

GUV-I 8553 (bisher GUV 50.0.4)  
GUV-Informationen  
Theorie und Praxis der Prävention



# Sicheres Arbeiten in chemischen Laboratorien

Einführung für Studierende



Gesetzliche  
Unfallversicherung

In der Schriftenreihe des Bundesverbandes der Unfallkassen  
„Theorie und Praxis der Prävention“ verfügbare Titel:

<b>Bestell-Nr.</b>	<b>Titel</b>
GUV-I 8551	Sicherheit und Gesundheitsschutz im öffentlichen Dienst
GUV-I 652	Handbuch für Hausmeister, Hausverwalter und Beschäftigte der Haustechnik
GUV-I 8552	Sicheres Abfertigen von Flugzeugen
GUV-I 8553	Sicheres Arbeiten in chemischen Laboratorien
GUV-I 8554	Sicherheit im Feuerwehrhaus
GUV-I 8555	Sicherer Umgang mit Gefahrstoffen in Einrichtungen des öffentlichen Dienstes
GUV-I 8556	Sichere Waldarbeit und Baumpflege
GUV-I 8557	Bewegen von Patienten
GUV-I 8558	Sicherer Feuerwehr-Dienst
GUV-I 8559	Hautkrankheiten und Hautschutz
GUV-I 8560	Umgang mit Gefahrstoffen in Werkstätten von Veranstaltungs- und Produktionsstätten für szenische Darstellung
GUV-I 8561	Umgang mit Gefahrstoffen auf dem Bauhof

Herausgeber:  
Bundesverband der Unfallkassen  
Fockensteinstraße 1, 81539 München  
[www.unfallkassen.de](http://www.unfallkassen.de)

in Zusammenarbeit mit der  
Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) und der Berufsgenossenschaft  
der Chemischen Industrie (BG Chemie).

© März 2006  
7. überarbeitete Auflage  
Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise,  
nur mit vorheriger Genehmigung des Herausgebers.

Laufende Aktualisierung: AK Gefahrstoffe des BUK

Zu beziehen unter Bestell-Nr. GUV-I 8553 vom zuständigen  
Unfallversicherungsträger, siehe letzte Umschlagseite innen.

GUV-I 8553 (bisher GUV 50.0.4)  
GUV-Informationen  
Theorie und Praxis der Prävention

# Sicheres Arbeiten in chemischen Laboratorien

**Einführung für Studierende**

Ausgabe März 2006



Gesetzliche  
Unfallversicherung

# Inhaltsverzeichnis

	Seite		Seite
<b>1 Einführung in das sichere Arbeiten</b>	6	<b>4 Chemische Apparaturen</b>	26
		4.1 Umgang mit Laborglas	26
<b>2 Vor dem Praktikumsbeginn</b>	9	4.2 Aufbau von Apparaturen	27
2.1 Wo sich wichtige Anlagen und Hilfsmittel befinden	9	4.3 Beheizen von Apparaturen	28
2.2 Wie man sich über gefährliche Eigenschaften von Stoffen und sicherheitstechnische Kenngrößen informiert	10	4.4 Kühlen	30
2.3 Was man grundsätzlich wissen und beachten muss	12	4.5 Spezielle Hinweise	31
2.3.1 Körperschutz und Arbeitskleidung	12	4.6 Besondere Arbeitsmethoden	31
2.3.2 Anwesenheit am Arbeitsplatz	13	4.6.1 Arbeit unter vermindertem Druck	31
2.3.3 Essen, Trinken und Rauchen	13	4.6.2 Arbeiten mit Gasen	33
2.3.4 Reinigung und vorbeugende Hautpflege	13	4.6.3 Druckgasflaschen	33
<b>3 Der Umgang mit Chemikalien</b>	14	4.6.4 Arbeiten mit Autoklaven	36
3.1 Rechtsgrundlagen: Chemikaliengesetz und Gefahrstoffverordnung	14	4.6.5 Arbeiten mit Einschmelzrohren	38
3.2 Lagerung und Transport	16	<b>5 Reinigen und Entsorgen</b>	39
3.3 Entnahme und Umfüllen	17	5.1 Reinigen von Glasgeräten	39
3.4 Allgemeine Vorsichtsmaßnahmen beim Experimentieren	21	5.2 Entsorgung von Laborabfällen	39
3.5 Vorsichtsmaßnahmen beim Experimentieren mit speziellen Chemikalien	24	5.3 Kleinstmengenbeseitigung	40
		<b>6 Brand- und Explosionsgefahren</b>	43
		6.1 Brennbare Flüssigkeiten	43
		6.2 Selbstentzündliche Stoffe	45
		6.3 Explosionsgefährliche Substanzen und Gemische	45
		6.4 Exotherme Reaktionen	46
		6.5 Zersetzungsreaktionen	47
		6.6 Brandschutz in Laboratorien	48
		<b>7 Arbeiten mit elektrischen Betriebsmitteln</b>	50
		7.1 Unfälle mit Strom	50
		7.2 Physiologische Wirkung von elektrischen Strömen	51

	Seite		Seite
<b>8 Arbeiten mit Strahlung</b>	52	9.3.7 Arbeitsplatzgrenzwerte	64
8.1 Arbeiten mit radioaktiven Stoffen	52	9.4 Krebserzeugende, erbgut- verändernde und fort- pflanzungsgefährdende Stoffe	65
8.1.1 Regeln für den Umgang mit radioaktiven Stoffen	52	9.4.1 Rechtsgrundlagen	65
8.1.2 Schutz gegen äußere Bestrahlung	52	9.4.2 Wichtige Stoffklassen krebserzeugender bzw. krebsverdächtiger Substanzen	67
8.1.3 Schutz gegen innere Bestrahlung	53	9.4.3 Biochemische Wirkung von krebserzeugenden Stoffen	67
8.1.4 Schutz vor Kontamination	54	9.4.4 Sicherheitsmaßnahmen beim Umgang mit krebserzeugen- den und erbgutverändernden Stoffen	68
8.2 Arbeiten mit Röntgenstrahlen	55		
8.3 Arbeiten mit intensiven Licht- quellen, z.B. Laserstrahlen	55	<b>10 Atemschutz</b>	70
<b>9 Gefahren für die Gesundheit</b>	56	10.1 Physiologische Grundlagen der Atmung	70
9.1 Allgemeine Toxikologie chemischer Arbeitsstoffe	56	10.2 Bereiche des Atemschutzes	70
9.1.1 Verlauf von Vergiftungen	57	10.3 Filtergeräte	70
9.2 Schicksal von Schadstoffen im Organismus	58	10.4 Pressluftatmer	75
9.2.1 Exposition und Aufnahmewege	58	<b>11 Erste Hilfe bei Chemieunfällen</b>	76
9.2.2 Verteilung im Organismus	58	11.1 Allgemeine Maßnahmen	76
9.2.3 Metabolismus	59	11.2 Sofortmaßnahmen der Ersten Hilfe	76
9.2.4 Elimination	59	11.3 Häufig vorkommende Gefahr- stoffe, deren Gesundheits- gefahren und Maßnahmen zur Ersten Hilfe	80
9.3 Wirkungen von Schadstoffen	61	11.4 Sofortmaßnahmen bei Unfällen	85
9.3.1 Ätz- und Reizgase	61		
9.3.2 Gase als Blut-, Zell- und Nervengifte	61		
9.3.3 Erstickende Gase	62		
9.3.4 Säuren und Laugen	63		
9.3.5 Lösemittel	63		
9.3.6 Stäube	63		

	Seite		Seite
<b>Anhang A</b>		<b>Anhang D</b>	
Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe (KMR-Verzeichnis)	86	Literatur zur Sicherheit in Laboratorien und zu den gefährlichen Eigenschaften chemischer Arbeitsstoffe	122
<b>Anhang B</b>		<b>Anhang E</b>	
Einteilung organischer Verbindungen mit einem Siedepunkt $\leq 65$ °C (Niedrigsieder) in Filtergruppen	112	Stichwortverzeichnis	127
<b>Anhang C</b>		<b>Formblatt</b>	
Gefahrensymbole und Gefahrenbezeichnungen		Sofortmaßnahmen bei Unfällen	130
Hinweise auf besondere Gefahren (R-Sätze)			
Sicherheitsratschläge (S-Sätze)	114		

# 1 Einführung in das sichere Arbeiten



## Sicherheit im chemischen Laboratorium 1939:

„Etwa 30 von uns ... waren im zweiten Studienjahr in das Labor für qualitative Analysen aufgenommen worden. Wir hatten den geräumigen rauchgeschwärmten, dunklen Saal betreten wie jemand, der beim Betreten des Gotteshauses bedacht-sam seine Schritte setzt ... Auch hier hatte niemand viele Worte verloren, um uns beizubringen, wie man sich vor Säuren, ätzenden Stoffen, Bränden und Explosionen schützt: Bei den am Institut herrschenden rauen Sitten verließ man sich offenbar darauf, daß die natürliche Auslese ihr Werk tun und diejenigen von uns auserwählen würde, die zum physischen und beruflichen Überleben am meisten geeignet waren. Es gab nur wenige Absaugvorrichtungen; ein jeder setzte gewissenhaft, so wie es das Lehrbuch vorschreibt, bei der systematischen Analyse eine reichliche Dosis Salzsäure und Ammoniak frei, so daß das Labor ständig mit dichtem weißen Nebel aus

*Ammoniumchlorid erfüllt war, der sich an den Fensterscheiben in winzigen glitzernen Kristallen niederschlug. In den Raum mit dem Schwefelwasserstoff, in dem eine mörderische Luft herrschte, zogen sich Paare zurück, die allein sein wollten, oder Einzelgänger, um ihr Vesperbrot zu essen.“*

*(Primo Levi: Das Periodische System, Carl Hanser Verlag.)*

Der Chemiker erwirbt im Laufe seiner Ausbildung und Berufstätigkeit heute vielfältige Kenntnisse und Erfahrungen über die Gefahren und Risiken, die mit seiner Tätigkeit und den von ihm und seinen Kollegen entwickelten Produkten verbunden sind. Das daraus entstehende Sicherheitsbewusstsein ist Bestandteil seines Berufsethos. Die auf dem Gebiet der Sicherheit erworbenen Fertigkeiten und Kenntnisse sind ebenso wichtig wie diejenigen, die komplexe wissenschaftliche Zusammenhänge oder neueste technische Entwicklungen betreffen.



Ein wichtiges Ziel des Studiums ist daher, Chemiker auszubilden, die

- den sicheren und gefahrlosen Umgang mit Chemikalien beherrschen und daher
- sich selbst und ihre Kollegen und Mitarbeiter vor Gefahren schützen,
- verantwortlich gegenüber der Allgemeinheit und der Umwelt handeln,
- mögliche Gefahren bei der Verwendung von Chemieprodukten durch den Verbraucher erkennen und durch Anweisungen vermeidbar machen.

Mit dem Wissen verbindet sich die Verpflichtung, nicht nur im oben genannten Sinne zu handeln, sondern auch der Öffentlichkeit zu zeigen, dass ein sicherer und gefahrloser Umgang mit Chemikalien möglich ist und praktiziert wird und dass eine sichere Anwendung von Chemieprodukten durch den Verbraucher garantiert ist, wenn die Anweisungen für ihre Benutzung eingehalten werden. Die Unfallstatistik der Unfallversicherungs-

träger zeigt den Erfolg konsequent eingehaltener Sicherheitsbestimmungen.

Zwar wird der Sicherheitsbereich in der beruflichen Tätigkeit des Chemikers durch zahlreiche Gesetze, Verordnungen, Vorschriften und Richtlinien weitgehend geregelt, doch geht ein auf solider Fachkenntnis beruhendes Sicherheitsbewusstsein weit darüber hinaus. Sicherheitsbewusstsein kann und muss deshalb erworben und erlernt werden wie alle anderen Fachkenntnisse auch. Für den Chemiestudierenden beginnt dies mit den chemischen Praktika und den ersten chemischen Experimenten.

Unfallverhütung als selbst gestellte Aufgabe in persönlicher Verantwortung ist ein Ziel der Ausbildung. Es ist besonders wichtig, da der Chemiker spätestens dann, wenn er in der Industrie oder an der Hochschule als Vorgesetzter Mitarbeitern Weisungen zu erteilen hat, Verantwortung für das sichere Arbeiten dieser Menschen übernimmt und gegebenenfalls auch straf- und zivilrechtliche Konsequenzen zu tragen hat.

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

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

Am besten beugt man durch konsequenten und aufmerksamen Besuch aller angebotenen Sicherheitsbelehrungen vor.

Einige Beispiele von Unfällen in Laboratorien sollen das oben Gesagte unterstreichen.



### **Schon Reagenzglasversuche können gefährlich sein**

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



### **Substanzeigenschaften muss man kennen**

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



### **Abfallbeseitigung muss beachtet werden**

Ein Chemiestudierender schüttete unzulässigerweise zyanidhaltige Abfälle in einen Ausguss. Als kurz danach ein anderer Studierender Salzsäure in den Ausguss goss, entwickelte sich Blausäure, deren Einatmung nach kurzer Zeit zu dessen Tode führte.



### **Zündquellen gibt es überall**

In einem Forschungslabor wurden zahlreiche Präparate, die zum Teil leicht entzündliche Lösemittel enthielten, in einem normalen Haushaltskühlschrank aufbewahrt. Durch die Undichtheit eines Gefäßes bildete sich ein explosionsfähiges Dampf-Luftgemisch, das durch den Schaltfunken des Kühlschrankthermostaten gezündet wurde. Es kam zu einer schweren Explosion mit nachfolgendem Brand und erheblichem Sachschaden.

# 2 Vor dem Praktikumsbeginn

## 2.1 Wo sich wichtige Anlagen und Hilfsmittel befinden.

Bitte prüfen Sie! Können Sie die folgenden Fragen beantworten?

### Wo befinden sich:



Notausgang, Nottreppe, allgemeine Fluchtwege?



Alarmanlagen, Telefon, Notruf, Assistenzzimmer?



Feuerlöscher, Feuermelder?



Atemschutzmasken und -filter?



Körperduschen, Löschdecken?



Augenduschen?



Erste-Hilfe-Schränke?



Sanitätsraum, Krankentragen?

### Wissen Sie z.B.



wie und/oder von wem die Medien (Gas, Wasser, Strom) abgeschaltet werden können?



dass bei einem Brand kein Aufzug benutzt werden darf?



dass Feuerlöscher nach jeder Benutzung frisch gefüllt werden müssen?



dass Druckgasflaschen stets gegen Umfallen gesichert sein müssen?



was „Selbstschutz“ bedeutet?



was bei schweren Unfällen zu tun ist?



welche Chemikalien, mit denen Sie evtl. arbeiten müssen, giftig, explosionsgefährlich oder leicht-entzündlich sind?



wo Sicherheitsinformationen zu finden sind?

Über die örtlichen Gegebenheiten müssen Sie sich informieren, in anderen Fragen soll diese Broschüre eine Hilfe sein.

## 2.2 Wie man sich über gefährliche Eigenschaften von Stoffen und sicherheitstechnische Kenngrößen informiert

Arbeitsvorschriften in Praktikumsbüchern und -manuskripten sind meist so weit erprobt, dass beim Einhalten der Arbeitsanweisungen zweckmäßiges und sicheres Arbeiten gewährleistet ist.

Die meisten dieser einführenden Texte enthalten auch grundlegende Abhandlungen über Sicherheitsfragen im chemischen Laboratorium. Viele Literaturangaben enthalten aber keine gezielten und eindeutigen Hinweise auf Sicherheitsfragen. Bei Unklarheiten wendet man sich an die verantwortlichen Assistenten oder Dozenten.

Man sollte sich aber auch angewöhnen, selber über mögliche Gefahren nachzudenken und weitere Informationsquellen (z.B. im Internet, siehe Anhang D) heranziehen.

Wichtige Hinweise auf Flüchtigkeit, Brennbarkeit, Acidität, Fähigkeit zur Autoxidation oder zum spontanen Zerfall und andere Eigenschaften liefern die Etiketten der Originalherstellerpackungen von Chemikalien (siehe Bilder 1 und 2 auf Seite 11). Über die verwendeten Gefahrensymbole und Gefahrenbezeichnungen sowie Hinweise auf besondere Gefahren und Sicherheitsratschläge können Sie sich im Anhang C informieren.

Hinweise auf solche Eigenschaften lassen sich auch durch Analogieschlüsse auf Grund der Verwandtschaft chemischer Strukturen zu bekannten Stoffen erhalten.

Zwar können im Hinblick auf toxikologische Eigenschaften Analogieschlüsse in die Irre führen (Benzol kann Leukämie erzeugen, Toluol nicht), für manche Stoffgruppen geben sie aber auch hier einen ersten Hinweis.

So muss beim Umgang mit alkylierenden Reagenzien im Allgemeinen die Gefahr einer möglichen Krebszeugung beachtet werden. Näheres hierzu finden Sie im Kapitel 9 „Gefahren für die Gesundheit“ und in der Zusammenstellung „Häufig vorkommende Gefahrstoffe, deren Gesundheitsgefahren und Maßnahmen zur Ersten Hilfe“ in Abschnitt 11.3.



Im Literaturanhang ist eine Reihe wichtiger Bücher und Merkblattsammlungen aufgeführt, aus denen man wertvolle sicherheitstechnische Informationen erhalten kann. Man informiere sich, inwieweit die angegebene Literatur in der Bibliothek verfügbar ist und mache sich mit deren Benutzung vertraut. Auch in Chemikalienkatalogen findet man Auskunft über viele wichtige Stoffeigenschaften. Im Internet sind Gefahrstoff-Datenbanken zugänglich.



Sollte die Arbeit mit Stoffen notwendig sein, über die keinerlei Informationen vorliegen, so muss ihre Gefährlichkeit unterstellt werden. Einatmen und Hautkontakt sind zu vermeiden und gegebenenfalls sind Vorkehrungen für den Fall von Zersetzungen zu treffen.



## 2.3 Was man grundsätzlich wissen und beachten muss



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



Bei Arbeiten, die die Augen in erhöhtem Maße gefährden, muss sie durch eine allseits geschlossene Brille (Korbbrille) ersetzt oder einen Gesichtsschutzschild ergänzt werden.



Arbeiten, die die Hände gefährden, erfordern chemikalienbeständige oder mechanisch feste Schutzhandschuhe.

### 2.3.1 Körperschutz und Arbeitskleidung

In Laboratorien ist stets geeignete **Arbeitskleidung** zu tragen. Für den normalen Laboratoriumsbetrieb ist dies ein ausreichend langer Laborkittel mit langen Ärmeln aus nicht schmelzenden Materialien, wie z.B. Baumwolle oder besser einem Mischgewebe aus Polyester und Baumwolle (siehe Bild 3). Der Laborkittel darf nicht in Seminarräumen, Bibliotheken, Hörsälen, Cafeterien etc. getragen werden.

Das Schuhwerk muss fest und geschlossen sein.

Bild 3



Bei erhöhter Brandgefährdung, z.B. beim Umfüllen größerer Mengen brennbarer Flüssigkeiten, muss **Schutzkleidung** aus flammhemmend imprägnierter Baumwolle oder aus schwer entflammaren Spezialgeweben getragen werden. Beim Umgang mit größeren Mengen ätzender Flüssigkeiten ist flüssigkeitsundurchlässige Schutzkleidung, z.B. eine Schürze aus PVC, zu tragen.

Der Wechsel von normaler Laborkleidung zu Straßenkleidung und umgekehrt muss außerhalb des Laboratoriums stattfinden (siehe Bild 4). Mit Chemikalien verschmutzte Kleidungsstücke müssen sofort gewechselt werden.

Bild 4



### 2.3.2 Anwesenheit am Arbeitsplatz



Wer einen Versuch durchführt, darf den Arbeitsplatz nur dann verlassen, wenn eine dauernde Überwachung nicht erforderlich ist, oder wenn ein Kollege, der über den Verlauf des Versuchs unterrichtet ist, die Überwachung fortsetzt. Bei gefährlichen Arbeiten müssen mindestens zwei Personen anwesend sein.

### 2.3.3 Essen, Trinken und Rauchen



Speisen und Getränke dürfen wegen der Gefahr der Kontamination weder am Arbeitsplatz aufbewahrt noch dort zu sich genommen werden.

Auch außerhalb des Arbeitsplatzes dürfen Speisen und Getränke nicht in Chemikalien- oder Laboratoriumsgefäßen aufbewahrt werden. Ebenso dürfen für Chemikalien keine Gefäße benutzt werden, die üblicherweise zur Aufnahme von Speisen und Getränken bestimmt sind. **Im chemischen Laboratorium darf nicht geraucht werden.**

### 2.3.4 Reinigung und vorbeugende Hautpflege



Nach Beendigung der Laborarbeit sind die Hände stets gründlich mit Wasser und Haut schonenden Handreinigungsmitteln zu waschen. Bei durch Chemikalienkontakt oder häufiges Waschen belasteten Händen empfiehlt sich eine regenerationsunterstützende Hautpflege mit einer Fettcreme.

# 3 Der Umgang mit Chemikalien

Dieses Kapitel zeigt, wie man Kontaminationen mit chemischen Arbeitsstoffen, die Gefährdung von Personen und generell das Entstehen gefährlicher Situationen beim Umgang mit Chemikalien vermeidet.

Es schildert die gesetzlichen Grundlagen für den Umgang mit Chemikalien und beantwortet die folgenden Fragen:



**Wie bewahrt man Chemikalien auf?**



**Welche Gefäße sind dafür geeignet?**



**Wann müssen Chemikalien in einem Abzug aufbewahrt oder besonders behandelt werden?**



**Wie vermeidet man Verwechslungen?**



**Wie transportiert man Chemikaliengefäße oder -behälter sicher?**



**Wie vermeidet man Verschütten oder Hautkontakt beim Umfüllen oder Abmessen von Chemikalien?**



**Was ist mit verschütteten Chemikalien zu tun?**

## 3.1 Rechtsgrundlagen: Chemikaliengesetz und Gefahrstoffverordnung



Das Gesetz zum Schutz vor gefährlichen Stoffen (Chemikaliengesetz, ChemG) soll den Menschen und die Umwelt vor schädlichen

Einwirkungen gefährlicher Stoffe und Zubereitungen schützen, insbesondere sie erkennbar machen, sie abwenden und ihrem Entstehen vorbeugen. Das ChemG soll auch sicherstellen, dass neue Stoffe, bevor sie in Verkehr gebracht werden, auf gefährliche Eigenschaften hinreichend untersucht und die auf Grund der Untersuchungsergebnisse notwendigen Sicherheitsvorkehrungen beim Umgang mit diesen Stoffen beachtet werden.

Der Umfang der vorgeschriebenen sicherheitstechnischen und toxikologischen Untersuchungen hängt von der zur Vermarktung vorgesehenen Menge des Stoffes ab. Von dem Ergebnis der Untersuchungen hängt die Kennzeichnung der Stoffe ab, also die Art der Symbole, Gefahrenhinweise und Sicherheitsratschläge auf den Etiketten (vgl. Bilder 1 und 2 sowie Anhang C). Auch Verwendungsbeschränkungen und andere Auflagen der Behörden sind möglich.

Die im Wesentlichen auf dem Arbeitsschutzgesetz und dem Chemikaliengesetz beruhende „Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen“ (Gefahrstoffverordnung, GefStoffV) regelt alle Tätigkeiten mit Gefahrstoffen, also deren Herstellung, Gewinnung und Verwendung. Weiterhin wird in dieser Verordnung die Einstufung und Kennzeichnung von Gefahrstoffen geregelt.

Zweck der Gefahrstoffverordnung ist es, sowohl den Menschen als auch die Umwelt vor stoffbedingten Schäden zu schützen. Die Gefahrstoffverordnung gilt sowohl für die gewerbliche Wirtschaft als auch für Behörden, Schulen und Universitäten und richtet sich an den Arbeitgeber und alle Arbeitnehmer im Betrieb. Beamte, Schüler, Studierende und alle sonstigen an Hochschulen tätigen Personen (z.B. Stipendiaten) stehen in der Gefahrstoffverordnung den Arbeitnehmern gleich.

### **Gefährdungsbeurteilung**

Nach § 7 GefStoffV hat der Labor- bzw. Praktikumsleiter zunächst festzustellen, ob die Beschäftigten und Studierenden Tätigkeiten mit Gefahrstoffen durchführen oder ob Gefahrstoffe bei diesen Tätigkeiten entstehen oder freigesetzt werden. Ist dies wie im chemischen Labor der Fall, so hat er alle hiervon ausgehenden Gefährdungen für die Gesundheit und Sicherheit der Beschäftigten unter folgenden Gesichtspunkten zu beurteilen:

1. gefährliche Eigenschaften der Stoffe und Zubereitungen,
2. Informationen des Herstellers oder Inverkehrbringers zum Gesundheitsschutz und zur Sicherheit insbesondere im Sicherheitsdatenblatt nach § 6 GefStoffV,
3. Ausmaß, Art und Dauer der Exposition unter Berücksichtigung aller Expositionswege,
4. physikalisch-chemische Wirkungen,
5. Möglichkeiten einer Substitution,
6. Arbeitsbedingungen und Verfahren, einschließlich der Arbeitsmittel und der Gefahrstoffmenge,
7. Arbeitsplatzgrenzwerte und biologische Grenzwerte,
8. Wirksamkeit der getroffenen oder zu treffenden Schutzmaßnahmen,

9. Schlussfolgerungen aus durchgeführten arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen.

Der Labor- bzw. Praktikumsleiter darf eine Tätigkeit mit Gefahrstoffen erst aufnehmen lassen, nachdem diese Gefährdungsbeurteilung vorgenommen wurde und die erforderlichen Schutzmaßnahmen getroffen wurden. Ziel der Maßnahmen muss es sein, dass Arbeitsplatzgrenzwerte eingehalten werden und darüber hinaus die Exposition von Beschäftigten gegenüber Gefahrstoffen auf ein Minimum reduziert wird. In chemischen Laboratorien darf dann davon ausgegangen werden, dass diese Schutzziele eingehalten sind, wenn

- mit den im Labor üblichen geringen Stoffmengen gearbeitet wird,
- alle Arbeitsgänge mit giftigen, sehr giftigen, krebserzeugenden, erbgutverändernden und fortpflanzungsgefährdenden Stoffen im Abzug durchgeführt und die Abzüge geschlossen gehalten werden, solange nicht an den Apparaturen hantiert wird,
- die Laboratorien und Praktikumsräume personell nicht überbelegt sind,
- Entnahmebehälter und Druckgasflaschen für sehr giftige und giftige Stoffe innerhalb des Abzugs aufgestellt werden,
- bei Reaktionen frei werdende sehr giftige, giftige oder ätzende Gase und Dämpfe in Kühlfallen oder Absorptionslösungen aufgefangen werden,
- der Kontakt mit hautresorptiven oder hautgefährdenden Stoffen durch die Arbeitsmethode (z.B. geschlossene Apparatur) oder durch geeignete persönliche Schutzausrüstung (Schutzhandschuhe, ggf. Körper- und Gesichtsschutz) vermieden wird,
- Wert auf persönliche Arbeitshygiene gelegt wird.



Die Gefahrstoffverordnung wird durch eine Reihe von Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) konkretisiert und außerdem durch Regeln und Informationsschriften der Unfallversicherungsträger erläutert. Für den Bereich Hochschulen ist insbesondere die GUV-Regel „Umgang mit Gefahrstoffen im Hochschulbereich“ (GUV-SR 2005, bisher GUV 19.17) zu beachten. Die folgenden Ausführungen berücksichtigen die einschlägigen Vorschriften und Regeln sowie die GUV-Regel „Laboratorien“ (GUV-R 120, bisher GUV 16.17).

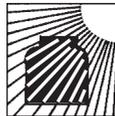
### 3.2 Lagerung und Transport

Chemikalien sollten nach Möglichkeit in den Originalgebinden verbleiben, da deren vorschriftsmäßigen Etiketten wertvolle Informationen zum sicheren Umgang liefern, siehe hierzu Abschnitt 2.2. Andere Gefäße müssen nach Entfernung alter Etiketten sorgfältig und eindeutig etikettiert werden; Etiketten müssen mit Klarsichtfo-

lie überzogen werden. Eilbeschriftungen mit Faserschreibern sind für aufzubewahrende Gefäße unzulässig, weil sie wenig haltbar sind. Sie können leicht zu gefährlichen Verwechslungen führen.



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



Manche Substanzen können sich unter Lichteinwirkung verändern. Sie müssen in lichtundurchlässigen Gebinden aufbewahrt werden.



Die unnötige Vorratshaltung von Chemikalien über ständig benötigte und für bevorstehende Versuche bereit gestellte Mengen hinaus ist zu vermeiden.



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



Chemikalien, die giftige, ätzende oder brennbare Dämpfe oder Stäube abgeben können, dürfen nur im Abzug gehandhabt und in kleinen Mengen bereitgehalten werden. Sie dürfen nicht gemeinsam mit Personen in Aufzügen befördert werden.

Beim Transport von Chemikalienbehältern aus Glas besteht stets Bruchgefahr. Flaschen dürfen niemals an ihrem Hals getragen werden. Glasgefäße müssen immer in Eimern, Gestellen oder noch besser in fahrbaren Körben oder Wannen transportiert werden, siehe Bild 5.



Die Lagerung von Chemikalien unter dem Aspekt der Brand- und Explosionsgefahr behandelt Abschnitt 6.1 „Brennbare Flüssigkeiten“.

Bild 5



### 3.3 Entnahme und Umfüllen



Bei jedem Umfüllen von Chemikalien besteht die Gefahr des Verschüttens, auch auf Haut und Kleidung, des Einatmens von Dämpfen oder Stäuben und der Bildung zündfähiger Gemische. Für das Abfüllen von brennbaren Flüssigkeiten aus großen Vorratsgefäßen in laborübliche Flaschengrößen gibt es besondere Vorschriften, siehe z.B. GUV-Regel „Laboratorien“ (GUV-R 120, bisher GUV 16.17) und das Merkblatt T 025 „Umfüllen von Flüssigkeiten“ der Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie.

Aber auch für das Umfüllen kleiner Chemikalienmengen im Labor gibt es einige Regeln, deren Einhaltung Gefahren weitgehend ausschließen:

- Beim direkten Umfüllen sind stets Flüssigkeits- oder Pulvertrichter zu verwenden, auch wenn die persönliche Geschicklichkeit ein subjektiv sicheres Manipulieren ohne diese Hilfsmittel zulässt.
- Beim Umfüllen von Flüssigkeiten, insbesondere mit toxischen oder ätzenden Eigenschaften (im Abzug!), ist das Unterstellen von Wannen, beim Umfüllen von Feststoffen eine Papierunterlage nützlich.



Feste Stoffe darf man den Pulverflaschen nur mit einem sauberen Spatel oder Löffel entnehmen.



Der Vorratsflasche einmal entnommene Chemikalien dürfen niemals in diese zurückgegeben werden, da sonst der gesamte Vorrat verunreinigt werden könnte.

- Die Dimensionen von Vorratsgefäß, Trichter und Auffanggefäß müssen zueinander passen. Für die Entnahme kleiner Flüssigkeitsmengen sollte stets eine genügende Anzahl einfacher Tropfpipetten am Arbeitsplatz verfügbar sein.
- Es ist unter allen Umständen verboten, Flüssigkeiten durch Ansaugen mit dem Mund zu pipettieren. Hierzu stehen vielfältige Pipettierhilfen zur Verfügung, siehe Bild 6.



Gießt man Flüssigkeiten aus einer Flasche, so hält man sie so, dass die Beschriftung bei waagrechtlicher Lage oben ist, damit

eventuell herunterfließende Tropfen diese nicht beschädigen. Es ist praktisch, nach dem Eingießen den hängen gebliebenen Tropfen mit dem Stopfen der Flasche abzustreifen.



Der Stopfen einer Flasche darf niemals mit dem unteren Teil auf den Tisch gelegt werden.

Bild 6



## BETRIEBSANWEISUNG nach § 14 GefStoffV

für chemische und artverwandte Laboratorien der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

### VERSUCHSPROTOKOLL

Name Mustermann		Vorname Elke	Platz 202	Prakt. OC-1	Assistent Musterassi	
Herzustellendes Präparat: Phenacylbromid, 2-Bromacetophenon					Ansatzgröße 0,1 Mol	
Literatur: Reaktionen und Synthesen, Tietze, Eicher – Thieme 1981 – Seite 44						
Reaktionsgleichung						
Eingesetzte Stoffe, Produkte	CAS-Nummer	MG	Schmp. Sdp. °C	Gefahrensymbol und -bezeichnung	Nummern der R- + S-Sätze	Für Ansatz benötigte Stoffmenge
Acetophenon	98-86-2	120,2	Sdp.202	Xn, gesundheitsschädlich	R22, R36, S26	12,0 g
Brom	7726-95-6	159,8	Sdp.58,8	T+, C, N sehr giftig giftig, ätzend umweltgefährlich	R26, R35, R50 S7/9, S26, S45, S61	16,0 g
Eisessig	64-19-7	60,1	Sdp.118,1	C, ätzend S26, S45	R10, R35, S23.2	10,0 ml
48 proz. HBr-Lösung	10035-10-6	80,9		C, ätzend	R34, R37, S7/9, S26, S45 S36/37/38	1 Tropfen
Phenacylbromid	70-11-1	199,1	Schmp. 47–48	Xi, reizend	R36/37/38, S24/25	
Wortlaut der oben genannten R- und S-Sätze:						
R10 Entzündlich		R50 sehr giftig für Wasserorganismen				
R22 Gesundheitsschädlich beim Verschlucken		S7/9 Behälter dicht geschlossen an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren				
R26 Sehr giftig beim Einatmen		S23.2 Dämpfe nicht einatmen				
R34 Verursacht Verätzungen		S24/25 Berührung mit den Augen und der Haut vermeiden				
R35 Verursacht schwere Verätzungen		S26 Bei Berührung mit den Augen gründlich mit Wasser abspülen und Arzt konsultieren				
R36 Reizt die Augen		S36/37/39 Bei der Arbeit geeignete Schutzkleidung, Schutzhandschuhe und Schutzbrille/Gesichtsschutz tragen				
R37 Reizt die Atmungsorgane		S45 Bei Unfall oder Unwohlsein sofort Arzt hinzuziehen				
R36/37/38 Reizt die Augen, Atmungsorgane und die Haut,		S61 Freisetzung in die Umwelt vermeiden. Besondere Anweisungen einholen/Sicherheitsdatenblatt zu Rate ziehen				
Versuchsbeschreibung (mit skizziertem Versuchsaufbau)						
Aufbau der Apparatur: 100 ml Zweihalskolben, Tropftrichter mit Druckausgleich, Innenthermometer, Magnetrührer und Eisbad.						
Zur Lösung von 12 g Acetophenon in 10 ml Eisessig, die einen Tropfen 48 proz. Bromwasserstoffsäure enthält, gibt man unter Rühren und Eiskühlung 16 g Brom so zu, dass die Temperatur der Reaktionslösung 20 °C nicht übersteigt. Man rührt danach 30 Minuten bei Raumtemperatur. Dann nimmt man ca. 1 ml Lösung, bringt durch Anreiben mit dem Glasstab zur Kristallisation und gibt die Impfkristalle zu dem auf 3–4 °C gekühlten Reaktionsgemisch; darauf scheidet sich das Phenacylbromid kristallin aus. Man saugt ab und wäscht mehrmals mit insgesamt 40 ml EtOH/H <sub>2</sub> O 1:1. Literaturnachbearbeitung nach Trocknung im Vakuum 10 g (50%) vom Schmp. 47–48 °C, farblose Kristalle.						

## BETRIEBSANWEISUNG nach § 14 GefStoffV

Stoffdaten siehe Versuchsprotokoll

### Gefahren für Mensch und Umwelt

- Brom** ist sehr giftig beim Einatmen, verursacht schwere Verätzungen und reizt Augen und Atemwege; wassergefährdender Stoff (WGK 2).
- Eisessig** wirkt stark ätzend auf Haut, Augen und Atemwege; entzündlicher und schwach wassergefährdender Stoff (WGK 1).
- Acetophenon** reizt die Augen; schwach wassergefährdender Stoff (WGK 1).
- Phenacylbromid** reizt die Haut, Atemwege und insbesondere Augen, wirkt stark Tränen reizend; stark wassergefährdender Stoff (WGK 3).
- 48 proz. HBr-Lösung** wirkt stark ätzend auf Haut und Augen und reizt die Atemwege; schwach wassergefährdende Zubereitung (WGK 1).

### Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln

Alle Arbeiten nur im Abzug ausführen, dabei Frontschieber möglichst geschlossen halten. Labor-Schutzhandschuhe aus Gummi oder Kunststoff tragen. Eisessig von Zündquellen entfernt halten (Flammpunkt 40 °C). Bei Arbeiten mit Brom 3%ige wässrige Natriumthiosulfatlösung neben der Apparatur bereithalten.

### Verhalten im Gefahrenfall (Unfalltelefon 112)

Nach Verschütten von Chemikalien, im Brandfall sowie nach Haut-/Augenkontakt mit Chemikalien sofort Assistenten informieren.

- Brom:** Kleine Spritzer im Abzug verdampfen lassen oder mit 3%iger Natriumthiosulfatlösung umsetzen. Größere Mengen mit Absorptionsmittel aufnehmen.
- Eisessig/ HBr-Lösung:** Kleine Spritzer mit Wasser beseitigen, größere Mengen mit flüssigkeitsbindendem Material aufnehmen und mit Wasser nachreinigen; Eisessig-Brände mit Kohlendioxid- oder Pulverlöscher löschen.

### Erste Hilfe (Ersthelfer: Alle Assistenten)

- Nach **Augenkontakt:** Bei allen eingesetzten Stoffen und nach Augenkontakt mit Phenacylbromid Augen mit viel Wasser mindestens 15 Minuten lang spülen, ggf. Augenarzt aufsuchen.
- Nach **Hautkontakt:** Bei Brom benetzte Haut sofort mit 3%iger Natriumthiosulfatlösung und dann mit viel Wasser abwaschen, ggf. Arzt aufsuchen. Bei allen anderen eingesetzten Stoffen mit viel Wasser abwaschen, ggf. Arzt aufsuchen.
- Nach **Einatmen:** Bei allen eingesetzten Stoffen Frischluft, ggf. Arzt aufsuchen.
- Nach **Kleidungskontakt:** Benetzte Kleidung sofort ausziehen.

### Sachgerechte Entsorgung

Alle mit Brom verunreinigten Geräte mit wässriger Natriumthiosulfatlösung spülen. Die Spüllösung kann in das Abwasser gegeben werden. Alle Lösungen mit organischen Lösemitteln neutralisieren und in den Lösemittel-abfallbehälter geben.

Präparat zur Synthese mit den auf der Vorderseite berechneten Chemikalienmengen freigegeben.

\_\_\_\_\_  
Unterschrift des Assistenten

\_\_\_\_\_  
Chemikalien ausgegeben; Unterschrift Chemikalienlager

Die eigenen Beobachtungen bei der Durchführung des Versuchs, der Reaktionsmechanismus sowie die Literaturdaten und gefundenen Daten (z.B. Ausbeute, Schmp., Sdp., Brechungsindex) sind gesondert zu protokollieren. Gesondertes Blatt verwenden; Angaben in der Kopfzeile wie auf der ersten Seite.

### 3.4 Allgemeine Vorsichtsmaßnahmen beim Experimentieren

Alle Experimente müssen sorgfältig geplant und vorbereitet werden. Eine gute Vorbereitung erfolgt anhand einer Betriebsanweisung (siehe Beispiel auf den Seiten 19/20), in der nicht nur die Reaktionsgleichung und die Versuchsbeschreibung skizziert sind, sondern auch die Kennzeichnung der eingesetzten und synthetisierten Stoffe, Gefahren für Mensch und Umwelt, erforderliche Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln, Verhalten im Gefahrfall, Erste-Hilfe-Maßnahmen und Angaben zur Entsorgung.

Vor Beginn des Experiments ist weiterhin zu prüfen, ob die zur Verfügung stehende Zeit für den gesamten Versuchsablauf ausreicht. Ist dies nicht der Fall, muss im Voraus festgelegt werden, an welchen Stellen der Versuch gefahrlos unterbrochen werden kann.

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

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

Wenn man einen Versuch bereits am Vortag vorbereitet, gewinnt man Zeit und Flexibilität.

#### **Folgende Vorsichtsmaßregeln müssen immer beachtet werden:**

- Chemikalien dürfen nicht mit der Haut in Berührung kommen, dürfen also auch nicht angefasst werden.
- Mit gefährlichen Substanzen darf nur in kleinen Mengen gearbeitet werden. Je gefährlicher eine eingesetzte oder entstehende Substanz ist, desto kleiner sollte der Ansatz gewählt werden.
- Siedeverzüge bei Erhitzen von Flüssigkeiten müssen durch Rühren, Siedesteinchen, Siedeperlen, Siedekapillaren, etc. vermieden werden. Reagenzgläser müssen dazu ständig geschüttelt werden, da sonst die ganze Flüssigkeit durch plötzliches Aufkochen herausspritzen kann. Die Öffnung eines Reagenzglases darf man nie auf sich oder eine andere Person richten!
- Arbeiten, bei denen Gase, Dämpfe oder Schwebstoffe in gefährlicher Konzentration oder Menge auftreten können, dürfen grundsätzlich nur in Abzügen ausgeführt werden. Hierzu gehören beispielsweise Abdampf- oder Abraucharbeiten sowie das Erhitzen von Ölbädern bei Destillationen.

- ➔ Die Frontschieber und verschiebbaren Scheiben sind bei solchen Arbeiten möglichst geschlossen zu halten (siehe Bilder 7 und 8). Bei geöffnetem Frontschieber darf nur in begründeten Ausnahmefällen gearbeitet werden, da hierbei der Schadstoffaustritt höher und der Benutzer des Abzuges nicht gegen verspritzende gefährliche Stoffe oder umherfliegende Glassplitter geschützt ist. Der Kopf sollte jedoch in jedem Fall im Schutz der Scheibe sein.
- ➔ Die volle Abzugsleistung von Abzügen ist nur bei weitgehend ungestörten Strömungsverhältnissen gewährleistet. Heizquellen, insbesondere offene Flammen von Bunsenbrennern etc., stören die Strömung erheblich und sind deswegen nur im unbedingt notwendigen Umfang zu betreiben.
- ➔ Die Abzugswirkung wird ebenso durch Strömungshindernisse, wie z.B. Standflaschen oder herumstehende Geräte, stark beeinträchtigt. Die Abzüge sollten daher so weit wie möglich freigeräumt sein. Abzüge dürfen nicht zur Lagerung von Chemikalien oder zur Aufstellung von abzusaugenden Großgeräten (Muffelöfen, Trockenschränke etc.) missbraucht werden!
- ➔ Laborabzugssysteme entlassen die Abluft in der Regel ungefiltert in die Umwelt. Zur Emissionsminderung sind deshalb auch im Abzug austretende Schadstoffe an ihrer Austritts- oder Entstehungsstelle zu erfassen und z.B. durch Absorption (siehe Restgaswäsche, Bild 17) zu beseitigen.

Bild 7



Bild 8

Abzugsvorrichtung herkömmlicher Bauart mit vertikal verschiebbarem Frontschieber und externer Zuluft

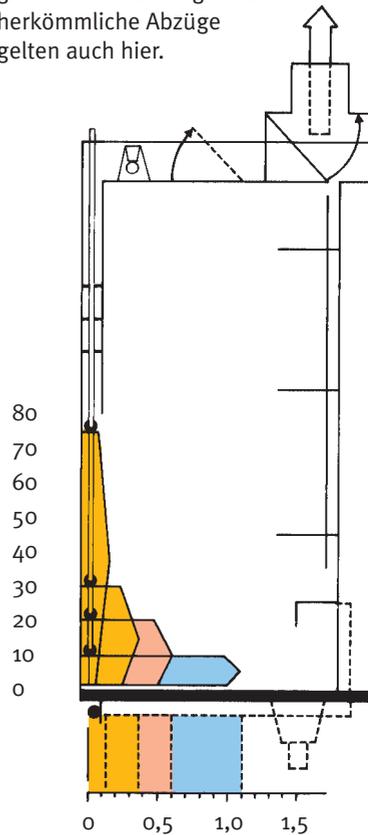
- Frontschieber stets geschlossen halten, wenn der Abzug nicht in Benutzung ist oder die aufgebaute Apparatur im Moment nicht bedient werden muss.
- Bei Arbeiten an den Apparaturen Frontschieber nicht mehr als unbedingt öffnen; der Kopf sollte immer im Schutz der Scheibe sein.
- Die Abzugswirkung ist bei heruntergezogenem Frontschieber, auf Grund der dann hohen Strömungsgeschwindigkeit im Lufteintrittsspalt, am größten!

Wirksamkeit eines Abzugs in Abhängigkeit vom Öffnungsgrad des Frontschiebers:

Bei Luftgeschwindigkeiten unter 0,5 m/s ist mit Sicherheit die Gefahr gegeben, dass am Abzug vorbeigehende Personen durch die durch sie verursachte Luftbewegung, Schadstoffe aus dem Abzug herausziehen.

mittlere Luftgeschwindigkeit im Frontschieberspalt (m/s) ▶

Bei modernen Abzügen mit Regelelektronik gibt es viele verschiedene Ausführungsformen. Hier muss eine Einweisung durch den technischen Betrieb oder eine entsprechend unterwiesene Person (z.B. Praktikumsassistent) erfolgen. Auf keinen Fall darf eine für den Anwender als störend empfundene Regelelektronik abgeklemmt oder verstellt werden! Die genannten Grundregeln für herkömmliche Abzüge gelten auch hier.



- ➔ Bei Benutzung eines Rotationsverdampfers lässt sich durch richtige Einstellung der Wasserbadtemperatur und ein dem Lösemittel angepasstes Vakuum eine gute Kondensation erreichen. Bewährt hat sich der Einsatz von geregelten Rotations- oder Membranpumpen, die gegenüber Wasserstrahlpumpen den Vorzug haben, dass sie Abwasser sparen und dieses vor Verunreinigungen bewahren. Die in der Vorlage aufgefangenen Lösemittel können teilweise durch Destillation wieder aufgearbeitet oder zur Entsorgung gesammelt werden.
- ➔ Verspritzte oder verschüttete Chemikalien müssen sofort in geeigneter Weise entsorgt werden. Konzentrierte Säuren oder Basen werden neutralisiert und die Flüssigkeit anschließend aufgewischt. Hierbei müssen Schutzhandschuhe getragen werden. Gefährliche Flüssigkeiten werden am besten mit geeignetem Adsorptionsgranulat (für starke Oxidationsmittel, z.B. konz.  $\text{HNO}_3$  oder  $\text{HClO}_4$ , nur mineralische Adsorptionsmittel, keine Kunstharzbinde verwenden!) aufgenommen. Das benutzte Granulat wird in Plastikbeuteln gesammelt und als Sondermüll beseitigt.

### 3.5 Vorsichtsmaßnahmen beim Experimentieren mit speziellen Chemikalien

#### Säuren und Basen

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

#### Fluorwasserstoff

Arbeiten mit wasserfreiem Fluorwasserstoff und Flusssäure dürfen nur in einem Abzug vorgenommen werden. Dabei sind zusätzlich zur Schutzbrille ein Schutzhelm, lange Schutzhandschuhe oder erforderlichenfalls eine Vollmaske zu tragen. Wegen der starken Ätz- und Giftwirkung ist bei diesem Stoff Einatmen und Hautkontakt unbedingt zu vermeiden. Kommt es trotzdem zu einer Inhalation oder einem Hautkontakt, ist eine schnelle Erste Hilfe besonders wichtig, siehe Abschnitt 11.3!

#### Perchlorsäure, Azide, Permanganate

Wasserfreie Perchlorsäure, Perchlorate und Chlorate neigen in Gegenwart oxidierbarer Stoffe zur Explosion, Azide neigen zur Selbstzersetzung. Chlorate sowie Permanganate können bei Zugabe von konzentrierter Schwefelsäure ebenfalls Explosionen verursachen.

### **Alkalicyanide**

Aus Alkalicyaniden entsteht bei Einwirkung von Säure Cyanwasserstoff. Diese Chemikalien dürfen daher nicht in den Ausguss gegeben werden (siehe auch Abschnitt 5.2, Entsorgung von Laborabfällen).

### **Quecksilber**

Beim Umgang mit Quecksilber ist dafür zu sorgen, dass niemand der Einwirkung von Hg-Dampf ausgesetzt ist. Verspritzte Quecksilberteilchen sind sofort unschädlich zu machen. Dies geschieht entweder durch Einsammeln mit Hilfe einer Quecksilberzange oder Einsaugen in eine Quecksilberpipette oder durch chemische Umsetzung mit Jodkohle oder Mercurisorb® (siehe auch Abschnitt 5.2).

### **Ether**

Um Explosionen beim Abdestillieren etherhaltiger Lösungen infolge eines Gehaltes an Peroxiden zu vermeiden, ist Ether stets in braunen Flaschen über festen KOH-Plätzchen aufzubewahren. Ein verbleibender Sumpf darf nie restlos ausdestilliert werden!

Die Prüfung auf einen eventuellen Peroxidgehalt kann mit speziellen Teststäbchen oder Reagenzien (z.B. Titan(IV)-sulfat oder Kaliumiodid) durchgeführt werden. Peroxide können mit Eisen(II)-sulfat entfernt werden.

### **Natrium**

Natriumreste werden wie in Abschnitt 5.2 beschrieben beseitigt. Wegen der Wasserstoffbildung und der damit verbundenen Explosionsgefahr darf Natrium keinesfalls in Wasser geworfen werden!

### **Knallsilber**

Beim Arbeiten mit ammoniakalischen silbersalzhaltigen Lösungen ist zu beachten, dass sich nach einiger Zeit ein schwarzer Niederschlag abscheidet, der teilweise aus Knallsilber besteht und beim Berühren, Umrühren oder Schütteln heftig explodieren kann.

### **Zur Beachtung:**

***Die Liste ist nicht vollständig!***

# 4 Chemische Apparaturen

Dieses Kapitel zeigt, wie Apparaturen zweckmäßig für einen sicheren und störungsfreien Betrieb aufgebaut werden.

Es beantwortet die folgenden Fragen:

- 1** Wie geht man ohne Verletzungsgefahr mit Glasgeräten um?
- 2** Wie lassen sich festsitzende Glasverbindungen trennen?
- 3** Mit welchen technischen Hilfsmitteln können gefährliche Manipulationen an Glasgeräten umgangen werden?
- 4** Wie baut man Apparaturen zweckmäßig, standfest und bruchsicher auf?
- 5** Wie ermöglicht man flexibles Hantieren an Apparaturen während des Betriebes?
- 6** Welche Gefahren gehen von elektrisch-mechanischen Hilfsmitteln aus?
- 7** Welchen Risiken begegnet man beim Heizen und Kühlen von Apparaturen?
- 8** Welche Heiz- oder Kühlmedien sind jeweils am besten geeignet?
- 9** Welche besonderen Sicherheitsmaßnahmen sind bei Arbeiten unter vermindertem Druck zu treffen?
- 10** Wie geht man mit Druckgasflaschen um?
- 11** Wie sind Apparaturen, in die Gase eingeleitet werden, zu sichern?
- 12** Wie vermeidet man den Austritt von giftigen oder korrosiven Gasen?

## 4.1 Umgang mit Laborglas

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 zerborstenen Glasgefäßen mit z.T. erheblichen Schnittwunden bilden daher die Kategorie der häufigsten Laborunfälle. Oberstes Gebot beim Umgang mit Glasgeräten ist es daher, alle Glasgeräte vor der Benutzung auf Unversehrtheit zu prüfen und jegliche Gewaltanwendung zu vermeiden. Eine Grundausbildung in der Technik des Glasblasens verleiht dem Chemiker die notwendige Sicherheit im Umgang mit Glas.

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

### Glasbruch beim Aufsetzen und Anstoßen

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

### Glasbruch durch Verdrehen oder Biegen

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

### Schneiden an scharfen Kanten

Angebrochene Ränder von Glasgeräten führen zu Verletzungen an den scharfen Kanten. Solche Geräte dürfen nicht mehr verwendet werden.

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

Man versuche, Glasbruch durch Schmieren der Glasoberfläche mit Glycerin und nachfolgendes Einführen des Glasgegenstandes unter leichten Drehbewegungen bei möglichst kurzem Hebelarm zu vermeiden. Zusätzlich werden die Hände durch ein umgewickeltes Handtuch geschützt (siehe Bild 9). Mehr Sicherheit bieten Schraubverschluss-Durchführungen.

Bild 9



**Lösen von feststehenden Schläuchen**

Solche Schläuche schneidet man ab und entfernt die Reste vorsichtig mit einem scharfen Messer vom Glas.

**Lösen feststehender Schliffverbindungen**

Man erwärmt die Schliffverbindung rasch mit einem Föhn (wobei sich die Hülse schneller ausdehnt als der Kern) bis sich die Verbindung durch Drehbewegung (mit geschützten Händen!) leicht lösen lässt. Meist bewirken korrosive Medien das Festbacken des Schliffes trotz vorhergehenden Einfettens. Abhilfe schafft die Verwendung z.B. von Teflonhülsen oder hochfluorierten Fetten an Stelle von Schliiffett.

**4.2 Aufbau von Apparaturen**

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.

Jede Improvisation durch Verwendung ungeeigneter Apparaturteile ist zu vermeiden.

Apparaturen müssen standfest, spannungsfrei und an sicheren Standorten aufgebaut werden. Befestigt werden sie am besten mit Klammern und Muffen an fest installierten Stativgerüsten (Harfen). Müssen Einzelstative verwendet werden, so ist die Apparatur über dem Schwerpunkt, d.h. über der Bodenplatte des Stativs zu zentrieren. Wackelige Stative dürfen nicht verwendet werden.

In den Apparaturen – außer in Druckreaktoren – darf sich 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 (z.B. Trockenmittel auf Trägermaterialien) sowie nicht mit Chemikalien der Reaktion reagieren können (z.B. kein  $\text{CaCl}_2$  beim Umgang mit Aminen).

Für das Zusammensetzen von Apparaturen gilt das vertikale Aufbauprinzip. Zunächst wird das Reaktionsgefäß (bzw. der Destillationskolben usw.) sicher befestigt. Die Positionierung richtet sich nach der Forderung, dass Heiz- und Kühlbäder ohne Veränderungen an der Apparatur entfernbar sein müssen. Weitere Apparaturteile werden durch Aufstellen auf die Kolbenschliffe hinzugefügt und dann durch Anklammern gesichert. Beim Anklammern dürfen weder Schlifffverbindungen gelockert werden noch Spannungen durch Verkanten auftreten. Insbesondere Rührwellenschäfte müssen fest und sicher mit dem Reaktionsgefäß verbunden sein.

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

Die Funktionen von Apparaturen, wie z.B. des Kühlwassersystems, des Rührwerks, der elektrischen Antriebe, der Vakuumdichtheit, müssen vor der Beschickung mit Chemikalien überprüft werden. Schläuche müssen sicher (z.B. mit Schellen) befestigt sein.

### 4.3 Beheizen von Apparaturen

Chemische Reaktionen bilden ein besonderes Gefahrenpotenzial, wenn bei erhöhter Temperatur gearbeitet wird, insbesondere wenn brennbare Lösemittel erhitzt werden. Die folgenden Hinweise sollen helfen, die sich daraus ergebenden Risiken zu vermeiden.

Alle beheizten Apparaturen mit brennbarem Inhalt müssen mit Kühlern zur Rückhaltung flüchtiger, brennbarer Stoffe versehen sein.

Heizquellen müssen stets so angebracht werden, dass sie leicht und ohne Veränderung an der Apparatur entfernt werden können. Am besten sind hierzu Laborhebebühnen geeignet (siehe Bilder 10 u. 11).

Apparaturen, die brennbare oder thermisch instabile Substanzen enthalten, dürfen niemals direkt mit einer offenen Flamme erhitzt werden, auch nicht über einem Drahtnetz oder Sandbad. Direktes Beheizen im Luftbad ist mit Pilzheizhauben möglich, jedoch nur zu empfehlen, wenn eine gleichmäßige Temperaturverteilung gewährleistet ist, z.B. durch Rühren.

Gleichmäßiges Sieden von Flüssigkeiten muss durch Zugabe von Siedesteinchen oder kontinuierliches Rühren gewährleistet sein, da sonst mit Siedeverzügen und deren stoßartiger Aufhebung zu rechnen ist.

Die sicherste Methode des Heizens ist die Verwendung von Flüssigkeits-Heizbädern, mit denen eine Wärmeübertragung bei geringer Temperaturdifferenz möglich ist.

Bild 10



Bild 11



Heizbäder mit Gasbrennern dürfen nur für nicht brennbare Flüssigkeiten und unter ständiger Beobachtung verwendet werden. Vorzuziehen und allgemein geeignet sind stufenlos regelbare elektrische Heizplatten. Für unbeaufsichtigte Apparaturen sind selbstregelnde Systeme mit thermostatischer Kontrolle des Heizbades unerlässlich. Gegen die Folgen eines Ausfalls der Regeleinheit muss mit einem Übertemperaturschutz gesichert werden.

Wasserbäder können durch Übersichten mit einem dünnen Paraffinfilm vor Austrocknung geschützt werden. Sie dürfen nicht verwendet werden, wenn die Apparatur Alkalimetalle, deren Hydride oder andere Substanzen enthält, die mit Wasser heftig reagieren.

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

Heiße Heizbäder sind gefährlich. Sie müssen kippsticher aufgestellt werden. Eine erhebliche Volumenausdehnung der Badflüssigkeit beim Erhitzen ist beim Aufbau zu berücksichtigen.

Das Eindringen von Wasser kann zu heftigem Verspritzen der heißen Badflüssigkeit führen. Kühlwasseranschlüsse oberhalb von Ölbädern müssen deshalb auf Dichtigkeit geprüft werden. Das Herabtropfen von Kondenswasser muss durch Anbringen einer Papiermanschette verhindert werden.

#### 4.4 Kühlen

Zum Kühlen verwendet man Eis, Eis/Salz-Mischungen (Natriumchlorid bis ca.  $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$ , Calciumchlorid bis ca.  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), Lösemittel/Trockeneis-Mischungen (bis  $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) oder flüssigen Stickstoff ( $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Die als Isoliergefäße häufig verwendeten Dewargefäße sind innen verspiegelte, evakuierte Hohlglaskörper und somit implisionsgefährdet. Es dürfen nur mit einem Schutzmantel versehene Gefäße verwendet werden; mechanische Beanspruchung (Eintauchtiefe beachten!) ist zu vermeiden. Heute sind auch hoch isolierte Metall-dewargefäße im Handel erhältlich, bei denen keine Implisionsgefahr besteht. Dewargefäße lassen sich oft durch bruch-sichere Gefäße aus geschäumtem Kunststoff ersetzen.

Für Trockeneiskühlung benutzt man häufig brennbare organische Lösemittel als Übertragungsmedien. Auf die damit verbundene Brandgefahr ist zu achten, offene Flammen sind fern zu halten.

Als Medien werden häufig Aceton oder Methanol angegeben. Zu empfehlen ist aber Isopropanol, dessen Vorteile in der geringen Toxizität und in seiner hohen Viskosität liegen, das ein Überspritzen bei Trockeneiszugabe verhindert.

Für Tiefkühlzwecke wird flüssiger Stickstoff (Sdp.  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) verwendet. Bei längerem Stehen kann aus der Luft Sauerstoff (Sdp.  $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) einkondensieren, erkennbar an der blauen Farbe. Solche Mischungen dürfen wegen der starken Oxidationswirkung des flüssigen Sauerstoffs nicht mehr verwendet werden. Sie sollten durch Verdampfen, z.B. Ausgießen im Freien, vernichtet werden.

## 4.5 Spezielle Hinweise

### Rührer und Zentrifugen

In sich bewegende Anlagen darf man niemals hineingreifen. Rührer oder Zentrifugen müssen langsam Stufe um Stufe hinauf- oder heruntergeschaltet werden. Bei ungewohnten Geräuschen sofort abschalten und nachsehen.

### Sandbäder

Als Füllung geeignet ist geglähter See- oder Flusssand. Verunreinigter Sand ist sofort zu erneuern. Sandbäder dürfen nur verwendet werden, wenn die bei ihnen insbesondere beim Nachheizen auftretende ungleichmäßige Temperaturverteilung zu keiner Gefährdung führt.

### Apparate zur Schmelzpunktbestimmung

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

### Trockenschränke

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

### Kühlschränke

Brennbare Flüssigkeiten dürfen nur in Kühlschränken aufbewahrt werden, deren Innenraum explosionsgeschützt ist.

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

## 4.6 Besondere Arbeitsmethoden

### 4.6.1 Arbeiten unter vermindertem Druck

In chemischen Laboratorien wird häufig unter vermindertem Druck gearbeitet.

Typische Beispiele sind Destillation oder Sublimation im Vakuum, Absaugen von Niederschlägen, Trocknen. Die verwendeten Apparaturen müssen dabei einer erheblichen Belastung durch den Außen- druck standhalten.

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

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 hPa (1.000-2.000 Pascal). Selbst beim Absaugen von Niederschlägen werden in der Saugflasche noch Belastungen von 300–800 hPa (30.000-80.000 Pascal) erreicht. Ein Belastungsbruch unter vermindertem Druck führt zur Implosion, wobei die umherfliegenden Glassplitter schwere Verletzungen verursachen können. Es versteht sich deshalb von selbst, dass „Vakuumarbeiten“ in Glasgeräten mit besonderer Vorsicht und unter Beachtung der Sicherheitsregeln durchgeführt werden müssen.

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

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

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

Beim Absaugen ist auf guten Sitz der Gummimanschetten zwischen Absaug-

trichter (Nutsche) und Saugflasche zu achten; plötzliches Durchrutschen des Trichters kann zum Bruch der Saugflasche führen.

Betrieb und Aufbewahrung evakuierter Apparaturen dürfen nur an Orten erfolgen, die gegen unbeabsichtigtes Anstoßen oder Darauffallen von Gegenständen geschützt sind.

Wirksamer Splitterschutz für den Fall von Implosionen ist die Verwendung von Schutzschildern oder die Sicherung in Drahtkörben, insbesondere bei großvolumigen Vakuumapparaturen. Exsikkatoren und Dewargefäße können durch Bekleben der Oberfläche mit Klarsichtfolie gesichert werden, siehe Bild 13). Kunststoffbeschichtete Geräte sind auch im Handel erhältlich.

Bild 13



Bild 12: Folge der Verwendung eines **nicht** explosionsgeschützten Kühlschranks



#### 4.6.2 Arbeiten mit Gasen

Gase werden oft als Reaktanden oder Schutzgas in chemischen Reaktionen eingesetzt oder können bei chemischen Reaktionen entstehen. Sie finden auch als Hilfsmittel bei einigen analytischen Verfahren Anwendung. 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 bereits in geringen Konzentrationen. Besondere Gefahren ergeben sich beim Arbeiten mit Gasen unter Druck.

#### 4.6.3 Druckgasflaschen

##### Allgemeines

Die meisten Gase werden in verdichteter Form (verflüssigt oder unter hohem Druck) in Druckgasflaschen angeboten. Druckgasflaschen stellen ein Gefahrenpotenzial an

sich dar, denn sie können bei grob unsachgemäßer Behandlung (Umstürzen, starke Hitzeeinwirkung) bersten. Daraus ergeben sich einige unbedingt einzuhaltende Sicherheitsvorschriften.

Druckgasflaschen sollten nach Möglichkeit überhaupt nicht im Labor aufgestellt werden, da sie bei Bränden ein erhöhtes Risiko für das Löschpersonal darstellen. Die sicherste Möglichkeit ist die Versorgung des Labors durch eine Druckleitung von den außerhalb stehenden Druckgasflaschen. Eine wirksame Maßnahme ist auch die Unterbringung der Druckgasflaschen in wärmeisolierten belüfteten Schränken nahe am Arbeitsplatz im Labor. Sind diese Möglichkeiten nicht gegeben, dann dürfen Druckgasflaschen nur zum Gebrauch am Arbeitsplatz stehen und müssen unmittelbar danach in den dafür vorgesehenen sicheren Lagerraum gebracht werden.

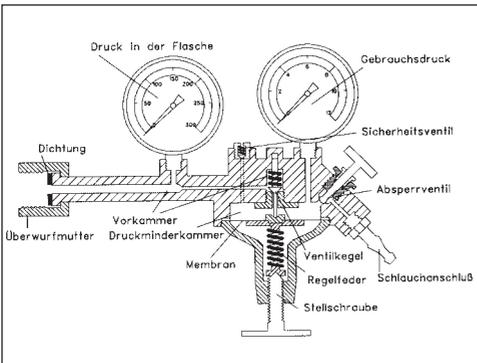


Bild 14:  
Druckgasflaschen müssen sowohl beim Transport auf den dafür vorgesehenen Wagen als auch am Standort durch Anketten gegen Umfallen gesichert werden.

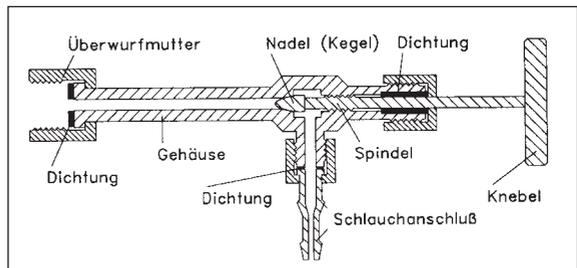
Bild 15



Schema eines Druckminderers Bild 16



Schema eines Nadelventils Bild 17



Wird die Flasche nicht benutzt, muss das Flaschenventil durch Aufschrauben der Schutzkappe gesichert werden.

Toxische oder korrosive Gase sollen im Labor nur in kleinen Druckgasflaschen verwendet werden, die unmittelbar im Abzug aufgestellt werden können.

### **Betrieb und Gasentnahme**

Druckgasflaschen besitzen hinter dem Flaschenventil einen Gewindeanschluss zum Anbringen des Entnahmeventils. Soweit möglich, müssen hier Druckminderer verwendet werden. Nadelventile sind keine Druckminderer, sondern nur Strömungsbegrenzer. Aus diesem Grund sollten sie nur in den Fällen zum Einsatz kommen, in denen keine Druckminderer erhältlich sind (z.B. bei manchen verflüssigten Gasen). Es dürfen nur für die betreffende Gasart zugelassene Entnahmeventile verwendet werden. Die Montage der Ventile darf nur von unterwiesenen Personen vorgenommen werden. Bei stark oxidierenden Gasen müssen die Armaturen frei von Öl, Fett und Glycerin gehalten werden.

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

Entnahme das Feinventil (ggf. zuvor das Druckmindererventil) vorsichtig geöffnet und der gewünschte Gasstrom eingestellt.

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

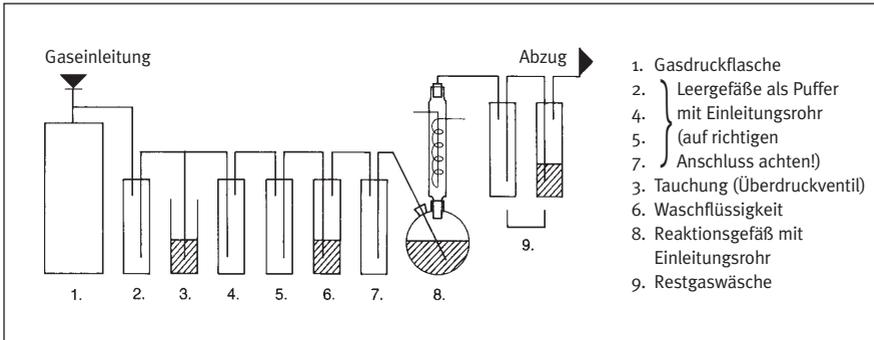
Entleerte Flaschen sollen noch einen geringen Restdruck aufweisen. Sie müssen eindeutig als entleert gekennzeichnet werden.

### **Einleiten von Gasen**

Gase werden in Reaktionsapparaturen über mit Schlauchschellen gesicherte Schläuche eingeleitet, welche gegenüber dem verwendeten Gas beständig sind (siehe hierzu Bild 18). Universell geeignet sind Silikonschläuche. Gase dürfen in Apparaturen nur eingeleitet werden, wenn sichergestellt ist, dass sich in der Apparatur kein unzulässiger Überdruck aufbauen kann. Bewährt hat sich eine Sicherheitstauchung, mit der außerdem ein Zurücksteigen des Reaktionsgemisches zur Druckgasflasche, insbesondere aber auch eine Vermischung mit Trockenflüssigkeiten (z.B. konzentrierte Schwefelsäure) vermieden werden kann.

Wenn beim Einleiten feste Reaktionsprodukte gebildet werden, besteht die Gefahr des Verstopfens des Einleitungsrohres und eines unkontrollierten Druckaufbaus im Einleitungssystem. Solche Reaktionen bedürfen der ständigen Beobachtung. Es gibt spezielle Einleitungs-

Bild 18



systeme, welche die mechanische Entfernung von Feststoffen aus dem Einleitungsrohr ohne Öffnen der Apparatur erlauben.

Alle Gaseinleitungsapparaturen müssen eine drucklose Austrittsöffnung mit Gasableitungsschlauch unmittelbar in den Abzugskanal besitzen. Ein zwischengeschalteter Blasen zählt erlaubt zusätzlich die Kontrolle der Gasabsorption in der Reaktion.

Das Entweichen größerer Mengen nicht umgesetzter toxischer oder ätzender Gase in das Abzugssystem ist zu verhindern. Dies geschieht durch Absorption der Gase in geeigneten Reaktionsmedien (z.B. Phosgen in verdünnter Natronlauge). Solche Zusatzapparaturen haben den Charakter von Reaktionsapparaturen und müssen daher den gleichen Sicherheitsüberlegungen 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.

#### 4.6.4 Arbeiten mit erhöhtem Druck (Überdruck)

Reaktionen unter erhöhtem Druck dürfen nur in geeigneten und dafür zugelassenen Druckbehältern (z.B. Laborautoklaven, siehe Bild 19a) durchgeführt werden.

Die Druckbehälter müssen gemäß den Vorschriften der Betriebsicherheitsverordnung und den einschlägigen technischen Regeln ausgelegt, ausgerüstet, aufgestellt und betrieben werden.

Mit Druckbehältern dürfen Studierende nach Einweisung und unter Aufsicht des zuständigen Assistenten arbeiten. In Druckbehältern für Versuchszwecke, bei denen die zu erwartenden Drücke sicher bekannt sind, dürfen bekannte Reaktionen bei vorher festgelegtem maximalen Füllgrad durchgeführt werden, wenn hierbei der zulässige Betriebsdruck und die zulässige Betriebstemperatur nicht überschritten werden. Zweckmäßig erfolgt vor jeder Inbetriebnahme eines Druckbehälters die Funktionsprüfung der Messeinrichtungen für Druck und Temperatur und die Prüfung auf Dichtheit. Sowohl die Befüllung als auch die Entleerung der Druckbehälter dürfen

nur in Abzügen oder unter lokaler Absaugung erfolgen. Druckbehälter dürfen erst geöffnet werden, wenn ein Druckausgleich mit der Atmosphäre hergestellt wurde.

Für Druckreaktionen, bei denen die zu erwartenden Drücke und Temperaturen **nicht** sicher bekannt sind, müssen so genannte **Versuchsautoklaven** verwendet werden. Zum Schutz von Personen, insbesondere beim Versagen des Autoklaven, müssen die Versuchsautoklaven in eigenen Räumen (Autoklavenräumen) aufgestellt sein. Die Beobachtung der Mess- und Sicherheitseinrichtungen und deren Bedienung müssen von sicherer Stelle aus erfolgen. Beim Betrieb von Versuchsautoklaven müssen Druck und Temperatur laufend beobachtet und aufgeschrieben werden.

Besteht die Gefahr, dass die zulässige Betriebstemperatur oder der zulässige

Betriebsdruck überschritten werden könnte, ist der Reaktionsversuch sofort zu unterbrechen (Heizung aus, ggf. Notkühlung).

Nach jeder Verwendung, ggf. nach Abschluss einer Versuchsreihe, muss der Versuchsautoklav von einer befähigten Person geprüft werden. Werden hierbei Schäden festgestellt oder wurde der zulässige Betriebsdruck und die zulässige Betriebstemperatur überschritten, muss der Versuchsautoklav auf weitere Verwendbarkeit durch eine zugelassene Überwachungsstelle (z.B. TÜV) geprüft werden.

**Glasautoklaven** dürfen nur in normgerechten Abzügen oder vorzugsweise in einem gesonderten Autoklavenraum betrieben werden. Der Glasautoklav **muss** von einem Drahtkorb als Splitterschutz umgeben sein (siehe Bild 19b).

**Handautoklav mit Heizrührer** Bild 19a



**Glasautoklav mit Drahtkorb** Bild 19b



#### 4.6.5 Arbeiten mit Einschmelzrohren

Eine Sonderform von Druckbehältern stellen Einschmelzrohre (abgeschmolzene, dickwandige Glasrohre, auch Einschluss- oder Bombenrohre genannt) dar. Sie können mit vermindertem („Vakuum“) oder erhöhtem Innendruck betrieben werden.

Bei Beschädigung oder bei ungenügender Qualität des Glases droht bei vermindertem Druck eine Implosion, bei Überdruckrohren muss mit Explosionen gerechnet werden. In beiden Fällen kann es zur Zerstörung des Rohrs kommen, wenn darin durchgeführte Reaktionen „durchgehen“. Bei Reaktionen im Einschmelzrohr kann nur die Außentemperatur direkt kontrolliert werden, die anderen Parameter können allenfalls berechnet werden. Einschmelzrohre sind keine „zugelassenen Druckbehälter“ (siehe Ziffer 4.6.4). Wegen der damit verbundenen Gefahren dürfen sie deshalb nur dann eingesetzt werden, wenn sie nicht durch andere, weniger gefährliche Apparaturen ersetzt werden können, z.B. wenn Transportreaktionen durchgeführt und beobachtet werden sollen.

Einschmelzrohre aus dickwandigem (1 bis 3 mm), chemisch und thermisch besonders widerstandsfähigem Spezialglas können bis etwa 30 bar und 400 °C betrieben werden. Wasser greift Glas allerdings ab 300 °C stark an. Besonders wichtig ist, dass die Rohre spannungsfrei abgeschmolzen werden und die der Flamme

ausgesetzten Rohrbereiche nicht mit den eingefüllten Chemikalien benetzt sind (Einfülltrichter beim Beschicken verwenden, sorgfältige Handhabung, eventuell Einfrieren des Inhalts vor dem Abschmelzen).

Befüllen und Öffnen der Rohre müssen so durchgeführt werden, dass Personen nicht durch enthaltene Gefahrstoffe gesundheitlich beeinträchtigt werden, d.h. im Abzug! Die wichtigste Schutzmaßnahme ist ein wirksamer Splitterschutz (z.B. Überrohre aus Stahl, Umwickeln mit Splitterfangmaterial, Schutzwände, ggf. eigener Raum). Einschmelzrohre dürfen nur geöffnet werden, wenn davon ausgegangen werden kann, dass sich ein eventueller Überdruck (durch Abkühlen) abgebaut hat (Rechnung!). Aber auch dann ist an Splitterschutz, insbesondere der Hände, zu achten! Die entstehende Öffnung muss vom Körper abgewandt sein.

Mit Einschmelzrohren dürfen Studierende nur nach einer praktischen Einweisung und unter ständiger Aufsicht durch den zuständigen Assistenten arbeiten. Das Abschmelzen der Einschmelzrohre sollte durch einen Glasbläser erfolgen.

# 5 Reinigen und Entsorgen

## 5.1 Reinigen von Glasgeräten

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



Verschmutzte Gefäße, Gegenstände oder Laboratoriumseinrichtungen sofort säubern. Substanzreste nie in Gefäßen stehen lassen.



Beim Reinigen Schutzhandschuhe und Schutzbrille tragen. Vorsicht vor Glasbruch und Schnittverletzungen bei der mechanischen Reinigung.

Schliffschmiermittel mit einem Papiertuch, evtl. mit Hilfe von Ligroin, entfernen.



Chemikalienreste in den Gefäßen mit geeigneten, möglichst wenig toxischen Lösemitteln (z.B. Aceton, Ethanol, Ligroin) ausspülen.

Die Spülflüssigkeit ist als Sonderabfall zu entsorgen. Lösemittelvorräte am Spültisch sollten zur Vermeidung von Bruchgefahr in Spritzflaschen aus Kunststoff aufbewahrt werden.



Mit Lösemitteln gespülte Geräte dürfen nicht zum Trocknen in den Trockenschrank gelegt werden.

Stark reagierende Reinigungsmittel (z.B. konzentrierte Salpetersäure, konzentrierte Schwefelsäure) dürfen nur dann verwendet werden, wenn andere Reinigungsmittel sich als ungeeignet erwiesen haben.

Chromschwefelsäure darf nur in begründeten Ausnahmefällen angewandt werden (Entsorgung siehe Abschnitt 5.2). Vor der Verwendung ist festzustellen, ob der Restinhalt der Gefäße mit dem Reinigungsmittel zu gefährlichen Reaktionen führen kann.

In vielen Fällen sind die oben genannten Reinigungsmittel durch handelsübliche Spezialdetergentien ersetzbar.

Erst nach den geschilderten Vorreinigungen wird das Reinigen mit handelsüblichen Detergentien abgeschlossen.

## 5.2 Entsorgung von Laborabfällen



Alle Abfälle müssen entsorgt werden. Die Entsorgung regelt das Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen, kurz Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz.

Alle von der Entsorgung durch die Kommune ausgenommenen Abfälle müssen vom Besitzer einer ordnungsgemäßen Beseitigung zugeführt werden; dabei muss nach der Verordnung über Verwertungs- und Beseitigungsnachweise, z.B. für die chemischen Sonderabfälle, ein Nachweisverfahren durchgeführt werden.

Jedem, der mit Chemikalien umgeht, sollte die Verpflichtung zur Entsorgung auch ohne Gesetze selbstverständlich sein, da von einer falschen Handhabung Schäden für Personen, Sachen und Umwelt ausgehen können.

Entsorgen heißt nicht nur, Laborabfälle zu sammeln und gemäß interner Richtlinien einer gemeinsamen Entsorgung zuzuführen, es heißt auch, Emissionen zu vermeiden und verschiedene, kleine Abfallmengen selbst durch geeignete chemische Reaktionen in ungefährliche Verbindungen zu überführen. Dieses Kapitel kann nur in kurzer Form einige Hinweise zur praktischen Entsorgung im Labor geben und damit anregen, sich in jedem Einzelfall vor Beginn der Arbeiten auch mit der zugehörigen Entsorgung zu beschäftigen.

Generell zu entsorgen sind organische Lösemittelabfälle. Bei ihrer Sammlung ist zu berücksichtigen, dass nur bis max. 5 l in Glasgefäßen und bis max. 10 l in bruchsicheren Gefäßen gesammelt werden dürfen. Bei Gefäßen über 5 l Nennvolumen müssen diese elektrostatisch ableitfähig sein und beim Umfüllen geerdet werden. Vor dem Einschütten von Abfällen in den Sammelbehälter sollte eine Mischprobe im Reagenzglas durchgeführt werden.

Schwermetallsalze und ihre Lösungen müssen in gesonderten Behältern gesammelt werden.

Altquecksilber sollte getrennt gesammelt und einer Aufarbeitung zugeführt werden.

Eine gesonderte Gruppe bilden Filter- und Aufsaugmassen. Hierzu gehören auch

Chromatographieplatten und Füllungen von Chromatographiesäulen. Sie werden getrennt gesammelt und entsorgt.

Feinchemikalienreste werden in den Originalflaschen zur Entsorgung gegeben.

Altöl aus Vakuumpumpen und Heizbädern, das durch Laborarbeiten verunreinigt ist, muss nach dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz als stark verunreinigtes Altöl als Sonderabfall zur Entsorgung gegeben werden.

Wenn trotz der heute vorhandenen guten Detergenzien in einigen Fällen noch Chromschwefelsäure benutzt werden muss, so ist diese in getrennten Behältern zu sammeln und zur Entsorgung zu geben.

Entsorgungsmaßnahmen, bei denen gesundheitsgefährdende Gase entstehen, sind im Abzug durchzuführen.

### 5.3 Kleinstmengenbeseitigung

Bei Abfällen im Kleinstmengenbereich ist häufig eine Entgiftung durch das Laborpersonal angeraten oder notwendig.

Die Kleinstmengenbeseitigung setzt einwandfrei funktionierende Abzüge voraus; sie darf nur von Personen mit entsprechender Fachkunde unter Beachtung der jeweils erforderlichen Schutzmaßnahmen vorgenommen werden.

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

Die aufgeführten Arbeitsvorschriften sind sorgfältig recherchiert; der Anwender ist jedoch gehalten, im Einzelfall und bezogen auf sein Produkt die Einsatzmöglichkeiten zu prüfen und ggf. zu modifizieren.

### Alkalimetalle

Alkalimetalle werden in einen entsprechenden Alkohol (Ethanol für Natrium, Isopropanol für Kalium), der in einem inerten Lösemittel (z.B. Petrolether 40/60) vorgelegt wird, unter Rühren eingetragen.

Die dazu verwendete Apparatur besteht aus einem Dreihalskolben, einem Dimrothkühler mit Metallkühlschlange und einem Magnet- oder KPG-Rührer. Der entstehende Wasserstoff wird über einen am Kühlerausgang angeschlossenen Schlauch direkt in den Abzugskanal abgeleitet. Die Alkoholatlösung wird hydrolysiert, neutralisiert und anschließend als Lösemittel entsorgt.

Befindet sich Natrium in Drahtform nach der Trocknung eines halogenfreien Lösemittels, z.B. Diethylether, Cyclohexan, Toluol, im Kolben, so wird der Alkohol langsam zu dem im Kolben verbliebenen Rest des Lösemittels zugetropft.

Vor der Hydrolyse des Alkoholats werden einige Milliliter einer Mischung aus 1 Teil Wasser und 4 Teilen Alkohol zur Erhöhung der Protonenaktivität zugetropft, um Restspuren des Alkalimetalls zu erfassen.

### Brom

Elementares Brom sollte primär zur Aufarbeitung gegeben werden. Kleinere

Mengen können mit wässriger Natriumthiosulfatlösung zum Bromid reduziert werden.

### Hydride

In einem Dreihalskolben mit Rührer und Dimrothkühler mit Metallkühlschlange werden Alkaliborhydride mit Ethanol, Alkalihydride und Alkaliamide mit Isopropanol aus einem Tropftrichter versetzt. Der entstehende Wasserstoff wird über einen am Kühlerausgang angeschlossenen Schlauch direkt in den Abzugskanal abgeleitet.

Beim Umgang mit Lithiumaluminiumhydrid haben sich eine Reihe von Unfällen und Bränden ereignet. Die folgende Beseitigungsmethode ist vielfach erprobt und beinhaltet ein hohes Maß an Sicherheit.

In einem Dreihalskolben mit Rührer, Dimrothkühler mit Metallkühlschlange und Tropftrichter mit Druckausgleich wird unter Schutzgas (Argon oder Stickstoff) das Lithiumaluminiumhydrid mit Essigester oder Aceton umgesetzt. Die beiden Reagenzien, die in der Reaktion in Ethanol bzw. Isopropanol umgewandelt werden, vermeiden eine Wasserstoffbildung. Die Reagenzlösung sollte aus 1 Teil Reagenz und 4 Teilen Ether bestehen; sie sollte die Kolbenwand beim Zutropfen nicht berühren, um die Bildung von Nestern mit eingeschlossenem, nicht umgesetztem Lithiumaluminiumhydrid zu vermeiden.

### Jod

Die Entsorgung von elementarem Jod erfolgt analog wie beim Brom durch Reduktion mit wässriger Natriumthiosulfatlösung.

### **Phosphor, weiß**

Weißer Phosphor wird in einem Mehrhalskolben unter Inertgas vorgelegt. Im anschließend darüber geleiteten Luftstrom verbrennt der Phosphor. Die Oxide werden in einer wässrigen, alkalischen Vorlage neutralisiert.

### **Schwefelsäure, rauchend (Oleum)**

Die rauchende Schwefelsäure wird unter Kühlung langsam in eine 50%ige Schwefelsäure getropft. Die Entsorgung erfolgt dann unter der Abfallart „Anorganische Säuren, Säuregemische, Beizen (sauer)“.

### **Säurechloride, Säureanhydride**

Die Verbindungen (z.B. Thionylchlorid –  $\text{SOCl}_2$ , Phosphorpentachlorid –  $\text{PCl}_5$ , Phosphoroxychlorid –  $\text{POCl}_3$ , Chlorsulfonsäure –  $\text{ClSO}_3\text{H}$ , Acetanhydrid) werden unter guter Kühlung mit Eis in eine 10%ige Natronlauge eingetragen. Die Entsorgung erfolgt entsprechend den entstandenen Produkten.

### **Saure Reaktionsgase**

(z.B. Bromwasserstoff, Chlor, Chlorwasserstoff, Jodwasserstoff, Phosgen, Schwefeldioxid) werden über eine grobe Fritte, möglichst unter Rühren, in eine 20%ige NatronlaugeLösung eingeleitet.

### **Raney-Nickel**

wird in wässriger Aufschlämmung unter Rühren mit Salzsäure versetzt. Die schwermetallsalzhaltige Lösung wird als „Spül- und Waschwasser, metallsalzhaltig“ entsorgt. Raney-Nickel und Filterpapiere mit Rückständen dürfen auf

keinen Fall trocken werden, da dies zur Selbstentzündung an der Luft führt!

### **Dimethyl- und Diethylsulfat**

sind starke Alkylierungsreagenzien. Der Umgang mit ihnen muss unter dem Abzug stattfinden; bei der Arbeit sind Schutzhandschuhe zu tragen, damit die Haut vor eventuellen Spritzern geschützt ist. Die Beseitigung erfolgt durch Eintropfen der Reagenzien in eine gerührte, konzentrierte, eisgekühlte Ammoniaklösung.

### **Cyanide (z.B. Natriumcyanid, Kaliumcyanid, Blausäure)**

Alle Cyanide können in wässriger Lösung bei einem pH-Wert von 10–11 mit einem Überschuss an Wasserstoffperoxid ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) zum entsprechenden Cyanat oxidiert werden; bei pH 8–9 wird das Cyanat mit weiterem Wasserstoffperoxid zu Kohlendioxid und Stickstoff oxidiert.

### **Organische Lithiumverbindungen (*n*-Butyl-, *tert*-Butyllithium)**

Die Zerstörung dieser sauerstoffempfindlichen Lithiumverbindungen erfolgt unter Schutzgas (Argon, Stickstoff) durch langsame Zugabe von Isopropanol. Das Isopropanolat wird mit Wasser hydrolysiert, die Lösung wird als „Lösemittelgemisch ohne halogenierte organische Lösemittel“ entsorgt.

### **Sicapent®**

Das Trockenmittel Sicapent® über Wasser in einen Exsikkator stellen, damit es vollständig Wasser aufnehmen kann. Das nasse Sicapent in Wasser eintragen und mit Natronlauge neutralisieren. Das Trägermaterial abfiltrieren und mit Filter entsorgen. Die wässrige Lösung ins Abwasser geben.

# 6 Brand- und Explosionsgefahren

Dieses Kapitel zeigt, wie man Brände und Explosionen vermeidet, die bei chemischen Arbeiten entstehen können. Es beantwortet die folgenden Fragen:

- 1 Wie arbeitet man mit brennbaren Flüssigkeiten und wie sind deren Gefahrklassen definiert?**
- 2 Was sind die am häufigsten im Labor benützten selbstentzündlichen Stoffe und wie geht man mit ihnen um?**
- 3 Was sind explosionsgefährliche Substanzen und Gemische und bei welchen Substanzklassen und Mischungen muss man Explosionsgefährlichkeit unterstellen?**
- 4 Was muss bei exothermen Reaktionen beachtet werden?**
- 5 Welche Gefahren drohen durch Zersetzungsreaktionen und bei welchen Substanzklassen muss man von der Möglichkeit solcher Reaktionen ausgehen?**
- 6 Welche Brandschutzvorrichtungen müssen vorhanden sein und was muss man bei ihrer Benutzung beachten?**

## 6.1 Brennbare Flüssigkeiten

Viele Flüssigkeiten, mit denen im Laboratorium umgegangen wird, sind brennbar. Ihre Dämpfe bilden mit Luft in bestimmten Konzentrationsbereichen, die Tabellen entnommen werden können, explosionsfähige Gemische.

Die Brennbarkeit muss beachtet werden bei chemischen Umsetzungen, beim Destillieren, Extrahieren und beim Lagern, vor allem aber beim offenen Umgang. Dabei ist zu beachten, dass die Dichte der Gase und Dämpfe so gut wie immer größer ist als die der Luft.

Die Dämpfe „kriechen“ daher auf den Arbeitstischen oder am Boden und können sich an ganz unvermuteter Stelle entzünden.

Beim Abfüllen und Umgießen brennbarer Flüssigkeiten besteht die Gefahr der Zündung durch elektrostatische Aufladung. Metallgebinde müssen daher geerdet werden.

Beim Verschütten oder Austreten schon relativ kleiner Mengen brennbarer Flüssigkeiten sind zuerst alle offenen Flammen in der Umgebung zu löschen.

Handelt es sich um größere Mengen, müssen die Laborkollegen gewarnt und zum Verlassen des Raumes aufgefordert werden. Sollte es zu einem Brand gekommen sein, darf mit der Beseitigung der ausgetretenen Substanz erst nach dem Löschen aller Flammen sowie nach ausreichender Durchlüftung begonnen werden.

Brennbare Flüssigkeiten dürfen am Arbeitsplatz nur in der unbedingt für normales Arbeiten erforderlichen Menge aufbewahrt werden.

Es ist zu bedenken, dass voll gestopfte Regale die Gefahr des versehentlichen Herunterreißens von Flaschen in sich bergen.

**Aufbewahrung**

Die Gefahrstoffverordnung teilt brennbare Flüssigkeiten im Wesentlichen nach dem Flammpunkt und teilweise nach dem Siedepunkt ein:

Der Flammpunkt ist die niedrigste Temperatur, bei der die Flüssigkeit unter bestimmten Versuchsbedingungen Dämpfe in solcher Menge entwickelt, dass diese im Gemisch mit Luft durch eine Zündquelle zur Entzündung gebracht werden können.

zünden, wenn die Flüssigkeit über ihren Flammpunkt erhitzt wird (Butan-2-ol über 24 °C, überhitzte Ölbäder).

Brennbare Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt unter 21 °C (hoch- und leichtentzündliche Flüssigkeiten; früher: Flüssigkeiten der Gefahrklassen A1, AII und B) dürfen an Arbeitsplätzen für den Handgebrauch nur in Gefäßen von höchstens 1 l Nennvolumen aufbewahrt werden. Die Anzahl solcher Gefäße ist auf das unbedingt nötige Maß zu beschränken.

Für Laboratorien, in denen ständig größere Mengen brennbarer Flüssigkeiten für den Fortgang der Arbeiten benötigt

Gefahrenbezeichnung	R-Satz	Gefahrensymbol	Flammpunkt	Siedepunkt	Beispiel
Hochentzündlich	R 12	F+	< 0°	≤ 35°	Acetaldehyd
Leichtentzündlich	R 11	F	< 21°C		Aceton
Entzündlich	R 10	kein	21° ≤ Flp. ≤ 55°		Butan-2-ol
keine	kein	kein	(21°*) 55° < Flp.		cis-Decalin

Nur brennbare Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt unter 21 °C weisen also in der Kennzeichnung das Flammensymbol auf. Manche enthalten keinerlei Hinweis auf ihre brennbaren Eigenschaften, also weder Flammensymbol noch Gefahrenhinweis (R-Satz)! Die Dämpfe aller brennbaren Flüssigkeiten lassen sich aber ent-

werden, ist das Abstellen in nicht bruchsischeren Behältern bis zu insgesamt 5 l bzw. in bruchsicheren Behältern bis zu insgesamt 10 l Fassungsvermögen an geschützter Stelle zulässig.

Es empfiehlt sich, dafür mit einer Absaugung und Auffangwanne versehene Schränke (z.B. nach DIN EN 14 470-1) oder Räume zu benutzen.

\*) In der Praxis hat sich gezeigt, dass eine Zubereitung mit einem Flammpunkt von mindestens 21 °C und höchstens 55 °C nicht als entzündlich eingestuft werden muss, wenn sie in keiner Weise die Verbrennung unterhält und beim Umgang mit dieser Zubereitung eine Gefährdung für jedermann ausgeschlossen werden kann. Darunter fallen z.B. manche wässrigen Alkoholgemische, die als Desinfektionsmittel dienen.

Ansonsten werden brennbare Flüssigkeiten im Labor in den vorhandenen Sicherheits-schränken (z.B. nach DIN EN 14 470-1) gelagert.

Brennbare Lösemittel und Reaktionslösungen dürfen zur Kühlung nur in Kühlschränken aufbewahrt werden, deren Innenraum explosionsgeschützt ist. Es ist darauf zu achten, dass der zu benutzende Kühlschrank eine entsprechende Kennzeichnung trägt.

## 6.2 Selbstentzündliche Stoffe



Eine weitere Quelle für Laborbrände oder auch Explosionen sind Stoffe, die sich bei Zutritt von Luft und/oder Wasser spontan entzünden können. In der gewöhnlichen Laborpraxis sind dies vor allem die Alkalimetalle und ihre Hydride sowie weißer Phosphor.

Gefährlich sind auch Raney-Nickel sowie eine Vielzahl metallorganischer Verbindungen, z.B. Ziegler-Natta-Katalysatoren, deren Handhabung spezielle Arbeitstechniken erfordert.

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

Alkalimetallbrände dürfen nur mit trockenem Sand oder Pulverlöscher der Brandklasse D bekämpft werden (Achtung: Keinen CO<sub>2</sub>-Löscher verwenden!).

Alkalimetalle werden häufig zum Trocknen von Lösemitteln verwendet, z.B. durch Einpressen von Natriumdraht. Sie dürfen nur für nicht damit reagierende Lösemittel benutzt werden (Kohlenwasserstoffe, Ether, tertiäre Amine). Explosionsartige Reaktionen sind mit Halogenkohlenwasserstoffen möglich!

In der modernen Laborpraxis sollte man ungefährlichere Trockenmethoden, z.B. Verwendung von Molekularsieben, vorziehen. Die Beseitigung der Reste von Alkalimetallen erfolgt wie in Abschnitt 5.3 beschrieben.

## 6.3 Explosionsgefährliche Substanzen und Gemische



Als explosionsgefährlich bezeichnet man Stoffe oder Stoffgemische, die bei Einwirkung von thermischer Energie (Wärme, Flammen) oder mechanischer Energie (Reibung, Schlag) spontan zu solch heftiger Reaktion kommen, dass eine hohe Energiefreisetzung und ein hoher Druckaufbau zu sehr schneller Ausbreitung von Druckwellen führen.

Explosionsgefährlich sind zahlreiche organische Nitroso- und Nitroverbindungen, hochnitrierte Aromaten, Salpetersäureester, viele Verbindungen mit N-N-Bindung (Azo- und Diazoverbindungen, Stickstoffwasserstoffsäure, Azide), Salze der Knallsäure (Fulminate), Chlor- und Jodstickstoff sowie Acetylide; weiterhin viele peroxidische Verbindungen (Persäuren, Persäureester, Peroxide, Hydroperoxide).

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

Die Herstellung von explosionsgefährlichen Stoffen oder der Umgang mit ihnen erfordert Kenntnisse und praktische Erfahrungen mit speziellen Arbeitsmethoden und besondere Sicherheitsvorkehrungen. Vor Versuchen, im Labor Sprengstoffe herzustellen, kann nur ausdrücklich gewarnt werden! Dies ist auf Grund sprengstoffrechtlicher Vorschriften verboten. Man gefährdet sich und andere und wird für entstandene Schäden straf- und zivilrechtlich haftbar gemacht.

Ausnahmen für Forschungslaboratorien sind unter Angabe von Mengenbegrenzungen im Sprengstoffgesetz geregelt. Wird im Rahmen dieser Ausnahmevorschriften gearbeitet, sind explosionsgefährliche Stoffe und Gemische in möglichst kleinen Mengen nur an alleseitig abgeschirmten Arbeitsplätzen zu handhaben.

Überhitzung, Flammennähe, Funkenbildung, Schlag, Reibung und fester Einschluss (Verdämmung) sind zu vermeiden.

Vorräte an solchen Stoffen sind so klein wie möglich zu halten. Sie sind gegen Flammen und Hitzeeinwirkung gesichert, verschlossen und von den Arbeitsplätzen entfernt, möglichst in einem besonderen Raum aufzubewahren.

## 6.4 Exotherme Reaktionen



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

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

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

Unkontrollierte exotherme Reaktionen können auch bei Aufarbeitungsprozeduren auftreten, insbesondere dann, wenn überschüssige reaktive Reagenzien, wie Säurehalogenide, Alkalimetallhydride usw. inaktiviert werden müssen.

Die Kontrolle exothermer Reaktionen erfolgt durch Kühlung des Reaktionsgefäßes oder durch Rückflusskühlung.

Zu beachten ist hierbei, dass eine gute Durchmischung die Wärmeabfuhr aus der Reaktionsmasse begünstigt, eine hohe

Viskosität oder feste Ablagerungen auf der Kühlfläche den Wärmedurchgang verringern.

Die Kontrolle exothermer Reaktionen kann auch durch die langsame Zudosierung eines Reaktionspartners, die Zudosierung eines gekühlten Reaktinspartners oder durch Beachtung der Reihenfolge der Zugabe der Reaktionspartner (Ausnutzung der Wärmekapazität) erfolgen. Falls Stoffe auftreten, die mit Wasser reagieren, darf dieses nicht als Kühlflüssigkeit verwendet werden.

Bei exothermen Reaktionen ist ganz besonders vor einer erheblichen Ansatzvergrößerung zu warnen. Beim Übergang zu größeren Apparaturen ändert sich nämlich die Masse der Stoffe und damit die Reaktionswärme in der dritten Potenz, die für die Wärmeabfuhr zur Verfügung stehende Oberfläche der Apparatur aber nur mit der zweiten Potenz des Radius des Reaktionsgefäßes.

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

## 6.5 Zersetzungsreaktionen



Viele Stoffe oder Stoffgemische erweisen sich bei thermischer oder mechanischer Beanspruchung als instabil. Sie zersetzen sich unter

Umständen spontan mit hoher Energiefreisetzung, so dass die Zersetzung einen explosionsartigen Verlauf nehmen kann.

Zu hohe thermische Belastung kann in der Laborpraxis beim Trocknen oder

Destillieren von Stoffen gegeben sein. Beim Trocknen thermisch instabiler Stoffe in Wärmeschränken ist die Trocknungstemperatur so zu wählen und ggf. durch eine Übertemperatursicherung abzusichern, dass eine Zersetzung nicht eingeleitet werden kann.

Destillationen sollen vorsorglich hinter Schutzschildern durchgeführt werden.

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

Mechanisch sensibel werden einige Substanzen, wenn diese getrocknet werden (Aufhebung der Phlegmatisierung). Beispiele hierfür sind Diazoniumsalze und Nitrophenolate. Bei der Handhabung solcher Stoffe ist das Austrocknen zu vermeiden.

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

Zur Bildung von Peroxiden neigen zahlreiche organische Verbindungen, z.B. Diethylether, Diisopropylether, Dioxan,

Tetrahydrofuran, ferner ungesättigte Kohlenwasserstoffe wie Tetralin, Cumol, Aldehyde, Ketone und Lösungen dieser Stoffe.

Zwar liegen solche Peroxide nur in sehr kleinen Konzentrationen vor, sie werden aber bei Destillationen in den Rückständen angereichert und können unter bestimmten, nicht vorhersehbaren Umständen zu verheerenden Explosionen führen. Die Tatsache, dass solche Vorfälle selten sind, verführt durch den Gewöhnungseffekt zur unangebrachten Vernachlässigung der Sicherheitsmaßnahmen, die im Folgenden beschrieben sind.

Am Rande sei vermerkt, dass ein Peroxid-gehalt in den verwendeten Lösemitteln häufig die Reinheit und Ausbeute von Syntheseprodukten beeinträchtigt.

Flüssigkeiten, die zur Bildung organischer Peroxide neigen, sind im Dunkeln bzw. in Flaschen aus dunklem Glas oder aus lichtundurchlässigem Material aufzubewahren. Sie müssen vor der Destillation bzw. dem Abdampfen auf Anwesenheit von Peroxiden untersucht und gegebenenfalls von Peroxiden befreit werden.

Nach Erhalt oder längerem Stehen sind die oben genannten Lösemittel mit Hilfe eines Peroxid-Teststäbchens auf Peroxide zu prüfen.

Peroxidhaltige Lösemittel werden nach geeigneten Literaturvorschriften gereinigt. Die erneute Bildung von Peroxiden wird verhindert durch Zugabe von Oxidationsinhibitoren, durch Aufbewahrung in dunklen Flaschen, am wirksamsten aber, zumal wenn es sich um wertvolle absolute Lösemittel handelt, unter Inertgas.

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

Auf ihre Reinisolierung sollte verzichtet werden.

## 6.6 Brandschutz in Laboratorien



In Laboratorien sind an leicht zugänglicher Stelle Löschdecken und Handfeuerlöscher bereitzuhalten.



In der Nähe der Ausgänge befinden sich Notduschen. Diese sind monatlich auf ihre Funktionsfähigkeit zu überprüfen.



Kleine Brände sind mit den vorhandenen Feuerlöschmitteln zu bekämpfen, sofern dies gefahrlos möglich ist.

Droht der Brand sich auszuweiten und außer Kontrolle zu geraten, ist unverzüglich die Feuerwehr zu benachrichtigen.



Kleiderbrände sind unter der Notdusche, mit Feuerlöschern oder Löschdecken zu bekämpfen. (Leichtflüchtige Lösemittel dringen oft durch das Gewebe der Feuerlöschdecken und können sich dann wieder entzünden.) Notfalls kann auch das Hin- und Herwälzen des Brennenden den Brand ersticken, unterstützt durch das Überstreifen von Kleidungsstücken und dergleichen. Brennende Kleidung ist so schnell wie möglich abzuwerfen.



Bei größeren Kleiderbränden, insbesondere in Zusammenhang mit Lösemitteln, brennende Personen nicht weglaufen lassen, da dies

den Brand weiter entfacht, sondern flach auf den Boden bringen und dann löschen.



Zum Löschen von Laborbränden sind Pulver- oder Kohlendioxidlöscher geeignet, wobei Letztere keine Rückstände hinterlassen und daher in der Umgebung wertvoller Messgeräte und dergleichen vorzuziehen sind.

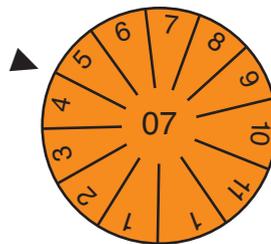


Brände von Alkalimetallen und anderen reaktiven Metallen, Metallalkylen, Lithiumaluminiumhydrid, Silanen und verwandten

Stoffen werden am besten mit Löschsand oder Löschpulver der Brandklasse D erstickt. Auf keinen Fall dürfen solche Brände mit Wasser bekämpft werden! Ebenfalls ungeeignet sind Kohlendioxidlöscher.

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

Feuerlöscher müssen alle 2 Jahre überprüft werden (Prüfplakette!).



# 7 Arbeiten mit elektrischen Betriebsmitteln

**Dieses Kapitel behandelt die Gefahren, die bei unsachgemäßem Betrieb elektrischer Geräte drohen und ihre Vermeidung.**

## 7.1 Unfälle mit Strom



Die meisten Stromunfälle werden durch die Benutzung von schadhafte oder ungeeigneten elektrischen Betriebsmitteln oder

Anlagen verursacht. Unfälle können auch auftreten, wenn Schäden von „Laien“ fehlerhaft behoben werden.

Als wichtigste Maßnahme gilt die Isolierung als Schutz vor der Berührbarkeit spannungsführender Teile.

Die folgenden Regeln müssen unbedingt beachtet werden:

- Bei Arbeiten im Labor dürfen elektrische Betriebsmittel nur bestimmungsgemäß, d.h. nach Betriebsanleitung, verwendet werden.
- Betriebsmittel und Anlagen müssen sich in einwandfreiem Zustand befinden.
- Einstellungen von Sicherheitseinrichtungen dürfen nicht verstellt werden.
- Keine nassen elektrischen Betriebsmittel verwenden.
- Bei Schäden oder ungewöhnlichen Betriebszuständen Geräte oder Anlagen abschalten und diese einer Elektrofachkraft melden.
- Defekte Geräte oder Anlagen nicht weiter verwenden und der Benutzung durch andere Personen entziehen und auf Gefahren hinweisen.

- Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten durch elektrotechnische Laien sind nicht zulässig, schon gar nicht an spannungsführenden Teilen.

- Elektrische Anlagen und Betriebsmittel müssen den allgemein anerkannten Regeln der Technik, insbesondere den Bestimmungen des Verbandes Deutscher Elektrotechniker e.V. (VDE) entsprechen und von einer Elektrofachkraft oder einer elektrotechnisch unterwiesenen Person unter Leitung und Aufsicht durch eine Elektrofachkraft in regelmäßigen Abständen auf ordnungsgemäßen Zustand überprüft werden. Diese Bestimmungen gelten auch für Eigenbaugeräte.

- Für in Laboratorien verwendete Elektrogeräte, wie z.B. für

- Rotationsverdampfer
- bewegliche Analysegeräte
- Heizgeräte
- Messgeräte
- netzbetriebene Tischleuchten
- Rührgeräte
- Verlängerungs- und Geräteanschlussleitungen

betragen die Prüffristen bei normaler Beanspruchung in der Regel 12 Monate (siehe GUV-Information „Prüfung ortsveränderlicher elektrischer Betriebsmittel“ – GUV-I 8524, bisher GUV 22.1).

- Arbeiten an elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln dürfen nur von Elektrofachkräften durchgeführt werden.

Die Unfallverhütungsvorschrift „Elektrische Anlagen und Betriebsmittel“ (GUV-V A 3) definiert diese wie folgt:  
 „Als Elektrofachkraft gilt, wer auf Grund seiner fachlichen Ausbildung, Kenntnisse und Erfahrungen sowie Kenntnis der einschlägigen Bestimmungen die ihm übertragenen Arbeiten beurteilen und mögliche Gefahren erkennen kann.“

## 7.2 Physiologische Wirkung von elektrischen Strömen

Gerät der Mensch in einen Stromkreis, so wirkt sein Körper wie ein Widerstand. Es gilt das Ohmsche Gesetz  $U=R \times I$ .

Der ohmsche Widerstand des menschlichen Körpers ist dabei mit ca.  $R = 1000$  Ohm anzusetzen. Bei einem Körperwiderstand von  $R = 1000$  Ohm können gefährliche Stromstärken schon bei kleinen Spannungen auftreten. Bei einer Nennspannung von 230 V kann ein Strom von 230 mA über den Körper fließen.

Untersuchungen haben ergeben, dass bei 50 Hz Wechselstrom eine Stromstärke von  $I = 25$  mA für den Menschen die Grenze des Erträglichen darstellt.

Gleichströme und Ströme höherer Frequenz ergeben etwas günstigere Werte. Darüber hinaus können kurze „Wischer“ auch kleinerer Stromstärken zu Sekundärnfällen führen (z.B. Sturz von einer Leiter).

Bei der physiologischen Wirkung einer Körperdurchströmung kann man die folgenden Bereiche unterscheiden:



### Bereich I (0–25 mA)

Geringe Blutdrucksteigerung, oberhalb etwa 10 mA Muskelverkrampfungen, Hängenbleiben oder Klebenbleiben („Loslassgrenze“) am Strom, bei längerer Dauer Verkrampfung der Atemmuskulatur  
 ► Im Allgemeinen nicht tödlich.



### Bereich II (25–80 mA)

Sofern das Herz in den Stromkreis einbezogen ist, kann es zum Herzstillstand und Atemlähmung infolge Muskelverkrampfung kommen, nach ca. 30 Sekunden ist Herzkammerflimmern möglich, der Sauerstofftransport zu den Körperzellen wird unterbunden.

► Versagen des Blutkreislaufes kann zum Tode führen.



### Bereich III (80–5000 mA)

Starke Blutdrucksteigerung und Atemungsverkrampfung, Herzkammerflimmern tritt mit hoher Wahrscheinlichkeit schon bei ca. 0,3 Sekunden Durchströmungsdauer auf.

► „Sekundenherztod“



### Bereich IV (über 5000 mA)

Herzstillstand tritt vielfach spontan während der Durchströmung ein, meist kein Herzkammerflimmern, jedoch thermische Wirkungen des Stromes (Verbrennungen durch Lichtbogen). Durchströmungen mit diesen hohen Werten treten im Allgemeinen bei Hochspannungsunfällen auf. Neben der Durchströmung kann es zu äußeren Verbrennungen kommen.

► Der Tod tritt dann oft erst nach Tagen oder Wochen ein.

# 8 Arbeiten mit Strahlung

**Dieses Kapitel nennt Regeln für den Umgang mit radioaktiven Stoffen. Es beantwortet die Fragen:**

 **Wie schützt man sich vor äußerer und innerer Bestrahlung?**

 **Wie vermeidet man Kontaminationen?**

**Es werden ferner Hinweise für das sichere Arbeiten mit Röntgenstrahlen und mit intensiven Lichtquellen gegeben.**

## 8.1 Arbeiten mit radioaktiven Stoffen

Umgang mit radioaktiven Stoffen umfasst nach § 3 der „Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen“ (Strahlenschutzverordnung, StrlSchV v. 20.7.01) Gewinnung, Erzeugung, Lagerung, Bearbeitung, Verarbeitung, sonstige Verwendung und Beseitigung von radioaktiven Stoffen, so dass auch Laborarbeiten unter den Geltungsbereich dieser Verordnung fallen. Werden Tätigkeiten mit radioaktiven Stoffen ausgeführt, die den Umfang der in Anlage I der StrlSchV aufgeführten „genehmigungsfreien Tätigkeiten“ überschreiten, sind diese der zuständigen Behörde anzuzeigen und dürfen erst nach erteilter Genehmigung ausgeführt werden. Zu den genehmigungsfreien Tätigkeiten gehören z.B. Arbeiten mit radioaktiven Stoffen unterhalb bestimmter Freigrenzen.

### 8.1.1 Regeln für den Umgang mit radioaktiven Stoffen

Gefahren für das Laborpersonal beim Umgang mit radioaktiven Stoffen sind gegeben durch die

- Möglichkeit der äußeren Bestrahlung,

- Möglichkeit der Inkorporation radioaktiver Stoffe und damit durch innere Bestrahlung,
- Möglichkeit der Kontamination z.B. der Haut. Durch Kontamination bedingt kommt es zu einer äußeren Bestrahlung mit dem Abstand der Strahlenquelle zum Körper gleich 0. Es kann aber hierbei auch die Gefahr der Resorption radioaktiver Stoffe durch die Haut in den Körper bestehen.

Die genannten Gefahren können vermieden, zumindest aber minimiert werden, wenn das Laborpersonal vor dem Umgang mit radioaktiven Stoffen entsprechend § 38 der StrlSchV unterwiesen wird. Die Unterweisung erfolgt auf der Grundlage der nach § 34 zu erstellenden Strahlenschutzanweisung.

Strahlenschutzanweisung und Unterweisung müssen relevante Inhalte der Strahlenschutzverordnung und des Genehmigungsbescheides, sowie von Richtlinien und Normen aufnehmen. Sie müssen sich aber auf jedem Fall nach den spezifischen Gefahren des zu handhabenden radioaktiven Stoffes richten (physikalische, chemische Beschaffenheit und Art der Strahlung,  $\alpha$ -,  $\beta$ -, oder  $\gamma$ -Strahlung).

Insofern können hier nur allgemeine Festlegungen für das sichere Arbeiten formuliert werden. Diese sind:

### 8.1.2 Schutz gegen äußere Bestrahlung

#### 1. Schutz gegen äußere Bestrahlung bei $\gamma$ -strahlenden Nukliden



#### **Abstand halten!**

Dosisleistung nimmt mit dem Quadrat der Entfernung von der Strahlenquelle ab (und außerdem linear mit der Aktivität).



**Abschirmmaßnahmen**

können verwirklicht werden z.B. mit mobilen Bleiwänden oder Umschließungen der Strahlenquellen mit

Bleibausteinen. Die Dicke der Bleimaterialien richtet sich nach der Aktivität und der Energie der  $\gamma$ -Strahler und der (unvermeidbaren) Expositionszeit des Laborpersonals.

**2. Schutz gegen äußere Bestrahlung bei  $\beta$ -strahlenden Nukliden**



**Abstand halten!**

Dies gilt insbesondere bei Nukliden mit Energien oberhalb 200 keV. Die Dosisleistung nimmt linear mit der

Aktivität und mit dem Quadrat der Entfernung von der Strahlenquelle, aber gegenüber  $\gamma$ -Strahlen noch linear mit einem Schwächungsfaktor der  $\beta$ -Strahlen in Luft entsprechend dem gewählten Abstand ab.

Beim Umgang mit hochenergetischen  $\beta$ -Strahlern mit hohen Aktivitäten können auch Ferngreifer zum Einsatz kommen.



**Abschirmmaßnahmen**

können verwirklicht werden mit Materialien geringer Materiedichte. Wegen der gegenüber  $\gamma$ -Strahlern

höheren Strahlenschwächung der  $\beta$ -Strahlen genügen zumeist schon als Abschirmmaterialien Glas- oder Kunststoffscheiben. Hierbei muss allerdings durch entsprechende Dicke der Abschirmmaterialien oder durch die Auswahl entsprechend geeigneter Materialien die Gefahr durch Bremsstrahlung (Röntgenstrahlung) minimiert werden (kein Blei!).

**3. Schutz gegen äußere Bestrahlung bei  $\alpha$ -strahlenden Nukliden**



**Abstand halten!**

Durch die geringere Reichweite der  $\alpha$ -Strahlen in der Luft bzw. der großen Schwächung der  $\alpha$ -Strahlung bereits

schon in der Luft hat die Forderung nach Abstand halten nicht die Bedeutung wie bei den  $\gamma$ - und  $\beta$ -Strahlern. Allerdings darf der Abstand nicht so klein werden, dass Kontaminationen z.B. der Haut auftreten.



**Abschirmmaßnahmen**

Hier genügen zumeist schon Kunststoff- oder Glasbehälter geringere Wanddicke.

Bleischirmungen nur bei  $\alpha$ -Nukliden mit gleichzeitiger  $\gamma$ -Emission.

**8.1.3 Schutz gegen innere Bestrahlung (Inkorporation von Radionukliden)**

Auf den Schutz gegen innere Bestrahlung, d.h. auf die Vermeidung der Inkorporation von Radionukliden muss insbesondere bei  $\alpha$ -Strahlern geachtet werden.

$\alpha$ -Strahler, aber auch andere Korpuskularstrahler vergleichbarer Masse wie die  $\alpha$ -Strahler bewirken gegenüber  $\gamma$ - und  $\beta$ -Strahlern gleicher Energie im Körper die größte Schädigung.

Daher sollten  $\alpha$ -Strahler, sofern die Gefahr der Freisetzung besteht, ab ca. dem 100fachen der Freigrenze in Handschuhkästen gehandhabt werden.

Essen, Rauchen, Trinken, Schnupfen und das Benutzen kosmetischer Mittel sind im Kontrollbereich verboten, damit nicht über Mund und Nase radioaktive Stoffe in den Körper gelangen können.

Die Verwendung mundbedienter Pipettiergeräte ist strengstens verboten.

Zur Vermeidung der Inhalation luftgetragener radioaktiver Stoffe sollte mit diesen je nach Höhe des Freisetzungsgrades in Abzügen oder abgesaugten Handschuhkästen gearbeitet werden.

Auch kann, zur Verminderung des Freisetzungsrisikos, mit geeigneten Rückhaltevorrichtungen (Vorlagen, Kühlfallen) gearbeitet werden.

Die technische Lüftung im Kontrollbereich muss so dimensioniert sein, dass keine zu hohe Konzentration radioaktiver Stoffe in der Laborluft auftritt.

Zur Kontrolle der Lüftungsanlage müssen optische ggf. akustische Überwachungsgeräte vorhanden sein.

### **8.1.4 Schutz vor Kontamination**

Auf den Schutz vor Kontamination müssen insbesondere das Laborpersonal bzw. die Studierenden achten. Die Werte für die Hautkontamination und die Kontamination anderer Organe nach § 54-55 StrlSchV sind zu beachten. Dies bedeutet, dass auch die geringste messbare Kontamination der Haut und anderer Organe unbedingt zu vermeiden ist.

Arbeitsflächen, Arbeitsgeräte sind z.B. durch Abdecken mit Folien, Auslegen mit saugfähigem Material gegen Kontamination und damit gegen Kontaminationsverschleppung an den Körper zu schützen.

Im Kontrollbereich ist grundsätzlich eine persönliche Schutzausrüstung zu tragen (Schutzkittel, Schutzanzug, Schutzhandschuhe, Überschuhe und dergleichen mehr). Diese Schutzausrüstung darf im Labor nicht ausgezogen werden.

Alle Störungen, z.B. Ausfall der Lüftung, Ausfall von Messgeräten, die das sichere Arbeiten beeinträchtigen können, sind dem Strahlenschutzbeauftragten zu melden. Labortüren sind geschlossen zu halten (Wahrung des Unterdrucks).

Zur Vermeidung der Kontamination dürfen Gegenstände des persönlichen Bedarfs (z.B. Handtaschen) nicht in den Kontrollbereich mitgenommen werden. Zwischen den einzelnen Arbeitsschritten und insbesondere beim Verlassen des Kontrollbereiches sind Hände, Schuhe und die sonstige Schutzausrüstung auf Kontamination zu überprüfen. Festgestellte Kontaminationen sind dem Strahlenschutzbeauftragten unverzüglich zu melden.

Gegenstände dürfen aus Strahlenschutzbereichen (Kontroll-, Überwachungsbereiche) nur dann herausgebracht werden, wenn die Grenzwerte nach Anlage III, Spalte 4 (§ 44 StrlSchV) nicht überschritten sind. Die Laborkleidung ist in einem Schwarzweißbereich abzulegen und gegen die Normalkleidung zu tauschen.

Gegenüber den hier nur allgemein angesprochenen Schutzmaßnahmen enthält die nach § 34 Strahlenschutzverordnung zu erstellende Strahlenschutzanweisung detaillierte Festlegungen hinsichtlich der jeweiligen Laborarbeiten.

§ 95 Abs. 1 und 12 StrlSchV i.V. mit Anl. XI, Teil B regelt Arbeiten mit natürlichen

radioaktiven Stoffen an Arbeitsplätzen (Uran-Thoriumverbindungen zu chemisch-analytischen oder chemisch-präparativen Zwecken – die Radioaktivität bleibt dabei unberührt).

## 8.2 Arbeiten mit Röntgenstrahlen

Röntgengeräte gehören wie Kern- $\gamma$ -Quellen zu den Gefahrenquellen, mit denen man in chemischen Laboratorien häufig zu tun hat. Räume, in denen solche Geräte aufgestellt sind, sind durch Warnschilder gekennzeichnet und dürfen nur von befugten Personen betreten werden. Ihr Betrieb ist nur nach Anzeige und ggf. Genehmigung gestattet.

Vor dem Arbeiten an Röntgengeräten (Röntgenfeinstrukturanlagen, Röntgenfluoreszenzanalyse, Mössbauerspektrometer) muss der Studierende vom zuständigen Strahlenschutzbeauftragten unterwiesen worden sein.

Der Studierende darf beim Betrieb einer Röntgeneinrichtung oder eines Störstrahlers nur in Anwesenheit und unter der Aufsicht des zuständigen Strahlenschutzbeauftragten mitwirken (§ 13 Abs. 4 RöV).

Eine Filmplakette (Filmdosimeter), die in regelmäßigen Abständen amtlich ausgewertet wird, ist beim Aufenthalt in Räumen mit  $\gamma$ -Strahlenquellen immer zu tragen.

## 8.3 Arbeiten mit intensiven Lichtquellen, z.B. Laserstrahlen

Intensive Lichtquellen, wie Laser, aber auch Hochdrucklampen (Xenon, Quecksilber) und Lichtbogenlampen sind Gefahrenquellen. In Laboratorien, in

denen Hochdruck- oder Lichtbogenlampen strahlen, ist eine das UV-Licht stark absorbierende Brille zu tragen. Gute Durchlüftung der Räume ist wegen der möglichen Ozonentwicklung notwendig.

Das Auge wird bereits durch Laserstrahlung sehr geringer Energiedichte gefährdet.

Hohe Energiedichte gefährdet jedoch auch die Haut und gegebenenfalls auch tiefer liegende Organe. Richtwerte für die höchstzulässigen Bestrahlungsstärken (MZB-Werte) sowie die notwendigen Schutzmaßnahmen enthalten die UVV „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20) sowie die GUV-Information „Betrieb von Lasereinrichtungen“ (GUV-I 832).

Laserbereiche müssen während des Laserbetriebs abgegrenzt und gekennzeichnet sein. An den Zugängen zu Laserbereichen in geschlossenen Räumen ist der Laserbetrieb durch Warnlampen anzuzeigen.

Im Laserbereich dürfen sich nur solche Beschäftigte aufhalten, die über die gefährlichen Wirkungen der Laserstrahlung und über die notwendigen Schutzmaßnahmen belehrt sind. Sie müssen durch geeignete Maßnahmen vor der Wirkung der Laserstrahlung geschützt werden, insbesondere müssen sie geeignete Augenschutzmittel benutzen.

Laser dürfen nur von unterwiesenen Personen betrieben werden. Bei Verwendung von leistungsstarken Lasern der Klassen 3R, 3B und 4, von denen ein erhebliches Gefährdungspotenzial ausgeht, ist im Betrieb ein Laserschutzbeauftragter für die Überwachung des sicheren Betriebs der Lasereinrichtungen zuständig.

# 9 Gefahren für die Gesundheit

**Dieses Kapitel behandelt die Gesundheitsgefahren, die von Gefahrstoffen ausgehen können. Der Verlauf von Vergiftungen und typische Vergiftungserscheinungen werden besprochen. Es wird eine Einteilung vorgenommen sowohl nach der möglichen Schädigung bestimmter Organe oder Körpersysteme als auch nach Stoffen mit ähnlicher toxischer Wirkung. Den Gefahren und Schutzmaßnahmen beim Umgang mit krebserzeugenden und erbgutverändernden Stoffen ist ein besonderer Abschnitt gewidmet. Weiterhin enthält dieses Kapitel eine Zusammenstellung der wichtigsten krebserzeugenden Stoffklassen sowie im Anhang A ein Verzeichnis der eingestuft krebserzeugenden, erbgutverändernden und fortpflanzungsgefährdenden Stoffe.**

## 9.1 Allgemeine Toxikologie chemischer Arbeitsstoffe

Gefahrstoffe können auf den menschlichen Organismus auf Grund ihrer akuten und chronischen Toxizität sowie ihrer ätzenden, reizenden, sensibilisierenden, krebserzeugenden, erbgutverändernden und fortpflanzungsgefährdenden Eigenschaften gesundheitsschädigend wirken. All diese Faktoren werden bei der Festsetzung der Einstufung und Kennzeichnung eines Stoffes berücksichtigt. § 5 der Gefahrstoffverordnung und die dort aufgeführten EG-Richtlinien enthalten umfangreiche Bestimmungen, nach welchen Kriterien ein bestimmter Stoff einzustufen und zu kennzeichnen ist.

Einen wichtigen Parameter für die Beurteilung der akuten Toxizität eines Stoffes stellen die aus Tierversuchen ermittelten LD<sub>50</sub>-Werte dar (LD: letale Dosis). Der LD<sub>50</sub>-Wert beschreibt die Dosis in mg Substanz pro kg Körpergewicht, bei der nach einmaliger Aufnahme innerhalb von 14 Tagen 50 % der Versuchstiere sterben. Dabei ist je nach den Versuchsbedingungen zu unterscheiden zwischen LD<sub>50</sub> oral bei Aufnahme über den Verdauungstrakt und LD<sub>50</sub> dermal bei Aufnahme über die Haut. Neben der letalen Dosis LD<sub>50</sub> wird zur Beschreibung der akuten Toxizität eines Stoffes auch eine letale Konzentration LC<sub>50</sub> inhalativ bestimmt. LC<sub>50</sub> inhalativ beschreibt diejenige Luftkonzentration eines Gefahrstoffes in mg/l, bei der nach einer vierstündigen Exposition innerhalb von 14 Tagen 50 % der Versuchstiere sterben.

Gemäß der entsprechenden EG-Richtlinie erfolgt die Einstufung eines Gefahrstoffes unter dem Gesichtspunkt der akuten Toxizität nach folgenden Kriterien:



**sehr giftig**

- LD<sub>50</sub> oral, Ratte: ≤ 25 mg/kg
  - LD<sub>50</sub> dermal, Ratte oder Kaninchen: ≤ 50 mg/kg
  - LC<sub>50</sub> inhalativ, Ratte, für Aerosole/Stäube: ≤ 0,25 mg/l
  - LC<sub>50</sub> inhalativ, Ratte, für Gase/Dämpfe: ≤ 0,50 mg/l
- Beispiele: Schwefelwasserstoff, Cyanwasserstoff, Dimethylsulfat, Phosgen, Nitrobenzol und Acrolein.

**giftig**

- LD<sub>50</sub> oral, Ratte:  
 $25 \text{ mg/kg} < LD_{50} \leq 200 \text{ mg/kg}$   
 LD<sub>50</sub> dermal, Ratte oder Kaninchen:  
 $50 \text{ mg/kg} < LD_{50} \leq 400 \text{ mg/kg}$   
 LC<sub>50</sub> inhalativ, Ratte, für Aerosole/Stäube:  
 $0,25 \text{ mg/l} < LC_{50} \leq 1 \text{ mg/l}$   
 LC<sub>50</sub> inhalativ, Ratte, für Gase/Dämpfe:  
 $0,50 \text{ mg/l} < LC_{50} \leq 2 \text{ mg/l}$

Beispiele: Schwefelkohlenstoff,  
 Methanol, Acetonitril, Benzol, Phenol,  
 Tetrachlorkohlenstoff und Chlor.

**gesundheitsschädlich**

- LD<sub>50</sub> oral, Ratte:  
 $200 \text{ mg/kg} < LD_{50} \leq 2000 \text{ mg/kg}$   
 LD<sub>50</sub> dermal, Ratte oder Kaninchen:  
 $400 \text{ mg/kg} < LD_{50} \leq 2000 \text{ mg/kg}$   
 LC<sub>50</sub> inhalativ, Ratte, für Aerosole/Stäube:  
 $1 \text{ mg/l} < LC_{50} \leq 5 \text{ mg/l}$   
 LC<sub>50</sub> inhalativ, Ratte, für Gase/Dämpfe:  
 $2 \text{ mg/l} < LC_{50} \leq 20 \text{ mg/l}$

Beispiele: Toluol, Xylol, Pyridin, *n*-Hexan,  
 Nitromethan, Chloroform und Jod.

### 9.1.1 Verlauf von Vergiftungen

Vergiftungen können einen plötzlichen oder einen schleichenden Verlauf haben (akute oder chronische Vergiftung). Diese Begriffe werden jedoch auch zur Unterscheidung zwischen einer einmaligen und einer lang dauernden Einwirkung von

Schadstoffen verwandt. Im Allgemeinen führen hohe Einzeldosen bzw. -konzentrationen zu akuten Vergiftungen, während chronische Vergiftungen durch wiederholte geringe Dosen entstehen, die jede für sich nur eine schwache Wirkung haben.

Zwischen dem Zeitpunkt der Einwirkung und dem Auftreten erkennbarer Gesundheitsschäden besteht eine unterschiedlich lange Latenzzeit (Sekunden bis Jahrzehnte). Die chronische Intoxikation kann darauf beruhen, dass sich der Schadstoff im Körper anreichert (wie z.B. bei chronischen Schwermetallvergiftungen).

Ein wichtiger Begriff ist die Halbwertszeit für einen Fremdstoff im Körper. Dieser Wert gibt an, nach welcher Zeit die Hälfte der aufgenommenen Dosis wieder aus dem Körper entfernt ist. Chronische Exposition gegenüber kleinen Dosen kann jedoch auch ohne Anreicherung des Stoffes zu einer Schädigung führen. In diesem Falle summieren sich die Effekte der Einzeldosen (Wirkungskumulation).

Die Dosis eines gefährlichen Stoffes, unterhalb derer auch bei langfristiger Einwirkung keine toxische Wirkung auftritt, bezeichnet man als Schwellenwert. Die Existenz von Schwellenwerten lässt sich durch zwei verschiedene Mechanismen erklären:

Erstens kann die Geschwindigkeit der Elimination größer sein als die der Aufnahme, oder zweitens können zelluläre Schäden schneller zurückgebildet werden, als sie entstehen.

## 9.2 Schicksal von Schadstoffen im Organismus

Für die Einschätzung der toxischen Wirkung einer Verbindung, die in den meisten Fällen von der Konzentration des Stoffes am Wirkort abhängt, muss man das Schicksal des Schadstoffes im Organismus kennen.

Die Wechselwirkung zwischen Giftstoff und Organismus lässt sich in folgende Abschnitte einteilen:

- ▶ Exposition und Aufnahme,
- ▶ Verteilung im Organismus,
- ▶ Umsetzung der aufgenommenen Verbindung im Stoffwechsel (Metabolismus) und
- ▶ Elimination des Stoffes.

### 9.2.1 Exposition und Aufnahmewege

Als Faustregel gilt, dass die Gesundheitsschädigung durch das Produkt aus Toxizität und aufgenommener Dosis bestimmt wird. Die Aufnahme kann

- ▶ inhalativ über Lunge (Atemgifte),
- ▶ oral über den Magen-Darmtrakt oder
- ▶ dermal über die Haut und die Schleimhäute

erfolgen.

Inhalation ist die wichtigste Einwirkungsform, durch die toxische Stoffe in den Körper gelangen können. Die orale Inkorporation und die Resorption über die Haut lassen sich leichter vermeiden.

### 9.2.2 Verteilung im Organismus

Von den lokalen Wirkungen, die am Ort der Einwirkung entstehen, unterscheidet man die resorptiven Wirkungen, die darauf beruhen, dass die Substanzen mit dem Blutkreislauf im Körper verteilt werden und zu den betroffenen Organen gelangen.

Die lokalen Wirkungen wie z.B. Verätzen der Haut oder Schleimhäute mit Säuren oder Laugen sind, sobald sie zur Zellerstörung geführt haben, nicht mehr reversibel. Dagegen sind die resorptiven Wirkungen meistens reversibel, wenn rechtzeitig Gegenmaßnahmen ergriffen werden.

Aus dem Blut werden Stoffe durch verschiedene Mechanismen in die Organe aufgenommen. Ungeladene Moleküle können durch die Zellmembranen diffundieren, andere Moleküle benutzen physiologische Carrier (Träger).

Chlorierte Kohlenwasserstoffe, die eine narkotische Wirkung haben, gelangen durch Diffusion in das Gehirn.

Hohe Lipidlöslichkeit erhöht die Aufnahme und vermindert die Elimination aus dem lipidreichen Gewebe.

Dagegen ist die Akkumulation von Quecksilber ein stoffwechselabhängiger Transport.

Leber und Niere haben eine große Kapazität, toxische Stoffe zu akkumulieren. Sie sind auch die wichtigsten Organe für die Umwandlung und Ausscheidung der Verbindungen.

### 9.2.3 Metabolismus

Die meisten organischen Verbindungen werden nicht unverändert ausgeschieden. Durch den Angriff zellulärer Enzyme werden sie chemisch verändert. In der Leber können resorbierte Chemikalien, Pharmaka und Schadstoffe oxidiert, hydrolysiert, reduziert und mit Schwefelsäure oder Glucuronsäure konjugiert werden. Das Ergebnis der Stoffwechselreaktionen sind im Allgemeinen Verbindungen, die leichter ausgeschieden werden können (Entgiftung).

Die metabolische Umwandlung kann jedoch auch zu toxischeren Verbindungen als den Ausgangsstoffen führen. Man nennt dies im Gegensatz zur Entgiftung körpereigene Giftung. So wird z.B. Anilin zu Phenylhydroxylamin oxidiert, bei dessen weiterer Umsetzung zu Nitrosobenzol Methämoglobin gebildet wird.

Schwefelkohlenstoff reagiert mit Amino-Gruppen in Peptiden zu Dithiocarbamat-Verbindungen, die metallkomplexierend wirken und u.a. den Spurenelement-Haushalt stören.

Aus Tetrachlorkohlenstoff entstehen reaktive freie Radikale, die wenigstens zum Teil für den leberschädigenden Effekt verantwortlich sind.

Der Abbau von Methanol verläuft über die Bildung von Formaldehyd zur Ameisensäure, die schließlich zur Erblindung führt.

Das Insektizid Parathion (E 605) wird in seiner Wirkung als Hemmstoff der Acetylcholinesterase durch Oxidation zu Paraoxon verstärkt.

### 9.2.4 Elimination

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

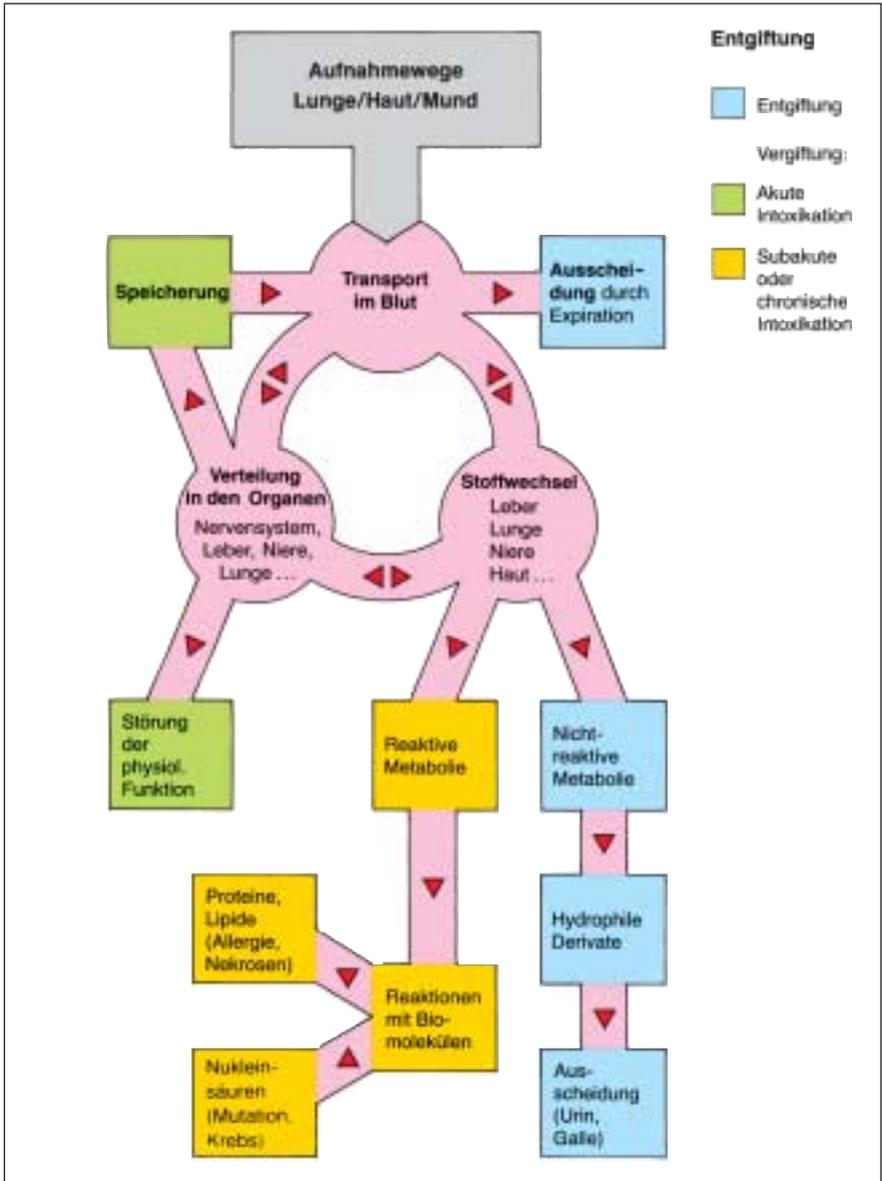
Allgemein kann man sagen, dass alle Stoffe, die als Gas oder Dampf eingeatmet werden, durch Ausatmen abgegeben werden können. Die meisten anderen toxischen Chemikalien und ihre Metaboliten werden durch Urin oder die Faeces ausgeschieden.

Für die Ausscheidung über den Darm ist die Leber die wichtigste Quelle. Die Ausscheidung über die Niere hängt ab von der Filtrationsfähigkeit des Stoffes und den Möglichkeiten der tubulären Zellen, den Stoff zu akkumulieren oder zu sezernieren.

Komplexbildner können die Ausscheidung erhöhen, wenn sie mit den Proteinen um die Bindung des Stoffes konkurrieren. So kann die Ausscheidung von Schwermetallen durch Gabe von Komplexbildnern erhöht werden, wie z.B. die Ausscheidung von anorganischem Quecksilber durch BAL (2,3-Dimercapto-1-propanol) oder Blei durch EDTA (Ethyldiamintetraacetat).

Die schematische Darstellung des Schicksals eines Schadstoffes im Metabolismus gibt einen Überblick über die verschiedenen Möglichkeiten einer Vergiftung und Entgiftung bei Eindringen einer toxischen, hydrophoben Verbindung in den Organismus (siehe Bild 20).

Bild 20



## 9.3 Wirkungen von Schadstoffen

Ätz- und Reizgase reizen die Haut und die Schleimhäute besonders der Atemwege und der Augen. Ihr Auftreten macht sich daher durch Hustenreiz, Stechen in Nase und Rachen sowie Brennen und Tränen der Augen bemerkbar.

Bei bestimmten Gasen können aber die ersten Anzeichen einer Vergiftung sehr schwach sein und es kann dennoch nach mehreren Stunden zu einer schweren Schädigung der Lunge kommen (Lungenödem), die tödlich verlaufen kann. Zum Beispiel können schon wenige Atemzüge konzentrierter nitroser Gase ein Lungenödem auslösen.

### 9.3.1 Ätz- und Reizgase

*Chlorwasserstoff* und *Fluorwasserstoff* wirken als starke Reizstoffe auf die oberen Atemwege, am Auge können Entzündungen der Bindehaut und Hornhautschädigungen hervorgerufen werden.

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

Die Dämpfe von *Chlor* und *Brom* sind wesentlich schwerer als Luft und sammeln sich daher am Boden an, wo sie sich längere Zeit halten können. Bei Einatmung rufen sie Husten, Atemnot und Erstickungserscheinungen hervor.

Auch höhere Konzentrationen von Ammoniak können zu Erstickungs-

erscheinungen und unter raschem Bewusstseinsverlust zum Tode führen.

*Formaldehyd* verursacht allergische Erkrankungen der Haut und besitzt eine auffallend starke Reizwirkung auf Augenschleimhäute und obere Atemwege.

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

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

*Ethylenoxid* reizt die Schleimhäute, führt zu Kopfschmerzen, Erbrechen und Atemnot. Die Dämpfe von *Ethylenimin* verursachen starke Reizungen der Augen- und Luftwege, in schweren Fällen Lungenentzündung und Lungenödem.

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

*Kohlenmonoxid* ist in reinem Zustand geschmack- und farblos und daher nicht

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

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

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

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

### 9.3.3 Erstickende Gase

*Gasförmiger Stickstoff* wird in der Laboratoriums Praxis in erster Linie als Schutzgas, *flüssiger Stickstoff* als Kältemittel

verwendet. Eine Atmosphäre, in welcher durch Zutritt von Stickstoff der Sauerstoffgehalt unter die normale Konzentration vermindert ist, kann durch Sinnesempfindungen nicht von normaler Luft unterschieden werden.

Bei ihrer Einatmung wird jedoch der Organismus, insbesondere das empfindliche Gehirn, nicht mehr ausreichend mit Sauerstoff versorgt. Wenn die Sauerstoffkonzentration auf unter 12 Vol.-% vermindert ist, besteht akute Lebensgefahr, bei Konzentrationen zwischen 12 und 15 Vol.-% Sauerstoff zumindest eine Beeinträchtigung des Leistungsvermögens. Bereits ein Atemzug reinen Stickstoffs kann ohne jede Vorwarnung zu Bewusstseinsverlust und Atemstillstand führen, so dass der Tod eintritt, wenn nicht rechtzeitig Wiederbelebungsmaßnahmen vorgenommen werden.

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

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

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

### 9.3.4 Säuren und Laugen

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

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

Besonders gefährlich sind auch die Verletzungen durch *Flusssäure*, da die Schmerzen häufig erst mehrere Stunden nach der Einwirkung auftreten. Rasche und gezielte ärztliche Hilfe ist beim Kontakt mit konzentrierter Flusssäure besonders wichtig.

Sind Arbeiten durchzuführen, bei denen mit dem Verspritzen von Säuren bzw. Laugen gerechnet werden muss, so sind die Augen durch eine dicht schließende Korbbrille evtl. in Kombination mit einem Gesichtsschutzschild zu schützen.

Als Handschutz können Handschuhe aus Nitril- oder Butylkautschuk oder PVC eingesetzt werden.

In Abhängigkeit von dem Ausmaß der möglichen Gefährdung sind zusätzlich Schürzen und Stiefel aus geeigneten Materialien (PVC, Kautschuk) zu tragen.

### 9.3.5 Lösemittel

Fast alle *Lösemittel*, auch solche, die keine spezifischen Gifteigenschaften haben, wie z.B. Diethylether, Aceton, Essigsäureethylester, wirken bei Einatmung in geringen Mengen berauschend, in größeren Konzentrationen (einige Vol.-%) narkotisierend. Bei länger andauernder Einwirkung von höheren Konzentrationen droht Lebensgefahr durch Atemlähmung.

*Chlorkohlenwasserstoffe* wie Monochlormethan, Dichlormethan, Tetrachlorkohlenstoff und Trichlorethylen können darüber hinaus Leber- und Nierenschädigungen sowie Kreislaufstörungen hervorrufen.

Wegen ihrer hohen akuten Giftigkeit dürfen z.B. *Dichlormethan (Methylenchlorid)*, *Chloroform* und *Tetrachlorkohlenstoff* nicht als Reinigungs- oder Entfettungsmittel, z.B. für Glasgeräte, verwendet werden. Die Einatmung sehr kleiner, auch unter der Geruchsschwelle liegender Mengen von Chlorkohlenwasserstoffen über einen längeren Zeitraum, kann chronische Gesundheitsschäden, z.B. Leberschäden, hervorrufen. Diese Giftwirkung wird durch Alkohol und bestimmte Medikamente (z.B. Barbiturate) verstärkt.

### 9.3.6 Stäube

Eingeatmete *Stäube* wirken als Fremdkörper und führen daher stets zu einer Reizung der Atmungsorgane.

Als besonders gefährlich haben sich dabei die biobeständigen Mineralien *Quarz* und *Asbest* erwiesen. Sie können bei chroni-

scher Einwirkung zu schweren Erkrankungen der Lunge führen. Voraussetzung dafür ist, dass die Stäube in genügend feinteiliger Form vorliegen, um mit der Atemluft in die Lunge zu gelangen (Lungengängigkeit).

Die Einatmung von *Quarzstaub* mit einem aerodynamischen Durchmesser von unter 10 µm (alveolengängige Fraktion) kann in 5 bis 10 Jahren, manchmal in kürzerer Zeit, das Krankheitsbild der Silikose auslösen. Bronchitis, Atemnot und Überlastung des Herzens können die Folge sein und im ungünstigen Fall zum Tode führen. Als Komplikation kann Tuberkulose auftreten.

Die verschiedenen, natürlich vorkommenden *Asbestminerale* (*Chrysotilasbest*, *Amphibolasbeste*) liegen faserförmig vor und haben die Eigenschaft, parallel zur Faserachse zu feinsten Fäserchen aufzuspalten. Wird ein Faserdurchmesser von 3 µm unterschritten, können Fasern bis zu einer Länge von etwa 100 µm durch Einatmung in der Lunge eingelagert werden. Sie können von dort aus zu anderen Körpergeweben, insbesondere zum Brustfell weiterwandern („Pleuradrift“). In der Lunge kann durch Asbestfasern die Asbestose verursacht werden, eine Krankheit, die der Silikose vergleichbar ist und bei der gewöhnlich eine massive Exposition vorausgegangen ist. Asbestfasern können ferner nach einer Latenzzeit von 20 Jahren oder mehr auch nach nur geringer Exposition Lungenkrebs sowie Krebserkrankungen des Rippen- und Bauchfells (Mesotheliome) hervorrufen.

### 9.3.7 Arbeitsplatzgrenzwerte

Zur Vorbeugung gegen die Giftwirkung von Stoffen, die über die Atemwege aufgenommen werden können, ist es wichtig, diejenigen Konzentrationen in der Arbeitsluft zu kennen, bei denen nach Auffassung toxikologischer und arbeitsmedizinischer Fachleute auch bei länger dauernder Einwirkung eine Gesundheitsgefährdung nicht besteht. Dies sind die „Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW)“.

Die nachfolgende Tabelle gibt einige Beispiele zu Arbeitsplatzgrenzwerten (AGW).

#### Stand Januar 2006

Beispiele	ml/m <sup>3</sup> (ppm)	mg/m <sup>3</sup>
Quecksilber	0,01	0,1
Phosphorwasserstoff	0,1	0,14
Salpetersäure	2	5,2
Chlorwasserstoff	2	3
Fluor	0,1	0,16
Chlor	0,5	1,5
Iod	0,1	1,1
N,N-Dimethylformamid	10	30
Diethylether	400	1200
Dioxan	20	73
Aceton	500	1200
Ethanol	500	960
Methanol	20	270
Toluol	50	190
Tetrahydrofuran	50	150
Pentan	1000	3000
Cyclohexan	200	700
n-Hexan	50	180
Acetonitril	20	34
Tetrachlorkohlenstoff	0,5	3,2
Kohlenstoffmonoxid	30	35
Kohlenstoffdioxid	5000	9100

Quelle: TRGS 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“, Ausgabe Januar 2006

Der AWG ist der Grenzwert für die zeitlich gewichtete durchschnittliche Konzentration eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz in Bezug auf einen gegebenen Referenzzeitraum. Er gibt an, bei welcher Konzentration eines Stoffes akute oder chronische schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit im Allgemeinen nicht zu erwarten sind.

AGW werden für gesunde Personen in erwerbsfähigem Alter aufgestellt. Die AGW haben die früheren Maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen (MAK-Werte) und Technischen Richtkonzentrationen (TRK-Werte) abgelöst. Dies wurde notwendig, weil einige MAK-Werte und definitionsgemäß alle TRK-Werte nicht arbeitsmedizinisch, sondern technisch begründet waren. AGW werden nach Votum des Ausschusses für Gefahrstoffe (AGS) – einem Fachgremium, das sich aus den im Gefahrstoffbereich relevanten Gruppierungen zusammensetzt – vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) in der TRGS 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“ bekannt gegeben und damit rechtsverbindlich.

## 9.4 **Krebserzeugende, erbgutverändernde und fortpflanzungsgefährdende Stoffe**

### 9.4.1 **Rechtsgrundlagen**

Besondere Vorsicht erfordert der Umgang mit krebserzeugenden (kanzerogenen), erbgutverändernden (mutagenen) und fortpflanzungsgefährdenden (reproduktionstoxischen) Stoffen (sog. KMR-Stoffe). Diese Stoffe können bereits in sehr niedrigen Dosen irreversible und kumulative Schäden der Gesundheit hervorrufen. *Erbgutverändernde Stoffe* können durch Veränderungen des genetischen Materials von Keimzellen vererbbar genetische Schäden, *krebserzeugende Stoffe* durch Veränderungen des genetischen Materials von Körperzellen Tumore hervorrufen. Das Besondere der krebserzeugenden Stoffe ist, dass in der Regel eine lange Latenzzeit (Jahre oder Jahrzehnte) zwischen der Exposition und dem Auftreten einer Krebserkrankung besteht.

Die *fortpflanzungsgefährdenden Stoffe* unterteilen sich einerseits in fruchtschädigende Stoffe, die nicht vererbbar Schäden (Missbildungen) am Embryo verursachen können, und andererseits in Stoffe, die die männliche oder weibliche Fortpflanzungsfunktion oder -fähigkeit (Fruchtbarkeit) beeinträchtigen können.

Wegen der besonderen Gefahren, die von krebserzeugenden, erbgutverändernden und fortpflanzungsgefährdenden Stoffen ausgehen, sind Herstellungs- und Verwendungsverbote (§ 18 in Verbindung mit Anhang IV Gefahrstoffverordnung und Chemikalienverbotsverordnung), Beschäftigungsverbote und -beschränkungen (Mutterschutzgesetz, Mutterschutzrichtlinienverordnung sowie Jugendarbeitsschutzgesetz) sowie besondere Schutzmaßnahmen (§ 11 Gefahrstoffverordnung) und Unterrichtspflichten (§ 14 Gefahrstoffverordnung) zu beachten.

Für werdende Mütter gilt nach der „Verordnung zum Schutze der Mütter am Arbeitsplatz“ (Artikel 1 der Mutterschutzrichtlinienverordnung) ein generelles Expositionsverbot gegenüber krebserzeugenden, erbgutverändernden oder fruchtschädigenden Stoffen.

Ein Verzeichnis derjenigen Stoffe, die nach gesicherten wissenschaftlichen Erkenntnissen als krebserzeugend, erbgutverändernd oder fortpflanzungsgefährdend einzustufen sind, befindet sich im Anhang A.

Bei vielen toxischen Stoffen kann anhand von Dosis/Wirkungsbeziehungen ein Schwellenwert (NOEL = No Observed Effect Level) angegeben werden, unter dem unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen keine beobachtbaren Effekte (Schädigungen) auftreten. Für diese Stoffe können AWG aufgestellt werden, die in aller Regel den Schwellenwerten entsprechen.

Für krebserzeugende oder erbgutverändernde Stoffe lassen sich dagegen in der Regel keine Wirkungsschwellen definieren.

Bei solchen Stoffen, die zu Veränderungen des genetischen Materials, der DNS, führen, ist davon auszugehen, dass auch geringste Expositionen irreversible Schäden hervorrufen können.

Die Gefahrstoffverordnung setzt ganz auf das Substitutions- und das Minimierungsgebot. Dieses Schutzziel gilt als erreicht, wenn Tätigkeiten mit Gefahrstoffen in Anlagen und nach Verfahren durchgeführt werden, die dem Stand der Technik entsprechen. Dieser soll in „verfahrens- und stoffspezifischen Kriterien (VSK)“ festgeschrieben werden. Es ist vorgesehen, auch für Laborarbeiten eine solche Regelung zu erstellen.

### 9.4.2 Wichtige Stoffklassen krebserzeugender bzw. krebverdächtiger Substanzen

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

### 9.4.3 Biochemische Wirkungen von krebserzeugenden Stoffen

*Krebserzeugende Stoffe (Carcinogene)* greifen unmittelbar oder mittelbar in den Zellstoffwechsel ein, so dass normale Zellen in Krebszellen umgewandelt werden. Es können lokale Geschwülste am Ort der Einwirkung oder auch maligne Tumoren in verschiedenen Geweben bzw. Erfolgsorganen entfernt vom Ort der unmittelbaren Einwirkung entstehen (Blasentumor durch Benzidin, Mesothelzellenkrebs nach Asbest-Exposition, ausgeprägte Organotropie von Dialkylnitrosaminen).

Die *Partialdosen* einer krebserzeugenden Substanz addieren sich in der krebserzeugenden Wirkung. Mit zunehmender Gesamtdosis wächst die Tumorfähigkeit im Tierversuch und verkürzt sich die Latenzzeit.

Die Wirkungen verschiedener Carcinogene können sich addieren bzw. potenzieren. Als *Cocarcinogene* bezeichnet man Substanzen, die selbst keine maligne Zelltransformation auslösen, jedoch die Wirkung krebserzeugender Substanzen verstärken. Als allgemeiner Wirkungsmechanismus für organische Carcinogene mit ganz unterschiedlicher Struktur wurden Alkylierungs- bzw. Arylierungsreaktionen mit Makromolekülen der Zelle (Nucleinsäuren, Proteine) erkannt.

Einige Verbindungen wirken ohne enzymatische Aktivierung alkylierend (direkte Alkylantien), wie z.B. Dimethylsulfat und Diazomethan; andere werden erst durch den Stoffwechsel der Zelle in reaktive Zwischenprodukte umgewandelt (indirekte Alkylantien), wie z.B. Dimethylnitrosamin.

*Aromatische Kohlenwasserstoffe* werden im Stoffwechsel zu polaren Verbindungen oxidiert (u.a. Abbau zu aromatischen Alkoholen), die insbesondere durch die Konjugation mit Schwefelsäure und Glucuronsäure ausscheidungsfähig gemacht werden. Der Weg der metabolischen Entgiftung verläuft jedoch über reaktive Zwischenverbindungen (Epoxide), die wiederum mit Desoxyribonucleinsäuren reagieren können. Man spricht in diesem Falle bei den reaktionsträgen Ausgangsverbindungen von *Präcarcinogenen*, die durch enzymkatalysierte Reaktionen in *ultimale Carcinogene* umgewandelt werden.

Aus der Stoffklasse der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe sind einige Verbindungen Präcarcinogene, andere dagegen nicht. Deshalb kann man ohne eingehende Untersuchungen keine Aussage über die Gefährlichkeit eines Stoffes machen, was bedeutet, dass die Vorsichtsmaßnahmen alle Stoffe einschließen müssen, solange ihre Ungefährlichkeit nicht nachgewiesen wurde.

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

#### **9.4.4 Sicherheitsmaßnahmen beim Umgang mit krebserzeugenden und erbgutverändernden Stoffen**

##### **Substitutions- und Minimierungsgebot**

Oberstes Gebot der Gefahrstoffverordnung ist der Ersatz von Gefahrstoffen durch

weniger gefährliche Stoffe bzw. die Umstellung auf Verfahren, bei denen besonders gefährliche Ausgangs- und Zwischenprodukte vermieden oder minimiert werden. Beispielsweise lässt sich Benzol als Lösemittel in vielen Fällen durch Toluol oder Cyclohexan ersetzen, N-Nitroso-N-methylharnstoff für die Darstellung von Diazomethan durch das ungefährlichere N-Nitroso-N-methyl-p-toluolsulfonamid.

Der Verzicht auf eine mögliche Substitution ist in der Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung zu begründen (§ 9 Abs. 1 GefStoffV). In diesem Fall sind dann besondere Maßnahmen erforderlich:

##### **Besondere Schutzmaßnahmen**

- Arbeiten mit KMR-Stoffen sind generell im Abzug mit kleinstmöglichen Mengen, möglichst in geschlossenen Apparaturen, durchzuführen.
- Direkter Hautkontakt ist auf jeden Fall zu vermeiden. Geeignete persönliche Schutzausrüstung (Schutzhandschuhe, ggf. weiterer Körperschutz und Atemschutz) ist bereitzustellen und zu tragen.
- Es ist dafür zu sorgen, dass sich in den Bereichen, in denen mit KMR-Stoffen (aber auch mit anderen gefährlichen toxischen Stoffen) gearbeitet wird, keine labor- oder praktikumsfremden Personen aufhalten. In den Fällen, wo Tätigkeiten mit KMR-Stoffen der Kategorie 1 oder 2 (beim Menschen bzw. im Tierversuch erwiesenermaßen gefährlich) durchgeführt werden, sind diese Bereiche abzugrenzen und zu kennzeichnen. Dies kann z.B. ein einzelner Abzug sein.

### **Entsorgungsmaßnahmen**

Kontaminierte Kolben, Pipetten, Spatel usw. sind nach der Benutzung mit geeigneten Reagenzien in der Art chemisch vorzubehandeln, dass die krebserzeugenden und erbgutverändernden Stoffe zu weniger gesundheitsschädlichen Stoffen umgewandelt werden. Beispiel: Umsetzung von Dimethylsulfat mit Ammoniaklösung.

Krebserzeugende und erbgutverändernde Stoffe sind in eigenen Abfallbehältern zu sammeln. Das Befüllen dieser Behälter muss in Abzügen oder unter Absaugung erfolgen. Die Behälter sind geschlossen zu halten.

Verschüttete Substanzen wenn möglich chemisch zu weniger gesundheitsschädlichen Substanzen umsetzen; Flüssigkeiten mit geeigneten Absorptionsgranulat aufnehmen, in dichten Kunststoffbeuteln verpacken und sachgerecht verbrennen lassen. Bei der Entsorgung von verschütteten Substanzen Körper- und Atemschutz verwenden!

# 10 Atemschutz

## 10.1 Physiologische Grundlagen der Atmung

Die Atmung ist ein lebenswichtiger Vorgang, bei dem das Blut mit der notwendigen Menge Sauerstoff versorgt wird. Der Sauerstoffaustausch findet in der Lunge an ca. 300 Millionen Alveolen (Lungenbläschen) mit einer Oberfläche von 80–100 m<sup>2</sup> statt. Die Atemfrequenz wird über die CO<sub>2</sub>-Konzentration im Blut geregelt; ein Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration im Blut um 0,2 % verdoppelt sie. Der ruhende Mensch atmet 16-mal in der Minute und hat dabei einen Luftverbrauch von ca. 10 l/min. Die Atemfrequenz erhöht sich mit zunehmender Arbeitsleistung. Bei Schwerstarbeit kann der Atemluftverbrauch bis auf 100 l/min ansteigen.

Die eingeatmete Luft hat einen Gehalt von 21 % Sauerstoff und 0,04 % CO<sub>2</sub>, die ausgeatmete Luft einen Gehalt von 17 % Sauerstoff und 4 % CO<sub>2</sub>. Sauerstoffkonzentrationen unter 15 % bedingen erhebliche Leistungsminderungen mit großen Gefahren – Bewusstlosigkeit bis hin zu Todesfolgen.

## 10.2 Bereiche des Atemschutzes



Die verschiedenen Bereiche des Atemschutzes sind in der Übersicht auf Seite 71 zu sehen. Im Rahmen dieser Einführung sollen nur Filtergeräte (umgebungs-luft-abhängiger Atemschutz) und Pressluftatmer (umgebungs-luft-unabhängiger Atemschutz) besprochen werden. Über die anderen Gebiete

des Atemschutzes informiert die entsprechende Fachliteratur, z.B. die GUV-Regel „Benutzung von Atemschutzgeräten“ (GUV-R 190, bisher GUV 20.14).

## 10.3 Filtergeräte

Atemschutzmasken sind nach den Unfallverhütungsvorschriften und der Gefahrstoffverordnung da einzusetzen oder bereitzuhalten, wo bei der Arbeit oder für die Rettung nach einem Schadensfall mit gesundheitsgefährdenden Stoffen in der Atemluft gerechnet werden muss.

Die Atemschutzmasken sind außerhalb der gefährdeten Bereiche, jedoch für die Beschäftigten schnell erreichbar aufzubewahren (z.B. Gasmaskenschrank im Flur).

Bei Arbeiten mit Druckgasflaschen, die die besonders gesundheitsgefährlichen Gase Schwefelwasserstoff, Phosphorwasserstoff, Phosgen oder Fluor enthalten, ist ein geeignetes Atemschutzgerät (z.B. ein an die Kleidung anheftbares Fluchtfiltergerät mit einem Gasfilter des Filtertyps ABEK, siehe Bild 21) dauernd mitzuführen, um eine eventuelle Flucht aus dem Gefahrenbereich zu ermöglichen.

Viertelmasken umschließen Mund und Nase, Halbmasken Mund, Nase und Kinn. Diese beiden Maskentypen schützen jedoch nicht vor Augenreizungen oder -verätzungen.

Vollmasken umschließen das ganze Gesicht und bieten somit einen vollständigen Schutz; daher sollten sie im Laboratorium ausschließlich eingesetzt werden (siehe Bild 21).

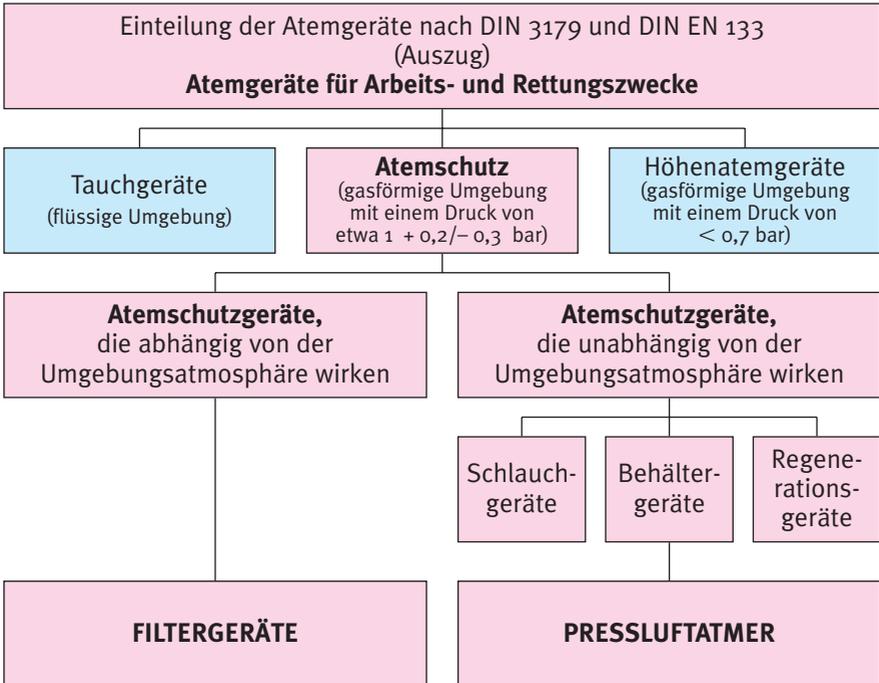


Bild 21



Bild 22



Bei der Auswahl des richtigen Atemschutzfilters sind folgende Voraussetzungen zu beachten:

- ▶ Die Sauerstoffkonzentration muss mindestens 17 Vol.-% betragen.
- ▶ Art und Zusammensetzung der Schadstoffe müssen bekannt sein, da sie den Filtertyp bestimmen.
- ▶ Die Konzentrationen von gasförmigen Schadstoffen und Partikeln in der Luft dürfen die in den beiden nachfolgenden Tabellen aufgeführten Höchstkonzentrationen nicht übersteigen.

Atemschutzfilter werden nach Filtertypen und Filterklassen bezeichnet.

Der *Filtertyp* beschreibt die jeweilige Schadstoffart, die aus der Einatemluft herausgefiltert wird, die *Filterklasse* das jeweilige Aufnahmevermögen des Atemschutzfilters.

Einen Überblick über die gängigen Filtertypen und Filterklassen geben die beiden nachfolgenden Tabellen.

Beim *Gasfiltertyp A* (für organische Stoffe) besteht das Filtermaterial in der Regel aus Aktivkohle mit großer spezifischer Oberfläche, an der die Schadgase absorbiert werden.

Bei den *übrigen Gasfiltertypen* – bis auf Kohlenmonoxid-Filter – werden imprägnierte Aktivkohlen verwendet, an der die Schadstoffe absorbiert und chemisch gebunden werden.

Der *CO-Filter* enthält einen speziellen Katalysator (Hopkalit), der das Kohlenmonoxid zu Kohlendioxid umsetzt.

Ein besonderes Problem stellt das Herausfiltern von organischen Stoffen aus der Luft mit einem Siedepunkt unter 65 °C („Niedrigsieder“) dar. Es konnte gezeigt werden, dass diese Stoffe (wie z.B. Methylenchlorid oder Aceton) nur schlecht von Gasfiltern des Filtertyps A gebunden werden. Entsprechend ihres Abscheideverhaltens (und weiterer Kriterien) werden Niedrigsieder in 4 Gruppen eingeteilt (siehe Anhang B).

Vor Niedrigsiedern der Gruppen 1 und 2 schützen *AX-Filter*.

Bei Niedrigsiedern der Gruppe 3 sind andere Filtertypen (*Typ B oder K*) einzusetzen.

Keine geeigneten Filter gibt es gegenwärtig zum Schutz vor Niedrigsiedern der Gruppe 4.

*SX-Filter* schützen nur vor bestimmten Einzelstoffen, die vom Hersteller auf dem Filter angegeben sind.

Neben Atemfiltern, die nur einen Gasfiltertyp enthalten, werden auch sog. *Mehrbereichsfilter* (z.B. ABEK) angeboten, in denen die einzelnen Gasfiltertypen (z.B. A, B, E und K) integriert sind.

*Kombinationsfilter* vereinigen Gas- und Partikelfilter in einem Gehäuse (siehe Bild 23). Die Atemluft wird dabei zunächst im *Partikelfilter* von Feststoffpartikeln und Tröpfchenaerosolen gereinigt und dann im *Gasfilter* von gas- und dampfförmigen Schadstoffen. Diese Anordnung schützt auch zuverlässig gegen flüchtige Partikel.

**Filtertypen und Filterklassen von Gasfiltern nach DIN EN 141 und DIN 3181 Teil 3**

Typ	Kennfarbe	Hauptanwendungsbereich	Klasse	Höchstzulässige Gaskonzentration
<b>A</b>	braun	Organische Gase und Dämpfe mit Siedepunkt > 65 °C	1	1000 ml/m <sup>3</sup> (0,1 Vol.-%)
			2	5000 ml/m <sup>3</sup> (0,5 Vol.-%)
			3	10000 ml/m <sup>3</sup> (1,0 Vol.-%)
<b>B</b>	grau	Anorganische Gase und Dämpfe, z.B. Chlor, Schwefelwasserstoff, Cyanwasserstoff – nicht gegen Kohlenmonoxid	1	1000 ml/m <sup>3</sup> (0,1 Vol.-%)
			2	5000 ml/m <sup>3</sup> (0,5 Vol.-%)
			3	10000 ml/m <sup>3</sup> (1,0 Vol.-%)
<b>E</b>	gelb	Schwefeldioxid, Chlorwasserstoff und andere saure Gase	1	1000 ml/m <sup>3</sup> (0,1 Vol.-%)
			2	5000 ml/m <sup>3</sup> (0,5 Vol.-%)
			3	10000 ml/m <sup>3</sup> (1,0 Vol.-%)
<b>K</b>	grün	Ammoniak und organische Ammoniak-Derivate	1	1000 ml/m <sup>3</sup> (0,1 Vol.-%)
			2	5000 ml/m <sup>3</sup> (0,5 Vol.-%)
			3	10000 ml/m <sup>3</sup> (1,0 Vol.-%)
<b>AX</b>	braun	niedrigsiedende organische Verbindungen (Siedepunkt ≤ 65 °C) der Niedrigsiedergruppen 1 und 2 (s. Anhang B)	–	Gr. 1 100 ml/m <sup>3</sup> f. max. 40 min Gr. 1 500 ml/m <sup>3</sup> f. max. 20 min Gr. 2 1000 ml/m <sup>3</sup> f. max. 60 min Gr. 2 5000 ml/m <sup>3</sup> f. max. 20 min
<b>SX</b>	violett	wie vom Hersteller festgelegt	–	5000 ml/m <sup>3</sup> (0,5 Vol.-%)
<b>NO</b>	blau	nitrose Gase z.B. NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub>	–	s. Abschnitte 3.3.3.2 u. 3.3.3.3 der GUV-Regel „Benutzung von Atemschutzgeräten“ (GUV-R 190) u./o. Benutzer-Hinweis des Herstellers
<b>Hg</b>	rot	Quecksilber	–	s. Abschnitte 3.3.3.2 u. 3.3.3.3 der GUV-Regel „Benutzung von Atemschutzgeräten“ (GUV-R 190) u./o. Benutzer-Hinweis des Herstellers
<b>CO</b>	schwarz	Kohlenmonoxid	–	spezielle Anwendungsrichtlinien
<b>Reaktor</b>	orange	radioaktives Iod, einschl. radioaktivem Iodmethan	–	spezielle Anwendungsrichtlinien

**Filterklassen von Partikelfiltern nach DIN EN 143**

Typ	Kennfarbe	Hauptanwendungsbereich	Klasse	Rückhaltevermögen und höchstzulässige Konzentration in Vielfachem des jeweiligen Luftgrenzwertes bei Verwendung einer Vollmaske
<b>P</b>	weiß	Feststoffpartikel (Stäube, Rauche) Feststoffpartikel und Tröpfchenaerosole Feststoffpartikel und Tröpfchenaerosole	1	gering 4
			2	mittel 15
			3	hoch 400

Bild 23:  
**Kombinationsfilter**

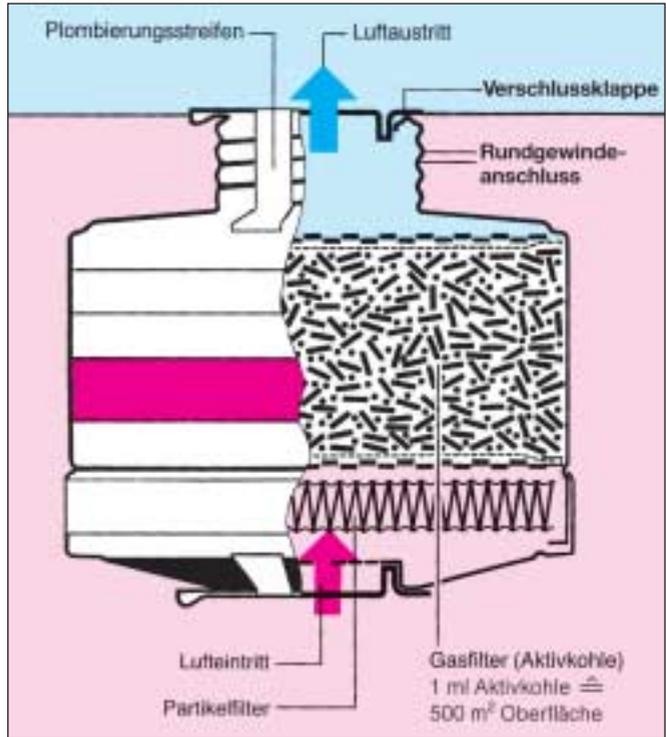


Bild 24:



**Kennzeichnung von Atemfiltern nach  
DIN EN 141 und DIN EN 143**

Atemfilter müssen gekennzeichnet sein.  
Die Kennzeichnung muss enthalten:

Beispiel für Kombinationsfilter

- Filtertyp
- Filterklasse
- Kennfarbe
- Hersteller
- Nennung der gültigen Norm
- Ablaufdatum der Lagerzeit
- Hinweis „Siehe Gebrauchsanleitung“

Alle bei der Auswahl des Filters zu berücksichtigenden Voraussetzungen sind unbedingt zu beachten. Für den allgemeinen Laborbetrieb sind *Kombinationsfilter des Mehrbereichsfiltertyps ABEK-P* besonders geeignet. Allerdings ist zu beachten, dass zum Schutz vor Niedrigsiedern auch diese Kombinationsfilter nicht geeignet sind.

Die Einsatzdauer eines Atemfilters hängt von seinem Aufnahme- und Rückhaltevermögen und den Einsatzbedingungen ab. Luftverbrauch des Atemschutzmaskenträgers, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Schadstoffkonzentration und Schadstoffzusammensetzung setzen die Grenzen. Die Erschöpfung eines Kombinationsfilters zeigt sich durch Geruchswahrnehmung und/oder erhöhten Atemwiderstand an.

Die Lagerzeit fabrikmäßig verschlossener Filter ist mit Monat und Jahr auf dem Filterkörper angegeben. Wird eine Atemschutzmaske zur Durchführung eines Experiments, bei dem Gefahrstoffe zum Einsatz kommen, vorsorglich mit einem Filter bestückt, so ist der Filter nach Abschluss des Experiments ohne Einsatz von der Maske abzuschrauben, mit den Kunststoffkappen zu verschließen und

auf dem Filterkörper deutlich mit dem Öffnungsdatum zu beschriften. Das so gekennzeichnete Filter (Ausnahme: AX-Filter) kann noch 6 Monate bei voller Leistungsgarantie zum Einsatz kommen; dann ist es zu ersetzen.

AX-Filter dürfen generell nur im Anlieferungszustand verwendet werden. Die wiederholte Benutzung von AX-Filtern ist nur innerhalb eines Arbeitstages (8 Stunden) zulässig.

#### 10.4 Pressluftatmer

Bei Gefahr von Sauerstoffmangel in der Umgebungsluft unter 17 Vol.-% und/oder bei zu hoher Schadstoffkonzentration muss umgebungsluft-unabhängiger Atemschutz benutzt werden. Hierzu eignen sich *Pressluftatmer*, bei denen dem Geräteträger verdichtete Luft natürlicher Zusammensetzung aus einer meist auf dem Rücken getragenen Stahlflasche zugeführt wird.

Pressluftatmer dürfen nur von ausgebildeten und körperlich dazu geeigneten Personen benutzt werden.

# 11 Erste Hilfe bei Chemieunfällen

## 11.1 Allgemeine Maßnahmen



**Verletzten bzw. Vergifteten aus dem Gefahrenbereich bergen, Selbstschutz beachten.**

Der Ort für die Erstversorgung sollte so gewählt werden, dass ein schneller Abtransport möglich ist und weitere Hilfspersonen nicht in den Gefahrenbereich müssen. Der Ersthelfer muss sich, soweit erforderlich, selbst schützen (Schutzhandschuhe, Säureschutzkleidung, Atemschutz usw.).



### **Notruf**

Rettungsdienste verständigen

### **Notrufangaben:**

**WO** geschah es?

**WAS** geschah?

**WIE VIELE** Verletzte?

**WELCHE** Art von Verletzungen?

**WARTEN** auf Rückfragen!



### **Abtransport organisieren**

Die Besatzung des Rettungswagens vor und im Gebäude einweisen. Kranken-Transportwege frei machen.



### **Arzt anfordern**

Bei allen schweren Unfällen sofort ärztliche Hilfe anfordern.



### **Melden**

Unfälle prinzipiell dem Laborleiter melden. Studenten in Praktika wenden sich an ihren zuständigen Assistenten.

Sind Personen verletzt, muss der Laborleiter unverzüglich eine Unfallanzeige ausfüllen und an den zuständigen Unfallversicherungsträger senden.



Tödliche Unfälle, besonders schwere Unfälle und Massenunfälle sofort telefonisch oder mit Fax dem zuständigen Unfallversicherungsträger und dem Gewerbeaufsichtsamt melden.

Alle Verletzungen, auch kleinere, in das Verbandbuch (GUV-I 511-1) eintragen.

## 11.2 Sofortmaßnahmen der Ersten Hilfe

Im Folgenden werden einige besonders wichtige Maßnahmen der Ersten Hilfe genannt. Diese Aufzählung kann eine eingehendere Information und insbesondere eine praktische Ausbildung in Erster Hilfe nicht ersetzen. Jeder Chemiestudierende ist daher aufgefordert, an einem Erster-Hilfe-Kurs teilzunehmen. Ausführliche Hinweise auf Erste-Hilfe-Maßnahmen können aus der „Anleitung zur Ersten Hilfe bei Unfällen“ (GUV-I 510) sowie der GUV-Information „Erste Hilfe bei Einwirken gefährlicher chemischer Stoffe“ (GUV-I 8504) entnommen werden.

Allgemein sollten Sie Folgendes beachten:



- Frischluftzufuhr ermöglichen.
- Beengende Kleidung öffnen.
- Benetzte Kleidungsstücke entfernen (gilt auch für die Unterwäsche).



➔ Benetzte Haut  
mit viel Wasser abspülen.



Wenn Spritzer in die Augen  
geraten sind  
➔ Augen mit Augendusche  
mind. 10 Min. mit Wasser  
spülen; dabei mit Daumen  
und Zeigefinger Lidspalt  
offen halten.



➔ Verletzten nicht abkühlen  
lassen.  
➔ Wenn möglich, auf eine  
Unfalltrage oder eine  
Decke legen und zudecken.



➔ Ein Bewusstloser muss  
in stabile Seitenlage  
gebracht werden.

### Für spezielle Fälle gilt: Bei Atemstillstand:



Bei Atemstillstand kann nur  
sofortige Beatmung Leben  
retten; Sekunden entscheiden.

#### Erkennen:

Keine Atemgeräusche,  
keine Atembewegung,  
auffallende Hautverfärbung.

#### Maßnahmen:

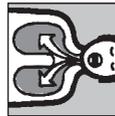
- ➔ Streckung des Halses zur  
Schaffung freier Atemwege.
- ➔ Erforderlichenfalls Fremd-  
körper aus Mund und  
Rachen entfernen.
- ➔ Atemspende:  
Mund-zu-Mund- oder  
Mund-zu-Nase-Beatmung.

### Bei Bewusstlosigkeit:



#### Erkennen:

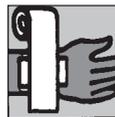
Der Bewusstlose ist nicht  
ansprechbar.



#### Maßnahmen:

- ➔ Feststellen der Atmung,
- ➔ stabile Seitenlagerung.
- ➔ Falls keine Atmung  
vorhanden,  
siehe Atemstillstand.

### Bei Blutungen aus Wunden:



#### Maßnahmen:

- ➔ Jede Wunde keimfrei  
bedecken.
- Fast alle Blutungen sind  
mit einem Verband oder  
Druckverband zu stillen.

### Bei Kreislaufstillstand:



#### Erkennen:

Keine Atmung,  
kein Herzschlag.



#### Maßnahmen:

- ➔ Herz-Lungen-  
Wiederbelebung.

### Bei Knochenbrüchen:



#### Maßnahmen:

- ➔ Körperteil mit Bruchstelle nicht bewegen.
- ➔ Bei Verdacht auf Wirbelsäulenverletzungen Lage des Verletzten nicht ändern.
- ➔ Lage des Verletzten durch Decken und feste Gegenstände fixieren.
- ➔ Bei offenem Knochenbruch Wunde vorsichtig keimfrei bedecken.

### Bei Schock:



#### Erkennen:

Schneller und schwächer werdender, schließlich kaum tastbarer Puls, fahle Blässe, kalte Haut, Frieren, Schweiß auf der Stirn, auffallende Unruhe.  
Diese Zeichen treten nicht immer alle und nicht immer gleichzeitig auf.



#### Maßnahmen:

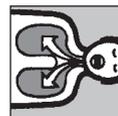
- ➔ ggf. Blutstillung,
- ➔ Schocklage  
(in Rückenlage Beine anheben bzw. hoch lagern. Achtung: Nicht bei Brüchen von Beinen, Becken, Wirbelsäule und Gefahr innerer Verletzungen),
- ➔ Wärmeverlust verhindern,
- ➔ für Ruhe sorgen,
- ➔ Orientierungsfragen stellen,
- ➔ Kontrolle von Puls und Atmung.

### Bei Unfällen durch elektrischen Strom:



#### Maßnahmen:

- ➔ Stromunterbrechung durch Ausschalten, Stecker ziehen,
- ➔ Sicherung herausnehmen, bzw. Hauptsicherung abschalten.  
Ist das nicht sofort möglich, Verunglückten durch nicht leitenden Gegenstand, z.B. – trockene Holzlatte, von den unter Spannung stehenden Teilen trennen oder – an seinen Kleidern wegziehen; sich dabei selbst isoliert aufstellen, z.B. auf trockenes Brett, trockene Kleider oder mehrere Zeitungen.
- ➔ Sonst nichts berühren, z.B. nicht Wand, Gestell, andere Helfer.



- ➔ Für Ruhe sorgen,
- ➔ Atmung und Puls kontrollieren,
- ➔ bei Atemstillstand Atemspende,
- ➔ bei Kreislaufstillstand Herz-Lungen-Wiederbelebung.
- ➔ Bei Bewusstlosigkeit und vorhandener Atmung – stabile Seitenlage.
- ➔ Keimfreie Bedeckung von Brandwunden.

### Bei Verätzungen:



#### Maßnahmen:

Bei Verätzungen der Haut:  
Verunreinigte Kleidung, auch Unterwäsche und Schuhe, sofort ausziehen. Haut mit viel Wasser spülen.



Bei Verätzungen der Augen:  
Augen sofort ausgiebig mit Wasser spülen.

Bei Verätzungen des Mundes, der Speiseröhre, des Magens:

- ➔ Reichlich Wasser in kleinen Schlucken trinken lassen.
- ➔ Auf keinen Fall Erbrechen herbeiführen.

### Bei Verbrennungen und Verbrühungen:



#### Maßnahmen:

- ➔ Brennende Personen aufhalten und ablöschen.
- ➔ Bekleidung, die mit heißen Stoffen behaftet bzw. durchtränkt ist, sofort entfernen.
- ➔ Betroffene Körperteile sofort in kaltes Wasser eintauchen oder unter fließendes kaltes Wasser halten bis Schmerzlinderung eintritt.
- ➔ Anschließend Brandwunde keimfrei bedecken (Brandwundenverbandpäckchen, Brandwundenverbandtuch aluminiumbeschichtet o.Ä.).

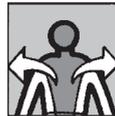
- ➔ Wärmeverlust verhindern, schonend zudecken.
- ➔ Keine Salben, Puder oder dgl. aufbringen.
- ➔ Sofort in ärztliche Behandlung geben.

### Bei Vergiftungen durch Einatmen, Hautkontakt oder Verschlucken:



#### Maßnahmen:

- ➔ Verletzten unter Selbstschutz aus dem Gefahrenbereich bringen.



- ➔ Verunreinigte Kleidung, auch Unterwäsche und Schuhe, sofort ausziehen.
- ➔ Haut mit viel Wasser spülen.
- ➔ Puls, Atmung und Bewusstsein kontrollieren.
- ➔ Für Ruhe sorgen.
- ➔ Vor Wärmeverlust schützen.
- ➔ Wenn es sicher ist, dass kein ätzender Stoff verschluckt wurde: Erbrechen herbeiführen.

### Nach geleisteter Erster Hilfe unverzüglich für ärztliche Behandlung sorgen.

### 11.3 Häufig vorkommende Gefahrstoffe, deren Gesundheitsgefahren und Maßnahmen zur Ersten Hilfe

Für einige wichtige Gefahrstoffe sind im Folgenden Wirkungen und Symptome sowie Maßnahmen zur Ersten Hilfe aufgeführt. Literatur:

- GUV-Information „Erste Hilfe bei Einwirkung gefährlicher chemischer Stoffe“ (GUV-I 8504, bisher GUV 20.10)
  - Merkblatt M 051 „Gefährliche chemische Stoffe“ der Berufsgenossenschaft der Chemischen Industrie, Heidelberg
  - R. Hoschek, W. Fritz: Taschenbuch für den medizinischen Arbeitsschutz, W. Enke Verlag, Stuttgart
  - R. Kühn, K. Birett: Merkblätter gefährliche Arbeitsstoffe, Ecomed-Verlag, Landsberg
  - H. Braun, A. Dönhardt: Vergiftungsregister, Georg Thieme Verlag, Stuttgart
- Die in der Tabelle aufgeführten Erste-Hilfe-Maßnahmen sollen die allgemeinen Maßnahmen ergänzen bzw. erläutern, aber auf keinen Fall die ärztliche Hilfe ersetzen.
- Darüber hinaus sind folgende generelle Maßnahmen und Hinweise zur Ersten Hilfe zu beachten:
- ➔ Der Ersthelfer muss unbedingt darauf achten, sich selbst zu schützen.
  - ➔ Den Verletzten aus der Gefahrenzone entfernen.
  - ➔ Kontaminierte Kleidung ablegen.
  - ➔ Den Verletzten ruhig lagern und vor Wärmeverlust schützen.
  - ➔ Erbrechen kann durch Reizung des Kehlkopfzäpfchens mit dem Finger angeregt werden.
  - ➔ Falls Medizinalkohle verabreicht wird: 3 Esslöffel in 1 Glas Wasser aufschwemmen.
  - ➔ Bei Bewusstlosen darf keinesfalls Erbrechen angeregt oder Flüssigkeit eingeflößt werden. Auf stabile Seitenlage achten.
  - ➔ Sauerstoff darf nur durch den Arzt oder Ersthelfer mit Zusatzausbildung mit dafür vorgesehenen Sauerstoffgeräten gegeben werden.

<b>Gefahrstoff</b>	<b>Wirkung/Symptome</b>	<b>Erste Hilfe</b>
<b>Ammoniak</b>	Reizt die Haut und Schleimhäute, ätzend, giftig beim Einatmen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Augen und Haut mit viel Wasser spülen,</li> <li>➤ benetzte Kleidung entfernen.</li> <li>➤ Nach Einatmen Frischluft.</li> </ul>
<b>Arsen</b>	Kapillarlähmung. – Kreislaufkollaps, nach Staubinhalation Brustschmerz. Nach Verschlucken Magenkrämpfe, blutige Durchfälle, Koliken.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Sofort zum Arzt,</li> <li>➤ Magenspülung.</li> </ul>
<b>Arsenwasserstoff</b>	Methämoglobinbildung. Atemnot, Unwohlsein, Brennen betroffener Körperteile. Mehrstündige Latenzzeit.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Haut und Augen mit viel Wasser spülen.</li> <li>➤ Nach Einatmen Frischluft oder Sauerstoff.</li> </ul>
<b>Bariumverbindungen</b>	Lähmung der Muskeln, Brechdurchfall. Nur lösliche Bariumverbindungen sind gesundheitsschädlich, nicht dagegen z.B. Bariumsulfat.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Haut und Augen mit viel Wasser spülen.</li> <li>➤ Nach Verschlucken Erbrechen anregen und 2- bis 5%ige Natriumsulfatlösung verabreichen.</li> </ul>
<b>Benzol</b>	Geringe Schleimhautreizung, narkotische Wirkung, kann Krebs erzeugen. Kopfschmerz, Schwindel, Erbrechen, Erregungszustände.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Augen mit viel Wasser spülen.</li> <li>➤ Haut mit Wasser und Seife waschen.</li> <li>➤ Nach Einatmen Frischluft.</li> <li>➤ Nach Verschlucken Medizinalkohole.</li> </ul>
<b>Brom</b>	Ätzend für Haut und Schleimhäute. Brennen, Blasenbildung, Husten, Katarrhtizität, Erstickungsanfälle. Mit Latenzzeit Lungenödem möglich.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Augen und Haut mit viel Wasser spülen (ggf. betroffene Hautstellen mit 3%iger Natriumthiosulfatlösung waschen).</li> <li>➤ Nach Einatmen Frischluft.</li> </ul>
<b>Chlor</b>	Starkes Reizgas, verätzt Haut und Schleimhäute. Hustenreiz, Erstickungsanfälle. Mit Latenzzeit Lungenödem möglich.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Atemschutz des Helfers!</li> <li>➤ Augen mit viel Wasser spülen,</li> <li>➤ Haut mit Wasser und Seife waschen.</li> <li>➤ Nach Einatmen Frischluft.</li> </ul>
<b>Chlorwasserstoff (Salzsäuregas)</b>	Starkes Reizgas, verätzt Haut und Schleimhäute. Bei Einatmen (ggf. mit Latenzzeit) Atemnot. Lungenödem möglich.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Augen und Haut mit viel Wasser spülen,</li> <li>➤ kontaminierte Kleidung entfernen.</li> <li>➤ Nach Einatmen Frischluft.</li> </ul>

Gefahrstoff	Wirkung/Symptome	Erste Hilfe
<b>Salzsäure</b>	siehe Säuren allgemein	
<b>Chromate</b>	Reizung von Haut und Schleimhäuten, ggf. Verätzung, Geschwürbildung (Eiweißausfällung durch Cr VI). Einige Chromate können Krebs erzeugen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Augen mit viel Wasser spülen,</li> <li>➤ Haut mit Wasser und Seife waschen.</li> <li>➤ Nach Verschlucken Erbrechen auslösen.</li> </ul>
<b>Cyanwasserstoff (Blausäure)</b>	Blockierung der Zellatmung. Halskratzen, Schwindel, Atemnot. Gerötetes Gesicht, Bittermandelgeruch der Ausatemluft. Krämpfe, Ohnmacht, Atem- und Herzstillstand. Schnelle Aufnahme über Haut (Schwitzen) möglich.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Atemschutz des Helfers, sofort handeln!</li> <li>➤ Augen und Haut mit viel Wasser spülen.</li> <li>➤ Kontaminierte Kleidung entfernen.</li> <li>➤ Nach Einatmung Frischluft, Beatmung nach Möglichkeit mit Schlauchgerät.</li> <li>➤ Nach Verschlucken Wasser trinken lassen, Erbrechen anregen, Medizinalkohle geben.</li> <li>➤ Bei Bewusstlosigkeit 5 ml 4-DMAP (4-Dimethylaminophenol) in die Mitte des Oberschenkels injizieren („Blausäurebesteck“).</li> <li>➤ Sofortige ärztliche Hilfe!</li> </ul>
<b>Fluorwasserstoff (Flusssäure)</b>	Sehr giftig und stark ätzend. Verursacht schwere, tief gehende Verätzungen. Starke Schmerzen oft erst nach Stunden. Mit Latenzzeit Lungenödem möglich.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Schnelles Handeln!</li> <li>➤ Augen und Haut mit viel Wasser spülen.</li> <li>➤ Kontaminierte Kleidung entfernen (ggf. Vollbad mit 1%iger Calciumgluconatlösung).</li> <li>➤ Calciumgluconatgel auf betroffene Haut auftragen.</li> <li>➤ Nach Einatmen Frischluft, absolute Ruhe, Wärmeverlust ausgleichen.</li> <li>➤ Nach Verschlucken kein Erbrechen anregen, Calciumgluconatlösung zum Trinken geben.</li> <li>➤ Sofort liegend ins Krankenhaus!</li> </ul>
<b>Halogenkohlenwasserstoffe (Chloroform, Tetrachlorkohlenstoff, Trichlorethylen usw.)</b>	Sofortwirkung: Euphorie, Verwirrtsein, Narkose, Atemlähmung, Kammerflimmern. Schädigung von Leber, Niere und Gehirn möglich. Verdacht auf krebserzeugendes Potenzial.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Augen mit viel Wasser spülen.</li> <li>➤ Haut mit Wasser und Seife waschen.</li> <li>➤ Kontaminierte Kleidung entfernen.</li> <li>➤ Nach Einatmen Frischluft bzw. Sauerstoff.</li> <li>➤ Nach Verschlucken Medizinalkohle geben.</li> </ul>

Gefahrstoff	Wirkung/Symptome	Erste Hilfe
<b>Jod</b>	Reizung von Haut und Schleimhäuten, Husten, Schnupfen. Hautkontakt führt zu Depigmentierungen. Nach Verschlucken starke Beschwerden im Magen/Darm-Bereich, Kollaps.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Augen mit viel Wasser spülen.</li> <li>➤ Haut mit Wasser und Seife waschen.</li> <li>➤ Nach Einatmen Frischluft.</li> <li>➤ Nach Verschlucken Milch trinken lassen.</li> </ul>
<b>Kohlenmonoxid</b>	Blockiert Sauerstofftransport im Blut. Kopfschmerzen, Schwindel, Erbrechen, Ohrensausen, Augenflimmern, Erregungszustände. Hohe Konzentrationen tödlich.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Schnelles Handeln!</li> <li>➤ Nach Einatmen Frischluft bzw. Sauerstoff-Beatmung.</li> <li>➤ Vor Wärmeverlust schützen.</li> </ul>
<b>Laugen (allgemein)</b>	Je nach Konzentration Reizung oder Verätzung. Rötung, Ekzembildung, Hautdefekte. Besonders gefährlich für die Augen. Nach Verschlucken Gefahr des Magendurchbruchs.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Augen 10–15 Minuten bei geöffnetem Auge ausspülen.</li> <li>➤ Danach sofort zum Augenarzt (Krankenwagen).</li> <li>➤ Haut mit viel Wasser abspülen.</li> <li>➤ Nach Verschlucken viel Wasser trinken lassen.</li> <li>➤ Erbrechen nicht anregen!</li> </ul>
<b>Methanol</b>	Narkose, Azidose, Erblindung. Schwindel, Schwäche, Sehstörungen, Erbrechen, Krämpfe, Bewusstlosigkeit, Latenzzeit beachten. Hautresorption möglich!	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Haut u. Augen mit viel Wasser spülen.</li> <li>➤ Nach Einatmen Frischluft bzw. Sauerstoff, vor Wärmeverlust schützen.</li> <li>➤ Nach Verschlucken Erbrechen anregen, Medizinalkohle verabreichen, Arzt!</li> </ul>
<b>Nitrite</b>	Vergiftungsgefahr durch Methämoglobinbildung. Kopfschmerzen, Übelkeit, Kreislaufkollaps.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Nach Verschlucken Wasser trinken lassen, Erbrechen provozieren.</li> </ul>
<b>Nitrose Gase</b>	Reizgas. Hustenreiz, Atemnot, nach mehrstündiger Latenzzeit Lungenödem möglich (Erstickungsanfälle).	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Atemschutz des Helfers!</li> <li>➤ Nach Einatmen Frischluft bzw. Sauerstoff, ruhig lagern.</li> <li>➤ Wärmeverlust vermeiden.</li> <li>➤ Ärztliche Überwachung.</li> </ul>
<b>Oxalsäure</b>	Gewebe verarmt an Calcium durch Bildung von Calciumoxalat. Stark ätzend, Hautresorption möglich. Nach Einatmen Hustenreiz und Atemnot. Nach Verschlucken Übelkeit und blutiges Erbrechen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Haut u. Augen mit viel Wasser spülen,</li> <li>➤ Kontaminierte Kleidung entfernen.</li> <li>➤ Nach Einatmen Frischluft bzw. Sauerstoff.</li> <li>➤ Nach Verschlucken viel Wasser, ggf. Calciumgluconatlösung trinken lassen.</li> </ul>

Gefahrstoff	Wirkung/Symptome	Erste Hilfe
<b>Phosgen</b>	Reizgas. Husten- und Tränenreiz, Druckgefühl in der Brust, nach mehrstündiger Latenzzeit Lungen- ödem möglich (Erstickengefahr).	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Atemschutz des Helfers!</li> <li>➤ Nach Einatmen Frischluft.</li> <li>➤ Ruhig lagern,</li> <li>➤ Wärmeverlust vermeiden.</li> <li>➤ Ärztliche Überwachung!</li> </ul>
<b>Schwefel- wasserstoff</b>	Reizt stark die Schleimhäute, Nervengift. Reizhusten, Benommenheit, Atemnot. Bei höheren Konzentrationen Lähmung des Geruchsinns. Lungenödem möglich.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Atemschutz des Helfers!</li> <li>➤ Bei Haut- und Augenkontakt mit viel Wasser spülen.</li> <li>➤ Unbedingt Augenarzt aufsuchen (Hornhautschädigung).</li> <li>➤ Nach Einatmen Frischluft, besser Sauerstoff.</li> <li>➤ Ärztliche Überwachung.</li> </ul>
<b>Säuren (allgemein)</b>	Je nach Konzentration Reizung oder Verätzung. Nach Verschlucken Gefahr des Magen- und Speiseröhrendurch- bruchs. Bei Resorption großer Mengen Ansäuerung des Blutes (Azidose).	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Auge: bei geöffnetem Auge 10–15 Minuten spülen.</li> <li>➤ Danach sofort zum Augenarzt (Krankenwagen).</li> <li>➤ Haut gut mit Wasser abspülen.</li> <li>➤ Nach Verschlucken viel Wasser trinken lassen, keine Neutralisa- tionsversuche!</li> <li>➤ Kein Erbrechen provozieren!</li> </ul>
<b>Salpetersäure</b>	Vgl. Säuren allgemein, Bildung nitroser Gase möglich (siehe nitrose Gase).	
<b>Silbernitrat</b>	Ätzend insbesondere für Augen- und Atemwege. Schwarzfärbung, ggf. Geschwürbildung der Haut. Brennen der Schleimhäute, Durchfall.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Augen u. Haut mit viel Wasser spülen.</li> <li>➤ Nach Verschlucken 10%ige Kochsalzlösung trinken,</li> <li>➤ Erbrechen provozieren, mit viel Wasser Mund und Rachen aus- spülen.</li> </ul>
<b>Toluol</b>	Reizt Augen und Schleimhäute, wirkt narkotisch. Kopfschmerz, Schwindel, Übelkeit, Bewusstlosigkeit, Atemlähmung.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Augen mit viel Wasser spülen.</li> <li>➤ Haut mit viel Wasser und Seife reinigen.</li> <li>➤ Nach Einatmen Frischluft.</li> <li>➤ Nach Verschlucken Gabe von Medizinalkohle.</li> </ul>
<b>Thallium</b>	Schleichender Verlauf der Vergiftung. Erbrechen, Überempfindlichkeit der Sinnes- und Gefühlsnerven, Haarausfall.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Nach Verschlucken Erbrechen anregen, Gabe von Medizinalkohle, Arzt!</li> </ul>

## 11.4 Sofortmaßnahmen bei Unfällen

1.



### Retten

- Verletzte unter Selbstschutz aus Gefahrenbereich bringen
- Alarmieren weiterer Personen im Gefahrenbereich
- Gegebenenfalls Abschalten von Gas, Wasser, Strom, ggf. Not-Aus betätigen

2.



### Hilfe anfordern

Notruf-Nr./Zimmer-Nr./Adresse eintragen

Ersthelfer: \_\_\_\_\_

Notarzt: \_\_\_\_\_

Feuerwehr: \_\_\_\_\_

Giftzentrale: \_\_\_\_\_

Augenarzt: \_\_\_\_\_

Chirurgische Ambulanz: \_\_\_\_\_

**Notruf-angaben**    **Wo** geschah es?  
                           **Was** geschah?  
                           **Wie viele** Verletzte?  
                           **Welche** Art von Verletzungen?  
                           **Warten** auf Rückfragen!

3.



### Erste Hilfe leisten

Wer fachkundig Erste Hilfe leisten will, muss als Ersthelfer aus- und fortgebildet sein.

### Zur Beachtung:

- Ein interner Unfallbericht muss bei jedem Unfall, d.h. auch bei einem, der nicht der ärztlichen Behandlung bedarf, abgegeben werden (Geschäftszimmer).
- Eine Unfallanzeige an den zuständigen Unfallversicherungsträger muss dann abgegeben werden, wenn ein Versicherter getötet oder so verletzt ist, dass er ärztliche Behandlung in Anspruch nehmen muss.

Ein **Formblatt** zum persönlichen Gebrauch ist in dieser Broschüre auf S. 130 abgedruckt.

# Anhang A

## **Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe (KMR-Verzeichnis)**

Das nachstehende Verzeichnis (Stand: **Juli 2005**) enthält Stoffe, die

- im Anhang I der EG-Richtlinie 67/548/EWG (Stand 29. Anpassung) als krebserzeugend, erbgutverändernd oder fortpflanzungsgefährdend eingestuft sind oder
- in der TRGS 905 „Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe“ aufgeführt werden.

Die Einträge in den Spalten bedeuten:

### **Krebserzeugend**

- K1** Stoffe, die auf den Menschen bekanntermaßen krebserzeugend wirken. Der Kausalzusammenhang zwischen der Exposition eines Menschen gegenüber dem Stoff und der Entstehung von Krebs ist ausreichend nachgewiesen. (R45: Kann Krebs erzeugen) oder (R49: Kann Krebs erzeugen beim Einatmen)
- K2** Stoffe, die als krebserzeugend für den Menschen angesehen werden sollten. Es bestehen hinreichende Anhaltspunkte zu der Annahme, dass die Exposition eines Menschen gegenüber dem Stoff Krebs erzeugen kann. (R45 oder R49)

Diese Annahme beruht im Allgemeinen auf Folgendem:

- geeignete Langzeit-Tierversuche,
- sonstige relevante Informationen.

- K3** Stoffe, die wegen möglicher krebserregender Wirkung beim Menschen Anlass zur Besorgnis geben, über die jedoch ungenügend Informationen für eine befriedigende Beurteilung vorliegen. Aus geeigneten Tierversuchen liegen einige Anhaltspunkte vor, die jedoch nicht ausreichen, um einen Stoff in Kategorie 2 einzustufen. (R40: Verdacht auf krebserzeugende Wirkung)

### **Erbgutverändernd**

- M1** Stoffe, die auf den Menschen bekanntermaßen erbgutverändernd wirken. Es sind hinreichende Anhaltspunkte für einen Kausalzusammenhang zwischen der Exposition eines Menschen gegenüber dem Stoff und vererbaren Schäden vorhanden. (R46: Kann vererbare Schäden verursachen)
- M2** 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 (R46). Diese Annahme beruht im Allgemeinen auf Folgendem:
- geeignete Langzeit-Tierversuche,
  - sonstige relevante Informationen.

M<sub>3</sub> Stoffe, die wegen möglicher erbgutverändernder Wirkung auf den Menschen zu Besorgnis Anlass geben. Aus geeigneten Mutagenitätsversuchen liegen einige Anhaltspunkte vor, die jedoch nicht ausreichen, um den Stoff in Kategorie 2 einzustufen. (R68: Irreversibler Schaden möglich)

### **Fortpflanzungsgefährdend**

R<sub>F</sub> Beeinträchtigung der Fortpflanzungsfähigkeit (Fruchtbarkeit)

R<sub>E</sub> Fruchtschädigend (entwicklungsschädigend)

R<sub>F1</sub> Stoffe, die beim Menschen die Fortpflanzungsfähigkeit (Fruchtbarkeit) bekanntermaßen beeinträchtigen. Es sind hinreichende Anhaltspunkte für einen Kausalzusammenhang zwischen der Exposition eines Menschen gegenüber dem Stoff und einer Beeinträchtigung der Fortpflanzungsfähigkeit vorhanden. (R60: Kann die Fortpflanzungsfähigkeit beeinträchtigen)

R<sub>E1</sub> Stoffe, die beim Menschen bekanntermaßen fruchtschädigend (entwicklungsschädigend) wirken. Es sind hinreichende Anhaltspunkte für einen Kausalzusammenhang zwischen der Exposition einer schwangeren Frau gegenüber dem Stoff und schädlichen Auswirkungen auf die Entwicklung der direkten Nachkommenschaft vorhanden. (R61: Kann das Kind im Mutterleib schädigen)

R<sub>F2</sub> Stoffe, die als beeinträchtigend für die Fortpflanzungsfähigkeit (Fruchtbarkeit) des 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. Diese Annahme beruht im Allgemeinen auf Folgendem:

- eindeutige tierexperimentelle Nachweise einer Beeinträchtigung der Fortpflanzungsfähigkeit ohne Vorliegen anderer toxischer Wirkungen, oder Nachweis einer Beeinträchtigung der Fortpflanzungsfähigkeit bei etwa denselben Dosierungen, bei denen andere toxische Effekte auftreten, wobei jedoch die beobachtete fruchtbarkeitsbeeinträchtigende Wirkung nicht sekundäre unspezifische Folge der anderen toxischen Effekte ist,
- sonstigen relevanten Informationen. (R 60)

R<sub>E2</sub> Stoffe, die als fruchtschädigend (entwicklungsschädigend) für den Menschen angesehen werden sollten. Es bestehen hinreichende Anhaltspunkte zu der begründeten Annahme, dass die Exposition einer schwangeren Frau gegenüber dem Stoff zu schädlichen Auswirkungen auf die Entwicklung der Nachkommenschaft führen kann. Diese Annahme beruht im Allgemeinen auf Folgendem:

- eindeutige Nachweise aus Tierversuchen, in denen eine fruchtschädigende Wirkung ohne Anzeichen ausgeprägter maternaler Toxizität beobachtet wurde, oder fruchtschädigende Wirkungen in einem Dosisbereich mit maternal toxischen Effekten, wobei jedoch die fruchtschädigende Wirkung nicht sekundäre Folge der maternalen Toxizität ist;
  - sonstigen relevanten Informationen. (R 61)
- R<sub>F3</sub> Stoffe, die wegen möglicher Beeinträchtigung der Fortpflanzungsfähigkeit (Fruchtbarkeit) des Menschen zu Besorgnis Anlass geben. Diese Annahme beruht im Allgemeinen auf Folgendem:
- Ergebnisse aus geeigneten Tierversuchen, die hinreichende Anhaltspunkte für den starken Verdacht auf eine Beeinträchtigung der Fortpflanzungsfähigkeit in einem Dosisbereich ohne Vorliegen anderer toxischer Wirkungen liefern, oder entsprechende Hinweise auf eine Beeinträchtigung der Fortpflanzungsfähigkeit in einem Dosisbereich, in dem andere toxische Effekte auftreten, wobei jedoch die beobachtete Beeinträchtigung der Fortpflanzungsfähigkeit nicht sekundäre unspezifische Folge der anderen toxischen Wirkungen ist und der Nachweis der Befunde für eine Einstufung des Stoffes in Kategorie 2 nicht ausreicht;
  - sonstigen relevanten Informationen. (R 62: Kann möglicherweise die Fortpflanzungsfähigkeit beeinträchtigen)
- R<sub>E3</sub> Stoffe, die wegen möglicher fruchtschädigender (entwicklungsschädigender) Wirkungen beim Menschen zu Besorgnis Anlass geben. Diese Annahme beruht im Allgemeinen auf Folgendem:
- Ergebnisse aus geeigneten Tierversuchen, die hinreichende Anhaltspunkte für einen starken Verdacht auf eine fruchtschädigende Wirkung ohne ausgeprägte maternale Toxizität liefern, bzw. die solche Anhaltspunkte in maternal toxischen Dosisbereichen liefern, wobei jedoch die beobachtete fruchtschädigende Wirkung nicht sekundäre Folge der maternalen Toxizität ist und der Nachweis der Befunde für eine Einstufung des Stoffes in Kategorie 2 nicht ausreicht;
  - sonstigen relevanten Informationen. (R 63: Kann das Kind im Mutterleib möglicherweise schädigen)

\* Die mit Stern gekennzeichneten Bewertungen wurden der TRGS 905 entnommen. Diese nationalen Bewertungen durch den Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) erfolgen zum Schutz der Beschäftigten am Arbeitsplatz, so dass der Arbeitgeber die erforderlichen Maßnahmen treffen kann. Eine EG-Legaleinstufung für diese Stoffe wird angestrebt. Sofern für einen Stoff bereits eine EG-Legaleinstufung vorliegt, muss diese bis zur Neueinstufung des Stoffes durch die EG-Kommission beim Inverkehrbringen angegeben werden. Die Bewertung durch den AGS ist in diesen Fällen bei der Festlegung der Schutzmaßnahmen zu berücksichtigen.

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R <sub>E</sub>	R <sub>F</sub>
Acetaldehyd	75-07-0	3			
Acetamid	60-35-5	3			
N-[2-(3-Acetyl-5-nitrothiophen-2-ylazo)-5-diethylaminophenyl]acetamid (2004/73/EG)					3
Acrylaldehyd	107-02-8	...	...	...	...
Acrylamid (2001/59/EG)	79-06-1	2	2		3
Acrylnitril (2004/73/EG)	107-13-1	2			
Alachlor (2004/73/EG)	15972-60-8	3			
Aldrin (ISO)	309-00-2	3			
5-Allyl-1,3-benzodioxol (2004/73/EG)	94-59-7	2	3		
4-Allyl-2,6-bis(2,3-epoxypropyl)phenol;			3		
4-Allyl-6-[3-[6-[3-[6-[3-(4-allyl-2,6-bis(2,3-epoxypropyl)phenoxy)-2-hydroxypropyl]-4-allyl-2-(2,3-epoxypropyl)phenoxy]-2-hydroxypropyl]-4-allyl-2-(2,3-epoxypropyl)phenoxy]-2-hydroxypropyl]-2-(2,3-epoxypropyl)phenol; 4-Allyl-6-[3-(4-allyl-2,6-bis(2,3-epoxypropyl)phenoxy)-2-hydroxypropyl]-2-(2,3-epoxypropyl)phenol; 4-Allyl-6-[3-[6-[3-(4-allyl-2,6-bis(2,3-epoxypropyl)phenoxy)-2-hydroxypropyl]-4-allyl-2-(2,3-epoxypropyl)phenoxy]-2-hydroxypropyl]-2-(2,3-epoxypropyl)phenol, Gemisch aus (2001/59/EG)					
1-Allyloxy-2,3-epoxypropan (2001/59/EG)	106-92-3	2*	3	...	3
		3			
4-Aminoazobenzol	60-09-3	2			
4-Aminobiphenyl	92-67-1	1			
4-Aminobiphenyl, Salze von		1			
6-Amino-2-ethoxynaphthalin (TRGS 905 Nr. 4)		2*			
3-Amino-9-ethylcarbazol	132-32-1	3*			
4-Amino-3-fluorphenol	399-95-1	2			
5-[(4-[(7-Amino-1-hydroxy-3-sulfo-2-naphthyl)azo]-2,5-diethoxyphenyl)azo]-2-[(3-phosphonophenyl)azo]benzoesäure und 5-[(4-[(7-Amino-1-hydroxy-3-sulfo-2-naphthyl)azo]-2,5-diethoxyphenyl)azo]-3-[(3-phosphonophenyl)azo]benzoesäure, Gemisch aus (2004/73/EG)	163879-69-4				3

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R <sub>E</sub>	R <sub>F</sub>
o-Aminophenol	95-55-6		3		
p-Aminophenol	123-30-8		3		
Amitrol (ISO) (2004/73/EG)	61-82-5	...		3	
2-{4-(2-Ammoniopropylamino)-6-[4-hydroxy-3-(5-methyl-2-methoxy-4-sulfamoyl-phenylazo)-2-sulfonatnaphth-7-ylamino]-1,3,5-triazin-2-ylamino}-2-aminopropylhydroformiat (2004/73/EG)					3
Ammoniumdichromat (2004/73/EG)	7789-09-5	2	2	2	2
Anabolika (Steroidhormone)		3*	...	2*	1*
Androgene (Steroidhormone)		3*	...	2*	1*
Androgene, schwache (Steroidhormone)		...	...	3*	3*
Anilin (2004/73/EG)	62-53-3	3	3	...	...
Anilin, Salze von (2004/73/EG)		3	3		
Antu (ISO)	86-88-4	3			
Arsenige Säure	36465-76-6	1*			
Arsensäure, Salze der		1			
Arsensäure	7778-39-4	1			
Arzneistoffe, krebserzeugende (siehe TRGS 905)					
Asbest (2001/59/EG)		1			
Atrazin (2001/59/EG)	1912-24-9	...	...		
Azafenidin (2004/73/EG)	68049-83-2			2	3
Azobenzol (2004/73/EG)	103-33-3	2	3	...	...
Azo-Farbstoffe		1*			
Azofarbstoffe mit einer krebserzeugender Aminkomponente (R 45). Zubereitungen von Azofarbstoffen mit einer krebserzeugender Aminkomponente der Kategorie 1 oder 2 sind nach § 3 Abs. 2 GefStoffV und TRGS 905 Nr. 4 entsprechend ihrem Gehalt an potentiell durch reduktive Azospaltung freisetzbarem krebserzeugenden Amin und dem Gehalt des Azofarbstoffes in der Zubereitung als krebserzeugend einzustufen (R 45).		oder 2*			
Azofarbstoffe auf Benzidinbasis, mit Ausnahme der namentlich bezeichneten		2			

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R <sub>E</sub>	R <sub>F</sub>
Azofarbstoffe auf 3,3'-Dimethoxybenzidinbasis (98/98/EG)		2			
Azofarbstoffe auf 3,3'-Dimethylbenzidinbasis (98/98/EG)		2			
Benomyl (ISO) (2004/73/EG)	17804-35-2		2	2	2
Benzidin (2004/73/EG)	92-87-5	1			
Benzidin, Salze von		1			
Benzo[a]anthracen	56-55-3	2			
Benzo[b]fluoranthen	205-99-2	2			
Benzo[j]fluoranthen	205-82-3	2			
Benzo[k]fluoranthen	207-08-9	2			
Benzol (2004/73/EG)	71-43-2	1	2		
1,2-Benzoldicarbonsäure, Di-C <sub>6-8</sub> -verzweigte Alkylester, C <sub>7</sub> -reich Di-iso-heptylphthalat	71888-89-6	...	...	2*	3*
1,2-Benzoldicarbonsäure, Di-C <sub>7-9</sub> - verzweigte und lineare Alkylester	68515-41-3	...	...	3*	...
1,2-Benzoldicarbonsäure, Di-C <sub>7-11</sub> -ver- zweigte und lineare Alkylester (2004/73/EG)	68515-42-4	...	...	2	3
1,2-Benzoldicarbonsäure, Di-C <sub>9-11</sub> -ver- zweigte und lineare Alkylester	68515-43-5	...	...	3*	...
1,2-Benzoldicarbonsäure, Dipentylester, verzweigt und linear n-Pentyl-isopentylphthalat Di-n-pentylphthalat Diisopentylphthalat (DIPP) (2004/73/EG)	84777-06-0 131-18-0 605-50-5	...	...	2	2
Benzo[a]pyren (2004/73/EG)	50-32-8	2	2	2	2
Benzo[e]pyren (98/98/EG)	192-97-2	2			
Benzoylchlorid	98-88-4	...	...	...	...
Benzylbutylphthalat (2004/73/EG)	85-68-7	...	...	2	3
Benzyl-2,4-dibrombutanoat (2001/59/EG)	23085-60-1				3
Benzyl violett 4B	1694-09-3	3			
Beryllium	7440-41-7	2			
Berylliumverbindungen, ausgenommen Beryllium-Tonerdesilikate sowie namentlich genannte (2001/59/EG)		2			
Berylliumoxid (2001/59/EG)	1304-56-9	2			
		R49			
Binapacryl (2001/59/EG)	485-31-4			2	

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R <sub>E</sub>	R <sub>F</sub>
Biphenyl-2-ylamin (98/98/EG)	90-41-5	3			
(7-(4,6-Bis-(2-ammoniopropylamino)-1,3,5-triazin-2-ylamino)-4-hydroxy-3-((2-methoxyphenyl)azo)naphthalin-2-sulfonato)monoformiat (2001/59/EG)	108225-03-2	2			
Bis(chlormethyl)ether (2001/59/EG)	542-88-1	1			
Bis(cyclopenta-1,3-dienid-bis(2,6-difluor-3-(1H-pyrrol-1-yl)phenolid)titan(IV) (2001/59/EG)	125051-32-3				3
1,3-Bis(2,3-epoxypropoxy)benzol (2001/59/EG)	101-90-6	2*	3		
Bis(2-ethylhexyl)phthalat DEHP (2001/59/EG)	117-81-7	3			
4-[[Bis-(4-fluorphenyl)methylsilyl]methyl]-4H-1,2,4-triazol; 1-[[Bis-(4-fluorphenyl)methylsilyl]methyl]-1H-1,2,4-triazol, Gemisch aus (2001/59/EG)		...	...	2	2
1,2-Bis(2-methoxyethoxy)ethan (2004/73/EG)	112-49-2	3			
Bis(2-methoxyethyl)ether (2001/59/EG)	111-96-6			2	2
Bis(2-methoxyethyl)phthalat	117-82-8			2	3
Bis(pentabromphenyl)ether	1163-19-5	3*	...	...	...
1,3-Bis(vinylsulfonylacetamido)propan (2004/73/EG)	93629-90-4		3		
Blei-Metall (bioverfügbar)	7439-92-1			1*	3*
Bleiverbindungen mit Ausnahme der namentlich bezeichneten (2004/73/EG)				1	3
Bleiacetat, basisch	1335-32-6	3		1	3
Bleialkyle, Pb(C <sub>n</sub> H <sub>2n+1</sub> ) <sub>x</sub> (n = 1-5) (2004/73/EG)				1	3
Bleiazid	13424-46-9			1	3
Bleichromat	7758-97-6	3		1	3
Bleichromatmolybdatsulfatrot	12656-85-8	3		1	3
Bleidiacetat	301-04-2			1	3
Bleihexafluorsilikat (2001/59/EG)	25808-74-6			1	3
Bleihydrogenarsenat	7784-40-9	1		1	3
Blei(II)methansulfonat	17570-76-2			1	3
Bleisulfochromatgelb	1344-37-2	3		1	3
Bleitetraethyl	78-00-2			1	3
Bleitetramethyl	75-74-1			1	3
Blei-2,4,6-trinitroresorcinat	15245-44-0			1	3

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R <sub>E</sub>	R <sub>F</sub>
2-Brom-2-chlor-1,1,1-trifluorethan	151-67-7			2*	...
Bromethan (98/98/EG)	74-96-4	2*			
Bromethen	593-60-2	3			
Brommethan (98/98/EG)	74-83-9	2			
(R)-5-Brom-3-(1-methyl-2-pyrrolidinyl-methyl)-1H-indol (2004/73/EG)	143322-57-0	...	3	...	...
Bromoxynil (ISO) (2004/73/EG)	1689-84-5			3	
Bromoxynil-Heptanoat (2004/73/EG)	56634-95-8			3	
1-Brompropan (2004/73/EG)	106-94-5	...	...	3	2
2-Brompropan (2001/59/EG)	75-26-3				1
1-Brom-3,4,5-trifluorbenzol (2001/59/EG)	138526-69-9	3			
1,3-Butadien (2001/59/EG)	106-99-0	1	2		
n-Butan, enthält ≥ 0,1% Butadien (2001/59/EG)	106-97-8	1	2		
iso-Butan, enthält ≥ 0,1% Butadien (2001/59/EG)	75-28-5	1	2		
2-Butanonoxim (2001/59/EG)	96-29-7	3			
1,4-Butansulton	1633-83-6	3*			
2,4-Butansulton (TRGS 905 Nr. 4)	1121-03-5	2*			
2-Butenal (2001/59/EG)	4170-30-3 123-73-9	...	3	...	...
1-Butoxy-2,3-epoxypropan (2001/59/EG)	2426-08-6	3	2*	...	...
1-tert-Butoxy-2,3-epoxypropan	7665-72-7	...	3	...	...
4'-tert-Butyl-2',6'-dimethyl-3',5'-dinitroacetophenon, Musk Ketone	81-14-1	...	...	...	...
2-(4-tert-Butylphenyl)ethanol (2001/59/EG)	5406-86-0				3
5-tert-Butyl-2,4,6-trinitro-m-xylol, Musk Xylene Xy-lolmoschus (2004/73/EG)	81-15-2	3	...	...	...
5-(3-Butyryl-2,4,6-trimethylphenyl)-2-[1-(ethoxyimino)propyl]-3-hydroxycyclohex-2-en-1-on (2004/73/EG)	138164-12-2			3	3
Cadmium (2004/73/EG)	7440-43-9	2	3	3	3
Cadmiumchlorid (2004/73/EG)	10108-64-2	2	2	2	2
Cadmiumcyanid	542-83-6	2*			
Cadmiumfluorid (2004/73/EG)	7790-79-6	2	2	2	2
Cadmiumformiat	4464-23-7	2*			
Cadmiumhexafluorosilikat	17010-21-8	2*			

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R <sub>E</sub>	R <sub>F</sub>
Cadmiumiodid	7790-80-9	2*			
Cadmiumoxid (2004/73/EG)	1306-19-0	2	3	3	3
Cadmiumsulfat (2004/73/EG)	10124-36-4	2	2	2	2
Cadmiumsulfid (2004/73/EG)	1306-23-6	2	3	3	3
Cadmiumverbindungen, mit Ausnahme der namentlich bezeichneten (bioverfügbar, in Form atembare Stäube/Aerosole)		2*			
Calciumchromat	13765-19-0	2			
Campechlor	8001-35-2	3			
Captafol (ISO)	2425-06-1	2			
Captan (2001/59/EG)	133-06-2	3			
Carbadox (INN)	6804-07-5	2			
Carbaryl (98/98/EG)	63-25-2	3			
Carbendazim (ISO) (2004/73/EG)	10605-21-7		2	2	2
4,4'-Carbonimidoylbis-(N,N-dimethylanilin)	492-80-8	2*	3*	...	...
		3			
4,4'-Carbonimidoylbis(N,N-dimethylanilin), Herstellung von (s.u. TRGS 906)					
4,4'-Carbonimidoylbis(N,N-dimethylanilin), Salze von (außer Hydrochlorid)		3			
4,4'-Carbonimidoylbis-(N,N-dimethylanilin)-Hydrochlorid	2465-27-2	2*	3*	...	...
		3			
2-Chloracetaldehyd (2004/73/EG)	107-20-0	3	...	...	...
2-Chloracetamid (98/98/EG)	79-07-2	...	...	...	3
Chloralkane, C <sub>10-13</sub> Cl <sub>1-13</sub> (98/98/EG)	85535-84-8	3			
4-Chloranilin (98/73/EG)	106-47-8	2			
4-Chlorbenzotrichlorid (2004/73/EG)	5216-25-1	2	...	...	3 2*
2-Chlor-1,3-butadien (2004/73/EG)	126-99-8	2	...	...	...
Chlordan (ISO)	57-74-9	3			
Chlordecone (ISO)	143-50-0	3			
5-Chlor-1,3-dihydro-2H-indol-2-on (2001/59/EG)	1763-75-0				3
Chlordimeform (ISO)	6164-98-3	3			
Chlordimeformhydrochlorid	19750-95-9	3			
1-Chlor-2,3-epoxypropan (2001/59/EG)	106-89-8	2			
	51594-55-9				
Chlorethan	75-00-3	3			

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R <sub>E</sub>	R <sub>F</sub>
6-(2-Chlorethyl)-6-(2-methoxyethoxy)- 2,5,7,10-tetraoxa-6-silaundecan (98/73/EG)	37894-46-5			2	
Chlorfluormethan	593-70-4	2*			
(3-Chlor-2-hydroxypropyl)trimethyl- ammoniumchlorid	3327-22-8	3*	...	...	...
Chlormethan	74-87-3	3			
Chlormethylmethylether	107-30-2	1			
3-Chlor-2-methylpropen	563-47-3	3*			
1-Chlor-2-nitrobenzol	88-73-3	3*	...	...	3*
1-Chlor-4-nitrobenzol (2004/79/EG)	100-00-5	3	3	...	...
1-(4-Chlorphenyl)-4,4-dimethyl-3- (1,2,4-triazol-1-ylmethyl)pentan-3-ol (2004/73/EG)	107534-96-3			3	
3-(4-Chlorphenyl)-1,1-dimethyl- uroniumtrichloracetat	140-41-0	3			
(2RS, 3SR)-3-(2-Chlorphenyl)-2- (4-fluorphenyl)-[(1H-1,2,4-triazol-1-yl)- methyl]oxiran (2004/73/EG)	133855-98-8	3		3	3
(3-Chlorphenyl)-(4-methoxy-3-nitrophenyl)- methanon (2001/59/EG)	66938-41-8		3		
3-Chlorpropen (2004/73/EG)	107-05-1	3	3		
Chlorthalonil (2004/73/EG)	1897-45-6	3			
4-Chlor-o-toluidin (2004/73/EG)	95-69-2	1* 2	3		
4-Chlor-o-toluidin, Hydrochlorid (2004/73/EG)	3165-93-3	1* 2	3		
5-Chlor-o-toluidin	95-79-4	3*			
α-Chlortoluole – Gemisch		1*			
α-Chlortoluol (2001/59/EG)	100-44-7	2	3*	3*	...
Chlortoluron (2004/73/EG)	15545-48-9	3		3	
Chlozolinat (2001/59/EG)	84332-86-5	3			
Chrom(III)chromat	24613-89-6	2			
Chromoxychlorid	14977-61-8	2 R49	2		
Chromtrioxid (2004/73/EG)	1333-82-0	1	2		3
Chrom(VI)-Verbindungen, mit Ausnahme von Bariumchromat und der namentlich bezeichneten		2 R49			
Chrysen (2004/73/EG)	218-01-9	2	3		

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R <sub>E</sub>	R <sub>F</sub>
C.I. Basic Red 9 (98/98/EG)	569-61-9	2	...	...	...
C.I. Basic Violet 3 (Kristallviolett) (2004/73/EG)	548-62-9	3	...	...	...
C.I. Basic Violet 3 mit $\geq 0,1$ % Michlers Keton (2004/73/EG)	548-62-9	2			
C.I. Direct Blue 218	73070-37-8	3*	...	...	...
Cobalt, Metall (bioverfügbar, in Form atembarer Stäube/Aerosole) ausgenommen Hartmetalle	7440-48-4	3*	...	...	...
Cobalt(II)acetat-Tetrahydrat (bioverfügbar, in Form atembarer Stäube/Aerosole)	6147-53-1	2* R49	3*	...	2*
Cobaltcarbonat (bioverfügbar, in Form atembarer Stäube/Aerosole)	513-79-1	2* R49	3*	...	2*
Cobaltdichlorid (bioverfügbar, in Form atembarer Stäube/Aerosole) (2004/73/EG)	7646-79-9	2 R49	3*	...	2*
Cobalt(II)nitrat-Hexahydrat (bioverfügbar, in Form atembarer Stäube/Aerosole)	10026-22-9	2* R49	3*	...	2*
Cobaltoxid (bioverfügbar, in Form atembarer Stäube/Aerosole)	1307-96-6	3*	...	...	...
Cobaltsulfat (2004/73/EG)	10124-43-3	2 R49	3*	...	2*
Cobalt(II)sulfat-Heptahydrat (bioverfügbar, in Form atembarer Stäube/Aerosole)	10026-24-1	2 R49	3*	...	2*
Cobaltsulfid (bioverfügbar, in Form atembarer Stäube/Aerosole)	1317-42-6	3*	...	...	...
Cobaltverbindungen (bioverfügbar, in Form atembarer Stäube/Aerosole), ausgenommen die namentlich genannten		3*	...	...	...
4-Cyan-2,6-diiodophenyl-octanoat (2004/73/EG)	3861-47-0			3	
Cyclohexanon	108-94-1	...			
Cycloheximid	66-81-9		3	2	
N-Cyclohexyl-N-methoxy- 2,5-dimethyl-3-furamid	60568-05-0	3			
trans-4-Cyclohexyl-L-prolinmonohydro- chlorid (2001/59/EG)	90657-55-9				3
1-Cyclopropyl-6,7-difluor-1,4-dihydro-4- oxochinolin-3-carbonsäure (2000/32/EG)	93107-30-3				3
Cyproconazol (2000/32/EG)	94361-06-5			3	
Daminozid (2004/73/EG)	1596-84-5	...			

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R <sub>E</sub>	R <sub>F</sub>
DDT	50-29-3	3			
Diallat (ISO)	2303-16-4	3			
2,4-Diaminoanisol-sulfat (2004/73/EG)	615-05-4 39156-41-7	2	3		
3,3'-Diaminobenzidin	91-95-2	3*			
3,3'-Diaminobenzidin, Salze von		3*			
4,4'-Diaminodiphenylmethan (2004/73/EG)	101-77-9	2	3		
Diaminotoluol (2004/73/EG) (s. auch Methylphenylendiamin)	25376-45-8	2			
Diantimontrioxid	1309-64-4	3			
Diarsenpentaoxid	1303-28-2	1			
Diarsentrioxid	1327-53-3	1			
Diazomethan	334-88-3	2			
Dibenz[a,h]anthracen (2004/73/EG)	53-70-3	2			
1,2-Dibrom-3-chlorpropan	96-12-8	2	2	...	1
2,6-Dibrom-4-cyanphenyloctanoat (2004/73/EG)	1689-99-2			3	
1,2-Dibromethan (2004/73/EG)	106-93-4	2			
2,2-Dibrom-2-nitroethanol (2004/73/EG)	69094-18-4	3			
2,3-Dibrompropan-1-ol (2001/59/EG)	96-13-9	2	...	...	3
Dibutylphthalat DBP (2001/59/EG)	84-74-2	...	...	2	2*
					3
Dichloracetylen	7572-29-4	2*			
		3			
3,3'-Dichlorbenzidin	91-94-1	2			
3,3'-Dichlorbenzidin, Salze von		2			
1,4-Dichlorbenzol (2004/73/EG)	106-46-7	3	...		
1,4-Dichlorbut-2-en (2004/73/EG)	764-41-0	2			
2,2'-Dichlordiethylether (2004/73/EG)	111-44-4	3			
2,2'-Dichlordiethylsulfid (TRGS 905 Nr. 4)	505-60-2	1*			
3,5-Dichlor-N-(1,1-dimethylprop-2-ynyl)-benzamid (2001/59/EG)	23950-58-5	3			
1,2-Dichlorethan	107-06-2	2			
1,1-Dichlorethen (2004/73/EG)	75-35-4	3			
Dichlormethan	75-09-2	3			
1,2-Dichlormethoxyethan	41683-62-9	...	3*	...	...
2,2'-Dichlor-4,4'-methyldianilin	101-14-4	2			
2,2'-Dichlor-4,4'-methyldianilin, Salze von		2			

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R <sub>E</sub>	R <sub>F</sub>
3-(3,5-Dichlorphenyl)-2,4-dioxo-N-isopropylimidazolidin-1-carboxamid (2001/59/EG)	36734-19-7	3			
(±)-2-(2,4-Dichlorphenyl)-3-(1H-1,2,4-triazol-1-yl)propyl-1,1,2,2-tetrafluorethylether (2001/59/EG)	112281-77-3	3			
1,2-Dichlorpropan	78-87-5	...	...	...	...
1,3-Dichlor-2-propanol	96-23-1	2			
1,3-Dichlorpropen (cis- und trans-)	542-75-6	2*	3*	...	...
2,3-Dichlorpropen (98/73/EG)	78-88-6		3		
α,α-Dichlortoluol	98-87-3	3			
2,2-Dichlor-1,1,1-trifluorethan	306-83-2	3*	...	...	...
Dicyclohexylnitrosamin	947-92-2	...	3*	...	...
Dieldrin (ISO)	60-57-1	3			
1,2,3,4-Diepoxybutan (98/98/EG)	1464-53-5	2	2	...	3*
Dieselmotor-Emissionen (s.u. TRGS 906)		2*			
Diethylcarbamidsäurechlorid	88-10-8	3			
Diethylsulfat	64-67-5	2	2		
1,1-Difluorethen	75-38-7	3*			
Diglycidylether	2238-07-5	3*			
N,N'-Dihexadecyl-N,N'-bis(2-hydroxyethyl)-propandiamid (2004/73/EG)	149591-38-8				3
(S)-2,3-Dihydro-1H-indol-2-carbonsäure (2001/59/EG)	79815-20-6				3
1,4-Dihydroxybenzol (98/98/EG)	123-31-9	3	3	...	...
4-[4-(1,3-Dihydroxyprop-2-yl)-phenylamino]-1,8-dihydroxy-5-nitroanthrachinon (98/98/EG)	114565-66-1	3			
2,4-Diisocyanattoluol (2004/73/EG)	584-84-9	3			
2,6-Diisocyanattoluol (2004/73/EG)	91-08-7	3			
3,3'-Dimethoxybenzidin	119-90-4	2			
3,3'-Dimethoxybenzidin, Salze von		2			
1,2-Dimethoxyethan (2004/73/EG)	110-71-4	...	...	2	2
N,N-Dimethylacetamid (2001/59/EG)	127-19-5			2	3*
N,N-Dimethylanilin	121-69-7	3	...	...	...
N,N-Dimethylaniliniumtetrakis(pentafluorphenyl)borat (2004/73/EG)	118612-00-3	3			
3,3'-Dimethylbenzidin	119-93-7	2			
3,3'-Dimethylbenzidin, Salze von		2			
Dimethylcarbamoylchlorid (2001/59/EG)	79-44-7	2			

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R <sub>E</sub>	R <sub>F</sub>
N,N-Dimethylformamid	68-12-2			2	
1,2-Dimethylhydrazin (2004/73/EG)	540-73-8	2			
N,N-Dimethylhydrazin	57-14-7	2			
Dimethylhydrogenphosphit	868-85-9	3*			
Dimethylsulfamoylchlorid	13360-57-1	2			
Dimethylsulfat (2004/73/EG)	77-78-1	2	3		
Dinatrium-4-amino-3-[[4'-(2,4-diaminophenyl)azo][1,1'-biphenyl]-4-yl]azo]-5-hydroxy-6-(phenyl)azonaphthalin-2,7-disulfonat	1937-37-7	2		3	
Dinatrium-3,3'-[[1,1'-biphenyl]-4,4'-diylbis(azo)]bis(4-aminonaphthalin-1-sulfonat)	573-58-0	2		3	
Dinatrium-[5-[(4'-((2,6-dihydroxy-3-((2-hydroxy-5-sulfophenyl)azo)phenyl)azo)-(1,1'-biphenyl)-4-yl)azo]salicylato(4-)]-cuprat(2-)]	16071-86-6	2			
Dinatrium-4-(3-ethoxycarbonyl-4-(5-(3-ethoxycarbonyl-5-hydroxy-1-(4-sulfonatophenyl)pyrazol-4-yl)penta-2,4-dienyliden)-4,5-dihydro-5-oxopyrazol-1-yl)-benzolsulfonat und Trinatrium-4-(3-ethoxycarbonyl-4-(5-(3-ethoxycarbonyl-5-oxido-1-(4-sulfonatophenyl)pyrazol-4-yl)penta-2,4-dienyliden)-4,5-dihydro-5-oxopyrazol-1-yl)-benzolsulfonat, Gemisch aus (2004/73/EG)				2	
Dinickeltrioxid (2001/59/EG)	1314-06-3	1 R49			
Dinitronaphthaline, alle Isomeren	27478-34-8	3*			
2,3-Dinitrotoluol (2004/73/EG)	602-01-7	2	3		3
2,4-Dinitrotoluol (2004/73/EG)	121-14-2	2	3		3
2,5-Dinitrotoluol (2004/73/EG)	619-15-8	2	3		3
2,6-Dinitrotoluol (2004/73/EG)	606-20-2	2	3		3
3,4-Dinitrotoluol (2004/73/EG)	610-39-9	2	3		3
3,5-Dinitrotoluol (2004/73/EG)	618-85-9	2	3		3
Dinitrotoluole, (techn. Isomeregemische) (2004/73/EG)	25321-14-6	2	3	...	3
Dinocarb (2004/73/EG)	39300-45-3			2	
Dinoseb	88-85-7			2	3
Dinoseb, Salze und Ester, mit Ausnahme der namentlich bezeichneten (2001/59/EG)				2	3

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R <sub>E</sub>	R <sub>F</sub>
Dinoterb	1420-07-1			2	
Dinoterb, Salze und Ester des				2	
1,4-Dioxan (2001/59/EG)	123-91-1	3			
1,3-Diphenylguanidin (98/98/EG)	102-06-7				3
Diuron (2001/59/EG)	330-54-1	3			
Divanadiumpentoxid (98/98/EG)	1314-62-1		3	3	
DNOC	534-52-1		3		
Dodecachlorpentacyclo- [5.2.1.0 <sup>6,6</sup> .0 <sup>3,9</sup> .0 <sup>5,8</sup> ]decan	2385-85-5	3		3	3
Edifenphos (2001/59/EG)	17109-49-8		...		
1,2-Epoxybutan	106-88-7	2* 3			
1-Epoxyethyl-3,4-epoxycyclohexan	106-87-6	2*			
1,2-Epoxy-3-phenoxypropan (2004/73/EG)	122-60-1	2	3		
2,3-Epoxy-1-propanol (2004/73/EG)	556-52-5	2	3	...	2
R-2,3-Epoxy-1-propanol (2001/59/EG)	57044-25-4				
1,2-Epoxy-3-(tolylloxy)propan (98/98/EG)	26447-14-3 2186-24-5 2186-25-6 2210-79-9	3*	3		
Erionit	12510-42-8	1			
Estrogene (Steroidhormone)		3*	...	3*	1*
Estrogene, schwache (Steroidhormone)		...	...	3*	3*
Ethen (Ethylen)	74-85-1	...	3*	...	...
O,O'-(Ethenylmethylsilylen)di[(4-methylpen- tan-2-on)oxim] (2004/73/EG)					3
4-Ethoxyanilin (2004/73/EG)	156-43-4		3		
4'-Ethoxy-2-benzimidazol-anilid (2001/59/EG)	120187-29-3		3		
2-Ethoxyethanol	110-80-5			2	2
2-Ethoxyethylacetat	111-15-9			2	2
5-Ethoxy-3-trichlormethyl-1,2,4-thiadiazol (98/98/EG)	2593-15-9	3			
Ethylenimin	151-56-4	2	2		
Ethylenoxid	75-21-8	2	2		
Ethylenthioharnstoff	96-45-7	3*	...	2	
2-Ethylhexan-1,3-diol	94-96-2			...	
2-Ethylhexansäure	149-57-5			3	

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R <sub>E</sub>	R <sub>F</sub>
2-Ethylhexyl-[[[3,5-bis(1,1-dimethylethyl)-4-hydroxyphenyl]-methyl]thio]acetat	80387-97-9			2	
3-Ethyl-2-methyl-2-(3-methylbutyl)-1,3-oxazolidin (2004/73/EG)	143860-04-2				2
1-Ethyl-1-methylmorpholiniumbromid (2001/59/EG)	65756-41-4		3		
4-Ethyl-4-methylpyrrolidiniumbromid (2001/59/EG)	69227-51-6		3		
Faserstäube, anorganische (Eine Einstufung ist abhängig von der Erfüllung bestimmter Kriterien, siehe TRGS 905 Abschnitt 2.3) Asbest, Erionit, Mineralwolle und keramische Mineralfasern siehe dort			2* oder 3*		
Fenarimol (2001/59/EG)	60168-88-9			3	3
Fenpropimorph (2004/73/EG)	67564-91-4			3	
Fenthion (98/98/EG)	55-38-9		3		
Fentinacetat (2001/59/EG)	900-95-8	3		3	
Fentinhydroxid (2001/59/EG)	76-87-9	3		3	
Fluazifop-butyl (2001/59/EG)	69806-50-4			2	
Fluazifop-P-butyl (2001/59/EG)	79241-46-6			3	
Flumioxazin (2001/59/EG)	103361-09-7			2	
1-(4-Fluor-5-hydroxymethyl-tetrahydrofuran-2-yl)-1H-pyrimidin-2,4-dion (2001/59/EG)	41107-56-6		3		
Flusilazol (2001/59/EG)	85509-19-9	3		2	
Formaldehyd	50-00-0	3			
Formamid (2001/59/EG)	75-12-7			2	
Furaldehyd (98/73/EG)	98-01-1	3	...	...	...
Furan (2004/73/EG)	110-00-9	2	3	...	...
Gestagene (Steroidhormone)		3*	...	2*	1*
Gestagene, schwache (Steroidhormone)		...	...	3*	3*
Glucocorticoide (Steroidhormone)		...	...	1*	3*
Glycidyltrimethylammoniumchlorid	3033-77-0	2*	3*	...	...
Glyoxal (2004/73/EG)	107-22-2		3		
Heptachlor (ISO)	76-44-8	3			
Heptachlorepoxid	1024-57-3	3			
Hexachlorbenzol	118-74-1	2			
1,1,2,3,4,4-Hexachlor-1,3-butadien	87-68-3	3*			

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R <sub>E</sub>	R <sub>F</sub>
1,2,3,4,5,6-Hexachlorcyclohexane, mit Ausnahme der namentlich bezeichneten		3			
Hexahydrocyclopenta[c]pyrrol-1-(1H)- ammonium-N-ethoxycarbonyl-N- (p-tolylsulfonyl)azanid (2001/59/EG)			3		
Hexamethylphosphorsäuretriamid (2001/59/EG)	680-31-9	2	2		
n-Hexan (2004/73/EG)	110-54-3				3
2-Hexanon (98/98/EG)	591-78-6				3
Holzstaub (außer Hartholzstäube, s. unten)		3*			
Hydrazin (2004/73/EG)	302-01-2	2			
Hydrazin, Salze von		2			
Hydrazinbis(3-carboxy-4- hydroxybenzolsulfonat)		2			
(4-Hydrazinophenyl)-N-methylmethansul- fonamidhydrochlorid (2001/59/EG)	81880-96-8		3		
Hydrazin-tri-nitromethan (2001/59/EG)		2			
Hydrazobenzol	122-66-7	2			
2-[2-Hydroxy-3-(2-chlorphenyl)carbamoyl-1- naphthylazo]-7-[2-hydroxy-3-(3-methyl- phenyl)carbamoyl-1-naphthylazo]fluoren- 9-on (2004/73/EG)				2	
2-(2-Hydroxy-3,5-dinitroanilino)ethanol (2001/59/EG)	99610-72-7				3
6-Hydroxy-1-(3-isopropoxypropyl)-4- methyl-2-oxo-5-[4-(phenylazo)phenylazo]- 1,2-dihydro-3-pyridincarbonitril (2001/59/EG)	85136-74-9	2			
N-[3-Hydroxy-2-(2-methyl-acryloylamino- methoxy)-propoxymethyl]-2-methyl- acrylamid; N-[2,3-Bis(2-methyl-acryl- oylamino-methoxy)propoxymethyl]-2- methyl-acrylamid; Methacrylamid; 2-Methyl-N-(2-methyl-acryloylamino- methoxy-methyl)-acrylamid; N-(2,3- Dihydroxy-propoxymethyl)-2-methyl- acrylamid, Gemisch aus (2001/59/EG)		2	3		

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R <sub>E</sub>	R <sub>F</sub>
N-[4-[(2-Hydroxy-5-methylphenyl)azo]phenyl]acetamid, C.I. Disperse yellow 3 (2001/59/EG)	2832-40-8	3			
Ioxynil (2004/73/EG)	1689-83-4			3	
4-(7-Hydroxy-2,4,4-trimethyl-2-chromanyl)-resorcinol-4-yl-tris(6-diazo-5,6-dihydro-5-oxonaphthalin-1-sulfonat) und 4-(7-Hydroxy-2,4,4-trimethyl-2-chromanyl)resorcinol-bis(6-diazo-5,6-dihydro-5-oxonaphthalin-1-sulfonat), 2:1 Gemisch aus (2004/73/EG)	140698-96-0	3			
4,4'-Isobutylethylidendiphenol (2000/32/EG)	6807-17-6				2
Isobutylnitrit (2004/73/EG)	542-56-3	2	3		
2-(Isocyanatosulfonylmethyl)-benzoesäuremethylester (2000/32/EG)	83056-32-0		3		
Isopren, Methyl-1,3-butadien (2004/73/EG)	78-79-5	2	3	...	...
4,4'-Isopropylidendiphenol (2004/73/EG)	80-05-7			...	3
Isoproturon (2004/73/EG)	34123-59-6	3			
Isoxaflutole (2001/59/EG)	141112-29-0			3	
Kaliumbromat	7758-01-2	2			
Kaliumchromat	7789-00-6	2	2		
		R49			
Kaliumdichromat (2004/73/EG)	7778-50-9	2	2	2	2
Kaliumnitrat	7757-79-1			...	...
Keramische Mineralfasern (97/69/EG) Fasern für spezielle Anwendungen; [Künstlich hergestellte ungerichtete glasige (Silikat-)Fasern mit einem Anteil an Alkali- und Erdalkalimetalloxiden (Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O+CaO+MgO+ BaO) von weniger oder gleich 18 Gewichtsprozent] (Eine Einstufung ist abhängig von der Erfüllung bestimmter Kriterien, siehe TRGS 905 bzw. 97/69/EG)		2	R49		
Kohlendisulfid	75-15-0			3	3
Kohlenmonoxid	630-08-0			1	
Kresoxim-methyl (2001/59/EG)	143390-89-0	3			
Lindan (2004/73/EG)	58-89-9	3*	...		
Linuron (ISO) (2004/73/EG)	330-55-2	3		2	3
Malachitgrün Hydrochlorid, C.I. Basic Green 4	569-64-2			3	
Malachitgrün Oxalat (2004/73/EG)	18015-76-4				

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R <sub>F</sub>	R <sub>F</sub>
2-Methoxyanilin (2004/73/EG)	90-04-0	2	3		
Methoxyessigsäure (2001/59/EG)	625-45-6			2	2
2-Methoxyethanol	109-86-4			2	2
2-(2-Methoxyethoxy)ethanol (98/98/EG)	111-77-3			3	
2-Methoxyethylacetat	110-49-6			2	2
2-Methoxy-1-propanol (98/98/EG)	1589-47-5	...		2	...
2-Methoxypropylacetat-1 (98/98/EG)	70657-70-4			2	
6-Methoxy-m-toluidin 2-Methoxy-5-methylanilin (2004/73/EG)	120-71-8	2			
N-Methylacetamid (2001/59/EG)	79-16-3	...	...	2	...
Methylacrylamidomethoxyacetat (mit ≥ 0.1% Acrylamid)	77402-03-0	2	2		
Methylacrylamidoglykolat (mit ≥ 0.1% Acrylamid)	77402-05-2	2	2		
Methylacrylat	96-33-3	...			
2-Methylaziridin (2004/73/EG)	75-55-8	2			
(Methyl-ONN-azoxy)methylacetat	592-62-1	2		2	
N-Methylbis(2-chlorethyl)amin (TRGS 905 Nr. 4)	51-75-2	1*	2*		
6-Methyl-1,3-dithiolo(4,5-b)- chinoxalin-2-on (98/98/EG)	2439-01-2				3
4,4'-Methylenbis(2-ethylanilin) (98/98/EG)	19900-65-3	3	...	...	...
Gemisch aus: Reaktionsprodukt aus 4,4'- Methylenbis[2-(4-hydroxybenzyl)-3,6- dimethylphenol] und 6-Diazo-5,6-dihydro- 5-oxo-naphthalinsulfonat (1:2) Reaktionsprodukt aus 4,4'-Methylenbis [2-(4-hydroxybenzyl)-3,6-dimethylphenol] und 6-Diazo-5,6-dihydro-5-oxo-naphthalin- sulfonat (1:3) (2004/73/EG)		3			
(Methylenbis(4,1-phenylenazo(1-(3- dimethylamino)propyl)-1,2-dihydro-6- hydroxy-4-methyl-2-oxopyridin-5,3-diyll))- 1,1'-dipyridiniumdichlorid-dihydrochlorid (2004/73/EG)		2			
4,4'-Methylen-diphenyldiisocyanat (in Form atembarer Aerosole, A-Fraktion)	101-68-8	3*	...	...	...
4,4'-Methylen-diphenyldiisocyanat tech. (Polymeres) MDI, pMDI (in Form atembarer Aerosole, A-Fraktion)	9016-87-9	3*	...	...	...

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R <sub>E</sub>	R <sub>F</sub>
4,4'-Methylendi-o-toluidin	838-88-0	2			
N-Methylformamid (2001/59/EG)	123-39-7			2	
Methyliodid	74-88-4	3			
Methylisocyanat (2004/73/EG)	624-83-9			3	
1-Methyl-3-nitro-1-nitrosoguanidin (2001/59/EG)	70-25-7	2			
N-Methylolchloracetamid	2832-19-1	...	3*	...	...
2-Methyl-m-phenylendiamin (2000/32/EG)	823-40-5		3		
4-Methyl-m-phenylendiamin (2004/73/EG)	95-80-7	2			
4-Methyl-m-phenylendiamin-sulfat	65321-67-7	2			
N-Methyl-2,4,6-N-tetranitroanilin	479-45-8	...	...	...	...
Michlers Keton (2004/73/EG)	90-94-8	2	3	...	...
Mineralwolle (siehe TRGS 905)		2*			
Künstlich hergestellte ungerichtete glasige (Silikat-) Fasern mit einem Anteil an Alkali- und Erdalkalimetalloxiden (Na:O+K:O+CaO+MgO+ BaO) von über 18 Gewichtsprozent (97/69/EG) (Eine Einstufung ist abhängig von der Erfüllung bestimmter Kriterien, siehe TRGS 905 bzw. 97/69/EG)		3			
Molinat (2004/73/EG)	2212-67-1	3			3
Monocrotophos (98/98/EG)	6923-22-4		3		
Monuron (ISO)	150-68-5	3			
Morpholin-4-carbonylchlorid	15159-40-7	2*			
		3			
Myclobutanil (98/98/EG)	88671-89-0			3	
Naphthalin (2004/73/EG)	91-20-3	3	...	...	...
2-Naphthylamin (2004/73/EG)	91-59-8	1			
2-Naphthylamin, Salze von		1			
N-2-Naphthylanilin (98/73/EG)	135-88-6	3			
1,5-Naphthylendiamin	2243-62-1	3			
1-(1-Naphthylmethyl)quinoliniumchlorid (2004/73/EG)	65322-65-8	3	3		
Natriumbisulfid	7631-90-5		...		
Natriumchromat (2004/73/EG)	7775-11-3	2	2	2	2
Natriumdichromat (2004/73/EG)	10588-01-9	2	2	2	2
Natriumdichromatdihydrat (2004/73/EG)	7789-12-0	2	2	2	2
Natriummetabisulfid	7681-57-4		...		
Natriumnitrat	7631-99-4		...	...	

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R <sub>F</sub>	R <sub>F</sub>
Nickel, Metall	7440-02-0	3			
Nickelsalze, löslich		1*	...		
Nickelacetat	373-02-4	1*	...		
Nickelcarbonat	3333-67-3	3			
Nickelchlorid	7718-54-9	1*	...		
Nickeldihydroxid (2001/59/EG)	12054-48-7	3			
Nickeldioxid (2001/59/EG)	12035-36-8	1 R49			
Nickelmatte, Rösten oder elektrolytische Raffination (s.u. TRGS 906)					
Nickelmonoxid (2001/59/EG)	1313-99-1	1 R49			
Nickelsulfat	7786-81-4	1* 3	...		
Nickelsulfid (2001/59/EG)	16812-54-7	1 R49			
Nickeltetracarbonyl	13463-39-3	3		2	
5-Nitroacenaphthen	602-87-9	2			
2-Nitro-4-aminophenol	119-34-6	3*			
2-Nitroanisol	91-23-6	2			
Nitrobenzol	98-95-3	3			3
4-Nitrobiphenyl	92-93-3	2			
Nitrofen (ISO)	1836-75-5	2		2	
1-Nitronaphthalin	86-57-7	...	...	...	...
2-Nitronaphthalin	581-89-5	2			
2-Nitro-p-phenylendiamin	5307-14-2	3*			
2-Nitropropan	79-46-9	2			
Nitropyrene (Mono-, Di-, Tri-, Tetra-), Isomere	5522-43-0	3*			
N-Nitrosodi-n-butylamin (TRGS 905 Nr. 4)	924-16-3	2*			
N-Nitrosodiethanolamin	1116-54-7	2			
N-Nitrosodiethylamin (TRGS 905 Nr. 4)	55-18-5	2*			
N-Nitrosodimethylamin (2004/73/EG)	62-75-9	2			
Nitrosodi-i-propylamin (TRGS 905 Nr. 4)	601-77-4	2*			
N-Nitrosodi-n-propylamin (2001/59/EG)	621-64-7	2			
N-Nitrosoethylphenylamin (TRGS 905 Nr. 4)	612-64-6	2*			
N-Nitrosomethylethylamin (TRGS 905 Nr. 4)	10595-95-6	2*			

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R <sub>E</sub>	R <sub>F</sub>
N-Nitrosomethylphenylamin (TRGS 905 Nr. 4)	614-00-6	2*			
N-Nitrosomorpholin (TRGS 905 Nr. 4)	59-89-2	2*			
p-Nitrosophenol (98/98/EG)	104-91-6		3		
N-Nitrosopiperidin (TRGS 905 Nr. 4)	100-75-4	2*			
N-Nitrosopyrrolidin (TRGS 905 Nr. 4)	930-55-2	2*			
5-Nitro-o-toluidin, 2-Amino-4-nitrotoluol (2004/73/EG)	99-55-8	3	...	...	...
Nitro-o-toluidin, Hydrochlorid (2004/73/EG)	51085-52-0	3	...	...	...
2-Nitrotoluol (2004/73/EG)	88-72-2	2	2	...	3
Nonylphenol/lineare Seitenkette (2004/73/EG)	25154-52-3	...	...	3	3
4-Nonylphenol/verzweigte Seitenkette (2004/73/EG)	84852-15-3	...	...	3	3
Octabromdiphenylether (2004/73/EG)	32536-52-0	...	...	2	3
Octamethylcyclotetrasiloxan, D4 (2001/59/EG)	556-67-2	...	...	...	3
Olaquinox	23696-28-8	3*	2*	...	3*
Oxadiargyl (2004/73/EG)	39807-15-3			3	
Oxiranmethanol, 4-methylbenzolsulfonat, (S)- (2004/73/EG)	70987-78-9	2	3		
4,4'-Oxydianilin und seine Salze (2004/73/EG)	101-80-4	2	2	...	3
Ozon	10028-15-6	3*	...	...	...
Passivrauchen (Maßnahmen zum Schutz der Arbeitnehmer am Arbeitsplatz werden durch das Arbeitsschutzgesetz und die Arbeitsstättenverordnung geregelt)		1*	3*	1*	...
Pentachlorethan (2004/73/EG)	76-01-7	3			
Pentachlorphenol	87-86-5	2*	3*	2*	...
		3			
Pentachlorphenol, Salze von		2*			
Pentachlorphenol, Alkalisalze von (98/73/EG)		2*			
Natriumsalz	131-52-2	3			
Kaliumsalz	7778-73-6				
Peroxyessigsäure	79-21-0	...	...	...	...
Phenol (2004/73/EG)	108-95-2	...	3	...	...
4-(Phenylazo)benzol-1,3-diamin	495-54-5	...	3*		

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R <sub>F</sub>	R <sub>F</sub>
4-Phenylazophenylen-1,3-diaminmono- hydrochlorid	532-82-1	...	3*		
1-Phenylazo-2-naphthol (2001/59/EG)	842-07-9	3	3	...	...
1,2-Phenylendiamin (98/98/EG)	95-54-5	3	3	...	...
1,2-Phenylendiamindihydrochlorid (98/98/EG)	615-28-1	3	3	...	...
1,3-Phenylendiamin (98/98/EG)	108-45-2	...	3	...	...
1,3-Phenylendiamindihydrochlorid (98/98/EG)	541-69-5	...	3	...	...
1,4-Phenylendiamin	106-50-3	...	...	...	...
1,4-Phenylendiamindihydrochlorid	624-18-0	...	...	...	...
(R)- $\alpha$ -Phenylethylammonium-(-)-(1R, 2S)- (1,2-epoxypropyl)phosphonatmonohydrat (2001/59/EG)	25383-07-7				3
Phenylhydrazin (2004/73/EG)	100-63-0	2	3	...	...
Phenylhydrazinhydrochlorid (2004/73/EG)	27140-08-5	2	3		
Phenylhydraziniumchlorid (2004/73/EG)	59-88-1	2	3	...	...
Phenylhydraziniumsulfat, 2:1 (2004/73/EG)	52033-74-6	2	3		
trans-4-Phenyl-L-prolin (2004/73/EG)	96314-26-0				3
Phosphamidon	13171-21-6		3		
Polychlorierte Biphenyle	1336-36-3	3*		2*	2*
3-Propanolid	57-57-8	2			
1,3-Propansulton	1120-71-4	2			
Propargit (2004/73/EG)	2312-35-8	3			
Propazin	139-40-2	3			
1,2-Propylenoxid (2001/59/EG)	75-56-9	2	2		
Propylenthioharnstoff (2001/59/EG)	2122-19-2			3	
iso-Propylglycidylether	4016-14-2	...	3*	...	...
Pymetrozin (2004/73/EG)	123312-89-0	3			
Pyrogallol (2004/73/EG)	87-66-1		3		
Pyrolyseprodukte aus organischem Material, s. auch namentlich genannte (s.u. TRGS 906)			1* oder 2*		
Quarz-A-Staub (s.u. TRGS 906)	14808-60-7				
Simazin (2001/59/EG)	122-34-9	3			
Strontiumchromat	7789-06-2	2			
Styroloxid	96-09-3	2			

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R <sub>E</sub>	R <sub>F</sub>
Sulfallat (ISO)	95-06-7	2			
1,4,5,8-Tetraaminoanthrachinon (98/98/EG)	2475-45-8	2	...	...	...
5,6,12,13-Tetrachloranthra(2,1,9-def:6,5,10-d'e'f')diisochinolin-1,3,8,10(2H, 9H)tetron (2001/59/EG)	115662-06-1				3
2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin (TRGS 905 Nr. 4)	1746-01-6	2*			
1,1,2,2-Tetrachlorethan	79-34-5	3*	3*	...	...
Tetrachlorethen	127-18-4	3	...	3*	...
Tetrachlormethan (2004/73/EG)	56-23-5	3			
N,N,N',N'-Tetraglycidyl-4,4'-diamino-3,3'-diethyl-diphenylmethan (2001/59/EG)	130728-76-6		3		
(±)-Tetrahydrofurfuryl-(R)-2-[4-(6-chlor-chinoxalin-2-yloxy)-phenyloxy]propanoat (2001/59/EG)	119738-06-6		3	2	3
Tetrahydrothiopyran-3-carboxaldehyd (2004/73/EG)	61571-06-0			2	
Tetrakis(hydroxymethyl)phosphoniumchlorid; Reaktionsprodukt mit Harnstoff und destilliertem hydriertem C <sub>16-18</sub> -Talgalkylamin (2004/73/EG)	166242-53-1	3	...		
N,N,N',N'-Tetramethylacridin-3,6-yl-diaminohydrochlorid und N,N,N',N'-Tetramethylacridin-3,6-diaminomonohydrochlorid Verbindung mit ZnCl <sub>2</sub> (Acridinorange)	65-61-2 10127-02-3	...	3*	...	...
2,2'-((3,5',5,5'-Tetramethyl-(1,1'-biphenyl)-4,4'-diyl)-bis(oxymethylen))-bisoxiran (2000/32/EG)	85954-11-6		3		
N,N,N',N'-Tetramethyl-4,4'-methylen-dianilin 4,4'-Methylenbis(N,N-dimethylanilin) (2004/73/EG)	101-61-1	2			
Tetranatrium-3,3'-[[1,1'-biphenyl]-4,4'-diylbis(azo)]bis[5-amino-4-hydroxy-naphthalin-2,7-disulfonat]	2602-46-2	2		3	
Tetranitromethan (TRGS 905 Nr. 4)	509-14-8	2*			
Thioacetamid	62-55-5	2			
4,4'-Thiodianilin und sein Salze (2004/73/EG)	139-65-1	2			
Thioharnstoff (98/98/EG)	62-56-6	3		3	
Thiophanat-methyl (2001/59/EG)	23564-05-8		3		

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R <sub>F</sub>	R <sub>F</sub>
Thiram (2004/73/EG)	137-26-8		...		
o-Toluidin	95-53-4	2			
p-Toluidin (2001/59/EG)	106-49-0	3	...	...	...
p-Toluidiniumchlorid (2001/59/EG)	540-23-8	3			
p-Toluidinsulfat (2001/59/EG)	540-25-0	3			
Toluol (2004/73/EG)	108-88-3	...	...	3	...
4-o-Tolylazo-o-toluidin	97-56-3	2			
m-Tolylidendiisocyanat (2004/73/EG)	26471-62-5	3			
1,2,4-Triazol (98/73/EG)	288-88-0			3	
Tribleibis(orthophosphat)	7446-27-7			1	3
Tribrommethan	75-25-2	3*			
Tributylphosphat (2004/73/EG)	126-73-8	3			
2,3,4-Trichlor-1-buten (2001/59/EG)	2431-50-7	2*			
		3			
1,1,2-Trichlorethan (2004/73/EG)	79-00-5	3	...	...	...
Trichlorethylen (2001/59/EG)	79-01-6	2	3		
Trichlormethan	67-66-3	2*	3*	3*	...
		3			
N-(Trichlormethylthio)phthalimid (2001/59/EG)	133-07-3	3			
2,4,6-Trichlorphenol	88-06-2	3			
1,2,3-Trichlorpropan (2004/73/EG)	96-18-4	2	3*	...	2
α,α,α-Trichlortoluol	98-07-7	2			
Tridemorph (98/98/EG)	24602-86-6			2	
Triethylarsenat (2004/73/EG)	15606-95-8	1			
Trifluoriodmethan (2001/59/EG)	2314-97-8		3		
2,4,5-Trimethylanilin	137-17-7	2	...	...	...
-hydrochlorid (2004/73/EG)	21436-97-5				
3,5,5-Trimethyl-2-cyclohexen-1-on (98/98/EG)	78-59-1	3	...	...	...
Trimethylphosphat	512-56-1	3*	2*		
Trinatrium-[4'-(8-acetylamino-3,6-disulfonato-2-naphthylazo)-4''-(6-benzoylamino-3-sulfonato-2-naphthylazo)-biphenyl-1,3',3'',1'''-tetraolato-O,O',O'',O'''] kupfer(II) (2004/73/EG)	164058-22-4	2			
Trinatriumbis[7-acetamido-2-(4-nitro-2-oxidophenylazo)-3-sulfonato-1-naphtholato]chromat(1-)			3		

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R <sub>E</sub>	R <sub>F</sub>
Trinickeldisulfid (2001/59/EG)	12035-72-2	1 R <sub>49</sub>			
2,4,7-Trinitrofluoren-9-on	129-79-3	3*			
2,4,6-Trinitrotoluol (und Isomeren in technischen Gemischen)	118-96-7	3*			
1,3,5-Trioxan (2004/73/EG)	110-88-3	...	...	3	...
1,3,5-Tris(3-aminomethylethylphenyl)-1,3,5-(1H,3H,5H)-triazin-2,4,6-trion und Oligomergemisch aus 3,5-Bis(3-aminomethylphenyl)-1-poly[3,5-bis(3-aminomethylphenyl)-2,4,6-triazin-1,3,5-(1H,3H,5H)triazin-1-yl]-1,3,5-(1H,3H,5H)-triazin-2,4,6-trion, Gemisch aus (2004/73/EG)		2		2	
Tris(2-chlorethyl)phosphat (98/98/EG)	115-96-8	2* 3	...	...	2*
1,3,5-Tris-[(2S und 2R)-2,3-epoxypropyl]-1,3,5-triazin-2,4,6-(1H, 3H, 5H)-trion (2001/59/EG)	59653-74-6		2		
1,3,5-Tris(oxiranylmethyl)-1,3,5-triazin-2,4,6-(1H,3H,5H)trion	2451-62-9	...	2	...	3*
Urethan (INN)	51-79-6	2			
Valinamid (2001/59/EG)	20108-78-5				3
Vinclozolin (2001/59/EG)	50471-44-8	3		2	2
Vinylacetat	108-05-4	3*			
9-Vinylcarbazol (2001/59/EG)	1484-13-5	...	3	...	...
Vinylchlorid	75-01-4	1			
4-Vinylcyclohexen	100-40-3	3*	...	...	3*
N-Vinyl-2-pyrrolidon (2001/59/EG)	88-12-0	3	...	...	...
Warfarin	81-81-2 5543-57-7 5543-58-8			1	
Wasserstoffperoxid	7722-84-1	...	...	...	...
2,4-Xylidin	95-68-1	3*			
2,6-Xylidin (2001/59/EG)	87-62-7	3	...	...	...
Zinkchromate, einschließlich Zinkkaliumchromat		1			
Ziram (2004/73/EG)	137-30-4		...		

... Auf Grund der vorliegenden Daten konnte eine Zuordnung zu den Kategorien 1 bis 3 nach Anhang VI der Richtlinie 67/548/EWG nicht vorgenommen werden.

**Quelle:** Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA, Sankt Augustin

# Anhang B

## Einteilung organischer Verbindungen mit einem Siedepunkt $\leq 65$ °C (Niedrigsieder) in Filtergruppen.

### Gruppen 1 und 2:

Niedrigsieder, gegen die Schutz durch AX-Filter erreichbar ist.

### Gruppe 3:

Niedrigsieder, gegen die Schutz mit anderen Gasfiltern (z.B. Typ B oder K) erreichbar ist.

### Gruppe 4:

Niedrigsieder, die an Gasfilter nicht oder nicht ausreichend zu binden sind.

## Niedrigsieder der Gruppen 1 bis 4

### Gruppe 1

---

Acetaldehyd  
2-Aminobutan  
2-Amino-2-methylpropan  
2-Brom-2-chlor-1,1,1-trifluoethan  
Brommethan  
1,3-Butadien  
1-Chlor-1,1-difluoethan  
Chlorfluormethan  
2-Chlor-1,3-butadien  
3-Chlor-1-propen  
1,1-Dichlorethen  
Dichlormethan  
Diethylamin  
1,1-Difluorethen  
Dimethylether  
1,1-Dimethylethylamin (*tert*-Butylamin)  
1,2-Epoxypropan  
Ethanthiol  
Ethylenoxid  
Iodmethan  
Methanol  
Monochlordimethylether  
2-Propenal (Acrolein)  
Propylenimin  
Trichlormethan  
Vinylchlorid

## Gruppe 2

---

Aceton  
Bromethan  
Butan  
Chlorethan  
2-Chlorpropan  
1,3-Cyclopentadien  
Dibromdifluormethan  
1,1-Dichlorethan  
1,2-Dichlorethen (cis)  
1,2-Dichlorethen (trans)  
1,2-Dichlor-1,1,2,2-tetrafluorethan  
Diethylether  
Dimethoxymethan  
Dimethylpropan  
1,3-Epoxypropan  
Ethylformiat  
Glyoxal  
Methylacetat  
Methylbutan  
Methylformiat  
Methylpropan  
n-Pentan  
Propanal

## Gruppe 3

---

2-Aminopropan  
Carbonylchlorid (Phosgen)  
Diazomethan  
Dimethylamin  
1,1-Dimethylhydrazin  
Ethylamin  
Ethyldimethylamin (N,N-Dimethylethylamin)  
Ethylenimin  
Ethylquecksilberchlorid  
Formaldehyd  
Kohlendisulfid  
Methanthiol  
Methylamin  
Methylisocyanat  
Oxalsäuredinitril (Dicyan)

## Gruppe 4

---

Bromtrifluormethan  
Chlordifluormethan  
Chlormethan  
Chlortrifluormethan  
Dichlordifluormethan  
Dichlorfluormethan  
1,1-Difluorethen  
Keten  
Methylacetylen  
Propan  
Trichlorfluormethan  
1,1,2-Trichlor-1,2,2-trifluorethan

# Anhang C

## Gefahrensymbole und Gefahrenbezeichnungen

E



Explosions-  
gefährlich

F+



Hoch-  
entzündlich

F



Leicht-  
entzündlich

O



Brand-  
fördernd

T+



Sehr giftig

T



Giftig

Xn



Gesundheits-  
schädlich

Xi



Reizend

C



Ätzend

N



Umweltgefährlich

### **Hinweise auf besondere Gefahren (R-Sätze)**

- R 1 In trockenem Zustand explosionsgefährlich
- R 2 Durch Schlag, Reibung, Feuer oder andere Zündquellen explosionsgefährlich
- R 3 Durch Schlag, Reibung, Feuer oder andere Zündquellen besonders explosionsgefährlich
- R 4 Bildet hochempfindliche explosionsgefährliche Metallverbindungen
- R 5 Beim Erwärmen explosionsfähig
- R 6 Mit und ohne Luft explosionsfähig
- R 7 Kann Brand verursachen
- R 8 Feueregefahr bei Berührung mit brennbaren Stoffen
- R 9 Explosionsgefahr bei Mischung mit brennbaren Stoffen
- R 10 Entzündlich
- R 11 Leichtentzündlich
- R 12 Hochentzündlich
- R 14 Reagiert heftig mit Wasser
- R 15 Reagiert mit Wasser unter Bildung hochentzündlicher Gase
- R 16 Explosionsgefährlich in Mischung mit brandfördernden Stoffen
- R 17 Selbstentzündlich an der Luft
- R 18 Bei Gebrauch Bildung explosionsfähiger/leichtentzündlicher Dampf-Luftgemische möglich
- R 19 Kann explosionsfähige Peroxide bilden
- R 20 Gesundheitsschädlich beim Einatmen
- R 21 Gesundheitsschädlich bei Berührung mit der Haut
- R 22 Gesundheitsschädlich beim Verschlucken
- R 23 Giftig beim Einatmen
- R 24 Giftig bei Berührung mit der Haut
- R 25 Giftig beim Verschlucken
- R 26 Sehr giftig beim Einatmen
- R 27 Sehr giftig bei Berührung mit der Haut
- R 28 Sehr giftig beim Verschlucken
- R 29 Entwickelt bei Berührung mit Wasser giftige Gase
- R 30 Kann bei Gebrauch leichtentzündlich werden
- R 31 Entwickelt bei Berührung mit Säure giftige Gase
- R 32 Entwickelt bei Berührung mit Säure sehr giftige Gase
- R 33 Gefahr kumulativer Wirkungen
- R 34 Verursacht Verätzungen
- R 35 Verursacht schwere Verätzungen
- R 36 Reizt die Augen
- R 37 Reizt die Atmungsorgane
- R 38 Reizt die Haut
- R 39 Ernste Gefahr irreversiblen Schadens
- R 40 Verdacht auf krebserzeugende Wirkung
- R 41 Gefahr ernster Augenschäden
- R 42 Sensibilisierung durch Einatmen möglich

- R 43 Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich
- R 44 Explosionsgefahr bei Erhitzen unter Einschluss
- R 45 Kann Krebs erzeugen
- R 46 Kann vererbare Schäden verursachen
- R 48 Gefahr erster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition
- R 49 Kann Krebs erzeugen beim Einatmen
- R 50 Sehr giftig für Wasserorganismen
- R 51 Giftig für Wasserorganismen
- R 52 Schädlich für Wasserorganismen
- R 53 Kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben
- R 54 Giftig für Pflanzen
- R 55 Giftig für Tiere
- R 56 Giftig für Bodenorganismen
- R 57 Giftig für Bienen
- R 58 Kann längerfristig schädliche Wirkungen auf die Umwelt haben
- R 59 Gefährlich für die Ozonschicht
- R 60 Kann die Fortpflanzungsfähigkeit beeinträchtigen
- R 61 Kann das Kind im Mutterleib schädigen
- R 62 Kann möglicherweise die Fortpflanzungsfähigkeit beeinträchtigen
- R 63 Kann das Kind im Mutterleib möglicherweise schädigen
- R 64 Kann Säuglinge über die Muttermilch schädigen

- R 65 Gesundheitsschädlich: Kann beim Verschlucken Lungenschäden verursachen
- R 66 Wiederholter Kontakt kann zu spröder oder rissiger Haut führen
- R 67 Dämpfe können Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen
- R 68 Irreversibler Schaden möglich

**Kombination der R-Sätze**

- R 14/15 Reagiert heftig mit Wasser unter Bildung hochentzündlicher Gase
- R 15/29 Reagiert mit Wasser unter Bildung giftiger und hochentzündlicher Gase
- R 20/21 Gesundheitsschädlich beim Einatmen und bei Berührung mit der Haut
- R 20/22 Gesundheitsschädlich beim Einatmen und Verschlucken
- R 20/21/22 Gesundheitsschädlich beim Einatmen, Verschlucken und Berührung mit der Haut
- R 21/22 Gesundheitsschädlich bei Berührung mit der Haut und beim Verschlucken
- R 23/24 Giftig beim Einatmen und bei Berührung mit der Haut
- R 23/25 Giftig beim Einatmen und Verschlucken
- R 23/24/25 Giftig beim Einatmen, Verschlucken und Berührung mit der Haut

R 24/25	Giftig bei Berührung mit der Haut und beim Verschlucken	R 39/24/25	Giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens bei Berührung mit der Haut und durch Verschlucken
R 26/27	Sehr giftig beim Einatmen und bei Berührung mit der Haut	R 39/23/24/25	Giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Einatmen, Berührung mit der Haut und durch Verschlucken
R 26/28	Sehr giftig beim Einatmen und Verschlucken	R 39/26	Sehr giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Einatmen
R 26/27/28	Sehr giftig beim Einatmen, Verschlucken und Berührung mit der Haut	R 39/27	Sehr giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens bei Berührung mit der Haut
R 27/28	Sehr giftig bei Berührung mit der Haut und beim Verschlucken	R 39/28	Sehr giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Verschlucken
R 36/37	Reizt die Augen und die Atmungsorgane	R 39/26/27	Sehr giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Einatmen und bei Berührung mit der Haut
R 36/38	Reizt die Augen und die Haut	R 39/26/28	Sehr giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Einatmen und durch Verschlucken
R 36/37/38	Reizt die Augen, Atmungsorgane und die Haut	R 39/27/28	Sehr giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens bei Berührung mit der Haut und durch Verschlucken
R 37/38	Reizt die Atmungsorgane und die Haut	R 39/26/27/28	Sehr giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Einatmen, Berührung mit der Haut und durch Verschlucken
R 39/23	Giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Einatmen	R 42/43	Sensibilisierung durch Einatmen und Hautkontakt möglich
R 39/24	Giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens bei Berührung mit der Haut		
R 39/25	Giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Verschlucken		
R 39/23/24	Giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Einatmen und bei Berührung mit der Haut		
R 39/23/25	Giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Einatmen und durch Verschlucken		

- R 48/20 Gesundheitsschädlich: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen
- R 48/21 Gesundheitsschädlich: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Berührung mit der Haut
- R 48/22 Gesundheitsschädlich: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Verschlucken
- R 48/20/21 Gesundheitsschädlich: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen und durch Berührung mit der Haut
- R 48/20/22 Gesundheitsschädlich: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen und durch Verschlucken
- R 48/21/22 Gesundheitsschädlich: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Berührung mit der Haut und durch Verschlucken
- R 48/20/21/22 Gesundheitsschädlich: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen, Berührung mit der Haut und durch Verschlucken
- R 48/23 Giftig: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen
- R 48/24 Giftig: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Berührung mit der Haut
- R 48/25 Giftig: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Verschlucken
- R 48/23/24 Giftig: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen und durch Berührung mit der Haut
- R 48/23/25 Giftig: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen und durch Verschlucken
- R 48/24/25 Giftig: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Berührung mit der Haut und durch Verschlucken
- R 48/23/24/25 Giftig: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen, Berührung mit der Haut und durch Verschlucken
- R 50/53 Sehr giftig für Wasserorganismen, kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben

R 51/53	Giftig für Wasserorganismen, kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben	<b>Sicherheitsratschläge (S-Sätze)</b>
		S 1 Unter Verschluss aufbewahren
		S 2 Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen
R 52/53	Schädlich für Wasserorganismen, kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben	S 3 Kühl aufbewahren
		S 4 Von Wohnplätzen fern halten
		S 5 Unter ... aufbewahren (geeignete Flüssigkeit vom Hersteller anzugeben)
R 68/20	Gesundheitsschädlich: Möglichkeit irreversiblen Schadens durch Einatmen	S 6 Unter ... aufbewahren (inertes Gas vom Hersteller anzugeben)
		S 7 Behälter dicht geschlossen halten
R 68/21	Gesundheitsschädlich: Möglichkeit irreversiblen Schadens bei Berührung mit der Haut	S 8 Behälter trocken halten
		S 9 Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren
		S 12 Behälter nicht gasdicht verschließen
R 68/22	Gesundheitsschädlich: Möglichkeit irreversiblen Schadens durch Verschlucken	S 13 Von Nahrungsmitteln, Getränken und Futtermitteln fern halten
		S 14 Von ... fern halten (inkompatible Substanzen sind vom Hersteller anzugeben)
R 68/20/21	Gesundheitsschädlich: Möglichkeit irreversiblen Schadens durch Einatmen und bei Berührung mit der Haut	S 15 Vor Hitze schützen
		S 16 Von Zündquellen fern halten – Nicht rauchen
R 68/20/22	Gesundheitsschädlich: Möglichkeit irreversiblen Schadens durch Einatmen und durch Verschlucken	S 17 Von brennbaren Stoffen fern halten
		S 18 Behälter mit Vorsicht öffnen und handhaben
R 68/21/22	Gesundheitsschädlich: Möglichkeit irreversiblen Schadens bei Berührung mit der Haut und durch Verschlucken	S 20 Bei der Arbeit nicht essen und trinken
		S 21 Bei der Arbeit nicht rauchen
		S 22 Staub nicht einatmen
		S 23 Gas/Rauch/Dampf/Aerosol nicht einatmen (geeignete Bezeichnung(en) vom Hersteller anzugeben)
R 68/20/21/22	Gesundheitsschädlich: Möglichkeit irreversiblen Schadens durch Einatmen, Berührung mit der Haut und durch Verschlucken	S 24 Berührung mit der Haut vermeiden
		S 25 Berührung mit den Augen vermeiden

- S 26 Bei Berührung mit den Augen sofort gründlich mit Wasser abspülen und Arzt konsultieren
- S 27 Beschmutzte, getränkte Kleidung sofort ausziehen
- S 28 Bei Berührung mit der Haut sofort abwaschen mit viel ... (vom Hersteller anzugeben)
- S 29 Nicht in die Kanalisation gelangen lassen
- S 30 Niemals Wasser hinzugießen
- S 33 Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladungen treffen
- S 35 Abfälle und Behälter müssen in gesicherter Weise beseitigt werden
- S 36 Bei der Arbeit geeignete Schutzkleidung tragen
- S 37 Geeignete Schutzhandschuhe tragen
- S 38 Bei unzureichender Belüftung Atemschutzgerät anlegen
- S 39 Schutzbrille/Gesichtsschutz tragen
- S 40 Fußboden und verunreinigte Gegenstände mit ... reinigen (Material vom Hersteller anzugeben)
- S 41 Explosions- und Brandgase nicht einatmen
- S 42 Bei Räuchern/Versprühen geeignetes Atemschutzgerät anlegen (geeignete Bezeichnung(en) vom Hersteller anzugeben)
- S 43 Zum Löschen ... (vom Hersteller anzugeben) verwenden (wenn Wasser die Gefahr erhöht, anfügen: „Kein Wasser verwenden“)
- S 45 Bei Unfall oder Unwohlsein sofort Arzt hinzuziehen (wenn möglich dieses Etikett vorzeigen)
- S 46 Bei Verschlucken sofort ärztlichen Rat einholen und Verpackung oder Etikett vorzeigen
- S 47 Nicht bei Temperaturen über ... °C aufbewahren (vom Hersteller anzugeben)
- S 48 Feucht halten mit ... (geeignetes Mittel vom Hersteller anzugeben)
- S 49 Nur im Originalbehälter aufbewahren
- S 50 Nicht mischen mit ... (vom Hersteller anzugeben)
- S 51 Nur in gut gelüfteten Bereichen verwenden
- S 52 Nicht großflächig für Wohn- und Aufenthaltsräume zu verwenden
- S 53 Exposition vermeiden – vor Gebrauch besondere Anweisungen einholen
- S 56 Dieses Produkt und seinen Behälter der Problemabfallentsorgung zuführen
- S 57 Zur Vermeidung einer Kontamination der Umwelt geeigneten Behälter verwenden
- S 59 Information zur Wiederverwendung/Wiederverwertung beim Hersteller/Lieferanten erfragen
- S 60 Dieses Produkt und sein Behälter sind als gefährlicher Abfall zu entsorgen
- S 61 Freisetzung in die Umwelt vermeiden. Besondere Anweisungen einholen/Sicherheitsdatenblatt beachten
- S 62 Bei Verschlucken kein Erbrechen herbeiführen. Sofort ärztlichen Rat einholen und Verpackung oder dieses Etikett vorzeigen

S 63 Bei Unfall durch Einatmen:  
Verunfallten an die frische Luft  
bringen und ruhig stellen

S 64 Bei Verschlucken Mund mit Wasser  
ausspülen (nur wenn Verunfallter  
bei Bewusstsein ist)

### **Kombination der S-Sätze**

S 1/2 Unter Verschluss und für Kinder  
unzugänglich aufbewahren

S 3/7 Behälter dicht geschlossen  
halten und an einem kühlen Ort  
aufbewahren

S 3/9/14 An einem kühlen, gut gelüfte-  
ten Ort, entfernt von ... aufbe-  
wahren (die Stoffe, mit denen  
Kontakt vermieden werden  
muss, sind vom Hersteller  
anzugeben)

S 3/9/14/49 Nur im Originalbehälter an  
einem kühlen, gut gelüfteten  
Ort, entfernt von ... aufbe-  
wahren (die Stoffe, mit denen  
Kontakt vermieden werden  
muss, sind vom Hersteller  
anzugeben)

S 3/9/49 Nur im Originalbehälter an  
einem kühlen, gut gelüfteten  
Ort aufbewahren

S 3/14 An einem kühlen, von ... ent-  
fernten Ort aufbewahren  
(die Stoffe, mit denen Kontakt  
vermieden werden muss, sind  
vom Hersteller anzugeben)

S 7/8 Behälter trocken und dicht  
geschlossen halten

S 7/9 Behälter dicht geschlossen  
an einem gut gelüfteten Ort  
aufbewahren

S 7/47 Behälter dicht geschlossen  
und nicht bei Temperaturen  
über ... °C aufbewahren  
(vom Hersteller anzugeben)

S 20/21 Bei der Arbeit nicht essen,  
trinken oder rauchen

S 24/25 Berührung mit den Augen und  
der Haut vermeiden

S 27/28 Bei Berührung mit der Haut  
beschmutzte Kleidung sofort  
ausziehen und sofort ab-  
waschen mit viel ....  
(vom Hersteller anzugeben)

S 29/35 Nicht in die Kanalisation gelan-  
gen lassen. Abfälle und Behäl-  
ter müssen in gesicherter  
Weise beseitigt werden.

S 29/56 Nicht in die Kanalisation  
gelangen lassen

S 36/37 Bei der Arbeit geeignete  
Schutzhandschuhe und  
Schutzkleidung tragen

S 36/37/39 Bei der Arbeit geeignete  
Schutzkleidung, Schutzhand-  
schuhe und Schutzbrille/  
Gesichtsschutz tragen

S 36/39 Bei der Arbeit geeignete  
Schutzkleidung und Schutz-  
brille/Gesichtsschutz tragen

S 37/39 Bei der Arbeit geeignete  
Schutzhandschuhe und Schutz-  
brille/Gesichtsschutz tragen

S 47/49 Nur im Originalbehälter bei  
einer Temperatur von nicht  
über ... °C (vom Hersteller  
anzugeben) aufbewahren

# Anhang D

## I. Literatur zur Sicherheit in Laboratorien und zu den gefährlichen Eigenschaften chemischer Arbeitsstoffe

### a) Allgemeine Literatur über Arbeitssicherheit

#### Druckschriftenverzeichnisse der Unfallversicherungsträger

Verzeichnisse über Unfallverhütungsvorschriften, Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz, Merkblätter, Informationen u.a. aus allen Bereichen der Arbeitssicherheit und Arbeitsmedizin werden in regelmäßig aktualisierten Ausgaben herausgegeben:

- a-1 Druckschriftenverzeichnis des Bundesverbandes der Unfallkassen (BUK), zu beziehen von Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger.
- a-2 BGVR-Verzeichnis des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), zu beziehen beim Carl Heymanns Verlag, Köln.

#### Monographien und Loseblattsammlungen

- a-3 W. Berthold, U. Löffler: Lexikon sicherheitstechnischer Begriffe in der Chemie, Verlag Chemie, Weinheim 1981.
- a-4 K. Isselhard, G. Neumann, P. Stürk, P. Volkmann, F. Willms: Lexikon Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, 10. Auflage, Universum Verlagsanstalt GmbH KG, Wiesbaden 2003.
- a-5 M. Graßl, I. Zakrzewski: Arbeitssicherheit und Unfallverhütung im öffentlichen Dienst, Ecomed-Verlagsgesellschaft, Landsberg 1999.

- a-6 W.-D. Ring, H.-Ch. Titze: Handbuch Deutsches Arbeitsschutzrecht, Ecomed-Verlagsgesellschaft, Landsberg (Loseblattsammlung).

#### Lehrmittel

- a-7 DVD  
„Alles wird gut“, Labor-Sicherheitsfilm der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, zu beziehen von Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger, 2005.
- a-8 CD-Trainingsprogramm  
„Sicheres Arbeiten im Labor“, Berufsgenossenschaft der Chemischen Industrie, Heidelberg 2004.
- a-9 Video-Kassette  
„Arbeitsplatz Labor – keine Experimente mit der Sicherheit“, Berufsgenossenschaft der Chemischen Industrie, Heidelberg 1997.

### b) Arbeitssicherheit im chemischen Laboratorium

#### Regeln der Unfallversicherungsträger

- b-1 GUV-Regel „Laboratorien“ (GUV-R 120, bisher GUV 16.17), zu beziehen von Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger.

#### Monographien und Loseblattsammlungen

- b-2 L. Bretherick: Hazards in the Chemical Laboratory, Third Edition, The Royal Society of Chemistry, London 1981.

- b-3 L. Roth, U. Weller:  
Sicherheitsfibel Chemie,  
Ecomed-Verlagsgesellschaft,  
Landsberg (Loseblattsammlung).
- b-5 H.K. Schäfer, Ch. Jochum:  
Sicherheit in der Chemie; Ein Leitfa-  
den für die Praxis, 2. Auflage,  
Carl Hanser Verlag, München 1997.
- b-6 W. Wolf, H. Schwahn:  
Sicherheit im Labor; Einrichten –  
Experimentieren – Entsorgen,  
Diesterweg-Verlag, Frankfurt 1984.
- b-7 H. Kruse:  
Laborfibel, Wiley-VCH, Weinheim 2002

**c) Gesundheitsschädliche  
chemische Arbeitsstoffe:  
Informationsmöglichkeiten,  
sicherer Umgang und Entsorgung**

**Staatliche Vorschriften**

- c-1 Gesetz zum Schutz vor gefährlichen  
Stoffen (Chemikaliengesetz –  
ChemG), Bundesgesetzblatt
- c-2 Verordnung zum Schutz vor Gefah-  
rstoffen (Gefahrstoffverordnung –  
GefStoffV), Bundesgesetzblatt
- c-3 Technische Regeln für Gefahrstoffe  
(TRGS), siehe hierzu TRGS 002  
„Übersicht über den Stand der Tech-  
nischen Regeln für Gefahrstoffe“,  
Bundesarbeitsblatt

**Vorschriften und Informationen der  
Unfallversicherungsträger**

- c-4 Unfallverhütungsvorschrift  
„Grundsätze der Prävention“ (GUV-V A 1),  
zu beziehen von Ihrem zuständigen  
Unfallversicherungsträger.

- c-5 GUV-Information „Erste Hilfe bei  
Einwirken gefährlicher chemischer  
Stoffe“ (GUV-I 8504, bisher GUV  
20.10), zu beziehen von Ihrem zustän-  
digen Unfallversicherungsträger.
- c-6 Merkblätter der „M-Serie“ (Gefahr-  
stoffe) der Berufsgenossenschaft der  
Chemischen Industrie,  
Jedermann-Verlag, Heidelberg.
- c-7 Gefahrstoffe 2005,  
Universum Verlagsanstalt GmbH KG,  
Wiesbaden (erscheint jährlich).

**CD-ROM**

- c-8 R. Kühn, K. Birett:  
Merkblätter gefährliche Arbeitsstoffe,  
Ecomed-Verlagsgesellschaft,  
Landsberg 2005.
- c-9 L. Roth, M. Dauderer:  
Giftliste, Ecomed-Verlagsgesellschaft,  
Landsberg.

**Loseblattsammlungen**

- c-10 G. Sorbe:  
Sicherheitstechnische Kenndaten –  
Gefahrenindex chemischer Stoffe,  
Ecomed-Verlagsgesellschaft,  
Landsberg.

**Monographien**

- c-11 R. Seidenstücker, U. Wölcke:  
Krebserzeugende Stoffe – Chemische  
Kanzerogene im Laboratorium –  
Struktur, Wirkungsweise und Maß-  
nahmen beim Umgang,  
3. Auflage, Wirtschaftsverlag NW,  
Bremerhaven 1979.

c-12 R. Seidenstücker:  
Vorkommen krebserzeugender und fruchtschädigender Stoffe in der Grundausbildung von Diplom-Chemikern und Lehramtskandidaten, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven 1988.

c-13 R.J. Lewis:  
Sax's Dangerous Properties of Industrial Materials, 11. Edition, Wiley VCH, Weinheim/Berlin/New York 2005.

c-14 D.B. Walters:  
Safe Handling of chemical carcinogens, mutagens, teratogens and highly toxic substances, Ann Arbor Sciences, Ann Arbor, Michigan 1980.

c-15 Deutsche Forschungsgemeinschaft, MAK- und BAT-Werte-Liste 2004, Wiley-VCH, Weinheim, /Berlin/New York, erscheint jährlich.

## **d) Gefährliche chemische Reaktionen und Arbeitstechniken**

### **Vorschriften des Staates und der Unfallversicherungsträger**

d-1 Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV), zu beziehen im Buchhandel.

d-2 Teil 3 „Zentrifugen“ von Kapitel 2.11 „Betreiben von Maschinen der chemischen Verfahrenstechnik“ der GUV-Regel „Betreiben von Arbeitsmitteln“ (GUV-R 500), <http://regelwerk.unfallkassen.de>.

d-3 GUV-Regel „Benutzung von Atemschutzgeräten“ (GUV-R 190, bisher GUV 20.14), zu beziehen von Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger.

### **Sonstige Fachliteratur**

d-4 L. Roth, U. Weller:  
Gefährliche chemische Reaktionen, Ecomed-Verlagsgesellschaft, Landsberg 2004 (CD-ROM).

d-5 P.G. Urben:  
Bredericks Handbook of reactive chemical hazards, Butterworth Heinemann, London 1999 (Zweiteiliges Handbuch mit CD-ROM).

## **e) Feuer- und explosionsgefährliche Stoffe; Brandverhütung und -bekämpfung**

### **Vorschriften des Staates und der Unfallversicherungsträger**

e-1 Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV), zu beziehen im Buchhandel.

e-2 Explosionsschutz-Regeln (EX-RL), (GUV-R 104, bisher GUV 19.8), zu beziehen von Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger

e-3 Richtlinien für die Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen (GUV-R 132, bisher GUV 19.7), zu beziehen von Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger.

e-4 Merkblatt Brandschutz – Brandverhütung – Brandbekämpfung, Bayerisches Landesinstitut für Arbeitsschutz, Arbeitsmedizin und Sicherheitstechnik, München 2003.

### **Sonstige Fachliteratur**

e-5 A. Rempe:  
Feuerlöschmittel – Eigenschaften, Wirkung, Anwendung,  
Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart 2005.

e-6 K. Nabert, G. Schön:  
Sicherheitstechnische Kennzahlen brennbarer Gase und Dämpfe,  
Deutscher Eichverlag,  
Braunschweig 1990.

e-7 W. Schramm:  
Laborbrände – Laborexpllosionen, Ursachen, Folgen und Folgerungen,  
Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart 1987.

## **f) Toxikologie chemischer Arbeitsstoffe**

### **Loseblattsammlungen**

f-1 M. Dauderer:  
Klinische Toxikologie,

Ecomed-Verlagsgesellschaft,  
Landsberg.

f-2 H. Greim:  
Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe. Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründung von MAK-Werten,  
Wiley-VCH, Weinheim/Berlin/New York 1992.

### **Monographien**

f-3 H. Braun, A. Dönhardt: Vergiftungsregister,  
Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1982.

f-4 K. Aktories, U. Förstermann, F.B. Hofmann, F. Bernhard:  
Allgemeine und Spezielle Pharmakologie und Toxikologie,  
9. Auflage, Elsevier, München 2004.

f-5 W. Wirth, Ch. Gloxhuber:  
Toxikologie, 5. Auflage,  
Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1994.

## **g) Entsorgung**

### **Monographien**

g-1 D. Reichard, W. Ochterbeck:  
Abfälle aus chemischen Laboratorien und medizinischen Einrichtungen,  
Ecomed-Verlagsgesellschaft,  
Landsberg, 2. Auflage 1994.

g-2 D. Bernabei:  
Sicherheit – Handbuch für das Labor,  
GIT-Verlag, Darmstadt 2002.

### **Loseblattsammlungen**

g-3 L. Roth:  
Gefahrstoff-Entsorgung,  
Ecomed-Verlagsgesellschaft,  
Landsberg.

## II. Informationen im Internet

### a) Allgemeine Informationen über Arbeitssicherheit

- a-1 Vorschriften und Regelwerk der Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand:  
<http://regelwerk.unfallkassen.de>
- a-2 Vorschriften und Regelwerk der gewerblichen Berufsgenossenschaften: <http://www.arbeitssicherheit.de>
- a-3 Staatliche Vorschriften und Technische Regel:  
<http://www.baua.de/prax/index.htm>

### b) Informationen zu Gefahrstoffen

- b-1 GESTIS-Stoffdatenbank der gesetzlichen Unfallversicherungsträger:  
<http://www.hvbg.de/d/bia/fac/stoffdb/index.html>
- b-2 Informationsstelle für Sicherheitsdatenblätter (ISI) beim Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitsschutz (BGIA):  
<http://www.hvbg.de/d/bia/fac/isi-db/index.html>
- b-3 Gefahrstoffinformationssystem der Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie (GisChem):  
<http://www.gischem.de>
- b-4 Stoffdatenbank der Firma Merck (ChemDAT): <http://www.chemdat.de>

**Weitere Internet-Adressen** sind in der Broschüre „Gesundheitsschutz beim Umgang mit Gefahrstoffen – PC-Programme und Datenbanken“ (GUV-I 8518, bisher GUV 20.55) des Bundesverbandes der Unfallkassen (BUK) enthalten.  
<http://regelwerk.unfallkassen.de>

# Anhang E

## Stichwortsverzeichnis

### A

Abfallbeseitigung 38ff.  
Abzug 18, 21ff.  
Alkalimetalle 40, 48  
Altöl 39  
Ammoniak 60, 80  
Arbeitsbekleidung  
    s. Laborkleidung  
Atemgeräte 69ff.  
Atemschutz 69ff.  
Atemschutzfilter 71ff.  
Atmung 69  
Aufladung,  
    elektrostatische 42  
Aufnahmewege 57  
Autoklaven 36f.  
Azide 24, 44

### B

Base, s. Lauge  
beheizen 28ff.  
Beschäftigungs-  
    beschränkungen 15, 64  
Blausäure 8, 41, 61, 81  
Brand 42ff.  
Brom 40, 60, 80  
Bunsenbrenner,  
    s. Gasbrenner

### C

Carcinogene  
    s. Krebserzeugende  
    Stoffe

Chemikaliengesetz 14  
Chlor 60, 80  
Chlorwasserstoff  
    s. Salzsäure  
Chromschwefelsäure 38  
Cocarcinogene 66  
Cyanid 24, 81

### D

Dewargefäße 30  
Diazomethan 66, 67  
Diethylsulfat 41  
Digestorium s. Abzug  
Dimethylsulfat 41, 66  
Druck, Über- 36ff.  
Druck, verminderter 31ff.  
Druckgasflaschen 33ff.  
Druckminderer 34f.

### E

Elimination von  
    Giftstoffen 58f.  
Entsorgung 38ff., 67f.  
Erbgutverändernde  
    Stoffe 64f., Anhang A  
Erbgutverändernde  
    Stoffe,  
    Umgang mit 67f.  
Erste Hilfe 75ff.  
Erste Hilfe bei Unfall  
    m. Gefahrstoffen 79ff.  
Ether 25, 44, 46  
Explosion 44ff.  
Exsikkator 32

### F

Feuerlöscher 9, 47f.  
Feuermelder 9  
Fluchtweg 9  
Fluorwasserstoff  
    24, 60, 62, 81  
Formaldehyd 60  
Fortpflanzungsgefährdende  
    Stoffe 64, Anhang A

### G

Gasbrenner 30  
Gase, physiol.  
    Wirkung 60f.  
Gaseinleitung 35f  
Gasflaschen  
    s. Druckgasflaschen  
Gefahrenklassen (VbF) 43  
Gefahrstoff-  
    verordnung 14f.  
Gewöhnungseffekt 8  
Glasbruch 26f.

### H

Halogenkohlenwasser-  
    stoffe 44, 62, 81  
Handschuhe  
    s. Schutzhandschuhe  
Heizbäder 28ff.  
heizen 28ff.

### I

Implosion 31f.

**K**

Kalium s. Alkalimetalle  
Katalysatoren 43  
Kennzeichnung 10f., 16  
Anhang C  
Kittel s. Laborkleidung  
KMR–Verzeichnis 85ff.  
Knallsilber 25  
Kreislaufwirtschafts-  
und Abfallgesetz 38f.  
Körperschutz 12f.  
Kohlendioxid 61  
s. auch Löschmittel  
Kohlenmonoxid 60f., 82  
Kohlensäure  
s. Löschmittel  
Krebserzeugende Stoffe  
64ff., Anhang A  
Krebserzeugende Stoffe,  
biochemische  
Wirkung 66f.  
Krebserzeugende Stoffe,  
Umgang mit 67f.  
Kühlbäder 28, 30  
kühlen 30  
Kühlschrank 8, 31, 43

**L**

Laborglas 26f.  
Laborkleidung 12f.  
Lagerung 16f., 33, 43  
Laserstrahlen 54  
Lauge 24, 62, 82  
LD<sub>50</sub> 55  
Löschdecke 47f.

Löschmittel 47f.  
Löschpulver  
s. Löschmittel

**M**

MAK-Wert 63f.  
Metabolismus 58  
Methanol 58, 82  
Molekularsieb 44  
Mutagene  
s. erbgutverändernde  
Stoffe

**N**

Natrium 25, 40, 44  
Notausgang 9  
Notdusche 9, 47, 76  
Notruf 9, 75

**P**

Perchlorsäure 24  
Permanganat 24  
Per-Verbindungen  
44, 46f.  
Phosgen 36, 41, 60, 83  
Pipettieren 18, 53  
Präcarcinogene 67  
Pressluftatmer 69f., 74

**Q**

Quecksilber 25, 39, 58

**R**

Raney-Nickel 41, 43  
Reaktion, exotherm 45f.  
Reaktion, Zersetzung 46f.  
Reinigung 13, 38  
Röntgenstrahlung 54

**S**

Säure 24, 62, 83  
Säureanhydrid 41  
Säurechlorid 41, 45  
Salzsäure 41, 60, 62, 81  
Sand s. Löschmittel  
Schliffverbindungen 27  
Schuhe s. Laborkleidung  
Schutzbrille 12, 38  
Schutzhandschuhe  
12, 24, 38, 75  
Schutzkleidung 13, 75  
Schwefeldioxid 41, 60  
Schwefelwasserstoff  
61, 83  
Schwermetalle 39, 66  
Sicherheits-  
bewusstsein 6f.  
Selbstschutz 9, 75  
Sicherheits-  
informationen 10  
Siedeverzug 28  
Sofortmaßnahmen  
bei Unfällen 84  
Sprengstoffe 44f.  
Sprengstoffgesetz 44f.  
Stäube 62f.

Strahlung,  
Arbeiten mit 51ff.  
Strahlenschutz-  
verordnung 51, 54  
Strom 49f.

## **T**

Teratogene s. fortpflan-  
zungsgefährdende  
Stoffe  
Toxikologie 10, 55ff.  
Transport 16f., 33  
Trockeneis 30  
Trockenschränke 31  
TRGS 900 63f., 65  
TRK-Wert 65

## **U**

Umfüllen 17f.  
Unfallmeldung 75  
Unfallverhütung 7f.

## **V**

Vakuum s. Druck,  
verminderter  
VbF 43  
Ventil, Gasentnahme 35  
Vergiftungen 56

## **Z**

Zündquellen 8, 42f.



## 1 Retten

- Verletzte unter Selbstschutz aus Gefahrenbereich bringen
- Alarmieren weiterer Personen im Gefahrenbereich
- Gegebenenfalls Abschalten von Gas, Wasser, Strom; ggf. Not-Aus betätigen

## 2 Hilfe anfordern

Notruf-Nr./Zimmer-Nr./Adresse eintragen

---

Ersthelfer:

---

Notarzt:

---

Feuerwehr:

---

Giftzentrale:

---

Augenarzt:

---

Chirurgische  
Ambulanz:

---

**Notruf-angaben:**    **Wo** geschah es?  
                           **Was** geschah?  
                           **Wieviele** Verletzte?  
                           **Welche** Art von Verletzungen?  
                           **Warten** auf Rückfragen!

## 3 Erste Hilfe leisten

#### Hinweis:

Seit Oktober 2002 ist das BUK-Regelwerk „Sicherheit und Gesundheitsschutz“ neu strukturiert und mit neuen Bezeichnungen und Bestellnummern versehen. In Abstimmung mit dem Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften wurden sämtliche Veröffentlichungen den Kategorien „Unfallverhütungsvorschriften“, „Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz“, „Informationen“ und „Grundsätze“ zugeordnet.

Bei anstehenden Überarbeitungen oder Nachdrucken werden die Veröffentlichungen auf die neuen Bezeichnungen und Bestellnummern umgestellt. Dabei wird zur Erleichterung für einen Übergangszeitraum von ca. 3 bis 5 Jahren den neuen Bestellnummern die bisherige Bestellnummer angefügt.

Des Weiteren kann die Umstellung auf die neue Bezeichnung und Benummerung einer so genannten Transferliste entnommen werden, die u.a. im Druckschriftenverzeichnis und auf der Homepage des Bundesverbandes der Unfallkassen ([www.unfallkassen.de](http://www.unfallkassen.de)) veröffentlicht ist.