



# **Behandlung und Entsorgung von chemischen Abfällen im Laboratoriumsalltag**

## **Einleitung**

### **Wie ist der Begriff Abfall definiert?**

Abfälle sind nach der Definition des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG) bewegliche Sachen, deren sich der Besitzer entledigen will oder deren geordnete Entsorgung zur Wahrung des Wohls der Allgemeinheit, insbesondere des Schutzes der Umwelt geboten ist.

### **Wie kommt es zu chemischen Abfällen im Laboratorium?**

In der Regel verläuft der Lebenszyklus von Chemikalien an der Universität so, dass die benötigten Substanzen vom Chemikalienlager an Mitarbeiter oder Studenten in der Ausbildung ausgegeben werden. Die Chemikalien werden dann für Synthesen oder Analysen im Laboratorium verwendet. Je nach Art der Aufgabenstellung fallen dabei Nebenprodukte, verunreinigte Ausgangsmaterialien, gebrauchte Lösungsmittel und gebrauchte Chemikalien an, die entsorgt oder vernichtet werden müssen, sofern ein Recycling nicht möglich ist. Die Abfälle aus den Laboratorien der Hochschulen sind im Gegensatz zu Industrieabfällen dadurch gekennzeichnet, dass sie in kleinen Mengen und stark vermischt anfallen. Insgesamt stellen diese Abfälle in der Summe ein beträchtliches Sonderabfallaufkommen dar, welches von der Hochschule kostenpflichtig entsorgt werden muss.

Zur sachgerechten Entsorgung von Abfällen müssen wichtige Grundregeln befolgt werden, die in verschiedenen chemischen Laboratorien je nach Art der Experimente und Chemikalien aber unterschiedlich sein können. Es fallen aber auch Sonderabfälle an, die von der Hochschule nicht entsorgt werden können, sondern erst in einer zweckmäßigen Art und Weise konditioniert werden müssen. Es sind daher geeignete Verfahren nötig, die eine Entgiftung der Abfälle am Ort ihres Entstehens ermöglichen. Dies hat den zusätzlichen Vorteil, dass es zu keinem Kontakt unerfahrenen Personals mit diesen Abfällen kommen kann, und so das Risiko eines Unfalls oder einer Umweltgefährdung herabgesetzt wird.



## **Das Abfallkonzept: Vermeidung, Verminderung und Entsorgung von Abfällen im Labor**

Am besten ist es natürlich, wenn Abfälle vermieden werden. Dies sieht auch das KrW-/AbfG der Bundesrepublik Deutschland (Langtitel: Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen, 1996) als ein Ziel mit höchster Priorität. Nach der gesetzlichen Bestimmung hat jeder, der Erzeugnisse entwickelt, herstellt, be- und verarbeitet oder vertreibt, die Pflicht zur **Abfallvermeidung**. Für den Fall, dass die Abfallvermeidung nicht möglich ist, gilt: die Abfallmenge muss vermindert werden. Erst wenn die Maßnahmen der Abfallvermeidung und **Abfallverminderung** durch Getrennsammlung und Recycling ausgeschöpft sind, sollen die verbliebenen Reststoffe einer geregelten Entsorgung zugeführt werden.

Die Wiederverwertung kann z.B. im Laboratorium dadurch erreicht werden, dass Chemikalien, die gebraucht aber noch verwendbar sind, nach einem geeigneten Verfahren recycelt werden. Das Recycling ist insbesondere bei gebrauchten Lösungsmitteln sinnvoll. Organische Lösungsmittel wie Ethanol, Aceton, Chloroform, Diethylether werden in den Laboratorien getrennt gesammelt und dann durch Destillation aufgearbeitet.

Bei allen Arbeitsabläufen (hier: chemische Experimente), bei denen **große Abfallmengen** entstehen, ist kritisch zu überprüfen, ob nicht durch die Wahl entsprechender geeigneter Maßnahmen (alternative Reaktionsführung, Verkleinerung von Ansatzgrößen) die Abfallmenge reduziert werden kann. Nur wenn auf diesem Weg bzw. durch Recycling mit vertretbarem Aufwand keine weitere **Abfallverminderung** möglich ist, darf eine ordnungsgemäße **Abfallentsorgung (Abfallbeseitigung)** durchgeführt werden.

### **Sonderabfälle im Laboratorium**

Eine wichtige Gruppe von Abfällen im Laboratorium sind die anfallenden Chemikalienreste, welche generell als Sonderabfälle eingestuft werden. Diese Stoffe dürfen nicht über den Hausmüll entsorgt und keinesfalls in das Abwasser gegeben werden.

Abfallarten, die nach der Abfallbestimmungsverordnung als Sonderabfälle eingestuft werden, sind von anderen Abfällen getrennt zu halten und von den Abfallerzeugern an zugelassene



Entsorgungsbetriebe zu übergeben. Der Abfallerzeuger hat dabei Angaben über die Art des jeweiligen Sonderabfalls vorzulegen. Je nach vorliegender Abfallart müssen bestimmte Grenzwerte für Inhaltsstoffe und Eigenschaften eingehalten werden. Bestimmte Stoffe, die nur mit hohem Kostenaufwand entsorgt werden können, sollen möglichst vermieden bzw. durch Stoffe ersetzt werden, deren Entsorgung umweltschonender und kostengünstiger ist.

### **Sammlung von Sonderabfällen**

Unter Beachtung der gültigen Vorschriften (z.B. Gefahrstoffverordnung, siehe auch die Texte "Gesetzliche Rahmenbedingungen für den Umgang mit Gefahrstoffen" und "Technische Richtlinien zur Sicherheit chemischer Praktika") werden Sonderabfälle in dafür vorgesehenen Behältern gesammelt. Verschiedenartige Abfallarten dürfen dabei nicht vermischt werden. Für jede Abfallart müssen die vorgeschriebenen Behälter verwendet werden, die von der Universität zur Verfügung gestellt werden. Die Sammelbehälter werden in der Regel im Abfalllager abgegeben, wobei Behälter für flüssige Abfälle maximal zu 90% befüllt werden dürfen (damit beim Transport nichts ausläuft!). Die Behälter sind gut verschlossen zu halten und müssen korrekt beschriftet und etikettiert werden, da sie sonst von den Entsorgungsbetrieben nicht angenommen werden dürfen. Beschädigte oder undichte Behälter sowie Behälter, denen äußerlich Gefahrstoffe anhaften, können ebenfalls nicht angenommen werden.

Als allgemeiner Grundsatz für die Beseitigung von Sonderabfällen gilt, dass durch die Aufbewahrung, den Transport und die Entsorgung dieser Stoffe keine Gefährdung von Mensch und Umwelt ausgehen darf.

### **Anfallende Abwässer im Laboratorium**

Abwässer sind im Laboratorium alle Flüssigkeiten, die in das Waschbecken gelangen. Im Idealfall enthalten sie nur Wasser. In der täglichen Praxis handelt es sich um wässrige Lösungen, die auf einen pH von 6 bis 8 vorneutralisiert werden und keine Schwermetalle enthalten.

**Bei der Entsorgung von Abwässern ist zu beachten, dass die Abwassergrenzwerte eingehalten werden, die in der Regel in kommunalen Abwassersatzungen festgesetzt sind.**



Es ist dabei zu beachten, dass für die eingeleiteten Abwässer das **Verdünnungsverbot** gilt. Beispielhaft sind in den Tabellen 1 – 3 die für die TU Braunschweig gültigen Schwellenwerte dargestellt, deren Überschreitung erhöhte Abwassergebühren zur Folge hat. Die Überschreitung des doppelten Schwellenwertes ist verboten und kann strafrechtlich geahndet werden. In das Abwasser dürfen nur solche Stoffe eingeleitet werden, die in der Tabelle nicht aufgeführt und nicht als Gefahrstoffe eingestuft sind, sofern sie für die Umwelt und den Betrieb der Abwasseranlagen unschädlich sind.

### **Wichtige Grundparameter für die Abwasserqualität**

Der pH-Wert des Abwassers soll im Bereich von 6.0-10.5 liegen.

Die Temperatur des Abwassers soll einen Wert von 35 °C nicht übersteigen.

In Hinblick auf die Toxizität muss das abzuleitende Abwasser so beschaffen sein, dass die biologischen Vorgänge in den Abwasserbehandlungsanlagen, die Schlammabeseitigung oder die Schlammverwertung nicht beeinträchtigt werden.

Farbstoffe dürfen im Abwasser nur in so geringer Konzentration enthalten sein, dass in den öffentlichen Abwasseranlagen keine Verfärbung sichtbar wird.

Für Phenole (Phenole im Wasser verursachen einen sehr unangenehmen Geschmack, dieser lässt sich nur schwer beseitigen bei der Wasseraufbereitung!) gilt ein niedriger Schwellenwert von 0.025 mg/Liter Abwasser.

Für Sauerstoffverbraucher (z.B. Natriumsulfit, Eisen(II)-salze, Thiosulfate) beträgt der Schwellenwert 50 mg/Liter Abwasser.


**Tabelle 1:** Parameter Anorganische Stoffe, Schwellenwerte der Kationen

<b>Kationen</b>	<b>Schwellenwert (mg/Liter)</b>
Antimon	0.25
Arsen	0.05
Barium	1.0
Blei	0.5
Cadmium	0.05
Chrom, gesamt	0.5
Chrom(VI)	0.1
Cobalt	1.0
Kupfer	0.5
Nickel	0.5
Quecksilber	0.025
Silber	0.25
Zink	2.5
Zinn	0.5

**Tabelle 2:** Parameter Anorganische Stoffe, Schwellenwerte der Anionen

<b>Anionen</b>	<b>Schwellenwert (mg/Liter)</b>
Cyanid	10
Cyanid, leicht freisetzbar	0.5
Fluorid	25
Sulfat	300
Sulfid	1.0


**Tabelle 3:** Schwellenwerte für Summenparameter und Organische Stoffe

<b>Summenparameter</b>	<b>Schwellenwert (mg/Liter)</b>
Halogenverbindungen, adsorbierbare organische (AOX)	0.5
Halogenkohlenwasserstoffe, leichtflüchtige (LHKW)	0.25
Halogenkohlenwasserstoffe, LHKW-Einzelstoffe	0.05
<b>Organische Stoffe</b>	<b>Schwellenwert (mg/Liter)</b>
Kohlenwasserstoffe, aliphatische	10
Öle und Fette, verseifbar	125
Kohlenwasserstoffe, aromatische polycyclische (PAK)	0.025
Aromaten, gesamt	0.05
Benzol	0.0025
Ethylbenzol	0.025
Toluol	0.025
Xylol	0.03
Styrol	0.03

Hinweis: Wässrige Lösungen, die z.B. beim Extrahieren mit Dichlormethan oder Chloroform anfallen, müssen als Sonderabfall entsorgt oder mit geeigneten Methoden von den Halogenkohlenwasserstoffen befreit werden.

### **Einige Hinweise zur Entsorgung von chemischen Abfällen aus dem Laboratorium als Sonderabfälle**

Bei Abfällen, die im Kleinstmengenbereich anfallen, ist eine Entgiftung der Inhaltsstoffe im Laboratorium durch Fachleute oder eingewiesenes Personal empfehlenswert. Genaue Angaben zur Vorgehensweise sollen in entsprechenden Betriebsanweisungen im Labor zur Verfügung stehen.

Die nachfolgend beschriebenen Arten von Sonderabfällen kommen im praktischen Laboratoriumsalltag häufiger vor, so dass zu diesen Stoffen jeweils Hinweise zur ordnungsgemäßen Entsorgung gegeben werden.



## Chemikalienrückstände

Als Chemikalienrückstände können nur solche Stoffe entsorgt werden, deren

- Zusammensetzung bekannt ist und die
- nicht unter das Sprengstoffgesetz fallen und
- nicht radioaktiv sind.

Es dürfen dabei keine hochtoxischen Bestandteile wie z.B. polychlorierte Dioxine und Furane (PCDD/F), polychlorierte Biphenyle (PCBs) oder chemische Kampfstoffe enthalten sein.

Die Gebinde müssen eindeutig etikettiert sein, dieses gilt auch für kleinste Behälter! Die Kleinstmengen und Präparategläschen (aus Praktika) können in Feststoffbehältern entsprechender Deklaration (z.B. „Präparate aus anorganischem Praktikum in Präparategläschen“) zusammengefasst werden.

Bei unbekanntem Chemikalien (z.B. Chemikalien in nicht beschrifteten Gefäßen) ist vor der Entsorgung möglichst zu ermitteln, um welche Arten von Stoffen es sich handelt.

Die Chemikalien, die unter einer anderen Abfallbezeichnung eingestuft worden sind, müssen auch unter dieser Abfallart entsorgt werden. Als praktisches Beispiel kann z.B. Salzsäure genannt werden, welche der Abfallart "anorganische Säuren, Säuregemische und Beizen" zugeordnet wird, d. h. Salzsäure darf auf keinen Fall als Chemikalienrückstand entsorgt werden.

Altchemikalien, die in verschlossenen Originalgebinden zur Entsorgung angeliefert werden, sollten möglichst in einer Altchemikalienbörse anderen Institutionen und Arbeitsbereichen zur weiteren Verwendung angeboten werden. Eine Entsorgung dieser Stoffe ist erst dann vorgesehen, wenn innerhalb einer festzulegenden Frist keine Abnahme erfolgt.

Es existiert auch ein System zur Rücknahme von überzähligen Chemikalien und nicht mehr benötigten Lösungsmitteln durch die Hersteller von Chemikalien. Die Firma Merck bietet eine derartige Dienstleistung unter der Bezeichnung Retrologistik® an. Angelieferte Chemikalien werden auf ihren Zustand geprüft und die Art und Menge der Substanzen wird dokumentiert. Die Inhalte von Kleinpackungen einer Chemikalie werden anschließend zu Großmengen vereinigt. Nach einer Analyse zur Qualitätssicherung können diese Stoffe



wieder in der Produktion eingesetzt werden. Sofern eine Verwendung nicht möglich ist, werden die Chemikalien den Vorschriften entsprechend entsorgt.

### **Säuren, Säuregemische und Beizen: sauer, anorganisch**

Der pH-Wert dieser Lösungen liegt unterhalb von 6. Es werden wässrige Säurelösungen entsorgt, welche aber frei sein müssen von

- Cyaniden (sonst Freisetzung von Blausäure !!),
- Ammoniumionen (max. 0.1 mol/L zugelassen) und
- organischen Stoffen aller Art (wie z.B. Lösungsmittel, Fette und Öle).

Säureabfälle, die Salpetersäure enthalten (z.B. Nitriersäure-Gemische), sind zu neutralisieren und können dann als Sonderabfall unter der Bezeichnung „Spül- und Waschwasser“ entsorgt werden.

Säurehaltige Lösungen, die den oben angeführten Punkten entsprechen und keine Schwermetalle oder andere schädliche Bestandteile enthalten, können durch Zugabe von äquimolaren Mengen Natronlauge oder Natriumhydrogencarbonat neutralisiert und dann in das Abwasser gegeben werden.

### **Laugen, Laugengemische und Beizen**

Bei dieser Stoffkategorie handelt sich um flüssige Abfälle mit einem pH-Wert oberhalb von 8. Es werden nur wässrige Alkalihydroxide entsorgt, die frei sein müssen von

- Cyaniden,
- Ammoniumionen (max. 0.1 mol/L, sonst Freisetzung von Ammoniak !!) und
- Organischen Stoffen aller Art (z.B. Lösungsmittel, Fette, Öle)

Alkalische Lösungen, die den oben angeführten Bedingungen entsprechen und keine Schwermetalle oder andere schädliche Bestandteile enthalten, können durch Zugabe von äquimolaren Mengen Salzsäure neutralisiert und dann in das Abwasser gegeben werden.



### **Spül- und Waschwässer, metallsalzhaltig**

Zu dieser Abfallkategorie zählen wässrige Metallsalzlösungen, die aber frei sein müssen von

- Cyaniden,
- Ammoniumionen (max. 0.1 mol/L zulässig) und
- organischen Stoffen aller Art (wie Lösungsmittel, Fette und Öle).

Bei diesen wässrigen Lösungen kann durch Aufkonzentrieren eine deutliche Abfallverminderung erreicht werden.

### **Rückstände von Alkalimetallen**

Die bei der Trocknung von organischen Lösungsmitteln anfallenden Rückstände von Alkalimetallen (Natrium, Kalium) können durch langsame Zugabe von Ethanol oder iso-Propanol zur Reaktion gebracht werden. Die ggf. noch zu neutralisierende Lösung kann anschließend als halogenfreies Lösungsmittel entsorgt werden.

### **Schwermetalle**

In wässrigen Lösungen können Schwermetalle als Sulfide oder Carbonate ausgefällt werden. Die Niederschläge werden abfiltriert, getrocknet und als Feststoff entsorgt.

### **Quecksilberhaltige Abfälle (elementares Quecksilber)**

In dieser Abfallkategorie wird elementares Quecksilber (z.B. aus defekten Quecksilberthermometern und Manometern, quecksilberhaltigen Schaltern, Quecksilberdampflampen, Quecksilber aus Diffusionspumpen) entsorgt, welches getrennt gesammelt wird. Das gesammelte Altquecksilber wird dann einer Aufarbeitung (in der Regel in einer Spezialfirma) zugeführt, wo es gereinigt und zurück gewonnen wird. Die Quecksilberverbindungen gehören nicht zu dieser Abfallart, sondern sind den „Feinchemikalien“ zuzuordnen.

### **Silberhaltige Lösungen, Silberabfälle**

Für diese Stoffe wird eine getrennte Sammlung empfohlen, so dass eine Wiederaufarbeitung möglich ist.



## Blausäure und Cyanide

Hochtoxische Chemikalien wie Blausäure und deren Salze (Cyanide) dürfen keinesfalls in das Abwasser gelangen und sind am besten durch Oxidation zu entgiften. Im Labormaßstab ist die Behandlung dieser Stoffe mit Natriumhypochlorit-Lösung eine geeignete Methode. Über die Zwischenstufe des Cyanats entstehen nur ungefährliche Stoffe wie Stickstoff, Kohlendioxid und Chlorid-Ionen. Eine alternative Methode ist die Oxidation des Cyanids in alkalischem Medium (pH 10-11) mit einem Überschuss an Wasserstoffperoxid zu Stickstoff und Kohlendioxid. Die Vollständigkeit der Oxidation kann mit Merckoquant-Cyanid-Teststäbchen überprüft werden.

Anmerkung: Die Entsorgung von Cyaniden sollte nicht durch die Studierenden im Grundpraktikum selbständig vorgenommen werden, sondern nur unter Anleitung einer fachkundigen Person (z.B. Praktikumsassistent) erfolgen. Bei unsachgemäßer Handhabung besteht die Gefahr der Freisetzung von Cyanwasserstoff und Dicyan.

## Lösungsmittel, halogenfrei

Als halogenfreie Lösungsmittel können alle organischen Verbindungen entsorgt werden, die folgende Bedingungen erfüllen:

- Die Elemente C, H, N, Na, O, P und S dürfen enthalten sein.
- Es dürfen keine Halogene enthalten sein (gilt auch für anorganische Halogenverbindungen wie Salze)
- Sie müssen bei Raumtemperatur flüssig sein.
- Bei festem Aggregatzustand müssen sie in einem geeigneten Lösungsmittel gelöst worden sein.

Der pH-Wert der Lösungen ist auf einen Bereich zwischen 6 und 9 einzustellen, ggf. ist die Lösung zu neutralisieren.

Organische, halogenfreie Lösungsmittel sollten soweit wie möglich recycelt werden.

## Lösungsmittel, halogenhaltig

Nach der Halogenkohlenwasserstoff-Rücknahme-Verordnung ist für die verschiedenen, halogenhaltigen Lösungsmittel so zu verfahren, dass diese im Labor getrennt gesammelt und



aufgearbeitet bzw. an den Handel zurückgegeben werden. Für diese Lösungsmittel besteht ein Vermischungsverbot.

In der Gruppe halogenhaltige Lösungsmittel können organische Verbindungen entsorgt werden, die

- die Elemente C, H, N, O, P, S, F, Cl, Br und I enthalten können,
- bei Raumtemperatur flüssig sind,
- bei festem Aggregatzustand in einem geeigneten Lösungsmittel gelöst wurden.

Der pH-Wert der Lösungen ist auf einen Bereich zwischen 6 und 9 einzustellen, ggf. ist die Lösung zu neutralisieren.

Es ist anzustreben, die organischen, halogenhaltigen Lösungsmittel möglichst zu recyceln.

### **Druckgasflaschen**

Für Druckgasflaschen gibt es je nach enthaltener Gasart unterschiedliche Prüffristen. Eine nicht mehr benötigte Flasche ist bis spätestens 6 Wochen vor dem nächsten Prüfdatum (eingepreßt auf der Flaschenschulter) an die Fachfirma (Lieferant) zurückzugeben. Ist die Prüffrist bereits abgelaufen und die Flasche nicht drucklos, so gelten besondere Beförderungsvorschriften. Eine derartige Druckgasflasche ist nur mit hohem Kostenaufwand durch eine Spezialfirma zu beseitigen oder zu verwerten.

Für Gase in Spraydosen gilt, dass vollständig entleerte Behälter über den Wertstoffcontainer entsorgt werden können.

### **Das Reinigen von Laborgeräten**

Auch das Reinigen der gebrauchten Laborgeräte nach Beendigung der Versuche ist eine Quelle für chemische Laboratoriumsabfälle, die anschließend den Vorschriften entsprechend entsorgt werden müssen.

**Für Reinigungszwecke dürfen keine hochentzündlichen, sehr giftigen, giftigen, krebserzeugenden, fortpflanzungsgefährdenden oder erbgutverändernden Chemikalien benutzt werden !**



Beispiele für zu Reinigungszwecken ungeeignete Lösungsmittel sind daher Diethylether (hochentzündlich), Benzol (giftig, krebserzeugend) und Tetrachlormethan (giftig, krebserzeugend).

Organische Rückstände in verschmutzten Geräten können mit einem geeigneten Lösungsmittel (z.B. Aceton, 2-Propanol, Petrolether) gelöst werden. Die Lösungen werden anschließend gesammelt, wobei das Lösungsmittel durch Abdestillieren recycelt wird. Die Destillationsrückstände können in Abhängigkeit von ihrem Halogengehalt als "halogenfreies Lösungsmittel (< 2% Halogengehalt)" bzw. "halogenhaltiges Lösungsmittel (> 2% Halogengehalt)" entsorgt werden. Diese Stoffe dürfen auf gar keinen Fall in die Kanalisation gegeben werden.

Für hartnäckige Verschmutzungen kann in vielen Fällen eine gesättigte Kaliumpermanganat-Lösung verwendet werden, die in dem zu reinigenden Gefäß mit dem gleichen Volumen 20% iger Natronlauge versetzt wird. Die früher zu diesem Zweck häufig verwendete **Chromschwefelsäure** darf nicht mehr zu Reinigungszwecken verwendet werden, da sie krebserzeugend ist (Verbot der Verwendung krebserzeugender Gefahrstoffe, wenn ihr Ersatz möglich ist).

Andere, insbesondere für alkalische Reinigungsbäder geeignete Reinigungsmittel sind Seifen, ethanol- oder 2-propanol-haltige KOH-Lösungen (Brandschutz beachten!) und kommerziell erhältliche Spezialreiniger wie Extran (Merck AG), die organische Rückstände in Gegenwart von Luftsauerstoff gut abbauen können. Bei der Handhabung stark alkalischer Reinigungsbäder ist zu beachten, dass dabei eine Schutzbrille und Handschuhe zu tragen sind. Jeglicher Haut- und Augenkontakt ist zu vermeiden, da z.B. die Fingernägel und die Hornhaut angegriffen werden. Die gebrauchten Lösungen von Extran-Laborreiniger sind im Normalfall biologisch abbaubar. Wenn sie jedoch infolge des Reinigungsprozesses mit umweltschädlichen Stoffen angereichert sind, werden sie nach der Neutralisation als salzhaltige Lösungen entsorgt.

Anorganische Rückstände (z.B. Salze) lassen sich ggf. leicht in verdünnten Säuren oder Laugen auflösen. Stark reagierende Reinigungsmittel, wie z.B. konzentrierte Schwefelsäure, konzentrierte Salpetersäure, Wasserstoffperoxid, dürfen nur benutzt werden, wenn andere Reinigungsmethoden nicht zum Erfolg führen.



## **Wie wird die Entsorgung von Laboratoriumsabfällen in der Praxis durchgeführt?**

Im folgenden wird am Beispiel eines Versuchs aus dem NOP aufgezeigt, welche Abfallfraktionen in einem realen Experiment auftreten können und auf welche Weise eine fachgerechte Entsorgung durchgeführt werden kann.

### **Beispiel:**

#### **NOP-Nr. 1001**

#### **Nitrierung von Toluol zu 4-Nitrotoluol, 2-Nitrotoluol und 2,4-Dinitrotoluol**

#### **Abfallbehandlung**

Bei der Aufarbeitung des Versuches werden folgende Fraktionen und Lösungen erhalten, die dann der Abfallbehandlung unterzogen werden.

##### A.: Nitriersäure + Eiswasser

Die nach der Extraktion des Produktes und Abtrennen der organischen Phase verbleibende wässrige Phase reagiert infolge ihres Gehaltes an Mineralsäuren (Salpetersäure, Schwefelsäure) stark sauer (pH 1).

Diese salpetersäurehaltigen flüssigen Abfälle werden am besten neutralisiert und können dann als Sonderabfall unter der Bezeichnung „Spül- und Waschwasser“ entsorgt werden. Die Neutralisation kann durch Zugabe von äquimolaren Mengen Natronlauge oder Natriumhydrogencarbonat (Achtung, schäumt wegen Entwicklung von Kohlendioxid) durchgeführt werden.

##### B.: Natriumhydrogencarbonat-Waschwasser, + Wasser vom Neutralwaschen

Diese alkalisch reagierende Phase kann mit zur Neutralisation der oben beschriebenen sauren Abfälle verwendet werden, anschließend kann die Entsorgung als Sonderabfall unter der Bezeichnung „Spül- und Waschwasser“ erfolgen.

##### C.: Gebrauchtes Trockenmittel (Natriumsulfat)

Das zur Trocknung der organischen Phase verwendete Natriumsulfat wird nach dem Abfiltrieren und Entfernen (z.B. durch Verdunstung) des anhaftenden Lösungsmittels in



einem Behälter für gebrauchte Trockenmittel gesammelt, diese Substanzen können anschließend als anorganischer Feststoff entsorgt werden.

#### D.: Abdestilliertes Cyclohexan vom Rotationsverdampfer

Sortenreine gebrauchte Lösungsmittel werden getrennt gesammelt und anschließend zur weiteren Reinigung destilliert.

#### E.: Mutterlauge aus der Umkristallisation

Die verbliebenen methanol- bzw. ethanolhaltigen Mutterlaugen können als halogenfreier Lösungsmittelabfall entsorgt werden. Bei Vorliegen größerer Mengen ist es empfehlenswert, Methanol bzw. Ethanol durch Abdestillieren zurück zu gewinnen.

#### F.: Destillationsrückstände in den Gefäßen

In den Kolben verbleibende Destillationsrückstände und andere org. Produktrückstände werden gelöst, z.B. in Aceton. Die Lösungen können als halogenfreier Lösungsmittelabfall entsorgt werden.

### **Entsorgungswege: Was passiert mit den gesammelten Abfällen?**

Beispielhaft wird aufgezeigt, wie der Entsorgungsweg von Laboratoriumsabfällen aussehen kann:

Nachdem die in den Laboratorien und Einrichtungen einer Universität in unterschiedlichen Chargen anfallenden Laboratoriumsabfälle innerhalb der einzelnen Bereiche in zugelassenen Behältern und Originalgebinden (Laborchemikalien) getrennt gesammelt wurden, dienen die Sammelbehälter im weiteren Verlauf als Transportbehälter in ein Zwischenlager. Ein regelmäßiger Transport der Abfälle in ein Zwischenlager ist sinnvoll, damit die Lagerflächen an den Entstehungsorten möglichst klein gehalten werden können.

Befindet sich das Zwischenlager nicht vor Ort, so dass ein Transport der Abfälle über größere Strecken bzw. über öffentliche Straßen notwendig wird, ist hierfür ein besonders ausgerüstetes Fahrzeug (entsprechend der Gefahrgutverordnung für Eisenbahn und Straße = GGVE/S) zu verwenden. Bei der Abholung von Abfällen durch einen Entsorgungsbetrieb ist der Übergabeort das Sammelfahrzeug.



Bei der Zwischenlagerung werden keine Umfüllvorgänge durchgeführt (ausgenommen Havariefälle). Die ggf. dabei auftretenden Emissionen (z.B. bei Lösungsmittelabfällen) sowie exotherme Reaktionen können zu Problemen führen, die erhöhte sicherheitstechnische Maßnahmen innerhalb des Zwischenlagers erfordern.

Innerhalb des Zwischenlagers müssen die Abfälle getrennt von Betriebsmitteln gelagert werden, z.B. durch Sicherstellung eines ausreichenden Abstandes (Bild 1). Der Inhalt einzelner Behältnisse darf im Fall einer Leckage nicht in andere Lagerbereiche gelangen, ggf. sind je nach Art und Beschaffenheit der Abfälle zusätzliche technische Maßnahmen erforderlich.



**Bild 1:** Blick in ein Zwischenlager, im vorderen Bereich sind leere Gebinde von Lösungsmitteln zu sehen, diese stehen getrennt von den eingelagerten Chemie-Abfällen.

Im Zwischenlager werden die einzelnen angelieferten Behälter geprüft und einer Sichtkontrolle unterzogen. Als Eingangsdokument dient ein vom Erzeuger erstellter Entsorgungsauftrag, der eine rechtsverbindliche Abfalldeklaration enthält. Die Abfälle werden bei der Übernahme in das Zwischenlager gewogen. Kleinmengen werden nach Gefahrenklassen sortiert und entsprechend verpackt. Anschließend werden die Abfälle einem Stellplatz zugewiesen und dort eingelagert.



Die Inhalte der Verpackungseinheiten werden auf einer Begleitliste mit der Abfallbezeichnung, UN-Nummer (vierstellige Kenn-Nummer für gefährliche Stoffe, die auf den orangefarbenen Tafeln von Gefahrstofftransportern steht), Packungsgröße und Herkunft registriert. Das Original der Begleitliste wird dem Betriebstagebuch des Zwischenlagers beigefügt. Ein Duplikat wird an den Entsorger zur Einholung der Annahmeerklärung weitergegeben, ein weiteres Duplikat wird der Verpackungseinheit beigefügt.

Die in das Zwischenlager übernommenen Abfälle werden in einem Abfallwirtschaftsprogramm EDV-gestützt erfasst. Das Abfallwirtschaftsprogramm dient als Betriebs-/Lagertage- und Nachweisbuch, es bilanziert den Lagerbestand und verwaltet die Entsorgungsnachweise bzw. Begleitscheine.

Für den Betrieb des Zwischenlagers ist ein Untersuchungslabor erforderlich, welches Stichproben einzelner Abfälle nach abfalltechnischen Gesichtspunkten untersucht, um die Deklaration des Abfallerzeugers zu überprüfen.



**Bild 2:** Blick auf vier ASP-Container in geschlossenem Zustand für die Lagerung und den Transport der Abfälle.



In regelmäßigen Zeitabständen werden die Behälter durch zugelassene Entsorgungsfachbetriebe abgeholt, wobei diese nach Entnahme vom Stellplatz in Transportverpackungen zusammengepackt werden. Nach Verladen der Transportverpackungen in ein geeignetes Fahrzeug werden die Abfälle anschließend zur Entsorgungsanlage befördert. Die Vorschriften für den Transport von Gefahrgütern entsprechend der Gefahrgutverordnung für Eisenbahn und Straße = GGVE/S sind dabei zu beachten.

Der Ablauf der Abfallentsorgung lässt sich wesentlich vereinfachen, wenn im Bereich des Zwischenlagers der Lagerraum auch gleichzeitig das Transportmittel ist. Das kann erreicht werden durch die Verwendung eines sog. ASP-Containers, der für die Lagerung und den Transport der Abfälle zugelassen ist. Die angelieferten Abfälle werden in diesem Fall im Zwischenlager entladen, gesichtet und direkt in die ASP-Container eingelagert (Bild 2 und Bild 3). ("ASP" bedeutet "Abfallsammelbehälter pastös" für pastöse und feste Abfälle sowie für kleinere Sammelkanister, die ihrerseits auch flüssigen Abfall enthalten können.)

Bei den verwendeten ASP-Containern handelt es sich um Transport-Containersysteme, die aufgrund ihrer Bauart und sicherheitstechnischen Ausführung für die Zeit des Lagerns und des Transportierens der Abfälle als eigensichere Systeme gelten.



**Bild 3:** ASP-Container in geöffnetem Zustand mit eingelagerten Sammelkanistern.



Zur getrennten Lagerung unterschiedlicher Abfallarten nach Gefahrenklassen (brennbare Flüssigkeiten, organische Laborchemikalienreste, anorganische Laborchemikalienreste, Säuren/Laugen) sind vier ASP-Container vorgesehen. Zusätzlich wird ein ASP-Container als Reserve bereitgestellt. Die befüllten ASP-Container werden auf ein Transportfahrzeug verladen und zu einer Entsorgungsanlage befördert.

### **Weitere Behandlung der Sonderabfälle durch den Entsorgungsbetrieb**

Die flüssigen Lösungsmittelabfälle werden dann einer Hochtemperatur-Verbrennungsanlage zugeführt. Mit Hilfe eines Abgasreinigungssystems wird verhindert, dass schädliche Emissionen in die Umwelt gelangen.

Pumpfähige, anorganische Laboratoriumsabfälle können von Entsorgungsbetrieben weiter behandelt werden, indem diese Stoffe in einem Rührreaktor mit Wasser und verschiedenen Behandlungskemikalien in mehrstufigen Verfahren umgesetzt werden. Die schädlichen Bestandteile der Abfälle werden dabei teilweise als Feststoff ausgefällt und können über eine Kammerfilterpresse von der Flüssigkeit getrennt werden. Der erhaltene Neutralschlamm wird nach Weiterbehandlung auf eine Sonderabfalldeponie oder Untertagedeponie gebracht. Das Filtrat, welches noch ein Neutralisierungsbecken durchläuft, wird in das Abwasser gegeben. Zur Qualitätssicherung und Einhaltung von Grenzwerten ist eine analytische Überwachung notwendig.

Beispielhaft sind folgende mögliche Verfahrensschritte zur Behandlung pumpfähiger anorganische Abfälle aufgeführt:

- Oxidation des Cyanids in stark alkalischem Bereich ( $\text{pH} > 12$ ) mit Natriumhypochlorit über die Zwischenstufe des Cyanats zu Kohlendioxid und Stickstoff. Nach einem moderneren Verfahren kann die Oxidation des Cyanids in technischem Maßstab auch mit Ozon durchgeführt werden.
- Oxidation von Nitrit-Ionen mit Wasserstoffperoxid zum Nitrat im sauren Bereich bei  $\text{pH}$  3.5 bis 4.5.
- Reduktion von sechswertigem Chrom (Chromat-Ionen) mit Natriumdisulfit zu dreiwertigem Chrom in stärker saurem Bereich (ca.  $\text{pH}$  2).



- Ausfällung von Fluorid-Ionen als schwerlösliches Calciumfluorid nach Zugabe von Kalkmilch.
- Ausfällung von Schwermetallen als Hydroxide im alkalischen Bereich oder als Sulfide im sauren Bereich.