind in geringer Entfernung voneinander darauf zu halten. Am negativen Pol bildet sich auf dem Polreagenzpapier eine rote Färbung.

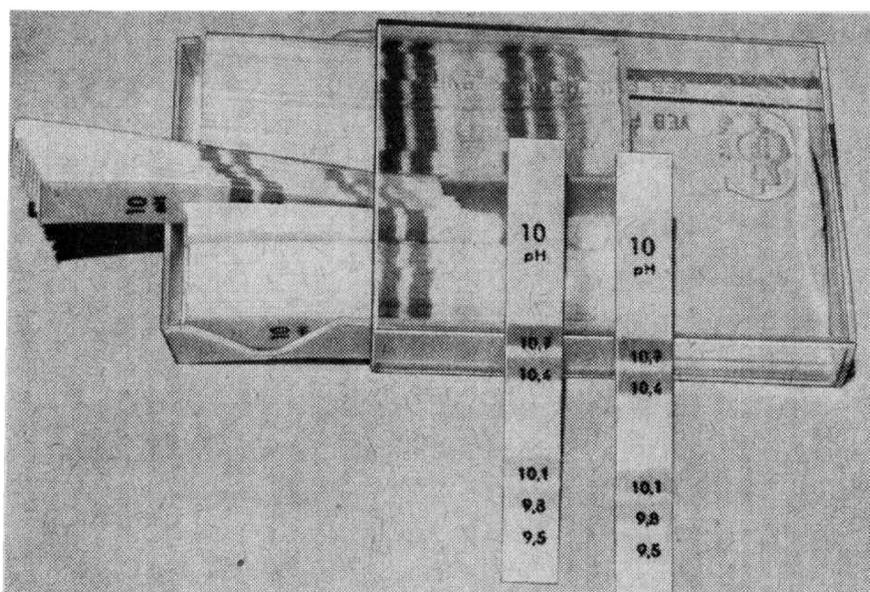


Abb. 339 pH-Wertbestimmungspapier (Stuphanpapier)

**Unitestpapier** dient zur ungefähren Bestimmung von pH-Werten.

*Handhabung:* Der Unitestpapierstreifen wird 1 ... 2 s in die zu untersuchende Lösung getaucht und mit der jeder Packung beigelegten Farbskala verglichen.

**Tabelle 104** pH-Wertbereiche von Stuphanpapier

Bestell-Nr.	Umschlagfarben	pH-Werte der Vergleichsfarben					
1	gelbgrün – violett	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,4
2	dunkelbraun – gelb	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7
3	gelb – purpur	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,2
4	gelbgrün – blau	3,9	4,2	4,5	4,8	5,1	5,4
5	gelb – rotviolett	5,1	5,4	5,7	6,0	6,3	6,6
6	gelb – blau	6,0	6,3	6,6	6,9	7,2	7,5
7	gelbbraun – rot – violett	7,5	7,8	8,1	8,4	8,7	
8	grau – blau	8,1	8,4	8,7	9,0	9,3	9,6
9	gelb – rotviolett	6,6	6,9	7,2	7,5	7,8	8,1
10	farblos – blau	9,5	9,8	10,1	10,4	10,7	
11	farblos – blau	10,2	10,5	10,8	11,1	11,4	
21	rotviolett – gelb	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
22	rot – grüngelb	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
23	orange – grün	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
24	gelb – blau	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
25	grüngelb – blau	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5
26	schwachviolett – blauviolett	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5
27	orange – rotbraun	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0

### 3.1.6. Zündgemische

Zur Durchführung einiger Experimente, vor allem bei aluminothermischen Reaktionen, werden Zündgemische benötigt. Es handelt sich um leicht entzündliche Stoffgemische, die geeignet sind, die Reaktion anderer Gemische auszulösen.

Beim Umgang mit Zündgemischen ist größte Vorsicht geboten, da bereits bei Erwärmen, starkem Druck oder Stoß Selbstentzündung erfolgen kann, die meist explosionsartig verläuft. Als recht zweckmäßig erweisen sich Gemische, bei denen die Reaktion erst durch Zugabe einer flüssigen Komponente ausgelöst wird. Für die *Herstellung und Handhabung von Zündgemischen* sind folgende Hinweise wesentlich:

- Es sollte nur so viel Zündgemisch hergestellt werden, wie für das jeweilige Experiment benötigt wird. Zündgemische darf man nicht aufbewahren. Reste sind sofort zu vernichten.
- Beim *Mischen* der Bestandteile muß sehr vorsichtig verfahren werden. Harte Gegenstände dürfen nicht verwendet werden (z. B. nicht in Schalen oder Reibschalen, nicht mit Metallspateln oder Glasstäben mischen). Das Mischen erfolgt durch mehrmaliges Umschütten der Bestandteile auf Papier und gegebenenfalls sehr vorsichtiges Bewegen mit einer Federfahne. Zu dieser Arbeit ist unbedingt eine Schutzbrille zu tragen! Das Gemisch wird grundsätzlich vor Beginn der Unterrichtsstunde hergestellt.
- Das Zündgemisch ist an einer Stelle als sogenannte *Zündkirsche* in den zu zündenden Stoff einzubringen. Um bessere Zündwirkung zu erreichen, kann man in unmittelbarer Umgebung der Zündkirsche vorsichtig etwas Zündgemisch unter den zu zündenden Stoff bringen, sofern das möglich ist (Abb. 340).
- Das *Entzünden* des Zündgemisches, das grundsätzlich durch den Lehrer zu erfolgen hat, darf niemals direkt mit dem Streichholz vorgenommen werden. Bis zum Einsetzen der Reaktion muß so viel Zeit vorhanden sein, daß sich der Lehrer sicher entfernen kann. Man benutzt deshalb Salpeterpapier (Filterpapier, das mit 20 ... 25%iger Kaliumnitratlösung getränkt und getrocknet worden ist), Magnesiumband oder lange Magnesiumspäne, die in der Zündkirsche stecken. Sie werden am abgewandten Ende entzündet und brennen dann langsam bis zum Zündgemisch ab. Soll die Reaktion durch eine Flüssigkeit ausgelöst werden, so wird diese mit einem langen Glasrohr (mindestens 50 cm) zugegeben, das man wie einen Heber handhabt. Am günstigsten ist es, auf das Zündgemisch etwa 0,3 g Kaliumpermanganat zu geben und 1 ... 2 Tropfen Glycerol (auf 30 °C erwärmt) zuzugeben. Es dauert hierbei einige Sekunden, bis die Reaktion einsetzt. Ist das Glycerol zu kalt, kann die Reaktion ausbleiben [71].
- Die meist sehr heftig verlaufenden Reaktionen, die durch Zündgemische ausgelöst werden, sollte man nicht im Fachunterrichtsraum, sondern *auf dem Schulhof* demonstrieren. Dazu stellen sich die Schüler in einem Abstand von mindestens 5 m auf. Sie sind vorher auf mögliche starke Effekte, wie helle Lichterscheinungen oder Knall, aufmerksam zu machen.

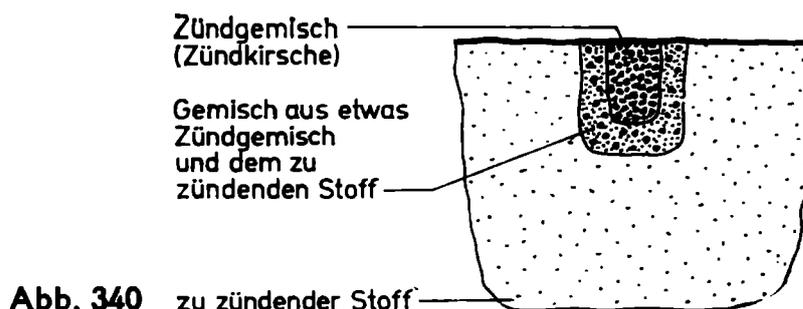


Abb. 340 Zündkirsche aus Zündgemisch

- Läuft das Experiment nicht planmäßig ab (Zündkirsche wird offenbar nicht entzündet oder brennt heraus, ohne die Reaktion auszulösen), so darf nicht sofort herangetreten werden. Die Reaktionen laufen zuweilen etwas verzögert ab. Erst wenn nach mehreren Minuten keine Reaktion eingetreten ist, kann der Lehrer vorsichtig herantreten und den Sachverhalt überprüfen.
- Bei derartigen Experimenten sind die Angaben in der Experimentierliteratur genau zu befolgen und gründliche Erprobungen vorzunehmen.

Einige Zündgemische sollen angeführt werden:

**Schwefel-Kaliumchlorat.** Schwefel und Kaliumchlorat werden zu gleichen Teilen durch Umschütten auf Papier (Karteikarten) gemischt.

**Bariumperoxid-Magnesium.** 1 g wasserfreies Bariumperoxidpulver (vorher bei Zimmertemperatur trocknen; ↗ S. 212) und 1,5 g Magnesiumpulver werden durch mehrmaliges Umschütten auf Papier gut gemischt. Die Reaktion wird durch ein in eine Vertiefung eingebrachtes erbsengroßes Häufchen Kaliumpermanganat und Zugabe von einigen Tropfen Glycerol oder durch Entzünden mit Magnesiumband oder Salpeterpapier ausgelöst.

**Bariumperoxid-Aluminium:** 1 g Aluminiumpulver wird mit 4 g wasserfreiem Bariumperoxidpulver durch mehrmaliges Umschütten auf Papier sorgfältig gemischt. Die Reaktion wird durch Entzünden wie beim Gemisch mit Magnesium ausgelöst.

**Zucker-Kaliumchlorat-Schwefelsäure.** 3 g feinpulverisierter Trauben- oder Rohrzucker werden mit 2,5 g Kaliumchlorat durch Umschütten auf Papier gut durchmischt (große Vorsicht!). Durch Auftropfen weniger Tropfen konzentrierter Schwefelsäure (Vorsicht, Gift 2!) mit einem langen Glasrohr wird die Reaktion ausgelöst.

**Kaliumpermanganat-Eisen.** 2 g Kaliumpermanganat und 2 g Eisenpulver werden auf Papier durch Umschütten gut vermischt. Das Entzünden erfolgt mit einem Streifen Magnesiumband oder Salpeterpapier oder besser durch Auftropfen von Glycerol aus einem langen Glasrohr.

## 3.1.7. Katalysatoren

### 3.1.7.1. Allgemeines

Bei Schulexperimenten werden oft Katalysatoren eingesetzt. Die katalytisch wirkenden Stoffe können mit den jeweiligen reagierenden Stoffen sehr verschiedenartig in Berührung gebracht werden. Die homogene Katalyse wird bei Schulexperimenten fast ausschließlich in der flüssigen Phase angewandt (z. B. Base- oder Säurekatalyse). Bei heterogenen Reaktionen treten die Katalysatoren besonders in folgenden *Formen* auf:

- Als Katalysator wirken *Draht- oder Netzrollen* von Metallen (z. B. Kupfer, Silber), die mit den flüssigen oder gasförmigen reagierenden Stoffen in Berührung gebracht werden.
- Der Katalysator wird in *grobkörnigen* Stücken verwendet, die meist durch Sintern hergestellt worden sind. Die Eigenschaften sind dann sehr stark von den Bedingungen abhängig, unter denen der Sintervorgang abgelaufen ist.
- Der Katalysator liegt in *Pulverform* vor. In diesem Falle wird er meist auf einen Trägerstoff aufgebracht.
- Der Katalysator wird bei der Herstellung in sehr feiner Verteilung auf der *Oberfläche des Trägerstoffes* gebildet.

Solche Katalysatoren werden oft in Verbrennungsrohre eingebracht. Man füllt dann den aktiven Stoff (Katalysator und Trägerstoff) meist in einer Länge von 2 ... 4 cm je nach Angabe in der Anleitung so in das Verbrennungsrohr, daß der gesamte Querschnitt ausgefüllt wird. Der Katalysator wird dann auf beiden Seiten mit einer 1 ... 2 cm dicken Schicht gereinigter und geglühter Asbestwolle festgelegt, die man mit Hilfe eines Glasstabs leicht festdrückt. Es muß aber noch ein ausreichender Gastrom hindurchtreten können, wovon man sich vor dem Zusammenbau der Apparatur überzeugen muß.

Oft ist es möglich, *Trägerstoffe für Katalysatoren* auszutauschen. Besonders geeignet als Träger sind: Glaswolle, Asbestwolle oder -fasern, Tonscherben, Bimsstein und Ziegelsteinbrocken. Bei den drei letztgenannten Stoffen beträgt die Korngröße etwa 2 ... 5 mm. Wird der katalytisch wirksame Stoff in feiner Verteilung auf dem Träger niedergeschlagen, so beeinflußt dessen Porosität die Wirksamkeit des Katalysators stark. Vor der Verwendung sind die Trägermaterialien gründlich zu reinigen, indem man sie mit Säure auskocht, wäscht und im Tiegel glüht.

Die katalytisch wirkenden Stoffe können sehr verschiedenartig sein. In manchen Fällen eignen sich Chemikalien als Katalysatoren, die ohne besondere Vorbehandlung aus der Chemikalienflasche entnommen werden. Oft ist jedoch eine besondere Präparation notwendig. Entsprechende Vorschriften enthält der folgende Abschnitt. Sieht man von der Säure-Base-Katalyse und der Einwirkung von Enzymen auf physiologisch bedeutsame Reaktionen ab, so ist für den Chemieunterricht und für Arbeitsgemeinschaften eine begrenzte Anzahl von Katalysatoren erforderlich (Tab. 105). Die Aufstellung enthält jeweils nur besonders empfehlenswerte, leicht herstellbare Katalysatoren. Weitere, oft mit etwas größerem Her-

stellungsaufwand zu gewinnende, teilweise aber mit größerer Effektivität arbeitende Katalysatoren sind den folgenden Herstellungsvorschriften zu entnehmen.

**Tabelle 105** Wichtige Katalysatoren

Katalytisch beeinflusste Reaktion	besonders empfohlener Katalysator	beste Wirksamkeit
Sauerstoffdarstellung aus Wasserstoffperoxid	Mangan(IV)-oxid <sup>1</sup> oder Kaliumdichromat <sup>1</sup>	Zimmertemperatur
Oxydation von Kohlenmonoxid mit Wasser (Konvertierung)	Eisenpulver <sup>1</sup> oder Nickeloxid-Katalysator	500 °C 450 ... 500 °C
Methandarstellung aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff	Nickel-Katalysator I	200 ... 250 °C
Dehydratisierung von Ethanol zu Ethen	Ziegelsteinbrocken <sup>1</sup> oder Aluminiumoxid	400 °C
Hydrierung von Ethen	Nickel-Magnesiumoxalat-Mischkatalysator	Zimmertemperatur
Dehydrierung von Alkanen und Cyclohexan	Nickel-Katalysator III	
Substitution von Brom an Benzen	Eisenfeilspäne <sup>1</sup>	Zimmertemperatur
Kohlenwasserstoffsynthese nach Fischer und Tropsch	Cobalt-Magnesium-Katalysator	250 °C
Hydratisierung von Alkenen	Ziegelstein-Phosphorsäure-Katalysator	200 °C
Hydratisierung von Ethin	Quecksilber(II)-sulfat <sup>1</sup> (in Aufschlämmung)	75 ... 80 °C
Oxydation von Methanol und Ethanol zu Aldehyd	Kupferdrahtnetz <sup>1</sup>	etwa 500 °C
Decarboxylierung von Monocarbonsäure	Nickel-Katalysator IV	
Hydrierung von Fetten (Fetthärtung)	Nickel-Katalysator II	etwa 100 °C
Ammoniaksynthese	Cereisen (Zündsteine)	100 ... 200 °C
Ammoniakoxydation	Kupferdrahtnetz <sup>1</sup>	etwa 600 °C
Oxydation von Schwefelwasserstoff zu Schwefel	Aktivkohle <sup>1</sup>	Zimmertemperatur
Oxydation von Schwefeldioxid	Mangan(IV)-oxid-Katalysator	400 ... 600 °C

<sup>1</sup> Substanz direkt verwendbar; keine besondere Präparation

### 3.1.7.2. Vorschriften für die Herstellung einzelner Katalysatoren

Die folgenden Vorschriften zur Herstellung von Katalysatoren sind nach den Reaktionen geordnet, die sie beeinflussen. Die Reihenfolge entspricht der Übersicht (Tab. 105). Zunächst werden jeweils die dort genannten Katalysatoren aufgeführt, soweit besondere Herstellungsverfahren erforderlich sind. Weitere Katalysatoren folgen in alphabetischer Reihenfolge.

#### **Oxydation von Kohlenmonoxid mit Wasser (Konvertierung) [75]**

**Eisenpulver.** Beste Wirksamkeit liegt bei etwa 500 °C (dunkle Rotglut).

**Nickeloxid-Katalysator [69].** Bimssteinbrocken oder Tonscherben werden in konzentrierte Nickelnitratlösung gegeben und darin 30 min auf dem Wasserbad erwärmt. Nach dem Abgießen der Flüssigkeit läßt man die Brocken beziehungsweise Scherben trocknen. Anschließend werden diese auf dem Drahtnetz oder im Muffelofen durchgeglüht, bis keine Stickstoffoxide mehr entstehen. Beste Wirksamkeit liegt bei 450 ... 500 °C.

**Eisen(III)-oxid-Katalysator.** Herstellung wie Nickeloxid-Katalysator, jedoch mit Eisen(III)-nitratlösung. Beste Wirksamkeit liegt bei 450 ... 500 °C.

#### **Methandarstellung aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff**

**Nickel-Katalysator I [30].** 1 ... 2 g gefasertes Asbest werden mit 20% iger cobaltfreier Nickelnitratlösung getränkt, getrocknet und im Schmelztiiegel geglüht (Abzug!), bis keine nitrosen Gase mehr entstehen. Anschließend wird im Wasserstoffstrom bei 300 °C reduziert, und man läßt im wasserstoffgefüllten Rohr erkalten. Der Wasserstoff zur Reduktion des Katalysators muß frei von Arsenwasserstoff, Schwefelwasserstoff oder ähnlichen Kontaktgiften sein. Gegebenenfalls müssen sogar Spuren von Sauerstoff durch Überleiten über Platinasbest bei Zimmertemperatur vorher entfernt werden. Beste Wirksamkeit liegt bei 200 ... 250 °C.

#### **Dehydratisierung von Ethanol zu Ethen**

Häufig werden konzentrierte Schwefelsäure oder bei 300 °C entwässerte Phosphorsäure mit Ethanol umgesetzt. Für Reaktionen in der Gasphase können benutzt werden:

**Aluminiumoxid-Katalysator.** Feuchtes Aluminiumhydroxid (eventuell durch Fällung vorher hergestellt) wird mit gekörntem Bimsstein oder Ziegelstein angeteigt, getrocknet und 30 min auf höchstens 300 °C erhitzt [69];  
oder gekörnter Bimsstein oder Ziegelstein wird in Aluminiumoxidpulver gewälzt [55];  
oder gekörnter Ziegelstein, der wird ohne weitere Behandlung verwendet [34]. Beste Wirksamkeit liegt bei etwa 400 °C (beginnende schwache Rotglut).

**Aluminiumsulfat-Katalysator** [28]. 30 ml Wasser werden mit 5 g Aluminiumsulfat-18-Wasser und 15 g gekörntem Bimsstein gekocht, bis sich die Bimssteinkörner abgesetzt haben; danach ist bei 200 °C zu trocknen.

Beste Wirksamkeit liegt bei etwa 400 °C (nicht glühen!).

### Hydrierung von Ethen zu Ethan

**Nickel-Magnesiumoxalat-Mischkatalysator** [44]. 7 g Nickelnitrat-6-Wasser  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$  und 30 g Magnesiumnitrat-6-Wasser  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$  werden in 200 ml Wasser gelöst und bei etwa 60 °C mit einer Lösung von 15 g Oxalsäure (Ethandisäure) in 200 ml Wasser versetzt. Nach 24 h wird der Niederschlag abfiltriert, mit mindestens 3 ... 4 l Wasser gewaschen (Nitrat darf mit Diphenylamin-Schwefelsäure im Waschwasser nicht mehr nachweisbar sein!) und bei 105 °C getrocknet. Das blaßgrüne Pulver wird mit Bimsstein gemischt und im Pyrolanschiffchen im Wasserstoffstrom bei 280 ... 350 °C erhitzt. Wenn eine Farbänderung eintritt, läßt man langsam im Wasserstoffstrom erkalten. Da der Katalysator pyrophor ist, wird er zur Aufbewahrung mit Benzen (Gift 2, Gefahrklasse A I!) befeuchtet. Man tropft deshalb noch im Wasserstoffstrom etwa 2 ml Benzen in das Schiffchen. Er ist dann in einen dicht schließenden Behälter (Schliffstopfen) zu überführen und am besten ganz mit Benzen zu bedecken.

Zur Umsetzung mit Wasserstoff kann man aber auch den Katalysator im Verbrennungsrohr festlegen (4 ... 6 cm) und nach dem Erkalten das fest verschlossene Verbrennungsrohr für die weitere Verwendung aufbewahren.

Beste Wirksamkeit als Aufschlammung in Benzen liegt bei Zimmertemperatur.

**Nickel-Katalysator I.** (↗ Methanherstellung, S. 360).

Beste Wirksamkeit liegt bei 150 °C.

**Nickel-Zinkoxalat-Mischkatalysator** [44]. 10 g Nickelnitrat und 15,3 g Zinknitrat-6-Wasser  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$  werden in 250 ml Wasser bei 40 °C gelöst. Weiter wie bei Nickel-Magnesiumoxalat-Katalysator.

Beste Wirksamkeit als Aufschlammung in Benzen (Gift 2, Gefahrklasse A I!) liegt bei Zimmertemperatur.

Der Katalysator ist in fester Form auch zur Hydrierung von Ethin und Propen geeignet [85].

### Dehydrierung

**Nickel-Katalysator III.** 10 g Asbestwolle werden mit 25 ml konzentrierter Nickel(II)-chloridlösung getränkt und die Flüssigkeit eingedampft. Nach dem Erkalten setzt man zuerst 8 ml konzentrierte Methanollösung (Gift 2, Gefahrklasse B I!), dann eine Lösung von 5 g Kaliumhydroxid in 10 ml Wasser zu, rührt das Ganze gründlich durch und wäscht den Brei in einem Büchnertrichter mit destilliertem Wasser, bis keine nennenswerte Konzentration an Chlorid-Ionen im Filtrat mehr nachweisbar ist. Danach trocknet man 2 ... 3 h bei etwa 120 °C und erhitzt schließlich im Wasserstoffstrom.

## Kohlenwasserstoffsynthese nach Fischer und Tropsch

**Cobalt–Magnesium-Katalysator** [32]. 20 g Cobaltnitrat-6-Wasser werden in 80 ml destilliertem Wasser und 12 g Natriumcarbonat (wasserfrei) in 200 ml Wasser gelöst. Beide Lösungen sind zum Sieden zu erhitzen. Die Natriumcarbonatlösung wird dann unter Rühren zur Cobaltnitratlösung gegeben, der Niederschlag sofort abgesaugt, nochmals in 150 ml kochendem Wasser verrührt, wiederum abgesaugt und im Exsikkator getrocknet. Anschließend werden in 50 ml konzentrierte Methansäure zunächst 6 g Magnesiumoxid und danach das trockene Cobaltcarbonat eingetragen. Nach zwei Tagen in bedecktem Gefäß ist die überstehende Lösung abzugießen und der Niederschlag auf Filterpapier an einem staubfreien Ort oberflächlich zu trocknen. Dann wird mit 5 ml technischer Wasserglaslösung, die auf 10 ml verdünnt worden ist, übergossen und im Exsikkator vollständig getrocknet. Anschließend muß der getrocknete Stoff zwischen Eisen- oder Kupferdrehspäne oder Kupfernetzstücke in ein Reagenzglas mit Gasableitung übergeführt und vorsichtig mit der leuchtenden Flamme erhitzt werden. Entweichendes Gas wird von unten in den Kamin eines entzündeten Brenners eingeleitet. Danach läßt man völlig erkalten und bewahrt den Katalysator in einer gut schließenden Chemikalienflasche auf. Vorsicht! Der Katalysator neigt zur Selbstentzündung an der Luft!

Beste Wirksamkeit liegt bei 250 °C.

## Hydratisierung von Alkenen

**Ziegelstein–Phosphorsäure-Katalysator.** Kleine Ziegelsteinbrocken läßt man etwa 1 h in 1 N Schwefelsäure stehen. Dann wäscht man die Brocken mit destilliertem Wasser und trocknet sie. Anschließend werden sie mit 85%iger Phosphorsäure (Gift 2!) behandelt und dann bei etwa 200 °C erneut getrocknet. Die entstehende Masse ist zu zerkleinern.

## Oxydation von Methanol zu Methanal

Neben Kupferwolle und Platindrahtspiralen, Kupferdrahtnetzen oder Kupferbeziehungsweise Kupferoxidpulver auf einem Trägerstoff werden empfohlen:

**Silber-Katalysator.** Silberpulver wird aus konzentrierter Silbernitratlösung (Gift 2!) durch Zementation mit Kupfer hergestellt und im Massenverhältnis 3:1 mit Bimsstein gemischt;

oder 5 g gekörnter Bimsstein werden mit 6 ml 5%iger Silbernitratlösung (Gift 2!) getränkt. Die Flüssigkeit wird über kleiner Flamme abgedampft und der Rückstand stark geglüht, bis keine nitrosen Gase mehr entstehen (Abzug!) [43].

Beste Wirksamkeit liegt bei etwa 400 °C (beginnende Rotglut).

## Oxydation von Ethanol zu Ethanal

Neben schon für die Oxydation von Methanol genannten Katalysatoren werden empfohlen:

**Kupfer–Calciumoxalat-Mischkatalysator** [44]. 12,5 g Kupfer(II)-nitrat-3-Wasser  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$  (Gift 2!) und 23,6 g Calciumnitrat-4-Wasser  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$  werden in 200 ml Wasser gelöst und bei 70 °C mit einer Lösung von 30 g Oxalsäure (Ethandisäure) in 150 ml Wasser gemischt. Weitere Bearbeitung wie bei Oxalat-Mischkatalysatoren (↗ S. 361);

oder 11,5 g Kupfer(II)-dihydroxycarbonat  $2 \text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$  und 100 ml konzentrierte Methansäure (Gift 2!) werden bei etwa 100 °C umgesetzt. Danach gibt man 50 ml Wasser zu und läßt erkalten. Anschließend werden eine Lösung von 7,5 g Calciumhydroxid in einem Gemisch aus 10 ml Methansäure und 90 ml Wasser zugefügt, dann mit 300 ml Wasser verdünnt und mit einer Lösung von 35 g Oxalsäure in 350 ml Wasser bei 40 °C versetzt. Der Niederschlag wird abgesaugt und bei 105 °C getrocknet.

Beste Wirksamkeit liegt bei 180 ... 250 °C.

**Mangan(IV)-oxid-Katalysator** [39]. Asbestfasern werden mit einer konzentrierten Mangannitratlösung versetzt und das Ganze zur Trockne eingedampft. Danach glüht man, bis keine nitrosen Gase mehr entstehen (Abzug!).

Beste Wirksamkeit liegt bei 400 ... 500 °C (schwache Rotglut).

### Decarboxylierung von Monocarbonsäuren

**Nickel-Katalysator IV.** 10 g Kieselgur werden mit 10 g Nickelcarbonat verrieben und dann mit so viel konzentrierter Methansäure (Gift 2!) übergossen, daß das Pulver bedeckt ist. Anschließend wird zur Trockne eingedampft und das Gemisch in einer Eisenschale kräftig erhitzt (Abzug! Entwicklung von Kohlenmonoxid). Nach dem Erkalten wird die Masse zu körnigen, etwa erbsengroßen Stücken zerbrochen.

### Hydrierung von Fetten (Fetthärtung)

**Nickel-Katalysator II** [5]. 5 g Kieselgur werden geglüht und mit einer Lösung von 10 g Nickelnitrat-6-Wasser in 15 ml Wasser gemischt. Der entstehende Brei ist durch vorsichtiges Erwärmen zu entwässern und anschließend unter dem Abzug zu glühen, bis keine nitrosen Gase mehr entstehen. In dieser Form wird der Katalysator aufbewahrt. Zum Experiment werden 0,5 g des Katalysators im Reagenzglas im Wasserstoffstrom reduziert und sofort im gleichen Reagenzglas verwandt.

Beste Wirksamkeit liegt bei etwa 100 °C.

**Nickelformiat-Katalysator** [69]. In konzentrierte Methansäure (Gift 2!) wird in der Hitze langsam Nickelcarbonat gegeben. Die Methansäure ist jedoch dabei nicht vollständig umzusetzen. Dann wird dekantiert, der Niederschlag abgesaugt, mit wenig Wasser gewaschen und bei 100 ... 105 °C getrocknet. Nach dem Pulverisieren ist der Katalysator in einer gut schließenden Chemikalienflasche aufzubewahren.

In der ersten Phase des Experiments wird das Nickelformiat reduziert. Der bei diesem Experiment entstehende Bodensatz kann wieder verwendet werden.

Beste Wirksamkeit liegt bei etwa 300 °C.

**Nickelcarbonat-Katalysator** [22]. Nickelsulfatlösung wird mit äquivalenter Menge Natriumcarbonatlösung versetzt. Nach Absetzen des Niederschlags ist mehrmals mit heißem Wasser zu waschen, an der Luft und anschließend im Exsikkator zu trocknen. Der Katalysator wird in der ersten Phase des Experiments reduziert.

Beste Wirksamkeit liegt bei 280 °C.

**Nickel-Magnesiumoxalat- oder Nickel-Zinkoxalat-Mischkatalysator.**

(↗ Hydrierung von Ethen, S. 361)

Beste Wirksamkeit liegt bei 80 ... 100 °C.

### **Ammoniaksynthese [16]**

**Cereisen** (kleine Zündsteine). Cereisen wird im Diamantmörser oder durch Zerschlagen mit einem Hammer auf einer Eisenplatte zerkleinert (sehr vorsichtig vorgehen, damit die Stücke nicht an der Luft verglühen; nicht reiben!) und auf etwas Glaswolle verteilt.

Beste Wirksamkeit liegt bei 100 ... 200 °C (nicht zu stark erhitzen!).

**Eisen-Aluminiumoxid-Katalysator.** Ein Gemisch aus Eisenpulver und Aluminiumoxid wird auf Glaswolle oder Ziegelsteinbrocken aufgetragen.

Beste Wirksamkeit liegt bei etwa 500 °C.

**Eisenpulver** [3]. Eisenpulver wird auf einen Trägerstoff, zum Beispiel Ziegelsteinbrocken, aufgetragen.

Beste Wirksamkeit liegt bei 500 °C.

**Wolfram-Osmium-Glühdraht.** Drähte aus alten Glühlampen werden in der Reibschale etwas zerkleinert.

Beste Wirksamkeit bei 190 ... 200 °C.

### **Oxydation von Ammoniak**

Bei dieser Reaktion hängen die Ergebnisse stark von der Zusammensetzung des Gasgemisches ab. Die Gase sollen möglichst im stöchiometrischen Verhältnis vorliegen.

**Kupferdrahtnetz** mit 0,25 ... 1,0 mm Maschenweite und 0,16 ... 0,63 mm Drahtdurchmesser.

Beste Wirksamkeit bei heller Rotglut (etwa 600 °C).

**Mangan(IV)-oxid-Katalysator** [83]. Mangan(IV)-oxid (Braunstein) wird auf Glaswolle aufgetragen oder Herstellung wie bei Oxydation von Ethanol zu Ethanal (↗ S. 362).

Beste Wirksamkeit liegt bei 400 ... 500 °C (beginnendes Glühen).

**Eisen(III)-oxid-Mangan(IV)-oxid-Katalysator** [24]. 8 g Eisen(III)-oxid und 12 g Mangan(IV)-oxid (Braunstein) werden mit 6 Tropfen konzentrierter Cobaltnitratlösung durchfeuchtet und kräftig geglüht.

Beste Wirksamkeit liegt bei 400 ... 500 °C (dunkle Rotglut).

**Eisen–Bismut–Mangan-Mischkatalysator** [64]. 23,5 g Eisen(III)-nitrat-9-Wasser  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$ , 1 g Bismutnitrat-5-Wasser  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$  (Gift 2!) und 1,6 g Mangan(II)-nitrat-6-Wasser  $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$  werden in 40 ... 50 ml Wasser gelöst und 10 g gekörnter Bimsstein zugegeben. Anschließend wird zur Trockne eingedampft und geglüht, bis keine nitrosen Gase mehr entstehen (Abzug!). Beste Wirksamkeit liegt bei 400 ... 500 °C (dunkle Rotglut).

**Chromium(III)-oxid-Katalysator.** Chromium(III)-oxid wird stark geglüht und auf Glaswolle aufgetragen;  
oder Chromium(III)-oxid wird mit etwas Chromium(VI)-oxid  $\text{CrO}_3$  gemischt und kräftig erhitzt, dann auf Glaswolle aufgetragen [13];  
oder Ammoniumdichromat wird vorsichtig geglüht und auf Glaswolle aufgetragen [3].  
Beste Wirksamkeit liegt bei 200 ... 300 °C (Schülerexperimente).

**Cobaltoxid-Katalysator** [42]. 20 g Cobaltnitrat-6-Wasser werden in 100 ml Wasser gelöst und mit einer Lösung von 20 g Natriumcarbonat-10-Wasser (krist.) in 100 ml Wasser versetzt. Der Niederschlag wird abgesaugt und mehrfach mit Wasser gewaschen, der Rückstand in 50 ml Wasser aufgeschlämmt und unter Rühren mit einer heißen Lösung von 9 g Oxalsäure (Ethandisäure) in 100 ml Wasser versetzt. Danach ist der Niederschlag erneut abzusaugen und zu waschen. Der Filterkuchen wird zerschnitten, getrocknet und bei 600 °C geglüht.  
Beste Wirksamkeit liegt bei heller Rotglut.

**Kupferoxid–Bismutoxid-Katalysator** [45]. 5 g Kupfer(II)-nitrat-3-Wasser (Gift 2!) und 5 g Bismutnitrat-5-Wasser (Gift 2!) werden in 20 ml Wasser gelöst und 5 g gefasertes Asbest eingetragen. Nach mehreren Stunden wird bis zur basischen Reaktion Natriumhydroxidlösung zugegeben, abfiltriert, der Niederschlag mit Wasser gewaschen und zur Überführung in die Oxide erhitzt.  
Beste Wirksamkeit liegt bei etwa 500 °C (dunkle Rotglut).

**Platinasbest.** 5 g Asbestfasern werden mit 3 ml 10%iger Hexachloroplatinsäure  $\text{H}_2[\text{PtCl}_6]$  getränkt, dann getrocknet und im Tiegel stark ausgeglüht. Hexachloroplatinsäure kann durch Lösen von Platinpulver, Platindraht- oder Platinblechstücken in Königswasser (Abzug!) hergestellt werden.  
Beste Wirksamkeit liegt bei etwa 500 °C (dunkle Rotglut).

### Oxydation von Schwefeldioxid zu Schwefeltrioxid [34]

**Chromium(III)-oxid-Katalysator.** (↗ Oxydation von Ammoniak).

**Eisen(III)-oxid-Katalysator.** Gesättigte Eisen(II)-sulfatlösung läßt man von Bimsstein- oder Ziegelsteinbrocken aufsaugen und nach dem Trocknen bei 800 °C (Abzug!) glühen, bis keine weißen Nebel mehr entstehen;  
oder Eisen(III)-oxidpulver wird auf Bimssteinbrocken oder Ziegelsteinbrocken aufgetragen.  
Beste Wirksamkeit liegt bei 500 ... 600 °C.

**Eisen(III)-oxid–Kupfer(II)-oxid–Chromium(III)-oxid-Katalysator** [69]. Ein Gemisch aus Eisen(III)-oxid, Chromium(III)-oxid und Kupfer(II)-oxid wird bei 120 °C gut getrocknet und auf Glaswolle aufgetragen (Gift 2!).

**Kupfer(II)-oxid–Chromium(III)-oxid-Katalysator.** Bimsstein wird mit einer gesättigten Kupfer(II)-sulfatlösung (Gift 2!) und Chromium(III)-chloridlösung (Gift 2!) getränkt und bei 800 °C geblüht, bis keine weißen Nebel mehr entstehen (Abzug!).

Beste Wirksamkeit liegt bei 300 ... 400 °C (beginnende schwache Rotglut).

**Mangan(IV)-oxid-Katalysator.** Zement ist mit Wasser zu einem dicken Brei zu verrühren, der auf einer Folie wie ein Kuchen in etwa 2 mm Stärke aufgetragen und im feuchten Zustand mit Mangan(IV)-oxid bestreut wird. Vor dem Festwerden ist dieser „Zementkuchen“ in kleine Quadrate zu schneiden.

Die beste Wirksamkeit liegt zwischen 400 ... 600 °C. Es muß also kräftig erhitzt werden.

**Platinasbest.** (↗ Oxydation von Ammoniak, S. 365).

Beste Wirksamkeit liegt bei 450 °C (schwache Rotglut).

## 3.2. Umgang mit Chemikalien

### 3.2.1. Grundsätzliche Hinweise

Der richtige Umgang mit Chemikalien im Chemieunterricht setzt große Umsicht und gründliche Fachkenntnisse des Lehrers voraus. Der Lehrer muß oft über die zweckmäßige Auswahl von Chemikalien für Experimente entscheiden, dabei aber auch mögliche Gefahrenquellen rechtzeitig erkennen, notwendige Sicherheitsvorkehrungen treffen und eine hohe Erfolgssicherheit der Experimente gewährleisten. Der Umgang mit Chemikalien erfordert sicheres Beherrschen vieler Techniken. Beim Auftreten von Unregelmäßigkeiten und eventuellen Unfällen muß der Lehrer richtig reagieren können. Grundlegende Orientierungen dafür geben die gesetzlichen Bestimmungen zum Gesundheits-, Arbeits- und Brandschutz. Alle Aussagen in den folgenden Abschnitten berücksichtigen diese Bestimmungen. Auf drei allgemein bedeutsame Aspekte des Umgangs mit Chemikalien soll zunächst etwas genauer eingegangen werden.

#### Vorsicht und Sorgfalt

Viele Stoffe, mit denen im Chemieunterricht gearbeitet wird, sind nicht ungefährlich. Ihre unsachgemäße Handhabung kann zu Schädigungen des menschlichen Organismus oder zur Zerstörung materieller Werte führen. Deshalb muß der Lehrer den Einsatz von Chemikalien vor jedem Experiment genau durchdenken

und sich darüber klar werden, welche Stoffe zu welcher Zeit und in welcher Weise zur Reaktion zu bringen sind und welche Nebenreaktionen und Gefahren auftreten können. Auswahl, Vorbereitung und Durchführung aller Experimente müssen unter dem Gesichtspunkt größter Sicherheit erfolgen.

Im einzelnen ist folgendes zu beachten:

- Experimente, die in der Literatur als gefährlich gekennzeichnet sind, dürfen nur von Chemielehrern mit abgeschlossener Ausbildung durchgeführt werden, oder nachdem nicht ausgebildete Lehrer unter Anleitung eines Fachlehrers die Ausführung gründlich geübt haben.
- Experimente, besonders solche, die Gefahren in sich bergen können, sind bei der Unterrichtsvorbereitung mit in der Stunde zu verwendenden Stoffen zu erproben, damit Mißerfolge oder Gefahren vermieden werden.
- Während des Experimentierens sollen nur die Stoffe auf dem Experimentiertisch stehen, die für das Experiment benötigt werden.
- Vor dem Einsatz im Unterricht ist nochmals an Hand des Etiketts zu überprüfen, ob wirklich die richtigen Chemikalien benutzt werden.
- Man sollte sich möglichst genau an die Angaben der Experimentieranleitungen halten.
- Werden in der Literatur beschriebene Experimente abgewandelt oder neue Experimente entwickelt, so sind sie mehrmals mit den einzusetzenden Stoffen sorgfältig zu erproben.
- Treten starke Effekte (z. B. Knall, Blitz, grelles Licht) beim Experimentieren auf, so sind die Schüler vorher darauf hinzuweisen und geeignete Sicherheitsmaßnahmen zu treffen (z. B. Augen vor grellem Licht durch Vorhalten der Hand schützen).

Besondere Vorsicht ist geboten, wenn mit Giften, feuergefährlichen oder explosiven Stoffen gearbeitet wird oder solche im Verlaufe eines Experiments entstehen (↗ S. 370). Besondere Verantwortung trägt der Lehrer bei der Durchführung chemischer *Schülerexperimente* hinsichtlich der *Auswahl der Chemikalien*.

Gefährliche Experimente mit Giften der Abteilung 1 (↗ S. 374), explosiven Stoffen beziehungsweise Gemischen (↗ S. 376) oder stark ätzenden Stoffen kommen für die Arbeit der Schüler nicht in Betracht.

Vor Beginn der experimentellen Arbeit sind genaue und klare Anweisungen an die Schüler zu geben und die Experimentieranordnungen der einzelnen Gruppen zu kontrollieren. Bei manchen Schülerexperimenten können durch Unachtsamkeit Gefahren auftreten, obwohl das Experiment an sich ungefährlich ist. In solchen Fällen sollte man nur so viele Gruppen arbeiten lassen, daß noch eine gute *Überwachung* möglich ist. Eventuell müssen verschiedene Gruppen nacheinander arbeiten, während die nicht experimentierenden Schüler anderweitige Aufgaben lösen. Eine wichtige Voraussetzung für ein sicheres Arbeiten der Schüler besteht darin, klare Forderungen zu stellen und deren Einhaltung zu sichern. Die Schüler dürfen nur nach Erlaubnis durch den Lehrer und mit den von ihm angegebenen Stoffen arbeiten. An den Arbeitsplätzen der Schüler muß stets größte Sauberkeit herrschen. Unregelmäßigkeiten, wie Verschütten von Chemikalien, Schädigungen

der Haut durch Chemikalien, auch leichte Rötungen, Verschmutzung von Kleidungsstücken durch Chemikalien und eintretendes Unwohlsein, sind sofort dem Lehrer zu melden.

Zur Erhöhung der Sicherheit beim Experimentieren dient auch die *regelmäßige Belehrung der Schüler* über Gefahren. In jedem Schuljahr sollen zwei größere Belehrungen erfolgen, die ins Klassen- oder Arbeitsgemeinschaftsbuch einzutragen sind und in denen auch auf die Gefahren des selbständigen häuslichen Experimentierens zu verweisen ist.

Trotz aller Vorsicht können beim Umgang mit Chemikalien Unfälle auftreten. Jeder Lehrer muß in solchen Fällen sachkundig *Erste Hilfe* leisten können (↗ Anhang, Erste Hilfe, S. 415). Dazu muß ein *Sanitätskasten* im Fachunterrichtsraum vorhanden sein, der neben der üblichen Grundausstattung solche Stoffe enthält, die bei Unfällen im Chemieunterricht benötigt werden können. Das sind vor allem: 1%ige Lösungen von Natriumhydrogencarbonat, Ethansäure oder Citronensäure, Kupfer(II)-sulfat, 5%ige Natriumthiosulfat- und gesättigte Natriumsulfat- und Natriumchloridlösungen in Spritzflaschen sowie eine Magnesiumoxidaufschlammung. Die Flaschen sind deutlich als *Erste-Hilfe-Ausstattung* zu kennzeichnen (rotes Kreuz) und sollten auf dem Etikett neben der Inhaltsangabe auch die Hauptanwendungsmöglichkeiten enthalten (↗ Anhang, Erste Hilfe, S. 415). Zum Erwerb der notwendigen Kenntnisse wird empfohlen, daß jeder Chemielehrer an einem Kursus für Erste Hilfe teilnimmt, bei dem auch spezielle Unfälle beim Experimentieren behandelt werden.

### Sauberkeit

In engem Zusammenhang mit der Vorsicht und Sorgfalt beim Umgang mit Chemikalien steht auch die Forderung nach Sauberkeit. Vorbildliches Arbeiten des Lehrers hat in dieser Hinsicht große Bedeutung für die Erziehung der Schüler. Es bietet aber gleichzeitig die Gewähr dafür, daß Mißerfolge beim Experimentieren durch verunreinigte Chemikalien oder Geräte vermieden werden. Das erfordert das Beachten folgender *Grundregeln*:

- Alle *Chemikalienvorräte* müssen rein gehalten werden. Das gilt besonders für die Entnahme von Stoffen aus Vorratsflaschen (↗ S. 394) und das Umfüllen von Stoffen.
- Zum *Umfüllen von Chemikalien* sind stets saubere Spatel und Löffel, Flüssigkeits- oder Pulvertrichter sowie Pappinnen als Hilfsmittel zu verwenden. Werden dennoch Stoffe verschüttet, so sind diese sofort vollständig zu beseitigen (z. B. Verdünnen, Neutralisieren, Aufnehmen).
- Beim *Ausgießen von Flüssigkeiten* sind die Flaschen so zu halten, daß die Etiketten nicht durch herablaufende Tropfen beschädigt werden können.
- *Reste* von einmal aus Vorratsflaschen entnommenen Stoffen dürfen nicht wieder in die Flasche zurückgegeben werden. Sie sind gesondert aufzubewahren oder zu vernichten.
- Tische und Sammlungsschränke sollen vor Verschmutzung geschützt werden, indem in Schränken *Untersetzschalen* oder *Drahtglasunterlagen* verwendet oder Arbeitsplätze mit Filterpapier ausgelegt werden.

- In der Chemikaliensammlung müssen größte Sauberkeit und Übersichtlichkeit gewahrt werden (↗ S. 397).
- Nach dem Experimentieren, spätestens am Schluß der Unterrichtsstunde, sind alle Geräte und Chemikalien fortzuräumen. Die Geräte werden gereinigt (↗ S. 113), Chemikalienreste beseitigt.

Das Stehenlassen von Geräten und Chemikalien im unverschlossenen Fachunterrichtsraum oder Vorbereitungsraum ist grundsätzlich verboten. Ausgenommen sind ordnungsgemäß gesicherte Platzausrüstungen.

### Sparsamkeit

Sparsamer Umgang mit Chemikalien bedeutet, daß beim Experimentieren gerade so viel von jedem Stoff einzusetzen ist, daß die Schüler den beabsichtigten Effekt noch deutlich beobachten können. Keinesfalls darf man die Forderung nach Sparsamkeit formal auslegen und nur im Sinne der Verwendung von möglichst wenig Chemikalien in kleinen Geräten verstehen. Veränderungen beim Ablauf der chemischen Reaktion müssen stets gut, bei der Demonstration von *allen* Plätzen in der Klasse zu beobachten sein. Aus der Art, wie der Lehrer das Experiment im Unterricht einsetzt, ergeben sich die Anforderungen an Chemikalien- und Geräteinsatz. So muß beispielsweise bei der Demonstration vor der Klasse mindestens ein Reagenzglas die Größe von 16 mm × 160 mm haben, und der Chemikalien-einsatz kann nicht unter 0,5 ... 1 g beziehungsweise 10 ml liegen. In den meisten Fällen werden sogar noch größere Reagenzgläser und mehr Chemikalien zweckmäßig sein.

Die Eigenschaften von Gasen kann man bei Demonstrationsexperimenten kaum in Reagenzgläsern untersuchen. Hierzu werden Standzylinder von mindestens 200 mm Höhe verwendet. Dennoch gibt es viele Möglichkeiten, mit Chemikalien zu sparen. Jeder Fachlehrer sollte bedenken, daß sich auch geringe Einsparungen bei der großen Anzahl von Schulen bereits ökonomisch auswirken. Einige wichtige *Sparmöglichkeiten* sind:

- *Bestellungen* von Chemikalien sind bedarfsgerecht aufzugeben, so daß keine ungerechtfertigten Vorräte angelegt werden und sich nur Stoffe in der Sammlung befinden, die für die Arbeit benötigt werden. Bei der Bestellung muß davon ausgegangen werden, daß der Verbrauch der einzelnen Stoffe außerordentlich unterschiedlich und von der Anzahl der zu unterrichtenden Parallelklassen, dem Bedarf in der außerunterrichtlichen Arbeit und anderen Faktoren abhängig ist. Zum Beispiel reichen 10 g Bismutnitrat zur Herstellung von Katalysatoren mehrere Jahre, dagegen werden in einem Schuljahr mehrere Kilogramm Chlorwasserstoffsäure benötigt.
- Bei Schülerexperimenten sollte die chemikaliensparende *Halbmikrotechnik* angewandt werden.
- Die verschiedenen *Reinheitsgrade* von Chemikalien sind zu beachten (↗ S. 324). Je größer die Reinheit eines Stoffs, desto mehr Aufwand ist zu seiner Herstellung erforderlich und desto teurer ist er. Man sollte deshalb für den jeweiligen Zweck den Reinheitsgrad nur so hoch wie unbedingt notwendig wählen.

- Die *Konzentration von Lösungen* muß richtig gewählt werden. Oft kann mit stark verdünnten Lösungen gearbeitet werden. Neben der Einsparung an Chemikalien besteht dabei noch der Vorteil, daß Störungen der Reaktionen infolge zu hoher Konzentration vermieden werden.
- Bei der Reaktion von Stoffen ist auf das *stöchiometrische Verhältnis der Ausgangsstoffe* zu achten. Das gilt besonders für die Herstellung von Gasen in Gasentwicklern (↗ S. 156). Allzuoft werden hierbei Massen von festen Stoffen eingesetzt (z. B. Kaliumpermanganat bei der Chlordarstellung), aus denen ein Vielfaches des benötigten Gasvolumens hergestellt werden kann. Der notwendige Chemikalieneinsatz muß durch Überschlagrechnung ermittelt werden. Das dient neben der Einsparung von Chemikalien zugleich erhöhter Sicherheit, wenn giftige oder schädigende Gase dargestellt werden.
- Statt destilliertem Wasser kann man *Leitungswasser* verwenden, sofern dadurch keine Störungen auftreten. Gerade bei Schulexperimenten ist das sehr oft der Fall, ausgenommen sind nur wenige analytische Reaktionen.

Der Lehrer muß also vor der Durchführung jedes Experiments genau überlegen, wie er mit möglichst geringem Aufwand an Chemikalien zu maximalen Ergebnissen gelangt.

### 3.2.2. Umgang mit Giften und gefährlichen Stoffen

Experimente mit hochexplosiven Stoffen oder Stoffgemischen, zum Beispiel Aciden, Nitroglycerol, und schweren Atemgiften, zum Beispiel Kohlendisulfid (Phosgen) und Cyanwasserstoff, sind im Chemieunterricht verboten. Auch von den übrigen Experimenten ist noch eine bedeutsame Anzahl mit *Gefahren* verbunden. Das sind vor allem:

- Arbeiten mit *Giften*, besonders solchen der Abteilung 2 (z. B. Brom und Nitrobenzen),
- Arbeiten mit stark oxydierend wirkenden Stoffen, die mit entzündlichen Substanzen *explosive Gemische* bilden (z. B. Kaliumchlorat),
- Arbeiten mit *fevergefährlichen*, leichtentzündlichen und chemisch sehr aktiven *Stoffen* (z. B. Diethylether, Benzin, Benzen, Kohlendisulfid, Propanon, Phosphor, Natrium),
- Arbeiten, mit *giftigen Gasen* (z. B. Chlor, Stickstoffoxiden, Schwefelwasserstoff, Kohlenmonoxid) oder Stoffen, die solche Gase entwickeln,
- Arbeiten mit Gasen (z. B. Wasserstoff, Kohlenmonoxid, Ethin), die mit Luft *explosible Gemische* bilden,
- Arbeiten mit größeren Volumen *konzentrierter Säuren oder Hydroxidlösungen*,
- Pipettieren *ätzender Flüssigkeiten*.

Alle Experimente mit den vorgenannten Stoffen erfordern größte Vorsicht und Sorgfalt. Als Schülerexperimente sind sie im allgemeinen nicht geeignet.

Für das Arbeiten mit diesen Stoffen bestehen umfangreiche gesetzliche Bestimmungen, die der Lehrer kennen und beachten muß. Im folgenden wird auf den Umgang mit Giften und gefährlichen Stoffen näher eingegangen. Die wesentlichsten Vorschriften sind dabei kurz erläutert. Es empfiehlt sich jedoch, darüber hinaus die gesetzlichen Grundlagen genau zu beachten.

### 3.2.2.1. Gifte

Fast alle Chemikalien wirken schädigend auf den menschlichen Organismus, wenn sie ihm reichlich zugeführt werden. Gifte im engeren Sinne sind solche Stoffe, die schon in geringen Konzentrationen physiologisch stark schädigend wirken. Der Umgang mit solchen Stoffen ist gesetzlich generell geregelt. Für die Arbeit im Unterricht unterliegt ihre Benutzung zusätzlichen Festlegungen, die weitere Einschränkungen enthalten. Im folgenden werden die wichtigsten Festlegungen zum Umgang mit Giften für den Chemieunterricht und die chemiebezogene außerunterrichtliche Arbeit erläutert. Dabei kann jedoch nicht auf alle Details eingegangen werden. Einzelne Bestimmungen können sich auch im Laufe der Zeit verändern. Deshalb wird dem Lehrer dringend das ergänzende Studium des Originaltextes der gesetzlichen Bestimmungen und zugehöriger Kommentare empfohlen.

Gifte werden nach ihrer Gefährlichkeit unterteilt (Tab. 106). Die Gifte der Abteilung 1 sind gefährlicher als die Gifte der Abteilung 2.

In der Schule dürfen Gifte für den planmäßigen Unterricht ohne besondere Erlaubnis benutzt werden, wenn alle Voraussetzungen vorhanden sind, die eine mißbräuchliche Verwendung der Gifte und die Gefährdung von Schülern und anderen Personen vollkommen ausschließen. Die *Chemikaliensammlung* darf aber nur Gifte enthalten, die auf Grund der Forderungen des Lehrplans oder der Pläne für die außerunterrichtliche Arbeit benötigt werden. In der allgemeinbildenden Schule sollen Gifte der Abteilung 1 nicht benutzt werden.

Der Umgang mit Giften, einschließlich der Kennzeichnung, Aufbewahrung und Führung des Giftbuches sowie die Verantwortung für die Einhaltung und Überwachung der Bestimmungen über den Verkehr mit Giften darf nur Personen übertragen werden, die die Befähigung hierzu nachgewiesen haben. Lehrer mit abgeschlossener naturwissenschaftlicher Ausbildung haben die Berechtigung zum Umgang mit Giften. Lehrern ohne abgeschlossenes Studium wird empfohlen, die staatliche Giftprüfung abzulegen.

Gifte sind in festen, gut verschlossenen und nach den gesetzlichen Bestimmungen gekennzeichneten Gefäßen aufzubewahren. Gifte der Abteilung 1 sind dabei mit weißer Schrift auf schwarzem Grund, solche der Abteilung 2 mit roter Schrift auf weißem Grund zu kennzeichnen (Abb. 341). Außerdem ist die Aufschrift „Gift“ vorgeschrieben, die mindestens gleiche Größe wie die Buchstaben für die Stoffbezeichnung haben muß; die Giftmarke mit Totenkopf muß in denselben Farben wie die Aufschrift zusätzlich angebracht werden. Sie ist mindestens in doppelter Größe der Aufschrift „Gift“ gefordert. Alle Gifte sind übersichtlich geordnet unter Verschuß aufzubewahren. Dazu ist ein stabiler Giftschränk (keine Glastüren) anzuschaffen. Sofern an einzelnen Bildungseinrichtungen Gifte der Abteilung 1 ver-

wendet werden dürfen, müssen sie in einem speziell dafür zugelassenen Giftschrank unter doppeltem Verschuß aufbewahrt werden.

**Tabelle 106** Einteilung der Gifte (Auszug)

Abteilung der Gifte	Verzeichnis der Gifte
1	Acrylnitril, Arsen und dessen Verbindungen, Cadmiumverbindungen (außer Sulfid), Cyanwasserstoffsäure und deren Salze, Ethylenoxid, Fluorwasserstoffsäure (Flußsäure), Phosphide, Quecksilberverbindungen (außer Quecksilbersulfid und Quecksilber(I)-chlorid), Selenverbindungen, Thalliumverbindungen (außer Sulfid), Vanadium(V)-oxid
2	Aminobenzen (Anilin), Aminophenole, Ammoniaklösung über 10 %, Antimonverbindungen, Bariumverbindungen (außer Bariumsulfat), Benzen, Bleiverbindungen, Brom, Bromwasserstoffsäure, Chlor, Chloralhydrat, Chlorbenzen, Chloressigsäure, Chlorphenole, Chlorwasserstoffsäure (Salzsäure) über 15 %, Chromium(III)- und Chromium(VI)-Verbindungen, Dibromethan, 1,2-Dichlorethan, Dimethylsulfat, Ethansäure (Essigsäure) über 80 %, Fluoride, Kaliumhydroxid, Kaliumhydroxidlösung über 5 %, Kohlendisulfid (Schwefelkohlenstoff), Kupfersalze, Methanal (Formaldehyd), Methanol, Methansäure (Ameisensäure) über 50 %, Natriumhydroxid, Natriumhydroxidlösung über 5 %, Nitrite, Nitrobenzen, Nitrophenole, Oxalsäure und deren Salze, Paraldehyd, Phenol, Phosphorchloride, Phosphorsäure über 50 %, Pyridin, Quecksilber(I)-chlorid, Salpetersäure über 15 %, Schwefelsäure über 15 %, lösliche Silberverbindungen, lösliche Strontiumverbindungen, lösliche Sulfide, Tetrachlormethan, Tribrommethan, Trichlormethan, lösliche Uranverbindungen, Vinylchlorid, lösliche Zinkverbindungen außer Zinkoxid, lösliche Zinnverbindungen

Gifte sollen an der Schule nur in relativ kleinen Mengen vorhanden sein, die im Giftschrank unterzubringen sind, da für die Aufbewahrung größerer Vorräte besondere Bestimmungen gelten. Von Giften der Abteilung 2 können kleine Mengen (bis 100 g beziehungsweise 100 ml) an eingerichteten Arbeitsplätzen im Fachunterrichtsraum vorhanden sein, wenn sie außerhalb der Unterrichtszeit verschlossen gehalten werden können.

Besondere Vorsicht ist bei Chloraten geboten. An einer Schule sollen nur maximal 500 g Kaliumchlorat vorhanden sein. Es ist nur zur Sauerstoffherstellung im Leherdemonstrationsexperiment zu verwenden und zweckmäßig in den Giftschrank mit einzustellen. Wegen ihrer großen Reaktionsfähigkeit müssen auch Natrium und, soweit vorhanden, Kalium im Giftschrank aufbewahrt werden.

Für die *Verwaltung der Gifte* darf nur ein Lehrer an der Schule verantwortlich sein (Giftbeauftragter), der allein den Schlüssel zum Giftschrank besitzt und der auch die volle Verantwortung gegenüber den Instanzen trägt, die den Verkehr mit

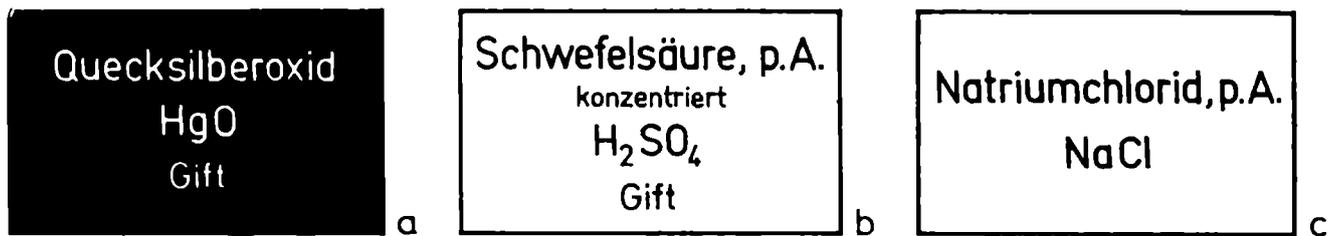


Abb. 341

Abb. 341 Beschriftung von Chemikalienflaschen

a) Gift der Abteilung 1, b) Gift der Abteilung 2 (rote Schrift), c) alle übrigen Stoffe

Giften kontrollieren, der Polizei und den Organen des Gesundheitswesens. Der Giftbeauftragte muß dazu einen besonderen Befähigungsnachweis erwerben.

In jeder Schule soll ein *Giftbuch* vorhanden sein, das den Charakter eines Bestandsnachweises trägt. Das Buch wird von dem für die Chemikaliensammlung zuständigen Giftbeauftragten geführt. Der Direktor der Schule trägt jedoch die Verantwortung für die ordnungsgemäße Durchführung sowie die Einhaltung aller Bestimmungen über den Gesundheits- und Arbeitsschutz.

Im Handel gibt es vorgedruckte Giftbücher für Gifte der Abteilung 1 (blau) und 2 (rosa). Die Spalte für Angaben über den Lieferanten oder Erwerber ist auch zur Eintragung des Verwendungszwecks im Unterricht zu nutzen.

Es kann aber auch in einem normalen Heft für jedes Gift eine Doppelseite angelegt werden, die folgende Einteilung hat:

Name des Gifts

Lfd. Nr.	Datum	Zugang (+) Abgang (-) in g	Bestand in g	Bemerkungen z. B. Lieferfirma bei Zugang Verwendungszwecke bei Abgang	Unterschrift
1	2	3	4	5	6

Bei Abgabe von Giften an einen anderen Lehrer, der zum Umgang mit ihnen berechtigt ist, muß dessen Name in Spalte 5 angegeben werden. In jedem Falle ist die Unterschrift des für die Gifte verantwortlichen Lehrers notwendig; sofern Gifte an einen anderen Lehrer weitergegeben werden, auch dessen Unterschrift. Abgeschlossene Giftbücher sind 2 Jahre aufzubewahren.

Die Eintragungen müssen sofort nach Zu- und Abgang des Gifts erfolgen. Jährlich sind Kontrollen des Bestands vorzunehmen. Gifte werden vom Chemikalienhandel an die Schulen nur geliefert, wenn die Bestellung die Unterschrift des Direktors beziehungsweise Schulleiters und den Schulstempel trägt. Der Empfang ist von der Schule zu bescheinigen. Als Empfangsbescheinigung gelten auch schon die Anlieferungsbescheinigungen des Versenders. Gifttransportscheine, die den Frachtpapieren aller Giftsendungen beigelegt sind, müssen 3 Jahre aufbewahrt werden.

*Fehlbestände an Giften* sind unverzüglich der zuständigen Polizeidienststelle zu melden. Außerdem ist über den Sachverhalt ein Protokoll anzufertigen.

Beim Experimentieren mit Giften ist größte Vorsicht geboten. In den Schulen sind Gifte der Abteilung 1 nicht einzusetzen.

Ganz besondere Vorsicht ist bei Schülerexperimenten notwendig. Schüler dürfen im Chemieunterricht und in chemieorientierten Arbeitsgemeinschaften zwar unter Aufsicht des Lehrers mit Giften der Abteilung 2 experimentieren – der Einsatz von Giften der Abteilung 1 ist selbstverständlich generell verboten –, es ist aber ratsam, dies nur im unbedingt notwendigen Umfang zu tun. Bestimmend ist die Erfüllung der Forderungen des Lehrplans.

Geräte, in denen mit giftigen Stoffen gearbeitet worden ist, müssen sofort entleert und sorgfältig gereinigt werden (↗ S. 113ff.). Reste der Gifte sind ordnungsgemäß zu vernichten (↗ S. 387ff.) und keinesfalls in den Ausguß zu spülen. Die Hände sind nach dem Umgang mit Giften gründlich mit warmem Wasser, mit Seife und Bürste zu reinigen. Selbstverständlich darf beim Arbeiten mit Giften wie generell beim Umgang mit Chemikalien nicht gegessen oder geraucht werden. Spezielle Hinweise zum Umgang mit einzelnen Giften werden im Abschnitt 3.2.2.5. (↗ S. 387) gegeben.

Bei vorsichtigem Umgang mit Giften und Beachtung aller Schutzmaßnahmen können *Vergiftungen* in der Schule kaum vorkommen. Sollte trotzdem ein solcher Fall auftreten, so ist unter Beachtung der Hinweise zur Ersten Hilfe (↗ S. 418) möglichst ein Erbrechen bei dem Vergifteten herbeizuführen. In jedem Falle ist sofort der Arzt aufzusuchen.

### 3.2.2.2. Ätzende Stoffe

Besonders gefährlich ist die Arbeit mit konzentrierten Säuren und Hydroxidlösungen, die neben ihrer Giftwirkung auch zu schweren Hautverätzungen führen können. Beim Umgang mit diesen Stoffen ist deshalb größte Vorsicht geboten. Folgende *Sicherheitsvorkehrungen* sind zu beachten:

- Flaschen mit konzentrierten Säuren und Hydroxidlösungen müssen mit dem Etikett „Vorsicht, stark ätzend!“ gekennzeichnet werden.
- Beim Arbeiten mit allen ätzenden Stoffen sind stets *Schutzkleidung* und *Schutzbrille* zu tragen. Bespritzte Schutzbrillen sind vorsichtig abzunehmen, um nicht noch nachträglich ätzende Stoffe in die Augen zu bringen.
- Konzentrierte Säuren und Hydroxidlösungen sind beim Verdünnen stets vorsichtig und unter ständigem Rühren in Wasser zu geben, nie umgekehrt! Das gilt besonders für das Verdünnen von konzentrierter Schwefelsäure.
- Beim Einfüllen stark ätzender Stoffe in enghalsige Geräte sind Trichter, Abfülleinrichtungen und Atemschutzmasken zu benutzen.
- Beim *Erhitzen von Hydroxidlösungen* ist besonders vorsichtig zu verfahren, da sehr leicht ein „Stoßen“ infolge Siedeverzugs und Schäumen eintritt und die stark ätzende heiße Flüssigkeit dann aus den Geräten spritzen kann. Es sind Siedesteine zu verwenden.
- Ätzende Flüssigkeiten dürfen nicht mit dem Mund (z. B. in Pipetten) angesaugt werden (↗ S. 144).

- Feste Hydroxide der Alkalimetalle dürfen niemals mit den Händen berührt werden.
- *Verschüttete ätzende Stoffe* sind sofort durch Neutralisation mit stark verdünnten Chemikalien oder mit viel Wasser unschädlich zu machen.
- Konzentrierte Lösungen stark ätzender Stoffe sind, bevor sie in den Ausguß gelangen, mit viel Wasser zu verdünnen, damit Abflußleitungen nicht beschädigt werden.
- Reagenzgläser, die stark ätzende Stoffe enthalten, dürfen nicht mit dem Daumen verschlossen werden.
- Standflaschen mit Hydroxiden der Alkalimetalle, Hydroxidlösungen sowie basisch reagierenden Salzlösungen sind nur mit Gummi-, PVC- oder Polyethylenstopfen zu verschließen.
- Große Standflaschen mit ätzenden Stoffen sind im unteren Fach des Chemikalienschanks aufzubewahren.

*Verätzungen der Haut* durch Säuren oder Hydroxidlösungen sind mit viel Wasser zu behandeln. Sind Spritzer ätzender Stoffe in die Augen gelangt, so ist mit viel Wasser zu spülen (Spritzflasche benutzen oder Kopf unter die Wasserleitung halten und Augenlider öffnen) und sofort ein Arzt aufzusuchen. Andere Verätzungen sind entsprechend den Hinweisen zur Ersten Hilfe (↗ Anhang, S. 417) zu behandeln.

### 3.2.2.3. Feuergefährliche und explosive Stoffe

Auch der Umgang mit feuergefährlichen und explosiblen Stoffen, wie generell die Sicherung eines ausreichenden Brandschutzes, sind durch entsprechende gesetzliche Bestimmungen geregelt. Für das Arbeiten im naturwissenschaftlichen Unterricht an den Schulen bestehen noch ergänzende Festlegungen.

Bezüglich des Umgangs mit feuergefährlichen und explosiblen Stoffen kann ebenfalls nur auf die wichtigsten Festlegungen eingegangen werden. Weiterführende Hinweise sind dem Originaltext der entsprechenden gesetzlichen Bestimmungen zu entnehmen.

Der Direktor der Schule sichert in Zusammenarbeit mit dem für die Wahrnehmung der Verantwortung benannten Chemielehrer die Einhaltung aller Bestimmungen zum Schutz vor Brand- und Explosionsgefahren. Dazu gehören vor allem die regelmäßige Kontrolle der *Einhaltung aller Brandschutzbestimmungen*, besonders der folgenden:

- Vermeiden der *Überschreitung zulässiger Höchstmengen* gefährlicher Stoffe am Arbeitsplatz,
- Bereitstellen der vorgeschriebenen *Brandschutzmittel*, wie Löschsand, Branddecke, Feuerlöscher mit Bedienungsanleitung,
- Anbringen einer Tafel mit folgenden Angaben:  
Nächster Feuermelder,  
Anschrift und Rufnummer der Feuerwehr,  
Anschrift und Rufnummer des nächsten Arztes, Krankenhauses und Krankentransports,

- Anbringen von *Hinweisschildern* auf Absperrmöglichkeiten für Gas, Wasser und Strom sowie Kennzeichnungen von Gasleitungen mit gelber und Wasserleitungen mit grüner Farbe,
- Schaffung von zwei Ausgängen (mindestens 0,80 m breit) des Fachunterrichtsraums für den Gefahrenfall, die stets freizuhalten sind,
- Schaffung *feuerfester Unterlagen* auf den Arbeitstischen des Lehrers und der Schüler,
- sachgemäße Aufbewahrung brennbarer und explosibler Stoffe,
- Beachtung aller Bestimmungen beim Arbeiten mit brennbaren und explosiblen Stoffen.

Zu den feuergefährlichen oder explosiblen Stoffen sind sowohl einige feste Stoffe und deren Gemische als auch vor allem Flüssigkeiten zu rechnen.

Alle derartigen Stoffe können unter entsprechender Kennzeichnung in geschlossenen, nicht brennbaren Behältern (auch starkwandigen Vorratsflaschen) bis zu einem Volumen von je 500 ml in die Chemikaliensammlung des Fachunterrichtsraums aufgenommen werden, sofern dem nicht andere Bestimmungen entgegenstehen (↗ Bestimmungen über Gifte, S. 371). Darüber hinausgehende Volumina sind in einem feuersicheren Schrank oder einem feuersicheren, gegen Entwerden gesicherten Behälter (z. B. verankerte Stahlblechkassette) im Chemikalienschrank unterzubringen, der deutlich mit der Aufschrift „Feuergefährlich“ zu kennzeichnen ist. Explosible Gemische dürfen in der Schule nicht aufbewahrt werden.

Beim Experimentieren werden einige *feste Stoffe* benutzt, die bereits an der Luft leicht entzündlich sind (z. B. Phosphor), die sehr leicht Sauerstoff abgeben (z. B. Chlorate, Permanganate, Peroxide, Nitrate) oder die mit Wasser unter Wasserstoffentwicklung reagieren (z. B. Natrium und Kalium). Die als zweite Gruppe genannten stark oxydierend wirkenden Stoffe können mit Ausnahme der *Chlorate* im Chemikalienschrank aufbewahrt werden, wenn gesichert ist, daß sie nicht mit organischen oder anderen brennbaren Stoffen, wie Schwefel, Phosphor, Kohlepulver und Magnesium, in Berührung kommen. Beim Arbeiten mit diesen stark oxydierenden wie auch mit den anderen genannten festen Stoffen sind Sicherheitsvorkehrungen zu treffen (↗ S. 387 ff.).

Experimente mit Schieß- und Sprengstoffen und solche, die der Herstellung derartiger Stoffe gleichkommen, sind in der Schule grundsätzlich verboten.

Müssen Gemische aus stark sauerstoffhaltigen und leichtentzündlichen Stoffen hergestellt werden (z. B. Zündgemische), so ist besondere Vorsicht geboten (↗ S. 356). Nur sehr wenig von den Stoffen darf durch Umschütten auf Papier, keinesfalls mit Spateln oder anderen harten Gegenständen gemischt werden, wobei Vorschriften der Experimentieranleitungen einzuhalten sind.

Bei Experimenten mit solchen Stoffen sind die Schüler durch eine *Schutzscheibe auf dem Experimentiertisch* zu sichern. Oft ist es auch erforderlich, die Gemische im Freien (Schulhof) zur Reaktion zu bringen. Vorher sind die Schüler auf eventuelle helle Lichterscheinungen oder auf Knall aufmerksam zu machen.

Bei anderen festen Stoffen ist eine Reihe spezieller Hinweise zu beachten, die im Abschnitt 3.2.2.5. (↗ S. 387) gegeben werden.

Besondere Umsicht erfordert der Umgang mit *brennbaren Flüssigkeiten*. Unter brennbaren Flüssigkeiten werden Stoffe verstanden, die unter einem Druck von 0,1013 MPa (760 Torr)

- bei einer Temperatur von +35 °C nicht mehr fest oder salbenförmig, sondern schon flüssig sind,
- bei einer Temperatur von +50 °C einen Dampfdruck von 0,2 MPa ( $2 \text{ kp} \cdot \text{cm}^{-2}$ ) Überdruck und
- eine Flammtemperatur bis zu 100 °C haben.

Nach der *Mischbarkeit mit Wasser* werden zwei Gefahrklassen unterschieden:

- Gefahrklasse A alle brennbaren Flüssigkeiten, die sich nicht oder nur teilweise mit Wasser mischen lassen;
- Gefahrklasse B alle brennbaren Flüssigkeiten, die sich mit Wasser in jedem Verhältnis mischen lassen.

Diese Unterteilung ist für die Vernichtung von Resten und im Falle eines Brandes zur richtigen Wahl des Löschmittels wichtig.

Brände von Stoffen der Gefahrklasse B können mit Wasser oder mit Flüssigkeitslöschern bekämpft werden. Für die meisten Stoffe der Gefahrklasse A ist Wasser als Löschmittel ungeeignet. Wenn derartige Stoffe eine kleinere Dichte als Wasser haben, brennen sie nämlich auf dem Wasser weiter. Der Brandherd wird vergrößert. Zum Löschen kommen dann Sand, Pulverlöcher oder Kohlendioxidlöcher in Betracht. Nur bei größerer Dichte als  $\rho = 1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , zum Beispiel bei Kohlendisulfid, können auch Wasser oder Naßlöcher benutzt werden. Brände an elektrischen Anlagen dürfen ebenfalls nicht mit Wasser bekämpft werden.

Reste von Flüssigkeiten der Gefahrklasse B lassen sich mit reichlich Wasser beseitigen. Flüssigkeitsreste der Gefahrklasse A sind mit Sägespänen, Sand oder Filterpapier aufzusaugen, die anschließend im Freien verbrannt werden. Sie dürfen nicht in den Ausguß gegeben werden.

Brennbare Flüssigkeiten werden außer nach der Mischbarkeit mit Wasser nach der *Flammtemperatur* unterteilt. Darunter ist die Temperatur zu verstehen, bis zu der ein flüssiger Stoff erhitzt werden muß, damit die entstehenden Dämpfe mit Luft brennbare Gemische bilden.

Nach der Flammtemperatur unterteilt man die Gefahrklassen (Tab. 107):

Gefahrklasse AI bzw. BI Flammtemperatur unter 21 °C

Gefahrklasse AII bzw. BII Flammtemperatur 21 ... 55 °C

Gefahrklasse AIII bzw. BIII Flammtemperatur über 55 ... 100 °C.

Auf allen Standflaschen müssen die Gefahrklassen angegeben sein (rote Schrift). Flaschen mit Stoffen der Gefahrklasse AI beziehungsweise BI und AII beziehungsweise BII und einem Volumen von mehr als 20 ml sind ferner durch ein Etikett mit der roten Aufschrift „Feuergefährlich“ oder dem Gefahrenzettel (Fackel mit Flamme, orange Farbe) zu kennzeichnen. Enthalten Flaschen mehr als 2 l solcher Flüssigkeiten, so muß bei allen Gefahrklassen außerdem das Füllvolumen angegeben werden. Für Kohlendisulfid gilt das generell.

Für die Aufbewahrung brennbarer Flüssigkeiten gelten die weiter vorn (↗ S. 376) gegebenen Hinweise. Zusätzlich ist zu beachten, daß auch an Arbeitsplätzen höchstens 500 ml untergebracht werden dürfen. Von Stoffen der Gefahrklassen A I und B I dürfen insgesamt im Chemikalienschrank und im feuersicheren Schrank des Chemie-Fachunterrichtsraums maximal 20 l aufbewahrt werden. Für Kohlendisulfid, Diethylether und andere peroxidbildende Stoffe sind zur Aufbewahrung dunkle Flaschen vorgeschrieben.

Stoffe mit niedriger Siedetemperatur müssen bei möglichst niedrigen Temperaturen aufbewahrt werden. Schränke, in denen solche Stoffe stehen, sollten so aufgestellt werden, daß sie nicht der direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind oder sich nicht in unmittelbarer Nähe der Heizung befinden.

Beim Umgang mit brennbaren Flüssigkeiten, vor allem denen der Gefahrklasse A I beziehungsweise B I, ist größte Vorsicht geboten. Es sind folgende Hinweise zu beachten:

- Im Chemieunterricht sollten nur kleine Volumen solcher brennbaren Flüssigkeiten verwendet werden. Wenn mit diesen Stoffen gearbeitet wird, sind alle Flammen im Raum zu löschen.
- Werden brennbare Flüssigkeiten verschüttet, so sind alle eventuell noch vorhandenen Brennstellen sofort zu sperren. Der Raum muß gründlich gelüftet werden.
- Volumen bis zu 50 ml von brennbaren Flüssigkeiten dürfen in Glasgefäßen aus Geräteglas von geeigneter Form, z. B. Rundkolben oder Reagenzglas, über offener Flamme erhitzt werden, wenn die direkte Berührung mit der Flamme durch Drahtnetz, Luftbad oder ähnliche Maßnahmen verhindert wird (↗ S. 126).
- Volumen über 50 ml von brennbaren Flüssigkeiten mit einer Siedetemperatur unter 100 °C dürfen nicht mit offener Flamme oder normalen elektrischen Geräten erhitzt werden. Auch einfache geschlossene elektrische Heizplatten sind nicht gestattet. Erlaubt ist nur das Erhitzen mit Dampf oder mit explosionsgeschützten elektrischen Geräten.
- Volumen brennbarer Flüssigkeiten über 50 ml mit einer Siedetemperatur über 100 °C kann man über einem Wasser-, Sand- oder Luftbad, möglichst nur mit geschlossener Heizplatte erhitzen. Die Badgefäße sollen so groß gewählt werden, daß bei Bruch der Apparatur die darin enthaltene Flüssigkeit noch aufgenommen werden kann.
- Diethylether und andere peroxidbildende Flüssigkeiten sollten nur, wenn es unbedingt erforderlich ist, länger erhitzt, insbesondere destilliert werden. In jedem Falle ist darauf zu achten, daß ein Rest Flüssigkeit verbleibt.
- Mit leichtbrennbaren Flüssigkeiten darf nur dann unter Abzügen gearbeitet werden, wenn diese mit explosions sicheren Exhaustoren ausgestattet sind. Reste dieser Flüssigkeiten sind nach dem Unterricht sofort unter dem Abzug oder im Freien abzubrennen.
- Reagenzgläser mit leichtverdampfenden Flüssigkeiten dürfen zum Durchmischen nicht mit Stopfen verschlossen werden, da diese leicht herausgeschleudert werden und der Reagenzglasinhalt verspritzt.

**Tabelle 107** Gefahrklasse einiger brennbarer Flüssigkeiten

Substanz	Gefahr- klasse	Flamm- temperatur $\vartheta$ in °C	Siede- temperatur $\vartheta_v$ in °C	Dichte $\rho$ in g · cm <sup>-3</sup>
Benzen	A I	-15	80,1	0,879
Diethylether	A I	-40	34,6	0,708
1,3-Dimethylbenzen (Xylen)	A I	17	138,5	0,861
Heptan	A I	- 4	98,4	0,684
Hexan	A I	-26	69	0,659
Kohlendisulfid	A I	-30	46,3	1,26
Leichtbenzin	A I	-24		
Methylbenzen	A I	4	110,8	0,866
Monobromethan	A I		38,4	1,431
Pentan	A I	-40	36,3	0,630
Petrolether	A I	0		
Waschbenzin	A I	0		
Butan-1-ol	A II	29	117	0,810
Essigsäureanhydrid	A II	49	139,6	1,082
Monochlorbenzen	A II	28	132,1	1,107
Leuchtpetroleum	A II	21		
2-Methylbutan-1-ol	A II	33	137,8	0,817
Nonan	A II	31	150,5	0,718
Octan	A II	31	125,7	0,703
Terpentinöl	A II	35		
Aminobenzen	A III	76	184,4	1,022
Benzaldehyd	A III	64	179	1,046
1,2-Dichlorbenzen	A III	66	179	1,305
Nitrobenzen	A III	88	210,9	1,205
Ethanal	B I	-38	20,2	0,783
Ethanol	B I	11	78,4	0,789
Methanol	B I	11	64,7	0,792
Propan-1-ol	B I	15	97,8	0,804
Propanon	B I	-19	56,5	0,792
Propenol	B I	21	96,6	0,854
Pyridin	B I	20	115,6	0,982
Ethansäure	B II	40	118,1	1,049

- Brennbare Flüssigkeiten sollten nur unterhalb der Experimentiertischfläche umgefüllt werden. Beim Umfüllen besteht die Gefahr der statischen Aufladung und Entzündung. Große Gefäße müssen deshalb geerdet sein. Im Chemieunterricht werden solche Volumen allerdings nicht benötigt und gehandhabt. Aber auch Flaschen mit geringerem Volumen sollten beim Umfüllen nur so weit geneigt werden, daß Luft ungehindert einströmen kann (Abb. 342). Dadurch wird eine Ladungstrennung weitgehend vermieden.

### 3.2.2.4. Giftige und explosive Gase und Dämpfe

Gase und Dämpfe wirken teilweise schädigend auf den menschlichen Organismus ein oder bilden mit Luft explosive Gemische. Während gefährliche feste Stoffe oder Flüssigkeiten für den Experimentator deutlich sichtbar sind, lassen sich Gase oft nur schwer wahrnehmen. Sie können auch unerwartet auftreten. Deshalb ist bei allen Experimenten sorgfältig zu prüfen, ob Gase oder Dämpfe entstehen können und um welche es sich dabei handeln wird. Dementsprechend sind die Sicherheitsvorkehrungen festzulegen.

Einige *organische Lösungsmittel* geben gesundheitsschädigende Dämpfe ab. Man unterscheidet drei Gefährdungsgruppen (Tab. 108):

Gefährdungsgruppe I	sehr gesundheitsschädigend
Gefährdungsgruppe II	mittelmäßig gesundheitsschädigend
Gefährdungsgruppe III	wenig oder nicht gesundheitsschädigend

**Tabelle 108** Gefährdungsgruppen einiger Chemikalien

Gefährdungsgruppe	Stoffe
I	Benzen, Dichlorethan, Dioxan, Kohlendisulfid, Methanol, Tetrachlorethan, Tetrachlormethan, Tetrahydrofuran, Trichlorethen
II	Dichlorbenzen, Ethansäuremethylester, Methylcyclohexanon, Toluol, Xylen, Cyclohexanon
III	alle übrigen Lösungsmittel, zum Beispiel Ethansäureamylester und -ethylester, Methansäureamylester, -ethylester und -methylester, Propanon (Aceton)

Bei Flaschen mit mehr als 100 ml Volumen muß die Gefährdungsgruppe einschließlich der verbalen Kennzeichnung angegeben werden.

Bei den *giftigen Gasen und Dämpfen* können Ätzeffekte, die hauptsächlich auf die Schleimhäute der Atmungsorgane einwirken, sowie Blut-, Zell-, Nerven- und Narkosegifte unterschieden werden, deren Wirkung darauf beruht, daß sie in den Organismus eindringen und schädigend auf die Funktion des Bluts, der Zellen beziehungsweise der Nerven, besonders des Atemzentrums, einwirken (Tab. 109).

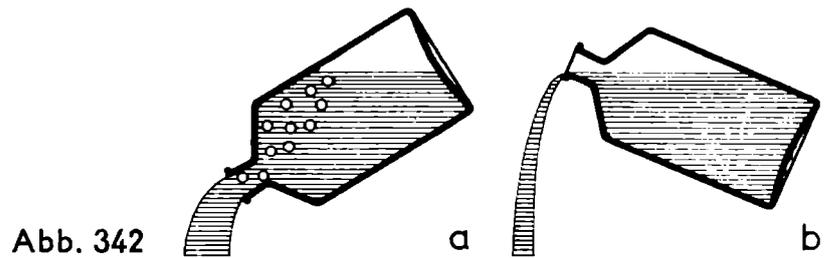


Abb. 342 Ausgießen brennbarer Flüssigkeiten zur Vermeidung von Ladungstrennung  
a) falsches Ausgießen, b) richtiges Ausgießen

Diese Stoffe sind oft schon in geringen Konzentrationen stark gesundheitsschädigend oder wirken sogar tödlich.

Einige Gase sind kaum wahrzunehmen und können daher sehr heimtückisch wirken. Andere Gase (z. B. Ammoniak, Chlor) sind durch starke Reizwirkung auf die Sinnesorgane sofort zu bemerken und schon in sehr geringen Konzentrationen unerträglich. Der Geruch der Gase bietet allerdings keinen sicheren Schutz, da die Geruchsnerve nur auf Konzentrationsunterschiede der Geruchsstoffe in der Luft ansprechen und außerdem einige Gase sehr schnell das Atemzentrum lähmen. Experimente, bei denen giftige Gase oder Dämpfe frei werden, sind als Schülerexperimente nicht geeignet. Demonstrationsexperimente, bei denen größere Volumen solcher Stoffe entstehen, sind unter einem *gut wirkenden Abzug* auszuführen. Bilden die Gase oder Dämpfe mit Luft gleichzeitig noch explosive Gemische (z. B. Benzin, Benzen und Kohlenmonoxid), so muß der Abzug mit einem explosions sicheren Exhaustor versehen sein. Steht kein Abzug zur Verfügung, so muß im Freien gearbeitet werden.

Apparaturen mit nachgeschalteten Absorptionsgefäßen (↗ S. 19) darf man nur einsetzen, wenn wenig Gase oder Dämpfe entstehen. Nicht umgesetzte derartige Stoffe sind durch ein festes oder flüssiges Absorptionsmittel (↗ S. 196) aufzunehmen oder in anderer Weise zu vernichten. Kohlenmonoxid läßt sich durch Einleiten in die Luftsaugöffnung eines entzündeten Brenners vernichten. Giftige Gase sollte man nicht längere Zeit in geschlossenen Geräten aufbewahren, sondern jeweils bei Bedarf neu herstellen. Besonders vorsichtig ist zu arbeiten, wenn ein solches Gas zur Untersuchung durch Luftverdrängung aufgefangen werden muß (↗ S. 174). Einige Gase und alle Dämpfe von brennbaren Flüssigkeiten bilden in bestimmten Mischungsverhältnissen (Explosionsbereich) mit Luft explosive Gemische (Tab. 110). Bei Temperaturerhöhung vergrößern sich diese Bereiche.

Tabelle 109 Giftige Gase und Dämpfe

Name	Wichtige Eigenschaften	Wirkung auf den Organismus	Anzeichen für Vergiftung	Höchste zulässige Konzentration an Arbeitsplätzen MAK <sup>1</sup> in mg · m <sup>-3</sup>	Maßnahmen zur Ersten Hilfe <sup>2</sup> (↗ Anhang, S. 415)
<i>Blut-, Zell-, Nerven- und Narkosegifte</i>					
Arsenwasserstoff	farblos, knoblauchartiger Geruch	Zerstörung der roten Blutkörperchen, Lähmung des Zentralnervensystems	Wirkung erst nach Stunden, Übelkeit, Schwindel	0,2	absolute Ruhe, Sauerstoff einatmen, alle 10 min eine Tasse einer Lösung von 2 Eßlöffeln Natriumhydrogencarbonat in 1 l Wasser trinken
Benzendämpfe	farblos, charakteristischer Geruch, dreifache Dichte der Luft	schon geringe Konzentrationen stark schädigend, in größeren Mengen tödliche Narkose	Unwohlsein, Kopfschmerzen	50	frische Luft, keine plötzliche Abkühlung des Körpers, absolute Ruhe, Sauerstoffbeatmung
Benzindämpfe	farblos, charakteristischer Geruch, dreifache Dichte der Luft	betäubend, bei großer Konzentration Bewußtlosigkeit, Atemlähmung	Unwohlsein, Kopfschmerzen	150	frische Luft, Ruhe
Cyanwasserstoff	farbloses Gas, eigenartiger, bittermandelähnlicher Geruch	äußerst gefährlich, schlagartige Atemlähmung	sehr rasch tödlich wirkend	5	Amylnitrit durch vorgehaltenen Wattebausch einatmen lassen, danach künstliche Sauerstoffbeatmung

Diethylether	charakteristischer Geruch	Narkotikum, Atemlähmung	Unwohlsein, Ohnmacht	Spuren, da hochexplosiv mit Luft	frische Luft, Ruhe, künstliche Beatmung
Ethanol	charakteristischer Geruch	in größeren Konzentrationen betäubend auf das Nervensystem, Atemlähmung	Unwohlsein, Atembeschwerden		frische Luft, Ruhe künstliche Beatmung
Kohlenmonoxid	farbloses, geruchloses Gas	Muskellähmung, Bewußtlosigkeit, Blockierung der Sauerstoffaufnahme durch rote Blutkörperchen führt zum Tode	Herzklopfen, Schwindelgefühle, Kopfschmerzen	55	frische Luft, keine plötzliche Abkühlung des Körpers, bei schwacher Atmung sauerstoffreiche Luft einatmen lassen
Schwefelwasserstoff	farbloses Gas, unangenehmer Geruch, in großer Konzentration nicht mehr zu riechen	Nervengift, Lähmung des Atemzentrums	Unwohlsein, schlagartige Wirkung	25	künstliche Beatmung, wenn möglich mit einem Gemisch aus Sauerstoff und 6% Kohlendioxid
Stadtgas	farblos, eigentümlicher Geruch, benzenähnlich	↗ Kohlenmonoxid	↗ Kohlenmonoxid		↗ Kohlenmonoxid
<b>Ätzigifte</b>					
Ammoniak	farblos, stechender Geruch	Reizwirkung auf Schleimhäute und Augen, Lähmung des Atemzentrums <sup>3</sup>	Husten, Rötung der Schleimhäute (Augen), Unwohlsein	50	frische Luft, Ruhe

<sup>1</sup> Maximale Arbeitsplatzkonzentration

<sup>2</sup> In jedem Falle sofort den Arzt aufsuchen!

<sup>3</sup> Deshalb niemals Ammoniak zur Wiedererweckung bei Ohnmachten verwenden!

Name	Wichtige Eigenschaften	Wirkung auf den Organismus	Anzeichen für Vergiftung	Höchste zulässige Konzentration an Arbeitsplätzen MAK <sup>1</sup> in $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	Maßnahmen zur Ersten Hilfe <sup>2</sup> (↗ Anhang, S. 415)
Bromdämpfe	rotbraun, stechender Geruch	Zerstörung der Schleimhäute, Atemnot, Erstickung	Hustenreiz, Kopfschmerzen, Atembeschwerden	7	frische Luft, absolute Ruhe, Zufuhr von Sauerstoff
Chlor <sup>3</sup>	gelbgrün, stechender Geruch	Zerstörung der Schleimhäute, Atemnot, Erstickung	Hustenreiz, Kopfschmerzen, Atembeschwerden	3	frische Luft, absolute Ruhe, Zufuhr von Sauerstoff (in der Nähe der Nase abblasen)
Schwefeldioxid	farblos, stechender Geruch	Reizwirkungen auf obere Atemwege, Atemnot, Krämpfe	Hustenreiz, Kopfschmerzen	15	frische Luft, Ruhe
Stickstoffdioxid	rotbraun, charakteristischer Geruch	Zerstörung der Schleimhäute, Atemnot, Herzbeschwerden	Anteile, die bereits gefährlich sind, lösen kaum Reizwirkungen aus, erst bei hohen Konzentrationen Hustenreiz (evtl. blutiger Auswurf), Herzbeschwerden	10	↗ Chlor

<sup>1</sup> Maximale Arbeitsplatzkonzentration

<sup>2</sup> In jedem Falle sofort den Arzt aufsuchen!

<sup>3</sup> Als einziges Gas Gift der Abteilung 2! Das bedeutet aber nicht, daß andere Gase ungefährlicher sind!

**Tabelle 110** Explosionsbereich von Gasen und Dämpfen bei 20 °C

Stoff	Explosionsbereich Volumenanteil in %		Stoff	Explosionsbereich Volumenanteil in %	
	untere Grenze	obere Grenze		untere Grenze	obere Grenze
<i>Gase</i>					
Ammoniak	16	27	Propan	1,9	9,5
Ethan	3,1	15	Schwefel- wasserstoff	4,2	46,3
Ethen	2,7	34	Stadtgas	4,8	35
Ethin	3,5	82	Wassergas	6	70
Generatorgas	20,7	75	Wasserstoff	4	75
Kohlenmonoxid	12,2	75			
Methan	5	15			
<i>Dämpfe von Flüssigkeiten</i>					
Benzen	1,2	9,5	Ethansäure- ethylester	2,1	11,6
Benzine	0,6	11	Heptan	1	6
Butan	1,6	8,5	Hexan	1,1	8
Butan-1-ol	1,7	10,2	Kohlendisulfid	1	60
Chlorbenzen	2,2	10	Leuchtpetroleum	1,4	7,9
Cyanwasserstoff	5,6	41	Methanol	5,5	36,5
Diethylether	1,2	51	Methylbenzen	1,2	7
1,1-Dichlor- ethan	5,6	13	Monobromethan	6,75	11,5
1,2-Dichlor- ethan	5,6	12,8	Monobrommethan	13,5	14,5
1,2-Dichlor- ethen	6,2	15	Monochlorethan	3,6	14,9
Dimethylbenzen	1	7,3	Monochlormethan	8	19,7
Ethanal	4	57	Nonan	0,8	5,6
Ethanol	2,6	18,9	Octan	0,9	6,0
			Pentan	1,35	8
			Petrolether	1,3	8
			Propan-1-ol	2,1	13,5

Beim Umgang mit *Flüssigkeiten*, deren Dämpfe mit Luft explosive Gemische bilden, sind Sicherheitsvorkehrungen in dreierlei Hinsicht zu treffen:

- Die Vorratsgefäße müssen stets geschlossen bleiben. Auch bei Experimenten ist soweit wie möglich in verschlossenen Geräten zu arbeiten!

- Bei Experimenten zur Löslichkeit sind Geräte mit Stopfen (Kork- oder Schliff-Stopfen, da die meisten dieser Stoffe Gummi lösen) zu verschließen! Leicht verdampfende Stoffe dürfen jedoch nicht in Geräte geschüttet werden, die mit Stopfen verschlossen sind. Beim Erhitzen in Apparaturen (unter Beachtung der Vorschriften für den Umgang mit brennbaren Flüssigkeiten) muß durch eine Rückflußkühlung das Entweichen von Dämpfen in den Fachunterrichtsraum verhindert werden!
- Für gute *Durchlüftung des Fachunterrichtsraums* ist zu sorgen! Alle Zündmöglichkeiten sind zu verhindern! Alle Flammen sind im Raum zu löschen, heiße Metallteile (z. B. Drahtnetz, Stativringe und Dreifüße) müssen vorher abkühlen!

Entsprechende Forderungen bestehen auch beim Umgang mit *Gasen, die explosive Luftgemische bilden* können. Bei ihnen muß das Entweichen in die Luft des Fachunterrichtsraums durch Absorption oder durch Abbrennen verhindert werden. Ist das nicht völlig möglich, so muß jede Zündmöglichkeit verhindert werden (Flammen löschen, Bildung von Funken, zum Beispiel an elektrischen Schaltungen vermeiden).

Beim Arbeiten mit brennbaren Gasen oder explosiven Gasgemischen sind folgende *Sicherheitsvorkehrungen* zu beachten:

- Pneumatisch aufgefangene brennbare Gase dürfen erst entzündet werden, nachdem Gasentwickler oder Gassammelapparate mindestens 3 m entfernt worden sind.
- Explosive Gemische dürfen nicht in Gassammelapparaten aufgefangen werden. Wasserstoff oder Ethin darf man nur für die Dauer einer Unterrichtsstunde in Gassammelapparaten aufbewahren; danach sind diese unbedingt zu entleeren.
- Knallgas sollte nur in sehr kleinen Volumen hergestellt werden. Ethin und Luft sollte man möglichst nicht mischen.
- Zur Synthese von Wasser aus Wasserstoff und Sauerstoff im Eudiometerrohr dürfen maximal 15 ml Gasgemisch verwendet werden.
- Sollen Explosionen im Chemieunterricht demonstriert werden (Knallgas), so darf das nur mit kleinen Volumen unter Beachtung von Sicherheitsvorkehrungen erfolgen. Es sind kleine weite, dickwandige, mit einem Tuch umwickelte Standzylinder, Schutzscheibe, Schutzbrille und gegebenenfalls Fernzündung zu benutzen.
- *Gemische von Chlor und Wasserstoff* (Chlorknallgas) sind unbedingt lichtgeschützt zu behandeln. Sie dürfen nur in Reagenzgläsern unter einem Standzylinder und hinter einer Schutzscheibe zur Reaktion gebracht werden.

Wenn brennbare Gase beim Austritt aus Apparaten entzündet oder in Geräten erhitzt werden sollen (z. B. Nachweis der Brennbarkeit, Reduktion mit Wasserstoff, Kohlenmonoxid oder Stadtgas, Synthese von Schwefelwasserstoff aus Wasserstoff und Schwefel) ist ebenfalls sehr vorsichtig zu verfahren.

Bevor man entzündet oder mit dem Erhitzen beginnt, muß grundsätzlich die Abwesenheit von Luft in dem brennbaren Gas (nicht nur in Wasserstoff) durch den negativen Ausfall der *Knallgasprobe* nachgewiesen werden. Ferner ist folgendes zu beachten:

- Beim Erhitzen oder Abbrennen von Gasen sind zwischen Gasentwickler und den übrigen Teilen der Apparatur Glasrohrstücke einzubauen, die mit Stahl- oder Kupferwolle gefüllt sind („Rückschlagsicherung“). Auch das Abbrennen entweichender luftfreier Gase an einem Brennerunterteil ohne Schornstein bietet gewisse Sicherheit gegen das Zurückschlagen der Flamme.
- Alle derartigen Experimente sind hinter einer Schutzscheibe auszuführen. Der Lehrer trägt eine Schutzbrille.
- Experimente mit brennbaren Gasen, wie Wasserstoff, Methan, Ethan oder Propan, dürfen nur unter nachfolgenden Bedingungen von den Schülern ausgeführt werden:  
Der Lehrer hat sich persönlich bei allen experimentierenden Gruppen oder Schülern vom negativen Ausfall der Knallgasprobe überzeugt.  
Die in Reagenzgläsern aufzufangenden und eventuell abzubrennenden Gasvolumen liegen unter 50 ml.  
Nicht von Chemikalien ausgefüllte Hohlräume in der Apparatur haben ein Volumen unter 50 ml.

### 3.2.2.5. Einzelhinweise für den Umgang mit gefährlichen Flüssigkeiten und festen Stoffen

Nachdem in den vorangegangenen Abschnitten prinzipielle Hinweise zum Umgang mit gefährlichen Stoffen im Chemieunterricht gegeben worden sind, sollen diese nun auf einige häufig benutzte flüssige und feste Stoffe angewandt werden. Da beim Arbeiten mit ihnen oft mehrere Gefährdungen gleichzeitig auftreten können, ist die Zuordnung zu einzelnen der vorstehenden Abschnitte nur schwer möglich. Die Stoffe werden in alphabetischer Reihenfolge angeführt.

**Brom** ist ein Gift der Abteilung 2. Es gibt stark ätzende Dämpfe ab, die vor allem die Atmungsorgane angreifen (↗ S. 384). Treten Vergiftungserscheinungen (z. B. Hustenreiz, Kopfschmerzen, Atembeschwerden) auf, so ist frische Luft zuzuführen, absolute Ruhe des Vergifteten zu sichern und sofort der Arzt aufzusuchen.

Auf der Haut führen Spritzer von flüssigem Brom ebenfalls zu schweren Verätzungen. Ist Brom auf die Haut gelangt, so spült man diese zunächst mit viel Wasser ab. Danach sind die verätzten Stellen der Haut mit 5%iger Natriumthiosulfatlösung zu behandeln. Der Verletzte ist sofort in ärztliche Behandlung zu bringen (↗ Anhang, Erste Hilfe, S. 416).

*Verschüttetes Brom* wird mit Natriumthiosulfatlösung oder viel Wasser unschädlich gemacht. In Klassenräume dürfen höchstens 2 ml Brom mitgenommen werden. Ringe und Schmuckstücke sind beim Arbeiten mit Brom abzulegen.

*Bromampullen* müssen besonders vorsichtig geöffnet werden. Dazu stellt man die Ampulle in ein Gefäß mit Eis oder in eine Kältemischung und wartet, bis die Flüssigkeit gut durchgekühlt ist. Dann umwickelt man die Ampulle mit einem Tuch oder setzt sie bis zum Hals in trockenen Sand. Erst danach wird der Hals mit der Ampullenfeile angeritzt und die Spitze durch Berühren des Risses mit einem glühenden Glasstab entfernt. Das Brom wird sofort in die Standflasche, möglichst eine Kappenflasche, umgefüllt. Die Arbeiten sind unter einem gut ziehenden Ab-

zug auszuführen. Es sind unbedingt Schutzbrille und Schutzhandschuhe zu tragen. In gleicher Weise ist auch beim Öffnen anderer Ampullen zu verfahren, in denen Überdruck auftreten kann (z. B. Ethanal).

**Fluorwasserstoffsäure** (Flußsäure) ist ein Gift der Abteilung 1, wenn die Konzentration über 50% liegt, sonst Gift der Abteilung 2. Sie ist vor allem deshalb sehr gefährlich, weil sie auf der Haut schwer heilende, eiternde Wunden hervorruft und das Einatmen von Fluorwasserstoffdämpfen zu starken Verätzungen der Atmungsorgane führen kann. Beim Arbeiten mit diesem Stoff sind außer der Schutzbrille Gummihandschuhe zu tragen (vorher prüfen, ob sie auch wirklich dicht sind!). Alle Arbeiten mit Fluorwasserstoffsäure sind unter dem Abzug auszuführen. Reste sind mit Calciumhydroxid als Calciumfluorid zu beseitigen.

Da die Fluorwasserstoffsäure mit Glas reagiert, ist sie in besonderen Flaschen aus Hartgummi oder geeigneten Plasten aufzubewahren.

### **Kalium** (↗ Natrium)

**Kaliumchlorat** ist wegen seiner stark oxydierenden Wirkung sehr gefährlich. Es kann schon beim Erhitzen heftig explodieren, wenn es durch Staub nur geringfügig verunreinigt ist. Kaliumchlorat darf im Chemieunterricht nur zur Darstellung von Sauerstoff im Lehrerdemonstrationsexperiment verwendet werden. Im Chemiefachunterrichtsraum dürfen maximal 500 g Kaliumchlorat gelagert werden. Die Aufbewahrung und Nachweisführung soll wie bei Giften der Abteilung 1 erfolgen (↗ S. 372). Andere Chlorate dürfen an der Schule nicht vorhanden sein. Auf jeden Fall sollte nach dem Öffnen neuer Flaschen und vor jedem Experiment eine *sehr* kleine Probe Kaliumchlorat im Reagenzglas erhitzt oder in einer sauberen Reibschale zerrieben werden. Tritt Verpuffung ein, so kann das Kaliumchlorat nicht mehr verwendet, sondern muß vernichtet werden. Man kann es durch Lösen in Wasser unschädlich machen und fortspülen.

**Kohlendioxidschnee** ruft auf der Haut Brandwunden hervor. Er sollte deshalb nur mit Gummihandschuhen berührt werden. Kohlendioxidschnee darf nur in offenen Gefäßen aufbewahrt werden.

**Natrium** und **Kalium** sind außerordentlich reaktionsfähig und müssen stets unter sauerstoff-, wasser- und halogenfreien Flüssigkeiten (z. B. Petroleum, Paraffinöl, Benzen) aufbewahrt werden. Die Flaschen sind zusätzlich in mit Sand oder Kieselgur gefüllte Blechbehälter zu stellen. Natrium und Kalium dürfen niemals gemeinsam in einer Vorratsflasche aufbewahrt werden. Sie sind unter besonderem Verschluß feuersicher unterzubringen. Am günstigsten ist dafür ein in die Wand eingelassener Schrank. Wo dieser nicht vorhanden ist, kann ein kleiner Schrank aus Stahlblech in genügender Entfernung von der Heizung aufgestellt werden. Für den Chemieunterricht sollten nicht mehr als 50 g Natrium vorrätig gehalten werden. Auf die Verwendung von Kalium ist möglichst völlig zu verzichten, da es noch gefährlicher als Natrium ist.

Zum Experimentieren entnimmt man der Standflasche mit einer Pinzette ein kleines Stück Metall, tupft es sorgfältig mit Filterpapier ab und entfernt die äußere

Rinde. Alle Geräte müssen dazu absolut trocken sein. Die Rinden dürfen nicht in die Standflaschen zurückgegeben werden. Sie sind sofort zu vernichten oder in einer besonderen Flasche unter einer der oben genannten Flüssigkeiten bis zur Beseitigung aufzubewahren.

Beim Arbeiten mit nicht- oder unzureichend entrindetem Natrium oder Kalium besteht Explosionsgefahr.

Alkalimetalle dürfen wegen der Gefahr der Verätzung nie mit den Händen berührt werden. Zu Experimenten sind nur kleine, höchstens erbsengroße Stücke zu benutzen. Beim Arbeiten mit Alkalimetallen sind stets Schutzbrille und Schutzhandschuhe zu tragen. Die Experimente sind nur vom Lehrer auszuführen. Durch eine auf dem Experimentiertisch des Lehrers aufgestellte Scheibe aus Sicherheitsglas (Schutzscheibe) sind die Schüler zu schützen. Geräte, in denen mit Alkalimetallen gearbeitet werden soll, müssen vorher gut getrocknet werden. Sollen die Metalle auf Wasser gebracht werden, dann verwendet man nur runde Gefäße (z. B. große Kristallisierschalen). Das Reaktionsgefäß darf bei diesem Experiment niemals direkt mit einer Glasplatte abgedeckt werden (Knallgasexplosion). Drahtnetze oder eine Glasplatte können in 1 ... 2 cm Abstand über die Schale gebracht werden. Kalium darf nie unter Wasser gehalten werden!

*Kalium- und Natriumreste* und die abgetrennten Rinden sind durch vorsichtiges Verbrennen (nur jeweils kleine Stücke) oder besser durch langsames Eintragen in das 20fache Volumen Ethanol unschädlich zu machen. Dabei ist auf vollständige Reaktion zu achten. Das entstehende Alkoholat kann dann mit Wasser fortgespült werden.

Vom Chemikalienhandel werden Alkalimetalle oft in Blechdosen geliefert, in denen sie in Paraffin eingeschmolzen sind. Nach dem *Öffnen der Blechdosen* schält man das Metall vorsichtig aus dem festen Paraffin heraus (Schutzbrille und Schutzhandschuhe tragen; nur mit Pinzette anfassen!) und gibt es sofort in eine Standflasche mit Paraffinöl oder Petroleum. Dabei darf auf Kalium kein Druck, beispielsweise mit der Pinzette, ausgeübt werden. Wegen der Unfallgefahr darf das feste Paraffin niemals durch Abschmelzen entfernt werden.

**Phosphor** ist vor allem in der Form des *weißen Phosphors* gefährlich. Da aber roter Phosphor beim Erwärmen in weißen umgewandelt wird und oft mit diesem verunreinigt ist, muß auch beim Arbeiten mit *rotem Phosphor* äußerst vorsichtig verfahren werden. Weißer Phosphor entzündet sich bei Temperaturen um 60 °C, in feiner Verteilung schon bei Zimmertemperatur, ist also auch stark feuergefährlich. Weißer Phosphor wird unter Wasser in einer Standflasche aufbewahrt. Diese Standflasche ist in einem entsprechend großen Ton- oder Blechgefäß so in Sand einzubetten, daß der Sand bei Bruch der Flasche aus Glas über der Substanz zusammenfallen kann. Diese Vorschrift ist besonders wichtig, weil das Sperrwasser während der kalten Jahreszeit in ungeheizten Räumen leicht einfrieren kann. Weißer Phosphor ist feuersicher, möglichst frostfrei und dunkel aufzubewahren. Von Phosphor sollten höchstens 50 g im Giftfach des Giftschranks vorhanden sein. Er darf niemals mit bloßen Händen berührt werden. Auch das Sperrwasser, unter dem der Phosphor aufbewahrt wird, ist giftig und entsprechend vorsichtig zu behandeln.

Auf Experimente mit weißem Phosphor sollte verzichtet werden. Fast immer kann auch roter Phosphor mit gleichem Effekt eingesetzt werden. Wird in den Hochschulen dennoch die Arbeit mit weißem Phosphor notwendig, so sind meist kleine Stücke davon erforderlich. Sie werden in einer flachen starkwandigen Schale unter lauwarmem Wasser von den Phosphorstangen abgeschnitten. Trotz eines gewissen Erweichens des Phosphors in dem lauwarmen Wasser kann diese Arbeitsweise leicht zum Verspritzen von Phosphor oder des Absperrwassers führen. Deshalb wird folgendes Vorgehen empfohlen:

Eine Phosphorstange wird unter Wasser geschmolzen. Mit einem Phosphorlöffel schöpft man das flüssige Produkt heraus und gibt es in kleinen Tropfen in einen hohen, mit kaltem Wasser gefüllten Standzylinder. So erhält man kleine Phosphorkugeln, die in einer Standflasche unter Wasser aufbewahrt werden.

Reste von Phosphor und Phosphorlösung, auch von rotem Phosphor, sind unmittelbar nach dem Gebrauch durch Abbrennen unter dem Abzug oder im Freien unschädlich zu machen. Metallgeräte, die mit Phosphor in Berührung gekommen sind, werden nach dem Experiment geglüht. Glasgeräte sind mehrmals mit Kaliumpermanganat- oder Kupfer(II)-sulfatlösung zu spülen.

Sind Spritzer von brennendem Phosphor auf die Haut gelangt, so ist sofort mit reichlich Wasser zu spülen. Es wird auch die Behandlung mit einer 1%igen Kupfer(II)-sulfatlösung empfohlen (↗ Anhang, Erste Hilfe, S. 416). Beim Arbeiten mit Phosphor ist deshalb ständig eine Lösung von Kupfer(II)-sulfat bereitzustellen. Ein Merkblatt über die Erste Hilfe bei Phosphorverbrennungen soll im Fachunterrichtsraum für Chemie vorhanden sein.

**Quecksilberverbindungen** sind meist Gifte der Abteilung 1 (↗ S. 372). Das metallische Quecksilber gibt schon bei Zimmertemperatur Dämpfe ab, die zu schweren Vergiftungen führen können. Gefäße mit Quecksilber dürfen deshalb niemals offen stehenbleiben. Das Verdampfen von Quecksilber kann man gegebenenfalls durch Überschichten mit Wasser verhindern.

Wegen der hohen Dichte sind nur starkwandige Geräte zur Aufbewahrung des Metalls zu benutzen. Sie sollen in einem größeren Auffanggefäß stehen. Mit Quecksilber darf nur an glatten, mit erhöhtem Rand versehenen Tischen gearbeitet werden. Zweckmäßig ist, ein *Quecksilberbrett* oder eine größere Schale unterzustellen. Verschüttetes Quecksilber, auch das von zerbrochenen Thermometern, muß sofort und restlos aufgenommen werden. Größere Tropfen werden mit Quecksilberzangen, kleine Kugeln mit Zinkstaub oder einem Zink- oder Bleiblech unter Amalgambildung aufgenommen.

Beim Arbeiten mit Quecksilberverbindungen besteht Vergiftungsgefahr. Experimente mit diesen Stoffen sollen deshalb in der Schule nicht erfolgen.

Reste von Quecksilber und seinen Verbindungen dürfen keinesfalls in Abfallgefäße oder Ausgüsse gegeben werden. Sie sind zunächst mit Salpetersäure zu behandeln und in einer besonders gekennzeichneten Flasche (Gift 1!) zu sammeln. Diese Flasche muß unter doppeltem Verschuß im Giftschränk aufbewahrt werden. Die Reste werden dann aufgearbeitet oder durch Einleiten von Schwefelwasserstoff vollständig in Quecksilbersulfid übergeführt und an einer nicht allgemein zugänglichen Stelle mindestens 1 m tief vergraben.

### 3.3. Chemikalienausstattung für den Chemieunterricht

#### 3.3.1. Aufbewahrung von Chemikalien

##### 3.3.1.1. Gefäße für Chemikalien

Alle Chemikalien müssen in geeigneten stabilen Gefäßen mit Kennzeichnung des Inhalts aufbewahrt werden. Diese können verschiedene Form haben. Meist werden *Chemikalienflaschen* benutzt. Grundsätzlich ist für die Aufbewahrung von festen Stoffen und Flüssigkeiten folgendes zu beachten:

- Chemikalien dürfen nur in Gefäßen aufbewahrt werden, die besonders für diesen Zweck hergestellt und auf Grund ihrer Form sofort als solche erkennbar sind. Es ist streng untersagt, Gefäße für Chemikalien zu verwenden, die üblicherweise anderen Zwecken, besonders der Aufbewahrung von Lebensmitteln, dienen (z. B. Bierflaschen, Saftflaschen).
- Alle Chemikalien sollen weitgehend vor Staub, Feuchtigkeit, Gasen und Dämpfen geschützt, gut verschlossen aufbewahrt werden.
- Bei der Auswahl und dem Verschuß der Gefäße sind die Eigenschaften der aufzubewahrenden Stoffe genau zu beachten (↗ S. 326ff. Spalte 4).
- Der Inhalt aller Gefäße mit Chemikalien muß durch eine eindeutige, gut lesbare und dauerhafte Beschriftung kenntlich gemacht werden.
- Chemikalienflaschen sind stets sauber zu halten. Sie sollten regelmäßig abgewischt werden.

Für *feste Stoffe und Flüssigkeiten* werden fast ausschließlich Standflaschen aus Glas verwendet. Sie sind entweder mit einem Schraubdeckel aus Plast (z. B. Originalverpackung vieler fester Chemikalien), mit Schliff-, Gummi-, PVC- oder Korkstopfen verschlossen. Oft werden Chemikalien in den Flaschen aufbewahrt, in denen sie angeliefert worden sind. Die Flaschen haben dann recht unterschiedliche Form und Größe. Man kann die Stoffe auch in einheitliche Flaschen umfüllen. In einigen Fällen muß der Stoff auch auf mehrere kleine Flaschen, zum Beispiel für Schülerexperimente, verteilt werden.

*Standflaschen* in der Sammlung haben meist ein Volumen von 250 cm<sup>3</sup> oder 500 cm<sup>3</sup> und je nach der Art der Chemikalien einen engen oder weiten Hals. In einigen Fällen sind auch kleinere Flaschen (100 cm<sup>3</sup>) günstig. Für Indikatorlösungen sind Flaschen dieser Größe, möglichst in Form von Pipettenflaschen, zu empfehlen. Lichtempfindliche Stoffe werden in Flaschen aus braunem Glas aufbewahrt.

Flüssigkeiten, die ätzende oder aggressive Dämpfe abgeben, füllt man möglichst in *Kappenflaschen*. Metalle und Reagenzpapiere werden oft in Papp- oder Plastschachteln geliefert. Vielfach ist es erforderlich, diese in dicht schließende Gefäße zu überführen. Dazu können neben weithalsigen Chemikalienflaschen auch Präparategläser mit eingeschliffenen Deckeln (↗ S. 71) verwendet werden.

*Gase* stellt man im Chemieunterricht im allgemeinen für jedes Experiment direkt dar. Für bestimmte Experimente werden sie auch vor dem Chemieunterricht ent-

wickelt, über Wasser in geeigneten Gefäßen, zum Beispiel in Gassammelapparaten, aufgefangen und aufbewahrt (↗ S. 180). Zuweilen, besonders bei hohem Bedarf an Schulen mit vielen Parallelklassen oder beim Einsatz in Arbeitsgemeinschaften, kann es günstig sein, einige häufig benutzte Gase, wie Sauerstoff, Wasserstoff und eventuell noch Kohlendioxid, in *Druckgasflaschen* zur schnellen und bequemen Entnahme zur Verfügung zu haben.

### 3.3.1.2. Beschriftung von Chemikalienflaschen

Alle Flaschen, in denen Chemikalien aufbewahrt werden, sind durch Aufschriften zu kennzeichnen, aus denen der Inhalt eindeutig hervorgeht. Das gilt auch für Gefäße, die nur vorübergehend zur Aufbewahrung von Chemikalien dienen.

Die Kennzeichnung der vom Chemikalienhandel gelieferten Labor- und Feinchemikalien erfolgt durch ein Hauptetikett (Abb. 343), dem bei sehr reinen Stoffen ein Garantieschein mit Angaben über die Gewährleistung der Reinheitsforderungen beigelegt ist. Wenn es die gesetzlichen Bestimmungen erfordern, müssen Sonderetiketten (z. B. Giftigkeit, Feuergefährlichkeit, Gesundheitsgefährdung) vorhanden sein.

Flaschen mit selbstabgefüllten Chemikalien sind stets deutlich zu kennzeichnen. Dabei sind die *Bezeichnung des Stoffs* mit dem wissenschaftlichen Namen und den Reinheitsangaben sowie die Formel anzugeben. Gegebenenfalls können Trivialnamen vermerkt werden. Ferner sind Angaben über Giftigkeit und Feuergefährlichkeit entsprechend den gesetzlichen Bestimmungen anzubringen (↗ S. 373). In Einzelfällen wird aus methodischen Erwägungen auch anders verfahren und zum Beispiel nur die Formel angegeben. Kleine Volumen oder Massen von Stoffen zur unmittelbaren Verwendung bei Experimenten dürfen vorübergehend auch nur mit Nummern oder Buchstaben versehen werden (z. B. Fettstift).

Sind Chemikalien nicht mit Originalverschluß und Originaletikett geliefert worden, erhält man die Stoffe zum Beispiel aus zweiter Hand, so muß die *Übereinstimmung von Inhalt und Aufschrift* genau überprüft werden, ehe die Einordnung in die Chemikaliensammlung erfolgt.

Für die Art und Weise der *Beschriftungen* gibt es verschiedene Möglichkeiten. Besonders haltbar sind die *Mattschildbeschriftungen* (Abb. 344) von Standflaschen. So beschriftete Flaschen werden über den Laborgerätehandel geliefert. Die Kosten sind allerdings recht hoch. Manchmal entspricht die Bezeichnung der Stoffe nicht den für den Chemieunterricht gebräuchlichen Grundsätzen. Deshalb kommt diese Form für den Chemieunterricht nur bedingt in Frage.

Recht zweckmäßig sind Schilder für Chemikalienflaschen in Form von Schiebbildern. Die Handhabung ist einfach. Man erhält ohne großen Aufwand ein gut aussehendes Gesamtbild der Chemikaliensammlung. In den meisten Fällen werden aber noch von Hand beschriftete Papieretiketten verwendet. Sie besitzen entweder einen selbstklebenden Belag oder werden mit propanonlöslichen handelsüblichen Klebstoffen, PC-Kleber oder einer Lösung aus Dextrin und etwas frischem Eiweiß aufgeklebt.

Papieretiketten lassen sich auf Blech mit einer Lösung aus 13 g Gelatine in 1000 g Ethansäure oder mit einem Gemisch von 10 Teilen Tischlerleim, 60 Teilen Wasser,

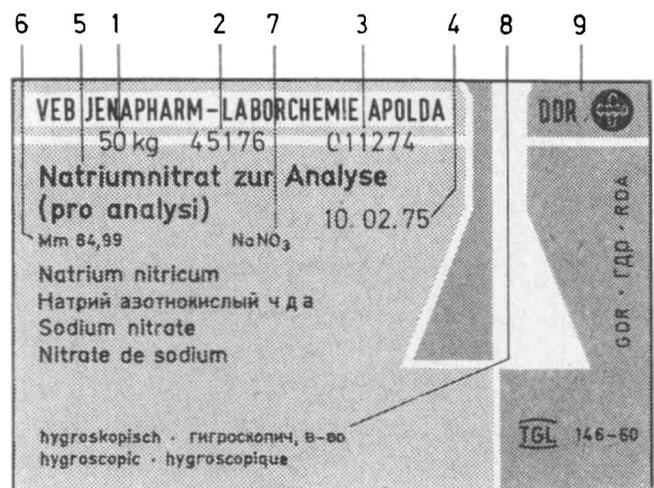


Abb. 343

Abb. 343 Beispiel für Etikett auf Handelspackungen von Chemikalien

- 1) Massenangabe, 2) laufende Produktionsnummer,
- 3) Chargen-Nummer, 4) Abfülldatum,
- 5) Benennung mit Reinheitsbezeichnung,
- 6) relative Molekülmasse, 7) Formel,
- 8) zusätzliche Kennzeichnung von Eigenschaften,
- 9) Farbkennzeichnung des Reinheitsgrads (rot: reinst, z. A., blau z. A., grün: rein, grau: technisch, roh, violett: DAB 7)

10 Teilen Glycerol und 3 Teilen Borsäure, die sich beim Erwärmen löst, aufkleben [63].

Die Beschriftung ist in Normschrift vorzunehmen. Die Farben (Schwarz, Rot auf weißem Grund oder Weiß auf schwarzem Grund) ergeben sich aus den gesetzlichen Bestimmungen (↗ S. 371 und S. 326ff. in Spalte 4). Für kleine Stoffmengen am Arbeitsplatz in Laboratorien sind sie allerdings nicht bindend. Das Etikett Gift ist jedoch unerlässlich. Zum Schutz überzieht man Papieretiketten mit Gummilösung oder farblosem Latex.



Abb. 344  
Chemikalienflasche  
mit Mattschildbeschriftung

Bewährt haben sich auch Überzüge aus farblosem Nitrolack oder Plakatlack. Es läßt sich auch selbstklebende Klarglasfolie verwenden.

### 3.3.1.3. Entnahme von Chemikalien

Chemikalien sind aus Standflaschen so zu entnehmen, daß *Verunreinigungen* vermieden werden. Dabei ist folgendes zu beachten:

- Zueinander gehörende Flaschen und Stopfen sind in geeigneter Weise zu kennzeichnen, um Verwechslungen auszuschließen. Sofern das nicht bereits vom Hersteller geschehen ist, kann die Kennzeichnung vom Lehrer durch Punkte oder Zeichen mit verschiedenfarbigem Nitrolack, mit Glasätztinte, z. B. Flußsäure (↗ S. 322), oder anderer Glastinte nachgeholt werden. Zwei Lösungen werden empfohlen [73]:  
36 g Natriumfluorid (Gift 2!) in 500 ml destilliertem Wasser, der 7 g Kaliumsulfat zugesetzt werden und  
14 g Zinkchlorid (Gift 2!) in 500 ml destilliertem Wasser mit 65 g konzentrierter Chlorwasserstoffsäure, die man in einem ausgehöhlten Paraffinblock vor dem Gebrauch im Verhältnis 1:1 mischt und etwas Tusche zusetzt.  
Die Teillösungen können in Glasflaschen aufbewahrt werden. Die Tinte wird mit einem Holz- oder Plaststäbchen, einem Pinsel oder einer Feder aufgetragen. In jedem Falle sind die Geräte nach der Einwirkung des Ätzmittels gründlich mit Wasser zu spülen.
- Nach der Chemikalienentnahme sind die Flaschen sofort wieder zu verschließen. Es darf jeweils nur eine Flasche geöffnet werden. Dadurch lassen sich Verunreinigungen und ein Verwechseln der Verschlüsse vermeiden.
- Feste Substanzen sind nur mit sauberen Gegenständen, wie Löffeln und Spateln aus korrosionsbeständigem Material, aus Chemikalienflaschen zu entnehmen. Feinkörnige, lockere Substanzen können in Gefäße mit großer Öffnung übergeführt werden, indem man die Flasche bei geeigneter Neigung langsam dreht. Chemikalien sollten niemals mit dem Reagenzglas aus der Chemikalienflasche entnommen werden.
- Zum *Ausgießen von Flüssigkeiten* (Abb. 345) wird die Flasche mit der rechten Hand so angefaßt, daß die Beschriftung nach der Handinnenfläche zeigt. Das Etikett soll dadurch vor möglicherweise herablaufenden Tropfen geschützt werden. Das Gerät, zum Beispiel ein Reagenzglas, das die Flüssigkeit aufnehmen soll, wird mit Daumen und Zeigefinger der linken Hand gehalten. Mit den noch freien Fingern dieser Hand und dem Handballen ist dann der Stopfen von der Flasche abzunehmen und die Flüssigkeit auszugießen, ohne den Rand der Flasche auf das Gerät aufzusetzen. Nachdem am Rand der Flasche hängende Tropfen mit dem Stopfenhals abgestrichen wurden, ist der Stopfen wieder aufzusetzen.
- Beim *Abfüllen von ätzenden, giftigen, gesundheitsschädigenden oder feuergefährlichen Stoffen* sind Maßnahmen zu treffen, die ein Verschütten oder Verspritzen verhindern (z. B. Abfüllvorrichtungen, Abfüllen in besonderen Räumen oder unter dem Abzug).

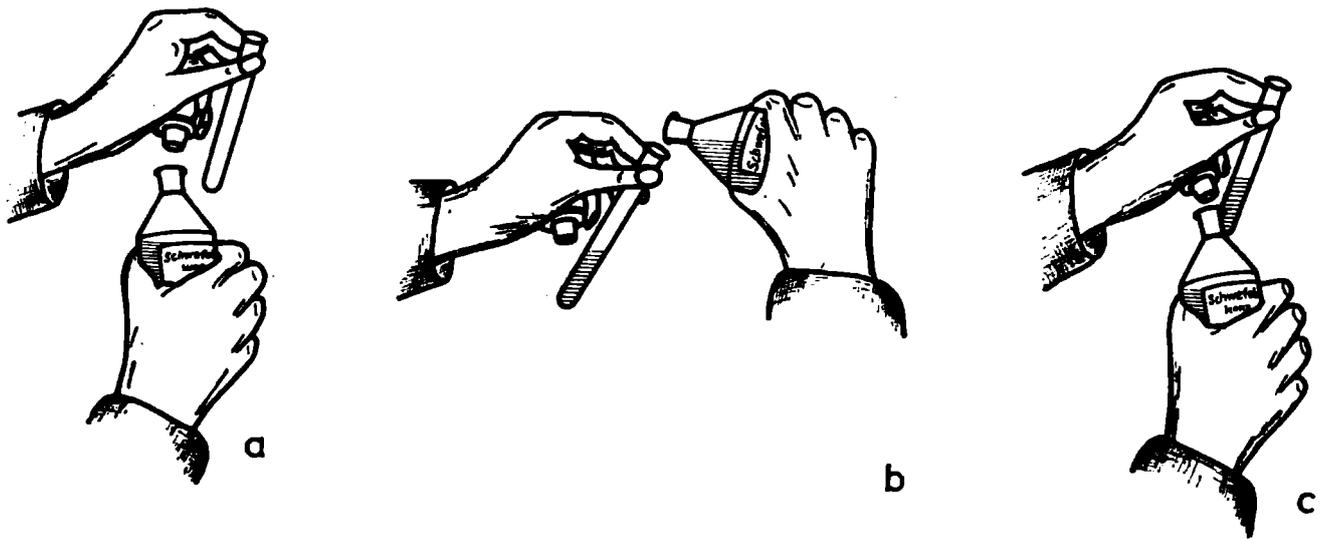


Abb. 345

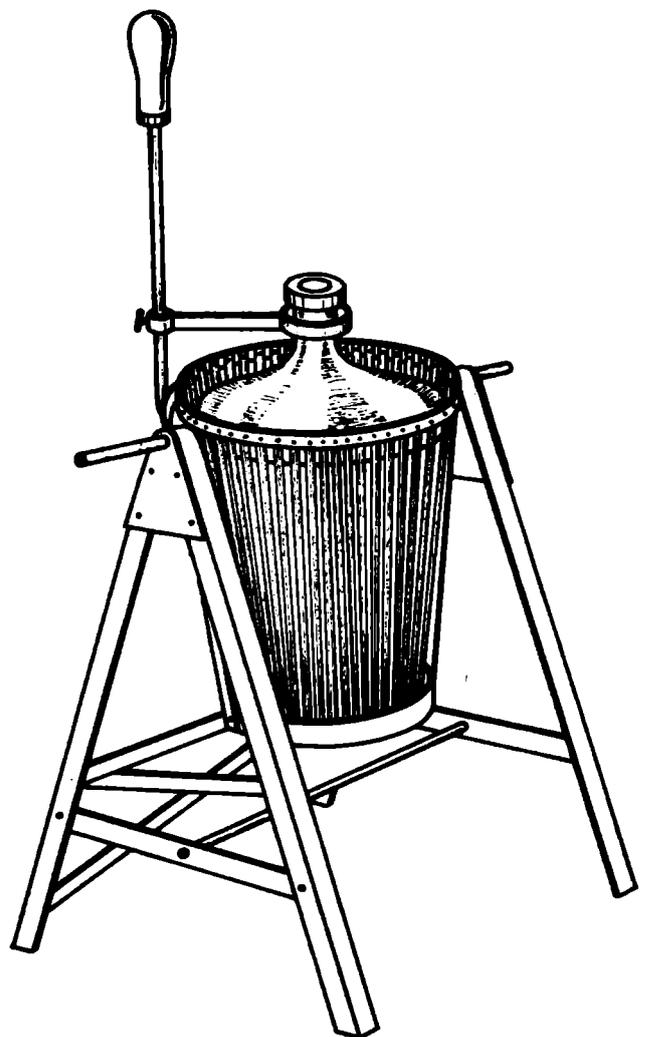


Abb. 346

Abb. 345 Tätigkeit beim Ausgießen einer Flüssigkeit aus einer Standflasche  
a) Abnehmen des Stopfens, b) Ausgießen der Flüssigkeit, c) Aufsetzen des Stopfens  
Abb. 346 Kippvorrichtung für Ballons

- Um Chemikalien vollständig und sauber in Geräte mit engem Hals oder kleiner Öffnung zu überführen, werden Trichter verwendet (für feste Stoffe Pulvertrichter oder Papptrichter). Bei Flüssigkeiten muß die verdrängte Luft entweichen können. Eventuell ist der Trichter etwas anzuheben.

- Zum Abfüllen von Flüssigkeiten aus Ballons ist eine *Kippvorrichtung* (Abb. 346) oder ein Heber zu benutzen.
- *Verschüttete Chemikalien* sind sofort durch Verdünnen, Neutralisieren, Aufnehmen oder andere geeignete Maßnahmen zu beseitigen.
- Einmal entnommene Stoffe dürfen niemals in Chemikalienflaschen zurückgegeben werden. Soll *Wiederverwendung* erfolgen, so sind sie in eine besondere Flasche zu füllen, die eine entsprechende Beschriftung trägt. Das gilt nicht für Stoffe, die von einer Aufbewahrung ausgeschlossen sind, wie Kaliumchloratreste oder Zündgemische.

### 3.3.2. Chemikaliensammlung

#### 3.3.2.1. Beschaffung der Chemikalien

Der Chemielehrer ist für die Beschaffung der erforderlichen Chemikalien und anderen Stoffe verantwortlich. Die *Belieferung der Schulen* mit Chemikalien erfolgt durch den Schulchemikalienhandel.

Zur Bestellung sind, soweit möglich, die Bestellisten und Bestellvordrucke des Chemikalienhandels zu benutzen, weil dadurch die Bearbeitung der Aufträge wesentlich erleichtert und beschleunigt werden kann. In solchen Listen sind dann auch die lieferbaren Reinheitsgrade und Abpackungsgrößen angegeben. Chemikalien, die in den Bestellunterlagen nicht aufgeführt sind, müssen vom Lehrer in besonderen Listen zusammengestellt werden. In diesen Fällen ist folgendes zu beachten:

- Alle Bestellungen sind nach den Angaben im gültigen Katalog des Chemikalienhandels vorzunehmen.
- Unabhängig von den im Chemieunterricht üblichen Namen sind bei Bestellungen nur die im Katalog genannten Bezeichnungen der Stoffe anzuwenden.
- Neben dem genauen Namen des Stoffs sind anzugeben: Formel, gewünschter Reinheitsgrad, Form der Stoffe (z. B. granuliert, pulverisiert, in Stangen, in Plätzchen, kristallisiert), bei Säuren und Laugen die gewünschte Dichte oder Konzentration.
- Es sollen nur Abpackungen gewählt werden, die nach dem Katalog für die entsprechenden Chemikalien geführt werden.
- Alle Chemikalienflaschen sind nach Eingang auf richtigen Inhalt zu überprüfen.

Zur Erleichterung der Arbeit des Lehrers enthalten die Tabellen über anorganische und organische Chemikalien (↗ S. 327 und S. 335) eine Spalte, in der solche Bezeichnungen aufgeführt werden.

Der Chemielehrer sollte ein Chemikalienbestandsbuch oder eine entsprechende Kartei führen, um sich Unterlagen für die Bestellung zu schaffen (↗ S. 398).

### 3.3.2.2. Anlage der Chemikaliensammlung

Die Chemikaliensammlung soll alle für die Durchführung des Chemieunterrichts und der außerunterrichtlichen Arbeit notwendigen Stoffe enthalten. Im allgemeinen ist sie gemeinsam mit der Gerätesammlung, der Sammlung von Anschauungstafeln, Modellen, Mineralien und technischen Produkten für den Chemieunterricht im *Vorbereitungsraum* untergebracht. Da dieser meist in unmittelbarer Nähe des Fachunterrichtsraums liegt, ermöglicht das einen schnellen Zugriff zu den notwendigen Materialien und erleichtert außerdem die Einhaltung der Sicherheitsbestimmungen (↗ S. 370ff.). An kleinen Schulen befindet sich die Chemikaliensammlung in einem größeren verschließbaren Schrank, der oft zusammen mit den Unterrichtsmitteln für andere Fächer in einem Raum aufgestellt ist. Folgende allgemeine *Forderungen* sind für die Chemikaliensammlung zu erheben:

- Alle Stoffe für den Chemieunterricht sind so unter Verschluss aufzubewahren, daß sie nur dem Chemielehrer zugänglich sind. Arbeiten mehrere Chemielehrer an einer Schule, so ist einer als verantwortlicher Lehrer für die Chemikaliensammlung einzusetzen. Andere Personen dürfen nur unter Aufsicht des Fachlehrers an die Chemikaliensammlung gelangen. Befinden sich die Chemikaliensammlung oder Chemikalienvorräte in einem besonderen Raum, so verwahrt der verantwortliche Fachlehrer den Schlüssel. Für die Nutzung des Raums durch andere Chemielehrer sind Festlegungen zu treffen, die einen Zugang Unbefugter ausschließen. Ein zweiter Schlüssel ist beim Direktor oder Hausmeister in einem versiegelten Umschlag oder versiegelten Kästchen zu hinterlegen, damit der Raum bei Gefahren stets zugänglich ist. Der Hausmeister hat die Entgegennahme des Schlüssels zu quittieren.
- Die Chemikalien sind übersichtlich und sorgfältig geordnet in der Sammlung unterzubringen. In der Chemikaliensammlung muß größte Sauberkeit herrschen. Sie ist regelmäßig zu säubern. Werden dazu Hilfskräfte herangezogen, darf das nur unter Aufsicht des Lehrers nach genauer Belehrung über das richtige Verhalten sowie mögliche Gefahren geschehen.
- Die Chemikaliensammlung muß möglichst vollständig sein, also alle für die Arbeit notwendigen Stoffe enthalten. Andererseits sind aber auch keine Chemikalien aufzunehmen, die über die Bedürfnisse des Chemieunterrichts und der außerunterrichtlichen Arbeit hinausgehen.
- Die Chemikalienflaschen sind nach dem Gebrauch sofort wieder an ihren Platz in der Chemikaliensammlung zurückzustellen.
- In der Chemikaliensammlung sind – wie im Fachunterrichtsraum – jeweils besonders bezeichnete Gefäße aus unbrennbarem Material für Abfälle und Glasbruch aufzustellen, die täglich nach dem Chemieunterricht entleert werden müssen. Zum Entleeren sind Schutzhandschuhe anzuziehen. Werden Hilfskräfte mit dem Entleeren beauftragt, so sind sie über mögliche Gefahren zu belehren.

*Chemikalienschränke* sollen grundsätzlich verschließbar sein. Sie sind so aufzustellen, daß eine direkte Sonneneinstrahlung und Hitzeeinwirkung (Heizung) sowie Frost- und Feuchtigkeitseinwirkung vermieden werden. Chemikalienschränke

sollten ständig be- und entlüftbar sein. Es kann notwendig sein, das durch Anbringen von Bohrungen zu gewährleisten. Als Chemikalienschränke eignen sich besonders flache Möbel, in denen die Flaschen in einer Reihe nebeneinanderstehen. Bei tieferen Schränken haben sich treppenförmige Einsätze bewährt (Abb. 347). Bei einer Schranktiefe von 30 cm sind Einsätze von 10 ... 12 cm Breite und 8 cm Höhe günstig, bei noch größerer Tiefe mehrere Stufen dieser Breite und Höhe. Dadurch können auch die in den hinteren Reihen stehenden Chemikalienflaschen gut übersehen werden. Die einzelnen Fächer der Schränke sollten mit Glasplatten ausgelegt sein. Für Flaschen, bei denen Flüssigkeitstropfen ablaufen können, sind Untersetzschalen (↗ S. 99) zu empfehlen.

*Gifte und feuergefährliche Substanzen* sind entsprechend den gesetzlichen Bestimmungen (↗ S. 370ff.) gesondert aufzubewahren. Für Gifte der Abteilungen 1 und 2 ist ein Giftschrank mit einem doppelt verschließbaren Fach, für feuergefährliche Stoffe ein Stahlschrank oder eine nicht aus dem Chemikalienschrank herausnehmbare Stahlkassette erforderlich. Für stark aggressive Substanzen sollte ein besonderes Fach, möglichst im unteren Teil der Schränke, vorgesehen werden, in dem unbedingt Glasplatten unterzulegen sind. Dieses Fach muß ständig überwacht und öfter als der übrige Schrankteil gereinigt werden.

Bei größeren Chemikaliensammlungen hat es sich bewährt, eine *Kartei* aller in der Sammlung vorhandenen Chemikalien anzufertigen. Für jeden Stoff wird eine Karteikarte angelegt. Darauf können bei der Lieferung Eingangsdatum, Masse oder Volumen vermerkt werden. Eine solche Kartei gestattet dem Lehrer, schnell zu überprüfen, ob ein benötigter Stoff vorhanden ist. Sie gibt ihm ferner Auskunft über das Alter der Chemikalien. Wird festgestellt, daß ein Stoff nicht mehr ausreichend ist, so läßt sich die Karteikarte herausnehmen und gesondert stellen. Nach den aussortierten Karten erfolgt dann die Chemikalienbestellung.

In großen Schulen ist außer der Chemikaliensammlung im Vorbereitungsraum noch ein fest verschließbarer *Chemikalienkeller* zu empfehlen. Für diesen Zweck ist ein trockener, kleiner Kellerraum geeignet, der mit säurefestem Fußboden und Bodenentwässerung ausgestattet sein sollte. In diesem Keller sind Vorräte von Säuren und Hydroxidlösungen über 5 kg zu lagern, die wegen der Gefahren beim Bruch der Gefäße nicht in den oberen Stockwerken der Schule aufbewahrt werden sollten. Außerdem sind in einem solchen Keller kühl zu lagernde Chemikalienvorräte (z. B. Lösungsmittel, Ampullen mit Substanzen) unter Beachtung der Sicherheitsbestimmungen aufzubewahren. Der Zustand der Chemikalien im Keller ist regelmäßig zu überprüfen.

### 3.3.2.3. Anordnung der Chemikalien

Die Chemikalien müssen in den Schränken so angeordnet werden, daß sie schnell und leicht aufzufinden sind. Das erfordert die Festlegung bestimmter Ordnungsprinzipien. Folgende Möglichkeiten haben sich bewährt, sie müssen aber nicht in genau gleicher Form übernommen werden. Wesentlich ist nur, daß ein bestimmtes Ordnungsprinzip zugrunde liegt, das auch anderen befugten Personen ein sicheres Finden der Stoffe ermöglicht.

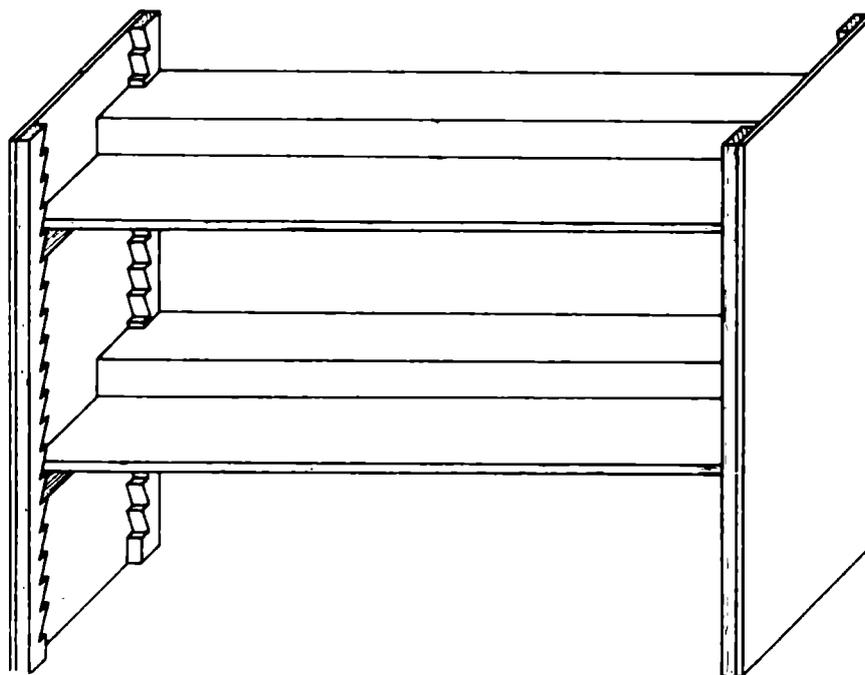


Abb. 347

Abb. 347 Einsätze für Chemikalienschränke

Zweckmäßig ist zunächst die Untergliederung in mehrere größere Abteilungen: anorganische Chemikalien, organische Chemikalien, technische Produkte und Naturstoffe, Indikatoren, Reagenzien, Katalysatoren.

Innerhalb dieser Abteilungen ist eine alphabetische Anordnung der einzelnen Stoffe ratsam. Die anorganischen und organischen Chemikalien sind allerdings noch differenzierter zu unterteilen, da eine rein alphabetisch geordnete Chemikaliensammlung leicht unübersichtlich wird. Es ist günstig, weitere Gruppen von Stoffen zusammenzufassen.

Für *anorganische Chemikalien* hat es sich bewährt, nach Elementen zusammenzufassen (z. B. alle Aluminium-, Bariumverbindungen). Innerhalb einer solchen Gruppe wird dann in folgender Reihenfolge geordnet:

Element, Oxide, Hydroxide oder Säuren, Salze, und zwar zunächst binäre Verbindungen, wie Halogenide, Sulfide, Carbide, danach Salze der Sauerstoffsäuren, wie Sulfate, Sulfite, Nitrate, Nitrite, Phosphate, Carbonate und andere Salze.

Salze organischer Säuren werden oft bei dem betreffenden Metall mit eingeordnet (z. B. Natriumacetat bei Natrium).

Zweifelsfälle gibt es bei Salzen, die sich von Säuren der Nebengruppenelemente ableiten. So kann Kaliumpermanganat den Kalium- oder den Manganverbindungen zugeordnet werden. In diesen Fällen empfiehlt es sich, vom Element des Zentralatoms des Anions auszugehen, weil dieses für die Verbindung wesentlich charakteristischer als das Kation, meist ein Alkalimetall-Ion, ist. Kaliumpermanganat würde also bei Manganverbindungen, Kaliumdichromat bei Chromiumverbindungen eingeordnet.

Die so nach Elementen zusammengefaßten Gruppen von Stoffen werden alphabetisch geordnet. Dabei können entweder die Anfangsbuchstaben der Namen

(z. B. Aluminium, Antimon, Barium, Blei, Bor, Chromium, Eisen) oder die Symbole (z. B. Al, B, Ba, C, Ca, Cd, Co, Cr) gewählt werden. Die erstgenannte Form hat sich meist durchgesetzt. Die Elemente können aber auch nach dem Periodensystem (z. B. Alkalimetalle, Erdalkalimetalle) angeordnet werden.

Bei *organischen Chemikalien* hat sich eine Zusammenfassung nach Verbindungen mit gleichartigen funktionellen Gruppen bewährt. Bei verschiedenen funktionellen Gruppen in den Molekülen einer Verbindung wird die charakteristischste Gruppe berücksichtigt.

Dabei ergeben sich folgende wichtige Gruppen:

Kohlenwasserstoffe, Halogenderivate der Kohlenwasserstoffe, Alkohole und Phenole, Aldehyde, Carbonsäuren, Säurederivate (Säurechloride, Säureamide, Ester sowie Halogensäuren, Aminosäuren, Hydroxysäuren), organische Schwefelverbindungen, organische Stickstoffverbindungen (Nitroverbindungen, Aminoverbindungen), Kohlenhydrate.

Innerhalb jeder Gruppe könnte bei Bedarf dann noch nach acyclischen und cyclischen Verbindungen unterteilt werden.

Der Platz für die einzelnen Gruppen der Chemikalien ist in den Sammlungschränken deutlich zu beschriften. Eine fortlaufende Numerierung aller Stoffe wird nicht für sehr zweckmäßig gehalten, da die Chemikaliensammlung gelegentlich durch neue Stoffe erweitert werden muß. Nicht eingeordnet werden die in besonderen Teilen des Schrankes unterzubringenden Stoffe, die aggressive Dämpfe abgeben, wie Chlorwasserstoffsäure oder Ammoniak, Gifte der Abteilungen 1 und 2 und feuergefährliche Stoffe.

#### 3.3.2.4. Chemikalienbereitstellung für Schülerexperimente

Für die Durchführung von Schülerexperimenten werden Chemikalien gleichzeitig an einer größeren Anzahl Schülerarbeitsplätzen benötigt. Sie sollten im allgemeinen dort am Beginn der Unterrichtsstunde bereitstehen.

Beim Arbeiten nach der Halbmikrotechnik stehen Halbmikro-Flaschengestelle (↗ S. 55) für die Schülerarbeitsplätze zur Verfügung, die mit einem Grundbestand wichtiger Chemikalien in den zugehörigen Halbmikro-Standflaschen (30 cm<sup>3</sup>) versehen werden. Darüber hinaus kann es notwendig sein, einzelne weitere Stoffe gesondert auszugeben, weil sie nur selten benötigt werden und deshalb nicht ständig im Gestell bereitgehalten werden müssen. Das Flaschengestell kann maximal 20 Halbmikro-Standflaschen aufnehmen.

In gewissen Fällen wird auch künftig noch die Makrotechnik anzuwenden sein, die dann eine spezielle Form der Chemikalienausgabe erfordern kann.

Für die Bereitstellung zusätzlicher Chemikalien bestehen zwei Möglichkeiten:

- Die Stoffe werden vor der Unterrichtsstunde aus Vorratsflaschen in Reagenzgläser oder kleine Becher abgefüllt und in der Pause ausgeteilt. Dieses Verfahren läßt sich in jedem Falle ohne großen finanziellen Aufwand verwirklichen und gestattet, dem Schüler nur die wirklich notwendigen Stoffe zu geben. Es hat aber Nachteile. Restsubstanzen müssen vernichtet werden, und für den Lehrer ergibt sich ein großer Zeitaufwand bei der Vorbereitungsarbeit.

- Die Stoffe werden in zusätzliche Halbmikro-Standflaschen abgefüllt. Diese befinden sich dann satzweise im Vorbereitungsraum und werden nach Bedarf ausgegeben. Dieses Verfahren erspart Vorbereitungszeit. Allerdings verursacht die Anschaffung der zusätzlichen Flaschen erhöhte Kosten.

Ratsam ist die Kombination beider Möglichkeiten, wobei häufiger benutzte Stoffe in zusätzlichen Flaschen aufbewahrt und der Rest in Reagenzgläsern ausgegeben wird.

Die *Chemikalienausstattung für Schülerexperimente* kann schrittweise erweitert werden. Zur Ausstattung der Halbmikro-Standflaschen für das Halbmikro-Flaschengestell werden zunächst folgende Chemikalien vorgeschlagen:

konzentrierte Chlorwasserstoffsäure, verdünnte Salpetersäure,  
konzentrierte Natriumhydroxidlösung, konzentrierte Ammoniaklösung, Calciumhydroxidlösung,  
Magnesium, Eisen, Schwefel,  
Mangan(IV)-oxid,  
Ammoniumchlorid, Natriumchlorid,  
Calciumcarbonat, Natriumcarbonat, Kaliumpermanganat,  
Lackmuslösung, Silbernitratlösung, Bariumchloridlösung,  
Ethanol, Methanallösung (35% ig), Ethansäure.

Zur Ergänzung werden vorgeschlagen:

verdünnte Chlorwasserstoffsäure, verdünnte Schwefelsäure, konzentrierte Schwefelsäure,

Benzen,	Kaliumbromid,	Natriumsulfat,
Blei(II)-nitrat,	Kaliumdichromat,	Natriumformiat,
Bromwasser,	Kaliumiodid,	Paraffinöl,
Eisen(II)-sulfat,	Calciumcarbid,	Polyvinylchloridstücke,
Eisen(II)-sulfid,	Calciumoxid,	Rohrzucker,
Fehlingsche Lösung I und II,	Kohlepulver (Aktivkohle),	Seesand,
fuchsinschweflige Säure,	Kupfer,	Tetrachlormethan,
Glucose,	Kupfer(II)-oxid,	Wasserstoffperoxid-
Iodlösung,	Kupfer(II)-sulfat,	lösung (7% ig),
Iodstärkelösung,	Magnesiumoxid,	Zink

Eine übersichtliche Anordnung des Chemikaliensatzes ist durch Flaschengestelle möglich, die entsprechend der Tischnummer zu kennzeichnen sind. Die Gestelle für einen Tisch Nr. 1 zum Beispiel werden jeweils mit folgenden Kennzeichen versehen: I A für anorganische Lösungen, I B für anorganische feste Stoffe und I C für organische Stoffe. Die Anordnung der Flaschen in den Gestellen ist an allen Arbeitstischen gleichartig und durch Numerierung festgelegt. Flasche und Standplatz im Flaschengestell haben die gleiche Nummer. Die Flaschensätze in den Flaschengestellen werden immer von den Schülern eines Tisches gemeinsam benutzt. Eine solche Einrichtung der Schülerarbeitsplätze ist recht zeitaufwendig; sie ermöglicht jedoch eine schnelle Kontrolle des Chemikaliensatzes.

Soll das ständige Auf- und Abräumen der Flaschengestelle in die Schrankteile der Schülerarbeitsstische vermieden werden, dann sind die Flaschengestelle bei entsprechender Platzgestaltung auf die Mittelfläche des Energieblocks zu stellen. Durch diese Anordnung tritt keine zusätzliche Sichtbehinderung auf, die Gestelle sind jederzeit griffbereit.

Bei Einrichtung des Fachunterrichtsraums mit den einzeln stehenden Schülerexperimentiertischen wird die Anordnung der Chemikalien wie bei der Ausstattungsvariante I vorgenommen (↗ S. 107); die Flaschengestelle werden allerdings in den Schränken der Schrankwand abgestellt. Neben dieser zeitweisen Aufbewahrung der Chemikalienflaschen kann auch eine nach Stoffen geordnete Aufbewahrung erfolgen; etwa 10 Flaschen mit dem gleichen Stoff werden dabei in einem Flaschenständer in der Schrankwand aufbewahrt und bei Bedarf an je zwei Schüler eine Flasche ausgegeben.

Im Fachunterrichtsraum sollte für Schülerexperimente dem Lehrer ein gesonderter Satz Geräte und Apparate nebst Chemikalien zur Verfügung stehen, damit der Lehrer im Anfangsunterricht und in besonders schwierigen Fällen die experimentelle Tätigkeit der Schüler durch Vorführen des Experiments anleiten kann. Außerdem ist es dadurch gut möglich, das experimentelle Können eines Schülers vor der Klasse zu überprüfen, während die gleichen Experimente von den anderen Schülern an ihren Arbeitsplätzen ausgeführt werden. Für die Aufbewahrung der Chemikalien und der Geräte und Apparate in anders eingerichteten Räumen sind entsprechende Behelfsmöglichkeiten zu suchen.

### 3.3.2.5. Arbeitsplatzchemikalien

So wie es günstig ist, daß der Lehrer einen gewissen Bestand an wichtigen Geräten griffbereit im Fachunterrichtsraum unterbringt (↗ S. 112), so hat es sich auch bewährt, *Handchemikalien im Fachunterrichtsraum*, am besten in einem verschließbaren Fach des Experimentiertisches oder einem kleinen Wandschrank mit verschließbaren Schiebetüren an der Stirnwand des Raums neben der Tafel, aufzubewahren. Als Grundausstattung solcher Handchemikalien, vorwiegend in 250-cm<sup>3</sup>-Flaschen, werden empfohlen:

verdünnte und konzentrierte Chlorwasserstoff-, Schwefel- und Salpetersäure (↗ S. 221, Tab. 87)

verdünnte und konzentrierte Natriumhydroxid-, Kaliumhydroxid- und Ammoniaklösung,

Ethanol, Methanol, Benzen,

Wasserstoffperoxidlösung und einige Oxide und Salze.

Außerdem müßten dort Pipettenflaschen mit einigen häufig benötigten Indikator- und Reagenzlösungen vorhanden sein. Je nach den Stoffgebieten, die in einzelnen Schuljahresabschnitten zu behandeln sind, kann auch die Ausstattung mit einigen speziellen Chemikalien erfolgen. Das Vorhandensein solcher Handchemikalien darf jedoch den Lehrer keinesfalls dazu verführen, Experimente nicht mehr gründlich zu erproben, die notwendigen Stoffe bei der Vorbereitung sorgfältig zu überprüfen und die nicht im Fachunterrichtsraum vorhandenen Chemikalien bereitzustellen.

---

## Literaturverzeichnis

---

- [1] *Ackermann, G.*: Einführung in die qualitative anorganische Halbmikroanalyse. VEB Verlag Technik, Berlin 1959.
- [2] *Ackermann, G.*, und *H. P. Frey*: Die Praxis der Papier-, Dünnschicht- und Säulenchromatographie. *Chemie in der Schule* 17 (1970) H. 6, S. 255f.
- [3] *Alibekow, F. H.*: Einfache Geräte für die Synthese von Chlorwasserstoff, Ammoniak und Schwefeltrioxid. *Chemie in der Schule* 1958 (russ.) H. 1.
- [4] *Andert, K.*: Elektrolyseapparat mit Diaphragma. *Chemie in der Schule* 9 (1962) H. 2, S. 86.
- [5] *Arendt-Dörmer*: Technik der Experimentalchemie. Quelle & Meyer, Heidelberg 1972.
- [6] *Bardl, K.*, und *E. Müller*: Projektion von Experimenten. *Chemie in der Schule* 17 (1970) H. 1, S. 48.
- [7] *Birke, H.*: Ein behelfsmäßiges Wasserstrahlgebläse. *Chemie in der Schule* 5 (1958) H. 2/3, S. 142.
- [8] *Boeck, H.*: Chemische Schulexperimente. Praktikum. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg – Pädagogische Hochschule „Dr. Theodor-Neubauer“ Erfurt/Mühlhausen. Halle, Erfurt, Mühlhausen 1970.
- [9] *Boeck, H.*: Selbstbau und Einsatz von elektrischen Heizrohren. *Chemie in der Schule* 11 (1964) H. 6, S. 281.
- [10] *Boeck, H.*: Über einen neuen Indikator für den Unterricht. *Chemie in der Schule* 17 (1970) H. 1, S. 44.
- [11] *Böse, R.*, und *M. Schmidt*: Das Kolbenprobergerät. Otto Salle Verlag, Frankfurt/M., 1960.
- [12] *Bukatsch* und *Glöckner*: Experimentelle Schulchemie. Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln.
- [13] *Claus, G.*: Das Kontaktverfahren als Versuch für Schülerübungen. *Chemie in der Schule* 4 (1957) H. 10, S. 467.
- [14] Arzneibuch der DDR beziehungsweise Deutsches Arzneibuch, 7. Auflage.
- [15] *Diewitz, E.*: Ein kleiner Glühofen. *Chemie in der Schule* 4 (1957) H. 10, S. 476.
- [16] *Dittmann, E.*, und *G. Meyendorf*: Ammoniaksynthese im Schulversuch. *Chemie in der Schule* 15 (1968) H. 1, S. 40.
- [17] Einfache chemische Schülerversuche. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1961.

- [18] Fachunterricht–Unterrichtsmittel–Fachunterrichtsräume. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1974.
- [19] Fedossejew, P. N.: Vereinfachte Elektroden für die Demonstration der elektrischen Leitfähigkeit von Lösungen. Chemie in der Schule (russ.) 1954 H. 3 und Mathematik, Physik und Chemie in der Schule 2 (1953) H. 9, S. 473.
- [20] Feldmann, J.: Elektrolyseapparat mit Niveaugefäß. Chemie in der Schule 7 (1960) H. 7, S. 382.
- [21] Fischer, K., und G. Lehmann: Ein Gasentwickler. Chemie in der Schule 11 (1964) H. 6, S. 304.
- [22] Flörke, W., und F. Flohr: Methode und Praxis des chemischen Unterrichts. Verlag Quelle & Meyer, Heidelberg 1969.
- [23] Hauschild, G.: Arbeitssätze und Fachraum rationell gestaltet. Chemie in der Schule 21 (1974) H. 8/9, S. 390.
- [24] Herrmann, F.: Die Behandlung der Stoffeinheit „Stickstoff“ im 8. Schuljahr. Chemie in der Schule 2 (1955) H. 6, S. 263.
- [25] Heyer, Ch., und W. Rannow: Quantitative Schülerexperimente mit einfachen Mitteln. Chemie in der Schule 12 (1965) H. 12, S. 498.
- [26] Hinz, H.: Demonstrationsversuche mit Polylux besser sichtbar. Chemie in der Schule 17 (1970) H. 10, S. 466.
- [27] Hofmann, F.: Praktische Gasentwickler. Chemie in der Schule 5 (1958) H. 12, S. 570.
- [28] Hradetzky, A., und H. Just: Die Darstellung des Äthens im Schulversuch. Chemie in der Schule 1 (1954) H. 1, S. 28.
- [29] Janke, B.: Zur Behandlung der Stoffeinheit „Bau der Stoffe(II)–Stöchiometrie“. Chemie in der Schule 9 (1962) H. 2, S. 72.
- [30] Jenette, A.: Organische Chemie in Übungen. Ehrenwirth-Verlag, München o. J.
- [31] Jennicke, E. H.: Ein einfacher Gleichrichter für Elektrolysen. Chemie in der Schule 4 (1957) H. 18, S. 570.
- [32] Jöricke, W.: Ein Unterrichtsversuch zur Kohlenwasserstoffsynthese nach Fischer-Tropsch. Chemie in der Schule 5 (1958) H. 2/3, S. 104.
- [33] Jöricke, W.: Über die Verwendung von Heizbädern für Schulversuche. Chemie in der Schule 4 (1957) H. 8, S. 369.
- [34] Kalck, R., und G. Meyendorf: Untersuchungen zu Schulversuchen mit Katalysatoren. Chemie in der Schule 12 (1965) H. 10, S. 412.
- [35] Keilert, H.: Die neue Nomenklatur anorganischer Verbindungen. Chemie in der Schule 7 (1960) H. 4, S. 204.
- [36] Keune, H.: Grundriß der allgemeinen Methodik des Chemieunterrichts. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1963.
- [37] Klein, A.: Veranschaulichen quantitativer Demonstrationsexperimente. Chemie in der Schule 11 (1964) H. 5, S. 233.
- [38] Klingler, H.: Papierchromatographie und Elektrophorese. Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln 1963.
- [39] Kinttof, W.: Die Chemie in Versuchen. Phywe-Verlag, Göttingen 1958.
- [40] Kühnel, R.: Unterrichtsversuch mit einem selbstgebauten elektrischen „Röhrenofen“. Chemie in der Schule 2 (1955) H. 4, S. 187.

- 
- [41] Lange, P.: Elektrodenmaterial für Elektrolysen wäßriger Lösungen. Chemie in der Schule 14 (1967) H. 3, S. 124.
- [42] Lange, P.: Zur katalytischen Oxydation von Ammoniak im Demonstrationsexperiment. Chemie in der Schule 8 (1961) H. 2, S. 96.
- [43] Lange, P.: Zur katalytischen Oxydation von Methanol zu Methanal im Schulversuch. Chemie in der Schule 6 (1959) H. 10, S. 489.
- [44] Langenbeck, W., und H. W. Wache: Einsatz neuartiger Katalysatoren im Unterrichtsversuch. Chemie in der Schule 7 (1959) H. 11/12, S. 507.
- [45] Langhammer, G.: Versuche zur physikalischen Chemie. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1956.
- [46] Langhammer, G., und W. Zöllner: Versuche mit dem Kolbenprober. Chemie in der Schule 3 (1956) H. 4, S. 145.
- [47] Legall, W.-D., und G. Mayer: Selbstbau von Küvetten zur Vertikalprojektion chemischer Experimente. Chemie in der Schule 27 (1980) H. 12, S. 527.
- [48] Levin, M.: Katalytische Schulversuche zur organischen Chemie. Staatsexamensarbeit, Greifswald 1963.
- [49] Liebetrau, H.: Ein neuartiger Gasentwicklungsapparat. Chemie in der Schule 9 (1962) H. 5, S. 250.
- [50] Lux, H.: Anorganisch-chemische Experimentierkunst. Verlag Johann Ambrosius Barth, Leipzig 1970.
- [51] Methodik – Chemieunterricht. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1975.
- [52] Methodische Beiträge zum Unterricht im Fach Chemie. Das Experiment im Chemieunterricht. Heft 16. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1968.
- [53] Methodische Beiträge zum Unterricht im Fach Chemie. Quantitative Demonstrationsexperimente. Heft 17. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1969.
- [54] Meusel, H.: Ein selbstgebautes Thermoskop. Chemie in der Schule 3 (1956) H. 2, S. 85.
- [55] Meyendorf, G.: Katalytische Dehydratisierung von Äthanol. Chemie in der Schule 9 (1962) H. 5, S. 252.
- [56] Meyendorf, G.: Laborgeräte und Chemikalien. 3. Auflage. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1970 und Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln.
- [57] Meyendorf, G.: Praxis chemischer Schülerversuche. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1960.
- [58] Meyendorf, G.: Zur Standardisierung von Laborgeräten. Chemie in der Schule 10 (1963) H. 8/9, S. 400.
- [59] Mücke, R.: Gleichstrom niedriger Spannung für Schülerarbeitsplätze. Chemie in der Schule 11 (1964) H. 6, S. 287.
- [60] Mücke, R.: Zur Stromversorgung von Chemieräumen. Chemie in der Schule 12 (1965) H. 2, S. 84.
- [61] Nädelin, R.: Die audiovisuellen Mittler im Physik- und Chemieunterricht. Manz Verlag, München 1968.
- [62] Neuhäuser, A.: Einsatz des Polylux. Chemie in der Schule 18 (1971) H. 2, S. 89.

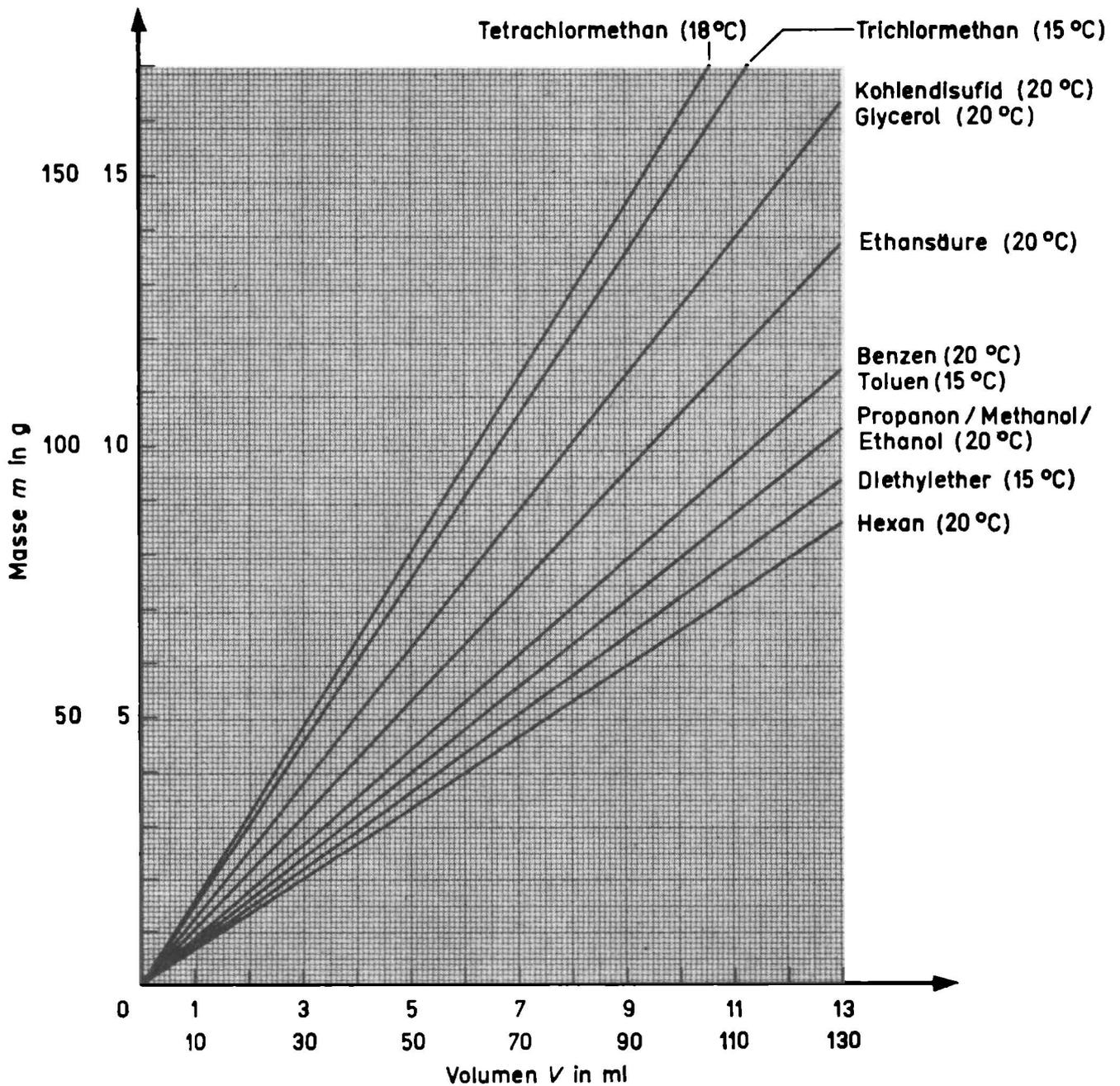
- [63] *Nikolski, B. P.*: Handbuch des Chemikers. VEB Verlag Technik, Berlin 1959.
- [64] *Opitz, G.*: Katalytische Oxydation von Ammoniak. Chemie in der Schule 3 (1956) H. 5, S. 231.
- [65] *Pataki, L.*: Chemische Experimente in Mikroküvetten (Serie) A kénia tanítása (Der Chemieunterricht) ung. Jahrg. 1978–1980.
- [66] *Rannow, W.*: Projektion von Experimenten mit Hilfe des Polylux. Chemie in der Schule 18 (1971) H. 3, S. 138.
- [67] *Reinhardt, R.*: Einrichtung und Ausstattung des Fachunterrichtsraumes und des Vorbereitungsraumes Chemie. Chemie in der Schule 19 (1972) H. 8/9, S. 382.
- [68] *Reinmuth, A.*: Eine neue, billige Waage für Schülerexperimente. Chemie in der Schule 10 (1963) H. 11, S. 533.
- [69] *Reinboldt, H.*: Chemische Unterrichtsversuche. Verlag Theodor Steinkopff, Dresden 1953.
- [70] Richtsätze für die Nomenklatur anorganischer Chemikalien. Akademie-Verlag, Berlin 1963.
- [71] *Rochor, H.*: Aluminothermisches Schweißen. Chemie in der Schule 20 (1973) H. 2, S. 77.
- [72] *Rochor, H.*: Ammoniakoxydation. Chemie in der Schule 19 (1972) H. 10, S. 443.
- [73] *Rosenberg, K.*: Experimentierbuch für den Unterricht in der Naturlehre. Wien, Leipzig 1924.
- [74] *Rossa, E.*: Die experimentelle Ermittlung der Formel organischer Verbindungen im Unterricht. Chemie in der Schule 4 (1957) H. 12, S. 549.
- [75] *Sattelberg, K.*, und *G. Meyendorf*: Katalysatoren zur Konvertierung von Wassergas. Chemie in der Schule 15 (1968) H. 10, S. 446.
- [76] *Sawal, H. B.*: Erhöhung der Anschaulichkeit durch Küvettenprojektion. Chemie in der Schule 17 (1970) H. 5, S. 220.
- [77] *Sawal, H. B.*: Polylux und Demonstration von Experimenten. Chemie in der Schule 19 (1972) H. 3, S. 119.
- [78] *Struck, R.*: Chemische Demonstrationsexperimente in der Projektion. Schroedel Verlag, Hannover 1973.
- [79] *Stude, G.*: Ein weiteres einfaches Gasentwicklungsgerät. Chemie in der Schule 8 (1961) H. 5, S. 273.
- [80] *Telle, W.*: Chemische Laboratoriumsgeräte. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1969.
- [81] *Wache, S.*: Gasentwickler für Schülerexperimente. Chemie in der Schule 22 (1975) H. 4, S. 179.
- [82] *Wegner, G.*, und *O. Kownatzki*: Kolbenproberversuche zur anorganischen Chemie. Chemie in der Schule 13 (1966) H. 2, S. 80.
- [83] *Wernicke, D.*: Vorschläge zu Unterrichtsversuchen. Chemie in der Schule 10 (1963) H. 3, S. 140.
- [84] *Wirsing, G.*: Ein einfacher Extraktionsapparat für Schülerübungen. Chemie in der Schule 3 (1956) H. 6, S. 281.
- [85] *Wirsing, G.*: Experimente zur Hydrierung ungesättigter Kohlenwasserstoffe. Chemie in der Schule 10 (1964) H. 5, S. 24.

- 
- [86] Ziemann, J.: Die sozialistischen Prinzipien des Gesundheits- und Arbeitsschutzes – eine Arbeitsgrundlage für den Chemielehrer. *Chemie in der Schule* 14 (1967) H. 11, S. 502.
- [87] Ziemann, J.: Erste Hilfe bei Unfällen im Chemieunterricht. *Chemie in der Schule* 15 (1968) H. 11, S. 489.
- [88] Ziemann, J.: Fürsorge- und Aufsichtspflicht des Chemielehrers. *Chemie in der Schule* 14 (1967) H. 12, S. 549.
- [89] Ziemann, J.: Zur baulichen und experimentell-technischen Ausstattung der Chemieräume nach der neuen Arbeits- und Brandschutzrichtlinie. *Chemie in der Schule* 15 (1968) H. 5, S. 216.
- [90] Zur Schreibweise chemischer Fachausdrücke. *Chemie in der Schule* 10 (1963) H. 5, S. 229.

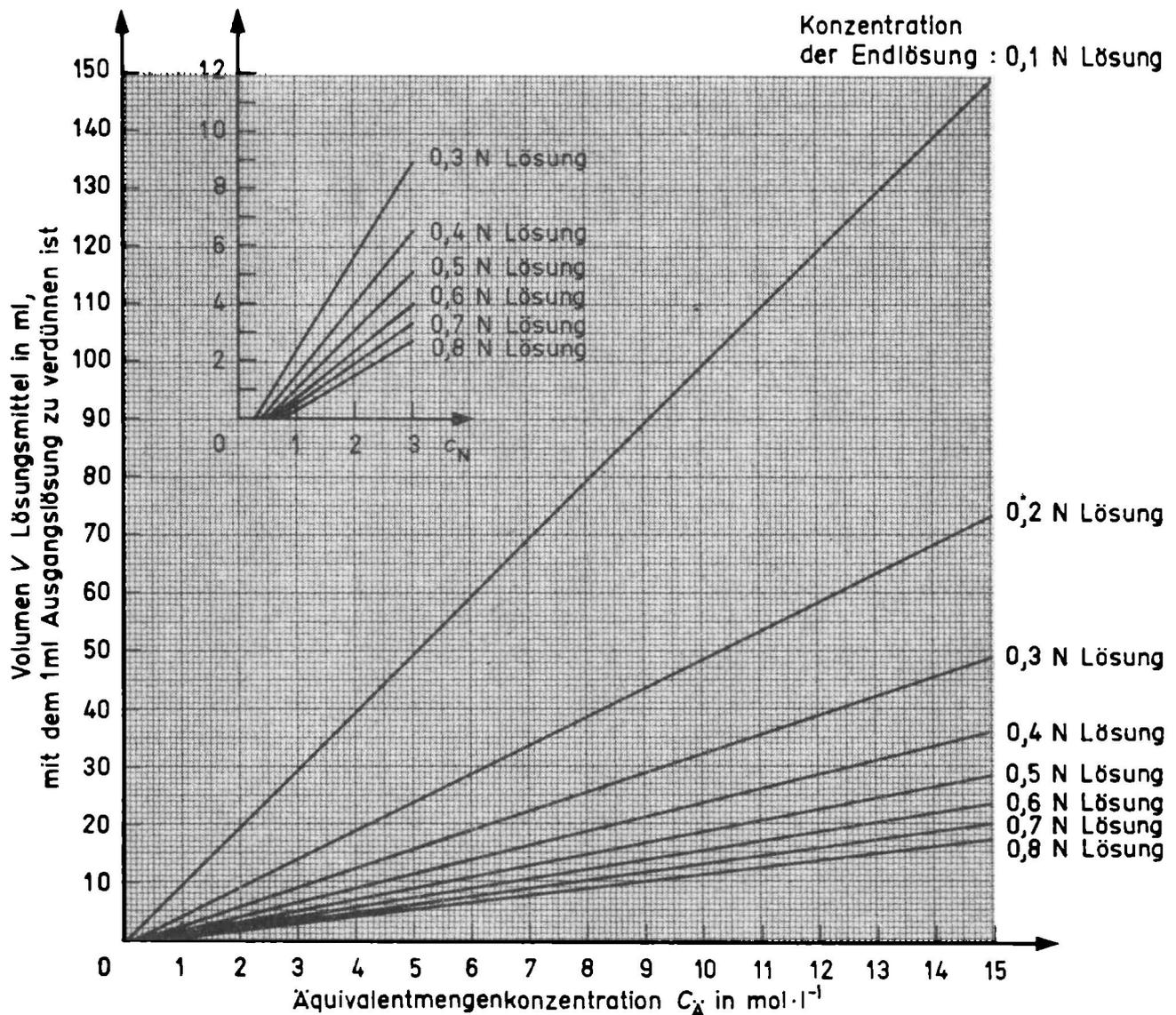


# Anhang

## Nomogramme und Tabellen



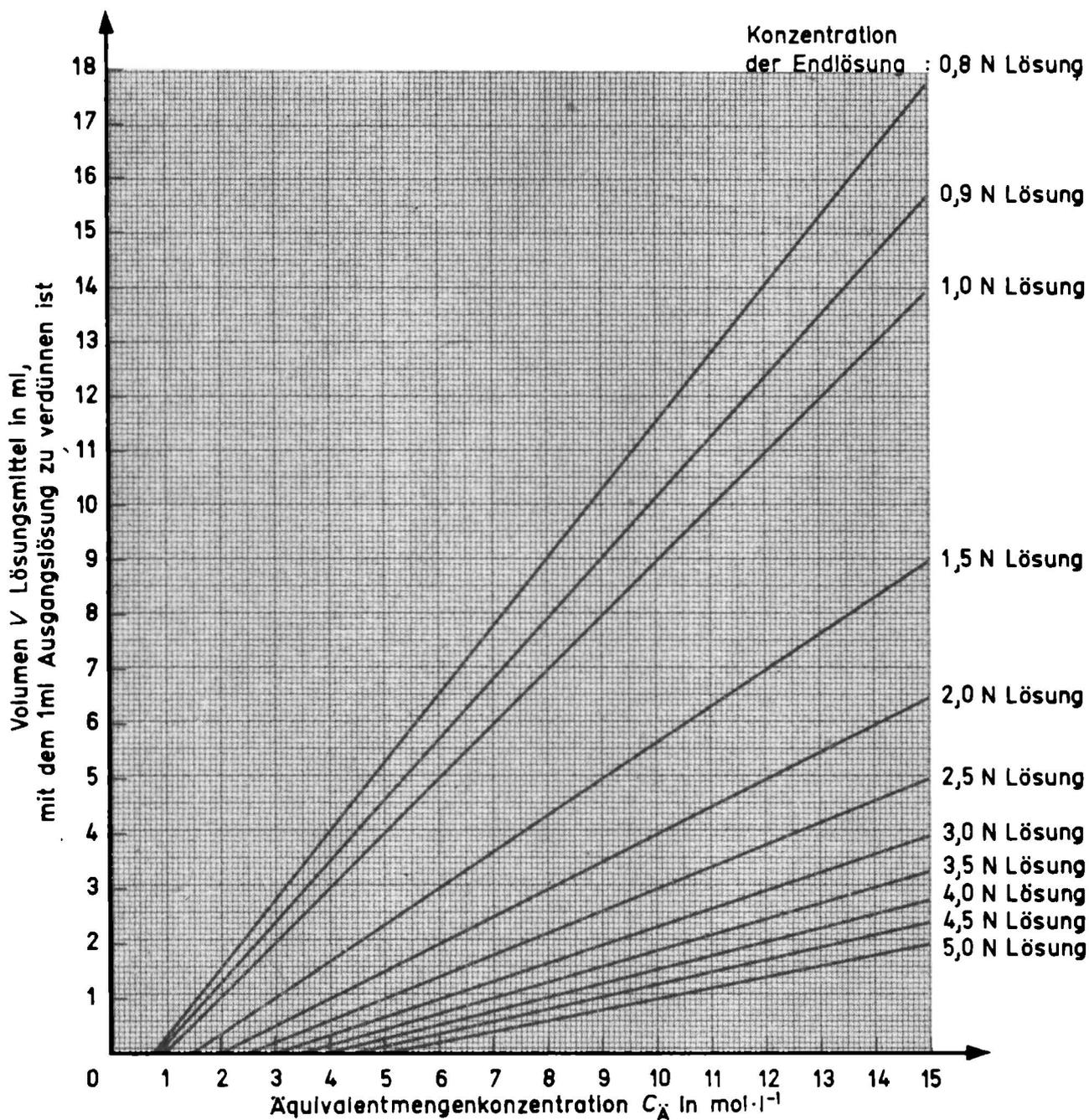
Nomogramm 1: Zusammenhang zwischen Masse und Volumen bei organischen Flüssigkeiten



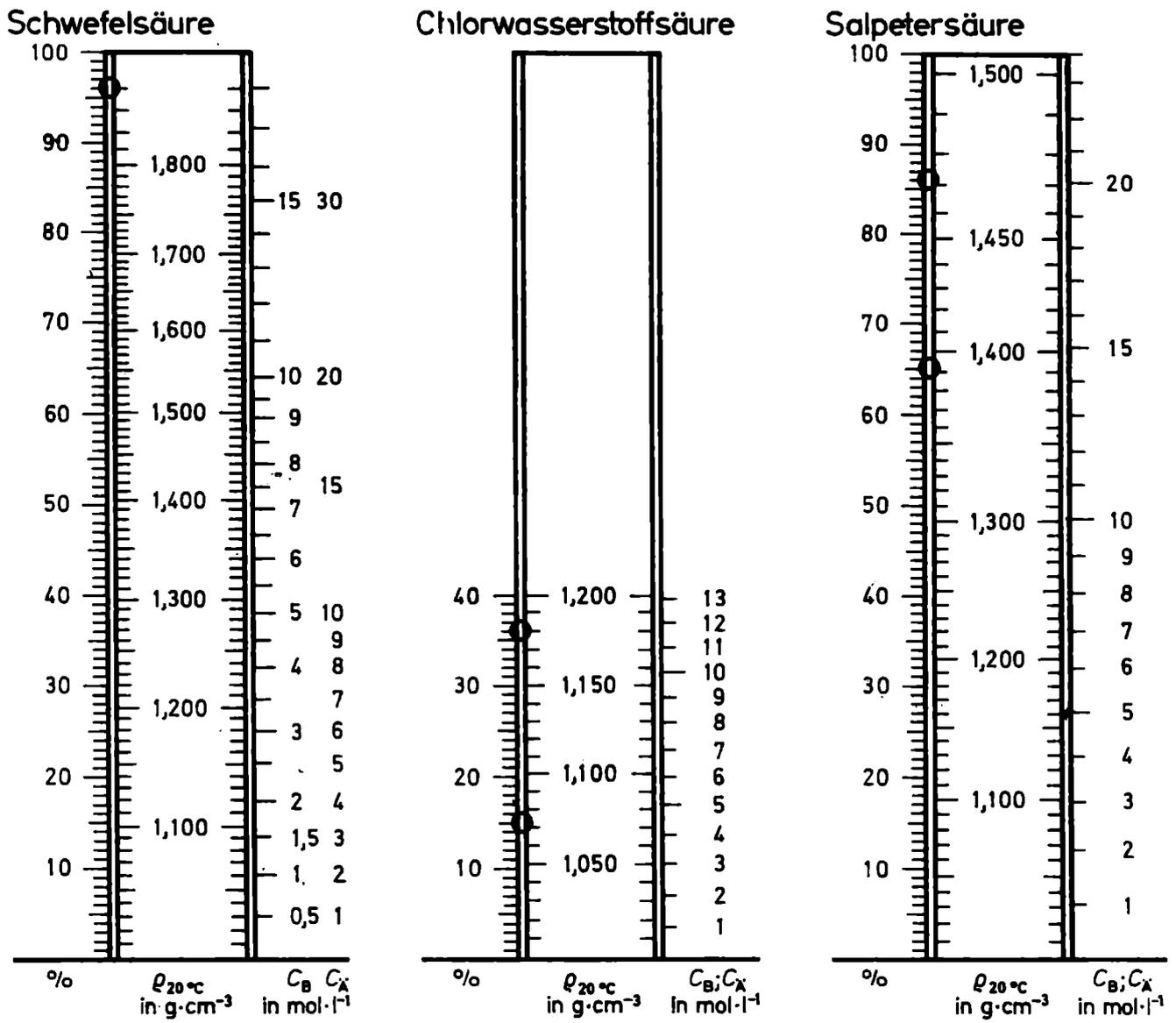
Nomogramm 2a: Verdünnung von Normalösungen, Endlösung 0,1 ... 0,8 normal

Die Normalität der gegebenen Lösung wird auf der Abszisse aufgesucht. Vom Schnittpunkt der darauf errichteten Senkrechten mit der Geraden für die gewünschte Endlösung ist waagrecht nach links auf die Ordinate zu gehen. Dort kann man ablesen, wieviel Milliliter Wasser mit einem Milliliter der Ausgangslösung zu mischen sind.

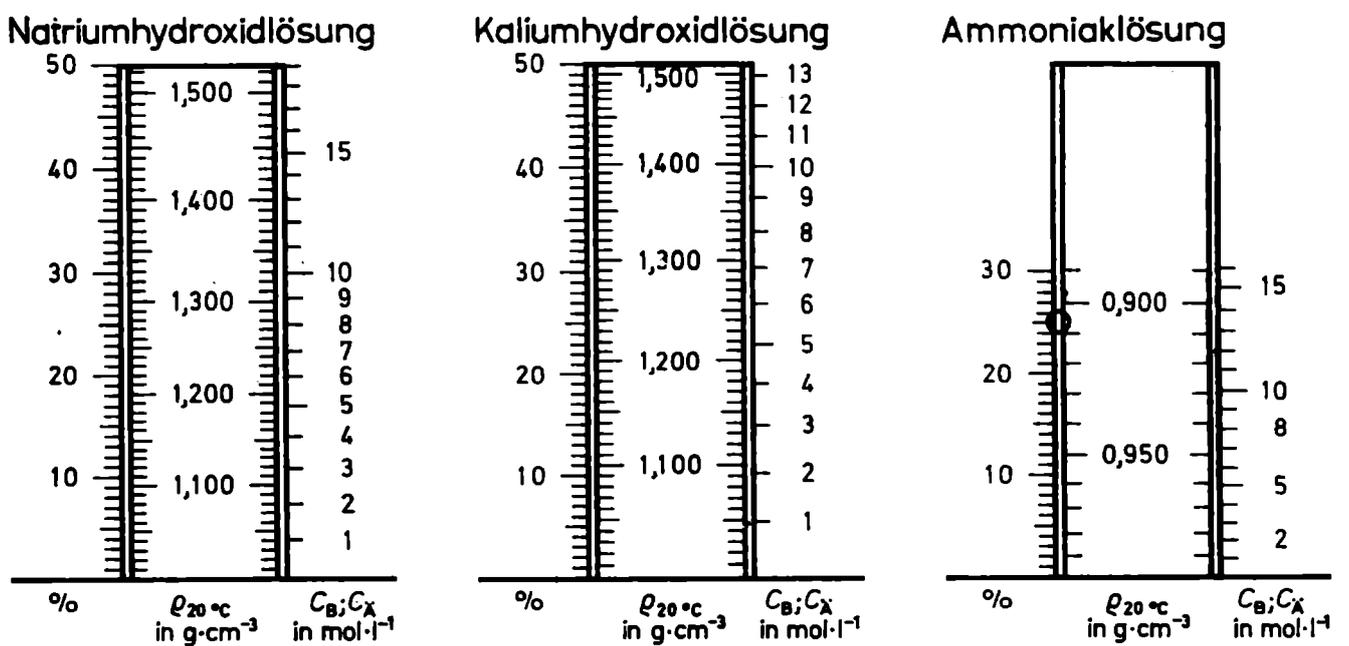
Beispiel: Aus 5 N Lösung soll eine 0,2 N Lösung hergestellt werden! Man geht im Nomogramm 2a vom Abszissenpunkt der Normalität 5 senkrecht nach oben bis zum Schnittpunkt mit der Geraden für 0,2 N Lösungen. Von dort nach links findet man den Wert 24. Ein Milliliter der 5 N Lösung ist mit 24 ml Wasser zu mischen, um eine 0,2 N Lösung zu erhalten.



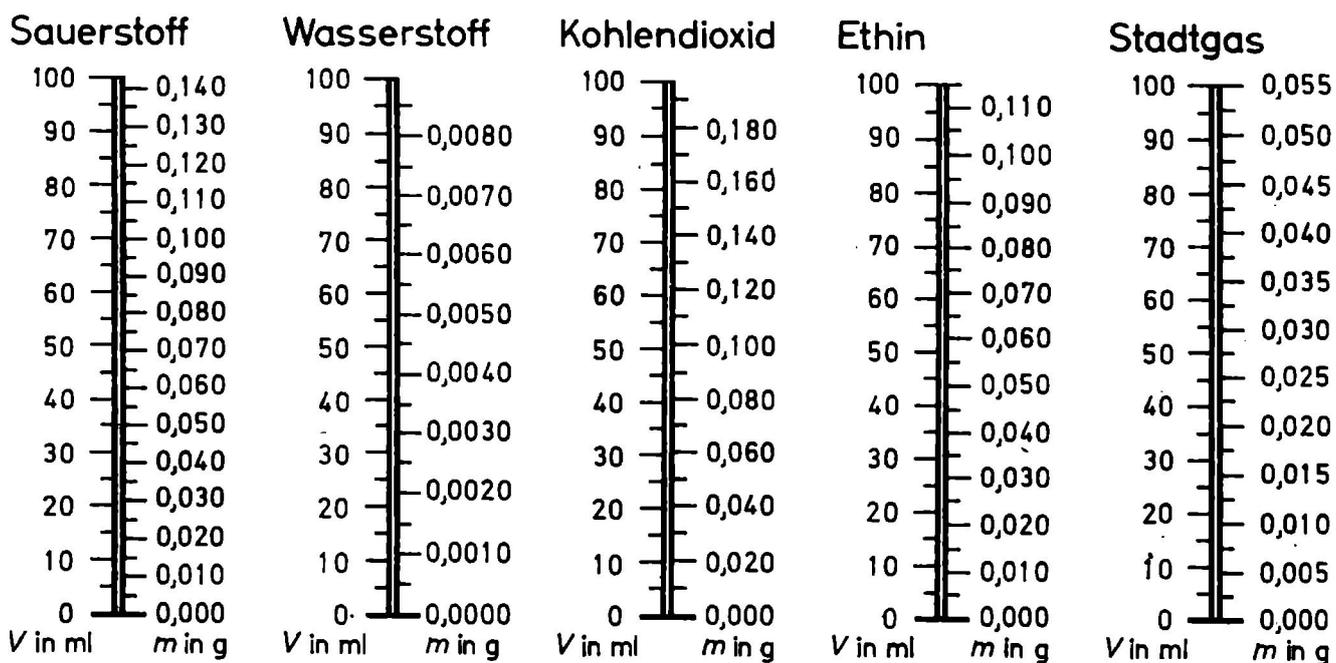
Nomogramm 2b: Verdünnung von Normallösungen, Endlösung 0,8 ... 5,0 normal



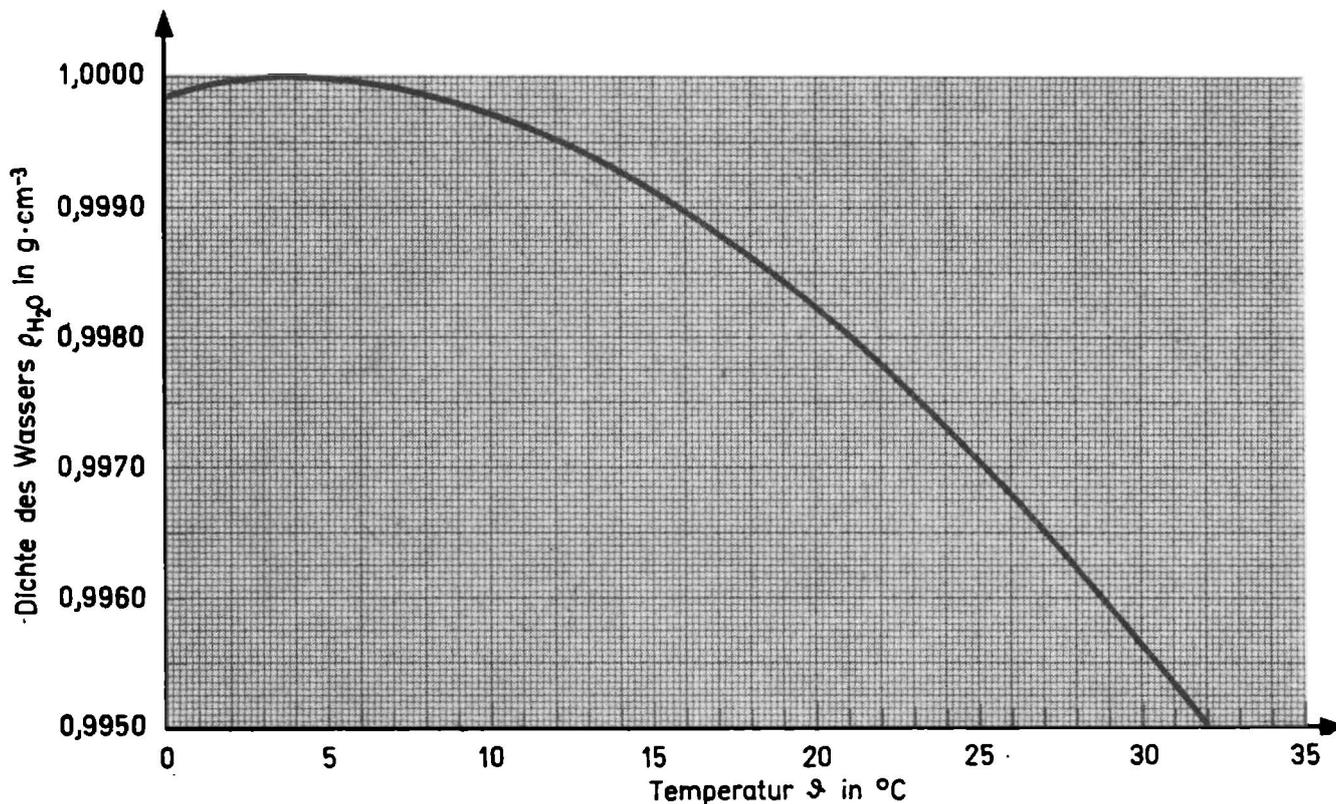
Nomogramm 3: Zusammenhang zwischen verschiedenen Konzentrationen von Säuren



Nomogramm 4: Zusammenhang zwischen verschiedenen Konzentrationen von Hydroxidlösungen



Nomogramm 5: Zusammenhang zwischen Masse und Volumen bei gasförmigen Stoffen



Darstellung 6: Dichte des Wassers bei verschiedenen Temperaturen

zu Nomogramm 3/4:

Die gegebene Konzentration wird aufgesucht. In der Waagerechten können die zugehörigen beiden anderen Konzentrationen abgelesen werden.

○ käufliche Lösungen

**Dampfdruck einiger Flüssigkeiten bei 20 °C**

Name	Formel	Dampfdruck in Pascal
Benzen	$C_6H_6$	10000
Chloroform (Trichlormethan)	$CHCl_3$	21 332
Ethanol	$C_2H_5OH$	5866
Diethylether	$(C_2H_5)_2O$	58399
Kohlendisulfid	$CS_2$	39332
Methanol	$CH_3OH$	12800
Propanon (Aceton)	$(CH_3)_2CO$	24000
Tetrachlorkohlenstoff (Tetrachlormethan)	$CCl_4$	12133
Toluen	$C_6H_5CH_3$	2933
Wasser	$H_2O$	2333
Xylen	$C_6H_4(CH_3)_2$	1333

**Löslichkeit einiger Gase in Wasser**

Gas	Formel	Volumen gelösten Gases in der Volumeneinheit Wasser im Norm- zustand und bei	
		0 °C	20 °C
Wasserstoff	$H_2$	0,0215	0,0182
Sauerstoff	$O_2$	0,0489	0,0310
Stickstoff	$N_2$	0,0235	0,0154
Chlor	$Cl_2$	4,61	2,30
Brom	$Br_2$	60,5	21,3
Ammoniak	$NH_3$	1176	702
Chlorwasserstoff	$HCl$	517	442
Schwefelwasserstoff	$H_2S$	4,670	2,582
Schwefeldioxid	$SO_2$	79,79	39,37
Kohlendioxid	$CO_2$	1,713	0,878
Methan	$CH_4$	0,0556	0,0331
Ethan	$C_2H_6$	0,0987	0,0472
Ethen	$C_2H_4$	0,226	0,122
Ethin	$C_2H_2$	1,73	1,03

## Erste Hilfe bei Unfällen

Jeder Unfall erfordert sofortige Erste Hilfe. Jeder Helfende muß jedoch wissen, daß er nur Erste Hilfe leisten und niemals den Arzt ersetzen kann. Deshalb ist auch bei scheinbar geringfügigen Verletzungen ärztliche Behandlung zu veranlassen! Leichtverletzte zum Arzt transportieren, bei Schwerverletzten Schnelle medizinische Hilfe erforderlich (Notruf 115)!

Folgende Übersicht über Maßnahmen der Ersten Hilfe dient nur der schnellen Information. Es wird vorausgesetzt, daß sich jeder Chemielehrer umfassendes Wissen und Können auf dem Gebiet der Ersten Hilfe aneignet.

Art der Schädigung (Kennzeichen)	Maßnahmen der Ersten Hilfe
<p><b>Wunden,</b> verursacht durch scharfe Gewalt- einwirkung (Hieb-, Stich- oder Schnittwunden) durch stumpfe Gewalteinwirkung (Schürf-, Quetsch- oder Platzwun- den)</p>	<p>Jede Wunde ist als infiziert zu betrachten! Wundumgebung bei stark verschmutzten Wunden vorsichtig mit sauberem Wasser rei- nigen! <i>Wunde dabei nicht berühren!</i> Je nach Ausdehnung Wunde mit sterilem Verband- material (Heftpflasterschnellverband, Anker- plastspray, Verbandpäckchen oder Verband- mull) verbinden. Bei großen und tiefen Wunden betroffene Gliedmaßen (gegebenfalls mit Schiene) ruhig stellen. <i>Keine Salben oder Puder auftragen!</i> <i>Fremdkörper nicht entfernen!</i> <i>Watte oder Zellstoff nicht verwenden!</i> Ärztliche Behandlung erforderlich!</p>
<p><b>Äußere Blutungen</b> Blutsickert langsam aus der Wunde:  Blut fließt gleichmäßig aus der Wunde:  Blut spritzt im Rhythmus des Herz- schlages:</p>	<p>↗ Wunden  Verletzte Gliedmaßen hochlagern, Anlegen eines sterilen Druckverbandes, zweckmäßige Lagerung des Verletzten. Auf Schocksymptome achten! Pulskontrolle! Ärztliche Versorgung oder Schnelle medizini- sche Hilfe erforderlich!  Abdrücken (Kompression) der zuführenden Arterie an geeigneter Abdruckstelle (Kom- pressionspunkt) oder direkter Druck auf die Wunde selbst. Steriler Druckverband, notfalls 2. Druckverband oder im äußersten Notfall Anlegen einer Blutsperre (bei Blutsperre die- se nach 2 h vorsichtig öffnen und danach wie- der schließen!). Auf Schocksymptome achten! Verletzten ruhig lagern! Schnelle medizinische Hilfe anfordern!</p>

Art der Schädigung (Kennzeichen)	Maßnahmen der Ersten Hilfe
<p><b>Verbrennungen und Verbrühungen</b></p> <p>1. Grades (Rötung und Schwellung der Haut, Schmerzen, örtliche Hitze)</p> <p>2. Grades (Blasenbildung)</p> <p>3. Grades (Gewebezerstörung, gelbbräunliche Schorfbildung)</p> <p>4. Grades (Verkohlung)</p>	<p>Sofort mit sauberem Wasser bis zur Schmerzfreiheit kühlen!</p> <p><i>Angelebte Kleidungsstücke nicht abreißen!</i></p> <p><i>Brandblasen nicht öffnen!</i></p> <p><i>Keine Öle, Brandsalben oder Wundpuder anwenden!</i></p> <p>Betroffene Körperteile mit keimfreiem Brandwundenverbandstuch locker abdecken!</p> <p><i>Keine straffen Verbände oder Brandbinden anlegen!</i></p> <p>Zur weiteren Schmerz- und Schockbekämpfung</p> <p>Ruhigstellung größerer Brandwunden und anderer Verletzungen,</p> <p>Vermeidung psychischer Belastung, ausreichende Sauerstoffzufuhr, Flachlagerung, besonders bei schlecht tastbarem Puls, Hochlagerung der Beine, Schutz vor Wärmeverlust.</p> <p>Nur wenn ärztliche Hilfe nicht innerhalb 1 h möglich ist und bei vollem Bewußtsein Flüssigkeit verabreichen (1 Teelöffel Natriumhydrogencarbonat in 1 l).</p> <p>Bis auf kleine Verbrennungen 1. und 2. Grades müssen Verbrennungen und Verbrühungen unverzüglich von einem Arzt behandelt werden!</p>
<p><b>Verätzung der Haut durch Säuren oder Laugen</b> (Rötung, Blasenbildung, Gewebezerstörung)</p>	<p>Sofort mit fließendem Wasser lange und intensiv spülen (etwa 10 min)!</p> <p>Neutralisationsversuche entbehrlich!</p> <p>Benetzte Kleidungsstücke entfernen!</p> <p><i>Keine Salben oder Wundpuder anwenden!</i></p> <p><i>Ätzwunde mit keimfreiem Verbandsmaterial abdecken!</i></p> <p>Ärztliche Behandlung erforderlich!</p>
<p><b>Hautverätzung durch Brom</b> (Rötung und Verfärbung der Haut, Blasenbildung, später tiefe schmerzhaftige Geschwüre)</p>	<p>Unter fließendem Wasser sofort etwa 10 min lang bei mäßigem Druck spülen! Nachbehandlung mit 5%iger Natriumthiosulfatlösung empfehlenswert! Gegebenenfalls sterilen Verband anlegen!</p> <p>Ärztliche Behandlung erforderlich!</p>
<p><b>Berührung der Haut mit weißem (gelbem) Phosphor</b> (Wunden wie Verbrennungen)</p>	<p>Betroffene Körperteile intensiv mit kaltem Wasser spülen! Gegebenenfalls größere Phosphorreste mit Metallspatel o. ä. schnell-</p>

Art der Schädigung (Kennzeichen)	Maßnahmen der Ersten Hilfe
<p>2. und 3. Grades)</p> <p><b>Augenverätzungen</b> durch Säuren oder Laugen (heftig brennender Schmerz der Augen, krampfhaftes Schließen der Augenlider, Druckgefühl, Tränenfluß, Weißwerden der Hornhaut, Ätzspuren)</p> <p><b>Verätzung der Atemwege</b> durch Chlorwasserstoff, Chlor, Phosgen, Bromwasserstoff, Bromdämpfe, Schwefeldioxid, nitrose Gase und Ammoniak (Brennen der betroffenen Schleimhäute, starker Reizhusten, unter Umständen Stechen hinter dem Brustbein, Atemnot, Erbrechen; in schweren Fällen nach 2 ... 8 h Lungenödem, mit Atemnot, oberflächlicher, beschleunigter Atmung und Blauverfärbung der Lippen oder der gesamten Haut)</p> <p><b>Verätzung des Magen-Darm-Kanals</b> durch Säuren oder Laugen (schmerzhafte Rötung und Schwellung der Mundschleimhaut, Ätzspuren an Lippen und Zähnen sowie in der Mund- und Rachenhöhle, Schmerzen hinter dem Brustbein und gegebenenfalls im Oberbauch, mitunter Erbrechen, starker Speichelfluß)</p>	<p>stens entfernen! Mit 1 ... 2%iger Kupfer(II)-sulfatlösung spülen! Ärztliche Hilfe schnellstens erforderlich! Auf dem Wege zum Arzt betroffene Hautstellen mit nassen Tüchern luftdicht umwickeln (möglichst 1 ... 2%ige Kupfer(II)-sulfatlösung verwenden)! Entstandene Wunden wie Brandwunden behandeln!</p> <p>Sofort 10 ... 15 min lang mit möglichst fließendem Wasser vom inneren nach dem äußeren Augenwinkel bei gut geöffnetem Lidspalt spülen! Auge bzw. beide Augen mit keimfreiem Verbandmull abdecken! <i>Keine Neutralisationsversuche, kein Borwasser!</i> Ärztliche Hilfe (möglichst Augenarzt) ist unverzüglich erforderlich!</p> <p>Vorsicht! Betroffenen schnell unter Beachtung der eigenen Sicherheit aus dem Gefährdungsbereich bringen! Für Frischluftzufuhr sorgen! Verunglückten auch im Verdachtsfall ruhig, mit erhöhtem Oberkörper lagern, vor Wärmeverlust schützen (Wolldecke), Beruhigung, Sprechverbot; bei Bewußtlosigkeit stabile Seitenlagerung; bei Atemstillstand Atemspende, <i>keine manuellen Methoden der künstlichen Beatmung anwenden, keine Flüssigkeit verabreichen,</i> unverzüglich ärztliche Behandlung erforderlich!</p> <p>Sofort reichlich Milch oder Wasser trinken lassen; bei Laugenverätzung auch 1 ... 2%ige Essig- oder Citronensäure (verd. Speiseessig oder Zitronensaft), bei Säureverätzungen medizinisch reines Magnesiumoxid als Aufschlammung (keine Carbonate bzw. Hydrogencarbonate verwenden!). Kein Erbrechen auslösen! Bequeme (Seiten-) Lagerung, Schutz vor Wärmeverlust (Wolldecken), unverzügliche (stationäre) ärztliche Behandlung!</p>

Art der Schädigung (Kennzeichen)	Maßnahmen der Ersten Hilfe
<p><b>Vergiftung durch Einatmen giftiger Gase beziehungsweise Dämpfe</b>  wie Kohlenmonoxid (Stadtgas), Kohlendisulfid, Schwefelwasserstoff, Selenwasserstoff, Cyanwasserstoff, Phosphorwasserstoff, Arsenwasserstoff  (unterschiedliche Vergiftungsbilder; häufig Kopfschmerzen, Übelkeit, Schwindel, Atemnot; in schweren Fällen Bewußtseins-, Atem- und Herz-Kreislauf-Störungen, lebensbedrohlich, gegebenenfalls auch Lungenödem, ↗ Verätzungen der Atemwege!)</p>	<p>Betroffenen möglichst schnell unter Beachtung der eigenen Sicherheit aus dem Gefährdungsbereich bringen!  Vorsicht! Vergiftungs- und Explosionsgefahr! Frischluftzufuhr, Entfernen durchtränkter Kleidungsstücke, Schutz vor Wärmeverlust (Wolldecke), äußerste Ruhe; bei Atemstillstand künstliche Beatmung, bei Cyanwasserstoff jedoch keine Atemspende, sondern nur apparative oder manuelle Methoden!  Schnellste ärztliche Behandlung erforderlich (Schnelle medizinische Hilfe)!</p>
<p><b>Vergiftungen durch Aufnahme von Giften in den Magen-Darm-Kanal</b>  Barium- und Bleisalze  (nach Resorption häufig Metallgeschmack, Magen-Darm-Störungen, Störungen der Herz-Kreislauf-Funktionen, der Hautempfindungen und der Muskeltätigkeit)</p>	<p>Immer umgehende ärztliche Behandlung erforderlich!  Erbrochenes stets für Untersuchungen dem Arzt übergeben! Sofort warme hochprozentige Natriumsulfatlösung trinken und wieder erbrechen lassen, mehrfach wiederholen!</p>
<p>Chrom-, Mangan-, Nickel- und anorganische Quecksilberverbindungen  (Verätzungen, gefährliche Blutungen, Durchfälle, Kreislaufversagen)</p>	<p>Sofort Milch (mit eingequirlten Eiern) trinken und wieder erbrechen lassen; gegebenenfalls mehrfach wiederholen!  <i>Bei Quecksilbersalzen keine Natriumchloridlösung als Brechmittel anwenden!</i></p>
<p>Silbersalze  (meist leichtere Verätzungen)</p>	<p>Sofort warme, gesättigte Natriumchloridlösung oder Milch (mit eingequirlten Eiern) trinken lassen (in schweren Fällen mehrfach mit anschließendem Erbrechen)!</p>
<p>Organische Verbindungen wie Benzen, Anilin, Nitrobenzen, Tetrachlormethan sowie Aldehyde  (Atem- und Herz-Kreislauf- sowie Bewußtseins- und später Leber- und Nierenstörungen, lebensbedrohlich!)</p>	<p>Sofort unter größter Vorsicht (Lösungsmittel gelangen leicht in die Atemwege) durch warme gesättigte Natriumchloridlösung Erbrechen auslösen (nur bei Methanal Milch günstig)! Bei Verfügbarkeit Aufschlammung von medizinischer Aktivkohle in Natriumsulfatlösung geben! Bei Bewußtseinstäubung stabile Seitenlagerung, kein Erbrechen auslösen!</p>

Art der Schädigung (Kennzeichen)	Maßnahmen der Ersten Hilfe
<p>Methanol (Bewußtseinsstörungen und Störungen wie nach Ethanol, Sehstörungen)</p> <p><b>Unfälle durch elektrischen Strom</b> (bis 1000 V vorwiegend Nervensystem und Muskulatur betroffen; gefährlich sind Atemstillstand, Störungen der Herzfunktion, Bewußtlosigkeit und Krämpfe; über 1000 V vorwiegend Hitzeschäden mit Verbrennungen der Haut [„Strommarken“] und inneren „Verkochungen“ der Gewebe)</p>	<p>Sofort vorsichtig Erbrechen auslösen, 1 Trinkglas voll Wodka, 40%ige Verdünnung von unvergälltem Alkohol oder ähnliche Spirituosen trinken lassen!</p> <p>Vorsicht! Erst Stromkreis unterbrechen (Hauptschalter ausschalten, Stecker herausziehen, Sicherungen entfernen), bevor Verunglückter berührt wird, notfalls durch Porzellan, Textilien u. a. vorher für Isolierung sorgen und Verletzten von der Spannungsquelle trennen; beengende Kleidung öffnen, bei Atemstillstand Atemspende, bei Pulslosigkeit Herzdruckmassage im Wechsel mit Atemspende, sonst Puls und Atmung ständig überwachen; vor Wärmeverlust schützen (Woldecken), bei Bewußtlosigkeit stabile Seitenlagerung; Verletzten gegebenenfalls wie bei Verbrennungen (→ S. 416) versorgen! Schnellste ärztliche Behandlung erforderlich (Schnelle medizinische Hilfe)!</p>

## Brandbekämpfung

Tritt während des Experimentierens ein Brand auf, ist vor allem Ruhe und Besonnenheit zu bewahren. Kleinste Brände können mit einfachen Mitteln, zum Beispiel durch Abdecken mit einem feuchten Lappen, erstickt werden. Um entstehende Brände im Labor und Unterrichtsraum wirkungsvoll löschen zu können, muß die Ursache des Feuers bekannt sein. Oft sind brennbare Chemikalien beteiligt, die mit dem Löschmittel reagieren. Deshalb muß mit Sachkenntnis an die Bekämpfung eines Feuers herangegangen werden.

Handfeuerlöscher können für Entstehungsbrände und Brände geringen Umfangs eingesetzt werden. Bei größeren Bränden ist die Feuerwehr zu alarmieren (Notruf 112).

Art des Brandes	Maßnahmen der Brandbekämpfung
<p><b>Brände von Inneneinrichtungen</b> (ohne stromführende Teile oder Chemikalien)</p>	<p>Brandbekämpfung mit dem Wasserlöscher.</p>

Art des Brandes	Maßnahmen der Brandbekämpfung
<p><b>Brände von Lösungsmitteln der Gefahrklasse A</b> wie Benzin, Toluol, Hexan</p>	<p><i>Nicht mit Wasser löschen!</i> Kleine Volumen brennender Flüssigkeiten mit Sand abdecken, bis die Flamme erstickt ist! Brandbekämpfung mit Chlorbrommethanolöscher, Kohlendioxidlöscher, Pulverlöscher.</p>
<p><b>Brände von Lösungsmitteln der Gefahrklasse B</b> wie Methanol, Ethanol, Propanon</p>	<p>Brandbekämpfung mit Chlorbrommethanolöscher (Bromidlöscher), Kohlendioxidlöscher, Pulverlöscher.</p>
<p><b>Brände von Leichtmetallen</b> wie Natrium, Magnesium</p>	<p>Brandherd lokalisieren, andere brennbare Stoffe aus dem Gefahrenbereich entfernen. <i>Brandbekämpfung nur mit trockenem Sand!</i> <i>Keine Chlorbrommethanolöscher oder Wasserlöscher verwenden!</i></p>
<p><b>Phosphorbrände</b></p>	<p>Brandbekämpfung nur mit Sand! Da die Gefahr besteht, daß Phosphorreste sich nach Tagen erneut entzünden können, ist eine gründliche Beseitigung aller Phosphorreste notwendig. Phosphorhaltigen Sand nicht mit den Händen berühren, Schutzhandschuhe und Schutzbrille tragen.</p>
<p><b>Gasbrände</b></p>	<p>Entzünden sich Gase oder Dämpfe, die aus undicht gewordenen Apparaturen ausströmen, muß für eine Unterbrechung der Gas- oder Dampfentwicklung gesorgt werden. Vorsicht! Beim Eindringen der Flamme in die Apparatur besteht Explosionsgefahr! Brennt ein Gaszuführungsschlauch (Stadtgas), sofort Gashahn schließen!</p>
<p><b>Brände an stromführenden Anlagen</b></p>	<p>Anlage abschalten! Brandbekämpfung mit Chlorbrommethanolöscher, Kohlendioxidlöscher oder Pulverlöscher. <i>Keine Wasserlöscher verwenden! Es besteht sonst Lebensgefahr!</i></p>
<p><b>Brände der Bekleidung von Personen</b></p>	<p><i>Keine Verwendung von Handfeuerlöschgeräten!</i> Im Labor Feuerlöschbrausen benutzen! Flammen ersticken (Personen in Decken oder Bekleidung hüllen), brennende Bekleidung entfernen, medizinische Versorgung gewährleisten!</p>

# Register

- AB 324**  
 Abdampfschale 18  
 Abdecken von Bechern 22  
 Abdichten, Apparaturen 321  
 Abfallgefäße 397  
 Abklärflasche 98  
 Ablesen von Skalen 142  
 Absaugen, vom Niederschlag 277  
 Absorption 119  
 Absorptionsgefäße 19 190 263 381  
 Absorptionsvorlage 19 164 174 263 381  
 Absperrmöglichkeiten, Energieleitungen 376  
 Abtropfbrett 19  
 Abzug 196 381  
 Abzweigstück 19  
 Acetaldehyd 337  
 Aceton 340 380  
 Acetylchlorid 335  
 Acrylnitril 335 372  
 Akkumulator 20 229ff.  
 Aktivkohle 331  
 Aktivkohleadsorptionsrohr 263 274  
 Aldehydnachweis 348 349  
 Alizarin S 335  
 Alizarin S-Lösung 348 350  
 Alkalimetall, Arbeit mit 389  
 Alkalimetallchloride, Elektrolyse 250  
 Aluminium 327  
 – Nachweis 347  
 Aluminiumchlorid 327  
 Aluminiumnitrat 327  
 Aluminiumoxid 289 292 327  
 Aluminiumoxid-Katalysator 360  
 Aluminiumsulfat 327  
 Aluminiumsulfat-Katalysator 361  
 Ameisensäure 224 338 372  
 Aminobenzen 335 372 379  
 4-Aminobenzensulfonsäure 341  
 Aminoethansäure 337  
 1-Aminonaphthalen 336  
 Aminophenol 372  
 Ammoniak 173 383 385 409  
 – Beseitigen 197 265  
 – Darstellung 161 166 169 172 359  
 – Nachweis 349  
 – Trocknen 195  
 Ammoniaklösung 222 224 327 372 314  
 Ammoniakoxydation 359 364  
 Ammoniaksynthese 359 364  
 Ammoniumacetat 336  
 Ammoniumcarbonat 327  
 Ammoniumchlorid 228 327  
 Ammonium-Eisenalaun 327  
 Ammonium-Eisen(III)-sulfat 327  
 Ammoniummetavanadat 327  
 Ammoniummolybdat 327  
 Ammoniummolybdatlösung 348 350  
 Ammoniumnitrat 327  
 Ammoniumoxalat 336  
 Ammoniumphosphat 327  
 Ammoniumsulfat 228 327  
 Ammoniumsulfid 327  
 Ammoniumthiocyanat 327  
 Ammoniumvanadat 327  
 Ammonsulfat 327  
 Ampullen, Öffnen 145 386f.  
 Amylase 343  
 Amylalkohol 340  
 Analysentrichter 92  
 Analysenwaage 101 148f.  
 Anilin 335 372 379  
 Anschütz-Thiele-Aufsatz 204  
 Antimon 327  
 Antimonblüte 328  
 Antimon(III)-oxid 328  
 Antimonverbindungen, Giftigkeit 372  
 Apothekerknoten 318  
 Apparat, Begriff 119  
 Apparatur, Abdichten 321  
 – Anpassung an Reaktionsbedingungen 300  
 – Baukastenprinzip 304f.  
 – Begriff 119  
 – Beobachtbarkeit 302ff.  
 – Betriebssicherheit 301  
 – Übersichtlichkeit 302  
 – Wahrnehmbarkeit 302  
 – Zusammenstellen 300ff.  
 Äquivalentmenge 217  
 Äquivalentmengenkonzentration 217 218  
 Aräometer 20 154  
 Arbeitsplatzchemikalien 402  
 Arbeitsschutzbelehrung 368  
 Arsen, Giftigkeit 372  
 Arsenwasserstoff 195 382  
 Asbest 21  
 Asbestdrahtnetz 21 127  
 Asbestwolle 272  
 Atemgift 370  
 Atemschutzmaske 375  
 ätzende Gase 173 383f.  
 ätzende Stoffe 367 370 374f.  
 Ätzgifte 381 383f.  
 Aufbewahrung, Chemikalien 390f.  
 – Geräte 107

- Auffangen von Gasen 172ff.  
 263ff.  
 – durch Luftverdrängung 174  
 266  
 – über Sperrflüssigkeiten  
 178ff. 266  
 – gefährliche Gase 174 263f.  
 – große Gasvolumen 186  
 Aufschlammung, Abtrennen  
 208  
 Ausgleichrohr 54 260 266 270  
 Ausstattungsplan 105  
 Austreiben, Gase aus Flüssig-  
 keiten 169
- B**abotrichter 21  
 Baeyers Reagens 348 350  
 Bananenstecker 39 247  
 Barium 328  
 Bariumchlorid 225 228 328  
 Bariumhydroxid 328  
 Bariumhydroxidlösung 348 350  
 Bariumperoxid 328  
 Bariumperoxid-Aluminium-  
 Zündgemisch 357  
 Bariumperoxid-Magnesium-  
 Zündgemisch 357  
 Bariumsulfat 328  
 Bariumverbindungen,  
 Giftigkeit 372  
 Barytwasser 348  
 Batterie 239ff.  
 Baumwolle 344  
 Bauteile, Apparaturen 305  
 – Demonstrationsexperi-  
 mente 306  
 – Halbmikrotechnik 308f.  
 Becher 22  
 Beckmann-Thermometer 90  
 Beheizen, Reaktionsgefäße 120  
 129ff. 255f.  
 – Unterlagen 127  
 Beleuchten, Apparaturen 304  
 Benetzungsmittel 342  
 Benzaldehyd 336 379  
 Benzen 336 372 379 380 382  
 385 409  
 – Reaktion mit Brom 359  
 Benzin 336 342 382 388  
 Benzoessäure 336  
 Beobachtbarkeit, Appara-  
 turen 302  
 Beschriftung 41  
 – Geräte 70 322  
 Bestellunterlagen 107  
 Betriebsmeßgerät 243
- Betriebssicherheit,  
 Apparaturen 301  
 Biegen, Glasrohr 315  
 Bimsstein 342 358  
 Bismut 328  
 Bismutchlorid 328  
 Bismutnitrat 328  
 Blasenzähler 22 167  
 Blauglas 56  
 Blei 328  
 Bleiacetat 336  
 Bleiacetatpapier 353  
 Bleiakkumulator 240f.  
 Blei(II)-nitrat 328  
 Blei(II)-oxid 328  
 Blei(II,IV)-oxid 328  
 Blei(IV)-oxid 328  
 Bleisulfatreste 116  
 Bleiverbindungen, Giftigkeit  
 372  
 Blutgift 381 f.  
 Bodenkörper 228  
 Bogenlampe 295  
 Bohren, Gummistopfen 317  
 Borax 333  
 Borsäure 328  
 Brandbekämpfung 419f.  
 Branddecke 376  
 Brandschutzbestimmungen 375  
 Braunkohle 342  
 Braunstein 332  
 Braunsteinreste 116  
 brennbare Flüssigkeiten 200  
 377ff.  
 – Erhitzen 378  
 Brenner 24ff.  
 Brenneraufsätze 26 124 315  
 Brennschmelze 342  
 Brenzkatechin 336  
 Brom 328 372 384 387f. 409  
 – Nachweis 349  
 Brombenzen 339  
 Bromethan 339  
 Bromthymolblau 336  
 Bromwasser 328  
 Bromwasserstoff, Darstellung  
 160  
 Bromwasserstoffsäure 372  
 Büchnertrichter 43 210  
 Bunsenbrenner 24 122 314  
 Bunsenventil 26  
 Buntbürette 46  
 Bürette 26 144f. 258 299  
 Bürettenklemme 84  
 Bürettenstativ 85  
 Bürsten 26f.
- Butan 385  
 Butan-1-ol 336 379 385  
 Butansäure 336  
 Buttersäure 336  
 n-Butylalkohol 336
- Cadmium 328  
 Calcium 328  
 Calciumcarbid 159 328  
 Calciumcarbonat 328  
 Calciumchlorid 194 195 212  
 228 328  
 Calciumhydroxidlösung 328  
 349 351  
 Calciumnitrat 328  
 Calciumoxid 328  
 Calciumphosphat 328  
 Calciumsulfat 328  
 Celluloid 345  
 Cellulose 289 349  
 – Lösen 349  
 – Nachweis 349  
 Cerium 329  
 Cerammoniumnitrat-Reagens  
 349 350  
 Cereisen 364  
 Chelaplex 328  
 Chemikalien, Anordnung  
 398f.  
 – Aufbewahrung 372 398f.  
 – Bestellung 369 395  
 – Bezeichnung 323ff.  
 – Entnahme 394ff.  
 – Gefahren 370f.  
 – Kennzeichnung 325  
 – lateinische Namen 323ff.  
 – Reinheitsgrade 324 369  
 – Sauberkeit 368  
 – Sparsamkeit 369  
 – Umfüllen 368  
 – Verunreinigung 394  
 Chemikalien zum Reinigen 114  
 Chemikalienflaschen 44f. 391  
 394 397  
 – Beschriftung 392ff.  
 Chemikalienkartei 398  
 Chemikalienkeller 398  
 Chemikalienreste 369  
 Chemikaliensammlung 371  
 395ff.  
 Chemikalienschrank 99 368  
 371 376 378 397ff.  
 Chlor 173 318f. 384 409  
 – Auffangen 174 184  
 – Beseitigen 196 264  
 – Darstellung 160 171

- Chlor, Giftigkeit 372  
– Nachweis 349 353  
– Trocknen 195  
Chloralhydrat, Giftigkeit 372  
Chlorat 376  
Chloratnachweis 348  
Chlorbenzen 339 385  
Chloressigsäure, Giftigkeit 372  
Chlorknallgas 386  
Chloroform 341 372 409  
Chlorwasserstoff 173 409  
– Beseitigen 196 265  
– Darstellung 160 166 169 171  
– Trocknen 195  
Chlorwasserstoffsäure 222 224 295 328  
Chromatografie 289ff.  
Chromatogramm, Entwickeln 290  
Chromium(III)-chlorid 328  
Chromium(III)-oxid 328  
Chromium(III)-oxid-Katalysator 365  
Chromschwefelsäure 114 141  
Chromverbindungen, Giftigkeit 372  
Citronensäure 336  
Cobalt(III)-chlorid 322 329  
Cobalt-Magnesium-Katalysator 362  
Cobalt(II)-nitrat 329  
Cobaltoxid-Katalysator 365  
o-Cresol 338  
Cyanwasserstoff 370 372 382 385  
Cyclohexan 336 380
- Dampfdruck, Flüssigkeiten** 409  
Dampfentwickler 28 168 202  
Dampfkanne 28 202  
Decan 337  
Decarboxylierung 359 363  
Deckglas 28  
Dederon 344  
Dehydratisierung, Alkohol 359 360  
Dehydrierung 359 361  
Dekantieren 207 277  
Demonstrationsmeßgerät 28  
Deniges Reagens 348 350  
Densimeter nach Klein 28 156  
Destillation 198ff. 273ff.  
– Ether 380  
Destillationsapparate 308  
Destillieraufsatz 78 89 200  
Destillierkolben 60f. 200 255 257 273  
Destilliervorlage 78 200 204  
Dewargefäße 30 138ff.  
Diacetyldioxim 337  
Diammoniumhydrogenphosphat 328  
Diaprojektor 295  
Diawechselschlitten, Umbau für Experimentalprojektion 295  
Dibenzoylperoxid 337  
1,2-Dichlorbenzen 379 380  
Dichlorethan 337 372 379 385  
Dichlorethen 385  
Dichromatschwefelsäure 114 141  
Dichte, Begriff 151  
– von Gasen 176  
Dichtebestimmung 20 151ff. 227  
– durch Auftrieb 152f. 154  
– Feststoffe 152  
– Flüssigkeiten 153ff.  
Dichtigkeit, Prüfung 321  
Diethylether 337 378 379 380 383 385 409  
Differenzsteckweise 238  
1,2-Dihydroxybenzen 336  
1,3-Dihydroxybenzen 341  
1,4-Dihydroxybenzen 338  
1,3-Dimethylbenzen 337 379 385  
Dimethylformamid 337  
Dimethylglyoxim 337  
Dimethylsulfat 372  
Dimrothkühler 64  
Dinatriumhydrogenphosphat 328  
Dinitrophenylhydrazinlösung 348 350  
Dioxan 380  
Diphenylamin 337  
Diphenylaminlösung 348 350  
Dodecanol 337  
Doppelschale 69  
Drahtelektrode 245 282  
Drahtglasunterlage 368  
Drahtnetz 21 127  
Drahtnetzrolle 358  
Dreheisenmeßinstrument 37 242  
Drehspulmeßinstrument 37 242  
Dreifuß 30  
Dreikantfeile 41  
Dreiweghahn 54  
Druckausgleich 163 231  
Drücken 230ff.  
Druckgasflasche 30ff. 140 392  
Druckminderventil 32 34f.  
Druckschlauch 77 229  
Düngemittel 343  
Dünnschichtchromatografie 292  
Duranglas 312  
Durchlaufgasentwickler 164 165  
Durchlichtprojektion 294
- Effektverstärkung bei Experimenten** 303f.  
Eichung, Glasgeräte 66 70 141 146  
Eiklarlösung 343  
Einsatzrohr, Wasserdampfdestillation 274  
Einschalenwaage 149  
Einstellen, Lösungen 226  
Einstellthermometer 90  
Einweghahn 54  
Einwurfgasentwickler 159  
Eisen 328  
Eisen-Aluminiumoxid-Katalysator 364  
Eisen-Bismut-Mangan-Mischkatalysator 364  
Eisen(III)-chlorid 225 228 329  
Eisendisulfid 329  
Eisen(II,III)-oxid 329  
Eisen(III)-oxid 329  
Eisen(III)-oxid-Katalysator 360 365  
Eisen(III)-oxid-Kupfer(II)-oxid-Chromium(III)-oxid-Katalysator 366  
Eisen(III)-oxid-Mangan(IV)-oxid-Katalysator 364  
Eisenpulver 360 364  
Eisen(II)-sulfat 228 329  
Eisen(II)-sulfid 329  
Eisentiegel 92  
Eiweiß 343  
– Nachweis 348 349  
elektrische Gebläse 50 232  
elektrische Heizgeräte 35 127 130f.  
elektrische Meßgeräte 37f. 242ff.  
elektrische Öfen 36  
elektrochemische Experimente 244ff.

- Elektroden 39 245 282  
 – Anordnung 245 248 282  
 Elektrodenabstand 247  
 Elektrodenhalter 282  
 Elektrodenpaar 247 248  
 Elektrolyse 39 295  
 – Apparate 245 282  
 – wäßrige Lösungen 248  
 Elektrolyseprodukte, Abscheidung 248f.  
 – gasförmige 250  
 Empfindlichkeit, Waage 149f.  
 Entwickeln, Chromatogramm 290 292  
 Entwickler, fotografischer 343  
 Entwicklungskammer für Chromatogramme 290  
 Entzünden, Zündgemische 356  
 Enzyme 343  
 Eosin 337  
 Erdöl 343  
 Erhitzen, evakuierte Geräte 206  
 – Flüssigkeiten 163 255  
 – Geräte 126f. 167 192 255f.  
 Erlenmeyerkolben 60 301  
 Erste Hilfe 415ff.  
 Erste-Hilfe-Ausstattung 368  
 Esbach Reagens 348 350  
 Essigsäure 224 336 372  
 Essigsäureethylester 336 379  
 Ethan 385 409  
 – Trocknen 193  
 Ethanal 336 379 385  
 Ethanol 336 379 382 385 409  
 Ethanoloxydation 359 362f.  
 Ethanoylchlorid 336  
 Ethansäure 224 336 372 379  
 Ethansäureamylester 380  
 Ethansäureethylester 336 385  
 Ethansäuremethylester 380  
 Ethen 173 385 409  
 – Darstellung 166 168f. 172  
 – Hydrierung 359  
 – Trocknen 195  
 Ether 337 380 383  
 Ethin 173 385 409  
 – Beseitigung 195 265  
 – Darstellung 159 161 172  
 – Trocknen 195  
 Ethylalkohol 336  
 Ethylenglykol 337  
 Experimentiertisch 112f.  
 Experimentprojektion 293ff.  
 – aufrechtes Bild 296  
 – Möglichkeiten 294  
 Explosionsbereiche 384f.  
 explosive Gase 173 380ff.  
 explosive Gemische 214 370 376  
 explosiver Stoff 367 375ff.  
 Exsikkator 40 211 212f. 290f. 292 330  
 Extrahieren 213f. 278ff.  
 Extraktionsapparat 213 279  
 Extraktionsmittel 213  
 Eudiometer 40  
 Fachunterrichtsraum 107ff. 233f. 397  
 – Schrankwand 402  
 Faltenfilter 41f. 208f.  
 Farbreaktion 295  
 Faserschreiber 322  
 Faserstoffe 344  
 Fehlingsche Lösung 348 350  
 Feilspäne 328  
 Feinmeßgerät 242  
 Fernzündung 248  
 Fett 344  
 Fettextraktion 213f.  
 Fettreste, Beseitigung 117  
 Fettstift 41 322  
 feuergefährliche Stoffe 375ff. 398  
 feuersicherer Schrank 376 378  
 Filter 41f.  
 Filterpapier 42 212 288 289f.  
 – Fließrichtung 290  
 Filterröhrchen 55 277  
 Filterrückstand, Waschen 209  
 Filtertiegel 44 210  
 Filtrieren 42ff. 129 207ff.  
 – verminderter Druck 210  
 Filtrierstativ 84  
 Fixierbad 344  
 Flammenarten 123f.  
 Flammentemperatur 377  
 Flaschen 44f.  
 Flaschengestell 55 399  
 Fluoride, Giftigkeit 372  
 Fluorsilicat, Giftigkeit 372  
 Fluorwasserstoffsäure 329 372 387  
 Flüssigkeit, Ausgießen 368 394  
 – brennbare 200 377ff.  
 – Erhitzen 169 255 378  
 – Gefahrklassen 377  
 – Umfüllen 380  
 – Volumenmessung 140ff.  
 – Zurückströmen 156 190  
 Flüssigkeitsbrenner 24  
 Flüssigkeitsstand, Ablesen 141f  
 – Markierung 142 304  
 Flüssigkeitsthermometer nach Klein 28  
 Flüssigkeitsuhr nach Klein 28  
 Folienprojektion 300  
 Formaldehyd 338 372  
 Fortuna-Pipette 144  
 Fritte 44 47 210  
 Fructose 337  
 Fuchsin 337  
 fuchschweflige Säure 348 350  
 Füllkörper 46  
 Funkeninduktor 46 252  
 Funkenstrecke 252f.  
 Gallussäure 337  
 Galvanische Zelle 245  
 Gärballon 186  
 Gärrohr 46 158  
 Gasableitungsrohr 56 261  
 Gasbrenner 24 122ff. 314  
 – Bedienung 123  
 – maximale Temperatur 129f.  
 – Reinigung 124  
 Gasbürette 46 185  
 – nach Klein 28 186  
 Gase, Darstellung 156ff. 259ff.  
 – Dichte 173  
 – Eigenschaften 173  
 – gefährliche Gase 173 196f. 263f.  
 – Identifizierung 270  
 – Löslichkeit in Wasser 173  
 – Reaktion mit Feststoffen 192f. 271f.  
 – Reaktion mit Flüssigkeiten 189ff. 296  
 – Reinigen 195f.  
 – Transport durch Apparaturen 229ff. 281  
 – Trocknen 194f.  
 Gaseinleitungsrohr 46f. 56 180 189 190 229 269  
 Gasentwickler 47 97 119 156ff. 231 259f. 385  
 – mit Flüssigkeitsdurchlauf 164  
 – Schülerexperimente 158 259f.  
 – selbstregelnder 156 165 261f.  
 – ohne Selbstregelung 158 259f.

- Gasmeßapparat 172 229  
   268 281  
 Gasmeßbürette 185f.  
 Gasmeßglocke 47 182  
 Gasometer 48 183ff.  
 Gaspipette 48  
 Gasprobenrohr 48  
 Gassammelapparat 172 229  
   231 268 281 308 385  
 Gassammelglocke 182  
 Gassammelrohr 48  
 Gasstrom, gleichmäßiger 255  
 – Regulierung 22 231  
 Gaswäscher 255 269 270ff. 308  
 Gaswaschflasche 48f. 174 189  
   229  
 Gebläse 50 71 231f.  
 Gebläsebrenner 24 124f. 314  
 Gefährdungsgruppe 380  
 Gefahrenzettel 377  
 Gefahrklasse 377ff.  
 gefährliche Stoffe, Abfüllen  
   394f.  
 – Höchstmengen 376  
 Gegenstromdestillation 202  
   274  
 Gegenstromwärmeaustausch  
   136  
 Gelatine 337 343  
 Generatorgas 385  
 Geräte, Begriff 119  
 – Reinigen 113ff.  
 Gerätebeschaffung 105ff. 305  
 Geräteglas 311 312  
 Gerätekomplex 305  
 Gerätesammlung, Anlage 111ff.  
 Giftbuch 371 373  
 Gifte 367 371ff. 398  
 – Fehlbestände 374  
 – Schülerexperimente 374  
 giftige Gase 173 196f. 264 370  
   380ff.  
 Giftprüfung 371  
 Giftschrank 372  
 Gifttransportschein 373  
 Gips 331  
 Glas 310ff. 344  
 – Warmbehandlung 314  
 – Temperaturbeständigkeit  
   300 311  
 Glasbearbeitung 310ff.  
 Glasbruch 397  
 Glasfildertiegel 44  
 – Reinigen 118  
 Glashahn 53f. 321  
 – Schliffflächen 321  
 Glashaken 22  
 Glaskasten 56 180  
 Glasperlen 46 344  
 Glasplatte 50  
 Glasringe 46  
 Glasrohr 50 314ff.  
 – Bearbeitung 314f.  
 – in Stopfen 317  
 Glasrohrschneider 51  
 Glassorten 310ff.  
 Glasstab 51  
 Glasstopfen 86 316  
 Glaswalze 48 175  
 Glaswolle 51 272 344 358  
 Gleichrichter 329ff.  
 Gleichstromdestillation 200ff.  
   373f.  
 Gleichstromwärmeaustausch  
   136  
 Gleitwiderstand 52  
 Glockenboden 274  
 Glockengasbehälter 182  
 Glühlampe 39 52  
 Glühlampenbrett 38  
 Glühröhrchen 52  
 Glühschiffchen 52 192 250  
 Glucose 337  
 Glycerol 337  
 Glycin 337  
 Graphit 331  
 Graphitelektrode 39 245f.  
 Graphitplatte 127  
 Graphitreste, Beseitigung 117  
 Graphittiegel 92  
 Gummidoppelgebläse 50 231  
   272 281  
 Gummischlauch 76 318f.  
 Gummistopfen 86 316f.  
 – festsetzendes Glasrohr 317  
 Gummistopfenverbindungen  
   305  
 Gummiwischer 53  
  
**H**ähne 53f.  
 Hahnfett, Entfernen 117  
 Haines Reagens 349 351  
 Halbmikro-Brenner 24 255  
 Halbmikro-Gasentwickler 97  
   255ff. 266 298  
 Halbmikro-Geräte, Über-  
   sicht 54ff.  
 – Reinigung 118  
 Halbmikro-Schülerarbeitssatz  
   108ff.  
 Halbmikro-Standflasche 45f.  
   399  
 Halbmikro-Stativ 84 302  
 Halbmikrotechnik, Begriff  
   253 369  
 Halogenachweis 349  
 Halsformen, Kolben 58  
 Handchemikalien 402  
 Handwaage 101 147 259  
 Harnstoff 337  
 Hartfett 344  
 Harzreste, Beseitigung 117  
 Heißwassertrichter 129  
 Heizbad 128 256  
 Heizgeräte, elektrische 35  
   122 138  
 – Forderungen 121  
 – Temperaturen 120f. 138  
 Heizrohr 130  
 Hempel-Bürette 46 185f.  
 Hempel-Pipette 46  
 Heptan 337 379 385  
 Heptanol 337  
 Hervorheben von Effekten 303  
 Hexadecansäure 337  
 Hexamethylentetramin 338  
 Hexan 338 379 385  
 Hexanol 338  
 Hintergrund, kontrastreicher  
   303  
 Hirschhornsalz 327  
 Hofmannscher Wasserzer-  
   setzungsapparat 250  
 Holtzsche Klemmen 38 247  
 Holz 344  
 Horizontalprojektion 296ff.  
 Hydratisierung 359 362  
 Hydrierung, Ethen 359 361  
 – Fette 359 363  
 Hydrochinon 338  
 Hydroxidlösungen, Erhitzen  
   374  
 – konzentrierte 278 370 374  
 Hydroxybenzol 340  
 Hydroxylverbindungen 349  
 Hydroxymethylfurfuol-  
   Nachweis 349  
  
 Indigo 338  
 Indigolösung 349 351  
 Indigopapier 353  
 Indikator 346f.  
 – Grenzfarben 347  
 Indikator M 347  
 Indikator S 347  
 Indikatorlösungen 391 402  
 Iod 329 372  
 – Nachweis 349

- Iod-Kaliumiodidlösung 349  
351  
Iodlösung 225 349  
Iodoformprobe 349  
Ionenaustauscher 289
- K**abelschuh 39  
Kalilauge 330 412  
Kalium 329 388f.  
Kalium-Aluminiumsulfat 329  
Kaliumacetat 338  
Kaliumbromid 329  
Kaliumcarbonat 330  
Kaliumchlorat 329 372 388  
Kaliumchlorid 228 329  
Kaliumchromat 329  
Kaliumdichromat 329  
Kaliumdihydrogenphosphat 329  
Kaliumdisulfat 329  
Kalium-hexacyanoferrat(II) 330  
Kalium-hexacyanoferrat(III) 330  
Kaliumhydrogensulfat 330  
Kaliumhydrogentartrat 338  
Kaliumhydroxid 228 330 372  
Kaliumhydroxidlösung 224  
330 372 412  
Kaliumiodid 330  
Kaliumiodidstärke-Lösung 349  
Kaliumiodidstärke-Papier 354  
Kaliumnatriumtartrat 338  
Kaliumnitrat 330  
Kaliumpalmitat 225  
Kaliumpermanganat 217 224  
228 330  
Kaliumpermanganat-Eisen-Zündgemisch 357  
Kaliumperoxidisulfat 330  
Kaliumsilicat 330  
Kaliumsulfat 330  
Kaliumthiocyanat 330  
Kaliwasserglas 330  
Kalkammonsalpeter 343  
Kalkstickstoff 343  
Kalkwasser 330 349  
Kalorimeterthermometer 88  
kalorimetrische Messung 138  
Kältemischung 133  
Kalzium s. Calcium  
Kapillarrohr 51 118 315  
Kappenflasche 46 391  
Kästen aus Glas 56  
Katalysatoren 358ff.  
Kegelschliffverbindungen 319ff.  
Kesselstein, Beseitigen 116  
Kerzenmasse 344  
Kiefernharz 322  
Kieselgel 94 148 194f. 212 289  
Kippscher Gasentwickler 47  
161f.  
Kippvorrichtung für Ballons 395  
Kippvorrichtung für Tageslicht-Schreibprojektor 298f.  
Kjeldahlkolben 61  
Kleinspannung 233  
Knallgas 386  
– bei Elektrolyse 250  
Knallgasprobe 174 192 266  
386f.  
Kobalt s. Cobalt  
Kobaltglas 56  
Kochglas 56 255  
Kohle 331 342  
Kohleelektroden 245 282  
Kohlendioxid 31f. 173 409  
– Abtrennen aus Gasen 195  
– Darstellung 161 166 171  
– Nachweis 348 349  
– Trocknen 195  
Kohlendioxidlöcher 377  
Kohlendioxidschnee 140 388  
Kohlendisulfid 331 372 379  
380 385  
Kohlenmonoxid 173 382 385  
– Beseitigen 197  
– Darstellung 119 166 168 171  
– Reaktion mit Wasser 359  
360  
– Trocknen 195  
Kohlenstoff 331  
Kohlenwasserstoffsynthese 359 362  
Kohlereste, Beseitigen 116  
Kolben 58ff. 78  
Kolbenprober 61 176f. 299  
Kolonnen, Destillation 202 274  
Kolophonium 322 344  
Kondensationsvorlage 273  
Kongorot 347  
Kontaktthermometer 90 138  
Konvertierung 359 360  
Konzentration, Bestimmung 226f.  
– in Experimentieranleitungen 219 221  
– Lösungen 215ff. 370 412  
– übliche Lösungen 221 ff.  
– Umrechnung 218
- Kopfhörer 38  
Korkstopfen 318  
Korrekturfaktor, Maßlösung 226  
Kristallisationsvorgang 284  
286  
Kristallisierschale 62 180 267  
297  
Kristallreaktionen, mikrochemische 283 284ff.  
Krokodilklemme 39 246f. 282  
Kugelhühler 63 136  
Kugelrohr 62  
Kugelvorgabe 74  
Kühlen 133ff. 356f. 273  
Kühler 56 62ff. 78 136 200  
206  
– für Schülerexperimente 257  
Kupfer 331  
Kupfer(II)-acetat 338  
Kupfer(I)-chlorid 331  
Kupfer(I)-chloridlösung, ammoniakalische 197  
Kupfer(II)-chlorid 225 331  
Kupferdrahtnetz 362 364  
Kupfer-Calciumoxalat-Mischkatalysator 363  
Kupfer(II)-nitrat 331  
Kupfer(II)-oxid 331  
Kupfer(II)-oxid-Chromium(III)-oxid-Katalysator 366  
Kupfer(II)-oxid-Bismut-oxid-Katalysator 365  
Kupferspiegel, Beseitigung 116  
Kupfer(II)-sulfat 225 228 331  
Kupferverbindungen, Giftigkeit 372  
Kupferwolle 362  
Küvetten 295  
– für Tageslicht-Schreibprojektor 298
- Laborspindel 20  
Laborthermometer 24  
Lackmus 347  
Lackmuspapier 354  
Laden, Akkumulator 240f.  
Lactose 338  
Landmann-Brenner 24  
Laufmittel, Chromatografie 289 292  
Leichtbenzin 379  
Leitfähigkeitsuntersuchung 247f. 282  
Leuchtpetroleum 379 385  
Liebigkühler 62 136

- Löschen 377 419f.  
Löschmittelwahl 377 419f.  
Löschsand 376  
Löslichkeit 228  
– Gase in Wasser 173 409  
Lösung 215ff. 280f.  
– gesättigte 228  
– Herstellen 219 280f.  
Lösungsmittel, organische 380  
Lötrohr 64 132  
Lötrohrproben 132  
Luft, Trocknen 194  
Luftkühlung 134 256f.  
Lugolsche Lösung 349  
Lukas Reagens 349 351
- Magnesium 332  
Magnesiumcarbonat 332  
Magnesiumchlorid 332  
Magnesiumhydrogenphosphat 332  
Magnesiumnitrat 332  
Magnesiumoxid 332  
Makrotechnik, Begriff 120  
Maltose 338  
Mangan(II)-chlorid 332  
Mangan(II)-nitrat 332  
Mangan(IV)-oxid 332  
– Beseitigen von Resten 116  
– Katalysator 364  
Mangan(II)-sulfat 332  
Mannit 338  
Manometer 64 206  
Margarine 344  
Mariottesche Flasche 98 230  
Marmor 330ff.  
Massenanteil 216 218 219  
Massenbestimmung 146ff. 259  
Maßlösung, Herstellung 145f. 223ff.  
Maßstabtransformator 145  
Mattschildbeschriftung 392  
Mehl 344  
Mekerbrenner 24  
Mennige 328  
Messen, Gasvolumen 172ff. 263ff.  
Messing 332  
Meßbereichserweiterung 243f.  
Meßgeräte, elektrische 37f. 242ff.  
– Meßgenauigkeit 242  
Meßflasche 64  
Meßkolben 66 145f. 223 227
- Meßpipette 70 143f.  
Meßspritzenflasche 187f.  
Meßzylinder 66 142 258 268 299  
Metallelektroden 39 247  
Metallteile, Reinigen 304  
Methan 173 385 409  
Methan, Darstellung 161 168 171 359 360  
Methanal 338 372  
Methanol 338 372 379 380 385 409  
Methanoldampf 168  
Methanolyxidation 359 362  
Methansäure 224 338 372  
Methansäureamylester 380  
Methansäureethylester 380  
Methansäuremethylester 380  
Methylbenzen 338 379 385  
2-Methylbutan-1-ol 379  
Methylcyclohexan 380  
Methylenblau 338  
Methylgrün 338  
Methyliodid 339  
Methylorange 338 347  
Methylorangepapier 354  
Methylrot 338  
Mikrobürette 26  
Mikroskop 67 284ff.  
Mikrotechnik 253 283f.  
Milchsäure 339 372  
Millons Reagens 349 351  
Mineraliensammlung 341  
Mineralöl 344  
Mischen 104 214ff. 280f. 295  
– Feststoffe 280  
– Flüssigkeiten 214f.  
– Gase 104  
– Zündgemische 356  
Mischungsgleichung 220  
Mischungsrechnen 220  
Mischzylinder 67  
Mittelhalskolben 58  
Mohr-Westphalsche Waage 154f.  
Molalität 218  
molare Lösungen 223ff.  
– Ausgangsstoffe 224f.  
Molarität 216 227  
Molisches Reagens 349 351  
Molke 343  
Monobrombenzen 339  
Monobrommethan 339 379 385  
Monobrommethan 385  
Monochlorbenzen 339 379  
Monochlorethan 385
- Monochlormethan 385  
Monoiodethansäure 339  
Monoiodmethan 339  
Mörser 74 214  
Muffelofen 36  
Müllersche Glocke 47 182ff.  
Münckesche Gaswaschflasche 50 190
- Naphthalen 339  
 $\beta$ -Naphthol 339  
Naphthylamin 336  
NaBlöcher 327  
Natrium 212 332 388f.  
– Öffnen von Verpackungsdosen 389  
Natriumacetat 339  
Natriumbromid 332  
Natriumcarbonat 223 224 333  
Natriumchlorid 225 332  
Natriumchromat 332  
Natriumdichromat 332  
Natriumdihydrogenphosphat 332  
Natriumfluorid 332  
Natriumformiat 339  
Natriumhydrogencarbonat 332  
Natriumhydrogensulfat 332  
Natriumhydroxid 333 372  
Natriumhydroxidlösung 222 224 333 372 412  
Natriumiodat 333  
Natriumiodid 333  
Natriumlöffel 68  
Natriumnitrat 333  
Natriumnitrit 333  
Natriumoxalat 339  
Natriumphosphat 334  
Natriumreste 389  
Natriumsilicatlösung 333  
Natriumsulfat 333  
Natriumsulfid 333  
Natriumsulfit 333  
Natriumtetraborat 333  
Natriumthiosulfat 225 333  
Natronkalk 333  
Natronlauge 333 412  
Natronwasser 333  
Narkosegifte 381 f.  
Nebenwiderstand 243  
Nenngröße, Begriff 18  
Nervengift 381 f.  
Neblers Reagens 349 351f.  
Netztransformator 239

- Neutralrot 339  
 Nickel-Eisen-Akkumulator 241  
 Nickel-Katalysator I 360  
 Nickel-Katalysator II 363  
 Nickel-Katalysator III 361  
 Nickel-Katalysator IV 363  
 Nickel-Magnesiumoxalat-Katalysator 361  
 Nickel-Zinkoxalat-Misch-Katalysator 361  
 Nickel(II)-chlorid 333  
 Nickelformiat-Katalysator 363  
 Nickelcarbonat-Katalysator 364  
 Nickel(II)-nitrat 333  
 Nickeloxid-Katalysator 360  
 Nickel(II)-sulfat 333  
 Nitratnachweis 348  
 Nitrite, Giftigkeit 372  
 Nitritnachweis 348 349  
 Nitrobenzen 339 379 385  
 Nitrophenol 372  
 Niveauflasche 68  
 Niveaugefäß 68 179f.  
 Nomenklatur, Chemikalien 323  
 Nonan 339 379 385  
 n-Nonanol 339  
 normale Lösung 223ff.  
 – Ausgangsstoffe 224f.  
 Normalität 217 227 410f.  
 Normalschliff 77  
 Normzustand, Umrechnung 179  
 Nullinstrument 38  
 Nutsche 43 210  
 Nylanders Reagens 349 352  
  
**Objektträger 69 286**  
 Octan 339 379 385  
 Olein 339  
 Olive 20  
 Ovalbumin 343  
 Oxalsäure 224 339 372  
 Oxidreste, Beseitigung 116  
 Oxoverbindungen, Nachweis 348  
 $\alpha$ -Oxypropansäure 338  
 Ozonnachweis 348 353  
  
**Palettenschrank 107**  
 Palmitinsäure 337  
 Papierchromatografie 289ff.  
 Papieretikett 392  
 – auf Blech 383  
 Papierfilter 42 208 212 289f.  
 Papprinne 395  
 Paraffin 339 344  
 Paraffinieren, Stopfen 317  
 Paraldehyd 372  
 PC-Faser 344  
 Pentan 379 385  
 Pentanol 340  
 Pepsin 343  
 Pepton 340  
 Perchlorsäure 333  
 Permanganat 376  
 Peroxid 376  
 Petrischale 69 297  
 Petrolether 379 385  
 Phenol 340 372  
 Phenolphthalein 340 347  
 Phenolphthaleinpapier 354  
 Phenoplast 345  
 Phenylhydrazin 340  
 Phloroglucin 340  
 Phosgen 370  
 Phosphat-Ionennachweis 348  
 Phosphide 372  
 Phosphor 333 389f.  
 Phosphorlöffel 100  
 Phosphor(V)-oxid 333  
 Phosphorpentoxid 333  
 Phosphorpentoxidreste 116  
 Phosphorreste 116  
 Phosphorsäure 334 372  
 Phthalsäure 340  
 pH-Wertbestimmung 354f.  
 Piacryl 345  
 Pikrinsäure 340 372  
 Pilzaufsatz 26 124  
 Pinzette 69  
 Pipette 70 97 143f. 207 298  
 Pipettenflasche 45 391  
 Pipettenständer 84  
 Pistill 74  
 Plasteproben 345  
 Platinasbest 365  
 Platinelektrode 40  
 pneumatische Gasauffangvorrichtung 180ff. 266 308  
 pneumatische Wanne 56 62 180 182 267 301  
 Polreagenzpapier 354  
 Polung, Meßgeräte 244  
 Polyamid 345  
 Polyethylen 345  
 Polyethylenstopfen 86  
 Polylux 296ff.  
 Polystyren 345  
 Polyvinylchlorid 345  
 Polyvinylchloridschlauch 319  
 Porzellangeräte, Beschriftung 322  
 Porzellanrohr 70  
 Potentiometer 52  
 Pottasche 330  
 Präparategläser 71 391  
 Präzisionswaage 100 147f. 152  
 – Zusatzgeräte 148  
 Prisma 26  
 Projizieren von Experimenten 293ff.  
 – Möglichkeiten 294  
 Propan 173 385  
 Propangasbrenner 24 122 314  
 Propan-1-ol 340 379 385  
 Propan-2-ol 340  
 Propan-2-on 340 379 380 409  
 Propansäure 340  
 Propylalkohol 340  
 Pulverlöscher 377  
 Pulvertrichter 94 395  
 Pumpe 50 71  
 Pyknometer 71 153  
 Pyridin 372 379  
 Pyrit 345  
 Pyrogallol 340  
 Pyrolan 53 100  
  
 Quarzgeräte 72  
 Quarzglas 100 311 313  
 Quecksilber 334 390  
 Quecksilberauffangwanne 72  
 Quecksilber(I)-chlorid 372  
 Quecksilber(II)-oxid 334  
 Quecksilberreste, Entfernen 116  
 Quecksilbervakuummeter 204f.  
 Quecksilberverbindungen 372 390  
 Quecksilberverbindungsreste 116  
 Quecksilberzange 72  
 Quetschhahn 54 72 231  
  
**Raschigringe 46**  
 Rasothermglas 312  
 Reagenzglas 56 73 262  
 – mit Ableitungen 167  
 Reagenzglasgestell 56 302  
 Reagenzglashalter 74  
 Reagenzglasständer 74  
 Reagenzlösungen 346ff. 402  
 Reagenzpapier 353ff. 391  
 Reaktionskolben 255 260 272 281  
 Reaktionsrohr 192f. 256 271  
 reduzierende Gruppen, Nachweis 349

- reduzierende Zucker, Nachweis 348  
 Reduzierventil 32 34f.  
 Reibschale 74 214  
 Reihenbrenner 24  
 Reinigen, allgemeine Hinweise 113  
 – Gase 195f.  
 – Geräte 113ff.  
 – grobe Verunreinigungen 125  
 – Metallteile 304  
 Reinigungsgeräte 114  
 Reinigungsmittel 114 115f.  
 Reiter, Wägung 150 155  
 Rektifikation 202 274  
 Resorcin 341  
 Retentionsfaktor 289  
 Retorte 74  
 Rezipientenglocke 74  
 $R_f$ -Wert 289 290  
 Rieselturm 191  
 Rohbraunkohle 342  
 Röhrenofen 37  
 Rohrzucker 341  
 Rückflußkühlung 213f. 257  
 Rührer 255  
 Rundfilter 41f. 208  
 Rundfilterchromatografie 290ff.  
 Rundteilung 142  
  
 Saccharose 341  
 Sägespäne 344  
 Salicylsäure 341  
 Salpetersäure 222 224 334 372 412  
 Salzlösungen, Konzentration 221ff.  
 Salzreste, Entfernung 115  
 Salzsäure 222 224 328 412  
 Sand 345  
 Sandbad 76 128  
 Sanitätskasten 368  
 Sauerstoff 31f. 173 409  
 – Darstellung 160 166 168 170 359  
 – Trocknen 194  
 Saugen 229f.  
 Saugflasche 43 301  
 Säure, konzentrierte 278 370 374  
 Säure-Base-Katalyse 358  
 Schalttafel 234  
 Schamottetiegel 90  
 Schattenbildprojektion 295  
 Schauthermometer 28 90  
 Scheidetrichter 94 204  
 Schellbachstreifen 142  
 Schiebebildbeschriftung 392  
 Schieß- und Sprengstoffe 376  
 Schlangenkühler 64 136  
 Schlauch 76  
 – Dichtigkeit 321  
 – Festbacken 319  
 Schlauchverbindung 301 318f.  
 Schliffarten 77  
 Schliffbauteile 78 201 320f.  
 Schliffgeräte 305 319ff.  
 Schliffhülse 77  
 Schliffkern 77  
 Schlitzaufsatz 26 124  
 Schmelzflußelektrolyse 39 250  
 Schmelzlöffel 78  
 Schmelztemperaturbestimmungsapparat 78 315  
 Schmelztiegel 90 250  
 Schornsteinaufsatz 26 124  
 Schrankwand, Fachunterrichtsraum 107  
 Schulchemikalienversorgung 396  
 Schülerexperimente 201 253ff.  
 – Apparaturen 308  
 – Chemikalien 399  
 – Forderungen 254  
 – Überwachung 367  
 – Wahrnehmbarkeit 302  
 Schülerexperimentiertische 107ff. 234 399 402  
 Schutzbrille 374 386  
 Schutzhaube 212  
 Schutzkleidung 374  
 Schutzscheibe 376 386  
 Schwanzhahn 54  
 Schwefel 100 334  
 Schwefel-Kaliumchlorat-Zündgemisch 357  
 Schwefeldioxid 173 384 409  
 – Beseitigen 197 264  
 – Darstellung 161 166 169 171  
 – Oxydation 359 365  
 – Trocknen 195  
 Schwefelkies 345  
 Schwefelkohlenstoff 331 372 379 385 409  
 Schwefelreste, Entfernen 116  
 Schwefelsäure 221 224 334 372 412  
 Schwefelwasserstoff 173 382 385 409  
 – Beseitigen 197 264  
 – Darstellung 160 168 171  
 – Nachweis 353  
 – Oxydation 359  
 – Trocknen 195  
 schweflige Säure 334  
 Schweizers Reagens 349 352  
 Seesand 345  
 Seife 345  
 Seignettesalz 338  
 sekundärer Alkohol, Nachweis 348 349  
 Selenverbindungen 372  
 Senkspindel 20 154  
 Shunt 243  
 Sicherheitsflasche 190 204 210 212 230 301  
 Sicherheitspipette 144  
 Siedekapillare 204  
 Siedesteine 127 199  
 Siedeverzug 199  
 Siegellack 231  
 Signierstift 322  
 Silber-Katalysator 362  
 Silberchloridreste, Entfernung 116  
 Silbernitrat 225 334  
 Silbernitratlösung, alkoholische 349 352  
 Silbernitratlösung, ammoniakalische 349 352  
 Silbersalze, Giftigkeit 372  
 Silberspiegel, Beseitigung 116  
 Silicagel 94 148 194f. 212  
 Siliconöl 289  
 Siliciumdioxid 334  
 Sinterglas 42  
 Skalenteilung 88 301  
 Soxhlet, Extraktionsapparat 213  
 Spannungsmessung 242 243  
 Sparflamme 123  
 Sparsamkeit 301  
 Spatel 78 394  
 Speiseeis-Isoliergefäß 30 138ff.  
 Speiseöl 344  
 Spektralapparat 80  
 Sperrflüssigkeit 172 178  
 – Anfärben 304  
 Spezialpapier 289f.  
 Spiritusbrenner 24 126 255  
 Spitze, Ausziehen 315  
 Spritzflasche 80  
 Stadtgas 383 385

- Stadtgasbrenner 122  
 Stahlwollensicherung 301  
 Standardisierung 305  
 Standflaschen 44  
 Standwasserkühlung 273  
 Standzylinder 80 290  
 Stärke 289 341  
 Stärkelösung 349 352  
 Stärkenachweis 349  
 Startlinie, Chromatogramm 290 292  
 Stativheizplatte 35  
 Stativklemme 82 192  
 Stativmaterial 81 ff. 206 299  
 Stativmuffe 82  
 Stativplatte 82  
 Stativring 83f.  
 Stativstab 82  
 Stechpipette 97  
 Stehkolben 58f. 80 300  
 Steinkohle 345  
 Stellwiderstand 52  
 Stickstoff 173 409  
 – Darstellung 166 170  
 – Trocknen 184  
 Stickstoffbestimmung 61  
 Stickstoffdioxid 384  
 – Beseitigen 197 265  
 – Darstellung 168  
 Stickstoffmonoxid, Darstellung 161  
 Stickstoffoxide, Bildung 252  
 Stocklänge 89f.  
 Stoffmengenanteil 218  
 Stoffmengenkonzentration 216 218  
 Stopfen 86 316ff. 321  
 Stopfenbearbeitung 316ff.  
 Stopfenbohrer 86 317  
 Stopfenbohrerschärfer 86 317  
 Stopfenbohrmaschine 86  
 Stopfenverbindung 305  
 Stromfluß, Anzeige 37f.  
 Stromstärkemessung 242 243  
 Strömungsgeschwindigkeit, Gase 230  
 Stromschlüssel 245  
 Stromversorgung 233f.  
 – dezentrale 234ff.  
 – zentrale 233f.  
 Stromversorgungsgerät 88 234ff.  
 Strontiumnitrat 334  
 Strontiumverbindungen, Giftigkeit 372  
 Stuphanpapier 354  
 Stutzenflasche 98  
 Styren 341  
 Sublimation 284  
 Suchspindel 20  
 Sulfanilsäure 341  
 Sulfat-Ionennachweis 348  
 Superphosphat 343  
 Supremaxglas 100 311 312  
 Tageslicht-Schreibprojektor 289ff.  
 Trieren, mit Sand 258  
 Taschenlampenbatterien 240  
 technische Sammlung 342  
 Teclubrenner 24  
 Teerprodukte, Reinigen 117  
 Temperaturregelung, automatische 138  
 Temperaturwechselbeständigkeit 135 311ff.  
 Terpentinöl 379  
 tertiärer Alkohol, Nachweis 349  
 Teslatransformator 46 252f.  
 Testlampulle 145f.  
 Tetrachlorethan 380  
 Tetrachlormethan 341 372 380 409  
 Tetrahydrofuran 380  
 Thalliumsalze, Giftigkeit 372  
 thermische Zersetzung, Feststoffe 167f. 262  
 Thermometer 87  
 Thermosflasche 139  
 Thermoskop 90  
 Thermostat 136f.  
 Thermostatieren 133ff. 255ff.  
 Tiegel 90ff.  
 Tiegelzange 92  
 Tinte 345  
 Titangelb 334  
 Titrationsbürette nach Klein 30 145  
 Titrieren 145  
 Toluol 338 380 409  
 Tondreieck 92  
 Tonscherben 358  
 Tonteller 212  
 Tontiegel 90  
 Torf 345  
 Trägerstoffe für Katalysatoren 358  
 Transport, Gase durch Apparaturen 229ff. 281  
 Traubenzucker 337  
 Trennen, Stoffe 206ff. 276ff.  
 Trennung, chromatografische 289ff.  
 Triethylenglykol 341  
 Trichlorethan 380  
 Tribrommethan 372  
 Trichlormethan 341 372  
 Trichter 92ff. 208  
 Trichterrohr 94  
 Tricalciumphosphat 331  
 Trinatriumphosphat 334  
 Trinitrophenol 340 372  
 Trockenmittel 194f. 212  
 Trockenpatrone 94 148  
 Trockenpistole 213  
 Trockenrohr 94  
 Trockenschrank 96 211  
 Trockenturm 96 191 272  
 Trocknen 19 211f. 194f.  
 – Gase 194f.  
 – Geräte 115  
 – organische Flüssigkeiten 212  
 Tropfer 97 258 269 279  
 – Eichen 258  
 Tropferablage 97  
 Tropfpipette 97  
 Tropftrichter 94  
 Tropfwasserkühlung 273  
 T-Stück 20  
 Tubusflasche 98 186 230  
 Tüpfelanalyse 288  
 Tüpfelplatte 98 288  
 Tüpfelreaktionen 283 288  
 Übersichtlichkeit, Apparatur 302  
 Überwachung, Schülerarbeit 367  
 Uhrglasschale 98  
 Ultramikrotechnik 253  
 Umkehrspiegel 296  
 ungesättigte organische Stoffe, Nachweis 348  
 Unitest-Indikator 347  
 Unitestpapier 355  
 Universalstativ 84  
 Unterlage, feuerfeste 376  
 Unterlegklötze 98 304 368  
 Untersatzschalen 99 398  
 Uranverbindungen, Giftigkeit 372  
 U-Rohr 94 249  
 Urterersubstanz 223 226  
 Vakuumdestillation 204ff.  
 vakuumfeste Geräte 205f.  
 Vakuummeter 204f.

- Vakuumschlauch 77 206  
 Vanadium(V)-oxid 372  
 Verätzungen 375 416f.  
 Verbindungsleiter 38f.  
 Verbindungsstück 19  
 Verbrennungen, Erste Hilfe 416  
 Verbrennungslöffel 100  
 Verbrennungsrohr 100 129ff. 192 271 358  
 – Gasheizung 130  
 – elektrische Heizung 130  
 Verdünnen 220  
 Vergiftungen 374 382ff. 418  
 – Anzeichen 382ff.  
 Verlaufsmethode, Kristallisation 286  
 Vertikalprojektion 298ff.  
 Vielfachmeßinstrument 38  
 Vinylchlorid 372  
 Visierblende 142  
 Vollpipette 70  
 Volumenmessung, Flüssigkeiten 140ff. 257f.  
 – Gase 172ff.  
 Volumenanteil 216  
 Vorbereitungsraum 397  
 Vorschaltwiderstand 243  
 Vorstoß 200f. 210  
  
**Waagen** 100ff. 146ff.  
 Wägegefäß 103  
 Wägeglast 103  
 Wägen 146ff. 152 259  
 Wägesatz 103  
 Wägestücke 103 150  
 Wägetulpe 103  
 Wagnerscher Hammer 252  
 Wägung, Demonstration 151  
 Wahrnehmbarkeit, Apparaturen 302  
  
 Wärmeaustauscher 66ff. 134 136  
 Waschbenzin 379  
 Waschen, Gase 190f. 270  
 Waschmittel 346  
 Waschturm 270  
 Wasser, Dichte 413  
 Wasserbad 35 104 128f. 256  
 Wasserbadeinsatz 256  
 Wasserdampf 168  
 Wasserdampfdestillation 202ff. 274f.  
 Wasserdampfdruck 179 409  
 Wasserflasche 232  
 Wassergas 385  
 Wasserglaskitt 322  
 Wasserkühlung 134 256f.  
 Wasserstoff 31f. 173 385 409  
 – Beseitigen 196 264  
 – Darstellen 160  
 – Trocknen 194  
 Wasserstoffperoxid 223 334  
 Wasserstrahlgebläse 232  
 Wasserstrahlpumpe 71 204ff. 210 212 229 232  
 – Anschluß an Wasserleitung 229  
 Wassersynthese aus Elementen 386  
 Watte 346  
 Weinsäure 341  
 Weinstein 338  
 Wertigkeit, wirksame 217  
 Wofatit 346  
 Wolfram-Osmium-Glühdraht 364  
 Woulffsche Flasche 104 204 210  
 Wunden, Versorgung 415  
  
**Xylen** 337 379 380 409  
  
**Y-Stück** 20  
  
 Zeigerwaage nach Klein 30 151  
 Zellgift 381 f.  
 Zentrifuge 105 210f.  
 Zentrifugenglas 105  
 Zentrifugieren 210f. 278  
 Zer s. Cerium  
 Zerkleinern 214 280f.  
 Zerstäuber 290  
 Zertrümmerungsgerät, für Ampullen 146  
 Ziegelstein 358  
 Ziegelstein-Phosphorsäure-Katalysator 262  
 Zink 335  
 Zink(II)-chlorid 225 335  
 Zink(II)-chlorid-Iodlösung 349 352  
 Zinkoxid 335  
 Zinknitrat 335  
 Zinksalze, Giftigkeit 372  
 Zinksulfat 225 335  
 Zinn 335  
 Zinn(II)-chlorid 335  
 Zinn(IV)-oxid 335  
 Zinnsalze, Giftigkeit 372  
 Zucker-Kaliumchlorat-Schwefelsäure-Zündgemisch 357  
 Zucker, Nachweis 349  
 Zuleitungen, elektrische 38f.  
 Zündgemische 356ff. 376  
 Zündgeschwindigkeit 122f.  
 Zurückströmen, Flüssigkeiten 159 190  
 Zutropfgasentwickler 163f. 165 259f. 308  
 Zweiweghahn 54

## Fotos

DEWAG-Werbung, Berlin (Abb. 160, 161); DEWAG-Werbung, Leipzig (Abb. 39c, 120a, 163, 262a, 262b); Foto-Claus (Abb. 171); Foto-Görtz (Abb. 39a, 39b); Foto-Jarusch, Ilmenau (Abb. 37, 38, 149); Prof. Dr. Dr. Hans Keune, Mühlhausen Thomas-Müntzer-Stadt (Abb. 74, 172); Prof. Dr. Gerhard Meyendorf, Köthen (Abb. 35, 40, 64, 65, 256, 259, 261); Dr. Volker Mirschel, Berlin (Abb. 322); PGH Foto-Zentrum, Leipzig (Abb. 41a, 41b, 42a, 42b, 55, 67, 283); Maximilian Seifert, Berlin (Abb. 22); W. Willecke, Halle (Saale) (Abb. 53, 66, 120b, 162, 169, 181, 192, 204, 338, 339, 344)

Kurzwort: 032140 Chem.Schulexp.Bd.1  
DDR 12,00 M