



# Technische Richtlinien zur Sicherheit chemischer Praktika

## Einleitung

Im Rahmen der Ausbildung von Naturwissenschaftlern, insbesondere beim Umgang mit Gefahrstoffen in chemischen Praktika, ist es notwendig, über die mit der Tätigkeit verbundenen Gefahren und Risiken entsprechende Kenntnisse zu erwerben und Erfahrungen zu sammeln. Das Erlernen des sicheren Umgangs mit Gefahrstoffen durch die Studierenden ist ein wichtiges Ausbildungsziel. Die Studierenden müssen entsprechend ihrem Ausbildungsstand im Laufe des Studiums an eigenständige Entscheidungen über Schutzmaßnahmen herangeführt werden, wobei das daraus resultierende Sicherheitsbewusstsein ein ebenso wichtiger Bestandteil ist wie Kenntnisse über komplexe wissenschaftliche Zusammenhänge oder neueste technische Entwicklungen.

Ziel einer modernen Ausbildung ist es daher, dass der sichere und gefahrlose Umgang mit Chemikalien im Praktikum ebenso erlernt wird wie die Umsicht, sich selbst und andere im Laboratorium arbeitende Personen vor Gefahren zu schützen. Darüber hinaus besteht die Verpflichtung, sich auch gegenüber der Allgemeinheit und der Umwelt verantwortungsvoll zu verhalten, indem durch Befolgen von entsprechenden Richtlinien und Anweisungen ein sicherer und gefahrloser Umgang mit Chemikalien praktiziert wird.

Um den Anforderungen einer nachhaltigen Chemie nach modernen Richtlinien gerecht zu werden ist es zudem notwendig, in möglichst umweltgerechter Weise zu arbeiten. Zur Vermeidung von entstehenden Abfällen und damit zur Verminderung des Gefährdungspotenzials durch Chemikalien ist die Minimierung der Ansatzgröße sinnvoll. Mehrstufige Präparate, in denen die Endprodukte weiterverwendet werden, dienen der Ressourcenschonung und der Abfallvermeidung.

Für den Bereich Sicherheit im Umgang mit Gefahrstoffen und apparativen Einrichtungen in der Chemie existieren zahlreiche Gesetze, Verordnungen, Vorschriften und Richtlinien, die für fast alle vorkommenden Fälle eine Regelung treffen. Zur Vermeidung von Unfällen in der Laborpraxis ist es aber erforderlich, dass das zu vermittelnde Sicherheitsbewusstsein unter anderem auf der Kenntnis von grundlegenden Zusammenhängen in der Chemie beruht.



Nach den Angaben von Unfallstatistiken sind die Unfallursachen bei Experimenten nur zu einem geringen Teil auf Mängel von technischen Einrichtungen zurückzuführen. Die Hauptursache ist in etwa 80% der auftretenden Fälle in menschlichem Fehlverhalten zu suchen, wobei häufig die Unkenntnis über die Gefahreigenschaften von Stoffen oder mangelnde Einsicht in die Art der durchgeführten Reaktionen eine wichtige Rolle spielt. Immer wieder kommt es zu Unfällen, indem Personen durch häufigen Umgang mit gefährlichen Stoffen bzw. durch die Anwendung von potenziell gefährlichen Methoden infolge des auftretenden Gewöhnungseffektes dazu neigen, die notwendigen Sicherheitsvorkehrungen zu vernachlässigen.

Zum Erreichen der oben genannten Ziele ist es erforderlich, für jedes Praktikum eine spezifische Praktikums-Betriebsanweisung zu erstellen. Dies kann auf der Grundlage einer allgemeinen Betriebsanweisung für Laboratorien geschehen. Die Praktikums-Betriebsanweisung soll nur die für das entsprechende Praktikum notwendigen Punkte enthalten und muss zusätzlich folgende Informationen liefern:

- eine Liste aller im Praktikum benutzten Chemikalien einschließlich ihrer R- und S-Sätze (davon ausgenommen sind die zu bestimmenden Analyte in analytischen Praktika, da dieses dem Lernziel des Praktikums widerspräche),
- eine Bedienungsanleitung für alle zu benutzenden Geräte, soweit keine mündliche Unterweisung an diesen Geräten erfolgt,
- genaue experimentelle Vorschriften und Arbeitsanweisungen, sofern nicht detaillierte Literaturangaben dazu vorliegen.

Eine derartige Praktikums-Betriebsanweisung muss von allen Studenten vor dem Beginn praktischer Tätigkeiten gelesen und die Kenntnisnahme durch eigenhändige Unterschrift bestätigt werden.

Studienanfänger in den Fächern Chemie, Pharmazie und Biologie müssen zu Beginn ihrer praktischen Labortätigkeiten sowie bei besonders gefahrenträchtigen Versuchen über die formale Unterweisung nach § 20 der Gefahrstoffverordnung hinaus auch praktisch in das sichere Arbeiten in chemischen Laboratorien eingeführt werden. Die Vermittlung dieser Kenntnisse kann entweder im Rahmen eines Vorkurses zum Praktikum oder schwerpunktmäßig zu Beginn des Praktikums durchgeführt werden.



Im weiteren Verlauf des Studiums müssen die Studierenden vor Beginn jeder neuen Lehrveranstaltung unterwiesen werden, soweit sie dort mit Gefahrstoffen umgehen, hierbei können bereits früher vermittelte Grundkenntnisse als bekannt vorausgesetzt werden. Studienanfänger sollten grundsätzlich alle notwendigen Informationen einer Betriebsanweisung im Rahmen einer Unterweisung von den Verantwortlichen erhalten.

Zum sicheren Arbeiten in Laboratorien ist es notwendig, darüber zu informieren, welche Einrichtungen im Gefahrfall zur Verfügung stehen und wo sich diese befinden. Wichtige Punkte sind dabei unter anderem:

- Notausgänge, Nottreppen und allgemeine Fluchtwege
- Alarmanlagen, Telefon und andere Notrufeinrichtungen
- Feuerlöscher, Feuermelder und Löschdecken
- Atemschutzmasken und –filter, Notduschen u. Augenduschen
- Erste-Hilfe-Schränke, Krankentragen, Sanitätsräume und Assistentenzimmer.

Es stellt sich immer wieder die Frage, ob allen Mitarbeitern im Laboratorium bei Auftreten des Gefahrenfalls bekannt ist,

- wie und / oder von wem Gas, Wasser, Strom u. a. Versorgungsleitungen abgeschaltet werden können,
- dass bei Ausbruch von Bränden Aufzüge zur Personenbeförderung und Abzüge zur Verbesserung der Raumluft nicht benutzt werden dürfen,
- dass Feuerlöscher nach jeder Benutzung wieder frisch befüllt werden müssen,
- dass Druckgasflaschen stets gegen Umfallen gesichert sein müssen,
- was unter dem Begriff "Selbstschutz" zu verstehen ist,
- was bei schweren Unfällen zu veranlassen ist,
- welche von den Chemikalien, mit denen gearbeitet wird, z.B. explosionsgefährlich, giftig oder leicht entzündlich sind,
- wo die Sicherheitsinformationen bei Bedarf zu finden sind ?



Vor der Durchführung gefährlicher Arbeiten sind die in unmittelbarer Nähe tätigen Beschäftigten über die besonderen Gefahren und Schutzmaßnahmen zu unterweisen. Dies gilt insbesondere in chemischen Praktika, wenn mehrere Auszubildende bzw. Studierende gleichzeitig an einem Abzug arbeiten.

## **Allgemeine Maßnahmen zum persönlichen Gesundheitsschutz**

Einige grundsätzlichen Punkte sind beim Arbeiten im Laboratorium zur Gewährleistung der Sicherheit stets zu beachten, bevor im späteren Textteil vertiefend auf bestimmte Tätigkeitsbereiche eingegangen wird.

- Bei der Arbeit im Laboratorium ist immer eine geeignete Arbeitskleidung zu tragen, wobei für den normalen Laborbetrieb ein langer, langärmeliger Laborkittel aus nichtschmelzenden Material (bevorzugt aus Baumwolle bzw. einem Mischgewebe aus Polyester und Baumwolle) ausreichend ist. Der Laborkittel darf nicht in anderen Räumen wie Seminarräumen, Bibliotheken, Hörsälen, Verpflegungsstätten usw. getragen werden, um eine Kontamination durch möglicherweise anhaftende Chemikalien zu vermeiden.
- Es sind feste und geschlossene Schuhe zu tragen.
- Zum Schutz der Augen ist bei Aufenthalt im Laboratorium ständig eine Schutzbrille mit ausreichendem Seitenschutz zu tragen.
- Bei der Durchführung von Versuchen darf der Laborplatz nur dann verlassen werden, wenn eine dauernde Überwachung des Experiments nicht notwendig ist, oder wenn eine andere sachkundige Person, die über den Verlauf des Versuchs unterrichtet ist, die Überwachung fortsetzt. Bei gefährlichen Arbeiten müssen mindestens zwei Personen anwesend sein.
- Im Bereich von Laboratorien dürfen wegen der Kontaminationsgefahr Speisen und Getränke am Arbeitsplatz weder aufbewahrt noch zu sich genommen werden.
- Für Chemikalien dürfen im Laboratorium wegen der Verwechslungsgefahr keinesfalls Gefäße benutzt werden, die üblicherweise zur Aufnahme von Speisen und Getränken bestimmt sind, ebenso gilt, dass außerhalb des Arbeitsplatzes keinesfalls Lebensmittel in Chemikalien- oder Laboratoriumsgefäßen aufbewahrt werden dürfen.



- In Laboratorien darf nicht geraucht werden, da wie bei der Aufnahme von Lebensmitteln eine Kontaminationsgefahr besteht und andererseits das Rauchen Explosionen und Brände auslösen kann.

## **Schutzmaßnahmen beim Umgang mit gefährlichen Stoffen und Zubereitungen (Chemikalien)**

Als allgemeiner Grundsatz beim Umgang mit gefährlichen Stoffen und Zubereitungen gilt, dass dabei jegliche Kontamination mit chemischen Arbeitsstoffen, die Gefährdung von Personen und generell das Entstehen gefährlicher Situationen beim Umgang mit Chemikalien unbedingt zu vermeiden ist.

Zur Sicherstellung dieser Forderung ist es notwendig, dass alle Personen, die mit Chemikalien umgehen, über ausreichende Kenntnisse u. a. zu folgenden Fragestellungen verfügen:

- Wie werden Chemikalien in sachgemäßer Weise aufbewahrt ?
- Welche zur Aufbewahrung von Chemikalien geeigneten Gefäße gibt es ?
- Unter welchen Voraussetzungen müssen Chemikalien unter einem Abzug aufbewahrt werden bzw. welche besonderen Vorsichtsmaßnahmen sind zu treffen ?
- Wie kann die (häufig gefährliche) Verwechslung von Chemikalien vermieden werden?
- Wie können Chemikalien sicher transportiert werden, ohne dass es zum Bruch der Gefäße oder Behälter und damit zur Freisetzung der Stoffe kommt ?
- Wie kann das Verschütten von Chemikalien oder ein möglicher Hautkontakt bei der Entnahme dieser Stoffe aus Behältern vermieden werden ?
- Welche Maßnahmen sind zu treffen, wenn Chemikalien verschüttet oder auf andere Weise freigesetzt werden?

Weitreichende Regelungen zum Umgang mit Gefahrstoffen finden sich im Gesetz zum Schutz vor gefährlichen Stoffen, dem sogenannten Chemikaliengesetz (ChemG).

(Siehe auch den Text "Gesetzliche Rahmenbedingungen für den Umgang mit Gefahrstoffen".)

Das Chemikaliengesetz soll den Menschen und die Umwelt vor schädlichen Einwirkungen gefährlicher Stoffe und Zubereitungen schützen, insbesondere diese erkennbar machen, sie



abwenden und ihrem Entstehen vorbeugen. Das Chemikaliengesetz soll zusätzlich auch sicherstellen, dass neue Stoffe, bevor sie in den Verkehr gebracht werden, auf ihre gefährliche Eigenschaften ausreichend untersucht und die aufgrund der Untersuchungsergebnisse notwendigen Sicherheitsvorkehrungen beim Umgang mit diesen Stoffen beachtet werden. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind die Grundlage für die Kennzeichnung der Gefahrstoffe, das heißt welche Gefahrensymbole, Gefahrenhinweise und Sicherheitsratschläge angegeben werden.

### **Die Aufbewahrung von Chemikalien**

Die Chemikalien sollen möglichst in der Originalverpackung des Herstellers aufbewahrt werden, da die vorgeschriebenen Etiketten durch Angabe von kennzeichnenden Symbolen sowie Sicherheits- und Gefahrenhinweisen wertvolle Informationen liefern. Bei Verwendung von anderen Gefäßen müssen nach der Entfernung alter Etiketten neue und eindeutige Etikettierungen angebracht werden. Zum Schutz vor der Einwirkung von Chemikalien und damit zur Erhaltung der Lesbarkeit müssen Etiketten mit einer Klarsichtfolie überzogen werden. Die Beschriftung sollte lichtecht sein und mit Tusche oder Bleistift angebracht werden.

Die Gefäße und Behälter, die zur Aufbewahrung der Chemikalien dienen, müssen aus dafür geeigneten Werkstoffen und Materialien bestehen. In vielen Fällen kommen Behälter aus Kunststoff oder Glas zum Einsatz. Zur Aufbewahrung von lichtempfindlichen Stoffen (z.B. Diethylether), welche unter Lichteinwirkung zur Peroxidbildung neigen, sind lichtschützende Behältnisse aus dunklem Glas zu verwenden.

Bei der Verwendung von Kunststoffbehältern ist zu beachten, dass diese insbesondere durch Einwirkung von Sonnenlicht verspröden und es zum Bruch des Gefäßes kommen kann. Die Gefäße sind daher regelmäßig zu überprüfen und der Inhalt ggf. umzufüllen. Bei der Aufbewahrung von organischen Lösungsmitteln in Kunststoffgefäßen kann es außerdem zur Diffusion durch die Gefäßwand kommen.

Die unnötige Vorratshaltung von Chemikalien über den regelmäßig benötigten Bedarf und für besondere Versuche bereitgestellte Mengen hinaus ist auf jeden Fall zu vermeiden. Alle im



Laboratorium vorrätig gehaltenen Stoffe und Zubereitungen sind in regelmäßigen Abständen, mindestens aber einmal jährlich auf ihren ordnungsgemäßen Zustand zu überprüfen.

Einige Chemikalien, die giftige, ätzende oder brennbare Gase oder Stäube abgeben können, dürfen nur in geringem Umfang bevorratet werden und müssen unter einem gut ziehenden Abzug aufbewahrt werden.

### **Transport und Umfüllen von Chemikalien**

Beim Transport von Chemikalienbehältern ist darauf zu achten, dass es nicht durch Bruch des Gefäßes zu einer unbeabsichtigten Freisetzung des Inhaltes kommt. Vor allem größere gefüllte Gefäße aus Glas sind stets bruchgefährdet, derartige Gebinde und Flaschen dürfen niemals an ihrem Hals getragen werden. Zur Durchführung eines sicheren Transportes sind immer Eimer, Gestelle oder vorteilhafter fahrbare Körbe bzw. Wannen zu verwenden.

Das Umfüllen von Chemikalien beinhaltet stets die Gefahr des Verschüttens, so dass es auch zum Hautkontakt und zur Kontamination der Kleidung kommen kann. Zusätzlich besteht die Gefahr des Einatmens von Dämpfen oder Stäuben und die Möglichkeit zur Bildung zündfähiger Gemische, welche unter Umständen zur spontanen Auslösung von Bränden führen kann, sofern nicht Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladungen während des Umfüllens getroffen werden.

Zur Verringerung der Risiken beim direkten Umfüllen sind daher immer geeignete Flüssigkeits- oder Pulvertrichter zu verwenden, auch wenn das persönliche Geschick eine subjektiv sichere Handhabung ohne weitere Hilfsmittel gestattet. Beim Umfüllen von Flüssigkeiten, vor allem bei giftigen und ätzenden Stoffen ist die Verwendung von Auffangbehältern wie Wannen oder ähnliches generell zu empfehlen, ebenso sollte beim Umfüllen von Feststoffen eine entsprechende Unterlage z.B. aus Papier bereitgehalten werden.

Es ist auf jeden Fall nicht gestattet, Flüssigkeiten durch Ansaugen mit dem Mund zu pipettieren, da es durch derartiges Handeln immer wieder zu schweren Vergiftungen und Verätzungen kommt. Dieser Grundsatz gilt auch für harmlose Flüssigkeiten, damit nicht erst falsche Gewohnheiten im Laboralltag erlernt werden. Für das Umfüllen von Flüssigkeiten mit der Pipette sind geeignete Hilfsmittel wie Ansaugbälle zu verwenden.



## **Wichtige Grundsätze zur sicheren Durchführung von Experimenten im Laboratoriumsalltag**

Zur Verringerung von Risiken bei der Durchführung von Experimenten müssen diese sorgfältig geplant und vorbereitet werden. Eine geeignete Vorbereitung kann mit Hilfe einer gut ausgearbeiteten Betriebsanweisung oder Versuchsanleitung erfolgen.

Inhaltlich sollten in der Versuchsbeschreibung neben den Angaben zum Ablauf der Reaktion auch die Kennzeichnungen der verwendeten Substanzen enthalten sein. Weitere wichtige Informationen sind möglicherweise auftretende Gefahren für Mensch und Umwelt sowie daraus resultierende Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln, das Verhalten im Gefahrenfall und erforderliche Maßnahmen zur Ersten Hilfe und zusätzlich Hinweise zur Entsorgung von Abfällen.

Vor Beginn eines durchzuführenden Experiments ist zu prüfen, ob die zur Verfügung stehende Zeit für den gesamten Versuchsablauf ausreichend ist. Andernfalls muss bestimmt werden, ob es Möglichkeiten gibt, ein einmal begonnenes Experiment zu einem festgelegten Zeitpunkt gefahrlos und ohne andere gravierende Nachteile zu unterbrechen.

Alle zur sicheren Durchführung eines Experiments benötigten Chemikalien und Geräte müssen vor Beginn des Versuches bereitgestellt werden.

Es ist anzustreben, mit Chemikalien möglichst nur unter dem Abzug zu arbeiten. Alle Arbeiten mit giftigen und ätzenden Stoffen sowie Arbeiten, die zur Freisetzung von Gasen, Dämpfen oder Schwebstoffen in gefährlicher Konzentration und/oder Menge führen können, dürfen grundsätzlich nur unter einem gut ziehenden Abzug durchgeführt werden. Ein Beispiel dafür sind unter anderem das Abdampfen bzw. Abrauchen von Substanzen sowie das Erhitzen von offenen Ölbädern.

Zur Gewährleistung der Leistungsfähigkeit des Abzuges ist dafür Sorge zu tragen, dass die Frontschieber und zu öffnenden Scheiben der Abzüge bei der Durchführung von Experimenten möglichst geschlossen bleiben. Die volle Leistung von Abzügen steht nur dann zur Verfügung, wenn die Strömungsverhältnisse weitgehend ungestört sind. Dieses setzt voraus, dass die zur Verfügung stehende Arbeitsfläche im Abzug so weit wie möglich freigeräumt ist und keine Standflaschen oder andere größere herumstehende Gefäße vorhanden sind (Unordnung





birgt darüber hinaus noch andere Gefahren !) Weitere Störungen der Luftströmung gehen unter anderem von Heizquellen aus, insbesondere offene Flammen von Bunsenbrennern führen zu einer erheblichen Störung der Strömung und sollten daher möglichst vermieden werden.

Für den Umgang mit Chemikalien gilt, da es sich in der Regel um Gefahrstoffe handelt, dass jeglicher Hautkontakt zu vermeiden ist und diese daher auch nicht berührt werden dürfen. Aus diesem Grund sind beim Arbeiten mit Chemikalien geeignete Schutzhandschuhe zu tragen. Gefährliche Substanzen dürfen nur in möglichst geringer Menge gehandhabt werden.

**In den Praktika ist dabei auf krebserzeugende, erbgutverändernde und fortpflanzungsgefährdende Gefahrstoffe zu verzichten.** Grundsätzlich sind diese Gefahrstoffe durch weniger gefährliche zu ersetzen, wenn dadurch ein gleichwertiger didaktischer, inhaltlicher oder methodischer Zweck erreicht wird. Ausnahmen von der Ersatzpflicht sind nur zulässig, wenn sie für die Praxis des betreffenden Faches von besonderer Bedeutung sind. In den Praktika im Grundstudium sollten entsprechende Versuche, falls erforderlich, erst gegen Ende der Praktika durchgeführt werden, wenn die Studierenden ein hinreichendes experimentelles Geschick erworben haben und ausführlich unterwiesen worden sind.

Beim Erhitzen von Flüssigkeiten ist darauf zu achten, dass diese nicht durch plötzliches Aufkochen unkontrolliert aus dem Gefäß herausspritzen können (Siedesteine oder Magnetrührer verwenden). Dieser Punkt ist besonders wichtig beim Erhitzen im Reagenzglas. Durch ständiges Schütteln können plötzlich auftretende Siedeverzüge vermieden werden, die sonst leicht zum Herausschleudern des gesamten Inhaltes führen. Aus Sicherheitsgründen darf die Öffnung des Gefäßes niemals gegen sich selbst oder auf andere Personen gerichtet werden.

Gegebenenfalls müssen verspritzte oder verschüttete Chemikalien sofort in geeigneter Weise beseitigt werden, wobei konzentrierte Säuren oder Basen zunächst zu neutralisieren sind und die Flüssigkeit anschließend unter Verwendung von Schutzhandschuhen aufgewischt werden kann.



## **Sicherheitsaspekte zur Benutzung von Geräten und Apparaturen bei der Durchführung von Experimenten im Laboratoriumsalltag**

Zur Durchführung von Experimenten in chemischen Laboratorien bzw. in Laboratorien verwandter Fachrichtungen werden bevorzugt Apparaturen eingesetzt, die zu einem überwiegenden Anteil aus Glas hergestellt sind. Das Material Glas bietet einige Vorteile für das experimentelle Arbeiten, unter anderem gestattet es die visuelle Beobachtung des Reaktionsablaufes. Es birgt aber durch seine leichte mechanische Verletzlichkeit auch Gefahren in sich. Im Laboratoriumsalltag zählen Verletzungen, die durch zerbrochene Glasapparaturen verursacht werden, teilweise mit Schnittwunden von erheblichem Ausmaß, zu den häufig auftretenden Unfällen bei der Durchführung von Experimenten.

Das Zerschneiden von aufgebauten Glasapparaturen, welche aus mehreren einzelnen Bauteilen bestehen, beinhaltet ein großes Risiko. Beim Auftreten solcher Störfälle können leicht gefährliche Stoffe austreten und Brände verursacht werden. Der Aufbau von Versuchsapparaturen muss unter Beachtung der Sicherheitsrichtlinien durchgeführt werden, wobei der Einsatz ungeeigneter Apparateteile (z.B. aus unterschiedlichen Glassorten, nicht exakt passende Schliffverbindungen) zu vermeiden ist. Es ist darauf zu achten, dass beim Aufbau keine mechanische Verspannung eintritt, welche zum Bruch führen kann. Die Apparatur muss an einem sicheren Standort aufgebaut werden, am besten immer unter einem Abzug, und gegen Umkippen gesichert werden.

Außer bei Sonderfällen – wie Druckreaktoren (in der Regel aus Stahl oder korrosionsfesten Metallen gefertigt) – muss eine Laboratoriumsapparatur als „offenes“ System aufgebaut werden, d.h. es muss ein Druckausgleich zur Außenatmosphäre vorhanden sein, damit sich im Innern kein gefährlicher Überdruck aufbauen kann und ein Zerbersten herbeiführt.

In vielen Fällen werden elektrische Geräte, wie z.B. Rührwerke, Heizgeräte, Zentrifugen usw., im Laboratorium als Hilfsmittel genutzt. Diese Geräte müssen sich in technisch einwandfreiem Zustand befinden und den Sicherheitsvorschriften im Umgang mit Elektrizität entsprechen. In regelmäßigen Abständen ist die Betriebssicherheit durch einen Techniker zu überprüfen, damit unsichere Geräte mit Defekten an Kabeln, Steckern und Kontakten außer Betrieb genommen werden und ggf. durch einen Fachmann repariert werden können. Die



Sicherheitsprüfung ist sowohl bei beweglichen Geräten als auch bei fest eingebauten elektrischen Einrichtungen notwendig. Antriebe und Rührwerke werden häufig mit Elektromotoren betrieben. Diese sind aber im allgemeinen nicht explosionsgeschützt. Bei Arbeiten mit sehr leicht entzündlichen Stoffen wie Wasserstoff oder Schwefelkohlenstoff setzt man daher Wasserturbinen oder Luftmotoren anstelle von Elektromotoren ein.

Vor Beginn eines Experimentes müssen alle technischen Hilfseinrichtungen an einer Apparatur auf ihre Funktion überprüft werden, dieses betrifft z.B. die Vakuumerzeugung, das Kühlwassersystem, Rührreinrichtungen und andere elektrische Antriebe, und zwar **bevor** die Versuchsanlage mit den umzusetzenden Chemikalien beschickt wird !

### **Heizen und Kühlen**

Als Heizquellen können Bunsenbrenner, elektrische Heizplatten und Heizhauben sowie Flüssigkeits-Heizbäder eingesetzt werden. Bei leicht brennbaren Substanzen dürfen zum Heizen keine offenen Flammen verwendet werden. Eine sichere Methode zum Heizen ist die Verwendung von Flüssigkeits-Heizbädern. Diese gestatten eine Wärmeübertragung bei geringer Temperaturdifferenz. Bei Verwendung von flüssigen Medien zur Wärmeübertragung ist darauf zu achten, dass die Gefäße nur bis zu einer bestimmten Grenze damit befüllt werden dürfen, da infolge der Erwärmung das Volumen der Flüssigkeit beträchtlich zunehmen kann. Ein flüssiges Heizmedium muss dem zu erwärmenden Stoff angepasst sein, d.h. bei einem Bruch von Gefäßen dürfen dadurch keine gefährlichen chemischen Reaktionen ausgelöst werden. In der Praxis bedeutet dies, dass beispielsweise Suspensionen von Natrium oder Kalium nicht auf Wasserbädern erwärmt werden dürfen.

Es ist der Grundsatz zu beachten, alle Heizquellen immer so aufzubauen, dass sie im Bedarfsfall leicht und ohne Veränderungen an der Apparatur entfernt werden können. Eine geeignete Methode ist dabei die Verwendung von Laborhebebühnen.

Beim Beheizen von Apparaturen mit brennbarem Inhalt müssen diese mit Kühlern zur Rückhaltung flüchtiger, brennbarer Stoffe ausgestattet sein. Bei Verwendung von Kühleinrichtungen, die mit fließendem Wasser als Kühlmittel arbeiten, müssen die zu- und abführenden Schläuche unbedingt mit Schellen gesichert werden. Die Aufrechterhaltung der notwendigen Kühlleistung ist besonders zu beachten, eine Unterbrechung der Kühlwasserzufuhr kann unter



Umständen zu gefährlichen Bränden und Explosionen führen! Bei Reaktionen mit Alkali- oder Erdalkalimetallen oder mit Metallhydriden sollten anstelle von Glas-Rückflusskühlern die stabileren Metallkühler verwendet werden.

Als gängige Kühlmittel im Laboratorium können Eis, Kältemischungen von Eis mit Salzen (Natriumchlorid bis - 21 °C, Calciumchlorid bis ca. - 55 °C), Kältemischungen aus Trockeneis und Lösungsmitteln (bis -78 °C) oder flüssiger Stickstoff (- 196 °C) verwendet werden. Die Handhabung der Kühlmittel wird häufig in sogenannten Dewargefäßen zur Isolierung durchgeführt. Dewargefäße sind innenverspiegelte, dünnwandige und evakuierte (Hochvakuum) Hohlglasskörper, wobei die Gefahr einer Implosion bei Glasbruch besteht. Besonders empfindlich ist dabei der obere Rand des Dewargefäßes. Die Dewargefäße sind daher unbedingt mit einem Schutzmantel (Blechzylinder, umhüllende reißfeste Kunststoff-Folie) zu versehen und aus Sicherheitsgründen ist eine Schutzbrille zu tragen.

In Kühl- und Gefrierschränken dürfen brennbare Flüssigkeiten nur dann aufbewahrt werden, wenn der Innenraum des Gerätes durch entsprechende Einrichtungen explosionsgeschützt ist.

### **Arbeiten bei vermindertem Druck bzw. im Vakuum**

Bei der Durchführung von Experimenten wird im Laboratorium häufig unter vermindertem Druck bzw. im Vakuum gearbeitet, z.B. beim Destillieren von zersetzlichen Stoffen oder bei der Trocknung von Substanzen im Exsikkator. Bei der Evakuierung von Apparaturen lastet bedingt durch den äußeren Luftdruck ein hoher Druck von bis zu 1 kg pro Quadratcentimeter auf der Glasoberfläche. Diese Belastung kann bei Verwendung von ungeeigneten Glasapparaturen bzw. bei äußerlicher Beschädigung (kaum sichtbare Sprünge im Glas) zum Bersten der Apparatur führen, wobei durch die Implosion gefährliche Glassplitter in die Umgebung geschleudert werden können. Die Glassplitter können dabei schwere Verletzungen (Augen ! Schlagadern !) verursachen. Für den Fall einer Implosion ist ein wirksamer Splitterschutz in Form von Schutzschildern oder die Sicherung in Drahtkörben notwendig, dieses gilt insbesondere bei großvolumigen Vakuumapparaturen.

Keinesfalls dürfen Gefäße mit flachem Boden wie Erlenmeyerkolben evakuiert werden, hier besteht akute Implosionsgefahr !



Es muss darauf hingewiesen werden, dass das Arbeiten mit einem durch Wasserstrahl- oder Membranpumpen erzeugten Vakuum im Vergleich zu dem Hochvakuum von leistungsfähigen Pumpen nicht weniger gefährlich ist. Die Druckbelastung auf der Glasoberfläche des Gefäßes ist in beiden Fällen nahezu gleich groß ! Selbst das verhältnismäßig geringe Vakuum, welches beim Absaugen von Niederschlägen in Saugflaschen erreicht wird, erzeugt noch Druckbelastungen von 300 - 800 g / Quadratzentimeter Glasoberfläche.

Ein plötzliches Belüften von heißen evakuierten Apparaturen ist unbedingt zu vermeiden, da es zu Explosionen von in der Apparatur gebildeten Dampf-Luft-Gemischen führen kann.

### **Arbeiten bei erhöhtem Druck**

Zur Durchführung von Reaktionen unter erhöhtem Druck (Überdruck) dürfen nur geeignete und dafür zugelassene Druckbehälter verwendet werden. Die Druckbehälter (z.B. Bombenrohre, Autoklaven) müssen gemäß den Vorschriften der Druckbehälterverordnung ausgelegt, ausgerüstet, aufgestellt und betrieben werden, teilweise sind speziell dafür ausgestattete Räume notwendig. Für Bombenrohre gilt, dass diese in zugeschmolzenem Zustand weder aus ihrer eisernen Umhüllung noch aus dem Bombenofenraum entfernt werden dürfen.

Der Betrieb von Autoklaven wird in gesonderten Räumen durchgeführt, sie müssen laufend überwacht und auf ihre Betriebssicherheit überprüft werden. Die vom Hersteller vorgegebenen Grenzwerte für den Betriebsdruck und die Betriebstemperatur dürfen keinesfalls überschritten werden.

### **Trocknen von Geräten im Labor**

Trockenschränke in chemischen Laboratorien sind in der Regel nicht explosionsgeschützt und nicht an die Abluft angeschlossen. In diesen Trockenschränken dürfen deshalb nur Laborgeräte getrocknet werden, die zuvor gründlich gereinigt und mit Wasser ausgespült worden sind.



Sollen in Trockenschränken Gegenstände oder Produkte getrocknet werden, die beim Trocknen brennbare Gase oder Dämpfe und damit eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre entwickeln, so dürfen nur explosionsgeschützte Trockenschränke benutzt werden.

## **Literatur**

Schriften der Gesetzlichen Unfallversicherung

(Herausgeber: Bundesverband der Unfallkassen, Fockensteinstraße 1, 81539 München):

GUV 50.0.4: Theorie und Praxis der Prävention, Band "Sicheres Arbeiten in chemischen Laboratorien", Einführung für Studenten, Ausgabe Januar 2000.

GUV 19.17: Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz beim Umgang mit Gefahrstoffen im Hochschulbereich, Ausgabe November 1998.

GUV 16.17: Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz für Laboratorien, Ausgabe Oktober 1993, aktualisierte Fassung 1998.