



Grauwasserrecycling

ingenieurökologische und technische Verfahren
in Europa und Entwicklungsländern

Gliederung

- Grauwasser
 - Definition der häuslichen Abwasserteilströme
 - Definition Stoffstrom Grauwasser
 - Grauwassermenge in privaten Haushalten
 - Grauwasserbeschaffenheit
- Anforderungen an das Grauwasserrecycling
 - Rechtliche Anforderungen an die Wasserqualität zur Abwasserwiederverwendung
 - Technische Voraussetzungen für das Grauwasserrecycling

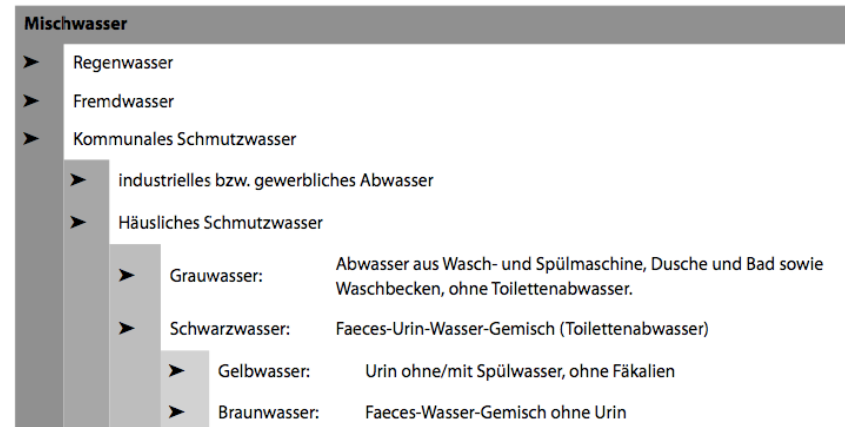


Gliederung

- Behandlungsverfahren zur Aufbereitung von Grauwasser
 - Mechanische Vorbehandlung
 - Biologische Reinigung
 - Naturnahe Verfahren
 - Technische Verfahren
 - Nachbehandlung
- Vergleich und Bewertung der Grauwasseraufbereitungsmethoden
- Ausblick

Definition der häuslichen Abwasserteilströme

- Abwasser wird definiert als Schmutzwasser aus häuslichem, gewerblichem und sonstigem Gebrauch sowie gesammeltes Niederschlagswasser.



Definition Stoffstrom Grauwasser

- Grauwasser ist das häusliche Schmutzwasser ohne fäkale Feststoffe und Urin.
- Dazu zählt das Abwasser aus Bade- und Duschwannen, Handwaschbecken, Küchenspülen sowie das Abwasser aus Spül- und Waschmaschinen.
- Unterteilung des Grauwassers in
 - stark belastetes Grauwasser aus der Küche, der Geschirrspülmaschine und aus der Waschmaschine,
 - schwach belastetes Grauwasser aus Handwaschbecken, Bade- und Duschwannen.

Grauwassermenge in privaten Haushalten

- Grauwassermenge abhängig von
 - Lebensgewohnheiten der Verbraucher,
 - Nutzungsgewohnheiten der Verbraucher,
 - Sanitärstandard.
- Steht kontinuierlich zur Verfügung.
- Bei einem \emptyset Trinkwasserverbrauch von 125 l/(E*d) liegt der Grauwasseranfall zwischen 57 und 111 l/(E*d).

Grauwassermengen in privaten Haushalten

- Dem steht ein Betriebswasserbedarf von 40 l/(E*d) gegenüber.
- Betriebswasser ist gewerblich und privat genutztes Wasser, das nicht zwingend Trinkwasserqualität haben muss
- Wasser für die Toilettenspülung, für Bewässerungszwecke und zum Wäschewaschen.

Grauwassermengen in privaten Haushalten

Land	Anfall nach Verwendungsart [l/(E*d)]					Gesamtanfall [l/(E*d)]	Literatur
	Küche, Geschirrspülmaschine	Waschmaschine	Körperpflege	Baden/Duschen	Raumreinigung		
D	8	16	8	40	3	75	Möhle (1983)
D	4-6	20-40	10-15	20-40	3-10	57-111	DVGW-Merkblatt W 410 (1995)
D	4	19	10	20	3	56	Pöpel (1994)
D	8	12	- ²⁾	40	5	65	UBA (2005)
D	12	13	-	40	5	70	Mehlhart und Bullermann (2001)
D \emptyset ¹⁾	6	13	10	30	5	75	

¹⁾ Berechnung des Durchschnitts nur mit den in Deutschland ermittelten Werten
²⁾ Menge enthalten in Kategorie Baden/Duschen

Grauwasserbeschaffenheit

- Verhältnis CSB:BSB₅ ~ 4:1 → hohe Belastung mit schwer biologisch abbaubaren Verbindungen.
- pH-Wert aus Waschmaschine liegt zwischen 9,3 und 10; aus Küche, Dusche und Bad zwischen 5 und 8,6.
- Mikrobiologische Belastung gemessen an den Indikationsparametern E.coli, Gesamtcolliforme Bakterien und Fäkalcolliforme Bakterien → Badewannen- und Duschwasser weisen höhere Konzentrationen auf als das Waschmaschinenwasser

Mikrobiologische Parameter [n/100ml]			Waschmaschine	Bad/Dusche, Handwaschbecken	Küche/Spülmaschine	nicht separiertes Grauwasser
Bakterien	Indikationsparameter	Fäkalcolliforme	10 ¹ -10 ⁴	10 ¹ -10 ⁶	-	10 ² -10 ⁶
		Gesamtcolliforme	10 ¹ -10 ⁸	10 ¹ -10 ⁹	-	10 ² -10 ⁸
		E.coli	10 ¹ -10 ⁶	10 ¹ -10 ⁷	10 ² -10 ⁸	10 ¹ -10 ²
		Fäkale Streptokokken	10 ¹ -10 ⁷	10 ¹ -10 ⁶	10 ² -10 ⁸	10 ²
		Gesamtkoloniezah l	-	10 ² -10 ⁸	-	-
sonstige	Pseudomonas aeruginosa	-	n.n-10 ¹	-	10 ² -10 ⁵	
	Salmonella spp.	n.n	n.n	-	-	
	Protozoen	Cryptosporidium	n.n	n.n	-	n.n
	Giardia	n.n	n.n	-	-	

Rechtliche Anforderungen an die Wasserqualität zur Abwasserwiederverwendung

- Betriebswasser muss hygienische Anforderungen erfüllen d.h. Werte bezüglich mikrobieller und physikalisch-chemischer Beschaffenheit einhalten.
- Für aufbereitetes Grauwasser gibt es derzeit keine gesetzlichen Regelungen.
- Richtlinien auf die man derzeit zurückgreift werden nach Verwendungszweck unterschieden.
 - u.a. Merkblatt „Betriebswassernutzung in Gebäuden“ , 1995
 - EU-RL 2006/7/EG über die Qualität von Badegewässern, 2006
 - fbr Hinweisblatt 201 “Grauwasser-Recycling” , 2005

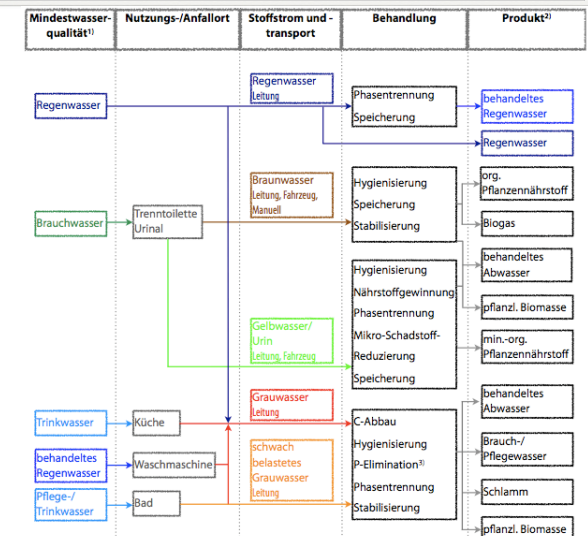
Technische Voraussetzungen für das Grauwasserrecycling

- Installationstechnische Aspekt
 - u.a. Regeln für Trinkwasserinstallationen, Kennzeichnung von Entnahmestellen.
- Stoffstromsysteme
 - Getrennte Erfassung von Grauwasser in separatem Fassungs- und Ablaufsystem.
 - 1-Stoffstromsysteme sind konventionelle Ableitungssysteme - keine Stoffstromtrennung.
 - Trennung der Stoffströme durch neuartige Sanitärsysteme.



Technische Voraussetzungen für das Grauwasserrecycling

Urintrennung 3-Stoffstromsystem



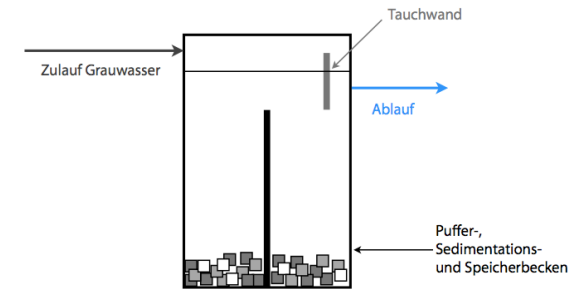
Behandlungsverfahren - Verfahrenstechnische Stufen -

- Feststoffabtrennung
- mechanische Vorbehandlung.
- Biologische Reinigung -
naturnahe oder technische Verfahren.
- Nachbehandlung -
Hygienisierung.

Grauwasser	Vorbehandlung	biologische Reinigung	Nachbehandlung	Nutzung
Dusche	mechanische Reinigung	naturnahe Verfahren	Hygienisierung	Toiletenspülwasser
Badewanne	→ Sedimentation	→ bepflanzte Bodenfilter/ Pflanzenkläranlage	→ UV	Bewässerung
Handwaschbecken	→ Siebung	→ Teiche	→ Ozon	Reinigungszwecke
evtl. Waschmaschine	→ physikalische Reinigung	technische Verfahren		Wäsche- waschen
		→ Biofilmverfahren (Tropfkörper, Tauchkörper, Festbettanlagen)		Versickerung
		→ Belebungsverfahren (kontinuierlich, SBR)		Einleitung in Oberflächengewässer
		→ Membran-Verfahren		
		→ Ökwanne		

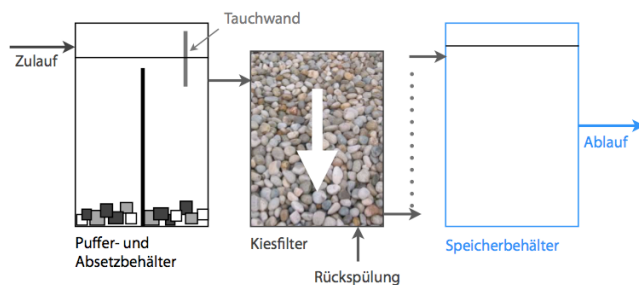
Vorbehandlung - Sedimentation

- Sedimentation = Absetzen von Feststoffen & Aufschwimmen leichter Schwebstoffe
- Regelmäßige Entnahme des Sediments und der Schwebstoffe notwendig.
- Vorteil: geringe Investitionskosten & nachträgliche Installation möglich.
- Nachteil: anaerobe Prozesse & erhöhte Anzahl pathogener Keime möglich.



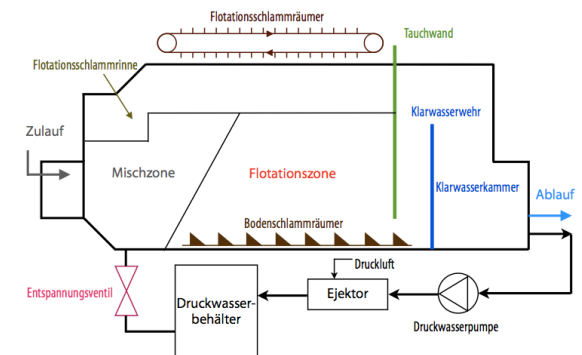
Vorbehandlung - Siebung/Filtration

- Siebeinrichtung entfernt feststoffhaltige Verunreinigungen; Kies-/Sandfilter ist nachgeschaltet.
- Regelmäßige Reinigung/Rückspülung notwendig.
- Vorteil: geringe Investitionskosten & nachträgliche Installation möglich.
- Nachteil: anaerobe Prozesse & erhöhte Anzahl pathogener Keime möglich.



Vorbehandlung - Entspannungsflotation

- Verfahren zur Fest-Flüssig-Trennung.
- Durch Druckverminderung entstehen Gasblasen an die sich Feststoffe anhaften.



- Vorteil: geringer Platzbedarf & gute Abtrennung von Feststoffen.
- Nachteil: aufwendige Anlagentechnik & hoher Überwachungs-/Wartungsaufwand.

Biologische Reinigung

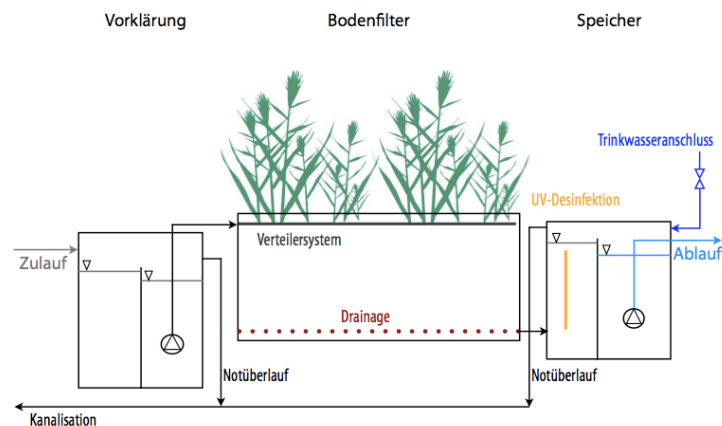
- Entfernen von organischen Substanzen aus dem Abwasser.
- Abbau von BSB, CSB oder Kohlenstoff.
- Umwandlungsprozesse - Ammonifikation, Elimination von Phosphor - erfolgen durch Mikroorganismen.
- Man unterscheidet naturnahe Verfahren von technischen Verfahren.

Naturnahe Verfahren - bepflanztter Bodenfilter

- Vertikal oder horizontal durchströmte Bodenfilter.
- Bestehen aus einem abgedichteten Becken, durchlässigem Filtermaterial und Sumpfpflanzen.
- Reinigungsleistung durch
 - geochemisch-mechanische Vorgänge: Filter-/Siebwirkung des Bodens,
 - biologisch-biochemische Vorgänge: physiologischer Einfluss der Pflanzen,
 - physikalisch-sorptive Vorgänge: Adsorption und Desorption.
- Filterfläche 2-2,5 m²/E; hydraulische Flächenbelastung HF ≤ 40l/(m²*d), VF ≤ 80l/(m²*d)

Naturnahe Verfahren - bepflanztter Bodenfilter

- Vorteil: einfaches Verfahren, geringer Wartung-/Überwachungsaufwand, geringer Energieaufwand, sehr gute Reinigungsleistung.
- Nachteil: hoher Platzbedarf.

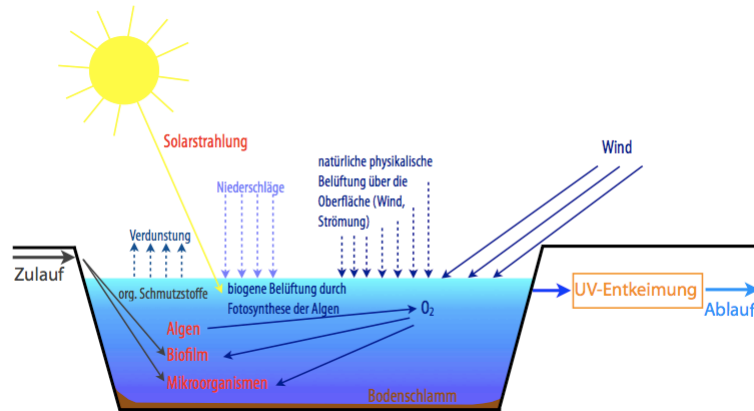


Naturnahe Verfahren - Teichanlagen

- Künstlich stehende Gewässer zur biologischen und mechanischen Reinigung von Abwasser.
- Unter kontrollierten Bedingungen laufen biologische Abbauprozesse ab.
- Man unterscheidet unbelüftete von belüfteten Teichanlagen.
- Unbelüftete Teichanlagen
 - Sauerstoffeintrag & Durchmischung sind abhängig von den klimatischen & meteorologischen Gegebenheiten,
 - Abbau organischer Verbindungen in Bezug auf BSB₅ = 50-70%.
- Belüftete Teichanlagen
 - künstliche Sauerstoffbegasung
 - Abbau organischer Verbindungen in Bezug auf BSB₅ = 85-90%.

Naturnahe Verfahren - Teichanlagen

- Vorteil: sehr einfaches Verfahren, geringer Wartungs-/Überwachungsaufwand, geringe Bau-/Betriebskosten, gute biologische Reinigungsleistung & sehr geringer Energiebedarf (unbelüftete Teichanlagen).
- Nachteil: sehr großer Platzbedarf.

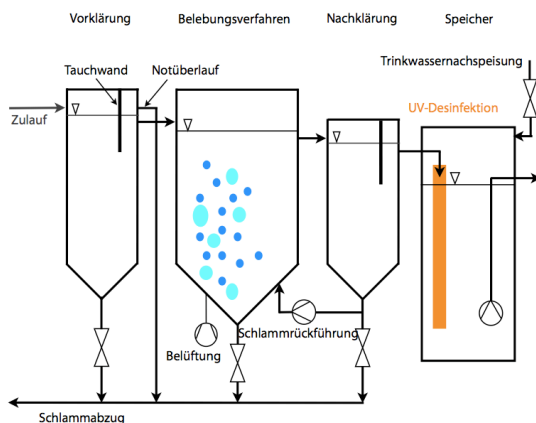


Technische Verfahren - konventionelle Belebungsanlage

- Umsetzung natürlicher, in Gewässern ablaufender Selbstreinigungsprozesse in ein technisches Verfahren.
 - Erhöhte Organismendichte,
 - Deckung des erhöhten Sauerstoffbedarfs durch Belüftung,
 - optimierter Kontakt zwischen Belebtschlamm, Abwasser und Sauerstoff durch Zwangsbelüftung.
- Durch Durchmischung, Belüftung und Stoffwechsel der Mikroorganismen bilden sich Belebtschlammflocken.
- Im Belebtschlamm finden biologische Selbstreinigungsprozesse statt.
- Reinigungsleistung gemessen am Abbau organischer Verbindungen in Bezug auf BSB₅ = 95%.

Technische Verfahren - konventionelle Belebungsanlage

- Vorteil: sehr geringer Platzbedarf & gute biologische Reinigungsleistung.
- Nachteil: hohe Energiebedarf & regelmäßiger Wartungs-/Überwachungsaufwand.

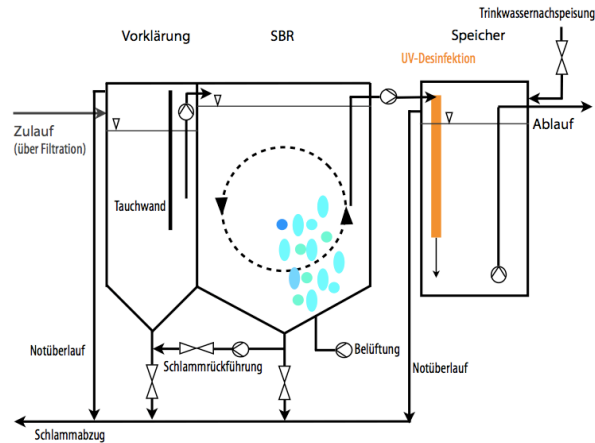


Technische Verfahren - Sequencing-Batch-Reactor

- SBR-Verfahren ist eine Variante des konventionellen Belebungsverfahrens - diskontinuierliches Verfahren.
- Verfahrensschritte laufen entlang einer Zeitachse ab.
- Alle Schritte zur biologischen Reinigung laufen in einer zeitlichen Abfolge im selben Behälter ab.
- Abfolge: Füllphase, Mischphase, Belüftungsphase, Absetzphase, Überschussschlamm-Abzugsphase, Klarwasserabzugsphase, Stillstandphase.
- Drei unterschiedliche Varianten:
 - kontinuierliche Beschickung,
 - alternierende Beschickung,
 - Kurzzeit-Beschickung.

Technische Verfahren - Sequencing-Batch-Reactor

- Vorteil: sehr geringer Platzbedarf & gute biologische Reinigungsleistung.
- Nachteil: hohe Energiebedarf & regelmäßiger Wartungs-/Überwachungsaufwand.

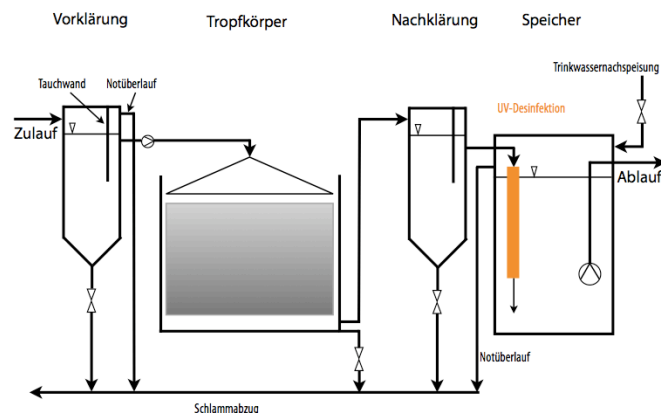


Technische Verfahren - Tropfkörperanlage

- Tropfkörperanlagen zählen zu den Biofilmverfahren.
- Ortsfeste in einem Biofilm wachsende Mikroorganismen (sessile Organismen).
- Es können aerobe, anoxische und anaerobe Bakterien dicht nebeneinander existieren
 - Abbau von Substanzen, die in suspendierter Biomasse nicht abgebaut werden können.
- Das Abwasser wird über dem Füllmaterial verregnet
 - Durchtropfen stellt Kontakt zwischen Biomasse und Abwasser her.
 - Kamineffekt bewirkt, dass Luft durch das Füllmaterial strömt (keine weitere Belüftung notwendig).

Technische Verfahren - Tropfkörperanlage

- Vorteil: geringer Platzbedarf, gute bis sehr gute biologische Reinigungsleistung & geringer Energiebedarf.
- Nachteil: regelmäßiger Wartungs-/Überwachungsaufwand.

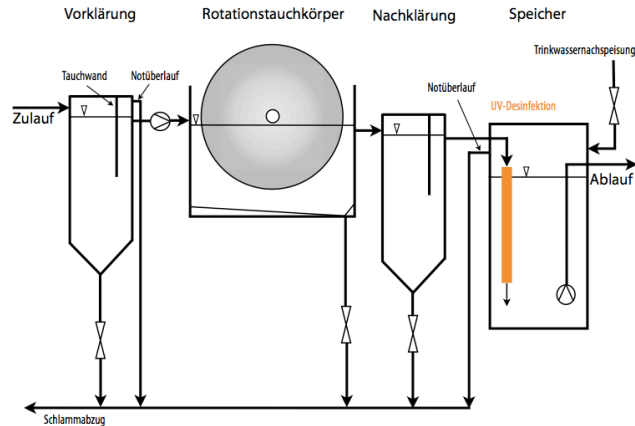


Technische Verfahren - Rotationskörperanlage

- Rotationskörperanlage zählen zu den Biofilmverfahren.
- Walzen, die in eine von Abwasser durchströmte Wanne tauchen und sich langsam drehen.
- Während der Auftauchphase nimmt der Biofilm Sauerstoff aus der Umgebungsluft auf.
- In der Tauchphase nimmt der Biofilm Schmutzstoffe aus dem Abwasser auf.
- GW-Aufbereitungsanlagen mit RTK v.a. für Hotels und Siedlung (GW-Anfall > 5m³/d) geeignet.

Technische Verfahren - Rotationstauchkörper

- Vorteil: geringer Platzbedarf & gute bis sehr gute biologische Reinigungsleistung.
- Nachteil: regelmäßiger Wartungs-/Überwachungsaufwand.

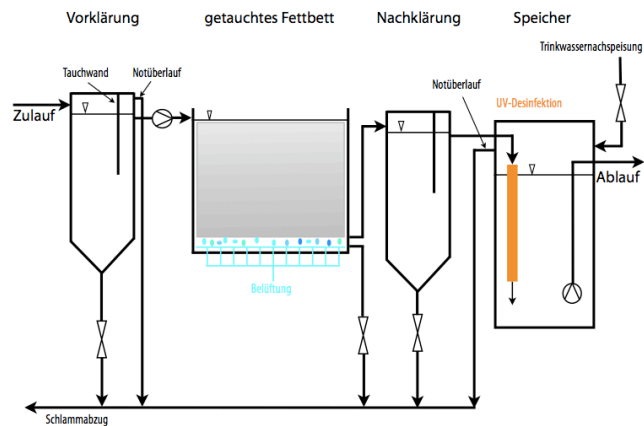


Technische Verfahren - getauchte Festbettanlage

- Getauchte Festbettanlagen zählen zu den Biofilmverfahren.
- Reaktoren, in denen submerse Aufwuchskörper (Packungen) installiert sind.
- Packungen haben eine spezifische Oberfläche zwischen $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$ und $400 \text{ m}^2/\text{m}^3$ → hohe Besiedlungsdichte.
- Zusätzliche Belüftung notwendig.
- GW-Aufbereitungsanlagen mit getauchtem Festbett v.a. für Hotels und Siedlung (GW-Anfall $> 5 \text{ m}^3/\text{d}$) geeignet.

Technische Verfahren - Rotationstauchkörper

- Vorteil: geringer Platzbedarf & gute bis sehr gute biologische Reinigungsleistung.
- Nachteil: höherer Energieaufwand & regelmäßiger Wartungs-/Überwachungsaufwand.

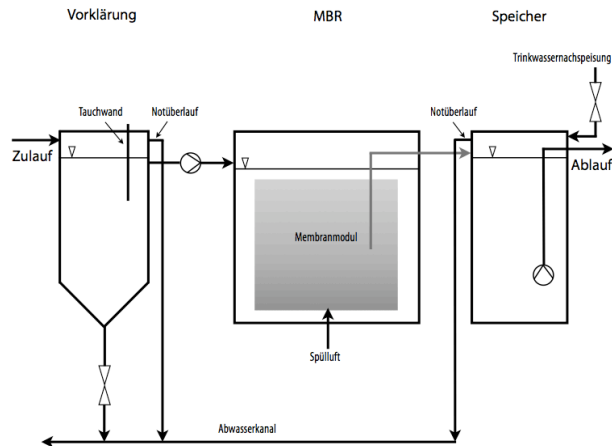


Technische Verfahren - Membranverfahren

- Physikalisches Verfahren zur Trennung von Stoffgemischen.
- Verschmutztes Wasser wird über die Membran geleitet.
- Trennung eines Stoffstroms, der mehrere Komponenten enthält, in zwei Stoffströme.
- Membran wirkt selektiv auf einzelne Komponenten des Stoffstroms
→ es entstehen zwei Stoffströme mit unterschiedlichen Zusammensetzungen.
- Man unterscheidet Nanofiltration, Umkehrosmose, Mikrofiltration & Ultrafiltration.
- GW-Aufbereitung mit MBR im Mikro- & Ultrafiltrationsbereich.

Technische Verfahren - Membranverfahren

- Vorteil: geringer Platzbedarf & geringer Energiebedarf.
- Nachteil: regelmäßiger Wartungs-/Überwachungsaufwand.



Nachbehandlung

- Keine vollständige Elimination durch die Biologische Reinigung.
- Restbelastung
 - hygienische Verunreinigungen,
 - anorganisch-chemische Verunreinigungen,
 - organisch-chemische Verunreinigungen.
- Hygienische Verunreinigungen stellen die größte Gefahr dar.
- Nachbehandlung von GW durch UV-Entkeimung oder Ozonierung.

Nachbehandlung - UV-Entkeimung

- Desinfektion mit ultravioletter Strahlung (physikalisches Verfahren).
- Einfache Erzeugung von UV-Strahlen aus elektrischer Energie direkt vor Ort.
- Nur UV-C-Strahlen (Wellenlängenbereich 245-264 nm) haben eine für Mikroorganismen abtötende Wirkung.
- Reduktion der Fäkalindikatorbakterien um 2-4 Zehnerpotenzen.
- Aber: keine Depotwirkung wie bei Chlor - Wiederverkeimung möglich.

Nachbehandlung - Ozonierung

- Wirkung von Ozon beruht auf seinem starken Oxidationsvermögen.
- Ozon wird durch die Abwasserinhaltsstoffe verbraucht
 - Mindestkonzentration von 0,3-0,5 g Ozon/m³ muss gewährleistet sein.
- Inaktivierung von Viren und bestimmten Bakterienarten.
- Reduktion von Mikroorganismen & Viren um 2-3 Zehnerpotenzen.
- Aber: keine Depotwirkung wie bei Chlor - Wiederverkeimung möglich.

Vergleich der GW-Aufbereitungsverfahren

- Naturnahe Verfahren
 - Vorteile: geringer Wartungs-/Überwachungsaufwand, gut in bestehende Außenanlagen zu integrieren, geringer Energiebedarf, gute bis sehr gute Reinigungsleistung.
 - Nachteil: große Flächenbedarf.
- Technische Verfahren
 - Vorteile: geringer Flächenbedarf, gute bis sehr gute Reinigungsleistung.
 - Nachteile: höherer Energiebedarf, hohe Überwachungs-/Wartungsaufwand.



Vergleich der GW-Aufbereitungsverfahren

	Platzbedarf	Reinigungsleistung	Grauwasserquellen	Wartungsaufwand	Betriebswassernutzung	Energieverbrauch
naturnahe Verfahren						
bepflanzter Bodenfilter	-	++	+	++	+	++
Teichanlage	--	++	+	++	+	++
technische Verfahren						
Tropfkörper	+	++	+	-	++	+
Rotationstauchkörper	+	++	+	-	++	-
Festbetтанlage	+	++	+	-	++	-
Belebungsverfahren, kontinuierlich	++	+	o	--	++	--
SBR-Verfahren	++	+	o	-	++	--
Ökwanne	+	-	-	-	--	k.A.

++ = sehr gut
+ = gut
o = mittel
- = schlecht
-- = sehr schlecht



Ausblick

- Hauptaufgabe der Wasserwirtschaft
 - Schutz der Ressourcen,
 - Verbesserung der Wasseraufbereitung,
 - gezieltes Wassermanagement.
- GW-Aufbereitung
 - als effiziente Möglichkeit Trinkwasser nachhaltig einzusparen.
 - Weiterentwicklung in Richtung Kreislaufführung der Stoffströme.
 - in alle Teile der Welt übertragbar.



Vielen Dank für Eure Aufmerksamkeit!

