

213-026

## DGUV Information 213-026



# Sicherheit und Gesundheit im chemischen Hochschulpraktikum

Grundwissen für Studierende

**komm**mitmensch ist die bundesweite Kampagne der gesetzlichen Unfallversicherung in Deutschland. Sie will Unternehmen und Bildungseinrichtungen dabei unterstützen eine Präventionskultur zu entwickeln, in der Sicherheit und Gesundheit Grundlage allen Handelns sind. Weitere Informationen unter [www.kommmitmensch.de](http://www.kommmitmensch.de)

---

## Impressum

### Herausgegeben von:

Deutsche Gesetzliche  
Unfallversicherung e.V. (DGUV)

Glinkastraße 40  
10117 Berlin  
Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)  
Fax: 030 13001-9876  
E-Mail: [info@dguv.de](mailto:info@dguv.de)  
Internet: [www.dguv.de](http://www.dguv.de)

Sachgebiete Gefahrstoffe und Laboratorien des Fachbereichs Rohstoffe und chemische Industrie der DGUV sowie Sachgebiet Hochschulen, Forschungseinrichtungen des Fachbereichs Bildungswesen in Zusammenarbeit mit der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh)

Ausgabe: November 2020

DGUV Information 213-026  
zu beziehen bei Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger oder  
unter [www.dguv.de/publikationen](http://www.dguv.de/publikationen) Webcode: p213026

# **Sicherheit und Gesundheit im chemischen Hochschulpraktikum**

Grundwissen für Studierende

# Inhaltsverzeichnis

	Seite		Seite
<b>Vorbemerkung</b> .....	5	<b>6 Toxikologie</b> .....	47
Grundlagen für sicheres Arbeiten in Laboratorien .....	5	6.1 Gefahren bei Tätigkeiten mit gesundheitsschädigenden Stoffen .....	47
<b>1 Einführung in das sichere Arbeiten</b> .....	6	6.2 Toxikokinetik .....	48
<b>2 Praktikumsbeginn</b> .....	8	6.3 Wirkmechanismen von krebserzeugenden Stoffen .....	52
2.1 Zugangsberechtigung .....	8	6.4 Beurteilung von Gefährdungen durch gesundheitsschädigende Stoffe .....	53
2.2 Körperschutz und Arbeitskleidung .....	8	6.5 Typische Gefahrstoffe .....	54
2.3 Beschäftigungsbeschränkungen .....	9	6.6 Mutterschutz und Gefahrstoffe .....	57
2.4 Essen, Trinken, Rauchen, Schminken .....	10	<b>Anhang</b>	
2.5 Hautreinigung und Hautpflege .....	10	Anhang 1: Informationsquellen .....	58
2.6 Überwachung von Laborversuchen .....	10	Anhang 2: Rechtsgrundlagen und Informationen .....	59
2.7 Brandschutz in Laboratorien .....	11	Anhang 3: Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien .....	62
2.8 Maßnahmen bei Unfällen .....	11	3.1 Gefahrenklassen und Gefahrenkategorien .....	62
<b>3 Hinweise zum praktischen Arbeiten</b> .....	14	3.2 Gefahrenpiktogramme mit Code und Bezeichnung .....	67
3.1 Umgang mit Laborglas .....	14	3.3 Vereinfachte Kennzeichnung von Laborgebinden .....	68
3.2 Reinigen von Glasgeräten .....	15	<b>Anhang 4: Aufbau der Gefahrenhinweise und der Sicherheitshinweise</b> .....	69
3.3 Aufbau von Apparaturen .....	16	4.1 Gefahrenhinweise – Hazard Statements (H-Sätze) .....	69
3.4 Beheizen von Apparaturen .....	18	4.2 Sicherheitshinweise – Precautionary Statements (P-Sätze) .....	69
3.5 Sicheres Arbeiten mit Kühlern .....	20	4.3 Liste der Gefahrenhinweise (H-Sätze) .....	70
3.6 Kühlen .....	21	4.4 Liste der Sicherheitshinweise (P-Sätze) .....	74
3.7 Hinweise für Arbeiten mit typischen Laborgeräten .....	22	<b>Anhang 5: Entzündbare Stoffe und Brandklassen</b> .....	78
3.8 Arbeiten unter vermindertem Druck .....	24	<b>Anhang 6: Arbeiten mit elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln</b> .....	79
3.9 Tätigkeiten mit Gasen .....	25	<b>Anhang 7: Kennzeichnung von Chemikalienschutzhandschuhen</b> .....	80
<b>4 Tätigkeiten mit Chemikalien</b> .....	30	<b>Bildverzeichnis</b> .....	82
4.1 Information über Stoffeigenschaften und sicherheitstechnische Kenngrößen .....	30		
4.2 Allgemeine Vorsichtsmaßnahmen beim Experimentieren .....	31		
4.3 Richtiges Arbeiten am Abzug .....	32		
4.4 Hinweise zum Experimentieren mit speziellen Chemikalien und Stoffgruppen .....	35		
4.5 Kennzeichnung, Aufbewahrung und Transport .....	38		
4.6 Ab- und Umfüllen .....	39		
4.7 Entsorgung von Laborabfällen .....	40		
<b>5 Brand- und Explosionsgefahren</b> .....	42		
5.1 Entzündbare Flüssigkeiten .....	42		
5.2 Selbstentzündliche Stoffe .....	44		
5.3 Explosive Stoffe oder Gemische .....	44		
5.4 Exotherme Reaktionen .....	45		
5.5 Zersetzungsreaktionen .....	45		

# Vorbemerkung

## Grundlagen für sicheres Arbeiten in Laboratorien

Chemikalien, die bei unsachgemäßem Umgang zu Gesundheits- und Umweltschäden führen können, sind allgegenwärtig. Daher ist es für alle Studierenden wichtig die Wirkung von Gefahrstoffen zu kennen und zu wissen, wie man sie richtig verwendet.

Ziel dieser DGUV Information ist es, den Studierenden Grundwissen für Tätigkeiten im chemischen Praktikum zu vermitteln und sie für einen bewussten Umgang mit gefährlichen Stoffen zu sensibilisieren. Außerdem soll die vorliegende DGUV Information über das Gefahrstoffrecht informieren.

Damit Mensch und Umwelt vor stoffbedingten Schädigungen geschützt werden, gibt es in Deutschland ein umfangreiches Gefahrstoff-Regelwerk. An dieser Stelle ist hier insbesondere die Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) zu nennen, die bereits seit 1988 auch in Hochschulen und Universitäten umzusetzen ist.

Grundvoraussetzung für das sichere Arbeiten in Laboratorien sind die sicherheitsrelevanten Rahmenbedingungen (Bau und Einrichtung sowie Organisation). Diese werden insbesondere durch Regeln wie zum Beispiel die Technische Regel für Gefahrstoffe TRGS 526 „Laboratorien“ zusammen mit der DGUV Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien – Grundlagen und Handlungshilfen“ („Laborrichtlinien“) beschrieben.

Das einer Situation angemessene Verhalten lernen Studierende vor allem durch vorbildliches Handeln der Laborverantwortlichen und eindeutige Arbeitsanweisungen.

Um im Praktikumslabor sicher zu experimentieren, müssen die Studierenden darüber Bescheid wissen, wie gefährlich ein Stoff oder ein Gemisch tatsächlich ist und sie müssen über die Regeln für die Tätigkeiten mit diesen Stoffen oder Gemischen informiert sein. Die Praktikumsverantwortlichen legen fest, mit welchen Stoffen die Studierenden experimentieren dürfen.

Aufgabe der Betreuenden ist dabei die Vermittlung von umsichtiger und sachgerechter Handhabung von Gefahrstoffen, Apparaturen und Laborgeräten.

Sind die Gesundheitsgefahren am Arbeitsplatz nicht bekannt, kann sich auch niemand davor schützen. Um die Gesundheitsrisiken für alle Beteiligten bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen weitestgehend auszuschließen oder zu minimieren, ist die Hochschule oder Universität daher verpflichtet Gefährdungsbeurteilungen zu erstellen. Sie müssen von einer fachkundigen Person erstellt und dokumentiert werden – und zwar bevor Tätigkeiten im Labor aufgenommen werden.

Unter einer Gefährdungsbeurteilung versteht man die systematische und umfassende Ermittlung von Gefährdungen und Belastungen am Arbeitsplatz sowie die Ableitung entsprechender wirksamer Schutzmaßnahmen. Sinnvoll und richtig eingesetzt soll sie dazu beitragen Erkrankungen, Unfälle sowie Beinahe-Unfälle im Praktikumsbetrieb zu vermeiden.

Wenn die DGUV Information dazu beiträgt, den Studierenden einen verantwortungsvollen Umgang mit Gefahrstoffen im Labor zu vermitteln und damit sich und andere vor gesundheitlichen Gefährdungen zu bewahren und die Umwelt zu schützen, hat sie ihren Zweck erfüllt.

In diesem Sinne wünschen die Autorinnen und Autoren viel Erfolg beim sicheren Experimentieren.

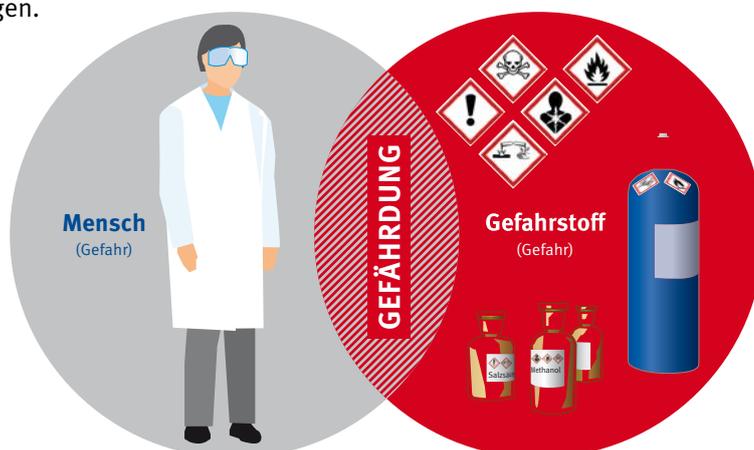


Abb. 1 Gefahr und Gefährdung

# 1 Einführung in das sichere Arbeiten

Die Studierenden erwerben im Laufe ihrer Ausbildung und Berufstätigkeit heute vielfältige Kenntnisse und Erfahrungen über die Gefährdungen und Risiken, die mit ihrer Tätigkeit und den von ihnen entwickelten Produkten verbunden sind.

Das daraus entstehende Sicherheitsbewusstsein ist Bestandteil des Berufsethos. Die auf dem Gebiet der Sicherheit erworbenen Fertigkeiten und Kenntnisse sind ebenso wichtig wie diejenigen, die komplexe wissenschaftliche Zusammenhänge oder neueste technische Entwicklungen betreffen.

Ein wichtiges Ziel der naturwissenschaftlichen Ausbildung ist daher,

- mögliche Gefahren bei der Verwendung von Gefahrstoffen (Chemikalien) zu erkennen und zu vermeiden,
- Tätigkeiten mit Gefahrstoffen (Chemikalien) sicher zu beherrschen,
- sich selbst und andere vor Gefahren zu schützen,
- verantwortlich gegenüber der Allgemeinheit und der Umwelt zu handeln.

Mit dem Wissen verbindet sich die Verpflichtung, in diesem Sinne zu handeln.

Die Untersuchung von zahlreichen Arbeitsunfällen in Praktika hat ergeben, dass deren Ursachen nur zu einem kleinen Teil in technischen Mängeln, überwiegend aber, d. h. in etwa 85 % der Fälle, in menschlichem Fehlverhalten zu suchen sind. Dabei spielen häufig Unkenntnis über die gefährlichen Eigenschaften von Stoffen oder mangelnde Einsicht in die Art der durchgeführten Reaktionen eine Rolle.

Ein großer Feind bewusst sicheren Arbeitens ist aber auch der Gewöhnungseffekt: Personen, die nach längerer Erfahrung den anfänglichen Respekt vor einer potenziell gefährlichen Methode verloren haben, neigen dazu, Sicherheitsvorkehrungen zu vernachlässigen.

Pflicht ist daher die Teilnahme an allen Sicherheitsunterweisungen, die im Rahmen des Praktikums stattfinden. Diese können allgemein, labor- bzw. arbeitsplatzspezifisch oder auch versuchsspezifisch sein.

Mit Laborgeräten muss man arbeiten können!

Ein Student versuchte einen Vakuumschlauch auf eine Glasolive zu schieben. Dabei zerbrach die Glasolive durch den angewandten Druck und verursachte eine schwere Schnittverletzung des Daumens.

Man kann mit allem arbeiten, man muss nur wissen wie! Stoffeigenschaften muss man kennen und Zündquellen gibt es überall!

Einige Beispiele von Unfällen in Laboratorien sollen dies unterstreichen.

Über einem eingeschalteten Magnetheizrührer stand im Regal eine Spritzflasche mit Diethylether. Die aufsteigende warme Luft erwärmte die Flasche und der Ether begann, aus der Spritzflasche auf den Magnetrührer zu tropfen. Es kam zum Brand, der ein ganzes Stockwerk beschädigte. Eine Verkettung kleiner Ursachen hat hier zur Katastrophe geführt.

Die Zündtemperatur (spontane Selbstentzündung) der meisten laborüblichen Lösemittel liegt unterhalb von 550 °C, bei einigen Lösemitteln sogar unter 200 °C (z. B. Diethylether).

Faustregel: Flüssigkeiten mit Siedepunkt unter 80 °C gehören nicht in Spritzflaschen!

Wenn Lösemittel oder ihre Dämpfe mit heißen Oberflächen, z. B. dem Metallrohr eines Heißluftföhns, in Kontakt kommen, können diese spontan entzündet werden. Die Entzündung selbst kleiner Lösemittellachen im Abzug durch einen unachtsam abgelegten Heißluftföhn ist daher keine Seltenheit und kann nur verhindert werden, indem eine geeignete Haltevorrichtung für den Föhn, am besten außerhalb des Abzugs, installiert wird. Bewährt haben sich z. B. Stativringe.

Die Heißluft-Austrittsöffnung eines Heißluftföhns (Heatgun) erreicht im Betrieb annähernd die gleiche Temperatur wie eine Bunsenbrennerflamme (ca. 550 °C).

**Stoffe können instabil sein oder werden!**

Eine Studentin sollte aus Lösung eingeeengtes und im Exsikkator vorgetrocknetes Silberperchlorat abfüllen. Beim Zerkleinern mit dem Spatel erfolgte eine Explosion von solcher Heftigkeit, dass die Verletzungen nach vier Wochen zu ihrem Tode führten.

Einige Verbindungen sind im trockenen Zustand besonders empfindlich. Insbesondere können sie mit Metallen oder organischen Stoffen heftig reagieren.

**Schon Reagenzglasversuche können gefährlich sein**

Zur Herstellung von Cyclohexanonperoxid erhitze ein Chemiker 0,5 ml Cyclohexanon und 0,5 ml Wasserstoffperoxid 30 %ig in einem Reagenzglas. Durch eine heftige Reaktion zerknallte das Reagenzglas. Der Chemiker erlitt Verletzungen im Gesicht und an beiden Händen. Die linke Sichtscheibe der Schutzbrille wurde zertrümmert. Die Augen blieben unverletzt.

Organische Verbindungen reagieren mitunter unkontrollierbar heftig mit oxidierenden Stoffen.

**Achtung – Entsorgung von Chemikalien!**

Ein Student schüttete unzulässigerweise cyanidhaltige Abfälle in einen Ausguss. Als kurz danach ein anderer Studierender (auch unzulässigerweise) Salzsäure in denselben Ausguss goss, entwickelte sich Blausäure, deren Einatmen nach kurzer Zeit zu dessen Tode führte.

Eine Studentin wollte konzentrierte Salpetersäure entsorgen. Sie goss die oxidierende Flüssigkeit in einen Kanister für halogenfreie Lösemittelabfälle. Wenige Sekunden später explodierte der Behälter und ein Feuerball stieg bis zur Raumdecke.

Gegen Ende des Praktikums an einem Freitagnachmittag hatte ein Student noch ca. 100 ml konzentrierte Schwefelsäure übrig. Da er die Säure nicht ins Abwasser kippen wollte, entschied er sich dafür, sie zu neutralisieren (grundsätzlich lobenswert). Da die Zeit drängte und er nicht erst eine konzentrierte Alkali-Lauge herstellen wollte, schüttete er die Säure auf ca. 100 g festes Kaliumhydroxid (Plätzchen) in einem Erlenmeyerkolben. Der Kolben explodierte und der ungeduldige Experimentator verbrachte den Freitagabend in der Notaufnahme der nahegelegenen Uniklinik zur Entfernung der Glassplitter aus seinen Händen und Armen sowie der Behand-

lung diverser Verätzungen an den Armen und im Gesicht – zusammen mit mehreren Kommilitonen, die ebenfalls Verätzungen durch herumspritzende Säure/Lauge erlitten hatten.

Die Entsorgung einiger Stoffe bedarf besonderer Maßnahmen. Insbesondere ist die dafür benötigte Zeit einzuplanen. Auch ein Vermischen von Stoffen in gemeinsamen Sammelbehältern (z. B. halogenfreie Lösemittelgemische, wässrige Konzentrate) darf nur vorgenommen werden, wenn gefährliche Reaktionen zwischen den Stoffen ausgeschlossen sind.

**Unerwartete Nebenreaktionen**

Ein Student führte im Abzug eine Bromierung durch. Beim Abfüllen verschüttete er geringe Mengen an Brom, die am Abzugsboden eine kleine Pfütze bildeten. Kurz darauf löste sich von einer nebenstehenden zweiten Apparatur ein Stück Aluminiumfolie und fiel auf die Brompfütze. Nach ca. 1 Minute begann die Folie zu rauchen und geriet dann rasch in Brand. Am Ende wurden glühende Aluminiumfunken fortgeschleudert und es entstanden große Mengen an ätzenden Aluminiumbromid-Dämpfen.

Brom darf nicht in Kontakt zu oxidierbaren Stoffen kommen. Brom reagiert selbst mit Metallen (z. B. Aluminiumfolie) in einer sich selbst katalysierenden Reaktion unter stetig steigender Reaktionsgeschwindigkeit.

**Festsitzende Glasschliffstopfen**

In einem Labor wurde festgestellt, dass sich der Stopfen an einer älteren Glasschliffstopfenflasche mit Chlorameisensäuremethylester nicht mehr lösen lies. Beim Versuch, im Abzug den Stopfen mit mechanischer Gewalt zu entfernen, zerplatze die Flasche durch den Innendruck, der sich durch die Zersetzung des Stoffes gebildet hatte. Da der Frontschieber dabei weit geöffnet war, konnte der Abzug das herausschießende Gasgemisch nicht vollständig zurückhalten, so dass der Mitarbeiter die giftigen Zersetzungsprodukte einatmete. Er verstarb an dem sich daraus entwickelnden Lungenödem.

Bei Flaschen mit festsitzenden Glasschliffstopfen unbedingt die Praktikumsbetreuung hinzuziehen.

## 2 Praktikumsbeginn

Vor Beginn des Praktikums erhalten die Studierenden eine allgemeine Unterweisung über die Gefahren und Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen. Im Labor werden sie arbeitsplatzbezogen über das Verhalten im Labor, die dortigen Gefahren und Schutzmaßnahmen unterwiesen und mit der Laborordnung (allgemeine Betriebsanweisung) vertraut gemacht. Danach müssen Studierende die folgenden Dinge wissen und beachten:

### 2.1 Zugangsberechtigung

Nur unterwiesene Personen dürfen in einem Labor tätig werden. Da in einem Labor mit Gefahrstoffen gearbeitet wird, ist der Zugang nur für die Praktikusteilnehmenden und die Betreuenden gestattet. Unbefugte haben keinen Zutritt.



Abb. 2 Laborgemäße Kleidung

### 2.2 Körperschutz und Arbeitskleidung

Während des Aufenthalts im chemischen Laboratorium muss eine Schutzbrille mit Seitenschutz und Augenbrauenabdeckung getragen werden.

In Laboratorien ist stets geeignete Arbeitskleidung zu tragen. Für den normalen Laborbetrieb ist dies ein mindestens knielanger Labormantel (umgangssprachlich auch Laborkittel genannt) mit langen, enganliegenden Ärmeln. Er sollte möglichst hochgeschlossen und stets vollständig geschlossen sein (Spritzschutz). Vorteilhaft sind Druckknöpfe anstelle normaler Knöpfe, da diese ein rasches Ausziehen bei einer Benetzung mit gefährlichen Chemikalien gewährleisten (siehe Abbildung 2).

Labor- und Straßenkleidung sind getrennt aufzubewahren (siehe Abbildung 3 und Abbildung 4).



Abb. 3 Getrennte Aufbewahrung der Laborkleidung von der Straßenkleidung in Spinden.



**Abb. 4**  
Der Kleiderwechsel findet außerhalb  
des Laboratoriums statt

Labormäntel bestehen üblicherweise aus 100 % Baumwolle. Bei Mischgeweben sollte der Baumwollanteil im Gewebe mindestens 35 % betragen, um das Brandrisiko des Labormantels zu minimieren. Die restliche Kleidung soll aus nicht schmelzendem Material bestehen und soll am Körper eng anliegen.

Der Labormantel darf nicht in Seminarräumen, Bibliotheken, Hörsälen, Cafeterien etc. getragen werden, um eine Verschleppung von Gefahrstoffen zu vermeiden.

Mit Chemikalien kontaminierte Kleidungsstücke müssen sofort gewechselt werden, um eine Gefahrstoffpenetration bis zur Haut sowie eine Verschleppung an andere Orte zu vermeiden. Es ist sinnvoll, Ersatzkleidung vorzuhalten.

Lange Haare dürfen nicht offen getragen werden. Kopfbedeckungen dürfen nur aus nichtschmelzendem Material bestehen, siehe Labormantel.

In Laboratorien dürfen nur feste, geschlossene und trittsichere Schuhe getragen werden. Diese bieten neben dem festen Halt am Fuß und einem Schutz gegen das Ausgleiten auch einen Schutz gegen herabtropfende oder -fallende Gefahrstoffe. Offene Schuhe, wie z. B. Sandalen, Clogs oder gelochte Schuhe, sind ungeeignet.

Chemikalienschutzhandschuhe werden nur in Ausnahmefällen für die üblichen Tätigkeiten der Studierenden im Praktikum benötigt. Für bestimmte Tätigkeiten können Einmalhandschuhe, z. B. aus Nitrilkautschuk, (Chemikalienschutzhandschuhe Typ C, frühere Kennzeichnung „Becherglas“) als Spritzschutz verwendet werden, die aber nicht die Eigenschaften von Chemikalienschutzhandschuhen Typ A oder Typ B (siehe Anhang 7) besitzen. Die entsprechenden Hinweise geben die für das Praktikum verantwortlichen Personen.

→ Siehe auch *DGUV Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“ (DGUV Information 213-851 „Working Safely in Laboratories“), Abschnitt 4.4.*

### 2.3 Beschäftigungsbeschränkungen

Arbeiten unter dem Einfluss von Alkohol, bewusstseinstrübenden Medikamenten und Drogen sind nicht gestattet. Bestimmte Chemikalien haben sensibilisierende Eigenschaften und können Allergien auslösen. Personen mit bestehenden Allergien gegenüber bestimmter Chemikalien sollten vor dem Praktikum ihre für das Praktikum verantwortliche Person informieren.

Eine Teilnahme von schwangeren und stillenden Frauen am Praktikum muss im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung im Vorfeld geklärt werden. Diese muss eine

mögliche Schwangerschaft berücksichtigen, da viele Gefahrstoffe dem ungeborenen oder gestillten Kind schaden können (siehe Kapitel 6.6).

Schwangere sollen möglichst frühzeitig die für das Praktikum verantwortliche Person über ihre Schwangerschaft informieren. Wenn die Schwangerschaft bekannt ist, muss eine individuelle und tätigkeitsbezogene Gefährdungsbeurteilung erstellt werden.

Für Personen unter 18 Jahren (Jugendliche) gelten besondere Bestimmungen. Darunter fallen u. a. Tätigkeiten, die mit Unfallgefahren verbunden sind, von denen anzunehmen ist, dass Jugendliche sie wegen mangelnden Sicherheitsbewusstseins oder mangelnder Erfahrung nicht erkennen oder nicht abwenden können. Darüber hinaus dürfen Jugendliche keine Tätigkeiten verrichten, bei denen sie schädlichen Einwirkungen von Gefahrstoffen ausgesetzt sind.

Unter folgenden Voraussetzungen sind jedoch Tätigkeiten mit Gefahrstoffen für Jugendliche zulässig, wenn:

1. dies zur Erreichung ihres Ausbildungszieles erforderlich ist,
2. ihr Schutz durch die Aufsicht eines Fachkundigen gewährleistet ist und
3. der Arbeitsplatzgrenzwert bei gefährlichen Stoffen unterschritten wird.

→ Siehe auch DGUV Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“ (DGUV Information 213-851 „Working Safely in Laboratories“), Abschnitt 3.7

## 2.4 Essen, Trinken, Rauchen, Schminken

Speisen, Genussmittel, Tabakwaren, Kosmetika und Getränke dürfen wegen der Gefahr der Kontamination im Labor weder aufbewahrt noch dort zu sich genommen werden.

Speisen und Getränke dürfen nicht in Chemikalien- oder Laborgefäßen aufbewahrt werden. Ebenso dürfen für Chemikalien keine Gefäße benutzt werden, die üblicherweise zur Aufnahme von Speisen und Getränken bestimmt sind. Lebensmittel zu Versuchszwecken sind zu kennzeichnen, siehe Abbildung 5.

Lebensmittel nur für Experimente  
Nicht zum Verzehr geeignet

Abb. 5 Kennzeichnung von Lebensmitteln

Die Anwendung von Kosmetika (z. B. Lippenpflegestift) im Labor ist nicht gestattet, da sich insbesondere in den Fetten Schadstoffe anreichern können.

→ Siehe auch DGUV Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“ (DGUV Information 213-851 „Working Safely in Laboratories“), Abschnitt 4.6

## 2.5 Hautreinigung und Hautpflege

Vor Pausen und nach Beendigung der Laborarbeit sind die Hände stets gründlich mit Wasser und Haut schonenden Hautreinigungsmitteln zu waschen.

Bei durch Chemikalienkontakt oder häufiges Waschen belasteten Händen empfiehlt sich eine regenerationsunterstützende Hautpflege mit einer Hautpflegecreme nach der Laborarbeit. Dabei ist der Hautschutzplan zu beachten.

## 2.6 Überwachung von Laborversuchen

Wer einen Versuch durchführt, darf den Arbeitsplatz nur dann verlassen

- wenn eine dauerhafte Überwachung nicht erforderlich ist, oder
- wenn eine andere Person, die über den Verlauf des Versuchs unterrichtet ist, die Überwachung fortsetzt
- und die Laboraufsicht damit einverstanden ist.

Bei gefährlichen Arbeiten müssen mindestens zwei Personen anwesend sein.

→ Siehe auch DGUV Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“ (DGUV Information 213-851 „Working Safely in Laboratories“), Abschnitt 4.3.5

## 2.7 Brandschutz in Laboratorien

Über Art, Aufstellungsort und richtige Handhabung der vorhandenen Löschmittel muss sich jeder in einem Labor Arbeitende vor Beginn seiner Tätigkeit informieren.

Studierende sind im Rahmen wiederholter Unterweisungen und praktischer Übungen mit der Handhabung der zur Verfügung stehenden Feuerlöscher vertraut zu machen.

In Laboratorien sind an leicht zugänglicher Stelle Handfeuerlöscher mit CO<sub>2</sub>-Füllung bereitzuhalten (siehe Abbildung 6). Die Bereitstellung von Löschsand oder anderen Speziallöschmitteln kann erforderlich sein. Löschsand ist geeignet für die Bekämpfung von Metallbränden, Lithium ausgenommen.

Brände im Anfangsstadium sollten mit den vorhandenen Feuerlöschmitteln bekämpft werden, sofern dies gefahrlos möglich ist. In unmittelbarer Nähe zum Labor (z. B. im angrenzenden Flur) müssen ausreichend weitere Feuerlöscher mit geeignetem Löschmittel vorhanden sein.

Im Brandfall ist unverzüglich die Feuerwehr zu benachrichtigen.

In der Nähe der Ausgänge befinden sich Körpernotduschen. Diese werden monatlich auf ihre Funktionsfähigkeit überprüft.

Kleiderbrände sind bevorzugt mit der Körpernotdusche oder mit Feuerlöschern zu bekämpfen. Brennende Kleidung ist so schnell wie möglich auszuziehen. Auf den Selbstschutz ist zu achten.



Abb. 6  
Bereitgestellter  
Löschsand und  
Feuerlöscher

Brände von Alkalimetallen und anderen reaktiven Metallen, Metallalkylen, Lithiumaluminiumhydrid, Silanen und verwandten Stoffen werden am besten mit Löschsand oder Löschpulver der Brandklasse D erstickt. Auf keinen Fall dürfen solche Brände mit Wasser bekämpft werden! Ebenfalls ungeeignet hierfür sind Kohlenstoffdioxidlöscher (siehe Anhang 5).

Feuerlöscher müssen alle zwei Jahre überprüft werden. Dies ist an der Prüfplakette erkennbar.

→ Siehe auch DGUV Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“ (DGUV Information 213-851 „Working Safely in Laboratories“), Abschnitt 4.8

## 2.8 Maßnahmen bei Unfällen

Bei Unfällen im Labor ist sofort die für das Praktikum verantwortliche Person zu benachrichtigen. Ist eine Person verletzt, ist umgehend Erste Hilfe zu leisten. Dabei ist Eigengefährdung zu vermeiden!

### Vorgehen bei Chemikalienunfällen

Bei einem Körperkontakt mit größeren Mengen gefährlicher Chemikalien ist rasches Handeln erforderlich, um schwere Gesundheitsschäden zu vermeiden/minimieren.

Kontaminierte Kleidung ist sofort zu entfernen, um die Gefahr einer Durchdringung des Gewebes und eines nachfolgenden Hautkontakts zu beseitigen. Kann der Gefahrstoff durch Ausziehen der benetzten Kleidung oder durch Abwaschen der benetzten Körperstellen am Laborspülbecken nicht vollständig entfernt werden, ist die sofortige Verwendung einer Körpernotdusche erforderlich. Wasser-mischbare Stoffe und die überwiegende Zahl der laborüblichen Säuren und Laugen werden hierdurch in kurzer Zeit verdünnt und aus- bzw. abgespült. Sollte anschließend ein Besuch bei einem Arzt bzw. Ärztin erforderlich sein, sollte die zum Gefahrstoff zugehörige Betriebsanweisung oder das Sicherheitsdatenblatt mitgenommen werden, um dem behandelnden Arzt bzw. Ärztin die Stoffidentifikation und ggf. eine Rücksprache mit einer Giftnotrufzentrale zu ermöglichen.

Gelangen Gefahrstoffe, insbesondere Säure- oder Laugenspritzer, ins Auge müssen sie innerhalb weniger Sekunden verdünnt und ausgespült werden, um eine dauerhafte Schädigung des Auges zu verhindern. Die Augennotdusche muss daher in wenigen Schritten erreichbar und stets gut zugänglich sein. Die Spülung eines betroffenen Auges sollte über mindestens 10 Minuten von der Nasenwurzel nach außen durchgeführt werden; danach ist ein Besuch bei einem Augenarzt bzw. -ärztin erforderlich (Betriebsanweisung oder Sicherheitsdatenblatt mitnehmen).

Augennotduschen müssen mindestens monatlich hinsichtlich ihrer Funktionsfähigkeit überprüft werden. Eine häufigere Überprüfung – oder die regelmäßige Verwendung zum Abspülen von Geräten – wird für Augennotduschen empfohlen, um eine Verkeimung im Zulauf zu vermeiden.

Zur Beachtung:

- Jede Verletzung (auch Bagatellverletzung) ist der für das Praktikum verantwortlichen Person zu melden und zu dokumentieren, beispielsweise im Meldeblock für Erste-Hilfe-Leistungen (DGUV Information 204-021) oder im Verbandbuch (DGUV Information 204-020).
- Ist nach einem Unfall eine ärztliche Behandlung notwendig, trägt der zuständige gesetzliche Unfallversicherungsträger die Kosten. Dafür benötigt er eine Unfallanzeige. Hinweise dazu gibt die für das Praktikum verantwortliche Person.
- Spezielle Erste-Hilfe-Maßnahmen zu besonderen Gefahrstoffen sind in den zugehörigen Betriebsanweisungen zu finden. Weitere Informationen bieten z. B. die Gefahrstoffdatenbank GESTIS oder die Medizinischen Leitlinien der BASF an, siehe Anhang 1 „Informationsquellen“.



### Verhalten im Notfall

#### 1. Retten

- Verletzte unter Selbstschutz aus dem Gefahrenbereich bringen
- Alarmieren weiterer Personen im Gefahrenbereich
- Gegebenenfalls Abschalten von Gas, Wasser, Strom (Kühlwasser nicht abschalten!)

#### 2. Hilfe anfordern!

Notrufangaben:

- Wo geschah es?
- Was geschah?
- Wie viele Verletzte?
- Welche Verletzungen?
- Warten auf Rückfragen!

#### 3. Erste Hilfe leisten



### Sicherheitseinrichtungen und Notfallorganisation

- Augennotdusche
- Körpernotdusche
- Not-Aus-Taster
- Feuermelder
- Feuerlöscher
- Fluchtwege/Sammelplatz
- Telefon für Notrufe
- Ersthelfer (Aushang)
- Verbandkasten – Erste-Hilfe Material
- Havarien: Verschüttete/ausgelaufene Chemikalien sind mit folgenden Absorptionsmitteln zu beseitigen: z. B. im Vakuum geglühtes Aluminiumoxid bzw. Glimmer (Vermiculite). Diese Absorber können für fast alle Flüssigkeiten verwendet werden.

→ Siehe auch DGUV Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“ (DGUV Information 213-851 „Working Safely in Laboratories“), Abschnitt 4.7.1



Abb. 7 Praktikumslabor mit Sicherheitseinrichtungen

# 3 Hinweise zum praktischen Arbeiten

Dieses Kapitel erläutert die sichere Ausführung typischer Tätigkeiten im Praktikumsbetrieb, sowie den Umgang mit Apparaturen und Geräten, insbesondere deren zweckmäßigen Aufbau für einen sicheren Betrieb.

## 3.1 Umgang mit Laborglas

Achtung Verbrennungsgefahr:  
Heißes Glas sieht genauso aus wie kaltes Glas!

Apparaturen im chemischen Laboratorium bestehen überwiegend aus Glas, in der Regel aus Borosilikatglas 3.3. Bei allen Vorteilen, die dieses Material für das chemische Arbeiten bietet, birgt es durch seine mechanische Verletzlichkeit auch Gefahren. Verletzungen an zerbrochenen Glasgefäßen mit z. T. erheblichen Schnittwunden bilden daher die Kategorie der häufigsten Laborunfälle.

Oberstes Gebot beim Umgang mit Glasgeräten ist es daher, alle Glasgeräte vor der Benutzung auf Unversehrtheit zu prüfen und jegliche Gewaltanwendung zu vermeiden.

Sternchen und tiefe Kratzer aber auch Luftblasen im Glas können insbesondere beim Erwärmen oder bei Unterdruck (z. B. bei Vakuumdestillationen oder am Rotationsverdampfer) zum Bruch und zur Freisetzung von Chemikalien führen. Sofern Unsicherheiten bestehen, ist die Praktikumsbetreuung zu fragen!

Die Grundzüge in der Technik der Glasbearbeitung sollten den Studierenden vermittelt werden, um die notwendige Sicherheit bei Tätigkeiten mit Glas zu erwerben.

Nachfolgende Hinweise sollen zeigen, wie Situationen vermieden werden können, die zu Glasbruch und Verletzungen führen.

### Glasbruch beim Aufsetzen und Anstoßen

Glasgeräte vorsichtig aufsetzen, nicht am Labortisch anstoßen oder auf unebenen Stellen absetzen. Punktförmig angreifende Kräfte, wie z. B. Sandkörner auf Tischen, sind für Glasgeräte gefährlich.

### Glasbruch durch Verdrehen oder Biegen

Glas bricht leicht, daher immer am kurzen Hebelarm anfassen. Herausragende Glasenden (T-Stücke, Kühlwasseranschlüsse an Kühlern etc.) nicht als Hebelarm beim Hantieren benutzen.

### Schneiden an scharfen Kanten

Angebrochene Ränder von Glasgeräten führen zu Verletzungen an den scharfen Kanten. Solche Geräte dürfen nicht mehr verwendet werden, sie sind vom Glasbläser zu reparieren oder zu entsorgen.

### Glasbruch beim Durchführen von Glasrohren, Glasstäben oder Thermometern durch die Bohrung eines Stopfens, Aufziehen von Schläuchen auf die Glasansätze von Kühlern oder Saugflaschen

Zylindrische Glasteile werden leicht mit Glycerin geschmiert und mit mäßigem Druck unter leichten Drehbewegungen bei möglichst kurzem Hebelarm in Bohrungen eingeführt. Zusätzlich werden die Hände durch Schnittschutzhandschuhe, notfalls ein umgewickeltes Handtuch, geschützt (siehe Abbildung 8).

Mehr Sicherheit bieten Schraubverschluss-Durchführungen mit Standard-Glasgewinden oder Glasflansche.



Abb. 8 Sicheres Durchführen eines Glasrohrs durch einen Stopfen

### Lösen festsitzender Schläuche

Solche Schläuche schneidet man ab und entfernt die Reste vorsichtig mit einem scharfen Messer vom Glas (Schnittschutzhandschuhe tragen, Glasoberfläche nicht beschädigen).

### Lösen festsitzender Schlißverbindungen von Apparaturen und Flaschen

- Praktikumsbetreuung oder erfahrene Kommilitonen bzw. Kommilitoninnen zu Rate ziehen, insbesondere bei Flaschen mit festsitzenden Glasschliffstopfen
- bei nicht entzündbaren Substanzen erwärmt man die (Kegel-)Schlißverbindung rasch mit einem Heißluftföhn (wobei sich die Hülse schneller ausdehnt als der Kern) bis sich die Verbindung durch Drehbewegung (mit geschützten Händen!) leicht lösen lässt.
- Vorsicht bei ineinander steckenden unterschiedlichen Glasarten, je nach Ausdehnungskoeffizient kann der Kern die Hülse dabei sprengen. Abhilfe schafft die Verwendung z. B. von Teflonhülsen oder Teflonringen, Glasgewindeverschraubungen oder Glasflanschen als Ersatz für Schliße. Vorsicht, wenn das Gefäß oder die Apparatur unter Druck stehen oder entzündbare Stoffe enthalten.

### Glasbruch und Verletzungsgefahr beim Aufbau von Glasapparaturen unter Spannung

Versuchsapparaturen aus Glas sind immer ohne mechanische Spannung im Glas und standsicher mit Stativklammern aufzubauen (siehe Kapitel 3.3). Durch Spannungen in der Apparatur kann es zum Brechen von Glasteilen oder Schlißen kommen.

## 3.2 Reinigen von Glasgeräten

Verschmutzte Gefäße, Gegenstände oder Laboreinrichtungen sind sofort zu säubern. Substanzreste dürfen nie in Gefäßen stehen bleiben.

Beim Reinigen von Glasgefäßen besteht die Gefahr der Kontamination mit mehr oder weniger unbekanntem Substanzen, z. B. solchen, die als Nebenprodukte bei einer Synthese entstanden sind. Sicher und zweckmäßig spült man wie folgt:

- Beim Reinigen sind selbstverständlich neben Labormantel und Schutzbrille auch Chemikalienschutzhandschuhe zu tragen. Vorsicht vor Glasbruch und Schnittverletzungen bei der mechanischen Reinigung.

Schlißschmiermittel mit einem Papiertuch, evtl. mit Hilfe von hexanfreiem Petrolether, entfernen.

- Prinzipiell können alle Verunreinigungen mit handelsüblichen Spezialdetergentien entfernt werden. Chemikalienreste in den Gefäßen können erforderlichenfalls mit geeigneten, möglichst wenig toxischen Lösemitteln (z. B. Aceton, Ethanol, hexanfreiem Petrolether) gespült werden. Die Spülflüssigkeit ist als Sonderabfall zu entsorgen. Die Entzündbarkeit kann zu Brand- und Explosionsgefahren führen.
- Lösemittel zum Spülen werden zweckmäßigerweise zur Vermeidung von Bruchgefahr in Spritzflaschen aus Kunststoff aufbewahrt. Die Verdunstung muss berücksichtigt werden. Bei höheren Raumtemperaturen kann es zudem durch den steigenden Druck in der Gasphase in der Flasche zum Austreten von Lösemitteln aus dem Steigrohr kommen (siehe auch Kapitel 5.1 mit Abbildung 43).
- Mit Lösemitteln gespülte Geräte dürfen nicht zum Trocknen in den Trockenschrank gelegt werden.
- In die Methoden zur Reinigung mit aggressiven Lösungen wie z. B. Peroxomonoschwefelsäure („Piranhalösung“), „Knabberwasser“ aus Wasserstoffperoxid und Schwefelsäure, alkalische Permanganatlösung, Mischung von Kaliumhydroxid und Isopropanol oder starken Säuren (z. B. konzentrierte Salpetersäure, konzentrierte Schwefelsäure) muss von erfahrenem Personal eingewiesen werden. Entsprechende Vorsichtsmaßnahmen sind erforderlich. Vor der Anwendung aggressiver Reinigungsmittel müssen alle Reste organischer Stoffe (auch Lösemittel) entfernt werden. Stark reagierende Reinigungsmittel dürfen nur dann verwendet werden, wenn andere Reinigungsmittel sich als ungeeignet erwiesen haben.

→ Siehe auch DGUV Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“ (DGUV Information 213-851 „Working Safely in Laboratories“), Abschnitt 4.17

### 3.3 Aufbau von Apparaturen

Der Bruch von Apparaturen während des Experimentierens zählt zu den größten Risiken chemischen Arbeitens, insbesondere weil dadurch gefährliche Substanzen entweichen oder Brände entstehen können. Schon beim Aufbau von Apparaturen müssen daher einige wichtige Sicherheitsgrundsätze beachtet werden.

Jede Improvisation durch Verwendung ungeeigneter Apparaturteile ist verboten.

Apparaturen müssen standfest, spannungsfrei und an sicheren Standorten aufgebaut werden. Befestigt werden sie mit Stativklammern und Muffen (siehe Abbildung 9)

an fest installierten Stativgerüsten. Müssen Einzelstative (Bunsenstative) verwendet werden, so ist die Apparatur über dem Schwerpunkt, d. h. über der Bodenplatte des Stativs zu zentrieren.

Wackelige Stative dürfen nicht verwendet werden. Bunsenstative sind nicht für den Aufbau breiterer Apparaturen geeignet. Schliffverbindungen werden durch Schliffklammern gesichert (siehe Abbildung 10).

In den Apparaturen – außer in Druckreaktoren – darf sich kein Überdruck aufbauen können; sie müssen daher immer einen Druckausgleich besitzen, im einfachsten Fall ist dies ein offener Schliff (siehe Abbildung 11).



Abb. 9 Stativklammern und Muffen



Abb. 10 Schliffklammern

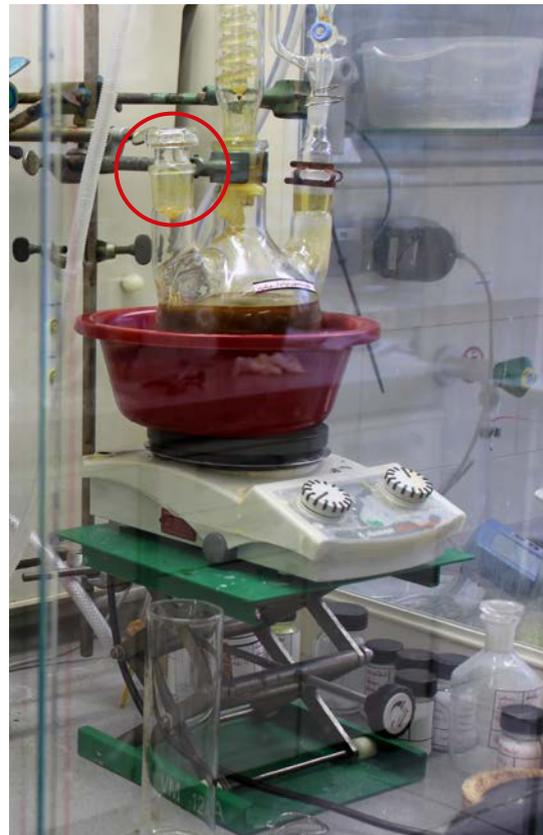


Abb. 11 Ist eine Überdrucksicherung nicht verfügbar, ist es empfehlenswert, einen an einer unkritischen Stelle befindlichen Schliff nicht zu klammern, damit sich dort im Fall eines Druckaufbaus eine Notöffnung bilden kann.

Der Schutz des Apparaturinhaltes vor Luftfeuchtigkeit kann durch Trockenrohre erfolgen, wobei Trockenmittel benutzt werden müssen, die nicht zusammenbacken und das Trockenrohr verstopfen können (z. B. Trockenmittel auf Trägermaterialien) sowie nicht mit Chemikalien der Reaktion reagieren können (z. B. kein  $\text{CaCl}_2$  bei Tätigkeiten mit Aminen).

Falls ein Schutz vor Sauerstoff erforderlich ist, kann dies mittels der Durchleitung eines Inertgases (Argon, Stickstoff) erreicht werden. Hierbei darf sich kein Überdruck aufbauen können (z. B. offene Apparatur, Sicherheitstau- chung oder federbelastetes Überdruckventil) (siehe Abbil- dung 12 und „Einleiten von Gasen“ in Kapitel 3.9).

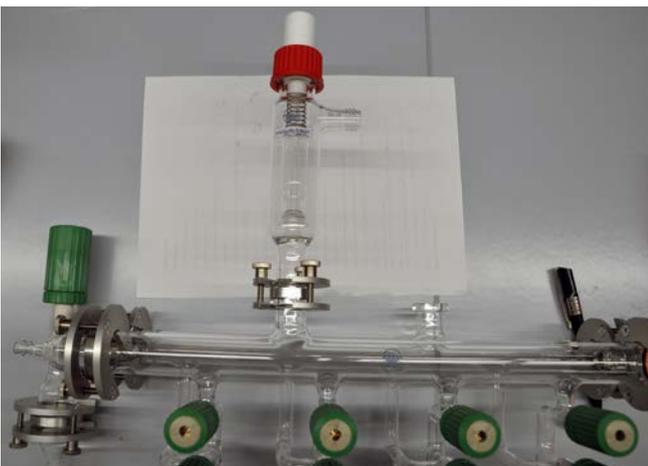


Abb. 12 Federbelastetes Überdruckventil

Für das Zusammensetzen von Apparaturen gilt das vertikale Aufbauprinzip. Zunächst wird das Reaktionsgefäß (bzw. der Destillationskolben usw.) sicher befestigt. Die Positionierung richtet sich nach der Forderung, dass Heiz- und Kühlbäder ohne Veränderungen an der Apparatur mit Hilfe von Hebebühnen entfernbar sein müssen. Weitere Apparaturteile werden durch Aufstellen auf die Kolbenschliffe hinzugefügt und dann durch Anklammern mit Stativklammern gesichert. Beim Anklammern dürfen weder Schliffverbindungen gelockert werden noch Spannungen durch Verkanten auftreten. Insbesondere Rührwellschäfte müssen fest und sicher mit dem Reaktionsgefäß verbunden sein. Um Spannungen durch schwerere oder ausladende Teile einer Apparatur zu vermeiden, können Teflon-Faltenbälge mit Schliffen eingesetzt werden.

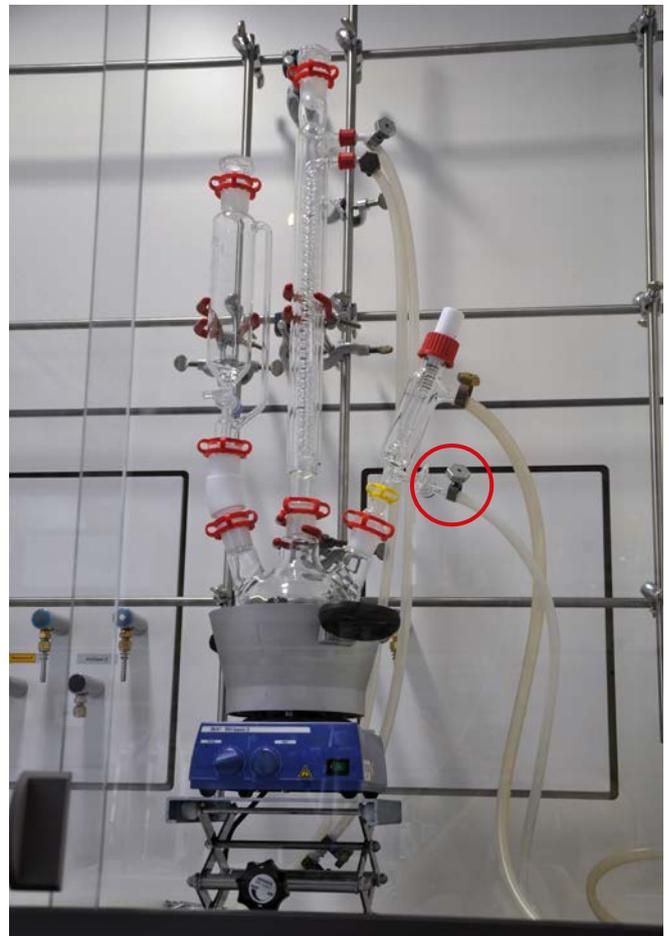


Abb. 13 Korrekt aufgebaute Laborapparatur im Abzug

Merke: Man soll stets nur so viele Klemmen verwenden, dass die Apparatur stabil aufgehängt ist. Mit steigender Anzahl an Klemmen nimmt die Spannung in der Apparatur zu. Schliffe, die durch Klammern gesichert sind, sollten nicht mit einer Stativklemme angeklammert werden.

Die Funktionen von Apparaturen, Geräten und Medien, wie z. B. des Kühlwassersystems, des Rührwerks, der elektrischen Antriebe, der Vakuumdichtheit, müssen vor der Beschickung mit Chemikalien überprüft werden. Schläuche müssen sicher (z. B. mit Schellen, siehe Abbildung 13, rote Markierung) befestigt sein.

Bei Einsatz größerer Mengen entzündbarer Flüssigkeiten muss unterhalb der Apparatur zusätzlich eine Auffangwanne mit Wabengittereinsatz (oder Lochblech) oder einer geeigneten Füllung aufgestellt werden (siehe Abbildung 14).



Abb. 14 Wabengitter- oder Lochplatteneinsatz an einem Abfüllstand

→ Siehe auch DGV Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“ (DGV Information 213-851 „Working Safely in Laboratories“), Abschnitt 5.2.1 und Abschnitt 4.13

### 3.4 Beheizen von Apparaturen

Grundregel: Vorsichtig erhitzen!

Wenn bei erhöhter Temperatur gearbeitet wird, bilden chemische Reaktionen ein besonderes Gefahrenpotenzial, insbesondere beim Erhitzen entzündbarer Lösemitel. Die folgenden Hinweise sollen helfen, die sich daraus ergebenden Risiken zu vermeiden.

Alle beheizten Apparaturen mit brennbarem Inhalt müssen mit Kühlern zur Rückhaltung flüchtiger, brennbarer Stoffe versehen sein, siehe Kapitel 3.5 „Sicheres Arbeiten mit Kühlern“.

Heizquellen müssen stets so angebracht werden, dass sie leicht und ohne Veränderung an der Apparatur entfernt werden können. Am besten sind hierzu Laborhebebühnen geeignet (siehe Abbildung 13).

Apparaturen, die entzündbare oder thermisch instabile Substanzen enthalten, dürfen niemals direkt mit einer offenen Flamme erhitzt werden, auch nicht über einem Drahtnetz oder Sandbad. Andernfalls kommt es im Havariefall zu einem schwer beherrschbaren Brandereignis!

Eine sichere Methode des Heizens ist die Verwendung von Flüssigkeits-Heizbädern, mit denen eine Wärmeübertragung bei geringer Temperaturdifferenz unter Einsatz eines Kontaktthermometers möglich ist.

Sandbäder dürfen nur verwendet werden, wenn die bei ihnen insbesondere beim Nachheizen auftretende ungleichmäßige Temperaturverteilung zu keiner Gefährdung führt. Verunreinigter Sand ist sofort zu entsorgen. Als Füllung geeignet ist geglühter See- oder Flusssand, der durch seine runde Körnung Glasflächen nicht anschneidet. Andere Sandarten, z. B. Spielplatzsand, Löschsand oder Sandarten aus dem Baustoffhandel, sind ungeeignet!

Stand der Labortechnik und allgemein geeignet als Heizquelle sind stufenlos regelbare elektrische Heizbäder (siehe Abbildung 15) und Magnetheizrührer mit geeigneten Badaufsätzen. Diese Bäder erlauben eine gleichmäßige Erwärmung ohne lokale Überhitzung – im Gegensatz zu Gewebeheizhauben – verbunden mit mechanischer Stabilität. Auf Magnetrührer aufgesetzte ölgefüllte Kristallisierschalen sind nicht geeignet. Empfehlenswert sind



Abb. 15  
Standardheiz-  
quelle im Labor für  
ein sicheres Heizen  
ist ein regelbares  
Heizbad

Heat-On-Aufsätze für Magnetheizrührer. Die Wärme wird gleichmäßig abgegeben und der Kolben sitzt fest in der Schale. Diese kühlen – im Gegensatz zum Sandbad – auch schnell wieder ab.

Gasbrenner dürfen nicht für die Erwärmung von Heizbädern, die entzündbare Flüssigkeiten erhitzen sollen, verwendet werden. Gasbrenner dürfen nur unter ständiger Aufsicht verwendet werden.

Gleichmäßiges Sieden von Flüssigkeiten muss durch Zugabe von Siedesteinchen, Siedeperlen (kleine Glaskugeln) oder kontinuierliches Rühren gewährleistet sein, da sonst mit Siedeverzügen zu rechnen ist. Die Siedesteine oder Siedeperlen sind in die **kalte Flüssigkeit** zu geben und können nur einmal benutzt werden.

Für unbeaufsichtigte Apparaturen, z. B. im Nachtlabor, sind selbstregelnde Systeme mit thermostatischer Kontrolle des Heizbades unerlässlich. Gegen die Folgen eines Ausfalls der Regeleinheit muss mit einem Übertemperaturschutz gesichert werden, z. B. durch ein zusätzliches Kontaktthermometer (siehe Kapitel 4.2).

Heizbadflüssigkeiten haben eine maximale Betriebstemperatur, oberhalb derer eine Zersetzung unter Bildung gesundheitsschädlicher Dämpfe oder auch Entflammung möglich ist. Wasserlösliche Heizbadflüssigkeiten sind zu bevorzugen.

Die Heizbadflüssigkeit ist immer dem beabsichtigten Zieltemperaturbereich anzupassen:

- bis ca. 80 °C → Wasser
- ab ca. 80 ° bis ca. 140 °C → Polyglycol
- ab ca. 140 ° bis ca. 200 °C → Silikonöl

Werden Heizbäder erhitzt, kann eine erhebliche Volumenausdehnung der Badflüssigkeit zum Überlaufen führen. Deshalb ist beim Aufbau darauf zu achten, dass bei eingetauchter Apparatur ausreichend Platz für die thermische Ausdehnung der Badflüssigkeit zur Verfügung steht (Füllgrad des Bads maximal 80 %). Zudem besteht erhebliche Gefahr der Hautverbrennung und beim Überhitzen Pyrolyse- und Entzündungsgefahr.



#### Silikonölbrände dürfen nie mit Wasser gelöscht werden!

Für Brände von Silikonölbädern sind insbesondere Fettbrandlöscher (Kennbuchstabe F) bereitzuhalten. Fettbrandlöscher enthalten eine hochkonzentrierte Salzlösung, die beim Aufsprühen auf das brennende Öl zu einer Verseifung führt.

Kühlmittel (i.d.R. Wasser) dürfen nicht in heiße Silikonölbäder gelangen, Schläuche müssen mit Schlauchschellen gegen Abrutschen gesichert werden. Das Herabtropfen von Kondenswasser kann z. B. durch Anbringen einer Papiermanschette verhindert werden.

Flüssigkeitsheizbäder müssen kippsicher aufgestellt (standfest) und ihre Höhe muss gefahrlos eingestellt werden können. Stativringe sind zur Höheneinstellung ungeeignet. Besonders beim Einstellen der Höhe unter der Apparatur haben sich – gegebenenfalls fernsteuerbare – Labor-Hebebühnen bewährt. Distanzklötze und Ähnliches sind in der Regel nicht standfest genug, um bei einem versehentlichen Anstoßen zu verhindern, dass sich die heiße Badflüssigkeit über den Tisch und möglicherweise auch über Körperteile ergießt.

Bei Verwendung von Wasserbädern ist der Wasserstand regelmäßig zu kontrollieren und ggf. Wasser nachzufüllen. Wasserbäder dürfen nicht verwendet werden, wenn die Apparatur Substanzen enthält, die mit Wasser heftig reagieren (z. B. Alkalimetalle und deren Hydride).



Abb. 16 und 16a Halterungen für Haushalts- und Profiföhn (Heatgun)

### Beheizen mit Heißluftgebläse

Beim Ausheizen von Apparaturen ist darauf zu achten, dass sich keine brennbaren Gegenstände, Flüssigkeiten oder Dämpfe im Gefahrenbereich befinden.

Ein Heißluftgebläse kann auch nach dem Ausschalten noch als Zündquelle wirken. Heißluftgebläse (Heißluftföhn/Heatgun) erreichen mit bis zu 550 °C annähernd gleiche Temperaturen wie Bunsenbrenner. Dies gilt nicht nur für die Heizdrähte im Innern der Geräte, sondern auch für die Luftaustrittsdüse am vorderen Ende. Daher darf das Heißluftgebläse nur an sicherer Stelle (möglichst außerhalb des Abzugs) abgestellt werden (siehe Abbildung 16 und 16a).

Heißluftgebläse können durch die starke Luftströmung das Rückhaltevermögen von Abzügen empfindlich stören. Die Luftströmung des Gebläses kann Gase und Dämpfe aus dem Abzug befördern, dieser muss daher weitgehend geschlossen sein (Verwendung der horizontalen Fenster des Frontschiebers).

→ Siehe auch DGUV Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“ (DGUV Information 213-851 „Working Safely in Laboratories“), Abschnitt 5.2.7

### 3.5 Sicheres Arbeiten mit Kühlern

Alle beheizten Apparaturen mit entzündbarem Inhalt müssen mit Kühlern zur Rückhaltung flüchtiger, entzündbarer Stoffe versehen sein.

Je nach Verwendungszweck und Arbeitstemperatur werden verschiedene Kühlertypen eingesetzt, siehe Abbildung 17.

Die Kühlwirkung eines Kühlers beruht auf der Wärmeübertragung an den Kühlflächen der Kühler, wobei die übertragbare Wärmemenge proportional zur Fläche des Kühlers ist. Daher ist die Größe der Kühlfläche neben der Kühlmitteltemperatur ein wichtiges Merkmal eines Kühlers. Große Kühlflächen werden z. B. durch Kühlspiralen erreicht.

Je nach Anwendung unterscheidet man Produktkühler (z. B. Liebig-Kühler) und Rückflusskühler (z. B. Dimrothkühler). Bei ersteren wird das bei der Destillation anfallende Kondensat als Produkt „absteigend“ in ein Vorlagegefäß abgeleitet. Bei Rückflusskühlern werden die vollständig kondensierten Dämpfe zurück in den Destillationskolben geführt, wobei der Rückflusskühler stets in senkrechter Anordnung eingesetzt wird.

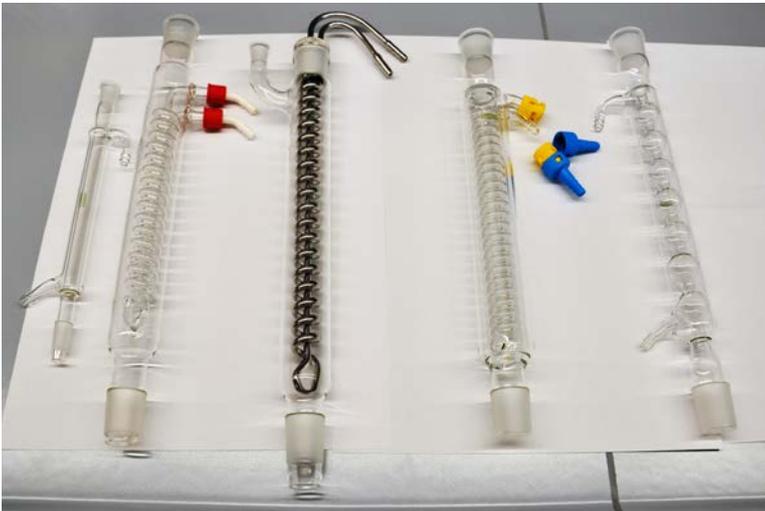


Abb. 17 Verschiedene Kühlertypen (von links nach rechts: Liebigkühler, Dimrothkühler, Dimrothkühler mit Edelstahl-Kühlwendel für wasserempfindliche Reaktionen, Intensivkühler mit Adaptern für Kunststoff-Schlauchanschlüsse an Glasoliven, Kugelkühler)



Abb. 18 Dewargefäße

Die Wirksamkeit des Kühlers ist dem Siedepunkt und den Mengen an Dämpfen des Kolbeninhaltes anzupassen (ein 30-cm-Intensivkühler ist viel wirksamer als ein 40-cm-Dimroth- oder Liebigkühler), allerdings auch schwerer.

Die Kühler werden in der Regel aus Borosilikatglas 3.3 gefertigt und sind dementsprechend recht stabil gegen chemische und thermische Einflüsse. Damit an den Glaseinschmelzungen keine Spannungen auftreten, die unter Umständen zum Bruch führen können, sollen Temperaturdifferenzen von mehr als 140 K vermieden werden. Sind sehr hoch siedende Stoffe zu kondensieren, so sind Luftkühler am besten geeignet. Im einfachsten Fall genügt hier ein ausreichend langes und weites (Glas-)Rohr.

### 3.6 Kühlen

Zum Kühlen verwendet man Eis, Eis-Salz-Mischungen (Natriumchlorid bis ca.  $-21^{\circ}\text{C}$ , Calciumchlorid bis ca.  $-55^{\circ}\text{C}$ ), Lösemittel-Trockeneis-Mischungen (bis  $-78^{\circ}\text{C}$ ) oder flüssigen Stickstoff ( $-196^{\circ}\text{C}$ ). Die als Isoliergefäße häufig verwendeten Dewargefäße sind innen verspiegelte, evakuierte Hohlkörper.

Dewar-Gefäße aus Glas können implodieren! Diese dürfen nur verwendet werden, wenn sie mit einem Schutzmantel versehen sind oder auf andere Weise gegen die Folgen einer Implosion gesichert sind.

Eine mechanische Beanspruchung (Eintauchtiefe beachten!) ist zu vermeiden. Heute sind auch hoch isolierte Metall Dewargefäße im Handel erhältlich, bei denen keine Implosionsgefahr besteht. Dewargefäße lassen sich oft durch bruchsichere Gefäße aus geschäumtem Kunststoff ersetzen (siehe Abbildung 18).

Für Trockeneiskühlung benutzt man häufig entzündbare organische Lösemittel als Übertragungsmedien. Auf die damit verbundene Brandgefahr ist zu achten, offene Flammen sind fern zu halten. Als Kühlmedium ist Isopropanol zu empfehlen, dessen Vorteile in der geringen Toxizität und in seiner hohen Viskosität liegen, die ein Überspritzen bei Trockeneiszugabe reduziert. Methanol darf nicht eingesetzt werden.

Insbesondere zu Beginn der Zugabe von Trockeneis oder tiefkalt verflüssigten Gasen ins Kühlmedium entstehen Gas-Lösemitteldampfgemische, die über den Kühlbadrand quellen und nach unten abfließen. Befindet sich dort eine Zündquelle (z. B. ein aktiver Magnetrührer), kann es zur Zündung der Lösemitteldämpfe kommen.

Muss ein Slush (schlammartiges Gemisch) hergestellt werden, so ist auf die toxischen und physikalisch-chemischen Eigenschaften des verwendeten Lösemittels zu achten.

Für Tiefkühlzwecke wird flüssiger Stickstoff (Sdp.  $-196^{\circ}\text{C}$ ) verwendet. Die Vorratsbehälter sind mit Überdruckventilen, Kappen oder lockeren Stopfen aus isolierendem Material verschlossen zu halten. Reste an flüssigem Stickstoff werden nicht in die Vorratsgebinde zurückgegeben. Stand ein Dewargefäß mit flüssigem Stickstoff längere Zeit offen, kann Sauerstoff (Sdp.  $-183^{\circ}\text{C}$ ) aus der Umgebungsluft einkondensiert sein, nur schwer erkennbar an einem bläulichen Farbstich. Dann darf der Inhalt wegen der Detonationsgefahr aufgrund der starken Oxidationswirkung des flüssigen Sauerstoffs nicht mehr verwendet werden und muss durch vollständiges Abdampfen oder Ausgießen entsorgt werden.

Flüssiger Stickstoff verdampft mit der Zeit: Aus einem Liter flüssigem Stickstoff ( $\text{LN}_2$ ) entstehen ca. 700 Liter gasförmiger Stickstoff. Aus einem Kilogramm Trockeneis entstehen 541 Liter gasförmiges Kohlenstoffdioxid. Dies ist bei der Lagerung in Kühlräumen zu beachten, da diese meistens nicht belüftet werden. Beim Verdampfen von  $\text{LN}_2$  oder Trockeneis kann hier Sauerstoff verdrängt werden und eine erstickende Atmosphäre entstehen.

Dewargefäße mit tiefkalten Flüssigkeiten (z. B. flüssiger Stickstoff) oder mit Trockeneis dürfen nicht gemeinsam mit Personen im Aufzug transportiert werden (siehe auch Abbildung 29).

→ Siehe auch DGUV Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“ (DGUV Information 213-851 „Working Safely in Laboratories“), Abschnitt 5.2.9 und 5.2.10

### 3.7 Hinweise für Arbeiten mit typischen Laborgeräten

#### Apparate zur Schmelzpunktbestimmung

Diese Apparate dürfen nicht mit konzentrierter Schwefelsäure gefüllt werden. Als Badflüssigkeiten eignen sich z. B. Silikonöle. Zu empfehlen sind Metallblock- oder elektrisch beheizte Flüssigkeits-Schmelzpunktbestimmungsapparate.

#### Rotationsverdampfer

Ein Rotationsverdampfer dient zum Konzentrieren von Lösungen bzw. Verdampfen des Lösemittels. Ein Rotationsverdampfer wird unter Normaldruck oder unter vermindertem Druck betrieben. Prinzipiell handelt es sich um eine Destillationsapparatur, bei der der Verdampferkolben um seine Längsachse rotiert. Rotationsverdampfer dürfen nur nach einer speziellen Unterweisung betrieben werden. Zur Reduzierung der Gefahr bei einer Im- oder Explosion des Rotationsverdampfers sind die Geräte vollständig einzuhäusen oder alle Glasteile mit Kunststoff zu ummanteln.

→ Siehe auch DGUV Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“ (DGUV Information 213-851 „Working Safely in Laboratories“), Abschnitt 5.2.17



Abb. 19 Rotationsverdampfer mit beschichtetem (polycoated) Kühler und Auffangkolben



Nur Innenraum frei von Zündquellen



Abb. 20 und 20a  
Kühlschränke und Kühltruhen für das Aufbewahren entzündbarer Flüssigkeiten müssen mit dem Hinweis „Nur Innenraum frei von Zündquellen“ gekennzeichnet werden.



In diesem Kühlschrank ist das Aufbewahren brennbarer Stoffe verboten!



Abb. 21 und 21a  
Kühlschränke, die nicht für die Aufbewahrung entzündbarer Flüssigkeiten geeignet sind, sind mit einem Aufkleber zu kennzeichnen

### Rührer und Zentrifugen

In sich bewegende Anlagen darf man niemals hineingreifen. Rührer oder Zentrifugen müssen langsam Stufe um Stufe hinauf- oder heruntergeschaltet werden. Bei ungewohnten Geräuschen sofort abschalten und nachsehen. Rührwellen sind mit einem Schutz gegen das Erfassen von Haaren oder Kleidungsstücken zu versehen, z. B. einem übergeschobenen Rohr aus Plexiglas.

### Trockenschränke

Produkte, die beim Trocknen entzündbare Gase oder Dämpfe abgeben können, dürfen nicht in Trockenschränken ohne Explosionsschutz getrocknet werden.

### Kühlschränke

Entzündbare Flüssigkeiten dürfen nur in Kühlschränken aufbewahrt werden, deren Innenraum frei von Zündquellen ist (siehe Abbildung 20 und 20a).

Kühlschränke und Kühltruhen, die nicht für die Aufbewahrung entzündbarer Flüssigkeiten geeignet sind, müssen eine eindeutige Kennzeichnung aufweisen, wie diese Beispiele zeigen (siehe Abbildung 21 und 21a).

Es ist darauf zu achten, dass die Gefäße aufrecht und gegen Umfallen gesichert aufgestellt werden; Stopfen, Schliffküken und dergleichen sind zu sichern (siehe Abbildung 13).

### Elektrische Geräte

Elektrische Geräte müssen sich in technisch einwandfreiem Zustand befinden. Geräte mit Schäden an Kabeln, Steckern und Kontakten müssen ausgesondert oder durch eine Elektrofachkraft repariert werden. Insbesondere Eigenbaugeräte müssen durch einen Fachmann auf Betriebssicherheit nach den einschlägigen Vorschriften geprüft werden.



Abb. 22  
Beispiel für Prüfplakette

Ortsbewegliche elektrische Geräte sind regelmäßig (mind. 1x jährlich) durch eine Elektrofachkraft zu prüfen (siehe Prüfplakette in Abbildung 22).

Hinweise zum Arbeiten mit elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln sind in Anhang 6 zu finden.

### 3.8 Arbeiten unter vermindertem Druck

In chemischen Laboratorien werden häufig Experimente in Apparaturen unter vermindertem Druck durchgeführt. Typische Beispiele sind Destillation oder Sublimation im Vakuum, Absaugen von Niederschlägen, Trocknen. Die verwendeten Apparaturen müssen dabei einer erheblichen Belastung durch den Außendruck standhalten.

Bei angelegtem Vakuum entspricht die Druckbelastung fast unabhängig von der verwendeten Pumpe rund 1000 hPa (= 100.000 Pascal = 100.000 N/m<sup>2</sup> Glasoberfläche).

Es ist ein weit verbreiteter Irrtum, dass das Arbeiten unter Grobvakuum (ca. 10 hPa bzw. mbar) im Vergleich mit „Feinvakuumarbeiten“ (ca. 0,1 hPa bzw. mbar) harmlos ist. In der Tat unterscheiden sich die Druckbelastungen nur um 10–20 hPa (1.000–2.000 Pascal). Selbst beim Absaugen von Niederschlägen werden in der Saugflasche noch Belastungen von 300–800 hPa (30.000–80.000 Pascal) erreicht. Ein Belastungsbruch unter vermindertem Druck führt zur Implosion, wobei die umherfliegenden Glassplitter schwere Verletzungen verursachen können. Es versteht sich deshalb von selbst, dass „Vakuumarbeiten“ in Glasgeräten mit besonderer Vorsicht und unter Beachtung der Sicherheitsregeln durchgeführt werden müssen.

Bei Arbeiten unter vermindertem Druck ist für ausreichenden Schutz zu sorgen. Der Unterdruck ist nach Möglichkeit auf das experimentell notwendige Maß zu begrenzen. Unterdruckregelung wird empfohlen.

#### Schutzmaßnahmen

Es dürfen nur fehlerfreie Glasgeräte mit unbeschädigter Oberfläche verwendet werden (Sichtkontrolle! siehe auch Kapitel 3.1). Zusätzliche Belastungen durch Spannung infolge verkanteter Befestigung von Apparaturen sind auszuschließen. Evakuierte Apparaturteile dürfen nicht einseitig erhitzt werden.

Für Arbeiten unter vermindertem Druck dürfen nur Glasgeräte mit gewölbter Oberfläche verwendet werden (z. B. Rundkolben), keinesfalls also Erlenmeyerkolben oder sonstige Gefäße mit flachem Boden. Hiervon abweichend dürfen dickwandige Glasgeräte benutzt werden, die eigens für „Vakuumarbeiten“ hergestellt sind (Saugflaschen, Exsikkatoren).

Rundkolben dürfen keinesfalls punktuell erhitzt werden!

Beim Absaugen ist auf guten Sitz der Gummimanschetten zwischen Absaugtrichter (Nutsche) und Saugflasche zu achten; plötzliches Durchrutschen des Trichters kann zum Bruch der Saugflasche führen. Saugflaschen sollten Kunststoffoliven oder Schliiffhülsen für den Anschluss des Vakuumschlauches haben, gläserne Oliven führen zu erhöhten Bruchgefahren.

Betrieb und Aufbewahrung evakuierter Apparaturen dürfen nur an Orten erfolgen, die gegen unbeabsichtigtes Anstoßen oder bei Beschädigung durch herabstürzende Gegenstände geschützt sind. Wirksamer Splitterschutz für den Fall von Implosionen ist die Verwendung von Schutzscheiben, Netzen, Lochblechen oder Schutzvorhängen sowie Schutzschilde oder die Sicherung in Drahtkörben, insbesondere bei großvolumigen Vakuumapparaturen. Dickwandige Geräte wie Exsikkatoren oder Saugflaschen müssen mit Splitterschutzfolie beklebt oder beschichtet sein. Kunststoffbeschichtete Geräte (polycoated-Gefäße) sind im Handel erhältlich.

→ Siehe auch DGUV Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“ (DGUV Information 213-851 „Working Safely in Laboratories“), Abschnitt 5.1.6.

### 3.9 Tätigkeiten mit Gasen

Gase werden oft als Reaktanden oder Schutzgas in chemischen Reaktionen eingesetzt oder können bei chemischen Reaktionen entstehen. Sie finden auch als Hilfsmittel bei einigen analytischen Verfahren Anwendung. Tätigkeiten mit Gasen sind mit besonderen Gefährdungen verbunden: Viele Gase diffundieren sehr rasch in die Laboratmosphäre. Entzündbare Gase bilden dann leicht zündfähige Gemische, giftige Gase gefährden Personen bereits in geringen Konzentrationen. Besondere Gefahren ergeben sich beim Arbeiten mit Gasen unter Druck.

#### Druckgasflaschen

##### Allgemeines

Die meisten Gase werden in verdichteter Form (verflüssigt oder unter hohem Druck) in Druckgasflaschen angeboten. Druckgasflaschen stellen ein Gefahrenpotenzial an sich dar, denn sie können bei grob unsachgemäßer Behandlung (Umstürzen, starke Hitzeeinwirkung) bersten. Daraus ergeben sich einige unbedingt einzuhaltende Sicherheitsvorschriften.

Druckgasflaschen sind möglichst außerhalb des Labors oder in Sicherheitsschränken für Druckgasflaschen aufzustellen, da sie bei Bränden ein erhöhtes Risiko für das Löschpersonal darstellen.

Werden Druckgasflaschen nicht benutzt, muss das Flaschenventil durch Aufschauben der Schutzkappe (und Ventilschutzmutter, wenn eine zu der Flasche gehört) gesichert werden.

Toxische oder korrosive Gase (z. B. Chlor, Ammoniak) sollen im Labor nur in möglichst kleinen Druckgasflaschen oder Lecture Bottles verwendet werden, die dauerhaft abgesaugt, also vorzugsweise in Sicherheitsschränken für Druckgasflaschen oder auch unmittelbar im Abzug aufgestellt werden müssen, siehe Beispiel korrodierter Druckgasflaschen in Abbildung 23.

→ Siehe auch DGVU Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“ (DGVU Information 213-851 „Working Safely in Laboratories“), Abschnitt 5.2.11



Abb. 23 Korrosionsschäden an Druckgasflaschen



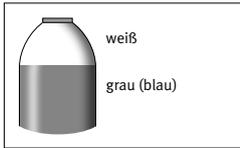
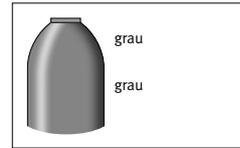
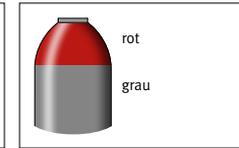
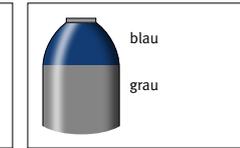
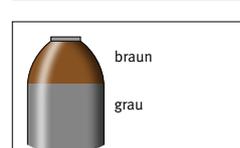
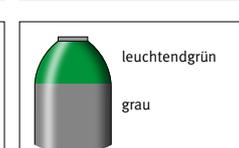
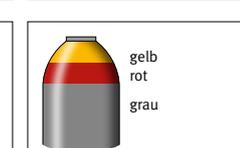
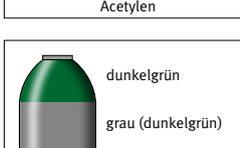
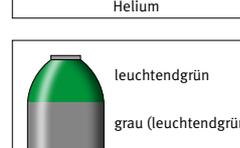
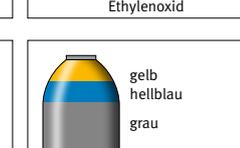
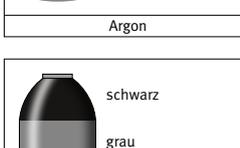
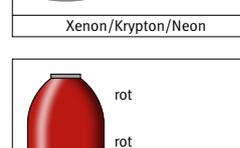
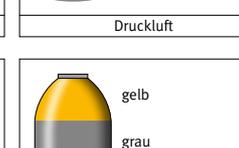
Abb. 24 Druckgasflaschenkennzeichnung

#### Kennzeichnung von Druckgasflaschen

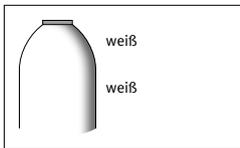
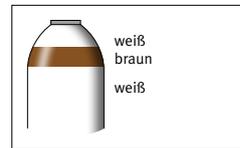
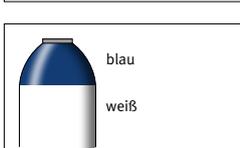
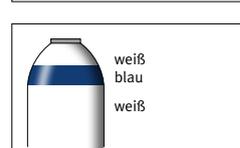
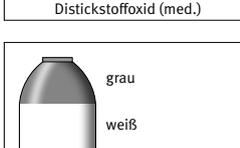
Druckgasflaschen müssen die europäische harmonisierte Farb Kennzeichnung tragen sowie eine Kennzeichnung auf der Flaschenschulter (siehe Tabelle 1 und Abbildung 24). Dies gilt nicht für Flüssiggasflaschen und Feuerlöscher.

**Tabelle 1** Farbcodes für Druckgasflaschen nach DIN EN 1089-3: 2011-10 „Ortsbewegliche Gasflaschen – Gasflaschen-Kennzeichnung (ausgenommen Flüssiggas (LPG)) – Teil 3: Farbcodierung“

a. Reingase/Gasgemische für industriellen Einsatz

 weiß grau (blau) Sauerstoff (techn.)	 grau grau Kohlendioxid	 rot grau Formiergas (Gemisch Stickstoff/Wasserstoff)	 blau grau Distickstoffoxid	 grau schwarz grau Stickstoff/Kohlendioxid
 kastanienbraun kastanienbraun Acetylen	 braun grau Helium	 leuchtendgrün grau Gemisch (Argon/Kohlendioxid)	 gelb rot grau Ethylenoxid	 grau dunkelgrün grau Argon/Kohlendioxid
 dunkelgrün grau (dunkelgrün) Argon	 leuchtendgrün grau (leuchtendgrün) Xenon/Krypton/Neon	 leuchtendgrün grau Druckluft	 gelb hellblau grau Fluorwasserstoff	 grau weiß grau Sauerstoff/Kohlendioxid
 schwarz grau (dunkelgrün, schwarz) Stickstoff	 rot rot Wasserstoff	 gelb grau Ammoniak, Chlor etc. (giftige Gase)	 dunkelgrün schwarz grau Argon/Stickstoff	

b. Reingase/Gasgemische für medizinischen Gebrauch und Inhalation

 weiß weiß Sauerstoff (med.)	 weiß braun weiß Gemisch Sauerstoff/Helium	 weiß schwarz weiß Synthetische Luft für Atemzwecke
 blau weiß Distickstoffoxid (med.)	 weiß blau weiß Gemisch Sauerstoff/Distickstoffoxid	 weiß schwarz weiß (oder Leuchtfarbe, z. B. gelb/rot für Rettungsdienste) Druckluft für Atemzwecke
 grau weiß Kohlendioxid (med.)	 weiß grau weiß Gemisch Sauerstoff/Kohlendioxid	

Sofern ein Gas oder Gasgemisch über zwei Gefahreneigenschaften verfügt, muss die Flaschenschulter mit der Farbe gekennzeichnet sein, die die Hauptgefahr darstellt. Die Farbe der Zweitgefahr (entzündbar oder oxidierend) darf ebenfalls auf der Flaschenschulter gekennzeichnet werden:

- toxisch (und/oder korrosiv) und entzündbar:  
Gelb plus Rot
- toxisch (und/oder korrosiv) und oxidierend:  
Gelb plus Hellblau

Laboratorien, in denen Druckgasflaschen nicht im Sicherheitsschrank aufgestellt sind, müssen mit dem Warnzeichen W029 „Warnung vor Gasflaschen“ gekennzeichnet sein.



### Betrieb und Gasentnahme

Druckgasflaschen müssen gegen Umfallen gesichert sein. Daher sind sie am Ort der Aufstellung mit Ketten oder Rohrschellen oder einer anderen Sicherungsmöglichkeit zu befestigen (siehe Abbildung 25).

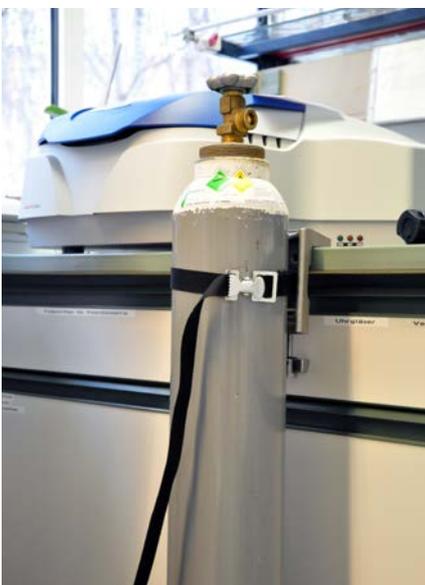


Abb. 25  
Sicherung einer Sauerstoffflasche (mit noch nicht aufgeschraubtem Druckminderventil) am Labortisch



Abb. 26 Beispiel eines Druckminderers



Abb. 27 Anschluss einer Gasflasche

Druckgasflaschen besitzen hinter dem Flaschenventil einen Gewindeanschluss zum Anbringen des Druckminderers mit Entnahmeventil oder Nadelventile (siehe Abbildung 26 und 27).

Nadelventile sind keine Druckminderer, sondern nur Strömungsbegrenzer. Aus diesem Grund sollten sie nur in den Fällen zum Einsatz kommen, in denen keine Druckminderer erhältlich sind (z. B. bei manchen verflüssigten Gasen). Es dürfen nur für die betreffende Gasart zugelassene Entnahmeventile verwendet werden. Druckgasflaschen für

entzündbare Gase haben Linksgewinde, für andere Gase haben sie Rechtsgewinde. Überwurfmutter mit Linksgewinde sind an einer umlaufenden Kerbe erkennbar!

Bei stark oxidierenden Gasen müssen die Armaturen frei von Öl, Fett und Glycerin gehalten werden.

Die Montage der Druckminderer oder Nadelventile muss durch fachkundige Personen erfolgen, die die unversehrte und für das Gas geeignete Dichtung beurteilen und die Mutter mit dem angemessenen Drehmoment anziehen sowie die Dichtheit der Verbindung mittels Seifenlauge oder Leck-Suchspray feststellen können.

Zur Entnahme von Gas wird zunächst bei geschlossenem Entnahmeventil des Druckminderers das Hauptventil an der Druckgasflasche geöffnet. Sollte sich das Hauptventil nicht von Hand öffnen lassen, darf die Druckgasflasche nicht benutzt werden und ist dem Fachpersonal der Materialausgabe zurückzugeben. Umgekehrt ist das Anziehen des Hauptventils mit Werkzeugen verboten. (Nicht gängige Hauptventile werden vor allem bei korrosiven Gasen beobachtet, gerade hier führt unsachgemäßes Manipulieren immer wieder zu gefährlichen Situationen). Schließlich werden zur Entnahme der Entnahmedruck und dann das Feinventil auf den gewünschten Gasstrom eingestellt.

Druckminderer und Nadelventile für korrosive Gase müssen nach Beendigung jedes Versuchs sofort mittels Durchspülen und Ausblasen gereinigt werden, da sonst die Gefahr von Fehlfunktionen bei der nächsten Benutzung besteht.

Entleerte Flaschen sollen noch einen geringen Restdruck aufweisen. Sie müssen eindeutig als entleert gekennzeichnet werden. Leere Flaschen sind genauso wie volle zu lagern.

→ Siehe auch DGUV Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“ (DGUV Information 213-851 „Working Safely in Laboratories“), Abschnitt 5.2.11

### Transport von Druckgasflaschen

Druckgasflaschen dürfen nur mit geeigneten Hilfsmitteln und grundsätzlich nur mit Schutzkappe transportiert werden (siehe Abbildung 28).



Abb. 28 Flaschentransportwagen

Geeignete Hilfsmittel sind beispielsweise Flaschentransportwagen. Auf die Kippsicherheit der Transportwagen ist zu achten. Die zur Gasflasche passende Schutzkappe ist vollständig auf das Gewinde zu schrauben.

Unbegleiteter Transport im Aufzug ist möglich, sonst ist ein Treppensteiger zu verwenden.



Abb. 29

Druckgasflaschen oder gefüllte Dewargefäße mit tiefkalten Flüssigkeiten oder Trockeneis dürfen nicht gemeinsam mit Personen in Aufzügen transportiert werden.

### Einleiten von Gasen

Gase werden in Reaktionsapparaturen über mit Schlauchschellen gesicherte Schläuche eingeleitet, welche gegenüber dem verwendeten Gas beständig sind (siehe hierzu Abbildung 30).

Gut geeignet sind meist Silikonschläuche, Gummischläuche weit weniger. Schläuche müssen vor Gebrauch einer Sichtprüfung unterzogen werden. Gase dürfen in Apparaturen nur eingeleitet werden, wenn sichergestellt ist, dass sich in der Apparatur kein unzulässiger Überdruck aufbauen kann. Federbelastete Sicherheitsventile aus Glas mit Normschliffen haben sich bewährt (siehe Abbildung 11).

Wenn beim Einleiten feste Reaktionsprodukte gebildet werden, besteht die Gefahr des Verstopfens des Einleitungsrohres und eines unkontrollierten Druckaufbaus im Einleitungssystem. Solche Reaktionen bedürfen der ständigen Beobachtung. Es gibt spezielle Einleitungssysteme, welche die mechanische Entfernung von Feststoffen aus dem Einleitungsrohr ohne Öffnen der Apparatur erlauben.

Alle Gaseinleitungsapparaturen müssen eine drucklose Austrittsöffnung mit Gasableitungsschlauch unmittelbar hinter die Prallwand des Abzugs besitzen. Ein zwischen geschalteter Blasenähler erlaubt zusätzlich die Kontrolle der Gasabsorption in der Reaktion.

Das Entweichen größerer Mengen nicht umgesetzter toxischer oder ätzender Gase in das Abzugssystem ist zu verhindern. Dies geschieht durch Absorption der Gase in geeigneten Reaktionsmedien (z. B. Ammoniak in Essigsäure, Chlorwasserstoff in verdünnter Natronlauge). Dabei dürfen die Gase nicht in das Absorptionsmedium ein-, sondern nur mittels eines Trichters über dessen Oberfläche geleitet werden, da andernfalls die Gefahr des Zurücksteigens des Absorptionsmediums in die Apparatur besteht. Das Zurücksteigen von Gasen in die Apparatur kann durch den Einbau einer Waschflasche (Gaseinströmung über die obere Schlaucholive) verhindert werden.

Solche Zusatzapparaturen haben den Charakter von Reaktionsapparaturen und müssen daher den gleichen Sicherheitsüberlegungen entsprechen, wie bisher beschrieben. So muss z. B. die Menge der Absorptionslösung der erwarteten Gasmenge entsprechen, bei exothermen Reaktionen für Kühlung gesorgt werden und beachtet werden, dass ausgefallene Feststoffe zu keiner Beeinträchtigung der Reaktion oder Verstopfen von Einleitungsrohren führen.



Abb. 30  
Einleiten von  
Gasen mit  
Überdruckventil

# 4 Tätigkeiten mit Chemikalien

Dieses Kapitel zeigt, wie man Kontaminationen mit chemischen Arbeitsstoffen, die Gefährdung von Personen und generell das Entstehen gefährlicher Situationen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen vermeidet.

## 4.1 Information über Stoffeigenschaften und sicherheitstechnische Kenngrößen

Wichtige Hinweise auf Flüchtigkeit, Entzündbarkeit, Acidität, Toxizität, Fähigkeit zur Autooxidation oder zum spontanen Zerfall und andere Eigenschaften liefern die Etiketten der Original-Hersteller-Verpackungen von Chemikalien. Über die verwendeten Piktogramme und Gefahrenhinweise sowie Sicherheitshinweise informieren die Anhänge 3 und 4.

Beispiele von Kennzeichnungen auf Chemikaliengebinden sind in Abbildung 31 und 32 dargestellt.

Es ist immer zu empfehlen, selbst über mögliche Gefahren zu recherchieren und weitere Informationsquellen (Gefahrstoffdatenbanken im Internet, wie z. B. GESTIS oder GiSChem) heranzuziehen, siehe Anhang 1 „Informationsquellen“.

Arbeitsvorschriften in Praktikumsbüchern und -manuskripten sind meist so weit erprobt, dass beim Einhalten der Arbeitsanweisungen zweckmäßiges und sicheres Arbeiten gewährleistet ist. Zusätzlich sind die stoff- und tätigkeitsbezogenen Betriebsanweisungen zu beachten.

Viele Vorschriften aus der Literatur enthalten lediglich spärliche Hinweise auf Sicherheitsfragen. Bei allen Unklarheiten sind die Praktikumsverantwortlichen anzusprechen.

Hinweise auf gefährliche Eigenschaften lassen sich auch durch Analogieschlüsse auf Grund der Verwandtschaft chemischer Strukturen zu bekannten Stoffen erhalten. Vorsicht: Analogieschlüsse können aber auch in die Irre führen. So ist Benzol krebserzeugend, Toluol aber nicht. Näheres hierzu finden Sie im Kapitel 6 „Toxikologie“.

Gefährliche physikalisch-chemische Eigenschaften lassen sich mitunter aus Strukturen ableiten. So ist das Vorhandensein konjugierter Doppel- oder Dreifachbindungen, Peroxo-Brücken oder mehrerer Nitro-Gruppen ein wichtiger Hinweis auf erhöhte Reaktivität oder chemische Instabilität bis hin zu Explosivität der jeweiligen Moleküle.



Abb. 31  
Herstellerkennzeichnung auf Originalgebinde



Abb. 32  
Vereinfachte Kennzeichnung

Im Anhang 1 „Informationsquellen“ sind Portale und Datenbanken im Internet aufgeführt, aus denen man wertvolle sicherheitstechnische Informationen erhalten kann. Auch in Online-Chemikalienkatalogen der Chemikalienhersteller ist über viele wichtige Stoffeigenschaften Auskunft zu finden.

Sollte die Arbeit mit Stoffen notwendig sein, über die nicht ausreichende Informationen vorliegen, so muss ihre Gefährlichkeit wie folgt unterstellt werden

1. akut toxisch (ein Aufnahmeweg ist ausreichend) (Kat. 3),
2. hautreizend (Kat. 2),
3. keimzellmutagen (Kat. 2),
4. hautsensibilisierend (Kat. 1) und
5. toxisch bei wiederholter Applikation (Kat. 2).

Zusätzlich können auch weitere Gefährdungen auftreten, z. B. die Entzündbarkeit der Gefahrstoffe (Informationen zur Einstufung der Gefahrstoffe sind im Anhang 3 enthalten).

Einatmen und Hautkontakt sind immer zu vermeiden und gegebenenfalls sind Vorkehrungen für den Fall von Zersetzungen zu treffen.

→ Siehe auch DGUV Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“ (DGUV Information 213-851 „Working Safely in Laboratories“), Abschnitt 3.2

## 4.2 Allgemeine Vorsichtsmaßnahmen beim Experimentieren

Alle Experimente müssen sorgfältig geplant und vorbereitet werden. Eine gute Vorbereitung erfolgt anhand einer Betriebsanweisung, in der nicht nur die Reaktionsgleichung und die Versuchsbeschreibung skizziert sind, sondern auch die Kennzeichnung der eingesetzten und synthetisierten Stoffe, Gefahren für Mensch und Umwelt, erforderliche Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln, Verhalten im Gefahrfall, Erste-Hilfe-Maßnahmen und Angaben zur Entsorgung.

Vor Beginn des Experiments ist weiterhin zu prüfen, ob die zur Verfügung stehende Zeit für den gesamten Versuchsablauf ausreicht. Ist dies nicht der Fall, muss im

Voraus festgelegt werden, an welchen Stellen der Versuch gefahrlos unterbrochen werden kann.

Ist es notwendig, einen Versuch über längere Zeit oder über Nacht unbeaufsichtigt laufen zu lassen, müssen geeignete Sicherheitsvorkehrungen mit den Laborverantwortlichen oder den Betreuenden getroffen werden (z. B. erhöhter Brandschutz, richtige Auslegung von Kontroll- und Regleinrichtungen, sichere Abschaltung bei Stromausfall).

Es hat sich bewährt, Versuche ohne durchgehende Aufsicht und über einen längeren Zeitraum in speziellen „Nachtlaboratorien“ oder in brandüberwachten Abzügen durchzuführen, in denen besondere Sicherheitseinrichtungen vorhanden sind und die Versuche technisch überwacht werden (Wasserwächter, Kontaktthermometer, Durchbruchssicherung, Brandmelder, automatische Löschanlage, Druckentlastungsöffnungen etc.).

Der Versuch darf erst dann ohne ständige Beaufsichtigung durchgeführt werden, wenn er mit einer technischen Überwachung eine hinreichende Zeit ohne Eingreifen gleichmäßig stabil gelaufen ist.

Die Verfügbarkeit aller benötigten Chemikalien und Geräte muss vor Beginn eines Versuches sichergestellt sein. Die Suche nach fehlendem Material führt insbesondere in schwierigen Phasen eines Versuches unweigerlich zu Hektik und damit zu erhöhtem Sicherheitsrisiko.

Wird die Versuchsanlage am Vortag aufgebaut, gewinnt man Zeit und Flexibilität. Die benötigten Chemikalien werden jedoch erst am Arbeitstag in die Apparatur gegeben.

→ Siehe auch DGUV Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“ (DGUV Information 213-851 „Working Safely in Laboratories“), Abschnitt 4.3

Insbesondere folgende Vorsichtsmaßnahmen müssen immer beachtet werden:

- Chemikalien dürfen nicht mit der Haut in Berührung kommen, dürfen also auch nicht angefasst werden.
- Mit gefährlichen Substanzen darf nur in kleinen Mengen gearbeitet werden. Je gefährlicher eine eingesetzte oder entstehende Substanz ist, desto kleiner sollte der Ansatz gewählt werden.

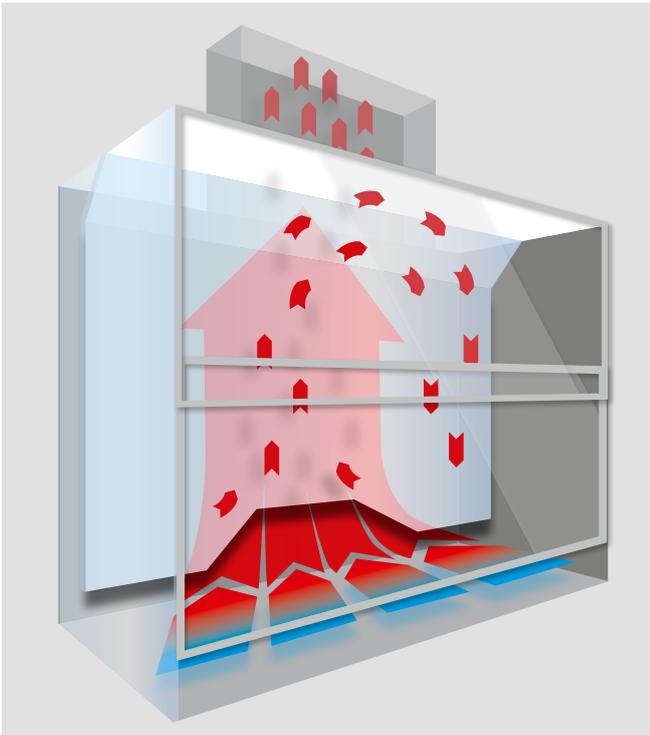
- Siedeverzüge bei Erhitzen von Flüssigkeiten müssen durch Rühren, Siedesteinchen, Siedeperlen, Siedekapillaren, etc. vermieden werden. Reagenzgläser müssen beim Erhitzen ständig geschüttelt werden, da sonst die ganze Flüssigkeit durch plötzliches Aufkochen heraus-spritzen kann. Die Öffnung eines Reagenzglases nie auf sich oder eine andere Person richten!
- Arbeiten, bei denen Gase, Dämpfe oder Schwebstoffe in gefährlicher Konzentration oder Menge auftreten können, dürfen nur in Abzügen ausgeführt werden. Hierzu gehören beispielsweise Abdampf- oder Abraucharbeiten sowie das Erhitzen von Ölbädern bei Destillationen oder die Verwendung leicht verdampfender Lösemittel oberhalb des Halbmikromaßstabs (Flüssigkeitsvolumina > 10 ml).
- Bei einem möglichen heftigen, unkontrollierten Reaktionsverlauf („Versuch geht durch“) sind Gegenmaßnahmen bereits vorher zu planen (z. B. Eisbad bereithalten bei Grignard-Reaktionen).
- Bei Benutzung eines Rotationsverdampfers lässt sich durch die richtige Einstellung der Wasserbadtemperatur und ein dem Lösemittel angepasster Unterdruck eine gute Kondensation erreichen. Bewährt hat sich der Einsatz von geregelten Drehschieber- oder Membranpumpen.
- Wenn flüssiger Stickstoff als Kühlmittel in Kühlbädern verwendet wird, muss beachtet werden, dass Sauerstoff einkondensieren kann und Detonationsgefahr besteht.
- Verspritzte oder verschüttete Chemikalien müssen sofort in geeigneter Weise entsorgt werden. Konzentrierte Säuren oder Basen werden neutralisiert und die Flüssigkeit anschließend aufgewischt. Hierbei muss geeignete Schutzausrüstung (im Normalfall ausreichend beständige Chemikalienschutzhandschuhe) getragen werden. Gefährliche Flüssigkeiten werden am besten mit geeignetem Absorptionsgranulat aufgenommen. Für starke Oxidationsmittel [z. B. konzentrierte Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ ) oder Perchlorsäure ( $\text{HClO}_4$ )] dürfen nur mineralische Absorptionsmittel und keine Kunstharzbinder verwendet werden. Das benutzte Granulat wird gesammelt und der Sondermüllentsorgung zugeführt. Die Betriebsanweisungen geben hier Auskunft über die notwendige persönliche Schutzausrüstung und das geeignete Sammelgefäß.
- Bei Tätigkeiten mit größeren Mengen ätzender Flüssigkeiten (z. B. Reinigungsbäder) ist neben dem Labormantel, Schutzbrille und geschlossenen Schuhen (ggf. sogar Gummistiefel) flüssigkeitsundurchlässige Schutzkleidung, z. B. Chemikalienschutzhandschuhe mit langen Stulpen sowie eine Chemikalienschutzschürze, zu tragen.
- Bei Arbeiten mit Gefahrstoffen, die die Augen in erhöhtem Maße gefährden, muss eine allseits geschlossene Brille (Korbbrille) oder ein Gesichtsschutzschild getragen werden.
- Bei Arbeiten, die die Hände gefährden, müssen je nach Gefährdung, chemikalienbeständige oder auch mechanisch feste Schutzhandschuhe getragen werden (siehe Anhang 8). Medizinische Einmalhandschuhe, die nur die Anforderungen der DIN EN 455-1: 2020-07 erfüllen, sind keine Chemikalienschutzhandschuhe.
- Viele Gefahrstoffe können durch das Handschuhmaterial diffundieren, unter Umständen mit erstaunlich hoher Geschwindigkeit. So dringen Stoffe, wie z. B. Aceton oder Xylol, durch verschiedene Handschuhmaterialien sehr rasch hindurch. Für chlorierte Kohlenwasserstoffe wie Methylenchlorid oder Chloroform liegen die Durchbruchzeiten im einstelligen Sekundenbereich! Die Chemikalienschutzhandschuhe sind daher gemäß den Beständigkeitsangaben des Handschuhherstellers oder anhand der Angaben in den Sicherheitsdatenblättern der jeweiligen Chemikalien auszuwählen (siehe auch Anhang 7). Mit benutzten Handschuhen dürfen z. B. keine Lichtschalter, Türklinken, Wasserhähne an Waschbecken, Telefonhörer, Eingabetastaturen oder Schreibzeug angefasst werden, um Kontaminationen und hierdurch eine Gefährdung Dritter zu vermeiden.

### 4.3 Richtiges Arbeiten am Abzug

Der Abzug ist die wichtigste Sicherheitseinrichtung im Labor.

Im Abzugsinneren bildet sich in der Regel eine walzenförmige Luftströmung aus, welche die luftgetragenen Gefahrstoffe als Fracht in der Abluft abführt (siehe Abbildung 33).

Ferner wird durch die sich einstellende Verdünnung die Bildung explosionsfähiger Atmosphäre im Abzugsinnenraum bei Tätigkeiten mit entzündbaren Flüssigkeiten oder Gasen in der Regel verringert, wenn die in der Gefährdungsbeurteilung/Arbeitsanweisung angegebenen Mengen eingehalten werden. Größere Ansätze müssen daher u.U. geteilt werden. Dies gilt insbesondere bei neuen



**Abb. 33** Raumlufthalte – Luft aus dem Laborraum (blau) strömt in den Abzug, nimmt dort luftgetragene Gefahrstoffe auf und beginnt sich zu drehen, während im Bereich der Prallwand der gleiche Volumenstrom an Luft (rot) abgeführt wird

Abzügen mit reduzierter Luftleistung beim Betrieb mit geschlossenem Frontschieber.

Der Abzug soll

- den Austritt von Gefahrstoffen aus dem Abzug in den Laborraum verhindern,
- die Bildung explosionsfähiger Atmosphäre im Inneren verringern und
- vor dem Verspritzen von Stoffen oder dem Heraus-schleudern von Splintern und Fragmenten schützen.

Der Abzug kann seine Schutzfunktion nur gewährleisten, wenn auch richtig daran gearbeitet wird. Dabei hat der Frontschieber eine Schlüsselfunktion bei allen drei Schutzziele.

- Die Frontschieber und horizontal verschiebbare Scheiben sind möglichst geschlossen zu halten (siehe Abbildung 34). Je weiter der Abzug geöffnet ist, desto schlechter ist in aller Regel das Rückhaltevermögen für Gefahrstoffe im Abzug. Arbeiten sollen nach Möglich-

keit durch seitlich verschiebbare Frontschieberteile ausgeführt werden.

Front- und Seitenschieber dürfen nicht gleichzeitig geöffnet werden.

- Bei geöffnetem Frontschieber darf nur in begründeten Ausnahmefällen gearbeitet werden, da hierbei der Schadstoffaustritt unkontrollierbar, der Brand- und Explosionsschutz beeinträchtigt wird und der Benutzer des Abzuges nicht gegen verspritzende gefährliche Stoffe oder umherfliegende Glassplinter geschützt ist. Auch dann darf der Frontschieber nur so weit wie erforderlich, maximal bis zu einer Öffnung von 0,5 m Höhe (Abzüge nach der neuesten Norm haben hier eine Sperre) geöffnet werden.
- Starke Luftströmungen vor Abzügen, z. B. aus Zuluftauslässen, Umluftkühlgeräten, offenen Fenstern und Türen sind zu vermeiden.
- Rasche Bewegungen (Armbewegungen, Vorbeilaufen) vor ausnahmsweise offen stehenden Abzügen sind zu vermeiden.
- Nur die für die jeweiligen Arbeiten erforderlichen Geräte und Chemikalien sind in den Abzug zu stellen.
- Luftströmungen im Abzug dürfen keine Abzugsatmosphäre nach außen blasen.

Der Betrieb von Gasbrennern, Heißluftgebläsen oder Heizbädern im Abzug kann die Luftströmung erheblich stören und deshalb sind diese nur im notwendigen Umfang zu betreiben. Ventilatoren von Elektromotoren (z. B. von Vakuumpumpen) erzeugen kräftige Strömungen. Diese sollen daher möglichst nicht im Abzug oder, falls doch nötig, weder auf den Frontschieber, noch auf die Prallwand gerichtet werden. Siehe auch nachfolgende Abbildungen.

- Bei größeren thermischen Lasten sind hierfür ausgelegte Abzüge zu verwenden („Abrauchabzüge“), da sonst Gefahrstoffe mit der heißen Luft aus dem Abzug in den Laborraum gedrückt werden können.
- Die Abzugswirkung wird ebenso durch Strömungshindernisse, wie z. B. Regalböden, Standflaschen oder herumstehende Geräte, stark beeinträchtigt. Die Abzüge sollten daher so weit wie möglich freigeräumt sein.
- Abzüge dürfen nicht zur Lagerung von Chemikalien oder zur Aufstellung von abzusaugenden Großgeräten (Muffelöfen, Trockenschrank etc.) missbraucht werden.
- Abzüge dürfen nicht überlastet werden. Bei der Versuchsdurchführung sind alle nicht erforderlichen Geräte und Vorratsflaschen zu entfernen. Zu große Apparaturen

können nicht immer sicher betrieben oder größere Stoffaustritte können nicht sicher beherrscht werden.

- Die nachfolgend angegebenen Ansatzgrößen sind erfahrungsgemäß in typischen Laborapparaturen im Abzug sicher zu handhaben. Die jeweils eingesetzte maximale Menge pro Ansatz ist dem Gefahrenpotential des einzelnen Gefahrstoffs anzupassen:
  - Flüssigkeiten werden in Mengen von jeweils nicht mehr als 2,5 Liter eingesetzt.
  - Flüssige Gefahrstoffe, die als akut toxisch Kat. 3, krebserzeugend, keimzellmutagen oder reproduktionstoxisch eingestuft sind, werden in Mengen von jeweils nicht mehr als 0,5l eingesetzt.
  - Flüssige Gefahrstoffe, die als akut toxisch Kat. 1 und 2 eingestuft sind, werden in Mengen von jeweils nicht mehr als 0,1l eingesetzt.
  - Feststoffe werden in Mengen von jeweils nicht mehr als 1kg eingesetzt.
  - Feststoffe, die akut toxisch Kat. 3, krebserzeugend, keimzellmutagen oder reproduktionstoxisch eingestuft sind, werden in Mengen von jeweils nicht mehr als 0,5 kg eingesetzt.
  - Feststoffe, die akut toxisch Kat. 1 und 2 eingestuft sind, werden in Mengen von jeweils nicht mehr als 0,1kg eingesetzt.
  - Ist für Gase, zum Beispiel Stickstoff, Argon, Wasserstoff oder Propan keine zentrale Gasversorgung vorhanden, wird die kleinste mögliche Gebindegröße (maximal 50-l-Druckgasflasche) benutzt.
- Bei akut toxischen, krebserzeugenden, keimzellmutagenen oder reproduktionstoxischen Gasen werden lecture bottles oder Kleinstahlfaschen eingesetzt. Maximal dürfen 10-l-Druckgasflaschen eingesetzt werden.
- Chemikalienrechtlich nicht vollständig geprüfte Flüssigkeiten oder Feststoffe (z. B. Zwischenprodukte) werden in Mengen von jeweils nicht mehr als 0,5 l oder 0,5 kg eingesetzt (Anforderung an die Identifizierbarkeit der Stoffe siehe TRGS 201 Nr. 4.7.2)
- Austretende Gase, Dämpfe, Aerosole oder Stäube sind nach Möglichkeit an der Austrittsstelle zu erfassen und z. B. durch Absorption zu beseitigen.
- Apparaturen sind mit einem möglichst großen Abstand (mindestens jedoch 10 cm) zum Frontschieber aufzubauen; größere Aufbauten benötigen eine Bodenfreiheit von mindestens 5 cm, um die Luftströmungen im Abzug nicht zu beeinträchtigen.
- Signalisiert die Alarmierung am Abzug eine Unterfunktion (optisch oder akustisch), sind alle Arbeiten, die zu einem Austritt von Gefahrstoffen in die Luft führen können, unverzüglich kontrolliert einzustellen. In diesem Fall ist davon auszugehen, dass der Abzug keinen ausreichenden Schutz mehr bietet. Notwendige Arbeiten

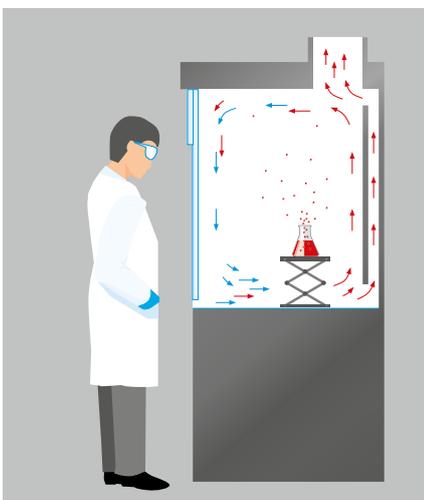


Abb. 34 Geschlossener Frontschieber, Normalbetrieb

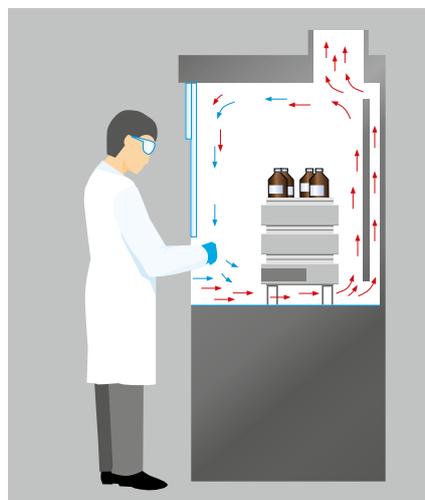


Abb. 35 Vermeidung der Störung der Luftwalzen durch „Sperrige Aufbauten“

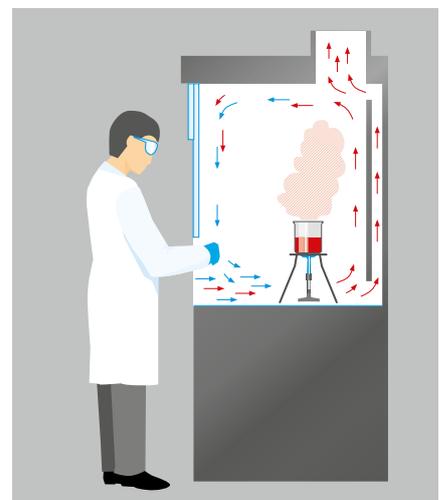


Abb. 36 Störung der Luftwalze durch thermische Ablasten möglich. Deshalb Versuchsaufbauten im hinteren Bereich aufstellen.

zur Absicherung der Experimente sind erforderlichenfalls mit Atemschutz auszuführen. Bei älteren Abzügen sind Windrädchen oder Wollfaden zur Strömungsanzeige funktionsfähig zu halten und zu beachten.

- Im Fall einer Störung oder Alarmierung sind die Ursachen zu ermitteln und zu beseitigen.
- Manipulationen an der Überwachungseinrichtung zur Beseitigung von Alarmierungen sind in jedem Fall verboten, gegebenenfalls sogar strafbar!

→ Siehe auch DGUV Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“ (DGUV Information 213-851 „Working Safely in Laboratories“), Abschnitt 6.3

#### 4.4 Hinweise zum Experimentieren mit speziellen Chemikalien und Stoffgruppen

Hinweise für eine beispielhafte Auswahl spezifischer Laborchemikalien werden im Folgenden kurz dargestellt. Tätigkeiten mit den nachfolgend genannten Stoffen erfordern eine gesonderte Unterweisung. Informationen zur Entsorgung der Stoffe oder Gemische sind in Kapitel 4.7 „Entsorgung von Laborabfällen“ enthalten.

##### Alkalicyanide

Aus Alkalicyaniden entsteht bei Einwirkung von Säure Cyanwasserstoff. Diese Chemikalien dürfen niemals mit Säure in Verbindung gebracht werden (es sei denn kontrolliert in geschlossenen Systemen) und nicht in den Ausguss gegeben werden.

##### Ammoniakalische Silbersalzlösungen

Beim Arbeiten mit ammoniakalischen silbersalzhaltigen Lösungen ist zu beachten, dass sich nach einiger Zeit ein schwarzer Niederschlag abscheidet, der teilweise aus Knallsilber besteht und beim Berühren, Umrühren oder Schütteln (auch in wässriger Lösung!) heftig explodieren kann. Daher müssen ammoniakalische Silbersalzlösungen frisch hergestellt und sofort nach Gebrauch vorsichtig unter stetigem Rühren mit Salpetersäure angesäuert werden. Der pH-Wert ist auch nachdem die Lösung zur Ruhe gekommen ist zu kontrollieren. Ggf. ist weitere Salpetersäure zuzugeben bis der pH-Wert deutlich im sauren Bereich liegt.

##### Arsen-Verbindungen

Arsen-Verbindungen sind akut toxisch und krebserzeugend (siehe auch Nummer 4.4.1). Sie sollen für die Entsorgung gesondert gesammelt werden.

##### Azide

Azide neigen zur Selbstzersetzung und sind schlagempfindlich. Sowohl Schwermetallazide als auch organische Azide sind hochexplosiv. Azide müssen vor der Entsorgung deaktiviert werden (siehe Anhang 1 „Informationsquellen“).

##### Brom

Brom ist stark ätzend und toxisch, gibt erhebliche Mengen an Dämpfen schon bei Raumtemperatur ab und hat eine hohe Dichte (Gewichtsbelastung von Gebinden und Apparaturen). Es wirkt korrosiv und kann sehr heftig mit einer großen Bandbreite an Stoffen reagieren, z. B. mit Aceton, Aluminium.

Brom lässt sich aufgrund seiner Dichte nicht pipettieren und kann nur mittels Messzylinder abgemessen werden. Dabei ist der Messzylinder fest in eine Stativklammer einzuspannen.

##### Chrom(VI)-Verbindungen

Chrom(VI)-Verbindungen sind krebserzeugend und müssen erst reduziert werden, bevor sie entsorgt werden dürfen/können (siehe auch Nummer 4.4.1). Sie haben stark oxidative Eigenschaften und können mit organischen Materialien unkontrolliert heftig reagieren. Chrom(VI)-Verbindungen können allergische Hautreaktionen verursachen.

##### Entzündbare Flüssigkeiten

Viele organische Lösemittel sind entzündbar, einige sogar extrem entzündbar, verbunden mit der raschen Bildung großer Mengen an entzündbaren Dämpfen, die im Gemisch mit Luft explosionsfähig sind. Dies ist besonders bei der Bildung von Lachen (Bruch von Apparaturen oder Gebinden) der Fall oder bei einer Flash-Verdampfung, wenn die Flüssigkeit in ein heißes Bad oder auf eine heiße Oberfläche gelangt. Viele dieser Flüssigkeiten bilden bei der Lagerung instabile Peroxide (s.u.).

Die Entzündbarkeit muss beachtet werden bei chemischen Umsetzungen, beim Destillieren, Extrahieren und beim Lagern, vor allem aber beim offenen Umgang. Dabei ist zu beachten, dass die Dichte der Gase und Dämpfe

größer ist als die der Luft. Die Dämpfe „kriechen“ daher auf den Arbeitstischen oder am Boden und können sich an ganz unvermuteter Stelle entzünden oder bei Überschreiten der unteren Explosionsgrenze explodieren.

Weitere Informationen zu entzündbaren Flüssigkeiten sind in Kapitel 5 „Brand- und Explosionsgefahren“ enthalten.

### **Ether – Bildung von Peroxiden**

Um Explosionen beim Abdestillieren etherhaltiger Lösungen infolge eines Gehaltes an Peroxiden zu vermeiden, sind Ether stets in braunen Glasflaschen über Kaliumhydroxid (KOH)-Plättchen aufzubewahren. Insbesondere die cyclischen Ether (Tetrahydrofuran, Dioxan) bilden außerordentlich rasch Peroxide, wenn sie nicht stabilisiert vorliegen. Ein verbleibender Sumpf beim Abdestillieren darf nie restlos ausdestilliert werden! Die Prüfung auf einen eventuellen Peroxid-Gehalt kann mit speziellen Teststäbchen oder Reagenzien (z. B. Titan(IV)-sulfat oder Kaliumjodid) durchgeführt werden. Peroxide können mit Eisen(II)-sulfat entfernt werden.

### **Fluorwasserstoff**

Arbeiten mit wasserfreiem Fluorwasserstoff und Flusssäure dürfen nur in einem geeigneten Abzug vorgenommen werden. Wegen der starken Ätz- und Giftwirkung ist bei diesem Stoff Einatmen und Hautkontakt unbedingt zu vermeiden. Daher sind zusätzlich zur Schutzbrille ein Schutzhelm, eine Chemikalienschutzschürze und geeignete Chemikalienschutzhandschuhe mit langen Stulpen und ggf. Atemschutz zu tragen. Kommt es trotzdem zu einer Inhalation oder einem Hautkontakt, ist schnelle Erste Hilfe besonders wichtig, siehe Abschnitt 2.1 „Maßnahmen bei Unfällen“. Vorzubereiten sind in Absprache mit dem Betriebsarzt Lösungen oder Gele mit Calciumgluconat sowie ausreichende Informationen für den Notarzt.

### **Heiße Flüssigkeiten**

Bei der Verwendung von sowie bei Kontakt mit heißen Flüssigkeiten (z. B. Wasser oder Heizbadflüssigkeiten) kann es zu Verbrennungen kommen. Das gleiche gilt für heiße Oberflächen von Geräten und Apparaturen.

### **Kalium**

Kalium bildet an der Luft explosionsfähige Peroxide. Die Aufbewahrung muss unter peniblem Ausschluss von Luft und Wasserdampf erfolgen. Die Aufbewahrungszeiten müssen kurz gehalten und die Bestände mindestens jährlich kontrolliert werden. Dies gilt insbesondere auch für Abfälle. Bei unsachgemäßer Lagerung bilden sich gelbe bis orangefarbene Krusten aus  $\text{KOH} \cdot n \text{H}_2\text{O}$  und  $\text{KO}_2$ . Im Kontakt mit oxidierbaren Stoffen besteht Detonationsgefahr. Es haben sich auch schon beim Schneiden stark verkrusteten Kaliums Explosionen ereignet.

### **Metallhydride**

Wasserstoffverbindungen von Metallen (z. B. Lithiumaluminiumhydrid  $\text{Li}[\text{AlH}_4]$  oder Natriumborhydrid  $\text{Na}[\text{BH}_4]$ ) sind sehr reaktiv und sollten nur unter Schutzgasatmosphäre verwendet werden. Reaktionen mit Wasser oder Gasen wie  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  oder  $\text{O}_2$  können sehr heftig verlaufen. Die Verbindungen sind entweder selbstentzündlich oder, der bei der Reaktion entstehende Wasserstoff kann durch die erzeugte Energie entzündet werden und es besteht die Möglichkeit einer Explosion. Metallhydride müssen vor der Entsorgung deaktiviert werden.

### **Natrium**

Natrium ist ein starkes Reduktionsmittel. Bei Kontakt mit Wasser entsteht Wasserstoff, der sich spontan entzünden kann. Die Aufbewahrung muss unter peniblem Ausschluss von Luft und Wasserdampf erfolgen.

### **Nickel-, Cobalt-Verbindungen**

Nickel- und Cobalt-Verbindungen sind meistens akut toxisch und krebserzeugend, z. B. beim Einatmen, siehe Kapitel 4.4.1. Sie haben sensibilisierende Eigenschaften. Bei offenem Hantieren ist eine Staubentwicklung zu vermeiden.

### **Perchlorsäure, Permanganate**

Wasserfreie Perchlorsäure, Perchlorate und Chlorate neigen in Gegenwart oxidierbarer Stoffe zur Explosion. Chlorate sowie Permanganate können bei Zugabe von konzentrierter Schwefelsäure ebenfalls Explosionen verursachen. Perchlorsäure darf nicht mit organischen Materialien (z. B. Holz) in Berührung kommen.

**Pikrinsäure**

Pikrinsäure, die phlegmatisiert (mit mindestens 30 % Wasser angefeuchtet) ist, ist chemikalienrechtlich als entzündbar eingestuft. In trockenem Zustand ist Pikrinsäure explosiv und als akut toxisch eingestuft. Sie darf nicht in Metallgefäßen oder Gefäßen mit Metalldeckel aufbewahrt werden (Bildung von Pikraten).

**Säuren und Basen**

Beim Verdünnen von konzentrierten Säuren mit Wasser und beim Lösen fester Alkalihydroxide in Wasser ist wegen der dabei frei werdenden Wärme Vorsicht geboten. Konzentrierte Säuren (insbesondere Schwefelsäure) sind langsam unter Rühren in Wasser einzugießen und nicht umgekehrt. Laugen und stark basische Amine, insbesondere höhere Alkylamine, wirken noch stärker ätzend als Säuren auf Augen und Haut.

Merke: Erst das Wasser dann die Säure, sonst geschieht das Ungeheure!

**Schwefelwasserstoff**

Schwefelwasserstoff wird im Praktikum im Trennungsgang verwendet. Es hat einen unverwechselbaren Gestank nach faulen Eiern und ist akut toxisch (siehe auch Kapitel 6). Die rasche Gewöhnung an den Geruch lässt die Gefährdung unterschätzen. Mit Schwefelwasserstoff darf nur im Abzug gearbeitet werden. Das gilt auch für die Lösungen.

→ Siehe auch DGUV Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“ (DGUV Information 213-851 „Working Safely in Laboratories“), Abschnitt 4.12 und 5.1

#### 4.4.1 Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden, keimzellmutagenen und reproduktionstoxischen (KMR) Stoffen; Substitutions- und Minimierungsgebot

Die wichtigste Schutzmaßnahme ist der Ersatz von Gefahrstoffen durch weniger gefährliche Stoffe oder die Umstellung auf Verfahren, bei denen besonders gefährliche Ausgangs- und Zwischenprodukte vermieden oder minimiert werden. Beispielsweise lässt sich Benzol als Lösemittel in vielen Fällen durch Toluol, *n*-Hexan durch Cyclohexan ersetzen, *N*-Nitroso-*N*-methylharnstoff für die

Darstellung von Diazomethan durch das ungefährlichere *N*-Nitroso-*N*-methyl-*p*-toluolsulfonamid.

Der Verzicht auf eine mögliche Substitution ist in der Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung zu begründen. In diesem Fall sind dann besondere Maßnahmen erforderlich:

**Besondere Schutzmaßnahmen**

- Arbeiten mit KMR-Stoffen sind generell im Abzug mit kleinstmöglichen Mengen, möglichst in geschlossenen Apparaturen, durchzuführen.
- Direkter Haut- oder Schleimhautkontakt ist auf jeden Fall zu vermeiden. Geeignete persönliche Schutzausrüstung (Schutzbrille, Chemikalienschutzhandschuhe, Labormantel, ggf. weiterer Körperschutz und Atemschutz) ist bereitzustellen und zu tragen.
- Es ist dafür zu sorgen, dass sich in den Bereichen, in denen mit KMR-Stoffen (aber auch mit anderen gefährlichen toxischen Stoffen) gearbeitet wird, nur die unmittelbar mit dem Versuch beschäftigten Personen aufhalten.
- Wenn Tätigkeiten mit KMR-Stoffen der Kategorie 1A oder 1B (beim Menschen oder im Tierversuch erwiesenermaßen gefährlich) durchgeführt werden, sind diese Bereiche abzugrenzen und zu kennzeichnen (siehe Abbildung 37). Dies kann z. B. ein einzelner Abzug sein.



Abb. 37 Kennzeichnung für Labor/Abzug bei Tätigkeiten mit KMR-Stoffen

- Nach Abschluss der Tätigkeiten ist der Abzug ggf. zu dekontaminieren. Weitere Maßnahmen können erforderlich sein.
- Wenn bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden oder keimzellmutagenen Gefahrstoffen der Kategorien 1A und 1B die Gefährdungsbeurteilung eine Gefährdung der Gesundheit oder der Sicherheit ergibt, kann es notwendig sein, dass die betroffenen Personen in ein Beschäftigtenverzeichnis gemäß § 14 (3) GefStoffV bzw. TRGS 410 aufgenommen werden müssen.

Üblicherweise ist dies in Laboratorien, in denen nach TRGS 526 bzw. nach DGUV Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“ gearbeitet wird, nicht der Fall. Verantwortlich für die Umsetzung der Anforderungen aus der TRGS 410 ist die Hochschulleitung, die diese Aufgabe sinnvollerweise an die Praktikumsleitung übertragen kann.

→ Siehe auch DGUV Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“ (DGUV Information 213-851 „Working Safely in Laboratories“), Abschnitt 3

#### 4.5 Kennzeichnung, Aufbewahrung und Transport

Chemikalien sollten nach Möglichkeit in den Originalgebinden verbleiben, da deren vorschriftsmäßige Etiketten wertvolle Informationen zum sicheren Umgang liefern, siehe hierzu Kapitel 4.1. Andere saubere Gefäße müssen nach Entfernung alter Etiketten sorgfältig und eindeutig etikettiert werden; Etiketten müssen mit Klarsichtfolie dauerhaft beständig überzogen werden. Beschriftungen mit Faserschreibern sind für Gebinde mit Gefahrstoffen ungeeignet, weil sie wenig haltbar sind! Wesentlich beständiger ist Bleistift. Im Labor ist eine vereinfachte Kennzeichnung der Laborgebinde zulässig, siehe Hinweise in Anhang 3.3.

Alle Behälter, in denen Chemikalien aufbewahrt werden, müssen aus geeigneten Werkstoffen bestehen. Bei der Aufbewahrung von organischen Lösemitteln in Kunststoffbehältern ist die Möglichkeit der Versprödung und der Diffusion zu beachten.

Die unnötige Vorratshaltung von Chemikalien über ständig benötigte und für bevorstehende Versuche bereitgestellte Mengen hinaus ist zu vermeiden. Es ist zu bedenken, dass vollgestopfte Regale die Gefahr des versehentlichen Herunterreißen von Flaschen in sich bergen.

Alle im Laboratorium vorgehaltenen Chemikalien und Präparate bzw. alle Gebinde sind mindestens einmal jährlich auf ordnungsgemäßen Zustand zu überprüfen. Chemikalien und Präparate in nicht mehr ordnungsgemäßen Behältern sind umzufüllen oder, falls diese nicht mehr benötigt werden oder unbrauchbar geworden sind, zu entsorgen.



Abb. 38 Transport von Chemikalienbehältern

Druckgase oder tiefkalte Gase, dürfen nicht gemeinsam mit Personen in Aufzügen befördert werden.

Beim Transport von Chemikalienbehältern aus Glas besteht stets Bruchgefahr. Flaschen dürfen niemals an ihrem Hals getragen werden. Glasgefäße müssen immer in Eimern, Gestellen oder noch besser in fahrbaren Körben oder Wannen transportiert werden, siehe Abbildung 38).

Die Lagerung von Chemikalien unter dem Aspekt der Brand- und Explosionsgefahr behandelt Kapitel 5.1 „Entzündbare Flüssigkeiten“.

→ Siehe auch DGUV Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“ (DGUV Information 213-851 „Working Safely in Laboratories“), Abschnitt 4.9 und 4.15

## 4.6 Ab- und Umfüllen

Bei jedem Umfüllen von Chemikalien besteht die Gefahr des Verschüttens, und damit die Gefahr von Hautkontakt oder Kontamination der Kleidung sowie des Einatmens von Dämpfen oder Stäuben und der Bildung zündfähiger Gemische.

Für das Umfüllen kleiner Chemikalienmengen im Labor gibt es einige Regeln, bei deren Einhaltung eine Gefährdung weitgehend vermieden wird:

- Tätigkeiten, bei denen Gase, Dämpfe oder Schwebstoffe in gefährlicher Konzentration oder Menge freigesetzt werden können, dürfen nur in Abzügen ausgeführt werden.

Die Frontschieber sind bei solchen Tätigkeiten geschlossen zu halten; es sind bevorzugt die Seitenschieber zu benutzen.

- Beim direkten Umfüllen sind Flüssigkeits- oder Pulvertrichter zu verwenden.
- Beim Umfüllen von Flüssigkeiten, insbesondere mit toxischen oder ätzenden Eigenschaften ist das Unterstellen von Wannen sinnvoll. Beim Umfüllen von Feststoffen ist eine Papierunterlage empfehlenswert.

- Beim Ab- oder Umfüllen entzündbarer Flüssigkeiten in Gebinden mit einem Fassungsvermögen  $> 5$  Liter besteht die Gefahr der Zündung durch elektrostatische Aufladung. Gebinde ab einem Volumen von 5 Litern müssen daher aus leitfähigen Materialien bestehen und geerdet werden.
- Die Dimensionen von Vorratsgefäßen, Trichtern und Auffanggefäßen müssen zueinander passen. Für die Entnahme kleiner Flüssigkeitsmengen sollte stets eine genügende Anzahl einfacher Tropfpipetten am Arbeitsplatz verfügbar sein.
- Es ist verboten, Flüssigkeiten durch Ansaugen mit dem Mund zu pipettieren. Hierzu sind zwingend Pipettierhilfen oder Sicherheitspipetten zu verwenden, siehe Abbildung 39 und 40.
- Beim Umfüllen von Flüssigkeiten aus einer Flasche, ist diese so zu halten, dass die Beschriftung bei waagrechter Lage oben ist, damit eventuell herunterfließende Tropfen diese nicht beschädigen. Fehlt der Gießring an einer Flasche, so soll diese nicht benutzt, sondern instandgesetzt werden.
- Feste Stoffe aus Pulverflaschen sind nur mit einem sauberen Spatel oder Löffel zu entnehmen.



Abb. 39 Pipettieren mit Sicherheitspipette



Abb. 40 Verschiedene Pipettierhilfen



Abb. 41  
Laborflaschen  
mit angeform-  
tem Gießring aus  
Glas (links) oder  
Kunststoffgießring  
(rechts)



Abb. 42 Der Verschluss einer Flasche soll stets mit der Öffnung bzw. der benetzten Seite nach oben auf den Tisch abgelegt werden.

- Der Vorratsflasche einmal entnommene Chemikalien dürfen nicht in diese zurückgegeben werden, da sonst der gesamte Vorrat verunreinigt werden könnte. Die dabei verwendeten Geräte sind nach einer Entnahme sofort zu reinigen.

→ Siehe auch DGVU Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“ (DGVU Information 213-851 „Working Safely in Laboratories“), Abschnitt 4.10 und 5.1

#### 4.7 Entsorgung von Laborabfällen

Dieser Abschnitt kann nur in kurzer Form einige Hinweise zur praktischen Entsorgung im Labor geben und damit anregen, sich in jedem Einzelfall vor Beginn der Arbeiten auch mit den Regeln der Entsorgung an der eigenen Hochschule zu beschäftigen.

Im Rahmen der Unterweisung müssen den Studierenden die hochschuleigenen Regelungen zur Abfallsammlung und -entsorgung vermittelt werden.

Viele Unfälle im Labor geschehen bei der Entsorgung von Laborabfällen. Deshalb ist bereits bei der Versuchsplanung die Entsorgung mit zu planen und ausreichende Zeit dafür vorzusehen.

Gefährliche Vermischungen von Abfällen müssen vermieden werden, im Zweifelsfall unbedingt Rücksprache mit den laborverantwortlichen Personen nehmen.

Bei der Sammlung gebrauchter organischer Lösemittel ist zu berücksichtigen, dass diese nur bis max. 2,5 Liter in nicht bruch sicheren und bis max. 10 Liter in bruch sicheren Gefäßen gesammelt werden dürfen. Gefäße über 5 Liter Nennvolumen müssen elektrostatisch ableitfähig sein und beim Umfüllen geerdet werden. Nach Arbeitsende sind die Gebinde in einen geeigneten Lagerort zu bringen.

Vor dem Einschütten von Abfällen in den Sammelbehälter sollte eine Mischprobe im Reagenzglas durchgeführt werden.

Schwermetallsalze und ihre Lösungen müssen in gesonderten Behältern gesammelt werden.

Quecksilber muss getrennt gesammelt und entsorgt werden.

Eine gesonderte Gruppe bilden Filter- und Aufsaugmassen. Hierzu gehören auch Chromatographieplatten und Füllungen von Chromatographiesäulen. Sie werden getrennt gesammelt und entsorgt.

Feinchemikalienreste in Originalflaschen sind wenn möglich in der jeweiligen Flasche zu entsorgen.

Altöl aus Vakuumpumpen und Heizbädern, das durch Laborarbeiten verunreinigt ist, muss als stark verunreinigtes Altöl als gefährlicher Abfall (Sonderabfall) zur Entsorgung gegeben werden.

### **Behandlung von Abfällen**

Manche Abfälle müssen vor der Entsorgung in eine weniger gefährliche Form überführt werden.

Die Arbeitsvorschriften zur Entsorgung der Laborabfälle sind sorgfältig auszuarbeiten und die ausführenden Personen (insbesondere auch Studierende bei Mitwirkung) sind eingehend zu unterweisen.

Die Verfahren zur Umwandlung der Abfälle hängen von den Rahmenbedingungen ab, so dass die Vorschriften dazu individuell ausgearbeitet werden müssen (siehe Anhang 1 „Informationsquellen“).

# 5 Brand- und Explosionsgefahren

Dieses Kapitel zeigt, wie man Brände und Explosionen, die bei chemischen Arbeiten entstehen können, vermeiden kann.

## 5.1 Entzündbare Flüssigkeiten

Viele Flüssigkeiten, mit denen im Labor umgegangen wird, sind entzündbar. Ihre Dämpfe bilden mit Luft in für einzelne Flüssigkeiten spezifischen Konzentrationsbereichen explosionsfähige Gemische.

Die Einstufung einer Chemikalie als entzündbare Flüssigkeit hängt im Wesentlichen von ihrem Flammpunkt<sup>1</sup> und Siedepunkt<sup>2</sup> ab, siehe Tabelle 2.

Die Entzündbarkeit muss beachtet werden bei chemischen Umsetzungen, beim Destillieren, Extrahieren und beim Lagern, vor allem aber beim offenen Umgang. Dabei ist zu beachten, dass die Dichte der Dämpfe immer größer ist als die der Luft. Die Dämpfe „kriechen“ daher auf den Arbeitstischen oder am Boden und können sich an ganz unvermuteter Stelle entzünden.

Beim Ab- und Umfüllen entzündbarer Flüssigkeiten besteht die Gefahr der Zündung durch elektrostatische Aufladung. Gebinde ab 5 Liter müssen aus leitfähigem Material bestehen und sind zu erden. Auch Metalltrichter müssen geerdet werden.

Beim Verschütten oder Austreten schon relativ kleiner Mengen entzündbarer Flüssigkeiten sind zuerst alle Zündquellen zu beseitigen sowie offene Flammen in der Umgebung zu löschen. Danach muss umgehend ein geeignetes Absorptionsgranulat (Universalabsorber in ausreichender Menge) aufgebracht werden, um die Verdampfung der freien Flüssigkeit weitestgehend zu reduzieren. Getränkte Bindemittel sind in geeignete (Chemikalien-) Behälter zu überführen und diese verschlossen bis zur Entsorgung aufzubewahren. Achtung: Diese Behälter enthalten oberhalb der Feststoffmenge eine mit Lösemitteln gesättigte Atmosphäre!

**Tabelle 2** Gefahrenkategorien der Gefahrenklasse „Entzündbare Flüssigkeiten“ und deren Kennzeichnung

Gefahrenkategorien	Gefahrenhinweise (H-Sätze)	Piktogramm	Flammpunkt, °C	Siedepunkt, °C	Signalwort
1	H 224 Flüssigkeit und Dampf extrem entzündbar		< 23	≤ 35	Gefahr
2	H 225 Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar		< 23	> 35	Gefahr
3	H 226 Flüssigkeit und Dampf entzündbar		23–60	–	Achtung

<sup>1</sup> Der Flammpunkt ist die niedrigste Temperatur, bei der sich über der Oberfläche eines Stoffes ein zündfähiges Dampf-/Luftgemisch bildet.

<sup>2</sup> Der Siedepunkt ist die Temperatur eines Stoffes, bei dem dieser aus dem flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand übergeht.



**Abb. 43**  
Spritzflaschen  
für Isopropanol,  
Aceton bzw. destil-  
liertes Wasser

Handelt es sich um größere Mengen, die ausgetreten/ ausgelaufen sind, müssen die Laborkollegen und -kolleginnen gewarnt und zum Verlassen des Raumes aufgefordert werden.

Entzündbare Flüssigkeiten dürfen am Arbeitsplatz nur in der unbedingt erforderlichen Menge aufbewahrt werden. Es ist zu bedenken, dass vollgestopfte Regale die Gefahr des versehentlichen Herunterreißen von Flaschen in sich bergen.

Entzündbare Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt unter 60 °C dürfen an Arbeitsplätzen für den Handgebrauch nur in Gefäßen von höchstens 1 Liter Nennvolumen aufbewahrt werden. Die Anzahl solcher Gefäße ist auf das unbedingt nötige Maß zu beschränken.

Bei der Aufbewahrung von entzündbaren Flüssigkeiten in Spritzflaschen ist zu bedenken, dass solche Flaschen keine geschlossenen Gebinde darstellen: durch die Spritzöffnung, sofern diese nicht mit einer Kappe verschließbar ist, sowie durch das Material der Flasche (abhängig von dem Diffusionsvermögen des Inhaltes) können Stoffe austreten sowie insbesondere Luft und Licht in die Flasche gelangen, siehe Abb. 43.



**Abb. 44**  
Sicherheitsbehälter  
mit Flammenrückschlag-  
sperre und Druckent-  
lastung

Flüssigkeiten mit hohem Dampfdruck neigen dazu, aus Flaschen, deren Spritzrohre in die Flüssigkeit hineinragen, bei Erwärmung herausgedrückt zu werden. Dadurch kommt es zu erhöhten Konzentrationen des austretenden Stoffes in der Luft. In ungünstigen Fällen, beispielsweise einer Flasche, die sich in der Nähe eines Magnetheizrührers erwärmt, wird deren verdampfender Inhalt sich beim Austritt am Rührer entzünden. Das kann zu Bränden führen.

Flüssigkeiten, wie zum Beispiel Diethylether, dürfen nicht in solchen Flaschen bereitgehalten werden.

Für Laboratorien, in denen ständig größere Mengen entzündbarer Flüssigkeiten für den Fortgang der Arbeiten benötigt werden, ist das Abstellen in nicht bruchsicheren Behältern (Glasflaschen) bis zu insgesamt 2,5 Litern an geschützter Stelle (z. B. in mit Absaugung und Auffangwanne versehenen Sicherheitschränken) zulässig. Ebenso ist das Abstellen größerer Mengen entzündbarer Flüssigkeiten in bruchsicheren Behältern – handelsübliche Sicherheitsbehälter mit Flammenrückschlagsperre und Druckentlastung, siehe Abbildung 44 oder ableitfähige Kunststoffgebinde – bis zu insgesamt 10 Liter Fassungsvermögen an geschützter Stelle zulässig.

Entzündbare Lösemittel und Reaktionslösungen dürfen zur Kühlung nur in Kühltanks aufbewahrt werden, deren Innenraum explosionsgeschützt ist. Es ist darauf zu achten, dass der zu benutzende Kühltank entsprechend ausgerüstet ist und eine entsprechende Kennzeichnung trägt, siehe Bilder 20 und 21 sowie Abschnitt „Kühltanks“ in Kapitel 3.7.

→ Siehe auch DGUV Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“ (DGUV Information 213-851 „Working Safely in Laboratories“), Abschnitt 4.12 und 4.15

## 5.2 Selbstentzündliche Stoffe

Eine Quelle für Laborbrände oder auch Explosionen sind Stoffe, die sich bei Zutritt von Luft oder Wasser spontan entzünden können. In der Laborpraxis sind dies vor allem die Alkalimetalle und ihre Hydride sowie (gebrauchte und getrocknete) Hydrierkatalysatoren.

Gefährlich sind auch Raney-Nickel sowie eine Vielzahl metallorganischer Verbindungen, z. B. Aluminiumalkyle oder Boralkyle, deren Handhabung spezielle Arbeitstechniken, z. B. unter Inertgas, erfordert.

Alkalimetalle reagieren äußerst heftig mit Wasser unter Bildung von Wasserstoff, was bei Luftzutritt zu Knallgasexplosionen führen kann. Kalium (besonders ältere, verkrustete Präparate) und Natrium-Kalium-Legierungen können sich an der Luft spontan entzünden. Sie müssen daher unter einem inerten Lösemittel, z. B. hochsiedendem Petrolether, abgewogen und zerkleinert werden.

Alkalimetallbrände dürfen nur mit trockenem Sand, Kochsalz oder Pulverlöschern der Brandklasse D bekämpft werden (Achtung: Keinen CO<sub>2</sub>-Löscher verwenden), siehe auch Tabelle 7 in Anhang 5.

Alkalimetalle werden häufig zum Trocknen von Lösemitteln verwendet, z. B. durch Einpressen von Natriumdraht. Sie dürfen nur für nicht damit reagierende Lösemittel benutzt werden (Kohlenwasserstoffe, Ether, tertiäre Amine). Explosionsartige Reaktionen sind mit Halogenkohlenwasserstoffen möglich. In der Laborpraxis sollte man ungefährlichere Trockenmethoden, z. B. Verwendung von Molekularsieben, vorziehen.

→ Siehe auch DGUV Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“ (DGUV Information 213-851 „Working Safely in Laboratories“), Abschnitt 5.1.1

## 5.3 Explosive Stoffe oder Gemische

Als explosiv bezeichnet man Stoffe oder Gemische, die bei Einwirkung von thermischer Energie (Wärme, Flammen) oder mechanischer Energie (Reibung, Schlag) spontan heftig reagieren, so dass eine hohe Energiefreisetzung und ein hoher Druckaufbau zu sehr schneller Ausbreitung von Druckwellen führen.

Explosiv sind beispielsweise zahlreiche organische Nitroso- und Nitroverbindungen, hochnitrierte Aromaten, Salpetersäureester, viele Verbindungen mit *N-N*-Bindung (Azo- und Diazoverbindungen, Stickstoffwasserstoffsäure, Azide), Salze der Knallsäure (Fulminate), Chlor- und Iodstickstoff sowie Acetylide; weiterhin viele peroxidische Verbindungen (Peroxosäuren, Peroxosäureester, Peroxide, Hydroperoxide), gealterte Alkalimetallamide.

Mischungen oxidierender Verbindungen, z. B. Nitrate, Chlorate, Perchlorate, rauchende Salpetersäure, konzentrierte Perchlorsäure und Wasserstoffperoxidlösung (30 %), mit brennbaren und reduzierenden Stoffen können explosionsgefährlich sein. Beispielsweise reagiert rauchende Salpetersäure explosionsartig mit Aceton, Ether, Alkohol, Terpentinöl.

Die Herstellung von explosiven Stoffen oder Tätigkeiten mit ihnen erfordern Kenntnisse und praktische Erfahrungen mit speziellen Arbeitsmethoden und besondere Sicherheitsvorkehrungen.

Einige dieser Stoffe fallen auch unter das Sprengstoffgesetz und deren Herstellung sowie Besitz ist auf Grund sprengstoffrechtlicher Vorschriften reglementiert.

→ Siehe auch DGUV Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“ (DGUV Information 213-851 „Working Safely in Laboratories“), Abschnitt 5.1.3

## 5.4 Exotherme Reaktionen

Viele chemische Reaktionen sind exotherm. Wird die gebildete Wärme nicht oder nicht ausreichend abgeführt, führt dies zur Selbsterhitzung der Reaktionsmischung und damit zur Beschleunigung des Reaktionsverlaufes („Durchgehen“ der Reaktion, in der Literatur auch als „runaway reactions“ bezeichnet).

Die Folge ist, dass es zum unkontrollierten Sieden des Lösemittels, zum Austritt des Reaktionsgemisches aus der Apparatur oder sogar zu heftigen, explosionsartigen Zersetzungsreaktionen kommen kann.

Diese Gefahr des „Durchgehens“ ist besonders dann gegeben, wenn exotherme Reaktionen erst nach einer Induktionsperiode anspringen. Beispiele sind die Herstellung von Grignardverbindungen oder die Nitrierung reaktiver Aromaten. Bei solchen Reaktionen ist ein wirksames Kühlbad bereitzustellen und bis zur Beobachtung einer kontrollierten Reaktion ein größerer Reagenzüberschuss zu vermeiden.

Unkontrollierte exotherme Reaktionen können auch bei Aufarbeitungsprozeduren auftreten, insbesondere dann, wenn überschüssige reaktive Reagenzien, wie Säurehalogenide, Alkalimetallhydride usw. inaktiviert werden müssen. Eine zu exzessive Kühlung des Reaktionskolbens kann dazu führen, dass eine Reaktion nicht anspringt. Es ist daher unbedingt darauf zu achten, dass die in der Versuchsvorschrift angegebene Reaktionstemperatur eingehalten wird. Bis zum Anspringen der Reaktion – erkennbar an einem deutlichen Temperaturanstieg – dürfen keine großen Mengen an Edukten zusammengegeben werden.

Die Kontrolle exothermer Reaktionen erfolgt durch Kühlung des Reaktionsgefäßes oder durch Rückflusskühlung, siehe auch Kapitel 3.5.

Hinweis 1: Die Kühlung von Versuchen mit Stoffen, die mit Wasser reagieren, darf nur mit Kühlern mit Metallwendel erfolgen.

Hinweis 2: Je nach Ansatzgröße kann die Kühlleistung zur Kontrolle der Reaktion dennoch zu gering sein.

Zu beachten ist hierbei, dass eine gute Durchmischung die Wärmeabfuhr aus der Reaktionsmasse begünstigt, eine hohe Viskosität oder feste Ablagerungen auf der Kühlfläche den Wärmedurchgang verringern.

Die Kontrolle exothermer Reaktionen kann auch durch

- die langsame Zugabe eines Reaktionspartners,
- die Zugabe eines gekühlten Reaktionspartners oder
- durch Beachtung der Reihenfolge der Zugabe der Reaktionspartner (Ausnutzung der Wärmekapazität) erfolgen.

Der in Versuchsvorschriften oft verwendete Passus, wonach ein Reaktand „portionsweise“ zugegeben werden soll, muss unter Abwägung der vorhandenen Stoffmengen erfolgen. Zu große Portionen führen unweigerlich zu schlecht kontrollierbaren Reaktionsverläufen (z. B. starkes Aufschäumen).

Bei exothermen Reaktionen ist ganz besonders vor einer erheblichen Ansatzvergrößerung zu warnen. Beim Übergang zu größeren Apparaturen vom Labor- zum Technikummaßstab ändern sich die Masse der Stoffe und damit die Reaktionswärme.

Die Gefahr einer Selbsterhitzung wird also mit wachsender Masse größer. Eine Ansatzvergrößerung sollte daher stets in kleinen Schritten und unter ständiger Beobachtung möglicher exothermer Effekte vorgenommen werden.

→ Siehe auch DGV Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“ (DGV Information 213-851 „Working Safely in Laboratories“), Abschnitt 4.13

## 5.5 Zersetzungsreaktionen

Viele Stoffe oder Gemische erweisen sich bei thermischer oder mechanischer Beanspruchung als instabil. Sie zersetzen sich unter Umständen spontan mit hoher Energiefreisetzung, so dass die Zersetzung einen explosionsartigen Verlauf nehmen kann. Dabei können auch toxische Stoffe entstehen und freigesetzt werden.

Eine zu hohe thermische Belastung kann in der Laborpraxis z. B. beim Trocknen oder Destillieren gegeben sein. Beim Trocknen thermisch instabiler Stoffe in Wärmeschränken ist die Trocknungstemperatur so zu wählen und

ggf. durch eine Übertemperatursicherung abzusichern, so dass eine Zersetzung nicht eingeleitet werden kann.

Destillationen sind im Abzug durchzuführen.

Bei der Destillation dürfen Substanzen, insbesondere Destillationsrückstände, nicht zu hoch erhitzt werden. Zeigen sich im Verlauf von Destillationen Anzeichen für eine beginnende Zersetzung (z. B. plötzliches Aufschäumen, Ausgasen), muss mit einem spontanen Verlauf der Zersetzung gerechnet werden. Die Heizquelle ist zu entfernen oder von ungefährdeter Stelle aus abzuschalten. Gegebenenfalls ist der gefährdete Bereich zu räumen und die betroffene Umgebung zu warnen.

Einige Substanzen sind im trockenen Zustand schlag-, druck- oder reibempfindlich. Beispiele hierfür sind Diazoniumsalze, Nitrophenolate und Pikrinsäure. Die Handhabung solcher Stoffe ist nur in kleinstmengen ratsam, das Austrocknen ist zu vermeiden. Die Gefahrstoffe sind feucht zu halten (mit Wasser zu phlegmatisieren).

In der Laborpraxis bildet insbesondere die mechanische und thermische Instabilität von organischen Peroxiden eine latente Gefahr. Peroxide bilden sich in vielen organischen Lösemitteln beim Stehen unter Luftzutritt.

Zur Bildung von Peroxiden neigen zahlreiche organische Verbindungen, z. B. Ether, ungesättigte Kohlenwasserstoffe, Aldehyde, Ketone und Lösungen dieser Stoffe.

Zwar liegen solche Peroxide oft nur in sehr kleinen Konzentrationen vor, sie werden aber bei Destillationen in den Rückständen angereichert und können unter bestimmten, nicht vorhersehbaren Umständen zu verheerenden Explosionen führen.

Flüssigkeiten, die zur Bildung organischer Peroxide neigen, sind im Dunkeln oder in Flaschen aus Braunglas oder aus lichtundurchlässigem Material luftdicht aufzubewahren. Bei einigen Peroxide bildenden Stoffen genügt die Aufbewahrung im Dunkeln nicht. Sie müssen vor der Destillation bzw. dem Abdampfen auf Anwesenheit von Peroxiden untersucht und gegebenenfalls von Peroxiden befreit werden.

Lösemittel sind mit Hilfe eines für die jeweilige Substanz geeigneten Peroxid-Teststäbchens auf Peroxide zu prüfen.

Peroxidhaltige Lösemittel müssen gemäß einer geeigneten Methode gereinigt werden. Dies darf nur von fachkundigen Personen ausgeführt werden. Die erneute Bildung von Peroxiden wird verhindert durch Zugabe von Oxidationsinhibitoren, durch Aufbewahrung in dunklen Flaschen, am wirksamsten aber unter Inertgas, idealerweise Argon.

Einige Peroxide sind zudem nur schwer zerstörbar, aber dennoch sehr labil, so dass auch Detonationsgefahr ohne Anreicherungsprozesse besteht. Daher sollte insbesondere auf Diisopropylether verzichtet werden.

Bei allen chemischen Synthesen mit Peroxiden, Peroxosäuren, Wasserstoffperoxid, molekularem Sauerstoff und Ozon muss vor der Aufarbeitung auf Anwesenheit von nicht umgesetzten Peroxiden geprüft werden, die gegebenenfalls vor der Aufarbeitung des Produkts durch ein Reduktionsmittel zerstört werden müssen. Peroxidische Verbindungen als Synthesezwischenprodukte sollten nur in verdünnten Lösungen gehandhabt werden.

→ Siehe auch DGUV Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“ (DGUV Information 213-851 „Working Safely in Laboratories“), Abschnitt 5.1.2 und 5.1.3

# 6 Toxikologie

Aus didaktischen Gründen werden auch Eigenschaften von Stoffen, die nicht in chemischen Praktika verwendet werden, vorgestellt.

## 6.1 Gefahren bei Tätigkeiten mit gesundheitsschädigenden Stoffen

Das Fachgebiet Toxikologie („Giftkunde“) befasst sich mit den gesundheitlichen Auswirkungen von Giftstoffen auf Organismen. Aufgabe der Toxikologie ist es, Zusammenhänge zwischen der Belastung durch Giftstoffe und den dadurch verursachten Schädigungen zu erkennen, Wirkmechanismen aufzuklären und idealer Weise auch mögliche Gefährdungen vorherzusagen. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist, die Beziehung zwischen der Höhe der Exposition<sup>3</sup> und dem Risiko zu erkranken sowie dem Ausmaß der Schädigung zu ermitteln. Im Folgenden werden wichtige toxikologische Fachbegriffe kurz vorgestellt.

Durch nicht sachgerecht durchgeführte Tätigkeiten mit gesundheitsschädigenden Stoffen oder Gemischen können diese leicht in Kontakt mit dem menschlichen Körper kommen oder auch in diesen aufgenommen werden. Die daraus resultierenden potenziellen Gesundheitsgefahren hängen nicht nur von den Stoff-inhärenten Eigenschaften ab, sondern auch von ihrem Aufnahmeweg in den Organismus. An Arbeitsplätzen kommt die größte Bedeutung der inhalativen Aufnahme über die Lunge zu. Ebenfalls relevant ist die dermale Absorption über die Haut<sup>4</sup>, die orale Aufnahme über den Mund spielt dagegen eine untergeordnete Rolle.

Schädigungen können sich direkt am Ort des Erstkontaktes lokal entfalten. Lokale Effekte sind beispielsweise Reizungen und Verätzungen (der Haut, Augen, Lunge durch Säuren und Laugen), Entzündungsreaktionen (z. B. der Lunge nach Feinstaubexposition) oder Kontaktallergien oder Sensibilisierungen (z. B. nach Hautkontakt mit Epoxidharzen).

Systemisch wirkende Stoffe verursachen dagegen Schädigungen an einzelnen Zielorganen (Lunge, Herz, Gehirn, Nervensystem, usw.) an einem Wirkort entfernt von der

Eingangspforte. Eine konkrete negative („adverse“) Wirkung auf die Gesundheit wird als Endpunkt bezeichnet.

Setzt bei einmaliger Exposition gegen einen Schadstoff die Wirkung nach kurzer Zeit (innerhalb von Sekunden bis zu wenigen Tagen) ein, spricht man von akuter Toxizität. Chronische Toxizität ist dagegen von einer sich langsam (über Wochen, Monate oder Jahre) entwickelnden Symptomatik bei andauernder Exposition gekennzeichnet. Im Allgemeinen führt eine hohe einzelne Gabe zu einer akuten Vergiftung (Intoxikation), während eine chronische Vergiftung durch wiederholte Aufnahme geringer Mengen entstehen kann, die jede für sich nur eine schwache Wirkung hat.

Zwischen dem Zeitpunkt der Einwirkung und dem Auftreten erkennbarer Gesundheitsschäden besteht eine unterschiedlich lange Latenzzeit (Zeit zwischen der Exposition und dem Auftreten von Symptomen), die Sekunden bis Jahrzehnte betragen kann. Eine chronische Vergiftung kann darauf beruhen, dass sich der Schadstoff im Körper anreichert (wie z. B. bei chronischen Schwermetallvergiftungen). In diesem Zusammenhang ist die Halbwertszeit eines Fremdstoffs im Körper von Bedeutung. Dieser Wert gibt an, nach welcher Zeit die Hälfte der aufgenommenen Menge wieder aus dem Körper entfernt ist. Chronische Exposition gegenüber kleinen Dosen kann jedoch auch ohne Anreicherung des Stoffes zu einer Schädigung führen. In diesem Falle summieren sich die Effekte der Einzeldosen (Wirkungskumulation). Die Dosis eines gefährlichen Stoffes, unterhalb derer auch bei langfristiger Einwirkung keine oder eine unbedeutende toxische Wirkung auftritt, bezeichnet man als Schwellenwert. Die Existenz von Schwellenwerten lässt sich durch zwei verschiedene Mechanismen erklären: Erstens kann die Geschwindigkeit der Elimination unterhalb des Schwellenwerts größer sein als die der Aufnahme, oder zweitens können zelluläre Schäden schneller zurückgebildet (repariert) werden, als sie entstehen.

<sup>3</sup> Exposition: Ausgesetzt sein gegen Umwelteinflüsse

<sup>4</sup> Vergiftung im Labor: Professorin Karen Wetterhahn († 1998) verschüttete wenige Tropfen Dimethylquecksilber auf ihre Hand; dieses durchdrang ihre Schutzhandschuhe und Haut innerhalb von Sekunden und wirkte nach 10 Monaten letal

Der Kontakt mit Kanzerogenen<sup>5</sup> (krebserzeugenden Stoffen) erhöht im Allgemeinen das statistische Risiko, an Krebs zu erkranken, ohne dass im Einzelfall zwangsläufig die Entstehung von Krebs ausgelöst wird. In Abhängigkeit ihres Wirkmechanismus ist es möglich, für bestimmte Kanzerogene einen Schwellenwert zu ermitteln. Mit zunehmender Expositionsdauer und Expositionshöhe steigt jedoch das Krebsrisiko. Zwischen Exposition und Auftreten einer Krebserkrankung kann eine Latenzzeit von Jahren oder Jahrzehnten liegen.

Unter dem Begriff Reproduktionstoxizität werden adverse Wirkungen zusammengefasst, die zu einer Beeinträchtigung der männlichen und weiblichen Fortpflanzungsfunktionen bzw. -fähigkeit (Fruchtbarkeit, Fertilität) und zu Entwicklungsschäden der Leibesfrucht führen, einschließlich Schädigungen während der Stillzeit. Davon gesondert zu betrachten ist die Keimzellmutagenität, die das Verursachen von vererbaren Veränderungen der Gene oder auch der Struktur und Anzahl der Chromosomen bezeichnet. Häufig werden krebserzeugende, keimzellmutagene (erbgutverändernde) oder fortpflanzungsgefährdende Substanzen unter der Abkürzung KMR für **k**anzerogen, **m**utagen, **r**eproduktionstoxisch zusammengefasst (engl.: CMR – **c**arcinogenic, **m**utagenic and **t**oxic to **r**eproduction).

Bei einer Sensibilisierung handelt es sich um eine Überempfindlichkeitsreaktion des Immunsystems auf ein Allergen (Antigen). Eine Sensibilisierung kann durch verschiedene Mechanismen ausgelöst werden. Gemein ist diesen Mechanismen, dass sie sich grob in eine Induktions- und eine Auslösephase unterteilen lassen. Voraussetzung für eine Sensibilisierung ist die Bioverfügbarkeit eines Stoffes. Nach der Aufnahme reagiert ein Allergen (eventuell nach metabolischen oder chemischen Aktivierung) mit körpereigenen Proteinen. Das Immunsystem entwickelt daraufhin während der Induktionsphase eine Abwehrreaktion, meist ohne erkennbare Symptome. Schon ein einmaliger Kontakt kann dafür ausreichen. Kommt es zu einem erneuten Kontakt mit dem Allergen, werden die erlernten Abwehrreaktionen ausgelöst

(Auslösephase). Die Initiierung der Auslösephase kann schon bei niedrigeren Allergendosen erfolgen als die Induktion. Im Falle einer Hautsensibilisierung (allergische Kontaktdermatitis) entstehen allergische Kontaktekzeme. Atemwegssensibilisierungen äußern sich meist durch Atemnot oder Asthma. Einmal erworbene Sensibilisierungen sind in der Regel nicht heilbar. Eine allergische Reaktion kann nur vermieden werden, indem der Kontakt zu den auslösenden Allergenen unterbunden wird. Es können allerdings auch Kreuzallergien auftreten: dabei reagiert das Immunsystem auf ein neues Allergen, das dem ursprünglich allergieauslösenden Allergen ähnlich ist. Typische Arbeitsplatzallergene sind Salze von Schwermetallen (Nickel, Cobalt, Chrom) oder reaktive organische Stoffe (Amine, Epoxide, chinoide Verbindungen, Anhydride, Isocyanate).

## 6.2 Toxikokinetik

Die Wechselwirkungen eines gesundheitsschädigenden Stoffes mit dem Organismus lassen sich verschiedenen Teilschritten zuordnen:

Resorption – Aufnahme in den Organismus

Distribution – Verteilung im Organismus

Metabolismus – chemische Umwandlung von Stoffen (auch: Biotransformation)

Elimination – Ausscheidung aus dem Organismus

Diese Einteilung ist auch unter dem Akronym ADME für die englischen Begriffe absorption, distribution, metabolism, excretion bekannt.

<sup>5</sup> Zur Verwendung der Begriffe Kanzerogenität und Karzinogenität sowie davon abgeleiteter Wörter: Karzinome sind Krebserkrankungen von Deck- oder Drüsengeweben (Epithelien) und machen ca. 80 % der bösartigen Tumoren aus. Streng genommen sind Karzinogene also Stoffe, die nur diese Arten von Tumoren verursachen. Der Begriff Kanzerogen ist folglich umfassender. Im Englischen ist diese Unterscheidung nicht gebräuchlich, verwendet werden die Termini „Carcinogen“, „Carcinogenicity“ sowie „Cancer“.

### 6.2.1 Resorption – Aufnahme in den Organismus

Bei gegebener Exposition hängt die Resorptionsrate von der Natur des Gefahrstoffes sowie der Beschaffenheit des Resorptionsortes ab, an dem zunächst eine Barriere (z. B. Haut, Lungenepithelien, Schleimhautepithelien des Magen-Darm-Trakts) überwunden werden muss, bevor ein Stoff in den Blutkreislauf gelangt und dadurch systemisch (bio-)verfügbar wird.

Über die Haut (dermal, perkutan) können feste, flüssige, in einigen Fällen aber auch gasförmige Stoffe resorbiert werden (z. B. Glykolether, N,N-Dimethylformamid, N,N-Dimethylacetamid, N-Methyl-2-pyrrolidon, Dimethylsulfoxid (DMSO)). Die Resorption durch die Haut (dermale/perkutane Aufnahme) ist – von Ausnahmen abgesehen – ein langsamer Prozess. Vergleichsweise gut dermal aufgenommen werden lipophile Stoffe mit geringer Molekülmasse oder -größe (z. B. Benzol, Dichlormethan, Trichlormethan, Anilin, Nicotin, N,N-Dimethylformamid, Schwefelkohlenstoff, Parathion und andere phosphororganische Insektizide, organische Quecksilberverbindungen). Dies ist ebenso von verschiedenen amphiphilen Stoffen (Tenside, ionische Flüssigkeiten) bekannt. Bei polaren Stoffen, ionischen Verbindungen und Stoffen mit hohen Molekülmassen ist die Aufnahme dagegen erschwert. Sogenannte „Schlepper“ (auch „Carrier“, z. B. DMSO, N,N-Dimethylformamid, Glykol-Verbindungen, Ethanol) wirken als Penetrationsverstärker für andere Stoffe. Auch bei geschädigter (z. B. nach Entfettung der Haut durch Lösemittel) oder aufgeweichter Haut (z. B. durch Okklusionseffekt beim langem Tragen von Schutzhandschuhen) ist ihre Barrierefunktion beeinträchtigt.

Die orale Aufnahme von Gefahrstoffen ist an Arbeitsplätzen vergleichsweise von untergeordneter Bedeutung. In den Magen-Darm-Trakt (Gastrointestinaltrakt) gelangen Gefahrstoffe beispielsweise durch Verschleppung bei mangelnder Hygiene (z. B. über Schutzhandschuhe) oder durch das Abschlucken von Aerosolen<sup>6</sup> oder inhalierten Stoffen, die durch mukoziliäre Clearance (Selbstreinigungsmechanismus der Lunge durch die Zilien der Flimmerepithelzellen) in Richtung Speiseröhre abtransportiert

werden. Für die Resorption vom Magen-Darm-Trakt in die Blutbahn und Lymphe stehen verschiedene, auf die unterschiedlichen Nährstoffe abgestimmte, aktive (z. B. mit Carrier-Proteinen) und passive Mechanismen (z. B. durch Osmose) zur Verfügung. Folglich ist auch das Spektrum der oral bioverfügbaren Gefahrstoffe breit.

In Abhängigkeit ihrer Stoffeigenschaften erfolgt die Resorption von Gefahrstoffen in den verschiedenen Bereichen der Lunge. Reaktive Gase werden bei guter Wasserlöslichkeit (Ammoniak, Chlorwasserstoff, Schwefeldioxid) schon im oberen Atemtrakt resorbiert, bei geringer Wasserlöslichkeit (Phosgen, Ozon, Chlor, nitrose Gase) gelangen sie in den unteren Atemwegen bis in die Lungenbläschen (Alveolen). Aerosole (Feststoffpartikel oder Tröpfchen) dringen mit abnehmender Teilchengröße verstärkt tiefer in die Lunge ein. Am Ort der Resorption können sowohl reaktive Gase als auch Aerosole lokale Schädigungen herbeiführen. Insbesondere die Alveolen, die jeweils am Ende der verzweigten Luftwege lokalisiert sind, stellen aufgrund ihres dünnen Epithels eine wesentlich schwächere Barriere als die Haut dar. Gase können daher leicht aus dem Gasraum in das Blut diffundieren. Die große Oberfläche sowie die gute Durchblutung bedingen dabei die hohe Aufnahmekapazität der Lunge. Wichtig für die inhalative Aufnahme von Gasen ist ihr Blut-Gas-Verteilungskoeffizient. Gase mit einem niedrigen Blut-Gas-Verteilungskoeffizient können nach Beendigung einer äußeren Exposition wieder abgeatmet werden.

### 6.2.2 Distribution – Verteilung im Organismus

Von den lokalen Wirkungen, die am Ort der Einwirkung entstehen, unterscheidet man die resorptiven Wirkungen, die darauf beruhen, dass die Substanzen mit dem Blutkreislauf im Körper verteilt werden und zu den Organen gelangen. Aus dem Blut werden Stoffe durch verschiedene Mechanismen in die Organe aufgenommen. Ungeladene Moleküle können durch die Zellmembranen diffundieren, andere Moleküle benutzen physiologische Transportmoleküle (auch: Carrier), wobei der Transport passiv oder aktiv und energieabhängig sein kann. Die Plazenta (und damit auch der Fötus) sowie das Gehirn sind

<sup>6</sup> Aerosol: Mischung flüssiger oder fester Stoffe (Schwebeteilchen) in Gasen.

durch die Plazenta- und Blut-Hirn-Schranke vom Blutkreislauf abgetrennt. Sie stellen hochselektive Filter dar, die vor Krankheitserregern und Giften schützen können, aber dennoch von vielen Stoffen passiert werden. Beispielsweise lipophile Stoffe, wie Ethanol, Nikotin, Heroin oder chlorierte Kohlenwasserstoffe wie Chloroform, die eine narkotische Wirkung haben, gelangen durch Diffusion in Plazenta oder Gehirn. Hohe Lipidlöslichkeit erhöht allgemein die Aufnahme und vermindert die Elimination aus dem lipidreichen Gewebe. Leber und Niere haben eine große Kapazität, toxische Stoffe zu akkumulieren. Sie sind auch die wichtigsten Organe für die Umwandlung und Ausscheidung der Verbindungen.

### 6.2.3 Metabolismus – chemische Umwandlung von Stoffen

Die meisten organischen Verbindungen werden nicht unverändert ausgeschieden. Mit Hilfe zellulärer Enzyme werden sie chemisch verändert (metabolisiert). Die Leber ist das wichtigste Organ für den Metabolismus. Resorbierte Chemikalien, Pharmaka und Schadstoffe können oxidiert, hydrolysiert, reduziert und mit verschiedenen meist wasserlöslichen Gruppen (z. B. Glucuronsäure, Glutathion, Sulfat) verbunden (konjugiert) werden. Das Ergebnis dieser Stoffwechselreaktionen sind im Allgemeinen Verbindungen (Metabolite), die leichter ausgeschieden werden können (Entgiftung). Die metabolische Umwandlung kann jedoch auch zu toxischeren Verbindungen als den Ausgangsstoffen führen. Man nennt dies im Gegensatz zur Entgiftung körpereigene Giftung. In diesem Zusammenhang kommt dem Aufnahmeweg eine besondere Bedeutung zu: Stoffe, die im Magen, Dünndarm und den oberen Teilen des Dickdarms in den Blutkreislauf resorbiert werden, gelangen direkt über die Pfortader in die Leber. Dadurch ist es möglich, dass sie schon vor einer Passage durch den weiteren Organismus in ihrer Wirkweise modifiziert oder ausgeschieden werden (First-Pass-Effekt). Folglich kann die Wirkung eines resorbierten Stoffes abhängig vom Aufnahmeweg sein.

Im Folgenden werden einige Beispiele für den Metabolismus von Gefahrstoffen vorgestellt.

- Die Oxidation von Anilin führt zu Phenylhydroxylamin, bei dessen weiterer Umsetzung zu Nitrosobenzol das Hämoglobin, der eisenhaltige Proteinkomplex der roten Blutkörperchen, durch Oxidation des zentralen Eisen(II)-Atoms zu Eisen(III) zu Methämoglobin reagiert.

Es transportiert keinen Sauerstoff mehr, wodurch die Sauerstoffversorgung des Organismus gestört wird.

- Schwefelkohlenstoff reagiert mit Aminogruppen in Peptiden zu Dithiocarbamat-Verbindungen, die metallkomplexierend wirken und u. a. den Spurenelementhaushalt stören.
- Aus Tetrachlorkohlenstoff und anderen chlorierten Kohlenwasserstoffen entstehen reaktive freie Radikale, die wenigstens zum Teil für den leberschädigenden Effekt verantwortlich sind.
- Der Abbau von Methanol verläuft über die Bildung von Formaldehyd zur Ameisensäure, wodurch der Sehnerv geschädigt werden kann.
- Das Insektizid Parathion (E 605) wird in seiner Wirkung als Hemmstoff des Enzyms Acetylcholinesterase durch Oxidation zu Paraoxon verstärkt.

### 6.2.4 Elimination – Ausscheidung aus dem Organismus

Unter Elimination versteht man die Entfernung des Giftes aus dem Körper durch Metabolismus, Speicherung in Form indifferenten Verbindungen und Ausscheidung. Die Hauptwege für die Ausscheidung sind Ausatmung, Urin und Kot (Faeces).

Stoffe, die als Gas oder Dampf eingeatmet werden, können durch Ausatmen wieder abgegeben werden. Die meisten anderen toxischen Chemikalien und ihre Metaboliten werden durch Urin oder die Faeces ausgeschieden.

Für die Ausscheidung über den Darm ist die Leber (bzw. die Gallenblase) die wichtigste Quelle. Ob und in welchem Maße ein Stoff über die Harnwege ausgeschieden wird, hängt von den Eigenschaften des Stoffes ab. Komplexbildner können die Ausscheidung erhöhen, weil sie mit den körpereigenen Proteinen um die Bindung des Gefahrstoffes konkurrieren. So kann die Ausscheidung von Schwermetallen durch Gabe von Komplexbildnern erhöht werden, wie z. B. die Ausscheidung von anorganischem Quecksilber durch BAL (2,3-Dimercapto-1-propanol) oder Blei durch EDTA (Ethylendiamintetraacetat).

Die schematische Darstellung der Metabolisierung eines Gefahrstoffes gibt einen Überblick über die verschiedenen Möglichkeiten einer Vergiftung und Entgiftung bei Eindringen einer toxischen Verbindung in den Organismus (siehe Abbildung 45).

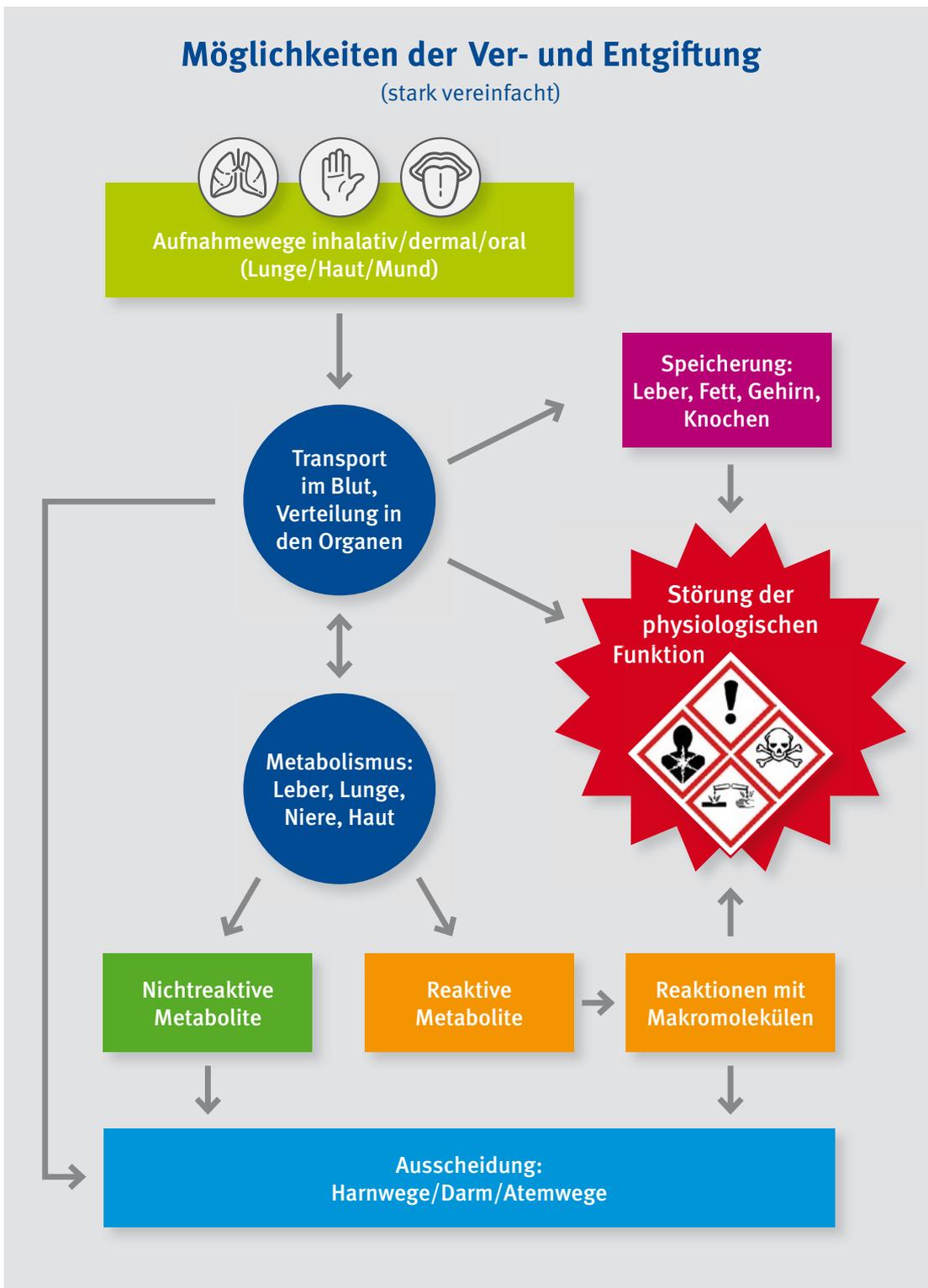


Abb. 45 Möglichkeiten der Ver- und Entgiftung

### 6.3 Wirkmechanismen von krebserzeugenden Stoffen

Krebserzeugende Stoffe (Kanzerogene) greifen unmittelbar oder mittelbar in den Zellstoffwechsel ein, so dass normale Zellen in Krebszellen umgewandelt werden. Es können lokale Geschwülste am Ort der Einwirkung oder auch maligne Tumoren in verschiedenen Geweben bzw. Erfolgsorganen entfernt vom Ort der unmittelbaren Einwirkung entstehen (z. B. Blasen-tumor durch Benzidin, Mesotheliome nach Asbestexposition, ausgeprägte Organotropie von Dialkylnitrosaminen). Die Einzeldosen einer krebserzeugenden Substanz kumulieren zu einer Gesamtdosis. Mit zunehmender Gesamtdosis wächst das Krebsrisiko. Die Wirkungen verschiedener Kanzerogene können sich addieren oder sogar potenzieren.

Kanzerogene können auf verschiedene Weise zur Krebsentstehung (Kanzerogenese) beitragen. Gentoxische Stoffe verändern das genetische Material, die DNA (Desoxyribonucleinsäure). Es ist davon auszugehen, dass auch geringste Expositionen irreversible Schäden, beispielsweise die Bildung von Tumoren, hervorrufen können, wenn auch mit geringer Wahrscheinlichkeit. Als primär (direkt) gentoxische Wirkung wird die unmittelbare Interaktion des Ausgangsstoffs und/oder dessen Stoffwechselprodukte mit der DNA bezeichnet. Indirekte Gentoxizität liegt vor, wenn ein Stoff genetische Schäden ohne unmittelbare Wechselwirkung mit der DNA induziert (z. B. durch Störung der DNA-Reparatur, durch Auslösung der Bildung von reaktiven Sauerstoffspezies). Kann der DNA-Schaden von der Zelle nicht repariert werden, liegt eine Mutation vor, die an Tochterzellen vererbt werden kann. Eine Mutation kann als erster Schritt die Kanzerogenese initiieren. Für gentoxische Kanzerogene kann in der Regel kein Schwellenwert abgeleitet werden. Nicht-gentoxische Kanzerogene wirken ohne direkte Schädigung der DNA. Bei diesen Prozessen spielen beispielsweise Zytotoxizität, induzierte Zellproliferation, Proteinbindung, hormonelle Wirkungen oder auch epigenetische Mechanismen (= verändertes Ablesen der DNA) eine Rolle. Für nicht-gentoxische Kanzerogene wird allgemein die Existenz einer Wirkschwelle angenommen.

Als Co-Kanzerogene bezeichnet man Substanzen, die selbst keine maligne Zelltransformation auslösen, jedoch die Wirkung krebserzeugender Substanzen verstärken. Als wichtiger Wirkungsmechanismus für organische Kanzerogene mit ganz unterschiedlicher Struktur wurden Alkylierungs- und Arylierungsreaktionen mit Makromolekülen der Zelle (Nucleinsäuren, Proteine) erkannt. Einige Verbindungen wirken ohne enzymatische Aktivierung alkylierend (direkte Alkylanzien), wie z. B. Dimethylsulfat und Diazomethan; andere werden erst durch den Stoffwechsel der Zelle in reaktive Zwischenprodukte umgewandelt (indirekte Alkylanzien), wie z. B. Dimethylnitrosamin. Aromatische Kohlenwasserstoffe werden im Stoffwechsel zu polaren Verbindungen oxidiert (u. a. Abbau zu aromatischen Alkoholen), die insbesondere durch die Konjugation mit Schwefelsäure und Glucuronsäure ausscheidungsfähig gemacht werden. Der Weg der metabolischen Entgiftung verläuft jedoch über reaktive Zwischenverbindungen (Epoxide), die wiederum mit der DNA reagieren können. Man spricht in diesem Zusammenhang bei den reaktionsträgen Ausgangsverbindungen von Präkanzerogene, die durch enzymkatalysierte Reaktionen in „ultimale“ Kanzerogene umgewandelt werden. Aus der Stoffklasse der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe sind einige Verbindungen Präkanzerogene (Benzo[a]pyren), andere dagegen nicht. Deshalb kann man ohne eingehende Untersuchungen keine Aussage über die Gefährlichkeit eines Stoffes machen, was bedeutet, dass die Vorsichtsmaßnahmen alle Stoffe einer Gruppe einschließen sollten, solange ihre Ungefährlichkeit nicht nachgewiesen wurde.

Da individuelle Unterschiede im Stoffwechsel bestehen und die beteiligten Enzyme verschieden stark durch Medikamente oder chronische Schadstoffexposition beeinflusst werden, ist die Gefährdung einzelner Personen bei gleicher Einwirkung nicht gleich groß.

## 6.4 Beurteilung von Gefährdungen durch gesundheitsschädigende Stoffe

Hilfreich bei der Beurteilung von Gefährdungen durch gesundheitsschädigende Stoffe ist es, Höchstwerte der Belastung zu kennen, bei deren Unterschreitung auch bei länger andauernder Einwirkung keine schädlichen Auswirkungen auf die Gesundheit zu erwarten sind oder das Risiko zu erkranken, sehr gering ist. Als derartige Höchstwerte existieren unterschiedliche Beurteilungsmaßstäbe.

Dies sind in erster Linie maximal zulässige Luftkonzentrationen wie

- Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) nach TRGS<sup>7</sup> 900,
- Biologische Grenzwerte (BGW) nach TRGS 903
- oder bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen stoffspezifische Akzeptanz- und Toleranzkonzentrationen nach TRGS 910, die aus Exposition-Risiko-Beziehungen (ERB) abgeleitet werden.

Die Vorgaben der genannten Technischen Regeln für Gefahrstoffe sind rechtsverbindlich.

Existieren weder AGW noch Akzeptanz- und Toleranzkonzentrationen, können andere geeignete Beurteilungsmaßstäbe herangezogen werden, z. B.

- Grenzwertvorschläge der DFG-Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe (MAK-Werte),
- Arbeitsplatz-Richtgrenzwerte (Indicative Occupational Exposure Limit Values) in Durchführung der Richtlinie 98/24/EG,
- andere Grenzwertvorschläge für chemische Belastungen am Arbeitsplatz (z. B. ausländische Grenzwerte in der Datenbank „GESTIS-International Limit Values“, siehe Anhang I, Literatur),
- „Derived no-effect-levels“ (DNEL) nach Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH-Verordnung) oder
- vorläufige Zielwerte, die im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung selbst festgelegt werden.

Es liegt in der Verantwortung der Praktikumsverantwortlichen, dass der Schutz der Exponierten gewährleistet wird.

### 6.4.1 Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW)

Arbeitsplatzgrenzwerte sind definiert als „zeitlich gewichtete durchschnittliche Konzentration eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz in Bezug auf einen gegebenen Referenzzeitraum“. Sie geben an, bei welcher Konzentration eines Stoffes akute oder chronische schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit im Allgemeinen nicht zu erwarten sind und soll Exponierte dauerhaft vor gesundheitlichen Schäden schützen. AGW werden in der TRGS 900 veröffentlicht.

AGW werden für gesunde Personen in erwerbsfähigem Alter aufgestellt. Sie gelten in der Regel als Schichtmittelwerte bei achtstündiger Exposition an 5 Tagen pro Woche während des gesamten Arbeitslebens.

Expositionsspitzen, also kurzzeitige Überschreitungen eines AGW, sind durch stoffspezifische Überschreitungsfaktoren geregelt. Der maximale Überschreitungsfaktor von 8 bedeutet, dass der AGW 4-mal pro Schicht für 15 Minuten 8-fach überschritten werden darf. Zwischen den einzelnen Zeiträumen mit Expositionsspitzen ist ein zeitlicher Abstand von mindestens einer Stunde sicherzustellen. Bei Ausschöpfen dieser Regel ist während der übrigen Schicht keine Exposition mehr erlaubt.

Die Festlegung eines AGW erfolgt auf Basis arbeitsmedizinischer Erfahrungen und toxikologischer Erkenntnisse durch den Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS). Es können auch epidemiologische und tierexperimentelle Studien herangezogen werden. Voraussetzung ist, dass für die toxischen Wirkungen des jeweiligen Gefahrstoffes ein Schwellenwert existiert.

<sup>7</sup> TRGS = Technische Regel für Gefahrstoffe

### 6.4.2 Biologische Grenzwerte (BGW)

Neben den Beurteilungsmaßstäben bei inhalativer Exposition können für viele chemische Stoffe auch toxikologisch-arbeitsmedizinisch abgeleitete biologische Grenzwerte (BGW) festgelegt werden. Ein BGW ist die „Konzentration eines Stoffes, seines Metaboliten oder eines Beanspruchungsindikators im entsprechenden biologischen Material“ (in der Regel Blut oder Urin), bei deren Nicht-Überschreitung „die Gesundheit von Beschäftigten im Allgemeinen nicht beeinträchtigt wird“. BGW werden in der TRGS 903 veröffentlicht.

Im Gegensatz zu einem AGW erfasst ein BGW nicht nur die inhalative Exposition, sondern die gesamte, individuelle Belastung eines Exponierten über alle Aufnahmepfade.

Rechtlich verbindliche Grenzwerte für die dermale Belastung existieren in Deutschland derzeit nicht.

### 6.4.3 Expositions-Risiko-Beziehungen (ERB)

Für krebserzeugende Gefahrstoffe mit genotoxischem Wirkmechanismus ist es in der Regel nicht möglich, einen arbeitsmedizinisch-toxikologisch begründeten Schwellenwert abzuleiten, der als Basis für einen AGW dienen könnte. Daher wurde mit der TRGS 910 nach fachübergreifender Diskussion eine Konvention erarbeitet, mit der Expositionen von krebserzeugenden Gefahrstoffen und den daraus resultierenden Risiken für die Gesundheit zu beurteilen und regulieren sind.

Die TRGS 910 enthält ein Maßnahmenkonzept, das sich an stoffübergreifenden Risikogrenzen in Form von statistischen Wahrscheinlichkeiten orientiert, bei einer gegebenen arbeitstäglichen Exposition durch einen krebserzeugenden Stoff an einem arbeitsbedingten Krebs zu erkranken.

Eckpunkte dieses Konzeptes sind zwei Risikogrenzen: das Akzeptanzrisiko von 4:10 000<sup>8</sup> (mit einer geplanten Absenkung auf 4:100 000), unterhalb dessen ein Risiko akzeptiert wird (niedriges Risiko), sowie das Toleranzrisiko von 4:1 000, oberhalb dessen ein Risiko nicht tolerabel ist (hohes Risiko). Diese beiden Risikogrenzen schließen

einen Bereich mittleren Risikos ein, der toleriert wird, wobei aber die Gefährdung mithilfe eines Maßnahmenkatalogs innerhalb eines festzulegenden Zeitrahmens verringert werden muss. Zur Umsetzung dieses Konzepts sind für die einzelnen krebserzeugenden Stoffe die Luftkonzentrationen (stoffspezifische Konzentrationswerte) zu ermitteln, die den beiden o. g. Risikogrenzen entsprechen und die demgemäß als Akzeptanz- und Toleranzkonzentration bezeichnet werden. Möglich ist dies durch die Ableitung von Exposition-Risiko-Beziehungen (ERB). Grundlage der Ableitungen können Humandaten aus epidemiologischen Studien oder Tierversuchen sein.

## 6.5 Typische Gefahrstoffe

### 6.5.1 Ätz- und Reizgase

Ätz- und Reizgase reizen die Haut und die Schleimhäute, insbesondere die der Atemwege und der Augen. Ihr Auftreten macht sich daher durch Hustenreiz, Stechen in Nase und Rachen sowie Brennen und Tränen der Augen bemerkbar. Bei bestimmten Gasen können aber die ersten Anzeichen einer Vergiftung sehr schwach sein und es kann dennoch nach mehreren Stunden zu einer schweren Schädigung der Lunge kommen (Lungenödem), zuweilen mit tödlichem Verlauf.

Zum Beispiel können schon wenige Atemzüge konzentrierter nitroser Gase ein Lungenödem auslösen.

Auch höhere Konzentrationen von Ammoniak können zu Erstickungserscheinungen und unter raschem Bewusstseinsverlust zum Tode führen.

Die Dämpfe von Chlor und Brom sind wesentlich schwerer als Luft und sammeln sich daher am Boden an, wo sie sich längere Zeit halten können. Beim Einatmen rufen sie Husten, Atemnot und Erstickungserscheinungen hervor. Chlorwasserstoff und Fluorwasserstoff (zur besonderen Gefährlichkeit von Fluorwasserstoff siehe auch Kapitel 6.5.4) wirken als starke Reizstoffe auf die oberen Atemwege, am Auge können Entzündungen der Bindehaut und Hornhautschädigungen hervorgerufen werden.

<sup>8</sup> Statistische Wahrscheinlichkeiten: vier zusätzliche Krebserkrankungen pro 1000, 10 000 sowie 100 000 Beschäftigte bei einer 40-jährigen arbeitstäglichen Exposition.

Als besonders starke Augenreizstoffe seien ferner erwähnt Chlor- und Bromaceton, Bromessigester und Acrolein, die bereits bei geringsten Luftkonzentrationen starkes Brennen der Augen, Tränenfluss und Lidkrampf verursachen. Erst höhere Konzentrationen schädigen Atemwege und Haut.

Ethylenoxid reizt die Schleimhäute, führt zu Kopfschmerzen, Erbrechen und Atemnot.

Die Dämpfe von Ethylenimin verursachen starke Reizungen der Augen- und Luftwege, in schweren Fällen Lungenentzündung und Lungenödem.

Formaldehyd verursacht allergische Erkrankungen der Haut und besitzt eine starke Reizwirkung auf die Bindehaut der Augen und die Schleimhäute der oberen Atemwege.

Phosgen, ein farbloses Gas, das leicht nach faulem Obst riecht, wird in größeren Mengen als Zwischenprodukt für chemische Synthesen benötigt, tritt jedoch auch bei thermischer Zersetzung von Chlor- und Fluorchlorkohlenwasserstoffen auf. Bei geringer Konzentration verursacht es Hustenreiz, Beklemmung und Übelkeit. In schweren Fällen können noch nach mehreren Stunden Lungenödem und Herzschwäche auftreten, oft mit tödlichem Ausgang.

Das farblose Schwefeldioxid ist an seinem stechenden Geruch erkennbar. Es reizt die Schleimhäute und führt in höheren Konzentrationen zu Atembeschwerden, unter Umständen zu Lungenentzündung und Bewusstseinsstörungen.

### 6.5.2 Gase als Blut-, Zell- und Nervengifte

Blausäure (Cyanwasserstoff) wird aus ihren Salzen leicht durch Säuren freigesetzt. Außer über die Atemwege kann sie auch durch die Haut aufgenommen werden. Sie hemmt die Zellatmung durch Enzymblockierung. Schon geringe Mengen (etwa 1 mg/kg Körpergewicht) wirken tödlich.

Kohlenstoffmonoxid ist in reinem Zustand geruch- und farblos und daher nicht selbstwarnend. Es verbindet sich etwa dreihundertmal stärker als Sauerstoff mit dem Blutfarbstoff Hämoglobin und unterbindet dadurch die Sauerstoffversorgung des Organismus. Es verursacht die häufig auftretenden Vergiftungen durch Schwelgase bei Bränden. Bereits bei längerer Einwirkung von Konzentrationen oberhalb 0,01 Vol.-% kommt es zu Kopfschmerzen, ab 0,2 Vol.-% können tiefe Bewusstlosigkeit, Verringerung der Pulsfrequenz und schließlich der Tod eintreten.

Ein starkes Nervengift ist Schwefelwasserstoff, dessen charakteristischer Geruch nach faulen Eiern bei höheren Konzentrationen nicht mehr wahrnehmbar ist. Er reizt die Atemorgane, höhere Konzentrationen können blitzartig Bewusstlosigkeit und schließlich den Tod durch Atemlähmung auslösen.

Als äußerst giftige und gefährliche Gase seien schließlich noch der nach Knoblauch riechende Arsenwasserstoff und der Phosphorwasserstoff erwähnt.

### 6.5.3 Erstickende Gase

Gasförmiger Stickstoff wird in der Laborpraxis in erster Linie als Schutzgas, flüssiger Stickstoff als Kältemittel verwendet. Eine Atmosphäre, in welcher durch Zutritt von Stickstoff der Sauerstoffgehalt unter die normale Konzentration vermindert ist, kann durch Sinnesempfindungen nicht von normaler Luft unterschieden werden. Beim Einatmen wird jedoch der Organismus, insbesondere das empfindliche Gehirn, nicht mehr ausreichend mit Sauerstoff versorgt. Wenn die Sauerstoffkonzentration auf unter 12 Vol.-% vermindert ist, besteht akute Lebensgefahr, bei Konzentrationen zwischen 12 und 15 Vol.-% Sauerstoff zumindest eine Beeinträchtigung des Leistungsvermögens. Bereits ein Atemzug reinen Stickstoffs kann ohne jede Vorwarnung zu Bewusstseinsverlust und Atemstillstand führen, so dass der Tod eintritt, wenn nicht rechtzeitig Wiederbelebungsmaßnahmen vorgenommen werden.



#### Hinweis

Ein Liter flüssiger Stickstoff ergibt ca. 700 Liter gasförmigen Stickstoff

Die gleiche Wirkung hat auch Argon, das ebenfalls als Schutzgas verwendet wird. Da es schwerer als Luft ist, sammelt es sich in Vertiefungen an.

Auch andere Gase wie Methan, Propan und Butan können durch Verdrängung des Luftsauerstoffes erstickend wirken.

Kohlenstoffdioxid, das als Kältemittel (in Form von Trockeneis) und Schutzgas verwendet wird, reichert sich auf Grund seiner hohen Dichte ebenfalls in Vertiefungen und Kellerräumen an. Dieses Gas hat jedoch auch eine spezifische Giftwirkung. Ab 5 Vol.-% CO<sub>2</sub> können Kopfschmerzen und Schwindel, ab 15 Vol.-% Bewusstlosigkeit und der Tod eintreten, auch wenn noch ausreichend Mengen von Sauerstoff vorhanden sind.



#### Hinweis

Ein Kilogramm Trockeneis bildet beim Verdampfen 541 Liter gasförmiges Kohlenstoffdioxid! Deshalb darf Trockeneis nur in belüfteten Räumen gelagert werden.

### 6.5.4 Säuren und Laugen

Konzentrierte Säuren und Laugen (Salpetersäure, Salzsäure, Schwefelsäure, Schwefeltrioxid, Ameisensäure, Natronlauge, Kalilauge und andere) verursachen Verätzungen der Haut und der Schleimhäute, die je nach Konzentration der Stoffe und der Zeitdauer der Einwirkung von einer oberflächlichen Reizung bis zu einer tief greifenden Zerstörung der Haut und der darunterliegenden Gewebe führen können. Besonders gefährdet sind Augen und Atemwege.

Laugen verursachen häufig schwerere Schäden als Säuren, da diese nur langsam heilen. Bereits wenige Spritzer von Kaliumhydroxid- oder Calciumhydroxid-Lösungen im Auge können zur Erblindung führen.

Besonders gefährlich sind auch Verletzungen durch Flusssäure (Fluorwasserstoff), da die Schmerzen häufig erst mehrere Stunden nach der Einwirkung auftreten, weitere Symptome sind Übelkeit, Erbrechen, Durchfall, Bauchschmerzen und Parästhesie. Rasche und gezielte ärztliche Hilfe ist beim Kontakt mit konzentrierter Flusssäure besonders wichtig (in Absprache mit dem Betriebsarzt bzw. -ärztin sind Lösungen oder Gele mit Calcium-Gluconat vorzubereiten).

Chronische Expositionen führen zu skelettaler Fluorose, die sich durch brüchige Knochen aufgrund erhöhter Knochendichte äußert. Sind Arbeiten durchzuführen, bei denen mit dem Verspritzen von Säuren oder Laugen gerechnet werden muss, so sind die Augen durch eine dicht schließende Korbbrille evtl. in Kombination mit einem Gesichtsschutzschild zu schützen. Als Handschutz können geeignete Handschuhe aus Nitril- oder Butylkautschuk oder PVC eingesetzt werden. Die Herstellerangaben zum Chemikalienschutz und zu Durchbruchzeiten sind unbedingt zu beachten. In Abhängigkeit von dem Ausmaß der möglichen Gefährdung sind zusätzlich Schürzen und Stiefel aus geeigneten Materialien (PVC, Kautschuk) zu tragen.

### 6.5.5 Lösemittel

Fast alle Lösemittel, wie z. B. Diethylether, Aceton, Essigsäureethylester, wirken beim Einatmen in geringen Mengen berauschend, in größeren Konzentrationen (einige Vol.-%) narkotisierend. Bei länger andauernder Einwirkung von höheren Konzentrationen droht Lebensgefahr durch Atemlähmung.

Chlorkohlenwasserstoffe wie z. B. Dichlormethan, Trichlormethan, Tetrachlorkohlenstoff und Trichlorethylen können darüber hinaus Leber- und Nierenschädigungen sowie Kreislaufstörungen hervorrufen. Aus diesem Grund dürfen z. B. Dichlormethan (Methylenchlorid), Chloroform und Tetrachlorkohlenstoff nicht als Reinigungs- oder Entfettungsmittel, z. B. für Glasgeräte, verwendet werden. Das Einatmen sehr kleiner, auch unter der Geruchsschwelle liegender Mengen von Chlorkohlenwasserstoffen über einen längeren Zeitraum, kann chronische Gesundheitsschäden, z. B. Leberschäden, hervorrufen. Diese Giftwirkung wird durch Alkohol und bestimmte Medikamente (z. B. Barbiturate) verstärkt.

### 6.5.6 Stäube

Eingeatmete biobeständige Stäube wirken als Fremdkörper und führen daher stets zu einer Reizung der Atmungsorgane. Sie können bei chronischer Einwirkung zu schweren Erkrankungen der Lunge führen. Voraussetzung dafür ist, dass die Stäube in genügend feinteiliger Form vorliegen, um mit der Atemluft in die Lunge zu gelangen (Lungengängigkeit).

### 6.5.7 KMR-Stoffe (wichtige Stoffklassen)

- Alkylierende Verbindungen z. B. Dimethylsulfat, Methyl-iodid, Diazomethan, Epichlorhydrin, Bis(chlormethyl)-ether, Ethylenoxid, Ethylenimin, Vinylchlorid.
- Aromatische Amine z. B. o-Phenylendiamin, 2-Naphthylamin, Benzidin und bestimmte 3,3'-disubstituierte Benzidine, 4-Aminobiphenyl.
- Aromatische Nitroverbindungen z. B. 2-Nitronaphthalin, 4-Nitrobiphenyl-5-N-Nitrosoverbindungen, z. B. Nitrosamine (N-Nitrosodiethylamin, N-Nitrosopyrrolidin), Nitrosamide (N-Nitroso-N-methylharnstoff).
- Azoverbindungen und Hydrazine z. B. Diazomethan, 4-Aminoazobenzol, Azofarbstoffe mit einer krebserzeugenden Aminkomponente, Hydrazobenzol, Hydrazin und seine Dialkylderivate.
- Faserstäube z. B. Asbest, Erionit, Keramikfasern aus Aluminiumoxid, Kaliumtitanat oder Siliciumkarbid.
- Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe und Heterocyclen z. B. Benz[a]anthracen, Dibenz[a,h]anthracen, Benzofluoranthene, Benzo[a]pyren, 2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin.
- Schwermetalle und deren Verbindungen z. B. Stäube von Cadmium und Cobalt und deren Verbindungen, Stäube von Nickel, Nickelsulfid, Nickeloxid und Chrom(VI)-Verbindungen.

Verzeichnisse von Stoffen, die auf wissenschaftlich basierten Erkenntnissen als krebserzeugend, keimzellmutagen oder reproduktionstoxisch der Kategorien 1A, 1B oder 2 eingestuft wurden, finden sich in der Liste der krebserzeugenden, keimzellmutagenen und reproduktionstoxischen Stoffe (KMR-Liste) des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) sowie in der TRGS 905 und TRGS 906, siehe Literaturquellen in Anhang 1.

### 6.6 Mutterschutz und Gefahrstoffe

Das Mutterschutzgesetz gilt nicht nur für Beschäftigte sondern auch für Studentinnen. Unter anderem definiert das Mutterschutzgesetz Tätigkeiten, bei denen schwangere und stillende Frauen unverantwortbaren Gefährdungen ausgesetzt sind. Als unverantwortbare Gefährdung gilt eine (mögliche) Exposition gegenüber Stoffen und Gemischen, die wie folgt eingestuft sind:

- reproduktionstoxisch der Kategorie 1A, 1B oder 2 oder nach der Zusatzkategorie für Wirkungen auf oder über die Laktation (H360, H361, H362),
- keimzellmutagen der Kategorie 1A oder 1B (H340),
- krebserzeugend der Kategorie 1A oder 1B (H350, H350i),
- spezifisch zielorgantoxisch nach einmaliger Exposition der Kategorie 1 (H370),
- akut toxisch der Kategorie 1, 2 oder 3 (H300, H301, H310, H311, H330, H331)

Außerdem sind Tätigkeiten mit Blei oder Bleiderivaten, die vom Körper aufgenommen werden können, verboten ebenso wie Tätigkeiten mit Stoffen, die in der TRGS 900 mit der Bemerkung „Z“ (Stoffe, die trotz Einhaltung eines AGW das Kind im Mutterleib möglicherweise schädigen können) versehen sind.

Eine unverantwortbare Gefährdung gegenüber Gefahrstoffen kann ausgeschlossen werden, wenn die arbeitsplatzbezogenen Vorgaben eingehalten werden und es sich um Gefahrstoffe handelt, die als Stoffe ausgewiesen sind, die bei Einhaltung der arbeitsplatzbezogenen Vorgaben hinsichtlich einer Fruchtschädigung als sicher bewertet werden, z. B. bei Gefahrstoffen, die mit der Zusatzbemerkung „Y“ in der TRGS 900 gekennzeichnet sind (Stoffe, bei denen ein Risiko der Fruchtschädigung bei Einhaltung des AGW und des BGW nicht befürchtet zu werden braucht).

Eine unverantwortbare Gefährdung kann ebenfalls ausgeschlossen werden bei Gefahrstoffen, die nicht in der Lage sind, die Plazentaschranke zu überwinden (z. B. Quarzstaub, Holzstaub) oder aus anderen Gründen ausgeschlossen ist, dass eine Fruchtschädigung eintritt.

Eine weitere Voraussetzung für diese beiden Ausschlussmöglichkeiten ist, dass der jeweilige Gefahrstoff nicht als reproduktionstoxisch nach der Zusatzkategorie für Wirkungen auf oder über die Laktation (H 362 „Kann Säuglinge über die Muttermilch schädigen“) zu bewerten ist.

# Anhang

## Anhang 1: Informationsquellen

### Literatur

- Gefahrstoffverordnung  
[http://www.gesetze-im-internet.de/gefstoffv\\_2010/index.html](http://www.gesetze-im-internet.de/gefstoffv_2010/index.html)
- Technische Regeln für Gefahrstoffe  
<https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/TRGS.html>
- Online-Fassung der DGUV Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“ (Laborrichtlinien)  
<https://dguvi213-850.vur.jedermann.de/bgi850-0/xhtml/index.jsf?startSite=true&activeToolBarTab=document>
- Verzeichnis krebserzeugender, keimzellmutagener oder reproduktionstoxischer Stoffe (KMR-Verzeichnis):  
[http://publikationen.dguv.de/dguv/udt\\_dguv\\_main.aspx?FDOCUID=26451](http://publikationen.dguv.de/dguv/udt_dguv_main.aspx?FDOCUID=26451), oder Webcode: d4754
- Mutterschutzgesetz  
[https://www.gesetze-im-internet.de/muschg\\_2018/MuSchG.pdf](https://www.gesetze-im-internet.de/muschg_2018/MuSchG.pdf)
- BASF – Medizinische Leitlinien bei akuten Einwirkungen von chemischen Substanzen:  
[https://www.basf.com/de/company/sustainability/employees-and-society/employees/occupational-medicine-and-health-protection/Medical\\_Guidelines.html](https://www.basf.com/de/company/sustainability/employees-and-society/employees/occupational-medicine-and-health-protection/Medical_Guidelines.html)
- DGUV Regel „Branche Hochschulen“ (in Vorbereitung)
- D. Martinetz: Immobilisation, Entgiftung und Zerstörung von Chemikalien, 2. Aufl., Harri Deutsch, Frankfurt 1986
- G. Lunn: Destruction of Hazardous Chemicals in the Laboratory, Wiley 2012
- M.-A. Armour: Hazardous Laboratory Chemicals Disposal Guide, CRC Press, Boca Raton 2003

### Portale und Datenbanken

- GESTIS – Stoffdatenbank  
<http://www.dguv.de/ifa/gestis/gestis-stoffdatenbank/index.jsp> oder Webcode: d11892
- GiSChem – BG Gefahrstoffinformationssystem Chemikalien der BGRCI und der BGHM  
<http://www.gischem.de>
- Das Fachwissen – Portal der BG RCI  
<http://www.bgrci.de/fachwissen-portal/start/>
- Informationsportal der BG RCI „Gase unter Druck“  
<http://www.bgrci.de/gase-unter-druck/startseite/>
- Lernportal „Sicheres Arbeiten im Labor“  
<http://sicheresarbeitenimlabor.de/hauptmenu/fachinformationen.htm>
- GESTIS-International Limit Values  
<https://www.dguv.de/ifa/gestis/gestis-internationale-grenzwerte-fuer-chemische-substanzen-limit-values-for-chemical-agents/index.jsp> oder Webcode d6247

## Anhang 2: Rechtsgrundlagen und Informationen

### Systematik des Regelwerks

Bei Tätigkeiten mit chemischen Stoffen können Gefahren für Mensch und Umwelt auftreten. Um diesen Gefahren zu begegnen, wurde eine Reihe von Rechtsvorschriften erlassen, die sowohl das Herstellen und Inverkehrbringen (Import, Verkauf oder Abgabe an Dritte) als auch die Tätigkeiten mit Gefahrstoffen regeln. Hauptziel der Vorschriften ist es, Mensch und Umwelt vor stoffbedingten Schäden zu schützen (siehe Abbildung 46).

Seit 2007 ist die Verordnung (EG) 1907/2006 (REACH-Verordnung) für alle EU-Mitgliedstaaten unmittelbar bindend. Diese Abkürzung steht für Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe). Der gesamte Lebensweg einer Chemikalie soll erfasst und sicher gestaltet werden. Daher sind von REACH nicht nur die Hersteller oder Inverkehrbringer betroffen, sondern auch die Anwender. Der Hersteller bzw. Inverkehrbringer ist verpflichtet, im Sicherheitsdatenblatt genaue Angaben zu den physikalisch-chemischen Eigenschaften eines Stoffes, zu vorhandenen Gesundheits- und Umweltgefahren sowie zum sicheren Umgang, zum Transport und zur Lagerung zu machen.

Hersteller bzw. Inverkehrbringer sind in Europa verpflichtet, Chemikalien nach einheitlichen Vorgaben einzustufen und zu kennzeichnen. Diese Vorgaben sind in der Verordnung (EG) Nr.1272/2008 (CLP-Verordnung) enthalten. Die CLP-Verordnung regelt die Einstufung (Classification), Kennzeichnung (Labelling) und Verpackung (Packaging) von Stoffen und Gemischen. Die CLP-Verordnung basiert auf dem weltweit einheitlichen System zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien (Globally Harmonised System – GHS). Danach beschreiben Gefahrenklassen die Art der Gefahr, also die gefährlichen Eigenschaften, die von einem Stoff ausgehen. Innerhalb jeder Gefahrenklasse sind Abstufungen in Abhängigkeit von der Schwere der Gefahr vorgesehen, Gefahrenkategorien genannt.

Anhang 3 gibt im Kapitel 3.1 die Gefahrenklassen und Gefahrenkategorien wieder.

Für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen gibt die Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) den Rahmen der erforderlichen Maßnahmen vor. Die GefStoffV gilt sowohl für die gewerbliche Wirtschaft als auch für Behörden, Schulen und Hochschulen bzw. Universitäten und richtet sich an Arbeitgeberinnen und Arbeitgeber und an alle Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer im Betrieb. Beamtinnen und Beamte, Schülerinnen und Schüler, Studierende und alle sonstigen an Hochschulen tätigen Personen (z. B. Stipendiatinnen und Stipendiaten) stehen in der Gefahrstoffverordnung den Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern gleich.

Detailregelungen zu Schutzmaßnahmen für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen sind in den Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) enthalten. Bei Umsetzung dieser Regeln kann der Arbeitgeber davon ausgehen, die Anforderungen der Gefahrstoffverordnung eingehalten zu haben. Insbesondere ist hier die TRGS 526 „Laboratorien“ zu nennen. Die TRGS werden von Experten erarbeitet und im Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) verabschiedet.



Abb. 46 Vereinfachte Darstellung der Struktur des deutschen Arbeitsschutzrechts

Daneben stellen auch die Unfallversicherungsträger Regeln und Informationen zur Verfügung, die das staatliche Regelwerk erläutern und praktische Hilfen für die im Labor tätigen Personen enthalten. So enthält z. B. die DGUV Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“ umfangreiche Hinweise zur technischen Ausstattung von Laboratorien sowie Bestimmungen für den sicheren Betrieb.

Praktische Informationen zum sicheren Umgang mit Stoffen, zu deren toxikologischer Wirkung und zu konkreten Schutzmaßnahmen (inkl. Hinweisen zur Ersten Hilfe) liefert GESTIS, die Stoffdatenbank der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV). Darüber hinaus informiert GESTIS über physikalisch-chemische Stoffdaten und die Einstufung und Kennzeichnung nach GHS gemäß der CLP-Verordnung (siehe auch Anhang 1 „Informationsquellen“).

### *Regelungen für den sicheren Praktikumsbetrieb*

#### *(Gefährdungsbeurteilung, Betriebsanweisung und Unterweisung)*

Zentrales Element des Arbeitsschutzes ist die Gefährdungsbeurteilung. Die Labor- oder Praktikumsverantwortlichen haben zunächst alle Gefährdungen für die Gesundheit und die Sicherheit ihrer Mitarbeitenden und/oder Studierenden festzustellen und sie unter folgenden Gesichtspunkten zu beurteilen:

1. gefährliche Eigenschaften der Stoffe und Gemische,
2. Informationen des Lieferanten zum Gesundheitsschutz und zur Sicherheit insbesondere im Sicherheitsdatenblatt,
3. Ausmaß, Art und Dauer der Exposition unter Berücksichtigung aller Expositionswege,
4. physikalisch-chemische Wirkungen,
5. Möglichkeiten einer Substitution,
6. Arbeitsbedingungen und Verfahren, einschließlich der Arbeitsmittel und der Gefahrstoffmenge,
7. Arbeitsplatzgrenzwerte und biologische Grenzwerte,
8. Wirksamkeit der getroffenen oder zu treffenden Schutzmaßnahmen,
9. Schlussfolgerungen aus der arbeitsmedizinischen Vorsorge,
10. Aspekte des Mutterschutzes.

Wie eine Gefährdungsbeurteilung im Zusammenhang mit Gefahrstoffen auszugestaltet ist, wird insbesondere in der TRGS 400 dargestellt. Die Labor- oder Praktikumsverantwortlichen dürfen eine Tätigkeit mit Gefahrstoffen erst aufnehmen lassen, nachdem eine Gefährdungsbeurteilung vorgenommen wurde und die erforderlichen Schutzmaßnahmen getroffen wurden. Ziel der Maßnahmen muss es sein, die Exposition von Beschäftigten und Studierenden gegenüber Gefahrstoffen auf ein Minimum zu reduzieren.

In chemischen Laboratorien in Hochschulen kann davon ausgegangen werden, dass dieses Schutzziel eingehalten ist, wenn:

- Die Hochschule sichergestellt hat, dass die technische Ausstattung des Labors den Anforderungen des Abschnitts 6 der DGUV Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“ entspricht und die notwendigen wiederkehrenden Prüfungen der Arbeitsmittel und technischen Einrichtungen durchgeführt werden.
- Die Bestimmungen für den sicheren Betrieb aus der DGUV Information 213-850 eingehalten werden, insbesondere:
  - mit den im Labor üblichen geringen Stoffmengen (unter laborüblichen Bedingungen) gearbeitet wird,
  - alle Arbeitsgänge mit akut toxischen, krebserzeugenden, keimzellmutagenen und reproduktionstoxischen Stoffen in geschlossenen Abzügen durchgeführt werden, solange nicht an den Apparaturen hantiert werden muss,
  - die Laboratorien und Praktikumsräume personell nicht überbelegt sind,
  - Entnahmebehälter für akut toxische Stoffe der Kategorie 1 und 2 innerhalb des Abzugs aufgestellt werden, bei Reaktionen frei werdende akut toxische Stoffe der Kategorie 1 und 2 oder ätzende Gase und Dämpfe in Kühlfallen oder Absorptionen aufgefangen werden,
  - Druckgasflaschen für akut toxische Gase der Kategorie 1 und 2 in Sicherheitsschränken nach DIN EN 14470-2: 2006-11 oder in Abzügen aufgestellt werden,
  - der Kontakt mit hautresorptiven oder hautgefährdenden Stoffen durch die Arbeitsmethode (z. B. geschlossene Apparatur) oder durch geeignete persönliche Schutzausrüstung – PSA (Chemikalienschutzhandschuhe, ggf. Körper- und Gesichtsschutz) vermieden wird und
  - Wert auf persönliche Arbeitshygiene gelegt wird.

Gefährdungen, allgemeine Schutzmaßnahmen sowie Verhaltensregeln müssen in einer allgemeinen Betriebsanweisung, der sog. „Laborordnung“, festgehalten werden. Die Beschäftigten und Studierenden müssen vor Aufnahme der Tätigkeiten im Labor von den Labor- oder Praktikumsverantwortlichen anhand dieser Betriebsanweisung auf Basis der Gefährdungsbeurteilung unterwiesen werden. Arbeitsmedizinisch-toxikologische Fragestellungen müssen in dieser Unterweisung enthalten sein, ebenso die Ergebnisse aus der Gefährdungsbeurteilung gemäß Mutterschutzgesetz.

Für Gefahrstoffe ist es notwendig, auf Grundlage des Sicherheitsdatenblattes Betriebsanweisungen zu erstellen. Für Stoffe mit vergleichbaren Eigenschaften und Gefährdungen können Gruppenbetriebsanweisungen erstellt werden.

Für einzelne Gefahrstoffe, Geräte oder Versuche können spezifische Unterweisungen anhand spezieller Betriebsanweisungen notwendig sein.

Sicherheitsdatenblätter und Betriebsanweisungen für Gefahrstoffe, aber auch Betriebsanweisungen für Geräte und Anlagen, müssen für die Beschäftigten und Studierenden zugänglich gemacht werden, dies kann auch auf elektronischem Weg geschehen.

## Anhang 3: Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien

### 3.1 Gefahrenklassen und Gefahrenkategorien

**Tabelle 3** Brand- und Explosionsgefahren

Erläuterungen zu den Tabellen 3, 4, 5 und 6: Bei mehreren Gefahrenkategorien innerhalb einer Gefahrenklasse steht die Farbe „rot“ für das Signalwort „Gefahr“, die Farbe „blau“ für das Signalwort „Achtung“; wird kein Signalwort und/oder kein Piktogramm vergeben, wird die Farbe „schwarz“ verwendet.

Gefahrenklasse und Gefahrenkategorie	GHS-Piktogramm	Signalwort	Gefahrenhinweis
Explosive Stoffe/Gemische • Instabil, explosiv • explosive Stoffe, Unterklasse 1.1–1.3		Gefahr	H200 H201, H202, H203
explosive Stoffe, Unterklasse 1.4		Achtung	H204
explosive Stoffe, Unterklasse 1.5	Kein Piktogramm	Gefahr	H205
explosive Stoffe, Unterklasse 1.6	Nicht kennzeichnungspflichtig		
Organische Peroxide • Typ A, B		Gefahr	H240, H241
Organische Peroxide • Typ B • Typ C, D • Typ E, F		Gefahr Achtung	H241 H242 H242
Organische Peroxide, Typ G	Nicht kennzeichnungspflichtig		
Oxidierende Gase, Kat. 1		Gefahr	H270
Oxidierende Flüssigkeiten Kat. 1 Kat. 2 Kat. 3		Gefahr Achtung	H271 H272 H272
Oxidierende Feststoffe Kat. 1 Kat. 2 Kat. 3		Gefahr Achtung	H271 H272 H272
Selbstzersetzliche Stoffe/Gemische • Typ A, B		Gefahr	H240, H241

Gefahrenklasse und Gefahrenkategorie	GHS-Piktogramm	Signalwort	Gefahrenhinweis
Selbstzersetzliche Stoffe/Gemische • Typ B • Typ C, D • Typ E, F		Gefahr  Achtung	H241 H242 H242
Selbstzersetzliche Stoffe/Gemische, Typ G	Nicht kennzeichnungspflichtig		
Selbsterhitzungsfähige Stoffe/Gemische, Kat. 1 Kat. 2		Gefahr Achtung	H251 H252
Entzündbare Gase (einschl. chemisch instabile Gase), Kat. 1		Gefahr	H220
Entzündbare Gase (einschl. chemisch instabile Gase), Kat. 2	Kein Piktogramm	Achtung	H221
Entzündbare Gase (einschl. chemisch instabile Gase) Kat. A, Kat. B	Kein Piktogramm	Kein Signalwort	H230, H231
Entzündbare Aerosole Kat. 1 Kat. 2		Gefahr Achtung	H222, H229 H223, H229
Entzündbare Aerosole Kat. 3	Kein Piktogramm	Achtung	H229
Entzündbare Flüssigkeiten, Kat. 1, Kat. 2, Kat. 3		Gefahr  Achtung	H224 H225 H226
Entzündbare Feststoffe Kat. 1, Kat. 2		Gefahr Achtung	H228 H228
Pyrophore Flüssigkeiten, Kat. 1 Pyrophore Feststoffe, Kat. 1 Stoffe/Gemische die in Berührung mit Wasser entzündbare Gase entwickeln, Kat. 1, 2 und Kat. 3		Gefahr  Achtung	H250 H250 H260, H261 H261

**Tabelle 4** Physikalische Gefahren

Gefahrenklasse und Gefahrenkategorie	GHS-Piktogramm	Signalwort	Gefahrenhinweis
Gase unter Druck <ul style="list-style-type: none"> <li>• verdichtete Gase</li> <li>• verflüssigte Gase</li> <li>• gelöste Gase</li> <li>• tiefgekühlt verflüssigte Gase</li> </ul>		Achtung	H280 H280 H280 H281
Korrosiv gegenüber Metallen, Kat. 1		Achtung	H290

**Tabelle 5** Umweltgefahren

Gefahrenklasse und Gefahrenkategorie	GHS-Piktogramm	Signalwort	Gefahrenhinweis
Kurzfristig (akut) gewässergefährdend, Kat. 1 Langfristig (chronisch) gewässergefährdend, Kat. 1		Achtung	H400 H410
Langfristig (chronisch) gewässergefährdend, Kat. 2		Kein Signalwort	H411
Langfristig (chronisch) gewässergefährdend, <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kat. 3</li> <li>• Kat. 4</li> </ul>	Kein Piktogramm	Kein Signalwort	H412 H413
Die Ozonschicht schädigend, Kat. 1		Achtung	H420

**Tabelle 6** Gesundheitsgefahren

Gefahrenklasse und Gefahrenkategorie	GHS-Piktogramm	Signalwort	Gefahrenhinweis
Akute Toxizität, Kat. 1, 2 • oral • dermal • inhalativ		Gefahr	H300 H310 H330
Akute Toxizität, Kat. 3 • oral • dermal • inhalativ		Gefahr	H301 H311 H331
Akute Toxizität, Kat. 4 • oral • dermal • inhalativ		Achtung	H302 H312 H332
Schwere Augenschädigung, Kat. 1		Gefahr	H318
Augenreizung, Kat. 2		Achtung	H319
Ätzwirkung auf die Haut, Kat. 1 und Unterkat. 1A, 1B und 1C		Gefahr	H314
Hautreizung, Kat. 2		Achtung	H315
Sensibilisierung der Atemwege, Kat. 1 und Unterkat. 1A und 1B		Gefahr	H334
Sensibilisierung der Haut, Kat. 1 und Unterkat. 1A und 1B		Achtung	H317
Keimzellmutagenität, • Kat. 1A • Kat. 1B • Kat. 2		Gefahr  Achtung	H340  H341

Gefahrenklasse und Gefahrenkategorie	GHS-Piktogramm	Signalwort	Gefahrenhinweis
Krebs erzeugend • Kat. 1A • Kat. 1B • Kat. 2		Gefahr  Achtung	H350 H350i H351
Reproduktionstoxische Wirkung • Kat. 1A • Kat. 1B • Kat. 2		Gefahr  Achtung	H360, H360F H360D, H360FD H361 H361f, H361d, H361fd
Reproduktionstoxische Wirkung, • Zusatzkategorie für Wirkungen auf/über Laktation	Kein Piktogramm	Kein Signalwort	H362
Spezifische Zielorgantoxizität (einmalige Exposition), Kat. 1 Kat. 2		Gefahr Achtung	H370 H371
Spezifische Zielorgantoxizität (einmalige Exposition) Kat. 3 Atemwegsreizung Narkotisierende Wirkung		Achtung	H335 H336
Spezifische Zielorgantoxizität (wiederholte Exposition), Kat. 1 Kat. 2		Gefahr Achtung	H372 H373
Aspirationsgefahr, Kat. 1		Gefahr	H304

### 3.2 Gefahrenpiktogramme mit Code und Bezeichnung

		
GHS01: Explodierende Bombe	GHS02: Flamme	GHS03: Flamme über einem Kreis
		
GHS04: Gasflasche	GHS05: Ätzwirkung	GHS06: Totenkopf mit gekreuzten Knochen
		
GHS07: Ausrufezeichen	GHS08: Gesundheitsgefahr	GHS09: Umwelt

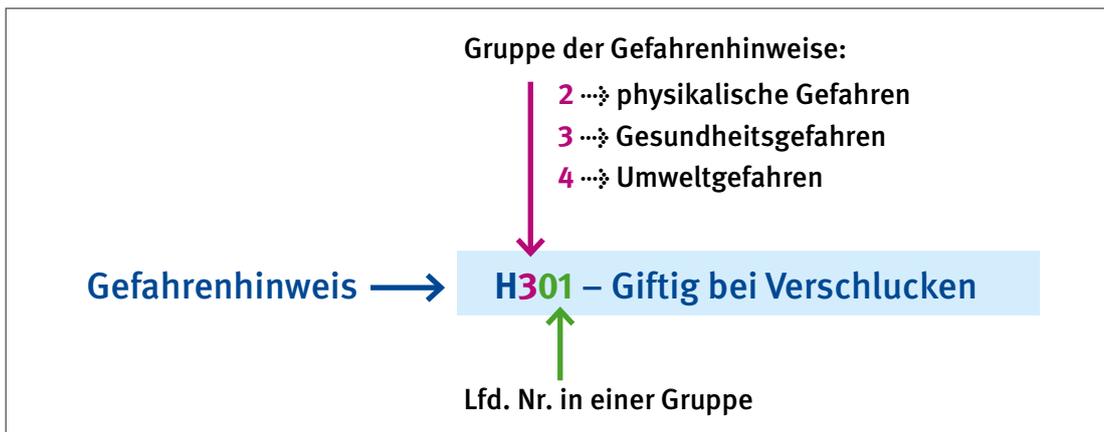
### 3.3 Vereinfachte Kennzeichnung von Laborgebinden (Anhang 4 der DGUV Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in chemischen Laboratorien“)

 Explosiv	 Lebensgefahr	 CMR-Stoff Kat. 1	 Ätzend/Korrosiv
 Extrem entzündbar	 Giftig	 CMR-Stoff Kat. 2	 Reizend
 Leicht entzündbar	 Gesundheitsschädlich	 Schädigt die Organe	 ? Ungeprüfter Forschungsstoff
 Entzündbar	 Betäubend	 Kann Organe schädigen	<input type="checkbox"/> bei Einatmen <input type="checkbox"/> bei Hautkontakt <input type="checkbox"/> bei Verschlucken
 Selbstentzündlich	 Allergisierend bei Einatmen	 Aspiration lebensgefährlich	
 Oxidationsmittel	 Allergisierend bei Hautkontakt	<div style="border: 2px solid red; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Entwickelt giftige Gase mit Wasser/Säure</div> <div style="border: 2px solid red; padding: 5px;">Im trockenen Zustand explosiv</div>	<div style="border: 2px solid red; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Kann gefährlich altern</div> <div style="border: 2px solid red; padding: 5px;">Reagiert heftig mit Wasser</div>

# Anhang 4: Aufbau der Gefahrenhinweise und der Sicherheitshinweise

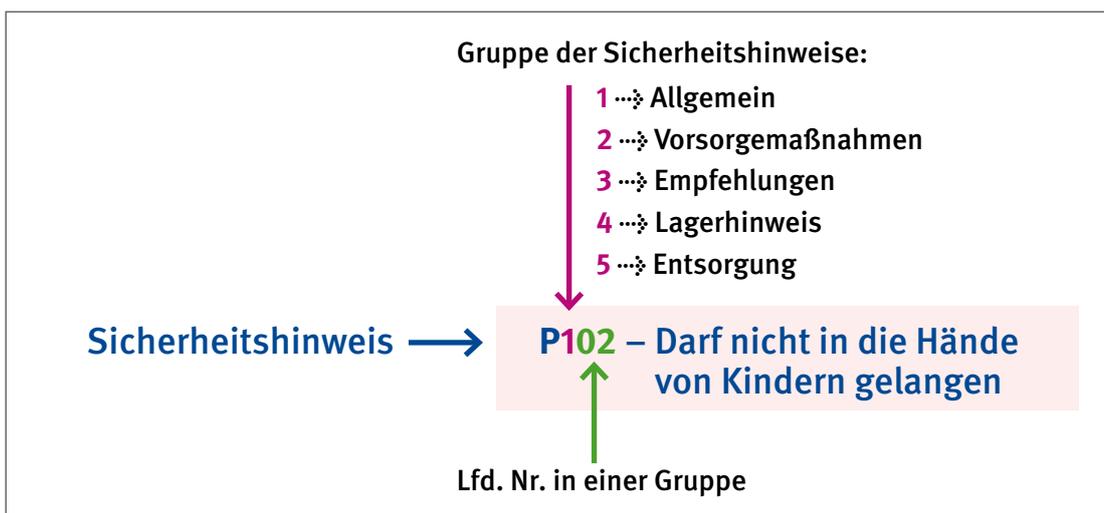
## 4.1 Gefahrenhinweise – Hazard Statements (H-Sätze)

Codierung mit standardisiertem Textbaustein, der die Art und ggf. den Schweregrad der Gefährdung beschreibt



## 4.2 Sicherheitshinweise – Precautionary Statements (P-Sätze)

Codierung mit standardisiertem Textbaustein, der die empfohlenen Maßnahmen zur Begrenzung oder Vermeidung schädlicher Wirkungen beschreibt



### 4.3 Liste der Gefahrenhinweise (H-Sätze) – Stand August 2019

Kodierung	Gefahrenhinweise
H200-Reihe:	Physikalische Gefahren
H200	Instabil, explosiv.
H201	Explosiv, Gefahr der Massenexplosion.
H202	Explosiv; große Gefahr durch Splitter, Spreng- und Wurfstücke.
H203	Explosiv; Gefahr durch Feuer, Luftdruck oder Splitter, Spreng- und Wurfstücke.
H204	Gefahr durch Feuer oder Splitter, Spreng- und Wurfstücke.
H205	Gefahr der Massenexplosion bei Feuer.
H206	Gefahr durch Feuer, Druckstoß oder Sprengstücke; erhöhte Explosionsgefahr.
H207	Gefahr durch Feuer oder Sprengstücke; erhöhte Explosionsgefahr, wenn das Desensibilisierungsmittel reduziert wird.
H208	Gefahr durch Feuer; erhöhte Explosionsgefahr, wenn das Desensibilisierungsmittel reduziert wird.
H220	Extrem entzündbares Gas.
H221	Entzündbares Gas.
H222	Extrem entzündbares Aerosol.
H223	Entzündbares Aerosol.
H224	Flüssigkeit und Dampf extrem entzündbar.
H225	Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar.
H226	Flüssigkeit und Dampf entzündbar.
H228	Entzündbarer Feststoff.
H229	Behälter steht unter Druck: kann bei Erwärmung bersten.
H230	Kann auch in Abwesenheit von Luft explosionsartig reagieren.
H231	Kann auch in Abwesenheit von Luft bei erhöhtem Druck und/oder erhöhter Temperatur explosionsartig reagieren.
H232	Kann sich bei Kontakt mit Luft spontan entzünden.
H240	Erwärmung kann Explosion verursachen.
H241	Erwärmung kann Brand oder Explosion verursachen.
H242	Erwärmung kann Brand verursachen.
H250	Entzündet sich in Berührung mit Luft von selbst.
H251	Selbsterhitzungsfähig; kann in Brand geraten.
H252	In großen Mengen selbsterhitzungsfähig; kann in Brand geraten.
H260	In Berührung mit Wasser entstehen entzündbare Gase, die sich spontan entzünden können.
H261	In Berührung mit Wasser entstehen entzündbare Gase.
H270	Kann Brand verursachen oder verstärken; Oxidationsmittel.
H271	Kann Brand oder Explosion verursachen; starkes Oxidationsmittel.

Kodierung	Gefahrenhinweise
H272	Kann Brand verstärken; Oxidationsmittel.
H280	Enthält Gas unter Druck; kann bei Erwärmung explodieren.
H281	Enthält tiefgekühltes Gas; kann Kälteverbrennungen oder -verletzungen verursachen.
H290	Kann gegenüber Metallen korrosiv sein.
H300-Reihe:	Gesundheitsgefahren
H300	Lebensgefahr bei Verschlucken.
H301	Giftig bei Verschlucken.
H302	Gesundheitsschädlich bei Verschlucken.
H304	Kann bei Verschlucken und Eindringen in die Atemwege tödlich sein.
H310	Lebensgefahr bei Hautkontakt.
H311	Giftig bei Hautkontakt.
H312	Gesundheitsschädlich bei Hautkontakt.
H314	Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.
H315	Verursacht Hautreizungen.
H317	Kann allergische Hautreaktionen verursachen.
H318	Verursacht schwere Augenschäden.
H319	Verursacht schwere Augenreizung.
H330	Lebensgefahr bei Einatmen.
H331	Giftig bei Einatmen.
H332	Gesundheitsschädlich bei Einatmen.
H334	Kann bei Einatmen Allergie, asthmaartige Symptome oder Atembeschwerden verursachen.
H335	Kann die Atemwege reizen.
H336	Kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen.
H340	Kann genetische Defekte verursachen <Expositionsweg angeben, sofern schlüssig belegt ist, dass diese Gefahr bei keinem anderen Expositionsweg besteht>.
H341	Kann vermutlich genetische Defekte verursachen <Expositionsweg angeben, sofern schlüssig belegt ist, dass diese Gefahr bei keinem anderen Expositionsweg besteht>.
H350	Kann Krebs erzeugen <Expositionsweg angeben, sofern schlüssig belegt ist, dass diese Gefahr bei keinem anderen Expositionsweg besteht>.
H350i*	Kann bei Einatmen Krebs erzeugen.
H351	Kann vermutlich Krebs erzeugen <Expositionsweg angeben, sofern schlüssig belegt ist, dass diese Gefahr bei keinem anderen Expositionsweg besteht>.
H360	Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen oder das Kind im Mutterleib schädigen <konkrete Wirkung angeben, sofern bekannt> <Expositionsweg angeben, sofern schlüssig belegt ist, dass diese Gefahr bei keinem anderen Expositionsweg besteht>.

Kodierung	Gefahrenhinweise
H360F	Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen.
H360D	Kann das Kind im Mutterleib schädigen.
H360FD	Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. Kann das Kind im Mutterleib schädigen.
H360Fd	Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. Kann vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen.
H360Df	Kann das Kind im Mutterleib schädigen. Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen.
H361	Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen oder das Kind im Mutterleib schädigen <konkrete Wirkung angeben, sofern bekannt> <Expositionsweg angeben, sofern schlüssig belegt ist, dass diese Gefahr bei keinem anderen Expositionsweg besteht>.
H361f	Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen.
H361d	Kann vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen.
H361fd	Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. Kann vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen.
H362	Kann Säuglinge über die Muttermilch schädigen.
H370	Schädigt die Organe <oder alle betroffenen Organe nennen, sofern bekannt> <Expositionsweg angeben, sofern schlüssig belegt ist, dass diese Gefahr bei keinem anderen Expositionsweg besteht>.
H371	Kann die Organe schädigen <oder alle betroffenen Organe nennen, sofern bekannt> <Expositionsweg angeben, sofern schlüssig belegt ist, dass diese Gefahr bei keinem anderen Expositionsweg besteht>.
H372	Schädigt die Organe <alle betroffenen Organe nennen> bei längerer oder wiederholter Exposition <Expositionsweg angeben, wenn schlüssig belegt ist, dass diese Gefahr bei keinem anderen Expositionsweg besteht>.
H373	Kann die Organe schädigen <alle betroffenen Organe nennen, sofern bekannt> bei längerer oder wiederholter Exposition <Expositionsweg angeben, wenn schlüssig belegt ist, dass diese Gefahr bei keinem anderen Expositionsweg besteht>.
H300 + H310	Lebensgefahr bei Verschlucken oder Hautkontakt.
H300 + H330	Lebensgefahr bei Verschlucken oder Einatmen.
H310 + H330	Lebensgefahr bei Hautkontakt oder Einatmen.
H300 + H310 + H330	Lebensgefahr bei Verschlucken, Hautkontakt oder Einatmen.
H301 + H311	Giftig bei Verschlucken oder Hautkontakt.
H301 + H331	Giftig bei Verschlucken oder Einatmen.
H311 + H331	Giftig bei Hautkontakt oder Einatmen.
H301 + H311 + H331	Giftig bei Verschlucken, Hautkontakt oder Einatmen.
H302 + H312	Gesundheitsschädlich bei Verschlucken oder Hautkontakt.
H302 + H332	Gesundheitsschädlich bei Verschlucken oder Einatmen.
H312 + H332	Gesundheitsschädlich bei Hautkontakt oder Einatmen.
H302 + H312 + H332	Gesundheitsschädlich bei Verschlucken, Hautkontakt oder Einatmen.
<b>H400-Reihe:</b>	<b>Gefahrenhinweise für Umweltgefahren</b>
H400	Sehr giftig für Wasserorganismen.

Kodierung	Gefahrenhinweise
H410	Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung.
H411	Giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung.
H412	Schädlich für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung.
H413	Kann für Wasserorganismen schädlich sein, mit langfristiger Wirkung.
H420	Schädigt die öffentliche Gesundheit und die Umwelt durch Ozonabbau in der äußeren Atmosphäre.
<b>Ergänzende Gefahrenmerkmale</b>	
Physikalische Eigenschaften	
EUH014	Reagiert heftig mit Wasser.
EUH018	Kann bei Verwendung explosionsfähige/entzündbare Dampf/Luft-Gemische bilden.
EUH019	Kann explosionsfähige Peroxide bilden.
EUH044	Explosionsgefahr bei Erhitzen unter Einschluss.
Gesundheitsgefährliche Eigenschaften	
EUH029	Entwickelt bei Berührung mit Wasser giftige Gase.
EUH031	Entwickelt bei Berührung mit Säure giftige Gase.
EUH032	Entwickelt bei Berührung mit Säure sehr giftige Gase.
EUH066	Wiederholter Kontakt kann zu spröder oder rissiger Haut führen.
EUH070	Giftig bei Berührung mit den Augen.
EUH071	Wirkt ätzend auf die Atemwege.
<b>Ergänzende Kennzeichnungselemente/Informationen über bestimmte Gemische</b>	
EUH201	Enthält Blei. Nicht für den Anstrich von Gegenständen verwenden, die von Kindern gekaut oder gelutscht werden könnten.
EUH201A*	Achtung! Enthält Blei.
EUH202	Cyanacrylat. Gefahr. Klebt innerhalb von Sekunden Haut und Augenlider zusammen. Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen.
EUH203	Enthält Chrom (VI). Kann allergische Reaktionen hervorrufen.
EUH204	Enthält Isocyanate. Kann allergische Reaktionen hervorrufen.
EUH205	Enthält epoxidhaltige Verbindungen. Kann allergische Reaktionen hervorrufen.
EUH206	Achtung! Nicht zusammen mit anderen Produkten verwenden, da gefährliche Gase (Chlor) freigesetzt werden können.
EUH207	Achtung! Enthält Cadmium. Bei der Verwendung entstehen gefährliche Dämpfe. Hinweise des Herstellers beachten. Sicherheitsanweisungen einhalten.
EUH208	Enthält <Name des sensibilisierenden Stoffes>. Kann allergische Reaktionen hervorrufen.
EUH209	Kann bei Verwendung leicht entzündbar werden.
EUH209A	Kann bei Verwendung entzündbar werden.
EUH210	Sicherheitsdatenblatt auf Anfrage erhältlich.
EUH401	Zur Vermeidung von Risiken für Mensch und Umwelt die Gebrauchsanleitung einhalten.

#### 4.4 Liste der Sicherheitshinweise (P-Sätze) – Stand August 2019

Kodierung	Sicherheitshinweise – Allgemeines
P101	Ist ärztlicher Rat erforderlich, Verpackung oder Kennzeichnungsetikett bereithalten.
P102	Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen.
P103	Vor Gebrauch Kennzeichnungsetikett lesen.
	Sicherheitshinweise – Prävention
P201	Vor Gebrauch besondere Anweisungen einholen
P202	Vor Gebrauch alle Sicherheitshinweise lesen und verstehen.
P210	Von Hitze, heißen Oberflächen, Funken, offenen Flammen sowie anderen Zündquellenarten fernhalten. Nicht rauchen.
P211	Nicht gegen offene Flamme oder andere Zündquelle sprühen.
P212	Erhitzen unter Einschluss und Reduzierung des Desensibilisierungsmittels vermeiden.
P220	Von Kleidung und anderen brennbaren Materialien fernhalten.
P222	Keinen Kontakt mit Luft zulassen.
P223	Keinen Kontakt mit Wasser zulassen.
P230	Feucht halten mit ...
P231	Inhalt unter inertem Gas/... handhaben und aufbewahren.
P232	Vor Feuchtigkeit schützen.
P233	Behälter dicht verschlossen halten.
P234	Nur in Originalverpackung aufbewahren.
P235	Kühl halten.
P240	Behälter und zu befüllende Anlage erden.
P241	Explosionssgeschützte [elektrische/Lüftungs-/Beleuchtungs-/...] Geräte verwenden.
P242	Funkenarmes Werkzeug verwenden.
P243	Maßnahmen gegen elektrostatische Entladungen treffen.
P244	Ventile und Ausrüstungsteile öl- und fettfrei halten.
P250	Nicht schleifen/stoßen/reiben/...
P251	Nicht durchstechen oder verbrennen, auch nicht nach Gebrauch.
P260	Staub/Rauch/Gas/Nebel/Dampf/Aerosol nicht einatmen.
P261	Einatmen von Staub/Rauch/Gas/Nebel/Dampf/Aerosol vermeiden.
P262	Nicht in die Augen, auf die Haut oder auf die Kleidung gelangen lassen.
P263	Berührung während Schwangerschaft und Stillzeit vermeiden.
P264	Nach Gebrauch ... gründlich waschen.
P270	Bei Gebrauch nicht essen, trinken oder rauchen.
P271	Nur im Freien oder in gut belüfteten Räumen verwenden.
P272	Kontaminierte Arbeitskleidung nicht außerhalb des Arbeitsplatzes tragen.

P273	Freisetzung in die Umwelt vermeiden.
P280	Schutzhandschuhe/Schutzkleidung/Augenschutz/Gesichtsschutz tragen.
P282	Schutzhandschuhe mit Kälteisolierung und zusätzlich Gesichtsschild oder Augenschutz tragen.
P283	Schwer entflammbare oder flammhemmende Kleidung tragen.
P284	[Bei unzureichender Belüftung] Atemschutz tragen
P231 + P232	Inhalt unter inertem Gas/... handhaben und aufbewahren. Vor Feuchtigkeit schützen.
<b>Sicherheitshinweise – Reaktion</b>	
P301	BEI VERSCHLUCKEN:
P302	BEI BERÜHRUNG MIT DER HAUT:
P303	BEI BERÜHRUNG MIT DER HAUT (oder dem Haar):
P304	BEI EINATMEN:
P305	BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN:
P306	BEI KONTAKT MIT DER KLEIDUNG:
P308	BEI Exposition oder falls betroffen:
P310	Sofort GIFTINFORMATIONSZENTRUM/Arzt/... anrufen.
P311	GIFTINFORMATIONSZENTRUM/Arzt/... anrufen.
P312	Bei Unwohlsein GIFTINFORMATIONSZENTRUM/Arzt/... anrufen.
P313	Ärztlichen Rat einholen/ärztliche Hilfe hinzuziehen.
P314	Bei Unwohlsein ärztlichen Rat einholen/ärztliche Hilfe hinzuziehen.
P315	Sofort ärztlichen Rat einholen/ärztliche Hilfe hinzuziehen.
P320	Besondere Behandlung dringend erforderlich (siehe ... auf diesem Kennzeichnungsetikett).
P321	Besondere Behandlung (siehe ... auf diesem Kennzeichnungsetikett).
P330	Mund ausspülen.
P331	KEIN Erbrechen herbeiführen.
P332	Bei Hautreizung:
P333	Bei Hautreizung oder -ausschlag:
P334	In kaltes Wasser tauchen [oder nassen Verband anlegen].
P335	Lose Partikel von der Haut abbürsten.
P336	Vereiste Bereiche mit lauwarmem Wasser auftauen. Betroffenen Bereich nicht reiben.
P337	Bei anhaltender Augenreizung:
P338	Eventuell Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter ausspülen.
P340	Die Person an die frische Luft bringen und für ungehinderte Atmung sorgen.
P342	Bei Symptomen der Atemwege:
P351	Einige Minuten lang behutsam mit Wasser ausspülen.
P352	Mit viel Wasser/...waschen

P353	Haut mit Wasser abwaschen [oder duschen].
P360	Kontaminierte Kleidung und Haut sofort mit viel Wasser abwaschen und danach Kleidung ausziehen.
P361	Alle kontaminierten Kleidungsstücke sofort ausziehen.
P362	Kontaminierte Kleidung ausziehen.
P363	Kontaminierte Kleidung vor erneutem Tragen waschen.
P364	Und vor erneutem Tragen waschen
P370	Bei Brand:
P371	Bei Großbrand und großen Mengen:
P372	Explosionsgefahr.
P373	KEINE Brandbekämpfung, wenn das Feuer explosive Stoffe/Gemische/Erzeugnisse erreicht.
P375	Wegen Explosionsgefahr Brand aus der Entfernung bekämpfen.
P376	Undichtigkeit beseitigen, wenn gefahrlos möglich.
P377	Brand von ausströmendem Gas: Nicht löschen, bis Undichtigkeit gefahrlos beseitigt werden kann.
P378	... zum Löschen verwenden.
P380	Umgebung räumen.
P381	Bei Undichtigkeit alle Zündquellen entfernen.
P390	Verschüttete Mengen aufnehmen, um Materialschäden zu vermeiden.
P391	Verschüttete Mengen aufnehmen.
P301 + P310	BEI VERSCHLUCKEN: Sofort GIFTINFORMATIONSZENTRUM/Arzt/.../ anrufen.
P301 + P312	BEI VERSCHLUCKEN: Bei Unwohlsein GIFTINFORMATIONSZENTRUM/Arzt/... anrufen.
P302 + P334	BEI BERÜHRUNG MIT DER HAUT: In kaltes Wasser tauchen [oder nassen Verband anlegen].
P302 + P352	BEI BERÜHRUNG MIT DER HAUT: Mit viel Wasser/...waschen.
P304 + P340	P304 + P340 BEI EINATMEN: Die Person an die frische Luft bringen und für ungehinderte Atmung sorgen.
P306 + P360	BEI KONTAKT MIT DER KLEIDUNG: Kontaminierte Kleidung und Haut sofort mit viel Wasser abwaschen und danach Kleidung ausziehen.
P308 + P311	BEI Exposition oder falls betroffen: GIFTINFORMATIONSZENTRUM/Arzt/... anrufen
P308 + P313	BEI Exposition oder falls betroffen: Ärztlichen Rat einholen/ärztliche Hilfe hinzuziehen.
P332 + P313	Bei Hautreizung: Ärztlichen Rat einholen/ärztliche Hilfe hinzuziehen.
P333 + P313	Bei Hautreizung oder-ausschlag: Ärztlichen Rat einholen/ärztliche Hilfe hinzuziehen.
P336 + P315	Vereiste Bereiche mit lauwarmem Wasser auftauen. Betroffenen Bereich nicht reiben. Sofort ärztlichen Rat einholen/ärztliche Hilfe hinzuziehen.
P337 + P313	Bei anhaltender Augenreizung: Ärztlichen Rat einholen/ärztliche Hilfe hinzuziehen.
P342 + P311	Bei Symptomen der Atemwege: GIFTINFORMATIONSZENTRUM/ Arzt/... anrufen.
P361 + P364	Alle kontaminierten Kleidungsstücke sofort ausziehen und vor erneutem Tragen waschen.
P362 + P364	Kontaminierte Kleidung ausziehen und vor erneutem Tragen waschen.
P370 + P376	Bei Brand: Undichtigkeit beseitigen, wenn gefahrlos möglich.

P370 + P378	Bei Brand: ... zum Löschen verwenden.
P301 + P330 + P331	BEI VERSCHLUCKEN: Mund ausspülen. KEIN Erbrechen herbeiführen.
P302 + P335 + P334	BEI BERÜHRUNG MIT DER HAUT: Lose Partikel von der Haut abbürsten. In kaltes Wasser tauchen [oder nassen Verband anlegen].
P303 + P361 + P353	BEI BERÜHRUNG MIT DER HAUT (oder dem Haar): Alle kontaminierten Kleidungsstücke sofort ausziehen. Haut mit Wasser abwaschen [oder duschen]
P305 + P351 + P338	BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.
P370 + P380 + P375	Bei Brand: Umgebung räumen. Wegen Explosionsgefahr Brand aus der Entfernung bekämpfen.
P371 + P380 + P375	Bei Großbrand und großen Mengen: Umgebung räumen. Wegen Explosionsgefahr Brand aus der Entfernung bekämpfen.
P370 + P372 + P380 + P373	Bei Brand: Explosionsgefahr. Umgebung räumen. KEINE Brandbekämpfung, wenn das Feuer explosive Stoffe/Gemische/ Erzeugnisse erreicht.
P370 + P380 + P375 [+ P378]	Bei Brand: Umgebung räumen. Wegen Explosionsgefahr Brand aus der Entfernung bekämpfen. [... zum Löschen verwenden.]
<b>Sicherheitshinweise – Aufbewahrung</b>	
P401	Aufbewahren gemäß ...
P402	An einem trockenen Ort aufbewahren.
P403	An einem gut belüfteten Ort aufbewahren.
P404	In einem geschlossenen Behälter aufbewahren.
P405	Unter Verschluss aufbewahren.
P406	In korrosionsbeständigem/... Behälter mit korrosionsbeständiger Innenauskleidung aufbewahren.
P407	Luftspalt zwischen Stapeln oder Paletten lassen.
P410	Vor Sonnenbestrahlung schützen.
P411	Bei Temperaturen nicht über ... °C/...°F aufbewahren.
P412	Nicht Temperaturen über 50 °C/122 °F aussetzen.
P413	Schüttgut in Mengen von mehr als ... kg/... lbs bei Temperaturen nicht über ... °C/... °F aufbewahren.
P420	Getrennt aufbewahren.
P402 + P404	An einem trockenen Ort aufbewahren. In einem geschlossenen Behälter aufbewahren
P403 + P233	An einem gut belüfteten Ort aufbewahren. Behälter dicht verschlossen halten.
P403 + P235	An einem gut belüfteten Ort aufbewahren. Kühl halten
P410 + P403	Vor Sonnenbestrahlung schützen. An einem gut belüfteten Ort aufbewahren.
P410 + P412	Vor Sonnenbestrahlung schützen und nicht Temperaturen über 50 °C/122 °F aussetzen.
<b>Sicherheitshinweise – Entsorgung</b>	
P501	Inhalt/Behälter ... zuführen.
P502	Informationen zur Wiederverwendung oder Wiederverwertung beim Hersteller oder Lieferanten erfragen.
P503	Informationen zur Entsorgung/Wiederverwendung/Wiederverwertung beim Hersteller/Lieferanten/..... erfragen.

## Anhang 5: Entzündbare Stoffe und Brandklassen

Entzündbare Stoffe werden in Brandklassen eingeteilt (siehe Tabelle 7):

Der Begriff „entzündbare“ oder „brennbare“ Stoffe umfasst gasförmige, flüssige und feste Stoffe einschließlich Dämpfe, Nebel oder Stäube, die in Kontakt mit Luft oder reinem Sauerstoff zum Brennen neigen.

Das Brandverhalten eines Stoffes hängt von seinen physikalisch-chemischen Eigenschaften und seinem Aggregatzustand ab. Die Vergrößerung der Oberfläche eines Werkstoffs kann sich entscheidend auf das Brandverhalten auswirken.

Die Kenntnis der Brandklasse ist notwendig, um geeignete Löschmittel auszuwählen und um ungeeignete Löschmittel vermeiden zu können, da diese unter Umständen den Brand ausweiten können.

**Tabelle 7** Brandklassen nach DIN EN 2: 2005-01

Brandklasse	Art des entzündbaren (brennbaren) Stoffes Verbrennungsform	Beispiele	geeignete Löschmittel
A	feste Stoffe Flamme und Glut	Holz Kohle Papier Textilien	Wasser Schaum Glutbrandpulver
B	flüssige Stoffe und schmelzbare Stoffe Flamme	Benzin Alkohol Heizöl Wachs	Schaum Kohlensäure Pulver
C	gasförmige Stoffe Flamme	Erdgas Methan Propan Acetylen	Kohlensäure Pulver
D	Leicht- und Alkalimetalle Flamme und Glut > 1000 °C	Aluminium Magnesium Kalium Natrium	Metallbrandpulver trockener Sand Graugussspäne
F	Fett- bzw. Ölbrände	z. B. Fritteusen	Speziallöschmittel

## Anhang 6: Arbeiten mit elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln

Elektrische Anlagen und Betriebsmittel müssen sich in einwandfreiem Zustand befinden.

Die meisten Stromunfälle werden verursacht, weil elektrische Anlagen beschädigt sind, schadhafte oder ungeeignete elektrische Betriebsmittel verwendet oder Anlagen und Betriebsmittel überlastet werden. Stromunfälle können bei Menschen zu schweren Gesundheitsschäden oder bis zum Tod führen.

Stromunfälle können vermieden werden, wenn folgende Ratschläge beachtet werden:

Vor Beginn des Praktikums

- Überprüfen Sie vor Beginn des Praktikums, ob die Gehäuse der verwendeten Betriebsmittel oder die Leitungen zur Versorgung mit Netzspannung beschädigt sind.
- Verwenden Sie keine Betriebsmittel, die sichtbare Schäden aufweisen.
- Benutzen Sie keine Steckdosen, die Brandspuren oder andere sichtbare Schäden zeigen.
- Verwenden Sie keine defekten Geräte oder Anlagen und sorgen Sie dafür, dass defekte Geräte oder Anlagen nicht durch andere Personen weiter verwendet werden können.
- Weisen Sie den Verantwortlichen des Praktikums auf den Schaden und die Gefahren hin.
- Führen Sie keine Reparaturen oder Instandsetzungsarbeiten an elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln durch.
- Informieren Sie sich über Lage und Funktion eines Notausschalters, mit dem im Gefahrfall die Stromzufuhr zu elektrischen Anlagenteilen und Betriebsmitteln schnell unterbrochen werden kann.
- Bei Versuchen, bei denen stromführende Anlagenteile zugänglich sind (z. B. Elektrolyse), ist eine gesonderte Unterweisung notwendig. Sprechen Sie mit Ihrem Praktikumsverantwortlichen.

Während des Praktikums

- Verwenden Sie elektrische Betriebsmittel nur bestimmungsgemäß, d. h. so wie in der Betriebsanleitung beschrieben.
- Verwenden Sie keine nassen elektrischen Betriebsmittel.
- Verstellen Sie nicht die Einstellungen von Sicherheitseinrichtungen.
- Schalten Sie bei Schäden oder ungewöhnlichen Betriebszuständen (z. B. Überhitzen der Geräte, Rauchbildung, Geräusche, Gerüche) die Geräte oder Anlagen sofort ab und melden Sie dies dem für das Praktikum Verantwortlichen.
- Verwenden Sie ortsveränderliche Mehrfachsteckdosenleisten nur mit Genehmigung des für das Praktikum Verantwortlichen und schalten Sie diese Mehrfachsteckdosen nicht hintereinander.
- Ziehen Sie bei Herausziehen eines Steckers aus der Steckdose stets am Stecker, niemals an der Leitung!

## Anhang 7: Kennzeichnung von Chemikalienschutzhandschuhen

Schutzhandschuhe müssen das CE-Kennzeichen tragen und der EU-PSA-Verordnung Nr. 2016/425 entsprechen.

Die Kennzeichnung von Chemikalienschutzhandschuhen enthält weitere Angaben:

- das „Erlenmeyerkolben“-Piktogramm mit zugehörigen Kennbuchstaben für die verwendeten Prüfchemikalien sowie die Prüfnorm,

- die Handschuhbezeichnung,
- die Handschuhgröße,
- der Handschuhhersteller
- ggf. weitere Piktogramme.

Chemikalienschutzhandschuhe müssen gemäß DIN EN ISO 374-1: 2018-10 gegenüber einer Reihe von Prüfchemikalien geprüft werden, siehe Tabelle 8.

**Tabelle 8** Prüfchemikalien gemäß DIN EN ISO 374-1: 2018-10

Kennbuchstabe	Prüfchemikalie	CAS-Nr.	Klasse
A	Methanol	67-56-1	Primärer Alkohol
B	Aceton	67-64-1	Keton
C	Acetonitril	75-05-8	Nitril
D	Dichlormethan	75-09-2	Chlorierter Kohlenwasserstoff
E	Kohlenstoffdisulfid	75-15-0	Schwefelhaltige organische Verbindung
F	Toluol	108-88-3	Aromatischer Kohlenwasserstoff
G	Diethylamin	109-89-7	Amin
H	Tetrahydrofuran	109-99-9	Heterozyklische und Äther-Verbindungen
I	Ethylacetat	141-78-6	Ester
J	n-Heptan	142-82-5	Aliphatischer Kohlenwasserstoff
K	Natriumhydroxid 40 %	1310-73-2	Anorganische Base
L	Schwefelsäure 96 %	7664-93-9	Anorganische Säure, oxidierend
M	Salpetersäure 65 %	7697-37-2	Anorganische Säure, oxidierend
N	Essigsäure 99 %	64-19-7	Organische Säure
O	Ammoniakwasser 25 %	1336-21-6	Organische Base
P	Wasserstoffperoxid 30 %	7722-84-1	Peroxid
S	Flusssäure 40 %	7664-39-3	Anorganische Säure
T	Formaldehyd 37 %	50-00-0	Aldehyd

In Abhängigkeit von der Anzahl der getesteten Prüfchemikalien und der Dauer der jeweiligen Durchbruchzeit<sup>9</sup> werden drei Typen von Chemikalienschutzhandschuhen unterschieden:

**Tabelle 9** Typen von Chemikalienschutzhandschuhen nach DIN EN ISO 374-1: 2018-10

<p>ISO 374-1/Typ A</p>  <p>UVWXYZ</p>	<p>In der Prüfung muss mit 6 der festgelegten Prüfchemikalien die Leistungsstufe 2 erreicht werden (Durchbruchzeit &gt; 30 Min.).</p>
<p>ISO 374-1/Typ B</p>  <p>XYZ</p>	<p>In der Prüfung muss mit 3 der festgelegten Prüfchemikalien die Leistungsstufe 2 erreicht werden (Durchbruchzeit &gt; 30 Min.). <i>Anmerkung: entspricht der alten Kennzeichnung „Erlenmeyerkolben“</i></p>
<p>ISO 374-1/Typ C</p> 	<p>In der Prüfung muss mit 1 der festgelegten Prüfchemikalien die Leistungsstufe 1 erreicht werden (Durchbruchzeit &gt; 10 Min.). <i>Anmerkung: entspricht der alten Kennzeichnung „Becherglas“</i></p>

<sup>9</sup> Die Durchbruchzeit, die auf der Verpackung, im Sicherheitsdatenblatt und den Herstellerinformationen genannt wird, ist die Zeit, nach der 1 Mikrogramm der Chemikalie pro Quadratzentimeter und Minute an der Innenseite des Handschuhmaterials ankommt. Die Prüfung erfolgt standardmäßig bei 23°C.

## Bildverzeichnis

Titel: © Herr Dr. Hoffmann, Universität Heidelberg

Abb. 1, 7, 33 – 36, 45 – 46: © BG RCI

Abb. 2, 8–10, 12–13, 15–18, 22, 24–27, 28, 30, 38–43: © Herr Dr. Brock, BG RCI

Abb. 3, 44: © Herr Dr. Neudert, Justus-Liebig-Universität Gießen

Abb. 4: © Herr Prof. Dr. Giernoth, Universität Köln

Abb. 5: © Herr Hohenberger, UK NRW

Abb. 6, 11, 20–21a, 23, 29, 31–32, 37: © Herr Dr. Hoffmann, Universität Heidelberg

Abb. 14: © Herr Dr. Dücker-Benfer, Universität Erlangen

Abb. 19: © Frau Dr. Wimmer, KUVB

## Was Sie für Notfälle wissen sollten!

Informieren sie sich über die örtlichen Gegebenheiten oder fragen sie ihre Praktikumsverantwortlichen.

Wo befinden sich?	Kennen Sie das zugehörige Symbol bzw. Piktogramm?		Können Sie die folgenden Fragen beantworten? Wissen Sie z. B.:
Notausgang, allgemeine Fluchtwege Telefon, Notruf, Notfallpläne			Wie und/oder von wem die Medien (Gas, Wasser, Strom) im Notfall abgeschaltet werden können? Dass Notausgänge nicht zugestellt werden dürfen?
Feuerlöscher, Feuermelder		 	Dass Feuerlöscher nach jeder Benutzung neu gefüllt werden müssen?  Dass bei einem Brand kein Aufzug benutzt werden darf?
Körpernotduschen, Augennotduschen			Was „Selbstschutz“ bedeutet?
Erste-Hilfe-Einrichtungen (Verbandskasten, Krankentragen, Erste Hilfe Raum)			Was bei Unfällen mit Personenschaden zu tun ist?
			Welche Eigenschaften die Chemikalien haben, mit denen Sie arbeiten müssen?  Wo Sicherheitsinformationen zu finden sind?

**Deutsche Gesetzliche  
Unfallversicherung e.V. (DGUV)**

Glinkastraße 40  
10117 Berlin  
Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)  
Fax: 030 13001-9876  
E-Mail: [info@dguv.de](mailto:info@dguv.de)  
Internet: [www.dguv.de](http://www.dguv.de)