

С.П. Островская, М.К.Соколова

НЕМЕЦКИЙ ЯЗЫК
UMWELT UND DER MENSCH

Часть I

**Учебно-методическое пособие
для магистров и аспирантов**

**Санкт-Петербург
2016**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»**

ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ

С.П. Островская, М.К. Соколова

НЕМЕЦКИЙ ЯЗЫК

UMWELT UND DER MENSCH

Часть I

**Учебно-методическое пособие
для магистров и аспирантов**

**Санкт-Петербург
2016**

УДК 803.0(075)
ББК 81.2 нем.
Н 501

Островская С.П., Соколова М.К. Немецкий язык.
Umwelt und der Mensch. Часть I: учебно-методическое пособие
для магистров и аспирантов / ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб., 2016. – 98 с.

Настоящее пособие предназначено для студентов магистратуры по направлениям 20.04.01 "Техносферная безопасность", 18.04.02 "Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии" с целью усовершенствования знаний, полученных за годы обучения в бакалавриате. Данные тексты можно также использовать для подготовки в аспирантуру и на занятиях в аспирантуре.

Рецензенты: зав. кафедрой иностранных языков ВШТЭ СПбГУПТД
канд. филол. наук, профессор В.В. Кириллова

Рекомендовано к печати Редакционно-издательским советом в
качестве учебно-методического пособия Высшей школы технологии и
энергетики СПбГУПТД.

© Высшая школа технологии и энергетики
СПбГУПТД, 2016

© Островская С.П.,
Соколова М.К., 2016

Umweltthema: Wasser

Was ist eigentlich «Wasser»?

Wasser ist eine chemische Verbindung, die aus nur zwei von 111 Elementen besteht: aus Wasserstoff und Sauerstoff.

Warum heißt der Sauerstoff Sauerstoff?

Dieses Element heißt nicht etwa deswegen so, weil die Luft, in der es zu etwa einem Fünftel vorkommt, oder das Wasser sauer darüber geworden sind, dass sie es enthalten, sondern weil der französische Gelehrte Lavoisier, Mitbegründer der modernen Chemie, vor über 200 Jahren (wenige Jahre nach Entdeckung dieses Elements) meinte, dieser Stoff verleihe den Säuren deren typische, echt ätzende Eigenschaften, sei der “sauermachende” Stoff. Das war allerdings nicht der Grund dafür, dass am 8. Mai 1794 das Fallbeil der Guillotine den Kopf des Guten vom Rumpf abtrennte, da sich diese Behauptung erst später als einer seiner wenigen Irrtümer herausstellte.

Warum ist Wasser überhaupt flüssig?

1 Atom Sauerstoff und 2 Atome Wasserstoff sind in den Wassermolekülen mit der jedem bekannten Formel H_2O miteinander verbunden. Untereinander ziehen sich diese Moleküle sehr stark an. Eine Ursache dafür ist der gewinkelte Aufbau dieser Teilchen. Bevor einzelne Wassermoleküle den Flüssigkeitsverband verlassen können, müssen diese Anziehungskräfte überwunden werden, wozu sehr viel Energie erforderlich ist. Daher siedet (kocht) Wasser erst bei 100 °C bei normalem Luftdruck (und nicht schon bei -70 °C). Somit ist Wasser bei Raumtemperatur nicht gasförmig wie andere leichte Moleküle, z. B. das geradlinig aufgebaute Kohlendioxid oder das dem Mist seinen charakteristischen Geruch verleihende Ammoniak.

Welche Eigenschaften hat Wasser noch?

Eine weitere für das Leben - aber auch das Eislaufen - so wichtige, einzigartige, anormale Eigenschaft des Wassers ist die Tatsache, dass Gewässer von oben (und nicht von unten) zufrieren. Ursache dafür ist, dass Eis eine geringere Dichte hat als Wasser und dadurch auf dem Wasser schwimmt. Diese Eigenschaft eines Stoffes lässt sich wieder, ebenso wie viele andere, über den Aufbau der Stoffe erklären. Eine

Reihe von Stoffen, z. B. der „Genuss“-Alkohol Ethanol, Kochsalz (Natriumchlorid), andere Salze oder besonders auch Zucker lösen sich in großen Mengen in einer Portion Wasser, was jeder nachprüfen kann. Ein konzentriertes Zuckerwasser ist wie ein klarer Schnaps ein extrem verschmutztes Wasser mit einem sehr hohen biologischen Sauerstoffbedarf. Klarheit ist also aufgrund der vielen lösbaren Stoffe oftmals kein Merkmal für sauberes, reines Wasser. Dies erkennt man recht gut an den vielen sehr klaren skandinavischen Seen, die durch sauren Regen so übersäuert sind, dass aufgrund des extrem niedrigen pH-Wertes kein Fisch mehr in ihnen leben kann.

Fazit: Wenn Wasser rein ist, ist es auch klar; wenn es klar ist, ist es aber nicht unbedingt immer auch rein!

Zucker löst sich, gleich so wie andere Feststoffe (z. B. Salze), in heißem Wasser (oder Kaffee) besser als in kaltem. Bei Gasen wie dem Sauerstoff ist es umgekehrt. Wird ein Gewässer erwärmt, wird es einigen Sauerstoffmolekülen zu warm und dieser nicht mehr lösbarer Sauerstoff entweicht an die Luft. Erwärmt man Wasser, kann jeder das Entweichen von gelösten Gasen beobachten. Von daher sind auch Einleitungen von erwärmten Abwässern (wie z. B. Kühlwässern aus Kernkraftwerken) in ein Gewässer ökologisch schädlich, weil durch die Erwärmung die Löslichkeit des für die meisten Wasserorganismen ebenfalls lebensnotwendigen Sauerstoffs vermindert wird, Organismen abwandern oder gar sterben. Während langer und heißer Trockenperioden, wie im Sommer 2003, sind die Flüsse erwärmt und haben extrem niedrige Wasserstände. Kernkraftwerke müssen dann ihre Stromproduktion einstellen. Die Entstehung von Leben erfolgte im Wasser. Die Entwicklung der Lebewesen, die **Evolution**, wäre auf der Erde ohne Wasser nicht möglich gewesen. Wir Menschen bestehen größtenteils aus Wasser (Säuglinge zu rund 75 %, Erwachsene zu ca. 70 %). Verlieren wir ein Fünftel davon, sterben wir. Nur wenige Tage kommen wir ohne Wasserzufuhr aus. Wasser ist für jeden Menschen lebensnotwendig (**essenziell**).

Haben wir auf unserem Planeten Erde genug trinkbares Wasser?

Obwohl über zwei Drittel der Erdoberfläche mit Wasser bedeckt sind, ist die zur Trinkwassernutzung verfügbare Menge des „Süß“wassers recht gering, vor allem im Hinblick auf die weiterhin explosionsartig, um etwa 90 Millionen pro Jahr zunehmende Weltbevölkerung. Rund 137 Liter Trinkwasser gebraucht jeder Einwohner von Troisdorf

täglich, etwa das Volumen eines Vollbades in der Badewanne. Entsprechen diese 137 Liter dem Gesamtwasservorrat der Erde (die Wassermengen auf unserem Planeten sind in Abb. 1 wiedergegeben), dann entfielen davon nur etwa ein halber Eimer voll (etwas über 4 Liter) auf “Süß”wasser, da über 97 % des Wassers der Erde salziges Meerwasser sind!

Von diesem halben Eimer wären über 77 % Polar- und Gletschereis und nur etwas weniger als ein Liter (entspricht etwa fünf Kölsch) Grundwasser, von dem nur der kleinere Teil in Tiefen bis 800 m vorkommt. Ein knappes Likörglas voll wäre Oberflächenwasser, hauptsächlich aus Seen. Nur ein „winziges Schlöckchen“ wiederum davon wäre Flusswasser! Dieses Beispiel zeigt wohl recht deutlich, wie knapp, kostbar und besonders schützenswert gerade Grund- und Oberflächenwasser sind, vor allem natürlich in den ariden (trockenen) Regionen (was jeder, der schon mal in einer Wüste einer besonders gerne zur Mittagszeit auftretenden Fata Morgana mit letzten Kräften hinterhergehechelt ist, hinlänglich verspürt haben dürfte). Aber auch in unseren humiden (feuchten) Gebieten besteht absolut kein Anlass, mit Trinkwasser verschwenderisch umzugehen, es gedankenlos zu vergeuden, denn Grundwasser ist, ebenso wie andere Rohstoffe, nicht unbegrenzt vorhanden. Aus Grundwasser wird bei uns etwa 70 % des Trinkwassers gewonnen. Seinem Schutz dient die **Grundwasserverordnung**, durch die die **EU-Richtlinie über den Schutz des Grundwassers** in deutsches Recht umgesetzt wurde.

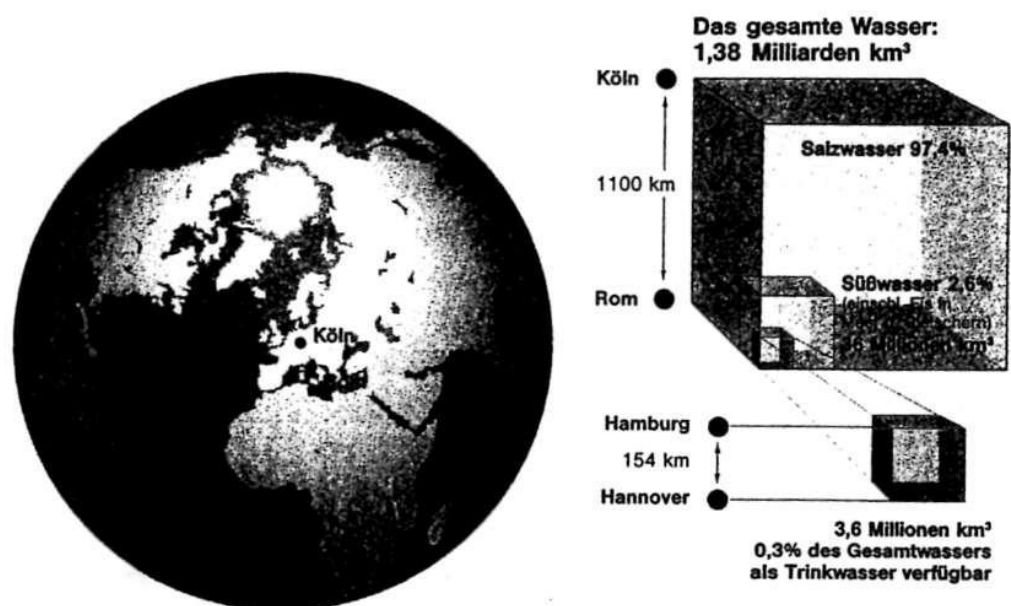


Abb.1: Die Wassermengen unseres Planeten Erde.

Zur Herstellung eines Pkw benötigt man ca. 380000 Liter Wasser. Weltweit wächst der Wasserverbrauch seit 100 Jahren doppelt so schnell wie die Bevölkerung. In über 80 Staaten herrscht Wassermangel. Es werden immer mehr. 1,7 Milliarden Menschen haben keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser. Das sind über ein Fünftel der Menschheit! Rund 80 % aller Krankheiten in den sog. Entwicklungsländern sind darauf zurückzuführen. Jährlich sterben viele Millionen Menschen daran, pro Tag 55000 Kinder, davon sind 6000 jünger als 5 Jahre!

Die langfristige Sicherung der Versorgung mit Wasser und die Reinigung von Abwässern zählen zu den wichtigsten Aufgaben der **Daseinsvorsorge**! Der Kreislauf des Wassers in der Natur ist in Abb. 2 dargestellt.

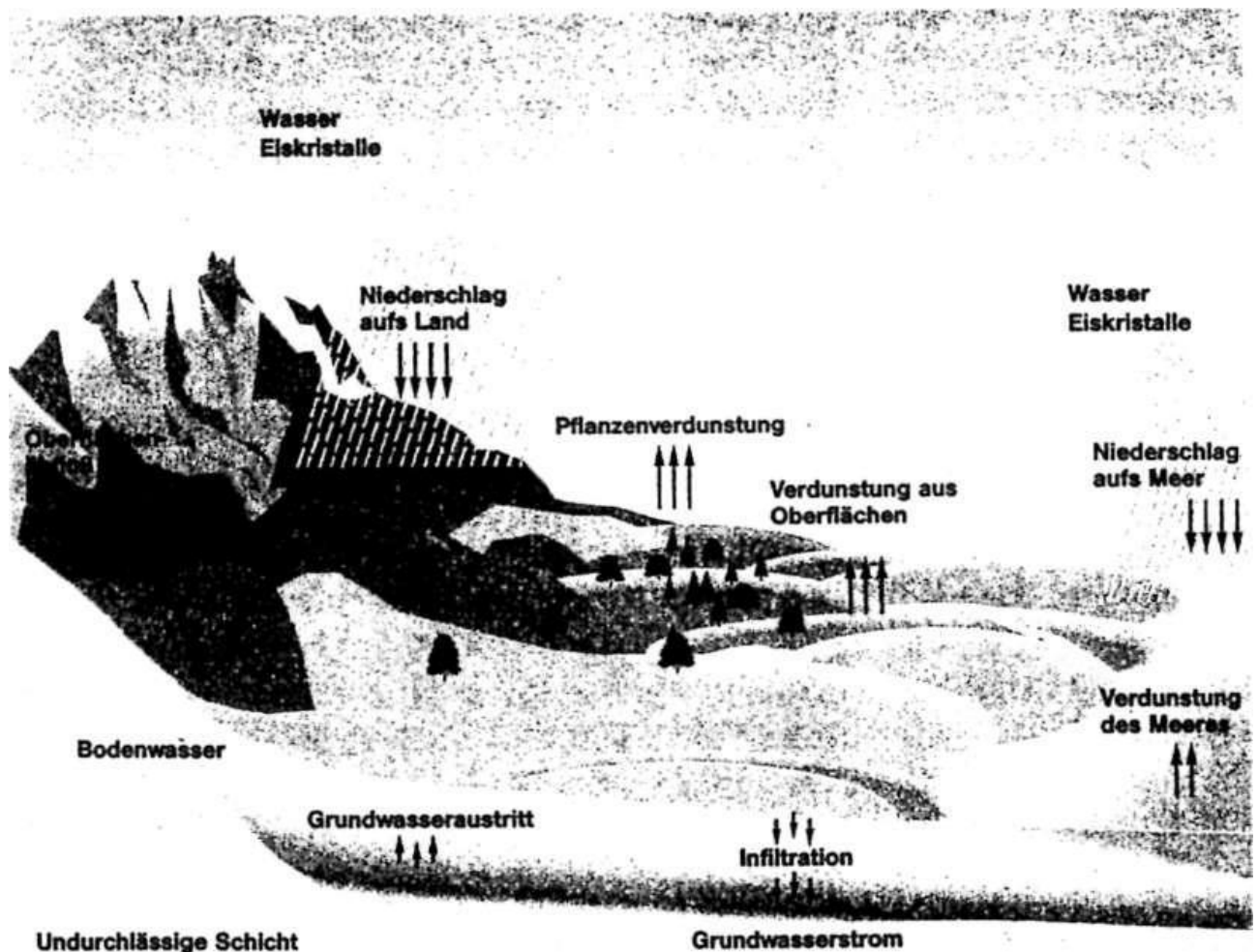


Abb. 2: Der Kreislauf des Wassers in der Natur.

Ohne Einbußen an hygienischer Sicherheit und Sauberkeit lässt sich der durchschnittliche Trinkwasserverbrauch in Deutschland von etwa 120 Litern pro Kopf und Tag auf 100 Liter pro Einwohner und Tag

(Zielvorgabe des Bundesumweltministeriums) weiter reduzieren. (In den USA beträgt dieser Verbrauch fast 300 Liter, in Indien nur 25 Liter.). **Voraussetzung dafür ist allerdings, dass jeder von uns Wasser spart, Maßnahmen dazu trifft und anwendet.** Nur etwa 2 Liter davon werden täglich getrunken. Zum Kochen werden 5 Liter verwendet. Die Wasserversorgungsunternehmen informieren jeden Bürger über solche **Wassersparmaßnahmen** wie Duschen statt Baden, Beseitigung von Undichtigkeiten bei (nicht krähenenden) Wasser-„Hähnen“ und Toilettenspülungen (Verliert nur 1 Wasser“hahn“ pro Sekunde 1 Tropfen Wasser, sind das nach einem Tag bereits 17 Liter!), Einbau von Durchflussmengenbegrenzern oder über Anlagen zur **Nutzung des** sehr weichen **Regenwassers** für Toilettenspülung (ca. 32 % des Wasserverbrauchs), Wäschewaschen (ca. 12 % des Wasserverbrauchs) und Garten (ca. 4 % des Wasserverbrauchs). Gerade letzterem sehr wichtigen Ziel dient manche **Abwasser-gebührensatzung** von Kommunen, z. B. die der Stadt Troisdorf. Je weniger Regenwasser in die Kanalisation eingeleitet wird, um so geringer sind die zu zahlenden Gebühren. **Auch von daher ist der Bau von Anlagen zur Sammlung und Nutzung von Regenwasser sehr ratsam** für private Haushalte, Gewerbe- und Industriebetriebe oder für öffentliche Gebäude.

Was ist eigentlich «Trinkwasser»?

Neben den gelösten Stoffen kann Wasser noch grob verteilte Stoffe enthalten, die dann Ursache für die Trübung sind. Ein Beispiel wäre Lehmwasser. Chemisch reines Wasser enthält weder Mikroorganismen noch irgendwelche anderen Stoffe. Es kann durch Destillation (Verdampfen und Abkühlen) erhalten werden. Zum Nachfüllen von Autobatterien braucht man es. Man hüte sich aber tunlichst davor, chemisch reines, destilliertes oder über Ionenaustauscher entsalztes Wasser zu trinken! Bei größeren getrunkenen Mengen besteht sogar die Gefahr des vorzeitigen Ablebens!

Trinkwasser ist der Natur entnommenes und nach strengen rechtlichen Vorgaben aufbereitetes Wasser.

Können wir das Trinkwasser ohne weiteres trinken, oder müssen wir es erst durch einen Filter schicken?

Trinkwasser ist wie chemisch reines Wasser klar, aber eben zum Glück nicht chemisch rein, da es viele Stoffe in gelöster Form enthält. Eine Reihe von ihnen sind lebensnotwendig (essenziell), wie viele **Spurenelemente**. Trinkwasser ist das bestüberwachte Lebensmittel überhaupt. Es muss den hohen Anforderungen der **Richtlinie der Europäischen Gemeinschaft (EG) über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (EG-Trinkwasserrichtlinie)** entsprechen, bevor es an uns Verbraucher abgegeben werden darf. Die einzelnen Mitgliedsstaaten der Europäischen Union (EU) müssen diese und alle anderen rechtlichen Vorgaben, wie Verordnungen und Richtlinien, in nationales Recht umsetzen. Die für Deutschland aufgrund dessen geltende **Trinkwasserverordnung** enthält u. a. Grenzwerte für gesundheitsgefährdende Stoffe. An der Entnahmestelle sind diese Werte einzuhalten. Die Grenzwerte für die einzelnen Stoffe sind (um jegliche Gesundheitsgefährdung auszuschließen) sehr niedrig bemessen, vor allem bei den Stoffen, die in höheren Konzentrationen **toxisch** (giftig) wirken. Außerdem darf Trinkwasser keine krankheitserregenden Mikroorganismen (Keime) enthalten. Ergänzend dazu ist das **Infektionsschutzgesetz** zu beachten, nach dem durch Genuss oder Nutzung von Wasser für den menschlichen Gebrauch keine Gesundheitsschädigung, insbesondere nicht durch Krankheitserreger, erfolgen darf und das für Schwimmbadwässer daher gleich so gilt wie für die Beseitigung von Abwässern. Insgesamt sollen die Konzentrationen von Bestandteilen stets so niedrig sein, wie das nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik möglich ist. Weitere Stoffe mit Hilfe von so genannten „Filter“geräten für die Nutzung als Lebensmittel zu entfernen, ist nicht erforderlich, oft nicht möglich und manchmal sogar gefährlich, falls Keime eingetragen, Salze entfernt oder Stoffe rückgelöst werden. ***Wegen der essenziellen Bedeutung kann und sollte jeder Trinkwasser in ausreichenden Mengen trinken.*** Könnte man es nicht, wäre ja auch der Name widersinnig.

Welche Stoffe können im Trinkwasser enthalten sein?

So genannte „Schädlings“bekämpfungsmittel (**Pestizide** oder besser **Biozide**) dürfen - wie andere gefährliche anorganische und organische Stoffe auch - nur in unbedenklich kleinen Konzentrationen vorhanden sein, insgesamt nicht mehr als 0,5 Mikrogramm (millionstel Gramm) pro Liter (µg/L).

Zinnorganische Verbindungen, wie Tributylzinn oder Triphenylzinn, hat die EU - und Deutschland gemäß der **Chemikalien-Verbotsverordnung** - als Bestandteil von Anstrichfarben, für Schiffsrümpfe z. B., verboten. Diese Stoffe zählen zur immer größer werdenden Gruppe der sog. **endokrinen Disruptoren** (endokrin = nach innen absondernd, von engl. disrupt = auflösen, spalten). Dabei handelt es sich um Substanzen, welche die Produktion und Absonderung von im Inneren des Körpers, vor allem in den Drüsen, gebildeten Wirkstoffen, den **Hormonen**, stören, insbesondere die Androgene (männliche Geschlechtshormone) und Östrogene (weibliche Geschlechtshormone). Bei männlichen Meeresorganismen, aber auch anderen Tieren, vor allem der „Wasser-Ernährungskette“ (wie Fröschen und Vögeln), wurden Verweiblichungen von männlichen und Vermännlichungen von weiblichen Organismen festgestellt mit gravierenden Folgen für die Fruchtbarkeit. Immer komplizierter aufgebaute Verbindungen sind potenzielle (mögliche) endokrine Disruptoren. Über 550 Stoffe sind verdächtig, die für Pestizide, Flammschutzmittel, Kosmetika, Medikamente, Farben u. a. verwendet werden und in die Umwelt, vor allem das Wasser, gelangen. Die EU erforscht aus Vorsorgegründen intensiv diese heimtückische Gefahr.

Der Grenzwert für **Nitrat** liegt (für Mineralwässer ebenso) bei 50 Milligramm pro Liter (mg/L). Bei abgepackten Wässern, die als besonders geeignet für Säuglingsnahrung gekennzeichnet sind, darf der Nitratgehalt gemäß der **Mineral- und Tafelwasser-Verordnung** nicht mehr als 10 mg/L betragen. Infolge der Lagerung kann Nitrat in das gefährliche **Nitrit** umgewandelt werden. Nitrit kann bei Kleinkindern die sog. Blausucht (Methämoglobinämie) hervorrufen, die zum Tod durch inneres Ersticken führen kann. Darüber hinaus kann Nitrit bei jedem Menschen mit Bestandteilen der Nahrung zu krebserregenden (kanzerogenen) Stoffen reagieren. Von daher empfiehlt die EU ihren Mitgliedsländern, den Grenzwert für Nitrat langfristig auf den Richtwert von 25 mg/L zu senken.

Viele der Elemente, die im Wasser in Form von geladenen Teilchen (Ionen) enthalten sein können, sind essenziell, meist allerdings bloß in sehr kleinen Mengen. Schon Paracelsus stellte vor rund 500 Jahren fest, dass es nur von der Dosis abhängt, ob ein Stoff giftig wirkt oder nicht. Nimmt man zuwenig oder zuviel von diesen Elementen auf,

führt dies zu Krankheiten oder Vergiftungserscheinungen.

Bekannte Beispiele sind **Jod** (Iod) und Fluor. In Hormonen der Schilddrüse ist Jod enthalten. Ein Mangel führt zur Kropfbildung und überdies während der Schwangerschaft zu schweren Gesundheitsschäden bei Neugeborenen (Zwergwuchs, Schwachsinn, u. a.). Weltweit leben etwa 1 Milliarde Menschen in Jodmangelgebieten. Dazu gehört Deutschland. Als Folge von Jodmangel leiden rund 200 Millionen Menschen an Kröpfen, d. h. einer vergrößerten Schilddrüse, und ca. 20 Millionen Menschen an geistigen Defekten, die bis zur Idiotie reichen. Täglich sollte jeder 150 bis 180 Mikrogramm (millionstel Gramm, μg) Jod aufnehmen.

Fluor ist nicht nur für die Verhütung von Karies von Bedeutung, sondern darüber hinaus für den Skelettaufbau. Eine künstliche Fluoridierung des Trinkwassers wird in Deutschland nicht praktiziert. Zuviel Fluor kann einen gefleckten Zahnschmelz, Haarausfall, Hautentzündungen, Nierenschädigungen u. a. hervorrufen.

Sehr interessant ist ein Element wie **Selen**, dessen essenzielle Bedeutung man erst in jüngerer Zeit erkannt hat. Es steigert die körpereigenen Abwehrkräfte (ebenso wie die Vitamine A, C und E), schützt vor Herz-Kreislauf-Krankheiten, setzt die Wirkung mancher krebserregender Stoffe herab, kann giftige (toxische) Schwermetalle wie Quecksilber (Bestandteil von Zahnamalgam) oder Cadmium binden und biologisch unwirksam machen. Sogar eine gewisse Verzögerung des Alterungsprozesses wird ihm zugeschrieben (ohne dass es ein ewiger Jungbrunnen ist)! Der Bedarf liegt altersabhängig zwischen 5 und 100 Mikrogramm pro Tag ($\mu\text{g}/\text{d}$). In Deutschland ist der Selengehalt der Böden ebenso wie der anderer Spurenelemente (z. B. von Jod) durch Düngung, intensive Bewirtschaftung und Umweltbelastungen wie saurer Regen immer geringer geworden. So gibt es bereits Bäckereien, die Selenbrot anbieten, das mit ausgesuchten selenreichen Getreidesorten aus anderen Ländern hergestellt wird. Der Grenzwert der Trinkwasserverordnung ist von daher mit 10 $\mu\text{g}/\text{L}$ gewiss nicht zu hoch, obwohl dieses Element in „größeren Mengen“ ebenfalls stark toxisch wirkt.

Eines der lebensnotwendigsten Spurenelemente ist **Eisen**. Es wird größtenteils für die Blutbildung benötigt (wie übrigens auch **Cobalt**, das Bestandteil des Vitamins B 12 ist, **Kupfer** sowie **Nickel**, dessen Trinkwasserverordnungsgrenzwert allerdings von 50 auf 20 $\mu\text{g}/\text{L}$

gesenkt wurde, da es in „höheren“ Konzentrationen gleichermaßen toxisch wirkt). Das restliche Eisen ist als Bestandteil von Enzymen (**Enzyme** sind Biokatalysatoren, die einzelne chemische Reaktionen in der „chemischen Fabrik“ Körper bei dessen Temperatur überhaupt erst ermöglichen) an vielen gesunderhaltenden Stoffwechselvorgängen beteiligt oder wird als Depot gespeichert. Im Knochenmark wird es mit Hilfe von Kupfer in den roten Blutfarbstoff **Hämoglobin** eingebaut. Hämoglobin transportiert den Sauerstoff von der Lunge in alle Zellen unseres Körpers und auf dem Rückweg Kohlendioxid, das dann über die Lunge ausgeatmet wird. Rund 5 bis 20 mg Eisen brauchen wir jeden Tag, Schwangere 30 mg/d. Vom essenziellen Spurenelement **Molybdän** benötigt jeder Mensch täglich ca. 75 bis 250 µg (Mikrogramm). Es aktiviert bestimmte Enzyme. In unserem wichtigsten Stoffwechselorgan, der Leber, ist es vorhanden und hat Bedeutung für deren Entgiftungsfunktion. Ferner ist es wichtig für die Leistung des Nervensystems, des Gehirns und der Muskeln, für die Neubildung der Haut, das Haarwachstum und fördert sowohl die Fluorideinlagerung in die Zähne als auch die Calciumeinlagerung in die Knochen. Wachstumsstörungen, schlechtes Allgemeinbefinden und eine verkürzte Lebenserwartung können Folge eines Molybdänmangels sein.

Für ca. 200 von rund 1800 Enzymen ist das nach Eisen zweitwichtigste Spurenelement **Zink** von außerordentlicher Bedeutung. Vom Zink werden fast alle lebenserhaltenden Prozesse der Körperzellen in irgendeiner Weise beeinflusst. Immunabwehr und Wundheilung werden gefördert. Wachstums-, Sexual-, Geruchs- und Geschmacksstörungen, Appetitmangel, Haarausfall und Hautveränderungen können Folge eines Mangels dieses so wichtigen Spurenelementes sein. Wegen des Gehalts an hochgiftigen Elementen wie Blei, Cadmium und Arsen dürfen verzinkte Leitungen oder Rohrleitungen aus Zink oder Zinklegierungen für die Trinkwasserversorgung nicht mehr verwendet werden.

Kupfer dagegen ist ein heute noch häufig verwendetes Wasserrohrleitungsmaterial. Vor allem saure Wässer können dieses Element allerdings lösen, bevorzugt mit zunehmender Verweildauer. Bei Kleinkindern hat eine zu hohe Kupferaufnahme schon zur tödlichen Leberzirrhose geführt (das Wasser entsprach jedoch nicht den Anforderungen der Trinkwasserverordnung), bei Erwachsenen

kann es zu Brechdurchfällen kommen. Die Gefahr einer überhöhten Kupferaufnahme über das Trinkwasser besteht so lange wohl nicht, wie der pH-Wert im alkalischen (basischen) Bereich, d. h. über 7, liegt. Das essenzielle Element, dessen Bedarf bei ca. 1 bis 5 mg/d (Milligramm pro Tag) liegt, wirkt bei der biologischen Energiegewinnung der Zellen, hilft bei der Bildung des roten Blutfarbstoffs Hämoglobin sowie der Hautpigmente und spielt eine Rolle beim Stoffwechsel der Knochen und des zentralen Nervensystems.

Besonders bei längerer Verweilzeit kann auch **Blei** aus Rohrleitungen ins Wasser übergehen. Es ist ein stark giftiges Element, das sich im Körper anreichert, ein zur Blutbildung benötigtes Enzym und u. a. die Nervenfunktionen schädigt sowie die Knochen zerstört. Das Gehirn und die Immunabwehr von Kleinkindern werden besonders leicht durch Blei geschädigt. *Insofern sollten alte Wasserleitungen aus Blei oder bleihaltigen Materialien umgehend ersetzt werden*, z. B. durch Poly- ethylenrohre, bei denen die Gefahr einer Aufnahme von positiv geladenen metallischen Kationen ins Wasser nicht besteht. Solange bis das geschieht, sollte Wasser, das längere Zeit in einer Bleirohrleitung gestanden hat (z. B. über Nacht), zunächst eine Zeitlang ablaufen, bevor man es - wenn überhaupt - zum Trinken oder zur Nahrungszubereitung verwendet. Gemäß den Vorgaben der EU ist der zulässige Höchstwert der Trinkwasserverordnung seit 1.12.2003 von 40 µg/L auf 25 µg/L deutlich gesenkt worden. 10 Jahre danach wird er auf 10 µg/L herabgesetzt werden.

Mangan ist Bestandteil zahlreicher Enzyme, die für den Kohlenhydrat- und Fettstoffwechsel notwendig sind. Manganmangel führt u. a. zu Störungen der Zahn-, Knochen- und Knorpelbildung. Für Erwachsene liegt der Tagesbedarf bei 2 bis 12 mg (Milligramm).

Indem es das Insulin (Hormon der Bauchspeicheldrüse) unterstützt, reguliert **Chrom** die Fett- und Zuckerwerte des Blutes. Täglich benötigen wir 30 bis 100 µg. Etwa 2 mg des Spurenelements **Rubidium** benötigt jeder von uns vermutlich jeden Tag. Obst und Gemüse, insbesondere Spargel, sowie schwarzer Tee enthalten dieses Element. Das rubidiumreichste Wasser entsteht in Böden, die durch Verwitterung von Granit und Gneis gebildet worden sind. Demzufolge enthalten Pflanzen, die auf solchen Böden wachsen, dieses auch in unserem Körper gar nicht mal so seltene Element.

Leitet man Kohlendioxid in Trinkwasser ein, erhält man ein

kohlensaures, erfrischend schmeckendes Wasser. Ähnliches gilt für mit Sauerstoff angereicherte Wässer. Als natürliche Heilmittel des Bodens dienen **Heilwässer** dazu, bestimmte Krankheiten zu verhüten, zu lindern oder zu heilen und sind daher Arzneimittel. Für sie gilt weder die Trinkwasserverordnung noch die Mineral- und Tafelwasserverordnung, sondern das **Arzneimittelgesetz**. Durch Trinkwasser, andere Getränke, wie **Mineralwässer** (natürliche Wässer, die in 1 kg mindestens 1 g gelöste Salze oder mindestens 250 g gelöstes Kohlendioxid enthalten), Säfte, Bier(!) oder Milch, und vor allem ausgewogene, abwechslungsreiche, nicht einseitige Ernährung führen wir dem Körper normalerweise diese und die anderen essenziellen Stoffe in ausreichenden Mengen zu.

Was ist eigentlich «Wasserhärte»?

Calcium - Bestandteil von Kalk - und **Magnesium** sind im Wasser ebenfalls in Form von positiv geladenen Ionen enthalten. In erster Linie ihre Konzentrationen bilden die Summe Erdalkalien, die Gesamthärte. Ein Teil davon wird beim Kochen des Wassers durch Bildung schwerlöslicher Carbonate (z. B. Kalk), die sich dann ablagern, entfernt. Daher nennt man solche Ablagerungen auch “Kalkstein” oder “Kesselstein”. ***(Leicht entfernen lassen sich solche Ablagerungen übrigens mit Essig, Essigessenz und/oder Zitronensäure.)*** Diesen Anteil der Gesamthärte bezeichnet man daher als vorübergehende Härte oder Carbonathärte. Die restliche Härte wird bleibende Härte oder auch Nichtcarbonathärte genannt.

Wodurch wird denn unser Körper, unsere Wäsche, die Toilette, der Fußboden, das Auto und noch vieles mehr sauber und rein?

Die Substanzen, die den Schmutz loslösen und entfernen, sind wasch- und reinigungsaktiv. Sie heißen **Tenside**. Auch Seifen sind Tenside. Sie reagieren mit den Härtebildnern. Die dabei entstehenden schwerlöslichen “Kalk- und Magnesiumseifen” lagern sich als Schmutzrand (z. B. in der Badewanne) oder als “Gilb” auf der Wäsche ab. Seife wird dadurch für Waschzwecke unwirksam gemacht. Der Verbrauch an Seife ist um so höher, je härter das Wasser ist. In Wasch- und Reinigungsmitteln machen härtebindende Stoffe, sog. **Enthärter**, die Härte unwirksam. Die Härtebildner wurden früher durch

Phosphate gebunden. Heute sorgen Phosphatersatzstoffe wie Zeolithe oder in Reinigungsmitteln Zitronensäure und deren Salze, die Zitrone, dafür, dass keine schwerlöslichen Calcium- und Magnesiumverbindungen entstehen, sich also kein "Gilb" mehr ablagert. ***Je härter das Wasser ist, um so mehr Enthärter*** (und damit nicht unbedingt mehr an komplettem Waschmittel, falls man einzeln dosierbare Bestandteile von Waschmitteln verwendet) ***benötigt man***.

Nach dem **Wasch- und Reinigungsmittelgesetz** unterscheidet man **4 Härtebereiche**: Bis 7°dH (Grad deutscher Härte) ist das Wasser sehr weich bis weich (Härtebereich 1), zwischen 7 und 14°dH mittelhart (Härtebereich 2), zwischen 14 und 21°dH hart (Härtebereich 3) und über 21°dH hart bis sehr hart (Härtebereich 4). Das Troisdorfer Trinkwasser liegt mit 6°dH noch knapp im Härtebereich 1. Für die Zubereitung der gesunden und daher immer häufiger konsumierten Tees sind solche weichen Wässer bestens geeignet. Beim Waschen sollte die Dosierung stets gemäß dem Härtebereich des Wassers vorgenommen werden, um die Kläranlagen und die Gewässer zu entlasten. Die Wasserversorgungsunternehmen sind verpflichtet, über die Härte und alle anderen Eigenschaften des Wassers Auskunft zu erteilen.

Jeder sollte versuchen, wieder wie früher verstärkt durch Einsatz der Muskeln Schmutz zu entfernen nach dem Motto ***"Gut geschrubbt und Schmutz geht weg im Rubbedidupp"***. Neben dem der Gesundheit dienlichen sportlichen Effekt lassen sich dadurch - sowie zusätzlich durch **Dampf-Druck-Reinigung** und Verwendung der keine Reinigungsmittel benötigenden **Mikrofasertücher** - beträchtliche Mengen der die Kläranlagen und damit die Gewässer nach wie vor enorm belastenden Wasch- und Reinigungsmittel einsparen, was allemal am besten für die Wasserorganismen ist.

Braucht unser Körper auch Calcium und Magnesium?

Erwachsene benötigen pro Tag etwa 1 g Calcium und ca. 350 bis 400 mg Magnesium. Enthält Trinkwasser diese essenziellen Elemente in sehr geringen Mengen, d. h. ist das Wasser sehr weich, kann man es vor Abgabe an den Verbraucher u. a. aus diesem Grund durch Zugabe von Calcium- oder Magnesiumverbindungen etwas aufhärten, was in Troisdorf durch Kalkmilchzugabe geschieht. Calcium wird nicht nur für den Aufbau der Knochen, Zähne und Zellwände gebraucht, sondern es ist außerdem im Blutplasma an der Blutgerinnung beteiligt.

An Magnesium besteht z. T. eine Unterversorgung, da auch dieses Element (z. B. durch einseitige Düngung) in Böden immer mehr verarmt. Man schätzt, dass der Gehalt des Bodens an diesem Element in den letzten 80 Jahren auf die Hälfte zurückgegangen ist. Somit enthalten Pflanzen, die die Nährstoffe (sowie viele Schadstoffe!) durch die Bodenflüssigkeit über die Wurzeln aufnehmen, oft auch zu wenig Magnesium. Ein Magnesiummangel macht sich „an allen Ecken und Enden“ des Körpers bemerkbar, da es über 300 Enzyme steuert, die für nahezu alle Lebensfunktionen benötigt werden. Kopfschmerzen, Nervosität, Wadenkrämpfe (selbst bei Schwangeren, die wie Sportler und Stressgeplagte 450 bis 500 mg/d benötigen), Herz-, Magen- und Darmprobleme, stark kariöse Zähne u. a. m. können Folgen eines Magnesiummangels sein. Bereits mäßiger Alkoholkonsum, bestimmte Erkrankungen und starkes Schwitzen führen zu Magnesiumverlusten.

Was ist eigentlich «Wasseruntersuchung»?

Anorganische und organische Stoffe sowie Lebewesen (z. B. Cholera-Erreger oder glitschige Aale) können im Wasser enthalten sein. Man bestimmt im Rahmen einer Wasseruntersuchung in erster Linie die Konzentration der für die Gesundheit des Menschen oder der sog. **aquatischen Biozöten** (Lebensgemeinschaften in Gewässern) bedeutsamen Stoffe oder durch diese mitverursachte Eigenschaften.

Während der biologischen Untersuchung prüft man z. B. beim Trinkwasser auf das Vorhandensein von Krankheitserregern oder auf diese hinweisende **Keime** (Mikroorganismen), wie die polyformen Bakterien. Bei Oberflächenwässern ermittelt man dabei außerdem die Art und Anzahl der vorhandenen **Saprobien** (Leitorganismen), mit Hilfe derer man die Verschmutzung eines Gewässers erkennen kann. Sehr wichtig ist vor der Untersuchung die sachgemäße Entnahme von Proben des zu untersuchenden (analysierenden) Wassers. Diese sollte möglichst stellvertretend (repräsentativ) für das zu untersuchende Wasser in seiner Gesamtheit zum Zeitpunkt der **Probenahme** sein.

Mit den Sinnesorganen kann man nach der Entnahme der Proben sofort **Färbung**, **Trübung** und **Geruch** bestimmen. Ein Test des Geschmacks darf nur durchgeführt werden, wenn keine Gefahr einer

Infektion, Vergiftung oder Rache Montezumas besteht! Der für Schwimmbadwässer manchmal typische Chlorgeruch dürfte jedem bekannt sein. Das einer Kläranlage zufließende Abwasser hat fast immer den durch die Bildung von Schwefelwasserstoff (H_2S) hervorgerufenen, auch für faule Eier so charakteristischen, nicht allzu angenehmen Geruch, der gleich so gewiss jedem schon mal in die Nase gestiegen sein dürfte. Die sofort durchzuführende Messung der **Temperatur** ist u. a. wichtig zur Berechnung der Sättigung mit Sauerstoff nach dessen Bestimmung.

Warum nennt man Trinkwasser auch oft Leitungswasser?

Nun, viele meinen jetzt, ist doch klar, weil das Trinkwasser aus der Leitung fließt, nennen wir es Leitungswasser. Sehr zu bedenken ist dabei jedoch, dass das Wasser elektrisch geladene Teilchen (Ionen) enthält, die den elektrischen Strom ausgezeichnet leiten. Von daher ist es sicherlich angebracht, im Zusammenhang mit Leitungswasser eher an die elektrische Leitung desselben als an die Rohrleitung zu denken. Dies kann lebensrettend sein, wenn man z. B. darauf verzichtet, sich in der nassen Badewanne die Haare zu fönen, den Fön ins Wasser zu schmeißen wenn man mit diesem Kontakt hat, oder beim genüsslichen Baden mit sonstigen elektrischen Geräten rumzuhantieren und diese mit dem Wasser in Kontakt zu bringen. ***An die sehr gute elektrische Leitfähigkeit des Wassers und unseres Körpers (!) zu denken, kann, wie beschrieben, unangenehme, evtl. tödlich endende Zuckungen vermeiden helfen.*** Manch einer, der dies nicht wusste oder im Eifer des Gefechtes vergaß, hat dazu bedauerlicherweise keine Gelegenheit mehr! Je höher der Gehalt der insbesondere aus gelösten Salzen, aber auch aus Säuren und Laugen, stammenden Ionen ist, um so höher ist die elektrische Leitfähigkeit. Meerwasser leitet demnach den Strom besonders gut.

Als Maß für den sauren oder basischen (alkalischen) Charakter eines Wassers dient der **pH-Wert**. Chemisch reine oder auch sonstige neutrale Wässer haben einen pH-Wert von 7, saure Wässer haben einen pH-Wert unter 7, basische Wässer einen über 7. Der pH-Wert des Trinkwassers liegt zwischen 6,5 und 9,5, der des sauren Regens durch die gelösten, sauer reagierenden Gase wie Schwefeldioxid oder Stickoxide manchmal unter 5. Die Bestimmung des pH-Wertes kann mittels sog. **Indikatoren** (Anzeiger) erfolgen. Dies sind Stoffe, welche in Abhängigkeit vom pH-Wert ihre Farbe ändern. Sie können

gelöst oder aufgetragen auf Papier oder Stäbchen eingesetzt werden. Ein Beispiel ist der Saft der Lackmusflechte, kurz Lackmus genannt, der sich durch Säuren rot und durch Laugen blau verfärbt (wie übrigens auch Rotkohlsaft). Genauer sind allerdings Messungen mit Geräten, sog. pH-Metern. Sie enthalten eine Elektrode, mit der eine vom pH-Wert abhängige Spannung ermittelt wird.

Die oft sehr kleinen Konzentrationen anorganischer Stoffe, die in Form positiv geladener Kationen (z. B. Schwermetalle) oder negativ geladener Anionen (z. B. Nitrat, Chlorid) vorliegen, werden nach speziellen Methoden mit sehr teuren Messgeräten bestimmt ebenso wie die der organischen **Parameter** (Messgrößen), z. B. die Konzentration chlorierter Kohlenwasserstoffe oder die von Pestiziden.

Auf preiswerte Art und Weise können solche Stoffe bestimmt werden - selbst in niedrigen Konzentrationen -, die mit speziellen Reagenzien eine farbige Verbindung bilden. Je höher die Intensität der Färbung ist, um so größer ist die Konzentration des zu analysierenden Stoffes. Mit Farbvergleichsskalen erfolgt die Bestimmung am preiswertesten. Teurer - aber wegen der höheren Genauigkeit häufiger angewandt - ist die Methode der **Fotometrie** (Lichtmessung). Je höher die Intensität der Farbe des gebildeten Stoffes oder auch die der Trübung eines Wassers ist, um so weniger Licht wird von der Lösung hindurchgelassen. Das ist das Prinzip der Messungen mit sog. Fotometern.

Der Grad der Verschmutzung mit organischen Stoffen wie Urin oder Fäkalien wird hauptsächlich durch die Parameter **Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)** und **Biologischer Sauerstoffbedarf (BSB)** erfasst. Unter dem CSB versteht man die Menge an Sauerstoff, die man braucht, um die organischen Stoffe im Wasser chemisch zu oxidieren. Da auf diese Weise genauso biologisch nicht abbaubare Stoffe oxidiert und somit bestimmt werden, ist der CSB-Wert einer Wasserprobe höher als deren BSB-Wert. Denn bei der BSB-Bestimmung wird die Menge an Sauerstoff ermittelt, die von Mikroorganismen durch deren Atmung verbraucht wird, um organische Stoffe aerob, d. h. unter Verbrauch des im Wasser gelösten Sauerstoffs, abzubauen. Meist wird der nach 5 Tagen gemessene Wert als BSB₅ angegeben. Vor allem auf Kläranlagen spielen die CSB- und BSB-Messungen zur Überwachung der Reinigungsleistung eine große Rolle.

Wie lässt sich die Toxizität (Giftigkeit) eines Wassers bestimmen?

Die Toxizität eines Wassers oder Abwassers wird mit Hilfe von Tests mit Fischen (wie Goldorfen), Muscheln, Kleinkrebsen (Wasserflöhe, Daphnien), Algen oder **Leuchtbakterien** erfassbar. Je wohler sich die Leuchtbakterien fühlen, um so mehr Licht produzieren sie (ähnlich wie die Glühwürmchen, die man in einer lauen Sommernacht, z. B. in der Wahner Heide, noch entdecken kann). Sind giftige Substanzen im Wasser vorhanden, lässt die Intensität des Leuchtens sehr schnell nach. Auf diese Weise lassen sich rechtzeitig toxische Stoffe erkennen, bevor diese die Mikroorganismen einer Kläranlage oder eines Gewässers schädigen oder abtöten. Tests auf die gefährlichen endokrinen Disruptoren werden erforscht und entwickelt, z. B. durch Projekte der EU. Im Rahmen der Untersuchung von Trinkwasser auf **pathogene** (krankheitserregende) **Keime** wird eine gewisse Menge der Wasserprobe durch einen sehr feinporigen Membranfilter gesaugt. Die Mikroorganismen bleiben auf dem Filter zurück. Der Filter wird auf einen speziellen Nährboden gelegt. Bei Vorhandensein von Mikroorganismen kommt es während des “Brütens”, z. B. bei 37 °C, zu deren Vermehrung und dadurch zur Sichtbarwerdung. Die entstandenen Kolonien werden ausgezählt und sind ein Maß für den Gehalt dieser Bakterienart. Auch die sog. **Gesamtkeimzahl** wird so festgestellt. Trinkwasser muss keimarm sein und darf deshalb nicht mehr als 100 nicht pathogene Keime pro Milliliter (mL) enthalten. Nach den durchgeführten Untersuchungen (Analysen) wird eine Bearbeitung und **Auswertung** unter Betrachtung aller Ergebnisse durchgeführt. Oft erfolgt dabei ein Vergleich mit gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerten oder empfohlenen Richtwerten, z. B. der EU. Wichtig ist bei der Auswertung, dass auch **Schlussfolgerungen** gezogen werden. Dabei muss oftmals versucht werden, die Ursache der Ergebnisse herauszufinden, z. B. die für eine zu hohe Konzentration eines Schadstoffs. Zu hohe Schadstoff- aber auch Nährstoffkonzentrationen sind in Oberflächengewässern sehr gefährlich, insbesondere in den Wässern, die zur Trinkwasserherstellung verwendet werden. Besondere **Wasserschutzgebiete** sollen verhindern, dass in Grund- und Oberflächenwässer (z. B. Talsperrenwässer) Bodenbestandteile, Düngemittel, Pestizide, halogenierte Kohlenwasserstoffe, Altöle (1 Liter Altöl kann 1 Million bis 1 Milliarde Liter Wasser für Trinkwasserzwecke ungenießbar machen, was für alle Öle in ähnlicher Weise zutrifft) und andere Schadstoffe eingetragen werden. Giftige Stoffe schädigen genauso den Boden, können

Lebewesen und wertvolle Stoffe unserer Lebensgrundlage Boden zerstören. Wer gegen diese Vorgaben verstößt, schädigt uns alle und die Natur, nicht nur, weil dann auf kostspielige Weise solche Stoffe wieder aus dem Wasser (und dem Boden) entfernt werden müssen.

Also: Wechsel' das öl nur in der Tankstelle oder in der Autowerkstatt und schütte das Altöl nicht auf den Boden, in den Kanal oder ins Wasser (auch nicht in die Toilette). Wasch' ebenso den Wagen bitte nur in Waschanlagen.

Bei der Beurteilung der Untersuchung stehender und fließender Oberflächengewässer ordnet man das Wasser aufgrund aller Ergebnisse einer **Gewässergüteklasse** zu. In Abhängigkeit vor allem vom Verschmutzungsgrad (wichtige Parameter dafür sind CSB und BSB) und Sauerstoffgehalt kommen in einem Gewässer ganz bestimmte Organismen vor. Diese **Saproben** (Leitorganismen) werden nach Art und Anzahl festgestellt und dienen mit zur Zuordnung des Wassers zu einer Güteklasse. Ein **Ökosystem**, z. B. ein Teich oder ein See, besteht aus dem **Biotop** (Lebensraum) und einer dafür typischen **Biozönose** (Lebensgemeinschaft) aus **Produzenten** (Pflanzen, die aus anorganischen Nährstoffen **organische** Biomasse aufbauen), **Konsumenten** (z. B. Tiere, denen die Produzenten als Nahrung dienen) und **Destruenten** (Mikroorganismen, wie Bakterien, die organische Substanzen zu anorganischen abbauen). Durch Einträge, Einleitungen oder sonstige Einwirkungen des Menschen wird das normalerweise bestehende Gleichgewicht innerhalb der Biozönose gestört und verändert. Arten wandern oder sterben ab, wenn ihre Lebensbedingungen ge- oder zerstört werden.

Welche Merkmale weisen Gewässer unterschiedlicher Güte auf?

Anders als bei Eiern teilt man hier die Güteklassen von I bis IV ein. In einem Fließgewässer der Güteklasse I (z. B. Quellwässer und Oberläufe vieler Bäche), das kaum belastet ist, ist der Bakteriengehalt aufgrund der Nährstoffarmut recht niedrig. Das Wasser ist klar, mit Sauerstoff gesättigt und ein ideales Laichgewässer für viele Fische. Mit zunehmendem Nährstoff- und Schadstoffeintrag nimmt die Zahl der Mikroorganismen zu, die Klarheit, die Artenvielfalt und Anzahl höherer Organismen (nach einem zunächst erfolgenden Anstieg bis zur Güteklasse II) hauptsächlich wegen des immer geringer werdenden Sauerstoffgehalts ab. In einem übermäßig verschmutzten, sehr trüben Fließgewässer der Güteklasse IV kommen keine Fische mehr

vor, da kaum noch Sauerstoff vorhanden ist und Nach-Luft-Schnappen wegen der Kiemenatmung leider nichts bringt. Es existieren fast nur noch anaerobe Organismen, die keinen gelösten Luftsauerstoff benötigen, sondern Sauerstoff aus Verbindungen entziehen und diese dann durch Fäulnisprozesse unter Bildung von Schwefelwasserstoff (H_2S), Methan (CH_4), Ammoniak (NH_3), u. a. reduzieren. Die Sieg ist im Unterlauf nur noch mäßig belastet (Güteklasse II). Die Agger ist in diesem Bereich von schlechterer Güte, d. h. kritisch belastet (Güteklasse II bis III). Die Qualität nicht nur dieses Flusses kann noch weiter verbessert werden bis zur Güteklasse II, die selbst vom Menschen (d. h. anthropogen) unbeeinflusste Fließgewässer am Unterlauf meist haben infolge des natürlichen Nährstoffeintrags, z. B. durch Laub. Der früher ebenfalls stark verschmutzte Rhein weist größtenteils wieder die Güteklasse II auf. So sind die Schwermetallanteile stark gesunken, obwohl er immer noch durch Cadmium belastet ist sowie durch Biozide wie Lindan und Diuron. Fließgewässer der Güteklasse II weisen eine gute Sauerstoffversorgung, eine hohe Sichttiefe und infolge des Nährstoffgehaltes eine dichte und artenreiche Besiedlung z. B. mit Fischen auf. An Kleinorganismen findet man u. a. Tellerschnecken, runde Eintagsfliegenlarven, Bachflohkrebse und Kriebelmückenlarven. Steinfliegenlarven, Grundwanzen oder flache Eintagsfliegenlarven sind in Fließgewässern der Güteklasse I anzutreffen. Die meisten Gewässer Österreichs besitzen mittlerweile wieder die Güteklasse II. Viele Bäche im Bereich ihrer Quelle haben die Güteklasse I. In Abb. 3 sind die Gewässergüteklassen und einige ihrer Saprobien dargestellt. Zur Gesamtbeurteilung gehört die Ermittlung der **Gewässerstrukturgüte**, d. h. man untersucht, wie weit der Lauf (z. B. durch Begradigung), das Ufer (z. B. durch Befestigung oder Vegetation) und das Gewässerumfeld (z. B. durch Trockenlegung), vom Menschen beeinflusst wurden. Je natürlicher das Gewässer und sein Umfeld belassen wurden, um so besser ist die Strukturgüte. So sind u. a. Laufbegradigungen und Uferbefestigungen mit entscheidende Ursachen für den starken Rückgang des Fischotters, da diese Tiere kleine Buchten und Nischen benötigen, um Fische fangen zu können, was in solchen Gewässern zudem wegen der erhöhten Strömungsgeschwindigkeit für sie kaum noch möglich ist.

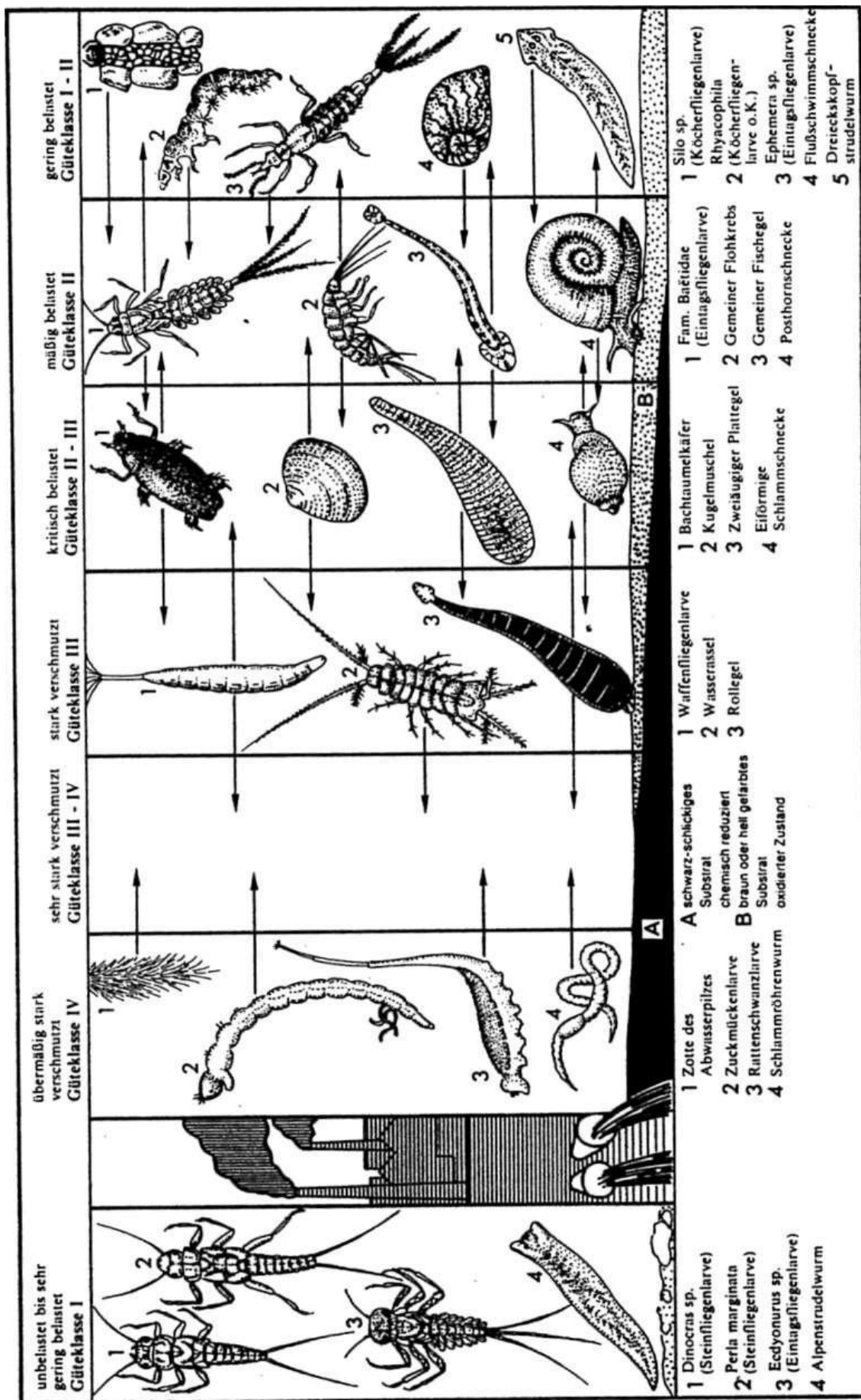


Abb. 3: Gewässergüteklassen und Saprobien.

Was ist eigentlich «Eutrophierung»?

Als Eutrophierung bezeichnet man die unerwünschte Zunahme an Nährstoffen in einem Gewässer und die damit verbundene nutzlose und schädliche Vermehrung von Produzenten (Pflanzen) und Destruenten (Mikroorganismen). Sie kann auf natürliche Art erfolgen, wenn beispielsweise durch die Zuflüsse abgetragene (erodierte) und mitgeführte Sedimente mit nicht abgebauter organischer Substanz in einen See eingetragen werden. Meist bezieht man den Begriff auf die durch den Menschen, d. h., anthropogen, verursachte Eutrophierung. Diese wird in erster Linie hervorgerufen durch **Phosphor- und Stickstoffverbindungen**, da diese von Wasserpflanzen, wie den Algen, zum Wachstum benötigt werden.

Je nach Grad der Eutrophierung unterscheidet man bei Seen solche mit großen Sichttiefen (oligotrophe Seen), Seen mit klarem Wasser und geringem Algenvorkommen (mesotrophe Seen), solche mit begrenzter Sichttiefe und hoher Algenproduktion (eutrophe Seen) und Seen mit massenhaftem Algenvorkommen und dem geringsten Sauerstoffgehalt (polytrophe Seen). Bei Fließgewässern nimmt die Güte mit zunehmender Eutrophierung gleichfalls ab.

Wann kommt es eigentlich zum Umkippen eines Gewässers? Was kippt denn da überhaupt um?

Eine Vermehrung der Algen bewirkt einen Anstieg des Sauerstoffgehalts als Folge der verstärkten **Fotosynthese**. Aus Kohlendioxid und Wasser synthetisieren die Pflanzen mithilfe des Sonnenlichts und des Chlorophylls, des Blattgrüns, zunächst Glucose (Traubenzucker) - danach weitere pflanzliche Substanz - und Sauerstoff. Doch das nach einer Massenvermehrung einsetzende Absterben der Algen hat zur Folge, dass diese große tote organische Masse zunächst von aeroben Destruenten unter enormem Verbrauch des gelösten Sauerstoffs abgebaut wird. Danach tritt Fäulnis ein. Anaerobe Mikroorganismen (entziehen den auch für sie notwendigen Sauerstoff sauerstoffhaltigen Verbindungen) bauen die tote Materie weiter ab bis zu anorganischen Endprodukten, wie den auch fischgiftigen Gasen Schwefelwasserstoff und Ammoniak oder dem zum Treibhauseffekt beitragenden Methan. Letzteres entsteht auf diese Weise überdies in Sümpfen und wird dann Sumpfgas genannt. Mit Verbrauch des gelösten Sauerstoffs und Beginn der anaeroben Fäulnisprozesse

spricht man vom “Umkippen” des Gewässers, das für die aeroben Organismen wie die Fische, tödliche Folgen hat, falls sie nicht rechtzeitig abwandern können. Hinzu kommt, dass bestimmte Algenarten der Meere stark toxische Stoffwechselsubstanzen erzeugen. Die Eutrophierung muss also auf jeden Fall vermieden werden (dazu trägt auch **das Unterlassen der Fütterung von Vögeln an Gewässern** bei) oder dort wo vorhanden, vermindert werden. Geschehen kann dies durch intensive Belüftung vor allem der tieferen Gewässerbereiche oder Zufuhr sauberen, sauerstoffreichen Wassers.

Phosphor kommt im Wasser meist in Form von Phosphat-Anionen vor. Schon Konzentrationen über 0,5 mg/L können in Gegenwart ausreichender Mengen an Stickstoffverbindungen eine Eutrophierung herbeiführen. Dies ist der Grund, warum phosphatfreie Waschmittel entwickelt wurden, weil früher sehr große Phosphatmengen über waschmittelhaltige Abwässer in die Gewässer gelangten. Trotzdem enthalten Abwässer immer noch genügend Phosphat, da Phosphor natürlicher Bestandteil von Nahrungsmitteln ist.

Je mehr Gülle man auf das Feld und den Garten schüttet, um so mehr Gemüse, Zwiebeln, Erdbeeren und Kartoffeln kann man ernten. Stimmt das?

Über die Düngung mit natürlichen und künstlichen Mitteln erfolgt auch ein Eintrag von Phosphor- und Stickstoffverbindungen und anderen Nährstoffen ins Wasser, und zwar immer dann, wenn unsachgemäß und zuviel gedüngt wird. Die Annahme, je mehr gedüngt werde, um so höher wären die Erträge, scheint immer noch, gerade unter Hobby- und Kleingärtnern, weit verbreitet zu sein, ist aber ein Irrglaube. Ein Zuviel an z. B. Phosphor oder Stickstoff im Boden führt nicht nur zu einer Belastung des Grundwassers, da diese Stoffe durch das einsickernde Regenwasser ausgewaschen und mitgeführt werden, sondern darüber hinaus zu einem Ertragsrückgang, zu Pflanzenkrankheiten oder einer Anreicherung in der Pflanze wie z. B. Nitrat im Spinat. Zudem trägt die Haltung von zu großen Viehbeständen, besonders in der Nähe der Ufer, durch den Urin und den Kot der Tiere mit zur Eutrophierung bei. Etwa 25 Millionen Kubikmeter Gülle fallen beispielsweise jährlich alleine in Ungarn an und bedrohen dort Boden und Wasser.

Die leichtlöslichen Stickstoffverbindungen wie Nitrat-Anionen oder Ammonium-Kationen gelangen so in viel zu großen Mengen ins

Grundwasser und ins Oberflächenwasser. Durch Bakterientätigkeit werden Ammonium-Ionen zu den auch fischgiftigen Nitrit-Anionen und diese dann durch andere Bakterien zu Nitrat-Ionen oxidiert. Diesen Vorgang nennt man **Nitrifikation**. Nitrit und hauptsächlich Nitrat sind zudem im sauren Regen enthalten, da die an die Luft abgegebenen (emittierten) Stickoxide aus Kraftfahrzeugen, Flugzeugen und Verbrennungsanlagen mit Wasser zu diese Ionen enthaltenden Säuren reagieren. Die **Katalysatoren** (Reaktionsbeschleuniger) in Kraftfahrzeugen und Abgasanlagen bewirken zwar eine Reduktion der Stickoxide zu Stickstoff, der in der Luft zu ca. 78 % enthalten ist. Durch die immer noch weiter zunehmende Zahl an Kraftfahrzeugen und dadurch, dass diese Katalysatoren nur in bestimmten Temperaturbereichen optimal wirken, sind die Stickoxid-Emissionen nicht in dem gewünschten Maße zurückgegangen. Weniger Verkehr ist auch aus diesem Grund allemal wesentlich besser als noch so gute Katalysatoren oder noch so "gutes" benzolarmes Benzin.

Was ist eigentlich «Wasseraufbereitung»?

Unter Wasseraufbereitung versteht man die Behandlung des der Natur entnommenen Rohwassers in der Form, dass es als Trinkwasser oder Brauchwasser an Verbraucher abgegeben werden kann.

So wird z. B. in Troisdorf-Eschmar dem geförderten Grundwasser (von dem hier ebenso höchstens soviel gefördert wird, wie durch Versickerung der Niederschläge nachgeliefert wird) freie, auf Metalle aggressiv, d. h. lösend, wirkende Kohlensäure in einer Riesenanlage durch Ausgasen von Kohlendioxid entzogen. Die anschließende Zugabe von Kalkmilch dient neben der Aufhärtung des Wassers dazu, noch verbliebene Kohlensäure zu binden. Diese Art der Aufbereitung heißt **Entsäuerung**.

Da Trinkwasser keine Krankheitserreger enthalten darf, müssen diese - sofern vorhanden - durch **Entkeimung (Desinfektion)** abgetötet werden. Dies geschieht meist mit starken Oxidationsmitteln wie Chlor oder chlorhaltigen Verbindungen (z.B. Chlordioxid), jedoch auch mit Ozon. Da Ozon leicht zerfällt, ist seine Entkeimungswirkung im Rohrnetz allerdings gering. Oberflächenwässer müssen immer desinfiziert werden. Quell- und Grundwässer sowie Uferfiltrate (in

Flussnähe geförderte Grundwasser) wegen der natürlichen Reinigungswirkung des Untergrunds nicht immer. Entscheidend ist, dass der Verbraucher einwandfreies Trinkwasser erhält. Nach der Chlorung liegt der Gehalt an restlichem, freiem Chlor normalerweise mit höchstens 0,3 mg/L unter der Geschmacksgrenze von 0,5 mg/L, muss mindestens 0,1 mg/L und darf nur in Ausnahmefällen maximal 0,6 mg/L betragen. Die Förderung von Grundwasser zwecks Wasseraufbereitung im Wasserwerk ist in Abb. 4 wiedergegeben. Sogar ultraviolette Strahlen wirken desinfizierend. Die Desinfektion mit **UV-Strahlen** hat sich in der Schweiz und in Frankreich bereits durchgesetzt. In Deutschland und Österreich wird sie verstärkt angewendet. Beispielsweise wird das der Wahnachtalsperre entnommene Wasser zunächst mit **Ultraschall** behandelt, um einzelne und nicht verklumpte oder in Wassertierchen (Zooplankton) eingeschlossene Mikroorganismen zu erhalten. Denn nur diese können mit Entkeimungsverfahren, wie der anschließenden Bestrahlung mit ultraviolettem Licht, zuverlässig abgetötet werden.

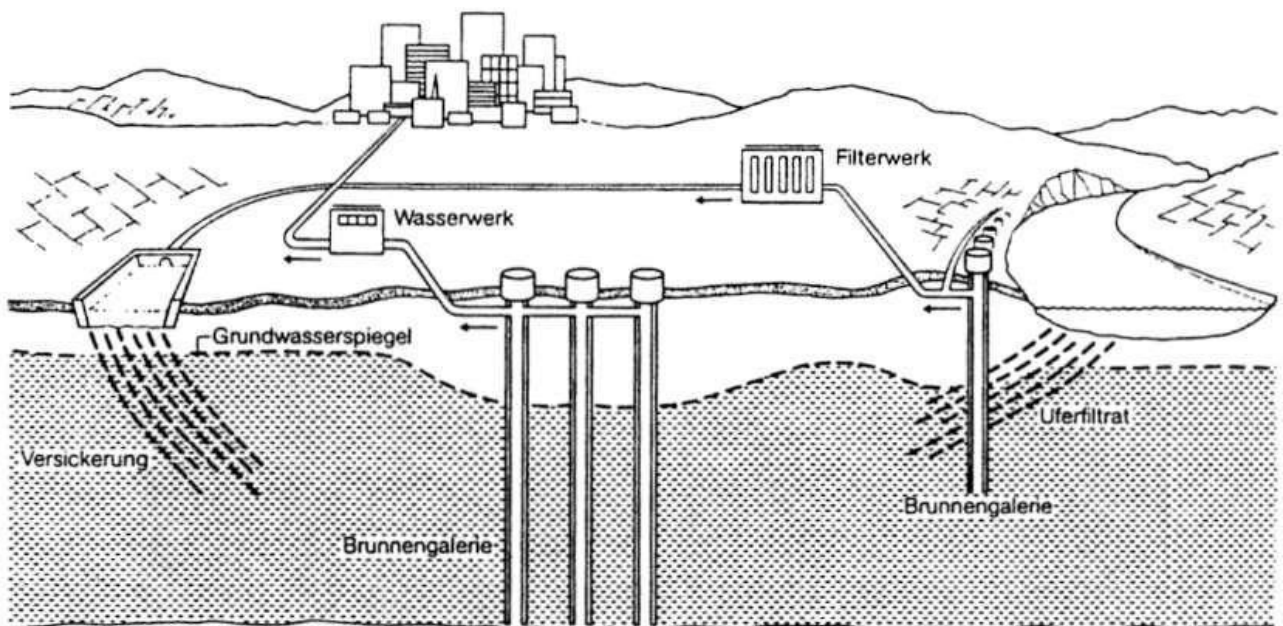


Abb. 4: Förderung von Grundwasser inklusive Uferfiltrat.

Aus eisen- und manganreichen Wässern werden diese Elemente z. B. durch **Fällung** (Bildung schwerlöslicher Verbindungen) entfernt, weil sich diese sonst (z. B. auf Textilien oder Papier) ablagern und zu Verfärbungen führen können. Quell-, Grund- und Oberflächenwässer sind gefährdet durch **Kontaminationen** (Verseuchungen) mit

toxischen organischen Stoffen, wie Pestiziden, Mineralölen oder halogenierten Kohlenwasserstoffen. Durch **Adsorption** (Haften bleiben an der Oberfläche) an Aktivkohle sind diese Stoffe entfernbar.

Eine **Enthärtung** wird beim Trinkwasser nur bei sehr harten Wässern (z. B. aus Gegenden mit kalkhaltigem Untergrund) durchgeführt, bei Brauchwässern dagegen oft, wie auch eine **Entsalzung**. Wasser kann u. a. durch **Ionenaustauschverfahren** enthärtet und entsalzt werden. Beim Entsalzen werden die elektrisch geladenen Teilchen (Ionen) der Salze, d. h. die positiv geladenen Kationen und die negativ geladenen Anionen gebunden. Lediglich die Kationen der Härtebildner wie Calcium und Magnesium werden beim Enthärten gebunden und gegen Natrium-Kationen ausgetauscht. Bei der aus der Umkehrosmose neu entwickelten **Nanofiltration** werden durch bestimmte halb durchlässige Membranen nur zweiwertige Ionen wie die der Härtebildner und Schwermetalle (sowie fast alle Bakterien und Viren) abgetrennt. Erwünschte Ionen bleiben erhalten.

Je härter und wärmer Wasser ist, um so eher lagert sich Calciumcarbonat, Kalk („Kalkstein“, „Kesselstein“), ab, z. B. in den Rohren. Zur Verhinderung sind neben den bewährten chemischen Verfahren solche **physikalischen Methoden** geeignet, die im Wasser mittels elektrischem Strom oder Katalysatoren die gelösten Kalkbestandteile in kleine Partikel (Impf- oder Nanokristalle, nano von lat. = zwergenhaft, klein) überführen. Weitere Kalkteilchen lagern sich an diese Kristalle an, schweben im Wasser und setzen sich nicht ab. Nur Geräte mit diesen Techniken haben bisher das Prüfverfahren nach dem Arbeitsblatt W 512 der Deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfachs (DVGW) bestanden und sogar das **DVGW-Prüfzeichen** erhalten. Das elektrische Verfahren einer Firma erhielt schon 1999 das **ÖVGW-Qualitätssiegel** gemäß der Richtlinie der Österreichischen VGW W 35. Angebracht sein können diese umweltfreundlichen Verfahren, um sehr warmes und sehr hartes Wasser zu behandeln. Eingebaut werden dürfen in Deutschland aber nur Apparaturen, die von der DVGW zugelassen worden sind. Beton-Anmachwasser darf nur eine geringe Salzkonzentration enthalten, damit der Beton beim Abbinden die nötige Festigkeit erhält.

Wie kann man denn Nitrat aus dem Wasser entfernen?

Die in Wässern oft in immer größeren Konzentrationen auftretenden Nitrat-Ionen müssen bei Überschreitung des Grenzwertes der

Trinkwasserverordnung von 50 mg/L aufwändig entfernt werden. Eine preiswerte Fällung, d. h. Bildung von schwerlöslichen, abfiltrierbaren Verbindungen, ist nicht möglich, da Nitrate leicht wasserlöslich sind. Eine Eliminierungsmöglichkeit besteht darin, Nitrat-Ionen mit Hilfe von Mikroorganismen (bei einem Verfahren wird zusätzlich Wasserstoff eingeleitet) durch **Denitrifikation** zu Stickstoff zu reduzieren. Bei nicht ausreichender Verweilzeit besteht die Gefahr, dass als Zwischenprodukt gebildete, giftige Nitrit-Ionen in das Trinkwasser ausgetragen werden, Wasserstoff reagiert mit Nitrat-Ionen zu Stickstoff und Wasser. Beim katalytischen Verfahren erfolgt diese Reaktion des eingetragenen Wasserstoffs an einem Katalysator (Reaktionsbeschleuniger). Bei der elektrochemischen Methode wird Wasserstoff an der negativen Elektrode, der Kathode, erzeugt. Dieser ist sehr reaktionsfreudig und reduziert Stickstoff-Verbindungen wie Nitrat zu Stickstoff. Im Rahmen einer teuren Entsalzung würden nicht nur Nitrat- Ionen entfernt, wie beispielsweise bei der **Umkehrosmose**, einem **Membranverfahren**. Hierbei wird Wasser mit Hilfe von Druck über fast nur für Wassermoleküle durchlässige Membranen gereinigt. Ein total entsalztes Wasser ist aber wegen seiner Schädigung von Körperzellen gesundheitsschädlich. Möglich ist zudem der Fremdbezug von nitratarmem Wasser, um durch Mischen den Nitrat-Gehalt zu senken. Hier eine optimale Lösung zu finden, ist nicht einfach, Eine wäre die Entsalzung eines Teilstroms des Wassers durch Umkehrosmose und anschließendes Verdünnen mit dem Reststrom des Wassers. Wie auch immer, eine Entfernung von Stickstoffverbindungen wie Nitrat ist in jedem Fall teuer und mit einer gewiss deutlichen Erhöhung des Wasserpreises verbunden. **Besser und billiger ist es** demnach hier mal wieder, **eine Belastung der Wässer** u. a. durch Nitrat **unbedingt zu vermeiden**, wozu die Einsicht und Aufklärung der Landwirte, der Hobby- und Kleingärtner, aber auch der Deutschen Bahn AG, gehören, besonders in bezug auf Düngung und Pestizidanwendung. Es ist doch klar: Je mehr wir alle unsere Quell-, Grund- und Oberflächenwässer auf irgendeine Weise verschmutzen, um so geringer werden die für die Trinkwassergewinnung überhaupt verwendbaren Wasserreserven, um so aufwändiger und teurer wird die Aufbereitung und damit der Wasserpreis. Am billigsten ist Trinkwasser allemal, wenn es gar nicht aufbereitet werden muss, was allerdings immer seltener der Fall ist. **Wasserschutz ist auch von daher für jeden Einzelnen und die Natur von fundamentaler Bedeutung.**

Was ist eigentlich «Hochwasser»?

Gewiss wird der werthe Leser dabei sofort an die Träger allzu kurzer langer Hosen denken. Dies dürfte sicher darauf zurückzuführen sein, dass derjenige dieselbigen beim allerdings mit äußerster Vorsicht durchzuführenden Waten durch hohes Wasser so lange nicht durchnässt, wie der Hoch Wasserstand relativ niedrig ist. Mit steigendem Hochwasser wird die Durchnässungsgefahr um so größer, je niedriger das Hochwasser ist. Schön wäre es, wenn dies und die meist darauf folgende Erkältung die einzigen negativen Folgen wären, die Hochwasser bewirkt. Wie immer wieder sehr gravierend deutlich wird, sind die durch Hochwässer verursachten Schäden überall auf der Welt sehr hoch, äußerst leidvoll, katastrophal. Sturmfluten treten auch an unseren Küsten als Folge des Treibhauseffektes häufiger auf mit tendenziell zunehmenden Höchstwasserständen. Hochwässer im Binnenland haben natürliche und anthropogene Ursachen. Hohe Wassermengen fließen dann ab, wenn bei Temperaturen über 0 °C große Niederschlagsmengen in kurzer Zeit auftreten. In Gebieten der wechselfeuchten Tropen ist dies während der sommerlichen Regenzeit der Fall, in Gegenden mit warmgemäßigtem Klima meist im Winter und Frühjahr bei Vorhandensein hoher Niederschlagsmengen. Es möge erlaubt sein, zunächst mal die erstgenannten Gebiete zu betrachten.

Schon im alten Ägypten wurde zur Pharaonenzeit der Wasserstand des Nils mit Nilometern gemessen. Das jährliche sommerliche Hochwasser des Nils (des einzigen Flusses, der die riesige Wüste Sahara durchquert) war von existenzieller Bedeutung für das Leben in Ägypten, da während der Überschwemmungen fruchtbarer Nilschlamm durch **Sedimentation** abgelagert wurde. Es kam so zu einer natürlichen Düngung des Bodens. Noch heute kann man diese meterhohen Schlammablagerungen während einer genüsslichen Bootsfahrt auf dem Nil sehr gut erkennen. Seit Fertigstellung des in erster Linie zum Zwecke der Stromerzeugung gebauten Assuan-Staudamms 1970 bleiben diese Überschwemmungen aus. Der größte Teil der ca. 50 Millionen Tonnen Schlamm pro Jahr lagern sich seither im über 500 km langen Nassersee ab. Infolge der so geregelten Wasserführung werden zwar durch Hochwasser verursachte Schäden an Gebäuden (die in den Fellachendörfern größtenteils aus Nilschlammziegeln gebaut sind) verhindert, doch erfolgt nun keine natürliche Düngung

mehr. Kunstdünger - mit hohem Stromaufwand hergestellt - ist sehr teuer und führt (wie in anderen ariden Gebieten, beispielsweise im Indus-Tiefland von Pakistan) in Kombination mit falscher Bewässerung zur **Versalzung** und damit zur Unfruchtbarkeit der knappen, wertvollen Böden. Vor allem im Hinblick auf die enorme Zuwachsrates der Bevölkerung wird dies immer problematischer. Im Mündungsbereich wird ebenfalls kein Schlamm mehr abgelagert. Dadurch kommt es zu enormen Schäden im Küstenbereich des Nildeltas aufgrund von **Erosion** (Abtragung) und Versalzung durch das Meer, zum Rückgang der Fischerei und zum Sinken des Grundwasserstandes.

Wägt man Vor- und Nachteile ab (zu letzteren gehören darüber hinaus die immensen Kosten für den Bau des Staudamms, die Verlegung der Tempel von Abu Simbel sowie die Zerstörung der im Bereich des Nassersees liegenden Natur- und Dorfgemeinschaften), hat der Assuan-Staudamm viele hier ebenso wieder einmal vorher nicht bedachte negative Auswirkungen auf Natur und Menschen herbeigeführt. (Ähnliches gilt ja für den allmählich verschwindenden Aralsee als man sich entschied, riesige Wassermengen aus den Flüssen Amudarja und Syrdarja für Bewässerungszwecke zu entnehmen.)

In der Regenzeit während des sommerlichen Monsuns weisen alle im Hochland von Tibet entspringenden Flüsse sehr hohe Wasserstände auf. Im Verlauf der starken Regenfälle im südlichen Vorland der Himalaya-Region kommt es daher in einem der ärmsten Länder der Welt, in Bangladesh, jedes Jahr zu verheerenden Überschwemmungen im riesigen Deltabereich von Ganges und Brahmaputra. Das anhaltende Abholzen der Wälder, z. B. in Nepal, führt zu immer geringer werdender Versickerung und damit erhöhter Bodenerosion sowie ständig größer werdenden Abflusssmengen.

Wald wird bei uns hauptsächlich durch sauren Regen, zusätzlich aber durch immer mehr Skipisten, zerstört. Somit kommt es dort, besonders in Bergregionen, ebenfalls zu verstärkter Bodenerosion und zunehmenden Abflusssmengen.

Was sind weitere Ursachen von Hochwässern? Lassen sich Hochwässer vermeiden?

Als Folge der Begradigung und **Kanalisierung** von Bächen und Flüssen erhöht sich zudem die Fließgeschwindigkeit, was oft Ursache für das plötzliche, kurzzeitige Auftreten extrem hoher Wasserstände

ist, wenn die Hochwasserwellen der Nebenflüsse mit der des Hauptflusses, z. B. des Rheins, zeitgleich zusammentreffen. Der Energiebedarf der Schiffe für Flußauffahrten wird dadurch größer. Früher vorhandene natürliche **Mäander** (Flußwindungen) mit ihren für Wasservögel so wichtigen Prall- und Gleithängen, Moore und weite Auwaldlandschaften (deren Bäume Hochwasser vertrugen und nicht abstarben), sind verschwunden. Eine Verödung der Landschaft und eine Verarmung der Tier- und Pflanzenwelt waren und sind die Folgen.

In Deutschland alleine sind seit den 60er Jahren rund 360000 km Bäche und Flüsse begradigt worden. Das hat Milliardenbeträge gekostet. Ebenfalls volkswirtschaftlich verheerend waren die Hochwasserkatastrophen der letzten Jahre Schäden in Milliardenhöhe entstanden. Deren Behebung kostete wieder Milliarden Euro. Erst dadurch wird jetzt im ökologischen Sinne repariert, was wiederum Milliardenbeträge kostet. Es wird renaturiert, künstliche Rückhalte-räume, Polder und Stauseen werden angelegt. Länderübergreifende Projekte unterstützt die EU.

Die abfließende, nicht versickernde Wassermenge wird jedoch weiterhin größer, weil trotz allem bei uns täglich rund 130 ha (1 ha [Hektar] = 10000 m²) Boden in Straßen, Bau- und Gewerbe-grundstücke umgewandelt werden. Das entspricht der Fläche von ca. 170 Fußballfeldern. Selbst wenn davon und vom Gesamtanteil der Siedlungs- und Verkehrsflächen von 12,3 % (2002) nur rund 35 % versiegelt sein sollten, ist das zu viel! Bis 2010 soll dieser Verbrauch auf 30 ha reduziert werden. In der Schweiz wurden zwischen 1985 und 1997 pro Tag durchschnittlich 7 ha überbaut.

Muss denn wirklich jede Garageneinfahrt und jeder Quadratmillimeter der Grundstücke voll zugepflastert, zubetoniert oder asphaltiert werden? Genügt nicht ein Belag aus Hohl-raumsteinen oder ein solcher nur für die Spurbahnen oder einen schmalen Weg zum Haus? Auch auf einem dazwischen oder daneben liegenden Bett aus feinen Steinen, in welchem das Wasser versickern kann, bekommt man keine schmutzigen Schuhe! ***Müssen sämtliche öffentlichen und privaten Plätze stets als riesige, öde, tote Betonflächen gestaltet werden?*** In Nordrhein-Westfalen z. B. gerät bei Starkregen innerhalb weniger Stunden die gleiche Schmutzmenge in die Gewässer wie aus allen rund 750 kommunalen Kläranlagen in

einem Jahr. Aufgrund der Abkehr von der naturnahen Gestaltung von Grundstücken und Landschaften versickert nicht nur weniger Wasser. Wir vermindern damit ganz entscheidend unsere **Lebensqualität** und die anderer Lebewesen; ebenso durch die trotz aller Katastrophen, Staus und Unfälle ungehemmt weiter steigende Zahl der Autos und deren Lärm, Autofahren trägt durch den Ausstoß von Schadstoffen und Kohlendioxid entscheidend zum Waldsterben und zum Treibhauseffekt, und damit zur Häufung von Naturkatastrophen, bei. Eine radikale Änderung des Lebensstils jedes Einzelnen weg von der Gleichgültigkeit und hin zu Verantwortung ist in den modernen Industriegesellschaften auch von daher mehr denn je erforderlich.

Das über die Oberflächen abfließende und dabei viele Schadstoffe, wie Mineralöle, Salze oder Blei, aufnehmende Niederschlagswasser wird in immer größeren Mengen über die **Kanalisation** die Gewässer abgeführt. Bei der weit verbreiteten Mischkanalisation gelangen diese Wässer zusammen mit den Abwässern in die Kläranlagen. Erfolgt eine zu große Verdünnung mit Niederschlagswasser, werden manchmal noch, besonders wenn keine Becken zur Speicherung vorhanden sind, solche Wässer nach der mechanischen Reinigung direkt in die Gewässer (die sog. **Vorfluter**) eingeleitet, wenn infolge zu starker Verdünnung die biologische Reinigung nicht mehr funktioniert. Eine Trennkanalisation mit separater Sammlung und Reinigung von Niederschlags- und Abwasser mag zwar zunächst teurer sein, dürfte sich aber langfristig gewiss auszahlen, ebenso wie eine Verminderung der Versiegelung. Letzteres führt zu einer bis zu einem Drittel höheren Versickerungsmenge und damit besserer Nachlieferung unseres Grundwasservorrates. Kläranlagen könnten kleiner dimensioniert werden und würden dadurch billiger.

Trinkwasser wird bei uns zu mehr als zwei Dritteln aus Quell- und Grundwasser gewonnen. Als Abwasser gelangt dieses fast vollständig über die Kläranlagen in die Oberflächengewässer. Deren Wassermenge, Schmutz- und Nährstoffbelastung könnte doch deutlich vermindert werden, wenn man die aus Quell- und Grundwassern resultierenden Mengen gereinigten Abwassers und große Mengen des gereinigten Niederschlagswassers statt dessen in den Entnahmgebieten über naturnahe, z. B. in Geländemulden, angelegte Seen, Weiher, Teiche, Feuchtwiesen oder Moore versickern lassen würde. Das Landschaftsbild würde in den neu entstandenen Biotopen

(Lebensräumen) durch Bildung neuer Biozönosen (Lebensgemeinschaften) verbessert, die Tier- und Pflanzenwelt bereichert, der Erholungswert gesteigert, die Luftqualität erhöht und der Grundwasservorrat stabilisiert. Die Gefahr der Wasserknappheit während längerer trockener Hochsommerperioden (wie 2003) würde geradeso vermindert wie die Wassermengen der Flüsse und damit auch die Höchststände bei Hochwasser.

Hochwasservermeidung bzw. -verminderung ist besonders in den dicht besiedelten hochwassergefährdeten Gebieten allemal besser als Hochwasserschutz, der - wie viele leidvoll erfahren haben - nicht ausreichend möglich ist. Die aufgrund von Erosion mitgeführten Sedimente lagern sich in überfluteten Räumen ab (beispielsweise in Gebäuden) und lassen sich nur mühsam entfernen.

Die durch extreme Hochwässer verursachten Schäden in der Kulturlandschaft und den Siedlungsgebieten sind wie erwähnt volkswirtschaftlich sehr hoch. Insofern sollte in natürlichen Überflutungsbereichen nicht mehr gebaut und (auch wegen des erhöhten Nährstoff- und Pestizideintrags) keine Intensivlandwirtschaft mehr betrieben werden. Vermeidung und Verminderung von Erosion (dazu trägt eine sachgemäße Wiederaufforstung und eine hangparallele Bewirtschaftung bei), Abfluss, Gewässerkanalisierung, Versiegelung und Einleitungen sowie die Wiederherstellung natürlicher Gewässerlandschaften führen zu wesentlich geringeren Hochwasserschäden für den Menschen und auf jeden Fall zu einer besseren Gewässerstrukturgüte, größeren natürlichen Artenvielfalt und damit höheren Lebensqualität für alle.

U m w e l t t h e m a : A b w a s e r

Was ist eigentlich «Abwasser»?

Jeder von uns nutzt und gebraucht im Haushalt Wasser, das dadurch verschmutzt wird. Gleiches geschieht im Dienstleistungsbereich, in Gewerbe und Industrie und bei Freizeitaktivitäten, wie dem Sport. Solche verschmutzten Wässer und das in die Kanalisation abfließende Niederschlagswasser sowie eventuell durch Undichtigkeiten in diese

gelangende Fremdwässer (z. B. Sickerwasser oder Grundwasser) bilden das Abwasser. Dieses wird einer Kläranlage zugeleitet.

Wie unterscheiden sich Misch- und Trennsystem?

Regenwasser kann mit Schmutzwasser gemischt in einem Kanal oder von diesem getrennt über ein zweites Kanalsystem abgeleitet werden. Das Trennsystem ist zwar teurer als das Mischsystem, hat aber für den Umweltschutz Vorteile, was schon dargestellt wurde. Es sei nochmals an Folgendes erinnert:

Beim Trennsystem besteht die Möglichkeit, das gereinigte Niederschlagswasser in naturnahen Seen, Weihern, Teichen oder Mooren versickern zu lassen und damit den Grundwasservorrat zu ergänzen, was - und darauf sei nochmals hingewiesen - mit gereinigtem Abwasser ebenfalls möglich ist. Beim Mischsystem besteht bei großen Niederschlagsmengen die Gefahr der zu starken Verdünnung des Abwassers und der dann oftmals erfolgenden Einleitung in die Gewässer (die sog. Vorfluter), ohne dass die Abwässer biologisch gereinigt werden. Je weniger Regenwasser über die Mischkanalisation der Kläranlage zugeführt wird und je mehr Regenwasser versickert, um so geringer ist diese Gefahr.

Je größer die versiegelte Fläche eines Grundstücks ist, um so mehr Regenwasser fließt in das Kanalnetz. Daher erheben manche Kommunen, wie die in Hennef oder in Troisdorf, aufgrund ihrer **Abwassergebührensatzung** eine Gebühr für die eingeleitete Niederschlagswassermenge. Derjenige, der also sein Grundstück in nur geringem Umfang versiegelt, viel Regenwasser versickern lässt oder nutzt, spart in diesen Kommunen Geld und dient der Umwelt.

Welche Umweltgefährdungen gehen von der Abwasserkanalisation aus?

Undichte Kanäle bewirken nicht nur ein unerwünschtes Eindringen von Fremdwasser und Ratten. Über Undichtigkeiten im Kanalnetz gelangen natürlich auch große, mit vielen Schadstoffen (wie Waschmittelbestandteile, Schwermetalle, Nitrate, Phosphate) belastete Abwassermengen ins Erdreich und verseuchen das Grundwasser, unsere wichtigste Trinkwasserquelle oder -ressource. Hierin liegt eine außerordentlich hohe Umweltbelastung, zumal die Toxizität (Giftigkeit) ansteigt, wenn diese Abwässer nicht mehr zügig abfließen, sondern im Kanal länger verweilen bzw. versickern. In Deutschland wurden 2001 5,25 Mrd. m³ Schmutzwasser, über 3 Mrd. m³ Nieder-

schlagswasser und mehr als 2 Mrd. m³ Fremdwässer über rund 486000 km öffentliches Kanalnetz den etwa 10000 Abwasserbehandlungsanlagen zugeleitet. Davon versickern schätzungsweise 300 Millionen Kubikmeter! Dieser **Umweltskandal** muss durch schnellstmögliche **Sanierung** behoben werden! Etwa 31 % dieses Netzes sind sanierungsbedürftig, in den neuen Bundesländern liegt dieser Anteil höher. Die Kosten werden auf 45 Milliarden Euro für den Zeitraum von 1996 bis 2016 geschätzt. Allein in Nordrhein-Westfalen werden die Sanierungen des Kanalnetzes bis etwa 2013 rund 15 Milliarden Euro kosten. Hinzu kommt noch ein erheblicher Bedarf an neuen Abwasserkanälen, der allerdings verringert werden kann, wenn vor allem in ländlichen Gebieten Abwässer dezentral in Kleinkläranlagen gereinigt werden. Das etwa doppelt so lange Kanalsystem der privaten Grundleitungen ist noch deutlich schadhafter. Rund 40 % dieser Kanäle müssen mittelfristig saniert werden.

Wie kann man solche Schäden feststellen?

Eine Möglichkeit, Kanalisationsschäden festzustellen, besteht in einem Spaziergang durch das Kanalsystem. Ein solcher ist allerdings nicht nur wegen manchmal herumlaufender und oft hungriger Ratten, sondern überdies wegen der geringen Höhe, der Dunkelheit, der Nässe und des nicht für jeden angenehmen Geruchs nach faulen Eiern infolge von Schwefelwasserstoffbildung nicht allzu genussvoll. Im Gegenteil! Wegen der hohen Giftigkeit von Schwefelwasserstoff und anderer Gase sowie des manchmal kaum noch vorhandenen Sauerstoffs ist ein Inspektionsgang mit tödlichen Gefahren verbunden! Selbst beim Tragen von Atemschutzmasken mit speziellen Filtern darf der Sauerstoffgehalt höchstens 4 % niedriger sein als er normalerweise mit 21 % in der Luft ist. Außerdem darf die Schadstoffkonzentration bei solchen Geräten nur sehr niedrig sein. Diese Gefahren bestehen gleichfalls in kleineren, nicht begehbaren Kanälen. Da durch diese hindurchzukrabbeln nicht jedermanns Sache und zudem nicht immer möglich ist, werden diese Kanäle mit fahrbaren Kameras überprüft. Sogar Undichtigkeiten von Muffenverbindungen, oder selbst feinste Risse, lassen sich so viel bequemer feststellen. Ein neu entwickeltes automatisches Messsystem erfasst mit einem hochempfindlichen Sensor (Messfühler) Gerüche in Konzentrationen, die wir noch nicht wahrnehmen. In Wien beispielsweise wird es im Rahmen der Kanalüberwachung eingesetzt.

Wo liegen die Ursachen der Schäden im Kanalsystem?

Die Ursachen der Kanalschäden sind vielfältig. Der noch immer weiter wachsende oberirdische Verkehr von Bahnen und auf Straßen trägt durch starke Erschütterungen enorm dazu bei. Einige Kanäle stammen noch aus dem 19. Jahrhundert (2002 rund 4 %). Aber auch viele andere Kanäle sind überaltert. 14 % sind über 76 Jahre alt. Oft ist schlampiger Bau und Einbau Ursache von Defekten. Durch Veränderungen im Ernährungsverhalten ist der Eiweißanteil im Abwasser in den letzten 15 bis 20 Jahren stark angestiegen. Bakterien gedeihen in der Kanalisation. Anaerobe Bakterien wandeln die schwefelhaltigen Eiweiße wie bei anderen Fäulnisprozessen zu giftigem Schwefelwasserstoff um, aerobe Bakterien bilden aggressive Schwefelsäure, die die Kanalwände „zerfrisst“. Ebenso betonzerstörend wirken neben niedrigen pH-Werten und den Sulfat-Ionen Kohlensäure, Magnesium-Ionen und die ebenfalls z. B. aus Eiweißen oder Harnstoff durch anaerobe Prozesse entstehenden stickstoffhaltigen Ammonium-Ionen. Durch gefährliche Reibgüter wie Kronkorken werden die Kanalwände mechanisch zerstört.

Was kann jeder von uns tun?

In die Toilette gehören auch von daher nur solche Stoffe, für die diese Einrichtung vorgesehen und geschaffen worden ist! Über die Toilette sollten auf keinen Fall Windeln, Textilien, Binden, Tampons, Watte, Wattestäbchen, Kondome, Rasierklingen, Batterien, Haare, Zigarettenskippen, Medikamente, Speisereste, Öle, Katzenstreu und die erwähnten Kronkorken sowie andere Abfälle, wie gefährliche Flüssigkeiten, entsorgt werden! Frittieröle und -fette sind in verschließbaren Behältern in die Restabfalltonnen zu geben. Aus in den Kanälen abgelagerten Fetten können sich Fettsäuren bilden, die das Kanalmaterial angreifen. Die Behebung dieser Schäden ist teuer. Aggressive Reinigungsmittel sowie Lack- und Lösemittelreste sind Sonderabfälle und der entsprechenden Sammelstelle zuzuführen. Je mehr dies berücksichtigt wird, um so mehr werden nicht nur die Kanalnetze geschont, Ablagerungen und Verstopfungen vermieden, sondern darüber hinaus die Kläranlagen entlastet. Je weniger dies von jedem Einzelnen beachtet wird, um so teurer werden demzufolge die Abwassergebühren. Abwasser der Toiletten ist stark organisch und mikrobiell verschmutzt und enthält in hohem Maße die Nährstoffe Stickstoff (jeder von uns produziert täglich etwa 30 g Harnstoff),

Phosphor und Schwefel.

Die Belastung des restlichen Abwassers sollte jeder Einzelne minimieren, um Kläranlagen und damit unsere Gewässer zu entlasten. Verstopfungen in Abflüssen kann man mit Saugglocke und/oder Rohrleitungsspirale beseitigen. Die hauptsächlich für die Augen sehr gefährliches Atznatron (Natriumhydroxid) enthaltenden Rohrreinigungsmittel sind dann nicht erforderlich.

Eine totale Desinreaktion im **Sanitärbereich** oder gar im ganzen Haus ist unter normalen Umständen gleich so überflüssig. Desinfektionsmittel wie Natriumhypochlorit sind nicht nur giftig für Mikroorganismen, sondern ebenso für andere Lebewesen. Kommt Natriumhypochlorit mit Säuren oder sauer reagierenden Stoffen, z. B. anderen Reinigungsmitteln wie Essig oder Zitronensäure, in Kontakt, entsteht durch heftige Reaktion giftiges Chlorgas! Dadurch ist es in Haushaltungen schon zu tödlich verlaufenden Unfällen gekommen, was gewiss Grund genug sein dürfte, solche Mittel zu vermeiden. Eine total keimfreie Umwelt ist überdies aus gesundheitlichen Gründen, wie z. B. der Schwächung der Immunabwehr, nicht anzustreben. Durch übertriebene Hygiene werden immer mehr Menschen, vor allem Kinder allergisch, z. B. gegen Nahrungsmittel. In manchen Haushaltsreinigern, sowie selbst in Textilien und bestimmten Toilettenpapieren enthaltene antibakterielle Stoffe, können zu **Allergien** führen, resistente Bakterien fördern, die nützlichen Mikroorganismen der Kläranlagen und Organismen, z. B. des Meeres, schädigen.

Allzweckreiniger mit leicht abbaubaren Tensiden oder Gall- und Schmierseife sowie Spiritus reichen zur erforderlichen Reinigung oft völlig aus. Die notwendige Sauberkeit und Hygiene erreicht man auch ohne übermäßige Umweltbelastung.

Was ist eigentlich «Bier»?

Bier ist ein wertvolles - allerdings in (wenn auch meist vollen) Maßen zu genießendes - Lebensmittel. Dieses köstliche Getränk ist, wie kaum ein anderes, vorzüglich dazu geeignet, den praktisch ständig vorhandenen Durst wirklich zu löschen und der natürlichen Geselligkeit ihre freundliche Wärme und heitere Note zu verleihen. Es wird grundsätz-

lich bei uns wie seit Jahrhunderten gemäß dem vom bayerischen Herzog Wilhelm IV. 1516 verkündeten Reinheitsgebot nur aus Malz (gekeimte Gerste), Hopfen, Hefe und Wasser hergestellt, ist also ein reines Naturprodukt. Der Tag dieser lobenswerten Verkündigung, der 23.4., ist demzufolge als Tag des Bieres ein Feiertag.

Die Tschechen sind mit ca. 160 Litern pro Kopf und Jahr Weltmeister im Bierkonsum (2003: 162 L), was bei der Qualität der dortigen Biere absolut verständlich ist. Die ehemaligen Vize-Weltmeister aus Deutschland mussten aufgrund rückläufigen Schluckens diesen Titel an die Iren abtreten und vernichteten 2003 nur noch etwas mehr als 116 Liter. Damit wurde 2003 erstmals mit 129 L pro Kopf mehr Mineral-, Quell- und Tafelwasser als Bier getrunken! Der Herstellungsvorgang dieses edlen Getränks wird nun etwas näher betrachtet.

Im Sudhaus wird das geschrotete Malz mit Wasser verrührt, gemaischt. Nach der Entfernung von festen Bestandteilen (welche man Treber nennt) wird die Maische zusammen mit Hopfen in der Braupfanne gekocht. Die so hergestellte Bierwürze wird auf 5 bis 10 °C abgekühlt und im Gärkeller mit Hefe versetzt. Nun erfolgt die Gärung, bei der u. a. der Alkohol Ethanol und Kohlendioxid entstehen.

Wieso wird Bier auch “flüssiges Brot” genannt?

Aufgrund des Alkohols wirkt Bier anregend, aufheiternd, entspannend und schlaffördernd. Somit kann es Zivilisationsschäden, die durch zu großen Stress hervorgerufen werden (wie das Herzinfarktrisiko), mildern. Außerdem verringert es das Schlaganfallrisiko, schützt vor Arterienverkalkung, Bluthochdruck und Osteoporose.

Ein übermäßiger Alkohol“genuss“ oder gar eine Alkoholvergiftung durch **Bier** ist schon aus rein physischen Gründen durch das begrenzte - obwohl individuell stark unterschiedlich ausgeprägte - Fassungsvermögen und die gleich so begrenzte Aufnahmefähigkeit des Körpers sehr unwahrscheinlich. Allerdings besteht beim Konsum alkoholhaltiger Getränke grundsätzlich die Gefahr, sich schwerwiegend zu schädigen, z. B. im Gehirn, davon abhängig, süchtig zu werden, Alkohol ist bei einigen Krebsarten der Hauptrisikofaktor und begünstigt andere. Frauen reagieren wesentlich empfindlicher auf Alkohol als Männer. **Verkehrsteilnehmer müssen alkoholische Getränke ganz meiden.** Alkoholfreies Bier darf bis zu 0,5 % Ethanol enthalten, schmeckt ebenfalls köstlich und ist eine gute Lösung des Problems Alkohol.

Bier enthält eine Vielzahl lebensnotwendiger (essenzieller) Stoffe, wie Vitamine (vor allem des B-Komplexes). Dank seiner Hopfeninhaltsstoffe soll Bier nach neusten Forschungen sogar krebsvorbeugend wirken. Die beruhigende Wirkung ist auf die Hopfenbitterstoffe zurückzuführen. Sie wirken antibiotisch, allerdings auch Östrogen durch Estradiol. Bei enorme Biermengen schluckenden Männern wurden Verweiblichungen festgestellt. Der hohe Glutaminsäuregehalt ist für den Hirnstoffwechsel förderlich. Die vorhandenen Spurenelemente wie Fluor und Molybdän oder Stoffe wie Magnesium, Kalium und Phosphorsäure dienen ebenfalls der Gesundheit. Ein Liter Bier enthält an Magnesium etwa 45 %, an Kalium rund 20 % des Tagesbedarfs eines Erwachsenen. Beide Elemente sind u. a. für die Funktion des Herzens bedeutsam. Die ehrenvolle Bezeichnung „flüssiges Brot“ hat Bier damit zurecht, jedoch nicht im Hinblick auf seinen Kohlehydratgehalt, denn der ist recht niedrig. Insofern ist Bier überdies ein wertvoller Diätfaktor.

Beim Herstellungsprozess dieses edlen Gesöffs fallen pro Liter Bier rund 5 Liter unterschiedlichster Abwässer an. Diese Brauereiabwässer sind infolge gelöster und ungelöster organischer Stoffe wie Treber, Hefe, Papierfetzen und Tenside stark verschmutzt und eventuell durch Desinfektionsmittel vergiftet. Im Verlaufe der Herstellung sind - was mehr als verständlich ist - Bierverluste zu minimieren, z. B. bei Press- und Filtrationsvorgängen, bei der Hefeabtrennung sowie durch Auffangen von Bierverlusten am Flaschenfüller.

Was ist in anderen gewerblichen und industriellen Abwässern enthalten?

Abwässer aus Betrieben der Lebensmittel verarbeitenden Industrie sind meist mit organischen Schmutzstoffen hochgradig belastet, selbst wenn zum Kartoffelschälen Natronlauge eingesetzt wird.

Abwässer von metallverarbeitenden Betrieben sind dagegen hauptsächlich mit stark toxischen anorganischen Stoffen wie Metall- oder Cyanid-Ionen vergiftet. Diese müssen entgiftet und aus dem Wasser entfernt werden, z. B. durch Oxidation, Reduktion, Fällung (Bildung schwerlöslicher Verbindungen) und Filtration.

Die einzelnen gewerblichen und industriellen Abwässer entstehen im Verlaufe des Produktionsprozesses. Sie beinhalten eine Vielzahl von Stoffen, die im Rahmen der Verarbeitung der Rohstoffe zu den ge-

wünschten Endprodukten anfallen. Wichtige Ziele (die z. T. schon erreicht wurden) sind hier die Minimierung der Abwassermengen (z. B. durch betriebsinterne Reinigung des Abwassers und Rückführung des gereinigten Wassers in den Produktionskreislauf) und der Konzentrationen und Mengen der Inhaltsstoffe (z. B. durch Umstellung der Produktion auf abwasser-, schadstoff- und abfallarme Verfahren). Trotzdem müssen viele dieser Abwässer zunächst in betriebseigenen Kläranlagen gereinigt werden, bevor sie zur kommunalen Kläranlage oder direkt in die Gewässer, die sogenannten Vorfluter, geleitet werden.

Was ist eigentlich «Papier»?

Schon vor 5000 Jahren wahrscheinlich wurden Pergament (benannt nach der Kleinasiatischen Stadt Pergamon) aus geglätteten Schaf-, Ziegen- oder Kalbfellen sowie in Ägypten Papyrus (von dem Papier seinen Namen hat) aus in dünne Streifen geschnittenen Stängeln eines schilfartigen Sumpfgewächses hergestellt. Papier war in China bereits um 60 v. Chr. bekannt. Von chinesischen Kriegsgefangenen bekamen die Araber um 750 n. Chr. Kenntnis von der Papierherstellung. Diese gelangte dann über die Mauren nach Spanien.

Wie wird Papier bei uns produziert?

In Deutschland werden neben ca. 65 % Altpapier hauptsächlich das bei der Durchforstung anfallende Schwachholz, kranke, fehlerhafte Stämme sowie Kronen und Äste, vor allem der langfaserigen Nadelbäume, aber auch Sägewerksabfälle, zur Papiererzeugung genutzt. Man braucht dafür Faser, Füll- und Hilfsstoffe sowie Wasser. Faserstoffe sind Holzstoff, Zellstoff und Altpapier. Der mit Hilfe eines drehenden Schleifsteins erhaltene faserige Holzstoff heißt Holzschliff. Zellstoff wird aus Holzhackschnitzeln unter Zugabe von Wasser und Chemikalien (z. B. schwefelhaltige Salze wie Sulfite und Sulfate) durch längeres Kochen gewonnen. Dabei werden in erster Linie Lignin und Harze entfernt und das Holz in Einzelfasern zerlegt. Ein eventuelles **Bleichen** (Farbstoffzerstörung durch Oxidation oder Reduktion) erfolgt immer häufiger (in Deutschland fast nur noch) mit Sauerstoff und Sauerstoff-Verbindungen (Ozon, Wasserstoffperoxid) statt mit Chlor oder Chlordioxid. Bei der Chlorbleiche können giftige

chlorierte Kohlenwasserstoffe wie Dioxine entstehen. Die bei der Zellstoffherstellung anfallende Abluft enthält geruchsintensive Schwefelverbindungen. Diese werden größtenteils rückgewonnen. Dadurch konnte der Einsatz von Chemikalien minimiert und der Ausstoß an Schwefeldioxid in den letzten Jahrzehnten um mehr als 90 % reduziert werden.

Altpapier wird zunächst im Stofflöser oder Pulper mit Wasser aufgelöst und zerfasert. Die Druckfarben werden aus dem gelösten Altpapier mittels der De-Inking-Chemikalien Natronlauge, Peroxid, Wasserglas und Seife von den Fasern größtenteils gelöst und diese - falls notwendig - gebleicht. An eingeblasener Luft bleiben die Druckfarbenteilchen haften, schwimmen auf (flotieren) und werden an der Oberfläche abgeschöpft. Die Fasern verlieren infolge dieser Prozesse an Länge und damit an Qualität (d. h. an Festigkeit). Dem wiederholten Recycling von Altpapier sind dadurch Grenzen gesetzt. Je sortenreiner und sauberer Altpapier gesammelt wird, um so besser kann es wiederverwertet werden. Die einzelnen Faserstoffsuspensionen werden gemischt, mit Füllstoffen (z. B. Kaolin) und Hilfsstoffen versetzt. In Papiermaschinen wird nun Wasser durch Sieben, Pressen und Trocknen (mit der Energie von Dampf) abgetrennt. Die Fasern verfilzen, werden durch Wasserstoffbrücken aneinander gebunden und geben so dem gebildeten Papier die nötige Festigkeit. Bis zu 2000 m Papier können so pro Minute erhalten werden. Das Rohpapier wird anschließend z. T. veredelt, z. B. gefärbt oder geglättet. Recyclingpapiere haben eine lange Lebensdauer, d. h. sie sind sehr alterungsbeständig. Ihr Weißgrad wurde ständig weiter erhöht. Sie sind immer vielfältiger verwendbar.

Welche Umweltschutzmaßnahmen werden neben dem Recycling durchgeführt?

Der weltweit zu fast 90 % nach dem Sulfatverfahren gewonnene Zellstoff hat längere Fasern als der in Deutschland meist erzeugte Sulfitzellstoff. Wegen der höheren Festigkeit wird Sulfatzellstoff daher hier ebenfalls verwendet. Die bei der Herstellung von Sulfatzellstoff eingesetzte Bleiche mit Chlor wird demnächst völlig durch umweltfreundlichere Verfahren mit Ozon, Wasserstoffperoxid oder Enzymen ersetzt werden.

Ebenso wird an Verfahren gearbeitet, bei denen der Zellaufschluss mit gut rückgewinnbaren und biologisch abbaubaren

organischen Lösungsmitteln erfolgt. Bei den bisherigen Verfahren fallen stark verschmutzte Abwasser an. Sie enthalten organische Substanzen (ungelöste Faserstoffe, gelöste, schwer abbaubare Ligninverbindungen) sowie anorganische Stoffe (ungelöstes Kaolin, gelöste schwefelhaltige Salze). Oft werden sie in innerbetrieblichen Kläranlagen in mehreren Stufen gereinigt.

Durch **Kreislaufführung** des gereinigten Abwassers wurden die abgeleiteten Abwassermengen und Schadstofffrachten erheblich vermindert genauso wie der Wasserbedarf. Dieser betrug um 1900 noch etwa 1000 Liter pro Kilogramm erzeugtem Papier. Mitte der 70er Jahre waren es bloß noch rund 47 Liter pro Kilogramm. Heute liegt der Wert als Folge sparsamer und mehrfacher (z. T. zehnfacher) Verwendung des (gereinigten und aufbereiteten) Wassers bei 12 L/kg. Zwei Drittel des Energiebedarfs der deutschen Papierindustrie wird durch kombinierte Gewinnung von Strom und nutzbarer Wärme (**Kraft-Wärme-Kopplung**) gedeckt, was zu einer gleichfalls enormen Einsparung an Primärenergieträgern (Kohle, Gas, Öl) und damit einer Verminderung der Kohlendioxidemissionen geführt hat. Eine Reihe von Papierherstellern, aber auch andere Unternehmen wie Verleger und Druckbetriebe, beteiligen sich an Umweltmanagement- und Zertifizierungsverfahren, wie dem **EMAS** (Environmental Management and Audit Scheme) der EU (EMAS-Zeichen: s. Anhang 1, Abb. A-2).

Was sind eigentlich «Tenside»?

Zu den anionischen Tensiden gehören auch die oftmals so gelobten **Seifen**. Sie reagieren basisch. Seifenlaugen sind wegen des hohen pH-Wertes von 10 bis 11 gewebeschädigend und lösen wie andere Tenside das Hautfett, je wärmer sie sind, um so besser. Mit den Härtebildnern des Wassers reagieren Seifen zu schwerlöslichen Kalk- und Magnesiumseifen“, welche sich dann auf der Wäsche als „Gilb“ oder als Schmutzrand, z. B. in Badewannen, ablagern. Dadurch wird der Seifenverbrauch enorm erhöht. Wegen dieser negativen Eigenschaften sind die Seifen in modernen Wasch-, Spül- und Reinigungsmitteln durch neutral reagierende Tenside ersetzt worden. Tenside sind die eigentlichen wasch- und reinigungsaktiven Substanzen, weil sie aufgrund ihres Aufbaus dafür sorgen, dass im polaren Wasser unpolarer

Schmutz, z. B. Fett, benetzt und abgelöst wird. Die häufig herangezogenen Alkylbenzolsulfonate sind bei Sauerstoffmangel biologisch nicht abbaubar. In den letzten Jahren hat man daher verstärkt umweltfreundlichere Tenside eingesetzt, wie die aus Stärke und Kokosöl herstellbaren Zuckertenside (Alkylpolyglucoside).

Was versteht man unter “biologischem Abbau”?

Umweltfreundliche Tenside sind leicht und schnell biologisch abbaubar und damit nicht toxisch, auch was ihre beim Abbau entstandenen **Metabolite** (Zwischenprodukte) betrifft. Entscheidend für die Abbaubarkeit ist der Aufbau der Tensidteilchen. Sind diese geradkettig (also linear und damit nicht verzweigt) aus Kohlenstoffketten aufgebaut, wie die Seifen oder die Fettalkoholsulfate, können die Mikroorganismen des Wassers diese gut anknabbern und abbauen.

Gemäß Waschmittelgesetz und **Tensidverordnung** müssen einzelne Tenside durchschnittlich zu mindestens 90 % auf biologischem Wege primär abbaubar sein. Diese Anforderung gilt als erfüllt, wenn eine einmalige Prüfung wenigstens den Wert von 80 % ergibt. Unter primärem Abbau versteht man die ersten biologischen Abbauschritte, bei denen das Tensid seine grenzflächenaktiven und toxischen Eigenschaften weitgehend verliert. (Wegen ihrer Grenzflächenaktivität können Tenside die empfindlichen Membranen der Kiemen der Fische und anderer Wasserorganismen zerstören).

Bei der Prüfung nach dem OECD-Screening-Test (OECD = Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung; Screening = engl., Verfahren zur Reihenuntersuchung) sind Tenside die einzige organische Nährstoffquelle für die Abwasserbakterien. Innerhalb von 19 Tagen muss ein Abbau von 80 % oder mehr erfolgt sein. Tenside, die primär leicht abbaubar sind, werden zumeist ebenfalls schnell bis zu den anorganischen Endprodukten wie Kohlendioxid und Wasser abgebaut. In solchen Fällen reichern sich in der Umwelt keine langlebigen Abbauprodukte an.

Welche Arten von Tensiden unterscheidet man?

Neben den in Wasch-, Spül- und Reinigungsmitteln benutzten anionischen und nichtionischen Tensiden werden, etwa in Weichspülern, Kationtenside eingesetzt. Hier wurden ebenfalls wesentlich leichter abbaubare und weniger toxische Stoffe entwickelt. **Trotzdem sollte man auf Weichspüler möglichst verzichten.** Gibt man beim

letzten Spülgang einen kräftigen Schuss **Essig** hinzu, werden Restkalke und entstandene Kalkseifen gebunden und ausgespült. Die Wäsche wird dann ohne zusätzlichen Weichspüler herrlich weich.

Spülmittel, Shampoos und Badepräparate besitzen eine vierte Gruppe, die sog. Amphotenside. Gewarnt werden muss vor solchen Anti-Schuppen-Shampoos, die krebserregende Stoffe aus Steinkohlenteer beinhalten!

Werden Tenside nur für Wasch-, Spül- und Reinigungszwecke verwendet?

Tenside werden überdies anderweitig in vielen Gewerbe- und Industriezweigen genutzt, z B. in der Textil-, Faser-, Nahrungsmittel-, Kosmetik-, Farben-, Lack-, Kunststoffindustrie, der Pharmazie, im Bergbau, bei der Ölförderung, der Metallverarbeitung oder der Cellulose-, Papier-, Leder- und Pelzherstellung. Sie kommen daher in einer Vielzahl unterschiedlichster Abwässer vor. Oftmals sind jene Tenside noch hart, d. h. biologisch schwer abbaubar, was schnellstmöglich zu ändern ist.

Was sind eigentlich «Waschmittel»?

Neben den Tensiden und Enthärtern - zu denen auch Polycarboxylate gehören, die wie Nitrilotriacetat (NTA) giftige Schwermetalle aus Sedimenten von Flüssen und Seen lösen können -, sind in Waschmitteln noch viele weitere Substanzen vorhanden.

Bleichmittel wie das häufig herangezogene Natriumperborat entfärben und zerstören farbigen Schmutz durch Oxidation. Bleichaktivatoren wie Tetraacetylenylendiamin (TAED) sorgen dafür, dass dies bereits schon bei niedrigen Temperaturen geschieht.

Damit das Waschmittel rieselfähig bleibt und nicht zusammenklumpt, werden manchen Waschmitteln immer noch 5 bis 15 % Steilmittel wie Natriumsulfat überflüssigerweise zugesetzt. Die sog. **Kompaktwaschmittel** sind stellmittelfrei. ***Sie sollten gegenüber den anderen Vollwaschmitteln bevorzugt werden***, da durch sie wesentlich weniger Salze (insbesondere weniger betonschädigende Sulfate) ins Wasser gelangen, geringer dosiert werden kann und Verpackungsmaterial, aber auch Transportenergie, eingespart wird. ***Nachfüllpackungen***

sollte jeder stets wählen.

Flüssige Waschmittel sind jedoch kein Ersatz für Universalwaschmittel. In ihnen fehlen die üblichen Enthärter (Seifen dienen hier diesem Zweck) sowie Bleichmittel und Vergrauungsinhibitoren, die ein Wiederablageren des Schmutzes auf der Wäsche verhindern. Sie besitzen einen höheren Tensidanteil und sollten daher - wenn überhaupt - vor allem für fetthaltige Verschmutzungen und farbige Textilien gebraucht werden.

Schwernmetall-Ionen können mit dem Bleichmittel unerwünschte Reaktionen eingehen. Um dies zu verhindern, werden Stabilisatoren zugesetzt, die diese Ionen komplex binden, wie Magnesiumsilicat Phosphonate, Nitrilotriacetat (NTA) oder sogar die biologisch kaum abbaubare Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA). Da Schaum für den Wascherfolg kaum noch bedeutsam ist, sind Schaumregulatoren wie Seife vorhanden. Korrosionsinhibitoren wie Natriumsilicat (Wasserglas) verhindern Rostprozesse beim oder auch nach dem Waschen. Enzyme entfernen eiweißhaltige Verschmutzungen, z. B. Blut oder Eigelb. Den Eindruck einer intensiveren Weißfärbung rufen optische Aufheller hervor. Duftstoffe werden zugesetzt, um der Wäsche einen angenehmen Geruch zu verleihen.

Wie können wir alle noch umweltfreundlicher waschen? Waschmittel nach dem Baukastensystem, bei denen die Bestandteile einzeln dosierbar sind, sollte jeder verstärkt benutzen. Denn bei harten Wässern braucht nur der Enthärter höher dosiert zugegeben zu werden und nicht - wie das sonst immer geschieht - das komplette Waschmittel. Das Abwasser und die Gewässer werden dadurch bedeutend entlastet.

Sehr umweltfreundlich sind die neu entwickelten **elektronischen Waschmaschinen**. Bei diesen wird entsprechend dem gewählten Waschprogramm und dem Verschmutzungsgrad des Waschgutes computergesteuert die beste Mischung aus flüssigen Komponenten zudosiert. Die Pulverwaschmittelbestandteile Enthärter, Wasch- und Bleichmittel liegen hier wie der Weichspüler in flüssiger Form vor. Die Waschkomponente enthält neben einer Tensidmischung noch Enzyme. Die Bleichkomponente besteht aus einer hocheffektiven Mischung aus Wasserstoffperoxid und einer organischen Peroxysäure, die biologisch sehr gut abbaubar ist. Bereits bei 40 °C wird auf diese Weise eine hygienisierende, d. h. bakterienabtötende Wirkung erreicht,

was mit Perboraten bei solchen Temperaturen nicht hinreichend geschieht. Außerdem sind diese in Lösung nicht stabil. Eine Überbelastung der Böden und damit eine Hemmung des Pflanzenwachstums wird so auch verhindert. Der Weichspüler wird nur bei Bedarf in das letzte Spülbad dosiert und so gleichmäßig auf der Wäsche verteilt, dass deutlich weniger als bei herkömmlicher Art verbraucht wird.

Über einen Wasserspeicher, der wiederverwertbares Wasser für die nächste Wäsche aufbewahrt, verfügen **Waschmaschinen mit Ökodesign**. Pro Waschgang werden so 7 bis 14 Liter Wasser gespart.

Hersteller umweltfreundlicher Waschmittel können das **EU-Umweltzeichen** (s. Anhang 1, Abb. A-1) beantragen. Der Gesamtenergieverbrauch bei der Herstellung sollte ebenso gesenkt werden wie die Menge an Verpackungen (am besten durch Verwendung wiederbefüllbarer Verpackungen, die es ja schon eine Zeitlang gibt) und der Anteil an schwer biologisch abbaubaren oder sonstigen umweltschädigenden Stoffen. 1998 haben europäische Waschmittelhersteller ein Programm gestartet, um Umweltbelastungen durch Waschmittel zu verringern. Auf der Packung dieser Produkte der beteiligten Firmen ist ein **Erkennungszeichen** (s. Anhang 1, Abb. A-6) angebracht.

Zu guter Letzt sei der werthe Leser noch an den häufig möglichen **Verzicht auf die Vorwäsche** und an das möglichst **vollständige Füllen der Waschmaschine** erinnert sowie an die **Beachtung der** auf den Verpackungen angegebenen **Dosierempfehlungen** (denn Überdosieren verbessert nicht den Wascherfolg, sondern belastet nur unnötigerweise die Umwelt).

Was ist eigentlich «Abwasserreinigung»?

Bis gegen Ende des vorigen Jahrhunderts traten z. B. in Deutschland immer wieder große Seuchen und Epidemien auf (so zuletzt 1892, als in Hamburg über 8000 Menschen an einer Cholera-Epidemie starben), weil Abwässer in Sickergruben oder - oft über die Gassen der Straßen - ungeklärt in die Gewässer geleitet wurden. Dadurch wurden diese sowie die Trinkwässer der Brunnen durch Krankheitserreger ver-

seucht. Erst als man diese Zusammenhänge erkannte, begann man Hygienemaßnahmen zu ergreifen, Trinkwässer aufzubereiten und Abwässer über Kanäle abzuführen. Das Aufblühen der Industrie, die Zunahme der städtischen Bevölkerung und die Erfindung der Toilette mit Wasserspülung bewirkte einen starken Anstieg der Abwassermassen. Die Selbstreinigungskraft der Mikroorganismen der Gewässer war aufgrund der erhöhten Schmutzfrachten überfordert, und so wurden viele jener Gewässer stinkende Kloaken.

Um die Jahrhundertwende begann man daher mit dem Ausbau des Kanalisationsnetzes und dem Bau der ersten **Klärwerke**. Aber noch bis lange nach dem 2. Weltkrieg leiteten sogar viele, an großen Flüssen mit hoher Wasserführung liegende, deutsche Großstädte ihre Abwässer entweder gar nicht oder nur unzureichend geklärt in diese, Größtenteils wurde lediglich mechanisch gereinigt. Der Ausbau der biologischen Reinigung begann in den alten Bundesländern meist erst in den 60er Jahren, in den neuen Bundesländern vielfach erst nach 1990, der der weitergehenden Reinigung erst seit Ende der 80er Jahre als Folge der Probleme durch die zunehmende Meeresverschmutzung, wie in der Nordsee (Robbensterben und Algenpest 1988). Weltweit wird jedoch das Abwasser von rund 2,5 Milliarden Menschen immer noch nicht über Kanalisationen und Klärwerke entsorgt.

Das im Kanalisationssystem gesammelte Abwasser wird - oft mittels Pumpwerken - der in den meisten Fällen kommunalen Kläranlage zugeführt. Dort ist es so zu reinigen, dass es den Anforderungen des **Wasserhaushaltsgesetzes** und anderer rechtlicher Vorgaben wie der **EU-Richtlinie über die Behandlung von kommunalem Abwasser** und der **Abwasserverordnung** entspricht. Die Anforderungen müssen dem in § 7a Abs. 5 des Wasserhaushaltsgesetzes definierten „**Stand der Technik**“ (gleichwertig mit dem im EU-Recht verankerten Begriff „**beste verfügbare Technik**“) entsprechen. Je besser Kläranlagen reinigen, um so niedriger ist die zu zahlende Abwasserabgabe. Denn deren Höhe richtet sich nach den in die Gewässer (Vorfluter) eingeleiteten Schad- und Nährstofffrachten. Betriebe, die ihr Abwasser über eigene Kläranlagen in die Vorfluter abgeben, sind **Direkteinleiter**. Alle die ihr Abwasser der öffentlichen Kanalisation und damit der kommunalen Kläranlage zuführen, bezeichnet man als **Indirekteinleiter**.

Schon auf dem Weg zum Klärwerk bauen Mikroorganismen Stoffe

unter Sauerstoffverbrauch ab, so dass das ankommende Abwasser meist wegen des durch Fäulnis gebildeten Schwefelwasserstoffs stinkt. Da er außerdem für die Bakterien der biologischen Reinigung giftig ist, wird er gebunden, z. B. durch Eisensalze aus der Titandioxid-Industrie.

Mechanische Reinigung

Zunächst wird mechanisch gereinigt. Nichtgelöste Stoffe zu entfernen ist hierbei das Ziel. Grobe, sperrige oder zur Zopfbildung neigende Stoffe werden in einem **Rechenwerk** zurückgehalten. Der Rechen besteht aus Stäben, die senkrecht ins Wasser tauchen und an denen solche Stoffe hängen bleiben. Von Zeit zu Zeit wird das Rechengut von den Stäben entfernt, z. B. mittels maschineller Harken, in Containern gesammelt und dann verbrannt oder deponiert. Da immer mehr Faserstoffe im Abwasser vorhanden sind, werden statt Rechen zunehmend **Siebe** eingesetzt, zumal man mit ihnen eine höhere Reinigungsleistung als mit Rechenwerken erreicht.

Im sog. **Sandfang** sinken Sand und andere feinkörnige Stoffe mit größerer Dichte nach unten und setzen sich ab. Vom Boden werden sie dann abgepumpt. Stoffe mit geringer Sinkgeschwindigkeit und Schwimmstoffe werden anschließend in einem **Vorklärbecken** beseitigt. Das Abwasser durchfließt diese Becken deswegen langsam. Oft verweilt es bis zu 2 Stunden. Räumvorrichtungen entfernen den Boden- sowie den Schwimmschlamm, der sich zwischen Tauchwänden angesammelt hat. Betriebe, deren Abwässer hohe Anteile an Schwimmstoffen aufweisen, müssen eigene **Leichtstoffabscheider** haben. Durch diese werden z. B. Mineralöle aus Kfz-Werkstätten, Benzine aus Tankstellen oder Fette und Öle aus dem Gaststättengewerbe vor der Einleitung solcher Abwässer in die Kanalisation zurückgehalten.

Biologische Reinigung

Auf das aus der Vorklärung abfließende Wasser freut sich nun eine enorme Vielzahl unterschiedlicher Mikroorganismen. Für sie sind die nicht absetzbaren und gelösten organischen Stoffe Nahrung, die sie voller Gier vertilgen. Sie verbrauchen gelösten Sauerstoff und sind somit Aerobier. Teils oxidieren sie die organischen Stoffe bis zu anorganischen Endprodukten wie Wasser und Kohlendioxid (CO₂), teils überführen sie diese infolge Bildung neuer Zellsubstanz und damit Vermehrung in den sog. Belebtschlamm, der gut absetzbar ist.

In die **Belebungsbecken** muss Luft, bzw. Sauerstoff, in ausreichenden Mengen eingetragen werden. Bei der Oberflächenbelüftung wird das Abwasser-Schlamm-Gemisch z. B. mit Kreislern oder Walzen an der Oberfläche stark verwirbelt, kommt auf diese Weise in innigen Kontakt mit der Luft und nimmt so große Mengen Sauerstoff auf. Statt dessen kann Luft oder Sauerstoff auch über am Beckenboden verlegte Rohre mit Öffnungen, sog. Filterkerzen, ins Wasser eingeblasen werden. Das Prinzip der biologischen Reinigung mit Filterkerzen gibt Abb. 5 wieder.

Wegen der trotz allem immer noch vorhandenen schwer abbaubaren Stoffe - einige Tenside gehören dazu - werden oft zwei Belebungsbecken mit unterschiedlichen Lebensgemeinschaften (Biozönosen) über ein **Zwischenklärbecken** hintereinander geschaltet, im ersten Becken werden leichter abbaubare, im zweiten schwerer abbaubare Stoffe eliminiert. Die Reinigungsleistung wird durch die zweistufige Verfahrensweise erheblich gesteigert.

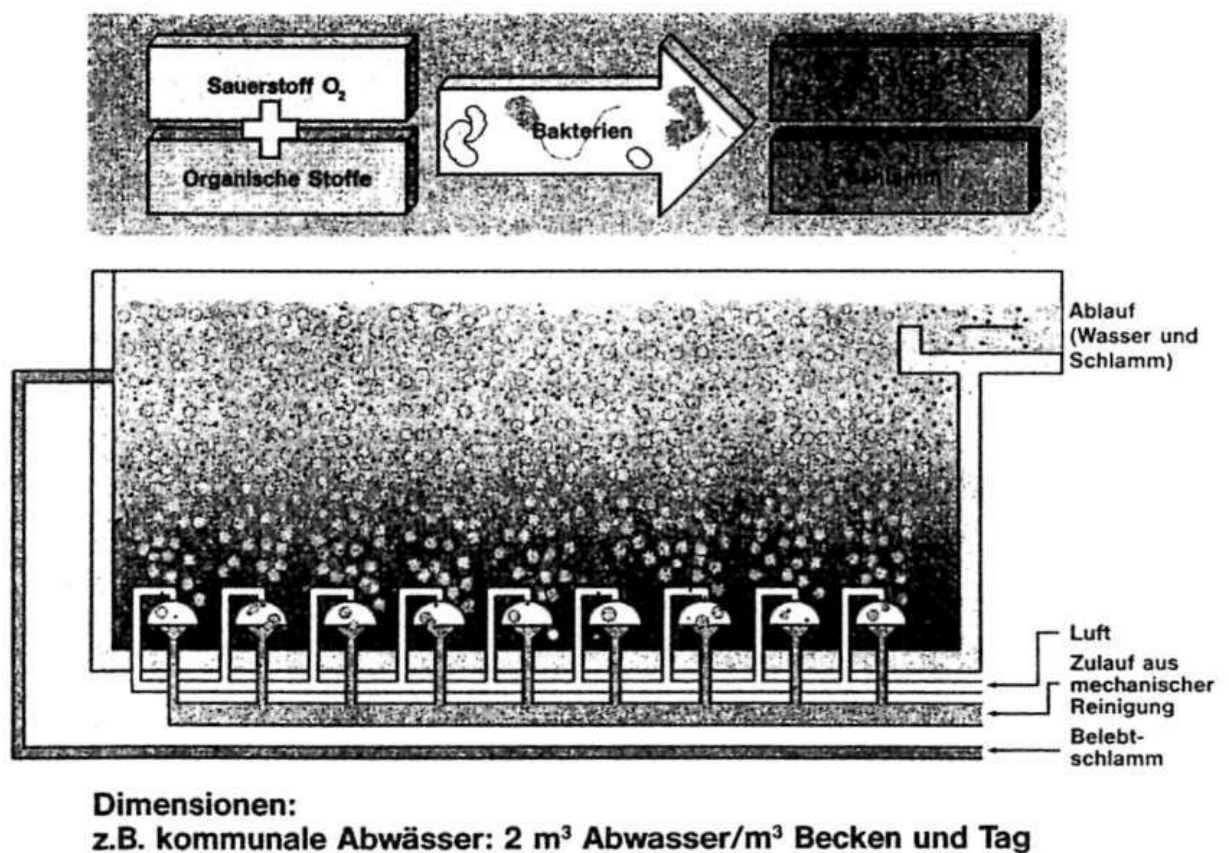


Abb. 5: Belebungsbecken mit Kerzenbelüftung.

Meist für geringe Abwassermengen - und daher überdies zur dezentralen Reinigung geeignet - werden ringförmige Becken, sog. **Oxidationsgräben**, eingesetzt. Durch Walzen, die auf Brücken angebracht sind, wird das Wasser in Zirkulation versetzt und der notwendige Sauerstoff eingetragen. Eine Alternative zu Belebungsbecken stellen **Tropfkörper** (s. Abb. 6) dar. In runden hohen Behältern wird mittels eines langsam umlaufenden Drehsprengers das Abwasser der Vorklärung über eine Füllung aus Lavaschlacke, Gesteinsbrocken oder Kunststoffkörpern verteilt. Es tropft und rieselt langsam durch die poröse, lockere Füllung, durch welche von unten gemäß dem Kaminprinzip Luft strömt. Auf dem Füllmaterial siedeln sich Mikroorganismen an. Sie bilden einen "biologischen Rasen" und reinigen aerob das Abwasser. Infolge von Vermehrung gebildeter überschüssiger biologischer Rasen wird abgespült und mit dem gereinigten Abwasser aus dem Tropfkörper entfernt. Durch Rückführung des aus dem Nachklärbecken ablaufenden Abwassers auf den Tropfkörper kann hier die Reinigungsleistung beträchtlich gesteigert werden.

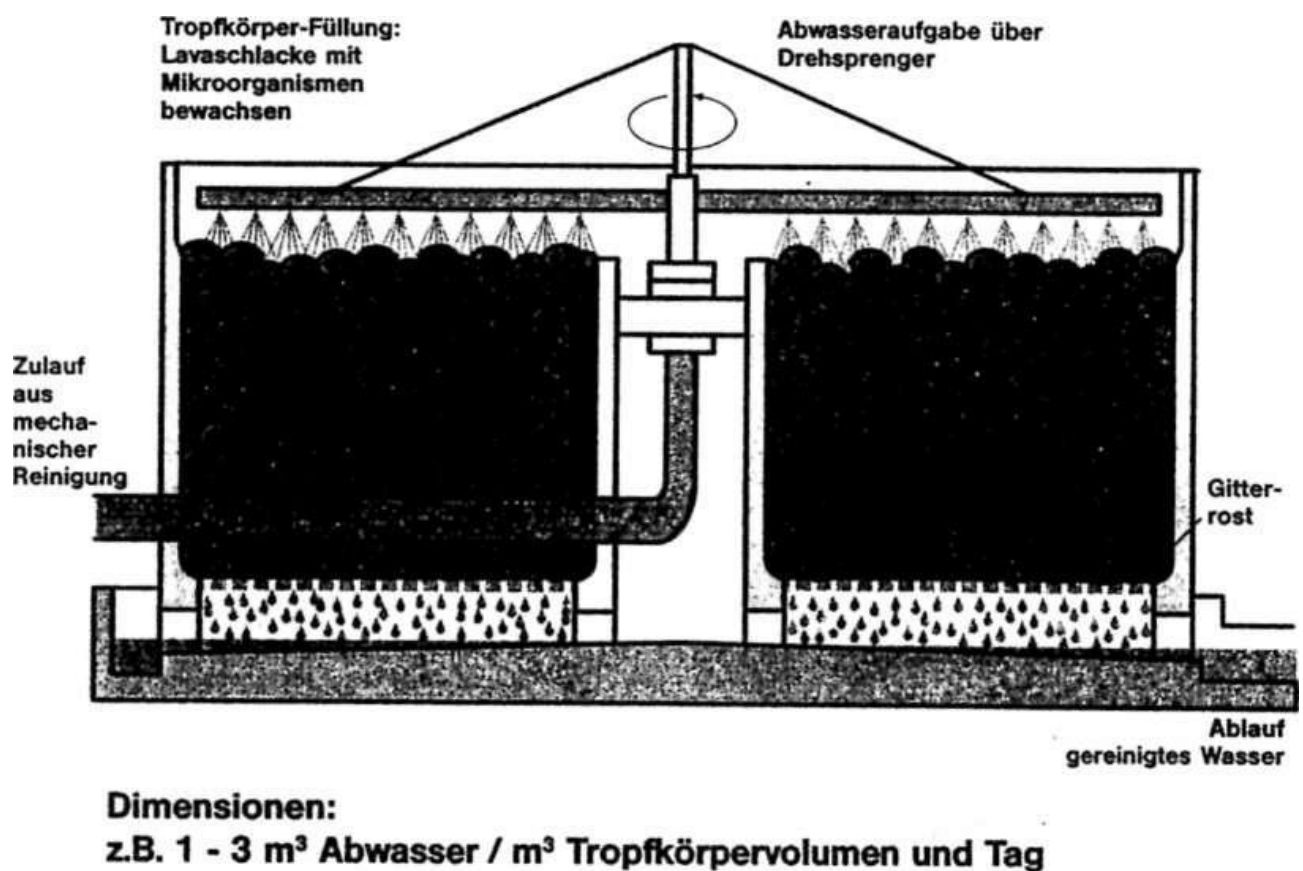


Abb. 6: Tropfkörper.

In kleineren Kläranlagen findet man manchmal noch **Scheibentauchkörper**. Eine größere Anzahl runder Kunststoffscheiben von 2 bis 4 m Durchmesser sind senkrecht auf einer Welle angeordnet und tauchen teilweise in das zu reinigende Abwasser ein. Sie drehen sich langsam. Auf den Körpern bildet sich gleichso ein biologischer Rasen aus, der den Abbau bewirkt. Der für die Mikroorganismen notwendige Lufteintrag erfolgt durch das Auf- und Eintauchen. Der entstandene aufgeschwemmte (suspendierte) Belebtschlamm wird wie bei den Verfahren zuvor in meist runden **Nachklärbecken** durch Absinken (Sedimentieren) während mehrerer Stunden abgetrennt. Ein Teil dieses Schlammes wird bei Reinigung mit Belebungsbecken in diese zurückgeleitet, damit dort immer genügend Mikroorganismen vorhanden sind. Dieser Schlamm heißt deswegen Rücklaufschlamm. Überschüssiger belebter Schlamm wird, wie der Boden- und Schwimmschlamm der Vorklärung, stabilisiert, z. B. durch Faulung. Das aus dem Nachklärbecken abfließende Abwasser wird entweder in den Vorfluter geleitet, in Schönungsteichen noch weiter gesäubert oder der weitergehenden Reinigung zugeführt. Aus Abb. 7 erkennt man die Räumung von Boden- und Schwimmschlamm in einem Vorklär-, bzw. Nachklärbecken.

Toxische Stoffe wie Schwermetalle oder Mineralölkohlenwasserstoffe können die Mikroorganismen schädigen oder töten. Geschieht dies, entsteht großer Schaden. Sämtliche Becken müssen geleert und die biologische Reinigung mit Impfschlamm einer anderen Kläranlage neu in Gang gebracht werden. Dies ist sehr teuer. Demzufolge sind solche Einleitungen ins Kanalnetz oder gar direkt in die Gewässer **Umweltfrevel** ersten Grades und unter allen Umständen zu vermeiden!

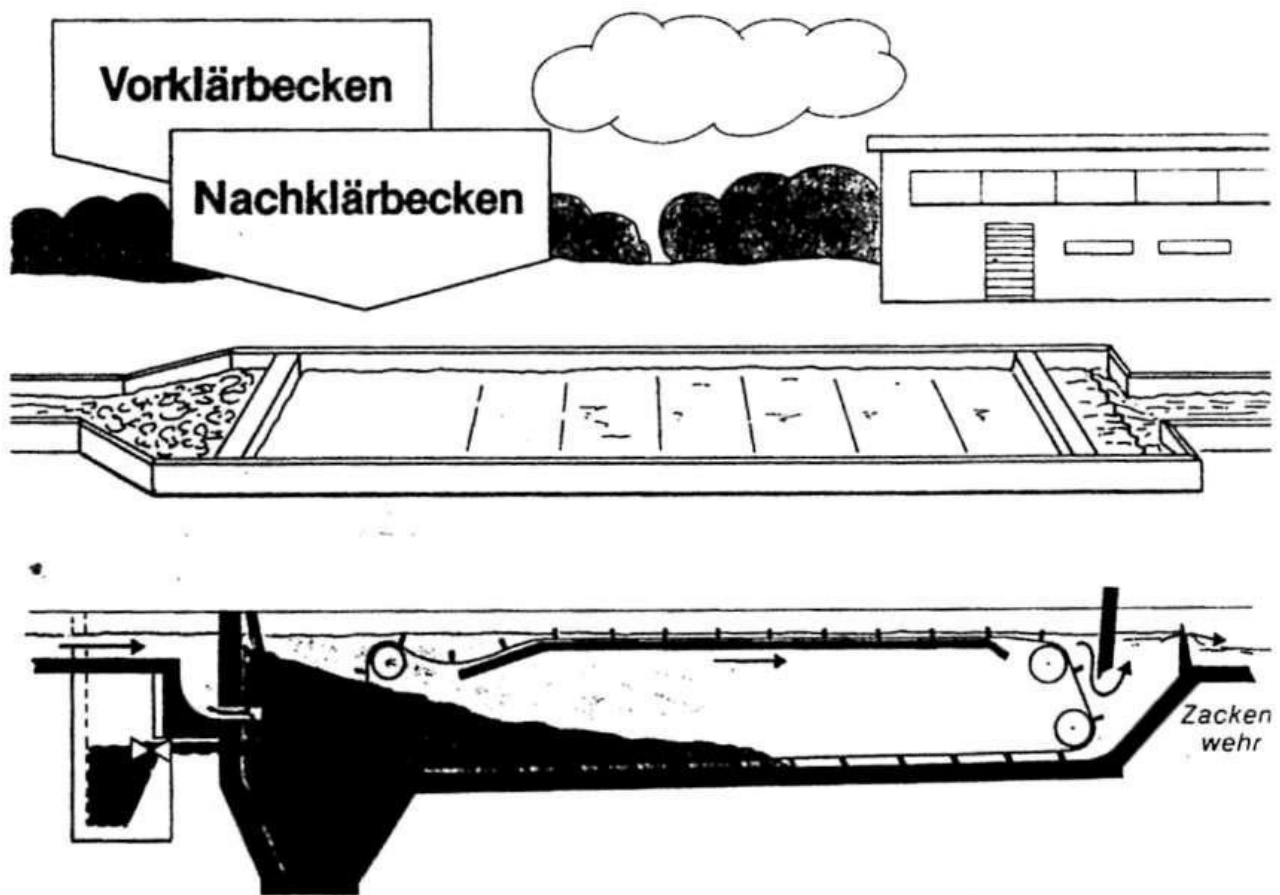


Abb. 7: Vorklär-, bzw. eines Nachklärbeckens.

Weitergehende Reinigung:

Entfernung von Stickstoff- und Phosphorverbindungen

1988 bewiesen Robbensterben und Algenpest in der Nordsee endlich auch dem Gesetzgeber, dass nicht bloß die Einleitungen von giftigen Stoffen und Schmutzstoffen, sondern darüber hinaus die der Nährstoffe Stickstoff und Phosphor unbedingt und schnellstmöglich zu minimieren sind, hauptsächlich wegen der unerwünschten Eutrophierung. In häuslichen Abwässern entstehen aus organischem, stickstoffhaltigem Harnstoff sehr leicht anorganische Ammonium-Ionen. Diese müssen nun in den Kläranlagen durch aerobe Bakterien, sog. Nitrifikanten, zu Nitrit und dann Nitrat umgewandelt werden. Für diese **Nitrifikation** sind große Mengen Sauerstoff, aber auch ebenfalls in Wasser gelöstes Kohlendioxid, zum Aufbau neuer Zellsubstanz nötig. Nitrat wird bei Sauerstoffarmut sehr leicht durch viele Mikroorganismen, beispielsweise die des Belebtschlammes, anaerob bis zu elementarem Stickstoff reduziert. Dieser entweicht dann an die Luft.

Durch Nitrifikation zu Nitrat und **Denitrifikation** zu Stickstoff lassen

sich also Stickstoffverbindungen aus dem Abwasser entfernen. Dazu gibt es verschiedene Methoden. Separate Becken sind zwar teurer; man erreicht mit ihnen aber höhere Abbauraten. Oft finden beide Vorgänge in Belebungsbecken mit Druckluftbelüftung durch gezielte Erhöhung und Drosselung der Luftzufuhr in verschiedenen Bereichen des Beckens nacheinander statt. Der gebildete elementare Stickstoff entweicht dann im Nachklärbecken. Gehalte an Phosphor werden z. T. als Folge von **Adsorption** (Haftenbleiben) an der Oberfläche von Belebtschlammflocken vermindert. Die recht niedrigen Grenzwerte der Abwassergesetzgebung können so allerdings nicht erreicht werden.

Auf biologischem Wege wird Phosphat durch Speicherung in den Zellen von Bakterien und damit mit dem Überschussschlamm ausgetragen. Anaerobe Bakterien können sauerstoffhaltige Phosphorverbindungen wie Phosphate bis zu gasförmigen Phosphorwasserstoffen reduzieren. Meist erfolgt die Phosphoreliminierung durch Zugabe von Salzen, deren positiv geladene Kationen (Eisen, Aluminium, Calcium, Magnesium) mit den negativ geladenen Phosphat-Anionen schwerlösliche Phosphate bilden. Solche Vorgänge bezeichnet man als **Fällung**. Die Salzzugabe kann bereits im Sandfang (Vorfällung), in der Belebung (Simultanfällung) oder in einem separaten Becken (Nachfällung) mit anschließender zweiter Nachklärung erfolgen (s. Abb. 8). Die Nachfällung ist die beste, wenn auch teuerste Methode. Es kommt nicht zu Störungen des mikrobiellen Abbaus infolge zu geringer Phosphatgehalte (die Mikroorganismen brauchen auch Phosphor als Nährstoff) und/oder pH-Wert-Änderungen. Die ausgefallenen Phosphate werden nicht mit dem Vorklär- oder dem Belebtschlamm abgetrennt, sondern in reiner, verwertbarer Form. Der Eliminierungsgrad ist am größten. Mittels anschließendem Filtrieren z. B. über Sand (sog. Flockungsfiltration) können die Ablaufwerte noch weiter verbessert werden.

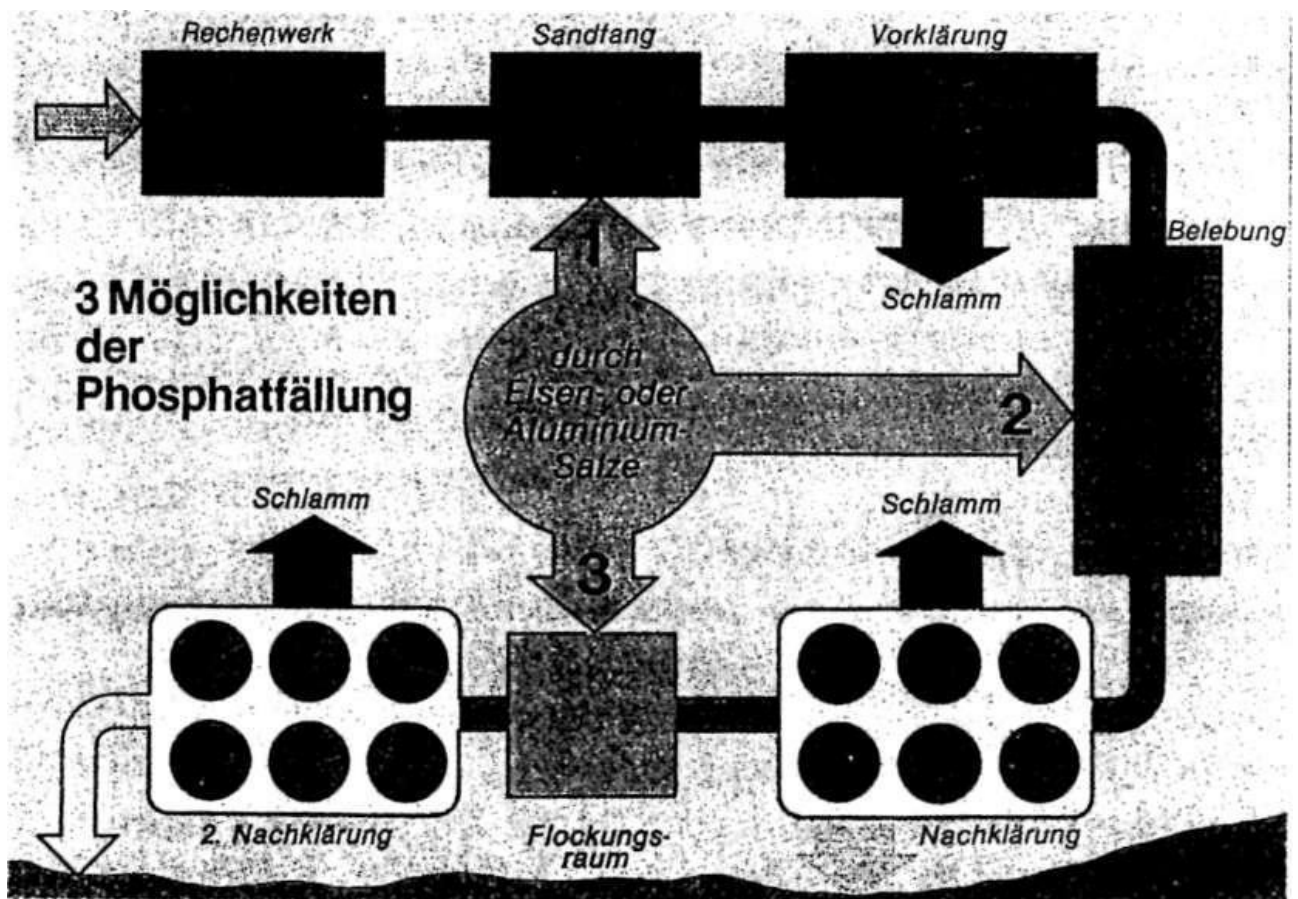


Abb. 8: Abwasserreinigung mit Phosphatfällung.

Äußerst wichtig ist aus ökologischen und ökonomischen Gründen eine optimale Fällung. Das bedeutet, an Fällungsmittel ist nur soviel zuzugeben, dass alle phosphorhaltigen Ionen gebunden werden. Wird zuwenig zugefügt, gelangt noch zuviel Phosphor in die Gewässer. Da aufgrund der gesetzlichen Vorgaben die Grenzwerte für Phosphor im Ablauf sehr niedrig sind, wird häufig zuviel Fällungsmittel zugegeben. Die Salzbelastung der Vorfluter und die Kosten werden dadurch überflüssigerweise erhöht. Die Steuerung und Regelung der optimalen Fällung kann hervorragend - wie mit der fotometrischen Phosphatkonzentrationsbestimmung - mit Hilfe der Messung der elektrischen Leitfähigkeit erfolgen. Sobald alle phosphorhaltigen Ionen gebunden sind, steigt diese an und die Fällmittelzugabe an der Dosierstelle kann gestoppt werden. Letztere ist dort, wo das Abwasser optimal verwirbelt wird. Auf diese Weise kann die Fällmittelmenge beträchtlich herabgesetzt werden. Besonders geringe Ablaufkonzentrationswerte für Phosphor werden mit dieser Methode sicher und störungsfrei erreicht, sodass sogar oftmals eine wesentlich niedrigere Abwasserabgabe gezahlt zu werden braucht.

Dezentrale Reinigung

Nicht an Klärwerke angeschlossen sind in den alten Bundesländern 6 %, in den neuen Bundesländern sogar 37 % der Bewohner! Mit Ursache dafür ist der in viel höherem Maße ländlich strukturierte Raum im Osten unseres Landes. Vorwiegend in ländlichen Gegenden mit Streusiedlungsstruktur befinden sich die nicht kanalisierten Bereiche. Die Zahl der Einwohner ist relativ gering, die Entfernungen zur bestehenden Kanalisation oft sehr weit. Eine Ausweitung des bestehenden Kanalnetzes zwecks Anschlusses dieser Einwohner ist daher mit wirtschaftlich nicht mehr zu vertretenden Kosten, auch in bezug auf die spätere Unterhaltung, verbunden. Manchmal wird ein Anschluss zudem technisch nicht möglich sein. Bei Errichtung ausgedehnter Abwasseranlagen ist überdies stets mit negativen ökologischen Folgen zu rechnen. Dezentrale Lösungen sind eine gute und realistische Alternative, zumal das Abwasserrecht zentrale Großkläranlagen nicht zwingend vorschreibt.

Was hat der Wert eines Einwohners mit Abwasser zu tun?

Ein **Einwohnerwert** (EW) entspricht einem Sauerstoffverbrauch von 60 Gramm pro Tag. Diese Sauerstoffmenge benötigen die Mikroorganismen, um die anfallende Schmutzmenge in 150 L (Liter) Abwasser, die jeder von uns täglich etwa erzeugt, abzubauen. Vergleicht man die täglichen Schmutzmengen anderer Einleiter mit diesem Einwohnerwert, erhält man deren **Einwohnergleichwerte**. So fällt etwa bei der Produktion von 2 kg Margarine, 35 L Milch oder 1 bis 3 L Bier die Schmutzfracht von 1 Einwohnergleichwert (EGW) an.

Welche Möglichkeiten einer dezentralen Abwasserreinigung gibt es?

Einzelgrundstücke in Außenbereichen können über komplette **Kleinkläranlagen** entsorgt werden. Sie gibt es selbst für geringe Einwohnerwerte. Sind solche Kleinanlagen nicht möglich (z. B. wenn Grundstücke in Wasserschutzgebieten liegen), sollte das Abwasser in wasserdichten Sammelgruben aufgefangen und mit Hilfe von Saugwagen zum zentralen Klarwerk gebracht werden.

In Neubaugebieten können die Schmutzwässer mehrerer Wohnhäuser über eine Kläranlage mit Mehrkammerausfallgrube mechanisch sowie anaerob biologisch und anschließend aerob biologisch gesäubert werden.

Sogar als Dauerlösung bietet sich der gegenüber dem Untergrund gleichfalls abgedichtete **Filtergraben** an. Bei diesem versickert das mechanisch vorbehandelte Abwasser in einer mit Mikroorganismen besiedelten Filterschicht aus Sand und Kies. Über darunter liegende Rohrleitungen fließt das Wasser ab.

Eine Alternative ist die **Untergrundverrieselung**. Bei ihr wird das vorbehandelte Schmutzwasser über ein unter der Geländeoberfläche befindliches Rieselrohrnetz verteilt. Während der Passage durch den Boden wird das Abwasser durch aerobe, anaerobe, physikalische und chemische Vorgänge gereinigt. Ein sickerfähiger Boden und eine genügend große Fläche ohne Baumbestand sind für diese Art der Reinigung Voraussetzungen.

Kleine Anlagen mit Belebungsbecken (oder statt dessen kleinen Tropfkörper- oder Tauchkörperanlagen) und Nachklärbecken sollten nur dann eingesetzt werden, wenn keine Unterbrechungen der Abwasserzufuhr von mehr als 3 Wochen erfolgen, da die Mikroorganismen ansonsten mangels Nahrung quasi Kannibalismus betreiben und letztendlich verhungern.

Bei stärkeren Schwankungen der Abwasserzufuhr (z. B. saisonalen) eignen sich zur biologischen Reinigung mit Folien abgedichtete **Abwasserteiche**. Bei belüfteten Teichen ist infolge der eingetragenen Luft die Geruchsbelästigung bedeutend geringer als bei unbelüfteten. Nachgeschaltet wird ein Absetzteich (auch Schönungsteich genannt), wodurch die Reinigungsleistung verstärkt wird.

Was sind Pflanzenkläranlagen?

In Pflanzenkläranlagen fließt Abwasser durch oder über einen mit Sumpfpflanzen besetzten Bodenkörper. Die Wurzeln der Pflanzen bewirken die für die aeroben Bakterien notwendige Belüftung des Bodens. Die Kleinstlebewesen des Bodens vollbringen in erster Linie die Reinigungsleistung. Selbst bestimmte industrielle Abwässer, beispielsweise solche, die Mineralölkohlenwasserstoffe enthalten, können gut mit Pflanzenkläranlagen gesäubert werden. Sehr kleine, nur einen Kubikmeter große Anlagen reinigen durch sie hindurchgepumpte, mit Schadstoffen wie Formaldehyd oder Nikotin belastete Luft. Im übrigen eignen sich auch **Wasserhyazinthen** hervorragend zur Abwasserreinigung, da sie die Schmutzstoffe des Wassers z. T. als Nahrung aufnehmen.

Eine aus mindestens drei Kammern bestehende **Mehrkammerausfaulgrube** ist den biologischen Verfahren stets vorzuschalten, eine weitergehende Reinigung zur Entfernung von Stickstoff und Phosphor - falls erforderlich - nachzuschalten.

Spezielle Reinigungsverfahren

Die biologische Reinigung in großen, offenen, nicht abgedeckten Becken hat einige Nachteile. Neben dem enormen Platzbedarf treten bei nicht abgedeckten Becken Emissionen von Gasen auf, die zu Geruchsbelästigungen für das Personal und die Nachbarn solcher Klärwerke führen. Außerdem sind die Oberflächenbelüfter recht laut und der Lufteintrag auf diese Weise ist mit hohem Energieverbrauch verbunden. Aufgrund dessen sollte die platzsparende, mit geringem Landschaftsverbrauch verbundene Hoch- bzw. Turmbiologie verstärkt angewendet werden.

Was versteht man unter Hoch- bzw. Turmbiologie?

In geschlossenen, bis zu 30 m hohen Türmen werden insbesondere stark verschmutzte Abwässer, z. B. die der chemischen Industrie oder von Brauereien (aber auch Sickerwässer von Deponien), nach entsprechender Vorbehandlung sehr gut geräusch- und energiearm biologisch gereinigt. Die hierbei gebildeten Gase werden verbrannt, sodass keine Geruchsbelästigung auftritt.

Der Lufteintrag erfolgt am Boden über spezielle Düsen. Wegen des durch die größere Wassertiefe vorhandenen höheren Drucks und der längeren Verweilzeit löst sich viel mehr Sauerstoff und auch Kohlendioxid. Letzteres ist gewiss allen Sektflaschenöffnern zur Genüge bekannt. Die Nitrifikation ist dadurch wiederum sehr begünstigt. Seitlich oben an den Türmen angebrachte Nachklärbecken bedeuten zusätzliche Platzersparnis. Besonders in engen Tälern und in der Nähe von Wohnsiedlungen ist diese effektive Reinigungsmethode vorteilhaft.

Wie erkennt man denn im Abwasser enthaltene Giftstoffe?

Mit Hilfe des Leuchtbakterientests ist es auch kontinuierlich möglich, Stoffe im Abwasser schnell zu erkennen, die für die Bakterien der biologischen Reinigung giftig sind. Am Nachlassen der Intensität des Leuchtens der Bakterien erkennt man solche toxischen Stoffe, jedoch noch nicht deren Art.

Schmutzwässer mit solchen Stoffen können somit rechtzeitig in

besonderen Behältern oder Becken gesammelt und nach der Identifikation der Giftstoffe gezielt behandelt werden. Die Toxizität (Giftigkeit) eines Abwassers auf andere Wasserorganismen wird ebenfalls untersucht. So wird mit entsprechenden Testorganismen die Giftwirkung auf Algen sowie Kleinkrebse (Daphnien) oder mit der Goidorfe als Testorganismus die Giftigkeit gegenüber Fischen bestimmt.

Wie können Giftstoffe entfernt werden?

Industrielle und gewerbliche Abwässer sind oft mit einer Vielzahl giftiger Stoffe verschmutzt. Hier gilt natürlich wieder das Ziel, diese durch Änderung der Produktion z. B., zu vermeiden, bzw. zu minimieren, d. h. **produktionsintegrierten Umweltschutz** zu praktizieren. Mit speziellen, von der Art der toxischen Stoffe abhängigen Verfahren werden Giftstoffe entfernt, bevor die Abwässer einer Kläranlage zugeleitet werden: Säuren- und laugenhaltige Abwässer werden neutralisiert, am besten gegenseitig.

Viele meist organische Stoffe bleiben an porösen Materialien mit großen inneren Oberflächen wie Aktivkohle oder Koks haften, d. h. sie werden an diesen adsorbiert, Kationen giftiger Schwermetalle bilden mit bestimmten Anionen von Fällungsmitteln, wie Laugen oder Schwefelwasserstoff, schwerlösliche Verbindungen, die dann abfiltriert werden können. Manche Gifte können durch gezielte Oxidation (z. B. Cyanid-Ionen) oder Reduktion (z. B. Chromationen) unschädlich gemacht werden. Eine Oxidation erfolgt auch unter erhöhter Temperatur und erhöhtem Druck mit speziellen Oxidationsmitteln (Naßoxidation) und bei der sog. Abwasser-verbrennung (s. Abb. 9).

Kann man Abwasser verbrennen?

Nun, das Wasser selber verbrennt nicht, es wird verdampft. Die organischen Bestandteile verbrennen, die anorganischen bilden einen Salzlückstand. Die Verbrennungswärme wiederum dient zur Verdampfung des Wassers. Spezielle industrielle, schwer zu reinigende Abwässer, wie die der Bremer Wollkämmerei, werden so umweltschonend entsorgt. Zur Reinigung organisch hochbelasteter Abwässer, z. B. Hefeabwässer der Brauereien oder Abwässer der

Nahrungsmittelindustrie, werden verstärkt Verfahren angewendet, bei denen zuerst anaerob biologisch gereinigt wird. Aufgrund der Fäulnisprozesse entstehen große Mengen energetisch nutzbaren Faulgases. Der Klärschlammanteil ist über ein Zehntel geringer als bei den herkömmlichen Verfahren mit zunächst aerober Behandlung.

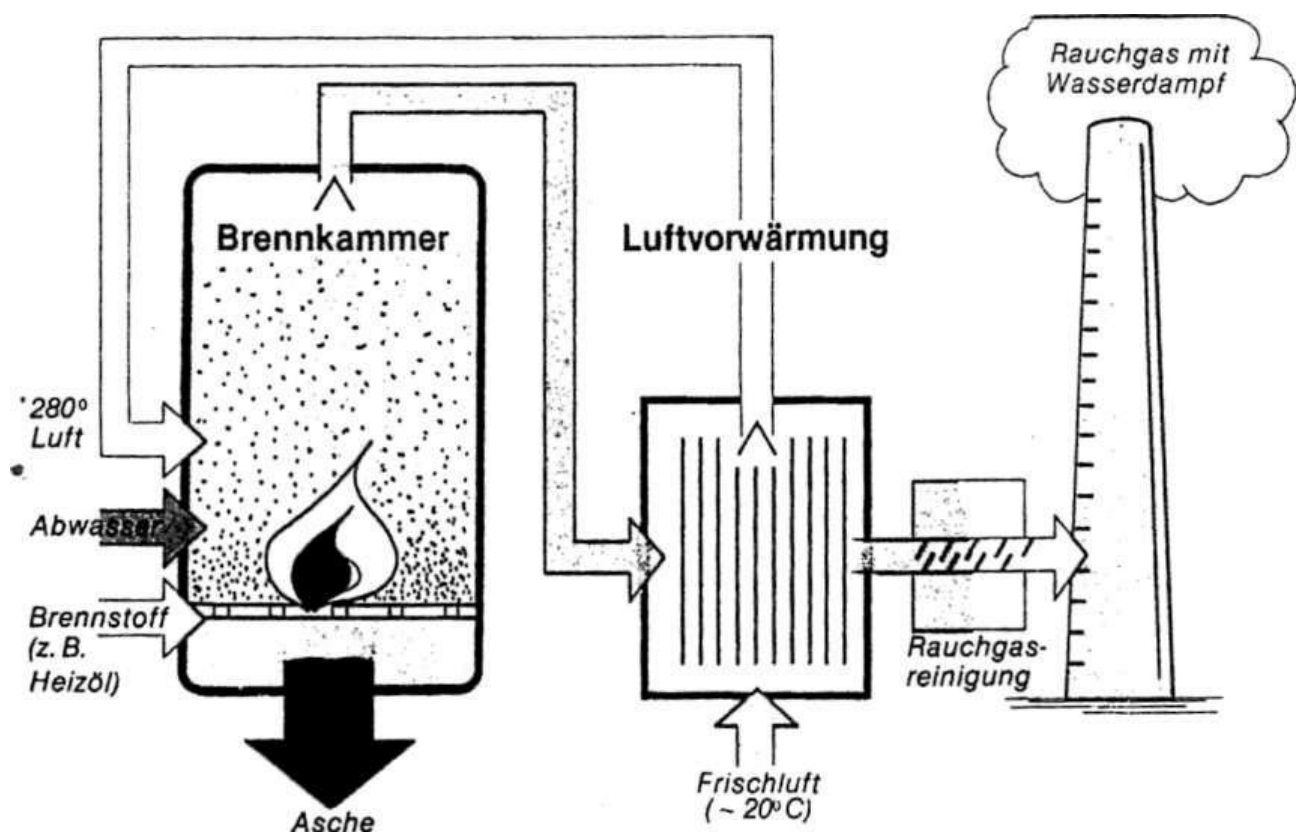


Abb. 9: Abwasserverbrennung.

Was ist eigentlich «Klärschlamm»?

Der aus der mechanischen Reinigung stammende Vorklärschlamm muss wie der Überschussschlamm der biologischen Reinigung aus verschiedenen Gründen, z. B. hygienischen, durch sog. Stabilisation in einen haltbaren Zustand überführt werden. In solch einem Zustand ist der Schlamm nicht mehr faulfähig, gesundheitsgefährdend und übelriechend sowie zudem in seiner Menge vermindert. Eine solche Stabilisierung erfolgt meist anaerob infolge von Faulung, ist jedoch auch aerob mittels Langzeitbelüftung möglich.

Was geschieht bei der Schlammfäulung?

In den großen ovalen Behältern der Kläranlagen, den Faultürmen, bauen anaerobe Mikroorganismen langkettige Stoffe des eingedickten Schlamms, wie Kohlenhydrate, Fette und Eiweiße, zu Stoffen mit kleineren Molekülen ab. Diese meist sauer reagierenden Stoffe sind die Nahrung der **Methanbakterien**.

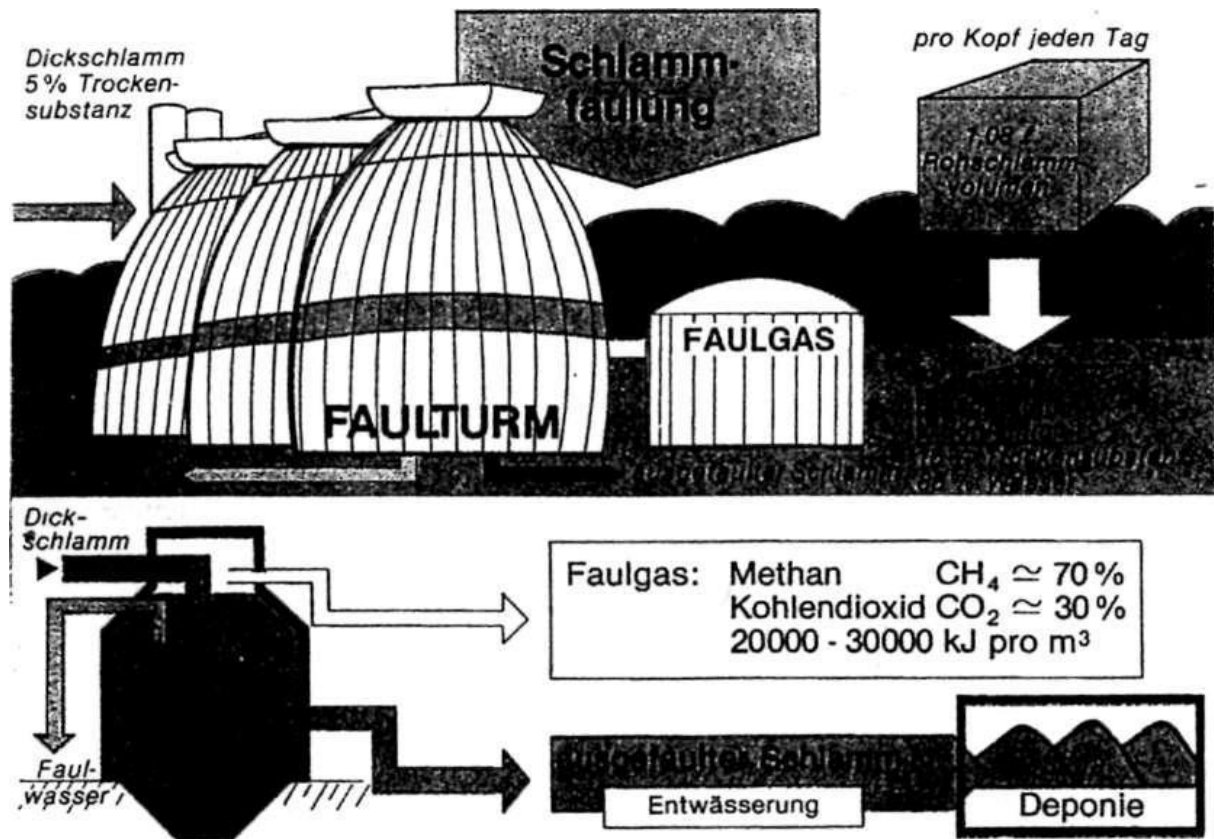
Sauerstoff ist für diese Mikroorganismen ein Gift. Sie brauchen Dunkelheit, eine Temperatur von 35 °C und ein möglichst neutrales Milieu. Bei diesen weiteren Abbauprozessen werden an Gasen hauptsächlich das brennbare Methan (zu ca. zwei Drittel) und Kohlendioxid (zu etwa einem Drittel) gebildet. Ansonsten werden viele organische Stoffe bis hin zu anorganischen Endprodukten abgebaut.

Die Schlammfäulung ist in Abb. 10 schematisiert. Das entschwefelte **Faulgas** wird innerhalb der Kläranlage energetisch genutzt, z. B. zur Erzeugung von mechanischer Energie in Motoren oder Turbinen mit Nutzung der Abwärme (Kraft-Wärme-Kopplung) und Gewinnung von Strom (ein Großteil des Bedarfs der Kläranlage wird mit diesem häufig gedeckt) mit Generatoren.

Was geschieht mit dem Klärschlamm?

Der nun ausgefäulte, stabilisierte Schlamm, der Klärschlamm, kann - meistens nach einer **Entwässerung** – landwirtschaftlich verwertet werden, da er bedeutende Mengen der Pflanzennährstoffe Stickstoff, Phosphor und Calcium enthält und somit einen hohen Düngewert besitzt. Klärschlamm verbessert die Bodenstruktur und fördert die Bildung von wasserbindendem Humus. Da er vor allem wegen des Calciumanteils in den meisten Fällen basisch reagiert, kann man mit ihm den pH-Wert saurer Böden erhöhen. Mängel an Spurenelementen, wie Eisen, Mangan, Zink, Kupfer, Cobalt, Molybdän oder Bor, lassen sich auf diese Weise gleichfalls preisgünstig beheben. Enorme Mengen teuren Kunstdüngers, dessen Nährstoffe darüber hinaus viel leichter ins Grundwasser überführt werden können als die von Klärschlamm oder Kompost, können so eingespart werden. Demzufolge könnte dieser Schlamm genauso für andere Bodenverbesserungszwecke, z. B. bei „Begrünungen“ von Halden, Dämmen, Deponieabdeckungen u. a., herangezogen werden.

Abb. 10: Schema der Schlammfäulung.



Allerdings müssen sowohl der Klärschlamm als auch der Boden, auf den er aufgebracht werden soll, den strengen Anforderungen der **EU-Richtlinie über den Schutz der Umwelt und insbesondere der Böden bei der Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft** und der **Klärschlammverordnung** entsprechen. Die Gehalte an giftigen Stoffen (Schwermetalle und einige organische Substanzen wie polychlorierte Biphenyle oder Dioxine und Furane) dürfen nur gering sein. Das gilt genauso dann, wenn entwässerter Klärschlamm mit einem Wasseranteil von rund 70 % kompostiert wird, meistens zusammen mit Bioabfällen aus Haushalten.

Werden die Vorgaben der Klärschlammverordnung nicht erfüllt, wird der Klärschlamm verbrannt oder/bzw. danach deponiert. Zunächst wird er wegen des hohen Wassergehalts entwässert, z. B. durch Lagerung in Schlammteichen, durch Filtrieren oder Zentrifugieren. Vor der Verbrennung wird entwässerter Schlamm mit ca. 50 % Wasseranteil so lange getrocknet, bis dieser Gehalt unter 10 % liegt.

Das Verbrennen bewirkt hier gleichso eine erhebliche Volumenverminderung. Die Rückstände werden, soweit sie nicht verwertbar sind, im Anschluss daran abgelagert.

Umweltthema: Abfall

Was ist eigentlich «Abfall»?

Im Sinne des im Oktober 1996 in Kraft getretenen **Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes** sind Abfälle alle beweglichen Sachen, deren sich der Besitzer entledigen will oder muss. Zu diesen beweglichen Sachen gehören beispielsweise **Rückstände**, die bei der Herstellung von Produkten oder deren Verbrauch anfallen, oder **Produkte**, die vom Besitzer (wie Haushaltungen, Landwirtschaft, Büros, Werkstätten) nicht mehr verwendet werden.

Wenn nicht mehr verwendete bewegliche Sachen geeignet sind, das Wohl der Allgemeinheit, insbesondere die Umwelt, zu gefährden, muss sich der Besitzer solcher beweglichen Sachen durch eine ordnungsgemäße **Entsorgung**, d. h. durch **Verwertung** oder, wenn dies nicht möglich ist, durch **Beseitigung** entledigen. Dazu zählen Abfälle, die aufgrund ihrer Art, Beschaffenheit oder Menge in besonderem Maße gesundheits-, luft-, boden- oder wassergefährdend, explosibel oder brennbar sind oder Erreger übertragbarer Krankheiten enthalten oder hervorbringen können. An ihre Überwachung und Entsorgung werden besondere Anforderungen gestellt. Sie gehören zu den sog. **Sonderabfällen**, die wegen ihrer Gefahren nicht zusammen mit den in den Haushaltungen anfallenden Abfällen entsorgt werden, und deren Entsorgung aufgrund behördlicher Vorgaben meist nachweispflichtig ist.

Seit Inkrafttreten des Abfallgesetzes 1986 galt es grundsätzlich Abfälle zu vermeiden, nicht vermeidbare Abfälle zu verwerten (diese sind dann **Reststoffe**, **Wertstoffe** oder **Sekundärrohstoffe**) und nur nicht verwertbare Abfälle - nach einer eventuellen Behandlung – abzulagern.

Was haben Abfallvermeidung und -entsorgung mit nachhaltiger Entwicklung (sustainable development) zu tun?

Gemäß der seit dem 1.6.1993 gültigen **Technischen Anleitung (TA) Siedlungsabfall** dürfen in neuen Deponien nur noch solche nicht verwertbaren Abfälle abgelagert werden, die chemisch beständig, d. h. reaktionsträge (inert) und demnach anorganischer, erdähnlicher Natur sind, wie Schlacken oder Aschen. Damit wird dem seit der Umweltkonferenz von Rio de Janeiro 1992 geforderten Prinzip der nachhaltigen Entwicklung gedient, indem zukünftigen Generationen keine Altlasten hinterlassen werden. Ziel ist, nach Schließung dieser Deponien keinerlei Nachsorgemaßnahmen (wie Deponiegas- und Sickerwasserableitung) mehr betreiben zu müssen.

Dem global unabdingbaren **Ziel der Nachhaltigkeit** hilft außerordentlich die schnellstmögliche **Abkehr von der Wegwerfgesellschaft hin zur Kreislaufwirtschaft** durch Umgestaltung unseres gesamten Konsum- und Produktionsverhaltens. Die EU hat zur Erreichung dieses Ziels und eines einheitlichen, hohen Umweltschutzniveaus in allen EU-Staaten auch für den Abfallbereich einige **Richtlinien** (die in das innerstaatliche Recht umgesetzt werden müssen) und **Verordnungen** (die unmittelbar wie ein Gesetz wirken) erlassen. Derjenige, der Güter produziert, vermarktet und konsumiert, ist für die Vermeidung, Verwertung und umweltverträgliche Beseitigung seiner Abfälle selbst verantwortlich. Die Industrie hat ihre Produkte generell umweltfreundlicher herzustellen, z. B. durch Verwendung möglichst vieler Sekundärrohstoffe. Die Produzenten sind verpflichtet Produkte so zu gestalten, dass bei ihrer Erzeugung und bei ihrem Gebrauch so wenig Abfall wie möglich anfällt. Ans Produktionsverfahren gekoppelte Kreislaufführung von Einsatzstoffen vermeidet Abfälle. Der Umsatz zu und die Ausbeute an gewünschtem Produkt ist zu maximieren, der Anteil an Ausschuss, Zwischen- und Nebenprodukten zu minimieren geradeso wie die Mengen an benötigter Energie, entstehender Abluft oder anfallendem Abwasser.

Dem **Ziel der ökologisch-sozialen Marktwirtschaft** dient ferner die Aufforderung. Produkte so zu gestalten, dass sie mehrfach verwendbar, möglichst ungiftig und langlebig sowie reparaturfreundlich sind und nach Ende des Gebrauchs problemlos verwertet oder eventuell beseitigt werden können. Viele Organisationen (Betriebe, Institutionen, Behörden) nehmen am EU-

Umweltaudit-System “EMAS” (Audit = Prüfung betrieblicher Qualitätsmerkmale) freiwillig teil. Sie verpflichten sich, ihren Umweltschutz über die gesetzlichen Vorgaben hinaus zu verbessern. Unabhängige Gutachter überprüfen u. a. die Angaben und die Umsetzung dieser Maßnahmen. Stimmt alles mit den Anforderungen der **EG-Umweltaudit-Verordnung** überein, gibt der Gutachter die Gültigkeitserklärung (Validierung) ab. Die Organisation kann sich bei den Kammern in das EMAS-Register eintragen lassen und darf das **EMAS-Zeichen** (s. Anhang 1. Abb. A-2) verwenden. Es garantiert glaubwürdige und zuverlässige Umweltinformationen. Gleiches gilt für das **Umweltzeichen der Europäischen Union** (s. Anhang 1). Es wird für Waren und Dienstleistungen vergeben, die den strengen Vorgaben des Umweltzeichensystems der EU entsprechen. Zusammen mit dem Zeichen werden für die Verbraucher Informationen angegeben. In Deutschland wird seit 1978 vom RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V. das **Umweltzeichen „Der Blaue Engel“** (s. Anhang 1, Abb. A-3) für Produkte vergeben. Das Institut prüft in jedem Einzelfall, ob die Anforderungen an die **Ökologie** (Wissenschaft von den Beziehungen der Lebewesen zu ihrer Umwelt) erfüllt sind. Etwa 12000 Waren tragen bisher dieses Signet. Es ist damit das weltweit erfolgreichste Zeichen für umweltfreundliche Produkte. Daneben vergibt das Institut für qualitativ hochwertige Waren das **RAL-Gütezeichen** (s. Anhang 1, Abb. A-4 und A-5). *Jeder sollte beim Erwerb von Produkten auf solche achten, die mit dem Blauen Engel und/oder einem anderen Umweltzeichen bzw. dem RAL-Gütezeichen ausgezeichnet sind.*

Beispiele für Produkte, die mit dem Umweltzeichen Blauer Engel gekennzeichnet sein können, sind in Tab. 1 enthalten.

Tab. 1: Produkte mit dem Blauen Engel und ihre RAL-Umweltzeichen-Nummer (Ral-UZ-Nr.).

Produkte	RAL-Umweltzeichen-Nummer
Arbeitsplatz-Computer	78
Baustoffe aus Altpapier	36
Baustoffe überwiegend aus Altglas	49

Drucker	85
Druck- und Pressepapiere überwiegend aus Altpapier	72
Emissionsarme Produkte aus Holz, und Holzwerkstoffen	38
Emissionsarme Wandfarben	102
Hochwärmedämmendes Mehrscheiben-Isolierglas	52
Hygiene-Papiere aus Altpapier	5
Kombiwasserheizer und Umlaufwasserheizer für Erdgas	40
Kompostierbare Pflanzentöpfe und aridere Formteile	17
Lärmarme und kraftstoffsparende Kraftfahrzeugreifen	89
Mehrwegflaschen und Mehrweggläser	2
Mehrweg-Transportverpackungen	27
Mobiltelefone	106
Produkte aus Recycling-Kunststoffen	30a
Recyclingkarton	56
Recyclingpapiere	14
Salzfreie, abstumpfende Streumittel	13
Schadstoffarme Lacke	12a
Solarbetriebene Produkte und mechanische Uhren	47
Sonnenkollektoren	73
Tapeten und Raufaser überwiegend aus Papierrecycling	35a
Trinkwassersprudler	103

Umweltfreundliche Rohrreiniger	24
Ungebleichte Koch- und Heißfilterpapiere	65
Wassersparende Spülkästen	32

Welche Arten von Abfällen gibt es?

Im **EU-Abfallverzeichnis** werden 20 Obergruppen von Abfällen unterschieden, vorwiegend nach ihrer Herkunft. Verpackungsabfälle bilden die Obergruppe 15, Siedlungsabfälle die Obergruppe 20. Ein bis zu sechstelliger Abfallcode, in der deutschen **Abfallverzeichnis-Verordnung** Abfallschlüsselnummer oder **Abfallschlüssel** genannt, kennzeichnet die einzelnen Gruppen und Arten. Der Abfallschlüssel für Verpackungen aus Papier und Pappe ist 150101, der für solche aus Kunststoff 150102, der für die Gruppe andere Siedlungsabfälle 2003, der für gemischte Siedlungsabfälle 200301. Gekennzeichnet sind gefährliche Abfälle. In Deutschland werden diese als besonders überwachungsbedürftige Abfälle bezeichnet. Die **Verordnung zur Bestimmung besonders überwachungsbedürftiger Abfälle zur Verwertung** wurde der Abfallverzeichnis-Verordnung angepasst.

Die **Technische Anleitung (TA) Abfall** von 1991 enthält Abfälle, die ebenfalls mit bis zu sechstelligen Abfallschlüsseln versehen sind. Die Obergruppe 1 umfasst Abfälle pflanzlichen und tierischen Ursprungs, die der Obergruppe 3 Abfälle mineralischen Ursprungs, z. B. Bauschutt. Umfangreich ist die Obergruppe 5, in der Abfälle chemischer Umwandlungs- und Syntheseprodukte sowie Textilabfälle aufgeführt sind. Abfälle, deren Herkunft sich von den Lebensgewohnheiten des Menschen herleiten lässt, sind **Siedlungsabfälle** und in Obergruppe 9 zusammengefasst. Zur Gruppe der festen Siedlungsabfälle gehören Abfälle aus Haushaltungen sowie jene aus Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungsbetrieben. Erstere werden in den in Einheitsgefäßen (z. B. Eimern, Tonnen oder Säcken) erfassbaren **Hausmüll** sowie den aufgrund seiner Größe mit diesen nicht erfassbaren Sperrmüll unterteilt. **Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle** (z. B. aus Kantinen, Werksküchen, Bürogebäuden, Grünanlagen) können gemeinsam mit dem Hausmüll abgeführt werden. Die meisten, in kleineren Mengen anfallenden **Sonderabfälle** sowie Geräte der Haushaltungen sind beispielsweise über

Schadstoffannahmestellen, Schadstoffmobile, Recyclingparks oder Recyclinghöfe zu entsorgen. Die Entsorgung gewerblicher Siedlungsabfälle und bestimmter Bau und Abbruchabfälle ist in der **Gewerbeabfallverordnung** geregelt. Solche Abfälle dürfen nicht vermischt werden und sind ggf. vorzubehandeln. Genaue Auskünfte über die Entsorgung müssen die entsorgungspflichtigen Körperschaften des öffentlichen Rechts (meist die Kreise oder kreisfreien Städte) erteilen. Straßenkehricht, Markt-, Garten-, Parkabfälle sowie krankenhausspezifische Abfälle sind ebenfalls **kommunale Abfälle** und damit Abfälle dieser Obergruppe 9.

Vom gesamten Abfallaufkommen in Deutschland entfallen jeweils mehr als ein Drittel auf Bau- und Industrieabfälle. Der Anteil des Hausmülls liegt bei ca. 15 % (dessen Anteil an den Siedlungsabfällen im Jahr 2002 von 44 Millionen Tonnen rund 38 %), der der Sonderabfälle bei etwa 3 % und der des Klärschlamms bei rund 2 %.

Ein heißes Thema: Verpackungsabfall!

Von den rund 430 kg Abfall, die im Durchschnitt jeder von uns in einem Jahr abgibt, entfallen gewichtsmäßig etwa 30 % und volumenmäßig rund 50 % auf Verpackungsmaterial. Dieses Material alleine könnte bei uns jährlich einen Güterzug von über 2000 km Länge füllen! Verpackungen dienen u. a. dazu Informationen über Waren zu liefern, diese ökonomisch zu transportieren und zu lagern, Lebensmittel hygienisch einwandfrei an den Verbraucher abzugeben, Verderbnis durch Licht, Mikroorganismen usw. zu verhindern sowie Waren vor Beschädigung oder Zerstörung zu schützen. Verpackungen fallen daher immer an.

Allerdings sollte jeder überflüssige Verpackungen vermeiden! Die **Verpackungsverordnung** von 1991 (novelliert 1998) hat bewirkt, dass bereits 1992/93 von rund 12 Millionen Tonnen eine Million Tonnen Verpackungsmaterial weniger eingesetzt wurde, denn für den Verwender von Transport-, Um- und Verkaufsverpackungen besteht eine Rücknahme- und Verwertungspflicht. Mit geeigneten Systemen ist sicherzustellen, dass Verpackungen beim Endverbraucher abgeholt (Holsysteme), in der Nähe des Endverbrauchers mittels Container oder anderer geeigneter Sammelbehältnisse (Bringsysteme) oder mit einer Kombination beider Systeme erfasst, anschließend sortiert und stofflich verwertet werden. Seit 1.1.1999 sind von den Verkaufsverpackungen stofflich mindestens zu verwerten: Glas 75 %,

Weißblech 70 %, Aluminium 60 %, Papier, Pappe, Karton 70 %, Verbunde/Flüssigkeitskartons 60% und Kunststoffe 60%. Diese aussortierten Wertstoffmengen sind einer stofflichen Verwertung zuzuführen, was nachzuweisen ist.

Um diesen Pflichten nachzukommen, baute die private Wirtschaft das Duale System Deutschland auf. **Verpackungen mit Grünem Punkt** (der im Gegensatz zum Blauen Engel kein Umweltzeichen darstellt!) werden separat vom Hausmüll in Gelben Säcken, Tonnen oder Containern gesammelt, von privaten Firmen abgeholt, sortiert (z. B. Folien per Siebtrommel und Windsichter, Weißblech per Magnet, Aluminium mittels Wirbelstromscheider, Verbundkartons und Kunststoffe - wie Flaschen - von Hand!) und gepresst der stofflichen Verwertung zugeführt. Das **Mehrwegsystem** darf nicht beeinträchtigt werden, der Mehrweganteil an Getränkeverpackungen nicht unter 72 % absinken. In den letzten Jahren ist in Deutschland der Anteil an Mehrweggebrauchsverpackungen immer weiter unter diese Marke gesunken. Immer mehr Einwegverpackungen, wie Getränkedosen, haben die Landschaft verschandelt. Daher wurde in Deutschland gemäß dieser Verordnung ein **Pfandsystem** eingeführt. Einwegverpackungen dürfen nur noch mit einem Pfandbetrag verkauft werden und müssen vom Verkäufer zurückgenommen und der Verwertung zugeführt werden. Der Getränkedosenanteil hat sich dadurch drastisch vermindert.

Immer mehr Getränke befinden sich in recycelbaren Kunststoffflaschen (meist aus PET). Rund 650000 t (Tonnen) Einwegverpackungen wurden dadurch 2003 vom Dualen System Deutschland (DSD) weniger entsorgt.

Zur Vermeidung und Verwertung von Verpackungen hat die EU am 20.12.94 eine **Richtlinie über Verpackungen und Verpackungsabfälle** erlassen, die auch die Grundsätze der Verpackungsverordnung und des Dualen Systems beinhaltet. Gemäß einer Novelle sollen die Staaten bis zum 31.12.2008 eine Verwertungsquote von mindestens 60 % erreichen. Recycelt werden müssen dann mindestens 55 % der Verpackungen. Folgende Wiederverwertungsquoten für die wichtigsten Verpackungsmaterialien sind vorgesehen: Glas 60 %, Papier und Pappe 60 %, Metalle 50 %, Kunststoffe 22,5 % und Holz 15%.

International an der Spitze liegen die Bürger Österreichs, die 2002 über 106 kg Verpackungsabfälle pro Kopf (die deutschen Bürger 76,7

kg Grüne-Punkt-Wertstoffe pro Kopf) gesammelt hatten. Knapp die Hälfte aller österreichischen Haushalte entsorgen Leichtverpackungen über den Gelben Sack oder die Gelbe Tonne.

Das Duale System Deutschland: Hat es sich bewährt?

Über 15 Mill. t (Millionen Tonnen) Sekundärrohstoffe werden bei uns jährlich durch die Sammlung von Glas, Papier, Pappe, Weißblech, Aluminium, Kunststoffen und Verbundmaterialien gewonnen sowie stofflich verwertet und die Primärrohstoffvorräte der Natur demzufolge geschont. Über 52 Mill. t Verpackungsabfälle sind durch das DSD in mehr als 10 Jahren bisher verwertet worden, davon über 5,3 Mill. t 2002. Dadurch konnten allein in dem Jahr 67,5 Milliarden Megajoule (MJ, Millionen Joule) Primärenergie eingespart werden. Der Ausstoß von 1,5 Mill. t klimaschädlicher Gase wurde so vermieden, was den Emissionen bei 1,16 Milliarden gefahrenen Stadtbus-Kilometern entsprechen würde, etwa der Fahrleistung aller Linienbusse des Verkehrsverbundes Rhein-Ruhr in 6 Jahren. Ein Drei-Personen-Haushalt verbraucht durchschnittlich 9,6 kWh (Kilowattstunden) Strom pro Tag. Dieser Verbrauch entspricht etwa der Energiemenge, die durch das Recycling von gebrauchten Verpackungen mit dem Grünen Punkt eingespart werden, die in 3 gefüllten Gelben Säcken enthalten sind.

Die Anforderungen der Verpackungsverordnung, wie die Erfassungs-, Sortier- und Verwertungsquoten, werden seit vielen Jahren mehr als erfüllt. So wurden im Jahre 2002 von den gesammelten Verpackungen verwertet: Glas 85 %, Weißblech 77,3 %, Aluminium 71,3 %, Papier, Pappe, Kartons 89 %, Verbunde/Flüssigkeitskartons 65,5 %, Kunststoffe 51,2 %. Eine Verpackungsreduzierung hat stattgefunden. Man kann gewiss kritisieren, dass diese nicht in ausreichendem Maße erfolgte, doch möge man dabei stets an den Sinn und die Notwendigkeit von Verpackungen denken. In mehr als 17 Ländern werden mittlerweile Verpackungen mit dem Grünen Punkt gekennzeichnet und verwertet.

Selbstverständlich sind weiterhin von allen und jedem, von Herstellern, Händlern und Verbrauchern alle Anstrengungen zu unternehmen, auf wirklich überflüssige Verpackungen zu verzichten. ***So sollte jeder z. B. zum Einkaufen Mehrwegbehälter und - wie früher - Netze, Körbe oder Taschen mitnehmen. Gebrauchte Papiertüten und Plastikbeutel aus Polyethylen (PE) eignen sich***

gleichfalls zur Mehrfachnutzung. Nicht vermeidbare Verpackungen sind möglichst umweltfreundlich herzustellen und zu verwenden.

Der Aufbau des Dualen Systems war mit Kosten in Milliardenhöhe verbunden. Sammlung, Transport und Sortierung sind teuer, haben jedoch auch Arbeitsplätze geschaffen. Probleme bei der zudem noch recht teuren **Kunststoffverwertung** sind vorhanden. Nachteilig war, dass Reststoffe mit hohem Energieaufwand ins Ausland transportiert wurden. (1994 waren dies beispielsweise mit rund 2560001 immerhin 55 % der verwerteten Kunststoffmaterialien, die insbesondere in China und Italien verwertet wurden.) Dort wurden daraus meist minderwertige Produkte erzeugt. Die Kapazitäten zum Kunststoffrecycling waren bei uns bis vor wenigen Jahren nicht ausreichend, was auch damit zusammenhing, dass wir Bürger unerwartet gut gesammelt haben (2002 betrug die Gesamtmenge der über das DSD erfassten , Materialien über 6,3 Millionen Tonnen; 2001 wurden von 11,1 Millionen Tonnen Verpackungsabfällen insgesamt über 78 % verwertet), in absehbarer Zeit dürften diese Probleme aber gelöst sein (1995 wurden 233000 t. 1996 102000 t und 2002 noch ca. 68000 t im Ausland werkstofflich verwertet), ebenso wie die mit den „Trittbrettfahrern“, die die Lizenzgebühren für die Teilnahme am Dualen System nicht zahlten. Zu bedenken ist außerdem, dass man nicht als Folge der geforderten Reinigung der Behältnisse aus dem Abfall- ein Abwasserproblem macht! **Lebensmittelreste sollte jeder zunächst bestmöglich mit einem Löffel aus den Behältnissen entfernen, der Kompostierung oder der Biotonne zuführen und erst dann - falls noch erforderlich - mit möglichst wenig Wasser reinigen. Spül-, Wasch- und Reinigungsmittel sollten (wie anderes genauso) restlos zweckgemäß aufgebraucht werden.** Nachteilig ist natürlich zudem eine **falsche Bestückung**. Dazu zählen **Verpackungen ohne Grünen Punkt**. Diese sind dem Verkaufsgeschäft zurückzugeben, das sie einer Wiederverwendung oder stofflichen Verwertung zuführen muss. **Ebenso gehören Hausmüll, Bioabfälle, Batterien, radioaktive Stoffe oder tote Katzen nicht in das Behältnis des Dualen Systems. Radioaktive Stoffe sind aufgrund des Atomgesetzes, tote Tiere nach dem Tierkörperbeseitigungsgesetz ordnungsgemäß zu entsorgen.** Diese Nachteile kann somit jeder Einzelne verhindern. Man sehe sich den Gelben Sack mal an, dann erfährt man, was dort hineingehört.

Trotz der aufgeführten und anderer Probleme haben Ökobilanzen einer Studie bestätigt, dass das Duale System entscheidend mit dazu beiträgt, die Verpackungsabfallmengen der Haushaltungen, die Treibhausgasemissionen, die Eutrophierung von Gewässern und die Versauerung (d. h. den Eintrag saurer Schadstoffe) der Böden zu reduzieren, Rohstoffe und Energie einzusparen sowie Deponieraum und Verbrennungskapazität zu schonen. Noch nicht mal 1 Euro muss jeder Deutsche pro Monat für den ökologisch sinnvollsten Umgang mit nicht vermeidbaren Verpackungen lediglich bezahlen. Die Kosten der öffentlichen Abfallentsorgung werden dadurch entlastet.

Im deutschen Bundesland Hessen wurde im August 2003 der Aufbau eines zweiten Sammelsystems genehmigt. Die Zukunft wird zeigen, ob sich dies für den Verbraucher und vor allem die Umwelt als vorteilhaft erwiesen hat. Neben den Verpackungsmaterialien fallen in Haushaltungen noch größere Mengen einer Vielzahl von Stoffen an, die nicht mehr benötigt werden und deren man sich entledigen will:

Die wertvollen Korken werden geschont, wenn man Flaschenkorken sammelt und dem Epilepsiezentrum Kork in 77694 Kork zuführt.

Altbekleidung sollte jeder den mildtätigen und gemeinnützigen Organisationen bei deren Sammlungen zur Verfügung stellen. Da nur etwa die Hälfte der anfallenden Menge jenen Organisationen zugeführt wird, kann hier noch viel mehr getan werden. Des Weiteren man kann sie den Second-Hand-Läden übergeben, oder wie andere nicht mehr benötigte Gegenstände tauschen sowie auf Flohmärkten oder durch Annoncieren verkaufen. Denn gemäß dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz ist auch nicht vermeidbare Altkleidung (im Schnitt wird Altkleidung nach nur einem Drittel ihrer Lebensdauer, vielfach aus modischen Gründen, ausrangiert) verstärkt zu verwerten, was Kosten verursachen wird, die wie beim Grünen Punkt auf den Verbraucher umgelegt werden.

Die Rückstände der bisherigen **Damenbinden** (in Deutschland allein jährlich etwa 2 Milliarden) belasten bis zu 500 Jahre die Umwelt. Neuartige Binden sind dagegen vollständig biologisch abbaubar.

Über 67,5 Millionen Euro hat 1992 die Entsorgung von 885000 t **Windelmüll** gekostet, da dieser vorwiegend aus Einwegwindeln bestand und besteht. Nicht bloß 4 bis 10 % der Restmüllmenge entfallen darauf, sie sind darüber hinaus aufgrund des Kunststoff-

Verbundes, zinkhaltiger Rückstände aus Babycremes, anderer Chemikalien und wegen der potenziell gesundheitsgefährdenden Fäkalien ein Risiko bei der Entsorgung, eine zukünftige Altlast. Moderne **Mehrwegwindeln** sind genauso preiswert und bequem zu handhaben. Die Kleinen sind früher trocken. Eine Erkrankung der Haut, die sog. Windeldermatitis, tritt bei ihnen zehnmal seltener auf als bei Einwegwindeln. Allergien werden vermieden. Zinnorganische Verbindungen, die Hormongifte sind, haben in Windeln und Textilien nichts zu suchen. Sie können über die Haut aufgenommen (resorbiert) werden und zur Vermännlichung oder bei männlichen Menschen (und anderen Lebewesen) zur Unfruchtbarkeit führen. Durch Wärmestau in Höschenwindeln kann (vor allem bei Fieber) die gesunde Entwicklung der Hoden gestört werden. Womöglich liegen hier Ursachen für die zurückgehende Zeugungsfähigkeit junger Männer. **Die Inanspruchnahme eines Windeldienstes**, der Stoffwindeln liefert und wäscht, **wird daher von vielen Gemeinden mit einem Kostenzuschuss belohnt.**

Neuartige **Batterien und Akkumulatoren** (wieder aufladbare Batterien) enthalten zwar wesentlich weniger Schadstoffe (wie die Schwermetalle Quecksilber und Cadmium) als früher, **sind** aber trotzdem von jedem getrennt zu sammeln und bei den Verkäufern z. B. zwecks Wiederaufarbeitung **zurückzugeben**. Während 1998 noch keine Altbatterien verwertet wurden, betrug die Verwertungsquote 2003 immerhin 70 %. Allerdings lag die Rückgabequote nur bei 33 %. Obwohl mittlerweile rund 80 % der verkauften Batterien schadstoffarm sind, ist trotzdem jeder gesetzlich verpflichtet, alte Batterien dem Recycling zuzuführen. Gemäß der **Batterieverordnung** müssen Verkäufer von Autobatterien ein **Pfand** erheben, wenn der Käufer beim Kauf keine gebrauchte Autobatterie zurückgibt. Die EU wird künftig Recyclingquoten von mindestens 90 % für Haushaltsbatterien und gar 100 % für Autobatterien vorschreiben. Viele Kleingeräte wie Uhren, Briefwaagen, Taschenrechner und Spielzeuge werden bereits mit Sonnenenergie betrieben. **Statt batteriebetriebener Produkte sollte man solarbetriebene verwenden.** Über 60 Millionen **Handys** sind alleine in Deutschland bereits nicht mehr in Gebrauch! Ausgediente Mobiltelefone **sind bei den Verkaufsstellen abzugeben**. Gebrauchsfähige Alt-Handys werden in Entwicklungsländer geschickt, die anderen zerlegt und die Einzelteile recycelt.

Nach der **EU-Richtlinie für Altfahrzeuge**, dem **Altfahrzeug-Gesetz** und der **Altfahrzeug-Verordnung** sind alte Kraftfahrzeuge an den Hersteller oder einen anerkannten Demontagebetrieb zurückzugeben. Betrug die Recyclingquote 2003 bereits rund 80 %, sind ab 1.1.2006 mindestens 85 %, ab 1.1.2015 mindestens 95 % der Altteile wiederzuverwenden oder zu verwerten. Beim Herstellen neuer Kfz sind gefährliche Stoffe möglichst zu vermeiden, recycelbare Teile einzusetzen und verstärkt Recyclingmaterial zu verwenden. Wie andere Teile sind die in immer höheren Anteilen verwendeten aus Kunststoff ebenfalls zu kennzeichnen. Sie sollen aus möglichst wenig Sorten bestehen. Es gilt fortzufahren, Fahrzeuge bestmöglich recycelbar sowie lärmarm (z. B. durch Einsatz der leisen Erdgasmotoren) und kraftstoffsparend zu gestalten.

Organische Küchenabfälle (mindestens ein Drittel des Hausmülls) **und Gartenabfälle** (zusammen rund 6 bis 9 Millionen Tonnen) **sind entweder eigenständig sachgemäß zu kompostieren** (was Entsorgungskosten spart) **oder über Biotonnen oder gesonderte Abfahren der Verwertung durch Kompostierung oder durch Vergärung zuzuführen.**

Wenn diese Ratschläge beherzigt werden, dürfte die noch verbleibende Menge an Restmüll wesentlich reduziert werden, und es kann für deren Sammlung eventuell eine kleinere, preiswertere Tonne benutzt werden. Viele Kommunen berechnen die Gebühren schon heute nach dem Müllgewicht. Die Tonnen werden am Müllwagen gewogen und das Gewicht auf einem an der Tonne befestigten Chip registriert.

Wie erfolgt der Transport der Abfälle?

Neben den Behältnissen für einen Stoff, bzw. eine Abfallart, gibt es Behältnisse (Tonnen, Container), in denen die Stoffe (Restmüll und Wertstoffe) gemeinsam, aber in mehreren getrennten Kammern nach dem Hol- oder Bringsystem gesammelt werden. Die **Sammel-fahrzeuge** verfügen bei diesem System über mehrere Kammern (wie auch z. B. die für Glas), so dass eine getrennte Abfuhr gewährleistet ist. In Hochhäusern und Krankenhäusern werden Abfälle manchmal über **Rohrleitungen** entsorgt. Die Abfälle werden von den Eingabestellen mittels eines starken Luftstroms zu zentralen Sammelbehältern gesaugt. Eine ausgezeichnete Hygiene und die Vermeidung von Lärm, Geruch und Ungeziefer ist auf diese Weise gegeben. Die

Investitionskosten für dieses System sind jedoch recht hoch.

Abfallsammelbehälter und -fahrzeuge besitzen häufig eine Presse, mit der das Abfallvolumen reduziert und damit das Fassungsvermögen beträchtlich erhöht wird.

Je größer die Müllmenge und je weiter die Entfernung zur Entsorgungsanlage ist, um so rentabler wird die Errichtung einer **Müllumladestation**. Mit kleineren Fahrzeugen wird der Müll durch den Sammler oder den Erzeuger angeliefert. Über Sammelbunker erfolgt die Eingabe, oft in Container mit Verdichtung durch eine Presse. Großfahrzeuge oder (besser) Züge befördern diese Container dann zur Verbrennungsanlage oder - in Deutschland bis höchstens 2005 - zur Deponie. Der Weitertransport ist außerdem mit Ferntransportern mit eigener Abfallpresse oder preiswert mit Schiffen möglich.

Da **Sonderabfälle** vielfach Gefahrgüter sind, ist bei Transporten derselben die entsprechende **Gefahrgutverordnung der einzelnen Verkehrsträger** und die **Gefahrstoffverordnung** zu beachten. Letztere enthält mit **“umweltgefährlich”** eine **neue Gefahrenbezeichnung**; das Symbol für diese Gefahr ist im Anhang 1, Abb. A-7 wiedergegeben. Fahrzeuge, die gemäß der **Gefahrgutverordnung Straße** gefährliche Güter befördern, müssen mit **orangefarbenen Warntafeln** gekennzeichnet sein. Anhand der Ziffern lassen sich der Stoff und die von ihm ausgehenden Gefahren identifizieren. Beim gemeinsamen Transport mehrerer Gefahrgüter ist darauf zu achten, dass diese getrennt in geeigneten, gut verschlossenen und befestigten Behältern befördert werden, damit es nicht durch Nässe, Wärme, Licht, Vermischung oder sonstige Einwirkungen zu gefährlichen Reaktionen kommen kann. Sie sind so zu lagern, dass selbst bei Unfällen Gefahren jeder Art minimiert werden.

Was ist eigentlich «Recycling»?

Unter Recycling verstehen wir die **Wiederverwendung** sowie die **Wieder- und Weiterverwertung** von Stoffen des Abfalls. Diese Stoffe sind deshalb Wertstoffe oder Sekundärrohstoffe, auch Reststoffe genannt. Die oft beste, preiswerteste, rohstoff- und energiesparendste Art des Recyclings ist die möglichst häufige Wiederverwendung des gereinigten und evtl. noch aufbereiteten

Abfallprodukts für den gleichen ursprünglichen Zweck. Beispiele sind Mehrwegflaschen oder Kartonverpackungen (z. B. für Umzüge).

Des Weiteren können Abfälle wie Glas, Papier, Aluminium und Kunststoffe als Sekundärrohstoffe zur Herstellung neuer Produkte aus diesen Materialien (werk)stofflich aufgrund physikalischer Prozesse wiederverwertet werden, z. B. durch Umschmelzen.

Eine weitere Art von Recycling findet statt, wenn Abfälle (roh)stofflich umgewandelt werden, d. h. mittels chemischer Prozesse (z. B. bei der Pyrolyse von Altreifen) und biochemischer Prozesse (wie bei der Kompostierung) andere nutzbare Roh- oder Wertstoffe entstehen. Bei der Behandlung von Abfällen durch Verbrennung und andere thermische Verfahren wird die dabei erhaltene nutzbare Energie z. T. verwertet, häufig für Fernwärmezwecke oder zur Erzeugung von elektrischem Strom. Man spricht hierbei auch von **Energie-Recycling**. Die bei diesen Verfahren anfallenden Stoffe, wie Schlacken, sind möglichst vollständig zu verwerten.

Ist Recycling überhaupt notwendig?

Schon alleine wegen der weiterhin explosionsartig zunehmenden Weltbevölkerung **müssen wir alle mit unseren Reserven (Ressourcen), z. B. an Rohstoffen, schonender umgehen**. Nicht nur Erdöl und andere fossile Primärenergieträger sind trotz immer neuer Fundorte knapp und nicht erneuerbar, sondern überdies die Metalle bzw. deren Erze. Sogar der nachwachsende Rohstoff Holz wird immer knapper, weil, besonders in den Tropen, mehr abgebrannt und abgeholzt wird als nachwächst. So hat der tropische Feuchtwald zwischen 1990 und 1997 jährlich das Doppelte der Fläche Belgiens verloren! 50 bis 60 % der gesamten Tier- und Pflanzenwelt (der sog. **Biodiversität**) unserer Erde ist in diesen Wäldern beheimatet. Viele dieser Tiere und Pflanzen - von denen wir nicht wissen, wie wertvoll sie für uns sein könnten - sterben dadurch aus, bevor sie entdeckt worden sind! Täglich sind das rund 130 Arten, so viele wie niemals zuvor! Man kennt erst etwa 1,7 Millionen von schätzungsweise 20 Millionen Arten! So wurden beispielsweise bei einer Studie im tropischen Regenwald Panamas 1200 (zu 80 % bis dahin unbekannte) Käferarten gezählt, auf nur 19 Bäumen! Wälder nehmen das Treibhausgas Kohlendioxid durch die **Fotosynthese** über die Blätter auf und geben dabei den für uns lebensnotwendigen Sauerstoff ab. Riesige Mengen Kohlendioxid können deshalb nicht gebunden und in

Sauerstoff umgewandelt werden! Im Gegenteil: Durch sinnlose **Brandrodung** und verheerende **Brände** werden enorme Mengen Kohlendioxid emittiert! ***Der Umweltfrevel an Bäumen und Wäldern ist weltweit umgehend zu stoppen! Produkte aus Tropenholz sollten nicht erworben werden.*** Überraschenderweise ist die Artenvielfalt in den Alpen genauso hoch wie in einigen tropischen Regionen. Die **Alpen-Konvention**, ein internationales Übereinkommen, dient dem Schutz dieses Naturraumes. Die Förderung der Rohstoffe ist meist mit einem riesigen Energieaufwand und einer enormen Natur- und Umweltzerstörung verbunden, was gleichermaßen für den Transport in die Industriezentren gilt. Man denke hier bloß an Erdöl und die vielen Tankerunfälle! Die Verarbeitung dieser Rohstoffe erfordert dann ebenfalls oftmals einen erheblichen Verbrauch an Energie und Aufwand an Technologie. Beispiele sollen das nun verdeutlichen:

Glas

Im Zuge der Gewinnung von Glas wird immer Quarzsand (Siliciumdioxid) eingesetzt und mit metallischen Oxiden oder Carbonaten wie Soda (Natriumcarbonat) bei Temperaturen von weit über 1000 °C bis zu 20 Stunden geschmolzen. Die Produktion von Soda ist mit einer großen Abwasserbelastung durch Salze für die Gewässer, z. B. den Rhein, verbunden. Der Energiebedarf der Primärerzeugung ist enorm hoch und erheblich geringer, wenn Altglas eingeschmolzen wird. Da dies beliebig oft geschehen kann, gibt es keine Absatzprobleme für Altglas.

Wichtig ist jedoch die farbgetrennte Sammlung von „Weiß“-, Grün- und Braunglas. Den höchsten Anteil an hergestelltem Glas hat Weißglas. Es ist zwar für UV-Strahlen undurchlässig (deshalb führt selbst ein tagelanges Sonnen hinter einer Fensterscheibe nicht zur gewünschten, jedoch gar nicht so gesunden Bräune), trotzdem schützen Braun- und Grünglas besser vor Lichteinwirkungen und könnten von daher nicht bloß zur Aufbewahrung von Bier und Wein, sondern auch anderen Genuss- und Lebensmitteln eingesetzt werden. Hinzu kommt, dass die Anteile an grünen und braunen Scherben im Weißglasabfall nur wenige Bruchteile von einem Prozent betragen dürfen, wenn daraus erneut farbloses Glas, sog. Weißglas, gewonnen werden soll. In erster Linie deswegen ist die getrennte Sammlung besonders bedeutsam. Nicht farbsortiertes Glas kann nur bei der Grünglasproduktion eingesetzt werden. Der Altglasanteil ist daher hier

mit ca. 90 % wesentlich höher als bei den beiden anderen Sorten.

Weißblech

Aus Weißblech bestehen viele Einwegdosen. Es ist im Gegensatz zu Aluminium magnetisch und enthält geringe Mengen Zinn, ein knappes, teures Metall. Obwohl nur 0,1 g Zinn für eine 0,33-Liter-Dose gebraucht werden, ist die Wiederverwendung von Zinn deswegen rentabel und notwendig. Viele dieser Dosen werden als Schrott neben anderen eisenhaltigen Abfällen in der Eisen- und Stahlindustrie als Sekundärrohstoff genutzt.

Aluminium

Die Primärerzeugung von Aluminium erfolgt aus dem z. B. in Australien, Guinea oder Jamaika im naturzerstörenden Tagebau geförderten Rohstoff Bauxit, einem aluminiumoxidhaltigen Erz. Etwa 5 Stunden wird dieses Erz mit Natronlauge bei hohem Druck und hoher Temperatur behandelt, um Verunreinigungen abzutrennen. Eine davon ist Rotschlamm, ein Eisenoxid, das erst seit einigen Jahren verwertet wird. Bei 1200 °C wird aus dem abgetrennten Aluminiumhydroxid durch Glühen Aluminiumoxid gewonnen. Erst jetzt erhält man daraus unter Verbrauch riesiger elektrischer Energiemengen das Metall. Deswegen befindet sich die Industrie, die Primäraluminium herstellt, dort, wo billige mit Wasserkraft gewonnene elektrische Energie zur Verfügung steht, wie in den französischen Alpen oder in Norwegen. Während der sog. Schmelzflußelektrolyse wird Aluminium an der negativen Elektrode (der Kathode) abgeschieden. Aluminiumoxid schmilzt erst bei rund 2000 °C. Infolge Zugabe eines fluorhaltigen Minerals wird der Schmelzpunkt um über tausend Grad gesenkt. Geschähe das nicht, wäre der Stromverbrauch noch um vieles höher. Allerdings müssen so enorme Mengen fluorhaltiger Abgase behandelt werden.

Zur Sekundärgewinnung durch Schmelzen und Reinigen von Aluminiumabfall braucht man lediglich 5 % der zur Primärerzeugung erforderlichen Energie! ***Demzufolge sind gerade Aluminiumabfälle aus z. B. nicht vermeidbaren Folien, Getränkeden, Flaschenverschlüssen, Verbunden oder Fensterrahmen zu sammeln und rückzuführen.*** Die Recyclingquote ist in Deutschland hoch und steigt weiter an.

Verbünde

Der Anteil an Aluminium in Verbunden, z. B. Getränkekartons, liegt bei 4 %. 1,5 g Aluminium enthält eine 1-Liter-Packung. 75 % sind cellulosehaltiger Karton, der Rest Polyethylen, damit der Karton nicht durchweicht. Eine Wiederverwertung erfolgt u. a. als Folge unserer verstärkten Sammlung. Mittels unterschiedlicher Verfahren werden die drei Stoffe voneinander getrennt. Der Kartonanteil wird ähnlich wie Papier recycelt. Hochwertige Hygienepapiere produziert man daraus. Kartonverbunde, die beständig gegen die Bedingungen der Haltbarmachung von Lebensmitteln durch **Sterilisierung** sind (u. a. 2 Stunden Aufenthalt bei 120 °C) werden entwickelt. Sie werden dann Glasbehälter und Dosen im Lebensmittelbereich ersetzen. Der Kartonverbrauch wird dadurch jedoch steigen.

Da die Kartonverbunde Einwegverpackungen sind, haben sie insofern - vom Grundsatz der Abfallvermeidung aus betrachtet - einen ideellen und ökologischen Nachteil gegenüber wiederbefüllbaren Mehrwegflaschen. Trotzdem ist die Bewertung und Beurteilung der Umweltfreundlichkeit oder -schädlichkeit eines Produktes mit Hilfe sog. **Ökobilanzen** nicht ganz einfach.

Was ist in der Ökobilanz eines Produktes alles enthalten?

Die Rohstoffgewinnung, die Produktion (mit ihrem Energiebedarf, ihrer Erzeugung von Lärm, Abwasser, Abluft und Abfällen), der Transport von Verpackung und verpacktem Material (z. B. Gewicht, Raumausfüllung, Menge, Transportentfernung), die Nutzung, die Naturverschandelung, das Recycling und die Entsorgung sind Aspekte, welche bei der Gesamtbeurteilung betrachtet werden müssen. Hinzu kommen die Eigenschaften der Verpackung und des Inhalts. So hat sich das stabile Glas in Form der **Mehrwegflasche** beim Bier, bei Mineralwasser und bei anderen kohlenensäurehaltigen Getränken seit langer Zeit bewährt. Nachteilig sind allerdings die großen Transportentfernungen und die unterschiedliche Art der Kästen.

Bei der **Milch** ist zu bedenken, dass aufgrund der kurzen Haltbarkeit wohl kaum jemand einen Kasten mit über 20 Glasflaschen Frischmilch kaufen wird. Die Mehrwegglasflaschen für Milch sind durch Fett und außerdem oft mit Schmutz (vor allem jene aus Schulen) enorm verunreinigt. Viele sind nach nur wenigen Umläufen beschädigt. Mit stark ätzenden Chemikalien, wie Natronlauge und

Phosphorsäure, werden sie aufwändig unter hoher Abwasserbelastung gereinigt. (Eine solche ist auch bei der Reinigung von Mehrweggeschirr vorhanden.)

Durch Aluminium wird der **Getränkekarton** sauerstoff- und lichtdicht, wodurch eine lange Haltbarkeit ohne Kühlung und Zugabe von Konservierungsmitteln möglich wird. Die Dunkelheit im Karton sorgt dafür, dass lebenswichtige Vitamine nicht zerstört werden. Besonders Milch verändert sich unter Lichteinwirkung rasch. Klares Glas lässt 92 %, braunes immer noch 42 % des Lichtes hindurch. Der Kartonverbund ist leicht (was Transportenergie einspart) und bruchsticher. Die Gefahr von üblen Verletzungen und platten Fahrradreifen durch zerbrochenes, oft gerade auf Fahrradwegen befindliches Glas besteht bei Kartonverbunden nicht. 95 % Milch und nur 5 % der den Laderaum wesentlich besser ausfüllenden viereckigen Verbünde werden befördert. Bei der Mehrwegglasflasche, die bei der Milch aus den aufgeführten Gründen eine bedeutend geringere Umlaufzahl als beim Bier oder Mineralwasser hat, beträgt der Massenanteil der Milch nur 60 %. 820000 gebrauchte, zu Ballen gepresste 1-L-Getränkekartons passen auf einen Lkw, der sie zum Recyclingunternehmen bringt. Die gleiche Anzahl der um etliches schwereren 1-L-Glasflaschen können erst 22 Lkw befördern!

Dieses Beispiel soll aufzeigen, dass auch hier wieder einmal vor generalisierenden, d. h. verallgemeinernden, vereinfachten und mit verfälschenden Vorurteilen behafteten Aussagen über Pro und Contra einzelner Verpackungen nur gewarnt werden kann, will man der Sache, also dem Schutz der Umwelt, wirklich dienen und nicht irgendwelchen Ideologien. Sachlich richtige Ökobilanzen aufzustellen ist, wie das Beispiel zudem deutlich machen sollte, sehr schwierig und mit Problemen behaftet. Dessen sollten wir uns stets bewusst sein. Selbstverständlich hat das Mehrwegsystem wenn eben möglich und für die Umwelt von Nutzen Vorrang vor Einwegsystemen. Weitere Alternativen sind zu betrachten und zu entwickeln. (Vielleicht gibt es ja eine **Mehrweg-Verbund-Verpackung?** Eine gravierende Verbesserung für Getränkekartons, die **wiederverschließbare Öffnungs- und Ausgießhilfe**, z. B. Combi Top, gibt es seit 1993.) So ist der bei der Milch auch verwendete **Schlauchbeutel** aus Polyethylen in vielen Punkten der Mehrwegflasche ebenfalls überlegen, ab Transportentfernungen von 200 km ökologisch sogar erste Wahl!

Im übrigen sei noch erwähnt, dass die insgesamt von Verpackungen ausgehenden Umweltbelastungen im Vergleich zur Gesamtumweltbelastung wesentlich überschätzt worden sind. Dies soll jedoch beispielsweise nicht bedeuten, weiterhin die Natur mit weggeworfenen Verpackungen zu verschandeln, statt diese zu vermeiden bzw. dem Recycling zuzuführen.

Kunststoffe

Viele der aufgeführten Nachteile der Glas-Pfandflaschen für Milch besitzen **Mehrwegflaschen aus Polycarbonat** nicht. Die braune Farbe schützt Frischmilch besser vor schädlichen Lichteinflüssen. Die Flaschen sind bruchstark, leichter als Glas und können fast doppelt so oft befüllt werden, was mit an der Unempfindlichkeit gegen Verkratzungen liegt. Die viereckige längliche Form ermöglicht einen platzsparenden Transport. Es wird mehr Milch und weniger und zudem leichtere Verpackung befördert, was den Kraftstoffverbrauch reduziert. Es gibt also eine weitere Alternative, die in Thüringen bereits 1994 mit großem Erfolg eingeführt worden ist. Bei Cola-Getränken wurden schon vor vielen Jahren **Flaschen aus Polyethylenterephthalat (PET)** eingesetzt. In den USA z. B. sind für diese Zwecke bereits Flaschen zugelassen, die zwischen einer inneren und äußeren Schicht von PET-Neuware PET-Rezyklat enthalten, quasi eine Art Mehrwegverbund. PET-Flaschen werden in den EU-Staaten verstärkt verwendet. Sie sind zehnmal leichter als Glasflaschen vergleichbarer Größe, ungiftig und ebenfalls bruchstark. Trotz Verbesserungen sind sie manchmal noch nicht ganz geschmacksneutral, dünnen kleine Mengen Acetaldehyd aus. Das Wasser verliert schneller die Kohlensäure als in Glasflaschen. Die Umstellung auf PET-Abfüllanlagen ist teuer, für viele kleinere Betriebe ist sie unbezahlbar. Mittlerweile gibt es PET-Flaschen, die mit einer dünnen Glashaut beschichtet und daher gasundurchlässig sind. Für kohlensäurehaltige Getränke ist dies bedeutsam. Das für Bier schädliche Eindringen von Sauerstoff wird dadurch verhindert. PET-Flaschen für den Einsatz im Lebensmittelsektor dürfen in Deutschland maximal 1 % Recycling-PET enthalten, das aus anderen Sektoren stammt. Aufgrund neu entwickelter Verfahren ist allerdings ein solches Material unbedenklich für den Kontakt mit Lebensmitteln. Bei Mehrweg-PET-Flaschen strebt man 10 bis 12 Umläufe an.

Spezialbeschichtete **Leichtglasflaschen**, die in den Niederlanden seit

1993 im Umlauf sind, könnten in den bisherigen Anlagen abgefüllt werden. Gegenüber der Perlenflasche ist eine solche Flasche bis zu 40 % leichter. Lebensmittel dürfen bei uns nicht unmittelbar mit Verpackungsmaterialien in Berührung kommen, die aus dem stofflichen Recycling stammen. Andere rechtliche Vorgaben, wie Normen, behindern ebenso noch den verstärkten Einsatz von Rezyklaten. Ein weiteres Problem sind die häufig noch hohen Kosten des Kunststoffrecyclings, auch hervorgerufen durch die für das werkstoffliche Recycling erforderliche sortenreine Trennung, vor allem wenn diese noch von Hand erfolgt. Die vielen Sorten und die manchmal immer noch fehlende oder mangelhafte Kennzeichnung erschweren die Trennung.

Wie kann man Kunststoffe erkennen und trennen?

Einige der am meisten verwendeten Kunststoffe erkennt man leicht an ihren Eigenschaften. **Polyethylen (PE)**, das mit dem Fingernagel gut ritzbar ist, sowie **Polypropylen (PP)** schwimmen auf Wasser. Bringt man einen erhitzten Kupferdraht mit PVC, anderen halogenhaltigen Kunststoffen oder Lösungsmitteln in Kontakt, färbt sich eine Flamme grün, wenn der Draht mit der Probe erneut in die Flamme gehalten wird. Obgleich man die Kunststoffe aufgrund ihrer unterschiedlichen Dichten mit Hilfe von Wasser und anderen Flüssigkeiten trennen kann, ist eine Trennung mittels Computer effektiver. Jede Kunststoffart "verschluckt", d. h. absorbiert, und reflektiert die einzelnen Lichtarten unterschiedlich. Diese Eigenschaften werden in wenigen Millisekunden bestimmt. Die Daten werden an eine Steuerungseinheit weitergeleitet, die dann sortiert. Dieses Verfahren erleichtert die großtechnische Verwertung enorm.

Welche Möglichkeiten des Kunststoffrecyclings gibt es?

Durch **Umschmelzen** können sortenreine thermoplastische Kunststoffe wie PE, PP, Polyvinylchlorid (PVC) oder Polystyrol (PS), in geschäumter Form als Styropor bekannt, werkstofflich recycelt werden. Für diese Zwecke werden bundesweit an ca. 1400 Stellen Styroporabfälle gesammelt. Bei einem neuen Verfahren entsteht unter hohem Druck bei niedrigen Temperaturen aus einer Kombination thermoplastischer Kunststoffe ein halbfestes Material, das sich leicht verformen und mehrmals wieder einschmelzen lässt.

Bei Erwärmung werden **Duroplaste**, die z. B. für Schalter und Steckdosen eingesetzt werden, nicht plastisch verformt, sondern

zersetzt. Sie können zermahlen und als Füllstoff der Neuware zugesetzt werden.

Bestimmte sortenreine Kunststoffe, sog. Polykondensate, z. B. Polyester, Polyurethane oder Polyamide, können durch **Solvolyse** (Auflösung), wie der Hydrolyse, d. h. Reaktion mit Wasserdampf, oder der Alkoholyse (Reaktionen mit Alkoholen), zu den Ausgangsrohstoffen rückverwandelt werden. Bei der **Hydrierung** reagieren Kunststoffabfälle mit Wasserstoff zu Mineralöl, das dann zu Benzin oder Heizöl verarbeitet werden kann.

Durch **Vergasung** entsteht vielfältig nutzbares Synthesegas, bei der **Pyrolyse** oder Thermolyse (Erhitzen unter Luftabschluss) bilden sich gasförmige und flüssige Produkte, die als Brenn- oder Rohstoffe genutzt werden. Beim Verfahren der BASF werden gemischte Kunststoffabfälle (einschließlich PVC) geschmolzen und danach gespalten (gecrackt). Es entstehen Gase (wie Chlorwasserstoff) und öle, die als Rohstoffe eingesetzt werden. 1993 wurden insgesamt 281000 t, 1996 bereits 535000 t, 1997 schon 615000 t und 2002 gar rund 688000 t **Kunststoffabfälle des Dualen Systems** (von diesen 355000 t werkstofflich und 329500 t rohstofflich) recycelt, davon 1993 70000 t, 1996 433000 t, 1997 560000 t und 2002 sogar ca. 620000 t in deutschen Unternehmen. In stahlerzeugenden Betrieben werden bei der **Roheisengewinnung** Kunststoffabfälle als Reduktionsmittel in Hochöfen eingebracht und so preiswert verwertet. Eine Dioxinbildung tritt bei den hohen Temperaturen von weit über 2000 °C nicht auf. In der Hütte Bremen wurden ca. 110000 t, in Eisenhüttenstadt rund 40000 t jährlich eingebracht. Zielvorstellung ist, einmal die doppelte über das Duale System anfallende Menge rohstofflich zu verwerten. 2001 fielen bei uns insgesamt rund 3,8 Mill. t (Millionen Tonnen) Kunststoffabfälle an, von denen über 2,2 Mill. t verwertet wurden (davon über 1,4 Mill. t werkstofflich, 0,3 Mill. t rohstofflich und über 0,5 Mill. t energetisch), aber sogar noch 1,6 Mill. t deponiert wurden! Ob die Zielsetzung je erreicht wird, erscheint zumindest sehr zweifelhaft.

Rohstofflich verwertet werden können Kunststoffabfälle – auch die von Alautos – und andere Kohlenwasserstoffabfälle nach dem Verfahren des Säkunderrohstoff-Verwertungszentrums in Spreetal, kurz **SVZ-Verfahren** genannt. Bei 1600 bis 1800 °C entstehen unter hohem Druck gasförmige Stoffe, die zu Methanol synthetisiert

werden. Dieser Alkohol ist ein wertvoller Rohstoff und zukünftig für Brennstoffzellen bedeutsam. Aus den anorganischen Abfallkomponenten entsteht eine verwertbare Schlacke, in der Schadstoffe wie Schwermetalle eingebunden sind. Der Hitzebedarf wird durch die ablaufenden Reaktionen selbst gedeckt, d. h. die Umwandlung zu Gas ist autotherm. Nebenbei wird sogar überschüssiger Strom erzeugt. Pro Jahr können aus maximal 400000 t Methanol und 75 MW (Megawatt) Strom erzeugt werden.

PVC: ein sehr umstrittener Kunststoff

Polyvinylchlorid (PVC) ist nach Polyethylen der weltweit zweithäufigste Kunststoff. Während der Erzeugung von Chlor nach dem Amalgamverfahren der Alkalichlorid-Elektrolyse entsteht eine Quecksilberbelastung, u. a. der Abluft und des Abwassers. Zukünftig wird Chlor mit Hilfe des umweltfreundlichen, quecksilberfreien Membran-Verfahrens hergestellt.

Das giftige Chlor dient u. a. zur Erzeugung des krebserregenden Gases **Vinylchlorid (VC)**. Aus diesem entsteht durch Polymerisation PVC. In der Vergangenheit kam es aufgrund dessen durch die PVC-Produktion zu Todesfällen und chronischen Erkrankungen. PVC wird heute unter strengen Schutz- und Sicherheitsvorkehrungen produziert. Der Restgehalt an VC-Gas im PVC ist heutzutage nur noch gering aufgrund technischer Verfahren wie der Intensiventgasung. Blei und Cadmium werden bei PVC für Verpackungen und Spielzeug nicht mehr eingesetzt. Ansonsten wird Cadmium immer öfter durch Calcium- und Zinkstabilisatoren ersetzt. In Weich-PVC verwendete Weichmacher sind größtenteils durch Licht und Mikroorganismen bis zu Kohlendioxid und Wasser abbaubar. Produkte aus Hart-PVC, z. B. Rohre oder Fensterprofile, haben eine Nutzungsdauer von vielen Jahren oder Jahrzehnten. In sauerstoffundurchlässigen PVC-Verpackungen bleiben Lebensmittel und Medikamente länger haltbar. PVC sollte aber gerade hier durch andere Kunststoffe ersetzt werden. Wegen des Chlorgehalts ist PVC schwer brennbar. Die bei der Müllverbrennung auftretenden, chlorhaltigen, hochgiftigen Dioxine und Furane entstehen auch durch andere Chlorverbindungen wie Salze. Beim Erhitzen wird PVC unter Bildung von Chlorwasserstoff zersetzt. Dieses Gas wird (genauso wie die Dioxine und Furane) fast vollständig aus dem Rauchgas entfernt. Durch Lösen in und Reaktion mit Wasser entsteht verwertbare Salzsäure.

Bodenbeläge, Dachbahnen, Dichtungsbahnen, Fenster, Behälter, Rohre und andere Gegenstände aus PVC können werkstofflich verwertet werden. So werden z. B. Bodenbeläge und Dachbahnen jeweils getrennt gesammelt, zerkleinert und auf trockenem Wege gereinigt. Mit flüssigem Stickstoff werden die zerkleinerten Teile stark abgekühlt und dadurch anschließend zu sehr feinem Pulver zermahlen. Dieses dient dann zur Herstellung der gleichen Produkte. Ein **Downcycling**, d. h. die Erzeugung minderwertiger Produkte, wie Parkbänke, wird somit vermieden.

Rohstofflich werden PVC-Reststoffe in Monoverbrennungsanlagen verwertet. Ebenso wie die aus der Müllverbrennung stammende wird die hierbei erhaltene Salzsäure als Rohstoff eingesetzt, z. B. um neues PVC herzustellen. Trotz wesentlich verbesserten Umweltverhaltens von Neu-PVC bleiben **Gefahren**, wie die von Alt-PVC ausgehenden und die bei Bränden, bestehen.

Wenn schwer entflammbares PVC einmal brennt, entsteht nicht nur aggressive, Atemwege und Lunge reizende Salzverbindungen. So können außerdem hochgiftige Stoffe, wie Dioxine oder sogar Blausäure gebildet werden. Durch verdampfende Bestandteile (wie die Weichmacher) kann Weich-PVC „fein durchzündend“ und sich so der Brand rasant ausbreiten.

Auch von daher gibt es seit längerem **Alternativprodukte** zu PVC wie Holz-, Aluminium- oder Polypropylen-Fensterrahmen, Polyolefinbodenbeläge, chlorfreie Kabelummantelungen, Polyethylenrohre, Steinzeugrohre, Beton-Kunststoff-Rohre sowie Verpackungen aus Polyethylen, Polypropylen oder Polystyrol.

Unter der Einwirkung der UV-Strahlung des Sonnenlichts sind einige Kunststoffe photochemisch abbaubar. Zu diesen gehört das u. a. für Tragetaschen genutzte Polyethylen. Mikroorganismen oder fortschreitender Abbau durch UV-Licht zersetzen diese Stoffe weiter bis hin zu Kohlendioxid und Wasser.

Biologisch abbaubare Kunststoffe, wie die in der Medizin verwendeten auf Milchsäurebasis oder die aus Kartoffelstärke und einem Polyester herstellbaren, können u. a. wegen der noch nicht sehr guten Hitzebeständigkeit noch nicht alle bisher herangezogenen Kunststoffe ersetzen. Man kann sie aber zu reiß- und wasserfesten Folien verarbeiten, diese in der Landwirtschaft einsetzen oder daraus beispielsweise Blumentöpfe oder Abfallsäcke herstellen. Küchen-

abfälle lassen sich in letzteren sammeln, mit diesen eigenkompostieren oder ohne das Auftreten von Madenplagen über Biotonnen der zentralen biologischen Verwertung zuführen. Neuartige Biotonnen halten übrigens durch einen Filterdeckel Fliegen und andere Kleintiere vom Abfall fern. Dank eines neu entwickelten Verfahrens können inzwischen pro Jahr über 100000 t bestimmter **Altteppiche** zu Nylon und Perlon verwertet werden. Äußerst problematisch ist **Asbest** und dessen Recycling, da eingeatmete kleinste Fasern stark krebserregend sind. Vor diesen und anderen heimtückischen Fasern sollte sich jeder bestmöglich schützen, z. B. bei Sanierungen von Altbauten. Wie das zu geschehen hat, kann man der Gefahrstoffverordnung entnehmen. Eine vielversprechende Verwertungslösung ist das Einschmelzen und Glühen der Asbestfasern mit Zuschlagstoffen wie Kalk. Bei Temperaturen von 1250 °C bis 1450 °C entsteht dabei Zement. Die Abfallmengen an **Bauschutt** und **Bodenaushub** sind um ein Vielfaches höher als die von Hausmüll. Das Recyclingpotential ist bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Da die Rohstoffe für Baumaterialien ebenfalls knapp sind, und der keinesfalls harmlose oder inerte Bauschutt eine große Fläche in Deponien beansprucht, sollten Bauschutt und Bodenaushub verstärkt, z. B. im Straßenbau, für Lärmschutzwälle oder für Hinterfüllungen, benutzt werden. Der Kreislaufwirtschaft und Abfallverwertung sehr dienlich sind Boden- und Bauschuttbörsen. Die Anbieter sparen Entsorgungskosten, die Abnehmer können kostengünstig Wertstoffe erwerben. Andere **Abfallbörsen** haben sich schon seit langem bewährt, wie die bereits 1974 von Verbänden der chemischen Industrie eingerichtete.

Noch besser ist es stets, **produktionsintegrierten Umweltschutz** zu betreiben, d. h. die Produktion so zu optimieren, dass Abluft, Abwasser und Abfälle erst gar nicht entstehen (wie bei abwasserfreien Autowaschanlagen oder der abwasserfreien Galvanik), Energie eingespart, bzw. optimal genutzt wird sowie möglichst umweltfreundliche Produkte, wie schadstoffarme und langlebige, hergestellt werden. Unternehmen, die danach handeln, können aufgrund der **EG-Umweltaudit-Verordnung** seit April 1995 ein Zertifikat der Europäischen Union (EU) erwerben. Dieses bestätigt die kontinuierliche Verbesserung des Umweltschutzes in diesen Betrieben. Ein Qualitätssiegel, das **EMAS-Zeichen** (s. Anhang 1, Abb. A-2) kann für Werbezwecke eingesetzt werden und verschafft Wettbewerbsvorteile bei den immer umweltbewußter werdenden Verbrauchern.

Was ist eigentlich «Bio-Recycling»?

Zusätzlich zur Abtrennung von Wertstoffen aus Verpackungen lässt sich die Hausmüllmenge weiter reduzieren. Der organische Anteil im Resthausmüll wurde 1995 auf 57 % geschätzt. Dieser Anteil sollte soweit wie möglich biologisch recycelt werden. Beim Bio-Recycling oder biologischen Recycling werden nichttoxische, biologisch abbaubare organische Abfälle (toxische organische Abfälle, wie Altöle oder viele Lösungsmittel, sind Sonderabfälle; Altöle sind gemäß der **Altölverordnung** bei den Annahmestellen der Verkäufer unvermischt abzugeben, damit diese aufbereitet werden können) durch hauptsächlich aerobe Bakterien im Verlaufe des Rotteprozesses in Kompost umgewandelt oder mit Hilfe anaerober Bakterien vergoren. Es wird auch organisches Recycling genannt. Die **Kompostierung** ist nicht nur das älteste, sondern zudem ein äußerst sinnvolles Wiederverwertungsverfahren mit immer stärker werdender Bedeutung. Die kommunalen Behörden und die privaten Entsorgungsunternehmen informieren jeden ausführlich über die zweckmäßigste Art der Kompostierung, die Eigenkompostierung von Küchen- und Gartenabfällen. Dazu wird hier nur einiges ergänzt. Ausführlicher wird auf die zentrale Kompostierung, aber auch auf die Vergärung, eingegangen.

Was ist bei der Kompostierung zu beachten?

Bei allen Arten der Kompostierung gilt es, optimale Lebensbedingungen für die Mikroorganismen und andere Lebewesen wie Würmer zu schaffen. Ist das Material zu nass, wird der notwendige Sauerstoff verdrängt und unerwünschte anaerobe Fäulnisprozesse unter Bildung von Methan und übelriechenden Gasen finden statt. Ist es zu trocken, wird die mikrobielle Tätigkeit gehemmt und der Rotteprozess wird verlangsamt oder hört auf. Am besten ist daher ein Wassergehalt von 50 % (eher etwas weniger als mehr). Eine ausreichende Belüftung kann in allen Bereichen durch bestmögliche Mischung von strukturarmem Material, wie Küchenabfällen, Grasschnitt oder schadstoffarmem Klärschlamm, und strukturreichen Wertstoffen, wie Stroh oder zerkleinerten Zweigen, erreicht werden. Dadurch wird ein optimaler Lebensraum mit größtmöglicher innerer Oberfläche geschaffen. Je vielfältiger das Ausgangsmaterial ist, um so besser ist das Nahrungsangebot und um so günstiger verläuft der Rottevorgang.

Bedeutsam ist das Verhältnis der Nährstoffe Kohlenstoff (den alle organischen Stoffe enthalten) und Stickstoff. Stickstoff wird benötigt, um eiweißhaltige Enzyme aufzubauen. Diese sind nötig, um die oxidativen Abbaureaktionen zu beschleunigen. Extrem förderlich für den Rotteverlauf ist ein **Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis** von 20 : 1. Dabei kommt es zur maximalen Selbsterhitzung und Mineralisation. Stickstoffreich sind Küchenabfälle, Gülle und Klärschlamm, kohlenstoffreich Papier, Pappe, Stroh und Gartenabfälle wie Holz und Rinde. Im Verlaufe des Rottevorgangs steigt die Temperatur infolge der wärmefreisetzenden exothermen Abbaureaktionen zunächst schnell an, bei optimalem Verlauf bis ca. 80 °C. Aufgrund dieser hohen Temperatur und von Pilzen gebildeter antibiotischer Stoffwechselprodukte wie Penicillin werden krankheitserregende (pathogene) Keime abgetötet. Es läuft eine **biologische Desinfektion** und damit eine **Hygienisierung** ab. Diese Heißrottephase ist also wichtig. Denn Kompost, der abgegeben wird, muss seuchenhygienisch unbedenklich sein. Demnach muss dieses Qualitätsmerkmal bei allen Komposten vorhanden sein, die das **RAL-Gütezeichen Kompost** (s. Anhang 1, Abb. A-4) erhalten sollen. Während der anschließenden Nachrottephase kühlt das Material langsam wieder ab. Mesophile Mikroorganismen, die Temperaturen von etwa 40 °C brauchen, bauen die Abfallstoffe weiter ab bis hin zu anorganischen Endprodukten mineralischer Art. Diese können dann von Pflanzenwurzeln in gelöster Form als Nährstoffe aufgenommen werden. Pilze und aus dem Boden eingewanderte Kleintiere wie Asseln, und besonders Würmer (wie Regenwürmer) gleichfalls an diesen Prozessen. Seit ca. 3 bis 6 Monaten ist nährstoffreicher und rasch wirksamer **Frischkompost** entstanden. Rottet dieser weiter bis zum stabilisierten, ausgereiften **Fertigkompost**, kommt es u. a. zu verstärkter Bildung von Humus. Dieser sorgt mit dafür, dass die Nährstoffe an Pflanzen abgegeben werden und somit durch das Wasser nicht so leicht ausgewaschen werden wie die unter hohem Energieaufwand hergestellten künstlichen mineralischen Dünger. Der stabilisierte, ausgereifte Fertigkompost von erdartigem Geruch ist wie erläutert ein ausgezeichnetes Düngemittel im Gegensatz zu Torf. ***Den nährstoffarmen Torf sollte keiner mehr verwenden, damit unsere wenigen letzten wertvollen Moore nicht noch weiter zerstört, sondern erhalten werden!***

Komposte, die von besonders guter Qualität sind, sind oft mit dem

RAL-Gütezeichen Kompost (s. Anhang 1) ausgezeichnet. Neben der seuchenhygienischen Unbedenklichkeit ist ein solcher Kompost frei von keimfähigen Samen und Verunreinigungen. Fertigkompost ist sehr gut pflanzenverträglich. Diese Eigenschaft wird mit Keimpflanzen wie Kresse bestimmt. Je pflanzenverträglicher der Kompost ist, um so häufiger und um so schneller wachsen diese Keimpflanzen, meist besser als in einer Vergleichserde. Die Gehalte der Pflanzennährstoffe Stickstoff, Phosphor, Kalium, Magnesium und Calcium sind ebenso anzugeben wie der pH-Wert und die Gehalte an Salzen und organischer Substanz.

Wie erfolgt die zentrale Kompostierung?

Die einzelnen zentralen Kompostwerke unterscheiden sich durch die Art der Sammlung, der mechanischen Aufbereitung (wann, wo und wie werden nicht kompostierbare Stoffe entfernt), der Rotteanlagen und der Lager- und Abgabeeinrichtungen. Die älteste Art von Rotteanlagen sind die offenen **Mieten**, die im Laufe der Gesamtrottezeit meist umgesetzt werden müssen. Bei der sog. Stapelrotte wird das Rottegut, z. B. Hausmüll und Klärschlamm, zu Formlingen gepresst und diese dann gestapelt. In großen Hallen läuft die Heißrottephase recht schnell ab. Der demzufolge entstehende Wasserverlust muss ausgeglichen werden. Die erforderliche Luft dringt durch Kapillaren ein. In belüfteten, platzsparenden **Rottetürmen oder Rottetrommeln** wird das Rottegut ständig zugeführt, bewegt, belüftet und abgeführt. So entsteht in wenigen Tagen Frischkompost, der nachgerottet werden kann. Die Abluft wird mit Hilfe von Mikroorganismen, die sich in **Biofiltern** (z. B. Kompostfiltern) befinden, gereinigt (desodoriert), indem sie durch Humus oder Kompost geleitet wird. Mehr als 6 bis 9 Millionen Tonnen organischer Wertstoffe fallen bei uns pro Jahr an und können zentral kompostiert werden. Der Bau neuer Kompostwerke ist deshalb dringend geboten. ***Jeder Bürger sollte statt künstlicher Dünger und/oder Torf Kompost benutzen.*** Zuviel Kompost kann gar nicht produziert werden, da vielfältige Einsatzmöglichkeiten bestehen, und das nicht bloß im Wein- und Gartenbau. Humusarme Böden können verbessert, verödete und durch Erosion zerstörte Gebiete geradeso rekultiviert werden wie Abraumhalden, Tagebaue, Gruben und Deponien. Zur Begrünung von Böschungen kann Kompost eingesetzt werden und sogar in der Ziegelei-Industrie.

Können selbst unsere Toilettenabfälle kompostiert werden?

Ja und wie, sehr gut! Bestens geeignet für die gemeinsame Verwertung von unseren Toilettenabfällen, Küchen- und Gartenabfällen sind **Komposttoiletten!** Sie sind eine ideale Entsorgungsalternative, die keinen Wasser- und Abwasseranschluss benötigt. Somit werden erhebliche Wasser- und Abwassermengen gespart. In geschlossenen Behältern, die über ein Lüftungssystem be- und geruchfrei über das Dach entlüftet werden, erfolgt langsam der Rotteprozess, an dessen Ende ein hygienisch einwandfreier, hochwertiger Kompost vorliegt. Die freiwerdende Wärme spart Heizkosten. Das Restwasser des Haushalts kann sehr gut dezentral in Pflanzenkläranlagen gereinigt werden.

Vergärung: eine hervorragende Alternative zur Kompostierung!

Wie bei der Schlammfäulung im Klärwerk können viele organische Reststoffe durch anaerobe, d. h. bei Abwesenheit von Luftsauerstoff ablaufende, mikrobielle Prozesse stabilisiert werden. Diese Stabilisierung nennt man Vergärung. In solchen Anlagen entsteht hauptsächlich als Heizgas und/oder zur Stromerzeugung brauchbares **Biogas** (Faulgas), daneben Faulschlamm, der im Anschluss an eine aerobe Nachrotte als hochwertiger Dünger verwertet werden kann. Aus 100 kg Bioabfällen kann eine Gasmenge erzeugt werden, die ausreicht, um mit einem Mittelklasse-Pkw 100 km weit fahren zu können! Immer dann, wenn der Anteil an sehr nassen, strukturarmen Wertstoffen hoch ist, sollte die Vergärung gegenüber der Kompostierung in Erwägung gezogen werden; und das nicht nur bei Küchenabfällen, sondern gleichfalls und vor allem bei Reststoffen aus der Tierhaltung und Ernährungsindustrie, weniger bei solchen aus der Papier- und Holzindustrie. Die **Bioabfallverordnung** regelt detailliert die aerobe Behandlung (Kompostierung) und anaerobe Behandlung (Vergärung). Beim Aufbringen auf Böden dürfen deren Schwermetallgehalte und die der Bioabfälle die einzelnen Grenzwerte nicht überschreiten. 2000 wurden bereits 4,5 Mill. t Kompost erzeugt. 2002 gab es in Deutschland 802 Kompost- und 75 Vergärungsanlagen.

Was ist eigentlich «Energie-Recycling»?

Neben der stofflichen Verwertung können nicht vermeidbare Abfälle

nach dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz zur Gewinnung nutzbarer Energie eingesetzt werden. Die besser umweltverträgliche Verwertungsart hat Vorrang. Das bedeutet, wenn das stoffliche Recycling z. B. in bezug auf Energieaufwand, Luftverschmutzung, Schadstoffanreicherung und Schonung der Ressourcen mit größeren Umweltgefahren als beim Einsatz von Primärrohstoffen verbunden ist, sind solche Reststoffe energetisch zu verwerten. Aus Wertstoffen wie den Kunststoffen wird nutzbare Energie gewonnen oder es werden aus diesen Sekundärrohstoffe oder Brennstoffe hergestellt. Der restliche Abfall darf in Deponien gemäß der **Technischen Anleitung (TA) Siedlungsabfall** nur abgelagert werden, wenn er in anorganischer, reaktionsträger, erdähnlicher Form vorliegt. Für alle Siedlungsabfalldeponien gilt das ab 1.6.2005. In Österreich dürfen schon seit 1.1.2004 gemäß der Deponieverordnung keine Abfälle mehr unbehandelt abgelagert werden. Dazu bedarf es dann meist ebenso einer thermischen Behandlung. Die dabei gewonnene Energie und/oder die erzeugten Wert- und Brennstoffe sind ebenfalls so gut wie möglich zu nutzen. Deponieraum wird dadurch enorm eingespart. Im Idealfall beträgt der benötigte Deponieraum bei modernster thermischer Behandlung mit Verwertung der Schlacke nur 1 % des Raums, den unbehandelte Abfälle benötigen würden. Mehrere neue Müllverwertungsanlagen (MVA) müssten aufgrund dessen neu gebaut werden. In Deutschland wurden 2001 in 57 MVA 14 Mill. t Müll verwertet. 2005 wird es etwa 75 Anlagen geben, was nicht ausreichen wird, um alle Abfälle zu behandeln. Vor dem Neubau solcher und vieler anderer Vorhaben sowie vor Änderungen von bestehenden Anlagen muss geprüft werden, ob sie sich nicht nachteilig auf die Umwelt auswirken und die rechtlichen Anforderungen, z. B. nach dem **Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung** oder dem **Bundes-Immissionsschutzgesetz**, erfüllen.

Wie kann Energie-Recycling durchgeführt werden?

Fast ausschließlich durch **Verbrennung** erfolgt bisher und wohl auch zukünftig die thermische Behandlung und Verwertung. Über einen Bunker werden die Stoffe in den Brennraum der MVA eingegeben. Mit Hilfe von Rosten wird der Müll weiterbefördert, getrocknet, entgast, vergast und verbrannt. Ein vollständiges Ausbrennen findet bei modernen Öfen in einer Nachbrennzone statt. Die heißen Rauchgase geben ihre Energie an Wasser ab, das dadurch verdampft. Der Wasserdampf wird für Fernwärmezwecke bzw. zur Erzeugung

von Strom mittels Turbinen und Generatoren genutzt. Im Rahmen der **Rauchgasbehandlung** wird meist zuerst entstickt. Giftige Stickstoffoxide werden durch Zugabe von Ammoniak oder Harnstoff zu Stickstoff und Wasser umgewandelt. Feste staubförmige Bestandteile des Rauchgases werden über Filter, meist Elektro- aber auch Gewebefilter, entfernt. Nach dieser Entstaubung werden saure Gase durch nasse Verfahren, quasitrockene Verfahren (d. h. Sprühverfahren) oder Trockenverfahren gebunden. Chlorwasserstoff (entstanden aus chlorhaltigen Verbindungen wie Salzen und PVC) und Fluorwasserstoff werden aus den abgekühlten Gasen mit Wasser unter Bildung von Säuren (z. B. Salzsäure) herausgelöst. Danach reagiert Schwefeldioxid mit Laugen, wie Natronlauge oder Kalkmilch (mit dieser zu verwertbarem Gips). Gebildete hochgiftige, chlorhaltige Dioxine und Furane werden durch Adsorption (Haftenbleiben) an Aktivkohle (oder neuerdings auch an mit Kohlenstoff-Partikeln eingeschwärztem Polypropylen) abgetrennt und im Anschluss daran durch thermische Zersetzung zerstört. Insbesondere getrocknete Klärschlämme und andere Sonderabfälle verbrennt man bei sehr hohen Temperaturen in Drehrohröfen (die zudem für flüssige und pastöse Abfälle geeignet sind), Wirbelschichtöfen oder Etagenöfen. Moderne MVA sind längst keine "Dioxinschleudern" mehr. Die sehr niedrigen Grenzwerte der **Technischen Anleitung (TA) Luft** und die noch viel geringeren Grenzwerte der **17. Bundes-Immissionsschutz-Verordnung** werden z. T. sogar noch unterschritten infolge der hohen Temperaturen und der sehr guten, allerdings teuren Rauchgasreinigung. Trotzdem ist es natürlich hier gleichermaßen mal wieder am besten, wenn chlor- oder halogenhaltige Stoffe erst gar nicht verbrannt werden, weil dann die halogenhaltigen Dioxine und Furane sowie Chlor- und Fluorwasserstoff überhaupt nicht entstehen können. Die durch die Verbrennung des gesamten Restmülls entstehenden Emissionen an Kohlendioxid werden durch das Nichtverbrennen und Recyceln von Leichtverpackungen ausgeglichen.

Gibt es Alternativen zur Verbrennung?

Weitere energetische Verwertungsverfahren sind z. T. noch in der Erprobung. Saubere Altholzarten sind nach der **Altholzverordnung** zu verwerten. Althölzer können zerkleinert und daraus neue Holzwerkstoffe produziert werden. Man kann Synthesegas, das aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff besteht, sowie Aktiv- und Holzkohle daraus herstellen. Neben diesen stofflichen Verwertungen ist eine

energetische Verwertung möglich gemäß der **Biomasseverordnung**. So speist seit Mitte 2001 in Pfaffenhofen ein **Biomasse-Kraftwerk** jährlich rund 42 GWh (Gigawattstunden; 1 GW = 1 Milliarde W) Strom ins öffentliche Netz ein, was den Bedarf von 10000 Einwohnern deckt. 150 Abnehmer werden über ein 17 km langes Netz mit Fernwärme versorgt. Etwa 80000 t Holzabfälle aus Wäldern und Sägewerken werden so pro Jahr genutzt. Dies trägt mit dazu bei, die im **Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz** formulierten Ziele zu erreichen (bis 2005 sollen im Vergleich zu 1998 durch Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung rund 10 Mill. t, bis 2010 etwa 23 Mill. t, mindestens aber 20 Mill. t Kohlendioxid-Emissionen eingespart werden). Da die Einwohner jetzt 32 % weniger Treibhausgase als 1990 produzieren, hat Pfaffenhofen als erste Kommune das Klimaschutzziel Deutschlands erreicht. Im Landkreis Günzburg in Bayern entsorgt eine erste Pyrolyseanlage den dort anfallenden Hausmüll. Bei 500 °C werden die Abfälle unter Abwesenheit von Sauerstoff zersetzt. Es entstehen während dieses Entgasungs- oder Pyrolyseprozesses Gase, welche zur Wärmeerzeugung und zum Antrieb von Gasmotoren genutzt werden können. Pyrolyseöl und -rückstand haben ebenfalls hohe Heizwerte und können entweder energetisch oder rohstofflich verwertet werden. Eine solche Entgasung oder Verschwelung findet auch beim **Schwel-Brenn-Verfahren** statt. Der kohlen- stoffhaltige Feinreststoff wird von Metall-, Glas- und Steinteilen abgesiebt und zusammen mit dem Schwelgas bei ca. 1300 °C in einer Hochtemperaturbrennkammer verbrannt. Die Energie des Rauchgases dient mittels Wärmeaustausch zur Gewinnung von Dampf, mit welchem dann Strom erzeugt wird. Die Rauchgase werden mit den bei der Verbrennung üblichen Technologien gereinigt, sodass hier ebenso die Grenzwerte der 17. Bundes-Immissionsschutz-Verordnung unterschritten werden. Filter- und Kesselstäube werden in die Brennkammer zurückgeführt. Fast alle Feststoffe wie Eisen, Nichteisenmetalle, Glas, Steine, Schmelzgranulat (verglaste und damit inerte Schlacke aus der Brennkammer) und Gips sowie die gleichso bei der Rauchgasreinigung entstehende Salzsäure sind verwertbar. Nur wenige Kilogramm schwermetallhaltiger Flugstäube (bezogen auf 1000 kg Müll) werden abgelagert. Organische Restabfälle (Klärschlamm, Tiermehl, Hausmüll, Holz, Stroh) werden mit dem neuen **Omega-Verfahren** in ein hochwertiges Synthesegas umgewandelt. Dieses enthält Methan, Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Kohlendioxid. Unter Zusatz von

Koks und Kalk werden die Ersatzbrennstoffe im oberen Teil des Ofens getrocknet, entgast und weiter unten mit Luft und Sauerstoff verbrannt. Bei den hohen Temperaturen bis 2000 °C bilden, mineralische und metallische Bestandteile mit dem Kalk eine verwertbare Schlacke. Schwermetalle bilden mit flüssigem Eisen eine Legierung. Das durch die Reaktion mit dem Koks gebildete Synthesegas wird gereinigt. Man kann es z. B. für Synthesen (Aufbaureaktionen) neuer Stoffe nutzen, in Blockheizkraftwerken Strom und Wärme erzeugen oder es verbrennen. Die Emissionswerte liegen unter den Grenzwerten der **EU-Richtlinie über die Verbrennung von Abfällen** und damit unter denen der neuen 17. Bundes-Immissionsschutz-Verordnung. Beim **Thermoselect-Verfahren** erfolgt ebenfalls zunächst eine Entgasung und Verdampfung des Wassers bei 600 °C des auf 10 % seines ursprünglichen Volumens gepressten Mülls. Unter Zugabe von Sauerstoff werden die restlichen organischen Stoffe in einem Hochtemperaturreaktor bei 1200 °C (bis 2000 °C an den Brennerspitzen) zersetzt und vergast. 1000 kg Abfall liefern ca. 650 kg energetisch oder viel besser rohstofflich verwertbares Synthesegas (enthält u. a. Kohlenmonoxid und Wasserstoff) sowie rund 250 kg durch Aufschmelzen von Metallen, Glas und Mineralien entstandene Schlacke. Diese kann als Betonzuschlagstoff oder im Straßenbau verwertet werden, die etwa 30 kg Metalle (vorwiegend Eisen) bei der Eisen- und Stahlerzeugung. Infolge schneller Schockkühlung des Syntheserohgases auf unter 70 °C wird die Neubildung von Dioxinen und Furanen weitestgehend verhindert. Anschließend erfolgt eine mehrstufige, aufwändige Reinigung des Syntheserohgases mit Kreislaufführung des Wassers. Wird der erforderliche Mindestheizwert der eingebrachten Abfälle unterschritten, muss der Verbrennungsvorgang durch zusätzliche Zufuhr von Erdgas stabilisiert werden. Dies führt dazu, dass mehr Energie benötigt als gewonnen wird. Dies ist einer der Nachteile dieses Verfahrens. Die einzige deutsche Anlage in Karlsruhe hat erst 2002 ihre Dauerbetriebsgenehmigung erhalten. Die hier vorgestellten sowie weitere Verfahren werden gewiss zukünftig eine stärkere Bedeutung als Alternative zur konventionellen Verbrennung erlangen, insbesondere im Hinblick auf die hohen Anforderungen der TA Siedlungsabfall an die Ablagerung oder Deponierung.

Was sind eigentlich «Deponien»?

Nicht verwertbare Abfälle sind ordnungsgemäß zu beseitigen. In Beseitigungsanlagen, den Deponien, sind solche Abfälle kontrolliert und planmäßig geordnet abzulagern, und zwar so, dass dies zeitlich unbegrenzt möglich ist. Ihre Menge und Schädlichkeit kann durch vorhergehende Behandlung, z. B. Verbrennung, vermindert werden. Noch vor wenigen Jahrzehnten wurde selbst giftigster Müll oft wahllos in ungeordneten, häufig in der Wildnis befindlichen, „wilden“ Deponien abgekippt. Dadurch wurden Gewässer und Grundwasser vergiftet, die Luft durch Schadstoffe belastet und die Natur verschandelt. Im Zuge steigenden Umweltbewusstseins wurden endlich höhere **Anforderungen** an Deponien gestellt. Seit 1972 müssen neue Deponien geplant und genehmigt werden. Vor Errichtung einer Deponie sind viele Aspekte zu berücksichtigen und zu prüfen. Die Arten der abzulagernden Abfälle sind festzulegen, das Einzugsgebiet und dessen Infrastruktur, wie das Verkehrsnetz, sind ebenso zu analysieren wie geologische, hydrologische und klimatische Verhältnisse. Wichtige Fragestellungen im Rahmen der Planung sind Bodenarten, Grundwasserspiegel und -ströme oder auch die Hauptwindrichtung. Das **Bundesnaturschutzgesetz** ist zu beachten. In Überschwemmungsgebieten oder in Wasserschutzzonen sind keine Deponien zu errichten. Die Umweltverträglichkeit ist umfassend nach dem **Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung** zu prüfen und ggf. in Form einer Studie darzustellen. Eine **Kontamination** (Verschmutzung) des Untergrunds und des Grundwassers ist mittels bestmöglicher **Abdichtung** zu verhindern. Der natürliche Untergrund sollte am besten vollständig (auch an den Seiten) aus wasserundurchlässigem Ton bestehen. Künstliche Mittel, wie Bahnen aus möglichst langlebigen und resistenten Kunststoffen, verbessern die Dichtheit.

Nach genauen Plänen werden die Abfälle in den Deponiekörper eingebaut. Als Folge von eindringendem Oberflächenwasser sowie chemischen und biochemischen Reaktionen entsteht Sickerwasser, das durch viele Stoffe stark verschmutzt ist. Es wird oberhalb der Dichtung mit Hilfe eines Rohrleitungssystems gesammelt, entweder in einer eigenen Kläranlage gereinigt und/oder zentral geklärt. Die

biochemischen Abbauprozesse verlaufen wegen des fehlenden Sauerstoffs im verdichteten Müll vorwiegend anaerob, ähnlich wie bei der Schlammfäulung und der Vergärung. Das hierbei gebildete Deponiegas besteht gleich so hauptsächlich aus Methan und Kohlendioxid. Über im Deponiekörper verteilte Systeme wird es gesammelt, gereinigt (z. B., falls erforderlich, entschwefelt) und energetisch verwertet. Sogar nach der Schließung und Rekultivierung der Deponie entstehen **Deponiegas** und Sickerwasser, weil der Stabilisierungsprozess Jahrzehnte andauert. Ihre ständige Entnahme und Kontrolle müssen demnach über sehr lange Zeiträume erfolgen, was auch so für die Überwachung des Deponiekörpers und des Grundwassers gilt.

Die Deponie der Zukunft: keine Altlast mehr?

Damit wir den nachfolgenden Generationen keine solchen Altlasten mehr hinterlassen, ist 1993 die **Technische Anleitung (TA) Siedlungsabfall** mit dem idealen, wünschenswerten, jedoch schwer zu erreichenden Ziel erlassen worden, nach Schließung von Deponien keinerlei Nachsorgemaßnahmen mehr betreiben zu müssen. Für Altanlagen gelten Übergangsfristen bis 31.5.2005. Mit der **Abfallablagerungsverordnung** wurden die Vorgaben dieser Verwaltungsvorschrift 2001 rechtlich fixiert. Dieses Ziel kann nur dann überhaupt erreicht werden, oder auch nur annähernd, wenn die abgelagerten Abfälle so beständig, d. h. reaktionsträge (**inert**) sind, dass kein Deponiegas und Sickerwasser mehr entstehen. Die biologisch abbaubaren Abfälle sind getrennt zu sammeln und biologisch zu verwerten. Die nicht verwertbaren organischen Restabfälle müssen ab 1.6.2005 stets (die anorganischen manchmal) durch Behandlung in eine ablagerungsfähige Form überführt werden. In den meisten Fällen bedeutet dies **thermische Behandlung** nach dem Stand der Technik (z. B. Verbrennung), aber auch eine **mechanisch-biologische (kalte) Behandlung** durch Rotte (Kompostierung, aerobe Behandlung) oder Vergärung (anaerobe Behandlung) ist möglich. Allerdings benötigen diese Anlagen mehr Platz. Das Volumen derart behandelter, kaum verwertbarer Abfälle, wird nur um rund die Hälfte reduziert, sodass für deren Deponierung deutlich mehr Landschaft verbraucht wird. Eine kalte Behandlung, z. B. um den Wasseranteil zu vermindern, mit anschließender thermischer Verwertung, bei der das Volumen auf ein Zehntel oder mehr reduziert wird, ist ebenso praktikabel wie andere Verfahrenskombinationen. In der **Verordnung**

über Anlagen zur biologischen Behandlung von Abfällen ist aufgeführt, mit welchen biologischen und ggf. physikalischen Verfahren Siedlungsabfälle zum Zwecke der Ablagerung oder vor einer thermischen Verwertung behandelt werden können. Es kann notwendig sein, dass die Abfälle zunächst sortiert, zerkleinert, gemischt, entwässert oder getrocknet werden, bevor sie biologisch umgewandelt werden. Bevor die so behandelten Abfälle auf einer Deponie der Klasse II abgelagert werden dürfen, müssen heizwertreiche Abfälle zwecks Verwertung oder thermischer Behandlung sowie sonstige verwertbare und schadstoffhaltige Fraktionen abgetrennt werden. Entscheidend sei die Einhaltung des Glühverlustes von höchstens 3 % (Deponieklasse I) bzw. 5 % (Deponieklasse II) und nicht das Verfahren, mit dem dies erreicht würde, teilte der ehemalige, Bundesumweltminister Töpfer dem Autor während eines Gesprächs in Troisdorf u. a. mit. Das bedeutet, dass beim Glühen des abzulagernden Abfalls maximal 3 bzw. 5 % Massenverlust, meist hervorgerufen durch thermische Zersetzung organischer Stoffe, auftreten darf, der überwiegende Teil also anorganischer, mineralischer Natur sein muss. Ferner dürfen Stoffe durch Wasser nur geringfügig herausgelöst werden. Der wasserlösliche Anteil darf insgesamt höchstens 3 bzw. 6 % betragen. Die Oberfläche der Deponie ist zwecks Verhinderung von Wassereintritt abzudichten.

In der **EU-Richtlinie über Abfalldeponien** wird jede Deponie einer Deponieklasse zugeordnet. Unterschieden werden Deponien für gefährliche Abfälle, Deponien für nicht gefährliche Abfälle und Deponien für Inertabfälle. Anzustreben ist stets, die Geruchs- und Staubemissionen, das verwehte Material, Lärm, Verkehr, Brandgefahr und das Vorhandensein von Vögeln, Insekten und sog. Ungeziefer zu minimieren. Abfälle, die angenommen werden, müssen die Kriterien der Richtlinie erfüllen.

Die **Verordnung über Deponien und Langzeitlager** dient in Deutschland dem Umsetzen dieser Richtlinie. Auf **Deponien der Klasse 0** (Null) dürfen nur **Inertabfälle** abgelagert werden. Die Deponieklassen I bis III umfassen oberirdische Deponien für Abfälle mit steigendem Schadstoffgehalt. **Untertagedeponien** in Bergwerken oder Kavernen bilden die **Klasse IV**. Auf einer Deponie der Klasse 0 dürfen nur Abfälle mit einem Glühverlust: von höchstens 3 %

abgelagert werden; auf Deponien der Klasse III darf dieser Wert für die abzulagernden Abfälle: nicht größer als 10 % sein. In Langzeitlager werden Abfälle eingebracht, die eventuell zukünftig verwertet werden könnten. In **Monodeponien** werden einzelne, in großen Mengen nicht verwertbare Sonderabfälle, wie Bauschutt oder Klärschlamm, abgelagert. Andere Sonderabfälle werden auf **Spezialdeponien** in abdeckbaren Poldern so separat gelagert, dass sie nicht miteinander reagieren und einer späteren Verwertung zugeführt werden können. Dies gilt vor allem für gefährliche Sonderabfälle, die z. B. luft- und wasser- gefährdend sind. Sie werden fast immer in erdbebensichere Untertagedeponien gebracht. In Kavernen, das sind große, befahrbare Hohlräume in Salzstöcken, Bergwerken oder Gesteinen, werden sie rückholbar deponiert und dabei z. T. in Kammern eingemauert. Abfälle, die als Versatzmaterial in unter der Bergaufsicht stehenden, untertägigen Grubenbauen verwertet werden, müssen strenge Anforderungen erfüllen. Beispielsweise dürfen nur geringste Schadstoffmengen durch Wasser herausgelöst (eluiert) werden. Gemäß der **Technischen Anleitung (TA) Abfall** muss ein dauerhafter Abschluss von der Biosphäre gewährleistet sein. Im übrigen ist das **Gesetz zur Sicherstellung der Nachsorgepflichten bei Abfalllagern** zu beachten. In der **TA Abfall** von 1991 (auch TA Sonderabfall genannt) sind umfassend und detailliert die Anforderungen an alle Entsorgungsanlagen für nicht verwertbare Sonderabfälle aufgeführt. Des Weiteren schreibt sie für etwa 340 aufgrund Art und Menge problematischer Abfälle vor, wie diese zu entsorgen sind. Es wird genau geregelt, dass und wie alles kontrolliert wird. Im Laufe erforderlicher Behandlung anfallende Rückstände sind vorrangig zu verwerten. Nur nachweislich nicht verwertbare Abfälle und Rückstände sind abzulagern. In Deutschland wurden 2000 in 2263 Deponien 63 Mill. t Abfälle abgelagert, davon waren 376 Hausmülldeponien, von denen in den alten Bundesländern 10 %, in den neuen Bundesländern aber immer noch 91 % keine Abdichtung hatten. 2006 sollen in etwa 75 Müllverwertungsanlagen (MVA) über 17 Mill. t, in ca. 43 mechanisch-biologischen Anlagen (MBA) rund 3,5 Mill. t Abfälle behandelt werden. Bei über 38 Mill. t Abfällen wird dann trotz Mitverbrennung von fast 3 Mill. t in Zementwerken, der Verbrennung von annähernd 1,7 Mill. t Klärschlamm und einer möglichen Verbrennung in Kohlekraftwerken von ca. 7,5 Mill. t eine Entsorgungslücke von 5 bis etwa 12 Mill. t bestehen.

Anhang 1: Zeichen



Abb. A-1: Umweltzeichen der Europäischen Union.



EMAS

Abb. A-2: EMAS-Logo.



Abb. A-3: Deutsches Umweltzeichen DER BLAUE ENGEL.



Abb. A-4 und A-5: RAL-Gütezeichen Kompost und Möbel.



Abb. A-6: Waschmittel-Signet, www.washright.com.

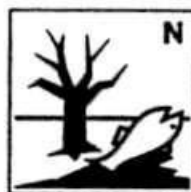


Abb. A-7: Gefahrensymbol N (umweltgefährlich).



Abb. A-8: Sicherheitskennzeichen.

Inhalt

Umweltthema: Wasser	3
Was ist eigentlich «Wasser»?.....	3
Was ist eigentlich «Trinkwasser»?.....	7
Was ist eigentlich «Wasserhärte»?.....	13
Was ist eigentlich «Wasseruntersuchung»?.....	15
Was ist eigentlich «Eutrophierung»?.....	22
Was ist eigentlich «Wasseraufbereitung»?.....	24
Was ist eigentlich «Hochwasser»?.....	28
 Umweltthema: Abwasser	 32
Was ist eigentlich «Abwasser»?.....	32
Was ist eigentlich «Bier»?.....	36
Was ist eigentlich «Papier»?.....	39
Was sind eigentlich «Tenside»?.....	41
Was sind eigentlich «Waschmittel»?.....	43
Was ist eigentlich «Abwasserreinigung»?.....	45
Was ist eigentlich «Klärschlamm»?.....	58
 Umweltthema: Abfall	 61
Was ist eigentlich «Abfall»?.....	61
Was ist eigentlich «Recycling»?.....	73
Was ist eigentlich «Bio-Recycling»?.....	85
Was ist eigentlich «Energie-Recycling»?.....	88
Was sind eigentlich «Deponien»?.....	93
 Anhang 1: Zeichen	 97

Учебное издание

Островская Светлана Павловна
Соколова Маргарита Константиновна

НЕМЕЦКИЙ ЯЗЫК

UMWELT UND DER MENSCH

Часть I

Учебно-методическое пособие
для магистров и аспирантов

Корректор Т.А. Смирнова
Техн. редактор Л.Я. Титова

Тем. план 2016 г. поз.112

Подп. к печати 16.11.16. Формат 60х84/16. Бумага тип. №1.
Печать офсетная. Печ. л. 6,25. Уч.-изд. л. 6,25. Тираж 100 экз.
Изд. № 112. Цена «С». Заказ

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД, 198095,
Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4.