

aprentas
Hrsg.

Laborpraxis Band 1: Einführung, Allgemeine Methoden

6. Auflage

 Springer

Laborpraxis Band 1: Einführung, Allgemeine Methoden

aprentas
Herausgeber

Laborpraxis

Band 1: Einführung, Allgemeine Methoden

6. Auflage

 Springer

Herausgeber
aprentas
Muttenz, Schweiz

ISBN 978-3-0348-0965-8 ISBN 978-3-0348-0966-5 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-0348-0966-5

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

1. Aufl. © Birkhäuser Basel 1977, 2. Aufl. © Birkhäuser Basel 1983, 3. Aufl. © Birkhäuser Basel 1987, 4. Aufl. © Birkhäuser Basel 1990, 5. Aufl. © Birkhäuser Basel 1996

© Springer International Publishing Switzerland 2017

Mit freundlicher Genehmigung von aprentas

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Springer ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer International Publishing AG Switzerland

Vorwort zur 6. Auflage

Die LABORPRAXIS hat sich seit ersten Anfängen Mitte der Siebzigerjahre des letzten Jahrhunderts immer grösserer Beliebtheit bei der Ausbildung von Laborpraktikern in chemischen Labors erfreut. Ursprünglich war sie als Lehrmittel zur Laborantenausbildung in der Werkschule der Firma Ciba-Geigy AG konzipiert. Sie gilt heutzutage vielerorts als Standardwerk für die grundlegende praktische Arbeit im chemisch-pharmazeutischen Labor. Als Nachfolgeinstitution der Werkschule Ciba-Geigy AG gibt der Ausbildungsverbund aprentas die LABORPRAXIS in der 6. völlig neu überarbeiteten Auflage heraus.

Die vierbändige LABORPRAXIS mit Schwerpunkten bezüglich organischer Synthesemethoden, Chromatographie und Spektroskopie, dient Berufseinsteigern als sehr breit angelegtes Lehrmittel und erfahrenen Fachkräften als Nachschlagewerk mit übersichtlich dargestellten theoretischen Grundlagen und konkreten, erprobten Anwendungsideen.

Die theoretischen Grundlagen für jedes Kapitel sind für Personen mit allgemeiner Vorbildung verständlich abgefasst. Sie zeigen theoretische Hintergründe von praktischen Arbeiten auf und erläutern Gerätefunktionen. Zu jedem Kapitel gibt es Hinweise auf vertiefende und weiterführende Literatur. Arbeitssicherheit und -hygiene sowie die zwölf Prinzipien der nachhaltigen Chemie finden neben den entsprechenden Kapiteln in der ganzen LABORPRAXIS Beachtung. Die im Buch erwähnten praktischen, theoretischen und rechtlichen Grundlagen gründen auf Gegebenheiten bei Kunden von aprentas aus der chemisch-pharmazeutischen Industrie in der Schweiz, haben aber meist allgemeine Gültigkeit. Wenn spezifisch schweizerische Gegebenheiten vorkommen, ist das ausdrücklich erwähnt. Die LABORPRAXIS findet zudem Anwendung in Labors von verwandten Arbeitsgebieten wie biochemischen, klinischen, werkstoffkundlichen oder universitären Einrichtungen.

Die LABORPRAXIS eignet sich für den Einsatz in der Grund- und in der Weiterbildung von Fachpersonal. Der Inhalt entspricht den aktuellen Anforderungen der Bildungsverordnung und des Bildungsplanes zum Beruf Laborantin/Laborant mit eidgenössischem Fähigkeitszeugnis (EFZ), welche vom Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation (SBFI) in Bern verordnet wurden.

Inhaltsübersicht

Inhaltsübersicht Band 1

■ **Das Chemische Labor**

Grundeinrichtungen, Aufbewahren von Chemikalien, Gefässe für die Aufbewahrung von Chemikalien, Handhabung von Chemikalien, Laborunterhalt, Betrieb bei Abwesenheit der Mitarbeitenden

■ **Arbeitsicherheit und Gesundheitsschutz**

Organisation Sicherheit, Gefährdungsbeurteilung im Umgang mit Gefahrstoffen, Generelle Bestimmungen, Spezifische Bestimmungen, Technische Schutzmassnahmen und deren Prüfung

■ **Umgang mit Abfällen und Emissionen**

Gesetzliche Grundlagen, Reduzieren, Rezyklieren, Ersetzen, Grüne Chemie, Entsorgen, Spezielle Chemikalien entsorgen, Übersicht über ausgewählte Stoffklassen

■ **Werkstoffe im Labor**

Metallische Werkstoffe, Nichtmetallische Werkstoffe, Kunststoffe

■ **Protokollführung, Wort- und Zeichenerklärungen**

Grundsätzlicher Aufbau eines Protokolls, GLP- ISO 9001- und Akkreditierungs-Grundsätze für Protokolle, Sicherung der im Labor erarbeiteten Erkenntnisse, Häufig angewandte Terminologie, Fachliteratur

■ **Bewerten von Mess- und Analyseergebnissen**

Einleitung, Begriffe, Fehlerarten, Zusammenhang der Fehlerarten, Statistische Messgrössen, Praktische Anwendungsbeispiele von Messgrössen

■ **Apparaturenbaufür organische Synthesen**

Grundlagen, Schliffverbindungen, Versuchsapparaturen

■ **Zerkleinern, Mischen, Rühren**

Theoretische Grundlagen, Übersicht: Homogene und heterogene Systeme, Zerkleinern und Mischen von Feststoffen, Korngrösse, Rühren von Flüssigkeiten, Mischen von Flüssigkeiten

■ **Lösen**

Theoretische Grundlagen, Lösemittel, Herstellen von Lösungen in der Praxis, Physikalisches Verhalten von Lösungen

■ **Heizen und Kühlen**

Physikalische Grundlagen Heizen und Kühlen, Heizmittel und Heizgeräte, Temperaturregelgeräte, Wärmeübertragungsmittel, Heizmedien, Allgemeine Grundlagen Kühlen, Wärmeübertragungsmittel, Kühlmedien, Kühlgeräte, Spezielle Kühlmethoden, Hilfsmittel

■ **Heizen mit Mikrowellen**

Einsatzgebiete, Energieübertragung, Permittivität (ϵ), dielektrische Leitfähigkeit, Verlustfaktor ($\tan \delta$) und Dissipationsfaktor, Die Mikrowelle, Wärmeübertragung, Sicherheit

■ **Arbeiten mit Vakuum**

Physikalische Grundlagen, Pumpen zum Erzeugen von vermindertem Druck, Pumpenstände und Peripheriegeräte

■ **Arbeiten mit Gasen**

Physikalische Grundlagen, Technisch hergestellte Gase, Umgang mit Gasen, Gaskenndaten

Inhaltsübersicht Band 2

■ **Wägen**

Physikalische Grundlagen, Allgemeine Grundlagen, Waagen

■ **Volumenmessen**

Physikalische Grundlagen, Allgemeine Grundlagen, Volumenmessgeräte in der Praxis, Volumenmessen im Mikrobereich, Hilfsmittel

■ **Dichtebestimmung**

Physikalische Grundlagen, Dichtebestimmung von Flüssigkeiten

■ **Temperaturmessen**

Allgemein, Temperaturskalen, Laborübliche Temperaturmessgeräte, Flüssigkeitsausdehnungsthermometer, Elektrische Temperaturmessfühler, Metallausdehnungsthermometer, Wärmestrahlungsmessgeräte

■ **Thermische Kennzahlen**

Die Aggregatzustände, Aggregatzustandsübergänge

■ **Schmelzpunktbestimmung**

Grundlagen, Anwendung in der Praxis, Ablauf und Dokumentation, Praktische Durchführung, Geräte

■ **Erstarrungspunktbestimmung**

Grundlagen, Bestimmung nach Pharmacopoea (Ph.Helv.VI)

■ **Siedepunktbestimmung**

Grundlagen, Siedepunktbestimmung

■ **Druck- und Durchflussmessung von Gasen**

Grundlagen, Mechanische Manometer, Elektronische Manometer, Anzeige- und Messgeräte für Gasdurchfluss

Inhaltsübersicht

■ Bestimmen der Refraktion

Physikalische Grundlagen, Refraktometer, Messen im durchfallenden Licht von klaren, farblosen Flüssigkeiten, Messen im reflektierten Licht, Elektronische Refraktometer

■ pH-Messen

Theoretische Grundlagen, Säuren und Basen, Der pH-Wert, Puffer, Visuelle pH-Messung, Elektrometrische Messung

Inhaltsübersicht Band 3

■ Filtrieren

Allgemeine Grundlagen, Filtrationsmethoden, Filterarten, Filterhilfsmittel, Filtermaterialien, Filtrationsgeräte, Filtration bei Normaldruck, Filtration bei vermindertem Druck, Filtration mit Überdruck, Filtration mit Filterhilfsmitteln, Arbeiten mit Membranfiltern

■ Trocknen

Feuchtigkeitsformen, Trockenmittel, Trocknen von Feststoffen, Trocknen von Flüssigkeiten, Trocknen von Gasen, Spezielle Techniken

■ Extrahieren

Allgemeine Grundlagen, Extraktionsmittel, Löslichkeit, Verteilungsprinzip, Extraktionsmethoden, Endpunktkontrolle, Extrahieren von Extraktionsgutlösungen in Portionen, Extrahieren mit spezifisch leichteren Extraktionsmitteln nach dem Drei-Scheidetrichterverfahren, Extrahieren mit spezifisch schwereren Extraktionsmittel nach dem Drei-Scheidetrichterverfahren, Kontinuierliches Extrahieren von Extraktionsgut-Lösungen, Kontinuierliches Extrahieren von Feststoffgemischen

■ Umfällen

Theoretische Grundlagen, Allgemeine Grundlagen, Durchführung einer Umfällung

■ Chemisch-physikalische Trennung

Allgemeine Grundlagen, Trennen durch Extraktion, Trennen durch Wasserdampfdestillation

■ Umkristallisation

Physikalische Grundlagen, Allgemeine Grundlagen, Praktische Durchführung einer Umkristallisation, Alternative Umkristallisationsmethoden

■ Destillation, Grundlagen

Allgemeine Grundlagen, Siedeverhalten von binären Gemischen, Durchführen einer Destillation

■ Gleichstromdestillation

Allgemeine Grundlagen, Destillation von Flüssigkeiten bei Normaldruck, Destillation von Flüssigkeiten bei vermindertem Druck

■ **Abdestillieren**

Der Rotationsverdampfer, Abdestillieren

■ **Gegenstromdestillation**

Allgemeine Grundlagen, Destillationskolonnen, Rektifikation ohne Kolonnenkopf, Rektifikation mit Kolonnenkopf

■ **Destillation azeotroper Gemischen**

Maximumazeotrop-Destillation, Minimumazeotrop-Destillation, Wasserdampfdestillation

■ **Spezielle Destillationen**

Destillation unter Inertgas, Abdestillieren aus dem Reaktionsgefäß, Destillation unter Feuchtigkeitsausschluss, Kugelrohrdestillation

■ **Sublimieren**

Physikalische Grundlagen, Sublimationsapparatur, Lyophilisationsapparatur

■ **Zentrifugieren**

Physikalische Grundlagen, Laborzentrifugen

■ **Chromatographie Grundlagen**

Einleitung, Die chromatographische Trennung, Begriffe und Erklärungen, Physikalische und chemische Effekte, Trennmechanismen, Stationäre Phasen, Entstehung und Verbreiterung von Peaks, Mobile Phasen, Chromatogramm, Kenngrößen, Integration von Chromatogrammen, Nachweisgrenze und Bestimmungsgrenze, Quantifizierungsmethoden

■ **Dünnschichtchromatographie DC**

Einsatzbereich, Dünnschichtplatten, Probelösung und Probenauftragung, Eluiermittel, Entwicklung der DC-Platte, Lokalisierung der Analyten auf der DC-Platte, Auswertung von verschiedenen DC-Anwendungen, Interpretation von DC-Anwendungen, Dokumentation, Spezielle DC-Techniken, Präparative Dünnschichtchromatographie

■ **Flash-Chromatographie**

Mobile Phase, Stationäre Phase, Manuelle Flash-Chromatographie, Instrumentelle Flash-Chromatographie

■ **Flüssigchromatographie, HPLC**

Reversed Phase HPLC, Aufbau HPLC Anlagen, HPLC Pumpen, Einlasssystem bei der HPLC, Detektion in der HPLC, Mobile Phasen, Stationäre Phasen, Trennsysteme, Probenvorbereitung, Behebung von Fehlern, Tipps und Tricks rund um die Basislinie, Tipps rund um die Retentionszeit, Tipps und Tricks rund um den Druck, Wenn Lecks auftreten

■ **Gaschromatographie, GC**

Einleitung, Der Aufbau einer GC Anlage, Trägergasquelle, mobile Phase, Injektor, Einlasssystem, Trennsäule, stationäre Phase, Säulenofen, Detektoren, Auswertung, Probenvorbereitung, GC Troubleshooting

Inhaltsübersicht Band 4

■ Nachweis von Ionen in Lösungen

Allgemeine Grundlagen, Kationen, Anionen, Zusammenfassung des praktischen Vorgehens

■ Organisch-quantitative Elementaranalyse

Bestimmung von Stickstoff nach Kjeldahl, Weitere Aufschlussmethoden

■ Grundlagen der Massanalyse

Einleitung, Masslösung, Titrationsarten und Methoden, Arbeitsvorbereitung, Berechnungen, Endpunktbestimmung, Potentiometrie, Voltammetrie / Ampèrometrie, Elektrodentypen, Potentiometrische Titration mit automatisierten Systemen, Praxistipps Titration

■ Neutralisationstiteration in wässrigen Medium

Theoretische Grundlagen, Äquivalenzpunktbestimmung, Titration von Säuren oder Basen, Allgemeine Arbeitsvorschrift direkte Titration, Allgemeine Arbeitsvorschrift indirekte Titration, Allgemeine Arbeitsvorschrift Rücktitration

■ Neutralisations-Titrations in nichtwässrigem Medium

Allgemeine Grundlagen, Neutralisation in nichtwässrigem Medium, Wahl des Lösemittels, Titration von schwachen Basen mit HClO_4 , Endpunktbestimmung, Allgemeine Arbeitsvorschrift, Titration von schwachen Säuren mit TBAOH, Endpunktbestimmung, Allgemeine Arbeitsvorschrift Geräte

■ Redoxitrationen in wässrigem Medium

Chemische Grundlagen, Titration von oxidierbaren Stoffen mit Kaliumpermanganat, Titration von oxidierbaren Stoffen mit Iod, Bestimmung von reduzierbaren Stoffen mit Iodid

■ Fällungs-Titrations

Allgemeine Grundlagen, Masslösung, Endpunktbestimmung, Bestimmung von Halogenidionen mit Silbernitrat, Allgemeine Arbeitsvorschriften

■ Komplexometrische Titration

Chemische Grundlagen, Allgemeine Grundlagen, Direkte Titration von Kupfer-II-Ionen, Direkte Titration von Magnesium- oder Zink-Ionen, Direkte Titration von Calcium-Ionen, Substitutions-Titration von Barium-Ionen, Bestimmung der Wasserhärte

■ Wasserbestimmung nach Karl Fischer

Einführung, Chemische Reaktionen, Masslösung, Detektionsmethoden, Praktische Durchführung, Literatur

■ Spektroskopie

Theoretische Grundlagen, Absorptionsspektren, Emissionsspektren, Elektromagnetische Strahlung, Physikalische Zusammenhänge, Absorption, Absorptionsgesetze, Anwendung des Lambert-Beer'schen Gesetzes, Spektroskopischen Methoden: häufig verwendete Methoden in der organischen Chemie

■ **UV-VIS Spektroskopie**

Grundlagen, UV-VIS Spektrophotometer, Geräteparameter, Gerätetests, Probenvorbereitung, Lösemittel, Küvetten, Messmethoden, Qualitative Interpretation von Spektren organischer Verbindungen

■ **IR-Spektroskopie**

Physikalische Grundlagen, IR-Spektrometer, Aufnahmetechniken, Das IR Spektrum, Auswerten eines Spektrums, Interpretation eines Spektrums

■ **¹H-NMR-Spektroskopie**

Einführung in die ¹H-NMR-Spektroskopie, Zur Geschichte der NMR-Spektroskopie, Grundlagen, Das NMR-Gerät, Spektreninterpretation, Probenvorbereitung, Kriterien zur Auswertung von Spektren, Gehaltsbestimmungen, Interpretationshilfen

■ **Massenspektroskopie**

Grundlagen, Begriffe und Erklärungen, Ionen-Erzeugung, Analysatoren, Detektoren, Kopplungen MS mit anderen Methoden, Aufbau und Aussagen eines Massenspektrums, Isotopen-Verhältnis bei Chlor und Brom, Verzeichnis von charakteristischen Massendifferenzen

Inhaltsverzeichnis

1	Das Chemische Labor	1
2	Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz	11
3	Umgang mit Abfällen und Emissionen	45
4	Werkstoffe im Labor	67
5	Protokollführung, Wort- und Zeichenerklärungen	75
6	Bewerten von Mess- und Analyseergebnissen	97
7	Apparaturenbaup für organische Synthesen	109
8	Zerkleinern, Mischen, Rühren	125
9	Lösen	135
10	Heizen und Kühlen	147
11	Heizen mit Mikrowellen	165
12	Arbeiten mit Vakuum	177
13	Arbeiten mit Gasen	187
	Serviceteil	221
	Nachwort zur 6. Auflage.....	222
	Stichwortverzeichnis.....	224

Das Chemische Labor

Die Einrichtung des Arbeitsplatzes

- 1.1 Grundeinrichtungen – 2**
 - 1.1.1 Labortische – 2
 - 1.1.2 Belag der Tischfläche – 2
 - 1.1.3 Abzug, Kapelle – 3
 - 1.1.4 Installationen – 3
 - 1.1.5 Böden – 4
- 1.2 Aufbewahren von Chemikalien – 4**
 - 1.2.1 Chemikalienregal – 4
 - 1.2.2 Lösemittelschrank – 4
 - 1.2.3 Säure- und Laugenschrank – 4
 - 1.2.4 Kühlschrank – 4
 - 1.2.5 Lösemittelraum – 5
 - 1.2.6 Chemikalienraum – 5
- 1.3 Gefäße für die Aufbewahrung von Chemikalien – 5**
 - 1.3.1 Beschriftung von Gefäßen – 6
- 1.4 Handhabung von Chemikalien – 7**
- 1.5 Laborunterhalt – 7**
 - 1.5.1 Unterhalt von Geräten und Einrichtungen – 8
 - 1.5.2 Reinigen von Glasgeräten – 8
 - 1.5.3 Service Organisation – 8
- 1.6 Betrieb bei Abwesenheit der Mitarbeitenden – 9**
- 1.7 Zusammenfassung – 9**
 - Weiterführende Literatur – 9**

Das chemische Labor ist speziell für die Arbeit mit Chemikalien ausgerüstet und konzipiert. Mit den verschiedenen darin vorhandenen Einrichtungen und Apparaturen können Mitarbeitende Analysen, Synthesen und dazugehörige Arbeiten sicher und sachgerecht durchführen.

➤ **Kein chemisches Labor ist direkt mit einem anderen zu vergleichen.**

Irgendetwas ist immer anders, sei es ein spezielles Gerät oder eine etwas veränderte Einrichtung. Unterschiede ergeben sich durch die verschiedenen Arbeitsgebiete. Beispiele dafür sind Kunststoffchemie, Pharmazeutische- oder Agrochemie, Physikalische Chemie oder Lebensmittelanalytik. Andere sind hoch spezialisiert wie ein Hydrierlabor, Sprengstofflabor oder NMR-Spektroskopielabor. Alle Labors verändern sich zudem, je nach geänderten Arbeitszielen und neu hinzugekommenen Einrichtungen, mit der Zeit.

➤ **Allen chemischen Labors gemeinsam ist, dass sie ein Ort für naturwissenschaftlich – technische Arbeit mit starkem Bezug zur Chemie sind.**

1.1 Grundeinrichtungen

Ein chemisches Labor ist häufig ein Raum in einem speziell für Labors erbauten Gebäude. Oft sind mehrere Nebenräume wie Lagerräume, Büros und Aufenthaltsräume vorhanden. Es gibt aber auch mobile Labors oder Grossraumlabor.

In der Schweiz gelten so genannte EKAS (Eidgenössische Koordinationskommission für Arbeitssicherheit) Richtlinien. Den Link dazu gibt es im Literaturverzeichnis.

1.1.1 Labortische

Der Arbeitstisch besitzt die notwendigen Installationen (Gestänge, Energieanschlüsse, Abluft und so weiter), die ein zweckmässiges Arbeiten ermöglichen. Er ist in der Regel für stehendes Arbeiten vorgesehen.

In vielen Labors gibt es einen speziellen Wägetisch. Er ist speziell für ein erschütterungsarmes Arbeiten konstruiert, was in der Regel zuverlässigere Ergebnisse liefert.

Um in einem Labor flexibel arbeiten zu können, werden vielfach ganze Apparaturen oder analytische Geräte auf fahrbaren Tischen oder Gestellen montiert und, wenn sie nicht gebraucht werden, in Nebenräumen gelagert.

1.1.2 Belag der Tischfläche

Die Tischfläche besteht meist aus einer Glasplatte oder aus Keramik (Klinker). Mattglas mit einer weissen Unterlage wird mit einer Silikonfuge eingekittet. Diese Fläche ist etwas weniger gegen mechanische Einwirkungen und Hitze stabil als Klinker. Defekte Glasplatten hingegen lassen sich leicht ersetzen. Keramische Kacheln haben den Nachteil, dass Stücke abplatzen können und ein Auswechseln nicht so einfach ist.

Kunstharzplatten (Kellco) sind geeignet für Wäge-, Abstell- und Schreibtische. Sie sind gegen viele Chemikalien nur kurzfristig beständig, hitzeempfindlich und nicht kratzfest.

1.1.3 Abzug, Kapelle

Chemische Umsetzungen, Destillationen, Filtrationen, Arbeiten mit flüchtigen oder stäubenden Stoffen und so weiter *müssen* im Abzug, welcher auch Kapelle genannt wird, ausgeführt werden. Die verunreinigte Luft wird über eingebaute Filtersysteme gereinigt oder über die Hauslüftung abgeführt. Absaugschlitze sorgen für eine gute Lüftung beim Entweichen von Dämpfen oder Gasen mit grösserer oder kleinerer Dichte als Luft. Schieber aus Sicherheitsglas schützen vor Spritzern und mechanischen Einflüssen. Da eine optimale Lüftung nur bei geschlossenem Schieber gewährleistet ist, sind die Armaturen ausserhalb des Abzugs angebracht. In Notfällen kann beispielsweise deswegen die Stromzufuhr von aussen unterbrochen werden.

In Labors, welche für die Arbeit mit grösseren Mengen an Chemikalien ausgerüstet sind, gibt es sogenannte Stehkapellen (Abzug ohne Arbeitstisch) für hohe Apparaturen (beispielsweise für 10 L Doppelmantelreaktoren oder Rektifikationen mitsamt Thermostat). Solche Stehkapellen erlauben das Arbeiten auf bequemer Höhe oder mit fest auf mobilen Einheiten montierten Apparaturen.

Oft ist eine Kohlenstoffdioxidgas-Objektschutzanlage angeschlossen. Erreicht die Luft eine Temperatur von 72 °C, schmilzt die Lötstelle und die Anlage wird ausgelöst.

- **Wurde die Kohlenstoffdioxidgas-Objektschutzanlage ausgelöst, muss das Labor umgehend verlassen werden. Das CO₂ verdrängt den Luftsauerstoff. Es besteht *Erstickungsgefahr*.**

1.1.4 Installationen

Energiezuleitungen kommen oft aus der Decke zu den Arbeitsflächen und in die Kapellen. Rohrleitungen und Armaturen können mit Kennfarben bezeichnet sein. Die  Tab. 1.1 bezeichnet die wichtigsten.

 Tab. 1.1 Kennzeichnung von Rohrleitungen

Energie	Kennfarbe	Bemerkungen
Hausvakuum	Grau	Restdruck ca. 130 mbar
Wasser	Grün	Überdruck max. 6 bar
Deionisiertes Wasser	Grün	Mit Aufschrift wie „Entmineralisiertes Wasser“
Druckluft	Blau	Überdruck ca. 3 bar
Stickstoff	Gelb	Mit Aufschrift „Stickstoff“
Argon	Gelb	Mit Aufschrift „Argon“
Wasserstoff	Gelb	Mit Aufschrift „Wasserstoff“
Elektrische Energie	Keine	230 Volt, 380 Volt

1.1.5 Böden

Böden in einem chemischen Labor sollten mit einem äusserst robusten, verschweissten PVC Belag oder mit einem gegossenen Kunststoffboden versehen sein. Es ist vorteilhaft, wenn dieser an den Seiten einige Zentimeter an der Wand hochgezogen ist. Damit soll verhindert werden, dass im Falle von Havarien Chemikalien ins Mauerwerk eindringen können. Als Alternative gibt es auch Keramikböden, welche allerdings sehr gut verfugt sein müssen.

1.2 Aufbewahren von Chemikalien

Chemikalien müssen sorgfältig und für Unbefugte unerreichbar aufbewahrt werden. Das Ausführen von Chemikalien aus jedem Labor ist von Gesetzes wegen strikt untersagt.

Gut organisierte Labors pflegen ein sorgfältiges Chemikalienmanagement. Dort sorgen die Mitarbeitenden dafür, dass nur eine minimale Anzahl Flaschen angebrochen herumstehen, dass regelmässig Chemikalien, Reagenzien sowie Hilfsstoffe aufgebraucht werden und dass nicht mehr gebrauchte Bestände regelmässig aussortiert werden.

1.2.1 Chemikalienregal

Die Chemikalienregale in den Labors dienen zum Aufstellen von Standflaschen. Darauf werden Mengen bis zu einem Kilogramm respektive einem Liter der im Labor häufig benötigten Substanzen aufbewahrt. Es dürfen nur solche Substanzen aufbewahrt werden, die keine schädlichen Dämpfe entwickeln können.

Brennbare Lösemittel dürfen nur in kleinen Gefässen auf Regalen im Labor aufbewahrt werden. Die Gesamtmenge aller im Labor aufbewahrten Lösemittel darf 5 L nicht übersteigen.

1.2.2 Lösemittelschrank

Der mit schwer entzündbarem Material ausgekleidete und ventilierte Lösemittelschrank dient zum Aufbewahren von maximal 100 L Lösemittel (meist Standflaschen bis 1 L Inhalt, maximal 5-Liter Gebinde).

1.2.3 Säure- und Laugenschrank

Dieser mit Kunststoff ausgekleidete und ventilierte Schrank dient zum Aufbewahren von aggressiven Säuren respektive Laugen. Mancherorts hat es zwei Schränke; Einen für Säuren, saure Lösungen und sauer reagierenden Reagenzien und einen für Basen, basische Lösungen und basisch reagierenden Reagenzien.

1.2.4 Kühlschrank

Leichtflüchtige und wärmeempfindliche Substanzen werden in einem Kühlschrank aufbewahrt. Laborkühlschränke sind zudem EX-geschützt.

- Der Laborkühlschrank darf unter keinen Umständen zum Aufbewahren von Lebensmitteln benützt werden.

1.2.5 Lösemittelraum

Lösemittelvorräte werden meistens in Kanistern manchmal auch in Kunststoff- oder Glasgebinden in einem speziellen Lösemittelraum aufbewahrt. Der Raum ist mit einer automatischen Kohlenstoffdioxidgas-Objektschutzanlage ausgerüstet. Die Gebindegrösse ist maximal 20 L, der Gesamthalt aller Gebinde darf 1000 L nicht überschreiten.

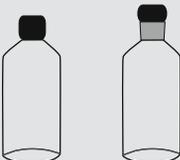
1.2.6 Chemikalienraum

Vierorts werden Chemikalien in separaten Räumen gelagert. Es gelten dort die gleichen Richtlinien und Sicherheitsbestimmungen wie für das Aufbewahren von Chemikalien im Labor. Werden in einem Abstellraum Chemikalien gelagert, so dürfen keine anderen Gegenstände darin gelagert sein.

1.3 Gefäße für die Aufbewahrung von Chemikalien

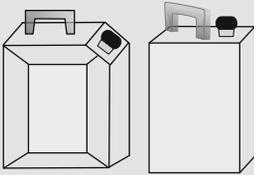
Alle Stoffe sind in geeigneten, mechanisch, thermisch und chemisch genügend widerstandsfähigen Gefäße aufzubewahren. Die im Labor üblichen Gebinde sind in ■ Tab. 1.2 erwähnt:

■ Tab. 1.2 Welche Chemikalie gehört in welches Gebinde

Inhalt		Bezeichnung/Bemerkung
Feste Stoffe (Pulver, Granulate)		Weithalsflaschen aus Glas oder Kunststoff, braun oder farblos, mit Schraubdeckel
Dickflüssige Stoffe		Weithalsflaschen aus Glas, braun oder farblos, mit Schraubdeckel oder Glasstopfen
Flüssigkeiten		Enghalsflaschen aus Glas, braun oder farblos, mit Schraubdeckel oder Stopfen aus Glas oder Kunststoff

1

■ Tab. 1.2 (Fortsetzung) Welche Chemikalie gehört in welches Gebinde

Inhalt		Bezeichnung/Bemerkung
Größere Mengen Flüssigkeiten		Kanister aus Blech oder Kunststoff
Leichtflüchtige, stark sauerstoff- und feuchtigkeitsempfindliche sowie sterile Stoffe		Ampullen aus Glas; wenn Inhalt unter Normaldruck mit flachem, sonst mit rundem Boden
Flüssigkeiten unter Druck		Aerosoldose
verflüssigte Gase, Gase		Druckgasflasche
Feste Abfälle		Vorübergehende Aufbewahrung in geschlossenem Kunststoff- bzw. Glasbehälter

1.3.1 Beschriftung von Gefäßen

Die Beschriftung eines Gefäßes hat den Zweck, dessen Inhalt eindeutig zu definieren und auf vorhandene Gefahrenquellen hinzuweisen. Folgende Punkte können auf dem Etikett vermerkt sein:

- Name des Produkts/Produkt- und Versuchsnummer/evtl. chemische Formel,
- molare Masse,
- Reinheit,
- physikalische Konstanten (Smp, Sdp, Dichte, Gehalt nach GC und so weiter),
- Gefahrenhinweise (zum Beispiel Giftpiktogramm nach GHS, H- und P-Sätze),
- Name der Person, welche die Substanz hergestellt hat, resp. Herkunft des Produkts,
- Abfülldatum,
- Tara des Gefäßes (mit oder ohne Verschluss vermerken).

Etiketten, insbesondere von Standflaschen, sind beispielsweise mit transparentem Klebeband zu schützen.

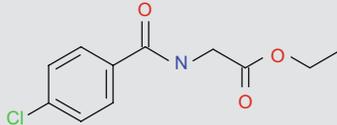
➤ **Gedruckte Etiketten sind besser lesbar als von Hand geschriebene wie Tab. 1.3 zeigt.**

■ **Tab. 1.3** Beispiel einer Chemikalienetikette

4-Chlor-hippursäureethylester

HPLC > 98 %

NMR bestätigt Struktur



UK

AZM Labor P.02

Tara ohne Deckel: 12,36 g

Häufig sind selber hergestellte Chemikalien zusätzlich mit einem Barcode versehen.

1.4 Handhabung von Chemikalien

Chemikalien sind aus Vorsorgegründen allgemein als giftig und gefährlich zu betrachten. Eine für Mensch und Material sichere Handhabung ist somit nur möglich, wenn die Eigenschaften der betreffenden Substanzen bekannt sind. Vor der Aufnahme einer praktischen Arbeit ist die Kenntnis über folgende Eigenschaften verwendeter Chemikalien wichtig:

- Aggregatzustand,
- relevante physikalische Konstanten wie Siedepunkt, Flüchtigkeit, Dichte,
- Giftigkeit,
- Brennbarkeit,
- Empfindlichkeit gegen Licht, Luft und Feuchtigkeit,
- Reaktionsfähigkeit,
- Sicherheitsmassnahmen.

Gemäss der REACH-Verordnung gibt es umfassende Informationen zu eingekauften Chemikalien, Reagenzien und Hilfsstoffen. Diese Informationen finden sich in einem *Sicherheitsdatenblatt* (SDB; auf Englisch *Material Safety Data Sheet*, MSDS) welche für alle handelsüblichen Chemikalien vorliegt. Diese SDB (MSDS) lassen sich leicht im Internet unter der Website des Herstellers oder des Verkäufers finden.

Schwieriger wird es, wenn es sich um selber hergestellte Chemikalien handelt. Mitarbeitende müssen sich trotzdem informieren. Das kann durch Rückfragen bei den Vorgesetzten oder bei der Sicherheitsprüfstelle, durch eigene Vorversuche oder Messungen geschehen.

1.5 Laborunterhalt

Mitarbeitende müssen ein chemisches Labor regelmässig sauber pflegen, sorgfältig unterhalten und sachgerecht neu anordnen. Sowohl ökonomische, arbeitshygienische, als auch ökologische Erfordernisse verlangen dies.

1.5.1 Unterhalt von Geräten und Einrichtungen

Viele teure oder häufig benötigte Geräte und Einrichtungen müssen regelmässig auf deren zuverlässige Funktion überprüft und, sofern das keine speziellen Kompetenzen erfordert, gewartet werden. Es gibt für wichtige Geräte ein Logbuch, sei es auf Papier oder in einem elektronischen System. Damit lassen sich Gebrauch und Wartung überprüfen und allfällige Verschleisserscheinungen rechtzeitig erkennen.

Am Beispiel eines Reinigungsautomaten sei dies konkretisiert. Mitarbeitende könnten den Reinigungsautomaten einfach wie immer befüllen, laufen lassen und ausräumen, bis er nicht mehr funktioniert. Manchmal funktioniert er aber genau dann nicht mehr, wenn er dringend gebraucht würde. Werden regelmässig das Pumpensieb gereinigt, Dichtungen abgewischt und die Anschlüsse überprüft, wird eine wesentlich höhere Verfügbarkeit und längere Gebrauchsdauer des Reinigungsautomaten erreicht. Für manche Geräte gibt es Serviceabonnements durch spezialisiertes Personal der Herstellerin oder der Landesvertretung.

In GMP / GLP Labors dürfen Wartungsarbeiten entweder nur nach einer SOP (*standard operating procedure*) oder nur durch speziell autorisiertes Personal ausgeführt werden.

1.5.2 Reinigen von Glasgeräten

Mit Chemikalien verunreinigtes Geschirr ist so weit vorzubereiten, dass es frei von Chemikalien und organischen Lösemitteln ist und gefahrlos gewaschen werden kann. Das Waschbecken darf nicht als Ausguss für Chemikalien verwendet werden.

Erfolgt die Reinigung mittels Reinigungsautomaten, sind die geeigneten Einsätze und das richtige Spülmittel zu verwenden.

Pipetten werden getrennt in einer Pipettenwaschkombination gereinigt; Thermometer und Glasgeschirr wie evakuierte und verspiegelte Destillationskolonnen, Destillationsspinnen, Pyknometer, Küvetten und so weiter sind sofort nach Gebrauch von Hand zu reinigen.

Lösemittelfeuchtes Geschirr darf wegen der Explosionsgefahr nicht in elektrisch beheizten Trockenschränken getrocknet werden.

In einigen Fällen ist vorgängig eine „chemische“ Reinigung notwendig.

1.5.3 Service Organisation

Siehe hierzu  Tab. 1.4.

 Tab. 1.4 Auflistung von Servicestellen

Service-Stelle	Lieferbares Material resp. Dienstleistung
Büromaterialbezugsstelle	Büromaterial
Betriebsmaterialmagazin	Geräte, Apparate, Werkzeuge, Putzmittel und so weiter ab Lager
Präparatmagazin	Chemikalien aus eigenen Werken und aus Fremdfirmen, Chemikalienbörse
Station für Druckgasflaschen	Ausleihen und Unterhalt von Druckgasflaschen und Ventilen

■ Tab. 1.4 (Fortsetzung) Auflistung von Servicestellen

Service-Stelle	Lieferbares Material resp. Dienstleistung
Glasbläserei	Reparaturen von Glasgeräten, Anfertigung von speziellen Apparate- teilen
Werkstätten	Reparatur von Geräten, Apparaten, Einrichtungen und Installationen
Geräte-Service	Reparaturen und Kontrollen von Vakuumpumpen, Zentrifugen, Waagen und so weiter

Die entsprechenden Weisungen bezüglich Lieferfristen, Transport, Visumkompetenz und so weiter sind zu beachten und eventuell benötigte Administration ist zu erledigen.

1.6 Betrieb bei Abwesenheit der Mitarbeitenden

Einzelne Apparaturen und Geräte, die während der Abwesenheit des Laborpersonals in Betrieb sind, müssen den jeweiligen Vorschriften entsprechend beschriftet werden und für den unbeaufsichtigten Betrieb vorbereitet sein.

In grossen Firmen oder Instituten gibt es einen Nachtdienst, der gewisse Überwachungsaufgaben übernimmt.

1.7 Zusammenfassung

Eine Übersicht über die Grundeinrichtung eines chemischen Labors, einige Grundsätze zum Unterhalt eines chemischen Labors und Regeln zum Aufbewahren von Chemikalien sind Inhalte des Kapitels.

Weiterführende Literatur

EKAS Homepage: <http://www.ekas.admin.ch/>; aufgerufen am 21. 4. 2015

Richtlinien für chemische Labors: <http://www.ekas.admin.ch/index-de.php?frameset=34>; aufgerufen am 21. 4. 2015

In Europa gibt es die OSHA (European Agency for Safety and Health at Work), hier die deutschsprachige Startseite: <https://osha.europa.eu/de/front-page/view>; aufgerufen am 21. 4. 2015

Arbeitsicherheit und Gesundheitsschutz

- 2.1 Organisation Sicherheit – 13**
 - 2.1.1 Sicherheitsdienst und Fachpersonen – 14
 - 2.1.2 Werkärztlicher Dienst und Betriebs sanität – 14
 - 2.1.3 Betriebsfeuerwehr – 14
 - 2.1.4 Alarmierung von Unfällen und Zwischenfällen – 14
 - 2.1.5 Verhalten bei Unfällen mit Personenschaden und Erste Hilfe – 15
 - 2.1.6 Verhalten bei Havarie – 17
 - 2.1.7 Verhalten im Brandfall – 18
- 2.2 Gefährdungsbeurteilung im Umgang mit Gefahrstoffen – 19**
 - 2.2.1 Informationsrecherche – 20
 - 2.2.2 Gefährdungsermittlung von Gefahrstoffen – 21
 - 2.2.3 Instruktion und Schulung – 25
- 2.3 Generelle Bestimmungen – 25**
 - 2.3.1 Arbeitshygiene – 25
 - 2.3.2 Kleidung und Schuhwerk – 26
 - 2.3.3 Persönliche Schutzausrüstung *PSA* – 26
 - 2.3.4 Umgang mit Gefahrstoffen – 28
 - 2.3.5 Brandschutz – 29
 - 2.3.6 Explosionsschutz – 33
 - 2.3.7 Ergonomie – 34
- 2.4 Spezifische Bestimmungen – 34**
 - 2.4.1 Spezielle Gefährdungen durch Gefahrstoffe – 34
 - 2.4.2 Elektrostatische Aufladung/Entladung – 37
 - 2.4.3 Elektromagnetische Strahlung – 38
 - 2.4.4 Magnetfelder – 39
 - 2.4.5 Lärm und Ultraschall – 39
 - 2.4.6 Elektrogeräte und Maschinen – 40
 - 2.4.7 Weitere typische Gefahrenquellen in Labors – 40

2.5	Technische Schutzmassnahmen und deren Prüfung – 42
2.5.1	Sicherheitseinrichtungen – 42
2.5.2	Absaugeinrichtungen – 42
2.6	Zusammenfassung – 42
	Weiterführende Literatur – 43

2.1 Organisation Sicherheit

Unternehmen mit besonderen Gefahren, dazu zählen Labors, in denen mit chemischen sowie physikalischen Methoden präparativ, analytisch oder anwendungstechnisch mit Chemikalien gearbeitet werden, sind gesetzlich verpflichtet, für die Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer zu sorgen.

Das schweizerische Arbeitsgesetz hält im Artikel 6 fest:

Der Arbeitgeber ist verpflichtet, zum Schutze der Gesundheit der Arbeitnehmer alle Massnahmen zu treffen, die nach der Erfahrung notwendig, nach dem Stand der Technik anwendbar und den Verhältnissen des Betriebs angemessen sind. Er hat im Weiteren die erforderlichen Massnahmen zum Schutze der persönlichen Integrität der Arbeitnehmer vorzusehen.

Für die Arbeitnehmer gilt dazu:

Für den Gesundheitsschutz hat der Arbeitgeber die Arbeitnehmer zur Mitwirkung heranzuziehen. Diese sind verpflichtet, den Arbeitgeber in der Durchführung der Vorschriften über den Gesundheitsschutz zu unterstützen.

In den dazugehörigen Gesetzen (zum Beispiel *Unfallverhütungsgesetz UVG*) und Verordnungen (zum Beispiel *Verordnung zum Unfallverhütungsgesetz VUV*), sowie in spezifischen Vorschriften der Eidgenössischen Koordinationskommission für Arbeitssicherheit *EKAS*, von Unfallversicherungen (Beispielsweise Schweizerische Unfallversicherungsanstalt *SUVA*) und von Berufs- oder Fachverbänden werden im Detail Gefährdungsermittlungen und Schutzmassnahmen definiert.

Unfallverhütung ist also eine vom Gesetz verlangte Pflicht!

Arbeitgeber und Arbeitnehmer tragen beide Verantwortung bezüglich Arbeitssicherheit. Die gesetzlichen Grundlagen in Deutschland und Österreich übertragen den Arbeitgebern eine grössere Verantwortung, als das in der Schweiz der Fall ist. Siehe hierzu **Abb. 2.1**.



Abb. 2.1 Eine Übersicht über Umsetzung der gesetzlichen Vorgaben in der Schweiz. (Quelle: <http://www.ekas.admin.ch/>; aufgerufen am 14.4.2015)