
Angewandte Limnologie

SS 2006

Rüdiger Wagner

Limnologische Fluss-Station Schlitz



Quellen: wikipedia.de; kayester.de; spiegel.de

Die Substanz Wasser

- Gefrierpunkt 0°C
- Siedepunkt 100°C (bei 1 bar atm. Druck)
- Größte Dichte bei $\sim 4^{\circ}\text{C}$ (Dichteanomalie)
- Enthält wechselnde Mengen an Salzen Gasen und organischen Substanzen
- Es entsteht aus der Knallgasreaktion unter Freisetzung von Energie und Sauerstoff
- Die Menge des Wassers auf der Erde ist konstant

Existenzielle und kulturelle Bedeutung von Wasser

Die fünf Grundeigenschaften von Wasser (nach Ehlers, 2002)

- (1) **Wasser, Luft und Sonne sind die Basis allen Lebens - als Güter ‚unendlich‘, bezogen auf ihren Reinheitsgrad gibt es aber Verknappungstendenzen**
- (2) **Wassermenge auf der Erde ist und bleibt konstant (Hydrologischer Kreislauf)**
- (3) **Wasser ist prinzipiell in ausreichender Menge vorhanden, der größte Teil ist aber für den Menschen direkt nicht nutzbar**
- (4) **Süßwasservorkommen sind in verschiedenen Aggregatzuständen vorhanden und ungleich über die Erde verteilt**
- (5) **Verfügbarkeit und optimale Nutzung von Süßwasser hängen von den differenzierten wissenschaftlich-technischen Fähigkeiten von Gesellschaften ab Wasser zu fördern, zu nutzen und zu entsorgen bzw. wiederzuverwerten**

Wasser - Grundlage allen Lebens

Kein Leben ohne Wasser - hoher relativer Wassergehalt im Körper

Mensch: Neugeborenes ~ 75%
 ältere Mann ~ 52%
 ältere Frau ~ 46%

Quallen: 98%

Landschnecken: 95 %

Frösche: 78 %

Vögel: 70 - 75 %

Insekten: 50 - 80 %

Wasserbedarf /d: 2.5 L (Mitteleuropäer)

Wassergehalt von Nahrungsmitteln

Butter	~ 18%
Brot	~ 40%
Käse	~ 30 – 60%
Milch, Joghurt	~ 75%
Fleisch	~ 60 – 75%
Apfel, Birne	~ 85%
Wassermelone	~ 90%
Mohrrüben	~ 94%
Gurken, Tomaten	~ 98%

Wasser – Grundlage allen Lebens

Jeder Mensch sollte täglich zwei bis drei Liter Flüssigkeit trinken. Der Durchschnittsbedarf, der vor einigen Jahren noch 145 l/Tag betrug, ist inzwischen auf 128 l/Tag im bundesdeutschen Mittel gesunken. Der international festgesetzte Grundbedarf beträgt 50 Liter.

Rund 1 Milliarde Menschen liegen weit unter diesem Grundbedarf.

Maß für Wasserverfügbarkeit

Die erneuerbare Wassermenge pro Person und Jahr wird häufig als Maß der Wasserverfügbarkeit verwendet:

<u>Land</u>	<u>Wasserverfügbarkeit 1990</u>
Schweiz	6520 m ³
Algerien	770 m ³
Saudi-Arabien	160 m ³

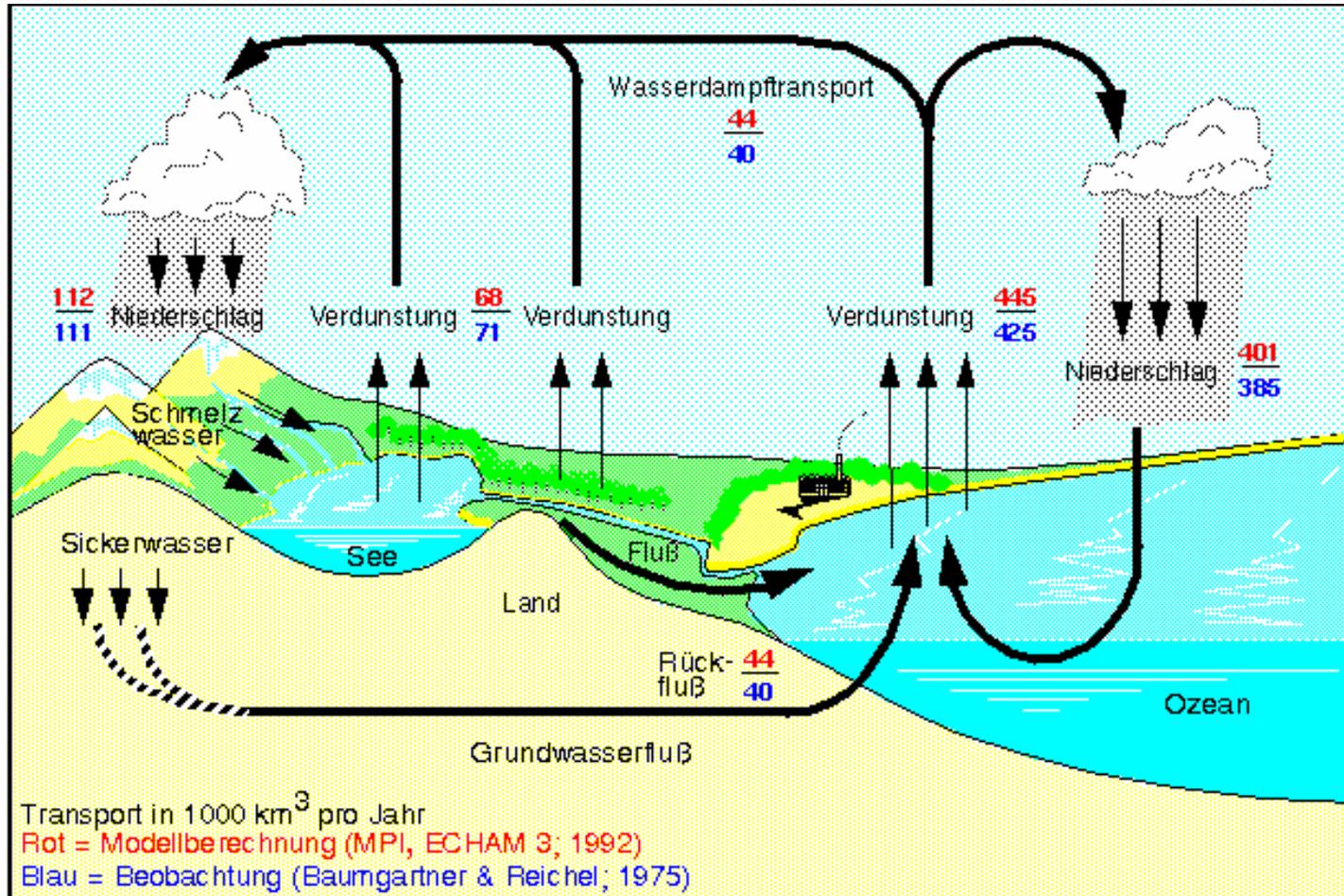
Wasser – Grundlage allen Lebens

Land Wasserverfügbarkeit 2025

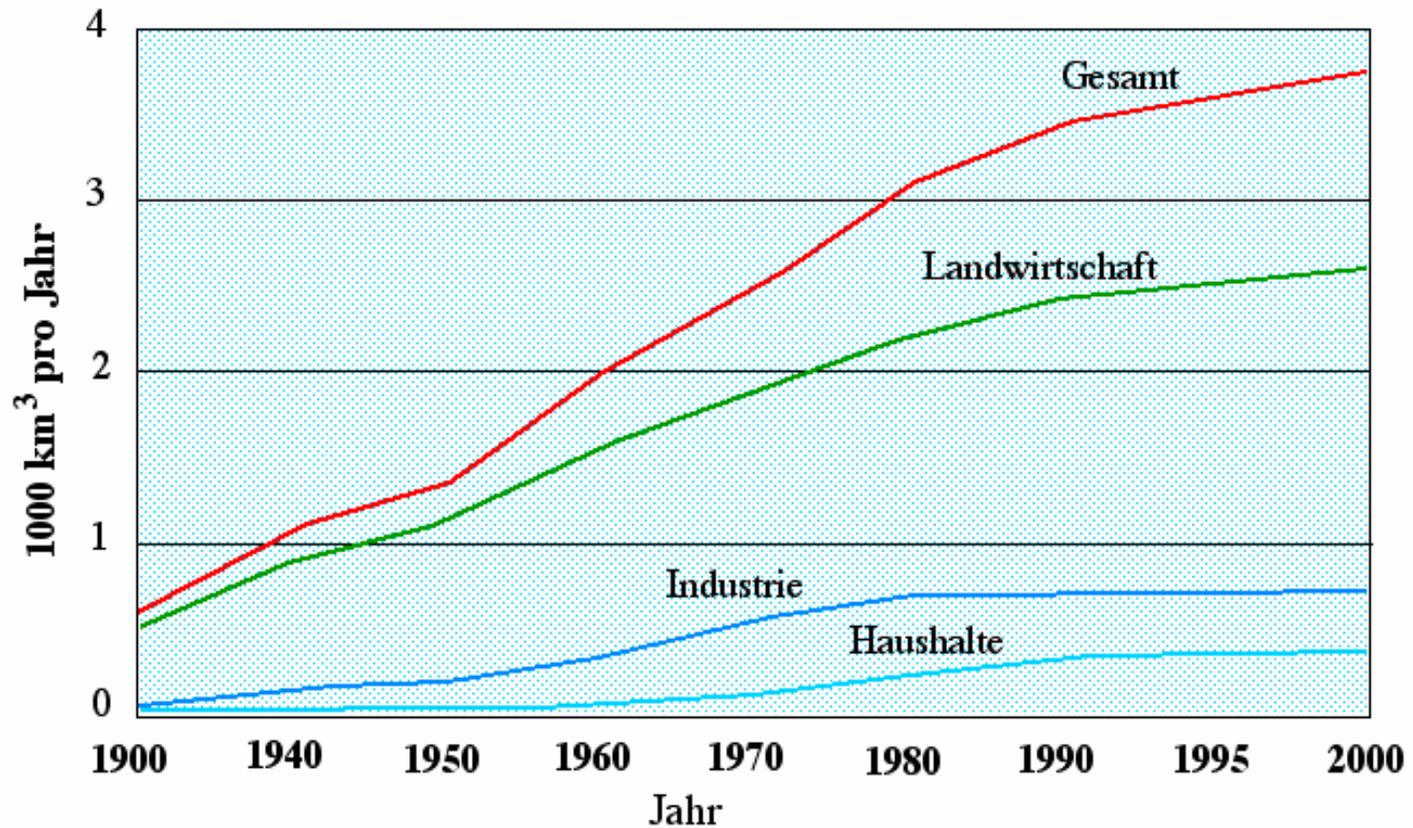
Burundi	280 m ³
Äthiopien	980 m ³
Kenia	190 m ³
Nigeria	1000 m ³
Ruanda	350 m ³
Südafrika	790 m ³
Somalia	610 m ³
Tansania	900 m ³
Haiti	960 m ³
Peru	980 m ³

In Länder mit erneuerbaren Wassermengen von unter 1700 m³ herrscht bereits Wasserknappheit. Unter 1000m³ besteht eigentlicher Wassermangel. In vielen Ländern wird das verfügbare Wasser knapper und knapper.

Globaler Wasserkreislauf



Globale Wassernutzung



Gefährdung der Versorgung

Gegenwärtige und zukünftige Gefährdung der Wasserversorgung (ohne Klimawandel)⁸

Jahr	Gesamtbevölkerung in Mrd.	Bevölkerung in Ländern mit einem Wasserverbrauch von >20% der Ressourcen	Bevölkerung in Ländern mit einem Wasserverbrauch von > 40% der Ressourcen
1990	5,218	1,750	0,406
2025	8,055	5,028	2,370
2050	9,525	5,974	3,217
2085	10,994	6,464	5,396

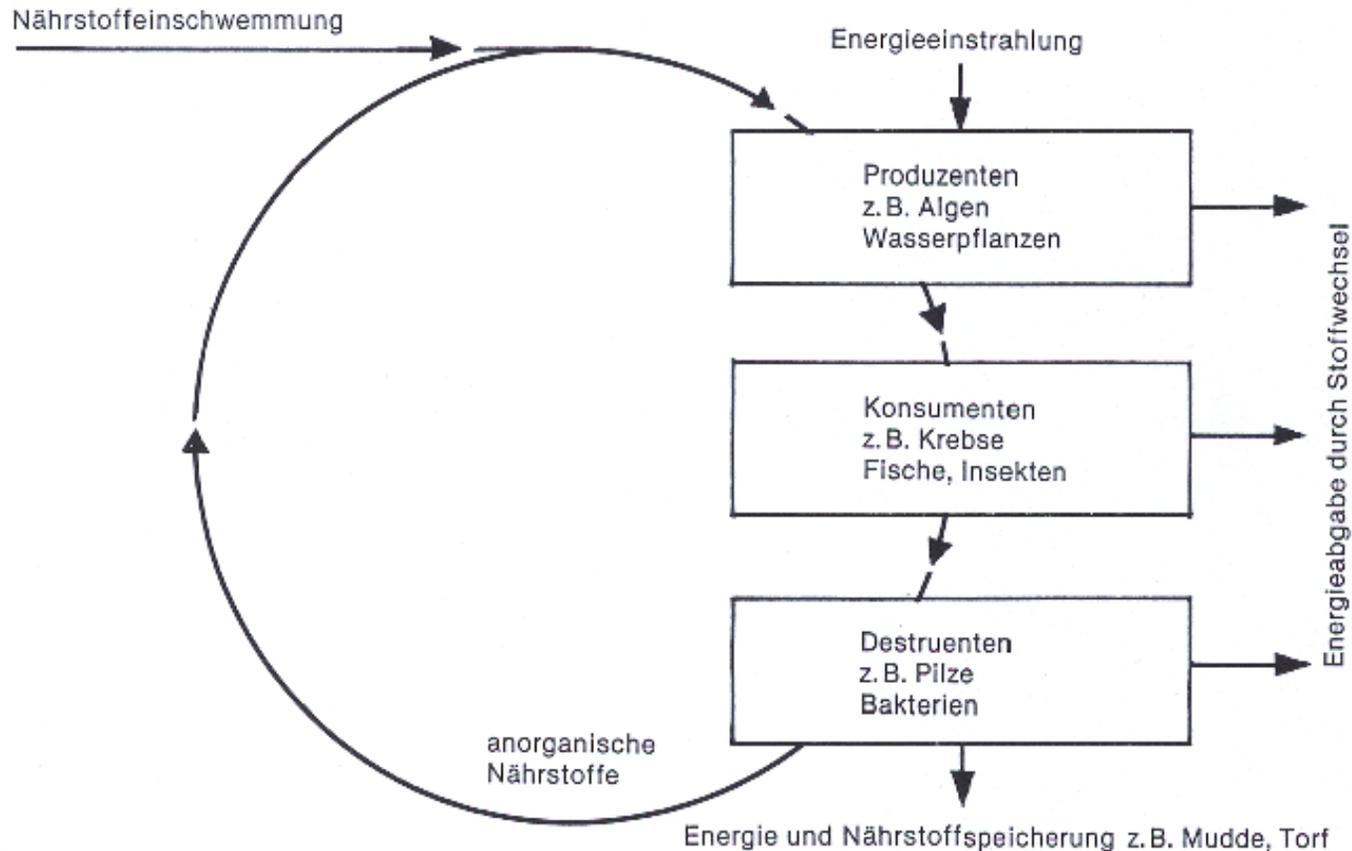
Wasser in der Biosphäre

Die Biosphäre enthält etwa 1.4 Milliarden km³ Wasser

Meere	1'370'000'000 km ³	~ 97.6%	*3.100 Jahre
Gletschern, Eis etc.	29'000'000 km ³	~2.1%	*16.000 J.
Grundwasser (aktiv.)	4'000'000 km ³	~ 0.29%	*300 Jahre
Seen	125'000 km ³	~ 0.009%	*1-100 J.
Salzwasserseen	104'000 km ³	~ 0.008%	*10-1000 J.
Flüsse	1'200 km ³	~ 0.00009%	*12-20 Tage
Wasser in der Biomasse	50'000 km ³		
Bodenfeuchte	67'000 km ³	~ 0.015%	*280 Tage
Atmosphäre	14'000 km ³	~ 0.0009%	*9 Tage

Gewässer als Ökosysteme

Bild 2 **Geschlossenes Ökosystem**
Süßwassersee
Vereinfachtes Schema von Stoffkreislauf und Energiefluß

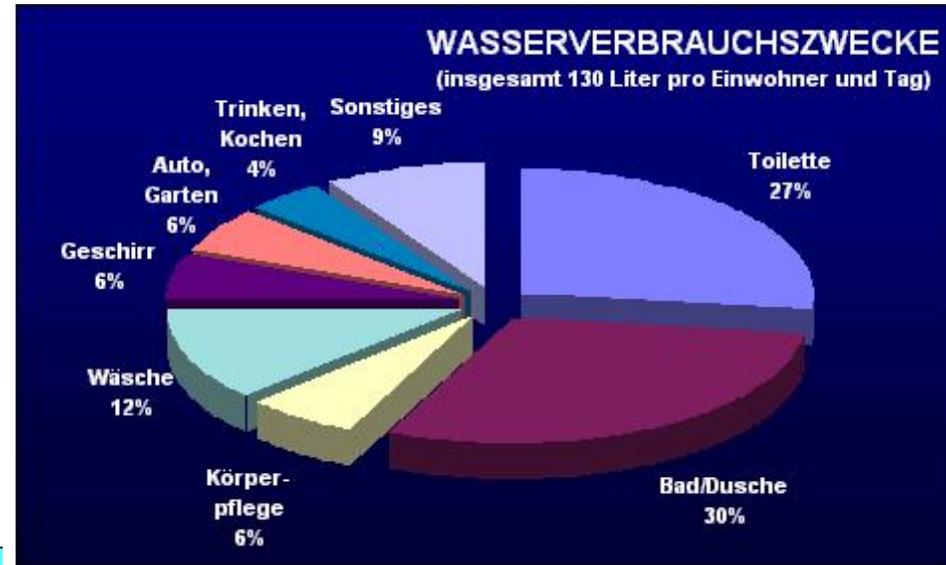


Wasserverbrauch

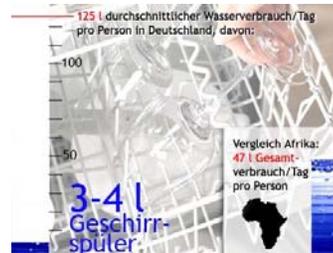


147 Liter 140 Liter 132 Liter 130 Liter 128 Liter 128 Liter 126 Liter

Entwicklung Wasserverbrauch in Deutschland (je Einwohner und Tag)



Wasserverbrauch in Deutschland



Abwasser

Was ist Abwasser?

Man unterscheidet kommunales Abwasser und Industrieabwasser. Kommunales A. enthält neben schadstoffbelastetem Regenwasser (Autowäsche) häusliche Abwässer mit Fäkalien, Speiseresten, Desinfektionsmitteln und Spül- und Reinigungsmitteln, die häufig schwer abbaubare Bestandteile enthalten (Abbau, chlorierte KWs, Tenside, Autowäsche).

Häufig werden häusliche und Regenabwässer zusammen in **Mischkanalisationen** zur Kläranlage geleitet. Bei starken Regenfällen führt das dazu, dass die Kapazität der Kläranlage überschritten wird und somit A. ungeklärt in den Vorfluter gelangt.

Daher sollten **getrennte Kanalisation** für häusliche und Regenwasser vorhanden sein. Industrie-A. sind je nach Industriezweig sehr unterschiedlich zusammengesetzt. In der Papierindustrie z.B. fallen hochkonzentrierte organische Abwässer an, in Galvanikfirmen firmen Metallindustrie u.a. Schwermetalle, organische Lösungsmittel und Säuren.

In der BRD wurden 1987 8,9 Mrd m³ Abwasser in öffentlichen Kläranlagen entsorgt:
1,2 Mrd m³ aus gewerblichen und landwirtschaftlichen Betrieben,
3,1 Mrd m³ aus Haushalten,
4,6 Mrd m³ waren Regenwasser.

Abwasserreinigung

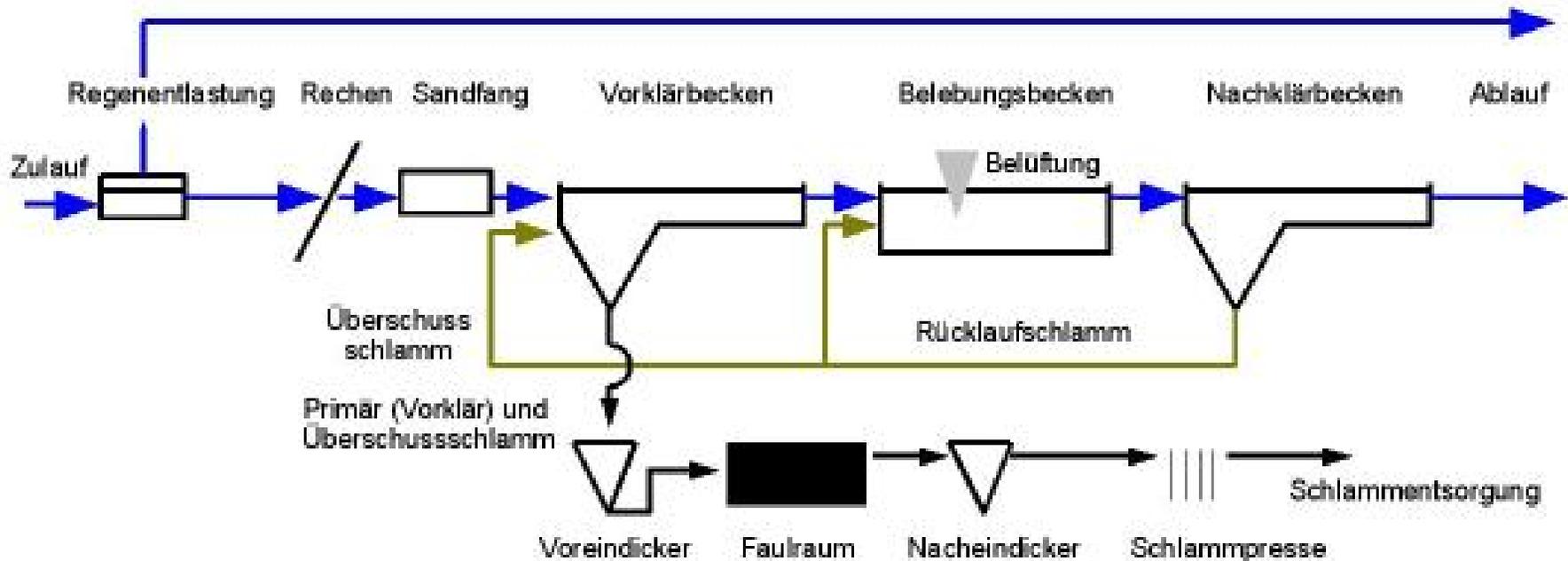
Die Abwasserreinigung wird in Kläranlagen durchgeführt.

In der mechanischen (1.) Stufe einer Kläranlage werden durch Rechen, Sandfang und Absetz- oder Vorklärbecken grobe Bestandteile, Sand und absetzbare Stoffe abgetrennt.

Die biologische (2.) Stufe bringt die restlichen gut löslichen Abwasserbestandteile in Kontakt mit Bakterien und anderen Kleinlebewesen. Diese Mikroorganismen leben vom Abbau der organischen Stoffe und vermehren sich dabei (Belebtschlamm). Bezogen auf den BSB liegt die Reinigungswirkung solcher Kläranlagen i.d.R. bei 90-95%.

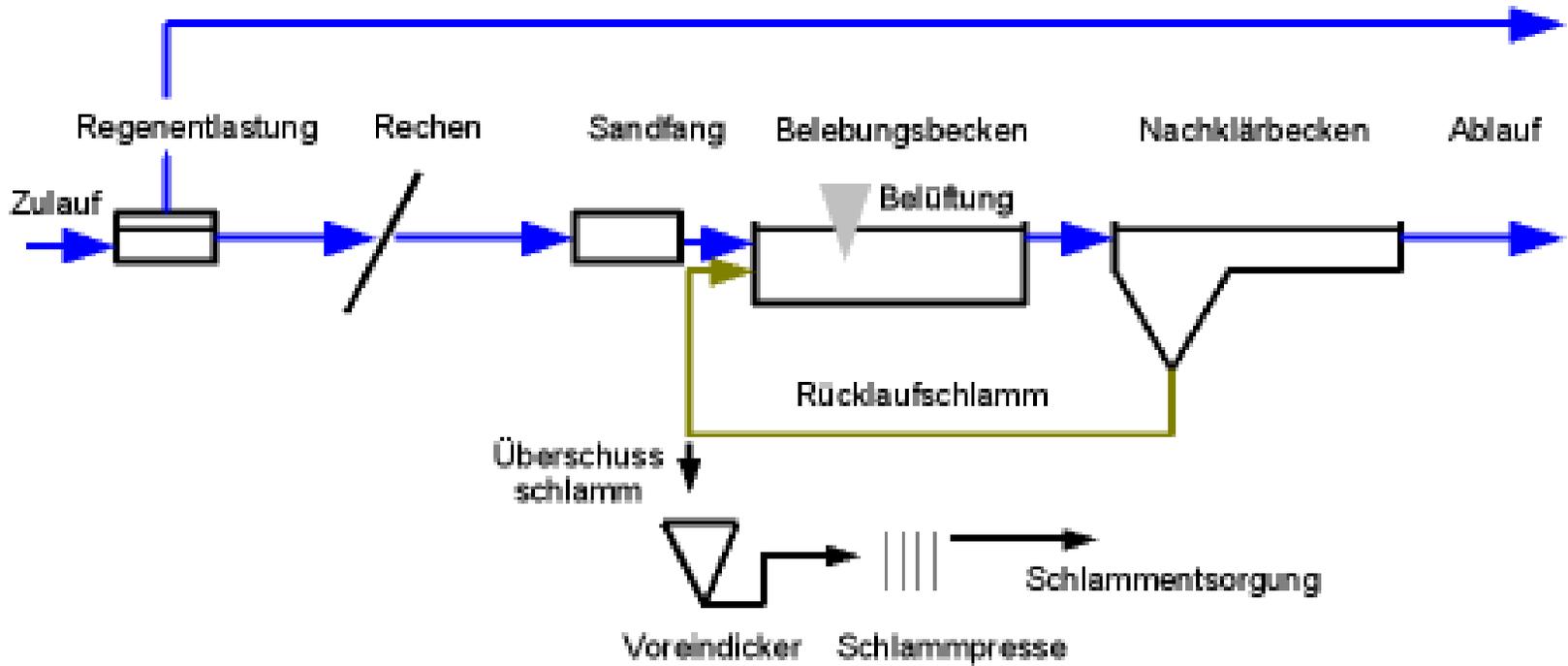
Die Entfernung der restlichen 5 bis 10 Prozent und der Stickstoff- und Phosphorverbindungen ist Aufgabe der weitergehenden Abwasserreinigung (3. Reinigungsstufe, Nitrifikation, Phosphatfällung).

Aufbau einer Kläranlage - Schema



Fließschema einer kommunalen Kläranlage mit Vorklärung

Aufbau einer Kläranlage - Schema



Schematischer Aufbau einer kommunalen Kläranlage ohne Vorklärung

Kläranlage - Prozessaufbau

1. oder mechanische Stufe - mechanische Verfahren

Regenentlastung – bei Mischwassereinleitung

Rechen – für das Grobe

Rechengut - Deponie

Sandfang – Absetzbecken (Lang-S., belüfteter S., Rund-S.)

Sand , Glas, Grobes - Deponie

Vorklärbecken

Primärschlamm –

ca. 30% Kläreffekt der organischen Belastung

Kläranlage - Prozessaufbau

2. oder biologische Stufe

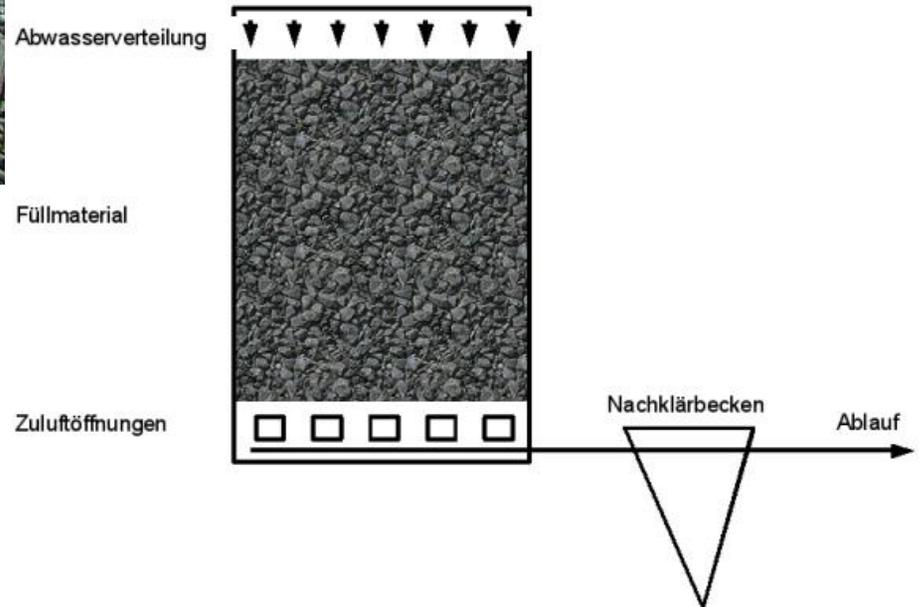
Mikroorganismen in Verbindung mit Sauerstoff bauen organische Verbindungen ab (Belebtschlammverfahren, Tropfkörper, Festbettreaktor) – anorganische Verbindungen werden teilweise oxidiert

(Belebungs- und Nachklärbecken sind eine Prozesseinheit)

Belebtschlamm: Kohlenstoffverbindungen werden zu Biomasse und CO_2 umgewandelt. Ammonium wird zu Nitrat oxidiert (Nitrifikation) und unter Abwesenheit gelösten Sauerstoffs zu Stickstoff (Denitrifikation) abgebaut.

Nachklärbecken: Biomasse = Klärschlamm (**Sekundärschlamm**) – Deponie, Faulturn, etc. – wichtig ist der Rücklaufschlamm

Tropfkörper - Schema



Kläranlage - Prozessaufbau

Der Faulturm ist das Herzstück einer Biogasanlage.

In einem Faulturm werden die Überschuss-Schlämme unter anaeroben Bedingungen zu Methan und Faulschlamm abgebaut.



Abwässerklärung – Verfahren, Ziele

Reinigungsprozesse

mechanische Verfahren bilden die erste Reinigungsstufe. Ca. 20-30 % der festen (ungelösten) Schwimm- und Schwebstoffe werden entfernt.

Biologische Verfahren werden in der zweiten Reinigungsstufe eingesetzt. Mikrobiologische Stoffwechselfvorgänge sollen abbaubare organische Abwasserbestandteile möglichst vollständig zu anorganischen Endprodukten Wasser, CO_2 , NO_3 , PO_4 und SO_4 mineralisieren. Damit werden vor allem Kohlenstoffverbindungen aus dem Abwasser entfernt. Ebenso erfolgt die Entfernung von organischem Stickstoff und Ammonium durch biologische **Nitrifikation** und **Denitrifikation**. Zunehmend wird in mittleren und großen Kläranlagen auch der Phosphor biologisch eliminiert.

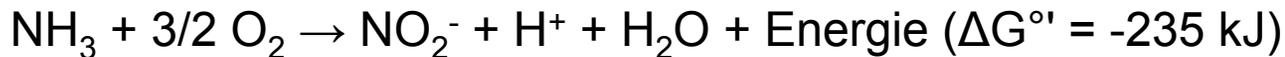
Chemische Verfahren bedienen sich der Oxidation und Fällung. Sie dienen in der kommunalen Abwasserreinigung vor allem der Entfernung von Phosphor durch Fällungsreaktionen (Vermeidung von Eutrophierung des Vorfluters).

Nitrifikation

Nitrifikation ist die bakterielle Oxidation von NH_3 oder NH_4^+ zu NO_3^- . Das durch Destruenten aus toter Biomasse frei gesetzte NH_3 oder NH_4^+ wird durch nitrifizierende Bakterien in zwei Schritten zu NO_3^- oxidiert.

Dazu ist O_2 aus der Umgebung erforderlich.

1. Schritt: Nitritbakterien (*Nitrosomonas*, *Nitrosospira*, *Nitrosococcus*) nehmen aus der Umgebung Ammoniak auf und oxidieren es zu Nitrit-Ionen, die nach außen abgegeben werden:



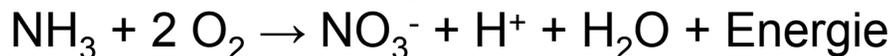
2. Schritt: Nitratbakterien (Gattungen *Nitrobacter*, *Nitrospira*, *Nitrococcus*) nehmen die Nitrit-Ionen auf und oxidieren sie zu Nitrat-Ionen.

Diese Symbiose ist zwingend erforderlich, da das Nitrit in höheren Konzentrationen toxisch wirkt.

Die Nitrat-Ionen stehen Pflanzen als Mineralnährstoff zur Verfügung:



Schritte 1 und 2 ergeben in der Summe die Formel :



Denitrifikation

Denitrifikation ist die bakterielle Umwandlung des im Nitrat gebundenen Stickstoffs in Stickstoffgas (N_2), das weitgehend inert ist. In Gewässern und Böden ist Stickstoff damit nicht mehr als Düngemittel verfügbar und daher kaum mehr umweltrelevant.

Die Denitrifikation erfolgt durch heterotrophe und autotrophe Bakterien. Diese nutzen das Nitrat als Elektronenakzeptor für ihren Energiestoffwechsel, wenn kein gelöster elementarer Sauerstoff verfügbar ist (anoxische, hypoxische Verhältnisse).

Denitrifikation erfolgt in mehreren Schritten über die Zwischenstufen NO_2^- , NO und N_2O . Die Bruttogleichung lautet:

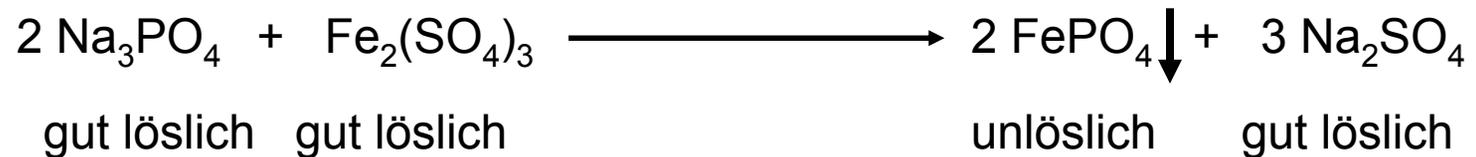


Dieser Prozess findet in der Natur überall statt, wo Nitrat und durch Denitrifizierer oxidierbare organische Stoffe unter anoxischen oder hypoxischen Bedingungen zur Verfügung stehen (z.B. Sümpfe, Böden, Sedimente von Flüssen und Seen).

Chemische Reinigung - Phosphatfällung

Die chemische Reinigungsstufe:

Die **Phosphatfällung** funktioniert nach der folgenden Formel:



Sie kann in fast allen Abschnitten der Reinigung eingesetzt werden.

Kläranlagen - Belastungskenngrößen

Belastung:

Einwohnerwert (EW) = Einwohnerzahl (EZ) + Einwohnergleichwert (EGW)

EGW ist die Vereinbarungsgröße der für einen "Standardeinwohner" anzusetzenden Emission.

Sauerstoffbedarf (BSB)

Der Abbau organischer Verschmutzungen im Abwasser benötigt Sauerstoff.

Eine Möglichkeit zur Kennzeichnung der Verschmutzung ist der biochemischen Sauerstoffbedarf in 5 Tagen (BSB5).

Duschen, Baden, Wäschewaschen, Geschirrspülen, Benutzung der Toilette usw. täglich entstehende häusliche Abwasser eines einzelnen Einwohners - ca. 150 Liter am Tag - verursacht im Mittel einen biochemischen Sauerstoffbedarf von 60 Gramm je Tag (60 g/d).

Einwohnergleichwert (EGW)

Als Maß für die Schmutzfracht von gewerblichem Abwasser dient der EGW. Er vergleicht die Schmutzfracht von gewerblichem Abwasser mit der Schmutzfracht im häuslichen Abwasser eines einzelnen tatsächlichen Einwohners.

Wird zur Ermittlung des EGW der BSB herangezogen, teilt man die mittlere tägliche Schmutzfracht im gewerblichen Abwasser eines Betriebes durch die 60 g/d, die ein Einwohner verursacht.

Beispiel: Das Abwasser einer Brauerei mit einem Bierausstoß von 100.000 Hektoliter pro Jahr entspricht etwa 50.000 EGW. Die gleiche Schmutzfracht ist also im häuslichen Abwasser einer Stadt mit 50.000 Einwohnern enthalten.

Kläranlagenkennwerte - EGW

EGW von Industriebprodukten (nach Imhoff 1993)

Brauerei	1.000 L Bier	150 - 300
Hefefabriken	1 t Hefe	5.000 - 7.000
Kornbrennereien	1 t Getreide	2.000 - 3.500
Molkereien	1.000 L Milch	25 – 230
Papierfabriken	1 t Papier	200 – 900
Schlachthöfe	1 t Lebendgewicht	130 – 400
Wäschereien	1 t Wäsche	350 - 900

Alternative Abwasserreinigung

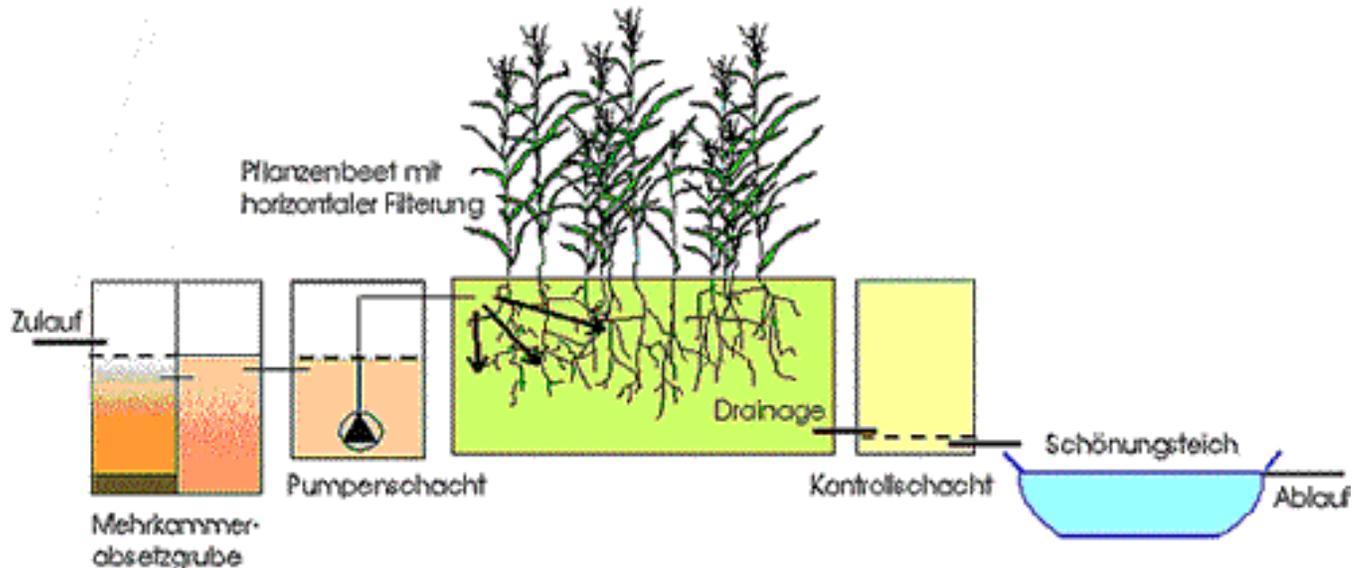
Eine weitere Abwasserreinigungs-Methode ist die Wurzelraumentzung. Sie ist eine dezentrale Abwasserreinigungsform und für Siedlungsgebiete ohne eigene Kanalisation geeignet.

Industrieabwässer werden entweder gemeinsam mit häuslichem Abwasser gereinigt oder erfordern gesonderte Anlagen (Indirekt- und Direkteinleiter).

In der BRD waren 1987 92,5 % der Bevölkerung an die öffentliche Kanalisation und 87,3 % an biologische Kläranlagen angeschlossen.

Rund 29 % des Abwassers wurden in Kläranlagen mit biologischer und dritter Reinigungsstufe gereinigt

Pflanzenkläranlagen



1. Vorklärung der Pflanzenkläranlage – Absetzen von Feststoffen
2. Einpumpen in Pflanzenbeet eingeleitet (durch Folie nach unten abgedichtet)
3. Biologische Reinigung durch Bakterien im Boden des Pflanzenbeets
4. Gereinigtes Abwasser gelangt in einen Kontrollschacht.
Einleitung in Untergrund oder Schönungsteich