

UC-06

3.3 Trinkwasseraufbereitung und Qualität

Gesamtwasserbedarf (D):

- **66% Elektrizitäts- und Wärmekraftwerke**
- **22% Industrie**
- **3% Landwirtschaft**
- **9% Kleingewerbe, Haushalt**

Wassergewinnung

- **Oberflächenwasser** aus Talsperren
⇒ Direktentnahme, Aufbereitung
- **Oberflächenwasser** aus Flüssen und Seen
⇒ Uferfiltrierung
⇒ Rohwasser, Aufbereitung
- **Quellwasser**
⇒ Direktverwendung als Trinkwasser
- **Grundwasser**
⇒ wird von enthaltenen natürlichen Stoffen befreit
(Eisen, Mangan, Kalk, CO₂)

Abhängigkeit der Wasseraufbereitungstechnologie

- wozu soll Wasser genutzt werden (Trink-oder Brauchwasser)
- Anteil organischer und anorganischer Schadstoffe
- Salzkonzentration des Wassers
- Anteil an Schwebstoffen und Kolloiden
- bei Grund- und Quellwässern:
 - * Abhängigkeit von durchströmten Formationen
(Zusammensetzung der Gesteine und Minerale)
 - * von der Verweilzeit im Boden, Bodenarten, Korngröße, Acidität,
Gehalt an natürlichem organischen Material (NOM)
(*Huminstoffe, Lignine...*)

Trinkwasseraufbereitung

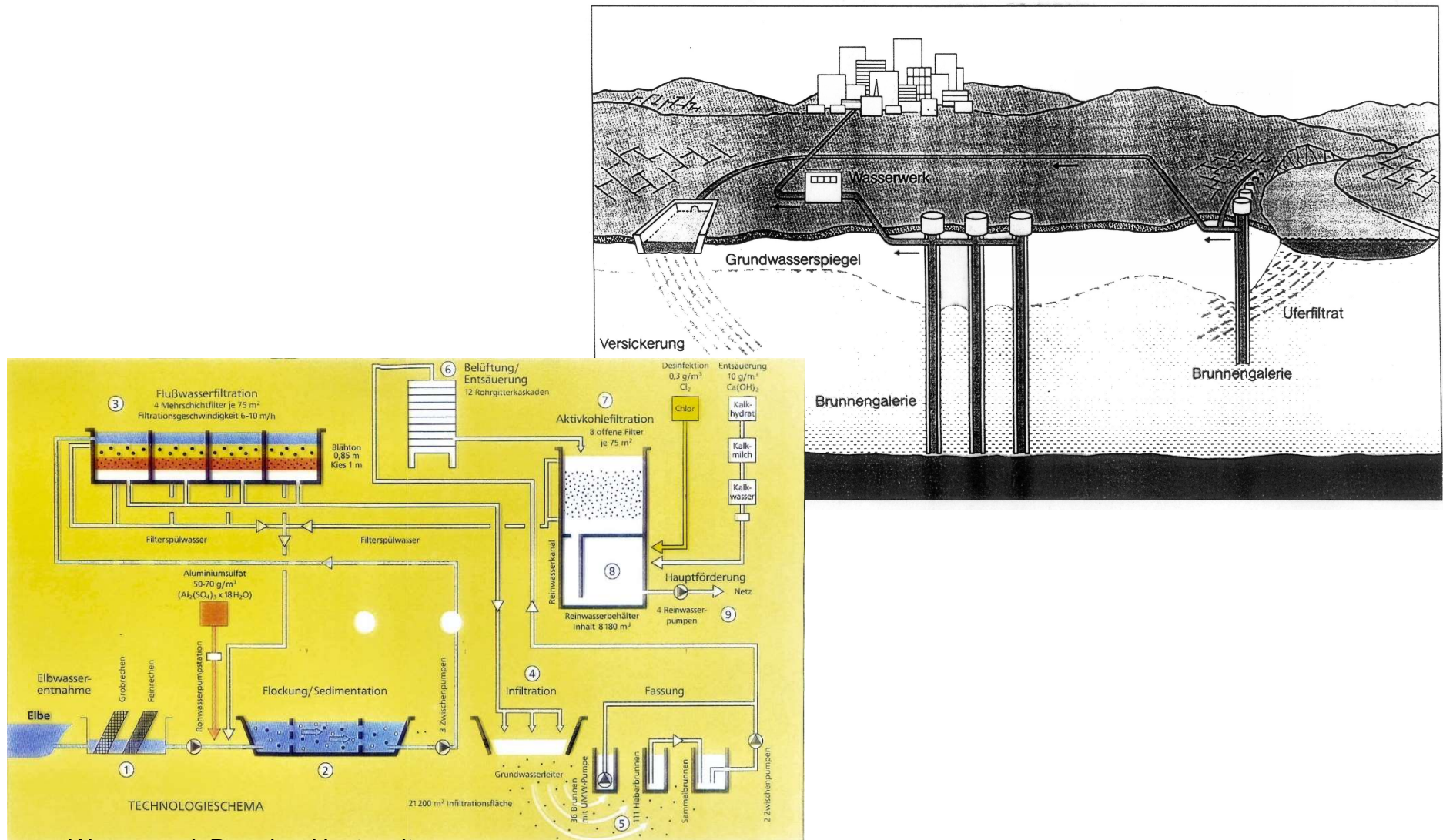
Aufbereitung ist notwendig wegen:

- Stoffen, die gesundheitsschädigend sind,**
- Stoffen, die geruchs- oder geschmacksverändernd sind,**
- Stoffen, die zu technischen Störungen führen.**

Arbeitsschritte der Aufbereitung von Grundwässern:

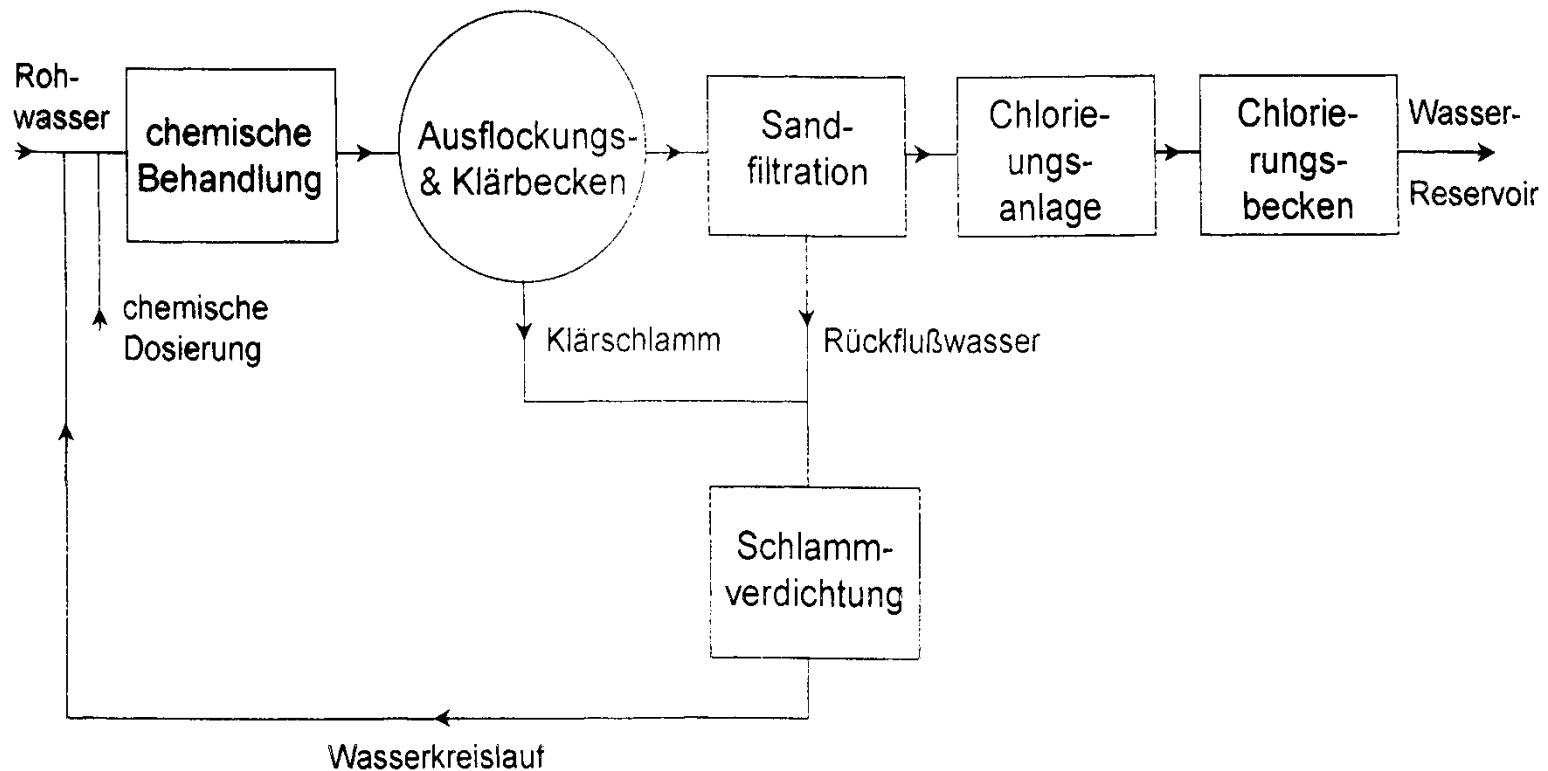
- Entfernung von Schweb- und Trübstoffen**
- Belüftung zum Sauerstoffeintrag**
- Enteisenung, Entmanganung**
- Einstellung des pH-Wertes**
- Entzug von Calciumionen**
- Entfernung gelöster organischer Stoffe**
- Desinfektion (Zugabe von Chlor, Chlordioxid u.a.)**

Technologische Trinkwasseraufbereitung aus uferfiltriertem Oberflächenwasser



Wasserwerk Dresden-Hosterwitz

Grundriss einer typischen Wasserbehandlungsanlage für die öffentliche Versorgung



Grenzwerte für chemische Stoffe

Bezeichnung	Grenzwert (mg/l)	zulässiger Fehler (mg/l)
Arsen	0,01	0,005
Blei	0,04	0,02
Cadmium	0,005	0,002
Chrom	0,05	0,01
Cyanid	0,05	0,01
Fluorid	1,5	0,2
Nickel	0,05	0,01
Nitrat	50	2
Nitrit	0,1	0,02
Quecksilber	0,001	0,0005
Polycyclische arom. Kohlenwasserstoffe	0,0002	0,00004
Organische Chlorverbindungen		
-1,1,1-Trichlorethan, Trichlorethylen,	0,01	0,004
Tetrachlorethylen, Dichlormethan		
- Tetrachlorkohlenstoff	0,003	0,001
a) organisch-chemische Stoffe zur Pflanzen-	einzelne Substanz	
behandlung und Schädlingsbekämpfung ein-	0,0001	0,00005
schließlich ihrer toxischen Hauptabbauprodukte		
	insgesamt 0,0005	0,0002
b) Polychlorierte, polybromierte Biphenyle und Terphenyle		

3.4 Belastung des Wassers

3.4.1 Anorganika

Wasserbelastung - Anorganika

- Thermische Verschmutzung

3/4 des Abwassers ist Kühlwasser

- Salzfrachten

Sulfate, Chloride, Nitrate, Phosphate

Quellen: Salzbergbau

Weser: 27 g Salz pro Liter Flußwasser \Rightarrow salziger als die

Ostsee, entspricht 5,5 Mio. t Salz im Jahr \Rightarrow Kalibergbau

Phosphat-, Nitrateintrag \Rightarrow Nährstoffüberangebot

Folge ist „Algenblüte“ - „Eutrophierung der Gewässer“

- Schwermetallbelastungen

Quecksilber, Cadmium, Blei

Rückgang in den letzten Jahren durch strenge Gesetzgebung
relativ schnelle Anreicherung in Klärschlämmen

3.4.1 Organika

Wasserbelastung - Organika

- NOM (Natural Organic Matter)**
Huminstoffe, Lignine...
- Organische Chemikalien, Waschmittel**

*Für unsere Ernährung, das Wohlbefinden und die Hygiene machen wir aus Trinkwasser
Im Haushalt Abwasser.*

Aber wir setzen viele Komponenten für unsere „Schönheit“ zu... es soll ein Eindruck dazu vermittelt werden.

Waschmittelverbrauch in D

- Mehr als **600 000 Tonnen Waschmittel** finden jährlich in deutschen Haushalten Verwendung
- Hinzu kommen ca. 200 000 t Weichspüler, ca. 220 000 t Haushaltsreiniger und ca. 250 000 t Geschirreiniger

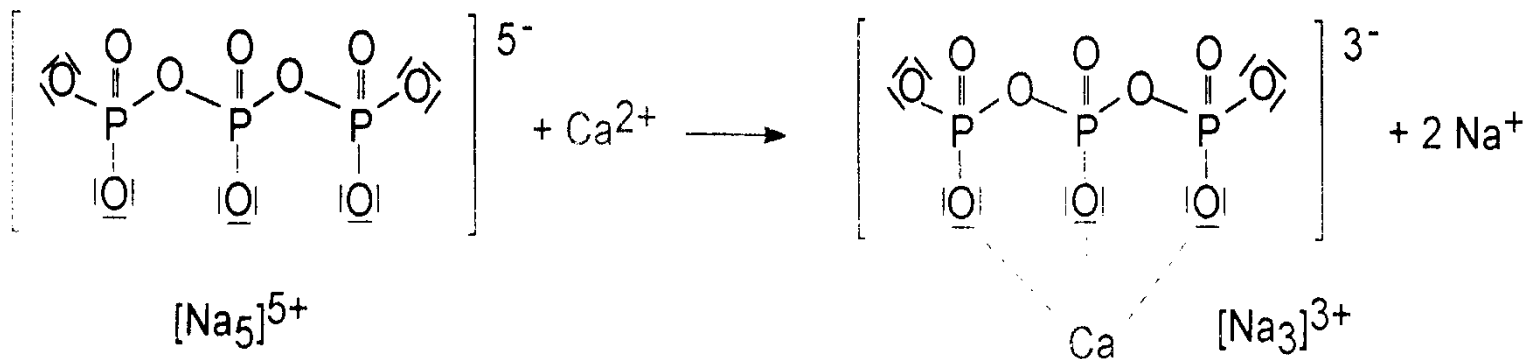
Belastung des Wassers durch Chemikalien in Waschmitteln

- Phosphate, Phosphatersatzstoffe (Bindung der Kalziumionen)**
- Natriumperborat (Bleichmittel)**
- Magnesiumsilicat, EDTA (Bleichmittelstabilisatoren)**
- Tenside: anionische, kationische, (Reinigungsmittel)**
- Silikone, Trialkylmelamin-Derivate (Schaumregulatoren)**
- Carboxymethylcellulose (Vergrauungsinhibitoren)**
- Cumarin, Furan-, Stilben- oder Triazofarbstoffe (Optische Aufheller)**
- Enzyme (Beseitigung z.B. von Blutflecken)**

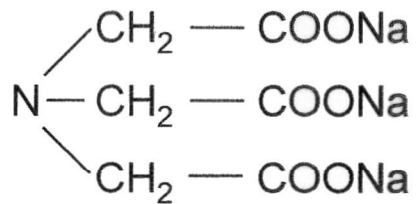
Phosphate

- machen mengenmäßig bis zu 40 % eines Vollwaschmittels aus
- sollen Ca^{2+} -Ionen binden und damit die Wirkungsweise der Tenside garantieren

Pentanatriumtriphosphat

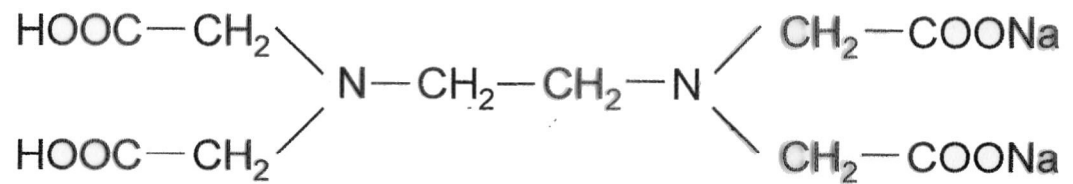


Phosphatersatzstoffe



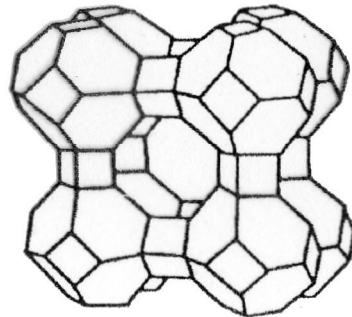
NTA

(Nitrilotriessigsäure, Na-Salz)



EDTA

(Ethylendiamintetraessigsäure, Na-Salz)



Ionenaustauscher $\text{Na}^+ \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+}$

Zeolithe ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$)

Bleichmittel

- $\text{NaBO}_2(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ Natriumperborat

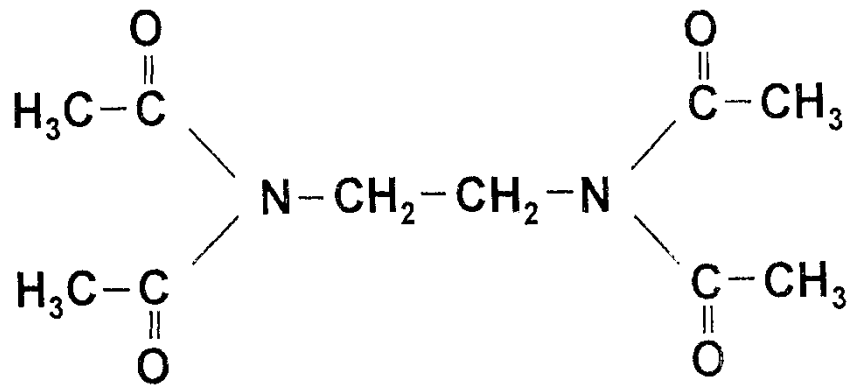
- Freisetzung „aktiven“ Sauerstoffs



- oxidative Zerstörung organischer Moleküle

Bleichaktivatoren

- $\text{NaBO}_2(\text{OH})_2$ bleicht erst bei Temperaturen $> 60^\circ\text{C}$ gut
- Aktivatoren (Acylierungsmittel) reagieren mit Natriumperborat zu Persäuren, die unterhalb von 60°C oxidativ wirken



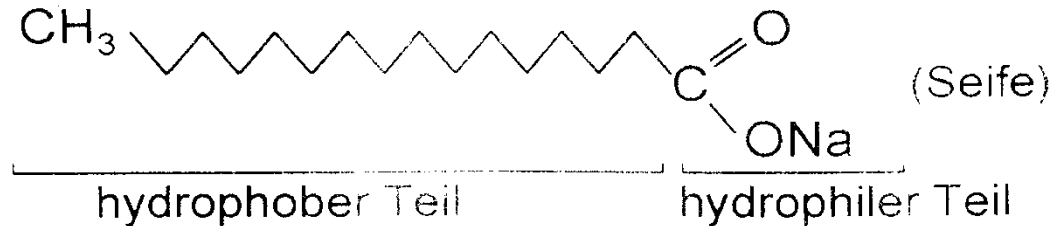
TAED (Tetraacetyylethyldiamin)

- reagiert mit H_2O_2 zu Peressigsäure $\text{CH}_3-\text{C}(\text{O})\text{OOH}$
 \Rightarrow oxidatives Bleichmittel

Bleichmittelstabilisatoren

- Magnesiumsilikat oder EDTA
- binden Spuren von Schwermetallionen (Mn^{2+} , Fe^{3+} , Cu^{2+}), die sonst eine katalytische Zersetzung des Perborats bewirken

Tenside



- **Schmutzablösung durch Zusammenspiel von hydrophoben und hydrophilen Teilen**

(Verringerung der Oberflächenspannung des Wassers)

- **Anion-Tenside:**

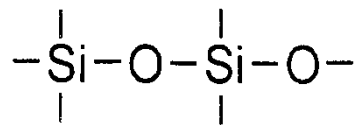
R-COO^-	Carboxylate
R-SO_3^-	Sulfonate
R-O-SO_3^-	Sulfate
- **Niotenside:**

nichtionische Tenside	
$\text{R-(O-CH}_2\text{-CH}_2)_n\text{-OH}$	Polyalkohole
- **Kation-Tenside:** $(\text{R}_4\text{N})^+\text{Cl}$
- **ampholytische Tenside:** $(\text{R}_4\text{N})^+\text{-CH}_2\text{-COO}^-$

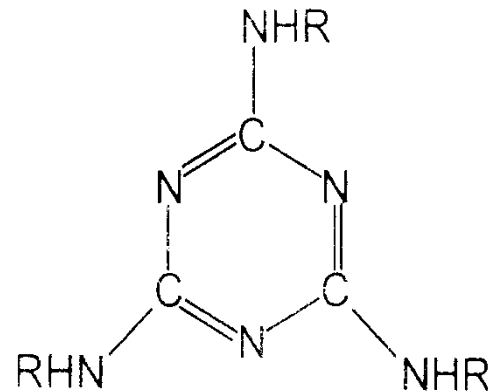
- **Ca^{2+} -Ionen (hartes Wasser!!) bilden mit Tensiden aber unlösliche Verbindungen \Rightarrow daher Enthärter oder Gerüststoffe**

Schaumregulatoren

- verhindert zu heftiges Schäumen in der Waschmaschine
- höhermolekulare Seifen (12 - 22 C-Atome)
- Silikone, Trialkylmelamin-Derivate



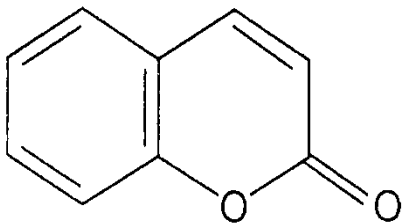
Silikon



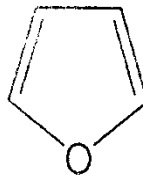
Trialkylmelamin

Optische Aufheller

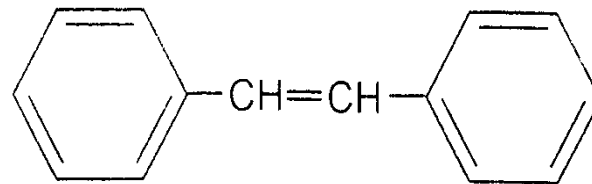
- **Fluoreszenzfarbstoffe, die UV-Strahlung absorbieren und längerwelliges (blaues) Licht wieder abstrahlen**
- **Cumarin, Furan-, Stilben- oder Triazofarbstoffe**



Cumarin



Furan

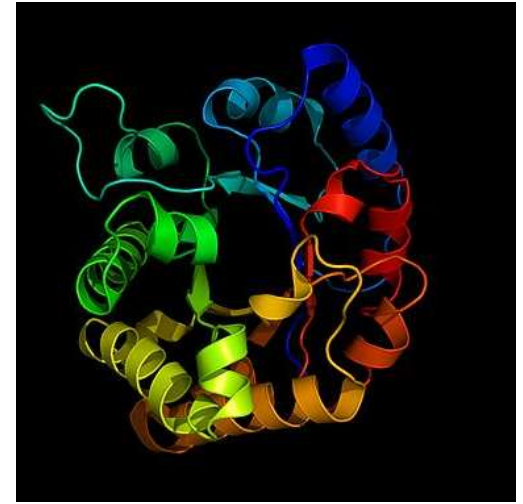


Stilben

Vergrauungsinhibitoren

- **nichtionische, polymere Verbindungen, die verhindern, daß sich bereits abgelöste Schmutzpartikel wieder auf der Faser absetzen**
- **bilden dünne Schichten auf Fasern und Schmutzteilchen**
- **oft Carboxymethylcellulose: OH-Gruppen der Zellulose sind durch $-O-CH_2-COOH$ -Gruppen ersetzt**

Enzyme (Fermente)



- **eiweißspaltende Enzyme (Proteasen) zur Spaltung nicht wasserlöslicher Eiweiße (Blutflecken)
⇒ Spaltung der Peptid- und Esterverbindungen**
- **Amylasen (Spaltung kohlehydratartiger Verschmutzungen)**

Belastung des Wassers durch Chemikalien in Waschmitteln

- Phosphate, Phosphatersatzstoffe (Bindung der Kalziumionen)**
- Natriumperborat (Bleichmittel)**
- Magnesiumsilicat, EDTA (Bleichmittelstabilisatoren)**
- Tenside: anionische, kationische, (Reinigungsmittel)**
- Silikone, Trialkylmelamin-Derivate (Schaumregulatoren)**
- Carboxymethylcellulose (Vergrauungsinhibitoren)**
- Cumarin, Furan-, Stilben- oder Triazofarbstoffe (Optische Aufheller)**
- Enzyme (Beseitigung z.B. von Blutflecken)**

3.5 Abwasserreinigung

Belastungen im Abwasser

- Thermische Verschmutzung
- Salzfrachten, incl. Schwermetalle
- Organika (Waschmittel)
- Organika (Arzneimittel)
- Mikroorganismen
- Exkreme (Toilettenartikel)

→ *Auftreten im Abwasser als gelöste Stoffe und Partikel/Kolloide*

- Feststoffe (Sand, Materialien...)

Prinzipien der Abwasserreinigung

- hoher Durchsatz, robuste Verfahren
- Technologien der Abwasser- und Trinkwasseraufbereitung

weisen immer mehr Gemeinsamkeiten auf

* z.B. Einsatz von Fällungs- und Flockungschemikalien

- Anpassung der eingesetzten Verfahren an Inhaltsstoffe der verschiedenen Abwasserarten:

Häusliche Schmutzwasser und gewerbliche Schmutzwasser

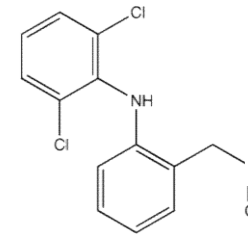
(z.B. aus Beizereien/Galvanisierbetrieben, Bergwerken, Brauereien, chemische Industrie, Textil-Färberei/Reinigung, Kokerei/Stahlindustrie, Tankstellen, Papier/Zellstoffindustrie)

Grundprinzip:

- Mechanische Reinigungsstufe
- Biologische Reinigungsstufe
- Chemische Reinigungsstufe

Klieranlage:

Derzeit keine Auslegung für die vollständige Reinigung von Arzneimittelrückständen



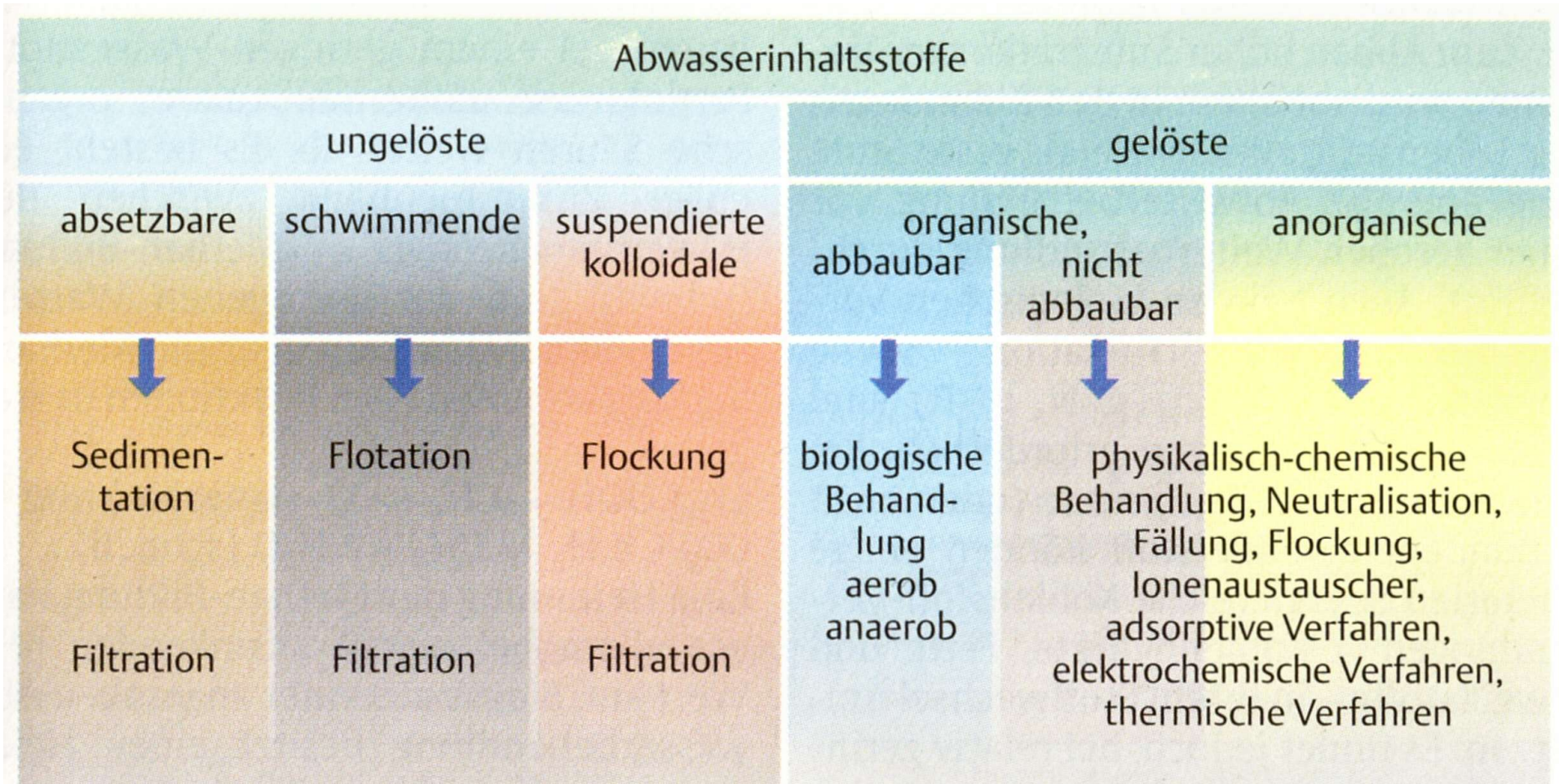
Wirkstoff Diclofenac, z.B.:

- schwer abbaubares Schmerzmittel,
- Verbrauch in Deutschland 90 t/a,
- bei oraler Einnahme verlassen 70 % des Wirkstoffs unverändert den Organismus
- bei äußerer Anwendung gelangen bis zu 95 % in das Abwasser,

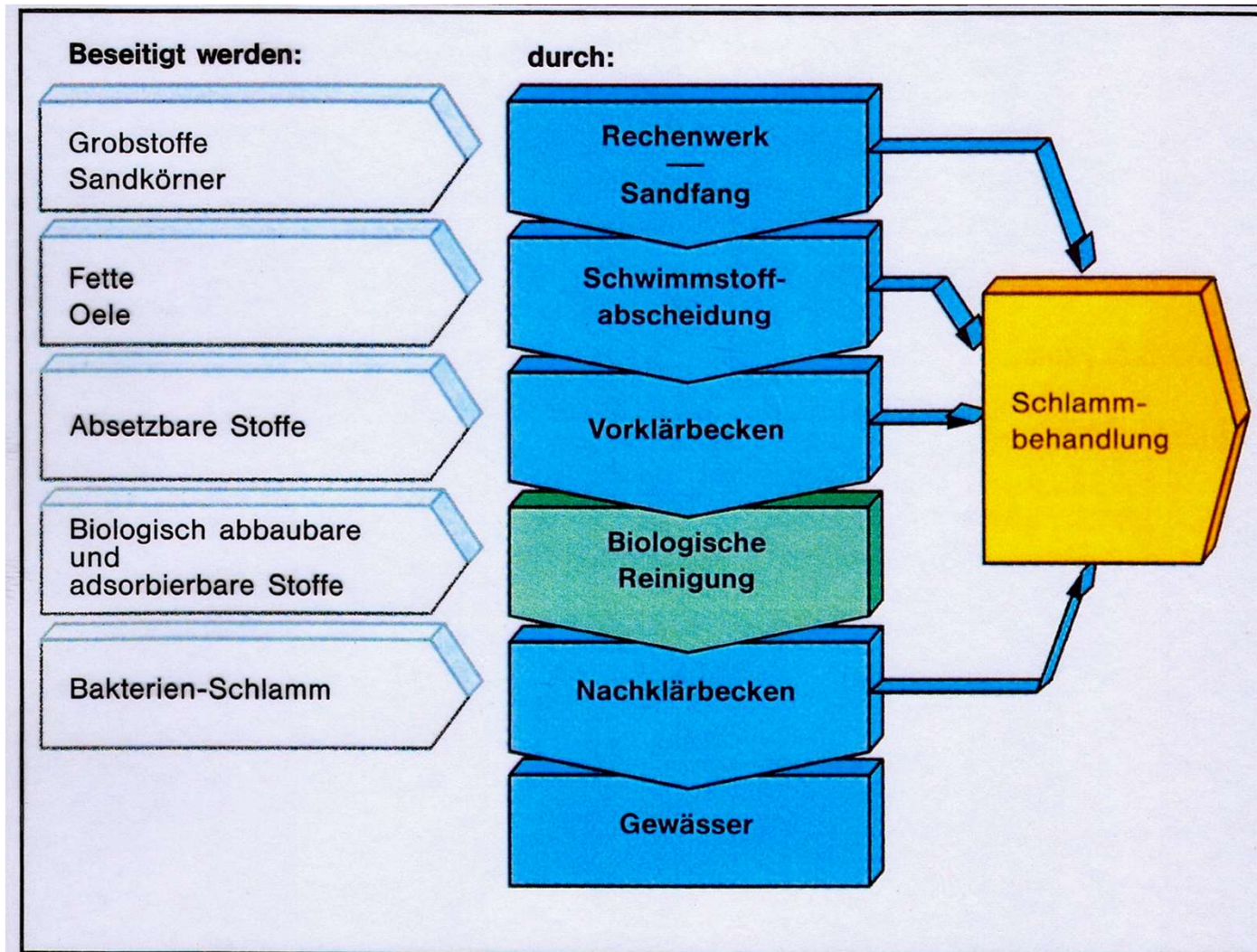
- **Nachweis einer negativen Langzeitwirkung auf die Fischgesundheit.**

Neue Abwasserreinigungsstufen technologisch ergänzen ...

Abwasser, mögliche Behandlung



Technik der Abwasserreinigung



Mechanische Reinigungsstufe

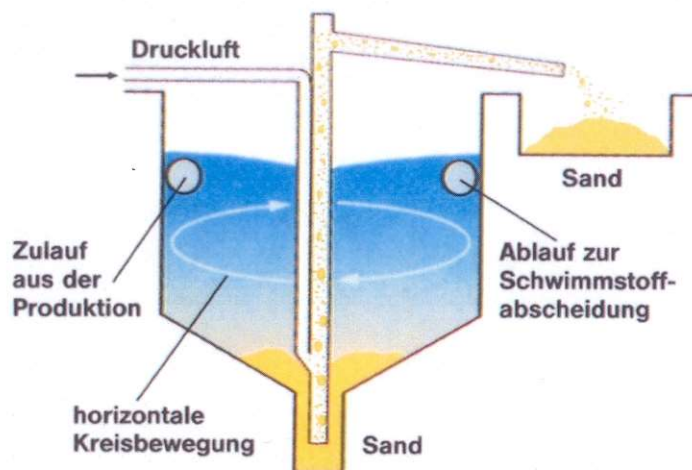
- Abtrennung fester Bestandteile

- * Grobrechen**
- * Feinrechen**
- * Schwimmstoffabscheidung**
- * Absetzer**

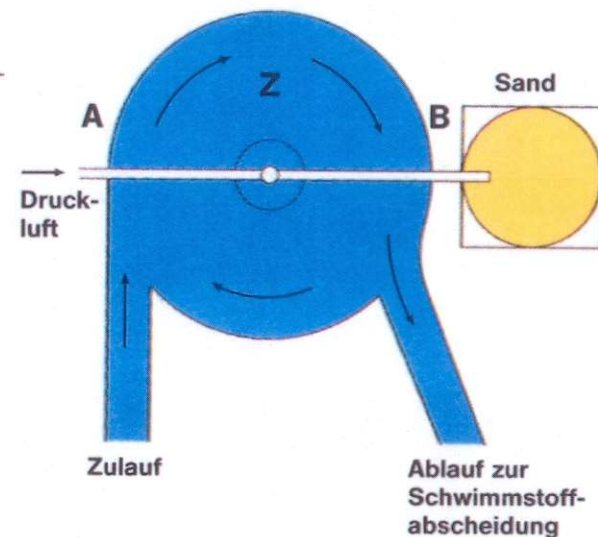
Mechanische Reinigung I

Sandfang

Querschnitt A-B



Aufsicht



8.)

Dimensionen:

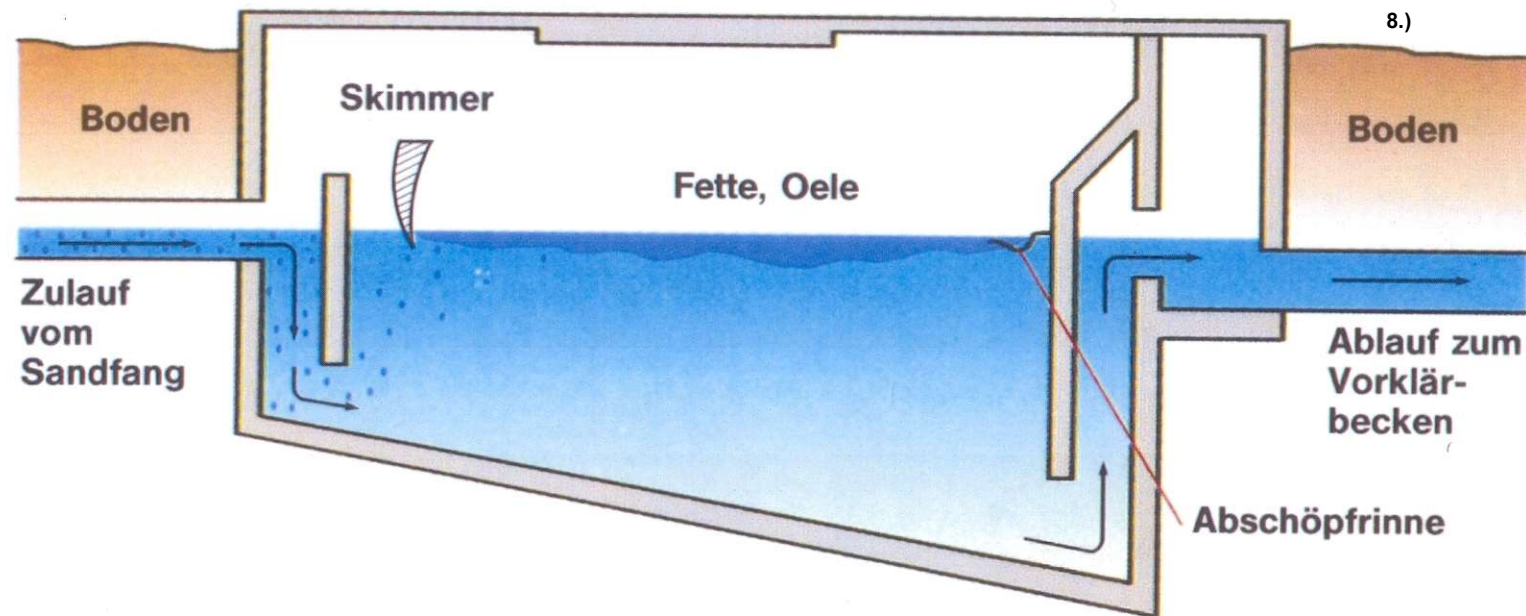
Strömungsgeschwindigkeit in der Abtrennzone Z: 30cm/sec

Durchmesser des Sandfangs je nach Abwassermenge etwa 0,5 bis 5 m

Korndurchmesser der abgetrennten Grobstoffe > 0,1 mm

Mechanische Reinigung II

Schwimmstoffabscheidung

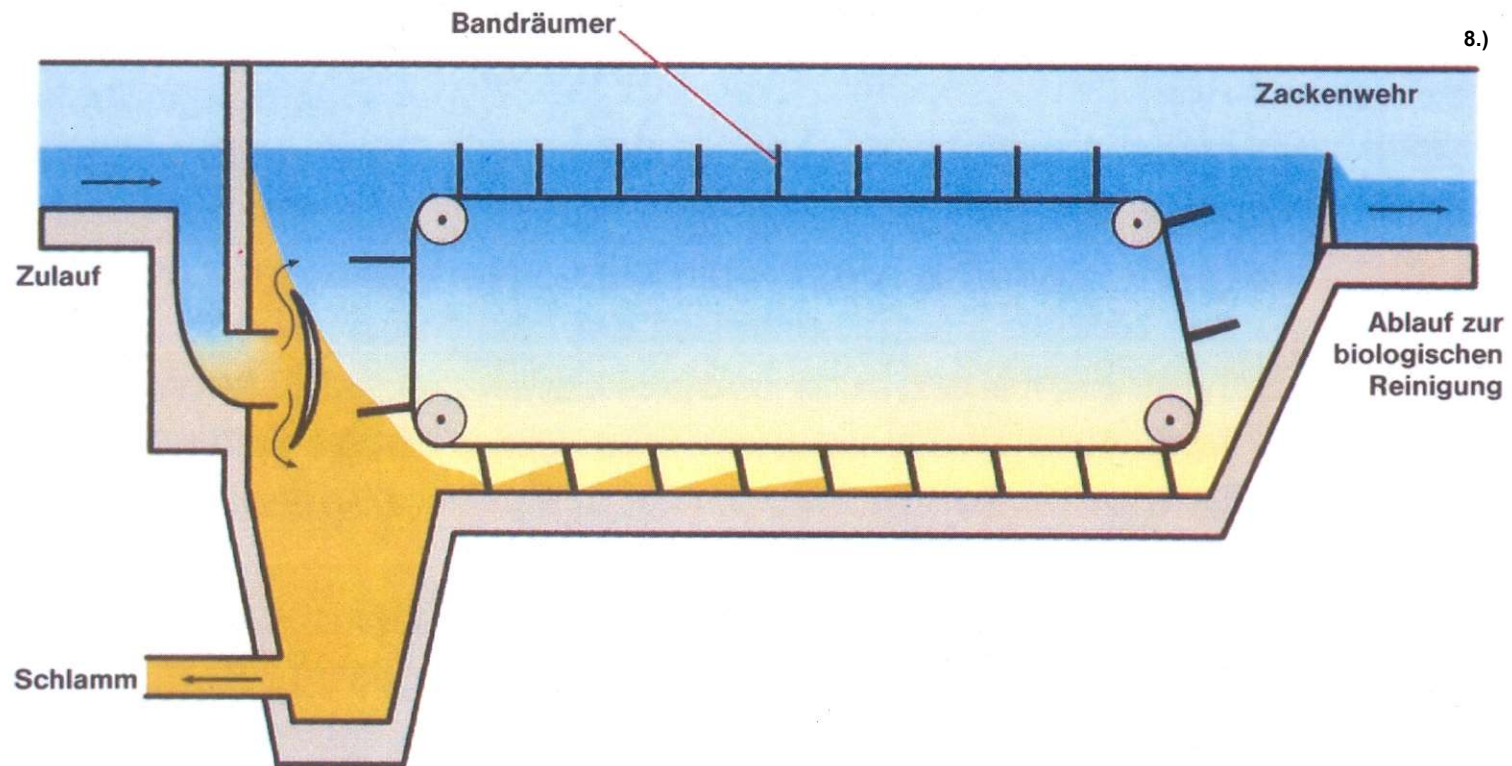


Dimensionen:

Aufsteiggeschwindigkeit von Öl- oder Fettteilchen abgestimmt
Beispiel Benzin: zulässig 18 m^3 Abwasser / m^3 Oberfläche und Stunde

Mechanische Reinigung III

Vorklärbecken / Nachklärbecken

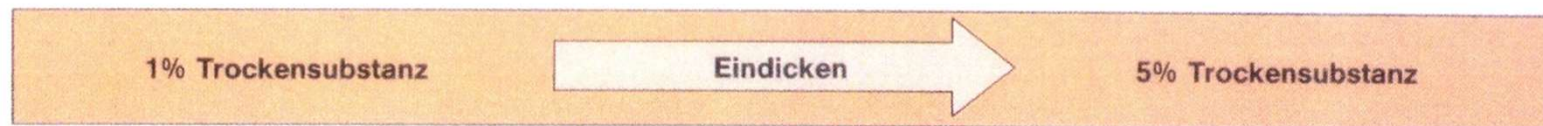
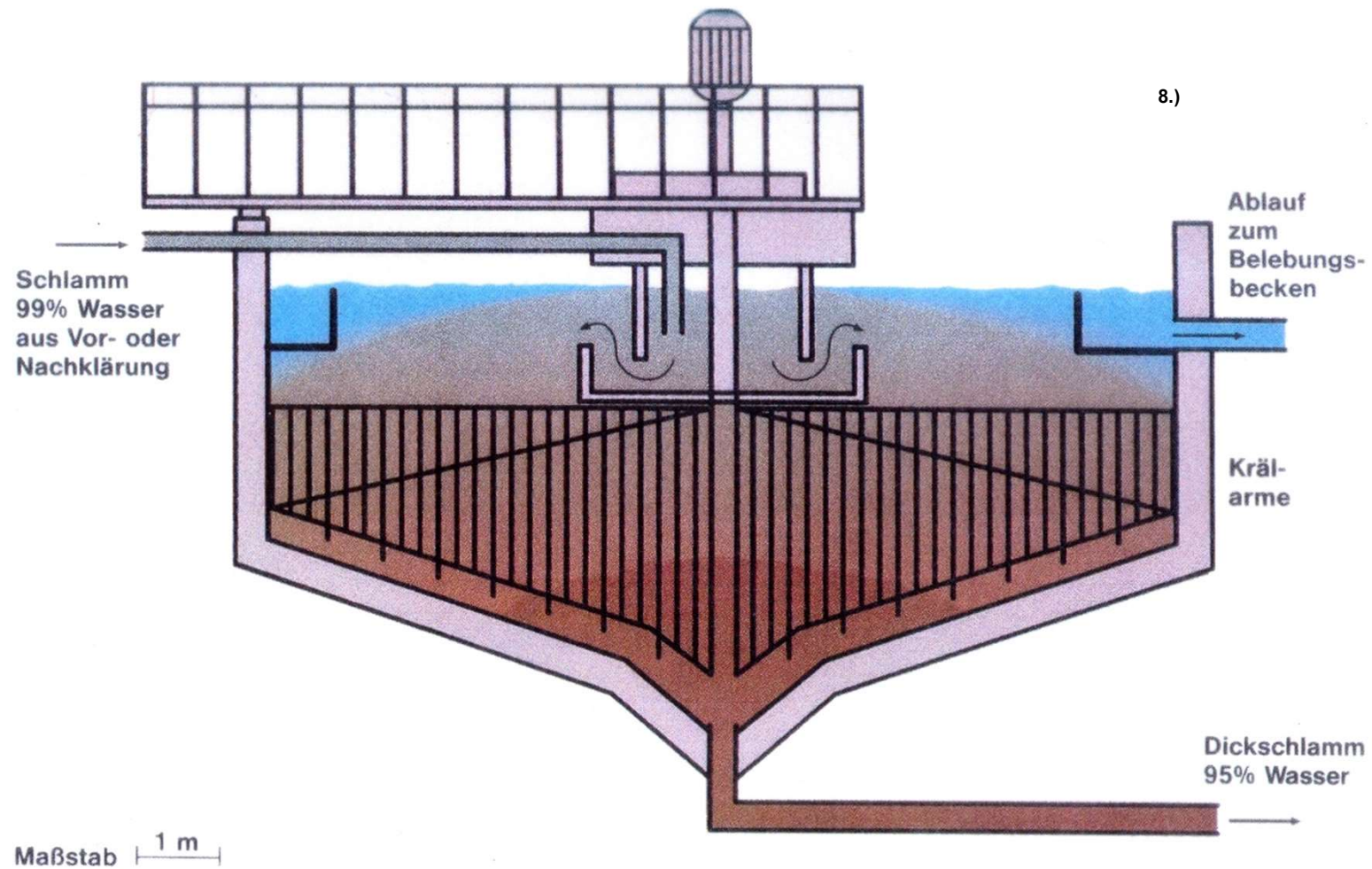


Dimensionen:

Vorklärbecken: 1-6 m³ Abwasser / m³ Oberfläche und Stunde

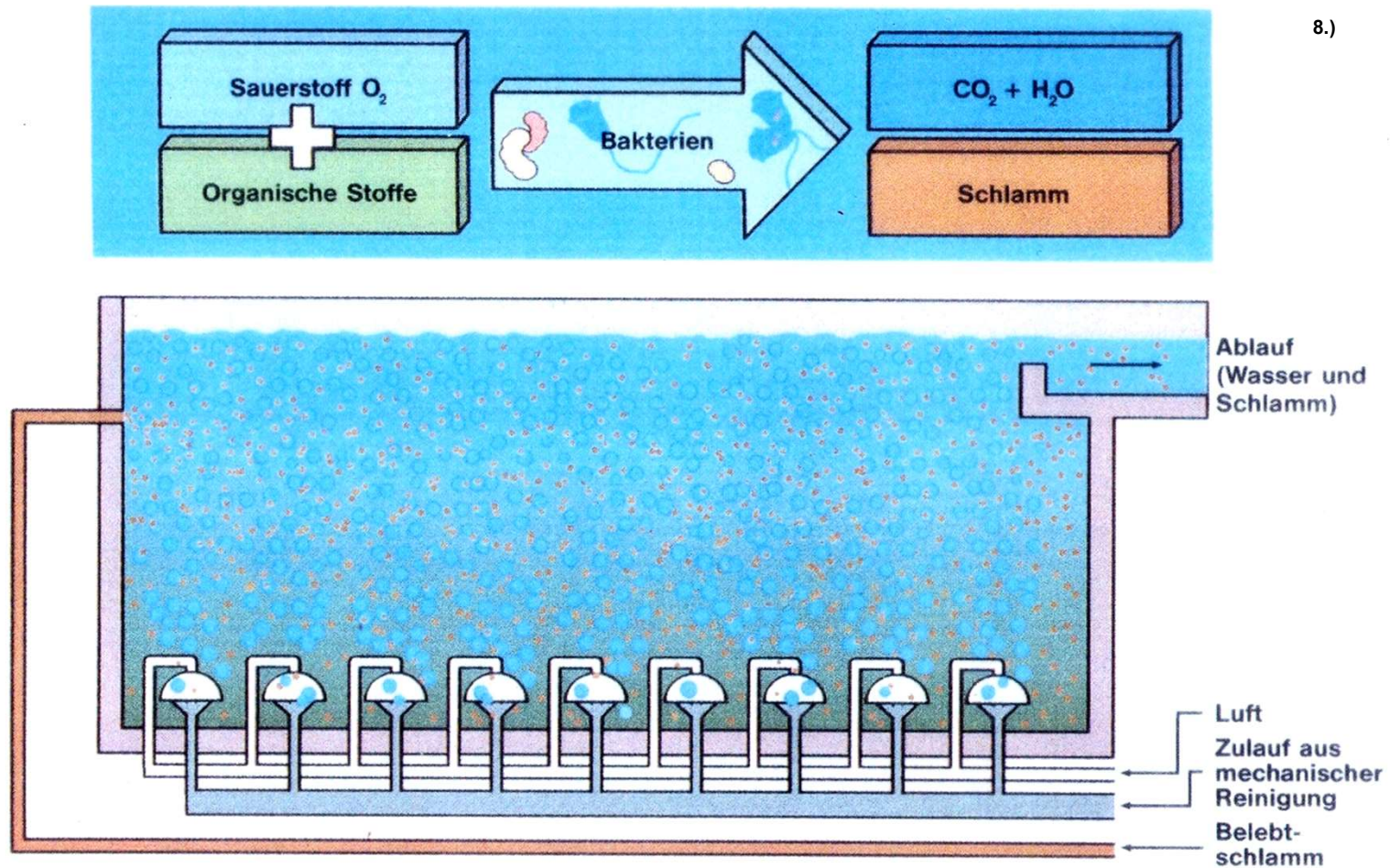
Nachklärbecken: 0,4-2 m³ Abwasser / m³ Oberfläche und Stunde

Schlammbehandlung, Eindicken



Biologische Reinigung

Belebungsbecken



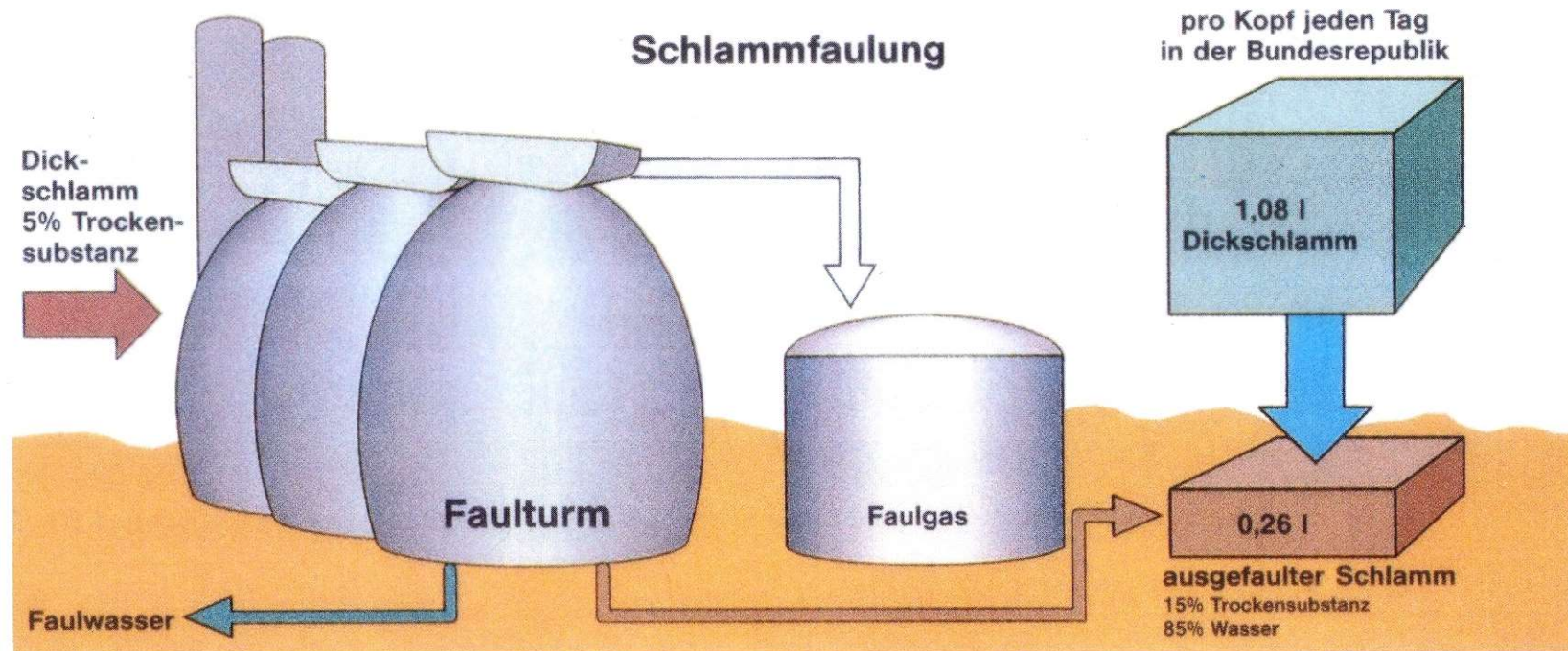
Dimensionen:

z.B. kommunale Abwässer: 2 m³ Abwasser / m³ Becken und Tag

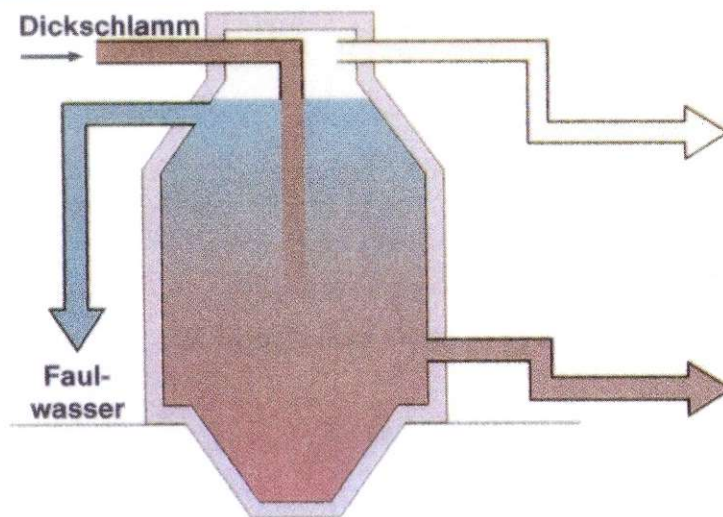
Biologische Anlage im Klärwerk Dresden



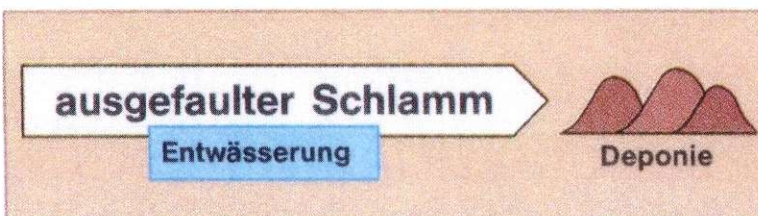
Schlammbehandlungen in kommunalen Anlagen



8.)



Faulgas: Methan $\text{CH}_4 \approx 70\%$
 Kohlendioxid $\text{CO}_2 \approx 30\%$
 Energieinhalt: 20.000 - 30.000 kJ pro m^3



Bioabbau

- **Bioabbau** ist die Mineralisierung von organischen Stoffen vor allem durch Mikroorganismen (Bakterien, Pilze, Algen)
- Maß der Persistenz von organischen Stoffen (Schadstoffen) ist die Bildungsrate von CO_2 , H_2O
- Bioabbau ist an Wachstum der Mikroorganismen gekoppelt:
„Organisches Substrat kann Schadstoff selbst sein...“

 **Wachstumsbedingungen für Mikroorganismen verbessern**

Biologische Reinigungsstufe

Anwendbarkeit biologischer Verfahren nach Schadstoffgruppen

Schadstoff		Eignung
Nichthalogenierte KW	Aliphaten	+++
	Aliphaten (Teer)	++
	Aromaten	+++
	PAK	++
Halogenierte KW	Leichte, niedrigchloriert	+++
	Leichte, hochchloriert	++
	Pestizide	+
	PVC	+

+: Prinzipiell abbaubar, technisch unerprobt

++: Eingeschränkt abbaubar

+++ : Problemlos abbaubar

Biologische Reinigungsstufe

- Mikrobieller Abbau auf aerobem und anaeroben Wege

Teil 1:

<i>Abbau von Glucose</i>	aerober Abbau	anaerober Abbau
Gleichungen	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ $\Delta_R H = -2700 \text{ kJ}$	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 3\text{CO}_2 + 3\text{CH}_4$ $\Delta_R H = -140 \text{ kJ}$
Spezifische Energieausbeute	15 kJ/g Glucose	0,8 kJ/g Glucose
Biomasseproduktion bei 50 %igem Energieeinsatz und einem Energieäquivalent von 20 kJ/g Biomasse	$\frac{15 \text{ kJ/g} \cdot 0,5}{20 \text{ kJ/g}}$ $= 0,38 \text{ g Biomasse /g Glucose}$	$\frac{0,8 \text{ kJ/g} \cdot 0,5}{20 \text{ kJ/g}}$ $= 0,02 \text{ g Biomasse /g Glucose}$

Biologische Reinigungsstufe

- Mikrobieller Abbau auf aerobem und anaeroben Wege

Teil 2:

	aerober Abbau	anaerober Abbau
<i>Abbauprozesse (allgemein)</i>		
- Reaktionsprodukte	- CO_2 , H_2O , NH_3 bzw. NO_2^- und NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}	- CO_2 , CH_4 , NH_3 , S_2^- , HS^-
- Vorteile	- Geruchlosigkeit - Mineralisierung aller gut abbaubaren Verbindungen	- geringe Schlammproduktion - wertvolles Endprodukt (Methan)
- Nachteile	- hoher Energieverbrauch für Sauerstoffeintrag und Turbulenzerzeugung - starke Schlammproduktion	- Geruchsbelästigungen (H_2S , NH_3) - geringere Stabilität der Prozesse - Korrosion durch H_2SO_4 (mikrobielle H_2S -Oxydation)

Kläranlagen... Abwasserbehandlung ...Energiegewinnung



- Gesteuerte Durchführung anaerober Abbauprozesse,
- Gebildetes Methan energetisch nutzen,
- u.a. Energie für Eigenbedarf der Kläranlage

Faulgas:

$\text{CH}_4 \dots \text{H}_2\text{S}$,

Bildung:

- Zersetzung kohlenwasserstoffreiche Verbindungen
(Anaerobe Gärung durch Bakterien bzw. Archeen)

Faulturm

Spezielle Verfahren der Abwasserreinigung

Überführen gelöster Abwasserinhaltsstoffe in ungelöste	Fällung, Flockung, Neutralisation
Abtrennen der festen Phase aus Abwasser	Sedimentation, Flotation, Zentrifugation, Filtration
Wechsel eines Abwasserbestandteiles in die Gasphase	Destillation, Strippung, Eindampfung
Wechsel eines Abwasserinhaltsstoffes in eine zweite Flüssigphase	Extraktion (Wechsel in eine nicht wasserlösliche Flüssigkeit) Reverse Osmose und Ultrafiltration (Wechsel in eine wässrige Phase durch eine Membran)
Fixierung eines Abwasserinhaltsstoffes auf Festkörpern	Adsorption (z.B. Aktivkohle), Ionenaustausch
Oxidation eines Abwasserinhaltsstoffes	Chemische Oxidation (mit Salpetersäure; H_2O_2 ; O_3 ; KMnO_4 usw.) Thermische Oxidation mit Luftsauerstoff bei 800 bis 1.200 °C (Verbrennung) bei 150 bis 300 °C unter Druck (Naßoxidation)

Physikalisch-chemische Reinigungsstufe

Methode	Anwendungsbeispiele
Fällung	Schwermetalle in Form von Hydroxiden und Oxidhydraten, CN^- als Berlinerblau; F^- als CaF_2 , Fe, Al, Ca als Phosphate
Oxidation	Farbstoffe, H_2S , CN^- werden mit Chlor oder KMnO_4 oxidiert
Reduktion	CrO_4^{2-} wird durch NaHSO_3 zu Cr^{3+} reduziert und als $\text{Cr}(\text{OH})_3$
Neutralisation	ausgefällt. Säurehaltige Abwässer werden neutralisiert.
Adsorption	z.B. Entfernung von aromatischen Kohlenwasserstoffen mit
Austauscher-adsorption	Aktivkohle. Abscheidung von gelösten Buntmetallionen an Austauschern.
Flotation	Erztrüben, Abscheidung von Öl und Fett, Pflanzenleimen usw. Abwässer aus Papier- und Zellstofffabriken
Zentrifugieren	Fette und Öle oder Kohlenwasserstoffe in Abwässern
Extraktion	Benzol, Leichtöle, Phenole
Elektrolyse	Aufbereitung von kupfer-, nickel-, chrom- oder silberhaltigen Abwässern aus Beizereien, Galvanisieranstalten, Fotogroßlabors

Chemische Reinigungsstufe

Methoden/Reaktanden

- Neutralisation

- * pH-Werteinstellung

- z.B. Zugabe von Schwefelsäure, Salzsäure; Natronlauge, Kalkmilch

- Redoxreaktionen

- * HS⁻, Sulfit, Fe²⁺-Entfernung

- z.B. durch NaClO, H₂O₂, O₃- Zugabe

- Oxidation

- * Entfernung von Eiweißen, Organika

- UV-Bestrahlung, Zugabe von O₂, O₃

- Fällungsreaktionen

- * Entfernung von Schwermetallen

- pH-Wert Einstellung, Fällreagenzien (z.B. Na₂S, OH⁻)

Anforderungen an eingeleitete Schmutzwässer

- neutraler pH-Wert
- ambiente Temperatur
- niedrige Salzfracht
- geringer Gehalt an Organika
- keine giftigen Substanzen
- keine krankheitserregende Mikroorganismen

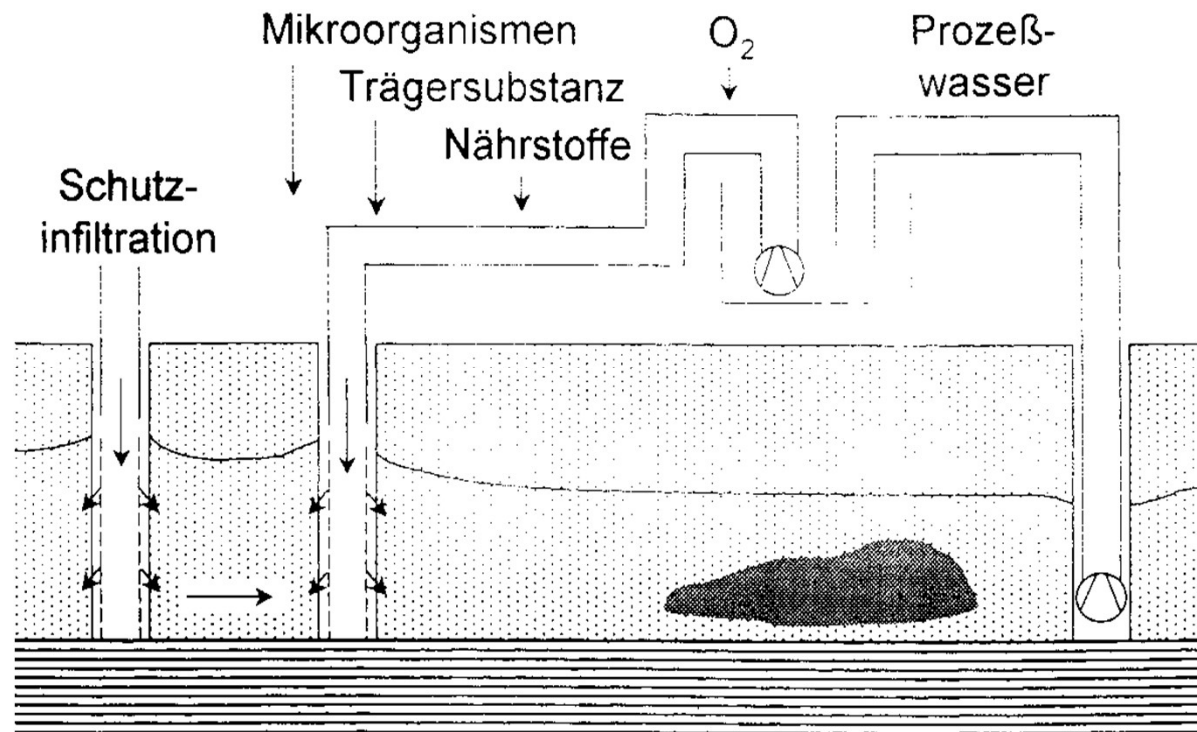
7.2.2 Reinigung kontaminierter Grundwässer

Grundwasserreinigungsverfahren

- Spülverfahren „pump and treat-Verfahren“ (1)
- Einbau permeabler Reaktionswände (2)

- Spülverfahren „pump and treat-Verfahren“ (1)

Darstellung eines **Spülkreislaufs** kombiniert mit einer Schutzinfiltration für die gesättigte Zone



- Einbau permeabler Reaktionswände (2)

- Entwicklung passiver durchlässiger Reaktions- und Adsorptionswände
- Wände in Grundwasserabfluss eingebaut, Barriere für Schadstoffe
- Adsorptionsmaterial z.B. Aktivkohle, Torf
- auch reaktive Schichten: Mikroorganismen, metallisches Fe, Cr(VI) zu Cr(III)

