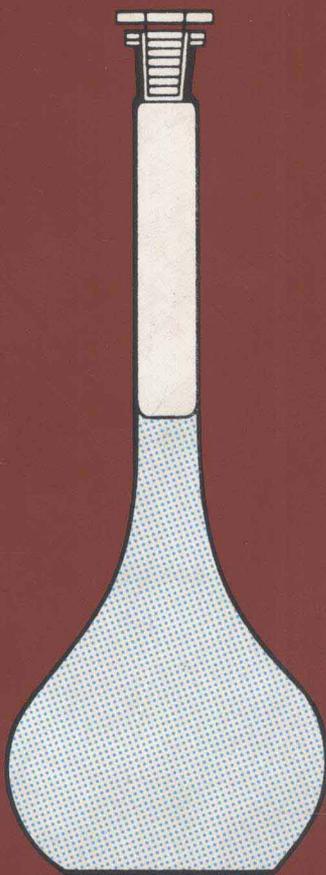


H.H. Rump / H. Krist

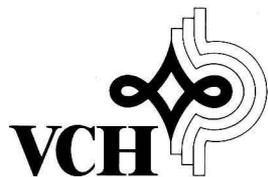
# Laborhandbuch für die Untersuchung von Wasser, Abwasser und Boden



VCH 

H.H. Rump / H. Krist

# Laborhandbuch für die Untersuchung von Wasser, Abwasser und Boden



Dr. Hans Hermann Rump  
Institut Fresenius  
D-6204 Taunusstein

Dipl.-Ing. (FH) H. Krist  
Deutsche Gesellschaft für Technische  
Zusammenarbeit (GTZ) GmbH  
Dag-Hammarskjöld-Weg 1  
D-6236 Eschborn 1

Herausgeber: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH  
Lektorat: Dr. Hans F. Ebel und Christiane Jacob  
Herstellerische Betreuung: Elke Littmann

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek:

**Rump, Hans Hermann:**

Laborhandbuch für die Untersuchung von Wasser,  
Abwasser und Boden / H.H. Rump; H. Krist.  
[Hrsg.: Dt. Ges. für Techn. Zusammenarbeit (GTZ) GmbH]. –  
Weinheim; New York, NY: VCH, 1987  
ISBN 3-527-26580-5  
NE: Krist, Helmut:

© VCH Verlagsgesellschaft mbH, D-6940 Weinheim (Federal Republic of Germany), 1987

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikroverfilmung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, daß diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie nicht eigens als solche markiert sind.

All rights reserved (including those of translation into other languages). No part of this book may be reproduced in any form – by photoprint, microfilm, or any other means – nor transmitted or translated into a machine language without written permission from the publishers. Registered names, trademarks, etc. used in this book, even when not specifically marked as such, are not to be considered unprotected by law.

Druck: betz-druck gmbh, D-6100 Darmstadt  
Bindung: Georg Kränkl, D-6148 Heppenheim  
Printed in the Federal Republic of Germany

Rump / Krist

# Laborhandbuch für die Untersuchung von Wasser, Abwasser und Boden



© VCH Verlagsgesellschaft mbH, D-6940 Weinheim (Federal Republic of Germany), 1987

Vertrieb:

VCH Verlagsgesellschaft, Postfach 12 60/12 80, D-6940 Weinheim (Federal Republic of Germany)

USA und Canada: VCH Publishers, Suite 909, 220 East 23rd Street, New York NY 10010-4606 (USA)

ISBN 3-527-26580-5

## Geleitwort

Der steigende Wasserbedarf für Haushalte, Landwirtschaft und Industrie belastet zunehmend in nahezu allen Ländern den Naturhaushalt. Neben den Problemen der Lieferung ausreichender Mengen steht gleichwertig die Schwierigkeit, Wasser einer akzeptablen Qualität bereitzustellen.

Innerhalb der dritten Phase des Internationalen Hydrologischen Programms (1984–1989) sowie der Dekade für Trinkwasserversorgung und Sanitärmaßnahmen (1981–1990) der Vereinten Nationen sind Fragen der Erschließung und Verteilung von Trink- und Brauchwasser sowie die Entsorgung in ihrer Bedeutung insbesondere für die Länder der Dritten Welt in den Vordergrund getreten.

Wesentlich für ein abgestimmtes und angepaßtes Vorgehen auf den genannten Gebieten ist rascher Zugriff auf bestimmte Informationen und die Vermittlung des Wissens über neue Arbeitsmethoden und Erfahrungen, die den vielseitigen praktischen Anforderungen genügen.

Die Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH ist bereits seit einigen Jahren diesem Informations- und Fortbildungsbedürfnis auf dem Wasserver- und Abwasserentsorgungssektor nachgekommen, indem sie gezielt Publikationen für prioritäre Wissensgebiete in Auftrag gegeben hat. Sie umfassen die Technologie des Trinkwassers und des Abwassers, die Kanalisation, die industrielle Abwasserbehandlung und die Praxis der Wasseranalytik.

Mit der vorliegenden Ausarbeitung soll ein Beitrag geleistet werden, die auf den Gebieten der Wasseruntersuchung und Wassergütebeurteilung tätigen Fachleute zu unterstützen, wobei bewährte einfachere Analyseverfahren herausgestellt werden. Im Vordergrund stehen Arbeitsmethoden zur Qualitätskontrolle, zur Probenahme und zur Bewertung von Untersuchungsergebnissen. Die Publikation ist vor allem für aus- und fortzubildende Fachkräfte und Entwicklungshilfe-Fachkräfte gedacht.

Die GTZ verbindet mit dem Dank an die Autoren die Hoffnung auf eine weitere Verbreitung des „Laborhandbuchs“ in Ausbildung und Praxis.

Eschborn,  
im Januar 1987

Dr.-Ing. K. Erbel  
Leiter Abteilung Wasserbau, Wasserwirtschaft  
GTZ

## Vorwort

Mit dem vorliegenden Laborhandbuch soll den bereits auf dem Markt befindlichen Anleitungen zur Untersuchung von Wasser, Abwasser und Boden keine weitere, gleichartige hinzugefügt werden. Nach Ansicht der Autoren besteht jedoch durchaus Bedarf an einer zusammenfassenden Darstellung von einfacheren, robusten chemischen, mikrobiologischen und bodenkundlichen Labormethoden, die vor allem von praxisorientierten Betriebslaboratorien verwendet werden können. Auf gerätetechnisch komplizierte Arbeitsmethoden wird bewußt verzichtet, während bodenkundliche Methoden nur in solchem Umfang dargestellt werden, als ihre Durchführung in einem einfach bis normal ausgestatteten Betriebslabor für Wasseruntersuchungen möglich ist. Hierbei steht der Bezug zu Bewässerungsfragen und zum Gewässerschutz im Vordergrund.

Erfahrungen mit entsprechenden Auslandsprojekten zeigten, daß reine Methodensammlungen die Bedürfnisse der Fachkräfte vor Ort nicht zu befriedigen vermögen. Leiter von Laboreinrichtungen und deren Mitarbeiter sind oft gehalten, die Ergebnisse ihrer Untersuchungen im Hinblick auf vorgegebene Grenzwerte oder technische Anforderungen zu beurteilen. Die notwendigen Beurteilungskriterien finden sich weit verstreut in nationalen Verordnungen, technisch/wissenschaftlichen Empfehlungen oder Normenverfahren. Aus diesem Grund wendet sich ein Abschnitt des Buches ausschließlich der Beurteilung von Untersuchungsergebnissen zu.

In vielen Laboratorien werden Analysen erarbeitet, deren Qualität nicht immer zu befriedigen vermögen. Zudem ist oft festzustellen, daß die Rückkopplung zwischen den Untersuchungsergebnissen des Labors und der technischen Praxis im Bereich Wasser, Abwasser und Boden nicht stark genug ist. „Zahlenfriedhöfe“ sind die Folge einer derartigen Arbeitsweise. Um hier Möglichkeiten zur Behebung derartiger Schwierigkeiten aufzuzeigen, wird ebenso ausführlich auf Probleme der Laborqualitätskontrolle eingegangen wie auf Möglichkeiten der Datenauswertung und -dokumentation.

Weiterhin werden die Anforderungen an Untersuchungsverfahren bei der Beurteilung von Grundwasser, Oberflächenwasser, Trinkwasser und Boden diskutiert, um bereits bei der Planung von Meßprogrammen die wesentlichen Untersuchungsparameter zu berücksichtigen. Anleitungen zur Organisation von Probenahme-Programmen und zur Technik der Probenahme werden in einem gemeinsamen Kapitel ausführlich dargestellt, da erfahrungsgemäß fehlerhaftes Arbeiten auf diesen Gebieten nicht durch eine noch so gute Laborarbeit korrigiert werden kann.

Schließlich wird eingegangen auf Fragen der Sicherheit im Labor, wesentliche Voraussetzung für alle Arbeiten mit gefährlichen Stoffen und Geräten.

Folgende Hinweise sind für den Benutzer des Buches von Bedeutung:

- Vorkenntnisse in praktischer Laborarbeit werden vorausgesetzt, so daß die meisten Methoden in gestraffter Form dargestellt werden können. Andererseits sind die Anweisungen zur Verwendung der Laborgeräte und Reagenzien nach Meinung der Autoren so ausführlich gehalten, daß auf schwer zugängliche Spezialarbeiten verzichtet werden kann.
- Summenformeln von chemischen Substanzen sind nur dort zusätzlich aufgenommen worden, wo die Stoffbezeichnung allein nicht eindeutig ist.
- Chemikalien sind in der Regel in der Qualität „analysenrein“ einzusetzen.
- Für die Herstellung flüssiger Reagenzien ist demineralisiertes Wasser zu verwenden, sofern nicht andere Angaben gemacht werden.

– Auf die Ableitung von Gleichungen und auf ihre mathematisch exakte Formulierung wurde in der Regel zugunsten der Übersichtlichkeit verzichtet.

Die Autoren danken all den Kollegen und Mitarbeitern, die bei der Fertigstellung dieses Buches ihren fachlichen Rat zur Verfügung gestellt haben, insbesondere Frau Dr. H. Krutz und den Herren Dr. R. Fuhr, Dr. K. Herklotz und Dipl.-Geoök. N. Simmleit, sowie Frau A. Wagner für die sorgfältige Reinschrift.

Taunusstein und Eschborn  
im September 1986

H.H. Rump  
H. Krist

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Sicherheit im Labor</b>	<b>1</b>
1.1	Grundregeln zur Laborsicherheit	1
1.2	Handhabung von Chemikalien	2
1.3	Brandgefahr und Brandverhütung	5
1.4	Elektrische Spannung	7
1.5	Erste Hilfe bei Unfällen	8
1.6	Beseitigung gefährlicher Laborabfälle	9
<b>2</b>	<b>Qualitätskontrolle</b>	<b>11</b>
2.1	Allgemeines	11
2.2	Statistische Verfahren	13
2.2.1	Grundlagen	13
2.2.2	Vorbereitende Qualitätskontrolle	21
2.2.3	Routine-Qualitätskontrolle	24
2.3	Dokumentation von Untersuchungsergebnissen	26
<b>3</b>	<b>Anforderungen an die Untersuchungsverfahren</b>	<b>31</b>
3.1	Grundwasser	33
3.2	Oberflächenwasser	37
3.3	Trinkwasser	40
3.4	Abwasser	42
3.5	Boden	45
<b>4</b>	<b>Organisation von Probenahmeprogrammen und Technik der Probenahme</b>	<b>50</b>
4.1	Allgemeines	50
4.2	Einrichtung von Meßnetzen	52
4.3	Ermittlung von Wassermengen	56
4.4	Probenahmegeräte	61
4.5	Konservierung, Transport und Lagerung von Proben	64
4.6	Durchführung von Probenahmen	66
4.6.1	Grundwasser	66
4.6.2	Oberflächenwasser	67
4.6.3	Trinkwasser	68
4.6.4	Abwasser	68
4.6.5	Boden	68
<b>5</b>	<b>Örtliche Messungen</b>	<b>70</b>
5.1	Check-Liste	70
5.2	Parameter	70
5.2.1	Organoleptische Prüfungen	70
5.2.2	Temperatur	72
5.2.3	Absetzbare Stoffe	73
5.2.4	pH-Wert	74

5.2.5	Redoxspannung . . . . .	76
5.2.6	Elektrische Leitfähigkeit . . . . .	77
5.2.7	Sauerstoff . . . . .	78
5.2.8	Chlor . . . . .	81
5.2.9	Säurekapazität . . . . .	85
5.2.10	Basenkapazität . . . . .	87
5.2.11	Kalkaggressivität . . . . .	89
<b>6</b>	<b>Labormessungen . . . . .</b>	<b>91</b>
6.1	Probenvorbereitung . . . . .	91
6.1.1	Wasser und Abwasserproben . . . . .	91
6.1.2	Bodenproben . . . . .	91
6.2	Analysenmethoden . . . . .	94
6.2.1	Chemische Analysenmethoden . . . . .	94
6.2.1.1	Ammonium . . . . .	94
6.2.1.2	Biochemischer Sauerstoffbedarf . . . . .	96
6.2.1.3	Bor . . . . .	99
6.2.1.4	Calcium und Magnesium . . . . .	100
6.2.1.5	Chemischer Sauerstoffbedarf . . . . .	103
6.2.1.6	Chlorid . . . . .	107
6.2.1.7	Cyanide . . . . .	109
6.2.1.8	Eisen . . . . .	113
6.2.1.9	Gelöste und ungelöste Stoffe . . . . .	116
6.2.1.10	Kalium . . . . .	119
6.2.1.11	Kieselsäure . . . . .	121
6.2.1.12	Kjeldahl-Stickstoff . . . . .	123
6.2.1.13	Kupfer . . . . .	125
6.2.1.14	Mangan . . . . .	126
6.2.1.15	Natrium . . . . .	129
6.2.1.16	Nitrat . . . . .	130
6.2.1.17	Nitrit . . . . .	132
6.2.1.18	Öle und Fette . . . . .	133
6.2.1.19	Phenol-Index . . . . .	135
6.2.1.20	Phosphor-Verbindungen . . . . .	138
6.2.1.21	Sulfat . . . . .	141
6.2.1.22	Tenside . . . . .	144
6.2.1.23	Zink . . . . .	147
6.2.2	Mikrobiologische Analysenmethoden . . . . .	148
6.2.2.1	Entnahme, Transport und Aufbewahrung von Wasserproben zur mikro- biologisch-hygienischen Untersuchung . . . . .	149
6.2.2.2	Technische Voraussetzungen für die mikrobiologisch-hygienische Wasseruntersuchung . . . . .	150
6.2.2.3	Durchführung der mikrobiologischen Wasseruntersuchung . . . . .	151
6.2.2.3.1	Gesamtkeimzahl . . . . .	151
6.2.2.3.2	Escherichia coli und coliforme Keime . . . . .	153
6.2.2.3.3	Weitere hygienisch bedeutsame Mikroorganismen im Wasser . . . . .	158
6.2.2.4	Herstellung von Nährlösungen und Nährböden . . . . .	160
6.2.3	Bodenkundliche Analysenmethoden . . . . .	165

---

6.2.3.1	Korngröße . . . . .	165
6.2.3.2	Hydrolytische Acidität (H-Wert) . . . . .	167
6.2.3.3	Austauschbare basische Stoffe (S-Wert) . . . . .	168
6.2.3.4	Austauschkapazität . . . . .	169
6.2.3.5	Carbonatgehalt . . . . .	169
6.2.3.6	SAR-Wert (Natriumaustauschverhältnis) . . . . .	171
<b>7</b>	<b>Beurteilung von Untersuchungsergebnissen</b> . . . . .	<b>173</b>
7.1	Grundwasser . . . . .	173
7.2	Oberflächenwasser . . . . .	173
7.3	Trinkwasser . . . . .	176
7.4	Wasser für Bauzwecke . . . . .	184
7.5	Wasser für Berechnungszwecke . . . . .	185
7.6	Abwasser . . . . .	188
7.7	Boden . . . . .	190
<b>Literatur</b>	. . . . .	<b>193</b>
<b>Anhang</b>		
	Tafeln der Signifikanzgrenzen statistischer Tests . . . . .	195
	BASIC-Rechenprogramme . . . . .	199
<b>Register</b>	. . . . .	<b>203</b>

## 1. Sicherheit im Labor

Bei Arbeiten in chemischen Laboratorien sind Unfallgefahren nicht absolut auszuschließen. Um die auftretenden Risiken jedoch auf ein Minimum herabzusetzen, ist chemisches und physikalisches Fachwissen erforderlich. Hinzu kommen sollte die fundierte Kenntnis von Sicherheitsvorschriften für Labor und Betrieb. Der folgende Abschnitt erleichtert den Einstieg in die Beschäftigung mit derartigen Vorschriften. Besonders Anfänger und Ungeübte sollten daher die nachfolgenden Seiten intensiv durcharbeiten.

Charakteristische Gefahren im chemischen Labor liegen in der

- Verwendung gesundheitsschädlicher, brennbarer und explosibler Stoffe,
- Anwendung hoher Drucke und Temperaturen,
- Nutzung elektrischer Energie.

Die Ursachen spezifischer Unfälle im chemischen Arbeitsbereich sind demzufolge:

Vergiftungen; Brände und Explosionen durch den Umgang mit brennbaren Gasen, Dämpfen oder Feststoffen; die Berührung glühender Stoffe, heißer Flüssigkeiten, Säuren und Alkalien; die Explosion von unter Druck stehenden Behältern; die Einwirkung des elektrischen Stromes.

Als grundsätzliche Regel des Unfallschutzes ist zu beachten:

**Sei nie unaufmerksam,  
leichtsinnig oder nachlässig.**

### 1.1 Grundregeln zur Laborsicherheit

Der Umgang mit Laborchemikalien und -gerätschaften wird gefahrloser bei Einhaltung folgender Regeln:

- Bei der Handhabung gefährlicher Arbeitsstoffe und Geräte sollte nur qualifiziertes Personal eingesetzt werden.

- Bei allen Arbeiten ist eine Schutzbrille zu tragen; darüber hinaus müssen, wenn notwendig, Schutzhandschuhe und weitere Schutzkleidung getragen werden.
- Alle Arbeiten sind in gut belüfteten Räumen durchzuführen; beim Auftreten gefährlicher gas- oder dampfförmiger Stoffe muß ein gut ziehender Abzug benutzt werden.
- Chemikalien sollten nicht mit Augen, Schleimhäuten und der Haut in Berührung kommen.
- Verätzte Augen müssen sofort im Liegen mit viel Wasser oder mit speziellen Augenduschen gespült werden.
- Spritzer von flüssigen, gefährlichen Stoffen auf der Haut werden zunächst mit einem trockenen Lappen entfernt und dann längere Zeit mit kaltem Wasser abgespült. Danach wird die Hautstelle mit warmem Wasser und Seife gereinigt.
- Mit ätzenden Stoffen benetzte Kleidung ist sofort abzulegen.

## 1.2 Handhabung von Chemikalien

Viele Chemikalien können für den Menschen eine Gefahr darstellen. Sie können giftig, gesundheitsschädlich, ätzend, reizend, brandfördernd oder leichtentzündlich sein.

Verwendung: Gefährliche Chemikalien dürfen nicht in leicht zerbrechlichen Gefäßen von mehr als 5 Liter Inhalt gehandhabt werden. Ausnahmen sind nur zulässig bei besonderen Schutzmaßnahmen wie Auffangwannen in Kombination mit Lösch- und Absorptionsmitteln.

Bei den in diesem Laborhandbuch angesprochenen analytischen Untersuchungsmethoden sind an den entsprechenden Stellen Hinweise auf besondere Gefahren angebracht (vgl. Abb. 1).

Transport: Zerbrechliche Gefäße dürfen nicht allein am Gefäßhals getragen, sondern müssen am Boden unterstützt werden. Beim Transport über längere Strecken muß ein sicheres Halten und Tragen möglich sein, z.B. in Eimern oder Holzkästen. Bei der Entnahme von Gefäßen aus gekühlten Räumen ist auf Rutschgefahr durch die Kondensation von Wasser hinzuweisen.



Sehr giftige Stoffe



Leicht entzündliche Stoffe



Explosionsgefährliche Stoffe



Ätzende Stoffe

**Abb. 1:** Gefahrensymbole  
in der chemischen Industrie

Aufbewahrung: Allgemein sind Laborchemikalien kühl und trocken aufzubewahren. Größere Mengen gefährlicher Chemikalien sollten niemals in den Labs selbst, sondern in einem vorschriftsmäßig angelegtem Chemikalien-Lager aufbewahrt werden. Explosive und brandfördernde Stoffe müssen unbedingt getrennt gelagert werden. Besonders kühle Lagerung empfiehlt sich für folgende Stoffe:

- Brennbare Gase in Druckdosen,
- Flüssigkeiten, deren Siedetemperaturen bei ungünstigen Lagerbedingungen erreicht werden, wie z.B. Aceton, Diethylether, Pentan, Hexan, Petrolether, Schwefelkohlenstoff, Dichlormethan.

Die folgenden Stoffe sollten möglichst in einem abschließbaren Raum oder Schrank gelagert werden:

● Stoffe mit besonderen Gefahrensymbolen auf den Gefäßen wie:

Cyanide,  
 Quecksilber und Quecksilberverbindungen,  
 Arsen und seine Verbindungen,  
 Alkalimetalle,  
 Thalliumverbindungen,  
 Uranverbindungen,  
 Phosphor,  
 Pestizide.

In gut belüfteten Räumen müssen gelagert werden:

● Chemikalien, die ätzende Dämpfe abgeben wie:

Flußsäure,  
 Brom,  
 Salpetersäure,  
 Salzsäure,  
 Ammoniakwasser.

Die folgenden Stoffe müssen getrennt von bestimmten anderen Stoffen gelagert werden (Tab. 1):

**Tab. 1:** Chemische Stoffe, die getrennt von anderen Stoffen zu lagern sind.

Stoff	zu trennen von
Aktivkohle	Oxidationsmitteln, Calciumhypochlorit
Alkalimetalle	Wasser, Kohlendioxid, Chlorkohlenwasserstoffe, Halogene
Ammoniakgas	Quecksilber, Halogene
Ammoniumnitrat	Säuren, Metallpulver, brennbare Flüssigkeiten, Schwefel, fein verteilte organische Substanzen
Brennbare Flüssigkeiten	Oxidationsmitteln wie Ammoniumnitrat, Chrom(VI)-oxid, Salpetersäure, Natriumperoxid, Halogene
Chlorate	Ammoniumsalze, Säuren, Metallpulver, Schwefel, fein verteilte organische Stoffe
Chrom(VI)-oxid	brennbare Flüssigkeiten
Cyanide	Säuren
Flußsäure	Ammoniak
Kaliumpermanganat	Glycerin, Ethylenglycol, Schwefelsäure
Kupfer	Acetylen, Wasserstoffperoxid
Natriumperoxid	brennbare Flüssigkeiten
Oxalsäure	Silber, Quecksilber
Perchlorsäure	Alkohole, Papier, Holz, Essigsäureanhydrid, Bismut und seine Legierungen
Phosphor	Schwefel, Chlorate
Quecksilber	Acetylen, Ammoniak
Salpetersäure konz.	Essigsäure, Chrom(VI)-oxid, Schwefelwasserstoff, brennbare Flüssigkeiten und Gase
Schwefelsäure konz.	Kaliumchlorat, Kaliumperchlorat, Kaliumpermanganat
Silber	Acetylen, Oxalsäure, Weinsäure, Ammoniumverbindungen
Wasserstoffperoxid	Metalle und Metallsalze, organische Substanzen

### 1.3 Brandgefahr und Brandverhütung

Für die Entstehung von Bränden sind folgende Voraussetzungen notwendig (vgl. Abb. 2):

- Brennbare Materialien (Feststoffe, Gase, Dämpfe),
- Sauerstoff, Luft ( $w(\text{O}_2)$  ca. 21 %),
- Wärme (Flamme, Funke, Heizdraht, Heizplatte)

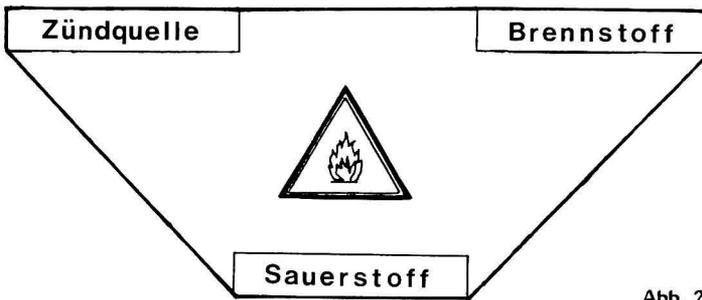


Abb. 2: Brandgefahr, schematisch.

Für die Entzündung von Flüssigkeiten muß einmal die Temperatur oberhalb des "Flammpunktes" liegen und die dabei auftretenden Dämpfe über die "Zündtemperatur" erhitzt werden. Beide Werte sind stoffspezifisch. Der Flammpunkt einer brennbaren Flüssigkeit ist die niedrigste Temperatur, bei der sich aus der Flüssigkeit unter festgelegten Bedingungen ein Dampf/Luft-Gemisch bildet, das durch Fremdzündung entflammbar ist. Die Zündtemperatur ist die niedrigste Temperatur in einer vorgegebenen Versuchsanordnung, bei der sich der brennbare Stoff bei Normaldruck selbst entzündet.

Die Kennwerte für Flammpunkt und Zündpunkt müssen Tabellenwerken (vgl. Literaturliste) entnommen werden. Stoffe mit einem Flammpunkt unter 21 °C und daher besonderer Entzündungsgefahr sind z.B.:

- nicht mit Wasser mischbar:

Benzin, Benzol, Diethylether, Schwefelkohlenstoff, Ethylacetat, Toluol;

- mit Wasser mischbar:

Methanol, Ethanol, Propanol, Isopropanol, Pyridin, Aceton, Tetrahydrofuran.

Stoffe mit einem Flammpunkt von 21 bis 55 °C:

Butanol, Butylacetat, Chlorbenzol, Amylalkohol, Essigsäureanhydrid, Xylol.

Stoffe mit einem Flammpunkt zwischen 55 und 100 °C:

Dichlorbenzol, Kresole, Heizöl, Nitrobenzol, Phenol, Paraffinöl.

Zur Aufbewahrung dieser Stoffe vergleiche Abschn. 1.2.

Gemische von brennbaren Stoffen mit Luft sind nicht in jedem Mischungsverhältnis zündbar. Zündfähige Gemische werden durch die untere und obere Explosionsgrenze, angegeben in Volumenanteilen (%) oder  $\text{g/m}^3$ , charakterisiert (vgl. Literaturliste).

Regeln für die Verhütung von Bränden:

- größte Vorsicht beim Erhitzen von mehr als 50 mL brennbarer Flüssigkeit in Apparaturen
- Die Ausbreitung von brennbaren Dämpfen ist unbedingt zu vermeiden. Dämpfe sind oft schwerer als Luft und können sich über mehrere Meter ausbreiten. Zündquellen, auch entferntere und versteckte (Brenner, Heizhauben), sind zu entfernen.
- Elektrostatische Aufladungen können Brände durch Funkenentladung hervorrufen. Aufladungen können beim Befüllen von Glas- oder Kunststoffgefäßen mit nichtleitenden Flüssigkeiten (z.B. Aceton, Ether, Schwefelkohlenstoff, Toluol) entstehen. Daher sollen Flüssigkeiten langsam ausgegossen werden (nicht im freien Fall). Hierbei ist möglichst ein Trichter zu verwenden, der bis auf den Gefäßboden reicht. Leitfähige Gefäße sind untereinander leitend zu verbinden, gleichfalls Gefäße und Gerätschaften, die entweder nur leitfähig oder nur nichtleitfähig sind.
- Keine leicht entzündbaren Flüssigkeiten im Kühlschrank aufbewahren, da eine Zündung von Dämpfen durch Funken (Beleuchtung, Thermostat) möglich ist.
- Bei der Destillation sind Siedeverzüge durch die Verwendung von Siedesteinchen bzw. Kapillaren (bei Vakuumdestillationen) zu verhindern.

Schutzeinrichtungen und Löschgerät:

- Fluchtwege einrichten, markieren und offen halten. Ein zweiter Laborausgang muß vorhanden sein,
- Feuermelder installieren, Notruf am Telefon anbringen,
- mindestens eine Sicherheitsdusche pro Laborraum vorsehen,
- Löschdecke bereit halten,
- Löschsand im Eimer bereit stellen,
- fahrbare Kohlendioxid-Löscheinrichtung bzw. Handfeuerlöscher verschiedener Art ( $\text{CO}_2$ , Pulver) vorsehen.
- regelmäßige Brandübungen durchführen.