

Verfahrenstechnische Optionen zur Aufbereitung von Abwasser

Bernhard Düppenbecker, Peter Cornel

Technische Universität Darmstadt, Institut IWAR

Abschlussworkshop zum Forschungsvorhaben
„Rahmenbedingungen für die umweltgerechte Nutzung von
aufbereitetem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung“
(UFOPLAN 3713 21 232)

Auftraggeber:



Ziele des Projektes

- Welche verfahrenstechnische Optionen sind verfügbar um Anforderungen bezüglich...
 - hygienischer Abwasserbeschaffenheit
 - chemischer Abwasserbeschaffenheit

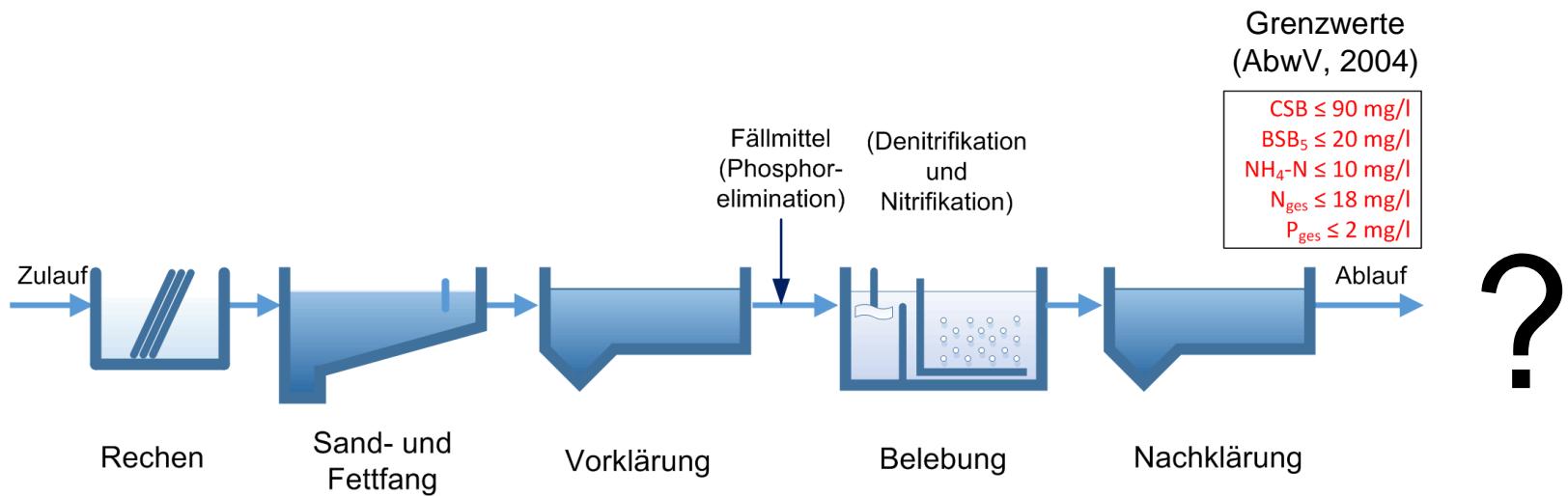
... zu erfüllen? → **Identifikation geeigneter Verfahren**
- **Bewertung einzelner Verfahren (Effektivität/Wirtschaftlichkeit)**
- **Ausarbeitung möglicher Verfahrensketten**
- Existieren für alle Anforderungen technische Lösungen? → **Forschungsbedarf identifizieren**

Inhalt

1. Ausgangslage in Deutschland
2. Darstellung und Bewertung (→ Bewertungsmatrix) von verfahrenstechnischen Optionen zur
 - Desinfektion → hygienische Abwasserbeschaffenheit
 - Weitergehenden Aufbereitung → chemische Abwasserbeschaffenheit
3. Abscheidungen von Mikroverunreinigungen
4. Verfahrensketten
5. Fazit und Schlussfolgerungen

1. Ausgangslage Deutschland

- Definition einer Modellkläranlage
- GK 4 + 5 → 92 % der gesamten Ausbaugröße (DWA, 2012)



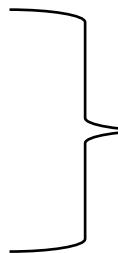
2. Verfahren zur Desinfektion von behandelten Abwasser

➤ Abscheidung von Krankheitserregern

- Ausgewählte Verfahren:

- UV-Bestrahlung
- Membranverfahren (Mikro- und Ultrafiltration)
- Ozonung
- (Chlorung)
- Zusätzlich betrachtete Verfahren:

- Mikrosiebung
- Schnellfiltration
- Fällung und Flockung
- Schönungsteich



Abscheidung von Krankheitserregen?

- Verfahren wurden schon großtechnisch umgesetzt
- Wichtig: Reduktion ≠ Desinfektion → der Ablauf ist nicht „keimfrei“!

2. Beispiel Bewertungsmatrix I

Aspekt/Verfahren			Chlorung		Ozon	
Wirtschaftlichkeit	Investitionskosten	Bautechnik	niedrig	(Schwarz 2008) in (DWA 2008)	hoch	(Cornel 2006) in (DWA 2008)
		Maschinentechnik	mittel	(Fuhrmann 2008) in (DWA 2008)	hoch	(Scheer 2008) in (DWA 2008)
		E+MSR-Technik	niedrig	(Schwarz 2008) in (DWA 2008)	hoch	(Cornel 2006) in (DWA 2008)
	Betriebskosten	Personalbedarf / -kosten	niedrig	(ATV 1998) in (DWA 2008)	mittel	(ATV 1998) in (DWA 2008)
		Energiebedarf / -kosten				
		Reststoffentsorgung				
		Betriebsstoffe (Fällmittel etc.)				
		Wartungskosten				
Reduktion Krankheitserreger	Viren	1 – 3 Log.-Stufen	(WHO 2006) in (DWA 2008)	3 – 6 Log.-Stufen	(WHO 2006) in (DWA 2008)	(WHO 2006) in (DWA 2008)
	Bakterien	2 – 6 Log.-Stufen		2 – 6 Log.-Stufen		
	Protozoen	0 – 1,5 Log.-Stufen		1 – 2 Log.-Stufen		
	Helminthen	0 - < 1 Log.-Stufen		0 – 2 Log.-Stufen		
Bewässerungstechnik	Wurzelbewässerung	Geeignet (ggf. ist eine weitergehende Abscheidung von Feststoffen notwendig um das Bewässerungssystem zu schützen)	(Alcalde 2004) in (DWA 2008)	Geeignet (ggf. ist eine weitergehende Abscheidung von Feststoffen notwendig um das Bewässerungssystem zu schützen)	(Alcalde 2004) in (DWA 2008)	(Alcalde 2004) in (DWA 2008)
	Tropfenbewässerung					
	Sprinkler- /Spray-anlagen					
	Flutung					
Nutzungsarten	Landwirtschaftliche Bewässerung	nicht empfohlen (aufgrund der Bildung von Desinfektionsprodukten)	(Meda 2008) in (DWA 2008)	empfohlen	(Meda 2008) in (DWA 2008)	(Meda 2008) in (DWA 2008)
	Brauchwasser					
	Innerstädtische Bewässerung					
	Forstwirtschaftliche Bewässerung					

2. Verfahren zur weitergehenden Aufbereitung von behandeltem Abwasser

- **Abscheidung von Nährstoffen (N,P), Salzen, C, Feststoffen, ...**
- Ausgewählte Verfahren:
 - Biofilter
 - Fällung und Flockung
 - Membranverfahren (MF/UF und NF/RO)
 - Mikrosiebung
 - Schnellfiltration
- Verfahren wurden schon großtechnisch umgesetzt

Beispiel Bewertungsmatrix II

Aspekt/Verfahren		Biofilter (nachgeschaltet)		Fällung und Flockung (nachgeschaltet)			
Wirtschaftlichkeit	Investitionskosten	Bautechnik	niedrig	niedrig	(Scheer 2008) in (DWA 2008)		
		Maschinentechnik		niedrig			
		E+MSR-Technik		niedrig			
	Betriebskosten	Personalbedarf / -kosten	niedrig	niedrig	(MURL 1999) in (DWA 2008)		
		Energiebedarf / -kosten	hoch	(Thogerson 2000, Meda 2012)			
		Reststoffentsorgung	niedrig	(Barjenbruch 2007)	(Scheer 2008) in (DWA 2008)		
		Betriebsstoffe (Fällmittel etc.)	niedrig				
		Wartungskosten	niedrig				
Ablaufqualität	Reduktion CSB		< 30 mg/l im Ablauf	(Barjenbruch 2007)	< 30 %		
	Reduktion AFS		≤ 5 mg/l im Ablauf		> 70 %		
	Nährstoffelimination	Ammonium	≤ 0,5 mg/l im Ablauf		kein Einfluss		
		Nitrat	≤ 7 mg/l im Ablauf		kein Einfluss		
		Phosphor	≤ 0,5 mg/l im Ablauf		> 70 %		
	Farbe / Geruch		kein Einfluss		kein Einfluss		
	Reduktion Trübung		hoch		niedrig		
	Aufsalzung		kein Einfluss		mittel (Aufsalzung durch Fällchemikalien)		
	Wurzelbewässerung		Geeignet (ggf. ist eine weitergehende Desinfektion notwendig)	(Düppenbecker 2014)	Geeignet (ggf. ist eine weitergehende Desinfektion notwendig)		
	Tropfenbewässerung				(Alcalde 2004) in (DWA 2008)		
Bewässerungstechnik	Sprinkler- / Spray-anlagen				(Meda 2008) in (DWA 2008)		
	Flutung						
Nutzungsarten	Landwirtschaftliche Bewässerung		empfohlen		empfohlen		
	Brauchwasser		möglich		möglich		
	Innerstädtische Bewässerung		möglich		möglich		
	Forstwirtschaftliche Bewässerung		empfohlen		empfohlen		
					(Meda 2008) in (DWA 2008)		

3. Verfahren zur Elimination von Mikroverunreinigungen aus behandeltem Abwasser

Verfahrenstechnische Optionen:

- Verfahren auf Grundlage der Adsorption
 - Aktivkohle → GAC, PAC } Welche Stoffe adsorbieren (nicht)?
 - Verfahren auf Grundlage der chemischen Oxidation
 - Ozon
 - Advanced Oxidation Processes (AOP) } Transformationsnebenprodukte?
 - Membranverfahren
 - NF } Retentat, Kosten!?
 - RO }
- Kaum großtechnische Erfahrungen
- Bewertung der Risiken } → Forschungsbedarf

Übersicht Verfahren

		UV	Ozonung	Chlorung	Membranverfahren				Schnellsandfilter	Fällung/ Flockung	Mikrosiebung	Schönungsteich	Biofilter	Adsorption an Aktivkohle
Hygiene	Viren	x	x	x	(x) ¹	x	x	x	(x) ³	(x) ⁵		(x) ⁵		
	Bakterien	x	x	x	x	x	x	x	(x) ³			(x) ⁵		
	Protozoen	x	x		x	x	x	x	(x) ³	(x) ⁵		(x) ⁵		
	Helmintheneier				x	x	x	x	(x) ³		(x) ³	(x) ⁵		
	Nährstoffe (N, P)				(x) ²	(x) ²	x	x	(x) ⁴	x	(x) ⁴	x	x	x ⁴
	Schwermetalle							x		x				
Organische Mikroverunreinigungen			x				x	x				x	x	
Salze							x	x						

¹ Rückhalt von Porenweite der Membran und Betriebsparametern abhängig

² in Kombination mit biologischem Verfahren

³ Rückhalt von Filtermedium und Betriebsparametern abhängig

⁴ partikulär gebunden Nährstoffe

⁵ Rückhalt von Betriebsparametern abhängig

⁴ partikulär gebunden Nährstoffe

⁴ organische Verbindungen

4. Beispiel Verfahrensketten

Fallbeispiel	Behandlungsstufen						Empfohlene Nutzungsarten	Kosten	
1	Belebungsverfahren mit Nährstoffelimination¹		Desinfektion					Landwirtschaftliche Bewässerung (Freiland- und Gewächshauskulturen für den Rohverzehr ²)	
	Mechanische Behandlung	Belebungsverfahren mit Nährstoffelimination	Fällung und Flockung	Filtration	UV-Bestrahlung	Schönungsteich			
2	Belebungsverfahren mit Nährstoffelimination¹		Desinfektion und weitergehende Aufbereitung						
	Mechanische Behandlung	Belebungsverfahren mit Nährstoffelimination	Filtration	Ultrafiltration	Umkehrosmose (RO)	UV-Bestrahlung	Grundwasseranreicherung (~Trinkwasser ³)		

¹gemäß Modellkläranlage

²Eignungsklasse 2 gemäß DIN 19650

³würde Eignungsklasse 1 gemäß DIN 19650 entsprechen

5. Fazit und Schlussfolgerungen

- Desinfektion
 - Verfahrenstechnische Optionen sind vorhanden
 - Großtechnische Erfahrungen sind vorhanden
 - Definition von Indikatororganismen (Überwachungsparametern) → Forschungsbedarf
 - Weitergehenden Aufbereitung (Nährstoffelimination, Entsalzung,...)
 - Verfahrenstechnische Optionen sind vorhanden
 - Großtechnische Erfahrungen sind vorhanden
 - Mikroschadstoffe
 - Kaum großtechnische Erfahrungen vorhanden
 - Risikobewertung
- } → Forschungsbedarf

Quellenverzeichnis

- AbwV (2004): *Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung - AbwV)*. Deutschland.
- Alcalde, L., G. Oron, Y. Manor, L. Gillerman, und M. Salgot (2004): *Wasterwater Reclamation and reuse for agricultural irrigation in arid regions: The experience of the city of Arad, Israel*. 2nd Israeli-Palestinian International Conference on Water for Life (9.-12.10.2004). Antalya, Turkei.
- ATV (1998): *ATV-M 205 - Desinfektion von biologisch gereinigtem Abwasser*. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef.
- ATV (2000): *ATV-DVWK-A 131: Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen*. Ausgabe Mai 2000. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef.
- Barjenbruch, M. (2007) : *Benchmarking of BAF plants: operational experience on 40 full-scale installations in Germany*. Water Science and Technology, 55(8-9), 91-98.
- Cornel, P. (2006): *Weitergehende Behandlung von Kläranlagenabläufen (A-Kohle, Oxidations-, Desinfektionsverfahren u. a.)*. DWA Wasserwirtschafts-Kurs.
- Düppenbecker, B., und P. (Cornel 2014): Persönliche Bewertung. Institut IWAR, TU Darmstadt.
- DWA (2008): *Bewertung von Verfahrensstufen zur Abwasseraufbereitung für die Wiederverwendung*. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef.
- DWA (2012): *25. Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen*. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef.
- Fuhrmann, T. (2008): Persönliche Mitteilung. Emscher und Lippe Wassertechnik, Essen.
- Meda, A. und P. Cornel (2008): Persönliche Bewertung. Institut IWAR, TU Darmstadt.
- Meda, A. (2012): *Einsatz von Biofiltern für die Wasser- und Nährstoffwiederverwendung und für die weitergehende Abwasserreinigung zur Spurenstoffentfernung*. Dissertation, TU Darmstadt.
- MURL (1999): *Handbuch - Energie in Kläranlagen*. Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes NRW, Düsseldorf.
- Scheer, H. (2008): Persönliche Bewertung. Emscher und Lippe Wassertechnik, Essen.
- Schmitt, W (2003): *Biofilter als biologische Hauptstufe - Beispiel KA Wiesbaden-Biebrich(System Biopur)*. Darmstädter Seminar Abwassertechnik: Biofiltration-Renaissance eines Verfahrens durch erhöhte Anforderungen im In- und Ausland. Institut IWAR, Darmstadt.
- Schwarz, C. (2008): Persönliche Bewertung. Emscher und Lippe Wassertechnik, Essen.
- Thogerson, T., und R. Hansen (2000): *Full scale parallel operation of a biological aerated filter (BAF) and activated sludge (AS) for nitrogen removal*. Water Science and Technology , 41(4-5), 159-168.
- WHO (2006): *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, Volume 2: Wastewater use in agriculture*. World Health Organization, Genf, Schweiz.