

8 Chemie, Mensch und Umwelt

8.1 Nutzen der Chemie

Chemisches Wissen und eine Vielzahl von Chemieprodukten sind heute die Voraussetzung eines hohen Lebensstandards (**Bild 260/1**). Von dieser „Chemisierung“ des Alltags und der Technik sind alle Bereiche betroffen. Nachfolgend einige Beispiele:

Ernährung: Mit Hilfe der Dünger sowie der Schädlingsbekämpfungs- und Unkrautvernichtungsmittel sind Ernteerträge möglich, die die Nahrungsmittel für eine wachsende Weltbevölkerung gewährleisten.

Gesundheit: Hygieneartikel wie Seifen, Wasch- und Desinfektionsmittel verhindern das Ausbrechen von Seuchen; Arzneimittel bekämpfen Krankheiten und schützen die Gesundheit.

Kleidung: Synthetische Textilien und chemisch behandelte Naturtextilien mit den dazugehörigen Farbstoffen versorgen die Menschen mit Kleidung.

Bauen, Industrie: Eine Vielzahl von Baustoffen, modernen Werkstoffen und Hilfsstoffen sind wichtige Voraussetzungen für umweltgerechtes Bauen und eine effiziente Industrieproduktion.

Verkehr: Hochqualitative Motorkraftstoffe gewährleisten die Mobilität von Menschen und Material.



6.2 Umweltgefährdung durch die Chemie

Bei der Produktion und der Verarbeitung sowie nach dem Gebrauch der vielen nützlichen Chemieprodukte entstehen Rückstände und Abfallstoffe, die zu einer ernsthaften Belastung oder sogar Zerstörung der Umwelt führen können (**Bild 260/2**).

Durch das *Einleiten* von giftigen und gesundheitsschädlichen Abwässern in Flüsse und Seen kann das Leben in den Gewässern zerstört werden. Ihr Wasser kann nicht zur Trinkwasserbereitung genutzt werden.

Durch *unsachgemäße Ablagerung* giftiger Rückstände und von Abfallstoffen kann der Boden und das Trinkwasser vergiftet werden.

Durch das *Ablassen* von giftigen, gesundheitsschädlichen und übelriechenden Gasen oder Stäuben in die Atmosphäre kann die Luft verpestet und belastet werden, so daß viele Menschen gesundheitliche Schäden erleiden und die Natur geschädigt wird.

Besonders gefährdet sind die Mitarbeiter der chemischen und anderer Industrien, da an den Produktionsstätten der intensivste Kontakt mit den gesundheitsschädlichen Stoffen möglich ist.



Das hohe Potential an Umweltgefährdung durch die Produktionsstätten, die Rückstände und die Produkte der Chemieindustrie verpflichtet alle dafür Verantwortlichen

- die Chemieproduktion nach dem neuesten Stand der Sicherheitstechnik durchzuführen
- Chemieprodukte rohstoffschonend und möglichst energiesparend zu erzeugen
- nicht zu vermeidende Chemierückstände sachgemäß zu entsorgen und
- die Chemieprodukte nach den neuesten Erkenntnissen der Umweltverträglichkeit zu gestalten.

Nur wenn es gelingt, die Chemie in Einklang mit dem Menschen und der Natur zu betreiben, wird sie in der Bevölkerung Akzeptanz und Anerkennung für ihre großartigen Leistungen finden.

8.3 Chemieproduktion und Umweltschutzbereiche

Die Umweltbelastung durch die Chemieproduktion liegt zum einen bei der Produktion selbst und zum anderen bei den Chemieprodukten (**Bild 261/1**).

Bei der Chemieproduktion fallen Feststoffe und Rückstände an, die nicht direkt verwertbares Produkt eines Verfahrens sind. Es können feste, flüssige oder gasförmige Rückstände sein, aber auch Abwässer.

Durch Optimierung der Prozesse und der Prozeßführung können die Rückstände teilweise **vermieden** oder zumindest **vermindert** werden.

Die verwertbaren Anteile der Rückstände werden durch **Recycling** stofflich wiederverwertet, entweder im gleichen oder einem anderen Prozeß.

Die stofflich nicht verwertbaren Anteile der Rückstände können teilweise **energetisch verwertet** werden, d.h. sie werden zur Energiegewinnung verbrannt.

Die nicht verbrennbaren Bestandteile bzw. die Verbrennungsrückstände müssen umweltgerecht **entsorgt** werden. Dies geschieht beim Abwasser durch Klärwerke, bei Abgasen durch Abgasreinigung und bei festen Abfällen durch Verbrennung oder Deponierung.

Die nach Gebrauch als Müll anfallenden Chemieprodukte sind fest oder flüssig und werden wie der Abfall aus der Chemieproduktion behandelt.

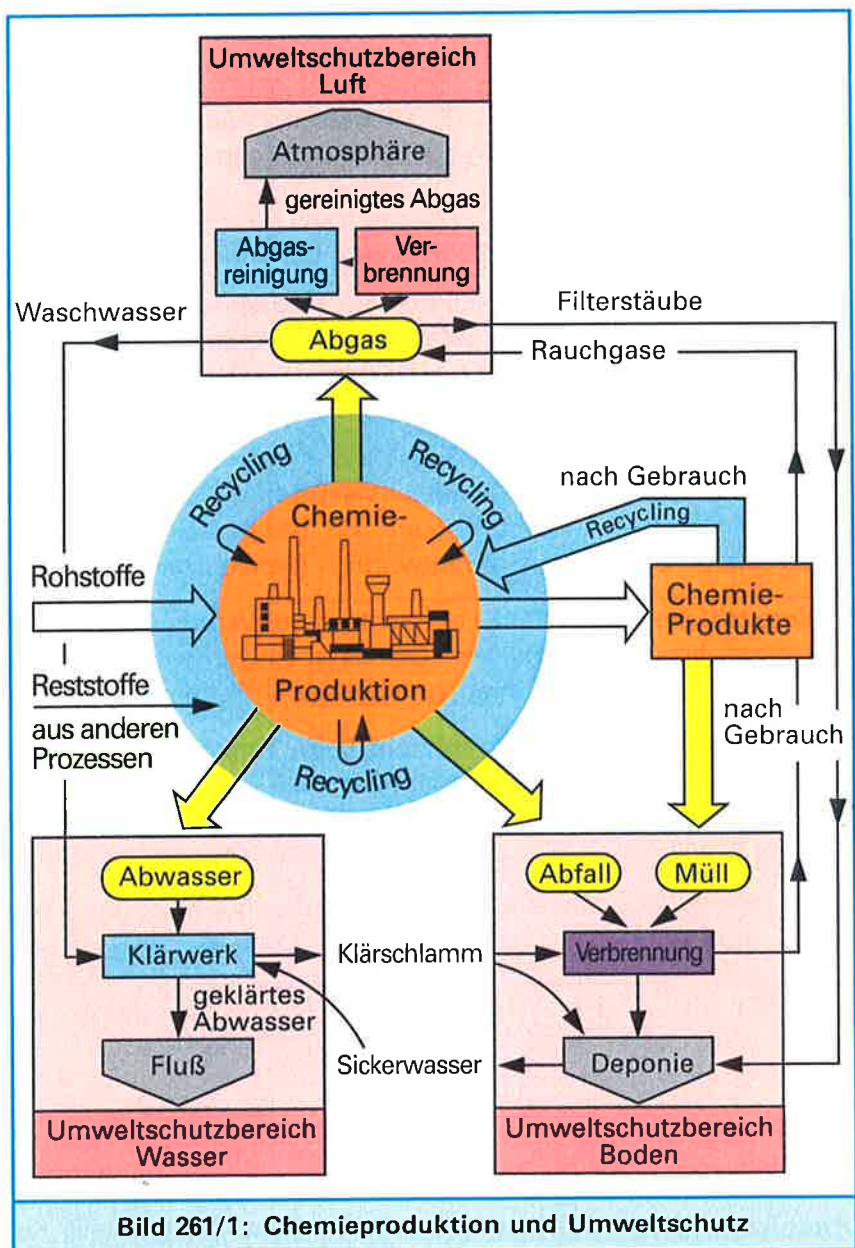


Bild 261/1: Chemieproduktion und Umweltschutz

Für die Chemierückstände gilt eine Reihenfolge der Maßnahmen:

Vermeiden – Vermindern – Verwerten – Entsorgen

Die chemische Industrie und alle in ihr Beschäftigten haben die Verpflichtung, die durch den Betrieb von Chemieanlagen entstehenden Belastungen auf ein für die Umwelt verträgliches Maß zu vermindern.

Die zu schützenden Umweltbereiche sind die Luft (Atmosphäre), die Gewässer und der Erdboden.

8.4 Umweltschutzbereich Luft

8.4.1 Luftverunreinigungen

Luftverunreinigungen sind vor allem Abgase, aber auch fein verteilte Flüssigkeiten (Aerosole) und feinverteilter Feststoff in Form von Rauch und Staub.

Diese als **Emissionen** bezeichneten, freigesetzten Schadstoffe stammen zumeist aus Verbrennungsprozessen. **Emittenten**, d. h. Verursacher der Emissionen, sind in den Industrieländern vor allem Industriebetriebe, Verbrennungskraftwerke, Verbrennungsmotoren von Fahrzeugen sowie Hausheizungen.

Die freigesetzten Schadstoffe (Emissionen) gelangen in die Luft (Atmosphäre), die Gewässer sowie den Erdboden und führen dort zu Einwirkungen, den **Immissionen**.



Bild 262/1: Umweltschutzbereich Atmosphäre

Die am meisten die Umwelt belastenden Luftverunreinigungen sind:

Schwefeldioxid SO_2 : Es entsteht bei der Verbrennung schwefelhaltiger Brennstoffe, wie Kohle und Heizöl: $\text{S} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{SO}_2$. Es ist ein giftiges, die Schleimhäute reizendes Gas. Mit Wasser bildet es schweflige Säure $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_2\text{SO}_3$ und mit Sauerstoffradikalen Schwefeltrioxid: $\text{SO}_2 + \text{O}^* \longrightarrow \text{SO}_3$, das mit Wasser Schwefelsäure bildet: $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$.

Schwefeldioxid und der von ihm im wesentlichen verursachte **saure Regen** werden für Schäden an Bäumen (Waldsterben) und Gebäuden (Verwitterung von Kalkstein und Beton) sowie für die übermäßige Korrosion der Metallwerkstoffe und für gesundheitliche Beeinträchtigungen (Bronchialbeschwerden, Krupp-Husten bei Kindern) verantwortlich gemacht.

Kohlenstoffmonoxid CO : Es entsteht bei der Verbrennung kohlenstoffhaltiger Stoffe unter unzureichender Luftzufuhr: $\text{C} + 1/2 \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}$. Es ist ein geruchloses, aber sehr giftiges Gas. Schon geringe Gehalte von CO in der Atemluft führen zu lebensgefährlichen Vergiftungen.

Kohlenstoffdioxid CO_2 : Es entsteht beim Verbrennen kohlenstoffhaltiger Stoffe: $\text{C} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$. Es ist an sich ungiftig, bei zu hohem CO_2 -Gehalt der Luft besteht Erstickungsgefahr. Durch seine wärmedämmende Wirkung wird es für den sogenannten „Treibhauseffekt“, d. h. die Aufheizung der Erdatmosphäre und die dadurch bewirkten Klimaveränderungen, verantwortlich gemacht.

Stickstoffoxide NO_x : Sie entstehen bei Verbrennungsvorgängen bei sehr hohen Temperaturen aus dem Stickstoff und Sauerstoff der Luft: $\text{N}_2 + x \cdot \text{O}_2 \longrightarrow \text{NO}_x$ z. B. in Verbrennungskraftwerken oder Kraftfahrzeugmotoren. Stickstoffoxide, auch Stickoxide oder **nitrose Gase** genannt (NO , NO_2), sind giftig und schleimhautreizend. Sie sind Mitverursacher des Smogs über den Großstädten in Inversionswetterlagen. Mit Luftfeuchtigkeit bilden die Stickoxide Salpetersäure, z. B. nach der Gleichung:



Salpetersäure ist neben Schwefelsäure und schwefliger Säure ein Schadbestandteil des sauren Regens und damit Mitverursacher des Waldsterbens.

Organische Verbindungen, wie z. B. die Benzinbestandteile Kohlenwasserstoffe und Benzol, oder die Chlorkohlenwasserstoffe (CKW) der Lösungsmittel (Seite 191) sind giftig und zum Teil krebserregend. Die Fluorchlorkohlenwasserstoffe, kurz FCKW (Seite 192), vermindern die Ozonkonzentration in der Stratosphäre und verursachen das „Ozonloch“ (Seite 114). Die Produktion von FCKW soll schrittweise eingestellt werden, die Anwendung von CKW soll möglichst vermieden werden.

Feinstäube: Sie entstehen vor allem in Verbrennungskraftwerken, Müllverbrennungsanlagen, Hüttenwerken, Zementfabriken und in Dieselmotoren. Je nach Zusammensetzung können sie direkt giftig bzw. krebserregend sein, wie z. B. Bleistaub oder Dieselmotoren-Rußpartikel, oder zumindest bei langfristigem Einatmen die Lungenfunktion schädigen (Staublung).

8.4.2 Gesetzliche Bestimmungen

Gesetzliche Vorschriften und Verordnungen sollen die Betreiber von Anlagen und Einrichtungen zwingen, diese nach den neuesten technischen Erkenntnissen auszurüsten und so die Umweltbelastung auf ein Minimum zu reduzieren.

Es gibt gesetzliche Bestimmungen für die Emissionen, das heißt für die maximalen Mengen bzw. Konzentrationen der freigesetzten Schadstoffe einer Anlage und Bestimmungen für die Immissionen, d. h. für die Schadstoffkonzentration in der Umgebung der Anlage.

Die Emissionsgrenzwerte sind Tagesmittelwerte, die nicht überschritten werden dürfen.

Immissionsgrenzwerte sind z. B. der MAK-, der MIK- und der TRK-Wert.

Der **MAK** (**M**aximale **A**rbeitsplatz-**K**onzentration) gibt Grenzwerte für den Gehalt an Luftschadstoffen am Arbeitsplatz in Atemhöhe, bei denen eine Gesundheitsgefährdung nicht zu erwarten ist (**Tabelle 263/1**).

Der **MIK** (**M**aximale **I**mmissions-**K**onzentration) gibt Grenzwerte von Luftschadstoffen in bodennahen Schichten der Atmosphäre in der Umgebung einer Anlage an, die nach heutigem Wissensstand zu keinen Schäden führen.

Der **TRK** (**T**echnische **R**icht-**K**onzentrationen) nennt Grenzwerte für krebserzeugende Stoffe (Cancerogene), die nicht überschritten werden sollten.

Bei langandauernder Exposition ist auch bei den MAK-, MIK- und TRK-Grenzwerten eine Gesundheitsgefährdung nicht ausgeschlossen.

Die **Technische Anleitung Luft**, kurz **TA Luft**, genannt, gibt eine Grundlage für die Genehmigung und die Überwachung von Industrieanlagen, Feuerungen und Kraftwerken. Danach dürfen die **Emissionen** (Tagesmittelwerte) einer Feuerungsanlage bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten (**Tabelle 263/2**). Die Grenzwerte für den Betrieb der Feuerungsanlagen mit Heizöl liegen durchweg höher als für den Betrieb mit Flüssiggas. Dies berücksichtigt das technisch Machbare mit den unterschiedlichen Heizstoffen. Die Meßverfahren für die Schadstoffe sind exakt festgelegt, um eindeutige Werte zu erhalten. Es ist nicht erlaubt, die Abgase der Anlage mit Frischluft zu verdünnen, um so die Grenzwerte zu unterschreiten.

Die **Immissionen** in der Umgebung einer Anlage werden durch zwei Grenzwerte für die Schadstoffe eingegrenzt (**Tabelle 263/3**). Der Kurzzeit-Immissionswert IW2 ist ein Halbstundenmittelwert, der Langzeitwert IW1 ist ein Jahresmittelwert.

Bei der Planung einer Anlage werden aus den zu erwartenden Emissionen unter Berücksichtigung der bereits vorhandenen Immissionen die dann herrschenden Gesamt-Immissionen vorausgerechnet. Nur wenn diese unter den erlaubten Grenzwerten liegen, wird die Anlage genehmigt.

Eine andere gesetzliche Bestimmung für die Immissionsbegrenzung ist die **Smog-Verordnung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes**. Sie begrenzt die Luftbelastung in Großstädten, vor allem mit SO₂ und NO_x. Überschreiten die gemessenen Immissionen die Grenzwerte, so wird Smogalarm gegeben. Die Hauptemittenten, wie Großfeuerungsanlagen, müssen ihren Betrieb einstellen, Pkw dürfen nicht mehr fahren. Weitere Gesetze zur Schadstoffbegrenzung sind die **Großfeuerungsanlagen-Verordnung**, die **Störfallverordnung**, die Verordnung über **Abgasgrenzwerte für Pkw** oder für Heizungen in Wohnhäusern. Die Abgaswerte werden in regelmäßigen Intervallen gemessen, z. B. vom Gewerbeaufsichtsamt, den Technischen Überwachungsvereinen (TÜV) oder bei Hausheizungen dem Schornsteinfeger.

Tabelle 263/1: MAK- und MIK-Werte einiger Schadstoffe

Schadstoff	MAK in mg/m ³	MIK in mg/m ³
SO ₂	5	0,3
CO	33	10
NO ₂	9	0,1
Staub	6	0,3

Tabelle 263/2: Grenzwerte für die Emissionen einer 50 MW-Feuerungsanlage

Schadstoff	Grenzwerte für Heizöl-Betrieb in mg/m ³	Grenzwerte für Flüssiggas-Betrieb in mg/m ³
SO ₂	1700	5
CO	170	100
NO ₂	250–450	200
Staub	80	5

Tabelle 263/3: Grenzwerte für die Immissionen in der Umgebung einer Feuerungsanlage

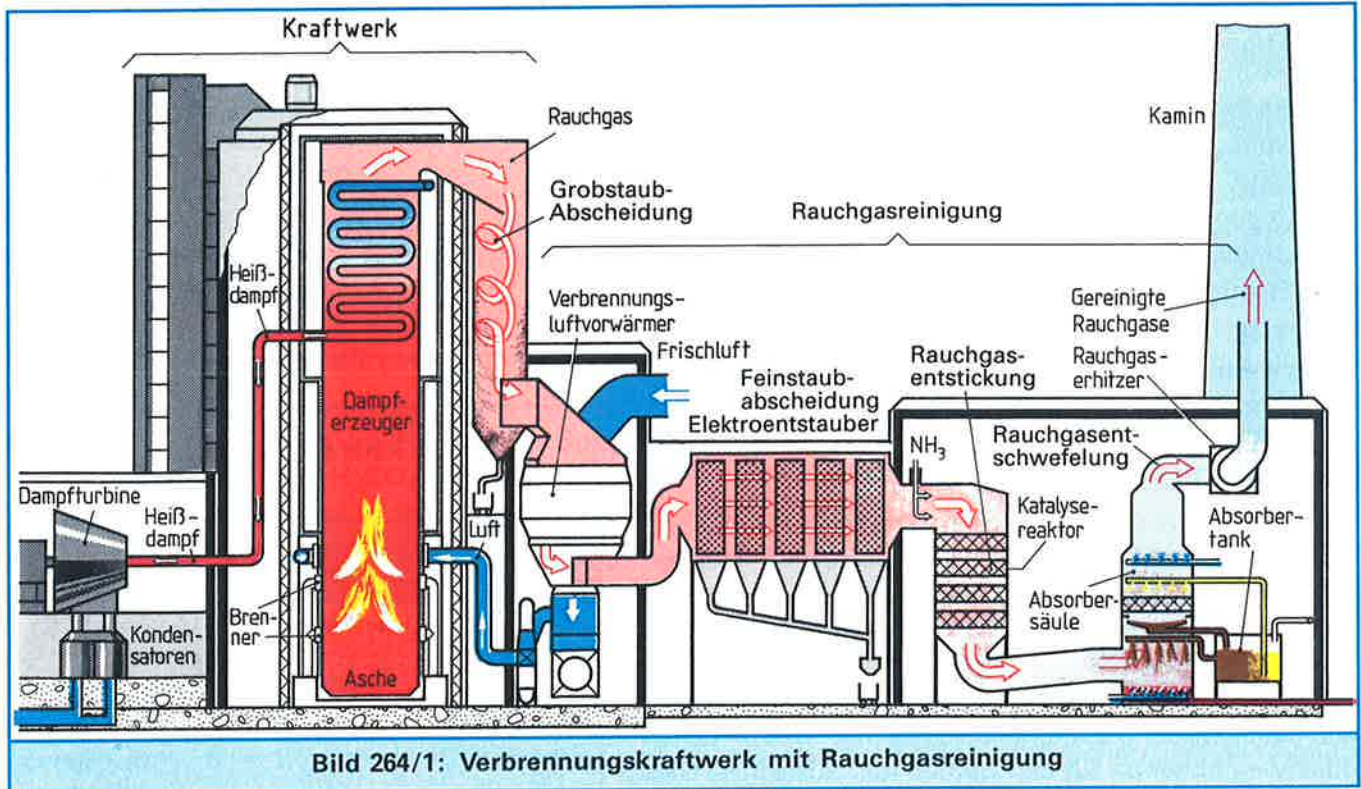
Schadstoff	Kurzzeitwert IW2 in mg/m ³	Langzeitwert IW1 in mg/m ³
SO ₂	0,4	0,14
CO	30	10
NO ₂	0,2	0,08
Staub	0,30	0,15

8.4.3 Reinigung der Abgase von Verbrennungskraftwerken

Zur Strom- und Dampferzeugung werden in Verbrennungskraftwerken fossile Brennstoffe, wie Kohle und schweres Heizöl verbrannt. Die umweltbelastenden Schadstoffe im Rauchgas sind im wesentlichen Flugasche (Staub), Schwefeldioxid SO_2 und Stickoxide NO_x . Sie müssen abgeschieden werden.

Gemäß der Großfeuerungsanlagen-Verordnung gelten als Emissions-Grenzwerte für SO_2 400 mg/m^3 und für NO_x 200 mg/m^3 , der Reststaubgehalt darf 50 mg/m^3 nicht überschreiten.

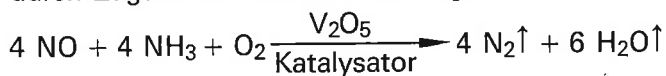
Verbrennungskraftwerke besitzen Einrichtungen zur Staubabscheidung sowie zur Rauchgasentschwefelung und Entstickung (**Bild 264/1**). Häufig sind diese Anlagenteile größer als das eigentliche Kraftwerk.



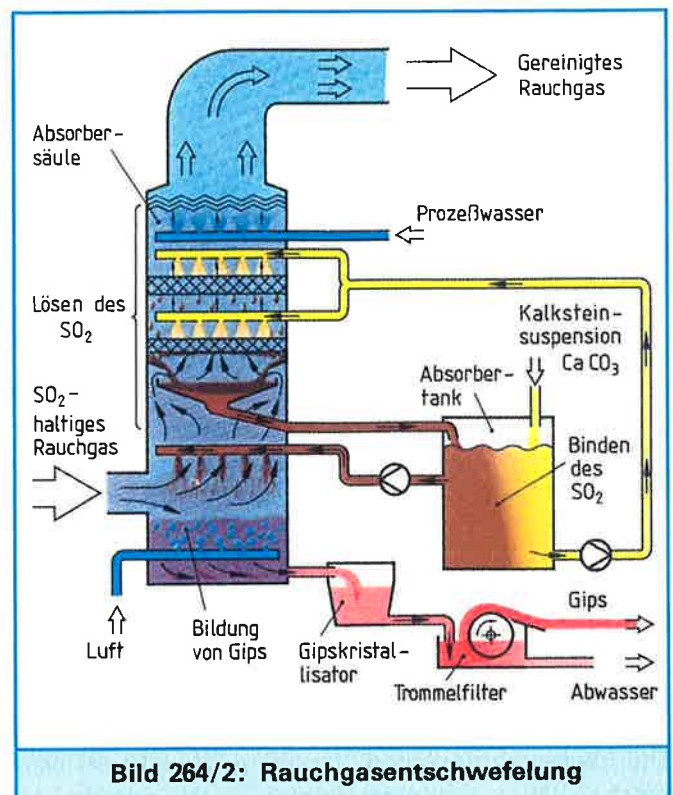
Die Rauchgasreinigung im einzelnen:

Entstaubung: Das aus dem Dampferzeuger abströmende Rauchgas gelangt zunächst in einen **Absetzgaszug**, wo grobe Flugaschepartikel abgeschieden werden. Anschließend durchströmt es einen Verbrennungsluftvorwärmer und dann weiter zur Feinstaubabscheidung in einen **Elektroentstauber**.

Die **Rauchgasentstickung**, d.h. die Beseitigung der Stickoxide NO_x , erfolgt in Katalysereaktoren durch Zugabe von Ammoniak NH_3 .



Dann folgt die **Rauchgasentschwefelung** in einer Absorbersäule (**Bild 264/2**). Das SO_2 im Rauchgas löst sich im eingedüsten Prozeßwasser durch Absorption. Das SO_2 -beladene Wasser wird in den Absorberrtank geleitet. Dort bindet zugegebenes Kalksteinpulver (CaCO_3) das SO_2 . Durch Rückführen der Suspension in den Reaktor und Einblasen von Luft (O_2) entsteht Gips $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{ H}_2\text{O}$.



8.4.4 Entgiftung der Abgase von Benzinmotoren

Die Abgase der Benzin-Verbrennungsmotoren der Millionen von Pkw's und Lkw's gehören in den Industrieländern zu den größten Emittenten von Stickoxiden NO_x , Kohlenstoffmonoxid CO und unverbrannten Kohlenwasserstoffen C_nH_m . Da sie gerade dort entstehen, wo Menschen atmen (in Ballungsräumen auf Atemhöhe), kommt ihrer Reduzierung besondere Bedeutung zu.

Die Emissionen von Pkw dürfen deshalb bei einem bestimmten Test-Fahrzyklus festgelegte Grenzwerte nicht überschreiten. Sie müssen bei der Zulassung eines Fahrzeugs nachgewiesen werden. In einer jährlichen Abgassonderuntersuchung (ASU) werden sie zudem überprüft.

Die heute wirkungsvollste Methode, um die Abgase von Pkw's mit Benzinmotoren zu entgiften, ist der geregelte **Abgaskatalysator** (Dreiwegekatalysator). Mit ihm können rund 90% der Motorabgas-Schadstoffe NO_x , CO und C_nH_m beseitigt werden. Er ist in den Auspuffstrang des Autos eingebaut und besteht aus einem Edelstahlgehäuse, in dem ein Keramikkörper mit einer Vielzahl feiner Durchströmkanäle untergebracht ist (**Bild 265/1**). Auf der zerklüfteten und porösen Oberfläche der Kanäle ist eine nur wenige μm dicke Platin/Rhodium-Schicht aufgebracht. Sie wirkt als Katalysator.

Die heißen Motorabgase durchströmen die Kanäle und reagieren an der Katalysatoroberfläche (rund 400°C) zu unschädlichen Reaktionsprodukten:

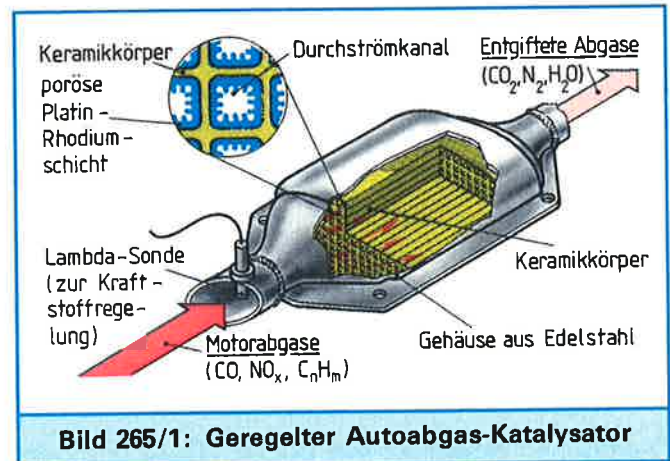
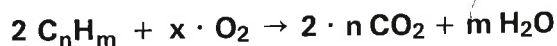


Bild 265/1: Geregelter Autoabgas-Katalysator

Katalysator-ausgerüstete Autos dürfen nur bleifreies Benzin tanken, da Blei den Katalysator inaktiviert.

Dadurch entfällt zusätzlich die Umweltbelastung durch Blei. Zur Erhöhung der Klopffestigkeit (Seite 224) enthalten bleifreie Benzine einen erhöhten Benzolgehalt (giftig, cancerogen). Beim Tanken sollte deshalb vermieden werden, Benzindämpfe einzusatmen oder mit Benzin Hautkontakt zu haben.

Fahrzeuge mit Diesel-Verbrennungsmotor haben einen wesentlich geringeren NO_x - und CO -Ausstoß. Kritisch ist bei ihnen der Ausstoß von cancerogenen Rußpartikeln, der entweder durch konstruktive Maßnahmen oder Rußfilter vermindert werden muß.

8.4.5 Abgasentgiftung in Industriebetrieben

Industriebetriebe, in denen fortlaufend größere Mengen von brennbaren Abgasen und schadstoff- oder geruchsbelasteter Abluft anfallen, sind mit einer zentralen Abgas/Abluft-Verbrennungsanlage ausgestattet. In ihr werden die aus den verschiedenen Betrieben anfallenden und in Sammelleitungen zugeführten Abgase zusammen mit flüssigen, brennbaren Rückständen verbrannt (**Bild 265/2**).

Bei Verbrennungstemperaturen von rund 1000°C entstehen je nach den verbrannten Stoffen niedermolekulare Verbindungen, wie CO_2 , H_2O , SO_2 , HCl usw. Die Rauchgase werden in einem Quenscher durch Einsprühen von Wasser auf ca. 80°C abgekühlt. Dadurch wird eine Rekombination der niedermolekularen Rauchgasbestandteile zu langkettigen Verbindungen verhindert. Zudem ballen die Feinstaubpartikel zusammen und fallen als Flugasche aus. In einer zweistufigen Rauchgaswäsche werden die Schadstoffe mit eingesprütztem Wasser und Natronlauge in das Waschwasser überführt, das zur Abwasserreinigung geht.

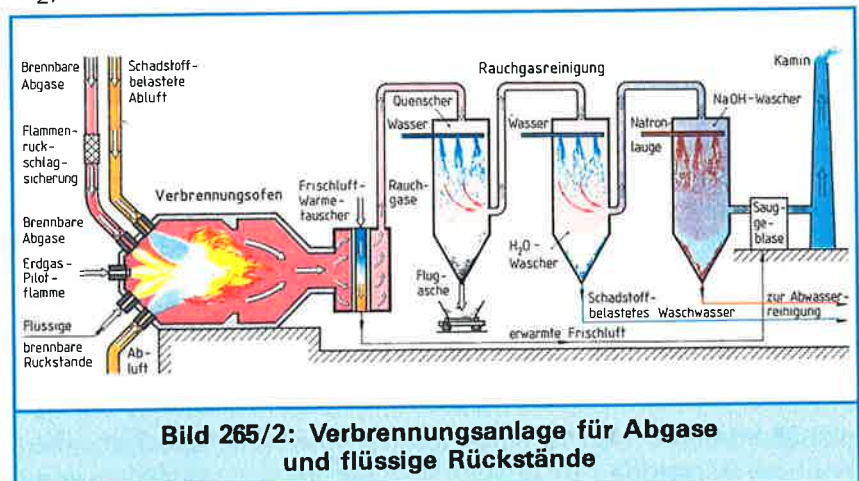


Bild 265/2: Verbrennungsanlage für Abgase und flüssige Rückstände

8.5 Umweltschutzbereich Wasser

Ausreichend sauberes Wasser ist eine Lebensgrundlage für die Menschen, die Tiere und die Pflanzen. Wasser ist ein Grund-Lebensmittel.

Zusätzlich nutzt man es in Haushaltungen und der Industrie als Reinigungs- und Waschmittel sowie zur Bewässerung in der Landwirtschaft.

In der Industrie, speziell in der Chemieindustrie, dient es zudem als Prozeßwasser, als Lösungsmittel und als Kühlwasser.

Die Gewinnung von Trinkwasser und anderen Gebrauchswässern erfolgt je nach Anforderung aus den verschiedenen Rohwässern, wie Quellwasser, Grundwasser, Flußwasser usw. (Seite 153).

Die Reinigung verschmutzter Abwässer und die Reinhaltung der natürlichen Gewässer ist eine wichtige Aufgabe zur Erhaltung einer gesunden, lebenswerten Umwelt (**Bild 266/1**).



Bild 266/1: Natürliches Gewässer

8.5.1 Verschmutzung der Gewässer

Die offenen Gewässer, wie Bäche, Flüsse und Seen sowie das Grundwasser sind durch eine Vielzahl von eingeleiteten Stoffen bedroht.

Haushaltsabwasser. Es besteht vor allem aus Essensresten, Fäkalien, Badewasser und Waschlauge. Würde es ungeklärt in die natürlichen Gewässer, wie Flüsse und Seen geleitet, so wäre deren Selbstreinigungsvermögen weit überschritten; das natürliche Leben würde dort absterben, die Gewässer würden zur Kloake werden. Die Haushaltsabwässer, auch kommunale Abwässer genannt, müssen in einer Abwasserreinigungsanlage (Klärwerk) von ihrer Schmutzfracht befreit werden (Seite 268).

Problematisch in den Haushaltsabwässern sind die Waschlauge sowie Bade- und Waschwasser. Sie enthalten die Waschmittelstoffe Tenside sowie aus der Waschlauge Pentanatriumtriphosphat. Sie dürfen nicht in die natürlichen Gewässer gelangen. Die Tenside zerstören Kleinlebewesen und schädigen die übrige Tier- und Pflanzenwelt. Durch Verwendung biologisch abbaubarer Tenside, wie z.B. der geradkettigen **Alkylbenzolsulfonate** (Seite 248) konnte die Belastung der Gewässer reduziert werden. Diese Tenside werden in der biologischen Reinigungsstufe der Klärwerke abgebaut.

Pentanatriumtriphosphat (Seite 248) ist zwar nicht giftig, ein hoher Gehalt in den Gewässern stellt jedoch eine Überdüngung (Eutrophierung) dar. Die Folge ist ein starkes Algenwachstum. Durch deren Verrottung wird Sauerstoff verbraucht, so daß der O₂-Gehalt im Wasser so weit absinken kann, daß das Leben im Gewässer abstirbt. Man nennt dies „Umkippen der Gewässer“. Pentanatriumtriphosphat kann nur in der chemischen Reinigungsstufe einer Kläranlage durch Ausfällen beseitigt werden. Ein Teil der öffentlichen Kläranlagen besitzen jedoch noch keine chemische Reinigungsstufe. Umweltschonende Waschmittel enthalten weniger oder kein Phosphat und als Ersatz-Komplexbildner Zeolithe (Seite 249).

Gifte aus Industriebetrieben. Immer wieder werden Fälle von Einleitungen giftiger oder umweltzerstörender Substanzen in Gewässer bekannt. Besonders gefährlich für das Leben in den Gewässern und für den Menschen (Trinkwasser aus Flußuferfiltrat) sind die **chlorierten Kohlenwasserstoffe** (CKW). Dazu gehören die Lösungsmittel Trichlormethan, Tetrachlormethan und Trichlorethen (Seite 192) sowie die als Pflanzenschutzmittel eingesetzten chlorierten Aromaten, wie z.B. DDT und PCB (Seite 275). Es sind starke Gifte, die sogar in kleinsten Mengen wirken, da sie sich im Fettgewebe von Mensch und Tier ansammeln und im Laufe der Zeit zu schweren gesundheitlichen Störungen führen.

Mitarbeiter in den chemischen und anderen Industrien, die mit diesen Stoffen arbeiten, sind zu sachgemäßem und verantwortungsvollem Gebrauch verpflichtet. Die Beseitigung von Abfällen mit chlorierten Kohlenwasserstoffen ist in speziellen Verbrennungsanlagen möglich (Bild 265/2).

Erdölprodukte. Das Ablassen von Altöl in Gewässer bzw. den Boden ist eine schwere Umweltschädigung. Es führt zur Verseuchung des Grundwassers (Trinkwasser) und zur Zerstörung des Lebens im Boden und Gewässer. Altöl ist an Sammelstellen abzuliefern. Es wird aufgearbeitet oder sachgemäß verbrannt.

Nitratbelastung. Durch übermäßige Düngung bei intensiv betriebener Landwirtschaft gelangen erhebliche Mengen von Nitrat (NO_3^-) in das Grundwasser sowie in Flüsse und Seen.

Über die Trinkwassergewinnung aus diesen Rohwässern kommt es in das Trinkwasser. Da ein Nitratgehalt von mehr als 50 mg/l im Trinkwasser als gesundheitsschädlich eingestuft wird (nach EG-Norm), muß durch verminderte Düngergabe oder auch durch ein Düngeverbot in Trinkwasserschutzgebieten der Nitratgehalt unter diesem Grenzwert gehalten werden.

8.5.2 Gewässergüte

Die Güte eines Gewässers wird mit physikalisch-chemischen Kennwerten und mit biologischen Gütebeurteilungen erfaßt.

Physikalisch-chemische Kennwerte sind z.B. der pH-Wert, der Gehalt an gelöstem Sauerstoff, der Gehalt an Ionen und organischen Stoffen, die elektrische Leitfähigkeit, die Temperatur und der CSB-Wert. Der „Chemische Sauerstoff-Bedarf“, kurz CSB-Wert, gibt die Sauerstoffmenge an, die erforderlich ist, um die organischen Inhaltsstoffe chemisch zu oxidieren. Er ist ein Maß für den Gehalt an insgesamt im Abwasser enthaltenen organischen Verunreinigungen.

Biologische Gütebeurteilungen sind z.B. der „Biologische Sauerstoff-Bedarf“, kurz BSB-Wert genannt, und sogenannte Bio-Indikatoren.

Der **BSB-Wert** gibt die Sauerstoffmenge an, die von Mikroorganismen verbraucht wird, um die im verschmutzten Wasser enthaltenen organischen Bestandteile biologisch abzubauen.

Bio-Indikatoren sind Indikator-Organismen, wie z.B. bestimmte Fische, Kleinkrebse, Wasserpflanzen, Algen usw.

Ausgehend von der Erkenntnis, daß sich in einem natürlichen Gewässer typische biologische Lebensgemeinschaften ausbilden, wurde ein biologisches Gütebeurteilungssystem, das sogenannte **Saprobien-system**, entwickelt. In ihm sind Gewässergüteklassen von I bis IV charakteristischen Lebensgemeinschaften zugeordnet. Mit ihnen kann der Zustand eines Gewässers beurteilt werden.

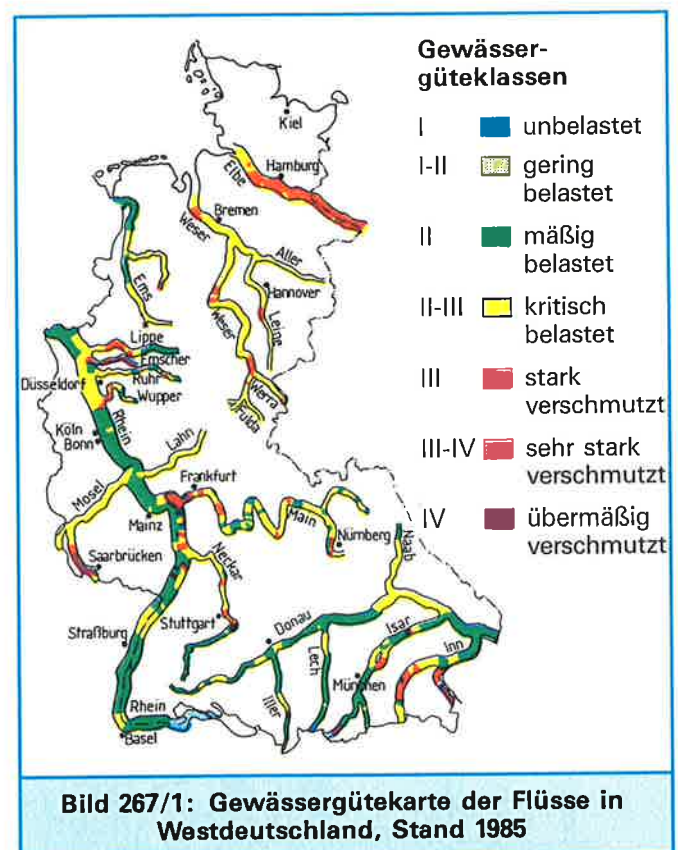
In **Gewässergütekarten** sind die Güteklassen mit verschiedenen Farben gekennzeichnet (**Bild 267/1**).

Während die physikalisch-chemischen Kennwerte nur eine Augenblicksbeschreibung geben, erlauben die biologischen Gütebeurteilungen eine Aussage über die Güte eines Gewässers in einem vorangegangenen Zeitabschnitt.

Physikalisch-chemische Kennwerte können einen Parameter in einem Gewässer exakt beschreiben, für die Gütebeurteilung eines Gewässers haben die biologischen Indikatoren größere Aussagekraft.

Gesetzgebung

Die wichtigsten Rechtsvorschriften im Umweltschutzbereich Wasser sind das **Wasserhaushaltsgesetz** und das **Abwasserabgabengesetz**. Für die Einleitung von Abwasser in natürliche Gewässer gilt, daß ihre Menge und Schädlichkeit so gering zu halten ist, wie dies bei der Anwendung der anerkannten Regeln der Technik möglich ist. Die Grenzwerte werden je nach dem aktuellen Stand der Technik festgelegt.



8.5.3 Abwasserreinigung

Hauptverursacher von Abwässern sind zum einen die privaten Haushaltungen mit Handwerk und Kleingewerbe sowie zum anderen Industriebetriebe. Man spricht dementsprechend von kommunalen bzw. von industriellen Abwässern. Heute werden in Deutschland annähernd alle Abwässer gereinigt.

Industrieabwässer

Industrieabwässer, die den biologischen Klärprozeß in kommunalen Abwasserreinigungsanlagen stören würden, müssen in Industriekläranlagen vorgereinigt werden. Der Reinigungsprozeß hängt von den Inhaltsstoffen im Abwasser ab.

Im allgemeinen verläuft er nach den Verfahrensschritten: Grobklärung — Ölabscheidung — Naßchemische Entgiftung — Fällung, Ausflockung, Sedimentation — sowie in Spezialfällen zusätzlich Ionenaustausch und Ultrafiltration (Seite 158, 159). Das vorgereinigte Industrieabwasser wird dann meist in eine kommunale Abwasserreinigungsanlage geleitet, wo es noch mechanisch-biologisch gereinigt wird.

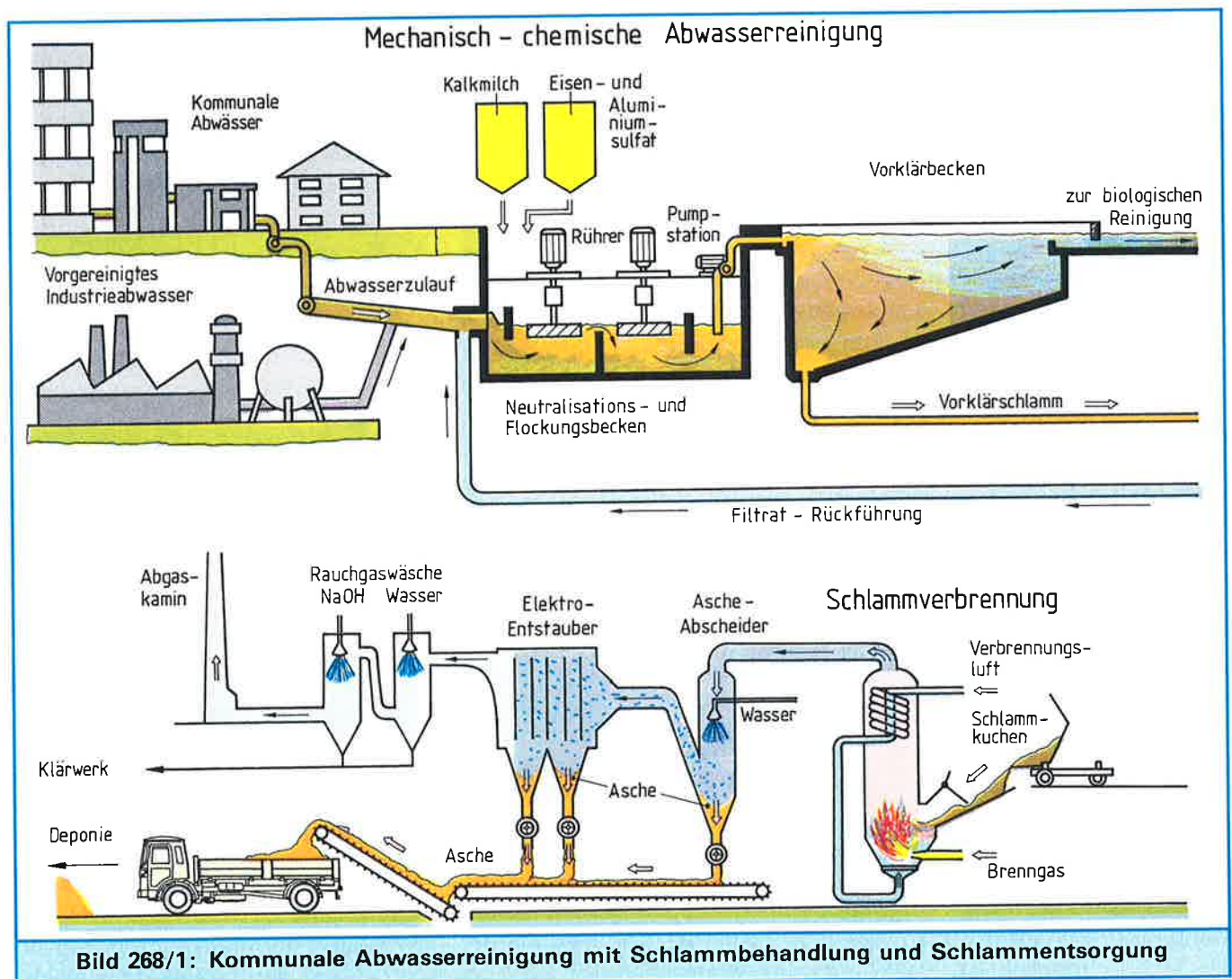
Industrieabwässer mit hohem Anteil giftiger organischer Bestandteile werden verbrannt (Bild 265/2).

Mechanisch-chemisch-biologische Reinigung kommunaler Abwässer

Stand der Technik für kommunale Abwässer ist die mechanisch-chemisch-biologische Reinigung (Bild 268/1).

Die erste Behandlungsstufe ist das **Neutralisations- und Flockungsbecken**. Hier erfolgt die Neutralisation der in der Regel sauren Abwässer durch Kalkmilch $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Durch Zusatz von Eisen- oder Aluminiumsulfatpulver als Flockungsmittel werden im Abwasser gelöste Phosphate ausgefällt und zusammen mit anderen feinverteilten Schwebestoffen ausgeflockt (Chemische Teilreinigung).

Dann wird das Abwasser in großvolumige **Vorklärbecken** gepumpt (Verweildauer ca. 1 Stunde), so daß die Schwebestoffe zu Boden sinken und als Vorklärschlamm abgezogen werden (mechanische Reinigung).

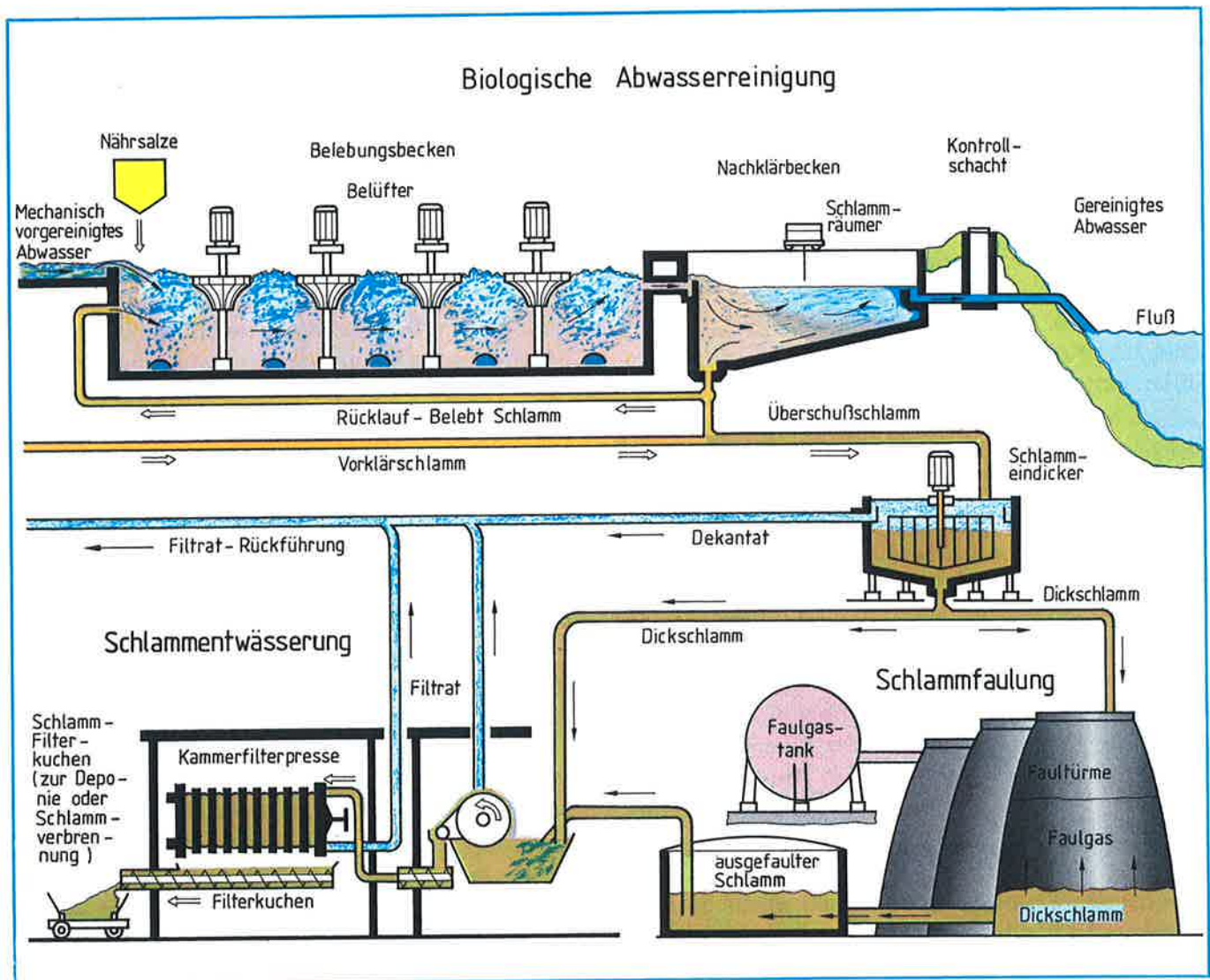


Das mechanisch vorgeklärte Abwasser gelangt dann in das **Belebungsbecken** (biologische Reinigung) und wird mit Rücklauf-Belebtschlamm vermisch. Der Belebtschlamm besteht aus mikroskopisch kleinen, schleimartigen Flocken, die mit einer Vielzahl von speziellen Bakterien und Wimpertierchen besiedelt sind. Die Bakterien nehmen die im Abwasser gelösten organischen Verbindungen als Nahrung in ihre Zellsubstanz auf und werden ihrerseits von den Wimpertierchen gefressen. Auf diese Weise werden die organischen Verbindungen im Abwasser in pflanzliche und tierische organische Substanz umgewandelt.

Um für die Mikroorganismen im Belebungsbecken optimale Lebensbedingungen zu schaffen, wird Luft (Sauerstoff) in das Abwasser eingerührt oder eingeblasen. Falls erforderlich, werden Nährsalze zugegeben. Dies führt zur rasanten Vermehrung der Mikroorganismen, bis alle organischen Verbindungen umgesetzt sind (nach ca. 10 bis 20 Stunden Verweildauer). Das Abwasser, das jetzt einen hohen Anteil an Belebtschlamm enthält, wird dann in die Nachklärbecken geleitet, wo sich der Belebtschlamm im Laufe mehrerer Stunden absetzt. Das über einen Überlauf abfließende, gereinigte Abwasser wird in den natürlichen Wasserkreislauf, meist einen Fluß, geleitet. Ein Teil des Belebtschlammes (Rücklaufschlamm) wird in die Belebungsbecken zurückgeführt und sorgt dort wieder für den biologischen Abbau. Der Überschussschlamm wird abgezogen und in Schlammverdickern auf ca. 5% Feststoffgehalt eingedickt. Zur Schlammbehandlung gibt es mehrere Möglichkeiten:

Bei der **Schlammfaulung** wird der eingedickte Schlamm in Faultürmen durch anaerobe Bakterien in Faulgas (70% CH_4 , 30% CO_2) und ausgefaulten Schlamm umgesetzt. Das Faulgas wird zur Energiegewinnung verbrannt, der ausgefaulte Schlamm nach der Entwässerung als Bodenverbesserer verwendet oder deponiert.

Zur **Schlammverbrennung** oder **Schlammdeponierung** wird der Dickschlamm zuerst in Vakuumdrehfiltern und dann in Kammerfilterpressen auf etwa 40% Feststoffgehalt entwässert. Der Schlamm-Filterkuchen wird entweder auf einer Deponie gelagert oder in einer Verbrennungsanlage verbrannt.



8.6 Umweltschutzbereich Erdboden

Der Boden ist ein wichtiger Teil der Umwelt und mit den darauf wachsenden Pflanzen die bedeutendste Ernährungsgrundlage für das Leben auf der Erde (**Bild 270/1**).

Der Mensch nutzt den Boden auf vielfältige Weise: Zur Nahrungsmittelgewinnung (Landwirtschaft), zur Holzerzeugung, als Standort für Häuser, Industrieanlagen und Verkehrswege sowie als Naturlandschaft zur Erholung und Regenerierung. Darüber hinaus ist der Boden Speicher und Filter für den Wasserhaushalt sowie der Fundort der Bodenschätze.

Auch zur Ablage (Deponierung) von Abfällen aus Haushaltungen, Gewerbe und Industrie dient die „Mutter-Erde“.



Bild 270/1: Ökosystem Boden

8.6.1 Das Ökosystem Boden

Als Boden bezeichnet man die nur einige Dezimeter dicke, obere Schicht der Erdkruste. Er ist entstanden als Umwandlungsprodukt durch Verwitterung der mineralischen Gesteine und aus zersetzten organischen Substanzen. Zusammen mit den Pflanzen und den Organismen sowie Wasser und Hohlräumen bilden sie das komplizierte Ökosystem Boden (**Bild 270/1**).

Durch die vielfältige Nutzung des Bodens (Bodenversiegelung) und den Eintrag von Fremd- und Schadstoffen kann das Ökosystem Boden gestört oder, bei starker Belastung, zerstört werden, so daß es abstirbt. Der Eintrag der Schadstoffe kann direkt erfolgen, z. B. durch übermäßige Gülledüngung, durch Auskippen von Altöl, oder indirekt durch die Niederschläge, in denen viele Luftschadstoffe angereichert sind. So wird z. B. das Waldsterben auf die Schädigung der Baumwurzeln durch den sauren Regen mitverantwortlich gemacht. Sie erfolgt durch in den Boden eingetragene oder durch Säure freigesetzte Schadstoffe.

Der natürliche Boden hat ein großes Aufnahme- und Regenerationsvermögen für viele Schadstoffe. Dies gilt vor allem für organische Stoffe, die von den Mikroorganismen abgebaut werden, aber auch für anorganische Stoffe, die an die Bodenmineralien gebunden werden. Andere Schadstoffe, wie z. B. Mineralöle und chlorierte Kohlenwasserstoffe, oder Schwermetalle, wie Blei oder Cadmium, werden sehr langsam oder überhaupt nicht abgebaut.

Ist das Aufnahme- und Regenerationsvermögen des Bodens erschöpft, so werden die Schadstoffe mit dem versickernden Regenwasser in das Grundwasser geschwemmt oder von den Pflanzen aufgenommen. Über das Trinkwasser und die Nahrungskette können sie auch in den menschlichen Körper gelangen und die Gesundheit gefährden.

Bodenbelastungen. Die größte Belastung für den Boden geht von den riesigen Abfallmengen der Haushalte, der Klärwerke und der Industrie sowie von den durch die Landwirtschaft eingebrachten Düngern und Pflanzenschutzmitteln aus. Außerdem gelangen durch den Regen und sich absetzenden Staub ein Teil der Luftschadstoffe in den Boden.

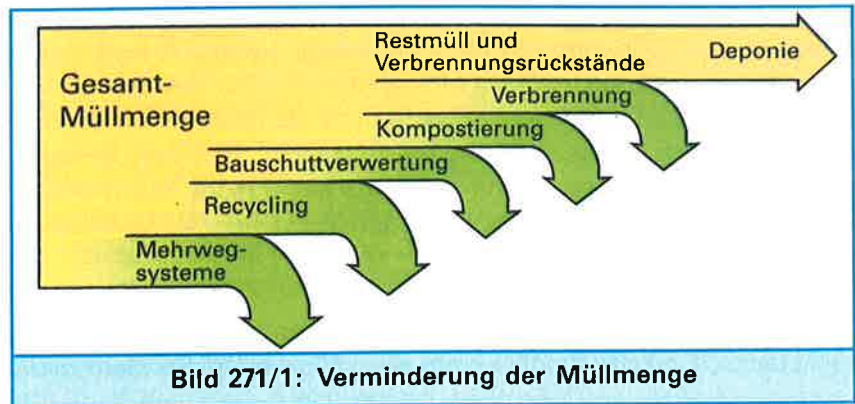
Um die Belastungen für den Boden auf ein verträgliches Maß zu reduzieren, gibt es eine Reihe von **gesetzlichen Vorschriften**: Technische Anleitung Siedlungsabfall, das Abfallbeseitigungsgesetz, das Altölgesetz, das Düngemittelgesetz, das Pflanzenschutzgesetz usw. Auch die Gesetze zur Reinhaltung der Luft und zur Schadstoffbegrenzung in Abwässern wirken indirekt auf eine verminderte Bodenbelastung.

8.6.2 Abfallbeseitigung und Entsorgung

Wie bei allen Umweltschutzmaßnahmen gilt auch hier die Reihenfolge: — Vermeiden — Vermindern — Verwerten — Entsorgen. Ganz erhebliche Müllmengen lassen sich vermeiden, z. B. durch weniger aufwendige Verpackungen, durch wiederverwendbare Auffüllbehälter, durch die Verwendung von Mehrwegflaschen usw.

Mit einer Reihe von Maßnahmen gelingt es, das Müllaufkommen deutlich zu reduzieren (**Bild 271/1**).

Das **Recycling** der Wertstoffe Glas, Altpapier, Kunststoffe und Metalle, erbringt eine wesentliche Minderung und spart Rohstoffe und Energie. Bauschutt und Bauaushub werden im Landschaftsbau verwendet. Rein organische Abfälle werden kompostiert, ein Teil des Mülls wird verbrannt.



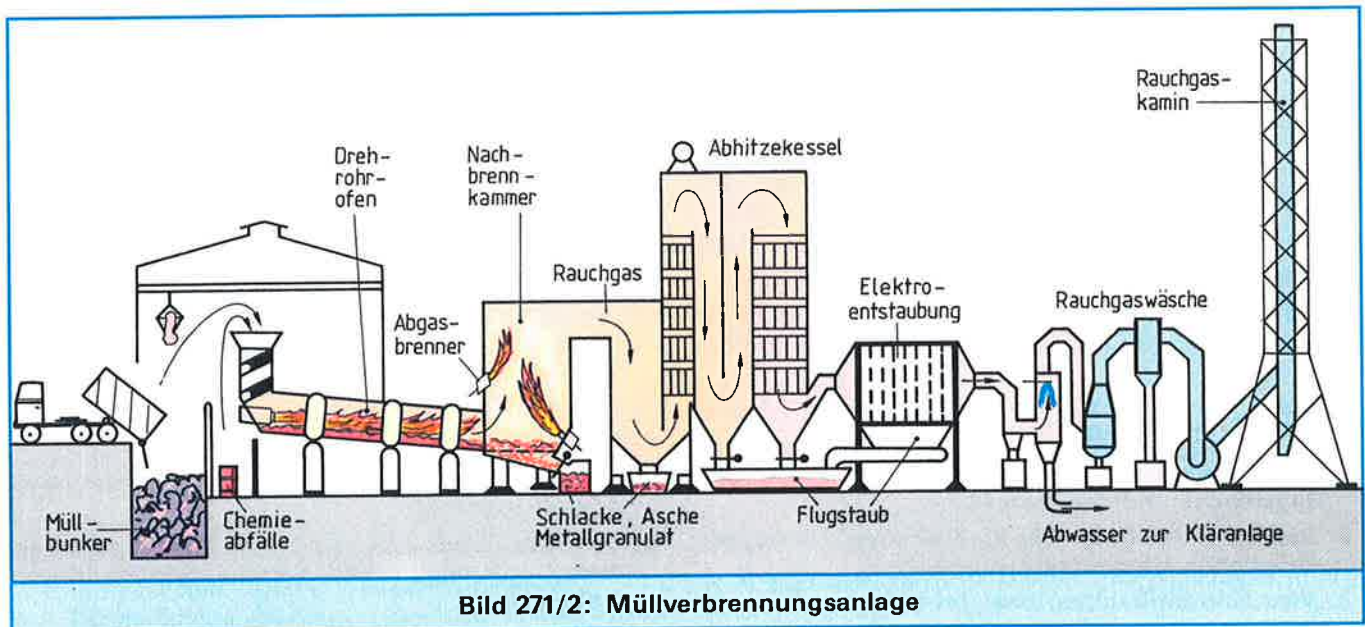
Kompostierung

Zur Kompostierung eignen sich nur organische Abfälle, wie Essensreste, Gartenabfälle, Klärschlamm und in geringer Beimengung auch Papier. Die organischen Abfälle werden unter Zusatz von Kompostierungshilfsmitteln (Altkompost) zu Haufenreihen aufgeschüttet. In einem mehrere Monate dauernden biochemischen Rottevorgang werden die Abfälle durch Mikroorganismen (Bakterien, Pilze, Würmer) in Humus umgewandelt. Er kann zur Bodenverbesserung und als Pflanz Erde wiederverwendet werden.

Müllverbrennungsanlagen

Moderne Verbrennungsanlagen für Hausmüll sind komplexe Industrieanlagen (**Bild 271/2**). Die Verbrennung erfolgt meist in Drehrohröfen mit einer Nachbrennkammer. Bei 1000 bis 1500 °C verbrennt der Müll zu niedermolekularen Verbindungen CO_2 , H_2O , SO_2 , NO_x , NH_3 und einem festen Rückstand aus Asche, Schlacke und Metallgranulat. Das Rauchgas gelangt in einen Abhitzekessel, wo es seine Wärme zur Energiegewinnung abgibt und durchströmt dann eine Entstaubung und Rauchgasreinigung. Im gereinigten Rauchgas sind auch geringe Mengen toxischer Stoffe, z. B. NO_x und in ppm-Mengen Dioxine. Durch eine verbesserte Verfahrensführung und eine thermische Vorbehandlung des Mülls bei 600 °C unter Luftabschluß, der **Pyrolyse**, können die toxischen Stoffe fast ganz vermieden werden.

Durch Verbrennen kann Hausmüll auf etwa $\frac{1}{3}$ seines Volumens reduziert werden. Der Verbrennungsrückstand kann teilweise als Schlacke verwertet, der Rest muß auf Deponien entsorgt werden.



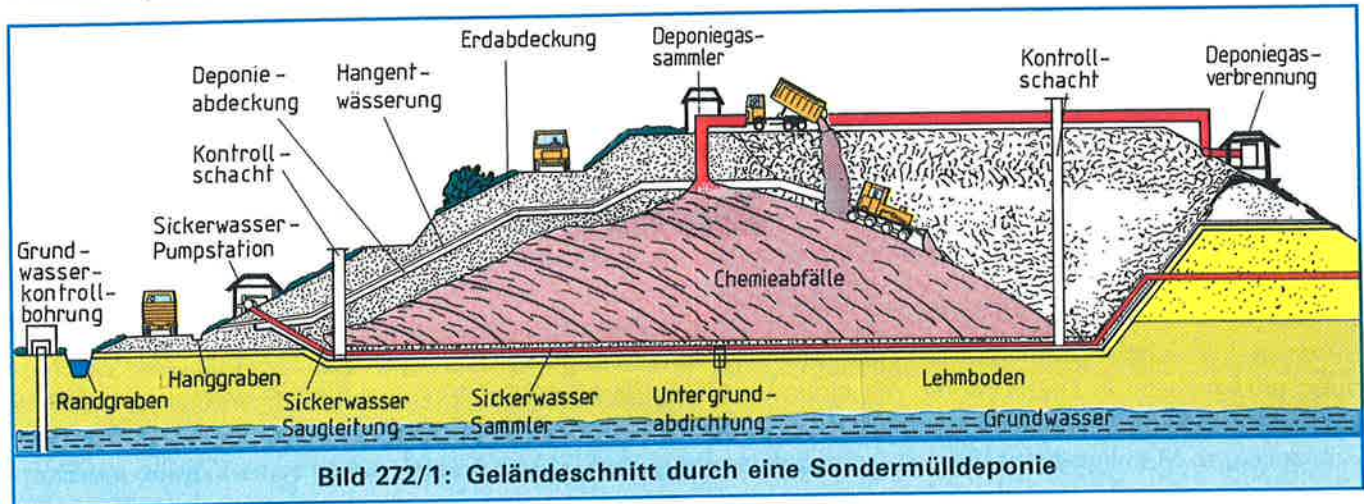
Haumülldeponien

Trotz erheblicher Müllvermeidung und -verminderung verbleibt eine Restmüllmenge, die umweltgerecht entsorgt werden muß. Haumülldeponien sind geordnete und kontrollierte Ablagerungsplätze für diesen Rest-Haumüll. Auf ihnen kann vorsortierter Hausmüll und Schlacke, die keine giftigen und umweltbelastenden Bestandteile enthalten, deponiert werden. Haumülldeponien werden an Geländestellen angelegt, die einen natürlichen Sickerwasser-dichten Untergrund, z. B. aus Lehm, besitzen. Zusätzlich werden sie mit

Kunststoffbahnen gegen den Untergrund abgedichtet und mit Drainagerohren versehen, aus denen das Sickerwasser abgeleitet und einer Kläranlage zugeführt wird. Aufgefüllte Deponiebereiche werden mit Erde reich abgedeckt und begrünt. Im Deponiekörper werden die organischen Bestandteile von anaeroben Mikroorganismen in einem über Jahre und Jahrzehnte andauernden Prozeß in Humus und niedermolekulare, gasförmige Spaltprodukte CO_2 , CH_4 , NH_3 , H_2S usw. zersetzt. Sie gasen aus dem Deponiekörper aus und stören wegen ihrer geringen Menge meist nicht. Nach einigen Jahrzehnten können ehemalige Hausmülldeponien wieder als Erholungslandschaft oder landwirtschaftliche Flächen genutzt werden.

Sondermülldeponien

Umweltbelastende Stoffe, wie Verbrennungsrückstände, unbrennbare Chemieabfälle, Farben und Lackrückstände, Chemieklärschlämme usw. müssen auf Sondermülldeponien abgelagert werden (**Bild 272/1**).



Das Hauptproblem bei Sondermülldeponien ist die Abdichtung gegen das Grundwasser, die mit aufwendigem Untergrundbau, Sickerwassersammlern, Saugleitungen und Auffanggräben sichergestellt wird. Nach oben werden Sondermülldeponien mit einer regendichten Abdeckung versehen, um das Auswaschen von Deponieinhaltsstoffen zu verhindern.

Die abgelagerten Abfälle unterliegen im Deponiekörper den natürlichen Vorgängen der Alterung, Verrottung und Verwitterung. Außerdem kommt es, je nach Inhaltsstoffen, zu vielfältigen chemischen Reaktionen zwischen den Stoffen. Die chemischen und biochemischen Vorgänge können den Deponiekörper erheblich erwärmen. Es entstehen niedermolekulare Spaltprodukte CO_2 , CH_4 , NH_3 und H_2S . Sie sammeln sich durch die haubenförmige, gasdichte Deponieabdeckung am höchsten Punkt, werden in eine Leitung eingespeist und zur Energiegewinnung verbrannt.

Sonderabfalldeponien. Hochgiftige Abfälle, wie z. B. Dioxin-haltige Stoffe oder unbrauchbare Härtesalze (Cyanide) können nicht auf einer üblichen Sondermülldeponie eingelagert werden. Sie werden in Fässer verpackt und in kontrollierten Untertage-Deponien eingelagert, die in aufgelassenen Kalibergwerksstollen eingerichtet sind. Die geologischen Gegebenheiten stellen sicher, daß die hochgiftigen Abfälle nicht in das Grundwasser und die Umwelt gelangen können.

Wiederholungsfragen

1. Was versteht man unter Chemiesierung des Alltagslebens und der Technik?
2. Welche Reihenfolge der Maßnahmen gibt es bei möglichen Umweltbelastungen?
3. Was sind Emissionen bzw. Immissionen?
4. Welches sind die hauptsächlichen Luftverunreinigungen und welche Schadwirkung haben sie?
5. Was gibt der MAK- bzw. MİK-Wert an?
6. Welche Aufgabe hat die TA Luft?
7. Beschreiben Sie die chemischen Vorgänge bei der Rauchgasentschwefelung eines Kraftwerks.
8. Welche chemischen Vorgänge laufen in einem Autokatalysator ab?
9. Wie werden brennbare Abgase in Industriebetrieben entsorgt?
10. Welches sind die gravierendsten Gewässerverschmutzungen und welche Schadwirkung haben sie?
11. Worauf beruht die Gewässergüte-Beurteilung mit Indikator-Organismen?
12. Welche Reinigungsstufen durchlaufen kommunale Abwässer in einer Kläranlage?
13. Was versteht man unter dem Ökosystem Boden?
14. Welche Maßnahmen helfen, die Gesamtmüllmenge deutlich zu reduzieren?

8.7 Arbeitssicherheit beim Umgang mit Chemikalien

Von einer Reihe von Chemikalien ist nachgewiesen, daß sie bei Eindringen in den menschlichen Körper zu gesundheitlichen Schäden, bis hin zu Krebserkrankungen und Tod, führen.

Im Chemiebetrieb und Chemielabor, aber auch in vielen Industriebetrieben und im Schullabor ist der Umgang mit Chemikalien und auch mit giftigen Stoffen zum Teil unumgänglich.

Voraussetzung für das sichere Arbeiten mit gefährlichen Stoffen ist die Kenntnis der Schad- und Giftstoffe sowie geeignete Schutzmaßnahmen. Vom Hersteller steht für jeden Gefahrstoff ein **Sicherheitsdatenblatt** zur Verfügung. Der verarbeitende Betrieb muß daraus für seine Mitarbeiter eine **Betriebsanleitung** erstellen, nach der mit dem Gefahrstoff zu arbeiten ist.

Zudem gelten die **Sicherheitsvorschriften** der *Berufsgenossenschaft der Chemischen Industrie*.

8.7.1 Kennzeichnung von Gefahrstoffen

Damit gefährliche Arbeitsstoffe sofort als solche erkannt werden, sind gemäß der **Gefahrstoffverordnung** für ihre Behälter und Verpackungen international standardisierte Kennzeichnungen vorgeschrieben (**Bild 273/1**). Sie bestehen aus Gefahrstoffsymbolen, Gefahrenhinweisen und Sicherheitsratschlägen (R- und S-Sätze), der Gefahrenklasse gemäß der Verordnung für brennbare Flüssigkeiten (VbF) und den Haupteigenschaften der Stoffe.

Gefahrstoffsymbole

Die Gefahrstoffsymbole geben Hinweise auf mögliche Gefahren, die von dem Inhalt in dem Behälter ausgehen können (**Bild 273/2**). Sie sind zusammen mit dem Chemikaliennamen deutlich sichtbar und dauerhaft auf der Verpackung oder dem Behälter angebracht.

Mögliche Gefahren sind Beeinträchtigungen der Gesundheit durch schädliche, ätzende, giftige oder krebserregende (canzerogene) Stoffe sowie Gefahren für die Sicherheit des Betriebes durch leicht entzündbare, explosionsgefährliche oder brandfördernde Stoffe.

Chemikalien dürfen nur in geeigneten Behältnissen, insbesondere **nicht** in Lebensmittelbehältern, wie z.B. Trinkflaschen, aufbewahrt werden.

Toluol

R 11-20, S 16-29-33 VbF A I

rein

Leichtentzündlich. Gesundheitsschädlich beim Einatmen. Von Zündquellen fernhalten. Nicht rauchen. Nicht in die Kanalisation gelangen lassen. Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladungen treffen.



Leichtentzündlich F Mindergiftig Xn

Bild 273/1: Kennzeichnung von Gefahrstoffen (Beispiel)

 Giftig T Sehr giftig T+	 Mindergiftig Xn Reizend Xi	 Ätzend C
 Leicht entzündlich F Hoch entzündlich F+	 Explosionsgefährlich E	 Brandfördernd O

Bild 273/2: Gefahrstoffsymbole und Bezeichnungen

8.7.2 R- und S-Sätze

Eine genauere Beschreibung der Gefahren und Hinweise für den Umgang mit Gefahrstoffen geben die sogenannten R- und S-Sätze. Dies sind durchnummerierte Hinweise auf besondere Gefahren (R-Sätze) und Sicherheitsratschläge (S-Sätze). Sie sind mit den Gefahrstoffsymbolen auf der Verpackung abgedruckt.

Hinweise auf die besonderen Gefahren (R-Sätze)

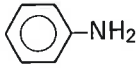


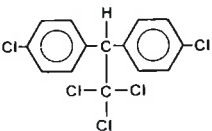
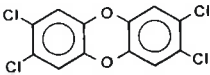
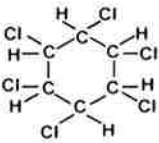
- | | |
|---|---|
| R 1 In trockenem Zustand explosionsgefährlich | R 9 Explosionsgefahr bei Mischung mit brennbaren Stoffen |
| R 2 Durch Schlag, Reibung, Feuer oder andere Zündquellen explosionsgefährlich | R 10 Entzündlich |
| R 3 Durch Schlag, Reibung, Feuer oder andere Zündquellen besonders explosionsgefährlich | R 11 Leichtentzündlich |
| R 4 Bildet hochempfindliche explosionsgefährliche Metallverbindungen | R 12 Hochentzündlich |
| R 5 Beim Erwärmen explosionsfähig | R 13 Hochentzündliches Flüssiggas |
| R 6 Mit und ohne Luft explosionsfähig | R 14 Reagiert heftig mit Wasser |
| R 7 Kann Brand verursachen | R 15 Reagiert mit Wasser unter Bildung leichtentzündlicher Gase |
| R 8 Feuergefahr bei Berührung mit brennbaren Stoffen | R 16 Explosionsgefährlich in Mischung mit brandfördernden Stoffen |
| | R 17 Selbstentzündlich an der Luft |

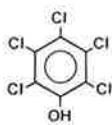
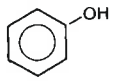
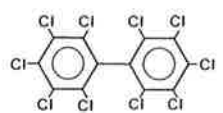
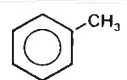
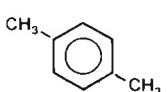
- R 18** Bei Gebrauch Bildung explosionsfähiger/leichtentzündlicher Dampf-/Luftgemische möglich
R 19 Kann explosionsfähige Peroxide bilden
R 20 Gesundheitsschädlich beim Einatmen
R 21 Gesundheitsschädlich bei Berührung mit der Haut
R 22 Gesundheitsschädlich beim Verschlucken
R 23 Giftig beim Einatmen
R 24 Giftig bei Berührung mit der Haut
R 25 Giftig beim Verschlucken
R 26 Sehr giftig beim Einatmen
R 27 Sehr giftig bei Berührung mit der Haut
R 28 Sehr giftig beim Verschlucken
R 29 Entwickelt bei Berührung mit Wasser giftige Gase
R 30 Kann bei Gebrauch leicht entzündlich werden
R 31 Entwickelt bei Berührung mit Säure giftige Gase
R 32 Entwickelt bei Berührung mit Säure sehr giftige Gase
R 33 Gefahr kumulativer Wirkungen
R 34 Verursacht Verätzungen
R 35 Verursacht schwere Verätzungen
R 36 Reizt die Augen
R 37 Reizt die Atmungsorgane
R 38 Reizt die Haut
R 39 Ernste Gefahr irreversiblen Schadens
- R 40** Irreversibler Schaden möglich
R 41 Gefahr ernster Augenschäden
R 42 Sensibilisierung durch Einatmen möglich
R 43 Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich
R 44 Explosionsgefahr bei Erhitzen unter Einschluß
R 45 Kann Krebs erzeugen
R 46 Kann vererbare Schäden verursachen
R 47 Kann Mißbildungen verursachen
R 48 Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition
R 49 Kann Krebs erzeugen beim Einatmen
R 50 Sehr giftig für Wasserorganismen
R 51 Giftig für Wasserorganismen
R 52 Schädlich für Wasserorganismen
R 53 Kann in Gewässer langfristig unerwünschte Wirkung haben
R 54 Giftig für Pflanzen
R 55 Giftig für Tiere
R 56 Giftig für Bodenorganismen
R 57 Giftig für Bienen
R 58 Kann langfristig unerwünschte Auswirkungen auf die Umwelt haben
R 59 Gefährlich für die Ozonschicht

Sicherheitsratschläge (S-Sätze)

- S 1** Unter Verschuß aufbewahren
S 2 Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen
S 3 Kühl aufbewahren
S 4 Von Wohnplätzen fernhalten
S 5 Unter...aufbewahren (geeignete Flüssigkeit vom Hersteller anzugeben)
S 6 Unter...aufbewahren (inertes Gas vom Hersteller anzugeben)
S 7 Behälter dicht geschlossen halten
S 8 Behälter trocken halten
S 9 Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren
S 12 Behälter nicht gasdicht verschließen
S 13 Von Nahrungsmitteln, Getränken und Futtermitteln fernhalten
S 14 Von...fernhalten (inkompatible Substanzen vom Hersteller anzugeben)
S 15 Vor Hitze schützen
S 16 Von Zündquellen fernhalten — Nicht rauchen
S 17 Von brennbaren Stoffen fernhalten
S 18 Behälter mit Vorsicht öffnen und handhaben
S 20 Bei der Arbeit nicht essen und trinken
S 21 Bei der Arbeit nicht rauchen
S 22 Staub nicht einatmen
S 23 Gas/Rauch/Dampf/Aerosol nicht einatmen (geeignete Bezeichnung[en] vom Hersteller anzugeben)
S 24 Berührung mit der Haut vermeiden
S 25 Berührung mit den Augen vermeiden
S 26 Bei Berührung mit den Augen gründlich mit Wasser abspülen und Arzt konsultieren
S 27 Beschmutzte, getränkte Kleidung sofort ausziehen
S 28 Bei Berührung mit der Haut sofort abwaschen mit viel... (vom Hersteller anzugeben)
S 29 Nicht in die Kanalisation gelangen lassen
S 30 Niemals Wasser hinzugeben
- S 33** Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladungen treffen
S 34 Schlag und Reibung vermeiden
S 35 Abfälle und Behälter müssen in gesicherter Weise beseitigt werden
S 36 Bei der Arbeit geeignete Schutzkleidung tragen
S 37 Geeignete Schutzhandschuhe tragen
S 38 Bei unzureichender Belüftung Atemschutzgerät anlegen
S 39 Schutzbrille/Gesichtsschutz tragen
S 40 Fußboden und verunreinigte Gegenstände mit... reinigen (vom Hersteller anzugeben)
S 41 Explosions- und Brandgase nicht einatmen
S 42 Beim Räuchern/Versprühen geeignetes Atemschutzgerät anlegen (geeignete Bezeichnung[en] vom Hersteller anzugeben)
S 43 Zum Löschen... (vom Hersteller anzugeben) verwenden (wenn Wasser die Gefahr erhöht, anfügen: Kein Wasser verwenden)
S 44 Bei Unwohlsein ärztlichen Rat einholen (wenn möglich, dieses Etikett vorzeigen)
S 45 Bei Unfall oder Unwohlsein sofort Arzt zuziehen (wenn möglich, dieses Etikett vorzeigen)
S 46 Bei Verschlucken sofort ärztlichen Rat einholen und Verpackung oder Etikett vorzeigen
S 47 Nicht bei Temperaturen über...°C aufbewahren (vom Hersteller anzugeben)
S 48 Feucht halten mit... (geeignetes Mittel vom Hersteller anzugeben)
S 49 Nur im Originalbehälter aufbewahren
S 50 Nicht mischen mit... (vom Hersteller anzugeben)
S 51 Nur in gut gelüfteten Bereichen verwenden
S 52 Nicht großflächig für Wohn- und Aufenthaltsräume zu verwenden
S 53 Exposition vermeiden — vor Gebrauch besondere Anweisungen einholen

8.7.3 Umweltbelastende und gesundheitsgefährliche Stoffe (Auswahl)

Stoffname	Formel	R/S-Sätze	Eigenschaften, Vorkommen, Wirkung, Verwendung
Acrylnitril	CH_2CHCN	R11-23/24/25-45 S9-16-27-29-44	Krebserregendes Gas; Ausgangsstoff des Kunststoffs Polyacrylnitril.
Ammoniak	NH_3	R10-23 S7/9-16-38	Stechend riechendes, die Schleimhäute reizendes, ätzendes, giftiges Gas, Grundchemikalie.
Anilin		R23/24/25-33 S28-36/37-44	Ölige, giftige und krebserregende Flüssigkeit, Ausgangsstoff für Farbstoffe.
Asbest	Mineral aus Mg-, Fe-, Al-Silikaten	R20, 40, 45 S22, 38	Bildet haarfeine Fasersplitter, die mit der Atemluft in die Lunge eindringen und dort Krebs erzeugen können. Ist in alten Baustoffplatten und Bremsbelägen enthalten (heute verboten).
Blei, Cadmium, Quecksilber und deren Verbindungen	Pb, Cd, Hg PbO_2 , CdS HgCl_2 , $\text{Hg}(\text{CH}_3)_2$	R23-28, 39, 45 S22-41	Schwermetalle. Werden für technische Geräte und Apparate verwendet: Akkumulatoren (Pb, Cd), Batterien (Hg). Die Dämpfe der Metalle sowie deren Verbindungen sind starke Gifte, teilweise Verdacht auf Cancerogenität.
Benzol	C_6H_6 	R11-23/24-39 S9-16-29	Farblose, brennbare Flüssigkeit mit typischem Geruch. Ist mit bis zu 5% im Benzin enthalten. Blutgift mit krebserzeugender Wirkung.
Benzyphen (3,4-Benzpyren)			In reiner Form: gelbe, nadelförmige Kristalle. Wird bei unvollständigen Verbrennungsvorgängen gebildet. Ist enthalten in den Rußteilchen der Dieselabgase, des Tabakrauchs und in angebranntem Grillfleisch. Verursacht Krebserkrankungen.
Blausäure (Cyanwasserstoff)	$\text{H} - \text{C} \equiv \text{N}$	R20-40 S1-53	Nach Bittermandeln riechende, leicht flüchtige, stark giftige Flüssigkeit. Häufiges Zwischenprodukt in der Chemie.
Brom	Br	R26-35 S7/9-26	Rotbraune Flüssigkeit, stark giftig und stark ätzend. Dient zur Herstellung organischer Bromverbindungen.
1,3-Butadien	$\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH} = \text{CH}_2$	R13-45 S9-33	Stark giftiges, krebserregendes Gas. Ausgangsstoff für Butadiengummi.
Chlor	Cl_2	R23-36/37/38 S7/9-44	Leicht grüngelbes, stechend riechendes Gas. Verätzt beim Einatmen die Schleimhäute und das Lungengewebe. Grundchemikalie der Chemieindustrie.
Cyanide	z. B. KCN (Zyankali)	R27, 28 S1, 2, 29, 46	Salze, deren Lösungen extrem giftig sind. Verwendung in der Metalltechnik als Härtesalze.
Dichlordiphenyltrichlorethan (DDT)			Weißer, pulveriger Feststoff, gut löslich. Nur sehr langsam biologisch abbaubar. Bekämpfungsmittel gegen krankheitsübertragende Insekten (Insektizid): Malaria, Schlafkrankheit, Gelbfieber. Gelangt über die Nahrungskette in den menschlichen Körper. Nerven- und Lebergift. (In Deutschland verboten).
Dioxin (Seveso-Gift) 2,3,7,8-Tetrachlor-dibenzodioxid (TCDD)			Wasserunlösliche Flüssigkeit. Entsteht als unerwünschtes Nebenprodukt bei der Herstellung chlorierter Aromaten, z. B. von PCP. Extrem giftige Substanz. Verursacht bei geringen Dosen Chlorakne, bei höheren Konzentrationen Erbschäden und Krebs.
Formaldehyd (Methanal)	$\text{H} - \text{C} = \text{O}$ H	R23/24/25-43 S2-26, 28-51	Farbloses, stechend riechendes Gas, das die Schleimhäute reizt. Grundchemikalie, die zur Herstellung z. B. von Leimharzen und Kunststoffen verwendet wird. Ist krebserregend.
Hexachlorcyclohexan (HCH) (Lindan)			Farbloser Feststoff, Bestandteil vieler Schädlingsbekämpfungsmittel (Insektizid). Wird über die Nahrungskette vom Menschen aufgenommen und reichert sich im Fettgewebe an. Wirkt krankmachend auf Leber und Nieren.

Stoffname	Formel	R/S-Sätze	Eigenschaften, Vorkommen, Wirkung, Verwendung
Kohlenstoffmonoxid	CO	R 12-23 S 7-16	Geruchloses Gas. Entsteht bei unvollständigen Verbrennungsvorgängen. Starkes Blutgift.
Laugen	z. B. NaOH Ca(OH)₂	R 35, 36, 38 S 2, 7, 24-29	Je nach Art und Konzentration, die Haut reizende bis ätzende Flüssigkeit. Besonders die Augen vor Laugenspritzern schützen.
Monochlorethen (Vinylchlorid)	H₂C=CHCl	R 13-45 S 9-33	Farbloses, die Schleimhäute reizendes Gas. Verursacht schwere gesundheitliche Störungen, Leberkrebs. Dient zur Herstellung des Kunststoffs PVC.
Pentachlorphenol (PCP)			In reiner Form: weißer Feststoff mit nadelförmigen Kristallen. Schädlings-, Unkrautbekämpfungs- und Holzschutzmittel (Insektizid, Herbizid, Fungizid). Dünstet aus behandelten Holzverkleidungen aus. Leber- und Nervengift. In Deutschland verboten.
Phenol		R 24/25-34 S 2-28-44	Farbloser Feststoff (F = 43 °C) mit unangenehmem Geruch. Verätzt die Haut, ist stark giftig. Grundchemikalie zur Herstellung von komplizierten aromatischen Verbindungen.
Polychlorierte Biphenyle (PCB) z. B. Dekachlorbiphenyl			Unbrennbare, temperaturbeständige Flüssigkeit mit hohem Siedepunkt. Wird als Kühlflüssigkeit (Transformatorenöl) und Hydraulikflüssigkeit sowie als Weichmacher für Kunststoffe verwendet. Nieren- und Lebergift. Krebserregend. In Deutschland verboten.
Phosgen	COCl₂	R 20-27, 36-40 S 1-39	Süßlich riechendes, stark giftiges Gas. Zwischenprodukt bei der Polyurethan- und Polycarbonat-Herstellung (Kunststoffe).
Salpetersäure	HNO₃	R 8-35 S 2-27	Stark ätzende Säure, bildet mit organischen Stoffen NO ₂ -Dämpfe, die stark giftig sind.
Schwefeldioxid	SO₂		Stechend riechendes Gas, kommt im Abgas schwefelhaltiger Brennstoffe wie Kohle und Erdöl vor. Reizt und verätzt die Schleimhäute, schädigt die Pflanzen.
Schwefelsäure	H₂SO₄	R 20-38 S 2-30	Stark ätzende Säure.
Schwefelwasserstoff	H₂S	R 13-26 S 1-45	Nach faulen Eiern riechendes, stark giftiges Gas. Verätzung der Augen.
Stickoxide (nitrose Gase)	NO, NO₂		Farbloses bzw. braunes Gas. Entstehen bei hohen Temperaturen aus dem Stickstoff und Sauerstoff der Luft, z. B. bei Verbrennungsvorgängen. Wirken ätzend auf die Schleimhäute, Blut- und Lungengift.
Tetrachlorethen (Tetrachlorethylen) (kurz Per)	CCl₂=CCl₂	R 20/22 S 2-25	Wasserklare Flüssigkeit Sehr giftig Canzerogen
Tetrachlormethan (Tetrachlorkohlenstoff, kurz Tetra)	CCl₄	R 26-28 S 2-45	Wasserklare, angenehm frisch riechende Flüssigkeit, nicht brennbar, giftig, Verdacht auf Cancerogenität, Verwendung als Fettlösungsmittel.
Toluol		R 11-20 S 16-29-33	Aromatisch riechende, brennbare, giftige Flüssigkeit. Reizt die Schleimhäute. Minder giftig als Benzol.
Trichlorethen (Tri)	CHCl=CCl₂	R 20-22 S 2-25	Frisch riechende, wasserklare Flüssigkeit, giftig, Verdacht auf Cancerogenität, Lösungs- und Reinigungsmittel.
Trichlormethan (Chloroform)	CHCl₃	R 20 S 2-25	Süßlich riechende, unbrennbare, betäubende Flüssigkeit, giftig, Verdacht auf Cancerogenität. Lösungs- und Reinigungsmittel.
Wasserstoffperoxid	H₂O₂	R 34 S 28-39	Wasserklare Flüssigkeit, wirkt ätzend. In konzentrierter Form stark ätzend und explosibel.
Xylole (Dimethylbenzole) z. B. p-Xylol		R 10-20 S 24/25	Wasserklare Flüssigkeit mit einem Siedepunkt von 138,4 °C und einem Schmelzpunkt von 13 °C. Kommt im Erdöl vor. Wird aus Topbenzin durch Reformieren hergestellt (Seite 223). Lösungs- und Verdünnungsmittel für Kunststoffe; Ausgangsstoff für die Kunststoffherstellung (Ungesättigte Polyester). Mindergiftig.