

ein organ der fachschaft chemie № 49 I/04

## *Special Toxikologie*



Für Schäden, die aufgrund der (möglicherweise falschen) Anwendung der Ratschläge in diesem Skript auftreten, übernehmen wir keine Haftung !!!

## Gefährlich, gefährlich...

Ein TNT-Toxikologie-Special ??? Tja, die wenigsten unter Euch dürften sich daran erinnern, dass die Fachschaft schon einmal ein Toxi-TNT herausgegeben hat. – Uns ist es nach vielen Anläufen nun endlich gelungen unser letztes Toxi-TNT, welches sich in einer Kiste in der Fachschaft versteckte, wieder aufzupeppeln und zum Druck freizulassen. Unser Anliegen ist es jedem/r Chemiestudierenden einen kompakten Überblick über die Stoffe, mit welchen sie täglich die Laborbank oder den Abzug - unter Umständen vielleicht aus das Mittagessen - teilen, zu geben.

Denn leider erfahren die meisten Studierenden erst in der Toxikologie-Vorlesung im Hauptstudium, wie sie mehr toxische Stoffe zu sich nehmen können, und wo sie sich versteckt halten ...– ein unhaltbarer Zustand wie wir finden !!!

Dieses Heft ist eine Zusammenstellung häufig gebrauchter und zugleich bedenklichsten Stoffen mit denen man im Laufe seines Studiums in Kontakt kommt – es ist nicht das Skript zur Toxikologie-Vorlesung der TUD. Wir möchten mit diesem stark komprimierten Wissen jedem/r Studenten/In, vom ersten Semester an bis zur Doktorarbeit die Möglichkeit geben, sich über Gefahren im Umgang mit diesen Substanzen zu informieren, mit denen er/sie im Labor zu tun hat. Der bewusste Umgang mit Chemikalien als toxische Substanzen sollte den

Studentinnen und Studenten bereits ab der ersten Stunde im Labor vor Augen geführt werden. Wir hoffen, dass dieses TNT bald in vielen Labors unseres Fachbereiches anzutreffen sein wird - als schnell greifbares Nachschlagewerk oder als Quellenhinweis für tiefere Einblicke in die Toxikologie.

Dieses TNT beinhaltet Teile aus dem 6. und 7. Kapitel des, von der FSV Chemie der Universität Münster herausgegebenen 144 Seiten starken Sicherheitskriptes „Echt Ätzend...“ (9. Auflage 2001), welches eine umfassende und sehr gute Zusammenstellung von toxikologischen Eigenschaften und Begriffen beinhaltet.

Wir möchten uns an dieser Stelle bei der Fachschaftsvertretung Chemie der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster für die Genehmigung des teilweisen Abdrucks des Sicherheitskripts herzlichst bedanken.

An alle, die die Comics, Geschichten, den Klatsch und Tratsch vermissen, der sonst das TNT ziert, sei gesagt, dass das nächste TNT schon in Arbeit ist...

***Eure Fachschaft und die Redaktion des TNT***

### Impressum:

Herausgeber:	<b>Fachschaft CHEMIE der TUD</b>
Kontaktadresse:	<b>Redaktion TNT, c/o Fachschaft CHEMIE</b> Technische Universität Darmstadt Petersenstr. 20 (LiWi, Gebäude L2 04/ Zimmer 76) D-64287 Darmstadt (0)6151/16-4814
	☎: (0)6151/16-4814
	✉: <a href="mailto:fschemie@fschemie.tu-darmstadt.de">fschemie@fschemie.tu-darmstadt.de</a>
	🌐: <a href="http://fserver.pc.chemie.tu-darmstadt.de/~fschemie">http://fserver.pc.chemie.tu-darmstadt.de/~fschemie</a>
Redaktion:	Volker Schmidts, Nina Hundertmark, Alexander Schießer
ViSdP:	Volker Schmidts, Nina Hundertmark, Alexander Schießer
Auflage:	750
Redaktionsschluß:	04.04.2004
Farbe:	gelb/orange
ISSN:	1433-6588
Druck:	ASTA-Druck der TUD TNT erscheint im 22. Jahrgang

Außerredaktionelle Artikel sind mit Namen gekennzeichnet und spiegeln in erster Linie die Meinung des Verfassers wieder. Gleiches gilt - auch ohne Angabe spezieller Autoren - für Rezensionen. Veröffentlichung und sinngemäße Kürzungen behalten wir uns vor.

Wir weisen ausdrücklich auf die bestehenden Copyright- und Printrechte des in dieser Ausgabe zitierten, Sicherheitskript „Echt Ätzend ...“ (9. Auflage 2001) hin, die bei der Fachschaftsvertretung Chemie Westfälischen Wilhelms-Universität Münster Wilhelm-Klemm-Str. 8 48149 Münster liegen.

TNT ist das öffentliche Publikationsorgan der **Fachschaft Chemie** der Technischen Universität Darmstadt und sollte mindestens einmal pro Semester erscheinen und wir suchen - wie immer - **Nachwuchs!!!**

# 1 SCHWERMETALLE

Schwermetalle sind - gesundheitlich gesehen - eine sehr unerfreuliche Stoffklasse. Fallen Euch da nicht gleich Schlagzeilen wie „Kühe durch Blei vergiftet“ oder „Gemüse durch Blei und Cadmiumverseucht“ ein? Weiter wurden auch Massenvergiftungen, wie die Itai-Itai-Krankheit (durch Cadmium) oder die Minamata-Krankheit (durch Quecksilber), durch Schwermetalle hervorgerufen. Im Praktikum lässt sich der Umgang mit Schwermetallen nicht vermeiden. Sie lassen sich in den Analysen recht einfach und sicher nachweisen, nur birgt der Umgang mit ihnen immer die Gefahr einer Vergiftung. Bei Beachtung der Sicherheitsvorschriften lässt sich allerdings die Möglichkeit der Vergiftung, die orale Aufnahme, völlig ausschließen (Pipettieren nie ohne Saugball!!!). Damit wird dann auch eine akute Vergiftung so gut wie sicher vermieden. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit einer chronischen Vergiftung, sind doch auch außerhalb des Labors Schwermetalle in der Nahrung und in Form von Stäuben vorhanden. Da viele Schwermetalle bzw. deren Verbindungen bei Inhalation zumindest reizend auf die Atemwege, einige sogar gewebedegenerierend wirken, sollte die Inhalation nach Möglichkeit vermieden werden. Besonders unerfreulich ist die Aufnahme durch Hautresorption, da die Stoffe so meist unbewusst aufgenommen werden und eine eventuelle Vergiftung nicht zu erklären ist. Um die Hautresorption zu vermeiden, solltet Ihr beim Umgang mit Schwermetallen bzw. -verbindungen unbedingt Handschuhe tragen. In diesem Teil des Skriptes wurde zum einen häufig darauf verzichtet, Vergiftungssymptome aufzuführen, zum anderen wurden keine Therapien angegeben. Dies ist darauf zurückzuführen, dass im Praktikum akute Vergiftungen mit Schwermetallverbindungen recht selten auftreten. Die größere Gefahr besteht ohnehin in einer chronischen Vergiftung, die durch ständige Aufnahme geringer Mengen hervorgerufen wird. Ein Problem der eventuellen Vergiftungserscheinungen besteht zudem darin, dass häufig gleich mehrere Verbindungen in Form von Stäuben oder durch die Haut aufgenommen werden. Danach ist es nicht möglich, eine etwaige Vergiftung einem bestimmten Element zuzuordnen. Allgemein lässt sich sagen, dass Vergiftungen durch Übelkeit, Erbrechen, Durchfall, Müdigkeit und Konzentrationsschwäche angezeigt werden. Daher solltet Ihr beim Auftreten dieser Symptome sofort den Arzt aufsuchen. In Anbetracht der Gefährdungen durch Schwermetallverbindungen sollte dafür gesorgt werden, dass sie nicht unkontrolliert das Labor verlassen - sie gehören in den Schwermetallabfallbehälter und keinesfalls in den Abzug oder den Restmüll!

## 1.1 Antimon

Physiologische Wirkung: Die Toxizität von metallischem Antimon ist fraglich. Vergiftungen, die angeblich nach dem Kontakt mit metallischem Antimon auftraten, können auch durch andere Elemente, wie Blei und Arsen, ausgelöst worden sein. Es wird jedoch von einer Giftwirkung auf den Herzmuskel ausgegangen. Im Gegensatz zur fraglichen Toxizität des metallischen Antimons sind viele Antimonverbindungen sehr giftig. Brechweinstein  $K(C_4H_2O_7Sb_2)$  ist schon in der Menge von 0,01 g giftig und kann bei 0,1 g tödlich wirken. Das Vergiftungsbild entspricht ungefähr dem der akuten Arsenikvergiftung, d.h. es kommt zu häufigem Erbrechen, Durchfall, Kollaps und schwerer Leberschädigung. Allgemein scheinen die dreiwertigen Antimonverbindungen giftiger zu sein als die fünfwertigen. Die Salze bewirken schwere Störungen im Magen-Darm-Bereich, akute Leberschäden, Muskelschmerzen, sowie nervöse Erscheinungen, Leber- und Nierenschäden. Die Dämpfe wirken örtlich reizend, haben eine resorptive Wirkung und werden gleichzeitig durch die Verdauungswege aufgenommen. Eine lang andauernde Inhalation von Antimontrioxid führt zu den genannten toxischen Symptomen, wobei es auch zu starken Reizungen der Schleimhäute kommt.

Sicherheitsratschläge: Beim Arbeiten mit Antimontrioxid bzw. wenn mit dessen Auftreten zu rechnen ist, den Abzug benutzen. Die Abfälle sammeln! Antimonwasserstoff s. „Gase“.

## 1.2 Arsen

Charakteristik: Arsen ist ein Element, das praktisch in jeder Form toxisch ist. Seine Gesundheitsschädlichkeit ist auch dem Nichtchemiker oder -mediziner so bekannt, dass es als Prototyp eines Giftes angesehen wird. Dabei wird Arsen im Allgemeinen aber mit Arsenik (Arsentrioxid) gleichgesetzt. Metallisches Arsen ist offenbar ungiftig, wird aber leicht zu  $As_2O_3$  oxidiert. Fünfwertige

Arsenverbindungen sind weniger toxisch als Arsen(III)-Verbindungen, werden jedoch im Körper leicht in Letztere überführt. Praktisch ungiftig sind die Schwefelverbindungen  $As_4S_4$  (Realgar) und  $As_2S_3$  (Auripigment), da sie sehr schwer löslich sind. Meist enthalten sie jedoch etwas Oxid. Arsen wird im Organismus in Leber, Niere, Haut, Nägeln und Haaren gespeichert und allmählich durch den Harn ausgeschieden. In den Haaren und den Nägeln läßt es sich noch monatelang nachweisen.

Physiologische Wirkung: **ARSENİK** wirkt lokal gewebedegenerierend, so dass Arsenikstaub bei Einatmung ähnlich wie Chromatstaub Geschwüre der Nasenschleimhaut bis zur Perforation der Nasenscheidewand bewirken kann. Noch stärkere Haut- und Schleimhautschädigungen bewirkt  $AsCl_3$ , das leicht durch die Haut in toxischen Mengen aufgenommen wird, so dass Hautresorption schon zu tödlichen Vergiftungen geführt hat, wobei eine gleichzeitige Einatmung des Arsenrichlorids jedoch nicht ausgeschlossen werden kann. Berufliche Vergiftungen mit  $AsCl_3$  traten während des I. Weltkrieges auf, als es für die Herstellung arsenhaltiger Kampfstoffe wie Lewisit (2-Chlorvinyl-arsindichlorid) benutzt wurde.

**ARSENTRIOXID, ARSEN PENTOXID, ARSENIGE SÄURE, ARSENSÄURE UND DEREN SALZE** wurden in die Liste der Stoffe eingeordnet, die erfahrungsgemäß beim Menschen Krebs erzeugend sind (Gefahrenklasse 1).

Vergiftungssymptome: akut: blutige Brechdurchfälle, Kreislaufkollaps, Atemlähmung. chronisch: Hautkribbeln, Kopfschmerzen, Appetit- und Lustlosigkeit, Schwäche, Lähmungen, Sehstörungen.

Sicherheitsratschläge: Arsenverbindungen nur unter dem Abzug handhaben, Inhalation vermeiden, Sammeln der Abfälle. Zu Arsenwasserstoff siehe unter „Gase“(4.1.2).

### 1.3 Barium

Barium ist kein Schwermetall; es wurde trotzdem in dieses Kapitel aufgenommen.

Physiologische Wirkung: Die wasser- und säurelöslichen Verbindungen des Bariums sind recht giftig. Erscheinungen einer Vergiftung sind neben einer starken Entzündung des Magen-Darm-Trakts vor allem Krämpfe der glatten und quergestreiften Muskulatur, einschließlich der Herzmuskulatur. Akute Vergiftungserscheinungen: Schleimhautreizung, Trockenheit im Mund, Schluckbeschwerden, Brechreiz, allgemeine Schwäche. Vergiftungen mit Bariumverbindungen sind meist nur durch Verwechslung der leichtlöslichen Salze mit schwerlöslichen (z.B. Bariumsulfat; Verwendung als Röntgenkontrastmittel) aufgetreten.

Bariumhydroxid (Barytwasser:  $Ba(OH)_2$ ): siehe Kap. 3.3 „Erdalkalihydroxide“

### 1.4 Blei

Charakteristik: Sowohl metallisches Blei als auch seine Verbindungen sind giftig. Sie können sowohl durch Einnahme als auch durch Einatmen oder Hautresorption in den Körper gelangen. Akute Bleivergiftungen sind dabei aufgrund der geringen Resorption relativ selten und nur bei Aufnahme hoher Dosen zu erwarten. Weitaus gefährlicher ist jedoch die ständige Aufnahme kleiner Bleimengen. Es sollte weiterhin nicht vergessen werden, daß der Kraftstoffzusatz Bleitetraethyl früher für nicht unerhebliche Mengen an Bleiverbindungen in der Umwelt sorgte.

Physiologische Wirkung: Ist das Blei in den Körper gelangt, so wird es zunächst locker an die Blutkörperchen gebunden. Ein geringer Teil des Bleis wird ausgeschieden, der größte Teil wird gespeichert, und zwar besonders in den Knochen (wo es das Calcium ersetzen kann), in den Zähnen und in den Haaren. Die aus einer Blockierung von Enzymen resultierende sogenannte Bleikrankheit äußert sich in Müdigkeit, Appetitlosigkeit, Kopfschmerzen und ähnlichen Symptomen. Die meisten Bleiverbindungen werden als gesundheitsschädlich bezeichnet, sie sind aber auch fruchtschädigend (Re 1) oder beeinträchtigen die Fortpflanzungsfähigkeit (Rf 3).

Vergiftungssymptome: akut: Erbrechen, Kollaps

Sicherheitsratschläge: Gegen die Hautresorption von Bleiverbindungen und deren Lösungen schützt das Tragen von Handschuhen.

### 1.5 Cadmium

Die Frage, ob Cadmium lebenswichtig ist, ist noch umstritten, es ist jedoch im Körper enthalten.

Vergiftungssymptome: akut: Das Verschlucken löslicher Cadmiumsalze kann Erbrechen, Störungen im Magen-Darm- Bereich und Leberschädigung zur Folge haben. Das Einatmen von Dämpfen bewirkt eine Reizung der Atemwege sowie Kopfschmerzen. Besonders ist hier die Gefährlichkeit von Cadmiumoxid hervorzuheben, dessen Einatmung (Rauch) bei entsprechenden Konzentrationen ohne sofortige Reizwirkung ein Lungenödem hervorrufen kann. chronisch: Chronische Cadmiumvergiftungen äußern sich durch Blutarmut, Wirbelschmerzen und Gelbfärbung der Zahnhäse, Cadmiumschnupfen und im fortgeschrittenen Stadium durch Knochenmarkschädigung. Die mit schweren Skelettveränderungen einhergehende und oft tödlich endende Itai-Itai-Krankheit in Japan wurde vermutlich dadurch verursacht, dass sich Cadmiumverbindungen aus den Abwässern einer Fabrik in den damit bewässerten Reispflanzen angesammelt hatten. Besonders bedenklich erscheint die Häufung des Cadmiums in der Leber und in den Nieren. Zumal der Mensch durch Nahrung und Wasser, der Raucher noch zusätzlich aus dem Tabakrauch, geringe Mengen Cadmium aufnimmt, für das im Körper kein Regelmechanismus existiert (die biologische Halbwertszeit, d.h. die Zeit, nach der die Hälfte eines im Körper befindlichen Stoffes von diesem abgebaut oder ausgeschieden wird, beträgt für Cadmium etwa 10 - 30 Jahre). Werden Cadmiumverbindungen verschluckt, können etwa 30 - 40 mg Cd(II) tödlich sein. Cadmiumchlorid wurde in die Klasse jener Stoffe eingeordnet, die bislang nur im Tierversuch bösartige Geschwulste zu erzeugen vermochten (Kategorie 2).

Sicherheitsratschläge: Handhabung von Cadmium und seinen Verbindungen nur unter dem Abzug, Sammeln der Abfälle.

## 1.6 Chrom

Charakteristik: Als Spurenelement ist Chrom essentiell und von Bedeutung für den Glucose-Stoffwechsel. Der tägliche Bedarf an Chrom liegt bei ca. 0,05 mg Chrom. Es akkumuliert besonders in Milz und Leber. Während metallisches Chrom infolge seiner Schwerlöslichkeit unschädlich ist, wirken höhere Dosen löslicher Chromverbindungen ziemlich giftig, wobei die Giftigkeit der sechswertigen Chromverbindungen etwa hundertmal höher ist, als die der dreiwertigen: 0,5 - 1g Kaliumdichromat werden als tödlich beschrieben.

Physiologische Wirkung: Die sechswertigen Verbindungen wirken als Oxidationsmittel ätzend auf Haut und Schleimhäute. Darüber hinaus verursachen sie schlecht heilende Geschwüre und haben sensibilisierende Wirkung; dies kann eine Chromatallergie zur Folge haben. Chromathaltige Stäube werden als potentielle Kanzerogene betrachtet, d.h. das Einatmen der Stäube kann Lungenkrebs zur Folge haben. Aus verschiedenen Tests wurde geschlossen, dass das sechswertige Chrom mutagene Eigenschaften besitzt, das dreiwertige jedoch nicht.

Sicherheitsratschläge: Stäube sechswertiger Chromverbindungen nicht einatmen, am besten unter dem Abzug arbeiten. Beim Umgang mit Chrom(VI)-Verbindungen Handschuhe tragen. Chromathaltige Lösungen und Niederschläge sammeln und Cr(VI) zu Cr(III) reduzieren.

## 1.7 Kobalt

Charakteristik: Kobalt ist ein essentielles Spurenelement in Metallenzymen; unter anderem bildet es das Zentralatom im Vitamin B 12.

Physiologische Wirkung: Erhöhte Aufnahme kann jedoch zu Haut- und Lungenerkrankungen, Magenbeschwerden sowie Leber- und Nierenschäden führen. Bei der Aufnahme von Kobalt und seinen Verbindungen durch Inhalation, haben sich diese im Tierversuch als kanzerogen erwiesen, eine Sensibilisierung ist möglich.

Sicherheitsratschläge: Zur Vermeidung der Inhalation von Stäuben am besten im Abzug arbeiten.

## 1.8 Kupfer

Physiologische Wirkung: Metallisches Kupfer ist ungiftig. Inhalation von Kupferstäuben bzw. -dämpfen kann Metallfieber verursachen. Die Inhalation von Kupfersalzen führt zu starken Schleimhautreizungen; das Verschlucken von Kupferacetat, -carbonat, -chlorid, Grünspan und anderen Verbindungen führt zu starken Störungen im Verdauungstrakt mit Erbrechen grüner, aber auch blutiger Massen, zu Durchfällen mit Koliken und zu Wasserverlust. Schwere Vergiftungen können tödlich enden. Für viele Pflanzen und Einzeller stellen Kupfer und seine Verbindungen ein starkes Gift dar.

Sicherheitsratschläge: Vermeidung der Inhalation von Stäuben. Metallisches Kupfer nicht mit Oxidationsmittel und Ammoniumnitrat zusammenbringen, da es zu explosionsartigen Reaktionen kommen kann.

## 1.9 Nickel

Physiologische Wirkung: Es gibt zahlreiche Hinweise, dass Nickel beim Menschen wichtige physiologische Funktionen zukommt. So werden einige Verdauungsfermente durch Nickel aktiviert. Das Element hat allerdings auch toxische Eigenschaften. Diese Wirkung dürfte ausschließlich auf Nickelstäube und -dämpfe zurückzuführen sein, da die Verbindungen durch die unverletzte Haut nicht aufgenommen werden. Nickelstäube und -dämpfe wirken kanzerogen und verursachen krebsartige Erkrankungen in der Lunge und den Nasennebenhöhlen. Weiterhin ist zu sagen, dass häufiger Kontakt mit dem Element und seinen Verbindungen zu Allergien führen kann. Im Gegensatz zu den anorganischen Nickelverbindungen müssen die organischen als hochtoxisch angesehen werden; hier ist besonders das Nickeltetracarbonyl,  $\text{Ni}(\text{CO})_4$ , zu nennen. Aufgrund ihrer organischen Natur werden sie leicht durch die Haut aufgenommen. Das Einatmen ist ebenfalls gefährlich, da offenbar bereits unterhalb der Geruchs- und Reizschwelle eine Gefährdung eintritt.

Sicherheitsratschläge: Vermeidung der Inhalation, also am besten Arbeiten unter dem Abzug. Um der Entwicklung von Allergien aus dem Weg zu gehen, sollten Handschuhe getragen werden.

### 1.9.1 Quecksilber

Charakteristik: Die toxikologische Wirkung des Quecksilbers hängt stark von der Verabreichungsform und vom chemischen Bindungszustand ab:

Physiologische Wirkung:

**METALLISCHES QUECKSILBER:** Es verursacht, wenn es in die Blutbahn oder in den Magen-Darm-Trakt gelangt, meist keine ernsthaften Erkrankungen.

**QUECKSILBERDÄMPFE:** Sie sind hingegen äußerst gefährlich. Zunächst werden sie in der Lunge an sulfidische Eiweiße gebunden und gelangen so ins Blut. Zwar wird Quecksilber, wie alle Schwermetalle, von den Nieren aufgenommen und schließlich ausgeschieden; bei hohen Konzentrationen kommt es aber zu Nierenschädigungen, und die verbleibenden Quecksilberverbindungen im Blut führen zu krankhaften Veränderungen der Nervenenden (Synapsen). Auch kommt es zur Speicherung in Leber und Gehirn.

**QUECKSILBERVERBINDUNGEN:** Die Verbindungen des zweiwertigen Quecksilbers sind generell giftiger als die des einwertigen, einzige Ausnahme: Quecksilber(II)-sulfid. Über die Giftigkeit der *anorganischen Verbindungen* findet man in der Literatur teilweise widersprüchliche Angaben; man kann aber davon ausgehen, dass Dosen ab etwa 100mg löslicher Quecksilbersalze, wie  $\text{HgCl}_2$ , tödlich sind. Die Giftigkeit der *Organometallverbindungen des Quecksilbers* ist vor allem aufgrund der Vergiftungskatastrophen in Minamata eingehender untersucht worden. Von besonderer Bedeutung sind Methylquecksilberverbindungen. Das Methylquecksilberion wird im Magen nicht zerstört und gelangt, da es fettlöslich ist, durch die Verdauungstätigkeit des Darms ins Blut. Es kommt zu schweren Schädigungen des Nervensystems und zur Anreicherung hauptsächlich in Leber, Niere und Gehirn (Minamata-Krankheit). Glücklicherweise braucht ein Auftreten dieser Krankheit aufgrund von Labortätigkeit im Allgemeinen nicht befürchtet zu werden. Die Minamata-Krankheit wurde in großem Ausmaß durch den Genuss von mit Quecksilberverbindungen angereicherten Fischen ausgelöst, was deutlich zeigt, dass die allgemeine Schwermetallbelastung sehr ernst zu nehmen ist. Sowohl organische als auch anorganische Quecksilberverbindungen werden über die intakte Haut aufgenommen.

Vergiftungssymptome: akut: süßer Geschmack, Übelkeit, Erbrechen, Durchfall. chronisch: Anfangs Übererregbarkeit, später Zittern am ganzen Körper; dies macht sich unter anderem charakteristisch dadurch bemerkbar, dass es kaum noch möglich ist, leserlich zu schreiben, auch kann die chronische Einwirkung zu allgemeiner Gedächtnisschwäche führen. Heilungschancen bestehen nur, wenn die Nierenfunktion aufrechterhalten werden kann.

Sicherheitsratschläge: Verschüttetes Quecksilber (z.B. aus einem zerbrochenem Thermometer) muss, um eine chronische Belastung der im Labor Beschäftigten über längere Zeiträume hinweg zu vermeiden, sofort beseitigt werden. Dem Assistenten sofort Bescheid geben; dieser kann die zur Beseitigung notwendigen Mittel zur Verfügung stellen. Mit flüssigem Quecksilber nur über einer Auffangwanne (aus Zink) und unter dem Abzug arbeiten. Zur Verhinderung der Aufnahme durch die Haut Gummihandschuhe tragen. Quecksilber darf nicht in dünnwandigen Glasgefäßen (z.B.

Erlenmeyerkolben) aufbewahrt werden. Entsorgung: metallisches Quecksilber wird gesondert gesammelt anorganische Quecksilberverbindungen kommen in die Schwermetalltonne.

## 1.10 Silber

Allgemeines: In diesem Zusammenhang erwähnenswert ist das Silbernitrat bzw. dessen wässrige Lösungen. Auf der Haut bildet sich durch den Kontakt mit der Substanz eine schwarze Ausscheidung von Silber, Silberoxid und Silbersulfid. Bei der Reaktion wird Salpetersäure freigesetzt, wodurch die ätzende Wirkung des Silbernitrats verständlich wird. Die Augen sind also durch den Kontakt mit der Substanz und deren wässrigen Lösungen besonders gefährdet. (s.a.: Kap. 2.6 Salpetersäure)

Sicherheitsratschläge: Augen- und großflächigere Hautverätzungen vermeiden.

Erste Hilfe: s. Kap. 2.6 Salpetersäure

## 1.11 Zink

Charakteristik: Zink ist ein essentielles Spurenelement; es ist als Bestandteil wichtiger Enzyme von großer Bedeutung. Bei Zinkmangel kommt es zu Fruchtbarkeitsstörungen und auch zu Störungen während der Embryonalentwicklung.

Physiologische Wirkung: Zink und seine Verbindungen wirken, wenn sie verschluckt werden, wenig giftig, reizen jedoch zum Erbrechen. Die Verbindungen werden nur wenig resorbiert; Salze starker Säuren, wie Zinkchlorid, ätzen allerdings Haut und Schleimhäute.

Sicherheitsratschläge: Inhalation von Stäuben und Dämpfen vermeiden.

## 2 SÄUREN

Die Ätzwirkung von Säuren hängt von der Konzentration ihrer Lösungen und der Stärke ihrer Dissoziation ab. Die meisten gut wasser-, aber wenig fettlöslichen Säuren bewirken auf den betroffenen Hautstellen die Bildung eines geschlossenen Ätzschorfs, so dass die Verätzung häufig oberflächlich bleibt. Einige Substanzen, z.B. konz. Schwefelsäure, lösen den Schorf jedoch und können so tiefer in das Gewebe eindringen. Die organischen Säuren sowie einige anorganische, z.B. Flußsäure, sind in der Regel in Wasser nur schwach dissoziiert, aber gut fettlöslich, so dass sie rasch in tiefere Gewebsschichten vordringen und dort ihre zerstörerische Wirkung entfalten können. Die Auswirkungen von Kontaminationen mit dissozierenden Säuren sind, richtige Behandlung und kleine Säuremengen vorausgesetzt, häufig unkritisch.

Erste Hilfe: Beim Vorliegen einer Säureverätzung (folgendes gilt übrigens auch für Basen !!) sind zunächst jegliche Neutralisationsversuche zu unterlassen, es muss aber unbedingt für eine größtmögliche Verdünnung der Substanzen gesorgt werden. Das betreffende Ätzmittel wird mit viel Wasser von der Haut abgespült (jedoch nicht bei Schwefelsäure !, s. dort), wobei über einen längeren Zeitraum gespült werden muß (bis zu einer halben Stunde). Bei größeren Mengen müssen kontaminierte Kleidungsstücke entfernt und schnellstens die Notduschen in Anspruch genommen werden. Durch die Verätzung der Haut fallen deren Funktionen (Atmung !) an den betroffenen Partien aus, was ähnliche Folgen hat wie eine Hautverbrennung. Sollte Säure (oder Base) ins Auge gespritzt sein, so muss dieses ebenfalls bis zu einer halben Stunde bei gut geöffnetem Lidspalt von innen nach außen unter einem weichen Wasserstrahl gespült werden, wobei der Verletzte notfalls mit Gewalt zur Wasserleitung gebracht und der Lidspalt geöffnet werden muss (die dafür vorgeschriebenen Augenduschen sind in den Praktikumsräumen installiert). Anschließend ist eine augenärztliche Behandlung erforderlich. Der beste Schutz ist das Tragen einer Schutzbrille; eine normale optische Brille ist nicht ausreichend. Nach dem Verschlucken von Säure (auch Base) muss sofort viel Wasser getrunken werden, es darf auf keinen Fall ein Erbrechen ausgelöst werden. Anschließend ärztliche Versorgung ist unbedingt erforderlich. Im Labor ist die größte Gefahrenquelle für eine solche Verätzung das Pipettieren mit dem Mund, deshalb ist es verboten! Erfahrungsgemäß sind Verätzungen durch Säuren zu Beginn einer chemischen Ausbildung eine der Hauptorgen der Praktikanten. Soweit es Verätzungen der Haut betrifft, wird die Gefahr hier im allgemeinen überbewertet, bei Laugenverätzungen jedoch häufig unterschätzt (s. dort), zumindest dann, wenn es sich um Säuren handelt, bei denen die Ätzwirkung nur von den Wasserstoff- bzw. Oxoniumionen ausgeht. Zu den auch auf der Haut sehr gefährlichen Säuren gehören z.B. die Salpetersäure (in höheren Konzentrationen) und vor allem die Flußsäure, da bei dieser schon ein einziger

Tropfen einer konzentrierteren Lösung auf der Haut schwerwiegende Folgen haben kann, sofern keine rechtzeitige Behandlung stattfindet. Bei den meisten Säuren (oder Basen) bleibt jedoch meistens genug Zeit, kleinere Mengen mit Wasser abzuspülen, ohne dass schwerwiegende Folgen eintreten. Da die am meisten gefährdeten Hautpartien beim Umgang mit Säuren (oder Basen) die Hände sind, ist das Tragen von Schutzhandschuhen beim Umgang mit konzentrierten Säuren und Basen unbedingt erforderlich. Außerdem ist es sehr nützlich die Hände regelmäßig mit einer Hautcreme einzureiben, besonders an den Nagelbetten und zwischen den Fingern, um den Angriff der Ätzstoffe zu erschweren.

## 2.1 Essigsäure

Charakteristik: Farblose, klare, wasserlösliche, sehr hygroskopische, stark ätzende Flüssigkeit mit stechendem Geruch; Dämpfe schwerer als Luft, bilden bei erhöhter Temperatur mit dieser explosionsfähige Gemische; greift, besonders in wässriger Lösung, unedle Metalle (z.B. Fe, Zn, Mg) unter Wasserstoffentwicklung an.

Physiologische Wirkung: Die Flüssigkeit wirkt ätzend auf Haut und Schleimhäute. Spritzer in die Augen verursachen schmerzhafte Bindehautentzündungen und Hornhautverätzungen. Der sich auf Haut und Schleimhäuten bildende Ättschorf ist meist braun gefärbt. Nach dem Verschlucken sehr schmerzhafte Verätzungen, Übelkeit, Würgen, Erbrechen, Gefahr der Magenperforation möglich; Schocktod infolge Kreislaufschocks ist möglich. Beim Einatmen der Dämpfe (auch der wieder erbrochenen Säure) besteht die Gefahr eines Lungenödems.

Sicherheitsratschläge: Mit konzentrierteren Lösungen unter dem Abzug arbeiten.

Erste Hilfe: Nach äußerer Einwirkung betroffene Hautstellen mit reichlich Wasser spülen. Bei Augenverätzungen das Auge bei gut geöffnetem Lidspalt mindestens 30 Minuten lang mit Wasser spülen, dann Transport zum Augenarzt. Nach dem Verschlucken frühzeitig Wasser oder Milch trinken lassen, dann zum Arzt. Atemwege freihalten!

## 2.2 Flußsäure (HF; wäßrige Lösung)

Charakteristik: Farblose, sehr giftige, sehr stark ätzende, mit Wasser mischbare, hygroskopische, sehr reaktionsfähige Flüssigkeit. Dämpfe schwerer als Luft, stechender Geruch. Reagiert mit verschiedenen Metallen unter Wasserstoffentwicklung. Verätzungen oft tagelang auf der Haut unsichtbar.

Physiologische Wirkung: Zur Einwirkung von HF-Dämpfen auf die Atemwege s. Kap.4.3.6 Fluorwasserstoff. Durch die geringe Dissoziation ist die Säure sehr gut fettlöslich und dringt daher sehr schnell in die Haut ein, so dass man hier nicht von einer charakteristischen Säurewirkung sprechen kann, da dort in der Regel die  $H_3O^+$ -Ionen für die Ätzwirkung verantwortlich sind. Charakteristisch für HF-Verätzungen ist ihre große Schmerzhaftigkeit. Die Schmerzen treten häufig erst Stunden nach der Verätzung auf, besonders schmerzhaft sind Verätzungen unter den Fingernägeln, die von der Säure sehr leicht durchdrungen werden! Erschwerend kommt hinzu, dass die Verätzung häufig auf der Haut tagelang unsichtbar bleiben und trotzdem große Schmerzen hervorrufen kann, so dass der behandelnde Arzt in den meisten Fällen die Ursache nicht erkennen kann, sofern er nicht auf die Möglichkeit einer HF-Verätzung hingewiesen wird. Bemerkenswert ist auch die große Tiefenwirkung dieser Säure, ihre ätzende Wirkung kommt erst dann zum Stillstand, wenn alle HF-Moleküle dissoziiert sind und die Dissoziate im Gewebe deaktiviert wurden. Auch die Knochen können angegriffen und zerstört werden! Die Gesichtshaut ist anfälliger gegen HF-Verätzungen als andere Hautpartien.

Sicherheitsratschläge: Mit HF nur unter dem Abzug arbeiten. Unbedingt dichte Gummihandschuhe tragen (vorher prüfen!), die einen Teil des Unterarmes bedecken (keine Einmalhandschuhe!). Die Abzugsscheiben so weit wie möglich schließen, um Spritzer ins Gesicht zu vermeiden (gilt hier ganz besonders!). Ebenso vorsichtig mit säurelöslichen Flouriden umgehen und daran denken, dass aus diesen beim Ansäuern HF entsteht!

Erste Hilfe: Betroffene Hautstellen unverzüglich eine halbe Stunde lang unter fließendem Wasser spülen. Anschließend 30 Minuten gut durchfeuchtete Umschläge mit 10 %iger Calciumgluconat- Lösung auf die betroffenen Stellen legen. In jedem Fall den Assistenten verständigen, schnelle ärztliche Behandlung ist auch bei bloßem Verdacht auf eine Verätzung und ebenfalls nach dem Kontakt mit weniger konzentrierten Lösungen unbedingt nötig! Die verätzte Hautstelle wird dort unterspritzt, das ist zwar schmerzhaft, aber einer tatsächlichen Verätzung vorzuziehen (s.o.!). Die (möglicherweise) verätzte Hautstelle also merken, um dem Arzt eine Behandlung zu ermöglichen. Spritzer in die Augen bei gut geöffnetem Lidspalt längere Zeit unter fließendem Wasser spülen, 5 Minuten lang mit 10 %iger

Calciumgluconatlösung nachspülen. Dem liegenden Patienten einen mit der gleichen Lösung getränkten Tupfer 20 Minuten lang auf das Auge legen, dann zum Augenarzt! Nach dem Verschlucken Zufuhr von Calciumionen (z.B. Calciumchlorid).

### 2.3 Königswasser (konz. HCl : konz. HNO<sub>3</sub> = 3 : 1)

Charakteristik: mit Wasser mischbare, stark ätzende und korrodierende, sehr giftige Flüssigkeit; schwach gelb (Kälte) bzw. dunkelgelb bis rot (Hitze) gefärbt; bringt Gold (König der Metalle) in Lösung, daher Königswasser. Die wirksamen Bestandteile des Königswassers sind elementares Chlor und Nitrosylchlorid (NOCl). Dieses zerfällt bei Berührung mit Wasser in Chlorwasserstoff und salpetrige Säure, die im Säuren weiter in Stickstoffmonoxid und Wasser zerfällt.

Physiologische Wirkung: Königswasser wirkt sehr stark oxidierend. Es verursacht schlecht heilende Wunden, über die sich jedoch ein geschlossener Ätzschorf bildet, so dass die Verätzung nicht weiter fortschreiten kann. Eine große Gefahr liegt in den bei der Reaktion freiwerdenden Gasen (s. a. Kap.4.3.4 Chlor). Weiter ist zu beachten, dass Königswasser in der Regel heiß angewendet wird und dementsprechend wirksam ist.

Sicherheitsratschläge: Königswasser nur unter dem Abzug herstellen und handhaben, dabei Säureschutzhandschuhe tragen!

Erste Hilfe: Betroffene Hautstellen lange unter fließendem Wasser spülen. Nach dem Verschlucken sofort reichlich Wasser und sobald als möglich Milch mit mehreren eingequirlten Eiern trinken lassen, Arzt! Bei Säurespritzern in die Augen diese mit reichlich Wasser, besser mit physiologischer Kochsalzlösung bei gut geöffnetem Lidspalt spülen, Augenarzt!

### 2.4 Perchlorsäure (wäßrige Lsg. mit 10 - 15 % HClO<sub>4</sub>)

Charakteristik: Farblose, teilweise stark ätzende Flüssigkeit; starkes Oxidationsmittel, kann beim Erhitzen mit oxidierbaren anorganischen und organischen Substanzen explosionsartig reagieren.

Physiologische Wirkung: Wirkt stark ätzend auf Haut und Schleimhäute (abhängig von der Konzentration), dabei entstehen schlecht heilende Wunden. Zudem läßt sich aufgrund der stark oxidierenden Wirkung einer wässrigen Perchlorsäurelösung auch am lebenden Gewebe eine ausgesprochen große Wechselwirkung mit der Säurewirkung erwarten. Die Säure besitzt extrem starke eiweißfällende Eigenschaften (Ätzschorf) und führt am Auge schnell zu Hornhautentzündungen. Nach dem Verschlucken treten Schmerzen im Bereich der betroffenen Schleimhäute, wiederholtes Erbrechen kaffeesatzartiger Massen, Perforation der Speiseröhre und des Magens, bei leerem Magen auch Herzstillstand auf. Die Dämpfe wirken bei Inhalation stark reizend auf die Luftwege, Lungenödeme sind möglich.

Sicherheitsratschläge: Mit konzentrierteren wäßrigen Lösungen unter dem Abzug arbeiten.

Erste Hilfe: Nach Haut- oder Augenkontakt mit viel Wasser spülen, bei Augenverätzung zum Augenarzt! Nach dem Verschlucken viel Wasser trinken, Transport zum Arzt. Nach Inhalation der Dämpfe Frischluft, raschestmöglich Dexamethasonspray atmen lassen (beim Arzt!).

### 2.5 Phosphorsäure, ortho- (konz.)

Charakteristik: Farblose, sirupartige, mit Wasser mischbare, fast geruchslose Flüssigkeit; nicht so starke Ätzwirkung wie Perchlorsäure (mittelstarke Säure).

Physiologische Wirkung: Lokale Reiz- und Ätzerscheinungen an Haut und Augen. Nach dem Verschlucken heftige Schmerzen im Bereich der betroffenen Schleimhäute, wiederholtes Erbrechen kaffeesatzartiger Massen. Bei Spritzern in die Augen erfolgen Hornhautverätzungen und Bindehautentzündung.

Erste Hilfe: Nach dem Verschlucken viel Wasser trinken, dann Transport zum Arzt. Haut und Augen unter fließendem Wasser spülen, bei Augenverätzungen zum Augenarzt.

### 2.6 Salpetersäure (mit weniger als 70 % HNO<sub>3</sub>)

Charakteristik: Stechend riechende, mit Wasser mischbare, stark ätzende Flüssigkeit. Dämpfe (nitrose

Gase) giftig, schwerer als Luft. Starkes Oxidationsmittel, wirkt ätzend auf Haut, Augen und Schleimhäute, verursacht schlecht heilende Wunden. Mit organischen Stoffen Entwicklung nitroser Gase; aufgrund der stark exothermen Reaktion kann Selbstentzündung eintreten. Mit Schwefelwasserstoff explosionsartige Reaktion.

Physiologische Wirkung: Aufgrund der stark oxidierenden Wirkung der Säure werden Haut und Schleimhäute in Abhängigkeit von der Konzentration erheblich schneller angegriffen, als durch Säuren, deren Ätzwirkung im wesentlichen auf der Anwesenheit von Wasserstoff- bzw. Oxoniumionen beruht. Die Salpetersäure reagiert charakteristisch unter Gelbfärbung mit den aromatischen Aminosäuren des Hautproteins (Xanthoproteinreaktion), wobei die Verätzungen örtlich begrenzt bleiben (Ätzschorf). (Zum Problem des Einatmens der Dämpfe der Reaktionsgase s. Kap.4.3.11 Stickoxide.) Spritzer in die Augen führen zu Hornhautverätzungen und deren Gelbfärbung, Hornhautperforation und weiteren schweren Verletzungen des Auges. Sollte es zur Aufnahme der Säure in den Magen kommen, so führt dies zu starken Schmerzen, Übelkeit, Würgen und Erbrechen.

Sicherheitsratschläge: Mit konzentrierter Säure nur im Abzug arbeiten. Verschüttete konzentrierte Säure nicht mit oberflächenreichen Materialien, etwa Putzwolle, aufwischen (Gefahr der Selbstentzündung und der Entwicklung nitroser Gase). Zur Vermeidung von Verätzungen der Hände durch die konzentrierte Säure Handschuhe tragen, da sich die Zerstörung der oberen Hautschichten nur durch sehr schnelles Abspülen der Säure vermeiden lässt.

Erste Hilfe: Unverzüglich betroffene Haut- und Schleimhautstellen anhaltend mit reichlich Wasser spülen. Bei Augenverätzung bei gut geöffnetem Lidspalt mindestens 15 Minuten lang mit Wasser spülen, dann sofort zum Augenarzt! Nach dem Verschlucken sofort reichlich Wasser oder Milch trinken lassen. Nach dem Einatmen der Gase s. Kap.4.3.11 Stickoxide. Ärztliche Hilfe ist in beiden Fällen nötig!

## 2.7 Salzsäure (konz.; wäßrige Lösung von HCl)

Charakteristik: Farblose bis gelbliche, mit Wasser mischbare Flüssigkeit, stark ätzend, stark korrodierend. Dämpfe wenig schwerer als Luft, stechender Geruch, an feuchter Luft Nebelbildung. Reagiert mit verschiedenen Metallen unter Freisetzung von Wasserstoff. Bei Kontakt mit Carbonaten und deren Lösungen heftige CO<sub>2</sub>-Entwicklung, bei Kontakt mit Permanganat (-lösungen), Mangandioxid, Bleidioxid und anderen Oxidationsmitteln Chlor-Entwicklung.

Physiologische Wirkung: Starke örtliche Ätzwirkung auf Haut und Schleimhäute. Nach örtlicher Einwirkung sind Haut oder Schleimhäute stark gerötet, grau-weiß bis schwärzlich verschorft, das Gewebe schrumpft. Säurespritzer in die Augen können zu Hornhautverätzungen und -perforationen sowie schmerzhaften Bindehautentzündungen führen. Beim Verschlucken führt konz. Salzsäure zu Verätzungen bzw. Verschorfungen von Lippen, Schlund, Mundhöhle, Speiseröhre und Magen, zu Brust- und Leibschmerzen, Übelkeit, Würgen, Erbrechen und starkem Durst. Es besteht Gefahr der Magenperforation noch nach Tagen bis Wochen. Zur Wirkung der Dämpfe auf die Atemwege s. Kap.4.3.5 Chlorwasserstoff.

Sicherheitsratschläge: Mit der konzentrierteren Säure nur unter dem Abzug arbeiten, insbesondere beim Erhitzen. Vorsicht beim Zusammenbringen von Salzsäure mit Oxidationsmitteln (Chlorentwicklung)!

Erste Hilfe: Nach äußerer Einwirkung sofort betroffene Haut- und Schleimhautstellen mit reichlich Wasser spülen. Bei Augenverätzung bei gut geöffnetem Lidspalt das Auge ebenfalls ausgiebig mit Wasser spülen. Nach dem Verschlucken frühzeitig Wasser oder Milch trinken lassen; kein Erbrechen provozieren. Bei Augen- und innerer Verätzung Transport zum Arzt. Nach Inhalation der Gase s. Kap. 4.3.5 Chlorwasserstoff.

## 2.8 Schwefelsäure (konz. bzw. mit über 80 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

Charakteristik: Farblose bis gelbliche, ölige, mit Wasser mischbare Flüssigkeit, sehr stark ätzend, geruchlos. Viele organische Stoffe werden von der konzentrierten Säure unter Verkohlungszerstörung zerstört. Die Säure reagiert mit Wasser unter starker Wärmeentwicklung (95 kJ/mol beim Vermischen mit sehr viel Wasser bei 20° C). Daher darf die Säure nur unter Rühren langsam in Wasser eingegeben werden; wird das Wasser zur Säure gegeben, verdampft dieses aufgrund der starken Wärmeentwicklung und die Säure verspritzt!

Physiologische Wirkung: Zur Wirkung von Schwefelsäurenebeln bzw. Schwefeldi- und trioxid auf die Schleimhäute sh. Kapitel "Gase" (4.3.9/10). Auf die Haut wirkt konz. Schwefelsäure stark ätzend und gewebedegenerierend. Die Ätzungen dringen immer tiefer ein, da sich kein schützender Ätzschorf bildet.

Sicherheitsratschläge: Arbeiten mit Schwefelsäure nur unter dem geschlossenen und gutziehenden Abzug

(Temperaturen von etwa 300°C). Verdünnen der Säure nur durch Eingießen in Wasser, nicht umgekehrt. Schwefelsäure geht eine Reihe von heftigen, zum Teil explosionsartigen Reaktionen mit anderen Substanzen ein, so etwa Chloraten, Permanganaten, Oxiden und Hydroxiden der Alkali bzw. Erdalkalimetalle, auch mit konz. Ammoniaklösung. Im Zweifel ist es wichtig, sich bezüglich einer möglicherweise heftig ablaufenden Reaktion in der Literatur oder beim Assistenten zu informieren!

Erste Hilfe: **Betroffene Haut erst mit einem trockenen Lappen abwischen**, dann gründlich unter fließendem Wasser abspülen. Spritzer, die ins Auge gelangt sind, mit sehr viel Wasser ausspülen, um die im ersten Augenblick auftretende Wärmeentwicklung möglichst in Grenzen zu halten. Nach dem Einatmen der Nebel Wasserdampf atmen lassen. Nach Augenverätzungen zum Augenarzt!

### 3 BASEN

Wie bei den Säuren sind auch die am stärksten dissoziierenden Basen - abhängig von ihrer Konzentration - die stärksten Ätzmittel. Aber auch schwächere Basen wie Ammoniak entfalten noch eine starke Ätzwirkung. Im Unterschied zu den meisten Säuren wird durch Einwirkung starker Basen kein Schorf auf Haut und Schleimhäuten gebildet, weil sich dieser in der Base löst. Daher kann die Verätzung, wenn die Base nicht abgewaschen wird, tiefer ins Gewebe vordringen, so dass **Basenverätzungen grundsätzlich gefährlicher sind als Säureverätzungen**. Dies ist eine Tatsache, die häufig unbekannt ist, und daher im Allgemeinen zu einer Unterschätzung der Gefahr von Basenverätzungen führt.

Erste Hilfe: Die allgemeinen Maßnahmen bei einer Laugenverätzung entsprechen denen einer Säureverätzung, s. Kap.2 Säuren.

#### 3.1 Alkalicarbonate ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , $\text{K}_2\text{CO}_3$ )

Charakteristik: Sie üben nur eine schwache Ätzwirkung aus. Zu beachten ist die Gefährlichkeit von Spritzern in die Augen und die Neigung zu Siedeverzügen (konzentrierte Lösungen beim Sodauszug)! Beim Neutralisieren oder Ansäuern von Lösungen, die Alkalimetallcarbonate enthalten, kommt es zu einer starken Kohlendioxid-Entwicklung.

Erste Hilfe: Ist etwas von den Substanzen oder deren Lösung ins Auge gelangt, so muss dieses bei gut geöffnetem Lidspalt ausgiebig unter fließendem Wasser gespült werden, anschließend augenärztliche Behandlung. Verschluckt sind etwa 15 g tödlich.

#### 3.2 Ammoniak (wässrige Lösung mit 10 - 35 % $\text{NH}_3$ )

Charakteristik: Farblose, mit Wasser mischbare, ätzende Flüssigkeit, die alkalisch reagiert. Der bei Raumtemperatur entweichende Ammoniak hat eine geringere Dichte als Luft und riecht stechend. Reizwirkung auf Haut, Augen und Atemwege, Hautresorption. Der Kontakt mit konzentrierteren Lösungen kann zu tiefgreifenden Geschwürbildungen führen. Bei hohen Ammoniakkonzentrationen in der Luft besteht die Gefahr eines Lungenödems und bleibender Augenschäden (s. auch 4.3.1).

Physiologische Wirkung: Ammoniaklösung ruft an Haut und Schleimhäuten erhebliche Reizerscheinungen wie entzündliche Rötung und Blasenbildung hervor, die Wirkung ist meist lokal begrenzt. Nach dem Verschlucken folgen heftige, brennende Schmerzen in Mund, Speiseröhre und Magen, Husten, Bluterbrechen und blutige Durchfälle. Nach einem von Atemlähmung und Krämpfen begleiteten Schockzustand, oder einer später auftretenden Magenperforation, kann der Tod eintreten.

Sicherheitsratschläge: Mit den konzentrierteren Lösungen nur unter dem Abzug arbeiten. Nicht mit konzentrierten Säuren, insbesondere konz. Schwefelsäure, zusammenbringen, da die Flüssigkeiten unter erheblicher Wärmeentwicklung stoßend sieden! **Durch Kontakt mit Jod und dessen Lösungen entsteht der hochexplosive Jodstickstoff,  $\text{NI}_3$ , daher beide nicht zusammenbringen!**

Erste Hilfe: Betroffene Haut unter fließendem Wasser gründlich abspülen, Spritzer in die Augen bei gut geöffnetem Lidspalt unter fließendem Wasser anhaltend spülen bzw. physiologische Kochsalzlösung verwenden, sofort zum Augenarzt!

#### 3.3 Erdalkalihydroxide ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , $\text{Sr}(\text{OH})_2$ , $\text{Ba}(\text{OH})_2$ )

Charakteristik: Entsprechend ihrer relativ geringen Löslichkeit ist auch ihre Ätzwirkung im Allgemeinen nicht so stark wie die der Alkalilaugen. Dennoch können sie im Auge schwere Hornhautverätzungen bis

zur Erblindung hervorrufen. Beachtung müssen in diesem Zusammenhang auch die den Hydroxiden zugrundeliegenden Oxide finden. Aus diesen werden unter erheblicher Wärmeentwicklung mit Wasser die Hydroxide gebildet, so sind auch hier schwere Augenschäden zu erwarten (ungelöschter Kalk).

Erste Hilfe: Bei Spritzern oder fester Substanz im Auge bei gut geöffnetem Lidspalt anhaltend mit Wasser spülen, anschließend zum Augenarzt.

**BARIUMHYDROXID** hat über die Ätzwirkung hinaus eine allen löslichen Bariumverbindungen eigene Giftwirkung. Nach dem Verschlucken von weniger als 1g Ba(II) sind bereits schwere Vergiftungssymptome wie Übelkeit, Durchfälle, starke Leibschmerzen, Schluckbeschwerden, Herzrhythmusstörungen oder Angstgefühl zu erwarten.

Erste Hilfe: Nach dem Verschlucken den Vergifteten so schnell wie möglich wiederholt 1 - 5%ige Natriumsulfatlösung trinken und wieder erbrechen lassen, zuletzt die Lösung im Magen belassen. Bei Bewusstlosigkeit Lagerung und Transport zum Arzt in stabiler Seitenlage.

### 3.4 *Lithiumhydroxid (fest und wäßrige Lösung)*

Charakteristik: Weiße, geruchlose, ätzende, hygroskopische Kristalle oder poröses Granulat; gesundheitsschädlich beim Verschlucken.

Physiologische Wirkung: Lithiumhydroxid verursacht schlecht heilende Wunden. Schon bei Konzentrationen von 1% treten typische Schwellung und Verflüssigung des Gewebes, bei höheren Konzentrationen tiefgreifende Geschwürbildung auf. Spritzer in die Augen (auch feste Substanz im Auge) können zur Erblindung führen. Nach dem Verschlucken sind tiefe, schmierig-glasige, aufgequollene Verätzungen an Mund-, Zungen- und Rachenschleimhäuten möglich. Es treten starke Schmerzen in Mund, Rachen und Magen auf, das Schlucken ist meist unmöglich. Noch nach Tagen kann es zum Erbrechen von Schleimhautfetzen kommen.

Sicherheitsratschläge: Konzentriertere Lösungen nur vorsichtig erhitzen, da sie zu Siedeverzügen neigen.

Erste Hilfe: Spritzer oder Festsubstanz im Auge bei gut geöffnetem Lidspalt unter fließendem Wasser mindestens 20 Minuten, von der Haut ebenfalls unter fließendem Wasser abspülen. Nach dem Verschlucken reichlich Wasser trinken lassen. Nach Augen- oder innerer Verätzung zum Arzt:

### 3.5 *Natrium- und Kaliumhydroxid (fest und wässrige Lösung)*

Charakteristik: Weiße, harte, in Wasser unter starker Erwärmung leicht lösliche, stark ätzende Substanzen. Sie zerfließen an der Luft unter Aufnahme von Feuchtigkeit und CO<sub>2</sub>, lösen Wolle, Leder und Polyestergerewebe; bei Kontakt mit Säuren finden heftige, stark exotherme Reaktionen statt.

Physiologische Wirkung: Starke lokale Ätzwirkung auf Haut, Augen und Schleimhäute; Stäube und Nebel reizen die Atmungsorgane. Verätzung führt zur Bildung von Geschwüren und schlecht heilenden Wunden. Hautschädigungen können durch sofortiges Abspülen mit Wasser verhindert werden. Nach Verschlucken besteht die Gefahr der Magenperforation. An Schleimhäuten und Augen kommt es zu Blasen- und Geschwürbildung, im Auge auch zu Hornhauttrübungen, die zur Erblindung führen können. Nach dem Einatmen feiner Nebel können großflächige Schleimhautschäden in den oberen Atemwegen entstehen.

Sicherheitsratschläge: Konzentriertere Lösungen vorsichtig erhitzen, da diese stark zu Siedeverzügen neigen. Beim Ansetzen konzentrierterer Lösungen die Hydroxide wegen der starken Wärmeentwicklung portionsweise und unter Außenkühlung in Wasser eintragen, so wird auch die Bildung feiner Nebel vermieden. Zur Vermeidung von Hautverätzungen beim Umgang mit den konzentrierteren Basen schwarze Handschuhe tragen.

Erste Hilfe: Betroffene Hautstellen mit reichlich Wasser spülen, Bei größeren Verätzungen nach dem Spülen sterilen Verband anlegen. Bei Spritzern in die Augen ebenfalls lange mit reichlich Wasser spülen, anschließend sofort zum Augenarzt! Nach Einatmen größerer Mengen Staub oder Nebel: Frischluft, dann zum Arzt (raschestmöglich Dexamethason-Spray). Nach dem Verschlucken: mehrmals reichlich Wasser trinken, Ruhe, Wärme; Lagerung bzw. Transport zum Arzt in stabiler Seitenlage:

## 4 GASE

Es ist für gasförmige Stoffe charakteristisch, dass sie jeden ihnen zur Verfügung stehenden Raum einnehmen; daher kann man sich ihrer Einwirkung nicht ohne weiteres entziehen und nimmt so durch die Atmung leicht größere Mengen auf. Im Gegensatz zu vielen anderen Substanzen kann später in den meisten Fällen nicht ermittelt werden, wieviel von dem betreffenden Stoff in den Körper gelangt ist. Der Grad der eintretenden Körperschädigungen kann daher nur sehr schwer eingeschätzt werden, woraus eine große Unsicherheit bezüglich des richtigen Verhaltens nach dem Kontakt mit gasförmigen Giften folgt. Genaueren Aufschluss über die eingeatmete Gasmenge könnte nur eine Konzentrationsmessung bringen, die allerdings nur in den seltensten Fällen verfügbar ist. Es ist daher sehr wichtig, in Zweifelsfällen im Interesse der eigenen Gesundheit einen Arzt aufzusuchen; dies muss in jedem Fall dann geschehen, wenn nach dem Einatmen von Reizgasen Symptome wie Reizhusten oder Ähnliches trotz des Aufenthaltes an frischer Luft nicht verschwinden! Bei einigen Stoffen kann jedoch eine Gesundheits- oder gar Lebensgefährdung auch ohne ausgeprägte Symptome auftreten (hierzu siehe weiter unten bzw. die Einzelstoffbeschreibungen). Nicht alle aufgeführten Gase wirken in der gleichen Art und Weise; sie werden im Folgenden grob in drei Substanzklassen unterteilt, wobei sich allerdings Überschneidungen nicht vermeiden lassen. Erwähnenswert in Bezug auf die in diesem Kapitel aufgeführten Stoffe ist ihr oft unerwartetes Auftreten bei Nebenreaktionen. Dadurch wird ihre Entstehung schlechter kalkulierbar, verglichen z.B. mit dem Auftreten von Vertretern aus Schwermetallen. So entsteht beim Spülen von Gefäßen, die noch Reste genügend starker Oxidationsmittel enthalten, mit Salzsäure Chlorgas, beim Ansäuern von Sulfiden  $H_2S$ , u.s.w..

Erste Hilfe: Nach dem Einatmen giftiger Gase sofort an die frische Luft gehen (bezüglich der Frage "Wann habe ich genug eingeatmet, um raus zu müssen" ist, wie oben erwähnt, eine genaue Einschätzung schwierig, generell sollte man eher einmal zu viel rausgehen, als einmal zu wenig!). Bei Verdacht auf eine eingetretene Vergiftung muss der Betroffene - auch bei körperlichem Wohlbefinden, insbesondere bei Stickoxidvergiftungen - flach hingelegt werden. Um die Heilungsaussichten nicht zu verschlechtern, muss absolute Körperruhe für den Betroffenen gewährleistet werden. Außerdem muss ein Wärmeverlust vermieden werden. Der anschließende Transport zum Arzt darf nur im Liegen erfolgen. Bei Gefahr der Bewusstlosigkeit des Verletzten müssen Lagerung und Transport in stabiler Seitenlage vorgenommen werden.

### 4.1 Blutgifte

Sie bewirken eine Auflösung der roten Blutkörperchen (Hämolyse). Der Vergiftete merkt oft zunächst nichts von der Gaseinwirkung, da die Symptome der Vergiftung konzentrationsabhängig meist erst nach einigen Stunden auftreten! Eine Einschätzung der Folgen des Einatmens aufgrund der Symptome ist daher nur schwer möglich, so dass hier im Zweifelsfall immer ein Arzt zu Rate gezogen werden muß!

#### 4.1.1 Antimonwasserstoff (Stibin, Stiban: $SbH_3$ )

Charakteristik:  $SbH_3$  ist ein farbloses, in Wasser wenig lösliches, hochgiftiges, brennbares Gas, das wesentlich schwerer als Luft ist. Es besitzt einen unbestimmten, unangenehmen Geruch und zersetzt sich bereits bei der Berührung mit Oberflächen, besonders Gummi. Bei der Zündung oder Berührung mit Oxidationsmitteln zerfällt es explosionsartig in seine Elemente.

Vorkommen, Entstehung: Wie Arsenwasserstoff (siehe dort) entsteht  $SbH_3$  bei der Entwicklung von Wasserstoff in Gegenwart löslicher Antimonverbindungen.

Physiologische Wirkung:  $SbH_3$  löst die roten Blutkörperchen auf und bewirkt so Blutarmut. Bei akuten Vergiftungen können Brechreiz, Kopfschmerzen, Übelkeit, allgemeine Schwäche, erschwerte, verlangsamte Atmung und Schmerzen in Lenden- und Magengegend auftreten, denen dann nach mehreren Stunden der Abgang von dunkelrotem Urin folgt. Die physiologische Wirkung gleicht somit der des Arsenwasserstoffs (siehe unten).

Sicherheitsratschläge: analog  $AsH_3$

Erste Hilfe. Dem Verunglückten Frischluft zuführen und dessen Atemwege freihalten. Bei Atemstillstand Atemspende. Schutz vor Wärmeverlust, nach Einatmen reichlich Flüssigkeitszufuhr. Arzt rufen!

## 4.1.2 Arsenwasserstoff (Arsin, Arsan: $\text{AsH}_3$ )

Charakteristik:  $\text{AsH}_3$  ist ein farbloses, hochgiftiges, hochentzündliches und in reinem Zustand geruchloses Gas, das jedoch infolge von Verunreinigungen oft unangenehm nach Knoblauch riecht (Achtung: Geruchsschwelle liegt über dem MAK-Wert!  $\Rightarrow$  Wenn Du's riechst, bist Du eh schon tot!).

Vorkommen, Entstehung: Das Gas entsteht überall dort, wo sich in Gegenwart von Arsen und seinen Verbindungen Wasserstoff entwickelt - naturgemäß schneller aus den gelösten Ionen als aus schwerlöslichen Verbindungen - d.h. durch Reduktion entsteht  $\text{AsH}_3$ . Eine weitere Quelle können Metalle sein, die Arsen in Spuren oder als Legierungsbestandteil enthalten, oder wenn zum Lösen von Metallen rohe, technische Salz- oder Schwefelsäure benutzt wird, die produktionsbedingt durch Arsenverbindungen verunreinigt ist.

Physiologische Wirkung: Die Giftigkeit des Arsenwasserstoffs beruht auf seiner Eigenschaft die roten Blutkörperchen aufzulösen. Die Symptome einer  $\text{AsH}_3$ -Vergiftung ergeben sich zum einen hieraus, zum anderen aus der daraus entstehenden Blutarmut. Sie treten meist erst nach einigen Stunden auf und können aus Kopfschmerz, Kältegefühl, Benommenheit, Übelkeit, Brechreiz, Auftreten von dunkelrotem Urin und völligem Versagen der Harnausscheidung (Folge: Harnvergiftung) aufgrund schwerer Nierenschäden bestehen. Je nach Schwere der Vergiftung kann sich, meist am 2. Tag, eine Gelbsucht entwickeln. Nierenversagen und Bildung eines Lungenödems führen bei schwerer Vergiftung zum Tod. Nach überstandener Vergiftung sind bleibende Nierenschäden möglich.

Sicherheitsratschläge: Arbeiten im gut ziehenden Abzug, bei Auftreten größerer Mengen des Gases, dieses von Zündquellen (z.B. Brenner, heiße Oberflächen, elektr. Geräte, Funken) fernhalten. Mit unvermutetem Auftreten des Gases rechnen (s.o.)

Erste Hilfe: Bei Atemstillstand sofort Atemspende (jedoch auf Mund zu Mund Beatmung verzichten!), gegebenenfalls Sauerstoffzufuhr. Arzt rufen! Wärmezufuhr, Lagerung und Transport in stabiler Seitenlage. Der Arzt muß unbedingt auf eventuelles Vorliegen einer  $\text{AsH}_3$ -Vergiftung hingewiesen werden (nicht einer Vergiftung durch Arsen(III)- oder Arsen(V)-Verbindung!).

## 4.2 Stickgase

Diese bilden im Körper Verbindungen mit schwermetallhaltigen Atmungsfermenten, so dass diese blockiert werden und bei schweren Vergiftungen Tod durch "inneres Ersticken" eintreten kann. Erste Vergiftungssymptome treten häufig schon nach wenigen Augenblicken auf, können dann aber wieder verschwinden, so dass sich die Vergiftung erst später auswirkt. Eine Einschätzung der aktuellen Konzentration läßt sich bei den beschriebenen Stickgasen besser vornehmen als bei  $\text{AsH}_3$  und  $\text{SbH}_3$ ; aufgrund bestimmter Eigenschaften der Gase (siehe Einzelbeschreibung) ist diese jedoch nicht in allen Fällen zuverlässig! Bei beiden Gasen ist im allgemeinen nach Beendigung der Exposition die Vergiftungsgefahr vorüber, jedoch kann auch eine Vergiftung, die sich erst später bemerkbar macht, nicht ausgeschlossen werden.

### 4.2.1 Cyanwasserstoff (Blausäure: $\text{HCN}$ )

Charakteristik: Farblose, leicht flüchtige (Kp.:  $26^\circ\text{C}$ ), mit Wasser mischbare Flüssigkeit bzw. hochgiftiges Gas, chemisch stabil, brennbar, hochentzündlich; Gas etwas leichter als Luft, bildet mit dieser sehr energiereiches, explosionsfähiges Gemisch; Bittermandelgeruch, metallisch fader Geschmack. Der Geruch wird von 5 - 10 % aller Menschen gar nicht, von den übrigen nur in geringer Konzentration (2 - 5 ppm) wahrgenommen, da die Geruchsnerven gelähmt werden. Ein leichter Rachenreiz ist ein weiteres Warnsignal. Im Handel befindliche Blausäure (wasserfrei) muß mit  $\text{H}_3\text{PO}_4$  stabilisiert werden, um eine exotherme Polymerisation zu verhindern. Verwendung,

Entstehung: Gasförmiger Cyanwasserstoff entsteht immer, wenn feste oder in wäßriger Lösung befindliche Cyanide mit Säuren in Kontakt kommen, da  $\text{HCN}$  nur sehr wenig dissoziiert und stark flüchtig ist. Aber auch beim Erhitzen der wässrigen Lösungen der sonst recht stabilen Eisen(II)- und Eisen(III)-hexacyanoferrate (gelbes und rotes Blutlaugensalz) mit verdünnten Säuren zersetzen sich die Komplexe mehr oder weniger schnell unter Bildung von  $\text{HCN}$ . Alkalicyanide und deren wässrige Lösungen werden sogar vom Kohlendioxid der Luft unter Bildung von Carbonaten, allerdings sehr

langsam, zersetzt. HCN kann auch in Brandgasen enthalten sein, wenn bei Sauerstoffmangel Kunststoffe verschwelen oder verglimmen (z.B. Polyacrylnitril, Polyurethane, Celluloid, also stickstoffhaltige Kunststoffe). Verwendung findet das Gas z.B. als Schädlingsbekämpfungsmittel, etwa in der Landwirtschaft und zur Großraumdurchgasung auf Schiffen oder bei der Kunststoffherstellung. An Kieselgur gebundene Blausäure, die normalerweise mit warnenden Geruchs- oder Reizstoffen versehen ist, gelangte unter dem Namen ZYKLON B zu trauriger Berühmtheit durch den Massenmord an Menschen in den Konzentrationslagern des "Dritten Reiches". Im Ersten Weltkrieg diente Blausäure als Kampfstoff.

Physiologische Wirkung: Die Giftwirkung der Blausäure ist bedingt durch die Blockierung schwermetallhaltiger Enzyme (Komplexierung namentlich des dreiwertigen Eisens) und damit der Zellatmung, was zu einer "inneren Erstickung" führt. Die Vergiftung kann durch Verschlucken, Einatmen oder Aufnahme durch die Haut erfolgen. Da HCN im Körper relativ schnell abgebaut wird, ist die Gefährlichkeit des Gases weniger durch die insgesamt eingeatmete Menge als durch die aktuelle Konzentration bedingt. Beim Einatmen gefährlicher Konzentrationen treten die ersten Symptome schon nach Sekunden auf: Kratzen im Hals, Angstgefühl, Herzklopfen, Schwäche, Bewußtseinsverlust, Rötung von Haut und Schleimhäuten, Erbrechen möglich. Geruch der Ausatemluft nach Bittermandel. Kommt es zu einer nicht tödlichen Vergiftung, tritt rasche Erholung, meist ohne Spät- und Dauerfolgen, ein. Bei hohen Konzentrationen kann der Tod nach einigen Sekunden oder Minuten eintreten. Eine Gewöhnung an bestimmte Konzentrationen scheint sich nicht auszubilden, eher zunehmende Überempfindlichkeit. Hautresorption tritt erst bei sehr hohen Konzentrationen merklich ein (etwa ab 10000 ppm). Die Möglichkeit der chronischen Vergiftung ist sehr umstritten, wird jedoch bei manchen Autoren beschrieben.

Sicherheitsratschläge: Gas von elektrischen Geräten, offenen Flammen, heißen Oberflächen, Funken und anderen Zündquellen fernhalten. Unter dem gutziehenden Abzug arbeiten. Vorsicht beim Arbeiten mit Cyaniden! Cyanidabfälle werden durch Zugabe durch Eisen(II)-sulfatlösung in alkalischer Lösung (pH 11) entgiftet. Es bildet sich der beständige Hexacyanoferrat(II)-Komplex  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ , der mit  $\text{Fe}^{3+}$ -Ionen nach dem Ansäuern Berliner Blau bildet.

Erste Hilfe: Verletzten schnell an die frische Luft bringen, bei Atemstillstand Atemspende (Vorsicht wenn der Atem nach Bittermandeln riecht, Vergiftungsgefahr!). Arzt zum Unfallort rufen! Wärmezufuhr. Bei Gefahr der Bewusstlosigkeit Lagerung und Transport in stabiler Seitenlage. Veröffentlichte, für einen Menschen tödliche Konzentration: 100 ppm über eine Stunde.

## 4.2.2 Schwefelwasserstoff (Sulfan: $\text{H}_2\text{S}$ )

Charakteristik: Sehr giftiges, wasserlösliches Gas, in Stahlflaschen verflüssigt, farblos, sehr leicht entzündlich, bildet mit Luft explosionsfähiges Gemisch. Es ist etwas schwerer als Luft und riecht in bestimmten Konzentrationen nach faulen Eiern. Die Geruchswahrnehmung kann durch Gewöhnung oder höhere Konzentrationen aussetzen, so dass die Warnwirkung völlig verloren geht!  $\text{H}_2\text{S}$  reizt Augen und Atemwege, die Einatmung kann zu einem Lungenödem führen. Eine Hautresorption findet nur geringfügig statt. Trotzdem sollte auf jeden Fall die kontaminierte Kleidung rasch ausgezogen werden.

Vorkommen, Entstehung:  $\text{H}_2\text{S}$  entsteht durch Einwirkung von Säuren auf Sulfide. Die wässrige Lösung des Gases wird als Reagenz verwendet, wesentlich wichtiger aber ist die direkte Einleitung in die Analysensubstanzlösung aus der Stahlflasche. Mittlerweile ist das Einleiten von  $\text{H}_2\text{S}$  weitgehend durch den Einsatz von festem Thioacetamid ersetzt worden. Aber auch das ist nicht völlig ungefährlich, mehr dazu im Anschluss an diesen Abschnitt. Beim Umgang mit  $\text{H}_2\text{S}$  sollten folgende Stoffe vermieden werden: Ammoniak, Alkalimetalle, Erdalkali- und Alkalihydroxide, Sauerstoff, Oxidationsmittel, Halbmetall- und Metalloxide und Alkalioxide. Weiterhin sind zu vermeiden: Stickstoffoxide, Kaliumdichromat, Halogenoxide, Salpetersäure, Halogene, Halogen-Halogen-Verbindungen (z.B. ICl) sowie Amine.  $\text{H}_2\text{S}$  wird bei Fäulnisprozessen tierischer und pflanzlicher Eiweißverbindungen gebildet. In der Industrie taucht es in Kokereien, Hochöfen, in der Erdölverarbeitung (Entschwefelung von Erdölprodukten) und anderen Produktionsstätten auf. Vergiftungen mit  $\text{H}_2\text{S}$  sind daher relativ häufig. Auch die Kanalisation birgt eine große Gefahr, die dort jedoch häufig nicht vermutet wird, obwohl oft tödliche Konzentrationen des Gases vorliegen.

Physiologische Wirkung: Die Möglichkeit einer  $\text{H}_2\text{S}$ -Vergiftung wird häufig unterschätzt, obwohl das Gas, wenn es eingeatmet wird, in seiner Giftigkeit mit Blausäure vergleichbar ist. Der Mechanismus der Vergiftung ist noch nicht völlig geklärt. Möglicherweise führt das Einatmen einerseits zur Bildung von

stark reizendem  $\text{Na}_2\text{S}$  auf den feuchten Schleimhäuten und andererseits zur Blockierung schwermetallhaltiger Atmungsfermente, was zur Atemlähmung und damit zum Tod führen kann. In geringen Konzentrationen riecht das Gas charakteristisch nach faulen Eiern (die Geruchschwelle liegt bei 0,025-8ppm), bei höheren Konzentrationen kann der Geruch süßlich sein bzw. die völlige Lähmung des Geruchssinns eintreten. Als Anzeichen einer Vergiftung (>500ppm) werden Übelkeit, Erbrechen, Kopfschmerzen, Durchfälle, Atemnot, Bewußtlosigkeit, Herz-Keislaufstörungen, Schwindel, Störung der Bewegungskoordination (Ataxie) und Krämpfe genannt, auch Erregungszustände sind bekannt. Außerdem können bei Inhalation Ödeme im Atmungstrakt auftreten. Bei Einwirkung sehr hoher Konzentrationen (>1000ppm) kann das Vergiftungsopfer wie vom Schlag getroffen tot zusammenbrechen (Atemlähmung). Bei weniger hohen, aber trotzdem gefährlichen Konzentrationen (<100ppm) treten zunächst schwere Reizerscheinungen der Augenbindehäute mit Tränenfluss, weiter schleimige Sekretion aus Nase bzw. ein kratzendes Gefühl im Rachen und starker Hustenreiz mit schleimigem Auswurf auf. Danach folgen die oben beschriebenen Symptome. Tritt nach erfolgter Atemlähmung Bewusstlosigkeit ein, ist bei sofortiger Therapie noch Rettung möglich, da das Herz noch einige Zeit weiterschlägt. Nach einer überstandenen  $\text{H}_2\text{S}$ -Vergiftung können Lähmungserscheinungen aufgrund einer Schädigung des zentralen Nervensystems und Ausfallerscheinungen des Herzens zurückbleiben, auch kann sich eine Lungenentzündung entwickeln. Störungen der Merkfähigkeit sowie Intelligenzdefekte werden ebenfalls beobachtet. Die Existenz einer chronischen  $\text{H}_2\text{S}$ -Vergiftung ist noch umstritten, als mögliche Symptome werden allerdings Reizerscheinungen der Schleimhäute, insbesondere der Augen (Trübung der Hornhaut) und Atemwege, Mattigkeit, Kopfschmerz, Übelkeit und Appetitlosigkeit beschrieben. Vorschäden an Herz und Zentralnervensystem können durch eine  $\text{H}_2\text{S}$ -Vergiftung verschlechtert werden.

Sicherheitsratschläge: Unter einem gutziehenden Abzug arbeiten, Gefäße mit  $\text{H}_2\text{S}$ -haltigen Lösungen nur geschlossen (Glas- bzw. Gummistopfen) transportieren und nur im Abzug ausleeren! Bei zunächst starkem, dann schwächer werdenden Geruch nach faulen Eiern in den Raum eintretende Assistenten oder Mitpraktikanten nach der Stärke des Geruchs befragen und den Raum sofort verlassen, wenn sie einen starken Geruch feststellen. Gas von elektrischen Geräten, offenen Flammen, heißen Oberflächen und anderen Zündquellen fernhalten

Erste Hilfe: Frischluft, bei Atemstillstand Atemspende, Wärme, Körperruhe, liegender Transport. Bei Gefahr der Bewusstlosigkeit Lagerung und Transport in stabiler Seitenlage. Auf jeden Fall sollte der Arzt und die/der zu ständige AssistentIn benachrichtigt werden.

**Thioacetamid (Ethanthioamid:  $\text{CH}_3\text{CSNH}_2$ )** Allgemeines: Das Einleiten von  $\text{H}_2\text{S}$  zur Fällung von Metallionen ist durch den Einsatz von Thioacetamid ersetzt worden. Thioacetamid ist als krebserzeugend eingestuft. Weiterhin trägt es die Gefährlichkeitsmerkmale gesundheitsschädlich, reizend und umweltgefährlich.

Charakteristik: Thioacetamid sind farblose Kristalle, die einen charakteristischen Geruch aufweisen. Beim Auflösen in Wasser (100g in 1l, 20°C) ergibt sich ein pH-Wert von ca. 5,2. Es ist brennbar und setzt dabei gefährliche Brandgase wie Schwefeloxide frei.

Physiologische Wirkung: Subakute bis chronische Toxizität. In Tierversuchen, die unter Bedingungen durchgeführt wurden, die der Situation am Arbeitsplatz vergleichbar sind, erwies sich die Substanz als krebserregend. Bei Hautkontakt und Augenkontakt wirkt es reizend. Systemische Wirkungen: In hohen Dosen wird die Leber geschädigt.

Sicherheitsratschläge: Nur unter dem Abzug mit Handschuhen handhaben. Stoff nicht einatmen. Jeglichen Kontakt vermeiden.

Erste Hilfe: Nach Einatmen: Frischluft. Arzt hinzuziehen. Nach Hautkontakt: Mit reichlich Wasser abwaschen. Abtupfen mit Polyethylenglycol 400. Kontaminierte Kleidung sofort entfernen. Nach Augenkontakt: Mit reichlich Wasser bei geöffnetem Lidspalt ausspülen. Augenarzt hinzuziehen. Nach Verschlucken: Viel Wasser trinken lassen, Erbrechen auslösen. Sofort Arzt hinzuziehen. Entsorgung: Nicht in die Kanalisation, Gewässer oder Erdreich gelangen lassen.

### 4.3 Reizgase

In dieser Kategorie sind pauschal die Gase (bzw. Dämpfe) zusammengefasst, die stark reizend bzw. zerstörend auf die Atemwege wirken. Die größte Gefahr besteht hier in der Bildung eines Lungenödems, das im schlimmsten Fall durch Zerstörung der Lungenbläschen deren Füllung mit Flüssigkeit bewirkt, so

dass der Tod durch Erstickten eintreten kann. Die aufgeführten Stoffe unterscheiden sich im Grad ihrer Gefährlichkeit erheblich voneinander. Als besonders schwerwiegend ist das Einatmen von Stickoxiden und vor allem von Phosgen anzusehen, da beide Gase ein Lungenödem erst Stunden nach der Exposition auslösen können, ohne dass vorher das körperliche Wohlbefinden beeinträchtigt sein muss; es besteht daher die große Gefahr der Bagatellisierung! Da besonders Stickoxide sehr häufig im Labor auftreten, sollten die Vorsichtsmaßnahmen besonders beachtet und eher als bei anderen Gasen ärztliche Hilfe in Anspruch genommen werden! Phosgen wurde hier nur aufgrund seines möglichen Auftretens bei der Zersetzung von chlorierten Kohlenwasserstoffen und seiner großen Giftigkeit aufgeführt. Andere Gase (HF, Cl<sub>2</sub>) treten häufig als Produkte von Nebenreaktionen auf. HCl, NH<sub>3</sub>, SO<sub>3</sub> und Stickoxide kommen dagegen recht häufig vor.

### 4.3.1 Ammoniak (NH<sub>3</sub>)

Charakteristik: Farbloses, sehr leicht wasserlösliches, chemisch stabiles, kaum entzündbares, stark ätzendes, giftiges Gas; bildet mit oxidierenden Gasen explosionsfähige Gemische. Das Gas ist leichter, mit Wasserdampf gebildete Nebel sind jedoch schwerer als Luft. NH<sub>3</sub> lässt sich an der Luft entzünden, brennt aber nicht weiter. Wassergefährdender Stoff.

Vorkommen, Entstehung: Häufig gebrauchte Substanz in Technik und Labor, hier besonders die wässrige Lösung. NH<sub>3</sub> entsteht beim Versetzen von Ammoniumsalzen bzw. deren wässrigen Lösungen mit stärkeren Basen. Durch Kochen der Lösungen (auch des "Ammoniakwassers") wird NH<sub>3</sub> vollständig ausgetrieben. Das Gas kommt verflüssigt in Stahlflaschen in den Handel.

Physiologische Wirkung: Die Wirkung des Ammoniaks besteht aufgrund seiner guten Wasserlöslichkeit in einer starken lokalen Reizung der oberen Atemwege. Für die resultierende Ätzwirkung ist die alkalische Reaktion der wässrigen Lösung verantwortlich. Die Reizung der oberen Atemwege kann bei höheren Konzentrationen zu Rachen- und Kehlkopftzündung sowie zu Hustenreiz, Bronchitis, schleimigem Auswurf und Kreislaufstörungen führen; Gefahr von Kehlkopfkrampf und -schwellung (Lufttröhrenverschluss). In schweren Fällen kann die Verätzung der Schleimhäute zu Lungenentzündung oder Lungenödem führen; nach überstandener Vergiftung können Lungenfunktionsstörungen sowie psychische und neurologische Ausfallerscheinungen bestehen bleiben. Besonders flüssiges NH<sub>3</sub>, aber auch das konzentrierte Gas rufen auf der Haut schwere Verätzungen hervor, wobei besonders die Augen betroffen sind; durch Diffusion ins Augeninnere können Verlust von Hornhautgewebe sowie Herabsetzung des Sehvermögens die Folge sein. Das Ausmaß der Schädigung ist oft nicht sofort erkennbar; Folgen, auch am Auge, treten häufig erst nach Tagen ein. Zur Wirkung der wässrigen Lösung des Ammoniaks auf die Haut siehe auch Kap. 3.2 Ammoniak.

Sicherheitsratschläge: Mit dem verflüssigten Gas und der konzentrierten wässrigen Lösung (stärker als 10 %) in jedem Fall unter dem Abzug arbeiten, Ammoniak nicht am Platz abrauchen, Augenschutz! Beim Arbeiten mit größeren Mengen: Handschuhe!

Erste Hilfe: Betroffene Körperstellen mit reichlich Wasser abspülen. Bei Augenverletzungen das betroffene Auge sofort 20 Minuten bei gut geöffnetem Lidspalt unter fließendem Wasser spülen. Bei Atemstillstand Atemspende; Frischluft, Ruhe, Wärme, Atemwege freihalten, nicht tief einatmen lassen. Eventuell längere Zeit Anreicherung der Atemluft mit Wasser- oder Essigwasserdampf.

### 4.3.2 Brom (Br<sub>2</sub>)

Charakteristik: Dunkelrotbraune, schwere, rotbraun rauchende, leicht flüchtige Flüssigkeit mit stechendem Geruch. Dämpfe wesentlich schwerer als Luft, wenig wasserlöslich. Nicht brennbar. Starkes Oxidationsmittel, kann leicht entflammare Stoffe entzünden. Wassergefährdender Stoff.

Vorkommen, Entstehung: Es wird u.a. zur Einführung funktioneller Gruppen in organische Moleküle benutzt. Aus Bromiden wird es durch Einwirkung oxidierender Säuren (z.B. Schwefel und Salpetersäure) freigesetzt.

Physiologische Wirkung: Brom kann als Flüssigkeit durch Verschlucken bzw. durch Einwirkung auf die Haut, dampfförmig durch Einwirkung auf die Atemwege, Vergiftungen bzw. Verätzungen erzeugen. Es wirkt als starker Reizstoff sowohl auf die oberen, als auch auf die unteren Atemwege. Aufgrund seiner hohen Fettlöslichkeit verursacht es auf Haut und Schleimhaut tiefe und schmerzhaft Gewebeerstörungen bzw. Blasen und schlecht heilende Geschwüre. Die Wunden heilen nur langsam ab und eitern stark. Werden sie nicht behandelt, so fressen sie sich langsam weiter. Nach Einatmen geringer

Mengen der Dämpfe: Husten, vermehrte Sekretion der Schleimhäute, Nasenbluten und Schwindel. Beim Einatmen größerer Mengen der Dämpfe können Braunfärbung von Zunge, Mundschleimhaut und Augenbindehaut, charakteristischer Geruch der ausgeatmeten Luft, Schnupfen, Erstickungsgefühl, Verkrampfung der Bronchien auftreten. Außerdem kann es zu Kehlkopfverschluss durch Schwellung der Kehlkopfschleimhaut (Erstickungsgefahr!) und nach Einatmung sehr hoher Dosen zu Bildung eines Lungenödems kommen.

Sicherheitsratschläge: Unter dem gutziehenden Abzug arbeiten, dichte (schwarze) Gummihandschuhe benutzen! Unbedeckte Körperstellen (Gesicht) vor Spritzern schützen (Abzugsscheiben so weit wie möglich herunterziehen). Nicht mit Stoffen zusammenbringen, mit denen heftige Reaktionen ablaufen können (vorher in der Literatur informieren oder einen AssistentIn fragen!). Vorbeugender Hautschutz ist empfehlenswert (Hautschutzcreme). Zur Entsorgung kleinerer Mengen gibt man einen Überschuß Natriumthiosulfatlösung oder alkalische Sodalösung zum Brom und spült es mit viel Wasser in den Ausguß.

Erste Hilfe: Bromspritzer auf der Haut mit 20 %iger Natriumthiosulfatlösung oder mit Benzin abtupfen bzw. mit 1 %iger Natriumhydrogencarbonatlösung spülen, danach mit viel Wasser die betroffenen Hautstellen waschen, Benetzte Kleidung wechseln. Assistenten verständigen. Bei Verätzungen Arzt aufsuchen. Nach Einatmen größerer Dampfmengen Ruhe, Wärme, ggf. Atemspende. Nur liegender Transport erlaubt. Bei Gefahr der Bewusstlosigkeit Lagerung und Transport in stabiler Seitenlage. Es soll schnellstmöglich Dexamethason-Spray eingeatmet werden, um die Bildung eines Lungenödems zu verhindern. Ärztliche Behandlung!

Wirkung bestimmter Konzentrationen:

Einatmen: 0,05 - 0,1 ppm: deutlicher Reiz  
 0,5 - 1 ppm: starker Reiz, bei 1 ppm werden die Schleimhäute angegriffen  
 10 ppm: bereits lebensgefährlich, nach mehrstündigem Einatmen tödlich

Bezüglich der Dosen und Konzentrationen liegt die Giftigkeit der Bromdämpfe etwa im Bereich des Chlors.

### 4.3.3 Bromwasserstoff (HBr)

Für HBr gilt Analoges, wie zu HCl erwähnt; die Toxizitäten von HCl und HBr sind vergleichbar hoch.

### 4.3.4 Chlor (Cl<sub>2</sub>)

Charakteristik: In höheren Konzentrationen gelbgrünes, giftiges, stark korrosives, nicht entzündbares Gas, schwerer als Luft, stechender Geruch. Sehr reaktionsfähig, besonders im feuchten Zustand, Reaktion mit vielen anorganischen und organischen Stoffen unter Wärmeentwicklung, zum Teil unter Entzündung. Wassergefährdender Stoff.

Vorkommen, Entstehung: Vielfältige Verwendung in der Industrie, z.B. zur Chlorierung von Kohlenwasserstoffen (Zwischenprodukte, Kunststoffe...) oder zur Herstellung von Bleichlauge. Aufgrund seiner Giftigkeit wurde Chlorgas im 1. Weltkrieg 1915 als Kampfstoff von deutscher Seite gegen französische Soldaten eingesetzt. Dies geschah im großen Maßstab und stellte den Beginn des mit großen Mengen systematisch geführten Gaskrieges dar. Im Labor kann Chlor durch Behandeln von starken Oxidationsmitteln wie MnO<sub>2</sub>, KMnO<sub>4</sub>, PbO<sub>2</sub> etc., die u.a. in den Analysesubstanzen enthalten sein können, mit Salzsäure entstehen; es ist also häufig Ergebnis unerwarteter Nebenreaktionen! Verflüssigt kommt das wasserfreie Gas in Stahlflaschen in den Handel.

Physiologische Wirkung: Chlor wirkt sehr stark reizend auf die Atemwege, aber auch auf Augen und Haut. Es bildet mit der Feuchtigkeit der Schleimhäute aktiven Sauerstoff und Salzsäure, die beide stark auf das Gewebe einwirken; Dies führt zu Husten und Tränenfluß, bei längerer Einwirkung auch zu Bluthusten und Atemnot bzw. zu Erstickungserscheinungen und "Blausucht" (Blaufärbung von Haut und Schleimhäuten). Nach einem beschwerdefreien Intervall von mehreren Stunden kann sich eine Lungenentzündung, seltener ein Lungenödem entwickeln. Bei hohen Konzentrationen tritt je nach Einwirkungszeit ein Kehlkopfverschluss oder Atemstillstand ein, was letztlich zum Tode führt. Eine chronische Chlorvergiftung ist umstritten, bei Opfern der Chlorgasangriffe des 1. Weltkrieges sind jedoch bleibende Störungen der Lungenfunktion aufgetreten. Die Geruchsschwelle ist sehr unterschiedlich, es scheint sich auch eine Gewöhnung an Geruch und Reizung aufzutreten. Flüssiges Chlor wirkt auf der Haut zerstörend und geschwürbildend.

Sicherheitsratschläge: Mit Chlor nur unter gutziehendem Abzug arbeiten! Beim Lösen von unbekanntem

Substanzen (z.B. Analysen) in Salzsäure mit Oxidationsmitteln ebenfalls mit Chlorbildung rechnen: Abzug! Nicht größere Mengen Chlor mit leicht oxidierbaren Substanzen zusammenbringen.

Erste Hilfe: Nach Einatmen Frischluft, ggf. Atemspende, Ruhe und Wärme. Atemwege freihalten, sofortiger Transport zum Arzt, bei Atemnot in halbsitzender Stellung, raschestmöglich Dexamethason-Spray einatmen lassen.

Wirkung bestimmter Konzentrationen:

Einatmen: 3 - 6 ppm: bei längerer Einwirkung, Erstickungserscheinungen, Bluthusten  
5 - 15 ppm: die gleichen Symptome wie bei 3 - 6 ppm in kürzerer Zeit

#### 4.3.5 Chlorwasserstoff (HCl)

Charakteristik: Farbloses, beständiges, stark korrosives, giftiges, ätzendes, leicht wasserlösliches Gas, wenig schwerer als Luft, stechender Geruch. Reagiert mit Basen unter Wärmeentwicklung, mit Metallen unter  $H_2$  - Entwicklung. Das Gas bildet mit feuchter Luft weiße Nebel aus Salzsäuretröpfchen, die schwerer als Luft sind.

Vorkommen, Entstehung: HCl und dessen wässrige Lösung treten in vielfältiger Weise in Labor und Betrieb auf. Im Betrieb entsteht das Gas z.B. als Nebenprodukt der Chlorierung von Kohlenwasserstoffen oder der Eliminierung aus chlorierten Kohlenwasserstoffen zu ungesättigten Verbindungen und wird beispielsweise mit Acetylen zu Vinylchlorid umgesetzt; im Labor wird hauptsächlich die wässrige Lösung (Salzsäure) benutzt und z.B. zum Lösen von Metallen oder in der qualitativen Analyse verwendet. Darstellungsmethoden für HCl sind z.B. die Einwirkung von schwerflüchtigen Säuren auf Metallchloride mit ausreichend ionischem Charakter oder großtechnisch die schon genannte Methode.

Physiologische Wirkung: Aufgrund seiner Eigenschaft, mit der Luftfeuchtigkeit Nebel zu bilden, wirkt HCl nicht als Gas, sondern in Form feiner Salzsäuretröpfchen als starker Reizstoff insbesondere auf die oberen Atemwege. Kleine Mengen HCl in der Luft sind eventuell leichter zu schmecken als zu riechen. Am Auge können die Dämpfe oder Gase Entzündung der Bindehaut und auch oberflächliche Hornhautschädigung hervorrufen. (Zur Wirkung auf die Haut siehe unter „Salzsäure“). Bei relativ kleinen Konzentrationen tritt eine starke, jedoch nur vorübergehende Reizung des oberen Atemtraktes und Geruchsbelästigung ein, die aber durch Gewöhnung schließlich als nicht mehr so unangenehm empfunden wird. Werden ausreichend hohe Konzentrationen eingeatmet, kommt es zu Gewebeerstörungen in Nase, Nebenhöhlen und Rachen, zu Kehlkopfentzündung und akuter Erstickungsgefahr durch Kehlkopfverschluss. Bei sehr hohen Konzentrationen und Zwang zu tiefer Inhalation gelangt HCl auch tief in die Lungen und schädigt dort die Bronchien und die Lungenbläschen, so dass in schwerwiegenden Fällen der Tod durch ein Lungenödem eintreten kann. Symptome für eine eventuell eingetretene schwere Vergiftung sind Niesreiz, Kehltreiz, Stechen auf der Brust, Heiserkeit, Erstickungsgefühl im Hals. Wirken HCl-Dämpfe über längere Zeiträume auf den Organismus ein, (z.B. in der Produktion), können chronische Symptome auftreten wie Abmagerung und Schwäche, trockene Haut, Kopfschmerzen, Schlaflosigkeit, Atemnot oder Hustenreiz. Außerdem können für die chronische Einwirkung von Säurenebeln typische Zahnschäden beobachtet werden, die zu den anerkannten Berufskrankheiten gehören: Die Zähne verlieren ihren Glanz, werden unter Gelbfärbung weich, rau und gefleckt und fallen schließlich aus.

Sicherheitsratschläge: Mit der konzentrierteren Säure, besonders dann, wenn sie erhitzt wird, im Abzug arbeiten, Abrauchen nicht am Arbeitsplatz! Mit dem Gas (HCl kommt verflüssigt in Stahlflaschen in den Handel) nur im Abzug arbeiten!

Erste Hilfe: Nach Einatmen geringerer Mengen: Frischluft, eventuell Hustenmittel, nach höheren Konzentrationen Ruhe, Wärme. Transport zum Arzt in stabiler Seitenlage, raschestmöglich Dexamethason-Spray einatmen lassen.

#### 4.3.6 Fluorwasserstoff (HF)

Charakteristik: Farblose, sehr giftige, sehr flüchtige, sehr stark ätzende, mit Wasser mischbare, hygroskopische, sehr reaktionsfähige Flüssigkeit. Die Dämpfe sind schwerer als Luft und haben einen stechenden Geruch. HF ist ein wassergefährdender Stoff.

Vorkommen, Entstehung: HF entsteht grundsätzlich bei der Einwirkung von Säuren auf lösliche Fluoride, bzw. deren wässrige Lösungen. In der Analyse wird die Lösung z.B. zum Nachweis von Silizium verwendet. Weiterhin dient sie z.B. zum Ätzen von Glas und in der Technik zur Herstellung von

künstlichem Kryolith.

Physiologische Wirkung: Die Einwirkung der wässrigen Lösung auf die Haut wird im Kap. 2 "Säuren", behandelt. Durch das Einatmen von HF werden hauptsächlich die oberen Atemwege gereizt, es kann zu einer heftigen Kehlkopfentzündung mit eitrigem Ausfluss und zu schlecht heilenden Geschwüren auf der Schleimhaut kommen. Der Geruchssinn kann verloren gehen, weiterhin kann es zu einem Lungenödem und zu Atemstillstand kommen.

Sicherheitsratschläge: Beim Umgang mit HF unbedingt dichte Handschuhe tragen und unter gutziehenden Abzug arbeiten! Vorsicht beim Umgang mit (säurelöslichen) Verbindungen, wie Ammoniumfluorid und den Alkalifluoriden, da hier mit der Bildung von HF in sauren Medium gerechnet werden muss! Ebenfalls mit Vorsicht behandelt werden müssen saure Fluoride (z.B.  $\text{KHF}_2$ ).

Erste Hilfe: Nach dem Einatmen Frischluft, gegebenenfalls Atemspende, Ruhe, Wärme. Sofortiger Transport zum Arzt! Bei Bewusstlosigkeit Lagerung und Transport in stabiler Seitenlage.

Wirkung bestimmter Konzentrationen:

Einatmen: 30 ppm: scharfer Geruchsreiz

50 - 100 ppm: können über 30 - 60 Minuten eingeatmet tödlich wirken

#### 4.3.7 Iodwasserstoff (HI)

Für HI gilt Analoges, wie schon zu HCl erwähnt; die Toxizitäten von HCl und HI sind vergleichbar hoch.

#### 4.3.8 Phosgen ( $\text{COCl}_2$ )

Charakteristik: Farbloses bis grünlich-gelbes, hochgiftiges, leicht zu verflüssigendes (Kp.:  $8,2^\circ\text{C}$ ) Gas, viel schwerer als Luft. Geruch in hoher Verdünnung süßlich, in höheren Konzentrationen fauliger Obstgeruch oder an muffiges Heu erinnernd, wird nicht von jedem wahrgenommen. Das Gas reagiert mit Wasser zu HCl und  $\text{CO}_2$ .

Vorkommen, Entstehung: Phosgen ist ein wichtiges Zwischenprodukt der chemischen, vor allem der Kunststoff-Industrie. Im 1. Weltkrieg wurde es aufgrund seiner hohen Giftigkeit als Kampfstoff eingesetzt. Eine unerwünschte Reaktion ist die Zersetzung chlorierter Kohlenwasserstoffe, vor allem Chloroform und Tetrachlorkohlenstoff (s.a. Kapitel 5 „Organische Lösungsmittel“) an heißen Oberflächen, Flammen (Dämpfe) oder durch Lichteinwirkung, wobei unter anderem Phosgen entsteht. Der Zersetzung durch Lichteinwirkung wird häufig durch Zugabe eines Stabilisators zu der jeweiligen Substanz begegnet, so z.B. bei handelsüblichem Chloroform.

Physiologische Wirkung:  $\text{COCl}_2$  übt nur eine geringe Reizwirkung auf Augen, Haut und Atemwege aus und ist heimtückisch, da bereits schädliche Konzentrationen nicht sicher wahrgenommen werden! Die Wirkung beruht auf rasch verlaufenden, direkten chemischen Reaktionen der freiwerdenden Carbonylgruppe mit Aminosäuren und vielen Enzymen und somit auf der Blockierung lebenswichtiger Stoffwechselforgänge. Bei relativ niedrigen Konzentrationen folgt auf die Einatmung ohne stärkere Atemwegsreizung eine beschwerdefreie Zeit von bis zu 24 Stunden (abhängig von Konzentration und Einwirkungsdauer). Danach treten plötzlich schwerste Reizerscheinungen der Lunge, wie quälender Husten, reichlich bräunlich-schaumiger Auswurf, Atemnot und schwere Blausucht (Blaufärbung der Haut und Schleimhäute) aufgrund eines sich entwickelnden Lungenödems auf, das in vielen Fällen zum Tod durch Erstickung oder Herzstillstand führt. Tödliche Phosgenvergiftungen werden als sehr qualvoll beschrieben, da das Bewusstsein bis zuletzt erhalten bleibt Einatmen von höheren Konzentrationen bewirkt zusätzlich eine Reizung der Bronchialschleimhaut; bei stark überhöhten Konzentrationen tritt Erstickung vor der Ausbildung eines Lungenödems ein. Chronische bzw. bleibende Schäden werden nur in Ausnahmefällen beobachtet.

Sicherheitsratschläge: Mit dem Gas nur unter dem gutziehenden Abzug arbeiten. Chloroform und Tetrachlorkohlenstoff nicht zuletzt ihrer eigenen Giftigkeit wegen, aber auch aufgrund der Gefahr der Phosgenbildung, ebenfalls nur unter dem Abzug handhaben. Beim Hantieren mit chlorierten organischen Lösungsmitteln die Nähe heißer Oberflächen bzw. offener Flammen, insbesondere außerhalb des Abzugs, meiden

Erste Hilfe: Absolute Körperruhe, dem Vergifteten nichts zu trinken geben. Transport zum Arzt, bei Atemnot in halbsitzender Stellung; schnellstmöglich Dexamethason-Spray einatmen lassen!

## 4.3.9 Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)

Charakteristik: Farbloses, giftiges, wasserlösliches Gas, sehr stabil, zieht Feuchtigkeit aus der Luft an, bildet Aerosole. Gas schwerer als Luft, stechender Geruch nach "brennendem Schwefel". Gas zu farbloser, leicht beweglicher Flüssigkeit kondensierbar. Wassergefährdender Stoff.

Vorkommen, Entstehung: SO<sub>2</sub> bildet sich beim Verbrennen schwefelhaltiger Stoffe oder von Schwefel selbst; bedeutsam sind die geringen Schwefelanteile der fossilen Brennstoffe, deren Verbrennung zur Bildung von SO<sub>2</sub> führt ("saurer Regen"). Das Gas kommt verflüssigt in Stahlflaschen in den Handel. Es dient u.a. als Bleichmittel, zur Schwefelsäureherstellung, zur Desinfektion ("Schwefeln" von Bier- und Weinfässern).

Physiologische Wirkung: Die Wirkung des Schwefeldioxids besteht vor allem in einer Reizung der oberen Atemwege, in höheren Konzentrationen wirkt es auch auf die Augenschleimhäute und bei verstärkter Atmung auch auf die tieferen Atemwege ein; die feuchten Schleimhäute werden durch die gebildete schweflige Säure angegriffen. Die Bindung von SO<sub>2</sub> an lungengängigen Staub oder Aerosolpartikel erhöht die Aufnahme beträchtlich. Nach längerem Einatmen höherer Konzentrationen folgen auf die Schleimhautreizung möglicherweise Lungenentzündung und in schweren Fällen die Bildung eines Lungenödems mit Kurzatmigkeit, "Blausucht" (Blaufärbung von Haut und Schleimhäuten) und Herz- Kreislaufstörungen. Bei kurzzeitiger Einwirkung sehr hoher Konzentrationen drohen Kehlkopfkrampf oder Atemstillstand. Als Folgen einer chronischen Einwirkung des Gases können Appetitlosigkeit, Fehlen des Geschmacks, rote Zunge, Schleimsekretion aus den Nebenhöhlen und Bronchien (oft blutig) und Anderes auftreten. Interessanterweise führten Konzentrationen unter 10 ppm SO<sub>2</sub>, die über sehr lange Zeiträume eingeatmet wurden (beruflich), mehrfach zu einer verringerten Erkrankungshäufigkeit der Atmungsorgane, mehr als 10 - 15 ppm über mehrere Jahre können dagegen chronische, entzündliche Erkrankungen der Atemwege verursachen.

Sicherheitsratschläge: Mit dem verflüssigten Gas (graue Stahlflasche) und mit dem bei Reaktionen entstehenden Gas im Abzug arbeiten. Zur Entsorgung des Gases leitet man es in verdünnte Natronlauge ein.

Erste Hilfe: Nach dem Einatmen Frischluft flach hinlegen, Ruhe, vor Wärmeverlust schützen. Möglichst rasch Dexamethasonspray einatmen lassen, um die Bildung eines Lungenödems zu verhindern, Arzt! Nach Verätzung der Augen durch verflüssigtes SO<sub>2</sub> bzw. sehr hohe Konzentrationen des Gases sofort unter fließendem Wasser bei gut geöffnetem Lidspalt spülen und trockenen Verband anlegen, anschließend augenärztliche Behandlung.

Wirkung bestimmter Konzentrationen:

Einatmen: ca. 50 ppm: starke Schleimhautreizungen an Augen und Atemwegen, Lungenblutungen und -ödem, Stimmritzenkrampf mit Erstickungsgefahr (über 60 Minuten eingeatmet)  
 100 - 250 ppm: lebensgefährlich 400 ppm: können innerhalb weniger Minuten tödlich wirken

## 4.3.10 Schwefeltrioxid (SO<sub>3</sub>)

Charakteristik: Eisartige, seidenglanzende (γ-Form) bzw. asbestartig verfilzte Kristallnadeln α, β-Form), an der Luft stark rauchend. Mit Wasser spontane, explosionsartige Umsetzung zu Schwefelsäure, über 45° C farblose, wasseranziehende, ätzende Flüssigkeit. Bei hoher Temperatur zunehmend Zerfall in SO<sub>2</sub> und Sauerstoff. Bei Kontakt mit brennbaren Stoffen kann Entzündung eintreten. Wassergefährdender Stoff.

Vorkommen, Entstehung: In größeren Mengen entsteht SO<sub>3</sub> bzw. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-Nebel beim Abrauchen von Substanzen mit konzentrierter Schwefelsäure. Diese entwickelt bereits bei Temperaturen ab 50°C SO<sub>3</sub>, das mit der Luftfeuchtigkeit schwere, weiße Nebel bildet.

Physiologische Wirkung: Das Einatmen der Nebel erzeugt Reiz und Ätzwirkung auf die Schleimhäute der Atemwege, ebenso die Einwirkung auf die feuchte Haut und die Augen. Es kommt zu sehr starkem Hustenreiz, der auch auftreten kann, ohne dass man die Ursache geruchlich wahrnimmt. Bei höheren Konzentrationen kann es zu schweren Defekten an der Schleimhaut der oberen Atemwege kommen; Schädigungen der Lunge bis zum Lungenödem sind selten. Es kommt zu starken Hustenanfällen, eventuell zu Atemnot (höhere Konzentrationen). Es kann zu Luftröhrenverschluss durch Kehlkopfschwellung kommen; chronisch können Bronchitis oder Säureschäden an Zähnen auftreten.

Sicherheitsratschläge: Nur unter dem gutziehenden Abzug arbeiten; beim Abrauchen mit Schwefelsäure bilden sich erhebliche Mengen weißer Nebel, die, wenn nicht gefährlich, so doch mindestens stark

belästigend sind! Vorbeugender Hautschutz empfehlenswert.

Erste Hilfe: Frischluft, eventuell Atemspende, Wärme, absolute Ruhe. Hustenbekämpfung. Bei Spritzern der flüssigen oder festen Substanzen ins Auge dieses unter fließendem Wasser oder besser mit physiologischer Kochsalzlösung bei gut geöffnetem Lidspalt spülen; sofort zum Augenarzt.

#### 4.3.11 Stickoxide ( $N_xO_y$ : NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)

Charakteristik: Hauptbestandteil der nitrosen Gase ist das NO<sub>2</sub>, ein hochgiftiges, ätzendes, wenig wasser- aber gut fettlösliches Gas. Die Farbe wechselt mit steigender Temperatur von braun über glutrot bis zur Undurchsichtigkeit. Es ist sichtbar über 100 ppm und 21° C, bei dieser Temperatur läßt es sich zu einer farblosen bis honiggelben Flüssigkeit kondensieren. Starkes Oxidationsmittel, stechender, säurartiger Geruch.

Vorkommen, Entstehung: Stickoxide sind z.B. Zwischenprodukte in der Salpetersäure- oder Düngemittelproduktion. Bei hohen Temperaturen wird in Verbrennungsmotoren, Kraftwerkskesseln o.ä. NO in geringer Gleichgewichtskonzentration aus den Elementen gebildet, dieses spielt eine große Rolle beim Säureeintrag in die Umwelt bzw. bei der Entstehung weiterer Schadstoffe (Oxidation zu NO<sub>2</sub>, Bildung von Ozon und anderen Giften). Bei nahezu allen Redoxreaktionen der Salpetersäure mit anorganischen oder organischen Substanzen entstehen Stickoxide, ebenso beim Abrauchen der Säure.

Physiologische Wirkung: Die Reiz- und Ätzwirkung beruht auf der Bildung von Salpetersäure auf den feuchten Schleimhäuten. Wegen der hohen Fettlöslichkeit sind die oberen Atemwege bei nicht sehr hohen Konzentrationen nur geringfügig, die Lungen dafür umso stärker betroffen. Unmittelbar nach dem Einatmen kommt es, abhängig von Konzentration und Einwirkungsdauer, zu Reizhusten, Kopfschmerzen, Schwindel, Bindehautentzündung und seltener zu Übelkeit und Erbrechen. Es folgt eine beschwerdefreie Zeit von mehreren Stunden bis zu einem Tag, wobei aber das Gas innerhalb der Lunge unauffällig zur Bildung eines Ödems führt, falls eine Vergiftung größeren Ausmaßes vorliegt; während der beschwerdefreien Zeit besteht die große Gefahr der Bagatellisierung! Es kommt dann zu plötzlich zunehmender Atemnot, Hustenreiz, Schmerzen hinter dem Brustbein, Erstickungsgefühl, dann zu Kurzatmigkeit und schaumig-rotbraunem Auswurf; der Tod tritt dann durch das Lungenödem ein. Nicht selten kommt es zu Spättodesfällen nach einigen Wochen, nachdem einmalig nitrose Gase eingeatmet wurden. Bei Einwirkung höherer Konzentrationen kann die beschwerdefreie Zeit fehlen. Ist der NO-Anteil der nitrosen Gase relativ hoch, setzen akute Beschwerden wie Blausucht (Blaufärbung von Haut und Schleimhäuten), Erbrechen, Atemnot, Benommenheit und Bewusstlosigkeit ein, so dass eine Vergiftung hier schneller erkannt werden kann. Es besteht die Möglichkeit einer unbeabsichtigten Einatmung der Gase, da diese sich nicht immer durch ihre Farbe bemerkbar machen und somit große Mengen aufgenommen werden können, die dann eventuell zu schweren Lungenschäden führen.

Sicherheitsratschläge: Mit nitrosen Gasen nur unter dem gutziehenden Abzug arbeiten, hier besonders auf Nebenreaktionen bzw. auf Reaktionen unbekannter Substanzen (z.B. Analysen) achten! Stickoxide besonders ernst nehmen!

Erste Hilfe: Nach dem Einatmen sofort absolute Körperruhe für mindestens 24 Stunden, auch bei scheinbar leichten Vergiftungen; Bewegung und Anstrengung verschlechtern die Heilungsaussichten ganz erheblich! Schutz vor Wärmeverlust, Flüssigkeitseinschränkung Lagerung an frischer Luft, an Ammoniumhydrogencarbonat riechen lassen, bis der Arzt eintrifft; Transport nur im Liegen, nur bei Atemstillstand Atemspende. Nachbeobachtung für 1 - 2 Stunden.

## 5 ORGANISCHE LÖSUNGSMITTEL

Bei den organischen Lösungsmitteln handelt es sich meist um leicht flüchtige Flüssigkeiten, so dass Gefährdungen nicht nur durch Hautkontakt oder Verschlucken, sondern auch durch das Einatmen der Dämpfe entstehen. Verwendet werden diese Mittel vor allem zum Lösen von Substanzen, die in Wasser oder anderen stark polaren Flüssigkeiten schlecht löslich sind (z.B. Fett). Grob lassen sich die organischen Lösungsmittel in halogenierte und halogenfreie Lösungsmittel einteilen. Halogenfreie Lösungsmittel sind brennbar und meist leicht entzündlich. Zur Zündung ist nicht unbedingt eine Flamme erforderlich, sie kann auch durch heiße Gegenstände, deren Temperatur oberhalb der Zündtemperatur des Lösungsmittels liegen, oder elektrische Funken bewirkt werden. Ihre Dämpfe bilden mit Luft explosive Gemische, wobei z.T. ein Lösungsmitteldampf-Anteil von 1 - 2 Vol.-% ausreicht. Da die Dämpfe schwerer sind als Luft, können sie am Boden oder in Mulden (Ausguss), wo sie sich sammeln, relativ

leicht derartige Konzentrationen erreichen. Sie können auch über den Labortisch zum nächsten Brenner wandern, wo sie zünden, und die Flamme schlägt zurück. Sollten Lösungsmittel in den Ausguss gelangen, können Dämpfe aufsteigen und sich im Becken sammeln. Deshalb sollte man in diesem Fall mit viel Wasser nachspülen. Mit starken Oxidationsmitteln (z.B. Perchlorate, Chromate, etc.) können diese Lösungsmittel z.T. explosionsartig reagieren. Halogenierte Lösungsmittel sind entweder krebserregend oder besitzen ein krebserregendes Potential. Beim Umgang mit diesen ist also unbedingt das Tragen von Handschuhen zu empfehlen. Die beiden im Einführungspraktikum „Allgemeine Chemie“ verwendeten halogenierten Lösungsmittel  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  und  $\text{CHCl}_3$  sind zwar nicht brennbar, dürfen aber trotzdem nicht mit der Flamme in Berührung gebracht werden, da sie bei höheren Temperaturen ( $\text{CCl}_4$  bereits oberhalb  $100^\circ\text{C}$ ) teilweise zu Phosgen (hochgiftig, Verwendung als Kampfstoff im 1. Weltkrieg) umgesetzt werden. Auch durch Licht und im Fall von Chloroform durch Eisenkatalyse kann diese Umsetzung erfolgen. Die Dämpfe sind schwerer als Luft und sammeln sich daher am Boden oder in Mulden an. Die Wirkungen von organischen Lösungsmitteln auf den Organismus sind teilweise auf deren lipophile (= "fettliebenden") Eigenschaften zurückzuführen: Gelangen Organische Lösungsmittel in den Körper, so werden sie in den fettreichen Zellen von Nerven, Hirn, Knochenmark, Leber, Nieren etc. angereichert. Dies führt zur Schädigung der betreffenden Zellen und Organe durch die Lösungsmittel bzw. deren Abbauprodukte. Bei Hautkontakt lösen sie die Fettschicht der Haut auf und bewirken so eine Hautversprödung, die Mikroorganismen und Schmutzteilchen ein Eindringen erleichtert, wodurch die Infektionsgefahr erhöht wird. Eine Reihe von Lösungsmitteln kann auch durch die Haut resorbiert werden und auf diesem Wege in den Körper gelangen. Symptome akuter Schädigungen durch Lösungsmittel, die aufgrund kurzzeitiger Einwirkungen hoher Konzentrationen auftreten, sind Benommenheit, Kopfschmerz, Schwindel sowie narkotische Wirkungen; alles Erscheinungen, die auf Störungen des zentralen Nervensystems zurückzuführen sind. Darüber hinaus können je nach Lösungsmittel weitere Organe oder Stoffwechselprozesse beeinträchtigt werden. Lösungsmittel wirken hautreizend, so dass es nach Hautkontakt zu Rötungen und Blasenbildung kommen kann. Dämpfe bewirken Schleimhautreizungen. Die Aufnahme kleinerer Lösungsmittelmengen über einen längeren Zeitraum hinweg kann zu chronischen Schädigungen führen. Die chronische Effekte sind deshalb so gefährlich, weil sie von einer Gewöhnung begleitet werden, so dass sie häufig nicht rechtzeitig festgestellt werden. Sie bewirken aber spätere Organschäden (z.B. an Leber, Nieren, Hirn). Beim Umgang mit Lösungsmitteln ist daran zu denken, dass sich aufgrund ihrer ähnlichen physiologischen Eigenschaften ihre Wirkungen auf den Organismus summieren, so dass ein Gemisch aus vielen verschiedenen Lösungsmitteldämpfen, dessen Einzelbestandteile noch alle in Konzentrationen unterhalb ihres MAK-Wertes vorliegen, schon sehr gefährlich sein kann. Zum Teil potenzieren sich sogar die Wirkungen:  $\text{CCl}_4$  und  $\text{CHCl}_3$  fördern beispielsweise die Resorption von Alkohol, der wiederum die spezifischen Schadwirkungen der beiden erstgenannten verstärkt. Neben den physiologischen Eigenschaften der Lösungsmittel müssen auch deren physikalische und chemische Eigenschaften (z.B. die häufig leichte Entflammbarkeit) berücksichtigt werden, die in den folgenden Beschreibungen behandelt werden. Handhabung organischer Lösungsmittel: Nach Möglichkeit sollte man mit organischen Lösungsmitteln nur mit Handschuhen (Hautresorption, Hautentfettende Wirkung) und im Abzug (gefährliche Dämpfe) arbeiten. Aus Gründen der Brand- und Explosionsgefahr darf sich in diesem Abzug keine offene Flamme oder eine Heizplatte befinden. Um die Belastung mit Lösungsmitteldämpfen so gering wie möglich zu halten, solltet Ihr:

1. Bei Wahlmöglichkeit zwischen mehreren Lösungsmitteln das mit dem geringsten Dampfdruck bzw. höchsten MAK-Wert verwenden.
2. Lösungsmittel nicht länger als unbedingt erforderlich offen stehen lassen, d.h. die Vorratsflasche sofort nach dem Gebrauch verschließen und verwendete Lösungsmittel sofort nach Abschluss des Versuches in die dafür vorgesehenen Sammelbehälter geben
3. Beim Arbeiten mit  $\text{CCl}_4$ ,  $\text{CHCl}_3$ ,  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ , Benzol, Pyridin wegen der hohen Giftigkeit, der hohen Geruchsschwelle und der Krebsgefahr immer einen Abzug (notfalls im Stink-Raum) aufsuchen.
4. Organische Lösungsmittel sollten nicht mit starken Oxidationsmitteln zusammengebracht werden, sonst droht Explosionsgefahr. Gegebenenfalls solltet Ihr einen Assistenten fragen, ob im speziellen Fall eine heftige Reaktion zu erwarten ist.
5. Mit Lösungsmitteln benetzte Einweghandschuhe solltet Ihr sofort ausziehen, da sie keinen dauerhaften Schutz bieten, sondern wie die Haut vom Lösungsmittel durchdrungen werden können.

## 5.1 4-Methyl-2-pentanon (Methylisobutylketon, MIK)

Physiologische Wirkung: MIK entspricht in seinen Wirkungen ungefähr dem Aceton, ist aber wesentlich giftiger. 1000 ppm wirken bei längerem Einatmen stark toxisch.

Erste Hilfe: Nach Einatmen größerer Mengen: Frischluft.

Nach Hautkontakt: Spülen. Nach Verschlucken: Reichlich Wasser trinken.

Teratogenität: Gruppe C

LD50: (oral, Ratte): 2080mg/kg

MAK-Wert: 20 ppm (83mg/m<sup>3</sup>) Geruchsschwelle: 1 - 10 ppm

**R: 11-20-36/37-66 S: 9-16-29**

## 5.2 Benzol (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)

Allgemeines: Benzol ist wohl der bekannteste aromatische Kohlenwasserstoff. Durch den leichtfertigen Umgang mit Benzol in den letzten Jahrzehnten wurde ziemlich schnell die Giftigkeit und Kanzerogenität des Benzols bekannt. Im Allgemeinen sollte man grundsätzlich auf das Arbeiten mit Benzol, wenn ein geeigneter Austauschstoff (z.B. Toluol (= Toluol)) vorhanden ist, verzichten. Allerdings stehen die Benzol-Austauschstoffe meist auch im Verdacht, kanzerogen zu sein, über sie ist allerdings noch nicht so viel bekannt, wie über das Benzol.

Physiologische Wirkung: Benzol wird durch Einatmen, Haut- und Schleimhautresorption vom Körper aufgenommen. Es verursacht Blutungen in der Haut und im Zahnfleisch, eine fettige Entartung der Blutgefäße, Leukämie und Knochenmarksschädigung. Akut aufgenommen wirkt die Substanz zunächst erregend, dann narkotisch. Nach Verschlucken kann es zu Störungen des Magen- Darm- Traktes kommen. Konzentrationen, die größer als 1 Vol.-% sind, wirken tödlich. Nach chronischer Einwirkung kann es zu Blutbildschäden und zu Leukämie kommen.

Erste Hilfe:

Hautkontakt: Gründlich mit Wasser und Seife waschen. Benetzte Kleidungsstücke entfernen.

Einatmung: Frischluft.

Verschlucken: Kein Erbrechen auslösen. Viel Wasser mit Aktivkohle verabreichen.

Augenkontakt: Augenspülung.

Nach der Erste-Hilfe-Maßnahme liegender Transport zum Arzt.

MAK-Wert: nicht existent, da kanzerogen! Geruchsschwelle: 60-100ml/m<sup>3</sup>

Kanzerogenität: Kategorie 1

Mutagenität: Gruppe 3

LD50 (oral Ratte): 930mg/kg

TC0 (inhal. Mensch): 210 ppm

LDL<sub>0</sub> (oral Mensch): 50mg/kg

**R: 45-11-E48/23/24/25 S: 53-45**

## 5.3 Cyclohexan (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>)

Charakteristik: Cyclohexan ist eine farblose Flüssigkeit mit schwachem Geruch. Sie wird verwendet zur Extraktion, als Lösungsmittel, in der Dünnschichtchromatographie und Spektroskopie.

Physiologische Wirkung und Erste Hilfe siehe **Hexan** (Kap. 5.9).

MAK-Wert: 200 ppm (700mg/m<sup>3</sup>)

LD50: (oral, Ratte): 12705mg/kg

**R: 11-38-50/53-65-67 S: 9-16-33-60-61-62**

## 5.4 Dichlormethan (Methylenchlorid: CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>)

Allgemeines: Dichlormethan wird in der Organischen Chemie häufig als Lösungsmittel eingesetzt. Es ist ein guter Austauschstoff für Chloroform und Tetrachlorkohlenstoff, die wegen ihrer Kanzerogenität nicht mehr benutzt werden sollen.

Physiologische Wirkung: Dichlormethan wird durch Hautresorption und die Atemluft vom menschlichen Körper aufgenommen. Ist die Substanz in den Körper gelangt, bildet sie Kohlenmonoxid. Sie wirkt sedierend bis narkotisch. Nach massiver Inhalation ist auch ein Lungenödem möglich.

Erste Hilfe:

Verschlucken: Reichlich Wasser mit Aktivkohle trinken lassen. Vorsicht bei Erbrechen, da

Aspirationsgefahr besteht. Arzt!

Inhalation: Frische Luft. Liegend zum Arzt transportieren.

Hautkontakt: Gründlich mit Wasser und Seife waschen. Benetzte Kleidungsstücke entfernen.

MAK-Wert: 100 ppm (350mg/m<sup>3</sup>) Geruchsschwelle: 88 - 2160mg/m<sup>3</sup>

Kanzerogenität: Kategorie 3

Teratogenität: Gruppe D

LD50 (oral, Ratte): 2542mg/kg

LDL<sub>0</sub>: (oral, Mensch): 357mg/kg

**R: 40 S: 23.2-24/25-36/37**

### 5.5 Diethylether (Ether: C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>-O-C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)

Charakteristik: Die Gefahr beim Umgang mit Ether liegt stärker in dessen chemischen und physikalischen Eigenschaften als in seinen physiologischen Auswirkungen begründet. Diethylether ist besonders leicht flüchtig. Sammeln sich Dämpfe am Boden oder in Mulden, so reicht bereits ein Etheranteil von 1,7 Vol.-%, um das Ether/Luft-Gemisch explosionsfähig zu machen. Angesichts der sehr niedrigen Zündtemperatur von 170°C reicht schon ein heißer Gegenstand, um eine Explosion hervorzurufen. Zudem ist Ether leicht elektrostatisch aufladbar und kann so den zündenden Funken sogar selbst liefern. Auch die beim Ausethern anfallende mit Ether gesättigte wässrige Phase sind noch zündfähig. Unter Lichteinwirkung bildet Ether mit Luftsauerstoff explosive Peroxide. Mit starken Oxidationsmitteln reagiert er z.T. explosiv. Vergiftungssymptome: akut: Hervorzuheben ist die narkotische Wirkung, darüber hinaus treten die üblichen Symptome einer akuten Lösungsmittelvergiftung auf. chronisch: Neben Kopfschmerzen kann es zu psychischen Störungen (Nervosität, Melancholie) sowie zu Appetitlosigkeit und Abmagerung kommen.

Erste Hilfe:

Einatmung größerer Mengen: Frischluft.

Hautkontakt: Spülen.

Verschlucken: Kein Erbrechen auslösen, Natriumsulfat und Aktivkohle verabreichen.

MAK-Wert: 400 ppm (1200mg/m<sup>3</sup>) Geruchsschwelle: 1 - 3mg/m<sup>3</sup>

Teratogenität: Gruppe D

LD50: (oral, Ratte): 1215mg/kg,

LDL<sub>0</sub>: (oral, Mensch): 260mg/kg

**R: 12-19-22-66-67 S: 9-16-29-33**

### 5.6 Dimethylbenzol (Xylol: o,m,p CH<sub>3</sub>-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>-CH<sub>3</sub>)

Charakteristik: Xylol liegt als Gemisch aus den 3 Isomeren vor und ist eine farblose, stark aromatisch riechende Flüssigkeit. Sie wird als Lösemittel für Natur- und Kunstharze, Fette, Wachse, Bitumen und Teer verwendet.

Physiologische Wirkung: Auf den Organismus wirkt Xylol stark narkotisch, reizt Haut und Schleimhäute. Nach dem Einatmen ist die Entstehung eines toxischen Lungenödems möglich.

Erste Hilfe:

Nach Inhalation ausreichend frische Luft. Benetzte Kleidungsstücke entfernen und die Haut gründlich abwaschen. Nach Verschlucken: Erbrechen vermeiden, reichlich Wasser mit Aktivkohle trinken

MAK-Wert: 100 ppm (440mg/m<sup>3</sup>) Geruchsschwelle: 1mg/m<sup>3</sup>

Teratogenität: Gruppe D

LD50: (oral,Ratte): 4300mg/kg ,

LDL<sub>0</sub> (oral Mensch): 50mg/kg

**R: 10-20/21-38 S: 25**

### 5.7 Ethanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)

Vergiftungssymptome: Bei größeren Mengen kann es über die bekannten Alkoholwirkungen hinaus zu Koma und Atemlähmung kommen. Die Resorption wird durch Chloroform, Tetrachlorkohlenstoff, Kohlenstoffdisulfid, Arsen, Blei, Quecksilber, Kalkstickstoff, Nitrobenzol und Anilin gesteigert. E. reizt Augen und Haut nur in sehr hoher Konzentration, die Wirkung nach Verschlucken ist individuell und sehr unterschiedlich. Zusätzliche Gefahren gehen beim vergällten Ethanol von den Verunreinigungen

(z.B. durch Methanol) aus.

Erste Hilfe:

Einatmung sehr großer Mengen: Frischluft.

Hautkontakt: Spülen.

Verschlucken größerer Mengen (bes. vergällt): evtl. Erbrechen.

MAK-Wert: 500 ppm (960mg/m<sup>3</sup>) Geruchsschwelle: 19 - 93ml/m<sup>3</sup>

Kanzerogenität: Kategorie 5

Mutagenität: Gruppe 2

Teratogenität: Gruppe C

LD50: (oral, Ratte): 7060mg/kg

**R: 11 S: 7-16**

### 5.8 Ethylacetat (C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>O<sub>2</sub>, Essigester, Essigsäureethylester)

Charakteristik: Ethylacetat ist eine farblose, charakteristisch nach „Klebstoff“ riechende Flüssigkeit. Es wird hauptsächlich als Extraktionsmittel sowie für die Dünnschicht- und Säulenchromatographie benutzt, außerdem als Lösungsmittel u.a. in Klebstoff. Es sollte von starken Oxidationsmittel, Säuren und Basen ferngehalten werden. Vergiftungssymptome: Reizt Haut und Augen. Reizt Atemwege, kann Hals- und Kopfschmerzen verursachen, zu Narkose führen. Orale Aufnahme kann dazu Durchfall und Magenschmerzen verursachen. Langzeitschäden sind an Atemwegen, Augen, Leber und Nieren möglich.

Erste Hilfe: Bei Inhalation Verletzten sofort an die frische Luft bringen. Bei oraler Aufnahme nicht erbrechen lassen, sofort Arzt konsultieren! Bei Haut- oder Augenkontakt gründlich spülen.

MAK-Wert: 400 ppm (1500mg/m<sup>3</sup>)

LD50: (oral, Ratte): 5620mg/kg

**R: 11-36-66-67 S: 16-26-33**

### 5.9 Hexan (C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>); Isomerengemisch, n-Hexan, iso-Hexan

Charakteristik: Hexan ist eine farblose Flüssigkeit mit schwachem Geruch. Sie wird verwendet zur Öl- und Fettextraktion, in der Dünnschichtchromatographie und Spektroskopie und als Klebstoffverdünner. Da n-Hexan stärker toxisch ist als andere Isomere, wird das Isomerengemisch zunehmend weniger benutzt und durch isomerenreines Isohexan ersetzt.

Physiologische Wirkung: Hexan gehört zu den niedrigsiedenden Paraffinen und wirkt nach Aufnahme durch den menschlichen Körper zunächst erregend, dann narkotisierend. Die Aufnahme kann oral erfolgen, von größerer Bedeutung ist jedoch die Hautresorption und die Inhalation. Die Atmung wird früh beeinträchtigt, der Tod kann bei gesteigerter unregelmäßiger Atmung plötzlich eintreten. Nach massiver Inhalation ist ein Lungenödem möglich.

Erste Hilfe: Nach Verschlucken: Reichlich Wasser trinken lassen und Erbrechen auslösen. Arzt! Nach Inhalation: Frische Luft. Liegend zum Arzt transportieren. Nach Hautkontakt: Gründlich mit Wasser und Seife waschen. Benetzte Kleidungsstücke entfernen.

Wirkung bestimmter Konzentrationen:

5000 ppm (10 min.): Schwindelanfälle

1000 - 2500 ppm (12 h / d): Schläfrigkeit, Appetitverlust, Muskelschwäche, Taubheitsgefühl in den Extremitäten.

MAK-Wert: 50 ppm (180mg/m<sup>3</sup>) Geruchsschwelle: 465 ppm

Teratogenität: Gruppe C

LD50: (oral, Ratte): 15840 - 25740mg/kg (n), >5000mg/kg (iso)

**R: 11-38-48/20-51/53-62-65-67 S: 9-16-29-33-36/37-61-62**

### 5.10 Methanol (CH<sub>3</sub>OH)

Vergiftungssymptome:

akut: Die ersten Symptome zeigen sich oft erst nach einer Latenzzeit von 12 - 24 Stunden. Dabei kommt es neben den üblichen Folgen einer akuten Lösungsmittelvergiftung zu schweren Veränderungen des Blutes. Das Methanol wird nämlich im Gegensatz zum Ethanol nicht zu CO<sub>2</sub> verbrannt, sondern zu Ameisensäure oxidiert, was zu einer Störung des Säure/Base- Gleichgewichts im Blut führt ("Azidose"). Die CO<sub>2</sub>-Abgabe wird erschwert und so Atemnot ausgelöst. Zudem steigt der Anteil an

reduziertem Hämoglobin im Blut, was äußerlich in Form einer Blausucht ("Zyanose") erkennbar ist. Außerdem kann Methanol Lungen- und Hirnödeme auslösen. 30 - 100ml sind tödlich, aber bereits wenige ml können zu einer irreversiblen Erblindung führen. Methanol wird vom Körper nur sehr langsam ausgeschieden, so dass die Gefahr der Akkumulation besteht.

chronisch: Neben Schwindel, Kopf- und Leibscherzen, Schwächegefühle und Erregungszuständen kann die wiederholte Aufnahme kleiner Methanoldmengen zu Nervenschädigungen und Seh- bzw. Hördefekten bis zu Blind- bzw. Taubheit führen.

Erste Hilfe:

Einatmung größerer Mengen: Frischluft.

Hautkontakt: Gründlich spülen.

Verschlucken: Trinken von ca. 100ml Schnaps (da vom Körper bevorzugt das Ethanol oxidiert wird, verringert sich auf diese Weise die Menge der gefährlichen Abbauprodukte des Methanols), evtl. Erbrechen auslösen, Notarzt!

MAK-Wert: 200 ppm (270mg/m<sup>3</sup>)

Teratogenität: Gruppe C

LD50: (oral, Ratte): 5628mg/kg, letale Dosis (oral, Mensch): 30 - 100ml (geschätzt; Todesfälle auch schon mit nur 5ml bekannt!)

LDL<sub>0</sub> (oral, Mensch): 143mg/kg

**R: 11-23/24/25-39/23/24/25 S: 2-7-16-36/37-45**

### 5.11 Pentanol (Amylalkohol: CH<sub>3</sub>-(CH<sub>2</sub>)<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>-OH)

Vergiftungssymptome: Amylalkohol ähnelt in seinen Wirkungen stark dem Ethanol, ist aber bedeutend giftiger. Erhöhte Gefahr droht bei Kombination mit Beruhigungsmitteln und Giften, wie Tetrachlorkohlenstoff, Blei, Arsen, Quecksilber, Anilin oder Nitrobenzol.

Erste Hilfe:

Einatmung größerer Mengen: Frischluft;

Hautkontakt: Spülen; nach Verschlucken: evtl. Erbrechen auslösen, aber keine Tierkohle oder Milch verabreichen

MAK-Wert: 100 ppm (370mg/m<sup>3</sup>) Geruchsschwelle: 0,024 - 128mg/m<sup>3</sup> (10 ppm)

LD50 (oral, Ratte): 4585mg/kg

**R: 10-20 S: 24/25**

### 5.12 Petrolether (Benzinfraktionen)

Charakteristik: Petrolether ist - trotz des Namens - kein Ether, sondern ein Gemisch unterschiedlichster Alkane, eine farblose Flüssigkeit mit unangenehm bis benzinartigem Geruch. Sie wird v.a. in der Säulenchromatographie verwendet. Sie ist als Benzinfraktion mit unterschiedlichen Siedebereichen erhältlich; am häufigsten wird die tiefsiedende Variante (<70°C) benutzt. Hinsichtlich

physiologischer Wirkung und Erster Hilfe gilt das bereits unter **Hexan** Gesagte (Kap. 5.9)

LD50 (oral Ratte): >5000mg/kg

**R: 11-52/53-65 S: 9-16-23.2-24-3-62**

### 5.13 Propanon (Aceton: CH<sub>3</sub>-CO-CH<sub>3</sub>)

Charakteristik: Mit H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> bildet Aceton ein explosives Peroxid, mit CHCl<sub>3</sub> setzt es sich in Anwesenheit von Spuren von OH- explosionsartig um.

Vergiftungssymptome: akut: Bei der Aufnahme großer Mengen kann es neben den üblichen Symptomen einer akuten Lösungsmittelvergiftung zu Leber- und Nierenschäden sowie einer Azidose (Übersäuerung des Blutes), Kollaps und Atemlähmung kommen. Die Symptome setzen z.T. erst nach einer Latenzzeit von bis zu 6 Stunden ein. Nach oraler Aufnahme stehen Magen-Darm-Störungen im Vordergrund aber auch Müdigkeit und allgemein Schläffheit sind zu beobachten. chronisch: Chronische Vergiftungen zeigen sich vor allen Dingen in schweren Kopfschmerzen.

Erste Hilfe:

Nach Einatmung größerer Mengen: Frischluft;

Nach Hautkontakt: Spülen

MAK-Wert: 500 ppm (1200mg/m<sup>3</sup>) (kein Schutz vor Schleimhautreizung) Geruchsschwelle: 200 - 400

ppm

LD50 (oral, Ratte): 5800mg/kg

**R: 11-36-66-67 S: 9-16-26**

## 5.14 Pyridin (C<sub>5</sub>H<sub>5</sub>N)

Charakteristik: Pyridin gehört zu den Heteroaromaten. Es ist eine farblose Flüssigkeit mit charakteristischem unangenehmen Geruch. Die Dämpfe des Pyridins sind schwerer als Luft und bilden mit ihr ein explosionsfähiges Gemisch.

Physiologische Wirkung: Nach Aufnahme sind Nieren- und Leberschäden möglich, lokal erfolgt eine Reizung der Haut und der Schleimhäute. Die Flüssigkeit verursacht schwere Augenschäden. Außerdem kann es aufgrund von Pyridin-Vergiftungen zum Verlust der männlichen Potenz kommen, was der Substanz den Merksatz "Pyridin macht feminin" eingebracht hat (über die Auswirkungen auf die weibliche Potenz schweigt sich die Literatur aus).

Erste Hilfe:

Nach Verschlucken: Reichlich Wasser trinken lassen und Erbrechen auslösen. Arzt!

Nach Inhalation: Frische Luft. Liegend zum Arzt transportieren.

Nach Hautkontakt: Gründlich mit Wasser und Seife waschen. Benetzte Kleidungsstücke entfernen.

MAK-Wert: 5 ppm (16mg/m<sup>3</sup>) Geruchsschwelle: < 1 ppm

LD50 (oral, Ratte): 891mg/kg

LDL<sub>0</sub> (oral, Mensch): 500mg/kg

**R: 11-20/21/22 S: 26-28.1**

## 5.15 Schwefelkohlenstoff (CS<sub>2</sub>)

Charakteristik: Schwefelkohlenstoff ist eine farblose, stark lichtbrechende Flüssigkeit, die in reinem Zustand angenehm, durch Verunreinigungen widerwärtig riecht. Sie wird als Lösungsmittel für Phosphor, Schwefel, Selen, Brom, Jod sowie für Fette, Harze, Kautschuk, in der Kunstseide- und Zellstoffherstellung und als Schädlingsbekämpfungsmittel verwendet.

Physiologische Wirkung: Schwefelkohlenstoff ist sehr giftig beim Einatmen. Beim Umgang mit der Substanz ist äußerste Vorsicht geboten, denn sie verursacht starke Hautreizungen bis hin zu Verbrennungen und wird verstärkt durch Hautresorption aufgenommen.

Erste Hilfe:

Nach Verschlucken: Reichlich Wasser trinken lassen und Erbrechen auslösen. Arzt!

Nach Inhalation: Frische Luft. Liegend zum Arzt transportieren.

Nach Hautkontakt: Gründlich mit Wasser und Seife waschen. Benetzte Kleidungsstücke entfernen.

MAK-Wert: 5 ppm (16mg/m<sup>3</sup>) Geruchsschwelle: 1 - 2 ppm

Teratogenität: Gruppe

LD50 (oral, Ratte): 3188mg/kg

**R: 11-36/38-48/23-62-63 S: 16-33-36/37-45**

## 5.16 Tetrachlormethan (Tetrachlorkohlenstoff: CCl<sub>4</sub>)

Charakteristik: Die Geruchsschwelle liegt deutlich oberhalb des MAK-Werts, so dass gefährliche Mengen unbemerkt aufgenommen werden können. Der Abbau erfolgt nur extrem langsam: Nach dem Einatmen ist CCl<sub>4</sub> z.T. noch nach 75 Tagen in der ausgeatmeten Luft nachweisbar. Somit ist die Akkumulationsgefahr sehr groß. Alkohol potenziert die Wirkung von CCl<sub>4</sub>. CCl<sub>4</sub> steht im Verdacht, kanzerogen zu sein. Vergiftungssymptome: akut: In der ersten Phase zeigen sich die typischen Symptome einer akuten Lösungsmittelvergiftung, wobei es bei größeren Mengen auch zum Koma und zum Tod durch Atemlähmung kommen kann. Nach einer Latenzzeit von 1 - 2 Tagen, die in Ausnahmefällen auch noch länger dauern kann, kündigt sich mit Erbrechen, Durchfall und Koliken die zweite Phase der CCl<sub>4</sub>-Vergiftung an, in deren Verlauf Leber und Nieren schwer geschädigt werden. In besonders schweren Fällen kann nach 1 - 2 Wochen Krankheit der Tod folgen, sonst setzt nach mehrwöchiger Krankheit eine allmähliche Gesundung ein. Bei Hautkontakt kann neben der sehr gefährlichen Hautresorption auch zu Verbrennungen 1. und 2. Grades kommen. Bei oraler Aufnahme beträgt die letale Dosis 2 - 4ml. chronisch: Kopfschmerzen, Schwindel, Müdigkeit, Appetitlosigkeit, Gewichtsabnahme, Leber- und

Nierenschäden.

Erste Hilfe: Nach Einatmen: Frischluft. Nach Hautkontakt: sehr gründlich mit Wasser und Seife waschen.

MAK-Wert: 10 ppm (64mg/m<sup>3</sup>) Geruchsschwelle: 300 - 1500mg/m<sup>3</sup>

Kanzerogenität: Kategorie 3

Teratogenität: Gruppe D

LD50 (oral, Ratte): 1770mg/kg

LDLo (oral, Mensch): 429mg/kg

**R: 23/24/25-40-48/23-52/53-59 S: 23.2-36/37-45-59-61**

## 5.17 Toluol (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>-CH<sub>3</sub>)

Charakteristik: Toluol ist eine farblose, stark lichtbrechende Flüssigkeit, die als Extraktions- und Lösungsmittel (häufig als Ersatzstoff für Benzol) und als Ausgangsprodukt für organische Synthesen verwendet wird. Es kann heftig mit brandfördernden Stoffen reagieren und greift viele Kunststoffe an.

Physiologische Wirkung: Beim Einatmen besteht die Gefahr der Bildung eines Lungenödems.

Erste Hilfe: Verletzte an die frische Luft bringen, benetzte Kleidungsstücke entfernen, betroffene Körperteile mit Wasser und Seife gründlich reinigen. Nach Augenkontakt: ausgiebige Spülung mit Wasser. Augenarzt! Nach Inhalation: größerer Mengen sofort Auxilison-Spray einatmen lassen, Ruhe, Wärme, liegender Transport zum Arzt.

MAK-Wert: 50 ppm (190mg/m<sup>3</sup>)

Teratogenität: Gruppe C

LD50 (oral, Ratte): 2600-7500mg/kg

LDLo (oral, Mensch): 50mg/kg

**R: 11-20 S: 16-25-29-33**

## 5.18 Trichlormethan (Chloroform: CHCl<sub>3</sub>)

Charakteristik: Mit Aceton unter Katalyse von Spuren von OH- explosive Umsetzung zu 1,1,1-Trichlor-2-methyl-2-propanol (Chlorobutanol, Cl<sub>3</sub>C-CO-H-(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>). Durch Lichteinwirkung oder Flammen und glühende Gegenstände entsteht mit Sauerstoff Phosgen und Chlorwasserstoff. Die Geruchsschwelle liegt weit oberhalb des MAK-Wertes, so dass unbemerkt gefährliche Mengen eingeatmet werden können. Gewöhnung lässt die Geruchsschwelle sogar noch weiter steigen.

Physiologische Wirkung: Chloroform reizt Haut und Bindehaut. Bei der Aufnahme größerer Mengen kann es neben den üblichen Symptomen einer Lösungsmittelvergiftung zu Blutdruckabfall, Atemlähmung und Herztod kommen (bei einer Konzentration von 2 % tritt nach wenigen Atemzügen der Herztod ein). Bei oraler Aufnahme sind 20 - 30 g tödlich. Alkohol steigert die Wirkung von Chloroform. CHCl<sub>3</sub> steht im begründeten Verdacht, kanzerogen zu sein. Schon eine einmalige CHCl<sub>3</sub>-Narkose, aber auch dauernde Hautresorption führen zu lang anhaltenden Leberschäden.

Erste Hilfe: Nach Einatmung: Frischluft. Nach Hautkontakt: gründlich spülen.

MAK-Wert: 0.5 ppm (2.5mg/m<sup>3</sup>) Geruchsschwelle: 50 - 200 ppm (durch Gewöhnung steigend)

Kanzerogenität: Kategorie 4

Teratogenität: Gruppe C

LD50 (Ratte): 908mg/kg

LDLo (oral, Mensch): 140mg/kg

**R: 22-38-40-48/20/22 S: 36/37**

## 6 ABFALLBESEITIGUNG

Wir haben nun viel über den Umgang mit Chemikalien gehört und darüber, wie wir uns vor ihnen schützen können. Zum Umgang gehört allerdings auch, wie wir Kollegen, Mitmenschen und unsere Umwelt vor den Gefahren dieser Chemikalien schützen. Es ist daher äußerst wichtig, sich über eine sach- und umweltgerechte Entsorgung zu informieren - und zwar noch bevor mit dem Arbeiten begonnen wird! Im Labor entstehen viele Abfälle, die nicht ohne Risiken dem Labormüll oder dem Abwasser zugeführt werden können. Diese sind Sondermüll und können in verschiedene Klassen eingeteilt werden: Dazu gehören Schwermetalle, Lösungsmittel, Stoffe mit toxischer, ätzender oder oxidierender Wirkung, aber auch einfach nur Metallsalzlösungen, die in großem Maßstab anfallen. Teure Stoffe (z.B. Silber- oder Platinlösungen) werden aus finanziellen Gründen separat gesammelt und am Institut aufbereitet.

Gefährliche Chemikalien (z.B. Cr(VI)) sollten unverzüglich an Ort und Stelle entgiftet oder immobilisierend behandelt werden. Bei allen Entgiftungsarbeiten ist Sorgfalt geboten (Schutzbrille, Schutzhandschuhe usw.). JedeR angehende ChemikerIn sollte bemüht sein, **verantwortungsvoll** zu arbeiten und sich gut über gesundheitliche und ökologische Gefahren, die von den verwendeten Chemikalien ausgehen, informieren. Dies ist sozusagen **oberste PraktikantInnenpflicht**. Wo soll und wird man denn sonst lernen, diese Verantwortung zu tragen?! Beispielsweise sind unter den nichthalogenierten Kohlenwasserstoffen, oder auch unter den Schwermetallen eine Reihe von Kanzerogenen zu finden (siehe oben). Wer mit solchen Stoffen arbeitet, muß sich darüber im Klaren sein, wie sie wirken.

## 7.1 BEHANDLUNG VON ABFÄLLEN:

Wurden Säuren oder Basen verschüttet, so empfiehlt es sich, bei kleineren Mengen keine großartigen Neutralisationsversuche durchzuführen, da es weitaus sinnvoller ist, die Flüssigkeit mit viel Wasser wegzuspülen. Selbst bei geringen Mengen konzentrierter Schwefelsäure ist diese Methode sinnvoll. Wegen der starken Wärmeentwicklung sollte jedoch Eiswasser verwendet werden. Muss Schwefelsäure weggewischt werden, dann nur mit Handschuhen arbeiten. Die Säure zeigt erst beim Kontakt mit Wasser seine Wirkung und ätzt *innerhalb weniger Sekunden* große Löcher in ein Tuch. Bei größeren Mengen verschütteter Säure sollte die Lache mit Natriumhydrogencarbonat abgedeckt und mit viel Wasser besprüht werden. Die breiartige Masse wird dann mit viel Wasser in die Kanalisation gespült. Konzentrierte Basen können in größeren Mengen mit Lösungen schwacher Säuren behandelt werden; im Zweifel ist es auch hier wieder ratsam, die AssistentInnen zu fragen. Für einige der giftigen Chemikalien, die im Laufe eines Praktikums als Abfall auftreten, sind spezielle Abfallbehälter aufgestellt. Die Schwermetallrückstände werden zunächst als angesäuerte Lösung (keine Feststoffe oder gar elementare Metalle) in Sammelbehältern (ausstehende Bechergläser) entsorgt, anschließend eingengt und in Plastikbehälter umgefüllt. Diese Maßnahme hat in erster Linie den Sinn, das Volumen (und damit die Entsorgungskosten als Sondermüll) möglichst gering zu halten. Zu diesen Abfällen zählen: Arsen-, Antimon-, Bismut-, Blei-, Chrom(III)-, Cobalt, Kupfer, Nickel-, Quecksilber- (in Verbindungen oder gelöst) und Cadmiumabfälle. Dabei sind grundsätzlich **alle** diese Elemente enthaltenden Lösungen oder Gemische als Sonderabfall zu entsorgen. Da gibt es kein - und das ist eigentlich eine Selbstverständlichkeit - „aber das ist doch nur so'n bißchen...“ Diese Stoffe sind nicht umsonst als gefährlich für Mensch und Umwelt eingestuft. Sie verursachen schwerwiegende Schäden, die genauer im Stoffteil dargestellt sind! Besonderes Augenmerk sollte auf die Restbestände der Analysesubstanzen und die Schlämme der Sodauszüge gerichtet werden, da diese neben harmlosen Stoffen auch die oben genannten Schwermetalle enthalten und daher ebenfalls gesammelt werden müssen.

Die für eine **Quecksilberentsorgung** notwendigen Geräte (z.B. Quecksilberzange) und Spezialchemikalien (z.B. Zinkstab; reagiert mit Quecksilber zu Zinkamalgam, das sehr viel weniger flüchtig ist als das reine Quecksilber) stellen die AssistentInnen zur Verfügung. *Unbedingt sofort Bescheid sagen!* Quecksilber verdampft bei Zimmertemperatur allmählich und gelangt so über die Atemwege in den Körper.

**Cyanide** können durch Zugabe eines Überschusses an  $\text{FeSO}_4$  aus alkalischer Lösung (pH-Wert um 8,5) als Eisen(II)-Hexacyanoferrat ausgefällt werden. Besser ist aber die Oxidation des Cyanids zu Cyanat mit einem Überschuß Kaliumpermanganat in stark alkalischer Lösung (pH-Wert größer als 12, da sich sonst Dicyan bilden kann!). Solange die Lösung noch durch  $\text{MnO}_4^{2-}$ -Ionen grün gefärbt ist, muß weiteres Permanganat zugesetzt werden. Vor dem Verdünnen und Wegschütten muß die Lösung eine möglichst reine Permanganat-Farbe haben!

**Schwermetallbehälter:** Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass **unter keinen Umständen reduzierende Substanzen** - besonders keine Zinkgranalien und andere elementare Metalle - **in die Schwermetallabfallbehälter** gelangen dürfen! Sie entwickeln mit den enthaltenen Säuren Wasserstoff, was zum einen zu Explosionsgefahr und zum anderen zur Bildung von Antimon- oder Arsenwasserstoff führen kann (äußerst giftig! s. Gase). Im allgemeinen gilt es, auch in der Laborhektik noch sauber und sicher für sich und die Umwelt zu arbeiten. Übernimmt Verantwortung für das, was Ihr tut und das, was um Euch herum passiert. ...und wenn Ihr glaubt, dass irgendwo etwas schief läuft und geändert werden muss, so rührt Euch: Sprecht diejenige oder denjenigen an, wenn sie/er falsch handelt oder verständigt die AssistentInnen, gegebenenfalls die Praktikumsleitung, wenn es an der Organisation liegt. EinE guteR ChemikerIn ist nur, wer auch sauber, verantwortungsvoll und bedacht arbeitet. Zum Schluss sei noch

gesagt: **Höchste Priorität im Labor hat aber immer noch die Abfallvermeidung!**

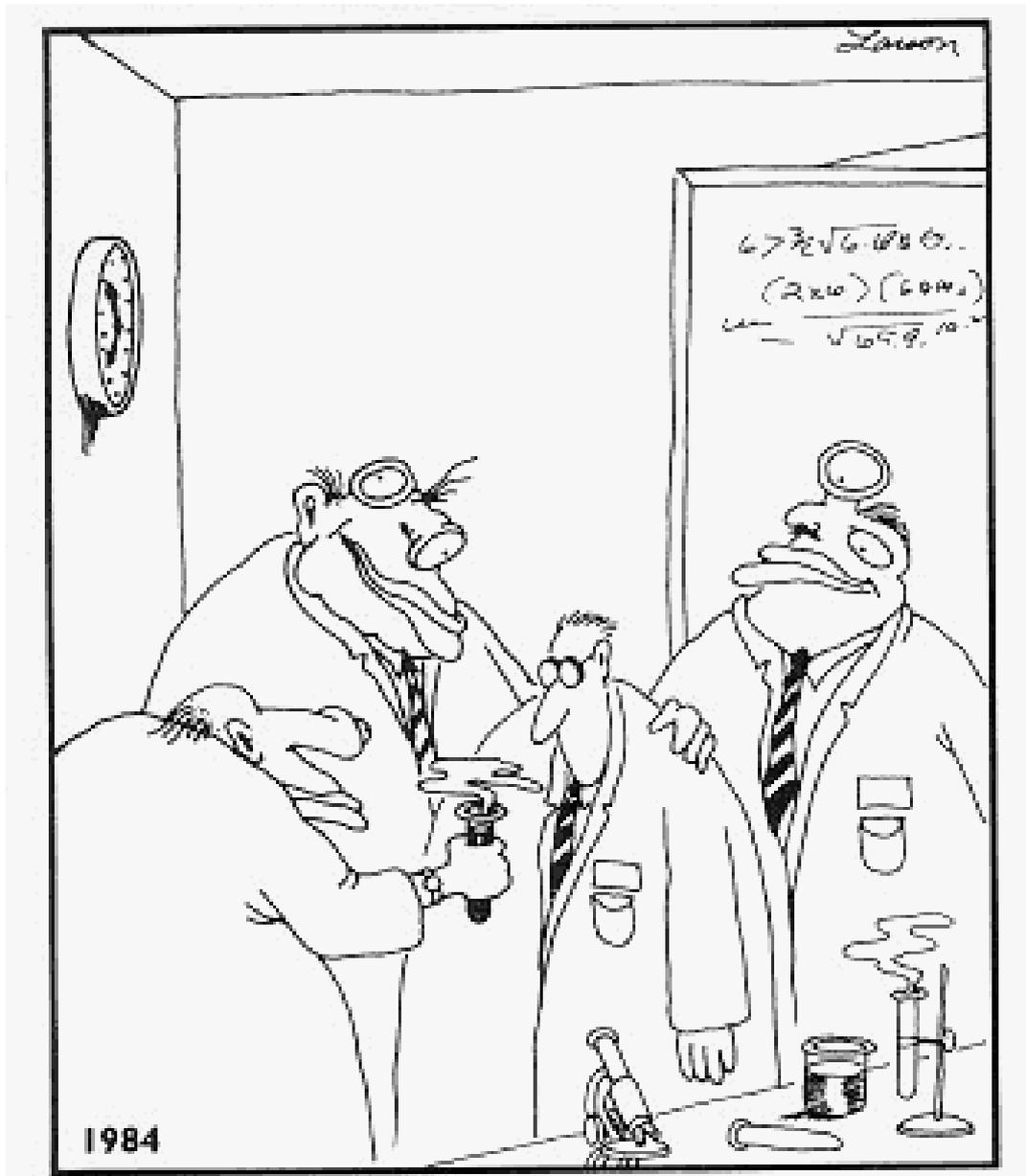
Das bedeutet,

- sich vorher überlegen, wieviel Substanz überhaupt benötigt wird.
- im kleinen Maßstab mit kleinen Mengen in kleinen Reagenzgläsern arbeiten. Es wird sich in nächster Zeit gerade beim Thema "Abfall" noch sehr viel tun. Strengere Richtlinien aber auch finanzielle Aspekte (Reinstoffen und vor allem Entsorgung sind teuer) zwingen zu noch sparsameren und gewissenhafteren Umgang mit Chemikalien. Was hier geschrieben steht, kann also schnell überholt und verbessert sein. Deshalb ist wichtig: **Immer aktuell informieren!**

## 7 LITERATURVERZEICHNIS

### Quellen und ihr Standort

- BRAUN, W., DÖNHARDT, A.: *Vergiftungsregister: Haushalts und Laborchemikalien, Symptomatologie und Therapie*; Georg-Thieme-Verlag, Stuttgart **1982**. (Bibliothek Chemie/MaWi (BCM), Sig.: 001-OC H 76)
- KÜHN, R., BIRETT, K.: *Merkblätter gefährlicher Arbeitsstoffe*; ecomed Verlagsgesellschaft, Landsberg. {Loseblattsammlung: wird laufend ergänzt; Teil I: Arbeitsstoffverordnung und die aktuellen MAK-Werte, Sicherheitskennzeichnungen etc. Teil II: Gruppenmerkblätter, Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft), Gefahrenhinweise und Sicherheitsratschläge (R- und S-Sätze) etc. Teil III, VI: Einzelstoffdarstellungen: Eine große Zahl von Stoffen wird sehr ausführlich behandelt} (Teilbibl. Dieburg, Sig.: D/CHE 15/17)
- MARTINETZ, D.: *Immobilisation, Entgiftung und Zerstörung von Chemikalien*; Verlag Harri Deutsch, Thun-Frankfurt/M. **1981**. (Teilbibl. Chem. Technologie (FH), Sig.: C/U 82)
- ROTH, WELLER: *Gefährliche Chemische Reaktionen*; ecomed Verlagsgesellschaft, Landsberg **1982**. {Loseblattsammlung} (Bibliothek Deutsches Kunststoff-Institut DKI, Ds 13)
- *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 5th. edition, Volume B7, B8; VCH, Weinheim **1995**. (Bibliothek Chemie/MaWi (BCM))
- *Ullmanns Enzyklopädie der Technischen Chemie, Bd. 6: Umweltschutz und Arbeitssicherheit*, 4. Auflage; Verlag Chemie, Weinheim **1981**. (Bibliothek Chemie/MaWi (BCM))
- BERTHOLD, W., LÖFFLER, U.: *Lexikon sicherheitstechnischer Begriffe in der Chemie*; Verlag Chemie, Weinheim **1981**.(Teilbibl. Dieburg, Sig.: D/CHE 15/18)
- HENSCHLER, D. (Hrsg.): *Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe, toxikologischer arbeitsmedizinische Begründungen von MAK-Werten*; VCH, Weinheim. {Loseblattsammlung: wird laufend ergänzt; Eine größere Zahl gefährlicher Arbeitsstoffe wird hier ausführlich bezüglich ihrer Wirkungen behandelt; aufgrund der hier niedergelegten Kenntnisse werden die MAK-Werte für die einzelnen Stoffe aufgestellt} (Bibliothek des Instituts für Angewandte Geowissenschaften )
- HÖRATH, H.: *Giftige Stoffe*, 3. Auflage; Wiss.-Verlag-Gesellschaft, Stuttgart **1991**.( LHB Darmstadt, Sig.: Nat / Hb 760)
- MOESCHLIN, S.: *Klinik und Therapie der Vergiftungen*, 6. Auflage; Georg- Thieme-Verlag, Stuttgart **1980**. (LHB Darmstadt, Sig.: Nat / Ic 510)
- SORBE, G.: *Gefährliche Arbeitsstoffe in Labor und Betrieb*, 2. Auflage; Umschau Verlag, Frankfurt/M. **1974**. (Teilbibl. Chem. Technologie (FH), Sig.: C/OL 206)
- SORBE, G.: *Sicherheitstechnische Kenndaten chemischer Stoffe*; ecomed Verlagsgesellschaft, Landsberg **1983**. {Loseblattsammlung; MAK-Werte, Zündtemperaturen, Flammpunkte etc.} (Teilbibl. Dieburg, Sig.: D/CHE 16/14)
- MUTSCHLER, E.: *Arzneimittelwirkungen*, 6. Auflage, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH , Stuttgart **1991**. (Tutorienzentrum des FB Chemie (TU), Sig.:TZ91)
- BRETHERICK, L.: *Handbook of Reactive Chemical Hazards*; Butterworths, London 2nd edition.
- DFG: *MAK- und BAT-Werte-Liste 2000*; WILEY-VCH, Weinheim **2000**.
- LUDEWIG, R., LOHS, K.: *Akute Vergiftungen*, 6. Auflage; Gustav-Fischer- Verlag, Stuttgart **1981**.
- WIRTH, W., GLOXHUBER C.: *Toxikologie*, 3. Auflage; Georg-Thieme- Verlag, Stuttgart **1982**.



## Gruppenzwang im Labor

Original Titel „Laboratory peer pressure“,  
aus dem Gary Larson Comic „In Search Of The Far Side“  
erschienen im Andrews McMeel Publishing Verlag, 1981.