

# 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:



Umwelt  
Bundesamt

# Ziele des Projektes

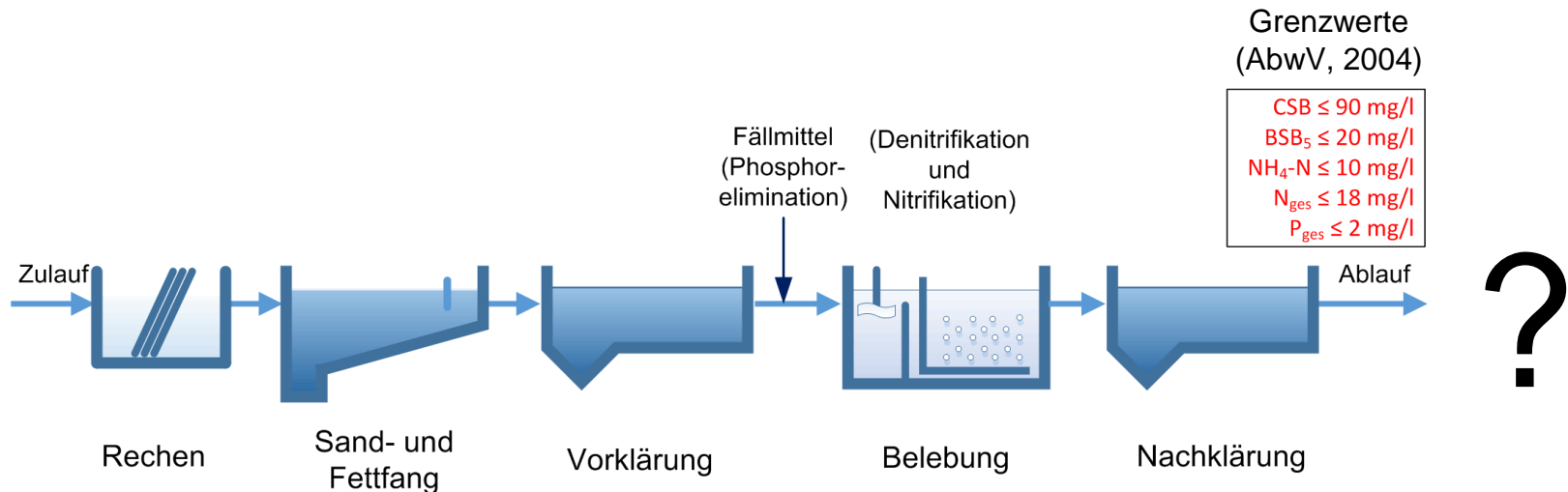
- Welche verfahrenstechnische Optionen sind verfügbar um Anforderungen bezüglich...
  - hygienischer Abwasserbeschaffenheit
  - chemischer Abwasserbeschaffenheit... zu erfüllen? → **Identifikation geeigneter Verfahren**
- **Bewertung einzelner Verfahren (Effektivität/Wirtschaftlichkeit)**
- **Ausarbeitung möglicher Verfahrensketten**
- Existieren für alle Anforderungen technische Lösungen? → **Forschungsbedarf identifizieren**

# Inhalt

1. Ausganglage 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 Krankheitserregern?

- Verfahren wurden schon großtechnisch umgesetzt
- Wichtig: Reduktion  $\neq$  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	(Fuhmann 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)
	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)
	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)
	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	(Schmitt 2003)	niedrig	(Scheer 2008) in (DWA 2008)	
		Maschinentechnik			niedrig		
		E+MSR-Technik			niedrig		
	Betriebskosten	Personalbedarf / -kosten	niedrig	(Barjenbruch 2007)	niedrig	(MURL 1999) in (DWA 2008)	
		Energiebedarf / -kosten	hoch	(Thogerson 2000, Meda 2012)	niedrig		
		Reststoffentsorgung	niedrig	(Barjenbruch 2007)	mittel		(Scheer 2008) in (DWA 2008)
		Betriebsstoffe (Fällmittel etc.)	niedrig		mittel		
Wartungskosten	niedrig		mittel				
Ablaufqualität	Reduktion CSB		< 30 mg/l im Ablauf	(Barjenbruch 2007)	< 30 %	(Meda 2008) in (DWA 2008)	
	Reduktion AFS		≤ 5 mg/l im Ablauf		> 70 %		
	Nährstoffelimination	Ammonium	≤ 0,5 mg/l im Ablauf			kein Einfluss	(Düppenbecker 2014)
		Nitrat	≤ 7 mg/l im Ablauf		kein Einfluss	(ATV 2000) in (DWA 2008)	
		Phosphor	≤ 0,5 mg/l im Ablauf		> 70 %		
	Farbe / Geruch		kein Einfluss		kein Einfluss	(Meda 2008) in (DWA 2008)	
	Reduktion Trübung		hoch		niedrig	(ATV 2000) in (DWA 2008)	
	Aufsätzung		kein Einfluss		mittel (Aufsätzung durch Fällchemikalien)	(Meda 2008) in (DWA 2008)	
	Bewässerungstechnik	Wurzelbewässerung		Geeignet (ggf. ist eine weitergehende Desinfektion notwendig)	(Düppenbecker 2014)	Geeignet (ggf. ist eine weitergehende Desinfektion notwendig)	(Alcalde 2004) in (DWA 2008)
Tropfenbewässerung							
Sprinkler- /Spray-anlagen							
Flutung							
Nutzungsarten	Landwirtschaftliche Bewässerung		empfohlen		empfohlen	(Meda 2008) in (DWA 2008)	
	Brauchwasser		möglich		möglich		
	Innerstädtische Bewässerung		möglich		möglich		
	Forstwirtschaftliche Bewässerung		empfohlen		empfohlen		



### 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
					MF	UF	NF	RO						
Hygiene	Viren	x	x	x	(x) <sup>1</sup>	x	x	x	(x) <sup>3</sup>	(x) <sup>5</sup>		(x) <sup>5</sup>		
	Bakterien	x	x	x	x	x	x	x	(x) <sup>3</sup>			(x) <sup>5</sup>		
	Protozoen	x	x		x	x	x	x	(x) <sup>3</sup>	(x) <sup>5</sup>		(x) <sup>5</sup>		
	Helmintheneier				x	x	x	x	(x) <sup>3</sup>		(x) <sup>3</sup>	(x) <sup>5</sup>		
Nährstoffe (N, P)					(x) <sup>2</sup>	(x) <sup>2</sup>	x	x	(x) <sup>4</sup>	x	(x) <sup>4</sup>	x	x	x <sup>4</sup>
Schwermetalle								x		x				
Organische Mikroverunreinigungen			x				x	x					x	x
Salze							x	x						

<sup>1</sup> Rückhalt von Porenweite der Membran und Betriebsparametern abhängig

<sup>2</sup> in Kombination mit biologischem Verfahren

<sup>3</sup> Rückhalt von Filtermedium und Betriebsparametern abhängig

<sup>4</sup> partikulär gebunden Nährstoffe

<sup>5</sup> Rückhalt von Betriebsparametern abhängig

<sup>4</sup> partikulär gebunden Nährstoffe

<sup>4</sup> organische Verbindungen

## 4. Beispiel Verfahrensketten

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

<sup>1</sup>gemäß Modellkläranlage

<sup>2</sup>Eignungsklasse 2 gemäß DIN 19650

<sup>3</sup>würde 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): *Wastewater 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, Türkei.
- 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 Wasser-Wirtschafts-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. Insitut 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.