

## **BETRIEBSANWEISUNG**

### **Gekürzte Version für das praktische Arbeiten im Institut für Medizinische und Pharmazeutische Chemie**

gemäß Gefahrstoffverordnung (GefStoffV),  
„Sicheres Arbeiten in Laboratorien – Grundlagen und Handlungshilfen“  
der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung  
(entspricht der Technischen Regel für Gefahrstoffe TRGS 526 „Laboratorien“  
und den  
„Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz  
beim Umgang mit Gefahrstoffen im Hochschulbereich“  
(GUV 19.17)

### **FÜR DEN UMGANG MIT GEFAHRSTOFFEN UND LABORGERÄTEN AN DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG**

Stand 28.11.2016

## INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort

<b>1</b>	<b>Geltungsbereich</b>
<b>2</b>	<b>Definitionen</b>
2.1	Beschäftigte
2.2	Tätigkeiten mit Gefahrstoffen
<b>3</b>	<b>Gefährdungsbeurteilung</b>
3.1	Informationsermittlung
3.2	Gefährdungsbeurteilung
3.3	Beschäftigungsbeschränkungen für bestimmte Personengruppen
3.3.1	Werdende oder stillende Mütter
3.3.2	Frauen im gebärfähigen Alter
<b>4</b>	<b>Persönliche Schutzausrüstung</b>
4.1	Augen- und Gesichtsschutz
4.2	Handschutz
4.3	Fußschutz
4.4	Schutz des Körpers, Laborkittel
4.5	Atemschutz
<b>5</b>	<b>Laboratorien</b>
5.1.1	Lüftung
5.1.1.1	Lüftungsanlagen mit Zu- und Abluft
5.1.2	Zuführungsleitungen und Absperrarmaturen
5.1.3	Stauräume für Gefahrstoffabfälle
5.2	Schutzausrüstung im Labor
5.2.1	Notdusche und Augennotdusche
5.2.2	Feuerlöscher
5.2.3	Feuerlöschdecke
5.2.4	Erste-Hilfe-Kasten
5.2.5	Adsorbentien
<b>6</b>	<b>Ordnung und Sauberkeit, Nahrungsaufnahme, Rauchen, Hygiene</b>
6.1	Ordnung und Sauberkeit
6.2	Nahrungsaufnahme, Rauchen
6.3	Alkohol und Drogen
6.4	Hygiene und Hautschutz
<b>7</b>	<b>Tätigkeiten mit Gefahrstoffen</b>
7.1	Gefahrstoffe
7.2	Einstufung
7.3	Etikettierung von Gefahrstoffgebinden
7.3.1	Etiketten
7.3.2	Vollständige Kennzeichnung
7.3.3	GHS-Kennzeichnung
7.3.3.1	Unterschiede zwischen alter Kennzeichnung und neuer GHS-Kennzeichnung
7.3.3.2	H-Sätze: Gefahrenhinweise
7.3.3.3	P-Sätze: Sicherheitsratschläge
7.3.3.4	Gefahrensymbole
7.3.4	nicht notwendige Kennzeichnung
7.3.5	Kennzeichnung von Stoffgemischen
7.3.6	Kennzeichnung noch nicht geprüfter Chemikalien
7.4	Aufbewahrung von Gefahrstoffen
7.4.1	Aufbewahrung
7.4.2	Sich im Arbeitsgang befinden
7.4.3	Bereitstellen
7.4.4	Lagern
7.5	Transport von Gefahrstoffen

- 7.6 Umfüllen von Gefahrstoffen
- 7.7 Herstellungs- und Verwendungsverbote
- 7.8 Schutz vor Chemikalienaufnahme in den Körper
- 7.8.1 Rangfolge von Schutzmaßnahmen
- 7.8.2 Schutz vor oraler Chemikalienaufnahme
- 7.8.3 Schutz vor dermalen Chemikalienaufnahme
- 7.8.4 Schutz vor inhalativer Chemikalienaufnahme
- 7.9 Hinweise zum Umgang mit besonderen Gefahrstoffgruppen,  
Gefahrstoffgruppenspezifische Betriebsanweisungen
- 7.9.1 Explosive (explosionsgefährliche) Stoffe
- 7.9.2 Selbstentzündliche Gefahrstoffe
- 7.9.3 Oxidierende (brandfördernde) Gefahrstoffe
- 7.9.4 Entzündbare (hochentzündliche, leichtentzündliche und entzündliche Gefahrstoffe)
- 7.9.4.1 Tätigkeiten mit brennbaren Stoffen
- 7.9.4.2 Explosionsschutzmaßnahmen
- 7.9.4.3 Zündgefahren durch elektrostatische Aufladung
- 7.9.4.4 Peroxide
- 7.9.5 Mit Wasser gefährlich reagierende Gefahrstoffe
- 7.9.6 Mit Säuren gefährlich reagierende Gefahrstoffe
- 7.9.7 Gesundheitsgefährdende (gesundheitsschädliche, giftige und sehr giftige) Gefahrstoffe
- 7.9.8 Ätzende und reizende Gefahrstoffe
- 7.9.9 Gefahrstoffe mit besonderer Gefährdung der Augen
- 7.9.10 Krebserzeugende, fortpflanzungsgefährdende, erbgutverändernde Gefahrstoffe  
(CMR-Gefahrstoffe)
- 7.9.10.1 Krebserzeugende Gefahrstoffe
- 7.9.10.2 Erbgutverändernde Gefahrstoffe
- 7.9.10.3 Fortpflanzungsgefährdende Gefahrstoffe
- 7.9.11 Sensibilisierende Gefahrstoffe
- 7.9.12 Gefahrstoffe mit der Gefahr kumulativer Wirkungen
- 7.9.13 Umweltgefährdende (Umweltgefährliche) Gefahrstoffe
  
- 8 Allgemeine Labortätigkeiten**
- 8.1 Arbeiten im Abzug
- 8.2 Aufbau von Versuchsaapparaturen
- 8.3 Versuchsaufbauten bei Explosionsgefahr
- 8.4 Erhöhte Gefahren bei Stromausfall
- 8.5 Schläuche
- 8.6 Stopfen, Verbindungen und Verschlüsse
- 8.7 Labor- und Ultrazentrifugen
- 8.8 Apparate zur Schmelzpunktbestimmung
- 8.9 Umgang mit Glasgeräten
- 8.10 Arbeiten bei erhöhter Temperatur, Erwärmen
- 8.10.1 Temperaturregelung
- 8.10.2 Heizgeräte
- 8.10.2.1 Gasbrenner (Bunsenbrenner, Kartuschenbrenner)
- 8.10.2.2 Heizbäder
- 8.10.2.3 Heißluftgebläse
- 8.10.2.4 Heizplatten
- 8.10.2.5 Heizhauben
- 8.11 Erwärmen von Flüssigkeiten in den Bereich des Siedepunktes, Destillationen
- 8.12 Arbeiten bei erniedrigter Temperatur, Kühlen
- 8.12.1 Kühlschränke/Kühltruhen
- 8.12.2 Tätigkeiten mit tiefkalt verflüssigten Gasen
- 8.12.3 Eis-/Trockeneis-Kühlung
- 8.13 Elektrische Anlagen und Betriebsmittel
- 8.13.1 ortsveränderliche Elektrogeräte
- 8.14.1 Ultraschall
- 8.14.2 Mikrowellen
- 8.14.3 Chromatographie

- 8.14.4 automatisierte Laborgeräte
- 8.15 Dauerversuche
- 8.16 Trocknen von Geräten und Chemikalien
- 8.16.1 Trocknen von Geräten, Trockenschrank
- 8.16.2 Trocknen von Feststoffen
- 8.16.3 Trocknen von Flüssigkeiten
- 8.16.4 Trocknen von Gasen
- 8.17 Arbeiten unter Überdruck oder Unterdruck, Gase
- 8.17.1 Unterdruck / Vakuum
- 8.17.1.1 Arbeiten unter Unterdruck bzw. im Vakuum
- 8.17.1.2 Vakuumdestillationen
- 8.17.1.3 Vakuumpumpen und Vakuumkonstanthalter
- 8.17.1.4 Rotationsverdampfer
- 8.18 Arbeiten mit Gasen bei Normaldruck- und Überdruck
- 8.18.1 Aufbewahrung von Druckgasflaschen
- 8.18.2 Entnahme von Gasen, Umgang mit Druckgasflaschen
- 8.18.3 Einleiten von Gasen
- 8.18.4 Arbeiten unter Überdruck, Autoklaven
- 8.18.5 Kompressoren
- 8.18.6 Autoklaven
- 8.19 Spritzen und Kanüle, Glasbruch
- 8.20 Reinigung von Laborgeräten
- 8.21 Alleinarbeit
  
- 9 Abfälle und Abwasser**
- 9.1 Abfallkonzept: Abfallvermeidung - Abfallverminderung - Abfallentsorgung
- 9.2 Abfallarten
- 9.2.1 Restmüll
- 9.2.2 Wertstoffe
- 9.2.3 Sonderabfälle
- 9.3 Liste der von der TU entsorgbaren Sonderabfälle
  
- 10 Umgang mit elektromagnetischer Strahlung, radioaktiven Stoffen, Biostoffen und gentechnisch verändertem biologischen Material**
- 10.1 Intensives Licht, Laser, UV-Licht
- 10.1.1 Laserstrahlung
- 10.1.2 UV-Licht
- 10.2 Röntgenstrahlung
- 10.3 Radioaktive Strahlung
- 10.4 Gentechnisch verändertes biologisches Material
- 10.5 Umgang mit Biostoffen
  
- 11 Arbeitsmedizin**
  
- 12 Verhalten im Gefahrfall**
- 12.1.1 Flucht- und Rettungswege
- 12.1.3 Unbeabsichtigte Stofffreisetzungen und Havarien
- 12.1.4 Durchgehende Reaktionen
- 12.1.5 Freiwerden brennbarer Flüssigkeiten oder Gase
- 12.1.6 Freiwerden von flüssigen oder festen Gefahrstoffen
- 12.1.7 Unter Überdruck stehende Behälter
- 12.1.8 Stromunfälle
- 12.2 Verhalten bei Bränden
- 12.3 Erste-Hilfe-Maßnahmen
- 12.3.1 Allgemeines
- 12.3.2 Grundsätze der Ersten Hilfe
- 12.3.3 Körperkontakt mit Gefahrstoffen
- 12.3.4 Reizungen und Verätzungen der Haut
- 12.3.5 Reizungen und Verätzungen der Augen
- 12.3.6 Vergiftungen

- 12.3.7 Verbrennungen und Verbrühungen
- 12.3.8 Schnittwunden
- 12.3.9 Prellungen, Verstauchungen, Verdacht auf Knochenbrüche
- 12.3.10 Unfälle durch elektrischen Strom

**13 Besondere Vorschriften für Praktika**

**14 Literaturverzeichnis**

## Vorwort

In sehr vielen Arbeitsbereichen der TU Braunschweig werden Gefahrstoffe verwendet. Gefahrstoffe sind Stoffe, die beispielsweise leicht entzündlich, giftig, ätzend, krebserzeugend, brandfördernd oder explosionsgefährlich sind. Gefahrstoffe sind an rotumrandeten weißen Symbolen wie z. B. einem Totenkopf bzw. auch an den veralteten orangefarbenen Gefahrensymbolen erkennbar, die sich auf den Etiketten von Flaschen, Kanistern, Druckgasflaschen oder sonstigen Gebinden befinden.

Die hier vorliegende allgemeine Betriebsanweisung enthält die wesentlichen, grundlegenden und einzuhaltende Vorschriften für den Umgang mit Gefahrstoffen und für die üblichen Tätigkeiten im Labor.

Die Betriebsanweisung gilt verbindlich; bei Nichtbeachtung der Betriebsanweisung gehen Arbeitgeber und Beschäftigte das Risiko ein, ihren Versicherungsschutz zu verlieren und für Schäden haftbar gemacht zu werden. Von der Betriebsanweisung darf in Ausnahmefällen nur dann abgewichen werden, wenn durch die abweichende Maßnahme mindestens der gleiche Schutz von Menschen und Umwelt erreicht wird. Abweichende Maßnahmen und ihre Begründung sind zu dokumentieren.

## 1 Geltungsbereich

Diese Betriebsanweisung gilt für alle Beschäftigten und sonstigen Personen, die sich in Laboratorien aufhalten, in allen Laboratorien der Technischen Universität Braunschweig.

## 2 Definitionen

### 2.1 Beschäftigte

Beschäftigte (d.h. Beschäftigte bzw. Beschäftigten gleichgestellte Personen) sind

1. alle mit Arbeits- und Ausbildungsverträgen Beschäftigte der TU,
2. Studierende, die an der TU oder einer anderen Hochschule immatrikuliert sind,
3. Hochschulangehörige (Doktoranden, Gastwissenschaftler, Forschungsstipendiaten usw.), auch wenn sie ohne Arbeitsvertrag, aber im Auftrag der TU tätig sind,
4. bei beauftragten Firmen beschäftigte Personen, die an der TU Arbeiten durchführen (z. B. Reinigungspersonal, Handwerker),
5. sonstige Personen, die Tätigkeiten mit Gefahrstoffen ausüben.

Die Beschäftigten sind verpflichtet, diese Betriebsanweisung und sonstige Anweisungen zum Arbeits- und Gesundheitsschutz zu befolgen. Sie haben Arbeitsstoffe, Maschinen, Geräte, Werkzeuge, Transport- und sonstige Arbeitsmittel bestimmungsgemäß zu verwenden und einzusetzen.

### 2.2 Tätigkeiten mit Gefahrstoffen

Beschäftigte dürfen nur mit Gefahrstoffen und an Einrichtungen tätig werden, die zur Durchführung ihrer Aufgaben erforderlich sind. Eine Tätigkeit mit Gefahrstoffen ist jede Arbeit, bei der Gefahrstoffe, Zubereitungen oder Erzeugnisse im Rahmen eines Prozesses einschließlich Produktion, Handhabung, Lagerung, Beförderung, Entsorgung und Behandlung verwendet werden oder bei der Gefahrstoffe oder Zubereitungen entstehen. **Keine Tätigkeit** mit Gefahrstoffen liegt vor, wenn Art, Menge und Arbeitsweise zu keiner Gefährdung von Personen oder Umwelt führen können (z. B. Verwendung sehr stark verdünnter Lösungen, Arbeiten mit Kleinstmengen, Arbeiten in bruchsicheren, geschlossenen Apparaturen).

### 3 Gefährdungsbeurteilung

Die für ein sicheres Arbeiten beim üblichen Laborbetrieb notwendigen Sicherheitsmaßnahmen können beim Vorliegen der folgenden Rahmenbedingungen grundsätzlich als gegeben angesehen werden:

1. Einsatz von fachkundigem Laborpersonal,
2. Bau und Ausrüstung gemäß dieser Betriebsanweisung und den einschlägigen Vorschriften,
3. Einhalten der Arbeitsplatzgrenzwerte,
4. Arbeiten nach den einschlägigen Sicherheitsvorschriften und –regeln, nach dem Stand der Technik und gemäß dieser Betriebsanweisung.

#### 3.1 Ermittlungspflicht

Wenn für Stoffe oder Zubereitungen keine Prüfdaten oder entsprechende aussagekräftige Informationen zur akut toxischen, reizenden, hautsensibilisierenden oder erbgutverändernden Wirkung oder zur Wirkung bei wiederholter Exposition vorliegen, sind die Stoffe oder Zubereitungen wie Gefahrstoffe mit entsprechenden Wirkungen zu behandeln.

#### 3.2 Gefährdungsbeurteilung

In Laboratorien ist typischerweise mit folgenden Gefährdungen durch Gefahrstoffe sowie sonstigen Gefährdungen oder Belastungen zu rechnen:

1. Brand- und Explosionsgefahr durch brennbare feste, flüssige und gasförmige Stoffe,
2. Gefahr von Gesundheitsschäden durch feste, flüssige und gasförmige Stoffe,
3. Gefahr durch unbekannte, heftige oder durchgehende Reaktionen sowie
4. Augen- und Hautgefährdung durch ätzende und reizende Stoffe.
5. mangelhafte oder der Sehaufgabe nicht angemessene Beleuchtung,
6. ungünstige raumklimatische Bedingungen,
7. Gefahr durch Behälter mit Überdruck oder Unterdruck,
8. Gefahr durch heiße oder kalte Oberflächen und Medien,
9. Lärm von Geräten und Anlagen,
10. mechanische Gefährdungen durch Geräte und Anlagen,
11. Hautgefährdung durch Feuchtarbeit, insbesondere durch das Tragen von Handschuhen,
12. Rutschgefahr durch Nässe, Stolpergefahr,
13. Belastungen des Bewegungsapparates durch sich wiederholende Tätigkeiten oder Zwangshaltungen,
14. psychische Belastung durch sich wiederholende Tätigkeiten, Zeitdruck, Isolation, hohe Anforderung an die Konzentration,
15. Belastungen der Arbeitnehmer durch das Tragen von persönlicher Schutzausrüstung,
16. sonstige spezielle Einwirkungen (z. B. ionisierende Strahlung, elektromagnetische Felder, optische Strahlung, biologische Arbeitsstoffe)
17. sowie gegenseitige Wechselwirkungen der unter 1. – 16. Faktoren.

Der Arbeitgeber kann davon ausgehen, dass die Arbeitsplatzgrenzwerte eingehalten werden bzw. für Stoffe ohne festgelegte Arbeitsplatzgrenzwerte ein sicheres Arbeiten erfolgt, wenn folgende Bedingungen eingehalten werden:

1. Die Beschäftigten sind über die Gefährdungen durch die verwendeten Gefahrstoffe und Arbeitsweisen informiert und halten sich an die daraus resultierenden Sicherheitsvorschriften dieser Betriebsanweisung.
2. Soweit möglich, wird in geschlossenen Anlagen gearbeitet. Die hier entstehenden Gase, Dämpfe, Aerosole oder Stäube werden über einen Schlauch direkt in einen Abluftkanal eingeleitet.
3. Kann nicht in geschlossenen Anlagen gearbeitet werden, werden die Arbeiten mit Gefahrstoffen, die gefährliche Gase, Dämpfe, Stäube oder Aerosole abgeben, in funktions-tüchtigen Abzügen durchgeführt, wobei die Abzüge geschlossen gehalten werden, wenn nicht an den Apparaturen hantiert wird. Entnahmebehälter für sehr giftige und gif-

tige Gase sind im Abzug oder in einem dauerabgesaugten Sicherheitsschrank aufgestellt.

4. Gefahrstoffe werden nicht mehr als notwendig freigesetzt werden. Das bedeutet, dass bei Reaktionen freiwerdende giftige, sehr giftige, krebserzeugende, erbgutverändernde oder fortpflanzungsgefährdende Gase in Absorptionslösungen aufgefangen werden.
5. Die Beschäftigten tragen die geeignete, vorgeschriebene persönliche Schutzausrüstung.
6. Die Gefahrstoffmengen, mit denen gearbeitet wird, überschreiten den „laborüblichen Rahmen“ nicht. Das bedeutet, dass folgende Mengen nicht überschritten werden:
 

a. feste Gefahrstoffe	1000 g	flüssige Gefahrstoffe	2500 ml
b. sehr giftige Feststoffe	100 g	sehr giftige Flüssigkeiten	100 ml
c. giftige Feststoffe	500 g	giftige Flüssigkeiten	500 ml
d. CMR-Feststoffe	500 g	CMR-Flüssigkeiten	500 ml

e. 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 sehr giftigen, krebserzeugenden, erbgutverändernden oder fruchtbarkeitsgefährdenden Gasen werden lecture bottles oder Kleinstahlflaschen eingesetzt. Ist dies nicht möglich, so werden keine größeren als 10 l-Druckgasflaschen verwendet. Ersatzflaschen werden außerhalb des Labors bereitgehalten.

**(CMR: cancerogene, mutagene oder reproduktionstoxische Gefahrstoffe)**

Die Erfahrung zeigt, dass in typischen Laborapparaturen Ansatzgrößen in den oben genannten Mengen sicher verarbeitet werden können. Eine allgemeine Begrenzung der Flüssigkeitsmengen auf 2,5 l und 1 kg für Feststoffe pro Apparatur dient deshalb der Beherrschbarkeit von Stoffen auch unterhalb des Gefahrenniveaus der giftigen Stoffe. Es hat sich daher bewährt, die in diesem Abschnitt genannten Grenzen auf alle Gefahrstoffe anzuwenden, also auch solche, die die oben genannten Gefahrenmerkmale nicht tragen. Auch wenn Tätigkeiten mit besonders gefährlichen Gefahrstoffen innerhalb der hier angegebenen Mengengrenzen durchgeführt werden, können Zusatzmaßnahmen erforderlich sein.

Gefährliche chemische Reaktionen müssen unter besonderen Schutzmaßnahmen durchgeführt werden. Bei durchzuführenden Reaktionen sind neben den eingesetzten Stoffen auch die Stoffe einzubeziehen, die bei normalem Reaktionsablauf entstehen oder bei unerwartetem Reaktionsverlauf entstehen könnten.

Alle Beschäftigten sind verpflichtet vor der ersten Aufnahme einer Labortätigkeit die Betriebsanweisung soweit durchzulesen und zu beachten, dass ein gefahrloses Arbeiten möglich ist.

### **3.3 Beschäftigungsbeschränkungen für bestimmte Personengruppen**

Wenn Räume vom Umgang mit krebserzeugenden, fortpflanzungsgefährdenden oder erbgutverändernden sowie infektiösen Arbeitsmaterialien nicht freigehalten werden können, dürfen dort Jugendliche, Schwangere und stillende Mütter nicht beschäftigt werden, auch nicht auf eigenen Wunsch.

#### **3.3.1 Werdende oder stillende Mütter**

Der Arbeitgeber, in dessen Verantwortungsbereich werdende oder stillende Mütter durch Verfahren oder Arbeitsbedingungen nach dem Mutterschutzgesetz und der Mutterschutzrichtlinienverordnung gefährdet werden können, muss für diese Tätigkeiten innerhalb von 14 Tagen nach Bekanntgabe der Schwangerschaft Art, Ausmaß und Dauer der Gefährdung beurteilen. Diese Beurteilung ist Grundlage für Maßnahmen, die der Arbeitgeber möglicherweise zu treffen hat, damit werdende oder stillende Mütter einer Gefährdung nicht ausgesetzt sind. Über die Beurteilung und notwendige Schutzmaßnahmen werden die Schwangere und die Personalabteilung unterrichtet. Die Stabsstelle für Arbeitssicherheit und Gesundheitsvorsorge prüft Beurteilung und Schutzmaßnahmen.

Die schwangere Frau soll dem Arbeitgeber (Personalabteilung der TU, Abt. 12) und dem Leiter der Hochschuleinrichtung (geschäftsführender Institutsleiter, Hochschullehrer usw.) ihre Schwangerschaft und den mutmaßlichen Tag der Entbindung mitteilen, sobald ihr die Schwangerschaft bekannt ist,

damit die gesetzlichen Schutzmaßnahmen ergriffen werden können. Für Auskünfte steht die Stabsstelle für Arbeitssicherheit und Gesundheitsvorsorge zur Verfügung.

Werdende oder stillende Mütter dürfen nicht mit sehr giftigen, giftigen, gesundheitsschädlichen oder in sonstiger Weise den Menschen schädigenden Gefahrstoffen beschäftigt werden, wenn der Grenzwert überschritten wird.

Werdende Mütter dürfen nicht mit krebserzeugenden, fruchtschädigenden oder erbgutverändernden Gefahrstoffen der Kategorien 1 und 2 beschäftigt werden. Das gilt nicht, wenn die werdenden Mütter bei bestimmungsgemäßem Umgang den Gefahrstoffen nicht ausgesetzt sind. Stillende Mütter dürfen nicht mit krebserzeugenden, fruchtschädigenden oder erbgutverändernden Gefahrstoffen der Kategorien 1 und 2 beschäftigt werden, wenn der Grenzwert überschritten wird.

Werdende Mütter dürfen nicht mit schweren körperlichen Arbeiten und nicht mit Arbeiten beschäftigt werden, bei denen sie schädlichen Einwirkungen von gesundheitsgefährdenden Stoffen oder Strahlen, von Staub, Gasen oder Dämpfen, von Hitze, Kälte oder Nässe, von Erschütterungen oder Lärm ausgesetzt sind.

### **3.3.2 Frauen im gebärfähigen Alter**

Der Arbeitgeber darf Frauen im gebärfähigen Alter beim Umgang mit Gefahrstoffen, die

1. Blei oder
2. Quecksilberalkyle

enthalten, nicht beschäftigen, wenn der Grenzwert überschritten wird.

Unter Blei sind alle bleihaltigen Gefahrstoffe zu verstehen. Die Arbeitsplatzgrenzwerte oder biologischen Grenzwerte können als unterschritten vorausgesetzt werden, wenn der Stoff aufgrund seiner Eigenschaften und der Art des Umganges weder gasförmig, staubförmig noch in Form von Aerosolen in die Atemluft gelangen oder über die Haut aufgenommen werden kann.

#### 4 Persönliche Schutzausrüstung

Studierende haben selbst für Beschaffung, Ersatz und Reinigung ihres Laborkittels zu sorgen. Sonstige persönliche Schutzausrüstung (z. B. Schutzbrille, Schutzhandschuhe) wird vom Arbeitgeber gestellt und ggf. ersetzt.

Bei Tätigkeiten im Labor besteht die Schutzausrüstung in der Regel aus Laborkittel, Schutzbrille, geeigneten Handschuhen, einer langen Hose und festem, geschlossenem Schuhwerk.

Die Beschäftigten müssen die bereitgestellte persönliche Schutzausrüstung benutzen, solange eine Gefährdung besteht.

##### 4.1 Augen- und Gesichtsschutz

In einem Laboratorium ist ständig eine Schutzbrille mit ausreichendem Seitenschutz und zusätzlicher oberer Augenraumabdeckung zu tragen.

Schädlich für das Auge ist im Prinzip alles außer Wasser! Die beste Schutzbrille und der beste Gesichtsschutz helfen nur, wenn sie auch getragen werden! Eine Gefährdung der Augen ist z. B. gegeben beim Umgang mit Gefahrstoffen, bei Arbeiten unter Vakuum oder Druck, beim Umgang mit zerbrechlichen Gegenständen oder durch wegfliegende Teile.

##### Schutzbrille

Eine Schutzbrille ist eine Brille, deren Sichtscheiben aus einem splittersicheren Material bestehen und die einen ausreichenden Seitenschutz und eine zusätzlichen obere Augenraumabdeckung bietet.

Brillenträger müssen

1. entweder eine Schutzbrille mit Korrekturgläsern oder
2. zusätzlich zu ihrer Korrekturbrille eine Überbrille mit ausreichendem Seitenschutz und zusätzlicher oberer Augenraumabdeckung oder einen Schutzschirm tragen. Übliche Korrekturbrillen sind keine Schutzbrillen.

Es ist mit sehr großen Risiken verbunden, im Labor Kontaktlinsen zu tragen, weil bei Augenverletzungen reflexartig die Augen geschlossen werden und dadurch das Entfernen der Kontaktlinsen erheblich erschwert ist. In das Auge gekommene Gefahrstoffe können zwischen Kontaktlinse und Hornhaut gelangen. Die Gefahrstoffe können von hier nicht mit der Augennotdusche entfernt werden und zu sehr schweren Augenverletzungen führen! Kontaktlinsen sollen deshalb in Laboratorien nicht getragen werden!

Bei Tätigkeiten, die mit besonderen Gefahren für die Augen verbunden sind, müssen darüber hinaus andere oder zusätzliche geeignete Augenschutzgeräte getragen werden.

##### 4.2 Handschutz

Bei Tätigkeiten, die mit besonderen Gefahren für die Hände verbunden sind, müssen geeignete Schutzhandschuhe getragen werden. Diese müssen entsprechend ihrem Verwendungszweck ausgewählt und vor jeder Benutzung auf Beschädigungen kontrolliert werden. Beschädigte oder anderweitig unbrauchbar gewordene Handschuhe werden vom Arbeitgeber ersetzt.

Beachten Sie: Das häufige und längere Tragen von Schutzhandschuhen stellt eine Belastung für die Haut dar und kann zu Hauterkrankungen führen! Beim Tragen von Schutzhandschuhen beginnt die Haut zu schwitzen. Die oberste und recht feste Hornhautschicht der Haut weicht auf und kann leicht von Mikroorganismen angegriffen werden, was zu Entzündungen und Ekzemen führen kann, die schmerzhaft, blutig und ausdauernd sein können. Außerdem wird die aufgeweichte Hornhaut besonders chemikaliendurchlässig. Es wird deshalb empfohlen, Handschuhe nur dann und solange zu tragen, wie es notwendig ist. Um das Tragen von Schutzhandschuhen möglichst angenehm zu machen, werden das Tragen von Baumwollunterhandschuhen und die Verwendung von speziellen Hautpflegemitteln (Hautcremes) empfohlen.

Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass durch das Tragen von verschmutzten Handschuhen keine Gegenstände mit Chemikalien benetzt werden dürfen, die in der Regel nicht mit Chemikalien

behaftet sind. Das gilt z. B. für Lichtschalter, Türklinken, Wasserhähne an Waschbecken, Telefonhörer, PC-Tastaturen, Schreibgeräte usw.. Grundsätzlich gilt, dass Büroräume nicht mit Schutzhandschuhen betreten werden dürfen.

Beim Umgang mit Gefahrstoffen sind Schutzhandschuhe zu tragen, die die Haut der Hände mindestens dann zuverlässig vor den Gefahrstoffen schützen, wenn die Gefahrstoffe nur kurzfristig und in geringen Mengen auf die Handschuhe einwirken, z. B. bei Spritzern oder wenigen Tropfen. Es ist zu beachten, dass es kein Handschuhmaterial gibt, das sicher gegen alle bekannten Gefahrstoffe schützt. Es besteht also grundsätzlich die Gefahr, dass der Kontakt der Hände mit Gefahrstoffen auch dann zu erheblichen gesundheitlichen Schäden führen kann, wenn Schutzhandschuhe getragen werden, die für den jeweiligen Gefahrstoff nicht geeignet sind.

Hinweise auf geeignete Handschuhe für den Umgang mit einem Gefahrstoff enthält das Sicherheitsdatenblatt des Herstellers. Weitere Hinweise auf die Beständigkeit von Handschuhen gegen Gefahrstoffe enthalten finden sich im Handschuhmerkblatt („Sicheres Arbeiten in Chemischen Laboratorien“, GDCh et al.), in Übersichten in Katalogen von Laborgerätehändlern oder auf den Internetseiten der Handschuhhersteller.

Schutzhandschuhe sind vor jeder Benutzung auf Beschädigungen zu kontrollieren. Beschädigte Schutzhandschuhe dürfen nicht benutzt werden und werden vom Arbeitgeber ersetzt. Schutzhandschuhe können sich mit Gefahrstoffen voll saugen und müssen deshalb regelmäßig ersetzt werden. Bei Einmalhandschuhen wird dringend empfohlen, keine Handschuhe aus Latex zu tragen, da bei Tragen von Handschuhen mit einem Gehalt von mehr als 30 µg Protein/g Handschuhmaterial eine erhebliche Gefahr allergischer Reaktionen besteht und arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen notwendig werden!

Bei Öffnungsversuchen von Gefäßen mit festsitzenden Verschlüssen müssen immer Schutzhandschuhe getragen werden, die sicher vor den zu erwartenden Gefahren schützen (z. B. Schnittverletzungen durch Glasbruch, Verspritzen von Chemikalien). Das können z. B. Einmalhandschuhe mit darübergezogenen festen Lederhandschuhen oder spezielle Schnittschutzhandschuhe aus Kevlar sein.

Leder- und Stoffhandschuhe schützen in aller Regel nicht vor Gefahrstoffen und sind deshalb für das Arbeiten mit Gefahrstoffen völlig ungeeignet, da sie sich mit Gefahrstoffen vollsaugen und die Gefahrstoffe beim Tragen über einen längeren Zeitraum wieder abgeben können.

Lederhandschuhe sind geeignet zum Schutz vor mechanischen Gefahren (z. B. bei der Glasbearbeitung) und für die kurzzeitige Handhabung von Geräten mit Temperaturen von -100 bis +150 °C. Zum Schutz der Handgelenke sollten die Lederhandschuhe mindestens 10 cm lange Lederstulpen besitzen.

Spezielle Hitze- und Kälteschutzhandschuhe sind immer bei Arbeiten mit Geräten mit Temperaturen unter -10 °C oder über +100 °C zu tragen, z. B. beim Umgang mit flüssigem Stickstoff. Es ist aber unbedingt zu beachten, dass niemals – auch nicht mit speziellen Kälteschutzhandschuhen – in flüssigen Stickstoff hineingefasst werden darf, da trotz der Handschuhe schwerste Erfrierungen innerhalb kürzester Zeit drohen.

#### **4.3 Fußschutz**

Zum Schutz der Füße vor Gefahrstoffen ist in Laboratorien festes, geschlossenes und trittsicheres Schuhwerk zu tragen. Darunter ist in der Regel ein geschlossener Straßenschuh oder Laborschuh zu verstehen. Diese bieten neben dem festen Halt am Fuß und einem Schutz gegen das Ausgleiten auch einen Schutz gegen herabstropfende Gefahrstoffe oder herabfallende Laborgeräte.

#### **4.4 Schutz des Körpers, Laborkittel**

Bei Tätigkeiten im Labor ist geeignete Arbeitskleidung zu tragen, die den gesamten Körper mit Ausnahme des Kopfes bedeckt. Arbeitskleidung ist in der Regel ein üblicher (langer) Laborkittel mit langen, eng anliegenden Ärmeln mit einem Baumwollanteil im Gewebe von mindestens 35 %. Außerdem ist eine lange Hose oder ein langer Rock ebenfalls mit einem Baumwollanteil im Gewebe von mindes-

tens 35 % zu tragen (z. B. Jeans-Hose aus reiner Baumwolle). Es ist notwendig, dass die unter der Schutzkleidung getragene Kleidung ebenfalls aus nicht schmelzenden Textilien besteht. Textilien aus reinem Synthetikmaterial zeigen in der Regel ein gefährliches Brenn- und Schmelzverhalten. Frauen werden ausdrücklich vor dem Tragen von Nylonstrumpfhosen gewarnt.

Das ausschließliche Tragen von Straßenkleidung ist nicht ausreichend und deshalb unzulässig.

Der Laborkittel gewährleistet, dass Gefahrstoffe so lange vom Kittelstoff aufgehalten werden, dass eine Berührung mit der Haut durch sofortiges Ausziehen des Kittels vermieden oder stark reduziert werden kann. Ferner wird eine Verschleppung von Kontaminationen durch den Verbleib des Kittels im Labor vermieden. Bei Personenbränden kann durch unverzügliches Ablegen des Kittels (Herunterreißen) häufig ein Übergreifen der Flammen auf die Kleidung vermieden werden.

Der Laborkittel sowie Hose bzw. Rock sind stets sauber zu halten, um eine Kontamination z. B. der Hände am verschmutzten Laborkittel zu vermeiden. Sie dürfen keine Löcher aufweisen, durch die eine Kontamination der Unterbekleidung erfolgen könnte. Der Laborkittel muss schnell auszuziehen sein. Es werden deshalb Laborkittel mit Druckknopfverschlüssen empfohlen. Der Laborkittel ist immer geschlossen zu tragen. Das Aufkrempeln der Ärmel ist unzulässig. Laborkittel dürfen nur an den Arbeitsplätzen getragen werden, nicht aber in sauberen Bereichen wie z. B. Büros, Bibliotheken, Seminarräumen, Sozialräumen oder Sozialbereichen, um eine Kontamination dieser Bereiche zu vermeiden. Es wird dringend empfohlen, an Laborkitteln modische Accessoires zu entfernen, die zu Unfällen führen können. Dazu gehören auch Schlaufen im Rücken, mit denen man leicht an Gegenständen (z. B. Türklinken) hängenbleiben kann.

Beim Umgang mit sehr giftigen, giftigen, krebserzeugenden, fruchtschädigenden oder erbgutverändernden Gefahrstoffen ist die Arbeitskleidung als Schutzkleidung zu bewerten. Studierende haben ihre Schutzkleidung selbst zu bezahlen, zu reinigen, ggf. geordnet zu entsorgen und neu zu beschaffen.

Schmuckgegenstände (z. B. Ringe, Armbänder, Halsketten) oder ähnliche Gegenstände dürfen beim Arbeiten nicht getragen werden, wenn sie zu einer Gefährdung führen können.

Laborkittel und Straßenkleidung müssen voneinander getrennt aufbewahrt werden, z. B. in getrennten Schränken.

#### 4.5 Atemschutz

In Laboratorien sind die Arbeitsverfahren grundsätzlich so zu gestalten, dass der Einsatz von Atemschutz nicht erforderlich ist.

Filtergeräte dürfen nicht bei Bränden in geschlossenen Räumen eingesetzt werden, da hier wahrscheinlich nicht genügend Sauerstoff vorhanden ist! Außerdem schützen sie üblicherweise nicht gegen Kohlenmonoxid.

In Laboratorien werden, wenn überhaupt, fast nur Filtergeräte eingesetzt, die aus einer Atemschutzvollmaske und einem Atemschutzfilter bestehen. Diese „umluftabhängigen Atemschutzgeräte“ schützen nicht bei Überschreiten einer bestimmten, stoffabhängigen Konzentration oder nach dem Verbrauch der Filtermasse. Außerdem schützen sie nicht bei Sauerstoffmangel in der Luft oder gegen Stoffe, für die der Filter nicht vorgesehen ist. Vor dem Aufschrauben der Filter ist die aufgesetzte Maske auf Dichtigkeit zu prüfen. Das Tragen von Atemschutzgeräten darf keine ständige Maßnahme sein! Das Auftreten von Gefahrstoffen in der Raumluft muss grundsätzlich zunächst durch technische Maßnahmen (z. B. Arbeiten im Abzug, Arbeiten in geschlossenen Apparaturen) verhindert werden.

Die Atemschutzfilter besitzen schadstoffklassenspezifische Filterwirkungen. Sie sind wie folgt gekennzeichnet (Atemschutzmerkblatt):

Filtertyp	Kennfarbe	Anwendungsbereich
A	braun	organische Gase und Dämpfe, z. B. von Lösungsmitteln mit einem Siedepunkt über 65°C. Benutzte Filter dürfen bis maximal 1/2 Jahr nach Öffnungsdatum verwendet werden.

AX	braun	organische Gase und Dämpfe, z. B. von Lösungsmitteln mit einem Siedepunkt unter 65 °C. Benutzte Filter dürfen nur am Öffnungstag verwendet werden.
B	grau	anorganische Gase und Dämpfe, z. B. Chlor, Schwefelwasserstoff, Cyanwasserstoff
E	gelb	Schwefeldioxid, Chlorwasserstoff
K	grün	Ammoniak
CO	schwarz	Kohlenmonoxid
Hg	rot	Quecksilber-Dämpfe
NO	blau	nitrose Gase einschl. Stickstoffmonoxid
Reaktor	orange	Radioaktives Iod und radioaktives Iodmethan

Bei Flüssigkeiten mit einem Siedepunkt unter 66 °C (z. B. Diethylether, Aceton, Dichlormethan) dürfen nur Filter des Typs „AX“ verwendet werden. Ihre Einsatzzeit ist auf maximal 20 Minuten begrenzt. Es dürfen nur AX-Filter im fabrikneuen, d. h. bisher ungeöffneten Zustand verwendet werden. Innerhalb einer Arbeitsschicht (max. 8 Stunden) ist die wiederholte Benutzung im Rahmen der maximalen Einsatzzeit zulässig. Die Verwendung von AX-Filtern gegen Gemische aus Niedrigsiedern und anderen organischen Lösungsmitteln ist unzulässig, da mit Desorptionsvorgängen am Filter zu rechnen ist.

Können Gefahrstoffe in gefährlicher Konzentration in der Atemluft unerwartet auftreten, sind geeignete Atemschutzgeräte bereitzuhalten. Mit dem Auftreten von Gefahrstoffen in gefährlicher Konzentration in der Atemluft ist z. B. beim Verschütten von Gefahrstoffen zu rechnen. Atemschutzgeräte sind außerhalb gefährdeter Bereiche aufzubewahren, d. h. in der Regel in Fluren. Sie müssen für die Beschäftigten schnell erreichbar sein. Atemschutzfilter sind stets geschlossen zu lagern. Sie dürfen nicht an die Atemschutzmaske angeschraubt aufbewahrt werden, da sie dann binnen kürzester Zeit ihre Wirksamkeit verlieren. Atemschutzmasken sind nach der Benutzung zu desinfizieren. Bereits geöffnete, aber noch verwendungsfähige Atemfilter können auch von Personen genutzt werden, die diese Filter zuvor noch nicht benutzt haben. Gegen die Nutzung durch verschiedene Personen sprechen keine hygienischen Gründe.

## 5 Laboratorien

### 5.1.1 Lüftung

#### 5.1.1.1 Lüftungsanlagen mit Zu- und Abluft

Zur Aufrechterhaltung einer funktionsfähigen Lüftung ist es erforderlich, die Labortüren ständig geschlossen zu halten.

Zur Emissionsminderung an der Quelle werden örtliche Absaugungen empfohlen. Örtliche Absaugungen können verhindern, dass Emissionen in die Laborluft gelangen. Diese funktionieren jedoch nur in unmittelbarer Nähe der Eintrittsstelle der Luft. Unter „unmittelbare Nähe“ ist ein Bereich von etwa 5 cm um die Absaugöffnung zu verstehen. Solche örtlichen Absaugungen sind kein Ersatz für Abzüge, können jedoch unter bestimmten Bedingungen sinnvoll eingesetzt werden. Absaugöffnungen, beispielsweise über Atomabsorptionsspektrometern, müssen daher sehr genau dimensioniert und ausgerichtet werden, um eine möglichst vollständige Erfassung des durch die Thermik gerichteten Abgasstromes zu erreichen. Querströmungen im Raum müssen hier vermieden werden.

#### 5.1.2 Zuführungsleitungen und Absperrarmaturen

Für die Charakterisierung des Mediums ist die Stirnfläche des Stellteiles bei modernen Armaturen in drei Zonen unterteilt. Die Farbe der äußersten Zone des Stellteiles, häufig die Farbe des gesamten Stellteiles ohne die Stirnflächen, bestimmt im Wesentlichen die Art des Mediums:

Farbkennzeichnung (äußere Zone der Stellteile) von Laborarmaturen und Medium	
grün	Wasser
gelb	brennbare gasförmige Kohlenwasserstoffe
rot	sonstige brennbare Gase
blau	unbrennbare (auch verbrennungsfördernde) Gase
schwarz	giftige Gase
grau	Vakuum
weiß	sonstige Medien

Achtung: Die Kennfarben der Laborarmaturen sind zum Teil verschieden zu denen der Rohrleitungen und denen der Druckgasflaschen! Es gibt hier keine einheitliche Kennzeichnung!

#### 5.1.3 Stauräume für Gefahrstoffabfälle

Gefahrstoffabfälle sind unter einem Abzug in die entsprechenden Sammelbehälter zu füllen. Die Sammelbehälter – sowohl ganz gefüllte als auch nur teilweise gefüllte - sind grundsätzlich in abgegaugten Schränken, möglichst Sicherheitsschränken, aufzubewahren.

Die Behälter sind nach dem Befüllen zu verschließen, sie dürfen nicht mit aufgesetzem Trichter abgestellt werden. Da nicht auszuschließen ist, dass sich nach dem Befüllen ein Überdruck im Sammelbehälter aufbaut, sollen die Verschlüsse nur so fest aufgeschraubt werden, dass ein Überdruck entweichen kann.

## 5.2 Schutzausrüstung im Labor

### 5.2.1 Notdusche und Augennotdusche

Im Laboratorium muss eine mit Trinkwasser gespeiste Notdusche installiert sein. Sie soll alle Körperzonen sofort mit ausreichenden Wassermengen überfluten können. An den Betätigungshebel dürfen keine Kittel oder ähnliches angehängt werden.

Im Laboratorium muss möglichst im Bereich der Notdusche oder eines Waschbeckens eine mit Trinkwasser gespeiste Augennotdusche installiert sein. Das Spülen der Augen muss mit weit bespreizten Lidern erfolgen, um alle Chemikalienreste zu erfassen. Das Spülen muss lang durchgeführt werden, Richtwert sind mindestens 10 Minuten, eine ärztliche Kontrolle des Auges ist unverzüglich durchzuführen. Die Zugänge zu den Notduschen und Augennotduschen sind ständig freizuhalten.

### **5.2.2 Feuerlöscher**

Benutzte Feuerlöscher sind umgehend der Stabsstelle für Arbeitssicherheit und Gesundheitsvorsorge zu melden, damit sie wieder in gebrauchsfähigen Zustand versetzt werden.

Nach dem Einsatz von Kohlensäure-Feuerlöschern muss wegen der Erstickungsgefahr der Brandraum sofort verlassen werden. In Laboratorien, in denen ein Umgang mit Alkalimetallen stattfindet, muss Löschsand in mindestens einer Löschsandschütte oder ein Feuerlöscher vorhanden sein, der für die Brandklassen ABCD zugelassen ist.

Brennende Personen sind mit dem am schnellsten erreichbaren Löschmittel abzulöschen. Das können Notduschen, Feuerlöscher, Löschdecken, Kittel oder ähnliches sein. Feuerlöscher dürfen wegen des hohen Löschmitteldruckes aber nicht aus unmittelbarer Nähe eingesetzt werden, es ist ein Sicherheitsabstand von ca. 2 Metern einzuhalten.

### **5.2.3 Feuerlöschdecke**

Feuerlöschdecken müssen frei zugänglich sein. Sie sind in einsatzfähigem Zustand in den vorgesehenen Behältern aufzubewahren.

### **5.2.4 Erste-Hilfe-Kasten**

Alle kleineren Verletzungen, bei denen kein Arztbesuch erfolgt ist, müssen im Verbandbuch eingetragen werden. Bei Verletzungen mit anschließendem Arztbesuch muss eine Unfallanzeige ausgefüllt werden. Informationen erhalten Sie bei Bedarf bei der Stabsstelle für Arbeitssicherheit und Gesundheitsvorsorge. Der Erste-Hilfe-Kasten ist vor Gefahrstoffen geschützt so aufzuhängen, dass er jederzeit ohne Schlüssel erreichbar ist, z. B. im Flur oder Sozialraum.

### **5.2.5 Adsorbentien**

Es ist zu beachten, dass für oxidierende Stoffe (z. B. Salpetersäure, Brom) spezielle Chemikalienbinde bereitgehalten werden, die nicht mit diesen Stoffen reagieren können.

## **6 Ordnung und Sauberkeit, Nahrungsaufnahme, Rauchen, Hygiene**

Grundsätzlich kann ein Laboratorium nicht in einen gefährdeten und einen nicht gefährdeten Bereich (z. B. Fenstertischreihen) unterteilt werden. Alle Bestimmungen gelten deshalb für das gesamte Laboratorium.

### **6.1 Ordnung und Sauberkeit**

Aufgeräumte Labortische, Abzüge, Schränke und Regale tragen wesentlich zum sicheren Arbeiten bei. Gefahrstoffe müssen übersichtlich geordnet aufbewahrt werden. Der Arbeitgeber hat dafür zu sorgen, dass die Beschäftigten in Laboratorien Ordnung halten.

Für Ordnung und Sauberkeit hat im Labor jeder selbst zu sorgen! Das Reinigungspersonal reinigt nur Fußböden! Die Fußböden dürfen nicht mit Gefahrstoffen kontaminiert sein. Arbeitsplätze (Labortische, Abzüge usw.) sind von Kontaminationen frei zu halten und regelmäßig zu reinigen. Verstreute, ausgelaufene oder verspritzte Gefahrstoffe stellen eine Gefährdung durch unabsichtlichen Kontakt und versehentliche Aufnahme dar. Auf Pfützen von Wasser oder Ölresten besteht zudem Rutschgefahr. Beim Tragen von Handschuhen ist darauf zu achten, dass mit diesen nicht Kontaminationen im Labor versehentlich verteilt werden, beispielsweise auf Frontschiebern, Telefonhörern, Tastaturen, Türklinken, Armaturen und Schreibgeräten.

### **6.2 Nahrungsaufnahme, Rauchen**

Im Labor sind Essen, Trinken oder Rauchen verboten. Nahrungsmittel dürfen nicht in das Labor hineingebracht werden. Für die Beschäftigten ist ein Sozialraum oder -bereich (z. B. auf Flurnischen) zur Verfügung zu stellen, in dem sie gefahrlos essen und trinken sowie Lebens- und Genussmittel aufbewahren können. Steht im Institut nur ein Sozialraum zur Verfügung, so kann er von allen Beschäftigten der verschiedenen Arbeitsgruppen genutzt werden. In Sozialräumen und -bereichen darf nicht geraucht werden. Nahrungs- und Genussmittel dürfen nicht zusammen mit Gefahrstoffen aufbewahrt werden. Gefahrstoffe dürfen nicht in Gefäße gefüllt werden, die üblicherweise für zur Aufnahme von Speisen oder Getränken bestimmt sind. Speisen und Getränke dürfen nicht zusammen mit Chemikalien aufbewahrt werden. Lebensmittel dürfen nicht in Laborgefäßen zubereitet oder aufbewahrt werden. Das Aufwärmen oder Kochen von Speisen und Getränken ist nur mit dafür vorgesehenen Geräten zulässig. Zum Kühlen von Lebensmitteln dürfen nur dafür bestimmte und mit der Aufschrift „Nur für Lebensmittel“ gekennzeichnete Kühlschränke benutzt werden, die außerhalb der Laboratorien aufgestellt sein müssen. Gefahrstoffe dürfen in diesen Kühlschränken nicht aufbewahrt werden.

### **6.3 Alkohol und Drogen**

Beschäftigte dürfen sich durch Alkoholgenuss oder die Einnahme von Drogen bzw. Medikamenten nicht in einen Zustand versetzen, durch den sie sich selbst oder andere gefährden. Beschäftigte, die infolge der Einnahme von Alkohol, Drogen oder Medikamenten nicht mehr in der Lage sind, ihre Arbeit ohne Gefahr für sich oder andere auszuführen, dürfen mit dieser Arbeit nicht beschäftigt werden und keine Laboratorien betreten.

### **6.4 Hygiene und Hautschutz**

Jeder Hautkontakt mit Gefahrstoffen ist zu vermeiden. Es wird empfohlen, sich regelmäßig die Hände und das Gesicht mit Seife zu waschen. Die Hände müssen nach dem Kontakt mit sehr giftigen, giftigen, reizenden, ätzenden, krebserzeugenden, sensibilisierenden, erbgutschädigenden und fortpflanzungsgefährdenden Stoffen sowie vor dem Verlassen des Laboratoriums gewaschen werden. Gefahren für die Hände können aber auch bei Reinigungsarbeiten bestehen. Haut und Hände dürfen nicht mit organischen Lösemitteln gereinigt werden. Abrasive Hautreinigungsmittel (zum Beispiel „Rubbelcremes“) sollen nur verwendet werden, wenn dies der Verschmutzungsgrad unbedingt erfordert. Besonders bei häufigem Händewaschen oder längerfristigem Tragen von Handschuhen kann auf Dauer eine Schädigung der Haut eintreten, die durch entsprechende Hautschutz- und -pflfemaßnahmen vermieden werden kann. Es wird dringend empfohlen, die Hände regelmäßig mit Hautschutz- und Hautpflegecremes zu schützen und zu pflegen. Produkte für die Reinigung der Haut, zur Hautpflege und für den Hautschutz dürfen auch im Labor angewandt werden.

Büroräume dürfen nicht mit Laborkitteln oder Laborhandschuhen betreten werden, um eine Kontamination dieser sauberen Bereiche mit Gefahrstoffen zu vermeiden. Büroräume sind alle Räume, die keine Laboratorien sind, insbesondere Sozialräume/Sozialbereiche, in denen gegessen und getrunken wird, Hörsäle, Seminarräume und Bibliotheken.

## 7 Tätigkeiten mit Gefahrstoffen

### 7.1 Gefahrstoffe

Gefahrstoffe sind:

1.) gefährliche Stoffe und Zubereitungen, die eine oder mehrere folgender Eigenschaften besitzen:

Feuergefährlichkeit:	explosionsgefährlich brandfördernd hochentzündlich leichtentzündlich entzündlich	
Giftwirkung:	sehr giftig giftig gesundheitsschädlich sensibilisierend krebserzeugend fortpflanzungsgefährdend erbgutverändernd chronisch schädigend	(= cancerogen) (=reproduktionstoxisch) (= mutagen)
Ätzwirkung:	ätzend reizen	
Gefahr für die Umwelt:	umweltgefährlich	

Stoffe und Zubereitungen sind

- explosionsgefährlich, wenn sie in festem, flüssigem, pastenförmigen oder gelatinösem Zustand auch ohne Beteiligung von Luftsauerstoff exotherm und unter schneller Entwicklung von Gasen reagieren können und unter festgelegten Prüfbedingungen detonieren, schnell deflagrieren oder beim Erhitzen unter teilweisem Einschluss explodieren,
- brandfördernd, wenn sie in der Regel selbst nicht brennbar sind, aber bei Kontakt mit brennbaren Stoffen oder Zubereitungen, überwiegend durch Sauerstoffabgabe, die Brandgefahr und die Heftigkeit eines Brandes beträchtlich erhöhen,
- hochentzündlich, wenn sie
  - in flüssigem Zustand einen extrem niedrigen Flammpunkt und einen niedrigen Siedepunkt haben,
  - als Gase bei gewöhnlicher Temperatur und Normaldruck in Mischung mit Luft einen Explosionsbereich haben,
- leichtentzündlich, wenn sie
  - sich bei gewöhnlicher Temperatur an der Luft ohne Energiezufuhr erhitzen und schließlich entzünden können (z. B. weißer Phosphor),
  - in festem Zustand durch kurzzeitige Einwirkung einer Zündquelle leicht entzündet werden können und nach deren Entfernen in gefährlicher Weise weiterbrennen oder weiterglimmen,
  - in flüssigem Zustand einen sehr niedrigen Flammpunkt haben (viele laborübliche Lösungsmittel wie z. B. Aceton, Ethanol, Toluol, Essigsäureethylester, Diethylether),
  - bei Kontakt mit Wasser oder mit feuchter Luft hochentzündliche Gase in gefährlicher Menge entwickeln (z. B. Natrium, Kalium),
- entzündlich, wenn sie in flüssigem Zustand einen niedrigen Flammpunkt haben,
- sehr giftig, wenn sie in sehr geringer Menge bei Einatmen, Verschlucken oder Aufnahme über die Haut zum Tode führen oder akute oder chronische Gesundheitsschäden verursachen können,
- giftig, wenn sie in geringer Menge bei Einatmen, Verschlucken oder Aufnahme über die Haut zum Tode führen oder akute oder chronische Gesundheitsschäden verursachen können,
- gesundheitsschädlich, wenn sie bei Einatmen, Verschlucken oder Aufnahme über die Haut zum Tode führen oder akute oder chronische Gesundheitsschäden verursachen können,
- ätzend, wenn sie lebende Gewebe bei Kontakt zerstören können,
- reizend, wenn sie ohne ätzend zu sein bei kurzzeitigem, länger andauerndem oder wiederholtem Kontakt mit der Haut oder Schleimhaut eine Entzündung hervorrufen können,

- sensibilisierend, wenn sie bei Einatmen oder Aufnahme über die Haut Überempfindlichkeitsreaktionen hervorrufen können, so dass bei künftiger Exposition gegenüber dem Stoff oder der Zubereitung charakteristische Störungen auftreten,
- krebserzeugend (kanzerogen), wenn sie bei Einatmen, Verschlucken oder Aufnahme über die Haut Krebs hervorrufen oder die Krebshäufigkeit erhöhen können,
- fortpflanzungsgefährdend (reproduktionstoxisch), wenn sie bei Einatmen, Verschlucken oder Aufnahme über die Haut
  - nicht vererbare Schäden der Nachkommenschaft hervorrufen oder die Häufigkeit solcher Schäden erhöhen (fruchtschädigend) oder
  - eine Beeinträchtigung der männlichen oder weiblichen Fortpflanzungsfunktionen oder der Fortpflanzungsfähigkeit zur Folge haben können (fruchtbarkeitsgefährdend),
- erbgutverändernd (mutagen), wenn sie bei Einatmen, Verschlucken oder Aufnahme über die Haut vererbare genetische Schäden zur Folge haben oder deren Häufigkeit erhöhen können,
- umweltgefährlich, wenn sie selbst oder ihre Umwandlungsprodukte geeignet sind, die Beschaffenheit des Naturhaushalts, von Wasser, Boden oder Luft, Klima, Tieren, Pflanzen oder Mikroorganismen derart zu verändern, dass dadurch sofort oder später Gefahren für die Umwelt herbeigeführt werden können.

2.) Stoffe und Zubereitungen, die explosionsfähig sind.

Sie sind explosionsfähig, wenn sie mit oder ohne Luft durch Zündquellen wie äußere thermische Einwirkungen, mechanische Beanspruchungen oder Detonationsstöße zu einer chemischen Umsetzung gebracht werden können, bei der hochgespannte Gase in so kurzer Zeit entstehen, dass ein sprunghafter Temperatur- und Druckanstieg hervorgerufen wird, oder wenn im Gemisch mit Luft nach Wirksamwerden einer Zündquelle eine sich selbsttätig fortpflanzende Flammenausbreitung stattfindet, die im Allgemeinen mit einem sprunghaften Temperatur- und Druckanstieg verbunden ist. Explosionsfähig können z. B. Stäube sein.

Ein explosionsfähiges Gemisch ist ein Gemisch aus brennbaren Gasen, Dämpfen, Nebeln oder Stäuben, in dem sich der Verbrennungsvorgang nach erfolgter Zündung auf das gesamte unverbrannte Gemisch überträgt. Ein gefährliches explosionsfähiges Gemisch ist ein explosionsfähiges Gemisch, das in solcher Menge auftritt, dass besondere Schutzmaßnahmen für die Aufrechterhaltung der Gesundheit und Sicherheit der Beschäftigten oder anderer Personen erforderlich werden (gefährdende Menge). Explosionsfähige Atmosphäre ist ein explosionsfähiges Gemisch unter atmosphärischen Bedingungen im Gemisch mit Luft.

3.) Stoffe und Zubereitungen, die auf sonstige Weise chronisch schädigend sind.

Dies sind Stoffe, die bei wiederholter oder länger andauernder Exposition einen Gesundheitsschaden verursachen können.

4.) Stoffe, Zubereitungen und Erzeugnisse, aus denen bei der Herstellung oder Verwendung Stoffe mit den unter 1.) - 3.) genannten Eigenschaften entstehen.

5.) Stoffe und Zubereitungen, die die o. g. Kriterien nach den Nummern 1.) - 3.) nicht erfüllen, aber auf Grund ihrer physikalisch-chemischen, chemischen oder toxischen Eigenschaften und der Art und Weise, wie sie am Arbeitsplatz vorhanden sind oder verwendet werden, die Gesundheit und die Sicherheit der Beschäftigten gefährden können,

6.) alle Stoffe, denen ein Arbeitsplatzgrenzwert zugewiesen worden ist.

Gefahren gehen weiterhin aus von

1. Stoffen, Zubereitungen und Erzeugnissen, aus denen beim Umgang bzw. bei deren Verwendung gefährliche Stoffe oder Zubereitungen mit den oben erwähnten Eigenschaften entstehen oder freigesetzt werden können,
2. Stoffen und Materialien, die erfahrungsgemäß Krankheitserreger übertragen können,
3. in der Bio- und Gentechnik anfallendem gefährlichem biologischem Material,
4. radioaktiven Stoffen,
5. (zum Teil) Stoffen, die dem Pflanzenschutzmittel- oder Arzneimittelrecht unterliegen.

Für die unter 2. bis 5. genannten Stoffe und Materialien gelten weiterreichende Vorschriften, die in dieser Betriebsanweisung nicht erfasst sind (z. B. Biostoffverordnung, Strahlenschutzgesetz, Gen-

technikgesetz, Pflanzenschutzmittelgesetz, Arzneimittelgesetz und zugehörige Verordnungen, Regeln und Richtlinien).

## 7.2 Einstufung

In der Hochschule selbst hergestellte Stoffe und Zubereitungen sind gemäß der Gefahrstoffverordnung einzustufen. Stoffe und Zubereitungen, deren physikalische, chemische, toxikologische und ökologische Eigenschaften bekannt sind, müssen nach gesicherten wissenschaftlichen Erkenntnissen eingestuft werden. Eine Einstufung dieser Stoffe und Zubereitungen kann ggf. auch einschlägigen Chemikalienkatalogen oder Gefahrstoffdatenbanken entnommen werden.

Bei noch nicht geprüften Chemikalien, neu synthetisierten Substanzen in der chemischen Forschung sowie Reaktionslösungen und Reaktionsabfällen ist von einem Gefahrstoff auszugehen, solange die Ungefährlichkeit nicht nachgewiesen wurde. Diese Stoffe sind mindestens nach den P-Sätzen 260 und 262 zu behandeln, jeder Körperkontakt ist zu vermeiden. Dies gilt auch für Arbeiten nach Literaturangaben, bei denen damit gerechnet werden muss, dass auf Gefahren nicht ausreichend hingewiesen ist. Dies ist insbesondere bei Arbeiten nach älteren Literaturangaben der Fall.

## 7.3 Etikettierung von Gefahrstoffgebinden

Gefahrstoffgebinde, die gelagert oder bereitgestellt werden, müssen gemäß ihrer Einstufung als Gefahrstoff mit einem Etikett versehen werden, das Angaben über den Inhalt des Gebindes enthält. Die Etiketten sind so anzubringen, dass die Angaben gelesen werden können, wenn das Gebinde abgestellt oder abgelegt wird. Ein Gebinde darf nur ein einziges Etikett haben. Vorhandene Etiketten dürfen nicht überschrieben oder überklebt werden. Nicht mehr geltende Etiketten sind zu entfernen. Das Beschriften von Gebinden mit wasserfesten Filzschreibern ist nur zulässig, wenn sich die Gebinde im Arbeitsgang befinden.

### 7.3.1 Etiketten

Die Gefahrensymbole bestehen aus einem schwarzem Aufdruck auf weißem, auf der Spitze stehendem quadratischem Untergrund mit roter Umrandung.

Es wird empfohlen, die Etiketten zusätzlich zu der in diesem Kapitel beschriebenen Kennzeichnung mit standortspezifischen Hinweisen wie Labornummer, Arbeitsplatznummer und/oder dem Namen des Beschäftigten zu versehen.

### 7.3.2 Vollständige Kennzeichnung

„Vollständig“ gekennzeichnet werden müssen alle Chemikaliengebinde, die gelagert oder bereitgestellt werden. Sie sind vollständig gekennzeichnet, wenn sie ein Etikett tragen, auf dem mindestens folgende Angaben stehen:

1. chemische Bezeichnung des Stoffes und der Bestandteile der Zubereitung nach der IUPAC-Nomenklatur, bei Zubereitungen ggf. Handelsname oder Bezeichnung. Laborinterne Kurznamen und Abkürzungen (z. B. Ether, Tri, EtOH, HAc, NaOH, A1, 25) sind als alleinige Bezeichnungen nicht zulässig. Beispiele: Ethanol, wässrige Nickelchlorid-Lösung, 0,1 molar, Methanol/Wasser-Gemisch, 50:50
2. die Hinweise auf besondere Gefahren: „H-Sätze“. Sie bestehen aus einer Zahl und dem zugehörigen Text. Die H-Sätze ersetzen die bisher gültigen R-Sätze.
3. die Sicherheitsratschläge: „P-Sätze“. Sie bestehen aus einer Zahl und dem zugehörigen Text. Die P-Sätze ersetzen die bisher gültigen S-Sätze.
4. das Gefahrensymbol bzw. die Gefahrensymbole sowie ggf. die Signalwörter „Achtung“ oder „Gefahr“.

Werden Chemikalien an Firmen, Analytiklaboratorien usw. außerhalb der TU Braunschweig versandt oder abgegeben, muss auch der Name, die Anschrift und die Telefonnummer des abgebenden Institutes auf dem Etikett vorhanden sein.

Auf dem Etikett dürfen keine verharmlosenden Angaben gemacht werden wie z. B. „Nicht giftig“, „Nicht gesundheitsschädlich“, „Nicht umweltgefährlich“ oder „Harmlos“.

### 7.3.3 GHS-Kennzeichnung

Die Etikettierung muss gemäß der EU-Verordnung EG 1272/2008 (CLP-Verordnung (= Classification, Labelling and Packing) mit GHS-Kennzeichnung (GHS = Global Harmonisiertes System)) erfolgen.

Eine Doppelkennzeichnung auf einem Gefahrstoffgebinde sowohl nach der bisher gültigen als auch nach der GHS-Kennzeichnung ist nicht zulässig.

#### 7.3.3.1 Unterschiede zwischen alter Kennzeichnung und neuer GHS-Kennzeichnung

alt	neu
7 Gefahrensymbole in schwarzem Aufdruck auf orangegelbem Grund	9 Gefahrenpiktogramme als rotumrandete, auf der Spitze stehende Quadrate mit einem schwarzen Symbol auf weißem Grund
16 Gefährlichkeitsmerkmale	47 Gefahrenklassen + Gefahrenkategorien (Es gibt in der Regel 2-4 Kategorien je Gefahrenklasse, wobei die Kategorie 1 immer die gefährlichste ist.)
-----	Signalwörter („Gefahr“ bzw. „Achtung“)
R-Sätze	H-Sätze (hazard standards)
S-Sätze	P-Sätze (precautionary statements)

#### 7.3.3.2 H-Sätze: Gefahrenhinweise

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
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
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
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 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)
- H350 i 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 die Gefahr bei keinem anderen Expositionsweg besteht)
- H360 F Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen
- H360 D Kann das Kind im Mutterleib schädigen
- H360 FD Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. Kann das Kind im Mutterleib schädigen
- H360 Fd kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. Kann vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen
- H360 Df 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 die Gefahr bei keinem anderen Expositionsweg besteht)
- H361 f Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen
- H361 d Kann vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen
- H361 fd 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)
- H400 Sehr giftig für Wasserorganismen
- 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

Weil teilweise noch die bisher gültigen R-Sätze verwendet werden, werden diese der Vollständigkeit halber noch aufgeführt. Werden zwei R-Sätze durch einen Bindestrich (-) getrennt (z. B. R:10-23), so bedeutet dieses, dass die R-Sätze 10 UND 23 berücksichtigt werden müssen (und nicht 10 bis 23). Werden R-Sätze durch einen Schrägstrich (/) getrennt (z. B. R:26/27/28), so bedeutet dieses ebenfalls, dass die R-Sätze 26 UND 27 UND 28 gelten (Kombination von R-Sätzen). Es bedeuten:

- R1 In trockenem Zustand explosionsgefährlich.  
 R2 Durch Schlag, Reibung, Feuer oder andere Zündquellen explosionsgefährlich .  
 R3 Durch Schlag, Reibung, Feuer oder andere Zündquellen besonders explosionsgefährlich.  
 R4 Bildet hochempfindliche explosionsgefährliche Metallverbindungen.  
 R5 Beim Erwärmen explosionsfähig.  
 R6 Mit und ohne Luft explosionsfähig.  
 R7 Kann Brand verursachen.  
 R8 Feuergefahr bei Berührung mit brennbaren Stoffen.  
 R9 Explosionsgefahr bei Mischung mit brennbaren Stoffen.  
 R10 Entzündlich.  
 R11 Leichtentzündlich.  
 R12 Hochentzündlich.  
 R13 Hochentzündliches Flüssiggas.  
 R14 Reagiert heftig mit Wasser.  
 R15 Reagiert mit Wasser unter Bildung leicht entzündlicher Gase.  
 R16 Explosionsgefährlich in Mischung mit brandfördernden Stoffen.  
 R17 Selbstentzündlich an der Luft.  
 R18 Bei Gebrauch Bildung explosionsfähiger/leichtentzündlicher Dampf-Luftgemische möglich.  
 R19 Kann explosionsfähige Peroxide bilden.  
 R20 Gesundheitsschädlich beim Einatmen.  
 R21 Gesundheitsschädlich bei Berührung mit der Haut.  
 R22 Gesundheitsschädlich beim Verschlucken.  
 R23 Giftig beim Einatmen.  
 R24 Giftig bei Berührung mit der Haut.  
 R25 Giftig beim Verschlucken.  
 R26 Sehr giftig beim Einatmen.  
 R27 Sehr giftig bei Berührung mit der Haut.  
 R28 Sehr giftig beim Verschlucken.  
 R29 Entwickelt bei Berührung mit Wasser giftige Gase.  
 R30 Kann bei Gebrauch leicht entzündlich werden.  
 R31 Entwickelt bei Berührung mit Säure giftige Gase.  
 R32 Entwickelt bei Berührung mit Säure sehr giftige Gase.  
 R33 Gefahr kumulativer Wirkungen.  
 R34 Verursacht Verätzungen.  
 R35 Verursacht schwere Verätzungen.  
 R36 Reizt die Augen.  
 R37 Reizt die Atmungsorgane.  
 R38 Reizt die Haut.  
 R39 Ernste Gefahr irreversiblen Schadens.  
 R40 Verdacht auf krebserzeugende Wirkung  
 R41 Gefahr ernster Augenschäden.  
 R42 Sensibilisierung durch Einatmen möglich.  
 R43 Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich.  
 R44 Explosionsgefährlich bei Erhitzen unter Einschluss.  
 R45 Kann Krebs erzeugen.  
 R46 Kann vererbare Schäden verursachen.  
 R48 Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition.  
 R49 Kann Krebs erzeugen beim Einatmen.  
 R50 Sehr giftig für Wasserorganismen.  
 R51 Giftig für Wasserorganismen.

- R52 Schädlich für Wasserorganismen.
- R53 Kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben.
- R54 Giftig für Pflanzen.
- R55 Giftig für Tiere.
- R56 Giftig für Bodenorganismen.
- R57 Giftig für Bienen.
- R58 Kann längerfristig schädliche Wirkungen auf die Umwelt haben.
- R59 Gefährlich für die Ozonschicht.
- R60 Kann die Fortpflanzungsfähigkeit beeinträchtigen.
- R61 Kann das Kind im Mutterleib schädigen.
- R62 Kann möglicherweise die Fortpflanzungsfähigkeit beeinträchtigen.
- R63 Kann das Kind im Mutterleib möglicherweise schädigen.
- R64 Kann Säuglinge über die Muttermilch schädigen.
- R65 Gesundheitsschädlich: kann beim Verschlucken Lungenschäden verursachen
- R66 Wiederholter Kontakt kann zu spröder oder rissiger Haut führen.
- R67 Dämpfe können Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen.
- R68 Irreversibler Schaden möglich

#### Kombination der R-Sätze

- R14/15 Reagiert heftig mit Wasser unter Bildung leicht entzündlicher Gase.
- R15/29 Reagiert mit Wasser unter Bildung giftiger und leichtentzündlicher Gase.
- R20/21 Gesundheitsschädlich beim Einatmen und bei Berührung mit der Haut.
- R20/22 Gesundheitsschädlich beim Einatmen und Verschlucken.
- R21/22 Gesundheitsschädlich bei Berührung mit der Haut und beim Verschlucken.
- R20/21/22 Gesundheitsschädlich beim Einatmen, Verschlucken und Berührung mit der Haut.
- R23/24 Giftig beim Einatmen und bei Berührung mit der Haut.
- R23/25 Giftig beim Einatmen und Verschlucken.
- R24/25 Giftig bei Berührung mit der Haut und beim Verschlucken.
- R23/24/25 Giftig beim Einatmen, Verschlucken und Berührung mit der Haut.
- R26/27 Sehr giftig beim Einatmen und bei Berührung mit der Haut.
- R26/28 Sehr giftig beim Einatmen und Verschlucken.
- R27/28 Sehr giftig bei Berührung mit der Haut und beim Verschlucken.
- R26/27/28 Sehr giftig beim Einatmen, Verschlucken und Berührung mit der Haut.
- R36/37 Reizt die Augen und die Atmungsorgane.
- R36/38 Reizt die Augen und die Haut.
- R37/38 Reizt die Atmungsorgane und die Haut.
- R36/37/38 Reizt die Augen, Atmungsorgane und die Haut.
- R42/43 Sensibilisierung durch Einatmen und Hautkontakt möglich.
- R39/23 Giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Einatmen.
- R39/24 Giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens bei Berührung mit der Haut.
- R39/25 Giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Verschlucken.
- R39/23/24 Giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Einatmen und bei Berührung mit der Haut.
- R39/23/25 Giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Einatmen und Verschlucken.
- R39/24/25 Giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens bei Berührung mit der Haut und durch Verschlucken.
- R39/23/24/25 Giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Einatmen, Berührung mit der Haut und durch Verschlucken.
- R39/26 Sehr giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Einatmen.
- R39/27 Sehr giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens bei Berührung mit der Haut.
- R39/28 Sehr giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Verschlucken.
- R39/26/27 Sehr giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Einatmen und bei Berührung mit der Haut.
- R39/26/28 Sehr giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Einatmen und durch Verschlucken.
- R39/27/28 Sehr giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens bei Berührung mit der Haut und durch Verschlucken.
- R39/26/27/28 Sehr giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Einatmen, Berührung mit der Haut und durch Verschlucken.
- R42/43 Sensibilisierung durch Einatmen und Hautkontakt möglich.

R48/20	Gesundheitsschädlich: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen.
R48/21	Gesundheitsschädlich: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Berührung mit der Haut.
R48/22	Gesundheitsschädlich: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Verschlucken.
R48/20/21	Gesundheitsschädlich: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen und durch Berührung mit der Haut.
R48/20/22	Gesundheitsschädlich: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen und durch Verschlucken.
R48/21/22	Gesundheitsschädlich: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Berührung mit der Haut und durch Verschlucken.
R48/20/21/22	Gesundheitsschädlich: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen, Berührung mit der Haut und durch Verschlucken.
R48/23	Giftig: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen.
R48/24	Giftig: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Berührung mit der Haut.
R48/25	Giftig: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Verschlucken.
R48/23/24	Giftig: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen und durch Berührung mit der Haut.
R48/23/25	Giftig: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen und durch Verschlucken.
R48/24/25	Giftig: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Berührung mit der Haut und durch Verschlucken.
R48/23/24/25	Giftig: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen, Berührung mit der Haut und durch Verschlucken.
R50/53	Sehr giftig für Wasserorganismen, kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben.
R51/53	Giftig für Wasserorganismen, kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben.
R52/53	Schädlich für Wasserorganismen, kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben
R68/20	Gesundheitsschädlich: Möglichkeit irreversiblen Schadens durch Einatmen.
R68/21	Gesundheitsschädlich: Möglichkeit irreversiblen Schadens bei Berührung mit der Haut.
R68/22	Gesundheitsschädlich: Möglichkeit irreversiblen Schadens durch Verschlucken.
R68/20/21	Gesundheitsschädlich: Möglichkeit irreversiblen Schadens durch Einatmen und bei Berührung mit der Haut.
R68/20/22	Gesundheitsschädlich: Möglichkeit irreversiblen Schadens durch Einatmen und durch Verschlucken.
R68/21/22	Gesundheitsschädlich: Möglichkeit irreversiblen Schadens bei Berührung mit der Haut und durch Verschlucken.
R68/20/21/22	Gesundheitsschädlich: Möglichkeit irreversiblen Schadens durch Einatmen, Berührung mit der Haut und durch Verschlucken.

### 7.3.3.3 P-Sätze: Sicherheitsratschläge

P101	Ist ärztlicher Rat erforderlich, Verpackung oder Kennzeichnungsetikett bereithalten.
P102	Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen.
P103	Vor Gebrauch Kennzeichnungsetikett lesen.
P201	Vor Gebrauch besondere Anweisungen einholen.
P202	Vor Gebrauch alle Sicherheitshinweise lesen und verstehen.
P210	Von Hitze / Funken / offener Flamme / heißen Oberflächen fernhalten. Nicht rauchen.
P211	Nicht gegen offene Flamme oder andere Zündquelle sprühen.
P220	Von Kleidung /.../ brennbaren Materialien fernhalten/entfernt aufbewahren.
P221	Mischen mit brennbaren Stoffen /... unbedingt verhindern.
P222	Kontakt mit Luft nicht zulassen.
P223	Kontakt mit Wasser wegen heftiger Reaktion und möglichem Aufblähen unbedingt

- verhindern.
- P230 Feucht halten mit ...
- P231 Unter inertem Gas handhaben.
- P232 Vor Feuchtigkeit schützen.
- P233 Behälter dicht verschlossen halten.
- P234 Nur im Originalbehälter aufbewahren.
- P235 Kühl halten.
- P240 Behälter und zu befüllende Anlage erden.
- P241 Explosionsgeschützte elektrische Betriebsmittel / Lüftungsanlagen / Beleuchtung / ... verwenden.
- P242 Nur funkenfreies Werkzeug verwenden.
- P243 Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladungen treffen.
- P244 Druckminderer frei von Fett und Öl halten.
- P250 Nicht schleifen / stoßen / ... / reiben.
- P251 Behälter steht unter Druck: Nicht durchstechen oder verbrennen, auch nicht nach der Verwendung.
- 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 Kontakt während der Schwangerschaft / und der 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.
- P281 Vorgeschriebene persönliche Schutzausrüstung verwenden.
- P282 Schutzhandschuhe / Gesichtsschild / Augenschutz mit Kälteisolierung tragen.
- P283 Schwer entflammbare / flammhemmende Kleidung tragen.
- P284 Atemschutz tragen.
- P285 Bei unzureichender Belüftung Atemschutz tragen.
- P231 + P232 Unter inertem Gas handhaben. Vor Feuchtigkeit schützen.
- P235 + P410 Kühl halten. Vor Sonnenbestrahlung schützen.
- 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 kontaminierter Kleidung:
- P307 Bei Exposition:
- P308 Bei Exposition oder falls betroffen:
- P309 Bei Exposition oder Unwohlsein:
- P310 Sofort Giftinformationszentrum oder Arzt anrufen.
- P311 Giftinformationszentrum oder Arzt anrufen.
- P312 Bei Unwohlsein Giftinformationszentrum oder 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).
- P322 Gezielte Maßnahmen (siehe ... auf diesem Kennzeichnungsetikett).
- P330 Mund ausspülen.
- P331 Kein Erbrechen herbeiführen.
- P332 Bei Hautreizung:
- P333 Bei Hautreizung oder -ausschlag:
- P334 In kaltes Wasser tauchen / 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 betroffene Person an die frische Luft bringen und in einer Position ruhigstellen, die das Atmen erleichtert.
- P341 Bei Atembeschwerden an die frische Luft bringen und in einer Position ruhigstellen, die das Atmen erleichtert.
- P342 Bei Symptomen der Atemwege:
- P350 Behutsam mit viel Wasser und Seife waschen.
- P351 Einige Minuten lang behutsam mit Wasser ausspülen.
- P352 Mit viel Wasser und Seife waschen.
- P353 Haut mit Wasser abwaschen / 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 und vor erneutem Tragen waschen.
- P363 Kontaminierte Kleidung vor erneutem Tragen waschen.
- P370 Bei Brand:
- P371 Bei Großbrand und großen Mengen:
- P372 Explosionsgefahr bei Brand.
- P373 Keine Brandbekämpfung, wenn das Feuer explosive Stoffe / Gemische / Erzeugnisse erreicht.
- P374 Brandbekämpfung mit üblichen Vorsichtsmaßnahmen aus angemessener Entfernung.
- 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 Alle Zündquellen entfernen, wenn gefahrlos möglich.
- P390 Verschüttete Mengen aufnehmen, um Materialschäden zu vermeiden.
- P391 Verschüttete Mengen aufnehmen.
- P301 + P310 Bei Verschlucken: Sofort Giftnformationszentrum oder Arzt anrufen.
- P301 + P312 Bei Verschlucken: Bei Unwohlsein Giftnformationszentrum oder Arzt anrufen.
- P301 + P330 + P331 Bei Verschlucken: Mund ausspülen. Kein Erbrechen herbeiführen.
- P302 + P334 Bei Kontakt mit der Haut: In kaltes Wasser tauchen / nassen Verband anlegen.
- P302 + P350 Bei Kontakt mit der Haut: Behutsam mit viel Wasser und Seife waschen.
- P302 + P352 Bei Kontakt mit der Haut: Mit viel Wasser und Seife waschen.
- P303 + P361 + P353 Bei Kontakt mit der Haut (oder dem Haar): Alle beschmutzten, getränkten Kleidungsstücke sofort ausziehen. Haut mit Wasser abwaschen/duschen.
- P304 + P340 Bei Einatmen: An die frische Luft bringen und in einer Position ruhigstellen, die das Atmen erleichtert.
- P304 + P341 Bei Einatmen: Bei Atembeschwerden an die frische Luft bringen und in einer Position ruhigstellen, die das Atmen erleichtert.
- P305 + P351 + P338 Bei Kontakt mit den Augen: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.
- P306 + P360 Bei Kontakt mit der Kleidung: Kontaminierte Kleidung und Haut sofort mit viel Wasser abwaschen und danach Kleidung ausziehen.
- P307 + P311 Bei Exposition: Giftnformationszentrum oder Arzt anrufen.
- P308 + P313 Bei Exposition oder falls betroffen: Ärztlichen Rat einholen / ärztliche Hilfe hinzuziehen.
- P309 + P311 Bei Exposition oder Unwohlsein: Giftnformationszentrum oder Arzt anrufen.
- P332 + P313 Bei Hautreizung: Ärztlichen Rat einholen / ärztliche Hilfe hinzuziehen.
- P333 + P313 Bei Hautreizung oder -ausschlag: Ärztlichen Rat einholen / ärztliche Hilfe hinzuziehen.
- P335 + P334 Lose Partikel von der Haut abbürsten. In kaltes Wasser tauchen / nassen Verband anlegen.
- P337 + P313 Bei anhaltender Augenreizung: Ärztlichen Rat einholen / ärztliche Hilfe hinzuziehen.
- P342 + P311 Bei Symptomen der Atemwege: Giftnformationszentrum oder Arzt anrufen.
- P370 + P376 Bei Brand: Undichtigkeit beseitigen, wenn gefahrlos möglich.
- P370 + P378 Bei Brand: ... zum Löschen verwenden.
- P370 + P380 Bei Brand: Umgebung räumen.
- 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.

- P401 ... aufbewahren.
- 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 Auskleidung aufbewahren.
- P407 Luftspalt zwischen Stapeln / Paletten lassen.
- P410 Vor Sonnenbestrahlung schützen.
- P411 Bei Temperaturen von nicht mehr als ... °C / ... aufbewahren.
- P412 Nicht Temperaturen von mehr als 50 °C aussetzen.
- P413 Schüttgut in Mengen von mehr als ... kg bei Temperaturen von nicht mehr als ... °C aufbewahren
- P420 Von anderen Materialien entfernt aufbewahren.
- P422 Inhalt in / unter ... aufbewahren
- P402 + P404 In einem geschlossenen Behälter an einem trockenen Ort aufbewahren.
- P403 + P233 Behälter dicht verschlossen an einem gut belüfteten Ort aufbewahren.
- P403 + P235 Kühl an einem gut belüfteten Ort aufbewahren.
- P410 + P403 Vor Sonnenbestrahlung geschützt an einem gut belüfteten Ort aufbewahren.
- P410 + P412 Vor Sonnenbestrahlung schützen und nicht Temperaturen von mehr als 50 °C aussetzen.
- P411 + P235 Kühl und bei Temperaturen von nicht mehr als ... °C aufbewahren.
- P501 Inhalt / Behälter ... zuführen.

Weil teilweise noch die bisher gültigen S-Sätze verwendet werden, werden diese der Vollständigkeit halber noch aufgeführt. Werden zwei S-Sätze durch einen Bindestrich (-) getrennt (z. B. S:10-23), so bedeutet dieses, dass die S-Sätze 10 UND 23 berücksichtigt werden müssen (und nicht 10 bis 23). Werden S-Sätze durch einen Schrägstrich (/) getrennt (z. B. S:36/37/39), so bedeutet dieses, dass die S-Sätze 36 UND 37 UND 39 gelten (Kombination von S-Sätzen). Es bedeuten:

- S1 Unter Verschluss aufbewahren.
- S2 Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen.
- S3 Kühl aufbewahren.
- S4 Von Wohnplätzen fernhalten.
- S5 Unter.....aufbewahren (geeignete Flüssigkeit vom Hersteller anzugeben).
- S6 Unter.....aufbewahren (inertes Gas vom Hersteller anzugeben).
- S7 Behälter dicht geschlossen halten.
- S8 Behälter trocken halten.
- S9 Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren.
- S12 Behälter nicht gasdicht verschließen.
- S13 Von Nahrungsmitteln, Getränken und Futtermitteln fernhalten.
- S14 Von.....fernhalten (inkompatible Substanzen vom Hersteller anzugeben).
- S15 Vor Hitze schützen.
- S16 Von Zündquellen fernhalten - Nicht rauchen.
- S17 Von brennbaren Stoffen fernhalten.
- S18 Behälter mit Vorsicht öffnen und handhaben.
- S20 Bei der Arbeit nicht essen und trinken.
- S21 Bei der Arbeit nicht rauchen.
- S22 Staub nicht einatmen.
- S23 Gas/Rauch/Dampf/Aerosol nicht einatmen (geeignete Bezeichnung(en) vom Hersteller anzugeben).
- S24 Berührung mit der Haut vermeiden.
- S25 Berührung mit den Augen vermeiden.
- S26 Bei Berührung mit den Augen gründlich mit Wasser abspülen und Arzt konsultieren.
- S27 Beschmutzte, getränkte Kleidung sofort ausziehen.
- S28 Bei Berührung mit der Haut sofort abwaschen mit viel .....(vom Hersteller anzugeben).
- S29 Nicht in die Kanalisation gelangen lassen.
- S30 Niemals Wasser hinzu gießen.
- S33 Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladungen treffen.
- S34 Schlag und Reibung vermeiden.
- S35 Abfälle und Behälter müssen in gesicherter Weise beseitigt werden.

- S36 Bei der Arbeit geeignete Schutzkleidung tragen.  
 S37 Geeignete Schutzhandschuhe tragen.  
 S38 Bei unzureichender Belüftung Atemschutzgerät anlegen.  
 S39 Schutzbrille/Gesichtsschutz tragen.  
 S40 Fußboden und verunreinigte Gegenstände mit.....reinigen (vom Hersteller anzugeben).  
 S41 Explosions- und Brandgase nicht einatmen.  
 S42 Beim Räuchern/Versprühen geeignetes Atemschutzgerät anlegen (geeignete Bezeichnung(en) vom Hersteller anzugeben).  
 S43 Zum Löschen.....(vom Hersteller anzugeben) verwenden (wenn Wasser die Gefahr erhöht, anfügen: Kein Wasser verwenden).  
 S45 Bei Unfall oder Unwohlsein sofort Arzt zuziehen (wenn möglich, dieses Etikett vorzeigen).  
 S46 Bei Verschlucken sofort ärztlichen Rat einholen und Verpackung oder Etikett vorzeigen.  
 S47 Nicht bei Temperaturen über.....°C aufbewahren (vom Hersteller anzugeben).  
 S48 Feucht halten mit...(geeignetes Mittel vom Hersteller anzugeben).  
 S49 Nur im Originalbehälter aufbewahren.  
 S50 Nicht mischen mit.....(vom Hersteller anzugeben).  
 S51 Nur in gut gelüfteten Bereichen verwenden.  
 S52 Nicht großflächig für Wohn- und Aufenthaltsräume zu verwenden.  
 S53 Exposition vermeiden - vor Gebrauch besondere Anweisungen einholen.  
 S56 Diesen Stoff und seinen Behälter der Problemabfallentsorgung zuführen.  
 S57 Zur Vermeidung einer Kontamination der Umwelt geeigneten Behälter verwenden.  
 S59 Information zur Wiederverwendung/Wiederverwertung beim Hersteller/Lieferanten erfragen.  
 S60 Dieser Stoff und sein Behälter sind als gefährlicher Abfall zu entsorgen.  
 S61 Freisetzung in die Umwelt vermeiden. Besondere Anweisungen einholen / Sicherheitsdatenblatt zu Rate ziehen.  
 S62 Bei Verschlucken kein Erbrechen herbeiführen. Sofort ärztlichen Rat einholen und Verpackung oder dieses Etikett vorzeigen.  
 S63 Bei Unfall durch Einatmen: Verunfallten an die frische Luft bringen und ruhigstellen.  
 S64 Bei Verschlucken Mund mit Wasser ausspülen (nur wenn Verunfallter bei Bewusstsein ist).

#### Kombination der S-Sätze

- S1/2 Unter Verschluss und für Kinder unzugänglich aufbewahren.  
 S3/7 Behälter dicht geschlossen halten und an einem kühlen Ort aufbewahren.  
 S3/9 Behälter an einem kühlen, gut gelüfteten Ort aufbewahren.  
 S3/14 An einem kühlen Ort entfernt von.....aufbewahren (die Stoffe, mit denen Kontakt vermieden werden muss, sind vom Hersteller anzugeben).  
 S3/9/14 An einem kühlen, gut gelüfteten Ort, entfernt von ..... aufbewahren (die Stoffe, mit denen Kontakt vermieden werden muss, sind vom Hersteller anzugeben).  
 S3/9/49 Nur im Originalbehälter an einem kühlen, gut gelüfteten Ort aufbewahren.  
 S3/9/14/49 Nur im Originalbehälter an einem kühlen, gut gelüfteten Ort, entfernt von ..... aufbewahren (die Stoffe, mit denen Kontakt vermieden werden muss, sind vom Hersteller anzugeben).  
 S7/8 Behälter trocken und dicht geschlossen halten.  
 S7/9 Behälter dicht geschlossen an einen gut gelüfteten Ort aufbewahren.  
 S7/47 Behälter dicht geschlossen und nicht bei Temperaturen über ... °C aufbewahren (vom Hersteller anzugeben).  
 S20/21 Bei der Arbeit nicht essen, trinken, rauchen.  
 S24/25 Berührung mit den Augen und der Haut vermeiden.  
 S29/56 Nicht in die Kanalisation gelangen lassen.  
 S36/37 Bei der Arbeit geeignete Schutzhandschuhe und Schutzkleidung tragen.  
 S36/39 Bei der Arbeit geeignete Schutzkleidung und Schutzbrille/Gesichtsschutz tragen.  
 S37/39 Bei der Arbeit geeignete Schutzhandschuhe und Schutzbrille/Gesichtsschutz tragen.  
 S36/37/39 Bei der Arbeit geeignete Schutzkleidung, Schutzhandschuhe und Schutzbrille / Gesichtsschutz tragen.  
 S47/49 Nur im Originalbehälter bei einer Temperatur von nicht über.....°C (vom Hersteller anzugeben) aufbewahren.

### 7.3.3.4 Gefahrensymbole

ACHTUNG: Die Gefahrstoffverordnung verwendet zum Teil andere Begriffe wie die GHS-Kennzeichnung. So spricht die Gefahrstoffverordnung beispielsweise von entzündlichen Stoffen, die GHS-Kennzeichnung aber von entzündbaren Stoffen! Außerdem sind die Einstufungskriterien, z. B. Temperaturgrenzen oder Grenzwerte für die Einstufung in Giftigkeitskategorien unterschiedlich! Für die Kennzeichnung sind die Einstufungskriterien nach der GHS-Kennzeichnung zu verwenden.

#### feuergefährliche Stoffe:

##### entzündbare Stoffe



Die so gekennzeichneten Gebinde können bei Ergänzung durch das Signalwort „Gefahr“ folgende Stoffe enthalten:

1. ein extrem entzündbares Gas oder Aerosol (z. B. Wasserstoff, Acetylen, Propan),
2. eine leicht oder extrem entzündbare Flüssigkeit (einschließlich ihres Dampfes) mit einem Flammpunkt von maximal 23 °C (z. B. Lösungsmittel wie Aceton, Ethanol, Diethylether, Benzin),
3. einen entzündbaren Feststoff,
4. einen selbsterzetzlichen Stoff, der bei Erwärmung einen Brand verursachen kann (z. B. einige Peroxide),
5. einen Stoff, der sich bei Berührung mit Luft innerhalb von 5 Minuten selbst entzündet (z. B. weißer Phosphor),
6. einen Stoff, der selbsterhitzungsfähig ist und in Brand geraten kann,
7. einen Stoff, der bei Berührung mit Wasser entzündbare Gase entwickelt, die sich spontan entzünden (z. B. Natrium, Kalium).

Die so gekennzeichneten Gebinde können bei Ergänzung durch das Signalwort „Achtung“ folgende Stoffe enthalten:

1. ein entzündbares Gas oder Aerosol,
2. eine entzündbare Flüssigkeit mit einem Flammpunkt zwischen 23 und 60 °C,
3. einen selbsterzetzlichen Stoff, der bei Erwärmung einen Brand verursachen kann,
4. einen Stoff, der in großen Mengen selbsterhitzungsfähig ist und in Brand geraten kann,
5. einen Stoff, der bei Berührung mit Wasser langsam entzündbare Gase entwickelt.

#### explosive Stoffe / Gemische und Erzeugnisse mit Explosivstoffe



Die so gekennzeichneten Gebinde können bei Kennzeichnung mit dem Signalwort „Gefahr“ instabile und explosive Stoffe enthalten. Es besteht eine große Gefahr der Explosion mit Freisetzen von Feuer,

einer Druckwelle, Splintern, Spreng- und Wurfstücken. Bei Kennzeichnung mit dem Signalwort „Achtung“ besteht eine Gefahr durch Feuer oder Splitter, Spreng- und Wurfstücke.

### oxidierende Stoffe



Die so gekennzeichneten Gebinde können bei Kennzeichnung mit dem Signalwort „Gefahr“ folgende Stoffe enthalten:

1. oxidierende Gase, die einen Brand verursachen oder verstärken können,
  2. oxidierende Flüssigkeiten, die einen Brand oder eine Explosion verursachen oder verstärken können,
  3. oxidierende Feststoffe, die einen Brand oder eine Explosion verursachen oder verstärken können.
- 
1. Die so gekennzeichneten Gebinde können bei Kennzeichnung mit dem Signalwort „Achtung“ oxidierende Flüssigkeiten oder Feststoffe enthalten, die einen Brand verstärken können.

### gesundheitsgefährdende Stoffe

#### a) akut schädigende Stoffe



Die so gekennzeichneten Gebinde müssen mit dem Signalwort „Gefahr“ ergänzt werden, sie können Gase, Flüssigkeiten oder Feststoffe enthalten, die beim Verschlucken und/oder beim Einatmen und/oder bei Hautkontakt tödlich wirken. Die Einstufung in die Kategorien „Lebensgefährlich bei ...“ bzw. „Giftig bei ...“ erfolgt aufgrund der Mengen oder Konzentrationen aufgenommener Stoffe, die zum Tode führen (z. B. Letale Dosis 50, Letale Konzentration 50)



Die so gekennzeichneten Gebinde müssen mit dem Signalwort „Achtung“ ergänzt werden, sie können Gase, Flüssigkeiten oder Feststoffe enthalten, die eine gesundheitsschädliche Wirkung haben.



Die so gekennzeichneten Gebinde können bei Ergänzung mit dem Signalwort „Gefahr“ folgende Stoffe enthalten:

2. Stoffe, die beim Einatmen Allergien, asthmaartige Symptome oder Atembeschwerden verursachen können,
3. Stoffe mit spezifischer Zielorgantoxizität, die nach einmaliger, wiederholter oder länger andauernder Exposition spezifische nichtletale Wirkungen auf die menschliche Gesundheit hervorrufen, also Organe schädigen, unabhängig davon, ob diese Wirkungen reversibel oder irreversibel sind, unmittelbar und/oder verzögert auftreten (z. B. Erblindung nach Einnahme von Methanol),
4. flüssige oder feste Stoffe, die beim Verschlucken und Eindringen in die Atemwege tödlich sein können (Stoffe mit Aspirationsgefahr),

Die so gekennzeichneten Gebinde können bei Ergänzung mit dem Signalwort „Achtung“ Stoffe mit spezifischer Zielorgantoxizität enthalten, die nach einmaliger, wiederholter oder länger anhaltender Exposition spezifische nichtletale Wirkungen auf die menschliche Gesundheit hervorrufen können, also Organe schädigen können, unabhängig davon, ob diese Wirkungen reversibel oder irreversibel sind, unmittelbar und/oder verzögert auftreten (z. B. Erblindung nach Einnahme von Methanol),



Die so gekennzeichneten Gebinde müssen mit dem Signalwort „Achtung“ ergänzt werden, sie können folgende Stoffe enthalten:

1. Stoffe, die bei Hautkontakt allergische Hautreaktionen verursachen können,
2. Stoffe, die die Atemwege reizen,
3. Stoffe, die Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen,

**b) Stoffe, deren toxische Wirkung sich erst nach Tagen, Wochen, Monaten oder Jahren zeigen kann**



Die so gekennzeichneten Gebinde können bei Kennzeichnung mit dem Signalwort „Gefahr“ folgende als CMR-Stoffe bezeichneten Stoffe enthalten:

1. cancerogene Stoffe (Stoffe, die nachweislich beim Menschen oder im Tierversuch Krebs erzeugen können = karzinogene Stoffe),
2. mutagene Stoffe (Stoffe, die nachweislich beim Menschen oder im Tierversuch vererbare genetische Defekte verursachen können),
3. reproduktionstoxische Stoffe (Stoffe, die nachweislich beim Menschen die Fruchtbarkeit beeinträchtigen (fortpflanzungsgefährdend) oder das Kind im Mutterleib schädigen können (reproduktionstoxisch)).

Die so gekennzeichneten Gebinde können bei Kennzeichnung mit dem Signalwort „Achtung“ folgende als vermutliche CMR-Stoffe bezeichneten Stoffe enthalten:

1. vermutlich cancerogene Stoffe (Stoffe, die im begründeten Verdacht stehen, beim Menschen Krebs zu erzeugen zu können),
2. vermutlich mutagene Stoffe (Stoffe, die im begründeten Verdacht stehen, beim Menschen vererbare genetische Defekte verursachen zu können),
3. vermutlich reproduktionstoxische Stoffe (Stoffe, die im begründeten Verdacht stehen, beim Menschen die Fruchtbarkeit beeinträchtigen oder das Kind im Mutterleib schädigen zu können).

**gewebe- und metallzerstörende Stoffe**



Die so gekennzeichneten Gebinde müssen mit dem Signalwort „Gefahr“ ergänzt werden. Sie können folgende Stoffe enthalten:

1. Stoffe, die schwere Verätzungen bewirken und die Haut zerstören können,
2. Stoffe, die schwere Augenschäden verursachen können,
3. Stoffe, die gegenüber Metallen korrosiv sein können.



Die so gekennzeichneten Gebinde müssen mit dem Signalwort „Achtung“ ergänzt werden. Sie können folgende Stoffe enthalten:

1. Stoffe, die Hautreizungen und –entzündungen verursachen können,
2. Stoffe, die schwere Augenreizungen verursachen können.

#### umweltgefährliche Stoffe



Die so gekennzeichneten Gebinde können bei Ergänzung mit dem Kennwort „Achtung“ Stoffe enthalten, die sehr giftig für Wasserorganismen sind, zum Teil auch mit langfristiger Wirkung.

Die so gekennzeichneten Gebinde können ohne Ergänzung mit einem Kennwort Stoffe enthalten, die giftig für Wasserorganismen sind, mit langfristiger Wirkung.

#### Gase



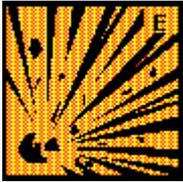
Die so gekennzeichneten Gebinde müssen mit dem Signalwort „Achtung“ ergänzt werden. Sie können folgende Gase enthalten:

1. verdichtetes Gas, das unter Druck steht (z. B. Stickstoff, Argon, Sauerstoff, Wasserstoff). Bei Erwärmung kann der Behälter explodieren.
2. verflüssigtes Gas, das unter Druck steht (z. B. Propan, Butan, Kohlendioxid). Bei Erwärmung kann der Behälter explodieren.
3. tiefgekühltes, verflüssigtes Gas, das Kälteverbrennungen oder –verletzungen verursachen kann (z. B. flüssiger Stickstoff, flüssiges Helium). Bei Erwärmung kann der Behälter explodieren.

4. gelöstes Gas, das unter Druck steht (z. B. Acetylen). Bei Erwärmung kann der Behälter explodieren.

Weil teilweise noch die bisher gültigen Gefahrensymbole verwendet werden, werden diese der Vollständigkeit halber noch aufgeführt:

feuergefährliche Stoffe:



explosionsgefährlich



brandfördernd



hochentzündlich



leichtentzündlich

entzündlich (ohne Gefahrensymbol)

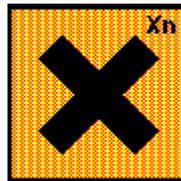
gesundheitsgefährdende Stoffe:



sehr giftig



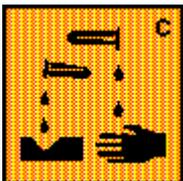
giftig



gesundheitsschädlich

krebserzeugend - erbgutverändernd - fortpflanzungsgefährdend - sensibilisierend - sonst chronisch schädigend (Gefahrensymbol „Giftig“)

gewebezerstörende Stoffe:



ätzend



reizend

umweltgefährliche Stoffe:



umweltgefährlich

### 7.3.4 nicht notwendige Kennzeichnung

Chemikalien, die sich im Arbeitsgang befinden, brauchen nicht gekennzeichnet zu werden, sofern den beteiligten Beschäftigten bekannt ist, um welche Stoffe oder Zubereitungen es sich handelt, wenn also sichergestellt ist, dass mindestens eine anwesende Person Auskunft über die verwendeten Gefahrstoffe geben kann, die sich im Arbeitsgang befinden. Ist diese Auskunftsmöglichkeit nicht gegeben,

müssen mit Gefahrstoffen beschickte Apparaturen vollständig gekennzeichnet werden. Das ist z. B. der Fall, wenn der Arbeitsplatz in der Mittagspause oder abends verlassen wird.

### **7.3.5 Kennzeichnung von Stoffgemischen**

Alle Gefäße, die Gemische mehrerer Stoffe (Stoffgemische) enthalten, müssen mit der Angabe aller Stoffe gekennzeichnet werden, deren Gehalt mehr als 1 Prozent des Stoffgemisches ausmachen. Zusätzlich müssen alle krebserzeugenden, fortpflanzungsgefährdenden, erbgutschädigenden und sehr giftigen Gefahrstoffe angegeben werden, soweit dies bekannt ist.

### **7.3.6 Kennzeichnung noch nicht geprüfter Chemikalien**

Bei noch nicht geprüften Chemikalien, neu synthetisierten Substanzen in der chemischen Forschung sowie Reaktionslösungen und Reaktionsabfällen ist von einem Gefahrstoff auszugehen, solange die Ungefährlichkeit nicht nachgewiesen wurde. Diese Stoffe sind mindestens mit einem Aufkleber „Achtung - noch nicht vollständig geprüfter Stoff“ und den P-Sätzen 260 und 262 zu kennzeichnen.

## **7.4 Aufbewahrung von Gefahrstoffen**

### **7.4.1 Aufbewahrung**

Alle Gefahrstoffe, die sich auf dem Gelände der Technischen Universität befinden, werden aufbewahrt. Gefahrstoffe sind so aufzubewahren, dass sie die menschliche Gesundheit und die Umwelt nicht gefährden. Sie sollten grundsätzlich übersichtlich geordnet, verschlossen, trocken und vor Licht geschützt an einem kühlen Ort aufbewahrt werden. Auf die Kennzeichnungspflicht wird hingewiesen! In Laboratorien dürfen nur die für den Fortgang der Arbeiten notwendigen Gefahrstoffe und Gefahrstoffmengen aufbewahrt werden.

Gefahrstoffe dürfen nur übersichtlich geordnet, nicht in unmittelbarer Nähe von Arznei-, Lebens- oder Futtermitteln einschließlich der Zusatzstoffe und nicht in Gefäßen aufbewahrt werden, die üblicherweise zur Aufnahme von Speisen und Getränken benutzt werden (z. B. Getränkeflaschen, Marmeladengläser). Zum Verzehr bestimmte Lebensmittel dürfen nur so aufbewahrt werden, dass sie mit Gefahrstoffen nicht in Berührung kommen können. Sie dürfen deshalb nicht in Laboratorien aufbewahrt werden. Chemikalien sollten nach Möglichkeit in den Originalherstellerpackungen behalten werden, da die vorgeschriebenen Etiketten durch kennzeichnende Symbole, Sicherheits- und Gefahrenhinweise wertvolle Informationen liefern.

Alle Behälter, in denen Gefahrstoffe aufbewahrt werden, müssen aus geeigneten Werkstoffen bestehen. Bei der Aufbewahrung von organischen Lösungsmitteln in Kunststoffbehältern ist die Möglichkeit der Versprödung und der Diffusion zu beachten. Es ist davon auszugehen, dass Kunststoffflaschen nach ca. 5 Jahren nicht mehr verwendungsfähig sind. Aluminiumgefäße dürfen nicht für chlorkohlenwasserstoffhaltige und Glasgefäße nicht für flusssäurehaltige Stoffe bzw. Zubereitungen verwendet werden. Soweit möglich, sollten für besonders gefährliche Gefahrstoffe (z. B. Brom, Chlorsulfonsäure, Diethylether wegen des hohen Dampfdrucks und Explosionsgefahr bei Behälterbruch) kunststoffummantelte Glasflaschen oder Sicherheitskannen benutzt werden.

Gefahrstoffgebilde dürfen in Regalen, Schränken usw. nur bis zu einer solchen Höhe und so aufbewahrt werden, dass sie sicher entnommen und abgestellt werden können. Im Allgemeinen sollen Behältnisse, die nur mit beiden Händen getragen werden können, nicht über Griffhöhe (170 cm) abgestellt und entnommen werden. Vollgestopfte Regale bergen die Gefahr des versehentlichen Herunterreißen von Flaschen in sich! Chemikaliengebilde dürfen in Laboratorien nicht auf dem Fußboden abgestellt werden. Das gilt auch für leere Gebilde! Ausnahmen gelten nur in Lagerräumen, wenn die Gebilde unzerbrechlich sind (z. B. Metallfässer, Kunststoffkanister).

Gefahrstoffe und Druckgasflaschen dürfen außerhalb von Laboratorien nur in speziellen Lagerräumen oder in Sicherheitsschränken aufbewahrt werden. Die Räume und die Sicherheitsschränke müssen verschlossen sein. Flucht- und Rettungswege dürfen durch das Aufstellen von Sicherheitsschränken nicht verstellt oder übermäßig eingengt werden. Es ist eine Mindestfluchtbreite von 100 cm zu gewährleisten.

Chemikaliengebinde sind vor übermäßiger Erwärmung (z. B. Sonnenstrahlung, Heizung) geschützt aufzubewahren. Chemikalien, die sich unter Lichteinwirkung zersetzen oder gefährliche Stoffe bilden können (z. B. Peroxidbildung bei Ethern), müssen lichtgeschützt (mindestens in braunen Flaschen) aufbewahrt werden.

Hochentzündliche, leichtentzündliche und entzündliche Gefahrstoffe dürfen in Laboratorien nur in Gefäßen bis zu 1 Liter Volumen aufbewahrt werden. Die Anzahl und das Fassungsvermögen der Behälter mit brennbaren Flüssigkeiten sind auf das unbedingt notwendige Maß zu beschränken. Zerbrechliche Gebinde (z. B. Glasflaschen) bis zu 5 Liter Volumen und unzerbrechliche Gebinde (z. B. Kunststoff- oder Metallkanister) bis 10 Liter Volumen sind zulässig, wenn sie an einem geschützten Ort aufbewahrt und gegen unbeabsichtigtes Zerstören sicher geschützt sind, wenn sie also z. B. in speziellen Haltern von Chromatographieanlagen oder in Sicherheitsschränken aufbewahrt werden. Kunststoffbehälter mit einem Nennvolumen über 5 l sind für brennbare Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt bis 35 °C nur geeignet, wenn sie elektrostatisch ausreichend ableitfähig sind. Bewährt haben sich handelsübliche Sicherheitsbehälter aus Edelstahl mit Flammenrückschlagsperre und Druckentlastung oder ableitfähige Kunststoffgebände.

Für leichtentzündliche Spülflüssigkeiten im Handgebrauch dürfen grundsätzlich keine Behältnisse aus dünnwandigem Glas verwendet werden. Als Spülflüssigkeiten werden beispielsweise Aceton oder Isopropanol verwendet. Geeignet sind Spritzflaschen aus Kunststoff. Toxikologisch oder anderweitig bedenkliche Flüssigkeiten, wie etwa Chlorkohlenwasserstoffe oder Ether, sind für die Aufbewahrung in Kunststoffspritzflaschen nicht geeignet. Bei Spritzflaschen aus Kunststoff besteht die Gefahr des Nachtropfens.

Ätzende, gesundheitsschädliche und reizende Gefahrstoffe sind so aufzubewahren, dass sie dem unmittelbaren Zugriff durch Betriebsfremde nicht zugänglich sind.

Sehr giftige, giftige, krebserzeugende, erbgutverändernde und fortpflanzungsgefährdende Gefahrstoffe und Stoffe, die dem Betäubungsmittelgesetz oder dem Sprengstoffgesetz unterliegen, müssen unter Verschluss (z. B. in einem verschließbaren Schrank oder verschließbaren Raum oder in einem geöffneten Raum bei Aufsicht durch eine fachkundige Person) aufbewahrt werden. Sie dürfen nur von fachkundigen, unterwiesenen und zuverlässigen Beschäftigten ausgegeben oder verwendet werden.

Gefahrstoffe, die gesundheitsgefährdende Dämpfe abgeben, sind an dauerabgesaugten Orten (z. B. Sicherheitsschränke, spezielle Chemikalienschränke, Lagerräume) aufzubewahren.

Stoffe, die sich bei Raumtemperatur durch Einwirkung von Luft oder Feuchtigkeit selbst entzünden können, sind getrennt von anderen explosionsgefährlichen, brandfördernden, hochentzündlichen, leichtentzündlichen und entzündlichen Stoffen sowie gegen Brandübertragung gesichert aufzubewahren. Werden sie laufend benötigt, dürfen sich begrenzte Mengen, die für den unmittelbaren Fortgang der Arbeit notwendig sind, während der Arbeitszeit am Arbeitsplatz befinden. Stoffe, die sich bei Einwirken von Luft oder Feuchtigkeit selbst entzünden können, sind z. B. Metallalkyle, Lithiumaluminiumhydrid, weißer Phosphor.

Hochkonzentrierte Salpetersäure und Perchlorsäure sind so aufzubewahren, dass bei Flaschenbruch keine gefährlichen Reaktionen möglich sind. Dies wird z. B. durch Einstellen in bruchsichere und resistente Übergefäße erreicht.

Mindestens einmal jährlich, auf jeden Fall aber nach Beendigung von Studien-, Bachelor-, Master-, Diplom-, Doktorarbeiten und ähnlichen Tätigkeiten sowie nach Praktikumsende, muss der Chemikalienbestand jedes Laboratoriums überprüft werden. Chemikalien, die nicht mehr benötigt werden, müssen aus den Laboratorien entfernt werden. Gebrauchsfähige Chemikalien sind in ein Chemikalienlager oder in einem Sicherheitsschrank zu lagern, nicht mehr gebrauchsfähige oder benötigte Chemikalien sind der Abteilung 31, Herrn Weller (Tel. 4698), zur Entsorgung anzumelden.

Der Weiterverwendung von Chemikalien ist der Vorzug vor der Entsorgung zu geben. Voraussetzung für eine Weiterverwendung ist die saubere und sorgfältige Entnahme der Stoffe ohne Verunreinigung des restlichen Inhaltes.

Entleerte Behälter, die Gefahrstoffe, insbesondere brennbare Flüssigkeiten, enthielten, sind vor ihrer Entsorgung oder anderweitiger Weiterverwendung ausreichend zu reinigen. Sollen ungereinigte Gebinde entsorgt werden, sind diese unter der entsprechenden Abfallschlüsselnummer zu entsorgen. Bei der Verwendung als Abfallbehälter für Lösemittel ist auf die Gefährdung durch die explosionsfähige Atmosphäre im Inneren des Behälters zu achten. Insbesondere ungereinigte Behälter für Lösemittel können eine explosionsfähige Atmosphäre enthalten.

Bei der Aufbewahrung wird unterschieden in

1. sich im Arbeitsgang befinden
2. Bereitstellen
3. Lagern.

#### **7.4.2 Sich im Arbeitsgang befinden**

Chemikalien befinden sich im Arbeitsgang, wenn sie als Ausgangsstoffe oder Zwischenprodukte in laborüblichen Apparaturen und Gefäßen zum Einsatz kommen. Typische Beispiele sind

1. Zugabe von Chemikalien,
2. Rühren, Erhitzen, Kühlen von Chemikalien (-gemischen),
3. Destillationen,
4. Extrahieren, Ausschütteln,
5. Filtrieren, Absaugen,
6. alle analytischen Arbeiten, bei denen Stoffe untersucht werden,
7. Arbeiten mit strömenden Gasen,
8. Arbeiten unter Über- oder Unterdruck.

Gefahrstoffe, die sich im Arbeitsgang befinden,

1. brauchen nicht gekennzeichnet zu werden, sofern den beteiligten Beschäftigten bekannt ist, um welche Stoffe oder Zubereitungen es sich handelt, wenn also sichergestellt ist, dass mindestens eine anwesende Person über die Chemikalien Auskunft geben kann, die sich im Arbeitsgang befinden,
2. müssen vollständig gekennzeichnet werden, wenn die Person, die an der Apparatur arbeitet, nicht anwesend ist und keine weitere anwesende Person Angaben über die Chemikalien geben kann.

#### **7.4.3 Bereitstellen**

Bereitstellen ist das kurzzeitige vorübergehende Aufbewahren von Gefahrstoffen für längstens 24 Stunden in der für den Fortgang der Arbeiten erforderlichen Menge in der Nähe von Arbeitsplätzen, die abgefüllt, bearbeitet, transportiert, verarbeitet oder vernichtet werden sollen. Bereitgestellt wird eine Chemikalie, wenn sie sich zurzeit nicht im Arbeitsgang befindet, aber noch am selben oder folgenden Arbeitstag in einen Arbeitsprozess gegeben wird. Bereitgestellt wird eine Chemikalie z. B. dann, wenn sie

1. täglich als Vergleichssubstanz oder Lösungsmittel in der Spektroskopie eingesetzt wird,
2. in einem Laboratorium aufbewahrt wird, um noch am gleichen oder folgenden Tag für eine Synthese benutzt zu werden.

Als Bereitstellen gilt auch das Aufbewahren in Mengen von nicht mehr als 1 kg bzw. 1 Liter an Arbeitsplätzen. Er beschränkt sich außerdem auf regelmäßig oder häufig benutzte Gefahrstoffe sowie für bevorstehende Arbeiten bereitgestellte Gefahrstoffe. Bereitgestellte Chemikalien müssen vollständig gekennzeichnet sein.

#### **7.4.4 Lagern**

Lagern ist das Aufbewahren zur späteren Verwendung sowie zur Abgabe an andere. Es schließt die Bereitstellung zur Beförderung ein, wenn die Beförderung nicht binnen 24 Stunden nach der Bereitstellung oder am darauf folgenden Werktag erfolgt. Ist dieser Werktag ein Samstag, so endet die Frist mit Ablauf des nächsten Werktages, also in der Regel am Montagabend. Gelagert wird eine Chemikalie, die weder zurzeit noch am gleichen oder folgenden Arbeitstag benutzt wird bzw. werden wird. Gelagert werden alle Chemikalien, die

1. sich nicht im Arbeitsgang befinden oder
2. nicht bereitgestellt sind.

Chemikalien, die gelagert werden, müssen „vollständig“ gekennzeichnet werden. Chemikalien dürfen in Laboratorien grundsätzlich nicht gelagert werden! Das Lagern von Chemikalien ist nur in speziellen Lagerräumen oder Sicherheitsschränken zulässig.

### 7.5 Transport von Gefahrstoffen

Beim Transport von Gefahrstoffen können Gefährdungen durch Gase, Dämpfe, Schwebstoffe, Spritzer oder freigesetzte Gefahrstoffmengen entstehen. Zerbrechliche Chemikaliengebilde (insbesondere Glasflaschen) müssen außerhalb von Laboratorien (z. B. über den Flur oder durch das Treppenhaus) in Eimern, Tragekörben oder Tragekästen, die ein sicheres Halten und Tragen ermöglichen, oder mit Chemikalienwagen transportiert werden. Die Chemikalienwagen sollen möglichst eine Auffangwanne besitzen. Gefahrstoffe dürfen in Aufzügen nicht zusammen mit Personen transportiert werden.

Zerbrechliche Gefahrstoffgebilde müssen beim Tragen am Behälterboden unterstützt werden. Gebinde, die aus Kühlgeräten oder kalten Räumen entnommen werden, können infolge Beschlagens sehr glatt oder rutschig sein. Chemikalienflaschen dürfen nicht an ihrem Hals oder gar am Verschluss getragen werden, da Spannungen oder andere Defekte im Glas zum Abreißen des Halses führen können.

Druckgasflaschen dürfen nur auf speziellen Gasflaschenwagen mit geschlossener Sicherheitskette und nur mit aufgeschraubter Schutzkappe zur Ventilsicherung transportiert werden.

Werden Gefahrstoffe über öffentliche Wege (Straße, Eisenbahn usw.) transportiert, z. B. zum Zweck der Entsorgung, sind besondere Bestimmungen der Gefahrgutverordnung Straße und Eisenbahn (GGVSE) zu beachten. Nähere Informationen erhalten Sie bei der Stabsstelle für Arbeitssicherheit und Gesundheitsvorsorge.

### 7.6 Umfüllen von Gefahrstoffen

Beim Umfüllen von Gefahrstoffen können Gefährdungen durch Gase, Dämpfe, Schwebstoffe, Spritzer von Gefahrstoffen entstehen. Insbesondere das Umfüllen größerer Mengen kann zu erheblichen Gefährdungen führen. Beim Umfüllen gefährlicher Stoffe aus Fässern, Ballons, Kanistern und anderen Behältern sind geeignete Einrichtungen zu benutzen.

Bei jedem Umfüllen von Gefahrstoffen besteht die Gefahr des Verschüttens, auch auf Haut und Kleidung, des Einatmens von Dämpfen oder Stäuben und der Bildung zündfähiger Gemische. Es muss deshalb persönliche Schutzausrüstung getragen werden, die vor allen Gefahren sicher schützt, mindestens Schutzbrille, Laborkittel, lange Hose, festes Schuhwerk und geeignete Schutzhandschuhe. Vor dem Umfüllen von Gefahrstoffen muss mindestens an Hand des Etiketts überprüft werden, welche Gefahren von dem Gefahrstoff ausgehen. Auf dem Etikett befindliche Angaben über die Gefährlichkeit eines Gefahrstoffes (H-Sätze) und die angegebenen Sicherheitsratschläge (P-Sätze) sind Bestandteil dieser Betriebsanweisung und unbedingt zu beachten.

Gefahrstoffe, die gefährliche Dämpfe, Gase und Stäube abgeben können (z. B. Brom), dürfen nur unter dem Abzug umgefüllt werden. Beim Umfüllen gefährlicher Stoffe aus Fässern, Ballons, Kanistern und anderen Behältern sind geeignete Vorrichtungen (z. B. Pumpen, Ballonkipper, Sicherheitsheber, selbstschließende Ventile) zu benutzen. Damit soll ein Verspritzen oder Verschütten von Gefahrstoffen vermieden werden. Behälter in Fass- oder Ballonkippern müssen gegen das Herausgleiten beim Kippen gesichert sein.

Fässer und Kannen für brennbare Flüssigkeiten dürfen mit einem Überdruck bis zu 0,2 bar entleert werden, wenn

1. das Fass oder die Kanne für die vorgesehene Druckbeanspruchung geeignet ist und das Fass oder die Kanne sich in einwandfreiem Zustand befinden,
2. die Druckzuleitung bei Anwendung eines Überdruckes bis 0,2 bar mit einem Manometer und einem Sicherheitsventil oder einer anderen Sicherheitseinrichtung ausgerüstet ist.

Zur Erzeugung des Überdrucks zum Abfüllen brennbarer Flüssigkeiten dürfen nur Inertgase (z. B. Stickstoff, Edelgase, Kohlendioxid) verwendet werden.

Beim direkten Umfüllen sind stets Flüssigkeits- oder Pulvertrichter zu verwenden, auch wenn die persönliche Geschicklichkeit ein subjektiv sicheres Manipulieren ohne diese Hilfsmittel zulässt. Es ist darauf zu achten, dass die Luft beim Eingießen ungehindert entweichen kann. Hierzu kann beispielsweise ein gläserner Haken zwischen Trichter und Öffnung eingehängt werden, so dass keine Blasen aus dem Trichter hochgedrückt werden. Für Feststoffe haben sich Feststofftrichter aus Kunststoff oder Glas mit angeformtem Kern bewährt, die direkt in eine Hülse eines Kolbens eingesetzt werden können.

Beim Umfüllen von Flüssigkeiten, insbesondere toxischer oder ätzender Art, ist das Unterstellen von Wannen, beim Umfüllen von Feststoffen eine Papierunterlage sinnvoll.

Die Dimensionen von Vorratsgefäß, Trichter und Auffanggefäß müssen zueinander passen. So ist z. B. das Umfüllen von 1 ml Flüssigkeit aus einer 2,5 Liter Flasche in einen 10 ml-Standzylinder kaum gefahrlos möglich! Für die Entnahme kleiner Flüssigkeitsmengen sollte stets eine genügende Anzahl von Pipetten am Arbeitsplatz verfügbar sein. Es ist unter allen Umständen verboten, Flüssigkeiten durch Ansaugen mit dem Mund zu pipettieren. Es müssen hierzu Pipettierhilfen (z. B. Peleusball) verwendet werden. Gießt man Flüssigkeiten aus einer Flasche, so ist die Flasche so zu halten, dass die Beschriftung bei waagerechter Lage oben ist, damit eventuell herunter fließende Tropfen das Etikett oder die Beschriftung nicht beschädigen. Stopfen und Verschlüsse dürfen nicht mit dem unteren Teil auf den Tisch gelegt werden, da hierbei der Tisch von der Chemikalie verunreinigt werden kann. Feste Stoffe darf man den Pulverflaschen nur mit einem sauberen Spatel oder Löffel entnehmen. Einem Gebinde entnommene Chemikalien dürfen nicht in diese zurückgegeben werden, da sonst bei Verwechslungen oder Verunreinigungen der gesamte Vorrat verunreinigt werden könnte.

Beim Umfüllen brennbarer Stoffe aus Gefäßen von mehr als 2,5 Litern sind Vorratsbehälter und zu befüllendes Gefäß auf gleichem Potential zu erden, um Zündungen infolge elektrostatischer Aufladungen zu vermeiden.

### **7.7 Herstellungs- und Verwendungsverbote**

Sofern in dieser Betriebsanweisung Herstellungs- und Verwendungsverbote für bestimmte Gefahrstoffe ausgesprochen werden, gelten diese Verbote nicht für deren Entfernen und Entsorgen. Herstellungs- und Verwendungsverbote gelten insbesondere für Gefahrstoffe, die

1. krebserzeugende oder erbgutverändernde Eigenschaften haben,
2. sehr giftig oder giftig sind oder
3. die Umwelt schädigen können.

Soweit in der Gefahrstoffverordnung nicht etwas anderes bestimmt ist, gelten die Herstellungs- und Verwendungsverbote nicht für Forschungs-, Analyse- und wissenschaftliche Lehrzwecke in den dafür erforderlichen Mengen. Folgende Stoffe dürfen nicht mehr hergestellt oder verwendet werden (Gefahrstoffverordnung, Chemikalien-Verbotsverordnung):

### **Besonders gefährliche krebserzeugende Gefahrstoffe**

Die folgenden Gefahrstoffe dürfen nur in geschlossenen Anlagen hergestellt oder verwendet werden:

1. 6-Amino-2-ethoxynaphthalin
2. Bis(chlormethyl)ether
3. Cadmiumchlorid (in einatembare Form)
4. Chlormethyl-methylether
5. Dimethylcarbamoylchlorid
6. Hexamethylphosphorsäuretriamid
7. 1,3-Propanolol
8. N-Nitrosaminverbindungen, ausgenommen solche N-Nitrosaminverbindungen, bei denen sich in entsprechenden Prüfungen kein Hinweis auf krebserzeugende Wirkungen ergeben hat,
9. Tetranitromethan
10. 1,2,3-Trichlorpropan
11. Dimethyl- und Diethylsulfat.

### **7.8 Schutz vor Chemikalieneinnahme in den Körper**

### 7.8.1 Rangfolge von Schutzmaßnahmen

Das Arbeitsverfahren ist so zu gestalten, dass gefährliche Gase, Dämpfe oder Schwebstoffe nicht frei werden, soweit dies nach dem Stand der Technik möglich ist. Das Arbeitsverfahren ist ferner so zu gestalten, dass die Beschäftigten mit gefährlichen festen oder flüssigen Stoffen oder Zubereitungen nicht in Hautkontakt kommen, soweit dies nach dem Stand der Technik möglich ist.

Kann durch diese Maßnahmen nicht unterbunden werden, dass gefährliche Gase, Dämpfe oder Schwebstoffe frei werden, sind die Stoffe an ihrer Austritts- oder Entstehungsstelle zu erfassen und anschließend ohne Gefahr für Mensch und Umwelt zu entsorgen, soweit dies nach dem Stand der Technik möglich ist. Ist auch eine vollständige Erfassung der Stoffe nicht möglich, so sind die dem Stand der Technik entsprechenden Lüftungsmaßnahmen zu treffen.

In Laboratorien wird dieses Schutzziel z. B. durch geeignete Abzüge und raumlufttechnische Anlagen erreicht, in anderen Arbeitsbereichen durch Maßnahmen wie z. B. Tischabsaugungen oder flexible Absaugvorrichtungen.

Bei jedem Umgang mit Chemikalien besteht die Gefahr, dass sie in den Körper aufgenommen werden können. Dabei sind drei Aufnahmewege möglich:

1. über den Mund und Verdauungstrakt (oral),
2. über die Atemwege (inhalativ),
3. durch die Haut (dermal).

### 7.8.2 Schutz vor oraler Chemikalienaufnahme

Eine orale Chemikalienaufnahme, also eine Aufnahme über den Mund und den Verdauungstrakt, lässt sich in chemischen Laboratorien besonders leicht verhindern. Entscheidend ist,

1. in chemischen Laboratorien NICHT zu essen oder zu trinken,
2. in chemischen Laboratorien KEINE Lebensmittel aufzubewahren,
3. in chemischen Laboratorien KEINE Gefäße für Lebensmittel zu verwenden, die im Labor üblicherweise für die Aufbewahrung von Chemikalien benutzt werden,
4. Chemikalien NICHT in Gefäßen aufzubewahren, die üblicherweise für die Aufbewahrung von Lebensmitteln benutzt werden,
5. Flüssigkeiten NICHT durch Ansaugen mit dem Mund zu pipettieren,
6. sich vor dem Essen und Trinken gründlich die Hände zu waschen.

Chemikalien, die oral aufgenommen werden, bleiben oft eine Zeit lang im Verdauungstrakt, bevor sie in den Blutkreislauf aufgenommen werden. Bei Unfällen ist es deshalb notwendig, ein möglichst rasches Erbrechen auszulösen. Das gilt jedoch nicht für bewusstlose Personen und auch nicht für Säuren und Laugen, da diese Stoffe, vor allem bei Aufnahme in konzentrierter Form, Mund, Rachen und Speiseröhre verätzen können. Hier stellt das Trinken von viel Wasser zur Verdünnung die Erste Hilfe dar.

### 7.8.3 Schutz vor dermalen Chemikalienaufnahme

Die Gefährdung durch die Aufnahme von flüssigen, festen und gasförmigen Gefahrstoffen durch die Haut wird von den meisten Beschäftigten nicht erkannt oder als gering erachtet! Dabei ist gerade diese Gefahr ein Hauptproblem der Arbeitssicherheit. Die meisten Berufskrankheiten sind Hautkrankheiten!

Chemikalien, die auf die Haut gelangen, können

1. die Haut selbst schädigen (lokale Wirkung, z. B. Reizungen, Verätzungen, Verspröden der Haut),
2. nach Durchdringen der Haut den Körper an ganz anderen Stellen schädigen (systemische Wirkung),
3. gleichzeitig eine lokale und eine systemische Schädigung hervorrufen.

### Lokale Wirkung

Die Haut stellt gegen wasserlösliche Stoffe in der Regel eine gute Schutzschicht dar, da die Hornschicht lipophile Bestandteile enthält. Schleimhäute (z. B. in der Nase, vor allem aber die Schleimhäute der Augen!) besitzen keine Hornschicht, die wirksam vor Chemikalien schützt. Gelangen ätzende oder reizende Chemikalien auf die Haut, kann es zu Zerstörungen der Haut kommen. Als Erste Hilfe ist das ausdauernde Spülen mit Leitungswasser notwendig. Es muss bei Augen- oder Hautverletzungen mindestens 10 Minuten lang erfolgen. Von der Kontamination mit Chemikalien sind erfahrungsgemäß vor allem die Hände und das Gesicht betroffen. Vor der Kontamination schützt eine geeignete persönliche Schutzausrüstung.

Es wird darauf hingewiesen, dass eine Verschmutzung der Haut auch durch Berührung mit verschmutzter persönlicher Schutzausrüstung erfolgen kann. So können z. B. Chemikalien durch die Hände aufgenommen werden, wenn die Hände am verschmutzten Laborkittel gerieben werden. Die (regelmäßige) Reinigung oder der Ersatz verschmutzter Schutzausrüstung ist deshalb unbedingt notwendig.

### **Systemische Wirkung**

Chemikalien können durch die Haut aufgenommen werden und dann zu schwersten Schädigungen an ganz anderer Stelle im Körper führen (systemische Wirkung) nach Verschmutzungen der Haut mit Flüssigkeiten oder Feststoffen oder durch die Diffusion von Gasen durch die Haut. Fettlösliche Stoffe werden sehr rasch aufgenommen und gelangen dann in die Blutbahn, ohne zuvor in Stoffe mit geringerer Schädigung umgewandelt werden zu können. Bei hautresorptiven Stoffen ist von einer Überschreitung der zulässigen Grenzwerte auszugehen, wenn beim Umgang mit den Gefahrstoffen ein unmittelbarer Hautkontakt besteht.

### **7.8.4 Schutz vor inhalativer Chemikalienaufnahme**

Wegen des Sauerstoffbedarfes des Menschen werden Stoffe, auch Gefahrstoffe, die sich in der Atemluft befinden, ständig in den Körper aufgenommen. Von Gefahrstoffen in atembare Form gehen deshalb besonders große Gefahren aus. Gefahrstoffe in atembare Form sind:

1. Gase,
2. Dämpfe,
3. Aerosole,
4. Stäube.

Sie werden im Folgenden als „Atemgifte“ bezeichnet. Sie können

1. die Atmungsorgane selbst schädigen (lokale Wirkung, z. B. Reizungen, Verätzungen, Lungenödeme, Lungenkrebs),
2. nach Aufnahme in das Blut den Körper an ganz anderen Stellen schädigen (systemische Wirkung),
3. erstickend wirken,
4. gleichzeitig eine lokale und eine systemische Schädigung hervorrufen.

### **Gefahren durch erstickend wirkende Atemgifte**

Erstickend wirkende Atemgifte, vor allem Gase (z. B. Kohlendioxid, Stickstoff, Edelgase), werden in der Technik in großem Maße gebraucht. Sie können vom Menschen nicht wahrgenommen werden. Durch das Verdrängen von Sauerstoff können sie zu plötzlicher Bewusstlosigkeit und zum Tod führen. Akuter Sauerstoffmangel tritt vor allem dann auf, wenn große Mengen erstickender Atemgifte plötzlich freigesetzt werden, z. B. bei Unfällen mit Druckgasflaschen oder beim Transport von flüssigem Stickstoff. Druckgasflaschen mit erstickend wirkenden Atemgiften oder Behälter mit flüssigem Stickstoff dürfen deshalb niemals zusammen mit Personen in Aufzügen transportiert werden.

### **Gefahren durch reizende und ätzende Atemgifte**

Reizende und ätzende Atemgifte (z. B. Schwefeldioxid, Chlorwasserstoff, Ammoniak) führen in der Regel beim Einatmen zu einem starken Hustenreiz oder Stechen in der Nase, wodurch die Aufnahme größerer Mengen in die Lunge verhindert wird. Besonders kritisch ist die Aufnahme von solchen reizenden und ätzenden Atemgiften, die sich kaum durch Stechen in der Nase oder Hustenreiz bemerkbar machen und ihre Wirkung erst nach einiger Zeit vor allem in der Lunge entfalten. Diese Stoffe können zu Zerstörungen der Lunge führen (Lungenödem), die oft erst nach Stunden bemerkbar sind und tödlich verlaufen können. Besonders gefährlich sind Phosgen, Chlor, Brom und nitrose Gase.

### **Gefahren durch Atemgifte mit toxischer Wirkung**

Sehr giftige, giftige und gesundheitsschädliche Gase, Dämpfe, Aerosole und Stäube führen in der Regel schon in kleinen Konzentrationen zu sehr ernsten Gesundheitsschädigungen, die sehr rasch zum Tode führen können. Bekannte Beispiele für diese Atemgifte sind Kohlenmonoxid, Cyanwasserstoff (Blausäure), Arsenwasserstoff (Arsin) und Phosphorwasserstoff (Phosphin). Aber auch die Dämpfe der meisten Lösungsmittel (z. B. Diethylether, Aceton, Essigsäureethylester, Trichlormethan) können vor allem bei längerer Einwirkung hoher Konzentrationen giftig wirken. Viele dieser Stoffe wirken chronisch schädigend. So können chlorierte Kohlenwasserstoffe zu Schädigungen der Nieren und der Leber führen, Benzol kann Krebs erzeugen.

### **Gefahren durch Stäube**

Stäube sind in der Regel umso gefährlicher, je kleiner die Partikel sind. Größere Partikel werden bereits in der Nase, der Luftröhre und den Bronchien aufgehalten und von dort relativ rasch wieder aus dem Körper ausgeschieden. Partikel, die die Lungenbläschen erreichen, können dort zu ernsten Erkrankungen führen. Bekannte Beispiele sind Asbest (Asbestose, Lungenkrebs) und Quarzstaub (Silikose, Zerstörung der Lungenbläschen).

Gefahren durch erbgutverändernde, krebserzeugende oder fortpflanzungsgefährdende Atemgifte

Besondere Vorsicht erfordert der Umgang mit diesen Atemgiften, da bereits durch die einmalige Aufnahme selbst kleiner Mengen irreversible Schäden hervorgerufen werden können. Dabei besteht oft eine lange Latenzzeit zwischen der Aufnahme des Atemgiftes und dem Ausbruch der Erkrankung. Der Umgang mit diesen Gefahrstoffen erfordert eine besondere Vorsicht.

## **7.9 Hinweise zum Umgang mit besonderen Gefahrstoffgruppen, Gefahrstoffgruppenspezifische Betriebsanweisungen**

Dieses Kapitel enthält Hinweise für den Umgang mit besonderen Gefahrstoffgruppen, z. B. ätzenden Stoffen, giftigen Stoffen usw. Für jede Gefahrstoffgruppe ist eine Betriebsanweisung aufgeführt, die folgende Daten enthält:

1. Bezeichnung der Gefahrstoffgruppe (z. B. ätzende Gefahrstoffe)
2. Gefahren für Mensch und Umwelt
3. Schutzmaßnahmen, Verhaltensregeln und hygienische Maßnahmen
4. Verhalten im Gefahrfall
5. Erste Hilfe
6. Sachgerechte Entsorgung

### **7.9.1 Explosive (explosionsgefährliche) Stoffe**

Oberstes Gebot ist Sauberkeit und Ordnung am Arbeitsplatz!

Explosionsgefährliche Stoffe dürfen nur in Mengen bis zu 1 g an allseitig abgeschirmten Arbeitsplätzen (z. B. Abzug mit geschlossener Frontscheibe) gehandhabt werden. Überhitzung, Schlag, Reibung, Flammennähe und Funkenbildung sind peinlichst genau zu vermeiden. Explosionsgefährliche Stoffe dürfen nicht in Glasgefäßen mit ungefetteten Schliffen aufbewahrt werden, da bereits die Zerreibung von Kristallen im Schliff ausreichen kann, eine gefährliche Explosion auszulösen. Vorräte an explosionsgefährlichen Stoffen und Gemischen sind so gering wie möglich zu halten. Sie sind gegen Flammen- und Hitzeeinwirkung gesichert, verschlossen und von den Arbeitsplätzen entfernt möglichst in einem besonderen Raum aufzubewahren.

Die Herstellung von und der Umgang mit explosiven Stoffen im Sinne des Sprengstoffgesetzes ist verboten. Ausnahmen für Lehre und Forschung regelt das Sprengstoffgesetz mit Anlagen und den dazugehörigen Rechtsverordnungen. Auskünfte erhalten Sie bei der Stabsstelle für Arbeitssicherheit und Gesundheitsvorsorge. Ohne die Erlaubnis von Tätigkeiten durch die Stabsstelle für Arbeitssicherheit und Gesundheitsvorsorge dürfen keine Tätigkeiten mit explosiven Stoffen im Sinne des Sprengstoffgesetzes ausgeführt werden. Außerdem dürfen diese Stoffe nicht beschafft oder hergestellt werden.

Es darf nur mit geringen Mengen (<1g) explosiver Stoffe und nur an ausreichend abgeschirmten Arbeitsplätzen, z. B. im Abzug bei geschlossener Frontscheibe, gearbeitet werden. Zusätzliche Abschirmungen mit Schutzscheiben und -wänden können die Auswirkungen von Explosionen (Deflagrationen oder Detonationen) begrenzen. Überhitzung, Flammennähe, Funkenbildung, Schlag, Reibung und gefährlicher Einschluss (Verdämmung) sind zu vermeiden. Geeignete Schutzvorkehrungen technischer, organisatorischer und personenbezogener Art sind zu treffen.

Vorräte an explosiven Stoffen und Gemischen sind so gering wie möglich zu halten. Sie sind gegen Flammen- und Hitzeeinwirkung gesichert, unter Verschluss und von den Arbeitsplätzen entfernt, möglichst in einem besonderen Raum, aufzubewahren. Eine Zusammenlagerung mit brennbaren Gefahrstoffen oder Druckgasen, auch in Sicherheitsschränken, ist verboten.

Als geeignete technische Schutzvorkehrung hat sich das Arbeiten in Abzügen bei geschlossenem Frontschieber oder an entsprechend abgeschirmten Arbeitsplätzen bewährt. Als persönliche Schutzausrüstungen haben sich Gesichtsschutzschirme bewährt, die auch den empfindlichen Hals- und Brustbereich schützen, ferner dicke Lederschürzen sowie dicke, lange Lederhandschuhe.

Durch organisatorische Maßnahmen ist die Zahl der Personen im gefährdeten Bereich auf das unbedingt erforderliche Maß zu beschränken. Eine weitere Maßnahme ist die Minimierung der Stoffmengen, wobei zu beachten ist, dass von manchen Stoffen (zum Beispiel Stickstofftriodid, Fulminate, Schwermetallazide oder  $\text{Se}_4\text{N}_4$ ) auch kleinste Mengen (mg-Bereich) eine erhebliche Gefährdung bedeuten können.

Gebräuchliche explosive Stoffe sind z. B.:

1. Ammoniumnitrat
2. Ammoniumchromat, Ammoniumdichromat
3. Salze des Acetylens und seiner Derivate
4. alpha,alpha'-Azoisobutyronitril
5. Chlornstickstoff
6. Diazoniumsalze und andere Diazoverbindungen
7. 1-Hydroxybenzotriazol
8. Knallsäuresalze (Fulminate)
9. organische Nitro- und Nitrosoverbindungen
10. organische Peroxide
11. organische Persäuren, Percarbonsäuren
12. Pikrinsäure
13. Salpetersäureester
14. Silber- und Goldsalze
15. Stickstoffwasserstoffsäure und ihre Salze (Azide) und Ester
16. Radikale
17. Schwermetallperchlorate

Metallpulver, die durch die Reduktion Wasserstoff enthalten, Lösungen mit einem Wasserstoffperoxidgehalt über 30 % und darin enthaltenen Schwermetallionen sowie Halogenkohlenwasserstoffe im Kontakt mit Alkalimetallen können ebenfalls zu Explosionsgefahren führen.

Mischungen oxidierender Substanzen (z. B. Nitrate, Chromate, Chlorate, Perchlorate, rauchende Salpetersäure, Nitriersäure, konz. Schwefelsäure, Wasserstoffperoxidlösungen (insbesondere bei Konzentrationen oberhalb 30 %)) mit brennbaren oder reduzierenden Stoffen können ebenfalls explosiv sein. So reagiert z. B. rauchende Salpetersäure explosionsartig mit Aceton, Ethern, Alkoholen und Terpeninöl. Die schwersten Laborunfälle an der TU sind durch solche Stoffmischungen entstanden!

Explosionsgefährlich sind auch fast alle Dampf/Luft-Gemische brennbarer Flüssigkeiten und Gase. Stäube brennbarer, aber nicht explosiver Feststoffe können ebenfalls zu Explosionsgefahren führen.

Ist die Bildung einer explosiven Atmosphäre bei Arbeiten mit brennbaren Flüssigkeiten, Gasen oder Stäuben nicht durch primäre Schutzmaßnahmen vermeidbar, sind Maßnahmen durchzuführen, die eine Entzündung verhindern. Zu diesen Maßnahmen gehört z. B. der Ersatz von brennbaren durch nicht brennbare Lösungsmittel oder durch Lösungsmittel mit einem ausreichend sicher über Raum- und Verarbeitungstemperatur liegenden Flammpunkt. Zu den Maßnahmen, die eine Bildung explosi-

onsgefährlicher Atmosphäre in Gefahr drohender Menge verhindern, gehört z. B. das Absaugen der brennbaren Gase, Dämpfe oder Stäube an der Entstehungs- oder Austrittsstelle oder das Arbeiten in Abzügen. Maßnahmen, die eine Entzündung explosionsgefährlicher Atmosphäre verhindern, sind z. B. das Vermeiden offener Flammen, der Einsatz explosionsgeschützter elektrischer Betriebsmittel und das Vermeiden elektrostatischer Aufladungen.

Beim Arbeiten mit ammoniakalischen silbersalzhaltigen Lösungen ist zu beobachten, dass sich nach einiger Zeit ein schwarzer Niederschlag abscheidet, der teilweise aus Silbernitrid (Bertholletsches oder Schwarzes Knallsilber) besteht. Diese bislang nicht eindeutig charakterisierte Verbindung ist im Gegensatz zum Silberfulminat (Knallsilber) praktisch nicht handzuhaben, da es bereits beim Berühren, Umrühren, Schütteln oder selbst beim Eintrocknen der Lösung heftig explodieren kann. Ammoniakalische silbersalzhaltige Lösungen müssen nach ihrer Herstellung sofort weiterverarbeitet werden.

Mit flüssigem Ammoniak bildet sich hochexplosives Silberamid, Apparatebestandteile aus Silber dürfen daher mit flüssigem Ammoniak nicht in Kontakt kommen. Auch Quecksilber bildet mit Ammoniak ein explosionsfähiges Nitrid.

Beim Umgang mit Perchlorsäure muss sichergestellt sein, dass sich nicht unkontrolliert explosionsgefährliche Perchlorate bilden können. Dies ist z. B. möglich bei einer Einwirkung von Perchlorsäure auf Holz (Labormöbel). Besonders gefährlich ist dies bei Abrauchabzügen, bei denen Perchlorsäure in das Holz eingedrungen sein könnte. Hier ist eine besondere Entsorgung erforderlich. Für das Abrauchen ist in der Regel der Einsatz von speziellen Abrauchabzügen erforderlich.

#### **Explosionsgefährliche, phlegmatisierte Gefahrstoffe**

Viele explosionsgefährliche Gefahrstoffe werden in phlegmatisierter Form gehandelt und müssen auch so aufbewahrt werden. Unter Phlegmatisierung versteht man die Herabsetzung der Empfindlichkeit eines Explosivstoffes gegen z. B. Schlag, Reibung, Stoß und Erschütterung durch Anteigen dieser Substanz mit Wasser oder anderen inerten Verdünnungsmitteln. Werden diese Verdünnungsmittel entfernt (z. B. durch Austrocknen), erhalten die Chemikalien ihre Explosionsgefährlichkeit zurück. Phlegmatisierte Stoffe sind regelmäßig zu kontrollieren, um eine Aufhebung der Phlegmatisierung zu verhindern.

## GEFAHRSTOFFSPEZIFISCHE BETRIEBSANWEISUNG

### EXPLOSIVE (EXPLOSIONSGEFÄHRLICHE) GEFAHRSTOFFE



#### GEFAHR

Beispiele: Ammoniumnitrat, Dibenzoylperoxid, Azoisobutyronitril, Bleiazid, Ammoniumdichromat, Pikrinsäure, Ethylnitrat, Trinitrobenzol-Derivate

#### GEFAHREN FÜR MENSCH UND UMWELT

Gefahrenhinweise (H-Sätze) des Etiketts beachten! Explosionsgefahr durch Schlag, Reibung, Feuer, Erwärmen, andere Zündquellen. Auch ohne Anwesenheit von Luft explosionsgefährlich. Höchste Explosionsgefahr bei Mischung mit brennbaren oder brandfördernden Stoffen. Erfolgt die Explosion in einem geschlossenen Gefäß oder einem geschlossenen Raum, können die bei deren Zerstörung entstehenden Splitter oder Trümmer schwere Verletzungen bewirken. Einige der Stoffe wirken auch gesundheits- und umweltschädigend und werden durch die Haut aufgenommen.

#### SCHUTZMASSNAHMEN, VERHALTENSREGELN UND HYGIENISCHE MASSNAHMEN

Ordnung und Sauberkeit am Arbeitsplatz sind Voraussetzung für sicheres Arbeiten! Geräte und Hilfsmittel stets sauber halten, da Verunreinigungen gefährliche Reaktionen bewirken können! Sicherheitsratschläge (P-Sätze) des Etiketts und sonstige Warnhinweise unbedingt beachten! Nie mit offener Flamme erwärmen. Von elektrischen Geräten, Zünd- und Wärmequellen entfernt halten. Explosionsgeschützte elektrische Geräte und funkenfreie Werkzeuge benutzen. Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladungen ergreifen! Bei mechanischer Bearbeitung kühlen. Jeden Kontakt mit brennbaren oder brandfördernden Stoffen vermeiden. Keine Vorräte am Arbeitsplatz aufbewahren. Sicherheitsratschlag „Feucht halten mit ...“ (vom Hersteller anzugeben) unbedingt beachten. Möglichst nur in offenen Gefäßen arbeiten! Laborkittel, Schutzbrille, Schutzschild, Handschuhe tragen. Mit gefährlichen Mengen nur hinter Schutzscheiben (z. B. geschlossener Abzugsschieber) arbeiten!

#### VERHALTEN IM GEFAHRFALL

Bei beginnenden Zersetzungsreaktionen, Geräuschen und allen ungewöhnlichen Vorkommnissen sofort alle Personen zum Verlassen des Raumes auffordern. Sofort Raum verlassen. Vorgesetzten informieren. Regelmäßig Hände und Gesicht waschen. Benetzte Kleidungsstücke sofort ausziehen.

#### ERSTE HILFE

Haut: Sofort gründlich mit Wasser, Seife oder Polyglycolen (z. B. Roticlean) reinigen, ggf. Notdusche benutzen! Bei Verbrennungen mindestens 10 Minuten lang mit kaltem (Trink-) Wasser kühlen.

Augen: Unter fließendem Wasser (Augennotdusche) mindestens 10 Minuten lang spülen, anschließend sofort zum Augenarzt.

Verschlucken: Kein Erbrechen auslösen.

Einatmen: Frischluft, Ruhe, Wärme

Sofort Notarzt über Notruf 0-112 oder 0-19222 alarmieren. Möglichst Chemikalienflasche/Etikett/Erbrochenes mitnehmen!

#### SACHGERECHTE ENTSORGUNG

Siehe Kapitel 9 der allgemeinen Betriebsanweisung. Ggf. ist die Rücksprache mit der Stabsstelle für Arbeitssicherheit und Gesundheitsvorsorge erforderlich. Auf keinen Fall explosionsgefährliche Stoffe mit brennbaren oder brandfördernden Stoffen vermischen!

### 7.9.2 Selbstentzündliche Gefahrstoffe

Häufig benutzte selbstentzündliche Gefahrstoffe sind z. B.:

1. weißer Phosphor
2. Alkalimetalle (z. B. Kalium) bei hoher Luftfeuchtigkeit
3. Aluminiumalkyle, Zinkalkyle
4. sonstige Metallalkyle
5. GRIGNARD-Reagentien
6. niedrige Phosphane
7. Silane
8. Lithiumaluminiumhydrid
9. feinverteilte pyrophore Metalle (z. B. pyrophores Eisen)
10. Hydrierkatalysatoren wie Palladium auf Trägern oder Raney-Nickel nehmen nach Gebrauch beim Trocknen pyrophore Eigenschaften an.

Stoffe, die sich bei gewöhnlicher Temperatur durch Einwirkung von Luft oder Feuchtigkeit selbst entzünden können, sind getrennt von anderen explosionsgefährlichen, brandfördernden, hochentzündlichen, leichtentzündlichen und entzündlichen Stoffen sowie gegen Brandübertragung gesichert aufzubewahren. Werden sie laufend benötigt, dürfen sich begrenzte Mengen, die für den unmittelbaren Fortgang der Arbeiten notwendig sind, während der Arbeitszeit am Arbeitsplatz befinden.

Arbeiten mit selbstentzündlichen Stoffen müssen im Abzug durchgeführt werden. Alle brennbaren Stoffe, die nicht unmittelbar für die Fortführung der Arbeit benötigt werden, sind aus dem Abzug zu entfernen. Geeignete Löschmittel sind bereitzuhalten.

## GEFAHRSTOFFSPEZIFISCHE BETRIEBSANWEISUNG

### SELBSTENTZÜNDLICHE GEFAHRSTOFFE



**GEFAHR**

Beispiele: weißer Phosphor, Alkalimetalle (z. B. Kalium) bei hoher Luftfeuchtigkeit, Aluminiumalkyle, GRIGNARD-Reagentien, Phosphine, Zinkalkyle

#### GEFAHREN FÜR MENSCH UND UMWELT

Gefahrenhinweise (H-Sätze) des Etiketts beachten! Bei Hautkontakt, Verschlucken oder Einatmen können durch diese Gefahrstoffe Brandverletzungen und Vergiftungen ausgelöst werden.

#### SCHUTZMASSNAHMEN, VERHALTENSREGELN UND HYGIENISCHE MASSNAHMEN

Sicherheitsratschläge (P-Sätze) des Etiketts beachten! Gefahrstoffe dürfen nicht mit Sauerstoff/Luft in Kontakt kommen. Unter Schutzgasatmosphäre arbeiten (z. B. unter Stickstoff, Edelgasen). Sehr sorgfältiges Arbeiten ist notwendig! Jeden Hautkontakt vermeiden. Gefahrstoffe nicht einatmen und nicht verschlucken. Laborkittel, Schutzhandschuhe und Schutzbrille tragen! Regelmäßig Hände und Gesicht waschen. Vor Versuchsbeginn Feuerlöscher/Löschsand bereitstellen!

Stoffe, die sich bei gewöhnlicher Temperatur durch Einwirkung von Luft oder Feuchtigkeit selbst entzünden können, sind getrennt von anderen explosionsgefährlichen, brandfördernden, hochentzündlichen, leichtentzündlichen und entzündlichen Stoffen sowie gegen Brandübertragung gesichert aufzubewahren. Werden sie laufend benötigt, dürfen sich begrenzte Mengen, die für den unmittelbaren Fortgang der Arbeiten notwendig sind, während der Arbeitszeit am Arbeitsplatz befinden. Arbeiten mit selbstentzündlichen Stoffen müssen im Abzug durchgeführt werden. Alle brennbaren Stoffe, die nicht unmittelbar für die Fortführung der Arbeit benötigt werden, sind aus dem Abzug zu entfernen. Geeignete Löschmittel sind bereitzuhalten.

#### VERHALTEN IM GEFAHRFALL

Benetzte Haut gründlich reinigen. Benetzte Kleidungsstücke sofort ausziehen. Verschüttete Stoffe sofort inertisieren (bei weißem Phosphor z. B. durch Übergießen mit Wasser). Verschüttete feste Stoffe zusammenkehren, verschüttete flüssige Stoffe mit Adsorbentien binden und anschließend zur Entsorgung geben. Dabei ggf. zusätzlich Atemschutz tragen! Maßnahmen treffen, die eine erneute Selbstentzündung verhindern!

#### ERSTE HILFE

Haut: Sofort gründlich mit Wasser, Seife oder Polyglycolen (z. B. Roticlean) reinigen, ggf. Notdusche benutzen.

Augen: Unter fließendem Wasser (Augennotdusche) mindestens 10 Minuten lang spülen, anschließend sofort zum Augenarzt.

Verschlucken: Erbrechen auslösen.

Einatmen: Frischluft, Ruhe, Wärme.

In schweren Fällen Notarzt über Notruf 0-112 oder 0-19222 alarmieren. Möglichst Chemikalienflasche/Etikett/Erbrochenes mitnehmen.

#### SACHGERECHTE ENTSORGUNG

Siehe Kapitel 9 der allgemeinen Betriebsanweisung. Ggf. ist die Rücksprache mit Abteilung 31, Herrn Weller (Tel. 4698), erforderlich.

### 7.9.3 Oxidierende (brandfördernde) Gefahrstoffe

Mischungen oxidierender Stoffe mit oxidierbaren Stoffen haben in der Vergangenheit zu den schwersten Unfällen an der TU geführt, da diese Mischungen explosiv sind!

Gebräuchliche oxidierende Gefahrstoffe sind:

1. Nitrate
2. Nitrite
3. (rauchende) Salpetersäure
4. Chlorate
5. Perchlorate
6. Chrom(VI)-verbindungen (krebserzeugend!)
7. Kaliumpermanganat
8. organische Peroxide.

Oxidierende Gefahrstoffe sind getrennt von hoch- und leichtentzündlichen, entzündlichen, selbstentzündlichen und explosionsgefährlichen Stoffen aufzubewahren.

Bitte beachten Sie, dass fein gepulverte oder flüssige oxidierende Stoffe in der Mischung mit organischen Chemikalien Brände auch dann auslösen können, wenn die Chemikalien normalerweise nicht entzündlich sind (z. B. rauchende Salpetersäure/Holz; Kaliumpermanganat/Glycerin). Mit brandfördernden Gefahrstoffen darf nicht in zerbrechlichen Gefäßen von mehr als 5 Litern Inhalt gearbeitet werden. Ausnahmen sind nur zulässig, wenn besondere Schutzmaßnahmen getroffen werden, z. B. das Arbeiten über einer Auffangwanne, die die austretenden oxidierenden Gefahrstoffe aufnehmen kann.

## GEFAHRSTOFFSPEZIFISCHE BETRIEBSANWEISUNG

### OXIDIERENDE (BRANDFÖRDERNDE) GEFAHRSTOFFE



**GEFAHR**

Beispiele: Nitrate, Nitrite, Chrom(VI)-verbindungen, rauchende Salpetersäure, Perchlorate, Kaliumpermanganat, organische Peroxide, reiner Sauerstoff, Perchlorsäure, flüssige Luft.

#### GEFAHREN FÜR MENSCH UND UMWELT

Gefahrenhinweise (H-Sätze) des Etiketts beachten! Oxidierende Stoffe können brennbare Stoffe entzünden und einen bestehenden Brand erheblich fördern. Bei Mischung mit entzündlichen Stoffen können sie explosive Gemische bilden.

#### SCHUTZMASSNAHMEN, VERHALTENSREGELN UND HYGIENISCHE MASSNAHMEN

Oberste Gebote sind Ordnung und Sauberkeit am Arbeitsplatz! Sicherheitsratschläge (S-Sätze) des Etiketts beachten! Niemals oxidierende Gefahrstoffe mit entzündbaren (entzündliche, leichtentzündliche oder hochentzündliche) Gefahrstoffen vermischen! Feingepulverte oder flüssige oxidierende Chemikalien können in der Mischung mit organischen Materialien Brände auch dann auslösen, wenn die Chemikalien normalerweise nicht entzündlich sind (z. B. rauchende Salpetersäure/Holz; Kaliumpermanganat/Glycerin). Jeden direkten Körperkontakt vermeiden. Regelmäßig Hände und Gesicht waschen! Laborkittel, Schutzhandschuhe und Schutzbrille tragen!

#### VERHALTEN IM GEFAHRFALL

Benetzte Haut gründlich reinigen. Benetzte Kleidungsstücke sofort ausziehen.

Verschüttete feste brandfördernde Stoffe zusammenkehren, verschüttete flüssige brandfördernde Stoffe mit Adsorbentien binden und anschließend zur Entsorgung geben.

Bei Mischung verschütteter brandfördernder Stoffe mit entzündlichen, selbstentzündlichen oder explosionsgefährlichen Stoffen besteht Brand- und Explosionsgefahr. Stoffe mit Adsorbentien binden oder ggf. mit Wasser verdünnen und zur Entsorgung geben. Beim Vermischen großer Mengen Feuerwehr alarmieren über Notruf 0-112.

#### ERSTE HILFE

Haut: Sofort gründlich mit Wasser, Seife oder Polyglycolen (z. B. Roticlean) reinigen, ggf. Notdusche benutzen. Bei Verbrennungen mindestens 10 Minuten lang mit kaltem (Trink-) Wasser kühlen.

Augen: Unter fließendem Wasser (Augennotdusche) mindestens 10 Minuten lang spülen, anschließend sofort zum Augenarzt.

Verschlucken: Kein Erbrechen auslösen.

Einatmen: Frischluft, Ruhe, Wärme.

In schweren Fällen Notarzt über Notruf 0-112 oder 0-19222 alarmieren. Möglichst Chemikalienflasche/Etikett/Erbrochenes mitnehmen.

#### SACHGERECHTE ENTSORGUNG

Siehe Kapitel 9 der allgemeinen Betriebsanweisung. Ggf. ist die Rücksprache mit Abteilung 31, Herrn Weller (Tel. 4698), erforderlich.

#### 7.9.4 Entzündbare (hochentzündliche, leichtentzündliche und entzündliche Gefahrstoffe)

Gebräuchliche entzündbare Gefahrstoffe sind:

1. Diethylether
2. Methanol
3. Ethanol
4. Propanole
5. Acetonitril
6. Essigsäureethylester
7. Aceton
8. Tetrahydrofuran
9. Benzin
10. Hexan
11. Toluol

Entzündbare Gefahrstoffe sind getrennt von brandfördernden, explosionsgefährlichen und selbstentzündlichen Gefahrstoffen aufzubewahren.

##### 7.9.4.1 Tätigkeiten mit brennbaren Stoffen

Der Arbeitgeber hat auf Grundlage der Gefährdungsbeurteilungen Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten und anderer Personen vor physikalisch-chemischen Einwirkungen zu ergreifen. Insbesondere hat er Maßnahmen zu ergreifen, um bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen Brand- und Explosionsgefährdungen zu vermeiden oder diese so weit wie möglich zu verringern. Dies gilt vor allem für Tätigkeiten mit explosionsgefährlichen, brandfördernden, hochentzündlichen, leichtentzündlichen und entzündlichen Stoffen oder Zubereitungen, einschließlich ihrer Lagerung. Ferner gilt dies für Tätigkeiten mit anderen Gefahrstoffen, insbesondere mit explosionsfähigen Gefahrstoffen und Gefahrstoffen, die chemisch miteinander reagieren können oder chemisch instabil sind, soweit daraus Brand- oder Explosionsgefährdungen entstehen können.

Zur Vermeidung von Brand- und Explosionsgefährdungen muss der Arbeitgeber Maßnahmen in der nachstehenden Rangfolge ergreifen:

1. gefährliche Mengen oder Konzentrationen von Gefahrstoffen, die zu Brand- oder Explosionsgefährdungen führen können, sind zu vermeiden,
2. Zündquellen, die Brände oder Explosionen auslösen können, sind zu vermeiden,
3. schädliche Auswirkungen von Bränden oder Explosionen auf die Gesundheit und Sicherheit der Beschäftigten und anderer Personen sind zu verringern.

##### 7.9.4.2 Explosionsschutzmaßnahmen

Ist die Bildung gefährlicher explosionsfähiger Gemische bei Tätigkeiten mit brennbaren Flüssigkeiten, Gasen oder Stäuben nicht durch primäre Schutzmaßnahmen vermeidbar, sind Maßnahmen durchzuführen, welche eine Entzündung verhindern. Ist dies ebenfalls nicht möglich, so sind die Auswirkungen auf ein unschädliches Maß zu beschränken. Zur Verhinderung der Bildung explosionsfähiger Atmosphäre (oder Gemische) gehört beispielsweise der Ersatz von brennbaren durch nicht brennbare Lösemittel oder die Verwendung von Lösemitteln mit einem Flammpunkt in ausreichendem Abstand über den Verarbeitungs- und Oberflächentemperaturen.

Zu den Maßnahmen, welche eine Bildung explosionsfähiger Atmosphäre (Gemische) in gefahrdrohender Menge verhindern, gehören beispielsweise das Arbeiten im Abzug oder das Absaugen brennbarer Gase, Dämpfe oder Stäube an der Entstehungs- oder Austrittsstelle. Maßnahmen, welche eine Entzündung explosionsfähiger Atmosphäre (Gemische) verhindern, sind beispielsweise das Vermeiden offener Flammen, der Einsatz explosionsgeschützter elektrischer Betriebsmittel oder das Vermeiden elektrostatischer Aufladung.

Vor Aufnahme der Arbeiten ist eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen. In der Regel wird diese ergeben, dass die Ausweisung von explosionsgefährlichen Zonen im Labor nicht erforderlich ist und damit auf die Anfertigung eines separaten Explosionsschutzdokumentes verzichtet werden kann.

Wenn

1. die Arbeiten im Abzug ausgeführt werden und
2. mit brennbaren Flüssigkeiten bei Temperaturen oberhalb des Flammpunktes bei Normaldruck oder vermindertem Druck gearbeitet wird und
3. mit den laborüblichen Mengen gearbeitet wird,

ist in der Regel davon auszugehen, dass sich bei vollem Abluftstrom eine ausreichende Verdünnung im Abzugsinneren einstellt und keine explosionsgefährliche Zone ausgewiesen werden muss. Es kann jedoch Tätigkeiten geben, bei denen die Gefährdungsbeurteilung ergibt, dass explosionsgefährliche Zonen ausgewiesen werden müssen und damit die Verpflichtung besteht, ein Explosionsschutzdokument zu führen.

#### **7.9.4.3 Zündgefahren durch elektrostatische Aufladung**

Bei Tätigkeiten, bei denen Zündgefahren durch elektrostatische Aufladungen bestehen, sind geeignete Schutzmaßnahmen zu treffen. Zündgefahren durch elektrostatische Aufladungen können bestehen

1. bei brennbaren Flüssigkeiten, beispielsweise beim Umfüllen, durch schnelles Strömen in Schläuchen oder Versprühen (dies gilt auch für Abfälle brennbarer Flüssigkeiten),
2. bei brennbaren Stäuben und Granulaten, beispielsweise beim Aufwirbeln, Mahlen, Mischen, Fördern, Sieben (insbesondere in der Anwendungstechnik).

Eine geeignete Schutzmaßnahmen ist beispielsweise die Erdung leitfähiger Gefäße und Geräte. Es hat sich bewährt, für den Anschluss der Erdung leitfähiger Gefäße und Geräte (zum Beispiel Trichter, Heber, Schläuche, Aufbauten und Racks) einen gemeinsamen geerdeten Anschlusspunkt vorzusehen. Es ist hilfreich, wenn auch der Fußboden oder die Trittpläche und die Schuhe eine ausreichende Ableitung der Ladung zulassen. Dies verhindert mögliche Entladungsfunken an Stellen zündfähiger Gemische.

Beim Umfüllen elektrostatisch nicht ableitfähiger Flüssigkeiten (beispielsweise Benzin, Toluol, Ether, Schwefelkohlenstoff) sollen jeweils Geräte und Behälter kombiniert werden, die entweder nur elektrostatisch ableitfähig oder nur nichtleitfähig sind. In Behälter aus elektrostatisch nicht ableitfähigen Stoffen, beispielsweise Kunststoffbehälter, dürfen grundsätzlich keine elektrostatisch nicht ableitfähigen brennbaren Flüssigkeiten eingefüllt werden. Hiervon ausgenommen sind Kunststoffbehälter mit einem Nennvolumen bis 5 l, weil das eingeschlossene Volumen vertretbar klein ist. Elektrostatisch nicht ableitfähige Flüssigkeiten sind langsam und nicht im freien Fall auszugießen; der Trichter ist bis dicht auf den Boden des Gefäßes zu führen.

Hoch-, leichtentzündliche und entzündliche Flüssigkeiten bilden Dämpfe, die mit Luft explosionsgefährlich sind. Die Dämpfe sind schwerer als Luft und „kriechen“ daher auf Arbeitstischen oder am Boden entlang und können sich an ganz unvermuteter Stelle entzünden.

Entzündbare Flüssigkeiten dürfen in Kühlschränken nur dann aufbewahrt werden, wenn deren Innenraum explosionsgeschützt ist.

Entzündbare Flüssigkeiten dürfen an Arbeitsplätzen nur in Gefäßen von höchstens 1 Liter Fassungsvermögen aufbewahrt werden. Die Anzahl der Gefäße ist auf das unbedingt notwendige Maß zu beschränken. Tätigkeiten mit größeren Mengen in Laboratorien erfordern besondere Schutzmaßnahmen.

Die ungewollte Freisetzung größerer Gefahrstoffmengen durch Glasbruch kann speziell bei dünnwandigen Glasgefäßen nicht ausgeschlossen werden. Als dünnwandige Glasgefäße gelten beispielsweise Rundkolben, Stehkolben, Erlenmeyerkolben und Bechergläser. Es hat sich bewährt, dickwandige oder beschichtete Glasgeräte zu verwenden. Die Bruchgefahr kann auch durch Verwendung von Metall- oder Kunststoffgefäßen verringert werden.

Bei Arbeiten mit mehr als 3 Litern entzündbaren Flüssigkeiten in dünnwandigen, nicht bruchsicheren Glasgefäßen ist eine geeignete Auffangwanne mit einem Wabengittereinsatz oder einer geeigneten Spezialfüllung zu verwenden. Gegebenenfalls sind zusätzliche Schutzmaßnahmen erforderlich. Diese können sein:

1. Arbeiten in Abzügen,
2. Verwendung explosionsgeschützter Geräte

3. Verwendung dickwandiger Glasgeräte
4. Verwendung Kunststoff ummantelter Glasgeräte
5. Installation automatischer Löschanlagen und Brandfrüherkennungssysteme

Für Laboratorien, in denen ständig größere Mengen entzündbarer Flüssigkeiten benötigt werden, ist das Abstellen in nicht bruch sicheren Gefäßen oder Behältern bis zu 5 Liter bzw. in bruch sicheren Behältern bis zu 10 Liter Fassungsvermögen an geschützter Stelle zulässig. Das ist gegeben, wenn sie z. B. in speziellen Haltern von Chromatographieanlagen oder in Sicherheitsschränken aufbewahrt werden. Die Anzahl und das Fassungsvermögen der Behälter sind auf das unbedingt notwendige Maß zu beschränken.

Ortsbewegliche Kunststoffbehälter mit einem Nennvolumen über 5 Liter dürfen für entzündbare Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt unter 35 °C nur verwendet werden, wenn sie elektrostatisch ausreichend ableitfähig sind, d.h. der Oberflächenwiderstand kleiner als 1011 Ohm ist.

Bei Arbeiten, bei denen Zündgefahren durch elektrostatische Aufladungen bestehen, sind geeignete Schutzmaßnahmen zu treffen. Zündgefahren durch elektrostatische Aufladungen können z. B. beim Umfüllen, durch schnelles Strömen in Schläuchen oder Versprühen bestehen. Geeignete Schutzmaßnahmen sind z. B. die Erdung leitfähiger Geräte (Trichter, Schläuche, Gefäße). Beim Umfüllen aufladbarer, nicht leitfähiger Flüssigkeiten (z. B. Benzin, Toluol, Ether, Schwefelkohlenstoff) sollen jeweils Geräte und Behälter kombiniert werden, die entweder nur leitfähig oder nur nicht leitfähig sind. In Behälter aus elektrostatisch aufladbaren, nicht leitfähigen Stoffen (z. B. Kunststoffbehälter) von mehr als 5 Liter Inhalt dürfen keine elektrostatisch aufladbaren, nicht leitfähigen brennbaren Flüssigkeiten eingefüllt werden. Diese Flüssigkeiten dürfen nur langsam und nicht im freien Fall ausgegossen werden. Der Trichter ist bis auf den Boden zu führen, um ein Verspritzen der einlaufenden Flüssigkeit weitgehend zu vermeiden.

Ein offenes Verdampfen oder Erhitzen von entzündbaren Flüssigkeiten ist verboten. Grundsätzlich sind beim Abdampfen von entzündbaren Flüssigkeiten Kondensationseinrichtungen wie z. B. Destillationsbrücken zu verwenden. Müssen entzündbare Flüssigkeiten offen verdampft oder erhitzt werden, darf dies nur im Abzug mit geschlossenem Frontschieber erfolgen. Die Funktionstüchtigkeit des Abzuges ist durch geeignete Maßnahmen (Unterdruckwarnsystem, mindestens Wollfaden/Papierstreifen vor der Abzugsöffnung) zu kontrollieren. Austretende Dämpfe sind möglichst an der Austrittsstelle zu erfassen und direkt in einen Abluftkanal zu leiten. Als zusätzliche Schutzmaßnahme sind Zündquellen, insbesondere offene Flammen, zu vermeiden. Die Verwendung von Elektrogeräten ist auf das notwendige Minimum einzuschränken. Maßnahmen zur Vermeidung elektrostatischer Aufladungen sind zu treffen.

#### **7.9.4.4 Peroxide**

Zahlreiche entzündbare Gefahrstoffe bilden mit Luftsauerstoff explosionsgefährliche Peroxide, die beim Erhitzen (z. B. Destillationen, Abdampfen) explodieren können. Diese Gefahrstoffe müssen deshalb vor dem Erhitzen auf Peroxide überprüft und die Peroxide ggf. beseitigt werden.

Zur Peroxidbildung neigen insbesondere:

1. Diethylether
2. Di-n-propylether
3. Diisopropylether
4. Dekalin
5. Dioxan
6. Tetrahydrofuran
7. Tetralin
8. Cumol
9. Aldehyde
10. Ketone (z. B. Butanon).

#### **Tätigkeiten mit Peroxide bildenden Flüssigkeiten**

Zahlreiche organische Verbindungen, insbesondere auch Lösemittel, bilden mit Luftsauerstoff Peroxide. Die gebildeten Peroxide sind schwerflüchtig und reichern sich besonders bei Destillationen in der Destillationsblase an, wo sie sich explosionsartig zersetzen können. Haben sich Peroxide gebildet, so

können einige von diesen erschütterungsempfindlich sein. Handelsübliche Peroxidbildner sind häufig mit Inhibitoren versetzt, die die Peroxidansammlung bis zu ihrem Verbrauch verhindern. Nach bestimmten Reinigungsschritten, beispielsweise einer Destillation, sind diese Inhibitoren abgetrennt und nicht mehr wirksam.

Flüssigkeiten, die zur Bildung von organischen Peroxiden neigen (z. B. Tetralin, Diene, Dekalin, Diethylether, Di-n-propylether, Diisopropylether, Dioxan, Tetrahydrofuran, Tetralin, Cumol, Aldehyde, Ketone und Lösungen dieser Stoffe) müssen vor der Destillation und dem Abdampfen auf Anwesenheit von Peroxiden untersucht und ggf. von den Peroxiden befreit werden, da sich die Peroxide explosionsartig zersetzen können.

### **Peroxidnachweis**

Verwendung von speziellen Teststäbchen oder Testlösungen (z. B. Merckoquant Teststäbchen zum Nachweis von Peroxiden),

100 mg Vanadiumpentoxid ( $V_2O_5$ ) werden mit 2 ml 96 %iger Schwefelsäure versetzt und weitgehend darin gelöst. Die Lösung wird auf 50 ml mit destilliertem Wasser verdünnt. Ist die Lösung trübe, wird sie filtriert. Zu 1 ml dieser Lösung wird 1 ml des auf Peroxide zu prüfenden Lösungsmittels gegeben und gut durchgeschüttelt. Bei Vorhandensein von Peroxiden färbt sich die wässrige Phase rotbraun.

1 ml der auf Peroxide zu untersuchenden Lösung wird mit 2 ml konz. Essigsäure (Eisessig) und anschließend mit einigen Körnchen Kaliumiodid versetzt. Sofort oder nach schwacher Erwärmung freierwerdendes Iod zeigt Peroxide an. Durch Zusatz löslicher Stärke kann die Empfindlichkeit gesteigert werden. Die Verwendung von Iodstärkepapier wird empfohlen.

### **Peroxidentfernung**

Peroxide können entfernt werden durch

1. Verwendung von speziellen Chemikalien, z. B. Perex-Kit der Fa. Merck,
2. Schütteln mit gepulvertem Kaliumhydroxid (nur wirksam, wenn mindestens 0,5 % Wasser im organischen Medium enthalten sind),
3. Filtrieren durch eine Säule mit Aluminiumoxid aktiv-basisch oder mit Aluminiumoxid aktiv-neutral. 30 g Aluminiumoxid in einer Säule von 2 cm Durchmesser reinigen z. B. etwa 250 ml wasserfreien Diethylether, 100 ml Diisopropylether oder 25 ml Dioxan. Die Aufnahmefähigkeit des Aluminiumoxids wird durch Wasser im Lösungsmittel verringert.
4. Schütteln mit einer frisch hergestellten Eisen(II)-sulfat-Lösung (pro Liter organischer Flüssigkeit 5g Eisen(II)-sulfat gelöst in 20 ml Wasser verwenden). Dies wird so lange wiederholt, bis kein Peroxid mehr feststellbar ist.

### **Vorbeugung vor Peroxidbildung**

Notwendige Schutzmaßnahmen sind:

1. vor Licht, insbesondere UV-Strahlung, geschützte Aufbewahrung der organischen Lösungsmittel (z. B. dunkle Flaschen oder Metallbehälter); die Peroxidbildung wird durch lichtgeschützte Aufbewahrung jedoch nicht sicher verhindert. Manche Peroxide, wie die des Diisopropylethers, werden auch im Dunkeln gebildet. Hier wirkt nur die Aufbewahrung unter Sauerstoffabschluss bei regelmäßiger Kontrolle der Peroxidgehalte.
2. Aufbewahren der organischen Lösungsmittel über Kaliumhydroxid, Natriumhydroxid, Natrium oder Kalium. Geeignet für die Vorbeugung sind nur bestimmte Lösungsmittel, z. B. Ether, Kohlenwasserstoffe. Achtung: Chlorierte Kohlenwasserstoffe (z. B. Dichlormethan, Trichlormethan, Tetrachlormethan) dürfen niemals über Kaliumhydroxid, Natriumhydroxid und anderen Metallhydroxiden oder Natrium, Kalium oder Lithium aufbewahrt werden, da hierbei höchste Explosionsgefahr besteht!

## GEFAHRSTOFFSPEZIFISCHE BETRIEBSANWEISUNG

### ENTZÜNDBARE (HOCHENTZÜNDLICHE, LEICHTENTZÜNDLICHE UND ENTZÜNDLICHE) GEFAHRSTOFFE



**GEFAHR**

Beispiele: Diethylether, Benzin, Aceton, Methanol, Ethanol, Propanole, Toluol, Hexan, Acetonitril

#### GEFAHREN FÜR MENSCH UND UMWELT

Gefahrenhinweise (H-Sätze) des Etiketts beachten! Bildung leicht flüchtiger Dämpfe, die meistens schwerer sind als Luft (Ausnahmen z. B. Erdgas, Wasserstoff, Acetylen) und explosive Dampf-Luft-Gemische bilden. Erhebliche Brand- und Explosionsgefahren für Mensch und Umwelt. Stoffe niemals in offenen Gefäßen auf Heizplatten oder mit offenen Flammen erwärmen! Stoffe wirken sehr häufig gesundheitsgefährdend bei Aufnahme durch die Haut (Spritzer) oder beim Einatmen (Dämpfe)! Die Gefahr steigt mit zunehmender Temperatur der Chemikalie (z. B. beim Destillieren) stark an. Druckgasflaschen brandgeschützt aufstellen und lagern (z. B. in Sicherheitsschränken) und nach Bedarf fest verschließen.

#### SCHUTZMASSNAHMEN, VERHALTENSREGELN UND HYGIENISCHE MASSNAHMEN

Sicherheitsratschläge (S-Sätze) des Etiketts beachten! Nach Möglichkeit nur in abgesaugten Bereichen (z. B. Abzug) arbeiten, um feuer- und explosionsgefährliche Dampfkonzentrationen in der Luft zu vermeiden. Offenes Feuer, offene Flammen (z. B. Rauchen, Bunsenbrenner) sind verboten! Funkenbildung (z. B. durch elektrostatische Aufladungen, elektrische Geräte) unbedingt vermeiden! Die meisten Explosionsunfälle entstehen durch Funkenbildung! Die Gefahrstoffmenge am Arbeitsplatz so klein wie möglich halten! Jeden direkten Körperkontakt vermeiden. Laborkittel, Schutzhandschuhe und Schutzbrille tragen! Regelmäßig Hände und Gesicht waschen. Vor dem Erwärmen auf Peroxide prüfen. Gefahrstoffe nur in dicht geschlossenen Gefäßen vor Licht geschützt aufbewahren.

#### VERHALTEN IM GEFAHRFALL

Benetzte Haut gründlich reinigen. Benetzte Kleidungsstücke sofort ausziehen. Verschüttete entzündbare Feststoffe zusammenkehren, verschüttete entzündbare Flüssigkeiten mit Adsorbentien binden und anschließend zur Entsorgung geben. Nach Verschütten größerer Mengen entzündbarer Gefahrstoffe sofort alle Zündquellen abschalten, ggf. den NOT-AUS-Schalter betätigen. Im Brandfall Lösversuch mit Feuerlöscher, wenn dieses gefahrlos möglich ist. Sonst Feuerwehr alarmieren über Feuermelder oder Notruf 0-112 und Gebäude räumen lassen.

#### ERSTE HILFE

Haut: Sofort gründlich mit Wasser, Seife oder Polyglycolen (z. B. Roticlean) reinigen, ggf. Notdusche benutzen. Bei Verbrennungen mindestens 10 Minuten lang mit kaltem (Trink-) Wasser kühlen.

Augen: Unter fließendem Wasser (Augennotdusche) mindestens 10 Minuten lang spülen, anschließend sofort zum Augenarzt.

Verschlucken: Kein Erbrechen auslösen.

Einatmen: Frischluft, Ruhe, Wärme.

In schweren Fällen Notarzt über Notruf 0-112 oder 0-19222 alarmieren. Möglichst Chemikalienflasche/Etikett/Erbrochenes mitnehmen.

#### SACHGERECHTE ENTSORGUNG

Siehe Kapitel 9 der allgemeinen Betriebsanweisung. Brennbare Flüssigkeiten werden als Lösungsmittelabfälle (halogenfrei bzw. halogenhaltig, Sammelgefäße), brennbare Feststoffe werden als Feinche-

mikalien entsorgt. In Problemfällen ist die Rücksprache mit Abteilung 31, Herrn Weller (Tel. 4698), erforderlich.

### 7.9.5 Mit Wasser gefährlich reagierende Gefahrstoffe

Gebräuchliche, mit Wasser gefährlich reagierende Gefahrstoffe sind z. B.:

1. Alkalimetalle (z. B. Lithium, Natrium, Kalium)
2. Alkalamide
3. Metallhydride (z. B. Calciumhydrid)
4. komplexe Hydride (z. B. Lithiumaluminiumhydrid)
5. konzentrierte Säuren (z. B. konz. Schwefelsäure)
6. Säurechloride (z. B. Acetylchlorid, Chlorsulfonsäure)
7. Säureanhydride (z. B. Phosphorpentoxid)
8. Carbide
9. Phosphide
10. Siliciumorganische Verbindungen (z. B. Trimethylchlorsilan)

Diese Gefahrstoffe können bei der Reaktion mit Wasser leichtentzündliche oder giftige Gase entwickeln oder durch Verspritzen zu einer Gefährdung des Menschen führen.

Mit Wasser gefährlich reagierende Gefahrstoffe sind so aufzubewahren und zu handhaben, dass sie nicht mit Wasser in Berührung kommen können, auch nicht bei Unfällen. So ist das Arbeiten mit wassergekühlten Rückflusskühlern nur dann zulässig, wenn diese eine Kühlschleife aus Metall besitzen. Wasserbäder sind als Kühlbäder verboten, wenn sich mit Wasser gefährlich reagierende Gefahrstoffe im Reaktionskolben befinden!

Stoffe, die sich bei gewöhnlicher Temperatur durch Einwirkung von Luft oder Feuchtigkeit selbst entzünden können, sind getrennt von anderen explosionsgefährlichen, brandfördernden, hochentzündlichen, leichtentzündlichen und entzündlichen Stoffen sowie gegen Brandübertragung gesichert aufzubewahren. Werden sie laufend benötigt, dürfen sich begrenzte Mengen, die für den unmittelbaren Fortgang der Arbeiten notwendig sind, während der Arbeitszeit am Arbeitsplatz befinden.

Die Gefahrstoffe sind in dicht geschlossenen Behältern möglichst trocken aufzubewahren, z. B. im Exsikkator über Trocknungsmitteln.

Alkalimetalle und deren Amide müssen so aufbewahrt werden, dass ein Zutritt von Bestandteilen der Luft nach Möglichkeit vermieden wird. Alkalimetalle und deren Amide bilden beim Stehen mit den Bestandteilen der Luft hochreaktive Verbindungen. Dies erfolgt langsam auch in dicht schließenden Gefäßen oder unter Schutzflüssigkeiten. So bildet Kalium beispielsweise gelb-orange Krusten, die aus einem Gemisch von Kaliumhydroxid-Monohydrat und Kaliumhyperoxid bestehen. Das Kaliumhyperoxid ist ein extrem starkes Oxidationsmittel und bildet im Kontakt mit organischen Schutzflüssigkeiten gegen mechanischen Druck sensible, detonationsfähige Gemische. Das Kaliumhydroxid-Monohydrat gibt zudem beim Erwärmen schlagartig sein Wasser ab, welches dann in Kontakt mit dem metallischen Kalium gerät. Unter Umständen lassen sich solche Altbestände nicht mehr gefahrlos vernichten.

Sollten solche Substanzen vorhanden sein, wenden Sie sich bitte an die Stabsstelle für Arbeitssicherheit und Gesundheitsvorsorge, Herrn Dr. Bollmeier (Tel. 4406).

## GEFAHRSTOFFSPEZIFISCHE BETRIEBSANWEISUNG

### MIT WASSER GEFÄHRLICH REAGIERENDE GEFAHRSTOFFE



**GEFAHR**

Beispiele: Alkalimetalle, Metallhydride, Lithiumaluminiumhydrid, konz. Schwefelsäure, Acetylchlorid, Phosphorpentoxid, Chlorsulfonsäure, Phosphide, Carbide, siliciumorganische Verbindungen

#### GEFAHREN FÜR MENSCH UND UMWELT

Gefahrenhinweise (H-Sätze) des Etiketts beachten! Es bestehen erhebliche Gefahren durch die Reaktion mit Wasser. Bei der Reaktion können die Gefahrstoffe durch Verspritzen Personen gefährden. Es können auch leichtentzündliche Gase (z. B. Wasserstoff) oder giftige Gase freigesetzt werden.

#### SCHUTZMASSNAHMEN, VERHALTENSREGELN UND HYGIENISCHE MASSNAHMEN

Mit Wasser gefährlich reagierende Gefahrstoffe sind so aufzubewahren und zu handhaben, dass sie nicht mit Wasser in Berührung kommen können, auch nicht bei Unfällen. So ist das Arbeiten mit wassergekühlten Rückflusskühlern nur dann zulässig, wenn diese eine Kühlspirale aus Metall besitzen. Wasserbäder sind als Kühlbäder verboten, wenn sich mit Wasser gefährlich reagierende Gefahrstoffe im Reaktionskolben befinden! Stoffe, die sich bei gewöhnlicher Temperatur durch Einwirkung von Luft oder Feuchtigkeit selbst entzünden können, sind getrennt von anderen explosionsgefährlichen, brandfördernden, hochentzündlichen, leichtentzündlichen und entzündlichen Stoffen sowie gegen Brandübertragung gesichert aufzubewahren. Werden sie laufend benötigt, dürfen sich begrenzte Mengen, die für den unmittelbaren Fortgang der Arbeiten notwendig sind, während der Arbeitszeit am Arbeitsplatz befinden. Gefahrstoffe in dicht geschlossenen Behältern möglichst trocken aufbewahren, z. B. im Exsikkator über Trocknungsmitteln. Sicherheitsratschläge (P-Sätze) des Etiketts beachten! Jeden direkten Körperkontakt vermeiden. Nur im Abzug arbeiten! Während der Arbeit nicht mit Wasser, feuchten Geräten oder feuchten Handschuhen hantieren. Laborkittel, Schutzhandschuhe und Schutzbrille tragen! Regelmäßig Hände und Gesicht waschen.

#### VERHALTEN IM GEFAHRFALL

Benetzte Haut zunächst gründlich mit Ethanol, anschließend mit viel Wasser reinigen. Benetzte Kleidungsstücke sofort ausziehen. Verschüttete feste Gefahrstoffe zusammenkehren, verschüttete flüssige Stoffe mit Adsorbentien binden und anschließend zur Entsorgung geben. Anschließend kontaminierte Bereiche vorsichtig mit 1-Propanol reinigen. Brände mit Löschsand löschen! Beim Freisetzen großer Mengen Feuerwehr alarmieren über Notruf 0-112.

#### ERSTE HILFE

Haut: Sofort gründlich mit Ethanol, anschließend mit viel Wasser, Seife oder Polyglycolen (z. B. Roticlean) reinigen, ggf. Notdusche benutzen.

Augen: Unter fließendem Wasser (Augennotdusche) mindestens 10 Minuten lang spülen, anschließend sofort zum Augenarzt.

Verschlucken: kein Erbrechen auslösen.

Einatmen: Frischluft, Ruhe, Wärme.

In schweren Fällen Notarzt über Notruf 0-112 oder 0-19222 alarmieren. Möglichst Chemikalienflasche/Etikett/Erbrochenes mitnehmen.

#### SACHGERECHTE ENTSORGUNG

Siehe Kapitel 9 der allgemeinen Betriebsanweisung. Ggf. ist die Rücksprache mit Abteilung 31, Herrn Weller (Tel. 4698), erforderlich.

### 7.9.6 Mit Säuren gefährlich reagierende Gefahrstoffe

Gebräuchliche, mit Säuren gefährlich reagierende Gefahrstoffe sind:

1. Cyanide (z. B. Natriumcyanid, Kaliumcyanid)
2. Metalle (durch Freisetzen von Wasserstoff)
3. einige komplexe Hydride (z. B. Lithiumaluminiumhydrid, Natriumborhydrid)
4. Sulfide (durch Freisetzen von Schwefelwasserstoff)
5. basische Stoffe (vor allem durch eine starke Wärmeentwicklung, z. B. Natriumhydroxid)

Diese Gefahrstoffe können bei der Reaktion mit Säuren entzündbare oder giftige Gase entwickeln oder durch Verspritzen zu einer Gefährdung des Menschen führen. Auf weitere Gefahrstoffe, die bereits mit Wasser gefährlich reagieren können, wird ausdrücklich hingewiesen! Mit Säuren gefährlich reagierende Gefahrstoffe sind so aufzubewahren und zu handhaben, dass sie nicht mit Säuren in Berührung kommen können, auch nicht bei Unfällen.

#### GEFAHRSTOFFSPEZIFISCHE BETRIEBSANWEISUNG

##### MIT SÄUREN GEFÄHRLICH REAGIERENDE GEFAHRSTOFFE



Beispiele: Natriumcyanid, Kaliumcyanid, Metalle, Natriumborhydrid

#### GEFAHREN FÜR MENSCH UND UMWELT

Gefahrenhinweise (H-Sätze) des Etiketts beachten! Es bestehen erhebliche Gefahren durch die Reaktion mit Säuren. Bei der Reaktion können die Gefahrstoffe durch Verspritzen Personen gefährden. Es können entzündbare Gase (z. B. Wasserstoff) oder giftige Gase (z. B. Cyanwasserstoff, Blausäure, Schwefelwasserstoff) freigesetzt werden.

#### SCHUTZMASSNAHMEN, VERHALTENSREGELN UND HYGIENISCHE MASSNAHMEN

Mit Säuren gefährlich reagierende Gefahrstoffe sind so aufzubewahren und zu handhaben, dass sie nicht mit Säuren in Berührung kommen können, auch nicht bei Unfällen. Sicherheitsratschläge (S-Sätze) des Etiketts beachten! Jeden direkten Körperkontakt vermeiden. Nur im Abzug arbeiten! Während der Arbeit nicht mit Säuren hantieren. Laborkittel, Schutzhandschuhe und Schutzbrille tragen! Regelmäßig Hände und Gesicht waschen.

#### VERHALTEN IM GEFAHRFALL

Benetzte Kleidungsstücke sofort ausziehen. Verschüttete feste Gefahrstoffe zusammenkehren, verschüttete flüssige Stoffe mit Adsorbentien binden und anschließend zur Entsorgung geben. Anschließend kontaminierte Bereiche vorsichtig mit Wasser reinigen. Beim Freisetzen großer Mengen Feuerwehr alarmieren über Notruf 0-112.

#### ERSTE HILFE

Haut: Sofort gründlich mit viel Wasser, Seife oder Polyglycolen (z. B. Roticlean) reinigen, ggf. Notdusche benutzen.

Augen: Unter fließendem Wasser (Augennotdusche) mindestens 10 Minuten lang spülen, anschließend sofort zum Augenarzt.

Verschlucken: Erbrechen auslösen.

Einatmen: Frischluft, Ruhe, Wärme.

In schweren Fällen Notarzt über Notruf 0-112 oder 0-19222 alarmieren. Möglichst Chemikalienflasche/Etikett/Erbrochenes mitnehmen.

## SACHGERECHTE ENTSORGUNG

Siehe Kapitel 9 der allgemeinen Betriebsanweisung. Ggf. ist die Rücksprache mit Abteilung 31, Herrn Weller (Tel. 4698), erforderlich.

### **7.9.7 Gesundheitsgefährdende (gesundheitsschädliche, giftige und sehr giftige) Gefahrstoffe**

Gebäuchliche gesundheitsgefährdende Gefahrstoffe sind:

1. Acetonitril
2. Acrylnitril
3. Allylalkohol
4. Arsen
5. Benzol
6. Chloressigsäure
7. Dimethylsulfat
8. Kaliumcyanid
9. Methanol
10. Methyljodid
11. Quecksilber und dessen Salze
12. Tetrachlormethan

Der Umgang mit gesundheitsgefährdenden Gefahrstoffen ist nur im Abzug erlaubt, wenn eine Überschreitung von Arbeitsplatzgrenzwert oder biologischem Grenzwert nicht ausgeschlossen werden kann.

Mit gesundheitsgefährdenden Stoffen darf nicht in leicht zerbrechlichen Gefäßen mit einem Fassungsvermögen von mehr als 5 Litern gearbeitet werden. Ausnahmen sind nur zulässig, wenn besondere Schutzmaßnahmen getroffen werden, z. B. die Benutzung von Auffangwannen.

Beim Umgang mit elementarem Quecksilber ist dafür zu sorgen, dass die Beschäftigten nicht der Einwirkung von Quecksilberdampf ausgesetzt sind. Beim Arbeiten mit Quecksilber ist ein Verschütten zu vermeiden. Die Arbeiten sind über einer Wanne auszuführen, die verschüttetes Quecksilber sicher auffängt. Soweit es die Arbeit zulässt, sollen geschlossene Gefäße für Quecksilber verwendet werden. Quecksilber in offenen Gefäßen ist nach Möglichkeit abzudecken, z. B. mit flüssigem Paraffin oder mit Wasser. Öffnungen von Apparaturen, die Quecksilber enthalten, können über ein Iodkohleröhrchen entlüftet werden. Verschüttetes Quecksilber ist sofort vollständig aufzunehmen, z. B. durch Aufsaugen, Zusammenkehren, Zusammenschwemmen mit Wasser. Zurückbleibende Reste können durch Aufstreuen handelsüblicher Spezialpräparate oder Schwefel beseitigt werden.

## GEFAHRSTOFFSPEZIFISCHE BETRIEBSANWEISUNG

### GESUNDHEITSGEFÄHRDENDE (GESUNDHEITSSCHÄDLICHE, GIFTIGE UND SEHR GIFTIGE) GEFAHRSTOFFE



Beispiele: Acetonitril, Arsen, Benzol, Chloressigsäure, Methanol, Methyljodid, Kaliumcyanid, Quecksilber und dessen Salze, Tetrachlormethan

#### GEFAHREN FÜR MENSCH UND UMWELT

Gefahrenhinweise (H-Sätze) des Etiketts beachten! Gesundheitsgefährdende Stoffe können durch Einatmen, Verschlucken oder durch die Haut in den Körper aufgenommen werden. Bei Kontakt bereits mit sehr kleinen Mengen gesundheitsgefährdender Stoffe besteht die Gefahr einer ernsten Gesundheitsschädigung einschließlich Vergiftungsgefahr mit Todesfolge. Gesundheitsgefährdende Stoffe dürfen nicht in die Umwelt gelangen.

#### SCHUTZMASSNAHMEN, VERHALTENSREGELN UND HYGIENISCHE MASSNAHMEN

Sicherheitsratschläge (P-Sätze) des Etiketts beachten! Jeden Hautkontakt vermeiden. Gefahrstoffe nicht einatmen und nicht verschlucken. Mit gesundheitsgefährdenden Stoffen möglichst nur im Abzug hantieren. Laborkittel, Schutzhandschuhe und Schutzbrille tragen! Regelmäßig Hände und Gesicht waschen. Mit gesundheitsgefährdenden Stoffen darf nicht in leicht zerbrechlichen Gefäßen mit einem Fassungsvermögen von mehr als 5 Litern gearbeitet werden. Ausnahmen sind nur zulässig, wenn besondere Schutzmaßnahmen getroffen werden, z. B. die Benutzung von Auffangwannen. Spez. Vorschriften für den Umgang mit Quecksilber beachten!

#### VERHALTEN IM GEFAHRFALL

Benetzte Haut gründlich reinigen. Benetzte Kleidungsstücke sofort ausziehen. Verschüttete feste gesundheitsgefährdende Stoffe zusammenkehren, verschüttete flüssige gesundheitsgefährdende Stoffe mit Adsorbentien binden und anschließend zur Entsorgung geben.

#### ERSTE HILFE

Haut: Sofort gründlich mit Wasser, Seife oder Polyglycolen (z. B. Roticlean) reinigen, ggf. Notdusche benutzen.

Augen: Unter fließendem Wasser (Augennotdusche) mindestens 10 Minuten lang spülen, anschließend sofort zum Augenarzt.

Verschlucken: Erbrechen auslösen.

Einatmen: Frischluft, Ruhe, Wärme.

In schweren Fällen Notarzt über Notruf 0-112 oder 0-19222 alarmieren. Möglichst Chemikalienflasche/Etikett/Erbrochenes mitnehmen.

#### SACHGERECHTE ENTSORGUNG

Siehe Kapitel 9 der allgemeinen Betriebsanweisung. Ggf. ist die Rücksprache mit Abteilung 31, Herrn Weller (Tel. 4698), erforderlich.

### 7.9.8 Ätzende und reizende Gefahrstoffe

Gebräuchliche ätzende und reizende Gefahrstoffe sind z. B. konzentrierte bzw. verdünnte Säuren und Laugen:

1. Bromwasserstoffsäure
2. Essigsäure, konz.
3. Flusssäure
4. Perchlorsäure
5. Salzsäure
6. Salpetersäure
7. Schwefelsäure
8. Säurechloride (z. B. Acetylchlorid, Sulfurylchlorid, Chlorsulfonsäure)
9. Säureanhydride (z. B. Acetanhydrid, Phosphorpentoxid)
10. Amine
11. konzentrierte Ammoniaklösung
12. Kaliumhydroxid, Kalilauge
13. Natriumhydroxid, Natronlauge

Beim Verdünnen konzentrierter Säuren bzw. beim Lösen fester Alkalimetallhydroxide (z. B. Natriumhydroxid, Kaliumhydroxid) für die Herstellung von Natronlauge/Kalilauge entsteht sehr viel Wärme! Deshalb immer das Wasser vorlegen und vorsichtig unter Rühren die konzentrierte Säure bzw. das Metallhydroxid zugeben.

Erst das Wasser, dann die Säure, sonst passiert das Ungeheure!

Die schädigende Wirkung für die Haut und vor allem für die Augen ist von Laugen in der Regel höher als die von Säuren!

Mit ätzenden und reizenden Stoffen darf nicht in leicht zerbrechlichen Gefäßen mit einem Fassungsvermögen von mehr als 5 Liter gearbeitet werden. Ausnahmen sind nur zulässig, wenn besondere Schutzmaßnahmen getroffen werden, z. B. die Benutzung von Auffangwannen.

Stoffe, die ätzende oder reizende Dämpfe abgeben (z. B. Brom, Oleum, Flusssäure), sind an Orten mit ausreichender Entlüftung aufzubewahren, z. B. in speziellen, an die Lüftung angeschlossenen Schränken für Säuren/Laugen oder Sicherheitsschränken.

Arbeiten mit wasserfreiem Fluorwasserstoff und konzentrierter Flusssäure dürfen nur unter dem Abzug vorgenommen werden. Dabei sind zusätzlich zur Schutzbrille ein Schutzschirm, lange Schutzhandschuhe, Gummischürze und erforderlichenfalls zusätzliche persönliche Schutzausrüstung (z. B. Atemschutzmaske) zu tragen. Beachten Sie die besondere Betriebsanweisung für den Umgang mit Flusssäure!

Perchlorsäure oder Königswasser dürfen nur in speziellen Abzügen abgeraucht werden.

## GEFAHRSTOFFSPEZ. BETRIEBSANWEISUNG

### ÄTZENDE UND REIZENDE GEFAHRSTOFFE



Beispiele: Salpetersäure, Bromwasserstoffsäure, Flusssäure, Salzsäure, Schwefelsäure, Acetylchlorid, Phosphorpentoxid, Natriumhydroxid, Kaliumhydroxid

#### GEFAHREN FÜR MENSCH UND UMWELT

Gefahrenhinweise (H-Sätze) des Etiketts beachten! Ätzende und reizende Stoffe können die Haut, insbesondere auch die Augen, irreparabel zerstören. Die schädigende Wirkung von Laugen ist in der Regel höher als die von Säuren! Ätzende und reizende Stoffe können ernste Umweltschäden verursachen. Beim Verdünnen konzentrierter Säuren bzw. beim Lösen fester Alkalimetallhydroxide (z. B. Natriumhydroxid, Kaliumhydroxid) für die Herstellung von Natronlauge/Kalilauge entsteht sehr viel Wärme mit Gefahr des Siedeverzuges (Verspritzen)! Deshalb immer das Wasser vorlegen und vorsichtig unter Rühren die konzentrierte Säure bzw. das Metallhydroxid zugeben.

#### SCHUTZMASSNAHMEN, VERHALTENSREGELN UND HYGIENISCHE MASSNAHMEN

Sicherheitsratschläge (P-Sätze) des Etiketts beachten! Jeden direkten Körperkontakt vermeiden. Laborkittel, Schutzhandschuhe aus Neopren/Gummi/Kautschuk und Schutzbrille tragen! Regelmäßig Hände und Gesicht waschen. Gefäße nicht offen aufbewahren. Mit ätzenden und reizenden Stoffen darf nicht in leicht zerbrechlichen Gefäßen mit einem Fassungsvermögen von mehr als 5 Liter gearbeitet werden. Ausnahmen sind nur zulässig, wenn besondere Schutzmaßnahmen getroffen werden, z. B. die Benutzung von Auffangwannen. Stoffe, die ätzende oder reizende Dämpfe abgeben (z. B. Brom, Oleum, Flusssäure), sind an Orten mit ausreichender Entlüftung aufzubewahren, z. B. in speziellen, an die Lüftung angeschlossenen Schränken für Säuren/Laugen oder in Sicherheitsschränken. Arbeiten mit wasserfreiem Fluorwasserstoff und konzentrierter Flusssäure dürfen nur unter dem Abzug vorgenommen werden. Dabei sind zusätzlich zur Schutzbrille ein Schutzschirm, lange Schutzhandschuhe, Gummischürze und erforderlichenfalls zusätzliche persönliche Schutzausrüstung (z. B. Atemschutzmaske) zu tragen. Spezielle Vorschriften für den Umgang mit Fluorwasserstoff, Flusssäure und Perchlorsäure beachten! Perchlorsäure oder Königswasser dürfen nur in speziellen Abzügen abgeraucht werden.

#### VERHALTEN IM GEFAHRFALL

Benetzte Haut gründlich reinigen. Benetzte Kleidungsstücke sofort ausziehen. Verschüttete feste ätzende und reizende Stoffe zusammenkehren, verschüttete flüssige ätzende und reizende Stoffe mit Adsorbentien binden und anschließend zur Entsorgung geben oder neutralisieren.

#### ERSTE HILFE

Haut: Sofort gründlich mit viel Wasser reinigen, ggf. Notdusche benutzen.

Augen: Unter fließendem Wasser (Augennotdusche) mindestens 10 Minuten lang spülen, anschließend sofort zum Augenarzt.

Verschlucken: Kein Erbrechen auslösen. Viel Wasser zu trinken geben (Verdünnungseffekt). Keine Neutralisationsversuche!

Einatmen: Frischluft, Ruhe, Wärme.

In schweren Fällen Notarzt über Notruf 0-112 oder 0-19222 alarmieren. Möglichst Chemikalienflasche/Etikett/Erbrochenes mitnehmen.

## SACHGERECHTE ENTSORGUNG

Siehe Kapitel 9 der allgemeinen Betriebsanweisung. Anorganische Säuren können als „anorganische Säuren, Säuregemische“, anorganische Laugen als „Laugen, Laugengemische“ entsorgt werden. Für alle anderen Verbindungen ist die Rücksprache mit Abteilung 31, Herrn Weller (Tel. 4698), erforderlich.

### 7.9.9 Gefahrstoffe mit besonderer Gefährdung der Augen

Mit diesen Gefahrstoffen darf nur unter dem Abzug gearbeitet werden. Es ist unbedingt eine Schutzbrille, möglichst eine Korbbrille oder zusätzlich zur Schutzbrille ein Gesichtsschutz zu tragen! Beispiele:

1. Cer(III)-chlorid
2. Eisen(II)-chlorid, Eisen(III)-chlorid
3. Kristallviolett
4. Methansulfonylchlorid
5. 4-Methylbenzylchlorid
6. 2-Methylimidazol
7. Methylviolett
8. N,N-Dicyclohexylcarbodiimid
9. Naphthalin-2,3-diol
10. Natriumdisulfit
11. 2-Oxoglutar säure
12. Rhodamin B

## GEFAHRSTOFFSPEZIFISCHE BETRIEBSANWEISUNG

### GEFAHRSTOFFE MIT BESONDERER GEFÄHRDUNG DER AUGEN



Beispiele: Eisen(II)-chlorid, Eisen(III)-chlorid, Cer(III)-chlorid, Auramin, Methylviolett, Kristallviolett, Rhodamin B, Natriumdisulfit, 2-Oxoglutar säure, Tritone, 2-Methylimidazol, N,N-Dicyclohexylcarbodiimid, Methansulfonylchlorid, Naphthalin-2,3-diol, 4-Methylbenzylchlorid

### GEFAHREN FÜR MENSCH UND UMWELT

Gefahrenhinweise (H-Sätze) des Etiketts beachten! Bei Kontakt bereits mit sehr kleinen Gefahrstoffmengen besteht die Gefahr einer ersten Augenschädigung, die unter Umständen erst nach einer langen Zeitspanne auftreten kann.

### SCHUTZMASSNAHMEN, VERHALTENSREGELN UND HYGIENISCHE MASSNAHMEN

Sicherheitsratschläge (P-Sätze) des Etiketts beachten! Jeden Hautkontakt, insbesondere Augenkontakt vermeiden. Gefahrstoffe nicht einatmen und nicht verschlucken. Laborkittel, Schutzhandschuhe und Korbbrille mit Gesichtsschutz oder Atemschutzmaske mit wirksamem Filter tragen! Regelmäßig Hände und Gesicht waschen. Mit diesen Gefahrstoffen darf nur unter dem Abzug gearbeitet werden. Es ist unbedingt eine Schutzbrille, möglichst eine Korbbrille oder zusätzlich zur Schutzbrille ein Gesichtsschutz zu tragen!

### VERHALTEN IM GEFAHRFALL

Benetzte Haut gründlich reinigen. Benetzte Kleidungsstücke sofort ausziehen. Verschüttete feste Stoffe zusammenkehren, verschüttete flüssige mit Adsorbentien binden und anschließend zur Entsorgung geben. Dabei ggf. Atemschutz tragen!

**ERSTE HILFE**

Haut: Sofort gründlich mit Wasser, Seife oder Polyglycolen (z. B. Roticlean) reinigen, ggf. Notdusche benutzen.

Augen: Unter fließendem Wasser (Augennotdusche) mindestens 10 Minuten lang spülen, anschließend sofort zum Augenarzt.

Verschlucken: Erbrechen auslösen.

Einatmen: Frischluft, Ruhe, Wärme.

In schweren Fällen Notarzt über Notruf 0-112 oder 0-19222 alarmieren. Möglichst Chemikalienflasche/Etikett/Erbrochenes mitnehmen.

**SACHGERECHTE ENTSORGUNG**

Siehe Kapitel 9 der allgemeinen Betriebsanweisung. Ggf. ist die Rücksprache mit Abteilung 31, Herrn Weller (Tel. 4698), erforderlich.

### 7.9.10 **Krebserzeugende, fortpflanzungsgefährdende, erbgutverändernde Gefahrstoffe (CMR-Gefahrstoffe)**

Vor dem Umgang mit krebserzeugenden oder erbgutverändernden Gefahrstoffen der Kategorien 1 (nachweislich krebserzeugend, erbgutverändernd oder fruchtbarkeitsgefährdend beim Menschen) oder 2 (nachweislich krebserzeugend, erbgutverändernd oder fruchtbarkeitsgefährdend im Tierversuch) ist eine umfassende Bewertung aller Gefahren nach Art, Ausmaß und Dauer der Exposition der Beschäftigten vorzunehmen und zu dokumentieren. Diese Bewertung und Dokumentation muss in regelmäßigen Abständen und bei jeder Änderung der Bedingungen erneut vorgenommen werden. Die auf einem Etikett befindlichen Gefahrensymbole, Hinweise auf besondere Gefahren (H-Sätze), Sicherheitsratschläge (P-Sätze) und die Angaben in den Sicherheitsdatenblättern sind Bestandteile dieser Betriebsanweisung und Grundlage für zu treffende Schutzmaßnahmen beim Umgang mit Gefahrstoffen.

Arbeitsbereiche (Laboratorien), in denen Überschreitungen des Arbeitsplatzgrenzwertes krebserzeugender, erbgutverändernder oder fruchtbarkeitsgefährdender Stoffe auftreten oder auftreten können, sind durch Warn- und Sicherheitszeichen zu kennzeichnen. Der Zutritt ist durch das Verbotssymbol „Zutritt für Unbefugte verboten“ einzuschränken.

Bei Tätigkeiten, bei denen eine beträchtliche Erhöhung der Exposition der Beschäftigten durch krebserzeugende, erbgutverändernde oder fruchtbarkeitsgefährdende Gefahrstoffe zu erwarten ist und bei denen jede Möglichkeit weiterer technischer Schutzmaßnahmen zur Begrenzung dieser Exposition bereits ausgeschöpft wurde, hat der Arbeitgeber nach Beratung mit den Beschäftigten oder mit ihrer Personalvertretung Maßnahmen zu ergreifen, um die Dauer der Exposition der Beschäftigten so weit wie möglich zu verkürzen und den Schutz der Beschäftigten während dieser Tätigkeit zu gewährleisten. Er hat den betreffenden Beschäftigten zusätzliche persönliche Schutzausrüstung zur Verfügung zu stellen, die sie während der gesamten Dauer der erhöhten Exposition tragen müssen.

Beim Menschen oder im Tierversuch nachweislich krebserzeugende (cancerogene), erbgutverändernde (mutagene) oder fortpflanzungsgefährdende (reproduktionstoxische) Gefahrstoffe (CMR-Stoffe) werden mit dem Gefahrensymbol „Oberkörper“ gekennzeichnet und dem Signalwort „Gefahr“ gekennzeichnet. Gefahrstoffe, die im Verdacht stehen, eine oder mehrere dieser Eigenschaften zu haben, werden ebenfalls mit dem Gefahrensymbol „Oberkörper“ und dem Signalwort „Achtung“ gekennzeichnet.

Bei folgenden Verbindungsklassen besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit für eine krebserzeugende, fortpflanzungsgefährdende oder erbgutverändernde Wirkung:

1. Alkylierungsreagentien (z. B. Dimethylsulfat, halogenierte Kohlenwasserstoffe)
2. aromatische Amine (z. B. 2-Naphthylamin, Benzidin)
3. Epoxide (z. B. Ethylenoxid, Propylenoxid)
4. aromatische Kohlenwasserstoffe (z. B. Benzol, Benzo[a]pyren)
5. Schwermetalle und ihre Verbindungen (z. B. Nickel, Arsen, Cadmium, Chrom(VI)).

Der Umgang mit CMR-Gefahrstoffen ist nur im Abzug erlaubt, wenn eine Überschreitung von Arbeitsplatzgrenzwert oder biologischem Grenzwert nicht ausgeschlossen werden kann.

Mit CMR-Gefahrstoffen darf nicht in leicht zerbrechlichen Gefäßen mit einem Fassungsvermögen von mehr als 5 Litern gearbeitet werden. Ausnahmen sind nur zulässig, wenn besondere Schutzmaßnahmen getroffen werden, z. B. die Benutzung von Auffangwannen.

## GEFAHRSTOFFSPEZ. BETRIEBSANWEISUNG

### KREBSERZEUGENDE, FORTPFLANZUNGSGEFÄHRDENDE ODER ERBGUTVERÄNDERNDE GEFAHRSTOFFE (CMR-GEFAHRSTOFFE)



Beispiele: Acrylnitril, Iodmethan, Diazomethan, 2-Naphthylamin, Benzidin; Benzol, Arsen, Antimon, Cadmium, Cobalt, Nickel, Chrom(VI) und deren Verbindungen; Dichlormethan, Trichlormethan

#### GEFAHREN FÜR MENSCH UND UMWELT

Gefahrenhinweise (H-Sätze) des Etiketts beachten! Bei Kontakt bereits mit sehr kleinen Gefahrstoffmengen besteht die Gefahr einer ernsten Gesundheitsschädigung, die erst nach einer langen Zeitspanne auftreten kann. CMR-Stoffe dürfen nicht in die Umwelt gelangen.

#### SCHUTZMASSNAHMEN, VERHALTENSREGELN UND HYGIENISCHE MASSNAHMEN

Sicherheitsratschläge (S-Sätze) des Etiketts beachten! Jeden Hautkontakt vermeiden. CMR-Gefahrstoffe nicht einatmen und nicht verschlucken. Mit CMR-Gefahrstoffen nur im Abzug hantieren. Die Menge der CMR-Gefahrstoffe am Arbeitsplatz ist so weit wie möglich zu begrenzen. Die CMR-Gefahrstoffe sind in geeigneten, dicht verschließbaren und gekennzeichneten Behältern zu lagern, aufzubewahren und zu transportieren. Laborkittel, Schutzhandschuhe und Schutzbrille tragen! Regelmäßig Hände und Gesicht waschen. Mit CMR-Gefahrstoffen darf nicht in leicht zerbrechlichen Gefäßen mit einem Fassungsvermögen von mehr als 5 Litern gearbeitet werden. Ausnahmen sind nur zulässig, wenn besondere Schutzmaßnahmen getroffen werden, z. B. die Benutzung von Auffangwannen.

#### VERHALTEN IM GEFAHRFALL

Benetzte Haut gründlich reinigen. Benetzte Kleidungsstücke sofort ausziehen. Verschüttete feste Stoffe zusammenkehren, verschüttete flüssige mit Adsorbentien binden und anschließend zur Entsorgung geben. Dabei ggf. Atemschutz tragen!

#### ERSTE HILFE

Haut: Sofort gründlich mit Wasser, Seife oder Polyglycolen (z. B. Roticlean) reinigen, ggf. Notdusche benutzen.

Augen: Unter fließendem Wasser (Augennotdusche) mindestens 10 Minuten lang spülen, anschließend sofort zum Augenarzt.

Verschlucken: Erbrechen auslösen.

Einatmen: Frischluft, Ruhe, Wärme.

In schweren Fällen Notarzt über Notruf 0-112 oder 0-19222 alarmieren. Möglichst Chemikalienflasche/Etikett/Erbrochenes mitnehmen.

#### SACHGERECHTE ENTSORGUNG

Siehe Kapitel 9 der allgemeinen Betriebsanweisung. Ggf. ist die Rücksprache mit Abteilung 31, Herrn Weller (Tel. 4698), erforderlich.

### 7.9.10.1 Krebserzeugende Gefahrstoffe

Werden der Arbeitsplatzgrenzwert oder der biologische Grenzwert für krebserzeugende Gefahrstoffe überschritten, dürfen Personen nicht beschäftigt werden.

Krebserzeugende Gefahrstoffe sind Stoffe und Zubereitungen, die krebserzeugend sind, sowie Stoffe, Zubereitungen und Erzeugnisse, aus denen bei der Herstellung oder Verwendung krebserzeugende Stoffe entstehen oder freigesetzt werden können. Gefahrstoffe sind krebserzeugend, wenn sie entsprechend gekennzeichnet sind oder aufgrund sonstiger Erkenntnisse des Arbeitgebers als krebserzeugend einzustufen sind. Zubereitungen sind als krebserzeugend anzusehen, sofern der Massengehalt an einem krebserzeugenden Stoff gleich oder größer als 0,1 % ist, soweit nicht andere stoffspezifische Konzentrationsgrenzen festgelegt sind. Krebserzeugende Gefahrstoffe sind in der Technischen Regel für Gefahrstoffe TRGS 905 „Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe“ (<http://www.baua.de/prax/ags/verz905.htm>) aufgeführt. Weitere Angaben enthält die EU-Richtlinie 2009/2/EG vom 16.01.2009.

Krebserzeugende Stoffe werden in drei Kategorien eingestuft:

1. Kategorie 1 (K1 = Canc.Kat.1): Stoffe, die beim Menschen bekanntermaßen krebserzeugend wirken
2. Kategorie 2 (K2 = Canc.Kat.2): Stoffe, die als krebserzeugend für den Menschen angesehen werden sollten. Es bestehen hinreichende Anhaltspunkte zu der begründeten Annahme, dass die Exposition eines Menschen gegenüber dem Stoff Krebs erzeugen kann. Diese Annahme beruht im Allgemeinen auf geeigneten Langzeittierversuchen sowie sonstigen relevanten Informationen.
3. Kategorie 3 (K3 = Canc.Kat. 3): Stoffe, die wegen möglicher krebserzeugender Wirkung beim Menschen Anlass zur Besorgnis geben, über die jedoch nicht genügend Informationen für eine befriedigende Beurteilung vorliegen. Aus geeigneten Tierversuchen liegen einige Anhaltspunkte vor, die jedoch nicht ausreichen, um den Stoff in die Kategorie 2 einzustufen.

Das Expositionsverbot gilt für:

1. 4-Aminobiphenyl und seine Salze
2. 6-Amino-2-ethoxynaphthalin
3. Asbest
4. Benzidin und seine Salze
5. Bis(chlormethyl)ether
6. Cadmiumchlorid (in atembarer Form)
7. Chlormethylmethylether
8. Dimethylcarbamoylchlorid
9. Hexamethylphosphorsäuretriamid
10. 2-Naphthylamin und seine Salze
11. 4-Nitrobiphenyl
12. N-Nitrosaminverbindungen
13. 1,3-Propansulton
14. Tetranitromethan
15. 1,2,3-Trichlorpropan

Beim Umgang mit krebserzeugenden oder erbgutverändernden Stoffen der Kategorien 1 und 2 sind diese Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln in zumutbarer Weise anzuwenden:

Krebserzeugende Gefahrstoffe sind in geschlossenen Anlagen herzustellen oder zu verwenden, soweit dies nach dem Stand der Technik möglich ist.

Der Umgang mit diesen Gefahrstoffen muss in Einrichtungen (z. B. Abzügen) erfolgen, die dem Stand der Technik entsprechen und bestimmungsgemäß bedient werden (z. B. Geschlossenhalten der Frontschieber in Abzügen). Die Menge der verwendeten Stoffe ist auf ein Mindestmaß zu begrenzen. Alle Arbeitsgänge (Reaktionsansatz, Reaktionsdurchführung und Aufarbeitung) sind so zu planen und durchzuführen, dass ein offener Umgang vermieden wird (z. B. Verwendung von geschlossenen Apparaturen, Spritzen, Septen, Vakuumfritten). Maßnahmen zur Dekontamination und gefahrlosen Beseitigung sind vor der Versuchsdurchführung festzulegen und die dafür notwendigen Hilfsmittel in ausreichender Menge und schnell erreichbar bereitzustellen. Die Gefahrstoffe sind in verwendungsbe-reiter und nicht staubender Form einzusetzen. Die Freisetzung von Aerosolen ist zu vermeiden. Gerä-

te, Apparaturen und Behälter sind in leicht zu reinigende Auffangschalen zu stellen. Im Abzug dürfen nur die unmittelbar benötigten Arbeitsmittel und Stoffe bereitgestellt werden.

Wenn eine Kontamination der Hände nicht auszuschließen ist, sind ausreichend undurchlässige und beständige Schutzhandschuhe zu tragen. Kontaminierte Handschuhe sind im Abzug aufzubewahren und unverzüglich nach Versuchsdurchführung zu entsorgen. Die Dekontamination der Laborgeräte ist im Abzug durchzuführen. Der Abzug ist nach Beendigung der Tätigkeit zu reinigen, Kontaminationen sind mit einem geeigneten Reagens zu beseitigen.

Arbeitsbereiche, in denen mit krebserzeugenden Gefahrstoffen umgegangen wird, sind durch geeignete Warn- und Sicherheitszeichen sowie mit dem Zeichen „Essen, Trinken und Rauchen verboten“ zu kennzeichnen.

Krebserzeugende Gefahrstoffe sind in geeigneten, dicht verschließbaren und gekennzeichneten Behältern zu lagern, aufzubewahren und zu transportieren.

Reststoffe und Abfälle, die krebserzeugende Gefahrstoffe enthalten, sind in geeigneten, sicher verschließbaren und gekennzeichneten Behältnissen ohne Gefahr für Mensch und Umwelt zu sammeln, zu lagern und zu entsorgen. Bei der Einstufung der Abfälle hinsichtlich der krebserzeugenden Eigenschaften ist von der höchsten zu erwartenden Gefahr auszugehen.

Luft, die krebserzeugende Gefahrstoffe enthält, darf nicht in die Atemluft anderer Beschäftigter gelangen können. In Arbeitsbereiche, in denen mit krebserzeugenden Gefahrstoffen umgegangen wird, darf abgesaugte Luft nicht zurückgeführt werden. Eine Ausnahme ist nur zulässig, wenn die Luft sicher von krebserzeugenden Gefahrstoffen gereinigt ist. Für die in der obigen Tabelle aufgeführten besonders gefährlichen krebserzeugenden Gefahrstoffe (gekennzeichnet durch eine in Klammer gesetzte Zahl hinter dem Chemikaliennamen) ist eine Ausnahme nicht möglich.

zum Expositionsverbot; z. B. Arbeiten in geschlossenen Anlagen, zumindest aber Arbeiten im Abzug. Auf jeden Fall müssen möglichst emissionsarme Verfahren verwendet werden. Es dürfen grundsätzlich nicht mehr als 500 g bzw. 500 ml dieser Stoffe auf einmal verwendet werden.

### 7.9.10.1 Erbgutverändernde Gefahrstoffe

Erbgutverändernde Gefahrstoffe sind Stoffe und Zubereitungen, die erbgutverändernd sind, sowie Stoffe, Zubereitungen und Erzeugnisse, aus denen bei der Herstellung oder Verwendung erbgutverändernde Stoffe entstehen oder freigesetzt werden können. Gefahrstoffe sind erbgutverändernd, wenn sie entsprechend gekennzeichnet sind oder aufgrund sonstiger Erkenntnisse des Arbeitgebers als erbgutverändernd einzustufen sind. Zubereitungen sind als erbgutverändernd anzusehen, sofern der Massengehalt an einem erbgutverändernden Stoff gleich oder größer als 0,1 % ist, soweit nicht andere stoffspezifische Konzentrationsgrenzen festgelegt sind.

Erbgutverändernde Gefahrstoffe sind in der Technischen Regel für Gefahrstoffe TRGS 905 „Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe“ (<http://www.baua.de/prax/ags/verz905.htm>) aufgeführt.

Für den Umgang mit erbgutverändernden Gefahrstoffen gelten die gleichen Vorschriften wie für den Umgang mit krebserzeugenden Gefahrstoffen.

Erbgutverändernde Stoffe werden in drei Kategorien eingestuft:

1. Kategorie 1 (M1 = Mut.Kat.1): Stoffe, die beim Menschen bekanntermaßen erbgutverändernd wirken.
2. Kategorie 2 (M2 = Mut.Kat.2): Stoffe, die als erbgutverändernd für den Menschen angesehen werden sollten. Es bestehen hinreichende Anhaltspunkte zu der begründeten Annahme, dass die Exposition eines Menschen gegenüber dem Stoff zu vererbaren Schäden führen kann. Diese Annahme beruht im Allgemeinen auf geeigneten Langzeittierversuchen sowie sonstigen relevanten Informationen.
3. Kategorie 3 (M3= Mut.Kat.3): Stoffe, die wegen möglicher erbgutverändernder Wirkung beim Menschen Anlass zur Besorgnis geben. Aus geeigneten Mutagenitätsversuchen liegen einige Anhaltspunkte vor, die jedoch nicht ausreichen, um den Stoff in die Kategorie 2 einzustufen.

### 7.9.10.2 Fortpflanzungsgefährdende Gefahrstoffe

Fortpflanzungsgefährdende (reproduktionstoxische) Stoffe werden in drei Kategorien eingestuft:

1. Kategorie 1 (RE1/RF1): Stoffe, die beim Menschen die Fortpflanzungsfähigkeit (Fruchtbarkeit) bekanntermaßen beeinträchtigen bzw. Stoffe, die beim Menschen bekanntermaßen fruchtschädigend (entwicklungsschädigend) wirken.
2. Kategorie 2 (RE2/RF2): Stoffe, die als beeinträchtigend für die Fortpflanzungsfähigkeit (Fruchtbarkeit) des Menschen angesehen werden sollten bzw. Stoffe, die als fruchtschädigend (entwicklungsschädigend) für den Menschen angesehen werden sollten. Es bestehen hinreichende Anhaltspunkte zu der begründeten Annahme, dass die Exposition eines Menschen gegenüber dem Stoff zu einer Beeinträchtigung der Fortpflanzungsfähigkeit führen kann bzw. die Exposition einer schwangeren Frau gegenüber dem Stoff zu schädlichen Auswirkungen auf die Entwicklung der Nachkommenschaft führen kann. Diese Annahmen beruhen im Allgemeinen auf eindeutigen Nachweisen aus Tierversuchen sowie sonstigen relevanten Informationen.
3. Kategorie 3 (RE3/RF3): Stoffe, die wegen möglicher Beeinträchtigung der Fortpflanzungsfähigkeit (Fruchtbarkeit) des Menschen zu Besorgnis Anlass geben bzw. Stoffe, die wegen möglicher fruchtschädigender (entwicklungsschädigender) Wirkungen beim Menschen Anlass zur Besorgnis geben. Diese Annahmen beruhen im Allgemeinen auf Ergebnissen aus geeigneten Tierversuchen, deren Befunde jedoch für eine Einstufung die Kategorie 2 nicht ausreichen, sowie sonstigen relevanten Informationen.

Fortpflanzungsgefährdende Gefahrstoffe sind in der Technischen Regel für Gefahrstoffe TRGS 905 „Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe“ (<http://www.baua.de/prax/ags/verz905.htm>) aufgeführt.

### 7.9.11 Sensibilisierende Gefahrstoffe

Berufsbedingte Erkrankungen, d.h. von sensibilisierenden Stoffen ausgelöste Allergien, stellen heute ein Hauptproblem im betrieblichen Gesundheitsschutz dar. Allergien führen dazu, dass Beschäftigte häufig Ihrer Arbeit nicht mehr nachgehen können. Es ist deshalb von ganz großer Bedeutung, mit sensibilisierenden Stoffen besonders vorsichtig umzugehen und sie mit der gleichen Vorsicht zu behandeln wie z. B. krebserzeugende oder giftige Stoffe.

Die sensibilisierende Wirkung von Arbeitsstoffen ist im Rahmen der arbeitsmedizinischen Betreuung von Beschäftigten, die Umgang mit diesen Stoffen haben, besonders zu beachten. Dabei sollen Beschäftigte unter Berücksichtigung ihrer individuellen Disposition gezielt über die Gefährdung und die Möglichkeit der Prävention beraten werden. Ansprechpartner dafür sind die Stabsstelle für Arbeitssicherheit und Gesundheitsvorsorge und der Betriebsarzt. Durch gezielte Frühdiagnostik und geeignete Maßnahmen kann die Entwicklung ausgeprägter, nicht mehr rückbildungsfähiger allergischer Krankheiten verhindert werden.

Sensibilisierende Gefahrstoffe sind Chemikalien, die je nach persönlicher Disposition unterschiedlich schnell und stark allergische Erscheinungen auslösen können. Sensibilisierende Gefahrstoffe sind in der Technischen Regel für Gefahrstoffe TRGS 907 „Verzeichnis sensibilisierender Stoffe“ ([http://www.baua.de/prax/ags/verz\\_907.htm](http://www.baua.de/prax/ags/verz_907.htm)) aufgeführt. Von einer sensibilisierenden Wirkung ist auszugehen bei folgenden Verbindungsklassen bzw. Verbindungen mit folgenden Strukturelementen sowie folgenden gebräuchlichen Gefahrstoffe wie z. B.:

1. aromatische Amine
2. Azo-Verbindungen
3. Acrylsäurederivate
4. Benzolsulfonate
5. Chrom(VI)-Verbindungen
6. Cobalt und seine Salze
7. Dicarbonsäureanhydride, z. B. Maleinsäureanhydrid, Phthalsäureanhydrid
8. Epoxide
9. Formaldehyd
10. Hydrazin und seine Salze
11. Hydrochinon und Derivate
12. Hydroxylamin und seine Salze
13. Isocyanate
14. Methacrylate
15. Nickel und seine Salze
16. Peroxide
17. Peroxodisulfate
18. Phenylendiamin-Verbindungen
19. Platin(IV)- und Platin(VI)-Verbindungen
20. Sulfanilsäure
21. Thiazol-Derivate
22. Triazin-Derivate
23. Trihydroxybenzol-Derivate

## GEFAHRSTOFFSPEZIFISCHE BETRIEBSANWEISUNG

### SENSIBILISIERENDE GEFAHRSTOFFE



#### **GEFAHR**

Beispiele: Nickel, Kobalt, Platin, Rhodium und ihre Verbindungen; Peroxodisulfate, Isocyanate, Chrom(VI)-verbindungen, Formaldehyd, Hydrazin und seine Verbindungen, 1,4-Naphthochinon, Paraformaldehyd, Hydroxylammoniumchlorid, Diaminohexan

#### GEFAHREN FÜR MENSCH UND UMWELT

Gefahrenhinweise (H-Sätze) des Etiketts beachten! Bei Hautkontakt, Verschlucken oder Einatmen können durch diese Gefahrstoffe - auch bereits nach einmaligem Kontakt! - schwere Allergien ausgelöst werden.

#### SCHUTZMASSNAHMEN, VERHALTENSREGELN UND HYGIENISCHE MASSNAHMEN

Sicherheitsratschläge (P-Sätze) des Etiketts beachten! Jeden Hautkontakt vermeiden. Gefahrstoffe nicht einatmen und nicht verschlucken. Laborkittel, Schutzhandschuhe und Schutzbrille tragen! Regelmäßig Hände und Gesicht waschen.

#### VERHALTEN IM GEFAHRFALL

Benetzte Haut gründlich reinigen. Benetzte Kleidungsstücke sofort ausziehen. Verschüttete feste Stoffe zusammenkehren, verschüttete flüssige Stoffe mit Adsorbentien binden und anschließend zur Entsorgung geben. Dabei ggf. zusätzlich Atemschutz tragen!

#### ERSTE HILFE

Haut: Sofort gründlich mit Wasser, Seife oder Polyglycolen (z. B. Roticlean) reinigen, ggf. Notdusche benutzen.

Augen: Unter fließendem Wasser (Augennotdusche) mindestens 10 Minuten lang spülen, anschließend sofort zum Augenarzt.

Verschlucken: Erbrechen auslösen.

Einatmen: Frischluft, Ruhe, Wärme.

In schweren Fällen Notarzt über Notruf 0-112 oder 0-19222 alarmieren. Möglichst Chemikalienflasche/Etikett/Erbrochenes mitnehmen.

#### SACHGERECHTE ENTSORGUNG

Siehe Kapitel 9 der allgemeinen Betriebsanweisung. Ggf. ist die Rücksprache mit Abteilung 31, Herrn Weller (Tel. 4698), erforderlich.

### 7.9.12 Gefahrstoffe mit der Gefahr kumulativer Wirkungen

Diese Gefahrstoffe werden vom Körper aufgenommen, aber nur sehr langsam oder gar nicht abgebaut oder ausgeschieden. Durch die wiederholte Aufnahme kleinster Mengen kann sich der Stoff so sehr im Körper anreichern, dass es zu schweren Gesundheitsstörungen kommen kann. Beispiele:

1. Anisidine
2. Schwermetalle und sonstige giftige Metalle und ihre Verbindungen (z. B. Blei, Cadmium, Quecksilber, Selen, Thallium, Nickel, Arsen)
3. Bromaniline und Chloraniline (alle Isomere)
4. Alkylaniline und Dialkylaniline (z. B. Methylanilin, Diethylanilin und Dimethylanilin, alle Isomere)
5. aromatische Nitroverbindungen (z. B. Nitroanilin, Nitrobenzol, Nitrophenol, Nitrotoluol, alle Isomere)
6. aromatische Dinitroverbindungen (z. B. Dinitroaniline, Dinitrobenzole, Dinitrophenole, Dinitrotoluole, alle Isomere)
7. Diphenylamin
8. Phenetidine

## GEFAHRSTOFFSPEZIFISCHE BETRIEBSANWEISUNG

### GEFAHRSTOFFE MIT DER GEFAHR KUMULATIVER WIRKUNGEN

Beispiele: Blei, Cadmium, Quecksilber, Thallium, Uran, Selen und ihre Verbindungen; Dialkylaniline, Nitrobenzol und substituierte Nitrobenzole, Dinitrobenzol und substituierte Dinitrobenzole, Brom- und Chloraniline, Dichloraniline, Diphenylamin, Anisidine, Phenetidine.

### GEFAHREN FÜR MENSCH UND UMWELT

Gefahrenhinweise (H-Sätze) des Etiketts beachten! Diese Gefahrstoffe werden vom Körper aufgenommen, aber nur sehr langsam oder gar nicht abgebaut oder ausgeschieden. Durch die wiederholte Aufnahme kleinster Mengen kann sich der Stoff so sehr im Körper anreichern, dass es zu schweren Gesundheitsstörungen kommen kann. Bei wiederholtem Kontakt bereits mit sehr kleinen Gefahrstoffmengen besteht die Gefahr einer ernsten Gesundheitsschädigung, die erst nach einer langen Zeitspanne auftreten kann. Gefahrstoffe mit der Gefahr kumulativer Wirkungen dürfen nicht in die Umwelt gelangen.

### SCHUTZMASSNAHMEN, VERHALTENSREGELN UND HYGIENISCHE MASSNAHMEN

Sicherheitsratschläge (PS-Sätze) des Etiketts beachten! Jeden Hautkontakt vermeiden. Gefahrstoffe nicht einatmen und nicht verschlucken. Mit Gefahrstoffen mit der Gefahr kumulativer Wirkungen nur im Abzug hantieren. Laborkittel, Schutzhandschuhe und Schutzbrille tragen! Regelmäßig Hände und Gesicht waschen.

### VERHALTEN IM GEFAHRFALL

Benetzte Haut gründlich reinigen. Benetzte Kleidungsstücke sofort ausziehen. Verschüttete feste Stoffe zusammenkehren, verschüttete flüssige mit Adsorbentien binden und anschließend zur Entsorgung geben. Dabei ggf. Atemschutz tragen!

### ERSTE HILFE

Haut: Sofort gründlich mit Wasser, Seife oder Polyglycolen (z. B. Roticlean) reinigen, ggf. Notdusche benutzen.

Augen: Unter fließendem Wasser (Augennotdusche) mindestens 10 Minuten lang spülen, anschließend sofort zum Augenarzt.

Verschlucken: Erbrechen auslösen.

Einatmen: Frischluft, Ruhe, Wärme.

In schweren Fällen Notarzt über Notruf 0-112 oder 0-19222 alarmieren. Möglichst Chemikalienflasche/Etikett/Erbrochenes mitnehmen.

### SACHGERECHTE ENTSORGUNG

Siehe Kapitel 9 der allgemeinen Betriebsanweisung. Ggf. ist die Rücksprache mit Abteilung 31, Herrn Weller (Tel. 4698), erforderlich.

### 7.9.13 Umweltgefährdende (Umweltgefährliche) Gefahrstoffe

Diese Gefahrstoffe dürfen nicht in die Umwelt gelangen, weder in flüssiger, noch in gasförmiger noch in fester Form! Beispiele:

1. 4-Amino-3-fluorphenol
2. Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKWs) allgemein
3. chlorierte Kohlenwasserstoffe (z. B. Lindan, Tetrachlormethan, 1,1,1-Trichlorethan)
4. Schwermetalle und andere giftige Metalle aller Art einschließlich ihrer Verbindungen

### UMWELTGEFÄHRDENDE (UMWELTGEFÄHRLICHE) GEFAHRSTOFFE



**GAFHR**

Beispiele: Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), 4-Amino-3-fluorphenol, 1,1,1-Trichlorethan, Tetrachlormethan, Schwermetalle wie Cadmium, Nickel, Blei, Quecksilber

#### GEFAHREN FÜR MENSCH UND UMWELT

Gefahrenhinweise (H-Sätze) des Etiketts beachten! Bereits sehr kleine Gefahrstoffmengen, die in die Umwelt gelangen, können zu einer ernsten Schädigung der Umwelt führen. Schädigungen von Menschen sind ebenfalls zu befürchten.

#### SCHUTZMASSNAHMEN, VERHALTENSREGELN UND HYGIENISCHE MASSNAHMEN

Sicherheitsratschläge (P-Sätze) des Etiketts beachten! Jeden Hautkontakt, insbesondere Augenkontakt vermeiden. Gefahrstoffe nicht einatmen und nicht verschlucken. Regelmäßig Hände und Gesicht waschen. Gefahrstoffe nicht in die Umwelt gelangen lassen!

#### VERHALTEN IM GEFAHRFALL

Benetzte Haut gründlich reinigen. Benetzte Kleidungsstücke sofort ausziehen. Verschüttete feste Stoffe zusammenkehren, verschüttete flüssige mit Adsorbentien binden und anschließend zur Entsorgung geben. Dabei ggf. Atemschutz tragen!

#### ERSTE HILFE

Haut: Sofort gründlich mit Wasser, Seife oder Polyglycolen (z. B. Roticlean) reinigen, ggf. Notdusche benutzen.

Augen: Unter fließendem Wasser (Augennotdusche) mindestens 10 Minuten lang spülen, anschließend sofort zum Augenarzt.

Verschlucken: Erbrechen auslösen.

Einatmen: Frischluft, Ruhe, Wärme.

In schweren Fällen Notarzt über Notruf 0-112 oder 0-19222 alarmieren. Möglichst Chemikalienflasche/Etikett/Erbrochenes mitnehmen.

#### SACHGERECHTE ENTSORGUNG

Siehe Kapitel 9 der allgemeinen Betriebsanweisung. Die Entsorgung darf nur durch die Abteilung 31, Herrn Weller (Tel. 4698), erfolgen. Gefahrstoffe niemals in das Abwasser oder in den Restmüll geben. Stoffe nicht verdampfen lassen.

## 8 Allgemeine Labortätigkeiten

Die wöchentlichen Arbeitstage in den Laboratorien sind Montag bis Freitag; ausgenommen sind gesetzliche Feiertage. Die Arbeitszeiten in den Laboratorien sind 8-18 Uhr.

In diesen regelmäßigen Arbeitszeiten ist mit ausreichender Wahrscheinlichkeit gewährleistet, dass Personen anwesend sind, die bei Unfällen Erste Hilfe leisten und weitere Hilfe holen können. Außerhalb dieser Arbeitszeiten sind Labortätigkeiten nur zulässig, wenn sich eine zweite Person in der Nähe befindet und diese Person denjenigen regelmäßig kontrolliert, der Labortätigkeiten ausführt.

Bei Arbeitsende sind alle Wasser, Gas- und Dampfhähne zu schließen und alle Netzstecker zu ziehen. Soweit möglich sind auch die Haupthähne abzusperrern und die Hauptschalter (z. B. Not-Aus) auszuschalten. Ausnahmen gelten nur, wenn Geräte ununterbrochen weiter betrieben werden müssen.

Alle Experimente müssen sorgfältig geplant und vorbereitet werden. Dazu gehört die Überlegung, ob ein Experiment in der vorgesehenen Arbeitszeit tatsächlich durchgeführt werden kann. Ist dies nicht der Fall, muss im Voraus festgelegt werden, an welchen Stellen der Versuch gefahrlos unterbrochen werden kann. 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 einem erhöhtem Sicherheitsrisiko. Wenn man einen Versuch bereits am Vortag vorbereitet, gewinnt man Zeit und Flexibilität.

Ist es notwendig, einen Versuch über längere Zeit oder über Nacht unbeaufsichtigt laufen zu lassen, müssen geeignete Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden. Besondere Vorschriften für Versuche, die unbeaufsichtigt und/oder über Nacht laufen und nur in Dauerversuchsräumen durchgeführt werden dürfen, enthält das Kapitel: Dauerversuche.

Personen, die Versuche durchführen, dürfen ihren Arbeitsplatz nur dann verlassen, wenn eine dauernde Überwachung der Versuche nicht erforderlich ist oder ein anderer Beschäftigter, der über den Ablauf der Versuche unterrichtet ist, die Überwachung übernimmt. Die Platznachbarn sind immer über laufende Versuche und mögliche Gefahren zu informieren.

Zeigen sich im Verlauf einer chemischen Reaktion oder einer Destillation durch plötzliches Aufschäumen oder Ausgasen Anzeichen für eine beginnende Zersetzung des Kolbeninhaltes, ist der gefährdete Bereich zu räumen und die betroffene Umgebung zu warnen. Die Beheizung und die in der Nähe befindlichen Zündquellen sind von ungefährdeter Stelle aus abzuschalten. Dazu sind z. B. NOT-AUS-Schalter zu benutzen!

### 8.1 Arbeiten im Abzug

Grundsätzlich ist zu verhindern, dass Gefahrstoffe bei chemischen Versuchen und bei ihrer Vorbereitung in solchen Mengen in die Luft gelangen können, dass Arbeitsplatzgrenzwerte oder biologische Grenzwerte überschritten werden und dadurch eine gesundheitliche Schädigung der Beschäftigten zu befürchten ist. Dies ist z. B. durch Benutzung von geschlossenen Apparaturen, der direkten Verbindung der Öffnung einer Apparatur mit einer Absaugung oder im Regelfall durch Arbeiten im Abzug möglich. Zur Emissionsminderung sind möglichst auch im Abzug austretende Schadstoffe an ihrer Austritts- oder Entstehungsstelle zu erfassen und zu beseitigen, beispielsweise durch Absorption in einem Gaswaschturm. Die richtige Nutzung eines Abzuges schützt im Labor tätige Personen vor unnötigen Expositionen mit Gefahrstoffen. Der Abzug funktioniert umso besser, je tiefer der Frontschieber heruntergezogen ist. Der wirksamste Schutz ist bei geschlossenem Frontschieber gegeben.

Tätigkeiten, bei denen Gase, Dämpfe oder Schwebstoffe in gefährlicher Konzentration oder Menge auftreten können (z. B. bei der Verwendung von hoch- und leichtentzündlichen, sehr giftigen, giftigen, reizenden, krebserzeugenden, erbgutschädigenden und fortpflanzungsgefährdenden Gefahrstoffen), dürfen nur in einem Abzug ausgeführt werden. Das gilt auch für Umfüll-, Wäge- und Reinigungsvorgänge. Der Frontschieber ist bei solchen Tätigkeiten geschlossen zu halten. Bei geöffnetem Frontschieber darf nur in begründeten Ausnahmefällen nach einer Beurteilung der Gefährdungen gearbeitet werden, da bei geöffnetem Frontschieber das Rückhaltevermögen deutlich vermindert und damit der Schadstoffaustritt höher sein kann. Zudem wird der Benutzer des Abzuges dann nicht gegen verspritzende gefährliche Stoffe oder umherfliegende Glassplitter geschützt.

Das Arbeiten im Abzug vermeidet im Allgemeinen das Auftreten unzulässig hoher Expositionen im Labor. Mit giftigen und sehr giftigen Stoffen ist nach Möglichkeit in geschlossenen Laborapparaturen im Abzug oder vergleichbaren Einrichtungen zu arbeiten. Neben verfahrensbedingten Freisetzen im Abzug werden hier in der Regel auch Freisetzungen bei Störungen und Havarien sicher beherrscht. Die Beherrschbarkeit kann insbesondere durch die freisetzbare Menge, die Stoffeigenschaften und das angewandte Verfahren begrenzt werden. Solche Freisetzungen können beispielsweise die Dämpfe sein, die beim Umfüllen eines Lösemittels auftreten, Nanopartikel, die bei der Bearbeitung eines Compound-Werkstoffs aus der Matrix gerissen und freigesetzt werden, oder eine Gaswolke, die beim Undichtwerden einer Schliffverbindung austreten kann.

Außerhalb der Abzüge dürfen Tätigkeiten, bei denen Gase, Dämpfe oder Schwebstoffe in gefährlicher Konzentration oder Menge auftreten können, nur durchgeführt werden, wenn durch geeignete Maßnahmen oder durch die Art der Arbeit sichergestellt ist, dass eine Gefährdung der Beschäftigte durch diese Stoffe ausgeschlossen ist.

Der Abzug bietet weiterhin Schutz gegen Substanzen, die in Folge zu heftiger Reaktion, einer Explosion, einer Implosion oder eines Siedeverzuges freigesetzt werden. Voraussetzung ist, dass man den Abzug wie vorgeschrieben in geschlossenem Zustand durch das Arbeitsfenster bedient bzw. bei Abzügen älterer Bauart den Abzugsschieber (Frontscheibe) so weit wie möglich herunterzieht. Der Kopf des Beschäftigten sollte immer durch die Scheibe geschützt sein!

Abzüge, die nicht benutzt werden, sind aus Gründen der Energieeinsparung auszuschalten.

In Abzügen dürfen nur die Chemikalien vorhanden sein, die für die Versuchsdurchführung unbedingt benötigt werden. Die Aufbewahrung von Chemikalien in einem Abzug ist nur dann zulässig, wenn in dem Abzug keine Arbeiten durchgeführt werden.

Das Einbringen von korrosiven Gasen, Dämpfen und Nebeln kann besonders bei Blechkanälen zur Korrosion und zum Undichtwerden beitragen, Sensoren und Klappen werden beschädigt. Neben der Vermeidung des Einbringens können in begründeten Fällen auch Wäscher das Abluftsystem schützen. Bei Perchlorsäureabzügen sind effiziente Spüleinrichtungen für die Kanäle auch hinter Wäschern erforderlich. Solche Kanäle sollen auf möglichst kurzem Weg aus dem Gebäude führen. Perchlorsäure darf nur in speziellen Perchlorsäureabzügen abgeraucht werden, da sich Perchlorsäure mit organischen Stoffen zu explosionsfähigen Verbindungen verbindet. Beim Abrauchen von Perchlorsäure muss die Wasserberieselung im Abzugskanal eingeschaltet sein. Insbesondere bei Perchlorsäureabzügen ist die Spalt- und Rissfreiheit der Abzüge von besonderer Bedeutung, damit keine Perchlorsäure unerkannt in oxidierbare Teile des Korpus (Spanplatte) gelangen kann. Die Abzüge müssen gut zu reinigen sein. Beachten Sie unbedingt die spezielle Bedienungsanleitung der Perchlorsäureabzüge! Sondervorschriften für Schwefelsäure, Flusssäure, Schwefelwasserstoff finden sich in der DIN 12924 Teil 2!

Beim Aufbau von Apparaturen in Abzügen ist darauf zu achten, dass die Strömungsverhältnisse möglichst wenig beeinflusst werden. Das kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass ein mindestens 5 cm hoher freier Raum für eine Luftströmung unter der Apparatur gelassen wird. Ausreichende Abstände zu den Abluftöffnungen der Abzugsrückwand sind einzuhalten. Auf ausreichenden Abstand zum Frontschieber (mindestens 10 cm) ist zu achten, um die Strömungsverhältnisse nicht negativ zu beeinflussen. Außerdem ist es notwendig, einen nicht zu geringen Abstand zu den Abluftöffnungen einzuhalten. Keinesfalls dürfen Abluftöffnungen zugestellt werden. Am besten werden Apparaturen in der Mitte des Abzuges aufgebaut.

Brandschutzwannen oder Sandbäder müssen standsicher aufgebockt werden. Bei Brandschutzwannen ist auf ausreichenden vertikalen Abstand zur Apparatur zu achten.

Einstellungen am Volumenstrom und an der Alarmierung von Abzügen dürfen ausschließlich durch hierfür sachkundige und hierzu vom Arbeitgeber autorisierte Personen verändert werden.

Weitere geeignete Maßnahmen zur Expositionsverminderung sind außer der Benutzung eines Abzuges in Abhängigkeit von den Aggregatzuständen und gefährlichen Eigenschaften der Stoffe beispielsweise die Verwendung von Sicherheitswerkbänken, geschlossenen (vakuumdichten) Apparaturen,

Gloveboxen, nachgeschalteten Kühlfallen oder Gaswäschern. Auch wirksame Quellenabsaugungen (örtliche Absaugung) können zur Expositionsminimierung beitragen.

## 8.2 Aufbau von Versuchsaapparaturen

Der Bruch von Apparaturen 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.

Alle Arbeitsgeräte sind vor ihrer Benutzung auf einen einwandfreien, sicheren Zustand zu überprüfen. Defekte Geräte dürfen nicht benutzt werden und sind aus dem Verkehr zu ziehen. Jede Improvisation durch Verwendung ungeeigneter Apparaturteile ist zu vermeiden.

Apparaturen sollen nur von Fachleuten oder ausreichend unterwiesenen Personen aufgebaut werden. Apparaturen müssen übersichtlich, standfest, mechanisch spannungsfrei, übersichtlich und an sicheren Standorten aufgebaut werden. Das klassische Bunsenstativ hat nur bei sorgfältig ausgeführtem Aufbau einen sicheren Stand. Auf einen nicht zu weit herausstehenden Gewindebolzen der Stativstange und einen planen Untergrund ist dabei zu achten. Der Schwerpunkt des Aufbaus darf nicht über die Bodenplatte hinausragen. Aufbauten, insbesondere schwere oder sperrige Apparaturen, sind daher bevorzugt an Stativgittern („Harfen“) zu befestigen. Mechanisch spannungsfrei lassen sich Apparaturen z. B. durch Kugelschliffe, Schraubkappenverbindungen oder PTFE-Faltenbälge aufbauen.

Die zum Einspannen von Glasteilen benutzten Klemmen müssen innen mit elastischem Material belegt sein.

Reaktionsgefäße müssen so groß sein, dass die gesamte Reaktionslösung nicht mehr als 2/3 des Volumens des Reaktionsgefäßes einnimmt. Apparaturen sollten gleichzeitig aber nur so groß wie unbedingt nötig sein.

Beim Arbeiten an hohen Apparaturen kann es zu Sturzunfällen mit Personenschäden und zusätzlichen Gefährdungen durch Zerbrechen der Apparaturen kommen. Zum Aufbau und Bedienen von hohen, nicht mehr im Griffbereich liegenden Apparaturen sind deshalb Leitern und Tritte zu benutzen. Hocker, Stühle, Kisten u. ä. sind ungeeignet und dürfen nicht verwendet werden.

Für den Aufbau 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 oder die Reaktionsgefäße sofort und ohne Veränderungen an der Apparatur (z. B. ohne das Entfernen von Schläuchen, Lösen von Klammern) entfernbar sein müssen. Weitere Apparaturteile werden durch Aufstellen auf die Kolbenschliffe hinzugefügt und dann durch Anklammern gesichert. Beim Anklammern dürfen weder Schliffverbindungen gelockert werden noch Spannungen durch Verkanten auftreten. Insbesondere Rührwellenschäfte müssen fest und sicher mit dem Reaktionsgefäß verbunden sein. Bewegliche Teile, z. B. Vorlagen und Spinnen, müssen unterstützt werden.

Beim Aufbau von Apparaturen sind zwischen Gefäßen mit Stoffen, deren Vermischung gefährlich werden kann, ausreichend bemessene Zwischengefäße („Puffergefäße“) einzubauen. Auf die richtige Durchflussrichtung ist zu achten. Bei Druckgefällen in der Apparatur kann es zum Zurücksteigen von Flüssigkeiten und gefährlichen Vermischungen kommen. Ein unerwünschtes Druckgefälle kann beispielsweise durch Abkühlen, einseitiges Erwärmen, zu schnelles Abreagieren, Absinken des Vordruckes usw. auftreten. Gefährlich beim Vermischen sind beispielsweise konzentrierte Säuren mit Laugen oder wasserfeste Alkalioxide oder Alkalihydroxide (z. B. in Trockentürmen) mit Wasser oder Säuren, Calciumchlorid mit Alkoholen oder Aminen. Neben dem Einbau von Zwischengefäßen kann das zusätzliche Vorschalten von Rückschlagventilen zweckmäßig sein. Das Zurücksteigen von Reaktionskomponenten und -mischungen in Druckgasflaschen ist besonders gefährlich.

In Apparaturen, ausgenommen Druckreaktoren, darf sich beim Betrieb kein Überdruck aufbauen können; sie müssen daher einen Druckausgleich zur Außenatmosphäre besitzen. Der Schutz des Apparaturinhaltes vor Luftfeuchtigkeit kann durch Trockenrohre erfolgen, wobei Trockenmittel benutzt werden müssen, die nicht zusammenbacken und das Trockenrohr verstopfen können und die nicht mit Chemikalien der Reaktion reagieren können. Das Verstopfen von Trockenrohren, die mit Trockenmitteln

wie Calciumchlorid, Phosphor(V)-oxid oder Natronkalk gefüllt sind, kann z. B. auch durch Beimischung von faserigem oder gekörntem, inertem Material (z. B. Glaswolle, Sand, Bimsstein) vermieden werden. Silikagel bietet den Vorteil, nicht zu Verstopfungen zu führen. Weiterhin ist sicherzustellen, dass ein mögliches Eintropfen von Flüssigkeit aus dem Absorptionsgefäß in das Reaktionsgefäß verhindert wird.

Die Funktion von Apparaturen, z. B. des Kühlwassersystems, des Rührwerkes, der elektrischen Antriebe oder die Vakuumdichtheit, müssen vor der Beschickung mit Chemikalien überprüft werden!

### 8.3 Versuchsaufbauten bei Explosionsgefahr

Besteht beim Betrieb von Glasapparaturen die Gefahr einer Stoff- oder Wärmeexplosion oder eines Zerknalls infolge eines unbeabsichtigten Druckanstieges, müssen Maßnahmen gegen Splitterflug, Spritzer und den Stoffaustritt getroffen werden. Ein unbeabsichtigter Druckanstieg kann beispielsweise durch Verstopfen von Gaseinleitrohren oder auch Abgasleitungen, bei Gaswäschern und Absorptionsröhrchen eintreten. Da eine Explosion oder ein Zerknall meistens mit der Freisetzung von brennbaren oder toxischen Stoffen verbunden ist, stellt der Betrieb im Abzug in der Regel die geeignete Maßnahme dar. Eine weitere Schutzmaßnahme kann der Betrieb hinter allseitig widerstandsfähigen Schutzscheiben sein, die gegen Umfallen gesichert sind.

### 8.4 Erhöhte Gefahren bei Stromausfall

Apparaturen für Verfahren, bei denen ein Stromausfall erhöhte Gefährdungen mit sich bringen kann, sind an einen eigenen Stromkreis anzuschließen. Verfahren, bei denen ein Stromausfall erhöhte Gefährdungen mit sich bringen kann, sind beispielsweise viele metallorganische Reaktionen. Ist bei Ausfall der Spannung die Gefährdung nicht beherrschbar, sind entsprechend der Gefährdungsbeurteilung zusätzliche Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der sicherheitsrelevanten Funktionen notwendig. Günstig ist es, wenn nur die sicherheitsrelevanten Teile der Apparatur, wie etwa die Kühlung oder der Rührer, an diesem Stromkreis betrieben werden. Als eigener Stromkreis gilt beispielsweise, wenn eine Steckdose nicht mit anderen zusammen über eine gemeinsame Schutzeinrichtung (beispielsweise Fehlerstromschutzschalter) abgesichert ist. Zusammen mit einer solchen Apparatur sollte möglichst kein anderes Laborgerät am gleichen Stromkreis betrieben werden.

### 8.5 Schläuche

Es dürfen nur Schläuche verwendet werden, die den zu erwartenden Drucken und anderen mechanischen, thermischen sowie chemischen Beanspruchungen standhalten. Schläuche sind so zu legen, dass sie zu keiner Gefährdung führen können. Alle Schläuche sind an den Geräteanschlussstellen gegen Abrutschen mit Schlauchschellen, Schlauchbindern oder anderen geeigneten Geräten zu sichern. Allerdings besteht beim Einsatz von Schlauchschellen Verletzungsgefahr durch Abrutschen des Schraubendrehers und Bruchgefahr anzuschließender Gefäße. Bewährt haben sich Ausführungen, die mit der Hand betätigt werden können oder Einohrklemmen. Das Umwickeln mit einfachem Draht („Rödeldraht“) ist nicht zulässig.

Die Anschlussstellen und die verwendeten Schläuche sind regelmäßig auf sichtbare Mängel zu überprüfen. Schadhafte oder poröse Schläuche dürfen nicht benutzt werden.

Der Gebrauch von Glasgeräten mit bruchempfindlichen Schlauchanschlüssen (Glasoliven) sowie Schlauchverbindungen (Schlauchzwischenstücken) aus Glas ist möglichst zu vermeiden. Die Verwendung von Steck- oder Schraubkupplungen als Verbindungselemente für Schläuche ist vorzuziehen. Sollen Glasgeräte mit gläsernen Oliven dennoch eingesetzt werden, sind möglichst Kunststoff-Schraubadapter aufzusetzen.

Wenn noch Glasgeräte ohne Steck- oder Schraubkupplungen verwendet werden, müssen die folgenden Bestimmungen beachtet werden. Um Schläuche gefahrlos auf Anschlussstellen aufzuschieben zu können, sollten die Schlauchenden mit einem Gleitmittel (z. B. Glycerin, Paraffinöl) benetzt werden. PVC-Schläuche können in heißem Wasser weich gemacht und anschließend in noch warmem Zustand leicht auf die Anschlüsse geschoben werden. Glasgeräte, die mit Schläuchen versehen werden, sollten beim Aufschieben der Schläuche mit einem Tuch umwickelt werden, um eine Gefährdung bei plötzlichem Abbrechen des Glasanschlusses zu verhindern. Notwendig ist außerdem das Tragen von

festen Lederhandschuhen mit Stulpen, um auch die Handgelenke zu schützen. Fest sitzende Schläuche sollten zum Ablösen mit einem Messer abgeschnitten werden. Es gelten die gleichen Vorschriften wie beim Befestigen der Schläuche (Umwickeln von Glasgeräten mit einem Tuch, Tragen von Lederhandschuhen).

Schläuche sind gegen übermäßige Wärmeeinwirkung und anderweitige Beschädigung zu schützen.

### **8.6 Stopfen, Verbindungen und Verschlüsse**

Beim Umgang mit Gefahrstoffen müssen dicht sitzende Verbindungen eingesetzt werden. Das sind Kegelschliff-, Kugelschliff-, Flansch- oder Schraubkappenverbindungen bzw. -verschlüsse. Solche Verbindungen bieten eine höhere Dichtheit als Gummi- oder Korkstopfenverbindungen und werden von (fast) keinen Chemikalien angegriffen. Es ist zu beachten, dass Schraubkappen-Verbindungselemente verschiedener Hersteller nicht unbedingt zu einer dichten Verbindung zusammenpassen.

Damit sich Schliffverbindungen nicht unbeabsichtigt öffnen, sind diese mit Schliffklammern, Federn oder anderen geeigneten Hilfsmitteln zu sichern.

Werden ausnahmsweise Kork- oder Gummistopfen benötigt, sind zum Durchbohren Korkbohrer zu verwenden, die mit einem Gleitmittel (z. B. Glycerin, Paraffinöl) benetzt werden. Niemals darf ein Stopfen in der Hand durchbohrt werden. Ein Stopfen darf nur auf fester Unterlage gebohrt werden. Die Bohrer sind scharf zu halten.

Bei Verwendung von Gummistopfen ist ihre Größe so auf die Apparaturen abzustimmen, dass ein Einsaugen bei angelegtem Vakuum nicht möglich ist. Bei stark alkalischen oder schmierenden Substanzen sind die Stopfen gegen Herausgleiten zu sichern.

Schliffe klemmen häufig fest, wenn kalte Schliffkerne in heiße Schliffhülsen gesteckt werden oder Kolben, in denen sich durch Kondensation der Gasphase Unterdruck bilden kann, zu früh verschlossen werden. Festsitzende Glasstopfen und Schliffverbindungen können durch vorsichtiges Klopfen mit einem Holzstiel oder besser durch kurzzeitiges, aber rasches Erhitzen der Schliffhülse z. B. mit heißem Wasser oder einem Heißluftfön gelöst werden. Beim Erwärmen der Schliffhülse dehnt sich diese etwas aus und wird so vom Kern getrennt. Die Benutzung eines Gasbrenners zum Erhitzen ist verboten. Ein Heißluftfön darf aber bei einem brennbaren Kolbeninhalt nicht verwendet werden! Durch den Kolbeninhalt können zusätzliche Gefährdungen hervorgerufen werden, wenn dieser beispielsweise unter Druck steht. Deshalb sind Kolben oder Flaschen beim Trennversuch mit einem Tuch abzudecken. Enthalten die zu bearbeitenden Glasgeräte Chemikalien, müssen die Arbeiten über Auffangwannen durchgeführt werden. Bei diesen Arbeiten sind Lederhandschuhe als Schnittschutz möglichst über Kunststoffhandschuhen als Chemikalienschutz zu tragen.

Gelingt ein erster Versuch des Lösens festsitzender Schliffe nicht, so sind die Glasgeräte zum Glasbläser zu bringen.

Um dem Festsitzen von Schliffen vorzubeugen, müssen die Schliffe mit speziellem Schliff fett gefettet werden. Vorteilhaft erweisen sich Pasten aus Polytetrafluorethylen, Poly(chlortrifluorethylen) oder Kunststoffhülsen aus den gleichen Materialien. Üblich sind auch Exsikkator-Fett (Gemisch aus Bienenwachs und Vaseline) sowie für das Arbeiten im Hochvakuum spezielles Silikon-Hochvakuumfett. Besonders beim längeren Einwirken von Lösungsmitteln werden Schliffe entfettet. Es wird empfohlen, in solchen Fällen Teflonmanschetten zu verwenden.

### **8.7 Labor- und Ultrazentrifugen**

Zentrifugen müssen langsam Stufe um Stufe hinauf- oder heruntergeschaltet werden. Bei ungewohnten Geräuschen ist sofort abzuschalten und nach Stillstand des Motors nachzusehen, woher die Geräusche gekommen sind.

Labor- und Ultrazentrifugen müssen so aufgestellt sein, dass sie sicher betrieben werden können. Das ist z. B. gegeben, wenn sie auf einer geeigneten, ebenen Fläche aufgestellt und um die Zentrifuge ein Freiraum von mindestens 30 cm eingehalten wird. Beim Betrieb von Ultrazentrifugen ist darauf zu

achten, dass abfliegende Teile sicher aufgefangen werden. Ist eine Verkleidung aus betriebstechnischen Gründen nicht möglich und eine fangende Schutzvorrichtung nicht vorhanden, so ist die Zentrifuge in einem besonderen Raum (Schutzkammer) aufzustellen, der nur bei Maschinenstillstand betreten werden kann. Bei der Aufstellung von Zentrifugen ist auf die Lärmbelastung zu achten.

Zentrifugen dürfen nur von unterwiesenen Personen benutzt werden. Für Ultrazentrifugen ist ein Betriebsbuch zu führen. Beschäftigte, die mit Ultrazentrifugen umgehen, sind namentlich festzuhalten.

Auf die besonderen Gefahren bei Tätigkeiten mit leicht- und hochentzündlichen Stoffen ist zu achten (Explosionsgefahr). Im Innenraum nicht ausreichend gegen explosionsfähige Atmosphäre geschützte Geräte sind mit Inertisierung zu betreiben. Für den Fall fehlender Inertisierungsanschlüsse kann die Zentrifuge hilfsweise durch Füllen und Spülen mit Argon oder einem anderen schweren Inertgas inertisiert werden. Hierzu wird die Zentrifuge bei weitgehend geschlossenem Deckel über einen Schlauch bei bekanntem Volumenstrom für eine zuvor bestimmte und festgelegte Zeit gespült und anschließend sofort verschlossen.

### **8.8 Apparate zur Schmelzpunktbestimmung**

Zu empfehlen ist die Benutzung von Metallblock- oder elektrisch beheizten Flüssigkeitsschmelzpunktbestimmungsapparaten mit Regulierung der Aufheizapparatur.

### **8.9 Umgang mit Glasgeräten**

Apparaturen im chemischen Laboratorium bestehen überwiegend aus Glas. Bei allen Vorteilen, die dieses Material für das chemische Arbeiten bietet, birgt es durch seine mechanische Verletzlichkeit auch Gefahren. Verletzungen an zerbrochenen Glasgeräten 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. Beim Bearbeiten von Glas müssen Lederhandschuhe mit Stulpen oder eine entsprechende andere Schnittschutzkleidung getragen werden.

Glasapparaturen und -bauteile werden in der Regel aus Borosilicatglas 3.3 gefertigt. Die Bruchgefahr steigt mit der Temperaturdifferenz im Glas, ganz besonders stark jedoch durch Beschädigungen oder Fehler im Glas. Glasapparaturen und -bauteile müssen daher vor jeder Benutzung auf visuell erkennbare festigkeitsgefährdende Beschädigungen und Fehler kontrolliert werden. Defekte Glasgeräte sind zu reparieren oder zu ersetzen und dürfen nicht verwendet werden. Glasgeräte sind defekt, wenn sie einen Sprung oder ein „Sternchen“ besitzen oder Glasteile abgesplittert sind.

Glas bricht leicht, daher sind Glasgeräte immer kurz anzufassen (kurzer Hebelarm). Herausragende Glasenden (T-Stücke, Krümmer an Kühlern etc.) dürfen nicht als Hebelarm benutzt werden. Scharfe Kanten von Glasgeräten, z. B. von Glasrohren oder Glasstäben, sind mit Hilfe eines Gasbrenners (z. B. Bunsenbrenner) rund zu schmelzen.

Zum gefahrlosen Einführen und Herausziehen von Glasteilen (z. B. Glasrohre, Glasstäbe, Thermometer) in oder aus Stopfen, Schläuchen und ähnlichem sind die Hände und Handgelenke durch dicke Tücher oder Lederhandschuhe mit Stulpen zu schützen. Zum Einführen und Herausziehen sind die ineinander zu schiebenden Teile mit einem Gleitmittel (z. B. Glycerin, Paraffinöl) zu schmieren. Die Glasteile müssen möglichst dicht am Stopfen angefasst und unter leicht drehenden Bewegungen ineinander geschoben werden. Diese Gegenstände dürfen niemals gegen den Körper oder auf eine Unterlage gedrückt werden.

Zur Vermeidung von Schnittverletzungen sind vorteilhaft Schraubverbindungen einzusetzen.

Vor Glasbläserarbeiten sind die Geräte sorgfältig zu reinigen und zu trocknen.

Mit Gefahrstoffen mit einer Menge von mehr als 5 Litern darf nicht in dünnwandigen Glasgefäßen (z. B. Rundkolben, Erlenmeyerkolben) gearbeitet werden. Ausnahmen sind nur zulässig, wenn besondere Schutzmaßnahmen getroffen werden (z. B. eine nahtlose Kunststoffummantelung des gesamten Gefäßes).

### 8.10 Arbeiten bei erhöhter Temperatur, Erwärmen

Chemische Reaktionen bilden ein besonderes Gefahrenpotential, wenn bei erhöhter Temperatur gearbeitet wird. Das gilt insbesondere dann, wenn brennbare Lösungsmittel erhitzt werden. Es ist unverzichtbar, dass alle beheizten Apparaturen mit brennbarem Inhalt mit Rückflusskühlern zum Rückhalten oder Destillationsaufsätzen zum Kondensieren flüchtiger brennbarer Stoffe versehen sind.

Sollen Reaktionen bei erhöhter Temperatur, z. B. in der Siedehitze, durchgeführt werden, muss die Wärmezufuhr mit geeigneten Heizgeräten erfolgen. Das sind z. B. elektrisch beheizte Öl- und Wasserbäder, Heizhauben („Heizpilze“), Heißluftgeräte, aber niemals Bunsenbrenner beim Umgang mit brennbaren Flüssigkeiten.

Zur Wärmeisolation heißer Teile an Apparaturen dürfen keine leicht entflammaren Materialien verwendet werden. Leicht entflammbares Isolationsmaterial (beispielsweise Styropor, Karton oder Papiertücher) ist wegen Brandgefahr nicht geeignet. Ein Brand kann bereits bei leichter Benetzung mit einer brennbaren Flüssigkeit, beispielsweise Mineralöl, durch Selbstentzündung auftreten. Bitte beachten Sie, dass auch faserförmige Asbestersatzstoffe (z. B. Keramikfasern, Glaswolle) ein krebserzeugendes Potential besitzen können. Solche Ersatzstoffe können beispielsweise in Hochtemperaturöfen vorkommen.

Beim Arbeiten mit Glasapparaturen sind die zulässigen Temperaturen und Temperaturdifferenzen zu beachten. Bei Verwendung von Glasgeräten sind Temperaturdifferenzen von mehr als 140 °C zwischen Dampf und Kühlflüssigkeit zu vermeiden. Bei Glasgeräten aus Borosilicatglas 3.3 nach DIN ISO 3585 sollen Temperaturdifferenzen von 140 °C nicht überschritten werden. Höhere Temperaturdifferenzen bewirken eine höhere Bruchwahrscheinlichkeit, so dass hier zusätzliche Maßnahmen für den Fall des Bruchs getroffen werden müssen. Dieser Glastyp kann mit Maximal-Temperaturen von 500 °C beaufschlagt werden, wenn die Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeiten nach Herstellerangabe beachtet werden und der Temperaturwechsel möglichst gleichmäßig erfolgt. Werden Apparateile hoch erhitzt, beispielsweise Reaktionsrohre in einem Rohrofen, so können die auftretenden Spannungen im Glas dadurch verringert werden, dass durch eine kurze Isolierung neben der Heizzone der Temperaturgradient verringert wird. Bei sehr schnellem Abkühlen (Kühlbäder) sollen Geräte aus Borosilicatglas 3.3 nicht tiefer als bis auf -80 °C gekühlt werden.

#### 8.10.1 Temperaturregelung

Können Versuche nicht ständig beaufsichtigt werden, ist durch eine selbsttätig wirkende Einrichtung sicherzustellen, dass bei Ausfall der Regeleinrichtung der Beheizung das Überschreiten der maximalen Betriebstemperatur sicher verhindert wird. Diese zusätzliche Temperaturbegrenzung verhindert, dass Bäder überheizen oder Chemikalien bis zur Entzündung gebracht werden und unbemerkt ein Feuer ausbricht.

#### 8.10.2 Heizgeräte

Heizgeräte sind immer standfest und kippsicher aufzubauen. Das Heizgerät und der zu heizende Apparaturteil müssen jederzeit rasch und gefahrlos von einander getrennt werden können, ohne dazu Änderungen an der Apparatur vornehmen zu müssen. Deshalb muss seine Höhe jederzeit gefahrlos einzustellen sein. Für das Einstellen der Höhe unter der Apparatur haben sich Laborhebebühnen („Laborboys“) bewährt. Stativringe sind zur Höheneinstellung verboten. Distanzklötze und Ähnliches lassen in der Regel die nötige Standfestigkeit vermissen, um bei einem versehentlichen Anstoßen zu verhindern, dass sich die heiße Badflüssigkeit über den Tisch und möglicherweise auch über Körperteile ergießt. Sie sind deshalb ebenfalls verboten.

Bei Arbeiten an Apparaturen, die auf höhere Temperaturen erwärmt sind, müssen geeignete Handschuhe bereitliegen, um ein gefahrloses Arbeiten an den erwärmten Gegenständen zu ermöglichen. Zum Beheizen von Flüssigkeitsbädern und anderen Laboratoriumsapparaturen sind elektrische betriebene Heizeinrichtungen zu verwenden. Ist die Beheizung mit einer Gasflamme nicht zu vermeiden, muss die Gasflamme ständig durch einen Beschäftigten überwacht werden.

### 8.10.2.1 Gasbrenner (Bunsenbrenner, Kartuschenbrenner)

Gasbrenner (Bunsenbrenner) dürfen nur mit DVGW-geprüften Laborschläuchen betrieben werden. Ausgenommen hiervon sind Kartuschenbrenner. DVGW-geprüfte Schläuche bieten eine für Laboranforderungen ausreichende Beständigkeit und Belastbarkeit sowie Dichtheit. Ihre Durchmesser sind auf die genormten Schlauchtüllen an den Gasbrennern so abgestimmt, dass ausreichende Dichtheit auch ohne weitere Hilfsmittel erzielt wird. Auf gesicherte Standfestigkeit des Brenners ist zu achten. Nicht DVGW-geprüfte Schläuche, beispielsweise Kühlwasserschläuche, sind für den Anschluss von Gasbrennern ungeeignet. Die Schläuche sind regelmäßig zu überprüfen. Defekte und poröse Schläuche müssen ausgewechselt werden. Gasbrenner müssen ständig überwacht werden, da sonst bei Erlöschen der Flamme große Gasmengen in das Laboratorium austreten können (Explosionsgefahr)! Gasbrenner dürfen nicht vollständig absperrbar sein, da kein Gas unter Druck in dem Gasschlauch zwischen Absperrventil und Laborbrenner nach Abstellen des Brenners verbleiben soll. Werden Gasbrenner nicht mehr benötigt, so ist die Gasversorgung durch Schließen der Gasentnahmematur am Labortisch bzw. Abzug zu unterbrechen.

Bei Kartuschenbrennern muss der Brenner vollständig absperrbar sein. Die Menge der am Arbeitsplatz bereitgehaltenen Kartuschen ist möglichst gering zu halten, eine Reservekartusche ist in der Regel ausreichend. Vorteilhaft werden die Reservekartuschen in einem Sicherheitsschrank oder in einem separaten Lagerraum aufbewahrt, so dass es im Brandfall nicht zu einer erhöhten Gefährdung kommen kann. Empfohlen werden Ventilkartuschen. Bewährt haben sich Sicherheitsbrenner mit Zündsicherung und automatischer Gasabschaltung. Brenner mit Sensorschaltung sollten gegen unbeabsichtigtes Einschalten gesichert sein.

Gasbrenner (z. B. Bunsenbrenner) dürfen nur zum Erwärmen von Wasser in größeren Gefäßen, z. B. Metalltöpfen oder Bechergläsern, benutzt werden. Reagenzgläser dürfen wegen der hohen Gefahr eines Siedeverzuges nicht mit einem Gasbrenner erwärmt werden. Sollen Reaktionsgefäße, die eine brennbare Flüssigkeit enthalten, im Wasserbad, Sandbad oder über einem Drahtnetz erwärmt werden, darf dazu niemals ein Gasbrenner benutzt werden, da sich beim Bruch des Reaktionsgefäßes die auslaufende Flüssigkeit sofort entzünden würde. Bei elektrisch beheizbaren Öl- oder Wasserbädern ist die Gefahr weit geringer. Anstelle von Asbest- und Keramikfaser-Drahtnetzen auf Dreibeinen sind Glaskeramikplatten einzusetzen. Diese sollen bei Beschädigungen der Ränder wegen der dadurch erhöhten Bruch- und Verletzungsgefahr ersetzt werden.

### 8.10.2.2 Heizbäder

Es ist wichtig, der jeweiligen Aufgabe entsprechend den richtigen Wärmeträger einzusetzen. Für Temperaturen  $> 150\text{ °C}$  sind vorzugsweise Metallbäder, in Ausnahmefällen auch Sandbäder zu verwenden. Beide sind in ihrem Temperaturverhalten aber besonders träge.

Zum Beheizen von Flüssigkeitsheizbädern und anderen Laboratoriumsapparaturen dürfen nur elektrische Heizeinrichtungen verwendet werden. Ist die Beheizung mit offenen Gasflammen nicht zu vermeiden, darf sie nicht ohne Aufsicht erfolgen. Offene Flammen sind gefährliche Zündquellen, zudem ist die Regelung der Wärmezufuhr mit ihnen schwieriger als mit geregelten elektrischen Heizeinrichtungen. Ein Heißluftgebläse kann auch nach dem Ausschalten noch als Zündquelle wirken.

#### Elektrisch beheizbares Wasserbad

Der Wasserstand in elektrisch beheizbaren Wasserbädern muss ständig kontrolliert werden, da das erhitzte Wasser im Laufe der Zeit verdampft. Sie dürfen deshalb nicht in Dauerversuchsräumen betrieben werden. Wasserbäder dürfen nicht beim Umgang mit Gefahrstoffen benutzt werden, die bei Gefäßbruch gefährlich mit dem Wasser reagieren können (z. B. Natrium, Kalium oder Metallalkyle).

#### Elektrisch beheizbares Ölbad

Wärmeträger sind unter Berücksichtigung der vorgesehenen Aufgabe sachkundig auszuwählen. Gefahren durch Volumenvergrößerung beim Erwärmen, durch Verunreinigungen und durch Tropfwasser ist wirksam zu begegnen.

Bei der Verwendung von Wärmeträgern ist Folgendes zu beachten:

1. Für Heizbäder sind wassermischbare Wärmeträger vorzuziehen.

2. Nicht mit Wasser mischbare Wärmeträger müssen nach Verunreinigung mit Wasser erneuert oder ausreichend ausgeheizt werden.
3. Wassermischbare und nicht mit Wasser mischbare Wärmeträger dürfen nicht miteinander vermischt werden.

Als Wärmeträger geeignet sind wassermischbare Glycole und Glycerin sowie nicht wassermischbare Paraffine und von der Industrie angebotene Spezialflüssigkeiten (Wärmeträgeröle).

Werden Verunreinigungen nicht erkannt, so kann es zur Gefährdung durch diese Stoffe beim Hautkontakt mit der Badflüssigkeit kommen. Verunreinigungen mit einem Siedepunkt, der geringer als die Badtemperatur ist, können zum unerwarteten, heftigen Spritzen oder Aufsieden des Bades führen. Es empfiehlt sich, Wärmeträger nach jeder Verunreinigung zu kontrollieren und je nach Verunreinigung zu erneuern.

Beim Überlaufen kann Badflüssigkeit in die Heizung gelangen, zudem werden Badgefäße und Heizung verunreinigt, was zu weiteren Gefahren, wie zu einem Brand, führen kann.

Weitere Gefahrenquellen von Ölbädern stellen rutschige Oberflächen der Arbeitsgeräte dar.

Tropfwasser kann in heißen Bädern (Öl, Metall) zu Wärmeexplosionen führen.

Für Flüssigkeitsheizbäder und Flüssigkeitsthermostate dürfen nur Wärmeträger verwendet werden, deren unbedenkliche maximale Betriebstemperatur bekannt ist. Bei Flüssigkeitsheizbädern muss die maximale Betriebstemperatur mindestens 20 °C und bei Flüssigkeitsthermostaten mindestens 5 °C unter dem Flammpunkt des Wärmeträgers liegen. Oberhalb des Flammpunktes und auch einige Grad Celsius unter diesem herrscht akute Brandgefahr, unter Umständen auch Explosionsgefahr durch Gemische von Dämpfen der Badflüssigkeit mit Luft. Werden Thermostate ausnahmsweise mit offenem Kreislauf betrieben, ist zu empfehlen, die maximale Betriebstemperatur 20 °C unter dem Flammpunkt des Wärmeträgers zu halten. Auch bei Thermostaten ist zu prüfen, ob die verwendeten Temperiermedien nicht durch weniger gefährliche Medien ersetzt werden können.

Aus einem Ölbad, das Wasser z. B. nach Platzen eines Kühlwasserschlauches enthält, muss das Wasser vorsichtig unter dem Abzug herausgekocht werden. Bei größeren Wassermengen ist das Öl zu erneuern. Gelangt in heiße Ölbäder plötzlich Wasser (z. B. beim Platzen oder Abrutschen eines Kühlwasserschlauches), so siedet dieses Wasser schlagartig und reißt dabei heiße Öltropfen mit sich, die zu schweren Verbrühungen vor allem im Gesicht von Personen führen können. Es wird deshalb hier nochmals darauf hingewiesen, dass Kühlwasserschläuche an Apparaturen immer mit Schlauchschellen gesichert werden müssen! Das Herabtropfen von Kondenswasser kann durch Anbringen von Papiermanschetten verhindert werden.

Die Temperatur in elektrisch beheizbaren Ölbädern muss ständig mittels Thermometer kontrolliert werden. Eine Ausnahme gilt nur, wenn das Ölbad mit einer Übertemperatursicherung ausgestattet ist, die beim Erreichen dieser Temperatur das Ölbad dauerhaft abschaltet.

Ölbäder, die auf Temperaturen über 150 °C aufgeheizt werden, müssen im Abzug betrieben werden, da das heiße Öl gesundheitsschädliche Dämpfe an die Luft abgeben kann. Öl, das lange Zeit bei Temperaturen über 150 °C betrieben wird, kann gesundheitsschädliche Pyrolyseprodukte enthalten, die oft den Flammpunkt senken. Es sollte deshalb regelmäßig ausgewechselt werden.

### **Sandbad**

Sandbäder dürfen nur dann verwendet werden, wenn die bei ihnen auftretende ungleichmäßige, insbesondere auch durch das Nachheizen bedingte Temperaturverteilung zu keiner Gefährdung führen kann. Als Füllung geeignet ist geglähter See- oder Flusssand. Er darf nicht scharfkantig sein, da er zu Schäden in der Oberfläche eingestellter Glasgefäße führen kann, die dadurch besonders leicht bei Einwirkung von Spannungen brechen. Dies ist besonders dann der Fall, wenn das Gefäß gefüllt ist, evakuiert wird oder Spannungen beim Aufheizen entstehen. Bei Arbeiten mit Natrium, Kalium und Metallalkylen sind chemisch inerte Sandbäder optimal geeignet, da bei unvorhersehbarem Bruch der Apparatur keine unmittelbaren Gefahren resultieren: die ausgelaufenen Gefahrstoffe können unverzüglich mit weiterem trockenem Sand abgedeckt werden.

### 8.10.2.3 Heißluftgebläse

Heißluftgebläse dürfen nicht in der Nähe brennbarer Flüssigkeiten oder Dämpfe betrieben werden. Heißluftgebläse (Heißluftföhne) 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. Es ist daher unbedingt darauf zu achten, dass Heißluftgebläse nicht in der Nähe brennbarer Gegenstände, Flüssigkeiten oder Dämpfe betrieben werden und auch nicht direkt neben derartigen Stoffen abgelegt werden. Heißluftgebläse können durch die starke Luftströmung das Rückhaltevermögen von Abzügen empfindlich stören.

Die Geräte verfügen zum Ab- oder Aufstellen oftmals über aufklappbare Bügel, die jedoch keinen sicheren Stand gewährleisten. Bewährt haben sich zur Ablage stattdessen fest montierte Halterungen direkt am Arbeitsplatz, wie beispielsweise waagrecht angebrachte Stativringe. Zur Verringerung der hohen Brandgefährdung sollen Heißluftgebläse grundsätzlich außerhalb der Abzüge aufbewahrt werden.

### 8.10.2.4 Heizplatten

Reaktionsgefäße, die brennbare Flüssigkeiten enthalten, dürfen nicht direkt auf Heizplatten erhitzt werden, um lokale Überhitzungen zu vermeiden. Es sind geeignete Gefäße (z. B. Töpfe, Bechergläser) mit Wasser oder Öl zur gleichmäßigen Wärmeübertragung zwischen Heizplatte und Reaktionsgefäß zwischenschalten.

### 8.10.2.5 Heizhauben

Heizhauben (Heizpilze) dürfen nur mit Reaktionskolben in der richtigen Größe verwendet werden. Es ist z. B. unzulässig, einen 50 ml-Kolben mit einer 1 Liter-Heizhaube zu erhitzen. Aus Sicherheitsgründen dürfen Heizhauben nicht zum Erwärmen evakuierter Gefäße benutzt werden, da durch lokale Überhitzungen Glasbrüche mit anschließenden Bränden und Explosionen auftreten können. Heizhauben dürfen nicht als Luftbäder eingesetzt werden, da sie sich aufgrund ungenügender Wärmeableitung leicht überhitzen können. Heizhauben erreichen Temperaturen bis 900 °C!

## 8.11 Erwärmen von Flüssigkeiten in den Bereich des Siedepunktes, Destillationen

Sollen Flüssigkeiten bis wenig unter oder auf den Siedepunkt erwärmt werden, muss gewährleistet sein, dass kein Siedeverzug auftreten kann. Das kann erreicht werden z. B. durch geeignete Siedesteinchen oder Siedestäbchen, durch ständiges kräftiges Rühren, z. B. mit einem Magnetrührer oder KPG-Rührer. Ein gelegentliches Rühren z. B. mit einem Glasstab ist nicht ausreichend und führt zu gefährlichen Siedeverzügen! durch Durchsaugen eines Gasstromes, z. B. durch Verwendung einer Siedekapillare.

Sind Flüssigkeiten bereits bis in die Nähe des Siedepunktes erhitzt und wird bemerkt, dass keine Hilfsmittel zum Vermeiden eines Siedeverzuges im Kolben vorhanden sind, muss die Flüssigkeit erst wieder deutlich unter den Siedepunkt abgekühlt werden. Auf keinen Fall dürfen in eine bis nahe an den Siedepunkt oder darüber hinaus erhitzte Flüssigkeit Siedesteinchen, Siedestäbchen oder andere Gegenstände und Stoffe (z. B. Aktivkohle) eingeworfen werden, da sonst Siedeverzüge entstehen. Bei Siedeverzügen sprudelt die Flüssigkeit stark auf. Siedeverzüge können zum Überlaufen und Verspritzen der Flüssigkeit, aber auch zum Bersten der Apparatur führen. Siedesteinchen und Siedestäbchen, die einmal benutzt wurden, verlieren ihre Wirksamkeit. Vor dem neuen Erhitzen müssen deshalb unbenutzte Siedesteinchen bzw. Siedestäbchen zugegeben werden.

### Destillationen

Destillationsanlagen sind in ihrer Größe der Menge und Art des Destillationsgutes anzupassen. Die Destillationskolben dürfen maximal zu 3/4 mit zu destillierender Flüssigkeit gefüllt sein. Die Destillationsapparatur ist so auszuwählen, dass kein Stau von Dampf oder Kondensat auftreten kann. Der Kühler muss ausreichend wirksam sein. Der Kühlmitteldurchfluss ist am Ausgang des Kühlers z. B. durch Strömungswächter zu überwachen.

Destillationsapparaturen sind sicher zu befestigen und gegebenenfalls abzustützen. An einem Destillationsvorstoß, beispielsweise einer Destillationsspinne, können bei größeren Kolben bzw. Füllgraden

erhebliche Kräfte auftreten, die beispielsweise durch eine Hebebühne abgefangen werden müssen. Beim Abstützen der Vorlage darf die Apparatur jedoch nicht verspannt werden. Bei kleineren Destillationsvorlagen können die Kolben auch durch geeignete Klammern oder Federn befestigt werden. Bei leicht erstarrendem Destillat besteht die Gefahr des Verstopfens und eines gefährlichen Druckanstieges in der Apparatur. Verengungen des Gasweges durch Reduzierstücke sind zu vermeiden. Für Rückflussapparaturen dürfen keine Produktkühler verwendet werden.

Zeigen sich im Verlauf einer Destillation Anzeichen für eine beginnende Zersetzung des Kolbeninhaltes durch z. B. plötzliches Schäumen oder Ausgasen, ist mit einem Kolbenzerknall zu rechnen. In solchen Fällen ist der gefährdete Bereich zu räumen und die betroffene Umgebung zu warnen. Die Beheizung und die in der Nähe befindlichen Flammen sind von ungefährlicher Stelle aus abzuschalten, z. B. durch Betätigen des NOT-AUS-Schalters.

Manche Lösungen zeigen beim Destillieren eine starke Neigung zum Schäumen. Dies kann bei wässrigen Lösungen durch die Zugabe einiger Schaum-Inhibitoren (z. B. einige Tropfen Octanol bzw. Silicon-Entschäumer) unterbunden werden.

Größere Lösungsmittelmengen werden am besten mit Rotationsverdampfern abdestilliert. Durch das Rotieren des Destillationskolbens werden bei Rotationsverdampfern Siedeverzüge verhindert. Keinesfalls dürfen bei Rotationsverdampfern Siedesteinchen verwendet werden, da hierbei die Gefahr des Kolbenbruches besteht.

### **8.12 Arbeiten bei erniedrigter Temperatur, Kühlen**

Sollen Reaktionen bei erniedrigter Temperatur durchgeführt werden, muss die Abkühlung mit geeigneten Geräten erfolgen. Kühlgeräte einschließlich des Kühlmediums sind immer so aufzubauen, dass sie jederzeit rasch, gefahrlos und ohne Veränderung der Apparatur entfernt werden können!

Bei Arbeiten an Apparaturen, die auf niedrige Temperaturen abgekühlt worden sind, müssen geeignete Handschuhe griffbereit sein, um ein gefahrloses Arbeiten an den kalten Gegenständen zu ermöglichen.

An kalten Geräten kondensiert leicht der Wasserdampf der Luft. Er macht die Geräte besonders rutschig! Angebrochene Packungen mit feuchtigkeitsempfindlichen Chemikalien (z. B. Lithiumaluminiumhydrid) sollten wegen des Kondensierens von Luftfeuchtigkeit nicht im Kühlschrank, sondern besser im Exsikkator über geeigneten Trocknungsmitteln aufbewahrt werden.

Das Kühlen und Kondensieren von Dämpfen erfolgt in der Regel durch spezielle Kühler (z. B. Dimroth-Kühler, Intensivkühler, Claisenaufsatz von Destillationsanlagen), die meist aus Glas gefertigt sind und mit Wasser gekühlt werden.

Dabei ist zu beachten, dass

1. die Kühlung im Gegenstromprinzip durchgeführt wird,
2. die Kühlwasserschläuche mit Schlauchschellen an den Kühlern gesichert sind,
3. der Kühlwasserstrom aus Gründen der Wassereinsparung so gering wie möglich eingestellt wird. Bei Apparaturen, die unter Rückfluss betrieben werden, kann besonders sparsam gearbeitet werden, wenn die Wärmequelle nur geringfügig über den Siedepunkt erhitzt wird, da dann ein Großteil der gebildeten Dämpfe bereits an der Glaswand des Kolbens kondensiert (Luftkühlung).

Aus Gründen der Wassereinsparung sollte anstelle von Leitungswasser (Trinkwasser!) ein elektrisch betriebener Umlaufkühler oder ein hausinterner Kühlwasserkreislauf benutzt werden.

Sind in einem Kolben elementare Alkalimetalle, Metallalkyle oder andere hochreaktive Chemikalien vorhanden, die mit Wasser gefährlich reagieren, so müssen die Kühlwasser führenden Teile eines Rückflusskühlers aus Metall sein. Zerplatzende Kühlschlangen aus Glas führen zu einer explosiven Reaktion des freiwerdenden Wassers mit der vorliegenden Chemikalie.

#### **8.12.1 Kühlschränke/Kühltruhen**

In Innenräumen von Kühlschränken und Kühltruhen, in denen sich eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre entwickeln kann, dürfen keine Zündquellen vorhanden sein.

Kühlschränke und Kühltruhen dürfen zum Aufbewahren von Gefäßen mit brennbaren oder explosiven Stoffen nur benutzt werden, wenn sie mindestens im Innenraum explosionsgeschützt sind. Brennbare Flüssigkeiten im Sinne dieser Forderung sind explosionsgefährliche, hochentzündliche, leichtentzündliche und entzündliche Gefahrstoffe.

Eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre kann sich beispielsweise aus offenen oder undichten Gefäßen mit brennbaren Flüssigkeiten entwickeln. Zündquellen im Nahbereich der Tür müssen daher ebenfalls vermieden werden. Entsprechende Kühlschränke sind am Markt erhältlich; bei Kühlschränken und Kühltruhen in Normalausführung lassen sich Zündquellen vermeiden, wenn Leuchten und Lichtschalter abgeklemmt sowie Temperaturregler mit einem eigensicheren Stromkreis versehen sind. Innenliegende Ventilatoren müssen abgeklemmt werden. Die Abtauautomatik muss außer Betrieb gesetzt sein, der Kühlschrank muss durch Abschalten und Türöffnen abgetaut werden. Wanddurchführungen sind mit Silicon oder einem anderen dichten und dauerhaften Material zu verschließen. Der in Eigenregie vorgenommene Umbau des Arbeitsmittels führt zur Übernahme der Herstellerverantwortung im Sinne des Geräte- und Produktionssicherheitsgesetzes (GPSG).

Umgerüstete Kühlschränke und Kühltruhen müssen mit einem Hinweiszeichen mit der Aufschrift „Nur Innenraum frei von Zündquellen“ Kühlschränke und Kühltruhen, deren Innenraum nicht explosionsgeschützt ist, müssen mit einem deutlich sichtbaren Aufkleber mit folgendem (oder einem ähnlichen, Sinn entsprechenden) Text versehen sein: „In diesem Kühlschrank ist das Aufbewahren brennbarer Stoffe verboten!“ Brennbare Stoffe im Sinne dieser Forderung sind hochentzündliche, leichtentzündliche und entzündliche Gefahrstoffe.

In Kühlschränken, die der Aufbewahrung von zum Verzehr bestimmten Lebensmitteln dienen, dürfen keine Gefahrstoffe aufbewahrt werden. Diese Kühlschränke dürfen nicht in Laboratorien aufgestellt werden und sind mit einem deutlich sichtbaren Aufkleber „Nur für Lebensmittel“ (oder einem ähnlichen, Sinn entsprechenden Text) zu kennzeichnen.

### **8.12.2 Tätigkeiten mit tiefkalt verflüssigten Gasen**

Beim Umfüllen von tiefkalten verflüssigten Gasen (z. B. flüssiger Stickstoff) müssen neben der Arbeitskleidung (Laborkittel, Hose, geschlossenes Schuhwerk) auch eine Schutzbrille und vor Kälte schützende Handschuhe getragen werden. Das Tragen eines Gesichtsschutzschirmes wird empfohlen.

Bei Tätigkeiten mit verflüssigten Gasen müssen Maßnahmen getroffen sein, die verhindern, dass rasch verdampfendes verflüssigtes Gas zu einer Gefährdung führen kann. Dabei kann es sich insbesondere um Brand- und Explosionsgefahren, um Erfrierungen oder Gefährdungen durch toxische Eigenschaften handeln. Beispielsweise kann dies durch den Bruch eines Kolbens mit flüssigem Ammoniak oder durch detonativen Selbsterfall von verflüssigtem Acetylen hervorgerufen werden. Undichtigkeiten an Apparaturen können zum Zufrieren von Leitungen und Sicherheitseinrichtungen (Eisbildung, kondensierter Sauerstoff beim Einsatz von flüssigem Stickstoff oder kondensierter Stickstoff und Sauerstoff beim Einsatz von flüssigem Helium) und zum Bersten von Apparateanteilen führen. Unterschätzt werden häufig auch die Gefahren, die von Gasen ausgehen, die die Atmung nicht unterhalten, sondern erstickend wirken. 1 Liter tiefkalt verflüssigtes Gas, zum Beispiel Stickstoff, ergibt etwa 750 Liter des Gases bei Normalbedingungen und verdrängt die entsprechende Menge Atemluft. Sinkt durch das Verdampfen solcher Gase der Sauerstoffgehalt in der Raumluft deutlich ab, so besteht die Gefahr der Beeinträchtigung des Bewusstseins, des Reaktionsvermögens und der Handlungsfähigkeit. Bei stark abgesenktem Sauerstoffgehalt besteht darüber hinaus die akute Gefahr einer innerhalb weniger Atemzüge eintretenden Bewusstlosigkeit oder gar des Erstickungstodes. Eine ausreichende Warnwirkung beim Einatmen geht dabei von solchen Gasen nicht aus. Es kann erforderlich sein, Überwachungseinrichtungen, beispielsweise auf den Sauerstoffgehalt der Raumluft oder die ausgetretenen Gase, vorzusehen. Auf Querempfindlichkeiten und Alterung der Sensoren ist dabei zu achten.

Tiefkalt verflüssigte Gase dürfen nur in zugelassene Gefäße umgefüllt werden. Diese sind spezielle TÜV-überprüfte Metallkannen für die Aufnahme größerer Mengen und spezielle Dewargefäße, die mit einem (Metall-) Mantel als Implosionsschutz versehen sein müssen, sowie bruch sichere Gefäße aus

geschäumtem Kunststoff. Das Glas des Dewargefäßes muss einen ausreichend kleinen Ausdehnungskoeffizienten haben. Dewargefäße dürfen nur in trockenem und sauberem Zustand mit verflüssigten Gasen gefüllt werden. Verkratzte Dewargefäße dürfen nicht für tiefkalte verflüssigte Gase verwendet werden.

Nach Gebrauch der Tiefkühlbäder sind diese umgehend abzudecken. In Gefäßen, die tiefkalt verflüssigte Gase enthalten, darf sich kein Überdruck aufbauen; sie dürfen also nicht fest verschlossen sein. Gefäße dürfen nur bis maximal 5 cm unterhalb des Randes gefüllt werden.

Flüssiger Sauerstoff bzw. flüssige Luft dürfen nicht zum Tiefkühlen verwendet werden. Für die Tiefkühlung im Labor darf nur flüssiger Stickstoff (Sdp.  $-196\text{ °C}$ ) verwendet werden. Die Verweilzeit von flüssigem Stickstoff in offenen Dewargefäßen muss begrenzt werden, da bei längerem Stehen Sauerstoff aus der Luft (Sdp.  $-183\text{ °C}$ ) in den flüssigen Stickstoff einkondensieren kann. Dieses Einkondensieren kann in seltenen Fällen durch eine leichte Blaufärbung erkannt werden, in der Regel lässt es sich aber nicht erkennen! Solche Mischungen dürfen wegen der starken Oxidationswirkung des flüssigen Sauerstoffes nicht mehr verwendet werden. Mit Sauerstoff angereicherter Stickstoff, flüssige Luft oder flüssiger Sauerstoff können wegen ihrer sehr starken Oxidationswirkung mit organischen Stoffen detonationsfähige Gemische bilden. Sie sollten durch Verdampfen, z. B. Ausgießen im Freien, vernichtet werden. Flüssiger Stickstoff aus Dewargefäßen darf nicht in Vorratsgefäße zurückgegeben werden. Eine richtige Abdeckung des Dewargefäßes kann das Einkondensieren von Sauerstoff stark verlangsamen. Hierbei ist auf Beschädigungen der Deckel durch Versprödung zu achten. Beschädigte oder verloren gegangene Deckel sind zu ersetzen.

Zur Erzeugung von Tieftemperatur-Kühlbädern dürfen verflüssigte Gase nur in kleinen Portionen unter Rühren in die Badflüssigkeit eingetragen werden. Andernfalls könnte es zum explosionsartigen Verdampfen des verflüssigten Gases kommen.

Tiefkalt verflüssigte Gase dürfen in Aufzügen wegen der Gefahr des Behälterbruches nicht zusammen mit Personen befördert werden.

Durch Kühlfallen, die mit tiefkalten Gasen (typischerweise mit flüssigem Stickstoff) beschickt werden und zwischen Versuchsaufbau und Vakuumpumpe installiert sind, darf nicht über einen Zeitraum von wenigen Sekunden hinaus Luft hindurchgesaugt werden, wenn davor oder danach Lösungsmittel in der Kühlfalle kondensiert werden sollen. Der Grund dafür liegt darin, dass sich in der Kühlfalle aus der Luft flüssiger Sauerstoff abscheiden kann, der ein sehr hohes Oxidationspotential besitzt. Kommt dieser flüssige Sauerstoff mit Lösungsmitteldämpfen, die durch die Kühlfalle hindurchgesaugt werden, in Kontakt, so können auch diese Lösungsmitteldämpfe kondensieren und mit dem flüssigen Sauerstoff explosionsartig reagieren. Es hat schon schwere Unfälle gegeben!

### 8.12.3 Eis-/Trockeneis-Kühlung

In chemischen Laboratorien werden Reaktionsgefäße häufig durch Eintauchen in ein Kühlmittel gekühlt, das sich in einer Wanne/ Schale befindet, z. B. Eis/Kochsalz-Kühlung. Es muss gewährleistet sein, dass das Kühlmittel rasch und problemlos ausgetauscht werden kann z. B. durch das Austauschen der Wanne/Schale. Zum Kühlen verwendet man Eis, Eis/Kochsalz-Mischungen (3 Teile Eis und 1 Teil Natriumchlorid, bis ca.  $-20\text{ °C}$ ), Lösemittel/Trockeneis-Mischungen ( $-20$  bis  $-78\text{ °C}$ ) oder flüssigen Stickstoff ( $-196\text{ °C}$ ).

Festes Kohlendioxid kann Glasgefäße beschädigen. Für die Trockeneiskühlung (festes Kohlendioxid) benutzt man häufig brennbare organische Lösungsmittel als Übertragungsmedien. Auf die damit verbundene Brandgefahr ist zu achten, offene Flammen sind verboten. Als Medien werden häufig Aceton oder Methanol benutzt. Soweit möglich, ist 2-Propanol („Isopropanol“) zu benutzen, dessen Vorteile in der geringen Toxizität, seiner hohen Viskosität und seiner geringen Neigung zu Schaumbildung liegen, die ein Überspritzen bei Trockeneiszugabe verhindert. Das Trockeneis muss dem Übertragungsmedium vorsichtig in kleinen Stücken zugegeben werden, um ein Übersäumen zu verhindern. Dies kann bei brennbaren Lösungsmitteln zu Bränden führen, wenn sich eine Zündquelle in der Nähe befindet.

Es ist darauf zu achten, dass der Inhalt beim Bruch des Reaktionsgefäßes nicht in gefährlicher Weise mit dem Kühlmittel reagieren kann. So darf z. B. Aceton als Kühlmittel nicht verwendet werden, wenn

Wasserstoffperoxid haltige Flüssigkeiten gekühlt werden, da sonst explosionsgefährliches und stoßempfindliches Acetonperoxid entstehen kann.

Beim Gebrauch der Tiefkühlbäder sind diese soweit wie möglich abzudecken. Nach dem Gebrauch verbleiben diese bis zum Erreichen der Raumtemperatur abgedeckt im Abzug und sind dann in geeignete Vorrats- oder Entsorgungsbehälter zu geben.

Der Umgang mit Trockeneis, gegebenenfalls auch mit tiefkalten verflüssigten Gasen, lässt sich vorteilhaft durch den Einsatz von Laborkryostaten ersetzen. Diese lassen zudem eine sicherere Reaktionsführung durch frei wählbare Temperatur bei höherer Temperaturkonstanz zu. Eine mögliche Brandlast durch die Flüssigkeitsfüllung ist zu beachten.

## 8.13 Elektrische Anlagen und Betriebsmittel

### 8.13.1 ortsveränderliche Elektrogeräte

Not-Aus-Schalter und Bedienungsschalter von Sicherheitseinrichtungen müssen stets funktionstüchtig, frei erreichbar und problemlos bedienbar sein.

Elektrogeräte dürfen nur bestimmungsgemäß entsprechend der Bedienungsanleitung verwendet werden.

An einem grünen Aufkleber ist zu erkennen, wann das Gerät zuletzt überprüft wurde. Soll ein Gerät benutzt werden, das keine grüne Prüfplakette besitzt, muss das Gerät zuerst durch die zuständige Elektrofachkraft überprüft werden.

Geräte, die eine grüne Prüfplakette tragen, dürfen dennoch nicht benutzt werden, wenn sie offensichtlich beschädigt sind! Rote Aufkleber bedeuten, dass das Gerät zunächst repariert werden muss. Geräte mit roten Aufklebern dürfen keinesfalls eingesetzt werden.

Schlechte elektrische Kontakte können etwa durch Korrosion oder mechanische Überbeanspruchung zu

1. einer lokaler Temperaturerhöhung durch höhere Übergangswiderstände bis hin zum „Festbacken“ lösbarer elektrischer Verbindungen und zur Entzündung sowie zu Kriechströmen, gegebenenfalls verbunden mit dem Verlust der Isolationswirkung führen,
2. einer fehlender Erdung (Potentialausgleich) mit unerkannt ausgefallenem Berührungsschutz bzw. nicht mehr auslösendem FI-Schalter (RCD) führen,
3. einem Ausfall der Spannungsversorgung mit gegebenenfalls unsicheren Betriebszuständen führen.

Leitfähige Anbackungen können Isolierungen überbrücken und zu gefährlichen Körperdurchströmungen führen.

Das Hintereinanderschalten von elektrischen Mehrfachsteckdosenleisten ist wegen des möglichen Verlustes der elektrischen Sicherheit und einer Erhöhung der Brandgefahr nicht zulässig. Sind bewegliche (Mehrfach-)Steckdosen nicht vermeidbar, so sollen sie mit eingebauten Sicherheitseinrichtungen (Hauptschalter, Vorsicherung, Fehlerstrom-Schutzschalter, Überspannungsschutz) versehen und erforderlichenfalls spritzwassergeschützt ausgeführt sein.

Elektrische Leitungen, insbesondere Steckverbinder, dürfen nicht von Wasser benetzt werden. Elektrische Geräte sind vor Feuchtigkeit zu schützen, nasse elektrische Geräte dürfen nicht benutzt werden.

Bei möglichen gefährlichen Störungen von Verfahren und Apparaten sind geeignete Maßnahmen zu treffen. Sicherheitsrelevante Funktionen (z. B. Rühren, Kühlen, Ventilsteuerung) sind dabei bis zum Erreichen des sicheren Betriebszustandes aufrecht zu erhalten, zum Beispiel durch USV (unterbrechungsfreie Stromversorgungen), zentrale Ersatzstromversorgung oder Energiespeicher.

Thermoschutzschalter, Temperatur- oder Leistungsbegrenzer sind sinnvoll, wenn die Gefahr besteht, dass sich Motoren oder Heizquellen überhitzen. Bei Überhitzung besteht die Gefahr von Hautverbrennungen, wenn Personen das Gerät berühren, und die Gefahr von Bränden.

#### 8.14.1 Ultraschall

Ultraschallbäder sind geschlossen zu betreiben, wenn durch Aerosolbildung eine Gefährdung hervorgerufen werden kann. Ist dies nicht möglich, so sind diese im Abzug zu betreiben. Gefahrstoffe und biologische Arbeitsstoffe, beispielsweise bei der Ablösung von Anbackungen, können durch den Ultraschall vernebelt werden und als Aerosole Personen gefährden. Werden chemische Reaktionen in Ultraschallbädern durchgeführt, so ist zu beachten, dass diese beschleunigt ablaufen können.

#### 8.14.2 Mikrowellen

Bei der Beheizung mit Mikrowellengeräten sind mögliche Brand- und Explosionsgefahren zu berücksichtigen. Substanzen in Mikrowellenöfen erhitzen sich bei entsprechend hoher Absorptionsfähigkeit für Mikrowellenstrahlung sehr schnell. Lösemittel können innerhalb von Sekunden ihren Siedepunkt erreichen. Feststoffe können sich sehr hoch erhitzen. Kohlenstoff, der beispielsweise aus überhitztem organischem Material gebildet werden kann, kann sich schnell bis zur Rotglut erhitzen, so dass Brandgefahr besteht.

Beim Erhitzen von Flüssigkeiten müssen Siedeverzüge vermieden werden. Insbesondere bei viskosen Flüssigkeiten, beispielsweise beim Ansetzen von Gelen für die Gelelektrophorese, kann es sonst zu heftigen Siedeverzügen kommen, die stark genug sind, um die Türen gewöhnlicher Haushaltsmikrowellenöfen aus den Scharnieren zu reißen und umherzuschleudern. Zur Vermeidung sollen

1. die Ansatzmengen klein gehalten,
2. Erlenmeyerkolben und Bechergläser zum Ansetzen nur wenige cm hoch gefüllt (die Eindringtiefe, bei der die Leistung auf 50 % abgefallen ist, beträgt bei der meist angewandten Mikrowellenfrequenz etwa 2,5 cm),
3. die Leistung und die Heizdauer niedrig gehalten,
4. der Ansatz gelegentlich umgeschwenkt und
5. persönliche Schutzausrüstungen (Brille, Gesichtsschutzschirm, der auch den Halsbereich bis zum geschlossenen Kittel schützt, Handschuhe) getragen werden.

Zu empfehlen ist die Verwendung von Labor-Mikrowellengeräten, die neben der mechanischen Stabilität des Gehäuses auch eine Regelbarkeit der Mikrowellenleistung anstelle der einfachen Taktung bei einfachen Geräten bieten. Vorteilhaft ist auch eine Möglichkeit zum Rühren im Ofeninnenraum.

Die Bedienungsanleitung des Geräteherstellers, insbesondere die Hinweise zur mittleren Standzeit von Druck-Reaktionsgefäßen, müssen beachtet werden. Eine entsprechend stabile Ausführung und Ausstattung der Geräte mit Sensoren zur Druck- und Temperaturüberwachung ist erforderlich. Werden brennbare Flüssigkeiten erhitzt, so müssen zusätzliche Sicherheitseinrichtungen im Gerät vorhanden sein (beispielsweise eine mechanische Durchlüftung, Explosionsschutzsensor). Werden Apparaturen eingebaut, die aus dem Ofenraum herausragen, so müssen Geräte eingesetzt werden, die entsprechende Durchbrüche mit Dämpfungen für die Strahlung besitzen.

Mikrowellenöfen bieten die Möglichkeit, darin beispielsweise Veraschungen, Trocknungen, Aufschlüsse ohne und unter Druck sowie kontinuierliche und batchweise Synthesen (auch unter Druck) durchzuführen. Viele Reaktionen laufen dabei unerwartet schnell ab, so dass diese bei ungeeigneter Reaktionsführung durchgehen können. Zersetzungsreaktionen können rascher als bei konventioneller Reaktionsführung auftreten und zur Bildung gefährlicher Reaktionsprodukte oder zum Druckaufbau durch Gasbildung führen. Reaktionsgemische in Mikrowellenöfen, deren Feldinhomogenitäten zu ungleichmäßiger Erwärmung führt, müssen besonders intensiv gerührt werden. Reaktionsgemische ohne Lösemittel oder solche, aus denen sich metallische Filme abscheiden können, können durch starke Aufheizung der Wandungen zum Schmelzen oder Bersten von Reaktionsgefäßen führen.

Zusätzliche Sicherheitseinrichtungen im Gerät können beispielsweise eine mechanische Durchlüftung oder ein Ex-Sensor sein. Aufschlüsse unter Druck erfordern speziell dafür ausgelegte Geräte mit zusätzlichen Überwachungsfunktionen. Wenn aus dem Ofenraum im Fall des Abblasens oder Platzens

eines Gefäßes Stoffe austreten können, so sollten diese möglichst nicht in den Laborraum gelangen können, sondern erfasst und gefahrlos fortgeführt oder erforderlichenfalls vernichtet werden.

### 8.14.3 Chromatographie

Bei Gaschromatographen mit Elektroneneinfangdetektor müssen die Vorschriften des Strahlenschutzes beachtet werden. Gaschromatographen mit Elektroneneinfangdetektor enthalten eine radioaktive  $^{63}\text{Ni}$ -Quelle. Auskünfte erteilt die Stabsstelle für Arbeitssicherheit und Gesundheitsvorsorge.

Insbesondere bei der Flüssigkeitschromatographie (Niederdruck-, Mitteldruck-, Flash- und Hochdruckchromatographie) ist auf die Dichtheit und Druckstabilität der Anschlüsse zu achten. Die ebenfalls ggf. unter Druck stehenden Vorratsgefäße sind zu schützen. Im Fall des Zerknalls ist austretendes Lösemittel aufzufangen und die Umgebung vor umherfliegenden Splintern zu schützen. Kann die Apparatur nicht im Abzug betrieben werden, müssen die freiwerdenden Lösemitteldämpfe sicher abgeleitet werden. Druckstöße sollen vermieden werden. Die Apparatur darf nur beaufsichtigt oder technisch abgesichert betrieben werden.

### 8.14.4 automatisierte Laborgeräte

An Autosamplern, Handlinggeräten, Screening- und Pipettierautomaten sowie anderen automatisierten Laborgeräten müssen Gefährdungen durch die mechanischen Bewegungen, insbesondere solche von Nadeln und Kanülen, die mit Gefahrstoffen kontaminiert sind, vermieden werden. Erforderlichenfalls müssen Absicherungen durch Lichtschranken, Lichtvorhänge, Abdeckungen und Türen mit Endschaltern und Ähnlichem vorhanden sein. Die Möglichkeit, dass Gefahrstoffe bei Beschädigung von Gebinden austreten, ist zu berücksichtigen.

Auch nur mit geringen Kräften angetriebene Dosier- oder Aufgabeeinrichtungen können zu Gefährdungen durch Stichverletzungen und damit verbundener Kontamination der Wunde führen. Vor Inbetriebnahme hat der Betreiber die Sicherheitshinweise der Bedienungsanleitung zu überprüfen und gegebenenfalls zusätzliche Maßnahmen zu ergreifen. Eine Absicherung gegen Quetsch- und Scherfahren ist nicht erforderlich, wenn durch unmittelbare Sicherheitstechnik (zum Beispiel konstruktive Maßnahmen, Kraftbegrenzung) sichergestellt ist, dass Personen nicht verletzt werden können. Bei der Gefährdungsbeurteilung sind aber immer zusätzlich auch Kontaminationsgefahren durch Gefahrstoffe oder biologische Arbeitsstoffe aufgrund der Möglichkeit von Stichverletzungen zu berücksichtigen.

## 8.15 Dauerversuche

Versuche, die unbeaufsichtigt und/oder über Nacht laufen, dürfen nur in Dauerversuchsräumen durchgeführt werden. Für Dauerversuchsräume gelten zusätzlich zu den Bestimmungen für Laboratorien folgende Besonderheiten:

Zum Erwärmen von Reaktionslösungen müssen Ölbäder verwendet werden. Ölbäder müssen mit einer zusätzlichen Temperaturbegrenzungseinrichtung ausgestattet sein, die bei Erreichen einer Temperatur von 200 °C das Ölbad total abschaltet und das Ölbad nicht wieder selbständig einschalten kann. Die Benutzung von Wasserbädern, Heizhauben (Heizpilzen) oder Gasbrennern ist verboten.

Es dürfen keine Versuche durchgeführt werden, bei denen Reaktionslösungen gekühlt werden müssen, wenn bei Ausfall der Kühlung eine Gefährdung für Menschen und Umwelt entsteht (z. B. Selbstentzündung, Freisetzen gefährlicher Gase).

Personen, die Versuche im Dauerversuchsraum betreiben, müssen ihren Namen, ihre (Handy-) Telefonnummer, unter der sie ggf. von der Feuerwehr zu erreichen sind, und die Platznummer ihres Versuchsaufbaus im Laborbuch eintragen. Von allen Gefahrstoffen, die sich in den Reaktionsgefäßen befinden, müssen Stoffbezeichnungen, Mengen und H- und P-Sätze in das Laborbuch eingetragen werden, damit bei Unfällen oder Bränden die von den Gefahrstoffen ausgehenden Gefahren abgeschätzt werden können. Das Laborbuch muss neben der Tür des Dauerversuchsraumes außerhalb des Raumes aufbewahrt werden.

Es dürfen außer den Gefahrstoffen, die sich in den betriebenen Reaktionsapparaturen befinden, keine weiteren Gefahrstoffe im Dauerversuchsraum aufbewahrt werden.

Wenn in einer Reaktionsapparatur eine Flüssigkeit zum Sieden erhitzt werden soll, muss die Temperatur des Heizgerätes so eingestellt werden, dass die Flüssigkeit nur wenig siedet. Dadurch ist in hohem Maße sichergestellt, dass bei Ausfall des Kühlwassers die Flüssigkeit im Reaktionskolben nicht in die Raumluft verdampfen kann, da sie durch Luftkühlung bedingt an den Glaswänden kondensiert.

Eine regelmäßige tägliche Kontrolle der Dauerversuchsräume am Ende der Arbeitszeit muss von einer bestellten Person des nutzenden Institutes durchgeführt werden. Bei Verstößen gegen diese Betriebsanweisung muss die entsprechende Apparatur abgeschaltet werden.

## **8.16 Trocknen von Geräten und Chemikalien**

### **8.16.1 Trocknen von Geräten, Trockenschrank**

Von Wärmeschränken und anderen Trocknern darf keine Gefahr durch Explosionen ausgehen. Trockenschränke in chemischen Laboratorien sind in der Regel nicht explosionsgeschützt und nicht an die Abluft angeschlossen. In diesen Trockenschränken dürfen deshalb nur Laborgeräte getrocknet werden, die zuvor gründlich gereinigt und mit Wasser ausgespült worden sind.

### **8.16.2 Trocknen von Feststoffen**

Feststoffe werden am besten im Exsikkator oder in einer Trockenpistole unter Vakuum getrocknet. Dabei dürfen Feststoffe und Trocknungsmittel nicht miteinander in Berührung kommen.

Das Trocknen von festen Chemikalien bzw. das Regenerieren von Adsorbentien (z. B. Molekularsieb, Aluminiumoxid, Silicagel) ist in den laborüblichen Trockenschränken verboten, wenn beim Trocknen Gefahrstoffe (z. B. brennbare, giftige, reizende Dämpfe) in die Luft abgegeben werden können oder die Gefahr von Zersetzungsreaktionen oder Explosionen besteht. Diese Chemikalien müssen in speziellen Geräten getrocknet werden, die an die Abluftanlage angeschlossen sind.

Sollen in Wärmeschränken Produkte getrocknet werden, aus denen sich eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre entwickeln kann, müssen Maßnahmen des Explosionsschutzes getroffen werden. Hierbei handelt es sich insbesondere um lösemittelfeuchte Produkte, aber auch um solche, die brennbare Produkte beim Trocknen oder Erhitzen abspalten.

Neben solchen können auch Vakuumtrockenschränke oder explosionsgeschützte Trockenschränke eingesetzt werden. Werden die Oberflächentemperaturen in den Wärmeschränken sorgfältig kontrolliert und die für die Vermeidung einer Zündung maximal zu lassigen Temperaturen sicher unterschritten, so können auch Wärmeschränke mit Umluft verwendet werden. Neben Schränken für Produkte sind solche zum Trocknen von Geräten üblich, die in der Regel nicht für den Umgang mit Produkten geeignet sind. Mit Lösemitteln gespülte Geräte müssen daher in der Regel in Produkt-Wärmeschränken getrocknet werden.

Wärmeschränke, aus denen Gase, Dämpfe oder Nebel in gefährlicher Konzentration oder Menge austreten können, müssen an eine ausreichend dimensionierte Entlüftung angeschlossen werden. Im Inneren darf sich keine explosionsfähige Atmosphäre bilden, nach außen dürfen keine gesundheitsschädlichen Stoffe austreten.

Das Trocknen von thermisch instabilen Stoffen sowie von Stoffen mit leicht entzündlichen Bestandteilen darf nur in Wärmeschränken mit einer zusätzlichen Temperatur-Sicherheitseinrichtung erfolgen. Die eingestellte Temperatur der Temperatur-Sicherheitseinrichtung muss unterhalb der Zersetzungs- bzw. Zündtemperatur liegen. Die Temperatur-Sicherheitseinrichtung muss die Heizung bleibend abschalten, wenn die gewählte Einstelltemperatur (Arbeitstemperatur), beispielsweise bei Versagen der Temperaturregeleinrichtung, überschritten wird.

Die zu trocknenden Stoffe müssen im Inneren richtig angeordnet werden. Ein Abstellen darf in der Regel nur auf den Rosten erfolgen, da die Wände heiße Oberflächen darstellen, deren Temperaturen über den eingestellten Ofentemperaturen liegen. Sie sollen auch nicht nahe an der Türöffnung abgestellt werden.

Bei thermisch instabilen Stoffen soll die eingestellte Temperatur der Temperatursicherheitseinrichtung mindestens 20 % unterhalb der Zersetzungstemperatur und bei leichtentzündlichen Stoffen mindestens 20 % unterhalb der Zündtemperatur liegen. Die Prozentangaben beziehen sich auf die Temperaturangaben in °C.

### 8.16.3 Trocknen von Flüssigkeiten

Vor dem Einsatz von chemisch hochreaktiven Trockenmitteln ist mit weniger reaktiven Trockenmitteln vorzutrocknen. Als Trockenmittel sollen bevorzugt Molekularsiebe, wasserfreies Kupfersulfat, Calciumchlorid oder Kaliumhydroxid eingesetzt werden. Wenn es erforderlich ist, Alkalimetalle oder Alkalimetalllegierungen einzusetzen, müssen besondere Sicherheitsmaßnahmen ergriffen werden. Mögliche gefährliche Reaktionen zwischen Lösungsmittel und Trockenmittel müssen berücksichtigt werden. So dürfen beispielsweise Halogenkohlenwasserstoffe nicht mit Alkalimetallen getrocknet werden. Umlaufapparaturen als lang laufende Apparaturen sind besonders abzusichern. Verbrauchtes Trockenmittel ist zu ersetzen, Rückstände sind unverzüglich zu beseitigen.

Ausführliche Informationen für das Trocknen von Flüssigkeiten enthält das Buch „Sicherheit - Handbuch für das Labor“. Im Folgenden werden nur die wichtigsten Punkte zusammengefasst.

Flüssigkeiten werden in der Regel getrocknet, indem sie mit dem Trocknungsmittel vermischt werden und längere Zeit stehengelassen werden (statische Methode). Beim Trocknen mit Aluminiumoxiden, Kieselgelen und Molekularsieben werden die Flüssigkeiten häufig durch eine mit dem Trocknungsmittel gefüllte Glassäule hindurchgeleitet (dynamische Methode).

Flüssigkeiten dürfen nur mit den Trocknungsmitteln getrocknet werden, mit denen sie nicht chemisch reagieren. So dürfen z. B. halogenhaltige Kohlenwasserstoffe (z. B. Chloroform, Dichlormethan) niemals mit elementarem Natrium oder Kalium getrocknet werden, da hier höchste Explosionsgefahr besteht!

Häufig benutzte Trocknungsmittel sind:

- |                               |   |
|-------------------------------|---|
| 1. Alkalimetalle:             | Natrium, Kalium   |
| 2. Säuren, Säureanhydride:    | konz. Schwefelsäure, Phosphorpentoxid   |
| 3. Basen:                     | Kaliumhydroxid, Kaliumcarbonat, Calciumoxid, Natriumhydroxid, Lithiumaluminiumhydrid, |
| 4. kristallwasserfreie Salze: | Magnesiumsulfat, Natriumsulfat, Calciumchlorid, Kupersulfat                           |
| 5. Adsorbentien:              | Aluminiumoxid, Kieselgel, Molekularsieb   |

### Natrium, Kalium

Die Verwendung von blankem Natriumdraht direkt aus der Natriumpresse zur Trocknung organischer Lösungsmittel hat sich bewährt. Während des Trocknungsvorganges überzieht sich der Natrium-Draht mit einem blättrigen Belag von Natriumhydroxid, der aber die Trocknungswirkung wenig beeinträchtigt. In gleicher Weise werden häufig auch Natrium-Kalium-Legierungen (flüssig bei Kaliumgehalten von 30-90 %) verwendet, deren Vorteil darauf beruht, dass sie eine noch höhere Trocknungswirkung aufweisen und sich beim Schütteln der flüssigen Legierung immer wieder eine blanke, reaktive Oberfläche bildet. Während des Trocknungsvorganges reagiert zuerst das Kalium, weshalb die Legierung immer kaliumärmer wird und dadurch erstarren kann.

Der Nachteil dieser Trocknungsmittel ist ihre außergewöhnliche Reaktivität mit Wasser unter Bildung von Wasserstoff. Lösungsmittelflaschen, in die ein Natriumdraht hineingepresst wurde, dürfen deshalb die ersten Tage nicht fest verschlossen werden, da sich sonst ein gefährlicher Überdruck bilden kann. Kalium kann sich bereits bei hoher Luftfeuchtigkeit entzünden. Deshalb müssen Lösungsmittel, die über Kalium getrocknet werden, mit einem Inertgas überschichtet sein. Auch bei der Vernichtung von Natrium- und Kaliumabfällen ist besondere Vorsicht geboten. Zur Kontrolle auf Restfeuchtigkeit haben sich Benzophenon und Triphenylmethan bewährt, die bei völliger Wasserfreiheit eine intensive Färbung zeigen.

Natrium und Kalium sind geeignet zum Trocknen von Ethern, gesättigten aliphatischen und aromatischen Kohlenwasserstoffen und Aminen; auf keinen Fall dürfen Säuren, Säurederivate, Aldehyde, Ketone, Alkohole oder halogenierte Kohlenwasserstoffe mit ihnen getrocknet werden. Halogenierte

Kohlenwasserstoffe wie z. B. Dichlormethan, Trichlormethan oder Tetrachlormethan reagieren explosiv mit Natrium bzw. Kalium.

#### **konzentrierte Schwefelsäure, Phosphorpentoxid**

Konzentrierte Schwefelsäure kann schwere Verätzungen verursachen und bei Aufnahme organischer Dämpfe Schwefeldioxid freisetzen. Sie ist geeignet zum Trocknen von aliphatischen und aromatischen Kohlenwasserstoffen, ungeeignet zum Trocknen von oxidierbaren Stoffen, ungesättigten Kohlenwasserstoffen, Aldehyden, Ketonen, Alkoholen.

Phosphorpentoxid kann beim unvorsichtigen Öffnen von Exsikkatoren verpuffungsartig aufgewirbelt werden. Phosphorpentoxid, das schon zum Teil Feuchtigkeit gezogen hat, überzieht sich mit einer sirupartigen Oberfläche, wodurch die Trocknungskapazität erheblich eingeschränkt wird. Es ist geeignet zum Trocknen von Alkyl- und Arylhalogeniden, Anhydriden, Nitrilen und Schwefelkohlenstoff, ungeeignet zum Trocknen von Alkoholen, Aminen, Ethern, Ketonen, Aldehyden, Säuren.

Behälter, die Schwefelsäure bzw. Phosphorpentoxid enthalten, müssen sehr vorsichtig geöffnet werden. Es sind Trocknungsmittel auf Basis von Phosphorpentoxid bzw. konz. Schwefelsäure in Granulatform im Handel (z. B. Sicapent und Sicacide der Firma Merck), die nicht nur einen gefahrloseren Umgang ermöglichen, sondern wegen ihrer größeren Oberfläche auch eine höhere Trocknungskapazität aufweisen.

#### **Kaliumhydroxid, Natriumhydroxid, Kaliumcarbonat, Calciumoxid, Lithiumaluminiumhydrid**

Diese Stoffe sind geeignet zum Trocknen von Substanzen, die keine protischen Eigenschaften haben und nicht im alkalischen Milieu reagieren. Kaliumhydroxid und Natriumhydroxid dienen zum 1- bis 2-tägigen Vortrocknen von Diethylether, bevor ein Natriumdraht eingepresst werden kann. Durch zehnstündiges Erhitzen über Calciumoxid kann Ethanol wasserfrei gemacht werden. Halogenkohlenwasserstoffe reagieren explosiv mit Natriumhydroxid bzw. Kaliumhydroxid.

#### **Natriumsulfat, Magnesiumsulfat, Calciumchlorid, Kupfersulfat**

Diese Substanzen binden das Wasser als Kristallwasser. Sie sind chemisch inert und damit zum Trocknen fast aller Chemikalien geeignet.

#### **Aluminiumoxid, Kieselgel, Molekularsieb**

Zum Trocknen von Flüssigkeiten werden diese drei Stoffe entweder in einem statischen oder einem dynamischen Verfahren eingesetzt. Beim statischen Verfahren werden die Trocknungsmittel in die Flüssigkeitsbehälter hinein gegeben und die Flüssigkeiten über dem Trocknungsmitteln aufbewahrt. Beim dynamischen Verfahren wird das Trocknungsmittel in eine Glassäule gefüllt. Anschließend lässt man die zu trocknende Flüssigkeit durch das Trocknungsmittel hindurchfließen. Beim dynamischen Verfahren ist zu empfehlen, am Säulenende einen Feuchtigkeitsindikator einzusetzen, der die Erschöpfung des Trocknungsmittels z. B. durch eine Farbänderung anzeigt.

Molekularsiebe weisen in der Regel die besten Trocknungseigenschaften auf. Sie sind chemisch inert und können für das Trocknen aller gängigen Lösungsmittel benutzt werden. Molekularsiebe werden zur Regeneration zunächst im Abzug in eine größere Wassermenge geschüttet, um adsorbierte organische Lösungsmittel zu entfernen. Anschließend wird das Wasser abfiltriert und das Molekularsieb im Trockenschrank bei 250 °C vorgetrocknet. Der verbleibende Restwassergehalt wird im Ölpumpenvakuum bei 300 °C entfernt. Wasserstrahlpumpen sind zum Evakuieren wegen ihres hohen Wasserpartialdruckes völlig ungeeignet. Molekularsiebe können mehr als hundertmal regeneriert werden.

Aluminiumoxid und Kieselgel können unter Umständen mit Lösungsmitteln reagieren und sind deshalb nicht so universell einsetzbar wie Molekularsiebe. Molekularsiebe sollten deshalb bevorzugt werden. Die Trocknungsleistung von Molekularsieben übertrifft oft die Trocknung mit Natrium; die Trocknung ist dabei völlig gefahrlos! Man beachte auch die fehlenden Entsorgungsprobleme! Molekularsiebe, Aluminiumoxide und Kieselgele, die Peroxide enthalten können, dürfen nicht regeneriert werden.

Molekularsiebe sind mit unterschiedlichen Porenweiten erhältlich. Je nach Flüssigkeit müssen verschiedene Porenweiten benutzt werden. Beispiele:

1. Porenweite 0,3 nm: Aceton, Acetonitril, Ethanol, Formamid, Methanol, 1-Propanol
2. Porenweite 0,4 nm: Benzol, 1-Butanol, 2-Butanol, tert-Butanol, n-Butylacetat, Chlorbenzol, Chloroform, Cyclohexan, Dichlormethan, Diethylenglycoldimethylether, Diethylether, Diosop-

- ropylether, Dimethylformamid, Dimethylsulfoxid, Ethylacetat, Ethylenglycol, n-Hexan, Isobutanol, Methylenchlorid, Pyridin, Toluol, Trichlorethylen, Trichlormethan, Xylol
3. Porenweite 0,5 nm: 1,4-Dioxan, 2-Propanol

#### 8.16.4 Trocknen von Gasen

Ausführliche Informationen für das Trocknen von Gasen enthält das Buch „Sicherheit - Handbuch für das Labor“. Im Folgenden werden nur die wichtigsten Punkte zusammengefasst. Gase werden getrocknet, indem sie durch das Trocknungsmittel hindurchgeleitet werden. Geeignete Trocknungsmittel sind z. B.

1. Molekularsiebe,
2. Aluminiumoxid,
3. Kieselgel,
4. konz. Schwefelsäure.

Molekularsiebe, Aluminiumoxid und Kieselgel werden als Feststoffe in eine Säule eingefüllt. Anschließend lässt man das zu trocknende Gas durch die Säule hindurchströmen. Es wird empfohlen, am Säulenende einen Feuchtigkeitsindikator vorzulegen, der die Erschöpfung der Trocknungssubstanz farblich anzeigt. Andere feste Trocknungssubstanzen wie z. B. Calciumchlorid oder Kaliumhydroxid neigen bei der Aufnahme von Feuchtigkeit dazu, zu verkleben und die Säule zu verstopfen. Sie sind deshalb weit weniger geeignet als die o. g. Substanzen.

Konzentrierte Schwefelsäure wird in einer Waschflasche vorgelegt und vom Gas durchströmt. Es empfiehlt sich, als Austrittsöffnung des Gases in der Schwefelsäure eine Glasfritte zu benutzen, da das Gas hierdurch in zahlreichen kleinen Bläschen austritt und sich so innig mit der Schwefelsäure vermischen kann.

#### 8.17 Arbeiten unter Überdruck oder Unterdruck, Gase

Arbeiten mit Apparaturen, die unter vermindertem oder erhöhtem Druck stehen, sind immer als gefährlich einzustufen, da Implosionen bzw. Explosionen drohen. Apparaturen, die aus Glasgeräten bestehen, müssen so aufgestellt werden, dass sie gegen unbeabsichtigtes Anstoßen oder Darauffallen von Gegenständen geschützt sind. Die Apparaturen müssen hinter Schutzschirmen aufgestellt sein, die bei Zerbersten der Apparatur die im Labor anwesenden Personen sicher vor umher fliegenden Teilen und verspritzenden Gefahrstoffen schützen. Am besten werden sie in Abzügen bei geschlossenem Frontschieber betrieben.

Es versteht sich von selbst, dass Arbeiten unter erhöhtem oder vermindertem Druck mit besonderer Vorsicht und unter Beachtung der Sicherheitsregeln durchgeführt werden müssen. Bei allen Arbeiten, die unter erhöhtem oder vermindertem Druck durchgeführt werden, muss eine geeignete Schutzbrille getragen werden. Die Benutzung eines Gesichtsschutzschirmes wird empfohlen.

Beim Umgang mit Flüssigkeiten unter vermindertem Druck müssen Maßnahmen ergriffen werden, um Siedeverzüge zu verhindern. Das kann z. B. durch die Benutzung von Siedesteinchen, Siedekapillaren oder Rührern erreicht werden.

#### 8.17 1 Unterdruck / Vakuum

##### 8.17.1.1 Arbeiten unter Unterdruck bzw. im Vakuum

In chemischen Laboratorien wird häufig unter vermindertem Druck gearbeitet. Typische Beispiele sind Destillationen, Sublimationen, Absaugen von Niederschlägen, Trocknen. Die verwendeten Apparaturen müssen dabei einer erheblichen Belastung durch den Außendruck standhalten. Bei Verwendung von Wasserstrahlpumpen (20 hPa = 20 mbar) entspricht die Druckbelastung ca. 1 kg/cm<sup>2</sup> Glasoberfläche. Es ist ein weit verbreiteter Irrtum, dass das Arbeiten unter „Wasserstrahlvakuum“ im Vergleich mit „Hochvakuumarbeiten“ harmlos sei. In der Tat unterscheiden sich die Druckbelastungen nur um 10-20 g/cm<sup>2</sup>, also 1-2 % im Vergleich zum atmosphärischen Druck.

Der Unterdruck ist nach Möglichkeit auf das experimentell notwendige Maß zu begrenzen. Eine Unterdruckregelung mittels Vakuumkonstanthaltern (Vakuum-Controllern) ist sinnvoll und muss erfolgen, wenn die Geräte vorhanden sind.

Vor jedem Evakuieren von Glasgefäßen sind diese einer Sichtkontrolle auf festigkeitsgefährdende Beschädigungen zu unterziehen. Es dürfen nur Glasgeräte mit unbeschädigter Oberfläche verwendet werden, Risse, Sprünge, Abplatzungen, „Sternchen“, Luftblasen usw. schließen eine Benutzung aus. Zusätzliche Belastungen durch Spannungen infolge verkanteter Befestigung von Apparaturen sind auszuschließen. Evakuierte Apparaturteile dürfen nicht einseitig erwärmt werden. Für Arbeiten unter vermindertem Druck dürfen dünnwandige Glasgefäße nur dann verwendet werden, wenn sie von der Form her dazu geeignet sind (Glasgeräte mit gewölbter Oberfläche wie z. B. Rundkolben, Spitzkolben und Kühler), keinesfalls also Erlenmeyerkolben, Stehkolben oder sonstige Gefäße mit flachem Boden. Hiervon abweichend dürfen Geräte benutzt werden, die eigens für Vakuumarbeiten hergestellt werden, z. B. Saugflaschen, Exsikkatoren.

Beim Absaugen ist auf guten Sitz und ausreichende Größe der Gummimanschetten zwischen Absaugtrichter und Saugflasche zu achten. Ein plötzliches Durchrutschen des Trichters kann zum Bruch des Auffanggerätes führen.

Zum Schutz gegen umherfliegende Glassplitter infolge Implosion sind geeignete Maßnahmen zu treffen. Eine besonders wirksame Schutzmaßnahme ist das Arbeiten im Abzug bei heruntergezogener Frontscheibe! Weitere wirksame Schutzmaßnahmen stellen z. B. die Verwendung von Schutzschilden, Netzen, Lochblechen, Schutzhauben, die Sicherung in Drahtkörben und das Bekleben der Gefäßoberfläche mit Klarsichtfolie dar. Exsikkatoren müssen mit einer Klarsichtfolie beklebt oder kunststoffbeschichtet sein. Kunststoffbeschichtete Geräte sind im Handel erhältlich und sollten bevorzugt werden. Es dürfen nur Dewargefäße verwendet werden, die von einem Metall- oder Kunststoffmantel umgeben sind.

Apparaturen, die evakuiert werden sollen, müssen vor dem Einfüllen von Chemikalien probeweise auf ihre Dichtigkeit überprüft werden. Apparaturen, die unter einem Unterdruck stehen, müssen nach Beendigung des Versuches langsam belüftet werden. Schlagartiges Belüften kann zu Implosionen und zum Verspritzen von Chemikalien führen. Um Geräte sicher belüften zu können, ist der Einbau einer Woulffschen Flasche zwischen Vakuumpumpe und Apparatur notwendig, soweit keine speziellen Belüftungsöffnungen am Gerät vorhanden sind. Besteht die Gefahr, dass sich der Destillationsrückstand in Gegenwart von Sauerstoff zersetzt, darf nur Inertgas zum Entspannen eingelassen werden.

Werden Feststoffe in Exsikkatoren über Kaliumhydroxid und konz. Schwefelsäure getrocknet, muss die Schwefelsäure so aufbewahrt werden, dass sie nicht in das Gefäß mit Kaliumhydroxid gelangen kann. Die Schwefelsäure sollte z. B. unterhalb der Siebscheibe des Exsikkators, das Kaliumhydroxid oberhalb der Siebscheibe aufbewahrt werden. Inerte Trocknungsmittel, wie z. B. Kieselgel, Molekularsieb oder Aluminiumoxid, müssen möglichst an Stelle von gefährlichen Trockenmitteln wie Schwefelsäure/Kaliumhydroxid benutzt werden.

#### **8.17.1.2 Vakuumdestillationen**

Bei Vakuumdestillationen muss dafür gesorgt werden, dass kein Siedeverzug auftritt. Bewährt haben sich zur Verhinderung von Siedeverzügen Rührer oder Kapillaren zum Durchsaugen von Luft oder inerten Gasen. Es können auch Vakuum-Siedesteine oder Siedeperlen verwendet werden, diese sind jedoch nur einmal verwendbar. Es müssen also vor jeder Evakuierung – auch bei nur kurzzeitiger Belüftung einer bereits laufenden Vakuumdestillation – neue Siedesteine oder Siedeperlen zugegeben werden.

Bei Apparaturen, die unter einem Unterdruck stehen und gleichzeitig beheizt werden sollen, muss zuerst der gewünschte Unterdruck erreicht werden. Erst dann darf die Apparatur beheizt werden. Nach Beendigung des Versuches muss zuerst die Wärmequelle (in der Regel ein Heizbad) entfernt werden. Die Apparatur darf erst nach dem Abkühlen langsam belüftet werden. Sowohl das Entfernen der Wärmequelle als auch das Belüften der Anlage muss erfolgen können, ohne Sicherheitseinrichtungen entfernen zu müssen. Evakuierte Glasgefäße dürfen nicht einseitig erhitzt werden, um Glasbruch infolge Spannungen zu verhindern. Bei Vakuumdestillationen müssen nicht kondensierte Dämpf-

fe auskondensiert oder auf sonstige Weise gefahrlos abgeführt werden. Dazu können z. B. Kühlfallen benutzt werden.

Durch Kühlfallen, die mit tiefkalten Gasen (typischerweise mit flüssigem Stickstoff) beschickt werden und zwischen Versuchsaufbau und Vakuumpumpe installiert sind, darf nicht über einen Zeitraum von wenigen Sekunden hinaus Luft hindurchgesaugt werden, wenn davor oder danach Lösungsmittel in der Kühlfalle kondensiert werden sollen. Der Grund dafür liegt darin, dass sich in der Kühlfalle aus der Luft flüssiger Sauerstoff abscheiden kann, der ein sehr hohes Oxidationspotential besitzt. Kommt dieser flüssige Sauerstoff mit Lösungsmitteldämpfen, die durch die Kühlfalle hindurchgesaugt werden, in Kontakt, so können auch diese Lösungsmitteldämpfe kondensieren und mit dem flüssigen Sauerstoff explosionsartig reagieren. Es hat schon schwere Unfälle gegeben!

### 8.17.1.3 Vakuumpumpen und Vakuumkonstanthalter

Ein Unterdruck wird durch geeignete Vakuumpumpen erzeugt. Verwendet werden:

#### **Wasserstrahlpumpen**

Wasserstrahlpumpen erzeugen ein Vakuum bis ca. 20 hPa (=20 mbar). Der Enddruck ist abhängig von der Wassertemperatur und dem Wasserdruck. Bei plötzlich sinkendem Wasserdruck besteht die Gefahr, dass Wasser in die Vakuumanlage eingesogen wird. Wasserstrahlpumpen muss deshalb immer eine Woulffsche Flasche nachgeschaltet werden.

Die von Wasserstrahlpumpen abgesaugten Gase und Dämpfe gelangen in das Abwasser. Dadurch können Schadstoffbelastungen des Abwassers entstehen, die nicht zulässig sind. Vor allem beim Umgang mit chlorierten Kohlenwasserstoffen (z. B. Dichlormethan, Trichlormethan, Trichlorethylen) werden Überschreitungen des Grenzwertes sehr schnell erreicht.

Der Wasserverbrauch von Wasserstrahlpumpen ist extrem hoch. Er liegt bei ca. 1 m<sup>3</sup> Wasser pro Stunde, wobei stets Trinkwasser verwendet wird. Wegen des hohen Wasserverbrauches verursachen diese Pumpen sehr hohe Betriebskosten (zurzeit ca. 5 €/m<sup>3</sup>). Wasserstrahlpumpen dürfen nicht verwendet werden, wenn andere geeignete Vakuumpumpen zur Verfügung stehen.

#### **Teflon-Membranpumpen**

Teflon-Membranpumpen erreichen in der Regel ein Endvakuum von ca. 10 mbar und sind damit mit Wasserstrahlpumpen vergleichbar. Modernste Geräte erreichen ein Endvakuum von 1 mbar und sind deshalb für fast alle Arbeiten unter vermindertem Druck einsetzbar. Wegen ihres geringen Stromverbrauches sind die Betriebskosten sehr gering.

An Teflon-Membranpumpen muss

1. entweder hinter dem Gasauslass ein Kondensationssystem aus Kühler und Auffanggefäß (z. B. Kolben und Rückflusskühler) installiert sein, um abgesaugte Dämpfe und Gase bei Normaldruck kondensieren und weiterverwenden zu können oder
2. vor der Teflon-Membranpumpe eine Kühlfalle installiert sein, die alle Dämpfe vor dem Erreichen der Pumpe kondensiert.

Die erste Variante ist ungefährlicher und weniger aufwendig; sie sollte deshalb bevorzugt werden. Das Kondensationssystem kann entfallen, wenn sichergestellt ist, dass keine Gefahrstoffe in die Luft gelangen können (z. B. Absaugen wässriger Lösungen).

Teflon-Membranpumpen besitzen in der Regel eine so hohe Leistung, dass in Verbindung mit Vakuumkonstanthaltern (Vakuum-Controllern) und Regelventilen mehrere (bis zu 10) Vakuumanlagen gleichzeitig betrieben werden können. Der Ersatz mehrerer Wasserstrahlpumpen durch eine Teflon-Membranpumpe macht sich innerhalb kurzer Zeit bezahlt. Teflon-Membranpumpen dienen nur dem Fördern von Gasen; beim Fördern von Flüssigkeiten wird die Pumpe innerhalb weniger Sekunden zerstört.

#### **Drehschieberpumpen und Diffusionspumpen**

Drehschieberpumpen und Diffusionspumpen werden in der Regel nur dann eingesetzt, wenn ein Vakuum unter 1 hPa (= 1 mbar) benötigt wird. Da unter den Versuchsbedingungen abgesaugte Dämpfe und Gase in das Öl dieser Pumpen eindringen können, dürfen die Pumpen nur betrieben werden, wenn zwischen Reaktionsgefäß und Vakuumpumpe eine wirksame Kühlfalle zwischengeschaltet ist. Die Kühlfalle ist in der Regel mit flüssigem Stickstoff zu beschicken. Die besonderen Vorschriften für den Umgang mit tiefkalt verflüssigten Gasen und Vakuumpumpen sind zu beachten.

Drehschieber- und Diffusionspumpen erreichen ihr Endvakuum erst in betriebswarmen Zustand ca. 15 Minuten nach dem Einschalten der Pumpe. Das Öl dieser Pumpen muss gemäß der Bedienungsanleitung dieser Geräte regelmäßig ausgetauscht werden.

Alle Vakuumpumpen sollten unbedingt mit Regelgeräten betrieben werden, die den vorhandenen Unterdruck genau anzeigen und einen gewünschten Unterdruck genau regulieren können. Für die Druckanzeige sind Manometer mit einem Zeiger oder elektronische Geräte zu installieren. Quecksilbermanometer dürfen nur noch für Druckbereiche unter 1 hPa (= 1 mbar) verwendet werden.

Für die Regulierung des Unterdruckes sind elektronische Vakuumkonstanthalter (Vakuum-Controller) einschließlich Regelventilen einzusetzen. Durch das genau einstellbare Vakuum können Reaktionen und Arbeitsvorgänge (z. B. Destillationen) unter kontrollierbaren und reproduzierbaren Bedingungen durchgeführt werden, bei der Benutzung von Wasserstrahlpumpen Abwasserbelastungen erheblich reduziert werden, die Lebensdauer von Teflon-Membranpumpen, Drehschieber- und Diffusionspumpen erheblich erhöht werden.

Gase und Dämpfe aus evakuierten Apparaturen sind, soweit sie nicht vollständig kondensiert werden können, zu erfassen und gefahrlos abzuleiten. Ölnebel aus Drehschieberpumpen sollen niedergeschlagen werden.

Austretende Gase, Nebel oder Dämpfe mit gefährlichen Eigenschaften sind gefahrlos abzuleiten, z. B. durch Verlegen eines Abluftschlauches in die Absaugöffnung des Abzuges oder ein einen dauerhaft betriebenen Abluftkanal.

Ein sicherer Betrieb setzt unter anderem voraus, dass die Aufstellung so erfolgt, dass die Vakuumpumpen ausreichend zugänglich sind und die erforderliche Kühlung gewährleistet ist. Eine ausreichende Zugänglichkeit ist gewährleistet, wenn Vakuumpumpen so aufgestellt sind, dass sie ohne besondere Erschwernisse betätigt und gewartet werden können.

Die Umgebungstemperatur soll im Allgemeinen bei stationär aufgestellten Vakuumpumpen mit ölgeschmierten Druckräumen und Luftkühlung 40 °C, bei fahrbaren Anlagen 50 °C nicht überschreiten.

#### **8.17.1.4 Rotationsverdampfer**

Beim Betrieb von Rotationsverdampfern ist auf eine Einhaltung des für das jeweilige Lösemittel vorgeschriebenen Unterdrucks sowie auf eine nicht zu hohe Wasserbadtemperatur zu achten. Besonders niedrig siedende Lösemittel dürfen nur unter Normaldruck abgezogen werden. Lösemittel, die zur Bildung von Peroxiden neigen, müssen vor dem Abdestillieren bis zur Trockene immer auf möglicherweise vorhandene Peroxide geprüft und diese entfernt werden. Zur Reduzierung der Gefahr bei einer Im- oder Explosion des Rotationsverdampfers sind die Geräte vollständig einzuhausen oder alle Glas- teile mit Kunststoff zu ummanteln. Bei Verwendung einer automatischen Hebevorrichtung für die Destillationsvorlage ist bei jedem Kolbenwechsel eine Justierung auf die jeweilige Kolbengröße erforderlich. Alle verwendeten Glasgeräte sind vor der Evakuierung auf Unversehrtheit zu prüfen.

Die vorgeschriebenen Unterdrücke sind Angaben der Hersteller, die verhindern sollen, dass gefährliche Zustände durch Siedeverzüge auftreten.

Für das Wasserbad sind in der Regel 60 °C ausreichend. Besonders tief siedende Lösemittel wie Diethylether, n-Pentan und Dichlormethan dürfen nur unter Normaldruck abgezogen werden, da ihre Dämpfe andernfalls nicht vollständig kondensiert werden und die Dämpfe in die Vakuumpumpe gelangen können. Der Kolben soll sich zur Vermeidung von Siedeverzügen möglichst rasch drehen.

Zur sicheren Kondensation der abgezogenen Lösemitteldämpfe hat sich die Kühlung mit Kryostaten bewährt. Allerdings ist in diesem Fall darauf zu achten, dass die Kühlmitteltemperatur stets höher liegt als die Schmelztemperatur des Destillats.

Es hat sich bewährt, direkt am Gerät Siedediagramme und/oder Siedepunktlisten für die gängigen Lösemittel anzubringen.

Zur Erzeugung von Unterdruck sollten ausschließlich Membran- und keine Wasserstrahlpumpen mehr verwendet werden, da bei diesen Lösemitteldämpfe ins Abwasser gelangen können. Die Abluft aus den Membranpumpen ist in einen Abzug einzuleiten.

Bei jedem Wechsel der Sorte des abzudestillierenden Lösemittels ist der Auffangkolben zu entleeren. Andernfalls kann es zu einer Rückverdampfung bereits kondensierten Lösemittels kommen (wenn das kondensierte Lösemittel einen tieferen Siedepunkt oder höheren Dampfdruck besitzt als das neu hinzukommende) oder es kann bei Lösemittelunverträglichkeiten zu gefährlichen Nebenreaktionen kommen (zum Beispiel beim Kontakt von Aceton mit Chloroform).

Als Splitterschutz bei Im- und Explosionen haben sich beispielsweise Lamellenschutzvorhänge aus PVC bewährt, die es erlauben, manuelle Eingriffe am laufenden Gerät bei gleichzeitigem Schutz vor eventuell freiwerdenden Splintern durchzuführen.

### **8.18 Arbeiten mit Gasen bei Normaldruck- und Überdruck**

Gase werden oft als Reaktanden oder als Schutzgase in chemischen Reaktionen eingesetzt oder können bei chemischen Reaktionen entstehen. Sie finden auch als Hilfsmittel bei einigen analytischen Verfahren Anwendung. Der Umgang mit Gasen ist stets problematisch: Gase diffundieren sehr rasch in die Laboratmosphäre. Brennbare Gase bilden dann leicht zündfähige Gemische, giftige Gase gefährden Personen. Besondere Gefahren ergeben sich beim Arbeiten mit Gasen unter Druck.

#### **8.18.1 Aufbewahrung von Druckgasflaschen**

Gefahren durch die Aufstellung von Druckgasflaschen in Laboratorien bestehen beispielsweise durch Undichtigkeiten, durch Umstürzen, beim Flaschentransport oder bei Bränden durch Zerknall und auströmendes Gas. Deshalb sind Druckgasflaschen einschließlich Gaskartuschen zur Vermeidung von Gefahren möglichst außerhalb der Laboratorien aufzustellen und die Gase den Arbeitsplätzen durch fest verlegte Rohrleitungen zuzuführen.

Ist dies nicht möglich und müssen in Laboratorien mit erhöhter Brandgefahr Druckgasflaschen betrieben werden, sind die Druckgasflaschen durch besondere Schutzmaßnahmen im Brandfall vor zu starker Erwärmung zu schützen. Sind solche Schutzmaßnahmen nicht möglich oder zweckmäßig, müssen Druckgasflaschen nach Arbeitsschluss oder nach Beendigung einer Versuchsreihe an einen sicheren Ort (Lageraum) gebracht werden. Das Brandrisiko hängt in diesem Zusammenhang insbesondere von der Häufigkeit des Auftretens einer wirksamen Zündquelle und der vorhandenen Brandlast ab. Ein erhöhtes Brandrisiko ist zum Beispiel dann anzunehmen, wenn in einem Laboratorium Arbeiten (Reaktionen, Säulenchromatographie, Spülarbeiten, Ab- und Umfüllen, Reinigungsarbeiten und vergleichbare Tätigkeiten) in leichtentzündlichen organischen Lösemitteln durchgeführt werden und gleichzeitig Zündquellen, wie offene Flammen, heiße Oberflächen oder elektrische Geräte, vorhanden sind. Das Brandrisiko wird durch zusätzlich vorhandene Brandlasten weiter erhöht.

Druckgasflaschen sind in Abhängigkeit von der möglichen Brandlast z. B. geschützt durch

1. Unterbringen in dauerbelüfteten Sicherheitsschränken für Druckgasflaschen,
2. Einrichtungen, die Druckgasflaschen selbsttätig mit Wasser berieseln,
3. Aufstellung der Druckgasflaschen hinter feuerhemmender Abtrennung.

Räume, in denen Druckgasflaschen aufgestellt sind, müssen mit dem Warnzeichen W 019 „Warnung vor Gasflaschen“ (gelbes Dreieck mit schwarzem Gasflaschensymbol) auf den Eingangstüren in das Labor gekennzeichnet sein. Werden Druckgasflaschen in Sicherheitsschränken aufbewahrt, müssen diese Sicherheitsschränke so gekennzeichnet sein, eine zusätzliche Kennzeichnung an den Labortüren ist nicht notwendig.

Arbeiten mit sehr giftigen, giftigen, gesundheitsschädlichen, krebserzeugenden, erbgutverändernden oder fortpflanzungsgefährdenden Gasen (z. B. Ammoniak, 1,3-Butadien, Chlorethylen (Vinylchlorid), Dicyan, Ethylenoxid, Kohlenmonoxid, Schwefelwasserstoff) müssen grundsätzlich im Abzug durchgeführt werden. Die entsprechenden Druckgasflaschen müssen dauerabgesaugt aufgestellt werden, also im Abzug oder in speziellen Sicherheitsschränken. Für diese Gase müssen möglichst kleine Druckgasflaschen verwendet werden. Bewährt haben sich so genannte „Lecture bottles“, aber auch Kleinstahlfaschen oder Druckgasdosen, um das Gefahrenpotential durch besonders toxische Gase durch Minimierung der Menge zu verringern. Werden kleine Mengen toxischer oder reaktiver Gase, wie beispielsweise Chlor, Kohlenmonoxid, Phosgen oder Phosphan, benötigt, lassen sich diese häufig auch bedarfsgerecht mit bewährten Labormethoden erzeugen.

Ist die Versuchsdurchführung im Abzug nicht möglich, so ist die Konzentration des Gases im Labor durch spezielle Gaswarngeräte zu überwachen.

Druckgasflaschen sind an ihrem Aufbewahrungsort, auch im Abzug, im Sicherheitsschrank oder im Lager, immer gegen mechanische Einwirkungen, insbesondere gegen Umstürzen zu schützen. Sie können dazu z. B. mit einer Kette oder einem speziellen Gasflaschenhalter gesichert werden.

Beim Umgang mit Acetylen ist zu beachten, dass es mit zahlreichen Schwermetallen Acetylide zu bilden vermag, die sehr leicht explodieren können. Acetylen darf deshalb nicht mit Kupfer oder Kupfer-Legierungen mit mehr als 70 % Kupfergehalt in Berührung kommen. Apparateile, die bei chemischen Reaktionen mit Acetylen in Berührung kommen, dürfen nicht aus Kupfer oder Kupferlegierungen bestehen.

Werden große Gasmengen in kurzer Zeit aus Druckgasflaschen entnommen, kann das zu einer erheblichen Abkühlung im Inneren der Druckgasflasche kommen, die eine weitere Entnahme von Gasen verhindern kann. Um doch Gase entnehmen zu können, müssen die Druckgasflaschen erwärmt werden. Dabei, also beim Verdampfen von verflüssigten Gasen durch äußere Erwärmung, muss eine örtliche Überhitzung vermieden werden. Die Temperatur des Heizmediums darf 50 °C nicht überschreiten. Die äußere Erwärmung kann z. B. durch feuchte warme Tücher, Temperatur geregelte Wasserbäder oder Berieselung mit warmem Wasser erfolgen. Elektrische Temperiereinrichtungen (z. B. Heizbandagen) dürfen auch im Fehlerfall eine Temperatur von 50 °C nicht überschreiten.

Gase, die zu gefährlichen Reaktionen in der Flasche neigen, dürfen nicht erwärmt werden. Solche Gase sind z. B. 1,3 Butadien und Blausäure (Cyanwasserstoff).

Als Alternative für die Versorgung mit Standard-Gasen haben sich auch Gas-Generatoren bewährt. Diese sind beispielsweise für Wasserstoff, Stickstoff und synthetische Luft erhältlich.

### **8.18.2 Entnahme von Gasen, Umgang mit Druckgasflaschen**

Gase werden heute in aller Regel aus Druckgasflaschen entnommen. Gefährliche Gase sollten, soweit möglich, durch Verwendung geeigneter Chemikalien im Reaktionsgefäß erzeugt werden.

Gasschläuche sind sicher zu befestigen und die Schlauchanschlüsse bzw. Schlauchverbindungen vor Inbetriebnahme auf Dichtheit zu prüfen. Fest eingebundene Schläuche sind der Befestigung des Schlauches auf Schlauchtüllen mit Schlauchschellen oder Schlauchbindern vorzuziehen. Die Dichtheitsprüfung von Schläuchen und deren Anschlüssen vor Inbetriebnahme kann beispielsweise durch Einpinseln oder Besprühen mit einer geeigneten Detergenzlösung oder einem Lecksuchspray erfolgen.

#### **Druckgasflaschen**

Vor jedem Umgang mit Druckgasflaschen muss überprüft werden, ob ihr TÜV-Prüftermin noch nicht abgelaufen ist. Druckgasflaschen mit abgelaufenem TÜV-Stempel dürfen nicht mehr transportiert und benutzt werden.

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

An Verbrauchsstellen in Räumen dürfen nur die für den Fortgang der Arbeiten notwendigen Druckgasflaschen vorhanden sein. Druckgasflaschen, die brennbare oder sehr giftige Gase enthalten, müssen einen Sicherheitsabstand zur nächsten Zündquelle von mindestens 2 Metern besitzen (weitere Angaben siehe TRG 280). Es müssen möglichst kleine Druckgasflaschen verwendet werden. Sie sind immer vor direkter Wärmeeinwirkung zu schützen.

Druckgasflaschen dürfen nur transportiert werden mit passender, vollständig aufgeschraubter Schutzkappe und auf Stahlflaschentransportwagen mit geschlossener Sicherheitskette. Auf die Kippsicherheit der Transportwagen ist zu achten. Transportwagen mit 3 bzw. 4 Rädern sind deutlich sicherer als Transportwagen mit nur 2 Rädern und sollten deshalb bevorzugt benutzt werden.

Der Transport ohne Schutzkappe oder mit angebautem Entnahmeventil ist verboten, da die Gefahr besteht, dass bei einem Abgleiten der Flasche das Hauptventil abgeschlagen werden kann und die Stahlflasche wie ein Geschöß mit enormer Wucht über den Boden schießt. Druckgasflaschen dürfen nicht in der Hand oder auf der Schulter transportiert werden. Ausgenommen sind Flaschen mit einem Volumen bis 1 Liter. Beim Transport von Druckgasflaschen im Aufzug ist die Mitfahrt von Personen strengstens verboten. Wird eine Druckgasflasche nicht benutzt, muss das Flaschenventil durch Aufschrauben der Schutzkappe gesichert sein.

Druckgasflaschen besitzen hinter dem Flaschenventil einen Gewindeanschluss zum Anbringen des Entnahmeventils. Hochkomprimierte Gase (z. B. Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Edelgase, gasförmige Kohlenwasserstoffe, Kohlendioxid) müssen über Druckminderer entnommen werden. Für verflüssigte Gase (z. B. Ammoniak, Chlorwasserstoff, Schwefeldioxid, Chlor) verwendet man einfache Nadelventile.

Druckgasflaschen müssen mit für die Gasart vorgeschriebenen und geeigneten Druckminderern bzw. Entnahmeventilen betrieben werden. Die Montage der Ventile ist durch eingewiesene Personen vorzunehmen. Stahlflaschen mit brennbaren Gasen sind am Ventil mit Linksgewinde ausgerüstet, alle übrigen haben Rechtsgewinde. Manometer dürfen an Druckminderern nur von Fachleuten ausgetauscht werden. Undichte Verschraubungen der Druckminderer dürfen nur angezogen werden, wenn das Flaschenventil geschlossen ist. Druckminderer müssen besonderen Anforderungen entsprechen. Dies ist bei Geräten mit Prüfzeichen gewährleistet. Druckminderer (Druckminder-, Druckreduzierventile) sind nicht für alle Gase erhältlich. Nadelventile sind keine Druckminderer, sie lassen den vollen Flaschendruck auf der Entnahmeseite lasten. Als Fachleute für Arbeiten an Druckminderern gelten Personen, die aufgrund ihrer fachlichen Ausbildung, Kenntnisse und Erfahrungen sowie Kenntnis der einschlägigen Bestimmungen die ihnen übertragenen Arbeiten beurteilen und mögliche Gefahren erkennen können. Zur Beurteilung der fachlichen Ausbildung kann auch eine mehrjährige zeitnahe Tätigkeit auf dem betreffenden Arbeitsgebiet herangezogen werden. Als unterwiesene Person gilt, wer über die ihr übertragenen Aufgaben und die möglichen Gefahren bei unsachgemäßem Verhalten unterrichtet und erforderlichenfalls angelernt sowie über die notwendigen Schutzeinrichtungen und Schutzmaßnahmen belehrt wurde. Diese müssen die Anforderungen an eine befähigte Person nach Betriebsicherheitsverordnung (BetrSichV) erfüllen. Reparaturen an Manometern und Nadelventilen dürfen nur Fachleute der Hersteller- oder Lieferfirmen durchführen.

Armaturen, Manometer, Dichtungen und andere Teile für stark oxidierende Druckgase müssen frei von Öl, Fett, Glycerin usw. gehalten werden. Sie dürfen auch nicht mit ölhaltigen Putzlappen oder mit fettigen Fingern berührt werden. Reste von Lösungsmitteln, die zum Entfetten verwendet werden, müssen durch Abblasen mit ölfreier Luft entfernt werden. Die Materialien der Druckminderer müssen gegen das zu verwendende Gas ausreichend beständig sein. Für Sauerstoff dürfen nur hierfür zugelassene Manometer verwendet werden. Stark oxidierende Druckgase, die Öl, Fett, Glycerin und Lösemittelreste in Armaturen, Manometern, Dichtungen und anderen Teilen entzünden können, sind beispielsweise Sauerstoff, Fluor und Distickstoffmonoxid („Lachgas“). Gase wie Fluor können bei falscher Materialwahl oder falscher Behandlung zum Brand des Druckminderers führen. Druckminderer für Sauerstoff sind blau gekennzeichnet und tragen die Aufschrift „Sauerstoff! Öl- und fettfrei halten“.

Ventile von Druckgasflaschen für brennbare und brandfördernde, oxidierende Gase sind langsam zu öffnen. Dies gilt insbesondere für Wasserstoff, Sauerstoff und Fluor. Hierdurch soll eine Entzündung dieser Gase bzw. ein Ventilbrand vermieden werden.

Zur Entnahme von Gas wird zunächst bei geschlossenem Entnahmeventil das Hauptventil (Flaschenventil) geöffnet. Sollte sich das Hauptventil nicht von Hand öffnen lassen, darf die Druckgasflasche nicht benutzt werden. Die Benutzung von Drehmoment erhöhenden Werkzeugen (z. B. Zangen) ist streng verboten. Druckgasflaschen, deren Ventil sich nicht von Hand öffnen lässt, sind außer Betrieb zu nehmen, entsprechend zu kennzeichnen und dem Füllbetrieb zuzustellen. Nichtgängige Hauptventile werden vor allem bei korrosiven Gasen beobachtet. Gerade hier führt unsachgemäßes Manipulieren immer wieder zu gefährlichen Situationen. Schließlich wird zur Entnahme das Feinventil (ggf. zuvor das Druckminderventil) vorsichtig geöffnet und der gewünschte Gasstrom eingestellt. Umgekehrt ist das Anziehen des Hauptventils mit Werkzeugen verboten.

Ventile für korrosive Gase müssen nach Benutzung sofort mittels Durchspülen und Ausblasen gereinigt werden, da sonst die Gefahr der Fehlfunktion bei der nächsten Benutzung besteht. Druckgasflaschen mit korrosiven Gasen wie etwa Chlor neigen besonders zum „Festfressen“ der Ventile.

Die Hauptventile von Druckgasflaschen sind nach Gebrauch und nach dem Entleeren zu schließen. Das Entnahmeventil am Manometer ist zur Entspannung zu öffnen, damit die gesamte Entnahmeeinrichtung druckfrei ist.

Entleerte Druckgasflaschen müssen noch einen geringen Restdruck von mindestens 2 bar aufweisen. Sie müssen eindeutig als entleert gekennzeichnet werden.

Vor Versuchsbeginn muss überprüft werden, ob die Gasflasche genügend Gas enthält, damit nicht während des Versuches die Gasflasche gewechselt werden muss. Das kann z. B. bei der Umsetzung selbstentzündlicher Metallalkyle zu Bränden führen.

Gasarmaturen und Gasleitungen sind vor der ersten Inbetriebnahme und nach Umrüstungen vor der Wiederinbetriebnahme von einem Sachkundigen auf Dichtheit prüfen zu lassen, sofern nicht typgeprüfte Einrichtungen verwendet werden. Sachkundiger ist, wer aufgrund seiner fachlichen Ausbildung und Erfahrung ausreichende Kenntnisse auf dem Gebiet der Gasarmaturen und -leitungen hat und mit den einschlägigen staatlichen Arbeitsschutzvorschriften, Unfallverhütungsvorschriften, Richtlinien und allgemein anerkannten Regeln der Technik (z. B. DIN, VDE-Bestimmungen) soweit vertraut ist, dass er den arbeitssicheren Zustand der Gasarmaturen und -leitungen beurteilen kann.

### **8.18.3 Einleiten von Gasen**

Gase dürfen in Apparaturen nur eingeleitet werden, wenn sichergestellt ist, dass sich in der Apparatur kein unzulässiger Überdruck aufbauen kann. Ein unzulässiger Überdruck kann sich beispielsweise bei der Verwendung von Nadelventilen aufbauen, da diese nur „Strömungsbegrenzer“, jedoch keine Druckminderer sind.

Vor Tätigkeiten mit Gasen, durch die eine Gefährdung nicht ausgeschlossen ist, ist die Apparatur dahingehend zu überprüfen, ob überschüssiges Gas in ausreichendem Maß und nur an der dafür vorgesehenen Stelle entweichen kann. Dichtungen sind dazu vor dem Aufschrauben einer Sichtkontrolle zu unterziehen. Die Dichtheit der Verschraubungen ist insbesondere bei brennbaren, giftigen oder ätzenden Gasen zu prüfen. Eine Prüfung der Dichtheit kann beispielsweise durch Einpinseln oder Besprühen mit Detergenzlösung oder einem Lecksuchspray erfolgen.

Beim Einleiten von Gasen in Flüssigkeiten müssen Einrichtungen verwendet werden, die ein Zurücksteigen von Flüssigkeiten in die Leitung oder in das Entnahmegefäß sicher verhindern. Durch Einschalten von genügend großen Zwischengefäßen (Sicherheitsflaschen) ist das Zurücksteigen des Reaktionsgemisches zur Gasentnahmestelle, insbesondere eine Vermischung mit Trocknungsflüssigkeiten (z. B. konzentrierte Schwefelsäure) zu verhindern. Die Sicherheitsflaschen müssen so groß sein, dass sie den gesamten Reaktionsansatz aufnehmen können. Beim Einbau der Zwischengefäße ist auf die richtige Durchflussrichtung zu achten.

Alle Apparaturen, in die Gase eingeleitet werden oder in denen Gase gebildet werden, müssen mit einem Blasenähler versehen werden. Gase werden in Reaktionsapparaturen über mit Schlauchschellen gesicherte Schläuche eingeleitet, die gegenüber dem verwendeten Gas beständig sein müssen. Universell geeignet sind Silikonschläuche.

Gase dürfen in Apparaturen nur eingeleitet werden, wenn sichergestellt ist,

1. dass sich in der Apparatur kein unzulässiger Überdruck aufbauen kann,
2. dass alle Schlauchverbindungen und der Versuchsaufbau so dicht sind, dass keine Gase an unerwünschten Stellen austreten können.

Bewährt hat sich eine Sicherheitstauchung.

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

Alle Gaseinleitungsapparaturen müssen eine drucklose Austrittsöffnung besitzen. Diese Öffnung muss mittels Schlauch mit dem Abzugssystem verbunden sein, wenn die verwendeten Gase Gefahrstoffe sind. Das Entweichen größerer Mengen gasförmiger Gefahrstoffe in das Abluftsystem ist zu verhindern. Dies geschieht durch Absorption der Gase in geeigneten Reaktionsmedien (z. B. Säuredämpfe in verdünnten Laugen). Solche Zusatzapparaturen sind Reaktionsapparaturen und müssen daher den gleichen Sicherheitsanforderungen entsprechen, wie bisher beschrieben. So muss z. B. der Gehalt der Absorptionslösung der erwarteten Gasmenge entsprechen, bei exothermen Reaktionen für Kühlung gesorgt werden und beachtet werden, dass die Löslichkeit gebildeter Feststoffe nicht überschritten wird.

Beim Umfüllen von Gasen in flüssigem Zustand in kleinere Druckgasflaschen muss eine Überfüllung sicher vermieden werden. Der zulässige Füllgrad ist durch Wägen der kleineren Druckgasflaschen zu kontrollieren. Kann der Füllgrad beim Umfüllen von flüssigen Gasen nicht durch Wägen - beispielsweise bei einer Probenahme - ermittelt werden, so ist ein Teil des verflüssigten Gases nach der Füllung bis zum Erreichen des notwendigen Gaspuffers nach Punkt 6.4.5 der BG-Information „Füllen von Druckbehältern mit Gasen“ (BGI 618) gefahrlos abzulassen. Zur gefahrlosen Ableitung eignen sich beispielsweise Absaugeinrichtungen oder Gasabsorptionstürme.

#### **8.18.4 Arbeiten unter Überdruck, Autoklaven**

Reaktionen unter erhöhtem Druck dürfen nur in geeigneten und dafür zugelassenen Druckbehältern durchgeführt werden. Die im Labor am häufigsten benutzten Druckbehälter sind Autoklaven. Druckbehälter (Autoklaven zur Durchführung bekannter Reaktionen) müssen so beschaffen sein, dass sie den aufgrund der vorgesehenen Betriebsweise zu erwartenden mechanischen, chemischen und thermischen Beanspruchungen sicher genügen und dicht bleiben können. Sie müssen insbesondere den zulässigen Betriebsdruck und die zulässige Betriebstemperatur sicher aufnehmen können. Die Druckbehälter müssen gemäß den Vorschriften der Betriebssicherheitsverordnung ausgelegt, ausgerüstet, aufgestellt und betrieben werden. Ggf. sind regelmäßige TÜV-Prüfungen erforderlich. Sicherheitseinrichtungen wie Berstscheiben und Druckbegrenzungsventile dürfen nicht außer Betrieb gesetzt werden.

Abgeschmolzene Bombenrohre dürfen nur verwendet werden, wenn sie nicht durch andere, weniger gefährliche Apparaturen ersetzt werden können. Weniger gefährliche Apparaturen sind z. B. verschraubbare Aufschlussbomben oder Versuchsautoklaven, die bei Bedarf auch mit gegen die Reaktionsmischung resistenten Einsätzen aus verschiedenen Materialien auszustatten sind. Vor dem Umgang mit Bombenrohren sind besondere Informationen vom Arbeitgeber einzuholen. Beim Zuschmelzen sind geeignete Schutzmaßnahmen zu treffen. Als Schutzmaßnahmen gelten z. B. das Kühlen der Reaktionsmischungen, Evakuieren oder Inertisieren des Bombenrohres. Gegen das Zerkratzen der Glaswand, die zu einer Schwächung des Bombenrohres führt, hilft das Umwickeln mit einer thermisch ausreichend beständigen, asbestfreien Schnur am oberen und unteren Ende. Bombenrohre sind sofort nach dem Zuschmelzen in eine Stahlhülse zu legen. Nach dem Versuch dürfen sie erst nach vollständigem Erkalten und nur in der Schutzhülse aus dem Schmelzofen herausgenommen werden. Bombenrohre dürfen erst aus der Schutzhülse genommen werden, wenn sie drucklos gemacht sind. Dies erfolgt z. B. durch Aufschmelzen, Abschlagen oder Abkneifen der Spitze. In allen Fällen muss die Spitze vom Experimentator abgewandt sein, das Abblasen muss in einen so weit wie möglich geschlossenen Abzug oder direkt in eine Quellenabsaugung ausreichender Kapazität erfolgen.

Schießöfen sind so aufzustellen, dass im Falle des Zerknalls eines Bombenrohres keine Gefährdung der Beschäftigten eintreten kann. Eine Absicherung der möglichen Flugbahn der Trümmer kann durch Schutzwände erfolgen.

Das Öffnen der Verschlüsse an Druckbehältern darf erst erfolgen, wenn ein Druckausgleich mit der Atmosphäre hergestellt wurde. Gefährliche Stoffe dürfen dabei nicht in die Atemluft gelangen.

#### **8.18.5 Kompressoren**

Kompressoren sind so aufzustellen, dass sie sicher betrieben werden können. Austretende Gase, Nebel oder Dämpfe mit gefährlichen Eigenschaften sind gefahrlos abzuleiten.

Ein sicherer Betrieb setzt unter anderem voraus, dass die Aufstellung so erfolgt, dass die Kompressoren ausreichend zugänglich sind und die erforderliche Kühlung gewährleistet ist. Eine ausreichende Zugänglichkeit ist gewährleistet, wenn sie so aufgestellt sind, dass sie ohne besondere Erschwernisse betätigt und gewartet werden können.

Die Umgebungstemperatur soll im Allgemeinen bei stationär aufgestellten Kompressoren mit ölgeschmierten Druckräumen und Luftkühlung 40 °C, bei fahrbaren Anlagen 50 °C nicht überschreiten.

#### **8.18.6 Autoklaven**

Versuchsautoklaven für Versuche mit unbekanntem Reaktions-, Druck- oder Temperaturverlauf müssen in besonderen Räumen (Autoklavenraum), besonderen Kammern oder hinter Schutzwänden aufgestellt sein. Diese müssen so gestaltet sein, dass Personen beim Versagen des Autoklaven geschützt sind. Beim Betrieb von Autoklaven müssen Druck und Temperatur regelmäßig beobachtet werden. Die Beobachtung und Bedienung der Sicherheits- und Messeinrichtungen sowie deren Bedienung müssen von sicherer Stelle aus erfolgen können. Zulässige Drucke und Temperaturen sind in den Bedienungsanleitungen der Autoklaven aufgeführt und müssen an jedem Autoklaven oder in unmittelbarer Nähe deutlich lesbar angebracht sein.

Besteht die Gefahr, dass die zulässige Betriebstemperatur oder der zulässige Betriebsdruck überschritten werden könnten, ist der Reaktionsversuch sofort zu unterbrechen (Heizung ausschalten und ggf. Notkühlung einschalten).

Nach jeder Verwendung, ggf. nach Abschluss einer Versuchsreihe, muss der Autoklav von einem Sachverständigen oder Sachkundigen überprüft werden. Werden hierbei Schäden festgestellt oder wurde der zulässige Betriebsdruck und die zulässige Betriebstemperatur überschritten, muss der Autoklav auf weitere Verwendbarkeit von einem Sachkundigen geprüft werden. Die Bedienungsanleitung für den Autoklaven ist unbedingt zu beachten; hier aufgeführte Überprüfungen müssen eingehalten werden. Zweckmäßig erfolgt vor jeder Inbetriebnahme eines Druckbehälters die Funktionsprüfung der Messeinrichtungen für Druck und Temperatur und die Prüfung auf Dichtheit.

Autoklaven aus Glas dürfen mit brennbaren Flüssigkeiten oder Gasen nur in Autoklavenräumen betrieben werden. Bei Versuchen mit brennbaren Flüssigkeiten oder Gasen können beim Zerknall des Autoklaven schlagartig größere Mengen explosionsfähiger Atmosphäre entstehen. Werden Glasautoklaven mit nicht brennbaren Flüssigkeiten oder Gasen außerhalb von Autoklavenräumen oder nicht hinter Schutzwänden betrieben, ist ein ausreichender Splitterschutz zu verwenden. Als Splitterschutz gelten ein ausreichend fester, feinmaschiger Drahtkorb oder das Aufstellen einer ausreichend stabilen und gegen Umfallen gesicherten Kunststoff- oder Panzerglasscheibe. Bei Versuchsautoklaven aus Glas muss damit gerechnet werden, dass ein Zerplatzen bereits durch Spannungen infolge fehlerhaften Zusammenbaus, durch mechanische Einwirkungen von außen oder durch örtliche Temperaturspitzen eintreten kann.

#### **8.19 Spritzen und Kanüle, Glasbruch**

Spitze, scharfe oder zerbrechliche Gegenstände (z. B. Spritzenadeln, Kanüle, Glasbruch) dürfen nur in stich- und formfeste Behältnisse gegeben werden. Ein Entleeren dieser Behältnisse darf nur durch Auskippen geschehen. Dabei sind geeignete Schutzhandschuhe zu tragen. Nach Möglichkeit soll das Umfüllen solcher Abfallbehälter vermieden werden.

Für Kanülen und Spritzen gibt es spezielle Nadel-Abwurfbehälter. Nadeln sollen wegen der Gefahr von Stichverletzungen nicht mit der Hand abgezogen oder ohne geeignete Hilfsvorrichtungen in ihre Schutzhülle zurückgesteckt werden. Nadeln sind ohne Berührung mit der Hand in Nadelcontainern zu entsorgen. Kanülen sollen nicht ohne geeignete Hilfsvorrichtungen in die Schutzhülle zurückgesteckt werden.

Beim Umgang mit Spritzen und Kanülen kann es zu Stichverletzungen kommen. Handschuhe aus schnittfesten Geweben bieten gegen Stiche oft nur einen geringen Schutz. Neben der Infektionsgefahr besteht auch die Gefahr der Inkorporation von Gefahrstoffen. Einwegartikel sind vorteilhaft, wenn sie für den beabsichtigten Zweck ausreichend beständig sind. Kanülen, Nadeln und Septen lassen sich in manchen Fällen auch durch Gewinderohre und Schläuche ersetzen. Schläuche aus PTFE, aber auch aus Polyethylen sind bei kleinem Durchmesser und ausreichender Steifigkeit meist gut geeignet.

### **8.20 Reinigung von Laborgeräten**

Auch bei der Reinigung von Laborgeräten können Personen mit Gefahrstoffen in Kontakt kommen! Es sind deshalb die gleichen Sicherheitsvorschriften zu treffen wie beim Umgang mit Gefahrstoffen (z. B. Tragen von Schutzbrille, geschlossenem Kittel, Laborhose, Schutzhandschuhen).

Verschmutzte Geräte sind sofort zu säubern! Substanzreste sollte man nie in Gefäßen stehen lassen. Die Abfallbehälter für Restmüll in den Laboratorien sind am Ende jedes Arbeitstages zu entleeren.

Schützen Sie sich vor Schnittverletzungen bei der mechanischen Reinigung. Mit Spülarbeiten betraute Personen dürfen keinen Gefahren durch Rückstände ausgesetzt sein, insbesondere müssen Behälter und Geräte vom Benutzer vorgereinigt am Spülplatz abgestellt werden. Stark reagierende Reinigungsmittel dürfen nur dann verwendet werden, wenn andere Reinigungsmittel sich als ungeeignet erwiesen haben. Vor ihrer Verwendung ist sicherzustellen, dass der Restinhalt der Gefäße mit dem Reinigungsmittel nicht zu gefährlichen Reaktionen führen kann. Derartige Tätigkeiten dürfen nur vom Laborpersonal – gegebenenfalls in einem Abzug - durchgeführt werden.

Falls notwendig, müssen auch die Reinigungslösungen als Sonderabfall entsorgt werden. In der Regel kann die Reinigung von Laborgeräten mit Haushaltsreinigern (Spül- und Scheuermittel) durchgeführt werden. Hartnäckiger Schmutz, der nicht mit Haushaltsreinigern entfernt werden kann, ist mit Spezial-Laborglasreinigern zu beseitigen. Die Reinigungswirkung nimmt allgemein mit höherer Temperatur zu. Deshalb ist ggf. heißes Wasser zu benutzen. Eine besonders gründliche Reinigung von Laborgeräten erreicht man im Ultraschallbad. Defekte Glasgeräte dürfen wegen der Bruchgefahr jedoch nicht im Ultraschallbad gereinigt werden.

Das Spülen mit organischen Lösemitteln soll nach Möglichkeit vermieden werden. Ist eine Vermeidung nicht möglich, dann können organische Reste in einem geeigneten Lösungsmittel (z. B. Aceton, 2-Propanol) gelöst werden. Die Lösungen werden gesammelt. Sie dürfen auf keinen Fall in die Kanalisation gegeben werden. Organische Lösungsmittel, die zum Spülen benutzt werden, müssen in Kunststoff-Spritzflaschen aufbewahrt werden. Es wird darauf hingewiesen, dass die Kunststoff-Spritzflaschen im Laufe der Zeit verspröden. Sie sollten in regelmäßigen Abständen ersetzt werden.

Für Reinigungszwecke dürfen keine hochentzündlichen, sehr giftigen, giftigen, krebserzeugenden, fortpflanzungsgefährdenden oder erbgutverändernden Gefahrstoffe benutzt werden! Auf die Gefahren durch elektrostatische Aufladung z. B. beim Umfüllen der Lösungsmittel, wird besonders hingewiesen. Mit Lösungsmitteln gespülte Geräte dürfen nicht zum Trocknen in den Trockenschrank gelegt werden, da ggf. Explosionsgefahr besteht. Das Trocknen im Trockenschrank ist erst erlaubt, wenn die Geräte im Anschluss an die Reinigung mit Lösungsmitteln gründlich mit Wasser gespült wurden.

Als Reinigungsmittel stehen heute zahlreiche handelsübliche Spezialdetergenzien zur Verfügung. Diese Detergenzien sind in der Regel relativ harmlos und sollten stark reagierenden Reinigungsmitteln vorgezogen werden. Stark reagierende Reinigungsmittel sind beispielsweise konzentrierte Salpetersäure, konzentrierte Schwefelsäure und starke Alkalien. Anstelle von Chromschwefelsäure sind wegen ihrer kanzerogenen und umweltschädlichen Wirkung weniger gefährliche Ersatzstoffe zu verwenden.

Für den oxidativen Abbau hat sich alkalische Permanganatlösung bewährt. Hierzu wird gesättigte Kaliumpermanganatlösung in dem zu reinigenden Gefäß mit gleichem Volumen 20 %iger Natronlauge versetzt. Auch ein Ersatz durch Schwefelsäure/Wasserstoffperoxid, Kaliumhydroxid/Wasserstoffperoxid oder spezielle Laborreiniger kommen in Frage. Mechanische Reinigung führt oft zum Ziel, besonders effektiv im Ultraschallbad.

Anorganische Rückstände (z. B. Salze) lassen sich ggf. leicht in Säuren oder Laugen auflösen. Stark reagierende Reinigungsmittel, wie z. B. konzentrierte Schwefelsäure, konzentrierte Salpetersäure, Wasserstoffperoxid, dürfen nur benutzt werden, wenn andere Reinigungsmethoden erfolglos waren. Selbstverständlich müssen alle Geräte, die vom Glasbläser bearbeitet werden sollen, absolut sauber sein!

### **8.21 Alleinarbeit**

Alleinarbeit ist außerhalb der Laborarbeitszeiten untersagt. Außerhalb der Arbeitszeiten (werktags 8-18 Uhr) sind Labortätigkeiten nur zulässig, wenn sich eine zweite Person in der Nähe befindet und diese Person denjenigen regelmäßig kontrolliert, der Labortätigkeiten ausführt.

Die Überwachung muss so geregelt sein, dass im Gefahrfall eine ausreichend schnelle Hilfe sichergestellt ist. Die Art der Überwachung ergibt sich aus der Art der Gefährdung. Der Mitarbeiter hat die überwachende Person über die Art der Arbeit und Gefährdung zu informieren. Zu berücksichtigen sind dabei insbesondere:

1. Art, Menge oder Konzentration der Stoffe (zum Beispiel giftig, erstickend, tiefkalt),
2. Eintrittswahrscheinlichkeit eines Unfalles,
3. Art und Schwere der möglichen Verletzung,
4. Handlungsfähigkeit nach Unfall,
5. Verfügbarkeit und Einsatzbereitschaft der Hilfs- und Rettungskräfte.

Als mindeste technische Möglichkeit, bei einem Unfall oder Brand Hilfe zu holen, ist die uneingeschränkte Erreichbarkeit und Nutzbarkeit eines Telefons anzusehen.

## 9 Abfälle und Abwasser

Grundregeln für die Entsorgung von Abfällen an der Technischen Universität Braunschweig können bei der Abteilung 31, Herrn Weller (Tel. 4698) kostenlos angefordert werden. Sie liegen grundsätzlich allen Instituten vor.

### 9.1 Abfallkonzept: Abfallvermeidung - Abfallverminderung - Abfallentsorgung

Die Abfallgesetze der Bundesrepublik Deutschland und des Bundeslandes Niedersachsen schreiben folgendes Abfallkonzept vor:

1. Abfallvermeidung: Soweit möglich, müssen Abfälle vermieden werden. Nur wenn die Abfallvermeidung nicht möglich ist, gilt:
2. Abfallverminderung: Soweit möglich, muss die Abfallmenge vermindert werden. Das kann z. B. erreicht werden durch:
  - a. Recycling: Alle Stoffe, die noch verwendbar sind, müssen recycelt werden! Das gilt z. B. für Chemikalien, aber auch für Papier, Blechdosen, Styropor usw.
  - b. Änderung der Arbeitsmethode: Bei allen Arbeitsabläufen, bei denen große Abfallmengen anfallen, muss kritisch überprüft werden, ob nicht durch die Wahl einer Alternative die Abfallmenge reduziert werden kann. Ein Beispiel dafür ist der Einsatz von Küvettentests in der chemischen Analytik.
  - c. Ersatz von Stoffen: Stoffe, die nur mit sehr hohen Kosten entsorgt werden können, müssen weitestgehend ersetzt werden. Nur wenn die Abfallverminderung nicht möglich ist, gilt:
3. Abfallentsorgung: Die Abfallentsorgung darf nur dann durchgeführt werden, wenn es keine Möglichkeit der Wiederverwertung gibt! Die Abfallentsorgung an der TU Braunschweig ist Aufgabe der Abteilung 31.

### 9.2 Abfallarten

An der TU Braunschweig fallen zur Entsorgung an:

1. Restmüll
2. Wertstoffe
3. Sonderabfälle
4. Abwasser.

Bei Zweifeln bzgl. der Zuordnung eines Stoffes zu einer der aufgeführten Entsorgungsmöglichkeiten wenden Sie sich bitte an die Abteilung 31, Herrn Weller (Tel. 4698). Hier können Sie auch die „Regeln für den Umgang mit Abfällen an der Technischen Universität Braunschweig“ erhalten, die ausführlichere Angaben zu Restmüll und Wertstoffen enthält.

#### 9.2.1 Restmüll

Zum Restmüll gehören alle Stoffe, die weder Wertstoffe noch Sonderabfälle sind.

Abfallbehälter in den Laboratorien müssen täglich am Arbeitsende von den Beschäftigten geleert werden. Scherben, scharfkantige Abfälle und spitze Gegenstände dürfen nicht ungeschützt in Abfallbeutel und -säcke gegeben werden. Die Abfallbehälter sind durch Auskippen zu entleeren. Dabei ist zu beachten, dass die Hände nicht mit dem Abfall in Kontakt kommen können. Ggf. sind Lederhandschuhe zu tragen.

#### 9.2.2 Wertstoffe

Folgende Stoffe müssen der Wiederverwendung zugeführt werden:

1. Papier und Pappe; sie sind in die Altpapiercontainer zu bringen.
2. Altglas (ausgenommen hoch schmelzendes Laborglas; die Glasgeräte müssen chemikalienfrei sein); es ist in Altglascontainer zu bringen.
3. Styropor; es ist dem Lieferanten zurückzugeben.
4. elektronische Geräte („Elektronikschrott“); sie werden von Abteilung 31, Herrn Weller (Tel. 4698), entsorgt.
5. Metalle; sie sind einem Altmetallhändler zu bringen, ggf. über Abteilung 31, Herrn Weller (Tel. 4698).

Dazu müssen die Stoffe an der Entstehungsstelle (z. B. Büro, Labor, Werkstatt) getrennt gesammelt und anschließend von den Beschäftigten dem Recycling zugeführt werden. Styropor wird hausintern gesammelt. Informieren Sie sich bitte beim zuständigen Hausmeister.

### 9.2.3 Sonderabfälle

Abfallarten, die nach der Abfallbestimmungsverordnung als „besonders überwachungsbedürftige Abfälle, kurz Sonderabfälle genannt, gelten, sind nach Abfallarten getrennt zu halten und von den Abfallerzeugern unter der Aufsicht der NGS (Niedersächsische Gesellschaft für Sonderabfälle) zugelassenen Entsorgungsbetrieben anzudienen. Der Abfallerzeuger hat dabei Angaben über die Art des jeweiligen Sonderabfalls zu machen. Je nach Abfallart müssen bestimmte Grenzwerte für Inhaltsstoffe und Eigenschaften eingehalten werden. Zu den Sonderabfällen zählen generell Gefahrstoffreste und alle Abfallarten, die im Einzelnen unter „Erläuterungen zu den Abfallarten“ aufgeführt sind.

#### Vermeidung und Verminderung von Sonderabfällen

**Änderung der Arbeitsmethode:** Bei allen Arbeiten, bei denen große Abfallmengen anfallen, ist kritisch zu prüfen, ob durch die Wahl anderer Methoden die Abfallmenge reduziert werden kann.

**Verringerung der Reaktionsansätze:** Es muss überprüft werden, ob die Versuche mit geringeren Substanzmengen durchgeführt werden können. Durch die Ausstattung der Laboratorien mit Geräten und durch die Wahl entsprechender Arbeitsmethoden lässt sich die Abfallmenge erheblich verringern.

**Ersatz von Stoffen:** Stoffe, die nur mit sehr hohen Kosten entsorgt werden können, sind möglichst durch Stoffe zu ersetzen, deren Entsorgung umweltschonender und kostengünstiger ist.

**Wiederaufarbeitung:** Abfallverminderung hat Vorrang vor Recycling. Organische Lösungsmittel wie Ethanol, Aceton, Chloroform, Diethylether müssen in den Laboratorien getrennt gesammelt und z. B. durch Destillation aufgearbeitet werden. Bei der Anwendung der HPLC und anderer chromatographischer Methoden lässt sich der Verbrauch an Lösungsmitteln für die mobile Phase erheblich reduzieren, wenn bei isokratischer Arbeitsweise „im Kreis“ gefahren wird. Bei wässrigen Lösungen kann die Abfallverminderung z. B. durch Aufkonzentrierung erfolgen.

#### Sonderabfallsammlung in den Instituten

Alle anfallenden Sonderabfälle sind den abfall- und gefahrstoffrechtlichen Vorschriften entsprechend zu sammeln. Die Sonderabfälle sind unter Beachtung entsprechender Vorschriften, wie z. B. der Gefahrstoffverordnung und der Gefahrgutverordnung Straße Eisenbahn (GGVSE), in den dafür vorgesehenen Behältern zu sammeln. Für jede Abfallart sind die vorgeschriebenen Behälter zu verwenden. Abfallarten dürfen nicht vermischt werden. Die einzelnen Abfallarten sind getrennt so zu sammeln, dass gefährliche Reaktionen ausgeschlossen sind.

Da sich die gesetzlichen Bestimmungen sowie die Vorgaben der Entsorgungseinrichtungen auch kurzfristig ändern können, sollten Sie sich im Zweifelsfall schon vor der Entstehung von Sonderabfall mit dem Abfallbeauftragten in Verbindung setzen.

Sammelbehälter dürfen nur zu maximal 90 % gefüllt werden. Sie müssen regelmäßig entsorgt werden. Die Anzahl und das Fassungsvermögen der Behälter müssen auf ein Mindestmaß beschränkt sein. Größere Sammelmengen sind zu vermeiden. Werden Sammelbehälter zu mehr als 90 % gefüllt, so müssen diese vor der Übernahme zur Entsorgung von Institutsmitarbeitern umgefüllt werden.

Sammelbehälter für Gefahrstoffabfälle sind innerhalb des Labors so aufzubewahren, dass sie die übliche Laborarbeit nicht beeinträchtigen oder zu einer Gefährdung führen. Zur Vermeidung elektrostatischer Aufladungen muss beim Einfüllen hochentzündlicher, leichtentzündlicher oder entzündlicher flüssiger Gefahrstoffabfälle der Trichter sowie der Sammelbehälter an einen Potentialausgleich angeschlossen sein. Dies gilt in der Regel nicht für Behälter mit einem Nennvolumen bis zu 5 l. Um ein sicheres Befüllen zu ermöglichen, sollte der Trichter beim Befüllen mit flüssigen Gefahrstoffabfällen fest mit dem Sammelbehälter verbunden sein. Dabei ist auf ausreichende Belüftung sowie auf Vermeidung elektrostatischer Aufladungen zu achten. Bei bestimmten Randbedingungen, wie beispielsweise bei sehr trockener Luft, können Gebinde auch unterhalb von 5 l Nennvolumen unzulässig hoch elektrostatisch aufgeladen werden. Bei der Bereithaltung und der Befüllung von Abfallsammelbehältern ist sicherzustellen, dass keine gefährlichen Gase oder Dämpfe in gefährlicher Konzentration oder

Menge in die Laborluft gelangen können. Die Behälter sind gemäß dieser Betriebsanweisung zu kennzeichnen. Die entsprechenden Aufkleber erhalten Sie von Herrn Weller.

Abzüge sind als Abfalllager nicht geeignet! Sie sind Arbeitsplätze, an denen nur die für den Fortgang der Arbeiten unbedingt notwendigen Chemikalienmengen aufbewahrt werden dürfen. Abfallsammelkanister dürfen deshalb – abgesehen von der Zeit, in der sie befüllt werden – nicht unter den Abzügen abgestellt werden. Bewährt hat sich die Aufbewahrung der Sammelbehälter in Sicherheitsschränken oder außerhalb des Labors in geeigneten Lagerräumen. Während der Bereitstellung zur Entsorgung dürfen keine Gefahrstoffe in gefahrdrohender Konzentration oder Menge freigesetzt werden.

Die Entsorgung gefährlicher Abfälle ist in solchen Zeitabständen vorzunehmen, dass das Aufbewahren, der Transport und das Vernichten dieser Stoffe nicht zu einer Gefährdung führen können. Die Arbeitsplätze sind mindestens einmal jährlich auf gefährliche Abfälle hin zu prüfen und diese zur Vermeidung der Bildung von Altlasten zu entsorgen.

Abfälle, die aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften nicht durch Dritte entsorgt werden können, sind im Laboratorium gefahrlos zu vernichten oder in eine transportfähige Form umzuwandeln.

Unbekannte Stoffe können erst nach einer Ermittlung der chemischen Zusammensetzung entsorgt werden!

Die Beseitigung von Sonderabfällen ist in solchen Zeitabständen vorzunehmen, dass das Aufbewahren, der Transport und das Vernichten dieser Stoffe nicht zu einer Gefährdung führen können. Die Arbeitsplätze sind mindestens einmal jährlich auf gefährliche Abfälle hin zu prüfen. Es ist verboten, Sonderabfälle in das Abwasser oder den Restmüll zu geben.

Sammelbehälter für Gefahrstoffe sind innerhalb des Laboratoriums so aufzubewahren, dass sie die übliche Laborarbeit nicht beeinträchtigen. Bei der Bereitstellung und der Befüllung dieser Sammelbehälter ist sicherzustellen, dass keine schadstoffhaltigen Gase oder Dämpfe in gefährlicher Konzentration oder Menge in die Laborluft gelangen können. Zur Vermeidung elektrostatischer Aufladungen muss beim Einfüllen hochentzündlicher, leichtentzündlicher oder entzündlicher flüssiger Gefahrstoffe der Trichter sowie der Sammelbehälter an einen Potentialausgleich (Erdung) angeschlossen sein, wenn das Behältervolumen 5 Liter überschreitet. Es gelten für Sonderabfälle grundsätzlich auch alle Vorschriften, die für Neuchemikalien zu beachten sind!

### 9.3 Liste der von der TU entsorgbaren Sonderabfälle

Von der TU Braunschweig können zurzeit folgende Sonderabfälle entsorgt werden:

1. Altlacke/Altfarben, nicht ausgehärtet
2. Altöl
3. Asbestabfälle
4. Behälter mit schädlichem Restinhalt
5. Bohr- und Schleifölemulsionen
6. Druckgasflaschen (nur in Ausnahmefällen)
7. Eisensalzlösungen
8. Entwicklerbäder
9. Feinchemikalienreste
10. Fixierbäder
11. Laugen, Laugengemische und Beizen (basisch)
12. Leuchtstoffröhren
13. Lösungsmittel, halogenfrei
14. Lösungsmittel, halogenhaltig
15. Quecksilberhaltige Abfälle (elementares Quecksilber)
16. Radioaktive Abfälle
17. Säuren, Säuregemische und Beizen (sauer), anorganisch
18. Spül- und Waschwässer, metallsalzhaltig

#### Feinchemikalien (Chemikalienreste)

Als Feinchemikalien können nur solche Stoffe entsorgt werden, die

1. nicht unter das Sprengstoffgesetz fallen,
2. nicht radioaktiv sind,
3. frei von hoch toxischen Bestandteilen (z. B. polychlorierte Dioxine (PCDD) und Furane (PCDF), PCB, Kampfstoffe) sind,
4. in ihrer Zusammensetzung bekannt sind.

Jedes Gebinde muss eindeutig etikettiert sein! Auch kleinste Behälter müssen eindeutig beschriftet sein. Unbekannte Chemikalien (z. B. Chemikalien in nicht beschrifteten Gefäßen) müssen vor der Entsorgung analysiert werden.

#### Laugen, Laugengemische und Beizen

Der pH-Wert liegt über 8. Es werden nur wässrige Alkalihydroxide entsorgt, die frei sein müssen von

1. Cyaniden,
2. Ammoniumionen (max. 0,1 mol/L),
3. organischen Stoffen aller Art (z. B. Lösungsmittel, Fette, Öle).

#### Lösungsmittel

Als halogenfreie Lösungsmittel können alle organischen Verbindungen entsorgt werden, die folgende Bedingungen erfüllen:

1. die Elemente C, H, N, Na, O, P, S dürfen enthalten sein,
2. flüssig bei Raumtemperatur,
3. zwar fest sind, aber in einem geeigneten Lösungsmittel gelöst wurden,
4. pH-Wert zwischen 6 und 9 (ggf. neutralisieren),

Auf die Recyclingpflicht organischer, halogenfreier Lösungsmittel wird hingewiesen.

#### Quecksilberhaltige Abfälle (elementares Quecksilber)

Entsorgt werden kann elementares Quecksilber (z. B. defekte Quecksilberthermometer und Manometer, quecksilberhaltige Schalter, Quecksilberdampflampen, Quecksilber aus Diffusionspumpen). Quecksilberverbindungen gehören nicht zu dieser Abfallart, sie sind Feinchemikalien.

#### Radioaktive Abfälle

Für die Entsorgung radioaktiver Abfälle sind die jeweiligen Strahlenschutzbeauftragten zuständig. Nach Absprache können die Entsorgungskosten übernommen werden.

#### Säuren, Säuregemische und Beizen, sauer, anorganisch

Der pH-Wert liegt unter 6. Es werden nur wässrige Säurelösungen entsorgt, die frei sein müssen von

1. Cyaniden,

2. Ammoniumionen (max. 0,1 mol/L zugelassen),
3. organischen Stoffen aller Art (z. B. Lösungsmittel, Fette, Öle).
4. Säureabfälle mit Salpetersäurebestandteilen müssen vor der Übergabe neutralisiert und als Sonderabfall unter der Bezeichnung „Spül- und Waschwasser“ entsorgt werden.

**Spraydosen**

Die Verwendung von Einweg-Spraydosen sollte möglichst vermieden werden, da Spraydosen als Sonderabfall gelten. Verschiedene Produkte (Schweißtrennmittel, Motor- und Maschinenreiniger usw.) werden in wiederbefüllbaren Druckluftspraydosen angeboten. Wenn Sie Spraydosen zu entsorgen haben, rufen Sie Herrn Weller an (Tel. 4698).

**Wässrige Wachflüssigkeiten**

Unter dieser Abfallart können flüssige Mischungen aus organischen und anorganischen Stoffen entsorgt werden. Der pH-Wert sollte im Neutralbereich liegen. Liegt ein höherer Anteil leichtentzündlicher Substanzen vor, ist der Abfall als Lösemittelabfall zu entsorgen.

## **10 Umgang mit elektromagnetischer Strahlung, radioaktiven Stoffen, Biostoffen und gentechnisch verändertem biologischen Material**

### **10.1 Intensives Licht, Laser, UV-Licht**

Intensives sichtbares Licht kann sehr leicht die Augen irreversibel schädigen. Intensives Licht wird in Laboratorien z. B. für Photoreaktionen benutzt und durch Laser, Hochdrucklampen (Quecksilber, Xenon) oder Bogenlichtlampen erzeugt. Die Augen müssen immer mit einer speziellen, auf die Wellenlängen des emittierten Lichtes ausgelegten Schutzbrille vor dem intensiven Licht geschützt werden.

#### **10.1.1 Laserstrahlung**

Das Auge wird bereits durch Laserstrahlung sehr geringer Energiedichte gefährdet. Hohe Energiedichte gefährdet zusätzlich die Haut und gegebenenfalls auch tiefer liegende Organe. Darüber hinaus kann Laserlicht mit hoher Energie im Labor chemische Reaktionen und physikalische Prozesse auslösen und gegebenenfalls zu Materialzerstörungen führen. Außerdem kann Laserlicht eine Zündquelle darstellen. Deshalb ist die Laserstrahlung in Rohren zu führen oder einzuhausen, im Bereich des Strahlengangs sind reflektierende Oberflächen zu vermeiden.

Laser werden in die Klassen 1, 1M, 2, 2M, 3M, 3R und 4 eingeteilt. Laboratorien, in denen Laser der Klasse 3R oder 4 betrieben werden, dürfen nur von entsprechend unterwiesenem Personal betreten werden. Vor dem Betreten von Laserlaboratorien mit Lasern der Klasse 3R oder 4 sollte eine Schleuse vorhanden sein, in der keine gefährliche Strahlung vorhanden ist und in der die persönliche Schutzausrüstung angelegt werden kann.

Laser der Klassen 3R und 4 dürfen nur unter zusätzlichen Schutzmaßnahmen betrieben werden. Hierzu zählen Zugangsbeschränkungen und Abschirmung der Laserstrahlen. Das Tragen von Laserschutzbrillen ist erforderlich, wenn nicht auszuschließen ist, dass reflektierende Gegenstände – auch unbeabsichtigt - in den Strahlengang gelangen können, insbesondere muss Schmuck abgelegt werden.

Lasergeräte der Klassen 3R und 4 müssen der Stabsstelle für Arbeitssicherheit und Gesundheitsvorsorge vor der ersten Inbetriebnahme angezeigt werden. Die Stabsstelle für Arbeitssicherheit und Gesundheitsvorsorge gibt die Anzeige an den zuständigen Unfallversicherungsträger (Landesunfallkasse Niedersachsen) und die für den Arbeitsschutz zuständige Behörde weiter.

#### **10.1.2 UV-Licht**

Ultraviolettes Licht (UV-Licht) ist sehr energiereich und kann sehr leicht die Augen irreversibel schädigen. UV-Licht wird in Laboratorien z. B. für Photoreaktionen oder zur Detektion in der Chromatographie genutzt. Die Augen müssen mit einer UV-Schutzbrille vor der direkten Bestrahlung mit UV-Licht geschützt werden.

Ultraviolett-Strahler müssen so angeordnet sein und betrieben werden, dass die Augen und die Haut von Beschäftigten nicht geschädigt werden und eine gesundheitliche Beeinträchtigung durch Ozon ausgeschlossen ist. Der Einschaltzustand von Ultraviolett-Strahlern muss eindeutig erkennbar sein.

Direkte oder indirekte UV-Exposition kann zu Entzündungen und Verbrennungen der Horn- und Bindehaut führen. Auf der Haut können sonnenbrandartige Verbrennungen hervorgerufen werden. Wiederholte Exposition kann zur vorzeitigen Hautalterung oder sogar Hautkrebs führen. Heiße Oberflächen von UV-Lampen können zu Verbrennungen führen.

Eine Bestrahlung von Personen ist vorzugsweise durch konstruktive oder andere technische Maßnahmen zu vermeiden. In Frage kommt hierfür eine entsprechende Positionierung des UV-Strahlers so, dass kein direkter Sichtkontakt zur Lampe möglich ist und Personen nicht bestrahlt werden. Häufig lassen sich Belichtungsapparaturen – auch nachträglich noch - durch eine sicherheitsgerechte Abschirmung, zum Beispiel aus einer lichtdichten, nicht brennbaren Ummantelung (zum Beispiel Aluminiumfolie), entsprechend abdecken. Bewährt haben sich auch wirksame Verriegelungen, die den UV-Strahler abschalten, sobald eine Abschirmung geöffnet wird.

Lässt sich eine Bestrahlung von Personen auf diese Weise nicht verhindern, ist die einwirkende Dosis zu minimieren. Beispielsweise ist durch Abgrenzung des Strahlungsfeldes bzw. durch Begrenzung der Einschaltzeit oder der Aufenthaltsdauer dafür zu sorgen, dass Ultraviolett-Strahlung auf Beschäftigte so gering wie möglich einwirkt. Bei Ultraviolett-Schleusen ist es zweckmäßig, den bestrahlten Bereich auf dem Fußboden zu kennzeichnen.

Zum Schutz der Haut kommt das Tragen von Haut bedeckender Schutzkleidung, gegebenenfalls auch die Verwendung von Lichtschutz-Präparaten in Frage.

Bei Arbeiten im Bereich der brennenden Lampe sind auf die Leistung und Wellenlänge der verwendeten Lichtquelle abgestimmte Schutzbrillen oder Gesichtsschutzschirme zu tragen. Das direkte Blicken in die leuchtende Lampe ist zu vermeiden.

Beim Einsatz von UV-Lampen, insbesondere von UV-Hochleistungslampen, kann Ozon entstehen. Durch Lüftungstechnische Maßnahmen ist dafür zu sorgen, dass der Arbeitsplatzgrenzwert von Ozon unterschritten ist. Neben einer optimierten natürlichen Lüftung kommt hierzu beispielsweise auch der Betrieb im Abzug oder die Installation einer wirksamen Quellenabsaugung in Frage. Abgesaugte Luft darf dabei nicht in den Arbeitsraum zurückgeführt werden.

## **10.2 Röntgenstrahlung**

Räume, in denen Röntgengeräte aufgestellt sind, sind durch Warnschilder zu kennzeichnen.

Vor dem Arbeiten an Röntgengeräten (z. B. Röntgenfeinstrukturanlagen, Röntgenfluoreszenzanalyse, Mößbauerspektrometer) ist der Benutzer vom Strahlenschutzbeauftragten sicherheitstechnisch zu unterweisen. Der Benutzer muss sich über die bestehenden Vorschriften informieren und diese beachten. Ggf. ist eine persönliche Filmplakette (Filmdosimeter), die in regelmäßigen Abständen analysiert wird, beim Aufenthalt in Räumen mit Röntgenstrahlenquellen zu tragen. Es wird auf die für die Betriebserlaubnis notwendige Anmeldung und regelmäßige behördliche Überwachung der Röntgengeräte hingewiesen.

Vor der Inbetriebnahme von Röntgengeräten müssen diese beim Staatlichen Gewerbeaufsichtsamt angemeldet bzw. der Betrieb vom Staatlichen Gewerbeaufsichtsamt erlaubt werden. Ohne Kenntnis des Staatlichen Gewerbeaufsichtsamtes dürfen keine Geräte, die Röntgenstrahlung freisetzen können, betrieben werden. Das Anzeige- bzw. Anmeldeverfahren wird von der Stabsstelle für Arbeitssicherheit und Gesundheitsvorsorge durchgeführt, die Unterschrift des Präsidenten als Strahlenschutzverantwortlichem ist zwingend notwendig.

Weitere Informationen erhalten Sie beim Strahlenschutzbeauftragten und bei der Stabsstelle für Arbeitssicherheit und Gesundheitsvorsorge, Herr Dr. Bollmeier (Tel 4406).

## **10.3 Radioaktive Strahlung**

Verantwortlich für den Umgang mit radioaktiven Stoffen ist der Strahlenschutzbeauftragte des Institutes! Vor dem erstmaligen Umgang mit radioaktiven Stoffen ist der Strahlenschutzbeauftragte zu informieren, der eine Sicherheitsunterweisung durchführen muss! Der Umgang mit radioaktiven Stoffen ist nur dann erlaubt, wenn dem Institut die ausdrückliche Erlaubnis nach der Strahlenschutzverordnung vorliegt. Beim Umgang mit radioaktiven Stoffen müssen die Vorschriften der Strahlenschutzverordnung peinlich genau eingehalten werden.

Alle Institute, die mit radioaktiven Stoffen umgehen, müssen eine Betriebsanweisung unter Leitung und Verantwortung des Strahlenschutzbeauftragten erstellen, die den Umgang mit den radioaktiven Stoffen regelt.

Es dürfen nur Personen beschäftigt werden, die ärztlich untersucht worden sind. Die Untersuchungen sind in regelmäßigen Abständen zu wiederholen. Nähere Informationen erhalten Sie bei der Stabsstelle für Arbeitssicherheit und Gesundheitsvorsorge, Herr Dr. Bollmeier (Tel. 4406).

Alle Räume, in denen mit radioaktiven Stoffen gearbeitet wird bzw. radioaktive Stoffe aufbewahrt werden, müssen mit deutlich sichtbaren Warnschildern „Radioaktivität“ auf den Eingangstüren gekennzeichnet werden.

Der Transport radioaktiver Stoffe muss in geeigneten Transportbehältern erfolgen. Die Entsorgung muss getrennt von den übrigen Abfällen erfolgen.

Beim Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen sind die Mengen, die Aktivitäten und die Expositionszeiten zu minimieren. Die Höhe der Exposition ist durch technische Maßnahmen so gering wie möglich zu halten. Radioaktive Stoffe sind sachgerecht unter Verschluss zu halten. Sie dürfen an Arbeitsplätzen nur in solchen Mengen und Aktivitäten und nur für die Zeit verbleiben, wie es das Arbeitsverfahren erfordert. Strahlenquellen sind nach dem Stand der Technik zu betreiben. Der Zutritt zu solchen Arbeitsplätzen ist auf die dort unmittelbar mit diesen Tätigkeiten beschäftigten Personen zu beschränken. Schwangere dürfen dort nicht beschäftigt werden. Personen unter 18 Jahren dürfen solche Tätigkeiten nur ausführen, wenn dies zur Erzielung des Ausbildungszieles erforderlich ist. Beim Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen sind Hygienemaßnahmen zur Vermeidung von Inkorporationen und der Verschleppung von Radioaktivität von besonderer Bedeutung. Bei der Inkorporation stellen auch schwachenergetische Strahler mit einer geringen Reichweite eine erhebliche Gefährdung dar. Strahlenquellen können auch in Geräten eingebaut sein, beispielsweise als Quelle im Elektroneneinfangdetektor in der Gaschromatographie. Eine regelmäßige Überprüfung auf Kontaminationsfreiheit ist erforderlich.

Beim Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen sind Hygienemaßnahmen zur Vermeidung von Inkorporationen und der Verschleppung von Radioaktivität von besonderer Bedeutung. Bei der Inkorporation stellen auch schwachenergetische Strahler mit einer geringen Reichweite eine erhebliche Gefährdung dar. Strahlenquellen können auch in Geräten eingebaut sein, beispielsweise als Quelle im Elektroneneinfangdetektor in der Gaschromatographie. Eine regelmäßige Überprüfung auf Kontaminationsfreiheit ist notwendig.

Hautkontakt mit offenen radioaktiven Stoffen ist zu vermeiden. Geeignete Schutzhandschuhe bieten einen Schutz gegen Hautkontakt sowie gegen alpha-Strahlung. Für den Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen mit einem relevanten Dampfdruck, beispielsweise Tritium, oder verstaubenden oder vernebelnden Stoffen sind neben Gloveboxen auch spezielle Radionuklidabzüge nach DIN 25466 „Radionuklidabzüge-Regeln für die Auslegung und Prüfung“ erhältlich. Bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen in diesen ist zu beachten, dass diese keine geteilten Frontschieber oder Eingriffsöffnungen besitzen. Das Rückhaltevermögen muss daher durch das möglichst weitgehende Schließen des gesamten Frontschiebers gesichert werden.

Vor der Beschaffung von radioaktiven Stoffen muss ein entsprechender Antrag beim Staatlichen Gewerbeaufsichtsamt gestellt werden. Dieser Antrag ist vom Präsidenten als Strahlenschutzverantwortlichem zu unterschreiben. Ohne die Genehmigung des Staatlichen Gewerbeaufsichtsamt ist der Besitz und der Umgang mit radioaktiven Stoffen verboten! Weitere Auskünfte erteilen die Strahlenschutzbeauftragten der Institute oder die Stabsstelle für Arbeitssicherheit und Gesundheitsvorsorge.

#### **10.4 Gentechnisch verändertes biologisches Material**

Der Umgang mit gentechnisch verändertem biologischem Material ist nur dann erlaubt, wenn die ausdrückliche Erlaubnis des Staatlichen Gewerbeaufsichtsamtes für dieses Projekt nach dem Gentechnikgesetz vorliegt. Die Antragstellung erfolgt über die Stabsstelle für Arbeitssicherheit und Gesundheitsvorsorge; der Antrag ist vom Präsidenten als Verantwortlichem für die biologische Sicherheit zu unterschreiben.

Beim Umgang mit gentechnisch verändertem biologischem Material müssen die Vorschriften des Gentechnikgesetzes genau eingehalten werden. Jede Kontamination der Beschäftigten und der Umwelt mit gentechnisch verändertem biologischem Material muss vermieden werden.

Alle Räume, in denen mit gentechnisch verändertem biologischen Material gearbeitet wird bzw. dieses Material aufbewahrt wird, müssen mit deutlich sichtbaren Warnschildern „Genlabor“ auf den Eingangstüren gekennzeichnet werden. Ab der Sicherheitsstufe 2 (S2-Laboratorium) sind arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen vorgeschrieben.

Weitere Informationen erhalten Sie bei den Beauftragten für die Biologische Sicherheit der Institute und der Stabsstelle für Arbeitssicherheit und Gesundheitsvorsorge, Frau Pieper (Tel. 4406).

### **10.5 Umgang mit Biostoffen**

Neben chemischen oder physikalischen Gefährdungen können auch Gefährdungen auftreten, die von Organismen oder ihren Produkten ausgehen. Hierunter zu nennen sind beispielsweise

1. Bakterien,
2. Viren,
3. Salmonellen,
4. Schimmelpilze.

Der Umgang mit diesen Organismen kann der Biostoff-Verordnung unterliegen. Die einzuhaltenden Sicherheitsvorschriften richten sich vor allem nach der Art der Organismen. Die einzuhaltenden Sicherheitsvorschriften entsprechen in der Regel Vorschriften nach dem Gentechnikgesetz. Beim Umgang mit Lebewesen, die gemäß der Biostoffverordnung der Sicherheitsstufe 2 unterliegen, muss dieser Umgang dem Staatlichen Gewerbeaufsichtsamt mindestens 30 Tage vor dem Umgang angezeigt werden. Die Anzeige muss über die Stabsstelle für Arbeitssicherheit und Gesundheitsvorsorge erfolgen, der Präsident muss die Anzeige als Verantwortlicher unterschreiben. Weitere Informationen erhalten sie bei der Stabsstelle für Arbeitssicherheit und Gesundheitsvorsorge.

### **11 Arbeitsmedizin**

Nähere Auskünfte zu arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen erteilen die Stabsstelle für Arbeitssicherheit und Gesundheitsvorsorge und der Betriebsarzt.

## 12 Verhalten im Gefahrfall

**! MENSCHENRETTUNG GEHT VOR SACHRETTUNG !**

Einrichtungen, die der Sicherheit dienen, dürfen nicht unwirksam gemacht werden. Hierzu zählt auch das Abstellen von Gegenständen in aus Sicherheitsgründen freizuhaltenen Bereichen, beispielsweise unter Körpernotduschen oder vor Feuerlöschern.

Die Beschäftigten haben Mängel an sicherheitstechnischen Einrichtungen und gefahrbringende Zustände in Laboratorien unverzüglich zu beseitigen. Gehört dieses nicht zu ihren Aufgaben oder verfügen sie nicht über die notwendige Sachkunde (z. B. für die Reparatur von elektrischen Geräten), haben sie die Mängel umgehend dem Arbeitgeber zu melden.

### 12.1.1 Flucht- und Rettungswege

Flucht- und Rettungswege, Notausgänge und Notausstiege müssen jederzeit freigehalten werden. Notausgangstüren und Notausstiege müssen jederzeit ohne Hilfsmittel zu öffnen sein. Schlüsselkästen usw. sind nicht zulässig.

Maßnahmen zur Beseitigung eines gefährlichen Zustandes dürfen nur unter Selbstschutz und mit geeigneten Schutzmaßnahmen erfolgen. Dies gilt auch für die Beseitigung von verschütteten Stoffen.

### 12.1.2 Unbeabsichtigte Stofffreisetzungen und Havarien

Treten Stoffe unerwartet und in möglicherweise gefährlicher Konzentration oder Menge aus, müssen sofort alle Personen den Raum verlassen. Es ist sofort alle Personen im weiteren gefährdeten Bereich über die Gefahrenlage zu informieren und ebenfalls sofort zu räumen. Der weitere gefährdete Bereich sind z. B. die Arbeitsräume auf dem gleiche Flur und bei hohen Gefährdungen auch das gesamte Gebäude.

### 12.1.3 Durchgehende Reaktionen

Zeigen sich im Verlauf einer chemischen Umsetzung oder einer Destillation Anzeichen für eine beginnende Zersetzung (z. B. durch sich plötzlich verstärkende Gasentwicklung oder Erhitzung, gegebenenfalls Aufsieden, gelegentlich auch durch andere Farbnuancen oder Niederschläge), ist der gefährdete Bereich zu räumen und die betroffene Umgebung zu warnen. Die Beheizung und die in der Nähe befindlichen Zündquellen sind von ungefährdeter Stelle aus abzuschalten. Dabei sollen, soweit dies möglich ist, die einzelnen Teile von Versuchsanlagen so an die Stromversorgung angeschlossen sein, dass für die Kontrolle des Versuches wichtige Teile wie die Kühlung oder der Rührer nicht mit abgeschaltet werden müssen.

### 12.1.4 Freiwerden brennbarer Flüssigkeiten oder Gase

Beim Verschütten entzündbarer Flüssigkeiten sind sofort alle Zündquellen durch Betätigen der NOT-AUS-Schalter abzuschalten.

Beim Freiwerden größerer Mengen brennbarer Gase sind sofort alle offenen Flammen und sonstigen Zündquellen durch Betätigen der NOT-AUS-Schalter auszuschalten. Undichte Gasleitungen sind durch Schließen der Ventile mittels NOT-AUS-Schalter oder über sonstige Hähne auf Fluren, ggf. durch Absperren des Hausanschlusses, abzusperrern. Gasbrände erlöschen nach dem Absperren der Gasleitungen innerhalb kurzer Zeit von selbst. Löscht man dagegen eine brennende Gasflamme, so strömt weiterhin Gas aus und bildet rasch eine explosionsfähige Atmosphäre.

### 12.1.5 Freiwerden von flüssigen oder festen Gefahrstoffen

Freigewordene Gefahrstoffe sind unter Einhaltung notwendiger Eigenschutzmaßnahmen (z. B. Tragen einer geeigneten Atemschutzmaske mit Filter) durch Bestreuen mit geeigneten Adsorbentien zu binden. Hierbei ist zu beachten, dass für oxidierende Stoffe (zum Beispiel Salpetersäure, Brom) spezielle Chemikalienbinder bereitgehalten werden, die nicht mit diesen Stoffen reagieren können.

### 12.1.6 Unter Überdruck stehende Behälter

Behälter, in denen sich ein Überdruck aufgebaut hat, der den normalen Betriebszustand überschreitet, können explodieren. Durch die Explosion besteht die Gefahr der Verletzung von Personen durch herumfliegende Behälterteile und die im Behälter aufbewahrten Stoffe, z. B. Gefahrstoffe oder auch verflüssigte tiefkalte oder heiße Gase, durch Flüssigkeiten und durch Feststoffe. Maßnahmen zur Gefahrenabwehr können nur situationsbedingt entschieden werden. Bei allen Maßnahmen muss eine Gefährdung der handelnden Personen ausgeschlossen werden. In der Regel ist die Berufsfeuerwehr Braunschweig zu alarmieren.

### 12.1.7 Stromunfälle

Bei Stromunfällen ist sofort die Stromversorgung zu unterbrechen, z. B. durch Betätigen des NOT-AUS-Schalters, FI-Schutzschaltern oder Sicherungen. Keinesfalls dürfen Personen, die unter Strom stehen, angefasst werden. Ggf. können diese Personen mit Hilfe von isolierenden Gegenständen von der Stromquelle getrennt werden.

## 12.2 Verhalten bei Bränden

**! MENSCHENRETTUNG GEHT VOR SACHRETTUNG !**

Es ist die Brandschutzordnung der TU zu beachten. Die TU bietet regelmäßige Löschübungen an, die Teilnahme ist kostenlos. Informieren Sie sich über die nächsten Termine!

Brennende Personen mit dem am schnellsten zur Verfügung stehenden Mittel ablöschen, also z. B. unter der Notdusche, mit der Löschdecke (ggf. auch Kittel, Tücher usw.) oder mit einem Feuerlöscher.

Brände sofort bekämpfen, sofern dies gefahrlos möglich ist. Schlägt ein erster Löschversuch fehl, müssen alle Personen sofort den Raum verlassen, die Tür schließen, die Feuerwehr alarmieren:

Notruf 0-112 oder Handy 112 oder Feuermelder!

Legen Sie den Telefonhörer erst auf, wenn Sie von der Feuerwehr dazu aufgefordert werden!

Auf die Feuerwehr warten! Die Feuerwehr ist durch orts- und sachkundige Personen einzuweisen! Verrauchte Räume dürfen nur von der Feuerwehr betreten werden! Alle nicht für Löscharbeiten oder Rettungsmaßnahmen erforderlichen Personen benachrichtigen und das Gebäude evakuieren lassen! Dazu, soweit vorhanden, die Druckknopfmelder der Brandmeldeanlage betätigen, wodurch automatisch auch die Berufsfeuerwehr Braunschweig alarmiert wird.

Alle Personen müssen sich auf dem Sammelplatz versammeln, auf dem keine Gefahr für die Personen besteht! Er befindet sich auf dem Mensa II Parkplatz.

### 12.3 Erste-Hilfe-Maßnahmen

Die NOTRUF-Nummern können von allen Telefonen an der TU benutzt werden!

Feuerwehr/Notarzt	0-112
Polizei	0-110
Rettungsleitstelle	0-19222

Legen Sie den Telefonhörer erst auf, wenn Sie vom Rettungsdienst dazu aufgefordert werden!

Lassen Sie Verletzte niemals allein und lassen Sie Verletzte auch nicht allein zum Arzt gehen! Bitte begleiten Sie Verletzte solange, bis sie ausreichend medizinisch betreut werden.

#### 12.3.1 Allgemeines

Bei Tätigkeiten mit gefährlichen chemischen Stoffen, wie beispielsweise Flusssäure, sind in Absprache mit dem Betriebsarzt Antidote oder Mittel zur Begrenzung der Auswirkungen bereitzuhalten.

Jeder Beschäftigte muss wissen, wo sich der nächste Erste-Hilfe-Kasten befindet. Jeder Beschäftigte sollte die Grundlagen der Ersten Hilfe beherrschen. Jeder Beschäftigte sollte sich informieren, wer Ersthelfer ist. Alle Unfälle müssen unverzüglich dem Arbeitgeber und im Geschäftszimmer des Institutes gemeldet werden! Kleinere Verletzungen, für die keine ärztliche Hilfe in Anspruch genommen wurde, müssen im Verbandbuch eingetragen werden, das sich in den Erste-Hilfe-Kästen befindet. Das Eintragen sichert eventuelle Entschädigungsansprüche.

Mögliche Verletzungen sind beispielsweise Augenverätzungen, Hautverätzungen, Schnittverletzungen, Verbrennungen und Verbrühungen.

Bei wiederkehrenden Gesundheitsstörungen und Erkrankungen sowie beim Auftreten von Hautkrankheiten sind der Arbeitgeber und der Betriebsarzt zu informieren, wenn Verdacht besteht, dass diese durch Einwirkung von Gefahrstoffen am Arbeitsplatz verursacht sein könnten.

### **12.3.2 Grundsätze der Ersten Hilfe**

Die Grundsätze für die Erste Hilfe sind:

1. Ruhe bewahren.
2. Betroffenen aus der Gefahrenzone herausholen. Dabei auf eigene Sicherheit achten.
3. Verletzte niemals allein lassen!
4. Wegen Schockgefahr Verletzten niemals allein zum Arzt oder zur Klinik gehen bzw. fahren lassen.
5. Verletzten richtig lagern und beruhigen und damit zusätzliche Schäden verhindern.
6. Über Notruf Rettungsdienst alarmieren: Telefon 0-112 oder 0-19222.
7. Ständig Atmung und Kreislauf überwachen.
8. Bei Bewusstsein ggf. Schocklage erstellen; Beine nur leicht (max. 10 cm) über Herzhöhe mit entlasteten Gelenken lagern.
9. Bei Bewusstlosigkeit und vorhandener Atmung Person in die stabile Seitenlage bringen.
10. Bei Atemstillstand besteht in aller Regel auch Herzstillstand. Deshalb sofort mit der Herz-Lungen-Wiederbelebung beginnen. Bei einsetzender Atmung Person in die stabile Seitenlage bringen.
11. Bei Herzstillstand sofort mit der Herz-Lungen-Wiederbelebung beginnen.

Der Verletzte ist unverzüglich dem Arzt vorzustellen (ggf. Notruf!), auch wenn nur der Verdacht auf Einwirkung gesundheitsgefährdender Stoffe besteht. Der Arzt ist über die Art der Einwirkung der Stoffe zu unterrichten, insbesondere durch sachkundige Begleitpersonen und Begleitzettel.

### **12.3.3 Körperkontakt mit Gefahrstoffen**

Mit Gefahrstoffen in Berührung gekommene Körperstellen sind sofort gründlich mit Wasser und gegebenenfalls Seife abzuwaschen, keinesfalls dürfen hierfür Lösemittel oder andere Gefahrstoffe verwendet werden. Mit Gefahrstoffen verunreinigte Kleidungsstücke, auch Unterkleidung, Strümpfe, Schuhe sind sofort auszuziehen. Verunreinigte Kleidungsstücke sind so zu behandeln, dass keine weiteren Personen gefährdet werden.

Bei großflächigem Hautkontakt ist die sofortige und gründliche Benutzung einer Notdusche sinnvoll. Für das Entfernen von wasserunlöslichen, viskosen und fettartigen Gefahrstoffen von der Haut kann der Einsatz von Polyethylenglykol (zum Beispiel Lutrol®) als Waschlösung sinnvoll sein.

Bei Kontamination oder Inkorporation gesundheitsgefährlicher Stoffe oder Verdacht darauf sind die Betroffenen unverzüglich einem Arzt vorzustellen. Am besten ist der Notarzt über Telefon 0-112 zu alarmieren. Der Arbeitgeber ist in allen Fällen unverzüglich zu benachrichtigen.

Der Arzt ist über die Art der Einwirkung des Stoffes zu unterrichten, beispielsweise durch telefonische Auskunft, Begleitzettel oder sachkundige Begleitpersonen. Es kann zweckmäßig sein, den Betroffenen liegend zu transportieren. Nach Einatmen beispielsweise von Ammoniak, Chlor, nitrosen Gasen oder Phosgen ist liegender Transport auch bei scheinbar gefähigen Personen wegen möglicher späterer Folgen erforderlich.

### 12.3.4 Reizungen und Verätzungen der Haut

Reizungen und Verätzungen der Haut treten relativ häufig auf. Verätzungen durch Laugen sind oft schwerwiegender als Verätzungen durch Säuren. Besonders gefährliche Säuren sind Flusssäure und Ameisensäure.

Benetzte Hautstellen sofort mit viel Wasser und anschließend mit Wasser und Seife abwaschen. Geeignete Reinigungsmittel sind oft auf dem Etikett des Chemikaliengebindes angegeben. Neutralisationsversuche sind verboten! Anschließend Wunde keimfrei bedecken und ggf. ärztlichen Rat einholen oder Notarzt alarmieren. Beschmutzte oder getränkte Kleidung sofort ausziehen! Verunreinigte Kleidungsstücke so aufbewahren und behandeln, dass keine weiteren Personen gefährdet werden.

### 12.3.5 Reizungen und Verätzungen der Augen

Auge sofort mit Wasser spülen. Augennotduschen, Wasserhahn oder Augenspülflaschen benutzen! Augen grundsätzlich von der Nase nach außen hin bei gespreizten Augenlidern spülen. Spült man von außen zur Nasenwurzel hin, können Schadstoffe auch in das andere, ggf. nicht verletzte Auge gelangen. Das Spülen muss mindestens 10 Minuten lang erfolgen. Die sofortige Spülung der Augen mit ausreichenden Mengen von Wasser kann später durch keine ärztliche Maßnahme nachgeholt werden. Anschließend Patienten zum Augenarzt bringen oder Notarzt rufen!

### 12.3.6 Vergiftungen

Vergiftungen werden durch folgende Einwirkungen verursacht:

1. Einatmen giftiger Gase, Dämpf, Stäube und Aerosole,
2. Hautkontakt mit giftigen Feststoffen und Flüssigkeiten, aber auch durch Aufnahme giftiger Gase durch die Haut,
3. Verschlucken von Giften, z. B.
  - bei verbotenen Pipettieren mit dem Mund,
  - beim Essen, wenn das Nahrungsmittel mit verschmutzten Händen angefasst wird..

Die Atemwege sind bei Einwirkung von Gasen, Dämpfen, Stäuben oder auch Aerosolen reizender und ätzender Stoffe stark gefährdet. Neben anderen Beeinträchtigungen besteht die Gefahr eines lebensgefährlichen Lungenödems (Flüssigkeitsansammlung in der Lunge). Bei anfänglich scheinbarer Beschwerdefreiheit tritt die Erkrankung unter Umständen erst nach Stunden auf (z. B. bei Phosgen, nitrosen Gasen). Aus diesen Gründen muss nach der Inhalation unbedingt ärztliche Hilfe in Anspruch genommen werden.

Beim Umgang mit giftigen und sehr giftigen Stoffen können Gegenmittel gegen mögliche Vergiftungen in Verbandkästen oder Verbandschränken bereitgehalten werden, soweit diese Mittel für Erste-Hilfe-Maßnahmen ohne ärztliche Mitwirkung verwendet werden dürfen. Mittel, die nur für die ärztliche Versorgung bereitgehalten werden, sind gesondert unter Verschluss aufzubewahren. Maßnahmen:

nach Verschlucken:  
Breachreiz auslösen durch Trinken von lauwarmer Kochsalzlösung (3-4 Teelöffel auf 1 Glas Wasser) oder Berühren der Rachenhinterwand (Finger in den Mund!). Erbrochenes sammeln und für den Arzt mitnehmen. Aber: ein Erbrechen darf nicht ausgelöst werden, wenn der Verletzte bewusstlos ist oder eine Vergiftung durch Säuren oder Laugen verursacht wurde. Keine Neutralisierungsversuche durchführen!

1. Nach Verschlucken: Bei Verätzungen der Speiseröhre oder des Magens reichlich Wasser in kleinen Schlucken trinken lassen bzw. bei Verätzungen des Mundes den Mund reichlich mit Wasser ausspülen und anschließend das Wasser ausspucken lassen, nicht verschlucken!
2. Nach Einatmen: Verletzten an die frische Luft bringen.
3. Nach Hautkontakt: Benetzte Stelle gründlich reinigen. Verunreinigte Kleidung, ggf. auch Unterwäsche, schnellstens ausziehen.

Bewusstlose Personen in die stabile Seitenlage bringen. Bei Atemstillstand und/oder Herzstillstand Herz-Lungen-Wiederbelebung durchführen.

Bei allen Vergiftungen, auch bei scheinbarem Wohlbefinden, den Patienten sofort nach den Erste-Hilfe-Maßnahmen in ärztliche Obhut geben. Rettungsdienst über Notruf 0-112 oder 0-19222 alarmieren. Die Klinik muss sofort über den Notfall unter Angabe der Vergiftungsart informiert werden.

Stoffe, die eine Vergiftung ausgelöst haben (könnten), dem Rettungsdienst nennen. Wenn möglich dem Rettungsdienst das Chemikaliengebinde, zumindest das Etikett, sowie Erbrochenes mitgeben.

### 12.3.7 Verbrennungen und Verbrühungen

1. Brennende Person aufhalten und Brand mit Notdusche, Löschdecke (ggf. auch Laborkittel, Handtücher) oder einem Feuerlöscher ablöschen.
2. Bekleidung, die mit heißen Stoffen getränkt ist, sofort entfernen oder mit der Notdusche kühlen!
3. Vorsicht: Heiße oder brennende Stoffe, die unmittelbar auf die Haut gelangt sind, nicht manuell entfernen.
4. Betroffene Gliedmaßen sofort in kaltes Wasser eintauchen oder unter fließendes kaltes Wasser halten, bis Schmerzlinderung eintritt. Keine Anwendung von Mehl, Puder, Salben o. ä.!
5. Brandwunden keimfrei bedecken und ggf. ärztlichen Rat einholen.

### 12.3.8 Schnittwunden

Die häufigsten Verletzungen im Labor sind Schnittwunden an den Händen, die in der Regel durch zerbrechende Glasgeräte und scharfe Kanten an angebrochenen Glasgeräten verursacht werden. Maßnahmen:

Bei allen Maßnahmen selbst Einmalhandschuhe zum Schutz vor Infektionen tragen!

Jede Wunde keimfrei verbinden.

Blutungen stillen! Fast alle Blutungen können mit einem Pflaster, Verband oder Druckverband gestillt werden. Bei starkem Blutverlust oder Wunden, deren Blutung nicht gestillt werden kann, Notarzt rufen. Bei Verdacht der Verletzung von Sehnen oder Nerven ärztliche Versorgung veranlassen.

### 12.3.9 Prellungen, Verstauchungen, Verdacht auf Knochenbrüche

Die meisten Ursachen für Unfälle dieser Art sind heftiges Anstoßen, Umknicken und Ausrutschen auf Treppen und feuchten Böden, oft verursacht durch ungeeignetes Schuhwerk. Maßnahmen:

1. Betroffenen Körperteil ruhig stellen.
2. Bei Verdacht auf Prellungen und Verstauchungen sollte gekühlt werden.
3. Bei Verdacht auf einen Knochenbruch den Verletzten zum Unfallarzt bringen bzw. Notarzt rufen.
4. Bei Verdacht auf Wirbelsäulenverletzungen Lage des Verletzten nicht verändern. Lage des Verletzten durch Decken und feste Gegenstände fixieren. Notarzt rufen.

### 12.3.10 Unfälle durch elektrischen Strom

Maßnahmen:

1. sofort Strom unterbrechen durch Ausschalten, Stecker ziehen, Sicherung herausnehmen oder NOT-AUS betätigen.
2. Ist das nicht sofort möglich, Verunglückten durch nicht leitenden Gegenstand, z. B. Holzhammer, Besenstiel, von den unter Spannung stehenden Teilen trennen.
3. Anschließend Atmung und Puls kontrollieren, ggf. Beatmung, Herz-Lungen-Wiederbelebung oder stabile Seitenlage bei Bewusstlosigkeit.
4. Immer mit dem Verletzten zum Arzt gehen oder Notarzt alarmieren. Stromschläge können noch nach 24 Stunden zu lebensgefährlichen Zuständen führen!**13 Besondere Vorschriften für Praktika**

Studentinnen, die schwanger sind, sollen ihre Schwangerschaft unverzüglich dem Praktikumsleiter (Arbeitgeber, in der Regel der zuständige Hochschullehrer) oder bei dessen Abwesenheit dem Praktikumsassistenten oder im Sekretariat des Institutes mitteilen. Es gelten die Beschäftigungsbeschränkungen für werdende Mütter. Alle Praktikumsversuche und Prüfungen, die die Schwangere im Verlauf des Praktikums bereits absolviert hat, sollen bei einer Fortsetzung des Praktikums in einem späteren Semester anerkannt werden, sie brauchen nicht wiederholt zu werden.

## Literaturverzeichnis

BERNABEI, D. (1991): Sicherheit, Handbuch für das Labor – GIT-Verlag 1991

Gesetz zum Schutz vor gefährlichen Stoffen (**Chemikaliengesetz**) vom 02.07.2008, BGBl. I

Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz beim Umgang mit Gefahrstoffen im Hochschulbereich (GUV 19.17) – Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, November 1998

Sicheres Arbeiten in chemischen Laboratorien, Einführung für Studierende (GUV-I 8553) – Deutsche gesetzliche Unfallversicherung, März 2006

Sicheres Arbeiten in Laboratorien – Grundlagen und Handlungshilfen (**Laborrichtlinien**) – BGI/GUV-I 850-0, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Dezember 2008

Unfallverhütungsvorschrift Laserstrahlung (GUV-V B2) - Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Januar 1997 und Durchführungsanweisungen zur BG-Vorschrift Laserstrahlung – Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, April 2007

Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (GHS- / CLP-Verordnung) vom 20. Januar 2009

Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (**Gefahrstoffverordnung**) vom 26.11.2010, BGBl. I

Verordnung über Verbote und Beschränkungen des Inverkehrbringens gefährlicher Stoffe Chemikalienverbotsverordnung, Zubereitungen und Erzeugnisse nach dem Chemikaliengesetz (**Chemikalien-Verbotsverordnung**) vom 26.11.2010, BGBl. I