

Abwasser, Kanalisation und Kläranlage



Sachinformationen zum Thema ▶ 138

Lehrerinformationen und Schülermaterial

8.1	Aus den Augen, aus dem Sinn? – Entstehung von Abwasser	▶ 146
8.2	Der Weg des Abwassers	▶ 149
8.3	Alles klar? So funktioniert eine Kläranlage	▶ 150
8.4	Alles dicht? – Kanalisation, Regenwasser, Flächenversiegelung	▶ 152
8.5	So funktioniert eine Kläranlage	▶ 156
8.6	Erkundung einer Kläranlage	▶ 160

Klasse 5 bis 7	Klasse 8 bis 10	Klasse 11 bis 13	Projektunterricht Freilandarbeit	Biologie	Chemie	Erdkunde	Politik und Wirtschaft	Geschichte	Deutsch	Kunst/Verken
●	-	-	●	-	-	●	-	-	-	-
●	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-
●	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-
-	●	●	●	-	●	-	●	-	-	-
-	●	●	-	-	●	-	●	-	-	-
-	●	●	●	●	-	●	●	-	-	-



Abwasser, Kanalisation und Kläranlage

Kläranlagen und Gewässergüte – Eine Erfolgsgeschichte

Die Wasserqualität der Bäche und Flüsse Hessens hat sich seit den 70er Jahren ständig verbessert. Während die erste hessische Gewässergütekarte von 1970 noch zu über einem Drittel in den Warnfarben orange und rot (= sehr starke bis übermäßige Verschmutzung) gezeichnet werden musste, haben mittlerweile fast 95 % der hessischen Bäche und Flüsse das gesetzlich vorgeschriebene Qualitätsziel der „mäßigen Belastung“ (Biologische Gewässergüteklasse II) erreicht. Diese positive Entwicklung ist auf die flächendeckende Einrichtung von Kläranlagen und die ständige Verbesserung der Abwasserreinigungstechnik zurückzuführen. Die hohen Investitionen in diesen Bereich des Gewässerschutzes haben sehr eindrucksvoll – zumindest was die Wasserqualität angeht – zum Erfolg geführt.

In Hessen wird heute in ca. 750 Kläranlagen das Abwasser von etwa 6 Mio. Menschen behandelt. Lediglich 1,3 % der Einwohner Hessens, vornehmlich in ländlichen Gebieten, sind nicht an eine öffentliche Kläranlage angeschlossen. Etwa 50 mittlere und große Industrie- und Gewerbebetriebe betreiben eigene Kläranlagen.

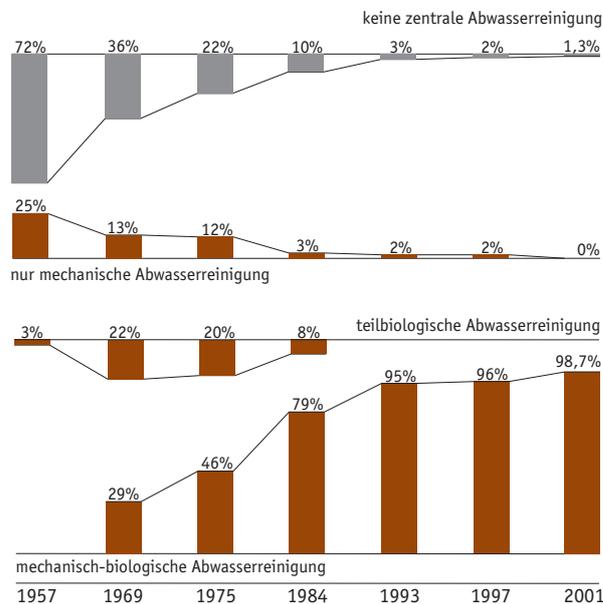


Abb. 8-2 Anschlussgrad der Bevölkerung in Hessen an Kläranlagen und deren Ausbauzustand seit 1957 (nach Hessischer Gewässergütebericht 1994 und 1997 und Hessisches statistisches Landesamt 2003).

Biologische Gewässergüteklasse

I-II blau
II dunkelgrün
II-III hellgrün
III gelb
unter III orange-rot

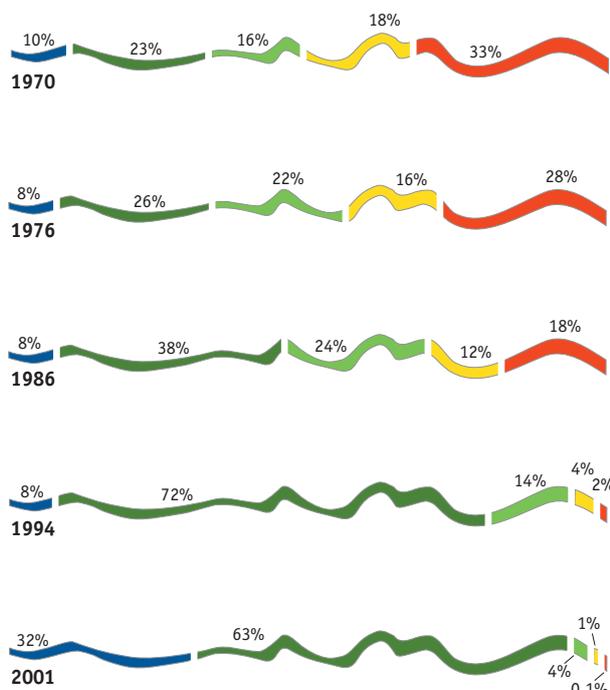


Abb. 8-1 Biologische Gewässergüte in Hessen. Entwicklung seit 1970. Dargestellt sind die prozentualen Gewässerstreckenanteile der einzelnen Gewässergüteklassen (nach Hessischer Gewässergütebericht 1994 und HLUG 2003, mündliche Mitteilung).

Wasser wird zu Abwasser – Wasserverbrauch und Abwasserentstehung

► **ABWASSER** entsteht, wenn durch den Einfluss des Menschen Wasser in seiner chemischen Zusammensetzung oder seinen physikalischen Eigenschaften verändert wird. Die Art der Veränderung kann sehr unterschiedlich sein: Direkt wird Wasser durch den Gebrauch in Haushalt, Industrie und Landwirtschaft verschmutzt. Kühlwasser, das über zwei Drittel des Gesamtwasserverbrauchs in Deutschland ausmacht, wird in der Regel nicht verschmutzt, muss dennoch als Abwasser bezeichnet werden, weil es erwärmt, also thermisch verändert wird. Indirekt wird auch (Regen-)Wasser, das von versiegelten oder verunreinigten Flächen abfließt, zu Abwasser.

Die ökologische Bedeutung der Abwasserreinigung wird deutlich, wenn man bedenkt, dass alles vom Menschen gebrauchte Wasser über kurz oder lang wieder dem natürlichen Wasserkreislauf zugeführt wird. In Deutschland wird ca. 8,5 % (!) des Wassers aus dem Wasserkreislauf für den menschlichen Gebrauch entzogen und zu Abwasser (► ABB. 6-1).

Insgesamt ist der Wasserverbrauch und damit auch die Abwassermenge in Deutschland in den letzten Jahren stetig zurückgegangen (► ABB. 8-4). Bei der Berechnung des Gesamtwasserverbrauchs einer Person muss berücksichtigt werden, dass Wasser nicht nur im Haushalt beim Waschen, Baden, Kochen usw. verbraucht wird, sondern z.B. auch bei der Nutzung öffentlicher Einrichtungen. Außerdem wird von Industrie und Gewerbe zur Herstellung von Verbrauchsgütern Wasser benötigt, das dem Wasserverbrauch jedes Einzelnen hinzugerechnet werden muss.



Abwasser, Kanalisation und Kläranlage

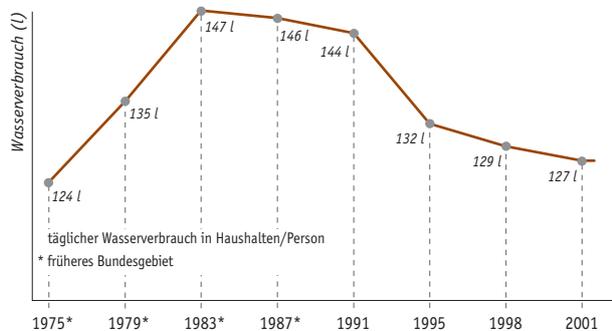


Abb. 8-4 Wasserverbrauch in Deutschland (Statistisches Bundesamt 2003).

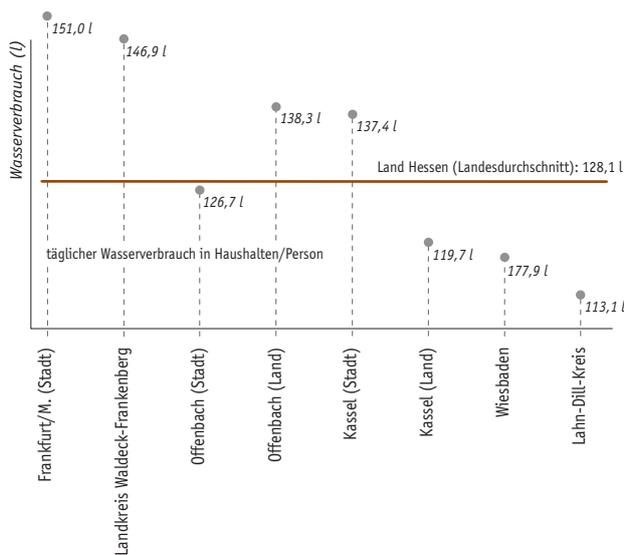


Abb. 8-4a Wasserverbrauch in Hessen, Auswahl. (Hessisches Statistisches Landesamt 2003)

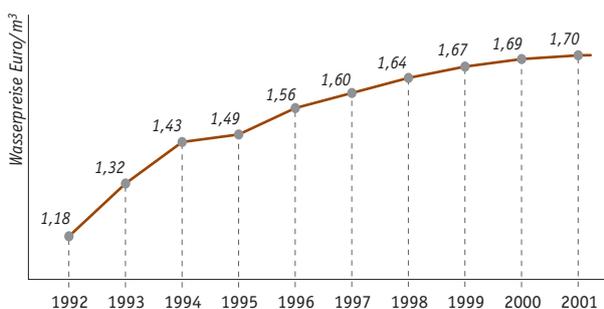


Abb. 8-5 Entwicklung der Wasserpreise in Deutschland 1992 - 2001. (Jahresbericht der Wasserwirtschaft 2001)

Herkunft und Zusammensetzung von Abwasser

Das in Haushalten anfallende Abwasser macht nur den geringsten Teil des in kommunalen Kläranlagen behandelten Abwassers aus. Viel größer ist die Abwassermenge aus Gewerbe und Landwirtschaft. (► ABB. 8-6) Außerdem werden auch beträchtliche Mengen an Regenwasser den Kläranlagen zugeleitet und dort gereinigt. Denn in einem dicht besiedelten Land wie der Bundesrepublik stellt auch das von versiegelten Flächen abfließende Regenwasser eine Belastung von Grundwasser und Gewässern dar. Reifenabrieb, Mineralöl, Treibstoff, Streusalz, Schwermetalle und andere nicht oder nur schwer abbaubare Stoffe sind ebenso enthalten wie Bodenpartikel, Laub und Tierkot. In ländlichen Gebieten werden von Hofflächen Gülle und Pestizide eingetragen. Nach längerer Trockenheit kann die Belastung des Regenwassers, besonders bei Beginn des Regens, ähnliche Konzentrationen erreichen wie kommunales Abwasser.

Abwasser besteht aus einer Vielzahl von Stoffen mit unterschiedlichen Auswirkungen auf Gewässerökosysteme (► ABB. 8-8). Von seiner Zusammensetzung unterscheidet man das kommunale Abwasser aus Haushalten, aus öffentlichen Einrichtungen, Landwirtschaft und Kleinbetrieben (Gewerbe) vom industriellen Abwasser aus Großbetrieben.

Die Größe einer Kläranlage wird in Einwohnergleichwerten beschrieben. Dieser liegt meist über der eigentlichen Einwohnerzahl eines Kläranlageneinzugsgebietes, weil in einer kommunalen Kläranlage ja nicht nur Abwasser aus Haushalten behandelt werden. So haben die hessischen Kläranlagen eine Ausbaugröße von 10,5 Mio Einwohnergleichwerten bei etwa 6 Mio. angeschlossenen Einwohnern. Ein ► EINWOHNERGLEICHWERT entspricht der Menge an Sauerstoff, die beim Abbau der organischen Belastung eines Einwohners während eines Tages verbraucht wird. Danach belastet eine Brauerei, die 1000 Liter Bier am Tag erzeugt, eine Kläranlage ebenso stark wie mehr als 150 Menschen; ein Schwein belastet eine Kläranlage soviel wie 3 Menschen.

(► ABB. 8-7)

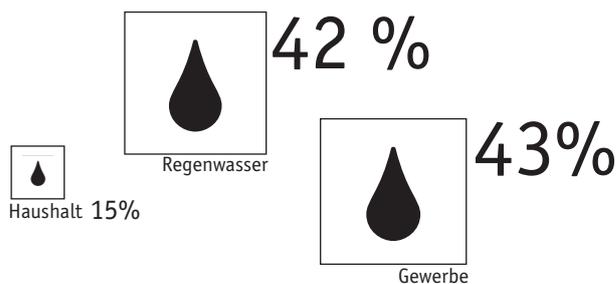


Abb. 8-6 Herkunft des in kommunalen Kläranlagen behandelten Abwassers in der Bundesrepublik Deutschland (nach ATV 1996). Große Industriebetriebe haben meist eigene Kläranlagen.

Abwasser, Kanalisation und Kläranlage



Das kommunale Abwasser enthält hauptsächlich organische, biologisch abbaubare Stoffe und ist in seiner Zusammensetzung überschaubar und relativ konstant. Abwässer aus Gewerbe und Industrie dagegen enthalten abhängig von den Produkten und Verarbeitungsverfahren sehr unterschiedliche Stoffe, die häufig nur mit Spezialverfahren zu entfernen sind, über die die kommunalen Kläranlagen der Städte und Gemeinden nicht verfügen. Sind problematische Stoffe enthalten, müssen Industriebetriebe in eigenen Kläranlagen das Abwasser so vorbehandeln, dass es in der kommunalen Kläranlage vollständig gereinigt werden kann (Indirekteinleiter). Große Industriebetriebe (z.B. chemische Industrie) haben eigene Kläranlagen, die verfahrenstechnisch auf die spezifische Zusammensetzung des Abwassers ausgerichtet sind (Direkteinleiter). Alle Abwassereinleitungen sind genehmigungspflichtig und müssen überwacht werden.

1 Mensch	1
1 Huhn	0,25
1 Kuh	5-10
1 Schwein	3
1000 l Bier	150-350
1000 l Milch	25-70

Abb. 8-7 Einwohnergleichwerte verschiedener Abwässer (nach IMHOFF 1990)

Stoffe	Hauptsächliche Herkunft	Auswirkungen im Gewässer	Reinigungsverfahren
Grob- und Feststoffe	Haushalte, Industrie, Oberflächenabfluss/Regenwasser	Veränderung der Sedimente/ Verschlammung der Sohle	Mechanisch Sedimentation
Fette und Öle	Haushalte, Gewerbe		Fettabscheider
Leicht abbaubare organische Kohlenstoffverbindungen	Haushalte	Saprobie fördernd, (Sauerstoffzehrung)	Biologisch
Nährstoffe	Haushalte, Landwirtschaft	Eutrophierung NH ₃ und NO ₂ toxisch	
Phosphor (PO ₄)			Chemisch und biologisch
Ammonium (NH ₄)			Biologisch
Nitrat (NO ₃)			Nitrifikation, Denitrifikation
Salze	Industrie	Versalzung, Veränderung der Lebensgemeinschaften	Ionenaustauscher
Schwermetalle	Industrie, Oberflächenabfluss (Straßen)	Toxisch; Veränderung der Lebensgemeinschaften	Aktivkohlefilter (Adsorption/Fällung)
Bakterien, Viren	Haushalte, Krankenhäuser	Pathogen	Membranfiltration, Desinfektion
Industriechemikalien u.a. Xenobiotica	Industrie, Landwirtschaft (Pestizide)	Toxisch, Veränderung der Lebensgemeinschaften	Spezialverfahren (z.B. Membranfiltration)
Pharmaka (z. B. Antibiotica, Zytostatica)	Haushalte, Krankenhäuser	Akut und chronisch toxisch; endokrine Wirkungen, Veränderung der Lebens- gemeinschaften	Vermeidung; Maßnahmen am Ort des Entstehens
Hormone und hormon-ähnlich wirkende Substanzen (z. B. Nonylphenol, Alkylphenole, Östrogen)			

Abb. 8-8 Herkunft der wichtigsten belastenden Stoffe im Abwasser, ihre Wirkung auf Gewässerökosysteme und Reinigungsmöglichkeiten. (nach BORCHARDT et al. 1999)



Abwasser, Kanalisation und Kläranlage

Der verborgene Teil der Abwasserreinigung – Kanalisation und Regenwasserbehandlung

Das Kanalisationsnetz in Hessen ist etwa 35.550 km lang (In ganz Deutschland hat es eine Länge von ca. 400.000 km). Man unterscheidet zwei grundsätzlich unterschiedliche Kanalisationstypen: die Misch- und die Trennkanalisation. In Hessen gibt es überwiegend Mischkanalisationen. Merkmale, Vor- und Nachteile der beiden Kanalisationstypen sind in ► ABB. 8.9 zusammengestellt.

Gewässerbelastungen durch Kanalisationseinleitungen treten vor allem bei starken Regenfällen auf, wenn plötzlich ein Vielfaches der sonst üblichen Wassermenge in die Kanalisation gelangt. Um in solchen Fällen einen Rückstau oder die Überbelastung der Kläranlage zu verhindern, ist jedes Kanalisationsnetz mit einer Anzahl an „Notüberläufen“ ausgestattet, über die die Kanalisation durch Ableitung in das nächstliegende Gewässer „entlastet“ werden kann. Für das Gewässer bedeutet dies eine erhebliche Belastung, weil so verschmutztes Regenwasser, bei Mischkanalisationen auch Abwasser, praktisch ungereinigtes eingeleitet wird.

Doch nicht nur die Wasserqualität wird beeinträchtigt, sondern auch die Lebensgemeinschaften und die Gewässerstruktur. Besonders dramatisch wirken sich Kanalisationseinleitungen in kleinen Bächen und in stark versiegelten Einzugsgebieten aus. Stürzt durch Kanalisationseinleitungen plötzlich ein Vielfaches des normalen Abflusses durch das Bachbett, gerät das Substrat in Bewegung und mit ihm werden kleine Tiere mitgerissen (Katastrophendrift). Schon durch eine einzige Kanalentlastung können Populationsverluste bis zu 80% auftreten (BORCHARDT 1992). Außerdem wird durch diese künstlich erzeugten Hochwasserereignisse auf die Dauer das Bachbett unnatürlich eingetieft: Tiefenerosion und damit Strukturdefizite sind die Folge (BORCHARDT/SCHÄFFER 1998).

Vorgesaltete Becken zur Regenwasserbehandlung können in gewissem Maße die Entlastungshäufigkeit mindern. Um die Gewässer jedoch ganzheitlich und wirksam zu schützen, sind intelligente Lösungen erforderlich, die sauberes Regenwasser (z.B. von Dachflächen) gar nicht erst in die Kanalisation gelangen lassen. Versickerung und Regenwassernutzung können deshalb einen wichtigen Beitrag zum Gewässerschutz leisten.

Mischkanalisation

Schmutzwasser und Regenwasser werden in einem Kanal abgeleitet; in dicht besiedelten Gebieten die Regel. In Deutschland zu über 70 %.

😊 Abfluss von stark verschmutzten Flächen (Straßen, Parkplätzen oder Betriebsflächen von Industrie, Landwirtschaft und Gewerbebetrieben) wird bei normalen Regenfällen der Kläranlage zugeleitet und gereinigt.

😊 geringere Abwassergebühren durch
a) geringere Baukosten (man braucht nur einen Kanal)
b) geringere Wartungskosten (Kanal wird durch Regenfälle regelmäßig gespült).

😊 Regenbecken fangen bei starken Regenfällen den ersten, stark verschmutzten Wasserschwall auf.

☹️ Kanalisationseinleitungen lösen künstliches Hochwasser aus und belasten v.a. kleinere Bäche (Tiefenerosion, Verdriftung von Kleintieren).

☹️ bei starken Regenfällen wird durch Mischwassereinleitungen auch ungereinigtes Abwasser in die Gewässer geleitet.

☹️ Zufluss zur Kläranlage stark schwankend, ungünstig für Kläranlagenbetrieb und Reinigungserfolg.

Trennkanalisation

Zwei getrennte Kanalnetze: eines für Schmutzwasser, eines für Regenwasser. Der Regenwasserkanal führt direkt zum Gewässer, das Wasser wird nicht extra gereinigt. Häufig in ländlichen Gebieten.

😊 nicht oder wenig verschmutztes Regenwasser wird nicht mit stark verschmutztem Abwasser vermischt.

😊 Zufluss zur Kläranlage gleichmäßig, günstig für Kläranlagenbetrieb und Reinigungserfolg.

☹️ Regenwasser von versiegelten Flächen (Straßen, Hof- und Betriebsflächen) kann vor allem nach längerer Trockenheit stark verschmutzt sein. In ländlichen Gebieten zeitweise Spitzenbelastung mit Gülle und Pestiziden.

☹️ In der Praxis funktioniert bei den wenigsten Trennsystemen die Trennung von Regen- und Schmutzwasser. Es kommt zu Fehlschlüssen, so dass ungereinigtes Abwasser über den Regenwasserkanal direkt ins Gewässer gelangt.

☹️ Teurer, da zwei Kanäle verlegt werden müssen.

Abb. 8-9 Kanalisationssysteme im Vergleich

Abwasser, Kanalisation und Kläranlage



Möglichkeiten und Grenzen der Abwasserreinigung

Die erhöhten Anforderungen im Gewässerschutz haben zu einer Optimierung der Verfahrenstechnik in der Abwasserreinigung geführt, so dass mittlerweile durch die klassische Unterscheidung der 3 Stufen mechanisch-biologisch-chemisch die Vorgänge und Verfahrensabläufe in modernen Kläranlagen nicht mehr angemessen beschrieben werden. Auch verlaufen die Reinigungsprozesse nicht strikt nacheinander, sondern vor allem in der biologischen Reinigungsstufe nebeneinander (simultan). Welches Verfahren in einer Kläranlage angewendet wird, ist abhängig von der Zusammensetzung des Abwassers, der Abwassermenge bzw. Größe der Anlage und den gesetzlichen Vorgaben. Denn Abwasser, das in Gewässer eingeleitet wird, muss bestimmte Mindestanforderungen erfüllen, die regelmäßig überwacht werden. Werden diese nicht eingehalten, müssen erhöhte Abwasserabgaben gezahlt werden.

Grundsätzlich lassen sich vier Stufen der Abwasserreinigung unterscheiden:

1. **Mechanische Reinigung:** Entfernung von absetzbaren Stoffen mit Rechenanlagen, Sieben, Sandfang und Vorklärbecken
2. **(Konventionelle) Biologische Reinigung:** Belebtschlamm- oder Tropfkörperverfahren zur Entfernung leicht abbaubarer organischer Stoffe
3. **Weitergehende Reinigung:** Nährstoffelimination (Nitrifikation, Denitrifikation zur Entfernung von Stickstoff; chemische und biologische Phosphatelimination)
4. **Spezialverfahren:** Nachgeschaltete Flockungsfiltration; Mikro-siebung/-filtration mit Membranen; Desinfektion; Aktivkohle-adsorption

Verfahrenstechnisch ist es also grundsätzlich möglich, die meisten Inhaltsstoffe bis auf geringe Konzentrationen aus dem Abwasser zu entfernen. Dabei ist zu bedenken, dass einige Schadstoffe nur verlagert werden (z. B. Schwermetalle in den Klärschlamm), was zu Problemen bei dessen Verwertung bzw. Entsorgung führt.

Auch bestimmte gelöste organische ► **XENOBIOTICA** mit hohem Umweltisiko (z. B. Pestizide; Arzneimittel, Industriechemikalien) werden im Reinigungsprozess konventioneller kommunaler Kläranlagen nur unvollständig eliminiert. Zu ihrer Reinigung sind die Spezialverfahren erforderlich.

Sollten deshalb aus Gründen des Gewässerschutzes Kläranlagen flächendeckend mit entsprechenden Verfahren ausgerüstet werden?

Spezialverfahren zur Elimination umweltgefährdender Stoffe sind wirkungsvoll, aber auch sehr kostspielig. Statt kommunale Kläranlagen weiter „hochzurüsten“, ist es sinnvoller, wenn problematische Stoffe gar nicht erst mit dem kommunalen Abwasser vermischt werden, sondern schon an der Stelle ihrer Entstehung zurückgehalten oder mit entsprechenden Spezialverfahren gezielt entfernt werden (z. B. stoffspezifische Vorreinigung in Industriekläranlagen, Desinfektion und Mikrofiltration von Krankenhausabwässern).

Außerdem ist bei zukünftigen Investitionen im Gewässerschutz zu bedenken, dass Gewässer nicht nur durch Kläranlagen belastet werden, sondern in erheblichem Maß auch durch diffuse Einleitungen sowie durch Kanalisationseinleitungen. Ein ganzheitlicher Gewässerschutz verlangt, dass auch an diesen Stellen wirksame Maßnahmen zur Reduzierung der Belastungen ergriffen werden. Es macht wenig Sinn, die Investitionen des Gewässerschutzes ausschließlich für die Optimierung der Kläranlagen einzusetzen, solange noch ungereinigtes Abwasser aus Kanalisationseinleitungen und riesige Nährstofffrachten von landwirtschaftlichen Flächen in Bäche und Flüsse eingetragen werden (► **KAP. 6 GEWÄSSERBELASTUNGEN**). Eine gezielte Kosten-Nutzen-Analyse ist wichtig, um die für den Schutz des Gewässers optimale Lösung zu finden.

Grundsätzlich ist Vermeidung immer besser als Beheben. Im Sinne der Nachhaltigkeit ist es eine wichtige Zukunftsaufgabe, in allen Bereichen die Herstellung und den Gebrauch umweltgefährdender Stoffe drastisch zu reduzieren (Einsatz umweltverträglicher Stoffe in Industrie und Haushalt, umweltgerechte Verfahrenstechniken, Kreislaufwirtschaft, etc.).



Abwasser, Kanalisation und Kläranlage

Abwasserreinigung in einer kommunalen Kläranlage

● Mechanische Reinigung

Bei der mechanischen Reinigung werden im Wesentlichen verschiedenste Sedimentations- und Abscheideprozesse angewendet. In der **Rechenanlage** werden zunächst Grobstoffe (Papier, Holz, Müll) entfernt und der Müllverwertung zugeführt. Im **Sandfang** setzen sich in langen Rinnen Sand, Kies und andere mineralische Bestandteile ab, die meist aus dem Regenwasser stammen. Danach werden in speziellen Fettabscheidern die auf dem Wasser schwimmenden Stoffe abgeschöpft. In einem letzten Sedimentationsbecken (**Vorklärung**) werden die feineren Feststoffe und ausflockbaren Anteile als Schlamm abgesetzt. Etwa 30 % aller Schmutzstoffe werden durch diese erste Reinigungsstufe entfernt.

● (Konventionelle) Biologische Reinigung

Allen biologischen Reinigungsprozessen ist gemeinsam, dass sie durch die Stoffwechseltätigkeit von Bakterien erfolgen, denn diese haben im Vergleich zu höheren Organismen ungleich vielfältigere Möglichkeiten, Stoffe abzubauen und daraus Energie zu gewinnen. Im Prinzip laufen in der biologischen Reinigungsstufe einer Kläranlage in einem technisch optimierten, zeitlich verkürzten Verfahren die gleichen Prozesse ab wie bei der natürlichen Selbstreinigung im Gewässer (► **ABB. 8-10**). Im **Belebungsbecken** stellt sich eine Biozönose aus Bakterien und Protozoen ein, die die im Abwasser gelösten organischen Stoffe (Kohlenhydrate, Eiweiße und Fette) in Biomasse umwandeln und mineralisieren, dazu ist die Zufuhr von Sauerstoff erforderlich. Mit dem Rücklaufschlamm wird die Belebtschlammbiozönose aufrechterhalten. Überschüssiger Schlamm wird abgezogen und der Schlammbehandlung zugeführt. In kleineren Kläranlagen wird das **Tropfkörperverfahren** angewendet. Anstelle eines Belebungsbeckens wird das Abwasser durch einen Drehsprenger über einen mit Lava oder Schlacke gefüllten Behälter

versprüht. Tropfkörper weisen eine große Oberfläche auf, auf der ein dichter Biofilm aus Bakterien und Protozoen wächst, die das Wasser reinigen. Dieser Biofilm entspricht prinzipiell dem Bewuchs auf der Substratoberfläche der Gewässersohle bei der natürlichen Selbstreinigung. Ausgeschwemmte Bakterienflocken aus dem Belebungsbecken bzw. dem Tropfkörper werden in der **Nachklärung** nochmals über Sedimentationsprozesse entfernt. Nach diesem etwa 1-2 Tage andauernden Reinigungsprozess ist das Abwasser zu etwa 90 % gereinigt. Es enthält jedoch noch beträchtliche Mengen Nitrat und Phosphat sowie eine Vielzahl „schwer abbaubarer Stoffe“. Darunter versteht man Stoffe, die innerhalb von 2 Tagen nicht biologisch abgebaut werden können.

● Weitergehende Reinigung – Entfernung der Nährstoffe

Prinzipiell können alle organischen Stoffe tierischen oder pflanzlichen Ursprungs und sogar viele Xenobiotica über Bakterien abgebaut werden, vorausgesetzt, die Bakterien haben die für den entsprechenden Stoffwechselweg optimalen Lebensbedingungen. Die wichtigen neuen Verfahren zur Nährstoffelimination beruhen alle auf biologischen Prozessen und bedeuten nichts anderes, als dass man in geeigneten „Reaktoren“ die Aufenthaltszeit des Abwassers erhöht und die Belüftung variiert, um so das Wachstum und die Aktivität nährstoffabbauender Mikroorganismen gezielt zu fördern. Weil Nährstoffe die Eutrophierung von Gewässern, auch der Meere, verursachen, gelten zumindest für große Kläranlagen (über 10.000 Einwohnerwerte) erhöhte Anforderungen an die Nährstoffelimination. Deshalb sind in den letzten Jahren viele Kläranlagen mit hohem Kostenaufwand ausgebaut und mit weitergehenden Reinigungsstufen zur Entfernung der Nährstoffe ausgerüstet worden. In den modernen großen Kläranlagen wird Stickstoff biologisch entfernt. Bei Phosphor ist dies prinzipiell auch möglich, doch ist die chemische Phosphatfällung über Eisensalze sehr viel effektiver und kostengünstiger und deshalb nach wie vor üblich. Allerdings ist der dadurch bedingte Salzeintrag in die Gewässer nicht unproblematisch.

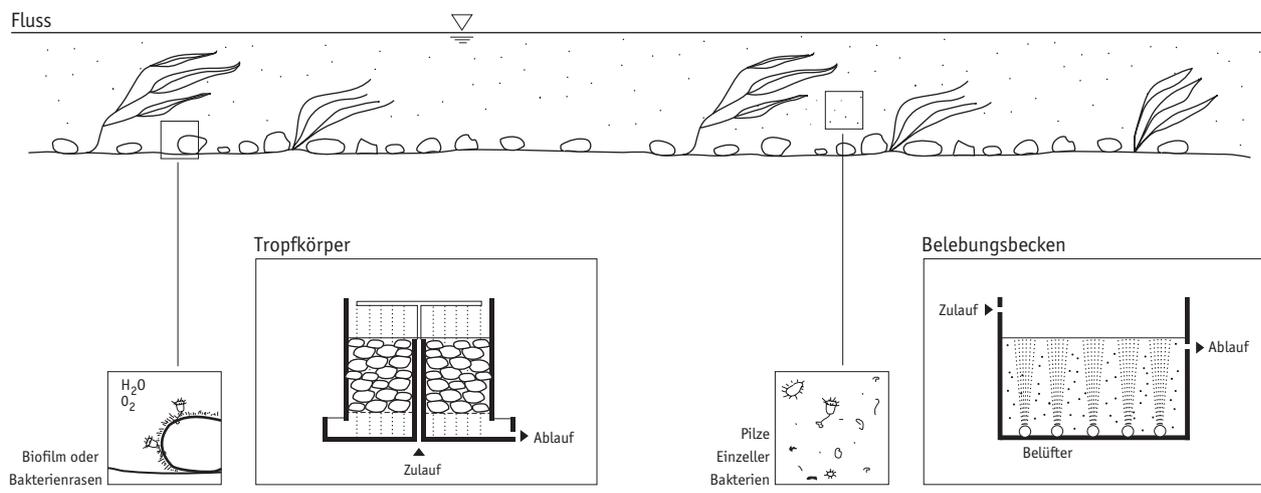


Abb. 8-10 Prinzipiell laufen in der biologischen Reinigungsstufe einer Kläranlage in einem technisch optimierten, zeitlich verkürzten Verfahren die gleichen Prozesse ab wie bei der natürlichen Selbstreinigung im Fließgewässer. (nach MUDRACK/KUNST 1994)

© Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz

Abwasser, Kanalisation und Kläranlage



Der **biologischen Stickstoffelimination** liegen die Prozesse des Stickstoffkreislaufs zu Grunde. Ammonium (NH_4^+) wird von nitrifizierenden Bakterien (*Nitrosomonas* und *Nitrobacter*) in zwei Schritten über Nitrit (NO_2^-) zu Nitrat (NO_3^-) oxidiert. Für diesen Vorgang ist Sauerstoff erforderlich. Er findet bereits in der konventionellen biologischen Reinigung statt, kann durch Vergrößerung der Belebungsbecken (= längere Verweildauer) noch entscheidend erhöht werden, weil die nitrifizierenden Bakterien nur sehr langsam wachsen. Außerdem ist die Nitrifikation temperaturabhängig.

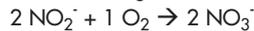
Nitrifikation



1. Schritt: Bildung von Nitrit *Nitrosomonas*



2. Schritt: Bildung von Nitrat *Nitrobacter*



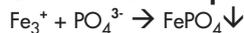
Das entstandene Nitrat kann durch denitrifizierende Bakterien zu Luftstickstoff (N_2) veratmet werden. Der Stickstoff aus dem Abwasser löst sich praktisch in Luft auf. Allerdings geschieht die **Denitrifikation** nur unter anaeroben Bedingungen. Zur Entfernung des Nitrats muss der Belebtschlamm nach der Nitrifikation in unbelüftete Becken gepumpt werden.

Denitrifikation



Weil bestimmte Bakterien unter Stressbedingungen bei ständigem Wechsel von anaeroben und aeroben Bedingungen wesentlich mehr Phosphor aufnehmen als normal (bis zu 5% ihrer Trockenmasse) und als Reservestoff in Form von Polyphosphatgranula einlagern, kann auch Phosphat biologisch entfernt werden. In der Kläranlagen mit **biologischer Phosphatelimination** bleibt der Belebtschlamm noch länger in der Biologischen Reinigungsstufe und wird in kurzem Wechsel durch anaerobe und aerobe Becken geführt. Auf diese Weise können etwa 60% des Phosphats entfernt werden. Das restliche Phosphat muss chemisch entfernt werden. Als Fällungsmittel werden zwei- und dreiwertige Eisensalze (Eisen(III)chlorid oder Eisen(II)sulfat) eingesetzt, die an unterschiedlichen Stellen des Klärprozesses zugegeben werden. Eisenphosphat fällt in schwer löslichen Flocken aus.

Chemische Phosphatfällung



Je nachdem, ob das Fällungsmittel vor, während oder nach dem Belebungsbecken zugeführt wird, spricht man von Vor-, Simultan- oder Nach-

fällung. Manche Kläranlagen haben zur Entfernung des ausgefällten Phosphats eine Flockungsfiltration (meist einen Sandfilter) nachgeschaltet.

● Schlammbehandlung

Bei allen Prozessschritten der Abwasserreinigung fallen große Mengen an Klärschlamm an: In der Bundesrepublik Deutschland jährlich etwa 48 Mio t. Klärschlamm enthält zum größten Teil Wasser, ansonsten organische Substanzen (v.a. Bakterienbiomasse), aber auch alle abgetrennten Schadstoffe (z.B. Schwermetalle, Xenobiotica). In Faultürmen wird der Klärschlamm unter Luftabschluss in etwa 20 Tagen weitgehend mineralisiert. Das dabei entstehende Gas besteht zu 30 % aus CO_2 und zu 70 % aus Methangas und kann zum Heizen verwendet werden. Der getrocknete Klärschlamm ist aufgrund seines Nährstoff- und Kalkgehaltes prinzipiell ein hochwertiger Dünger für die Landwirtschaft. Dies ist im Sinne einer Kreislaufwirtschaft auch anzustreben, jedoch in der Praxis aufgrund des Schadstoffgehaltes problematisch. Werden die Grenzwerte der Klärschlammverordnung überschritten, muss der Klärschlamm deponiert oder verbrannt werden.

● Spezialverfahren

Spezialverfahren zur weitergehenden Reinigung des Abwassers wie nachgeschaltete Flockungsfiltration, Mikrofiltration, Desinfektion oder Aktivkohleadsorption werden in kommunalen Kläranlagen in der Regel nicht angewendet. Sie werden vor allem zur gezielten, stoffspezifischen Reinigung industrieller Abwässer eingesetzt.

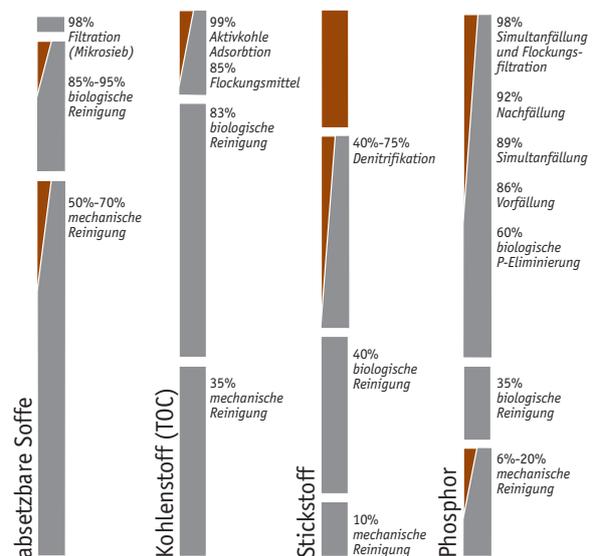


Abb. 8-11 Reinigungsleistung von Kläranlagen (nach KUMMERT/STUMM 1988)

Infos:
www.bmu.de/sachthemen/gewaesser/



- ▶ M 8.1
- ▶ M 8.2
- ▶ M 8.3.1
- ▶ M 8.3.2

Zielgruppe

Klasse 5-7

Fachbezug

Biologie, Lernbereich Naturwissenschaften, Sozialkunde, Projektunterricht

Ziele

- den Zusammenhang zwischen Wasserbenutzung und Gewässergefährdung durch Abwassereinleitungen erkennen
- sich der ökologische Bedeutung der Abwasserreinigung bewusst werden
- den Weg des Abwassers vom Ausguss bis zur Kläranlage verfolgen
- Verfahrensschritte der Abwasserreinigung aus Text und Abbildung erschließen

Allgemeine Hinweise

Die Materialien für sind für eine größere Unterrichtseinheit „Wasserverbrauch, Abwasser und Kläranlage“ vorgesehen und ergänzen einander. Das Thema hat direkten Schülerbezug. Jeder benutzt und verschmutzt Wasser. Je nach Zielsetzung und Zeitrahmen kann vertieft werden. Nach Möglichkeit sollten die Schülerinnen und Schüler selbst tätig werden (eigenen Wasserverbrauch ermitteln, Situation in der Schule und in der Gemeinde erkunden, Kläranlage besuchen ▶ M 8.6).

Lösung ▶ M 8.1, Aufgabe 2

Wasser, das in die Kanalisation geleitet wird

1. Wasch- und Badewasser (Bad)

2. Toilettenabwasser

3. Abwaschwasser (Küche)

4. Waschwasser (Waschmaschine)

5. Putzwasser

6. Regenwasser (Straße)

7. Regenwasser (Dach)

Durchführung/Aufgabenstellungen

● M 8.1 Entstehung von Abwasser

X Welche Arten von Schmutzwasser fließen in der Kanalisation zusammen? Welche Stoffe verunreinigen das Wasser und lassen es zu Abwasser werden?

(Lösung siehe unten)

● M 8.2 Der Weg des Abwassers – Kanalisationssysteme

Der Lückentext wird nach der Abbildung ausgefüllt.

X Suche auf einem Stadtplan die Kläranlage, in die das Abwasser eurer Schule eingeleitet wird. In welchem Bach oder Fluss landet es?

● M 8.3.1/8.3.2 Alles klar? – So funktioniert eine Kläranlage

Der Text (Ausschneidebogen) und die Abbildung (Aufklebebogen) gehören zusammen. Zunächst wird der Lückentext auf dem Ausschneidebogen (M 8.3.1) ausgefüllt. Dann werden die einzelnen Stationen der Kläranlage richtig zugeordnet, ausgeschnitten und auf den Aufklebebogen (M 8.3.2) geklebt.

Verunreinigungen

Seife, Körperpflegemittel

Fäkalien, Papier

Essensreste, Spülmittel

Waschmittel, Schmutzstoffe

Putzmittel, Schmutzstoffe

Reifenabrieb, Motorenöl, Sand, Staub, Hundekot, Streusalz

Ausgewaschene Luftschadstoffe, Abgase

Abwasser, Kanalisation und Kläranlage

Aus den Augen aus dem Sinn?



Vertiefungsmöglichkeiten

● Wasserverbrauch ermitteln

✗ Ermittle den Wasserverbrauch bzw. Abwasseranfall

- an einem Tag
- für dich selbst
- für deine Familie (Wasseruhren ablesen, Wassermengen abmessen, etc.)
- für eure Schule

✗ Denke dabei auch an den „versteckten“ Wasserverbrauch durch Schwimmbadbenutzung, Verbrauch in der Schule, etc.

► ABB. 8.3.

✗ Liegt der festgestellte Wasserverbrauch über oder unter den Durchschnittswerten? Vergleiche mit den Angaben in

► ABB. 8.4.

✗ Welche Möglichkeiten gibt es, Wasser zu sparen?

Konkrete Anleitungen zur Ermittlung des Wasserverbrauchs gibt es in vielen Unterrichtsleitungen zum Thema Wasser z.B. in STASCHEIT/KNEIP (1991).

Hände waschen	2-5 l	1
Duschbad	40-80 l	4
Wannenbad	115-180 l	12
Toilettenspülung	6-15 l	1
Geschirrspülen von Hand	10-25 l	2
Geschirrspülen Maschine	20-40 l	2
Waschmaschinengang	65-120 l	7
Benutzung einer Autowaschanlage	80 l	8

● entspricht zehn Liter Wasser

Abb. 8-12 Orientierungswerte für den Wasserverbrauch (aus MUTSCHMANN/STIMMELMAYR 1995)

Medien:

HESSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT: Jeder Tropfen zählt. Informationen zum Trinkwassersparen. Broschüre. Wiesbaden.

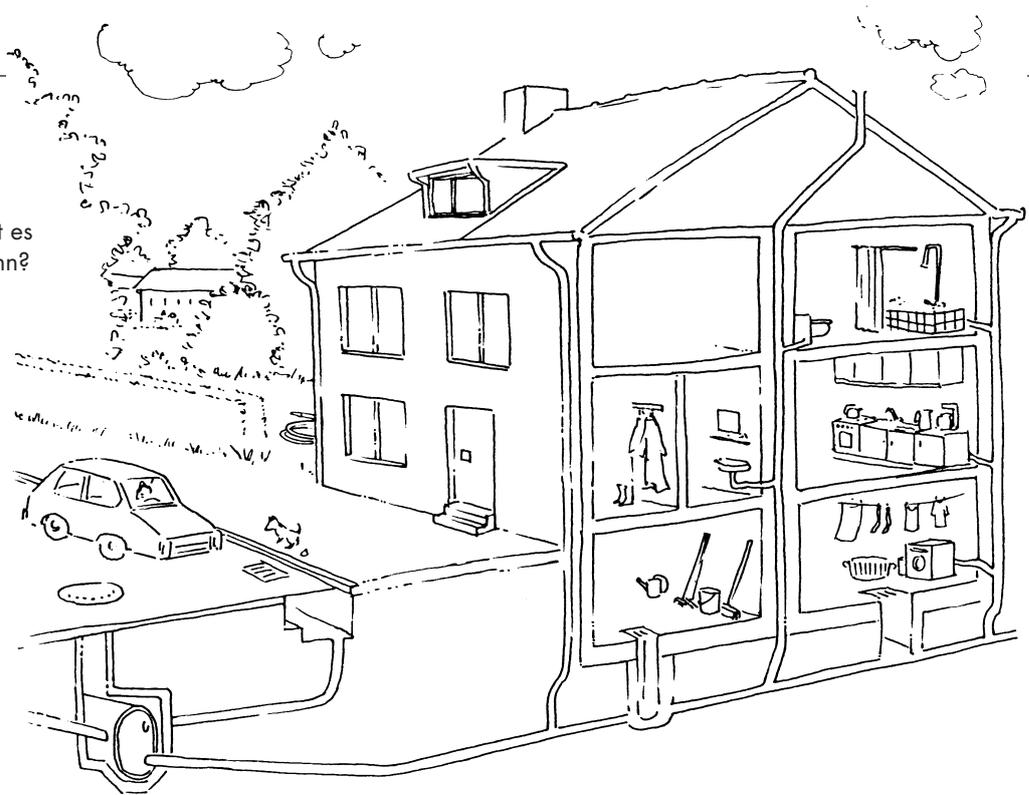
MÖNTER, B. (1992): Mittendrin. Ohne Wasser läuft nichts. Berlin. Wolfgang Mann Verlag, Berlin.

STASCHEIT, W.; KNEIP, W. (1991). Wasser erforschen und erfahren. Verlag an der Ruhr. Mülheim.



Aus den Augen aus dem Sinn? Entstehung von Abwasser

Wasser wird benutzt und verschmutzt. Danach verschwindet es im Ausguss...und dann? Das Bild zeigt dir, was alles in der Kanalisation zusammenfließt.



Aufgaben

1. Zeichne mit Pfeilen ein, von wo aus Wasser in die Kanalisation gelangt.
2. Welche Arten von Schmutzwasser fließen in der Kanalisation zusammen? Welche Stoffe verunreinigen das Wasser und lassen es zu Abwasser werden?

Wasser, das in die Kanalisation geleitet wird	Verunreinigungen
① _____	_____
② _____	_____
③ _____	_____
④ _____	_____
⑤ _____	_____
⑥ _____	_____
⑦ _____	_____

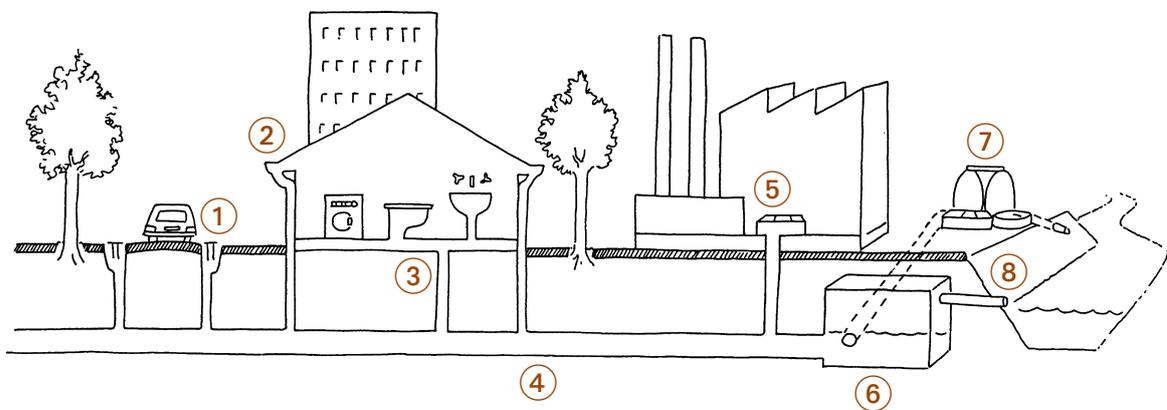
3. Ist es sinnvoll, auch Regenwasser in die Kanalisation zu leiten?
4. Was passiert mit dem Abwasser, wenn es in der Kanalisation angekommen ist?

Der Weg des Abwassers – Die Kanalisation



Aufgabe

Trage die Zahlen aus der Abbildung in den Lückentext ein.



Abwasserbehandlung ist weit mehr als die Reinigung von Abwasser in einer Kläranlage. Das in WC, Bad, Küche, etc. anfallende **Haushaltsabwasser** () wird in der **Kanalisation** () gesammelt. Industriebetriebe müssen besonders problematische Abwässer (z.B. wenn Schwermetalle oder andere biologisch nicht abbaubare (Gift-)Stoffe enthalten sind) vor dem Einleiten in die öffentliche Kanalisation in eigenen **Industriekläranlagen** () vorreinigen, um die kommunale Kläranlage nicht zu überlasten. Außerdem wird verschmutztes Regenwasser von Straßen und (Park-)Plätzen über **Gullis** () in die Kanalisation geleitet, häufig auch das Regenwasser von **Dachflächen** (). Das gesammelte Abwasser wird in eine kommunale **Kläranlage** () geleitet und dort gereinigt. Bei heftigen und lang andauernden Regenfällen kann plötzlich ein Vielfaches der sonstigen Wassermenge in die Kanalisation geraten und es besteht die Gefahr, dass der Kanal überläuft und das Schmutzwasser womöglich durch Rückstau aus Gullis und Toiletten gedrückt wird. Um dies zu verhindern, gibt es spezielle **Regenbecken** (), die größere Wassermengen speichern können. Sie haben einen Überlauf, der, wenn das Speichervermögen des Regenbeckens überschritten ist, einen Teil des Abwassers in ein Gewässer einleitet. (**Mischwassereinleitung**) () Regenbecken fangen vor allem den ersten, stark verschmutzten Wasserstoß bei Regenfällen auf.



Alles klar!? So funktioniert eine Kläranlage (Ausschneidebogen)

Aufgaben

- 1. Nummeriere die einzelnen Stationen im Text und in der Abbildung und ergänze die fehlenden Begriffe.
- 2. Schneide die Stationen aus und klebe sie in der richtigen Reihenfolge auf das Arbeitsblatt – So funktioniert eine Kläranlage (Aufklebebogen). Nun hast du ein vollständiges Info-Blatt zur Abwasserreinigung.
- 3. Male die Abbildung farbig aus: rot = mechanische Reinigungsstufe; gelb = biologische Reinigungsstufe; braun = Schlammbehandlung.

<p>Station: <input type="radio"/></p>	<p>Danach folgt ein Becken, in dem das Abwasser längere Zeit bleibt. Diese Ruhezeit ist im _____ ganz wichtig, um bestimmte Schmutzstoffe abzutrennen. Schlamm aus dem Abwasser setzt sich am Boden ab. Fett und Öl dagegen sammeln sich an der Wasseroberfläche. Über spezielle Räumschienen werden die im _____ abgetrennten Stoffe herausgeholt.</p>	<p>Die auffälligen großen runden Becken sind in vielen Kläranlagen die letzte Station der Abwasserreinigung. Im _____ geht es wieder ruhig zu, denn hier müssen sich die Bakterienflocken aus dem _____ absetzen. Sie werden über eine Schiebervorrichtung entfernt und teilweise wieder zurück in das Belebungsbecken gepumpt. Erst dann wird das gereinigte Abwasser in den Fluss geleitet.</p>
<p>Station: <input type="radio"/></p>	<p>Zunächst muss das Abwasser über ein _____ (das aussieht wie eine Schnecke und auch so heißt) angehoben werden, damit es in freiem Gefälle durch die einzelnen Stationen der Kläranlage fließen kann.</p>	<p>Der _____ wird getrocknet und kann, – wenn er keine Giftstoffe enthält – als wertvoller Dünger in der Landwirtschaft genutzt werden.</p>
<p>Station: <input type="radio"/></p>	<p>Im _____ brodelt's und blubbert's. Das Leben tobt im wahren Sinne des Wortes, denn das Becken ist voll von winzigen Lebewesen: Bakterien und Einzeller, die sich von den Schmutzstoffen ernähren und sie so aus dem Abwasser entfernen. Damit sie optimal arbeiten können, wird in das Becken ständig Luft eingeblasen.</p>	<p>In der nächsten Station fließt das Abwasser ganz langsam durch ein Becken. Dieses nennt man _____, weil dort Sand, Schotter und Kies aus der Straßenkanalisation abgefangen werden, indem sie sich absetzen. Auch für diese Stoffe steht ein Container für die Abfuhr zur Mülldeponie bereit.</p>
<p>Station: <input type="radio"/></p>	<p>Im Abwasser befinden sich die unglücklichsten Dinge: Windeln, Zigarettenskippen, Kleidungsstücke; auch Kinderspielzeug und Zahnbürsten wurden schon gefunden. Diese Dinge, die alle eigentlich gar nicht in den Abfluss oder die Toilette gehören, werden mit anderen groben Stoffen als erstes entfernt. Dies geschieht im _____ Das Abwasser fließt durch dicht angeordnete Gitterstäbe, an denen der Unrat hängenbleibt und herausgeholt wird.</p>	<p>Schon von weitem sind die _____ zu sehen. In ihnen wird der gesamte Schlamm, der während der Abwasserreinigung anfällt, gesammelt. Und auch hier sind Millarden von Bakterien damit beschäftigt, den Schlamm zu zersetzen – diesmal ohne Luftzufuhr. Das dabei entstehende Biogas wird häufig zum Heizen der Kläranlage benutzt.</p>

Alles klar!? So funktioniert eine Kläranlage (Aufklebebogen)

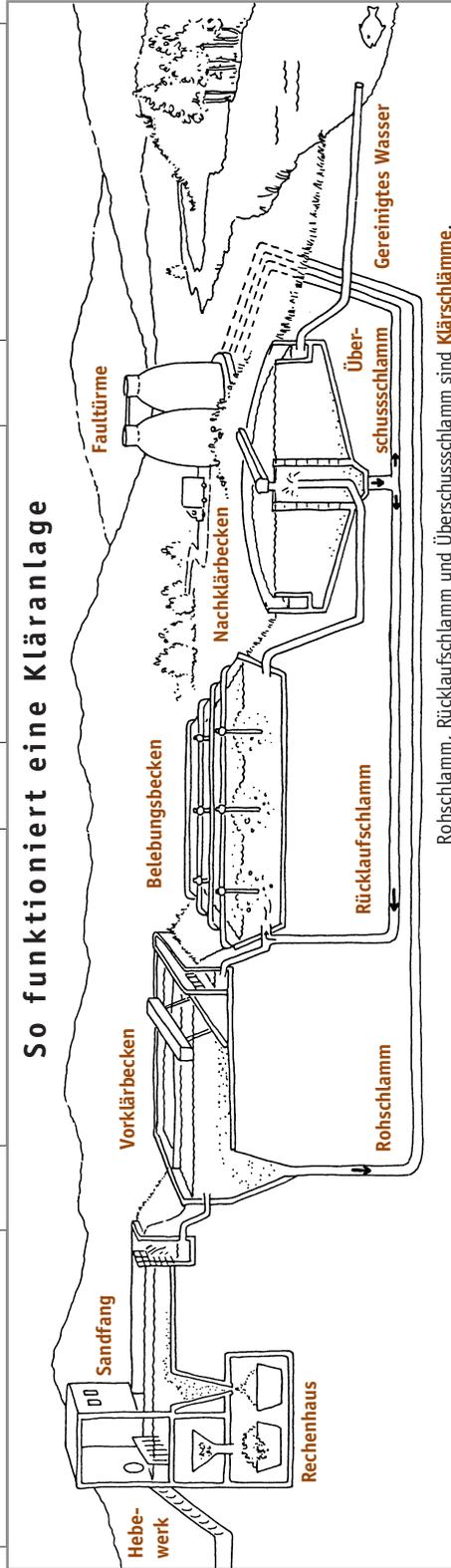


X

X

X

X



X

X

X

X



- ▶ M 8.4.1
- ▶ M 8.4.2

Abwasser, Kanalisation und Kläranlage

Alles dicht? – Kanalisation, Regenwasser und Flächenversiegelung

Zielgruppe

Ab Klasse 8

Fachbezug

Biologie, Lernbereich Naturwissenschaften, Erdkunde

Ziele

- Kanalisation als einen Teil der Abwasserbehandlung erkennen, d.h. Zusammenhang zwischen Wasserverbrauch, Kläranlage und Gewässerschutz begreifen
- Funktionsweise der verschiedenen Kanalisationstypen und deren Bedeutung für den Gewässerschutz anhand von Abbildungen und Informationstexten kennenlernen
- Problematik der Flächenversiegelung kennenlernen

Durchführung/Aufgabenstellungen

Zunächst sollten die Schülerinnen und Schüler versuchen, soviel Information wie möglich aus den Abbildungen zu entnehmen. Der Infotext (▶ M 8.4.2) hilft bei der Überprüfung des Erarbeiteten und bei der Vertiefung.

✗ Beschrifte die einzelnen Kanalisationssysteme.

✗ Das Wasser in der Kanalisation ist unterschiedlich verschmutzt. Zeichne die Schmutzstoffe im Kanal mit Pünktchen ein:

wenig Pünktchen = wenig Verschmutzung,
viele Pünktchen = viel Verschmutzung

✗ Es beginnt zu regnen. Was passiert mit dem Regenwasser? Zeichne!

Lösungen ▶ ABB. 8-13

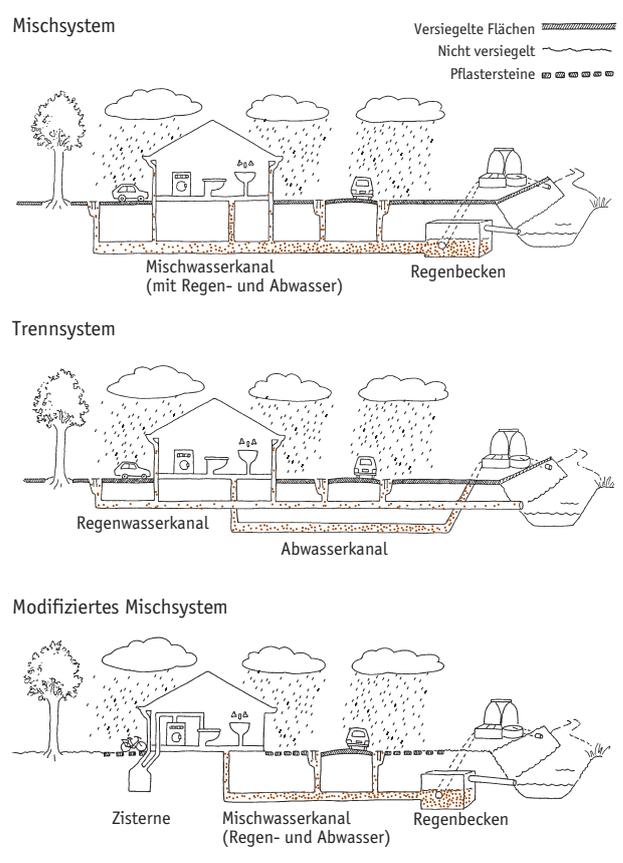


Abb. 8-13 Kanalisation und Regenwasserbehandlung



Alles dicht? – Kanalisation, Regenwasser und Flächenversiegelung

Vertiefungsmöglichkeiten

● Vergleich der Kanalisationstypen

X Welche Vor- und Nachteile haben die vorgestellten Möglichkeiten der Regenwasserbehandlung aus der Sicht des Gewässer- und Grundwasserschutzes?

● Lokalerkundung Kanalisation

X Erkundet, was in eurem Wohngebiet/eurer Schule mit dem Regenwasser passiert!

X Wird das Regenwasser genutzt oder fließt es komplett in die Kanalisation?

X Gibt es eine Misch- oder Trennkanalisation?

X Gibt es Baustellen, die einen Blick in die Kanalisation ermöglichen? Interviewt die Kanal- bzw. Bauarbeiter.

X Wo sind Regen(rückhalte)becken?

Mischkanalisationen erkennt man an jeweils einem Kanaldeckel auf der Strasse. Bei Trennkanalisationen liegen zwei Kanaldeckel nebeneinander. Auskünfte lassen sich auch beim Amt, das für Kanalisation und Kläranlage zuständig ist, einholen (bei der Stadt- bzw. der Gemeindeverwaltung nachfragen). Manche Städte bieten auch Kanalisationsbesichtigungen an.

● Projekt: Alles dicht? – Lokalerkundung Versiegelung

X Was haben Flächenentsiegelung und Regenwasserversickerung mit Hochwasserschutz zu tun? Welche Argumente gibt es noch, die für das Entsiegeln und Versickern sprechen?

X Zeichnet die versiegelten Flächen eures Schulhofes/eures Wohngebietes/eurer Stadt bzw. Gemeinde in einen Plan ein. Erarbeitet Vorschläge zur Verbesserung. Vielleicht gibt es Möglichkeiten, die Umsetzung auf den Weg zu bringen.

Zu den Themen Regenwasserbehandlung, Regenwassernutzung und Hochwasser haben Landesministerien informative Broschüren herausgegeben, die in der Regel kostenlos zu beziehen sind. Adressen siehe Anhang.

Ergänzungsmaterial

- ▶ M 7.1 WOHER BEKOMMT DER FLUSS DAS WASSER?
- ▶ M 7.2 GEWÄSSERSCHUTZDETEKTIVE UNTERWEGS

Literatur:

HESSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT: Entsiegeln und Versickern. Informationen zur durchlässigen Befestigung von Oberflächen und zur Versickerung von Regenwasser. Broschüre. Wiesbaden.

HESSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT: Wasser in Hessen – Zwölf beispielhafte Projekte zum umweltgerechten Umgang mit Wasser. Broschüre. Wiesbaden.

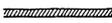
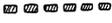
HESSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT: Nutzung von Regenwasser. Broschüre. Wiesbaden.

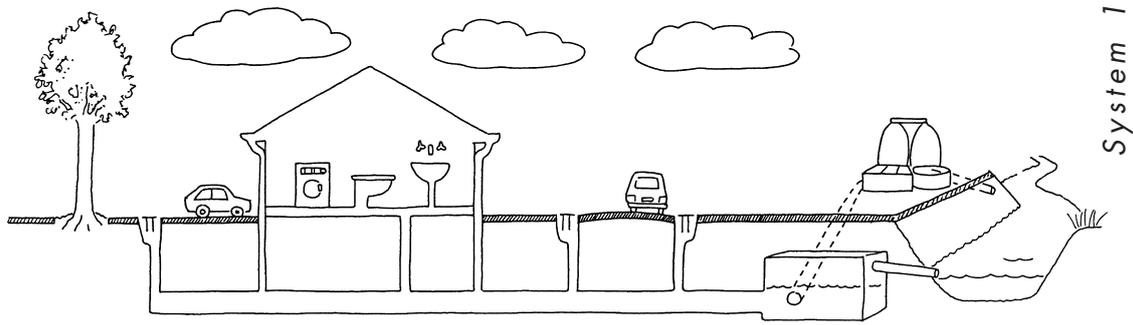


Alles dicht? – Kanalisation, Regenwasser und Flächenversiegelung

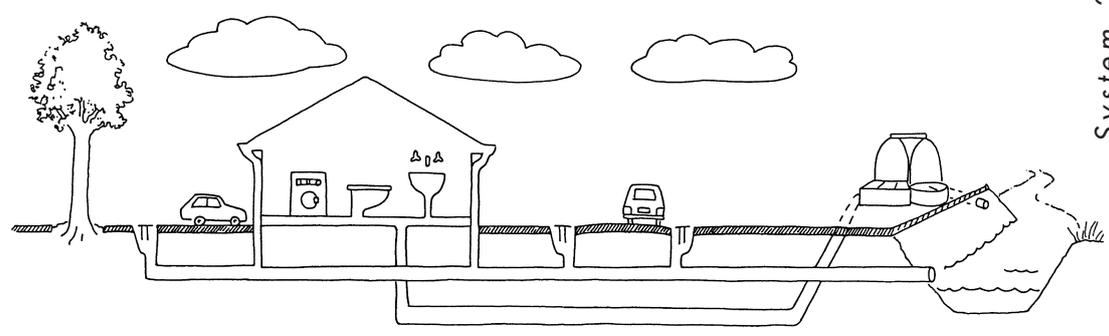
Aufgabe

Beschreibe die einzelnen Kanalisationssysteme.
Was passiert mit dem Abwasser?
Was passiert mit dem Regenwasser?

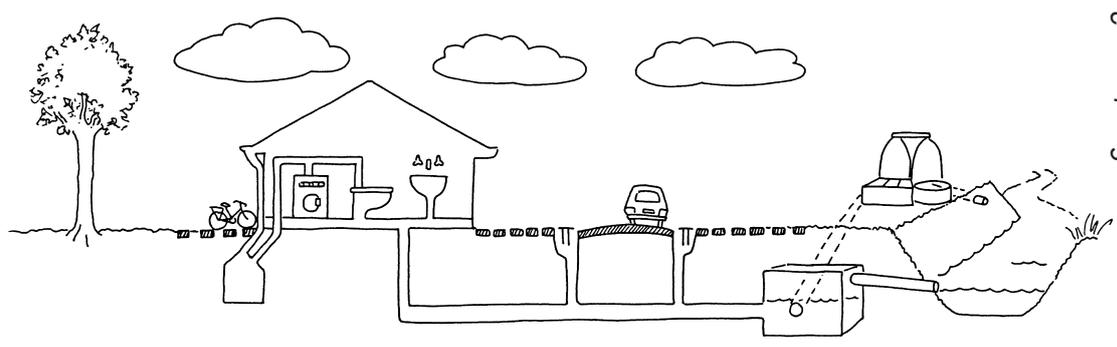
-  Versiegelte Fläche
-  Nicht versiegelt
-  Pflastersteine



System 1



System 2



System 3

© Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz



Alles dicht? – Kanalisation, Regenwasser und Flächenversiegelung

Infotext **Mischkanalisation**

Bei der Mischkanalisation werden Haushaltsabwasser und das (Regen-)Wasser von Oberflächen in einem gemeinsamen Kanal gesammelt. Bei diesem Kanalisationstyp können bei heftigen Regenfällen plötzlich große Wassermengen in die Kanalisation gelangen, über die dann ein Vielfaches der üblichen Wassermenge transportiert und zur Kläranlage geleitet werden muss. Um zu verhindern, dass der Kanal überläuft und das Schmutzwasser womöglich durch Rückstau aus Gullis und Toiletten gedrückt wird, gibt es spezielle Regenbecken, die größere Wassermengen speichern. Ist die Wassermenge jedoch größer als die Kapazität von Kanal und Regenbecken, wird das Wasser vom Regenbecken über ein Überlaufrohr in das nächste Gewässer eingeleitet. Weil der Kanal auf diese Weise „entlastet“ wird, spricht man auch von einer „Mischwasserentlastung“.

Allerdings gelangt durch Mischwassereinleitungen ein höchst problematisches Gemisch von Regenwasser und ungereinigtem Abwasser in die Gewässer. Zu erkennen sind solche „Entlastungsereignisse“ an Kloppapier und sonstigen Toilettenartikeln im und am Gewässer, besonders nach Hochwasser. Problematisch sind Mischwassereinleitungen aus ökologischer Sicht nicht nur wegen der Wasserverschmutzung, sondern vor allem wegen der Belastung der Gewässer durch das plötzliche Auftreten künstlicher Hochwässer bei starken Regenfällen: Riesige Wassermengen gelangen plötzlich in das Gewässer, die Fließgeschwindigkeit erhöht sich, es kommt zu einer starken Eintiefung vor allem kleinerer Bäche. Außerdem werden bei einer Hochwasserwelle viele Kleintiere aus ihrem Lebensraum schlicht und einfach weggespült (verdriftet).

Trennkanalisation

Ein anderer Kanalisationstyp ist die Trennkanalisation. Dort werden jeweils zwei Kanalsysteme verlegt. Neben dem Abwasserkanal, in dem die häuslichen und industriellen Abwässer zur Kläranlage geführt werden, gibt es einen gesonderten Kanal, in dem das Regenwasser gesammelt wird. Dieser mündet direkt in das Gewässer und das Wasser wird in der Regel nicht gesondert gereinigt. Dies ist dann problematisch, wenn das Regenwasser (z.B. von stark befahrenen Straßen oder Hofflächen) stark verschmutzt ist. Die Verlegung eines zusätzlichen Kanalsystems ist relativ teuer und es kommt immer wieder dazu, dass bei Arbeiten am Kanal (z.B. bei Neubauten) Schmutz- und Regenwasserkanal verwechselt werden.

Die andere Möglichkeit: Flächen entsiegeln, Regenwasser nutzen

Um die Gewässer zu schützen und den Wasserkreislauf nicht zu unterbrechen, ist es sinnvoll, von vornherein (sauberes) Regenwasser aus der Kanalisation zurückzuhalten und nicht mit Abwässern zu vermischen. Deshalb gibt es nur ein Kanalsystem (wie bei der Mischkanalisation), in das das Abwasser aus Haushalten, Industrie und auch das verschmutzte Regenwasser von viel befahrenen Straßen und Betriebsflächen eingeleitet wird. Dieses Schmutzwasser wird in der Kläranlage gereinigt. Auch hier gibt es Regenbecken mit Überläufen zu einem Gewässer, um bei starken Regenfällen den Kanal zu entlasten. Doch kommt dies viel seltener vor als bei der Mischkanalisation, denn: Nicht verschmutztes Regenwasser (z.B. von Dächern) wird überhaupt nicht in die Kanalisation geleitet. Es muss ja auch nicht gereinigt werden, sondern kann genutzt werden: da, wo man kein reines Trinkwasser braucht (z.B. zum Wäsche waschen, für die Toiletenspülung, zur Bewässerung, etc.). Was nicht gebraucht wird, versickert im Boden (dazu dürfen die Flächen natürlich nicht versiegelt sein) und wird so wieder dem Grundwasser zugeführt.





► M 8.5

Abwasser, Kanalisation und Kläranlage

So funktioniert eine Kläranlage

Zielgruppe

Ab Klasse 7

Fachbezug

Biologie, Lernbereich Naturwissenschaften, Sozialkunde

Ziele

- Funktionsweise einer Kläranlage aus Text und Bild entwickeln
- Vorgang der Abwasserreinigung beschreiben können
- erkennen, dass in einer Kläranlage auf technischem Wege ein natürlicher Prozess des Ökosystems Gewässer (Selbstreinigung) verwirklicht wird

Allgemeine Hinweise

Die Schülermaterialien ► M 8.5 sind für die Sekundarstufe I gedacht. Für die Sekundarstufe II sollte zur Erläuterung der Funktionsweise einer Kläranlage Material aus den Sachinformationen zur Verfügung gestellt werden (Referat!).

Durchführung/Aufgabenstellungen

✗ *Stelle die wichtigsten Verfahrensschritte der Abwasserreinigung in einer tabellarischen Übersicht zusammen. Was wird wo und wie entfernt?*

Reinigungsstufe	Welche Stoffe werden entfernt?	Wo und wie?
Mechanische Reinigungsstufe		
Biologische Reinigungsstufe		
Weitergehende Abwasserreinigung		

Lösungen siehe ► SACHINFORMATION, SEITE 143

Vertiefungsmöglichkeiten (Sek. II)

● Abwassergebühren ein Politikum?

✗ *Mit den schärferen gesetzlichen Anforderungen an die Abwasserreinigung werden viele Kläranlagen modernisiert und ausgebaut; dies ist meist mit höheren Abwassergebühren verbunden.*

✗ *Wieviel kostet die Reinigung von 1 m³ Abwasser in eurer Gemeinde? Vergleiche mit der Entwicklung der durchschnittlichen Abwassergebühren in Deutschland.*

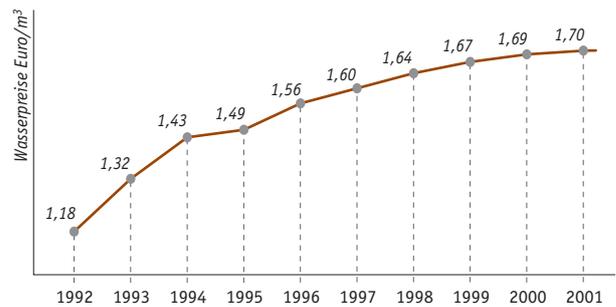


Abb. 8-14 Entwicklung der Wasserpreise in Deutschland 1992 - 2001. (Jahresbericht der Wasserwirtschaft 2001)

Abwasser, Kanalisation und Kläranlage

So funktioniert eine Kläranlage



✗ Wie groß ist die Bereitschaft der Bevölkerung mehr zu zahlen, um damit zum Schutz der Gewässer beizutragen? Gibt oder gab es vor Ort einen Abwasserstreit? Verfolgen Sie die Berichterstattung in der Presse (► M 4.2) und die jeweiligen Argumente.

● Abwasserreinigung – ein biologischer Vorgang

✗ Ein Putzmittel wirbt damit, dass es „zu 99 % biologisch abbaubar“ ist. Was bedeutet das?

✗ In einer Kläranlage findet die natürliche Selbstreinigung, zu der jedes ökologisch intakte Gewässer fähig ist, in konzentrierter, vom Menschen technisch gesteuerter Form statt. Erklären Sie diese Aussage. (► ABB. 8-15)

✗ Informieren Sie sich über die biochemischen und verfahrenstechnischen Vorgänge bei der biologischen Abwasserreinigung, besonders der weitergehenden Nährstoffelimination (Nitrifikation, Denitrifikation, biologische Phosphorelimination).

Die Aufgabe ist geeignet für Referate. ► SACHINFORMATIONEN

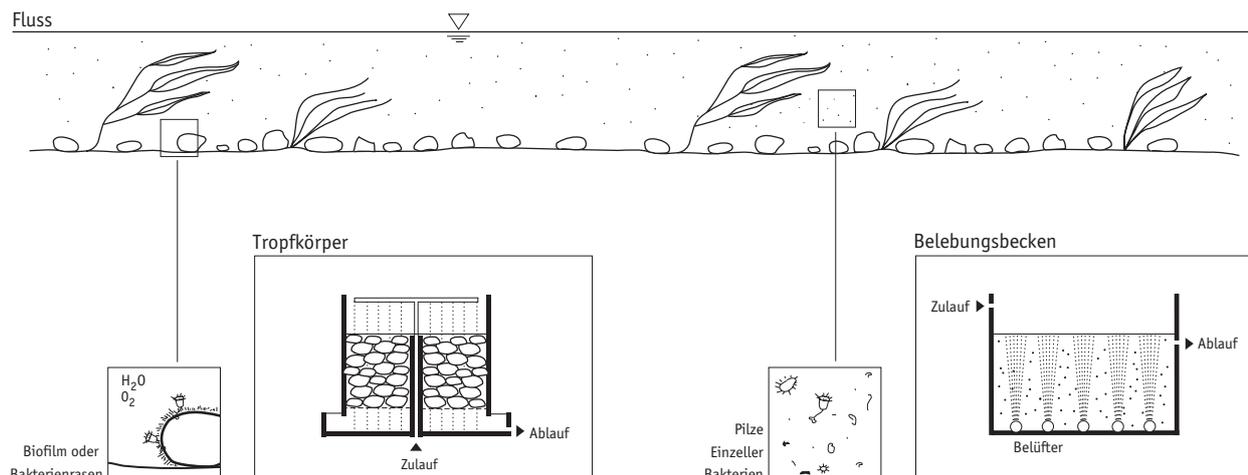
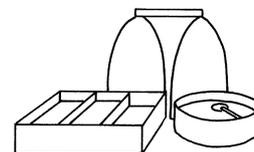


Abb. 8-15 Vergleich der Vorgänge in der biologischen Klärstufe mit der Selbstreinigung im Gewässer. (nach MUDRACK/KUNST 1994)

Literatur:
LÜKENGA, W. (1998): Wasser als Ressource. Aulis Verlag. Köln.
MUDRACK, K; KUNST, S. (1994): Biologie der Abwasserreinigung. Gustav-Fischer-Verlag. Stuttgart. 4. Aufl.



So funktioniert eine Kläranlage



Das Abwasser der Stadt oder Gemeinde (aus Haushalten, Fabriken, Schulen und Krankenhäusern zum Beispiel) wird in einem weit verzweigten Kanalsystem gesammelt und der Kläranlage zugeleitet. Dort wird es über ein schneckenförmiges **Hebewerk** angehoben, damit es in freiem Gefälle durch die Kläranlage fließen kann.

Mechanische Reinigungsstufe

Zu Beginn der Abwasserreinigung müssen alle groben Bestandteile entfernt werden. Dazu fließt das Abwasser zunächst durch den sogenannten **Rechen**. Dies sind dicht angeordnete Gitterstäbe, an denen Klopapier, aber auch Unrat, der eigentlich gar nicht in die Toilette gehört, wie Plastiktüten, Kleidungsstücke usw. hängenbleibt und herausgeholt wird. Danach durchfließt das Abwasser langsam den **Sandfang**. Hier setzen sich schwere Stoffe wie Sand, Schotter und Kies ab. Fett und Öl sammeln sich an der Wasseroberfläche. Durch spezielle Schieber werden die abgetrennten Stoffe herausgeholt. Feinere Schwebstoffe setzen sich in der nächsten Station, dem **Vorklärbecken**, als Schlamm ab. Damit ist die mechanische Reinigungsstufe abgeschlossen und es sind etwa 30 % der Schmutzstoffe entfernt.

Biologische Reinigungsstufe

Die Entfernung der noch enthaltenen Schmutzstoffe ist komplizierter, da sie im Abwasser gelöst sind. Zum Glück gibt es in der Natur eine Vielzahl von Mikroorganismen – das sind Bakterien und Einzeller –, die sich von diesen Stoffen ernähren und sie in Zellmaterial, Kohlendioxid und Wasser umwandeln. Dazu brauchen sie Sauerstoff. Bietet man ihnen optimale Lebensbedingungen, das heißt Nahrung und Sauerstoff, vermehren sie sich in großer Zahl. Genau dies ist das Prinzip der biologischen Reinigungsstufe, die im **Belebungsbecken** stattfindet. Der Sauerstoff kann dort auf unterschiedliche Weise zugeführt werden: Entweder belüften große Quirle oder Rührer das Abwasser oder es wird über sogenannte Tropfkörper geleitet, auf denen sich ein großflächiger Bakterienrasen ansiedelt. Es breiten sich jeweils die Arten aus, deren „Lieblingsspeise“ im Abwasser enthalten ist. So kann sich eine Kläranlage in gewissem Maße auf unterschiedliches Abwasser einstellen. Anschließend durchfließt das gereinigte Abwasser noch ein **Nachklärbecken**. Hier setzen sich die Rückstände aus dem Belebungsbecken als Schlamm ab. Ein Teil wird als **Rücklaufschlamm** zurück in das Belebungsbecken gepumpt, damit dort immer genügend Mikroorganismen vorhanden sind. Der andere Teil (**Überschussschlamm**) geht in die Schlammbehandlung. Auf diese Weise können die organischen Stoffe aus Haushaltsabwässern weitgehend entfernt werden. Weil in den letzten Jahrzehnten sehr viele Kläranlagen gebaut wurden und kaum noch ungereinigtes Abwasser in ein Gewässer geleitet wird, sind die Bäche und Flüsse sehr viel sauberer geworden. Stinkende Kloaken, in denen alles Leben vom Abwasser erstickt ist, gibt es kaum noch.

So funktioniert eine Kläranlage



Weitergehende Abwasserreinigung

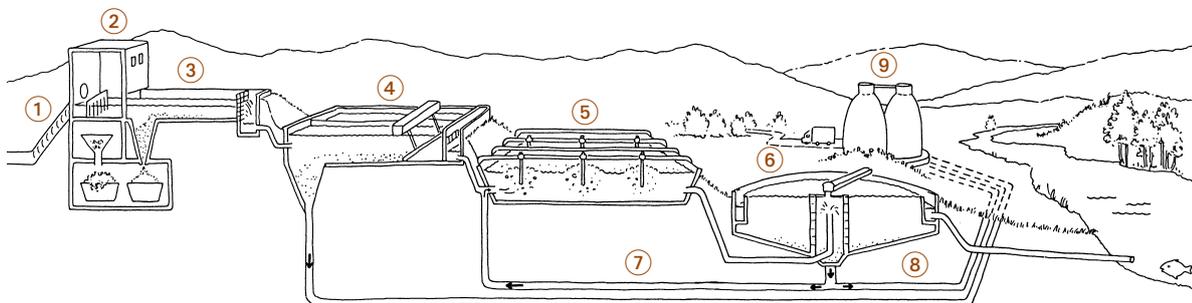
Allerdings können nach der biologischen Reinigung noch Nährstoffe, d.h. Stickstoff- und Phosphorverbindungen sowie schwer oder nicht biologisch abbaubare Schmutzstoffe enthalten sein, die das Gewässer belasten. Je nach Inhaltsstoff gibt es ganz unterschiedliche Verfahren, die an verschiedenen Stellen im Abwasserreinigungsprozess zwischengeschaltet werden können. Man fasst sie als weitergehende Abwasserreinigung zusammen. Da diese meist aufwendig und teuer sind, gibt es sie nur in wenigen großen Kläranlagen.

Am bekanntesten ist die Entfernung von Phosphat durch **chemische Fällung** mithilfe von Eisen- oder Aluminiumsalzen (=chemische Reinigungsstufe). Dies kann vor, während oder nach der biologischen Stufe geschehen. Viele größere Kläranlagen werden in letzter Zeit um- und ausgebaut, um Stickstoff und Phosphor durch biologische Prozesse zu entfernen (**► Nitrifikation, ► Denitrifikation, biologische Phosphorelimination**). Die Kunst besteht darin, für den Nährstoffabbau spezialisierte Bakterien zu züchten, denen man für ihre Tätigkeit bestimmte Lebens- und Arbeitsbedingungen bieten muss. Dies geschieht durch einen gezielten Wechsel von Sauerstoffzufuhr und Sauerstoffentzug sowie durch genaue Kontrolle der Aufenthaltszeiten des Abwassers. Zur weitergehenden Abwasserreinigung gehören auch Verfahren, die biologisch nicht abbaubare Stoffe zurückhalten. Dies können ganz unterschiedliche chemische Prozesse, aber auch Filtrationsvorgänge sein. Sie werden vor allem in speziellen Industrie-Kläranlagen angewendet.

Schlammbehandlung

Während der Abwasserreinigung fällt eine große Menge Schlamm an. Dieser Schlamm wird in den **Faultürmen** behandelt. Mikroorganismen, die ohne Sauerstoff auskommen, zersetzen hier die Reste ihrer Vorgänger aus dem Belebungsbecken. Dabei entsteht brennbares „Biogas“ (Methan), das zum Heizen der Kläranlage benutzt werden kann. Der behandelte Schlamm wird anschließend getrocknet und er kann, wenn keine Schadstoffe enthalten sind, in der Landwirtschaft als Dünger eingesetzt werden.

Die Abwasserreinigung ist gesetzlich vorgeschrieben. Wie eine Kläranlage dann konkret ausgebaut wird, ist abhängig von der zu behandelnden Abwassermenge und der Zusammensetzung des Abwassers.



- | | | |
|---------|---------|---------|
| ① _____ | ④ _____ | ⑦ _____ |
| ② _____ | ⑤ _____ | ⑧ _____ |
| ③ _____ | ⑥ _____ | ⑨ _____ |



► M 8.6

Abwasser, Kanalisation und Kläranlage

Erkundung einer Kläranlage

Zielgruppe

Ab Klasse 8

Fachbezug

Biologie, Chemie, Lernbereich Naturwissenschaften, Sozialkunde, Projektunterricht

Ziele

- am Beispiel Kläranlage eine kommunale Einrichtung des technischen Umweltschutzes kennenlernen
- erkennen, dass jeder Einwohner einer Kommune und damit auch jeder Schüler selbst Abwasser erzeugt, das gereinigt werden muss
- theoretisch bekannte Verfahrensschritte auf einer technischen Anlage wiedererkennen.

Allgemeine Hinweise

Kläranlagen sind beliebte Exkursionsziele für Schulgruppen; zu Recht, denn sie bieten die Möglichkeit, schulnah eine kommunale Einrichtung des technischen Umweltschutzes, speziell des Gewässerschutzes kennenzulernen, die direkten Schülerbezug hat: Jeder ist an der „Erzeugung“ des Abwassers, das hier gereinigt wird, beteiligt. Allerdings beschränkt sich ein Kläranlagenbesuch in vielen Fällen auf das Mitlaufen bei einer Führung durch einen mehr oder weniger engagierten Kläranlagenmitarbeiter und für viele bleibt als Eindruck lediglich: „es stinkt“. Um dies zu vermeiden, sollten die Schülerinnen und Schüler die Anlage aktiv erkunden. Eine gründliche Vorbereitung ist unerlässlich. Nach Möglichkeit sollten die Fragen im Unterricht selbst entwickelt bzw. ergänzt werden.

Vorbereitung

● Im Unterricht

Die Vorgänge der Abwasserreinigung in einer Kläranlage sollten in groben Zügen bekannt sein (► M 8.5), denn so einfach das grundsätzliche Verfahren der Abwasserreinigung ist, so vielfältig und deshalb auf den ersten Blick oft unübersichtlich sind die jeweiligen technischen Lösungen vor Ort.

Das Problembewusstsein für die Notwendigkeit der Abwasserreinigung sollte geweckt sein – Abwasserreinigung ist ein Beitrag zum Gewässerschutz. (► M 6.1)

● Organisatorisches

Vor der Besichtigung muss ein Termin vereinbart werden! Wer für die Entsorgung und Reinigung des Abwassers zuständig ist, kann bei der Stadt- bzw. Gemeindeverwaltung erfragt werden (dies sind häufig die Städtischen Werke oder „Entwässerungsbetriebe“). Viele Gemeinden haben den Bereich der Abwasserreinigung inzwischen privatisiert. Bei größeren Kläranlagen ist es am einfachsten, direkt zur Anlage zu gehen. Kleinere Anlagen sind nicht durchgängig besetzt. Bei einem Vorgespräch kann man den Ablauf der Besichtigung mit dem Klärwärter besprechen und möglicherweise Material zur Vorbereitung abholen (zum Beispiel einen Plan der Kläranlage; große Kläranlagen bieten eigene Informationsbroschüren an). Auch Schülerinnen und Schüler können die Terminvereinbarung und die Vorbesprechung übernehmen.

Durchführung

Die Schülerinnen und Schüler befragen Mitarbeiter der Kläranlage nach dem Fragebogen (kann nach Belieben ergänzt bzw. selbst entwickelt werden).

● Variante: Kläranlagenführung durch Schülergruppen

Bei der Kläranlagenbesichtigung ist jeweils eine Gruppe für die Erläuterung einer Kläranlagenstation verantwortlich, über die sie sich im Voraus ausführlich informiert hat. Die Anzahl der Stationen sollte vorher festgelegt werden. Da in der Regel aus Sicherheitsgründen ein Kläranlagenmitarbeiter bei der Führung dabei ist, kann dieser auch zu den einzelnen Stationen interviewt werden. Dazu müssen die Gruppen vorher jeweils gezielte Fragen formulieren.

● Einen Übersichtsplan zeichnen

Von einem günstigen Aussichtspunkt der Kläranlage (z.B. den Faultürmen) zeichnen die Schülerinnen und Schüler einen Plan der Anlage, benennen die einzelnen Stationen und markieren den Weg des Abwassers mit Pfeilen. Einfacher ist es, dies auf einem bereits vorhandenen Plan der Anlage, der für alle kopiert wurde, zu tun.

Abwasser, Kanalisation und Kläranlage

Erkundung einer Kläranlage



Vertiefungsmöglichkeiten (Sek.II)

● Eigene Abwasseruntersuchungen

Aus den verschiedenen Reinigungsstufen (Zulauf Belebung, Ablauf Belebung, Ablauf Nachklärung = Einleitung in das Gewässer) entnehmen die Schülerinnen und Schüler Proben zur Analyse spezifischer Parameter (BSB_5 , NH_4 , NO_3 , PO_4). Zur Analysemethodik ► KAR. 12.

! Achtung! Proben nur mit Genehmigung der Kläranlage entnehmen, Sicherheitsvorkehrungen beachten! Gummihandschuhe anziehen, Abwasser ist infektiös!

✗ Stellen Sie die Abnahme der Stoffe durch die einzelnen Klärstufen graphisch dar.

✗ Vergleichen Sie die Ergebnisse mit den Ergebnissen der Eigenüberwachung der Kläranlage und mit den gesetzlichen Vorgaben.

● Mikroskopische Untersuchungen des Belebtschlammes

Zur mikroskopischen Analyse werden Proben mit Belebtschlamm aus der biologischen Reinigungsstufe entnommen. Sie ist einfach durchzuführen und für Schülerinnen und Schüler sind die Vielzahl der Protozoen sehr faszinierend und anschaulich. Weiteres bei VATER-DOBBBERSTEIN (1982) und APEL (1984).

Die mikroskopische Analyse des Belebtschlammes gehört zum festen Untersuchungsprogramm größerer Kläranlagen und dient u.a. zur Bewertung der Funktionsfähigkeit der biologischen Reinigungsstufe.

● Gesetzliche Vorschriften zur Abwasserreinigung

✗ Informieren Sie sich beim Kläranlagenpersonal über die gesetzlichen Vorschriften zur Abwasserreinigung und der Überwachung von Kläranlagen (z.B. Gesetzliche Mindestanforderungen ► ABB. 8-17, Eigenkontrollverordnung, Abwasserabgabe).

✗ Ist es sinnvoll, dass es diese Fülle von Vorschriften gibt? Wie beurteilen Kläranlagenmitarbeiter die strengen Vorschriften?

● Andere Möglichkeiten der Abwasserreinigung

✗ Informieren Sie sich über andere Möglichkeiten der Abwasserreinigung.

Möglichkeiten und Grenzen erkunden und diskutieren (Kleinkläranlagen, Abwasserteiche, Wurzelraumkläranlagen, Verrieselung, Spezialverfahren wie Mikrofiltration, Desinfektion, Industriekläranlagen, etc.). Dieses Thema sollte nach Möglichkeit mit Erkundungen vor Ort verbunden werden. Fachlich gute und verständliche Darstellung der Abwasserreinigungsverfahren in KLEE (1991) und MUDRACK/KUNST (1991).

Ergänzungsmaterial

- M 6.1 WOHER BEKOMMT DER FLUSS DAS WASSER?
- M 3.3 SELBSTREINIGUNG VON FLIESSGEWÄSSERN

Größe der Kläranlage (Einwohnerwerte)	CSB [mg/l]	BSB ₅ [mg/l]	NH ₄ -N [mg/l]	N _{ges. anorg.} [mg/l]	P _{ges} [mg/l]
< 1000	150	40	keine	keine	keine
< 5000	110	25	keine	keine	keine
< 10.000	90	20	10	keine	keine
< 100.000	90	20	10	18	2
> 100.000	75	15	10	18	1

Abb. 8-17 Gesetzliche Mindestanforderungen an die Reinigungsleistung von Kläranlagen (nach Abwasserordnung 2002)

Literatur

- APEL, J. (1984): Die Rolle der Einzeller bei der Reinigung von Abwässern. *Unterricht Biologie*, 97:36-44
 KLEE, O. (1991): *Angewandte Hydrobiologie. Trinkwasser, Abwasser, Gewässerschutz*. Thieme-Verlag. Stuttgart.
 MUDRACK, K; KUNST, S. (1994): *Biologie der Abwasserreinigung*. Gustav-Fischer-Verlag. Stuttgart. 3. Aufl.
 STASCHEIT, W.; KNEIP, W. (1991). *Wasser erforschen und erfahren. Das Element Wasser für die Klassen 8-11*. Verlag an der Ruhr. Mülheim.
 VATER-DOBBBERSTEIN, B.; HILFRICH, H. (1982): *Versuche mit Einzellern. Experimente für Lehrer und Schüler*. Francksche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart.



Erkundung einer Kläranlage

Jede Gruppe bildet ein Expertenteam für einen Themenkomplex, stellt bei der Besichtigung der Kläranlage die Fragen und kann in der Nachbereitung im Plenum die Fragen ausführlich erläutern. Der Fragebogen ist lediglich ein Vorschlag und ist beliebig zu variieren!

I. Was kommt hier an? Herkunft des Abwassers

1. Von wie vielen Menschen wird Abwasser behandelt? _____
2. Welche Arten von Abwasser werden in der Anlage behandelt?
 - aus Haushalten
 - aus Fabriken/Industrie; wenn ja, welche? _____
 - Regenwasser
3. Wieviel kostet die Abwasserreinigung? _____

II. Was geht hier vor sich? Vorgang der Abwasserreinigung

1. Welche Reinigungsstufen gibt es in der Anlage? Was geschieht in den einzelnen Stufen? (Rückseite)
 - mechanische Abwasserreinigung _____
 - biologische Abwasserreinigung _____
 - weitergehende Abwasserreinigung _____
2. Wie werden die Nährstoffe (Stickstoff und Phosphor) entfernt? _____

III. Wie war's damals? Geschichte der Kläranlage, Arbeiten auf der Kläranlage

1. Wann wurde die Kläranlage gebaut? _____
2. Wie wurde davor das Abwasser gereinigt? _____
3. Wurde die Kläranlage nach dem Bau erweitert oder gibt es Pläne, sie zu erweitern? _____
4. Gibt es in der Gemeinde noch Gebiete, die nicht an die Kanalisation angeschlossen sind? _____
Wie wird dort das Abwasser gereinigt? _____
5. Wieviele Menschen arbeiten auf der Kläranlage? Was tun sie? _____
(ihr könnt sie auch einzeln interviewen, bitte vorher Fragen überlegen)

IV. Was kommt heraus? Klärschlamm und Gewässer

1. Was passiert mit dem Klärschlamm? _____
2. In welches Gewässer wird das gereinigte Abwasser eingeleitet? _____
3. Müssen manchmal ungereinigte Abwässer in den Fluss geleitet werden? _____
4. Gibt es Schwierigkeiten wegen Geruchsbelästigung? _____

V. Was kann jede(r) einzelne(r) tun, um die Arbeit in der Kläranlage zu erleichtern?