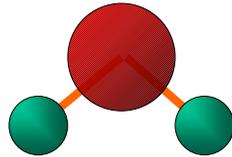


Vorlesung „Wasserinhaltsstoffe“

Teil 1: Anorganische Wasserinhaltsstoffe



Dr. Thomas Dittmar

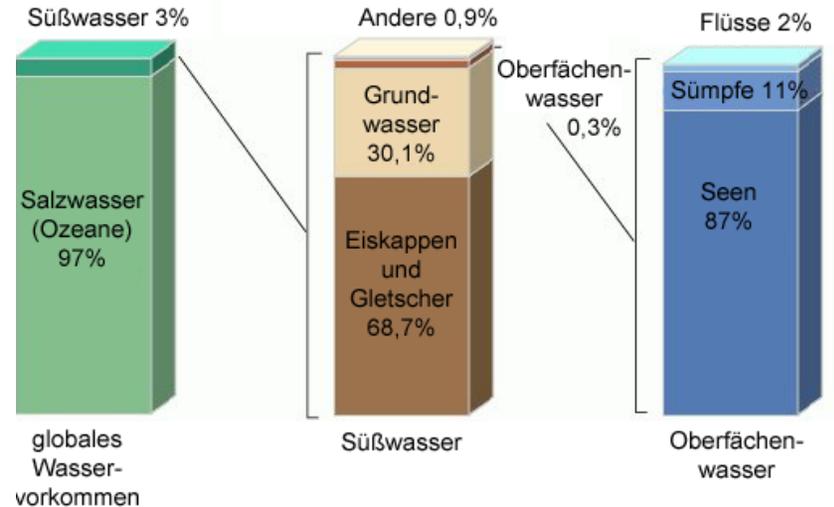
04/2011

Inhalt

- (1) Erklärung von Grundbegriffen und Abhängigkeiten zum Eintrag von Stoffen in die Hydrosphäre**
- (2) Anorganische Kationen**
- (3) Anorganische Anionen**
- (4) Gase**
- (5) Schwermetalle → bedeutendste anorganische Wasserschadstoffe**
- (6) Radionuklide**

Wasser - „unendliche“ Ressource

Wasserverteilung auf der Erde



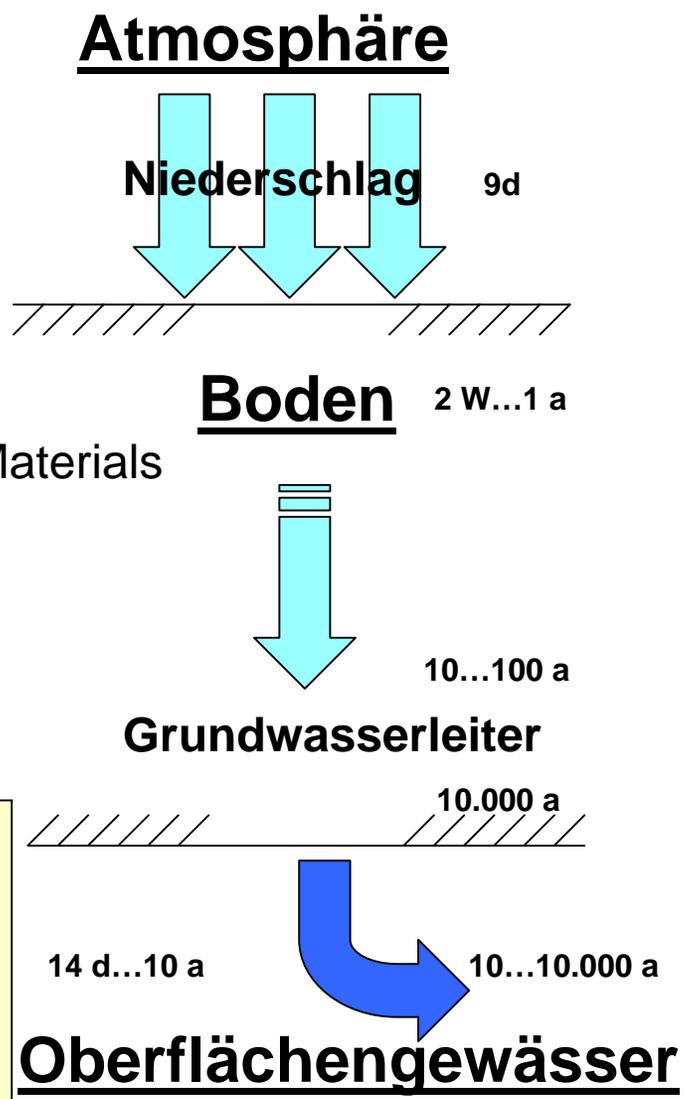
Vorräte	Wasserart	Menge [km ³]	Prozent [%]
nicht nutzbar	Salzwasser	1,321 Mrd.	99,351
	Eiskappen und Pole	0,029 Mrd.	
	Atmosphäre	13.000	
nutzbar	Oberflächenwasser	230.000	0,649
	Grundwasser	8.595.000	
Gesamt	Globaler Wasservorrat	1,359 Mrd.	100

Eintrag von natürlichen und anthropogenen Stoffen in die Hydrosphäre

- ++ feuchte Deposition
- + gelöste Gase (z.B. NO_x)
- + Salze (z.B. NaCl)
- + Staub (z.B. Schwermetalle)
- + org. Stoffe

- ++ Lösung aus Mineralien / Verwitterung
- + Lösung der Abbauprodukte organischen Materials
- +/- gelöste Gase (v. a. Absorption von CO_2)
- +/- Ionenaustausch an Feststoffen
- +/- Adsorption/Desorption an Feststoffen
- +/- chemische/biochemische Umwandlung
- Ausfällung = Bildung neuer Minerale

Beschaffenheit:
 Σ Prozesse im Einzugsgebiet
natürlichen Prozesse (abiot./biot.)
anthropogener Einfluss (Schadstoffeintrag)



Anthropogene Wasserinhaltsstoffe

Belastung der Umweltkompartimente durch:

- 60 000 – 100 000 synthetische Verbindungen (Deutschland ca. 134 Mio t/a)

Umweltchemikalien → Xenobiotika

- *Hauptanwendungsgebiete (EU):*

- 80 000 Industrie- und Haushaltchemikalien
- 5500 Lebensmittelzusatzstoffe
- 4000 pharmazeutische Wirkstoffe
- 1500 Pflanzenschutzmittel

- 90 % der produzierten Gesamtmenge verteilen sich auf 3000 Einzelstoffe

- *Eintragswege anthropogener Stoffe in aquatische Systeme:*

- direkt bei der Produktion über das Abwasser
- beim Versagen sicherheitstechnischer Einrichtungen
- indirekter Eintrag (z.B. atmosphärische Deposition von Verbrennungsprodukten)
- Endverbrauch, z.B. Anwendung von Pflanzenschutzmitteln und Düngemitteln

Anthropogene Wasserinhaltsstoffe

Tabelle 4.3-1: Produktion der Chemischen Industrie in Deutschland im Jahr 2000, aufgeschlüsselt nach Chemiesparten (Abgrenzung des VCI)

Chemiesparten	in Klammern: WZ-Nummern	Produktion 2000 (t)	%
Anorganische Grundchemikalien		40.562.649	30,3
	Industriegase (2411)	17.371.801	13,0
	Anorganische Grundstoffe (2413)	23.190.848	17,3
Petrochemikalien und Derivate	Petrochemikalien und Derivate (2414)	50.398.712	37,6
Polymere		17.981.575	13,4
	Kunststoffe (2416)	16.070.994	12,0
	Synthetischer Kautschuk (2417)	850.719	0,6
	Chemiefasern (247)	1.059.862	0,8
Fein- und Spezialchemikalien		10.205.027	7,6
	Farbstoffe und Pigmente (2412)	1.923.541	1,4
	Anstrichmittel, Druckfarben und Kitte (243)	3.847.086	2,9
	Sonstige chemische Erzeugnisse (246)	4.434.400	3,3
Pharmazeutika	Pharmazeutika (244)	839.143	0,6
Agrochemikalien		10.768.577	8,0
	Düngemittel und Stickstoffverbindungen (2415)	10.684.440	8,0
	Schädlingsbekämpfungs- und Pflanzenschutzmittel (242)	84.137	0,1
Seifen, Wasch- und Körperpflegemittel	Seifen, Wasch- und Körperpflegemittel (245)	3.207.920	2,4
SUMME¹		133.963.603	100

¹ ohne Produktionsmengen der Chemikalien, die sich nicht in Tonnen umrechnen lassen

Eigenschaften von Wasserschadstoffen

Stoffeigenschaften, die besonders zur Bedrohung/Schädigung von aquatischen Systemen führen:

- hohe **Mobilität** (ausreichende Wasserlöslichkeit, geringe Sorptionsneigung)
- hohe **Persistenz** (geringe biochemische bzw. chemisch-physikalische Abbaubarkeit)
- hohe **Toxizität** verbunden mit **hoher Bioakkumulation** gegenüber niederen und höheren Lebewesen (Schwermetalle, Radionuklide)

Voraussetzung:

Schadstoffe müssen in **(größeren) Mengen erzeugt** und **angewandt** werden oder **weit verbreitet** sein (**Produktions- u. Anwendungsmenge**)

Globale Verteilung und Nutzung

Wasserpotential [m³/pers./a]

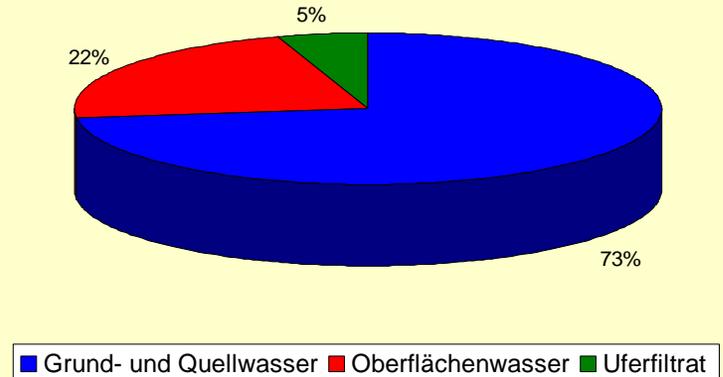
(= Niederschlag+Zufluss+Abfluss-Verdunstung)

Kuwait 10
Saudi Arabien 111
Israel 346
Ägypten 851
Indien 1.882
Deutschland 2.080

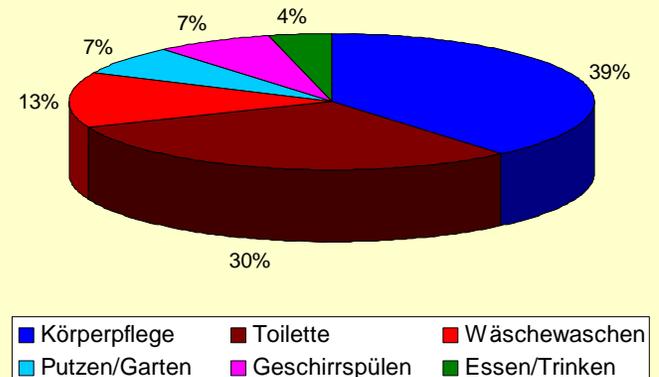
Wasserangebot (Gesamt in D) 182 Mrd. m³/a u. Nutzung

- 14,5 % Nutzung zur Energieerzeugung
- 5 % Nutzung in der Industrie
- 3 % öffentliche Trinkwassergewinnung
- 0,3 % in der Landwirtschaft

Rohwassertypen zur Trinkwasseraufbereitung
in Deutschland



Wassernutzung von Trinkwasser im deutschen
Durchschnittshaushalt



Trinkwasseraufbereitung

Oberflächenwässer
Fluss-, See- und Talsperrenwasser

Grundwässer/Uferfiltrate/Infiltrate

Mikrofiltration

Ozonung

Innovative Methoden:

Membranverfahren
Ionenaustausch

Flockung

Sedimentation/Filtration

Adsorption

Chlorung

Belüftung

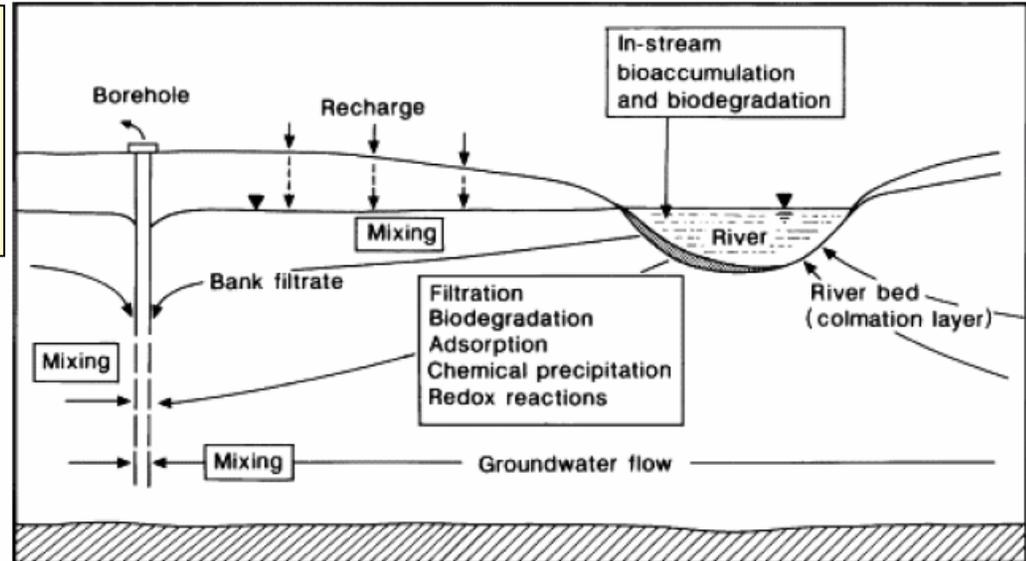
Entsäuerung

Ozonung

Enteisenung/Entmanganung

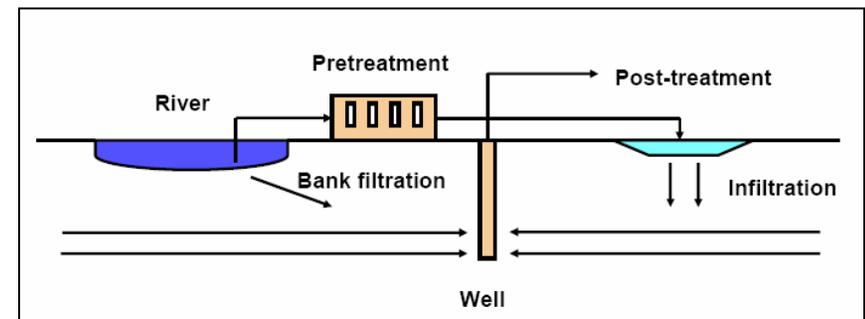
Uferfiltration/Infiltration/ S_{oil} A_{quifer} $T_{reatment}$

Trübstoffentfernung
Keimelimination
DOC-Entfernung (NOM)
Spurenstoffentfernung (org., anorg.)



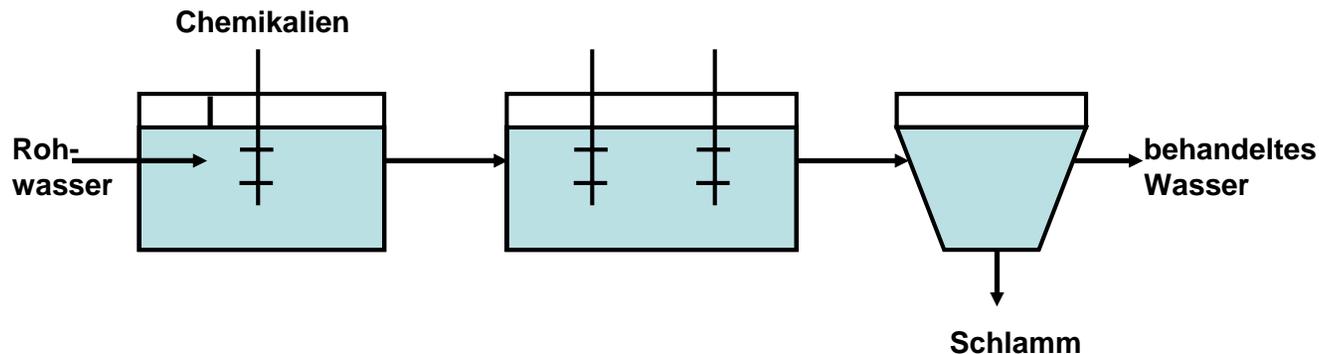
**Nutzung der Untergrundpassage
einer erzwungenen Grundwasser-
strömung als Vorreinigungsstufe in
der Trinkwassergewinnung aus
belasteten Oberflächenwässern**

**in ariden Klimazonen auch direkte
Infiltration von (vorbehandelten)
Abwässern**



Flockung

- dient der Entfernung von Trübung:
- Entstabilisierung von Kolloiden ($10^{-9} < d < 10^{-6} \text{ m}$) durch Zugabe von Flockungsmitteln i. d. Regel Al- und Fe(III)-Salze
- Verbesserung der Bildung von Makroflocken durch Zugabe von Flockungshilfsmitteln



Mischbecken

Flockungsreaktor

Sedimentationsbecken

Aufenthaltszeit: 2...5 min

10...80 min

90...180 min

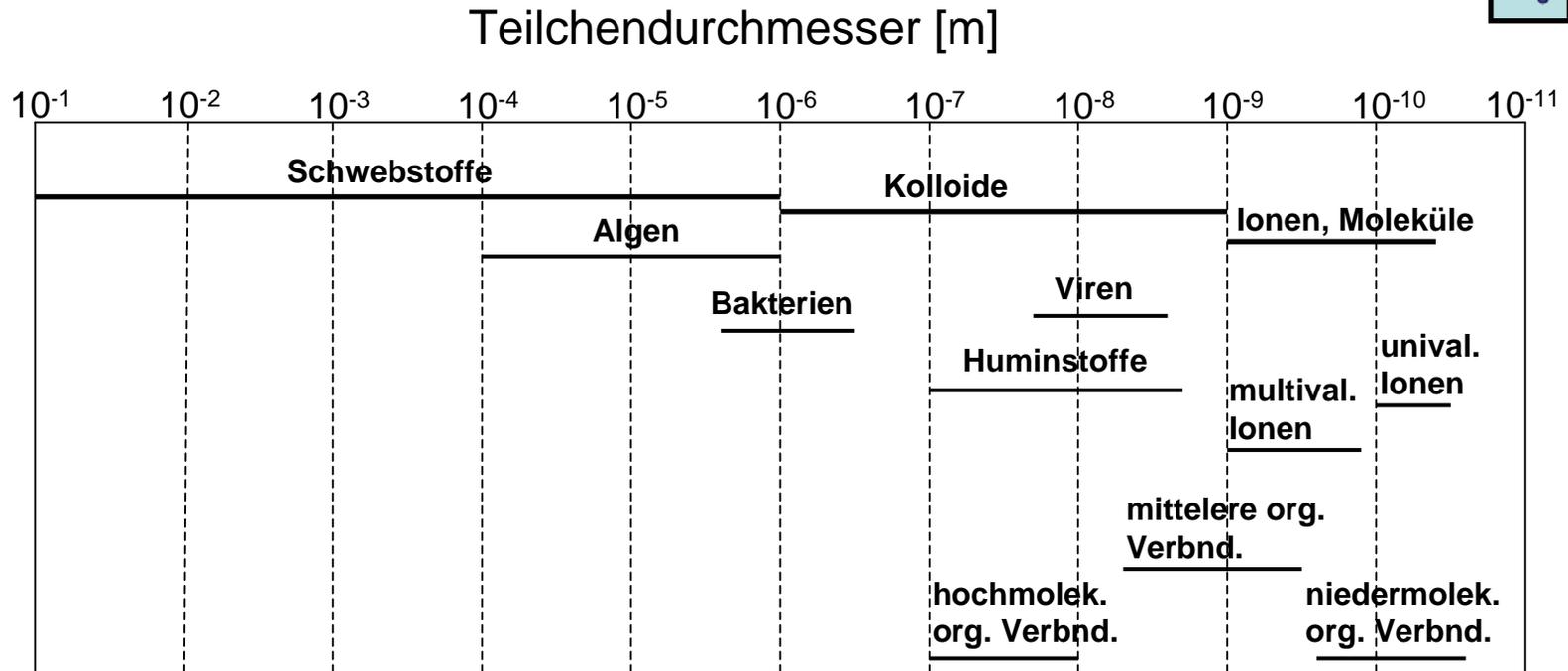
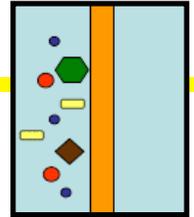
Rührgeschwindigkeit: ~ 5m/s

0.5...1.5 m/s

Rührleistung: 50...200 W/m³

10...30 W/m³

Filtration (Membranverfahren)



Konventionelle Filtration
(Kies- u. Sandfilter, Schichtbettfilter, etc.)

**Mikro-
filtration**

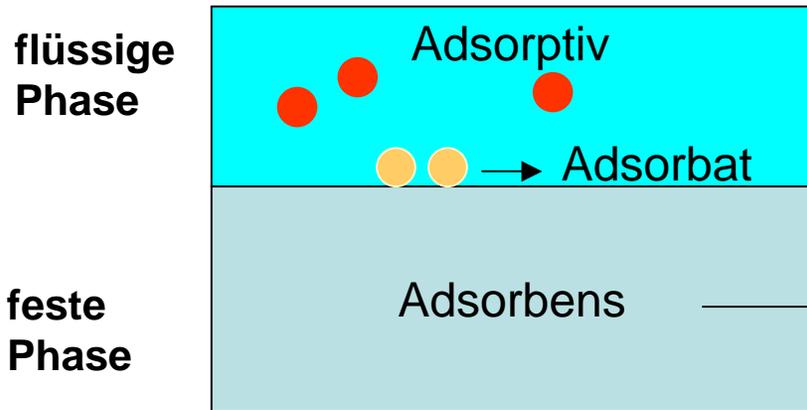
**Ultra-
filtration**

**Nano-
filtration**

**Umkehr-
osmose**

Größe der abtrennbaren Stoffen	> 10 ⁻⁶ m	> 10 ⁻⁷ m	> 10 ⁻⁸ m	> 10 ⁻⁹ m	> 10 ⁻¹⁰ m
erforderliche Druckdifferenz	ca. 1 bar	0,1 – 2 bar	0,1 – 5 bar	3 – 20 bar	10 – 100 bar

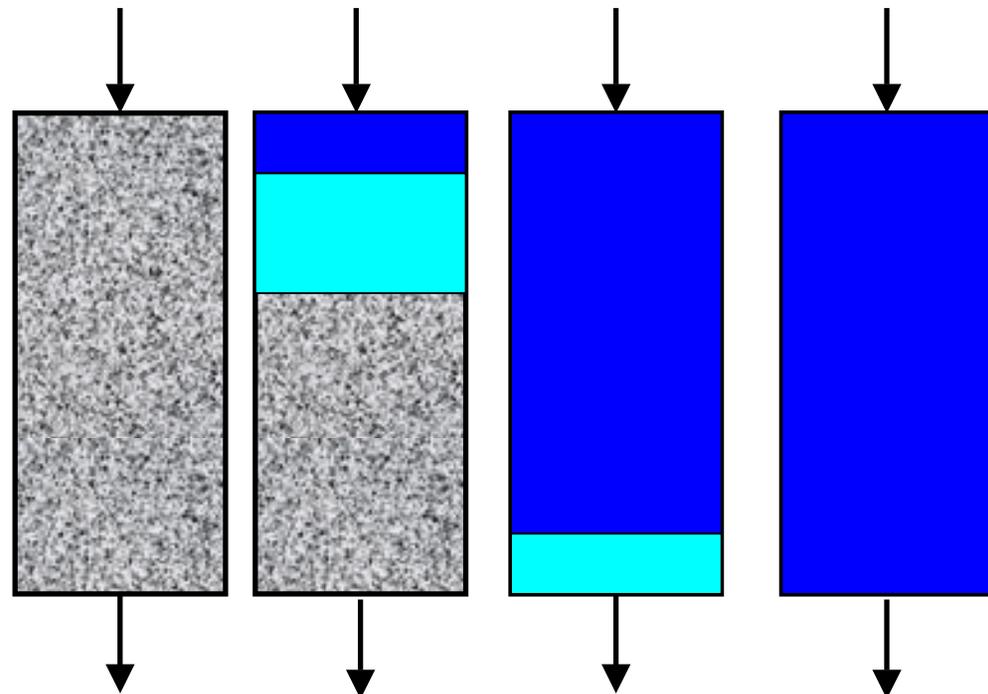
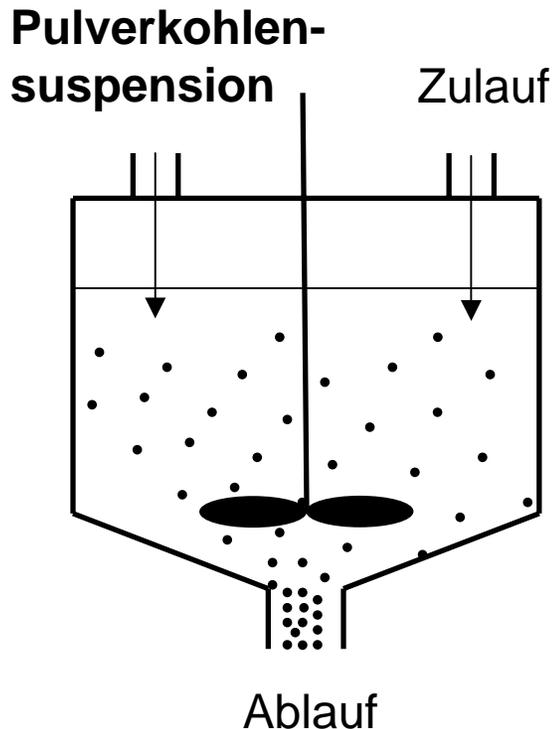
(Technische) Adsorption



Entfernung NOM und organische Spurenstoffe (POPs, Pestizide, PAK, Pharmaka, etc.)

Aktivkohle (Pulver-, Kornkohle)
Adsorberpolymere (z.B. LEWATIT EP 63)
anorg. Oxide (Aktivtonerde, Eisenoxidhydrat)

Festbettadsorber (Kornkohle)



Chlorung (Desinfektion)

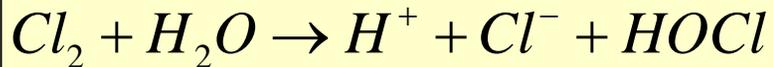
TrinkwV 2001:

Abtötung, Inaktivierung von Pathogenen (Bakterien, Viren, Parasiten) sowie un-spezifischen (nichtpathogenen) Keimen

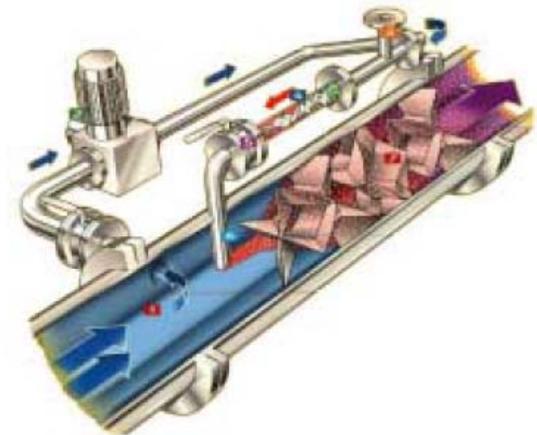
Reduzierung um mindestens 5 log-Stufen (99,999 %)

Chemische Desinfektionsmittel (starke Oxidationsmittel):

Cl_2 , ClO_2 , NaOCl (mit Depoteffekt)



$c_{\text{max.}}(\text{Cl}_2) = 0,1 \text{ mg/L}$



Ionenaustausch

Entsalzung, Enthärtung, Entfernung spezifischer Ionen (z.B. Schwermetalle)

Ionenaustauscher: sind feste Phasen, die gelöste Ionen aufnehmen und dafür eine äquivalente Stoffmenge anderer Ionen der gleichen Ladung abgeben.

Kunsthazionenaustauscher: org. Polymerbasis (DVB/Polystyrol, DVB/Polyacrylat)

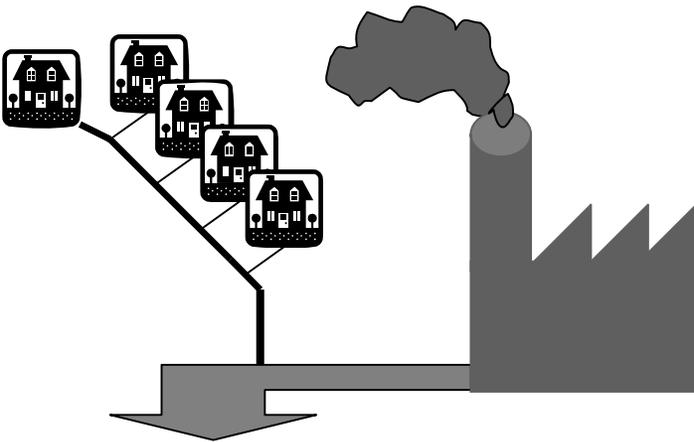
Kationenaustauscher (stark) sauer



Anionenaustauscher (stark) basisch



Grundprozesse der Abwasserbehandlung



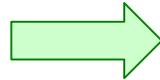
kommunale Kläranlage

Schwemmkanalisation (Mischwasser)

Stufe 1
mechanisch



Stufe 2
biologisch



Stufe 3
chemisch



Stufe 4
chemisch-physikal.



Mechan. Reinigung
Rechenwerk
Sandfang
Vorklärbecken

**anaerober
aerober Abbau**
Belebtschlammbecken
Tropfkörper

chemisch
Flockung
Fällung

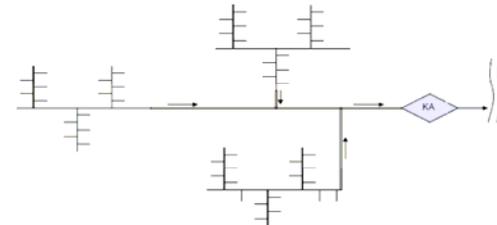
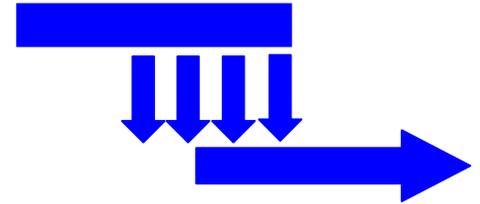
chem.-physikal.
Ozonung
Adsorption
Membranverfahren
UV-Bestrahlung
Chlorung

Grundprozesse der Abwasserbehandlung

„klassische“ Abwasserentsorgung

Vorteile:

- Vermeidung fäkalienbezogener Krankheiten
- Verhinderung von Überflutungen in Siedlungsgebieten bei Regenereignissen
- effiziente Überwachung
- klar geregelte Zuständigkeiten

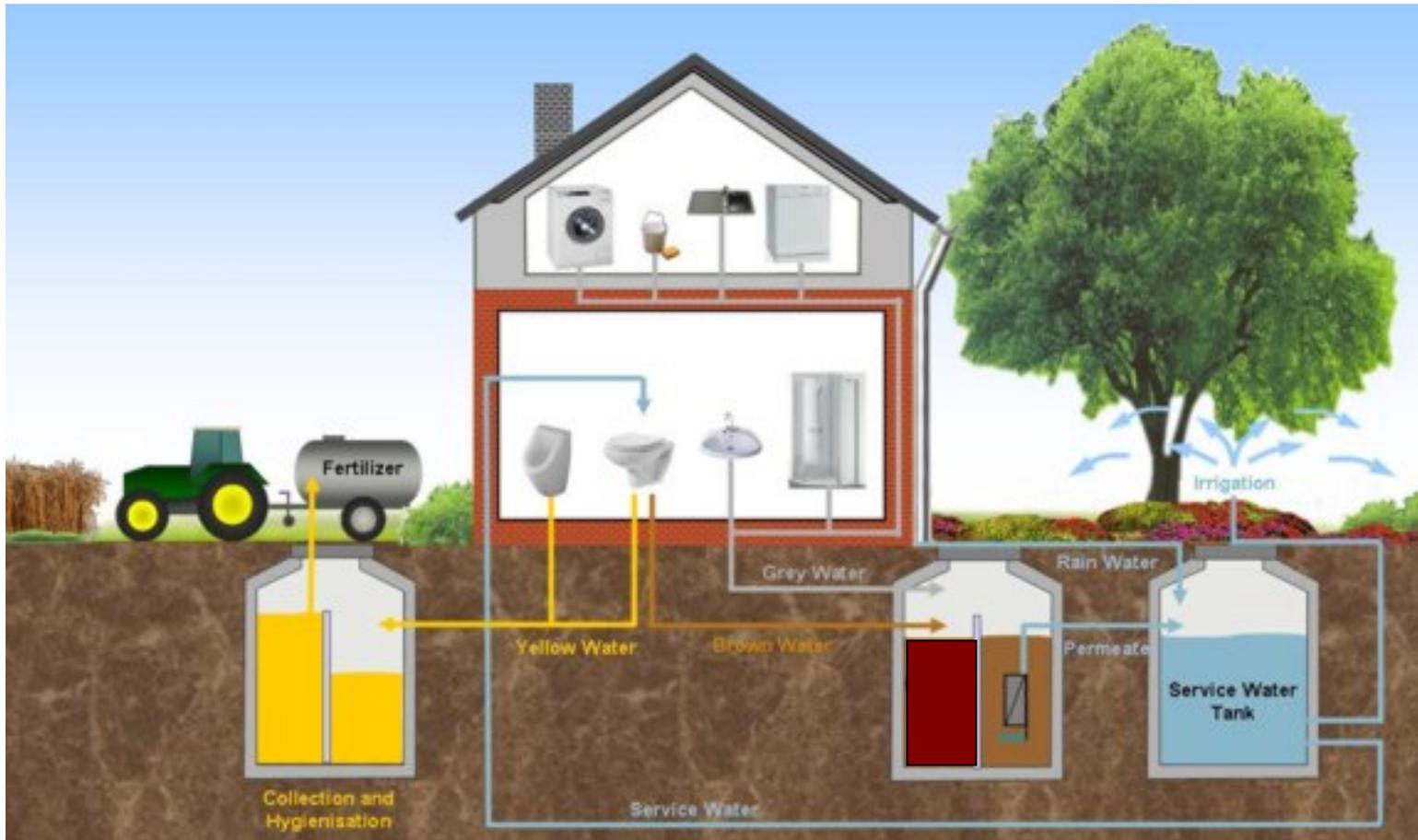


Nachteil/Problematik	Erläuterung
Vermischung aller Abwässer	Mischwasserkanalisation u. Behandlung in zentraler Kläranlage
hoher Wasserverbrauch	Trinkwasser als Transportmedium für Abfälle (Fäkalien)
Belastung der OF-gewässer mit kritischen Spurenstoffen	Chemikalien, Pharmaka, endokrine wirksame Stoffe
offenes Durchflusssystem	keine direkte Wiederverwendung, eingeschränktes Nährstoffrecycling
Klärschlammnutzung	Belastung durch Schwermetalle und anthropogene org. Schadstoffe
hohe Kosten (Transport, etc.)	Unterhaltung und Sanierung d. Kanalisation, P- u. N-Elimination,
Unflexibilität des Systems	Umplanung u. Umbau nur begrenzt möglich

Grundprozesse der Abwasserbehandlung

Innovative Ansätze in der Abwasseraufbereitung:

Dezentralisierung (getrennte Abwasserteilströme) , Kreislaufführung mit Nährstoffrecycling



Grundprozesse der Abwasserbehandlung

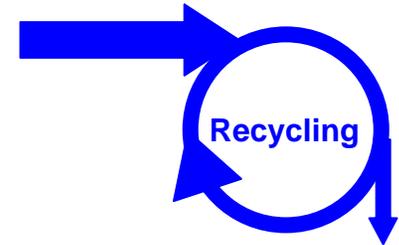
dezentrale Abwasserentsorgung

Vorteile:

- getrennte Erfassung von Abwasser und Regenwasser
- Verringerung des Trinkwasserverbrauchs
- verbesserte Nährstoffrückgewinnung (N- und P-Recycling)
- Nutzung von Regenwasser u. gereinigtem Abwasser (Brauchwasser)
- geringer Schadstoffeintrag in Oberflächengewässer
- geringere Kosten für Bau und Unterhalt der Kanalisation
- rasche technische und bauliche Realisierbarkeit (Anschlussgrad)
- Verbesserung lokaler Wasserbilanz durch örtliche Versickerung

Nachteile:

- Defizite beim Betrieb (Prozessüberwachung) und Wartung
- erhöhte Empfindlichkeit gegenüber Verstopfung u. Stoßbelastung
- Organisation (Schlammabfuhr)



Bewertungskriterien von Stoffen in der Hydrosphäre

Stoffbewertung unter Nutzung folgender Kriterien:

Physikalische und chemische Eigenschaften (Reaktivität)

Umweltverhalten (Dispersion/Akkumulation, Persistenz/Abbaubarkeit)

Produktionsmenge und Anwendungsbereich

Schadwirkungen auf Organismen und Systeme (Toxizität/Ökotoxizität)

Grenz- und Richtwerte

Abfallbeseitigung/Entgiftung

1. Anorganische Kationen

1. Hauptinhaltsstoffe (meist > 10 mg/L)

Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺

Neben- und Spurenstoffe (< 0,1 mg/L < 10 mg/L)

NH₄⁺, Fe^{2+/3+}, Al³⁺, Mn²⁺

2. Quellen (natürlich/anthropogen) und Verwendung, Reaktivität, Wirkung (Humangesundheit, Ökologie), Entfernung (Wasseraufbereitung)

Natrium Na⁺

Vorkommen

- geogen:
- achthäufigstes Element d. Erdkruste mit 2,1 Ma-%
 - Konzentration im Meerwasser ca. 10,5 g/L (8-fache Konzentration gegenüber dem zweithäufigsten Element Mg), in Süßwässern i. d. R. >10 mg/L
 - Salzlagerstätten (v. a. NaCl), Verwitterung natriumhaltiger Minerale (z. B. Natronfeldspat $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$, Oligoklas $(\text{Na,Ca})\text{Al}(\text{Si,Al})_3\text{O}_8$)
- anthropogen:
- punktuelle Einleitungen (Abwässer der Düngemittelindustrie, kommunale Abwässer)
 - vielfältige Verwendung in der Industrie (60 % des NaCl-Verbrauchs in chem. Industrie)
 - Grundstoff: Chlor-Alkali-Elektrolyse (NaOH), Na_2CO_3 -Herstellung
 - Bestandteil von Seifen- und Reinigungsmitteln (Enthärtung, Desinfektion)
 - Lebensmittelindustrie (Konservierungsmittel, Geschmacksverstärker)
 - diffuse Einträge aus Landwirtschaft (NaNO_3) und durch Anwendung als Auftausalz

Natrium Na⁺

Chemie der wässrigen Lösung

- in (aquatischer) Natur ausschließlich als Na⁺
- hohe Löslichkeit der Natriumsalze (Bsp.: NaCl 359 g/L, Na₂CO₃ 217 g/L bei 20 °C)
- konservatives Verhalten (keine Adsorbierbarkeit an Bodenbestandteilen, keine mikrobiologischen Transformationsprozesse), Verwendung als Tracer

Grenzwert nach Trinkwasserverordnung 2001 (TrinkwV 2001)

Indikatorparameter **200 mg/L**
(geogen bedingte Überschreitungen bis 500 mg/L zulässig)
sensorisch begründet (Salzgeschmack!!)

- essentielles Mengenelement, ca. Körperbestand ca. 100 g (3,3 g/L im Blutserum)
- empfohlene Tagesdosis 1...3 g/d (≈ 5 g NaCl)
- Regulation von Membranpotentialen (ermöglichen Übertragung von Nervenimpulsen und Kontraktion der Muskulatur)
- bei Natriumüberangebot Gefahr von Herzinsuffizienz, Bluthochdruck, etc.
- **ökotoxisch:** Na⁺ belasten Osmoseregulation von Süßwasserorganismen

Entfernung: Methoden der Vollentsalzung (Umkehrosmose, Anwendung stark saurer Kationenaustauscher, Destillation)

Kalium K⁺

Vorkommen

- geogen:
- siebenthäufigstes Element d. Erdkruste mit 2,3 Ma-%
 - Konzentration im Meerwasser ca. 0,38 g/L
Verhältnisse Na:K: 46:1 im Meerwasser, 3:1...10:1 im Süßwasser
 - **Quelle:** Verwitterung von kaliumhaltigen Mineralen [z.B. Kalifeldspat $K(AlSi_3O_8)$; Hellglimmer $KAl_2(OH,F)_2(AlSi_3O_{10})$] und Salzlagerstätten (Sylvin KCl; Carnallit $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6 H_2O$)
- anthropogen:
- punktuelle Einleitungen (Abwässer der Kaliindustrie, kommunale Abwässer)
 - diffuse Einträge (Landwirtschaft, Düngemittel)

Kalium K⁺

Chemie der wässrigen Lösung

- in (aquatischer) Natur ausschließlich als K⁺
- hohe Löslichkeit der Kaliumsalze (Bsp.: KCl 330 g/L, K₂CO₃ 1120 g/L bei 20 °C)
- hohe Bindung an Böden (Kationenaustausch) und hohe Aufnahme durch Pflanzen bedingen geringere Konzentrationen in Hydrosphäre als Na⁺

Grenzwert nach Trinkwasserverordnung 2001 (TrinkwV 2001)

nicht geregelt (empfohlene Maximalkonzentration 12 mg/L, geogene Überschreitung bis 50 mg/L zulässig)

- essentielles Mengenelement, ca. 140 g Körperbestand
- empfohlene Tagesdosis ca. 2...4 g/d
- Regulation von Membranpotentialen (ermöglichen Übertragung von Nervenimpulsen und Kontraktion der Muskulatur, intrazellulärer Antagonist des Na⁺)
- Blutdruckregulation

Kaliummangel: Störung Erregungsleitung (Herzrhythmusstörung, Muskelschwäche)

Entfernung: Methoden der Vollentsalzung (Umkehrosmose, Anwendung stark saurer Kationenaustauscher, Destillation)

Erdalkaliionen Ca^{2+} / Mg^{2+}

Sinterterassen aus Kalk in Pamukkale/Türkei



- Calcium- und Magnesiumionen stellen wichtigste Vertreter der anorganischen Kationen in natürlichen Wässern dar,
- Be, Sr (im Meer 8 mg/L), Ba, Ra nur von untergeordneter Bedeutung.

Calcium Ca²⁺

Vorkommen

- geogen:
- fünfthäufigstes Element d. Erdkruste mit 2,4 Ma-%
 - Konzentration im Meerwasser 0,4 g/L, im Süßwasser ca. 10...200 mg/L
 - **Quelle:** Verwitterung von Mineralen, z. B. Calcit (CaCO₃), Dolomit (CaMg(CO₃)₂), Gips (CaSO₄ • 2 H₂O), Apatit Ca₅[(F,Cl,OH)|(PO₄)₃]
- anthropogen:
- punktuelle Quelle (Industrieabwässer, kommunale Abwässer)
 - chemische Industrie zur Herstellung zahlreicher Grundchemikalien Ca(OH)₂, CaO, CaC₂
 - Metallurgie als Legierungsbestandteil und Reduktionsmittel
 - Verwendung von Ca(OH)₂ in Wasserbehandlung als Neutralisations- und Fällungsmittel sowie in der Abluftreinigung zur Rauchgasentschwefelung
 - Bauindustrie (Kalkmörtel, Kalkputz, Kalkfarbe)
 - Düngemittel (Kalkstickstoff)

Calcium Ca^{2+}

Chemie der wässrigen Lösung

- in (aquatischer) Natur ausschließlich als Ca^{2+}
- teilweise hohe Löslichkeit von Calciumsalzen $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 1470 g/L, CaCl_2 740 g/L (bei 20 °C)
- geringere Löslichkeiten bei CaCO_3 0,014 g/L, CaSO_4 2 g/L, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 0,02 g/L, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 1,7 g/L bei 20 °C
- gelöstes Ca^{2+} bildet zusammen mit Mg^{2+} die Wasserhärte

Grenzwert nach Trinkwasserverordnung 2001 (TrinkwV 2001)

nicht geregelt (lediglich empfohlene Maximalkonzentration von 400 mg/L)

- essentielles Mengenelement, Körperbestand ca. 1,0...1,5 kg
- empfohlene Tagesdosis ca. 0,8...1,2 g/d
- Stabilisierung des Skelettsystems (99 % des Körperbestandes), 2,1–2,6 mmol/l im Blutplasma
- regelt die Blutgerinnung, die Erregungsleitung (Muskelkontraktion) und die Enzymaktivierung

Calciummangel: Probleme der Skelettstabilität (Frakturneigung, Wachstumsstörungen) u. Blutgerinnung, Herzrhythmusstörungen, Muskelkrämpfe

Magnesium Mg^{2+}

Vorkommen

geogen:

- vierthäufigstes Element d. Erdkruste mit 2,4 Ma-%
- Konzentration im Meerwasser 1,3 g/L
- Konzentrationsverhältnis 1 (**Ca^{2+}**) ...3 (**Mg^{2+}**)
- Magnesium ist in natürlichen Wässern ständige Begleiter des Calciums,
- Konzentrationsverhältnis im Süßwasser häufig bei **4...5 (Ca^{2+}) : 1 (Mg^{2+})**
- **Quelle:** Verwitterung von Mineralen und Salzen, z.B. Dolomit $CaMg(CO_3)_2$,
Magnesit $MgCO_3$, Olivin $(Mg,Fe)_2(SiO_4)$ bzw. Kieserit $MgSO_4 \cdot H_2O$
Carnallit $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6 H_2O$

anthropogen:

- industrielle und kommunale Abwässer
- Metallurgie (vielseitiges Reduktionsmittel u. Legierungsbestandteil)
- Leichtmetallbau (Flugzeugbau, Automobilbau)
- $Mg(OH)_2$ Flockungsmittel in der Abwasseraufbereitung
- Düngemittelzusatz

Magnesium Mg^{2+}

Chemie der wässrigen Lösung

- in (aquatischer) Natur ausschließlich als Mg^{2+}
- teilweise hohe Löslichkeit von Magnesiumsalzen (Bsp.: $MgSO_4$ 300 g/L, $MgCl_2$ 542 g/L, $Mg(NO_3)_2$ 420 g/L bei 20 °C)
- geringere Löslichkeit bei $Mg(OH)_2$ 0,009 g/L, $Mg_3(PO_4)_2$ 0,25 g/L, $MgCO_3$ 0,106 g/L bei 20 °C
- gelöstes Mg^{2+} bildet zusammen mit Ca^{2+} die Wasserhärte

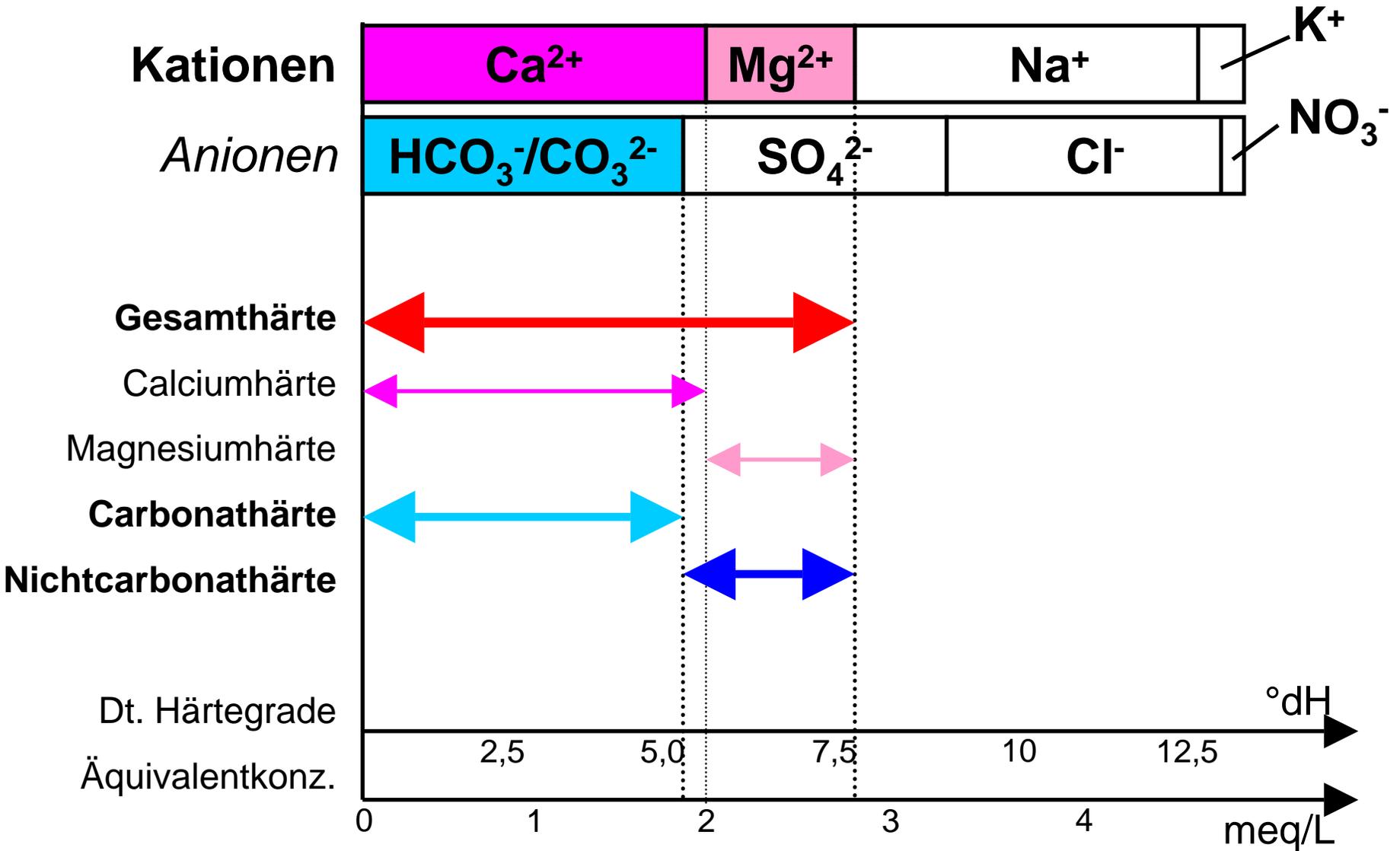
Grenzwert nach Trinkwasserverordnung 2001 (TrinkwV 2001)

nicht geregelt (empfohlene Maximalkonzentration 50 mg/L, geogene Überschreitung bis 120 mg/L zulässig)

- essentielles Mengenelement, Körperbestand ca. 25...28 g (60 % im Skelett, 0,8...1,1 mmol/L im Blutplasma, Bestandteil von Enzymen und Coenzymen)
- empfohlene Tagesdosis ca. 300...400 mg/d

Magnesiummangel Auftreten von Muskelkrämpfen und Herzrhythmusstörungen sowie verstärkte Depressionsneigung

Wasserhärte



Wasserhärte

- gelöste Ionen der Erdalkalimetalle (v. a. Ca^{2+} , Mg^{2+}) bilden je nach Anwendung unlösliche Ablagerungen (Phänomen „hartes“ u. „weiches Wasser“)
- beeinflusst von Löslichkeits- und Dissoziationsgleichgewichten (Kalk-Kohlensäure-Ggw.)



Probleme die durch hartes Wasser (Ca^{2+} und Mg^{2+}) verursacht werden:

- hoher Verbrauch an Detergentien (Verschlechterung der Waschwirkung)
- Ausfall von Kesselstein bei Heiz- und Haushaltsinstallationen sowie in TW-Netzen
- schlechtere Qualitäten in der Nahrungsmittelzubereitung (Bierbrauen, etc.)
- Trinkwasseraufbereitung und -Verteilung:
 - Mischungsprobleme bei Wässern mit unterschiedlicher Carbonathärten → Wässer mit hoher Carbonathärte weisen hohe CO_2 -Konzentration (KKG) auf, Auftreten „freier“ Kohlensäure → Korrosionswirkung auf Verteilungssystem (Cu, Zn, Pb, Ni)

Vorteile von hartem Wasser (Ca^{2+} und Mg^{2+}):

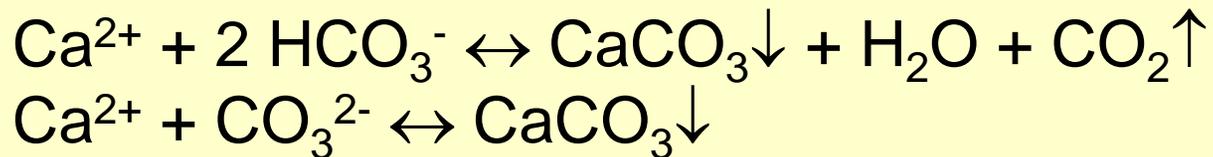
- „besserer“ Geschmack des reinen Trinkwassers (Versorgung mit essentiellen Miner.)
- höhere Wasserhärte (bes. Carbonathärte) günstig für ökol. Stabilität von Gewässern

Wasserhärte

Temporäre und permanente Härte

$$GH = KH + NKH$$

Die **Carbonathärte** ist nicht stabil, sie wird auch als **temporäre Härte** bezeichnet. Bei Temperaturerhöhung fallen die Härtebildner als Feststoffe aus (Kesselsteinbildung). In Oberflächengewässern tritt Phänomen der biogenen Entkalkung durch CO_2 -Verbrauch durch die aquatischen Produzenten auf.



Die **Nichtcarbonathärte** verändert sich bei Temperaturerhöhung nicht, sie wird auch als **permanente Härte** bezeichnet.

Einheit der Wasserhärte

1 Grad deutscher Härte (°dH) = 10 mg/L CaO = 7,187 mg/L MgO

1 °dH = 0,178 mmol/L = 0,357 meq/L Erdalkaliionen

Berechnung der Gesamthärte: $[c(\text{Ca}^{2+})+c(\text{Mg}^{2+})]/0,178$

Berechnung der Carbonathärte: $0,5 \cdot c(\text{HCO}_3^-)/0,178$

Für Trinkwasser wird häufig der Härtebereich angegeben. Es werden 4 Härtebereiche unterschieden.

Härtebereich	Härtegrad (°dH)	Härte (mmol/L)
1	< 7	< 1,3
2	7...14	1,3...2,5
3	14...21	2,5...3,8
4	> 21	> 3,8

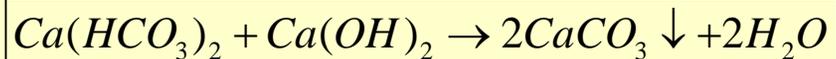
Rohwasser im Härtebereich 4 sollte Behandlung unterzogen werden

Enthärtung in der Wasseraufbereitung

Maßnahmen zur Entfernung von Ca^{2+} und Mg^{2+} :

Fällungsprozesse

- mit Na_2CO_3 , Na_3PO_4 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH
- 90 % aller Enthärtungsstufen setzen letztgenannte Chemikalien ein



Entcarbonisierung

Ionenaustausch

- Ca^{2+} - Mg^{2+} /Na
- Ca^{2+} - Mg^{2+} /H

Membranprozesse

- Nanofiltration

Zugabe von Chemikalien zur Maskierung der Härtebildner (Haushaltchemikalien):
Zugabe von Komplexbildnern (EDTA, NTA, $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$),
Kationenaustausch an Zeolith A

Berlin (Mitte): 14 bis 25,9° dH (Härtebereich 3-4)
Bremen: 5,6°-13,9° dH (Härtebereiche 1 und 2)
Chemnitz: 4,5° dH (Härtebereich 1)
Darmstadt: 18,7° dH (Härtebereich 3)
Dortmund: 8,1° dH (Härtebereich 2)
Düsseldorf: 14,7° dH (Härtebereich 3)
Dresden: 6,51° bis 11,9° dH (Härtebereich 1 bis 3)
Frankfurt am Main: 10° bis 21° dH
Gera: 9,4° dH (Härtebereich 2)
Göttingen: 7° (Härtebereich 1)
Halle/Saale: 9,9° dH
Hamburg: 10° dH
Ilmenau: 3° bis 10° dH je nach Ortsteil (Härtebereich 1 - 2)
Ingolstadt (Donau): 19,5° bis 25° dH
Jena: 17° dH (Härtebereich 3)
Leipzig: 16,4° dH im größten Teil des Stadtgebiets
Lingen: 8,3° dH
Magdeburg: 13,5° dH (Härtebereich 2)
München: 15,7° dH
Potsdam: 14° bis 24° dH
Rostock: 13° bis 16° dH
Schwerin: 13° bis 19° dH (Härtebereich 2-3)
Würzburg: Zwischen 18° und 46° dH (Härtebereich 3 oder 4)

Zum Schluss: 3 × W (Was war wesentlich?)

Eigenschaften, die aus einem Wasserinhaltsstoff einen **Schadstoff** machen

kationische Hauptinhaltsstoffe

„**konservative**“ Ionen (Beispiel; Verhalten; Methoden der Entfernung)

Härtebildner [Definitionen: Gesamthärte, Temporäre (Carbonat-) Härte, Permanente (Nichtcarbonat-) Härte; vor- und nachteilige Wirkung auf technische Prozesse sowie auf aquatische Ökosysteme]

Trinkwasseraufbereitung (Bsp. naturnaher Verfahren u. technischer Verfahren)

Abwasserbehandlung (Verfahrensstufen; Vor- und Nachteile zentraler u. dezentraler Konzepte)