


Elimination von organischen Spurenstoffen bei der biologischen Abwasserreinigung

Adriano Joss, eawag

5 Jahre Kompetenzzentren Spurenstoffen

28.-29. Juni 2017

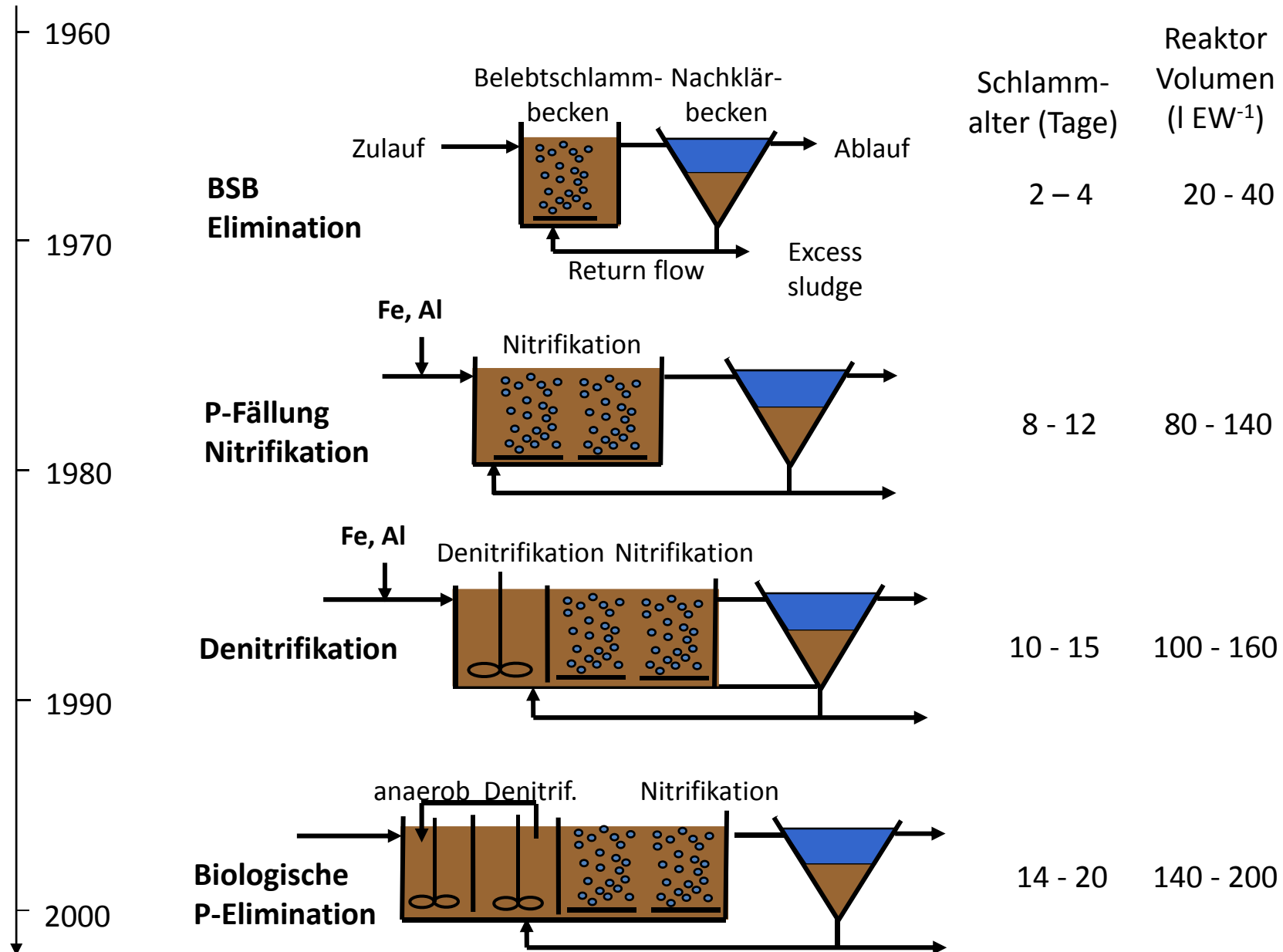




Biologische Abwasserreinigung: quo vadis?

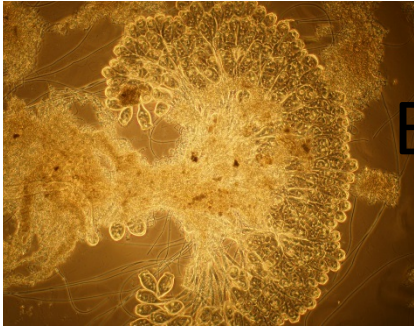
- Vielfalt der biologischen Verfahren
- Biologie optimieren anstelle der 4. Reinigungsstufe?
- Wie geschieht der biologische Abbau?

Entwicklung von Belebtschlammssystemen



Biologische Abwasserbehandlung: heutige Optionen

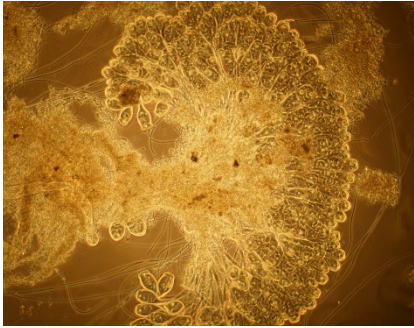
- Konventionelle Belebung
 - Kaskade volldurchmischer Reaktoren
 - Alternierende/Intermittierende Verfahren
 - SBR (sequencing batch reactor = Belebung im Aufstaubetrieb)
- Membranbioreaktoren
 - Membranen für den Schlammrückhalt
- Granular sludge
 - Nereda[®]: Rückhalt/Selektion via Absetzverhalten/Beschicken
 - S-Select[®]: Rückhalt/Selektion via Hydrozyklon
- Biofilmreaktoren
 - Wirbelbett
 - Festbett
 - Hybrid Reaktoren (suspendiert + Biofilm)



Biologische Abwasserbehandlung: heutige Optionen

- Konventionelle Belebung
 - **Kaskade volldurchmischer Reaktoren**
 - Alternierende/Intermittierende Verfahren
 - SBR (sequencing batch reactor = Belebung im Aufstaubetrieb)
- Membranbioreaktoren
 - Membranen für den Schlammrückhalt
- Granular sludge
 - Nereda[®]: Rückhalt
 - S-Select[®]: Rückhalt
- Biofilmreaktoren
 - Wirbelbett
 - Festbett
 - Hybrid Reaktoren

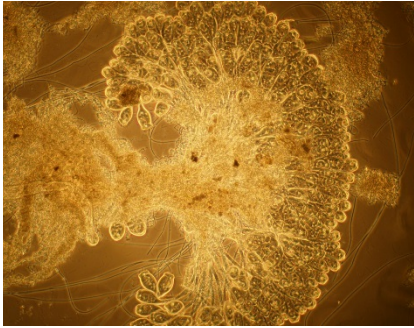




Biologische Abwasserbehandlung: heutige Optionen

- Konventionelle Belebung
 - Kaskade volldurchmischter Reaktoren
 - **Alternierende/Intermittierende Verfahren**
 - SBR (sequencing batch reactor = Belebung im Aufstaubetrieb)
- Membranbioreaktoren
 - Membranen für den S
- Granular sludge
 - Nereda[®]: Rückhalt/Se
 - S-Select[®]: Rückhalt/Se
- Biofilmreaktoren
 - Wirbelbett
 - Festbett
 - Hybrid Reaktoren (suspendiert + Biofilm)

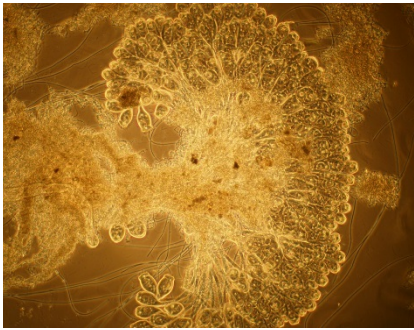




Biologische Abwasserbehandlung: heutige Optionen

- Konventionelle Belebung
 - Kaskade volldurchmischer Reaktoren
 - Alternierende/Intermittierende Verfahren
 - **SBR (Belebung im Aufstauetrieb)**
- Membranbioreaktoren
 - Membranen für den Schlammrückhalt
- Granular sludge
 - Nereda[®]: Rückhalt/Selektion via Absorption
 - S-Select[®]: Rückhalt/Selektion via Hydrolyse
- Biofilmreaktoren
 - Wirbelbett
 - Festbett
 - Hybrid Reaktoren (suspendiert + Biofilm)





Biologische Abwasserreinigung heutige Optimalverfahren



- Konventionelle Belebung
 - Kaskade volldurchmischter Reaktoren
 - Alternierende/Intermittierende Belebung
 - SBR (sequencing batch reactor)
- Membranbioreaktoren
 - **Membranen für den Schlammrückhalt**
- Granular sludge
 - Nereda[®]: Rückhalt/Selektion via Absetzverhalten/Beschicken
 - S-Select[®]: Rückhalt/Selektion via Hydrozyklon
- Biofilmreaktoren
 - Wirbelbett
 - Festbett
 - Hybrid Reaktoren (suspendiert + Biofilm)



Biologi

ventionelle
nskade volld



Epe

- Alternierende, intermittierende Verfahren
- SBR (sequencing batch reactor = Belebung im Aufstaubetrieb)
- Membranbioreaktoren
 - Membranen für den Schlammrückhalt
- Granular sludge
 - **Nereda[®]: Rückhalt/Selektion via Absetzverhalten/Beschicken**
 - S-Select[®]: Rückhalt/Selektion via Hydrozyklon
- Biofilmreaktoren
 - Wirbelbett
 - Festbett
 - Hybrid Reaktoren (suspendiert + Biofilm)



Biologische Abwa heutige C

ventionelle Belebun
skade volldurchmischer

- Alternierende/Intermittiere
- SBR (sequencing batch reac

- Membranbioreaktoren

- Membranen für den Schlammrückhalt

- Granular sludge

- Nereda[®]: Rückhalt/Selektion via Absetzverhalten/Beschicken
- **S-Select[®]: Rückhalt/Selektion via Hydrozyklon**

- Biofilmreaktoren

- Wirbelbett
- Festbett
- Hybrid Reaktoren (suspendiert + Biofilm)





Biologische Abwasserreinigung heutige



- Konventionelle Belebung
 - Kaskade volldurchmischter Reaktoren
 - Alternierende/Intermittierende Belebung
 - SBR (sequencing batch reactor)
- Membranbioreaktoren
 - Membranen für den Schlammrückhalt
- Granular sludge
 - Nereda[®]: Rückhalt/Selektion via Absetzverhalten/Beschicken
 - S-Select[®]: Rückhalt/Selektion via Hydrozyklon
- Biofilmreaktoren
 - **Wirbelbett**
 - Festbett
 - Hybrid Reaktoren (suspendiert + Biofilm)



Biologische Abw heutige

- Konventionelle Belebung
 - Kaskade volldurchmischter
 - Alternierende/Intermittier
 - SBR (sequencing batch rea
- Membranbioreaktoren
 - Membranen für den Schlammrückhalt
- Granular sludge
 - Nereda[®]: Rückhalt/Selektion via Absetzverhalten/Beschicken
 - S-Select[®]: Rückhalt/Selektion via Hydrozyklon
- Biofilmreaktoren
 - Wirbelbett
 - **Festbett**
 - Hybrid Reaktoren (suspendiert + Biofilm)





Biologische Abw heutige



- Konventionelle Belebungsanlagen
 - Kaskade volldurchmischter Reaktoren
 - Alternierende/Intermittierende Belebungsanlagen
 - SBR (sequencing batch reactor)
- Membranbioreaktoren
 - Membranen für den Schlammrückhalt
- Granular sludge
 - Nereda[®]: Rückhalt/Selektion via Absetzverhalten/Beschicken
 - S-Select[®]: Rückhalt/Selektion via Hydrozyklon
- Biofilmreaktoren
 - Wirbelbett
 - Festbett
 - **Hybrid Reaktoren (suspendiert + Biofilm)**

Biologische Abwasserbehandlung: Welche Optionen für Spurenstoffen?

Da ...

...verschiedene Verfahren machbar sind

...biologische Verfahren die beste Option für die kommunale darstellen

Was gilt für Spurenstoffen?

...gibt es ein herausragendes biologisches Verfahren ?

...wie geschieht der biologische Abbau?

...sind biologische biologische Verfahren konkurrenzfähig mit der vierten Reinigungsstufe?

Wie Komplex dürfen robuste Lösungen sein?

Ein modernes Telefon: 13+ Sensoren

- Mikrophon, Touchscreen und Antenne
- Kamera und Lichtsensor
- GPS und Kompass
- Bewegung und Drehung
- Näherungssensor
- Fingerabdruck
- Feuchte, Temperatur



Eine Waschmaschine: 6 Sensoren

- Temperatur
- Füllstand
- Schmutz
- Leckage
- Stromversorgung
- Vibrationen

**Komplexität ist irrelevant
solange robust**



Wie Komplex sind Mikroorganismen?



Biologische Abwasserbehandlung: Das EU-Projekt Athene



Aerob vs. Anaerob

Reaktionen:

- Reduktion
- Dehalogenierung
- Wasser Addition
- Decarboxylierung

Hydrolyse

Nukleophiler Angriff

Oxidation

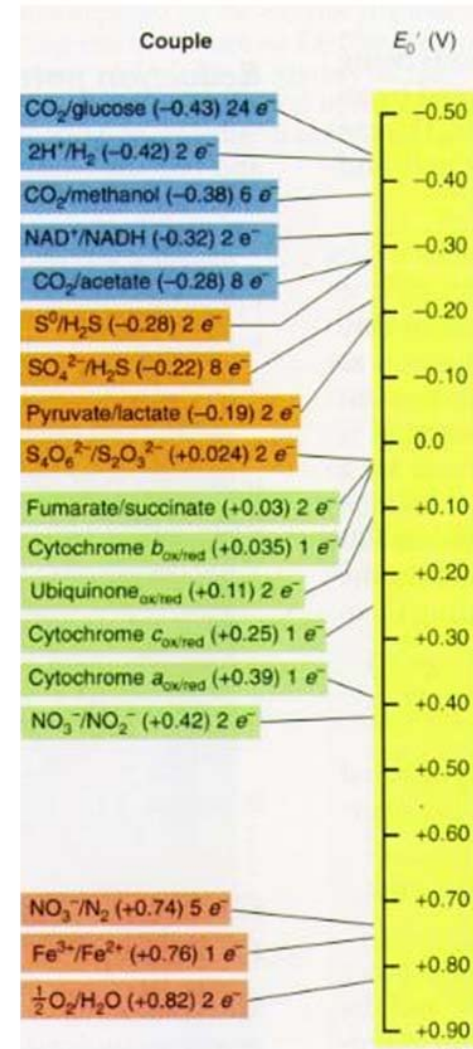
Verfahren:

Schlammbehandlung
Abwasserbehandlung?

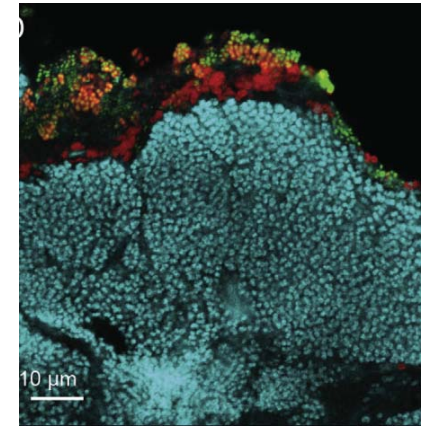
Bio-P

Denitrifikation

Belüftung



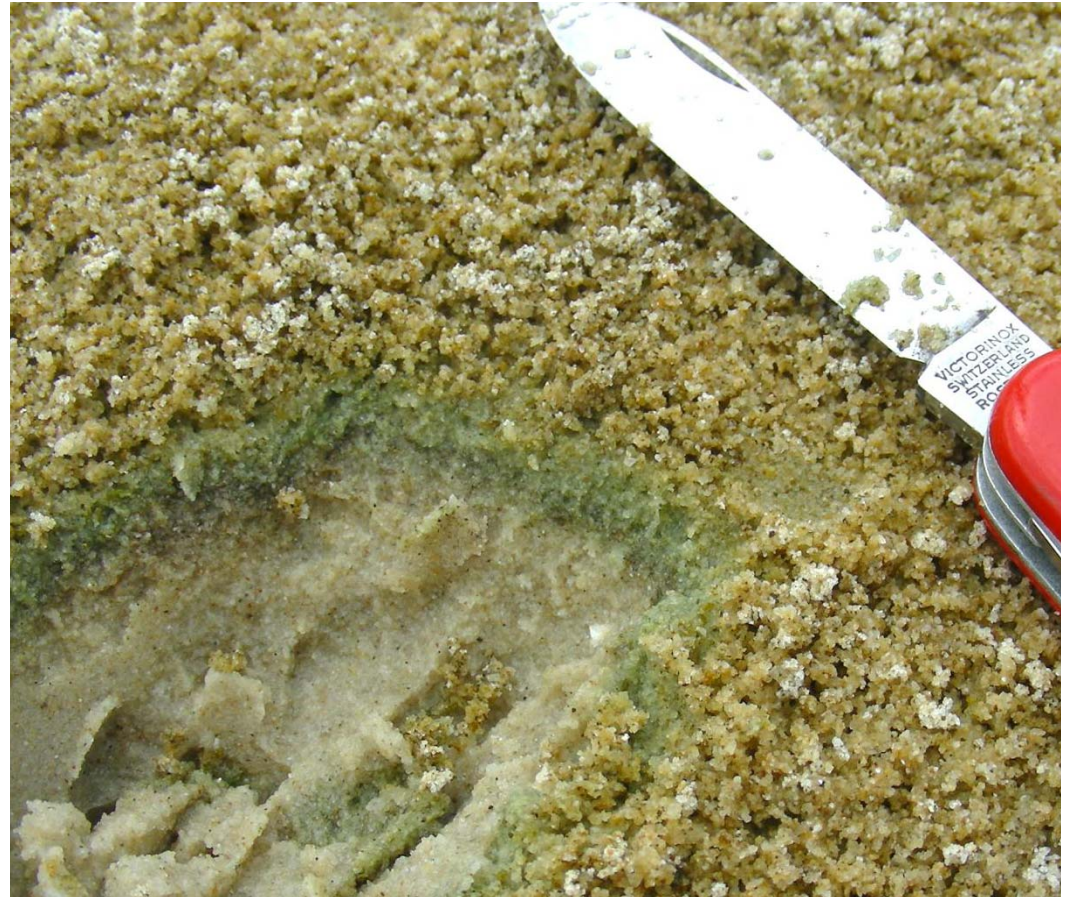
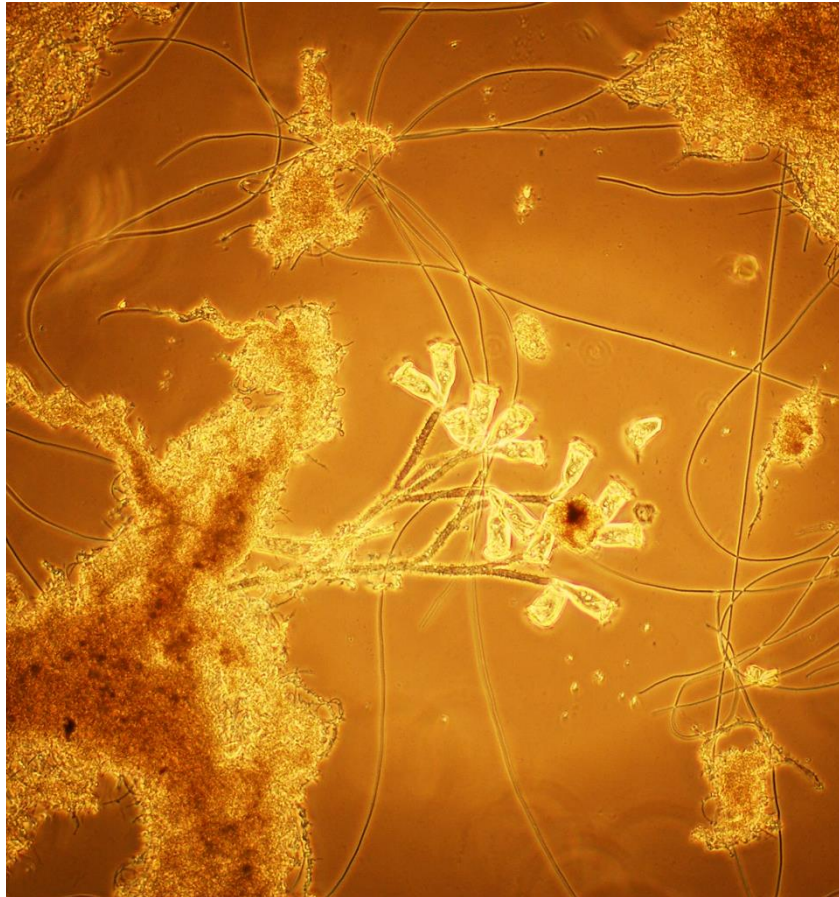
Biologische Abwasserbehandlung: Das EU-Projekt Athene



Flocken

vs.

Biofilm



Biologische Abwasserbehandlung: Das EU-Projekt Athene



Weitergehende Elimination von Spurenstoffe?

- Mehrstufige Behandlung
- N-Limitation
- Kombination von Redox Bedingungen (aerob/anaerob)
- Hybrid Systeme
- Verlängerte Behandlung

Die Laborreaktoren



Die Laborreaktoren

18 Reactoren verfügbar

Jeder Reaktor = eine KA mit 0.1 EW

12 L Volumen

Bis 9 online Sensoren:

- Füllstand, pH, Temperatur, O_2 , NH_4^+ , NO_3^- , Leitfähigkeit, Redox
- online Raten: O_2 , NH_4^+ , gas, ...

6 automatisierte Zu- und Abläufe

Rührer

Gasdicht

Automatisierung

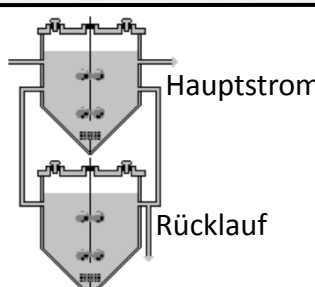
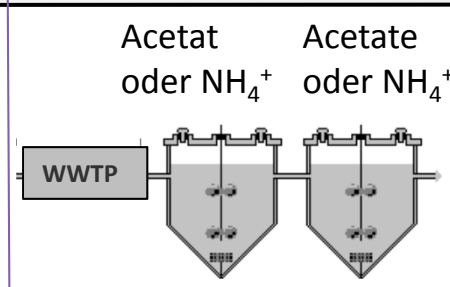
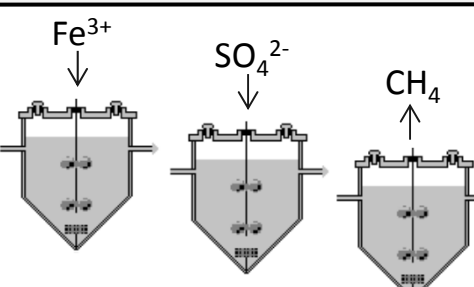
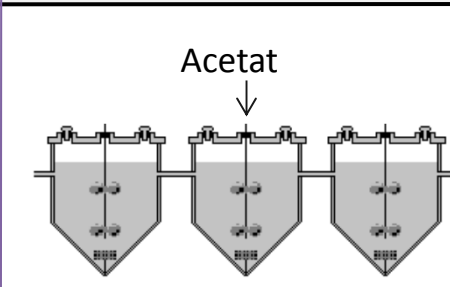
- SPS: Wago/CoDeSys
- Leitsystem: Citect (Schneider Electric)
- 400 Variablen pro Reaktor
- Betrieb: Flocken, Biofilm, SBR, mehrstufig...

Zulauf: kommunales Abwasser ab Vorklärung
(Koblenz oder Dübendorf)



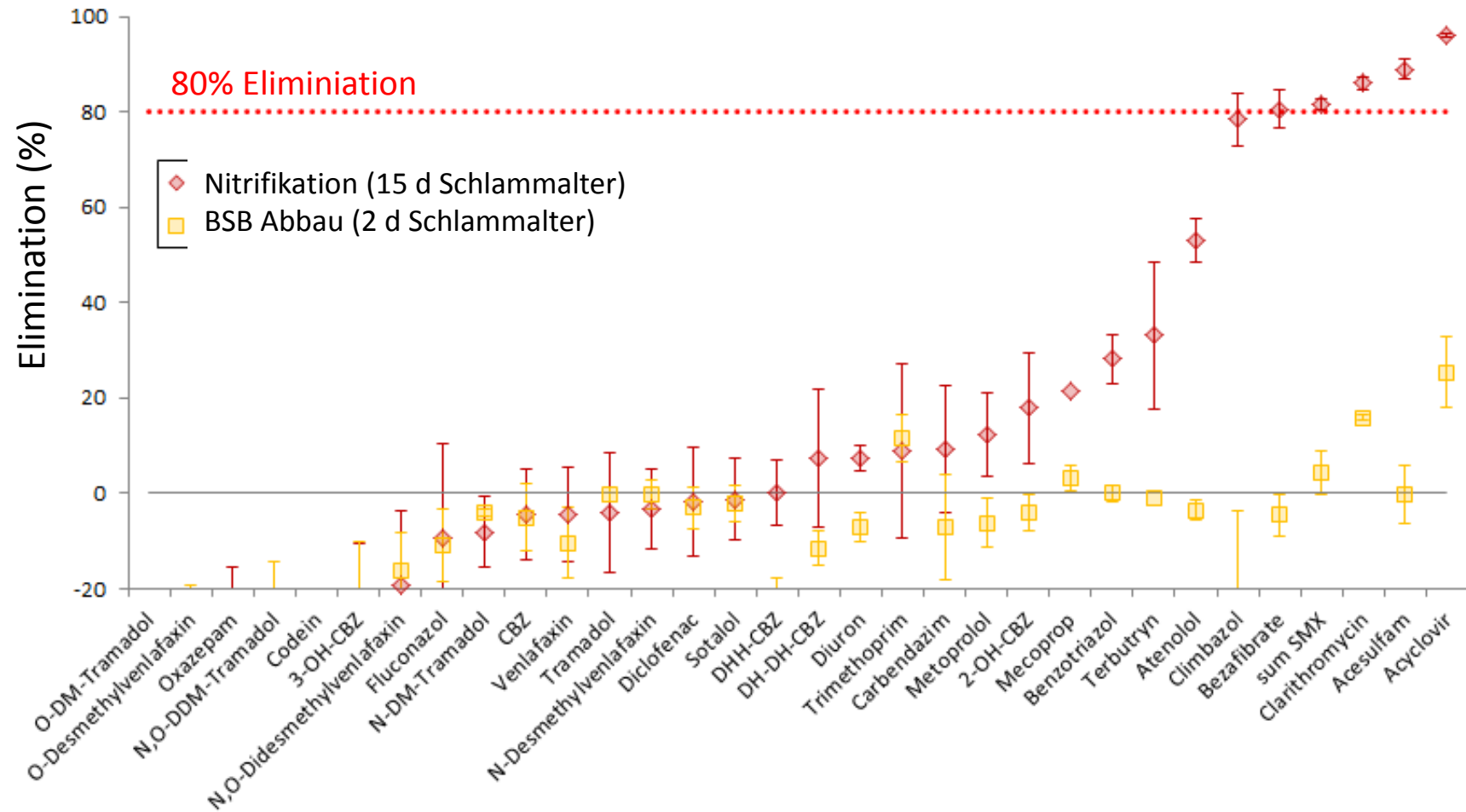
ATHENE Projekt

Vergleich biologischer Verfahrensvarianten: aufsummiert 15 Jahre Reaktorbetrieb

	Belebtschlamm, 25, 40 und 100 d Schlammalter (3x2 Reaktoren)	Belebtschlamm, aerobe Nachbehandlung (3 Reaktoren)	Anaerobe Behandlung (6 Reaktoren; 2 Kontaktzeiten)	Anaerobe Nachbehandlung (3 Reaktoren)
Konfiguration				
Rohwasser	Synthetisches Abwasser	Kommunal	Kommunal	Kommunal
HRT	Hauptstrom: 15 Std. Rücklauf: 12-20 d	1 d; 1 d; 1 d	1 d oder 7 d	12 Std.; 7 d; 7 d

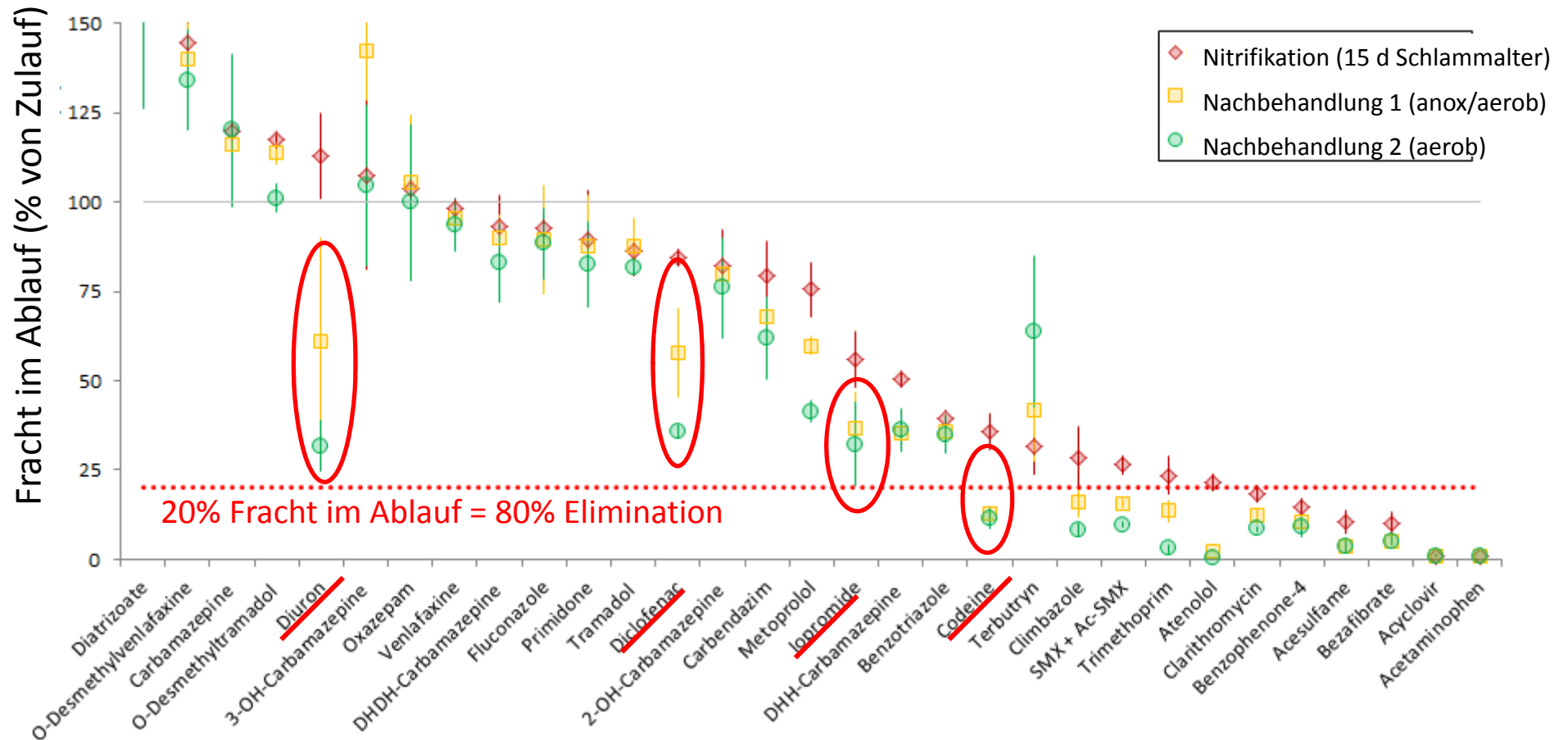


Stand der Technik: Belebung mit / ohne Nitrifikation



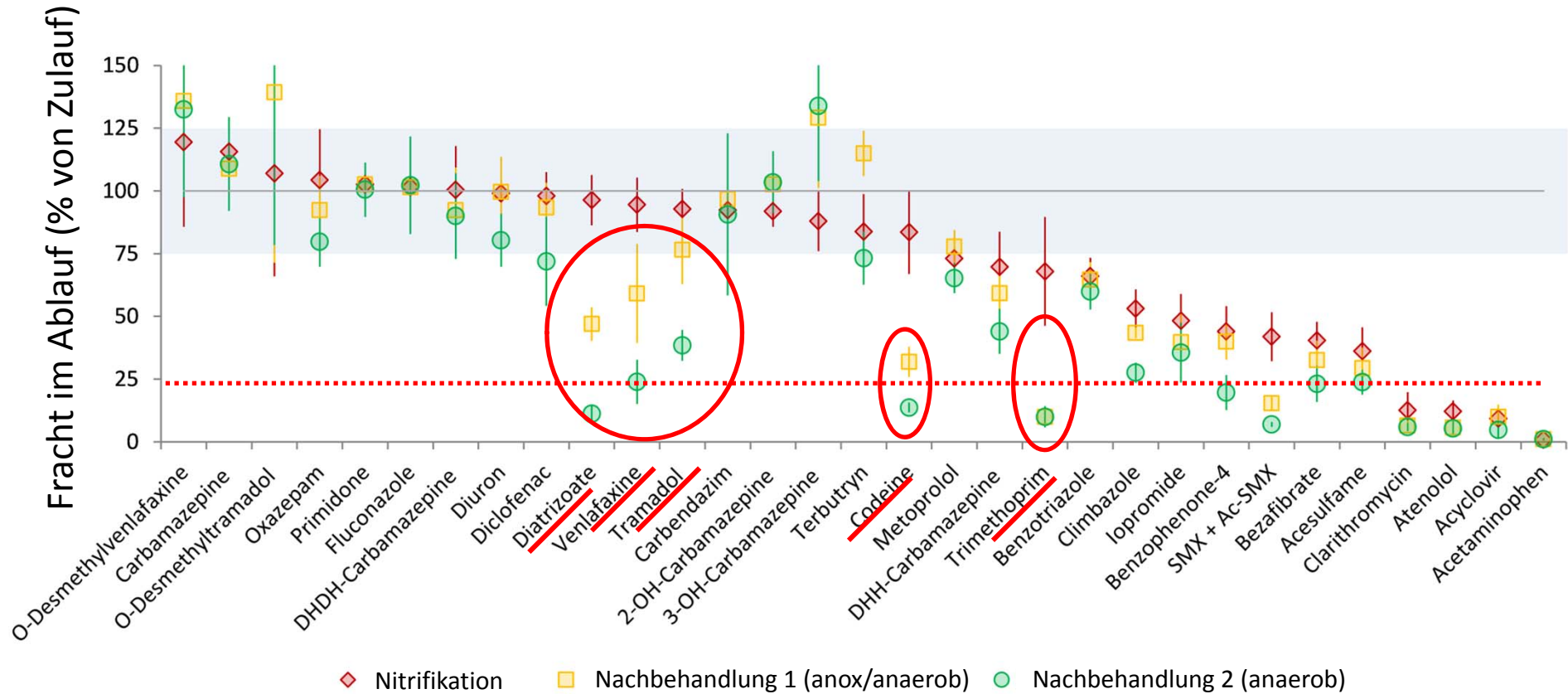
Falas et al., Water Research 2016

Weitergehende biologische Behandlung: Beispiel aerobe Nachbehandlung



**Biologischer Abbau = Transformation,
in vielen Fällen keinen Totalabbau**

Weitergehende biologische Behandlung: Beispiel anaerobe Nachbehandlung



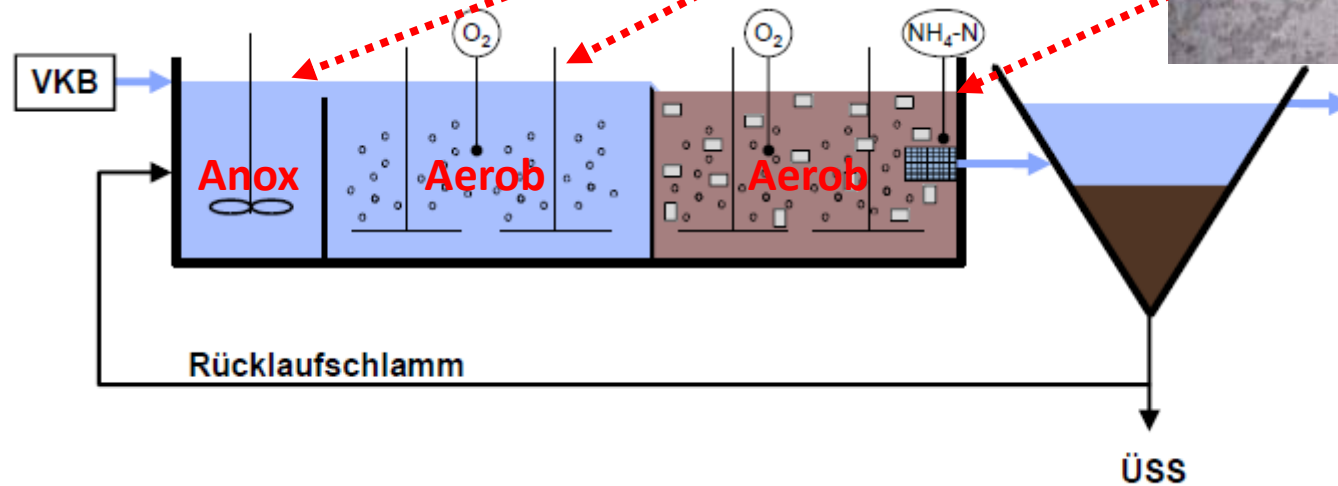


Hybrid Wirbelbett: Kläranlage Bad Ragaz

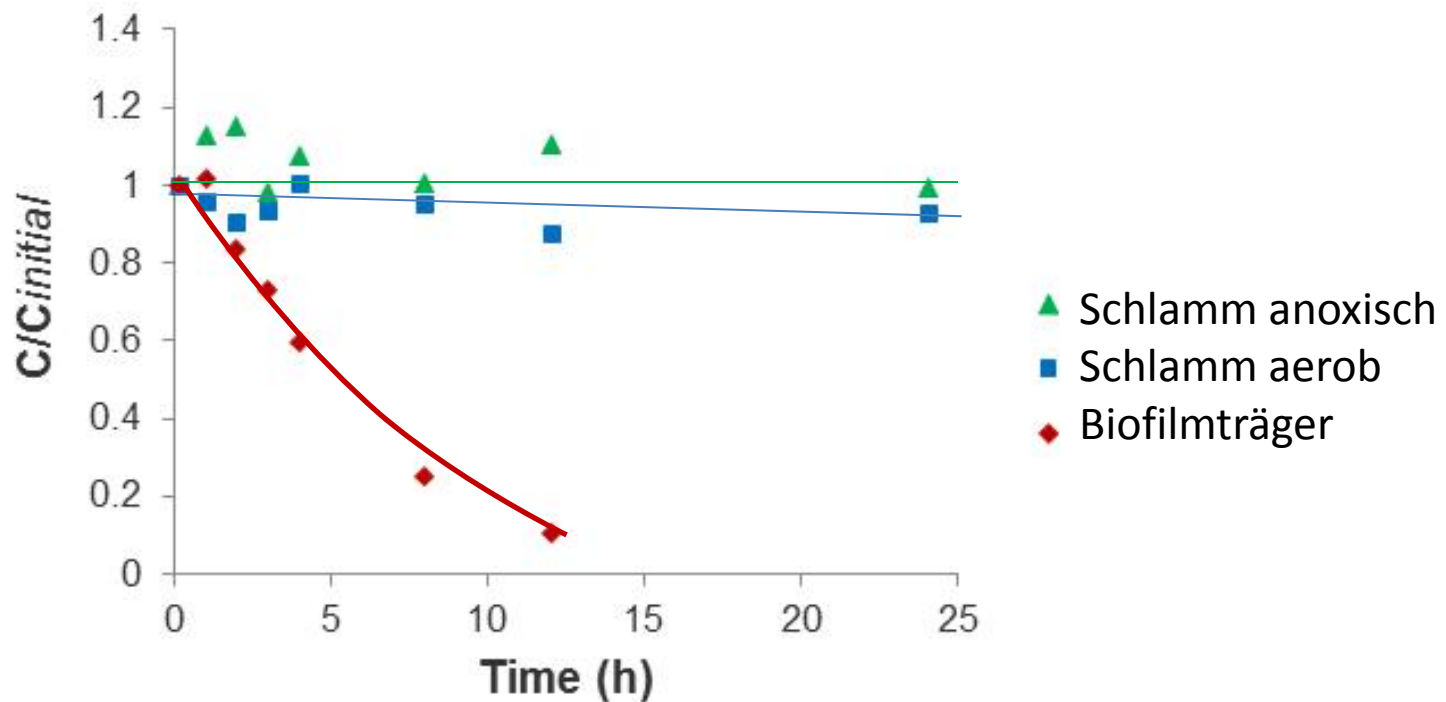
Gute Lösung für Ertüchtigung von KA

Meist als Reaktor Kaskade

KA Klippan: Vergleichbare Ergebnisse



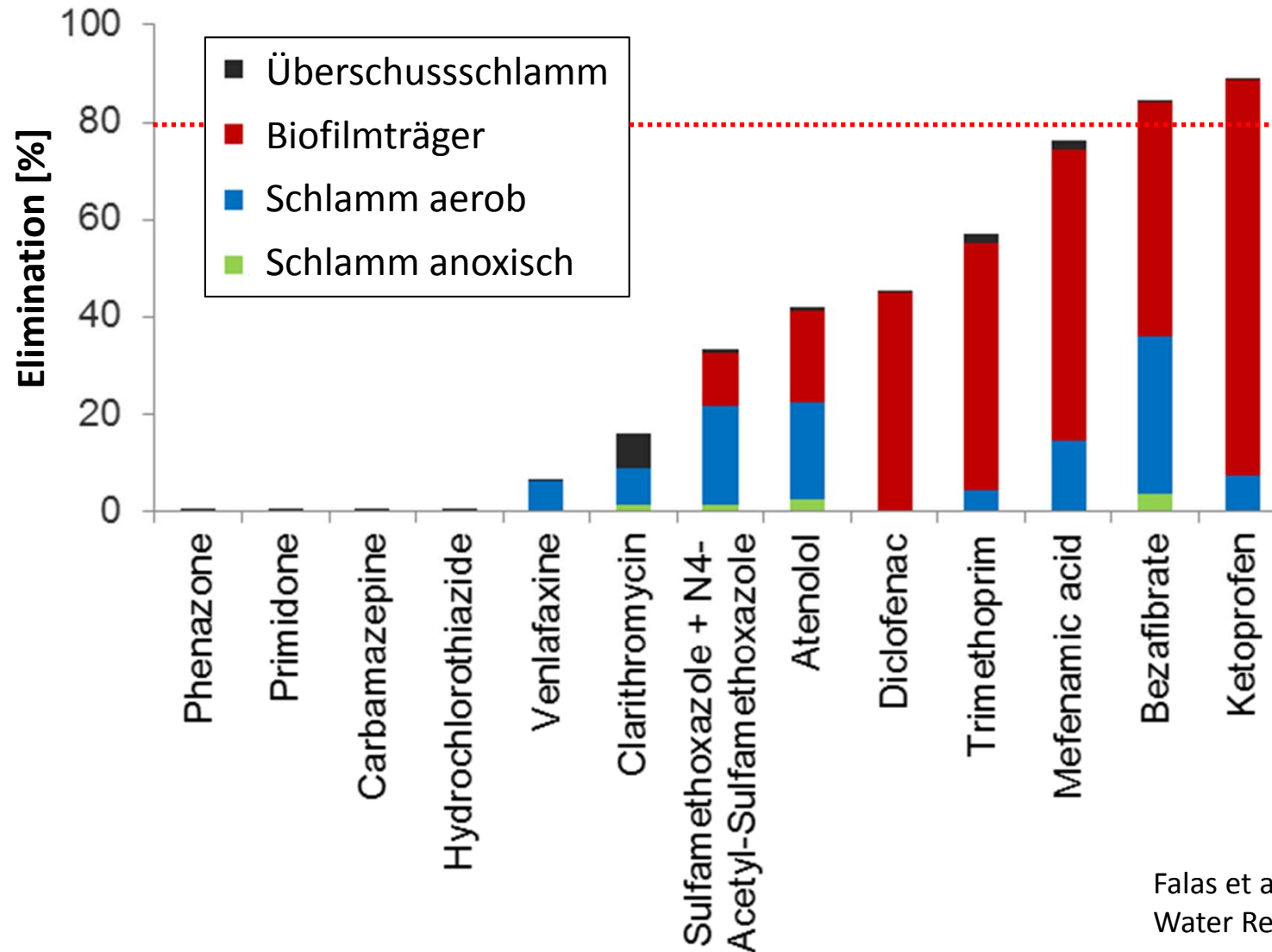
Elimination von Diclofenac im hybrid Wirbelbett



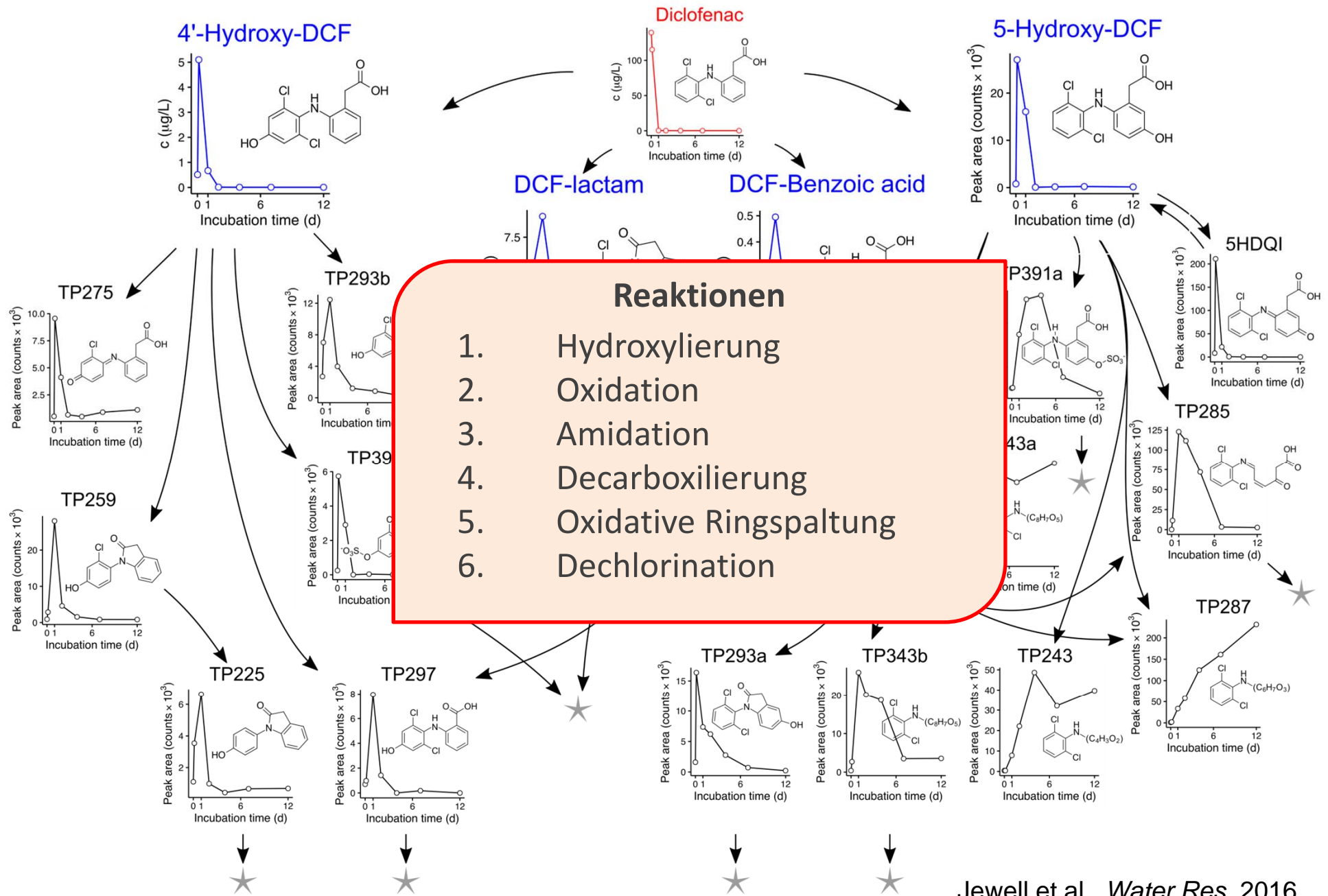
	Abbaurrate (L/g Biomasse*d)
Schlamm anoxisch	0
Schlamm aerob	0
Biofilmträger	1.5

Falas et al. (2013)
Water Research

Hybrid Wirbelbett: Modellierte Elimination



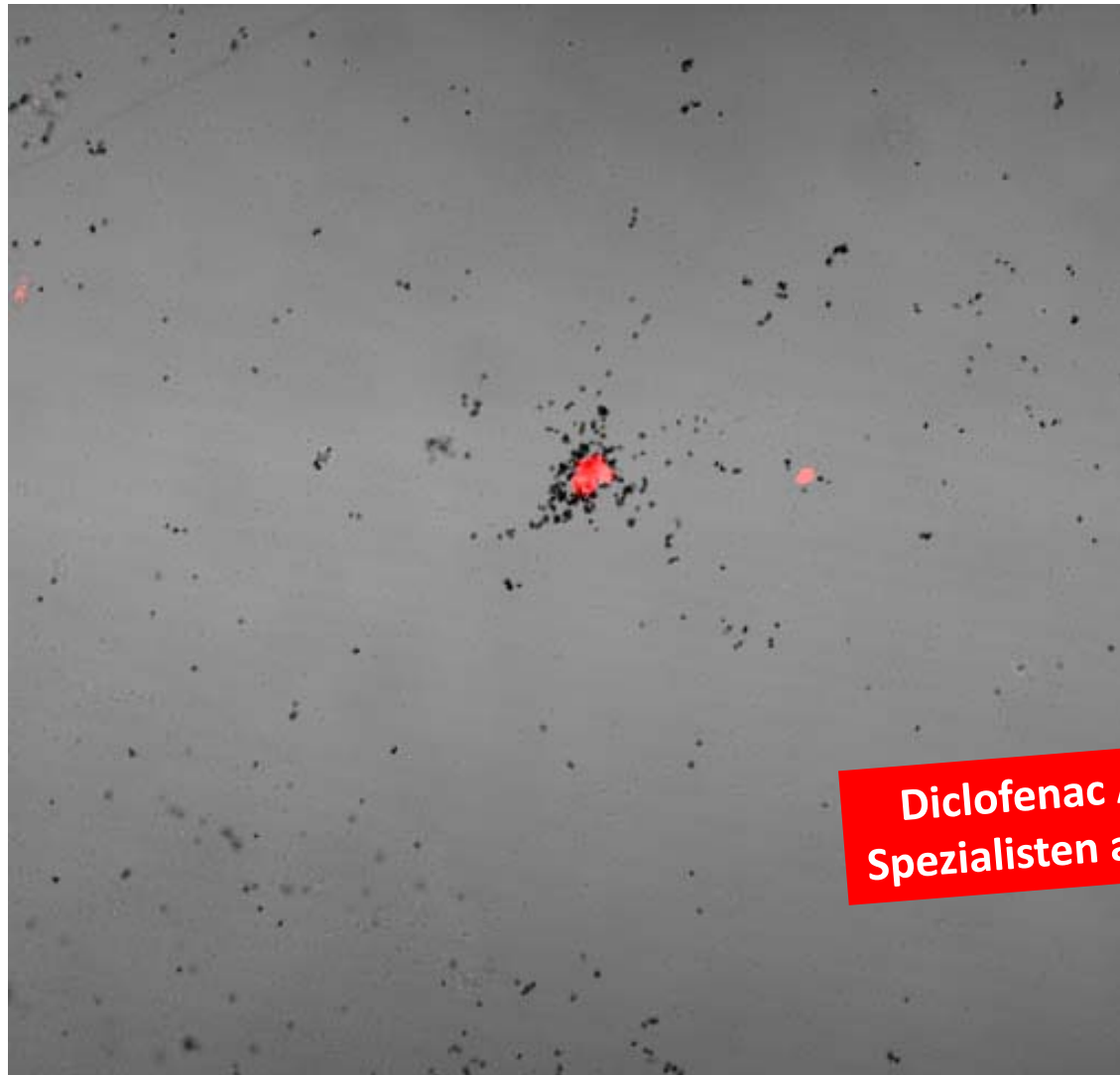
Biologischer Abbau von Diclofenac im Wirbelbett



Abbau von Diclofenac im Wirbelbett

Rot: Deltaproteobacteria

Schwarz: radioaktiv markiertes Diclofenac



**Diclofenac Abbau:
Spezialisten am Werk?**

Biologische Abwasserbehandlung: Potential für Spurenstoffe begrenzt

Elimination in in Kläranlagen heute:

- Mit Nitrifikation ca. 50% der Spurenstoffe
- Ohne Nitrifikation ca. 30% der Spurenstoffe

Weitergehende Abwasserreinigung:

- Anzahl der zusätzliche abgebauten Stoffe ist beschränkt
- Diuron und Diclofenac sind abbaubar mit hybrid Wirbelbett

Robuste Schlussfolgerung:

- Athene Projekt: 18 Reaktoren, Kaskade, anaerob, aerob, Anammox, Schlamm, Biofilm, Kontaktzeit; Total >15 Jahre Reaktorbetriebszeit
- Bestätigung durch andere Projekte:
 - Nachbehandlung mit Pilzen
 - Genetisch modifizierte Mikroorganismen

**≥80% Elimination der Spurenstoffen:
Biologische Behandlung ungenügend**

DANKE

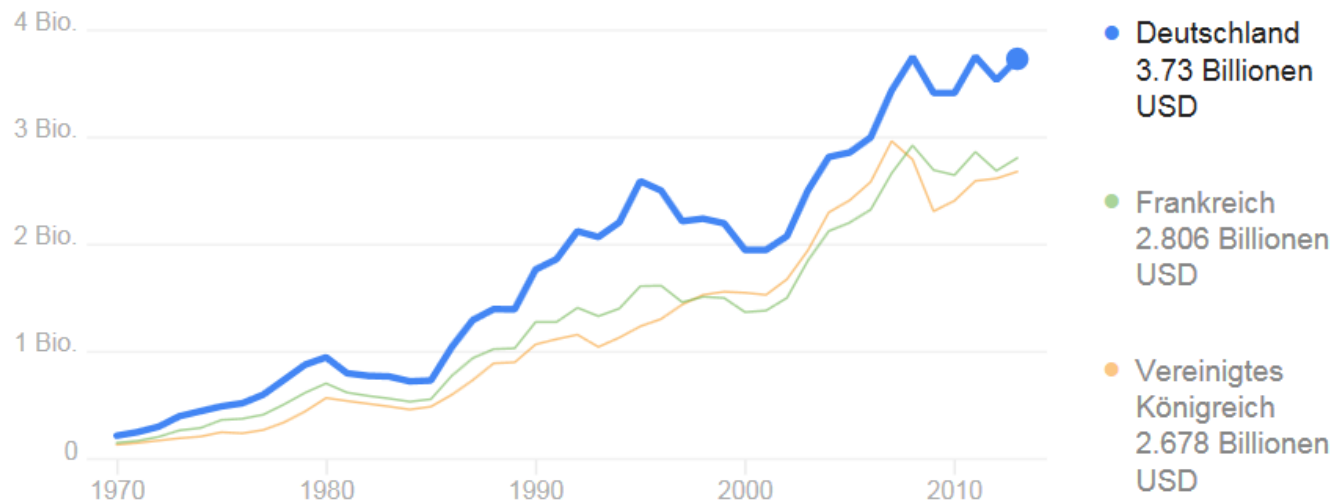


Kosten der Abwasserbehandlung

BIP	50'000 €/Person/Jahr	100%
Abwasserbehandlung	50 bis 250 €/Pe./Jahr	0.1-0.5% von BIP
Vierte Reinigungsstufe	10 bis 30 €/ Pe./Jahr	0.02-0.1% von BIP

Deutschland / Bruttoinlandsprodukt

3.73 Billionen USD (2013)



Schlüsselfrage: lohnt es sich?
(nicht: wieviel es kostet)

Ziele der Abwasserbehandlung

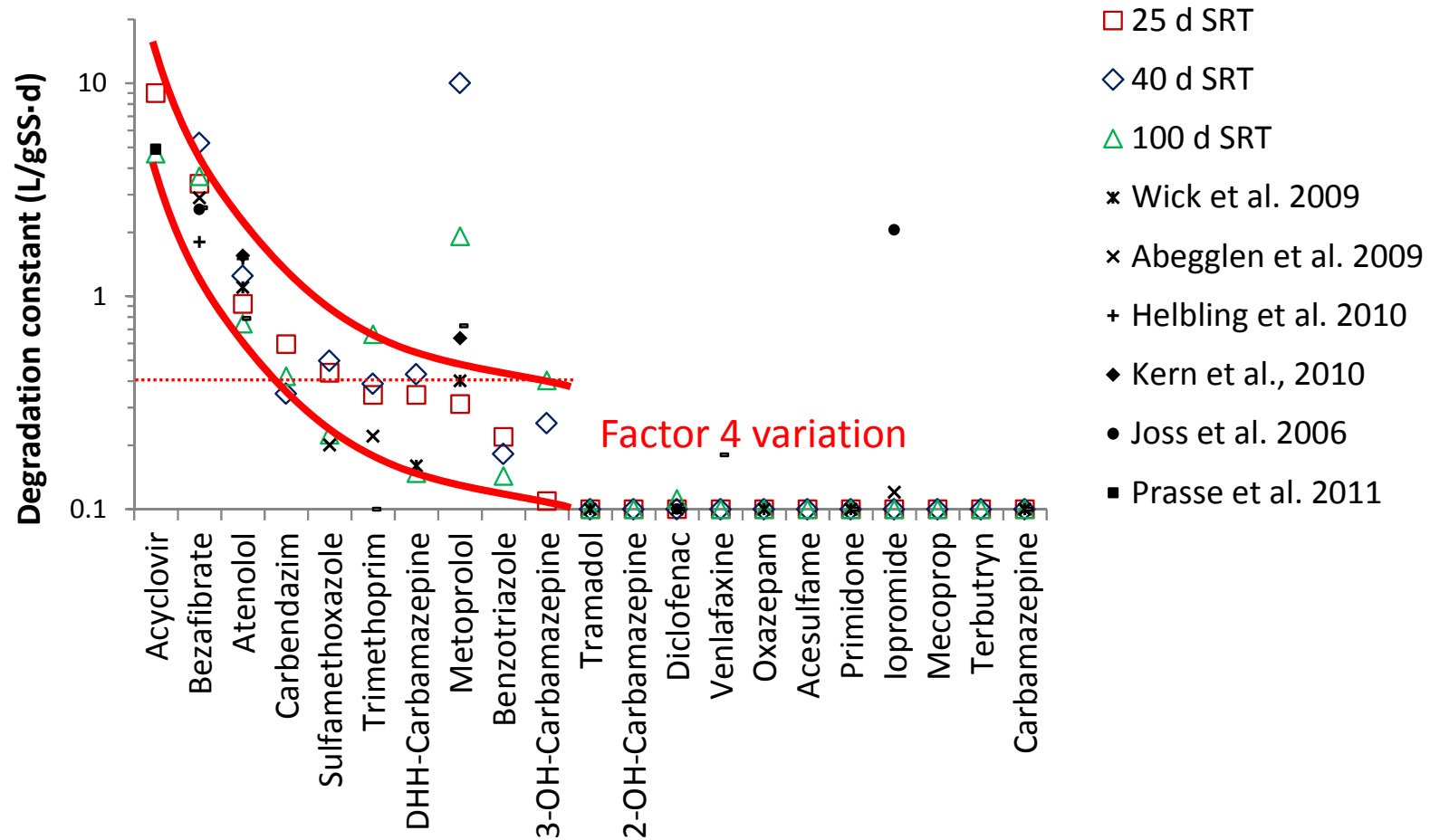
- 1900: Ableiten von Pathogene und Gestank
- 1960: BSB Abbau zum Schutz der Trinkwasserressourcen
- 1970-1980: Nährstoffelimination, Eutrophierung verhindern
- 2015-2030: Neue Ziele?
 - **Mikroverunreinigungen?**
 - Gute Gewässerqualität?
 - Wasserwiedergebrauch: Industrie, Landwirtschaft, Trinkwasser
 - Antibiotika Resistenzen?
 - Mikroplastik?
 - Nährstoff Recycling?
 - Energie Autarkie? Wärme Rückgewinnung?
 - Treibhausgase verhindern (CH₄, N₂O, Energie)?

**Die Ziele ändern sich:
Aber welche Priorität?**

Biologische Abwasserbehandlung: quo vadis?

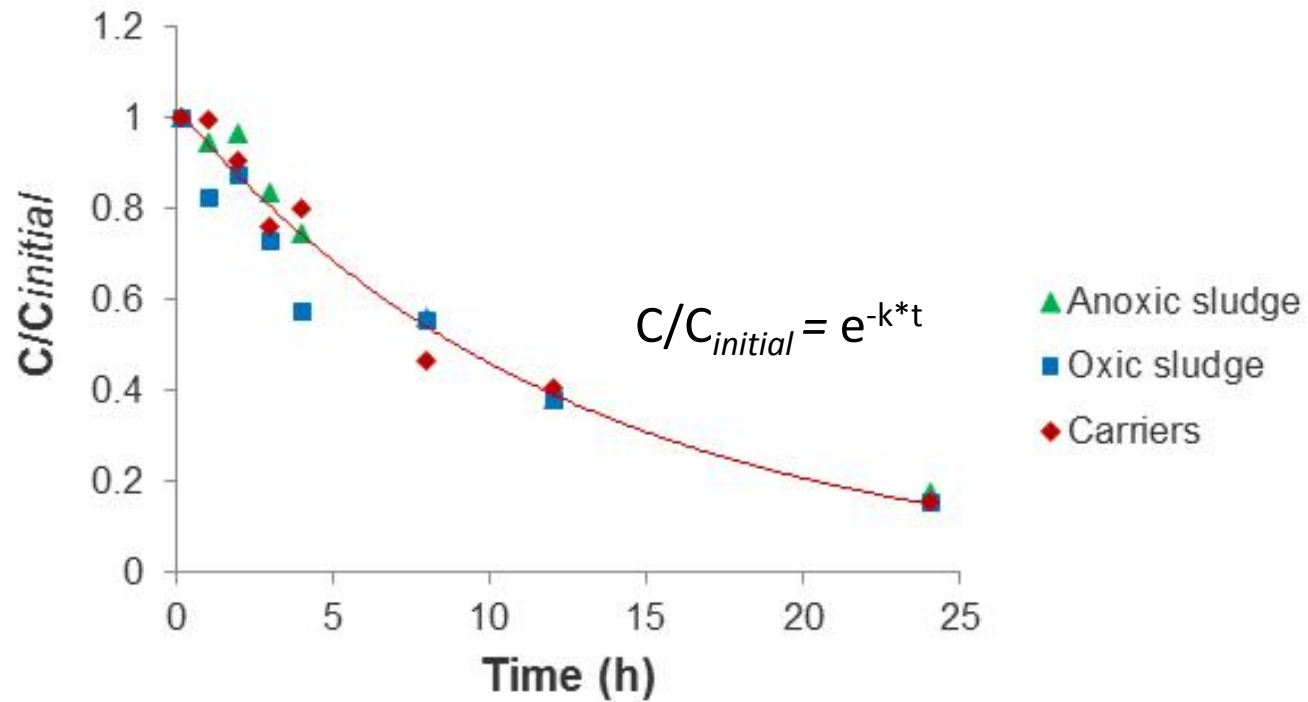
- Innovation wird stattfinden
- Komplexität...
 - Wir verstehen eine Bruchteil der mikrobiellen Vielfalt
 - Technische Lösungen müssen robust aber nicht simpel sein
- Kosten
 - Im Wasser Sektor zählt primär die langfristige Perspektive
 - Trinkwasser Ressourcen
 - Biodiversität der Gewässer
 - Erholungs- und Freizeitwert unserer Umwelt

Rate constants for sludges fed with synthetic and municipal wastewater



MP removal in hybrid MBBR

Atenolol

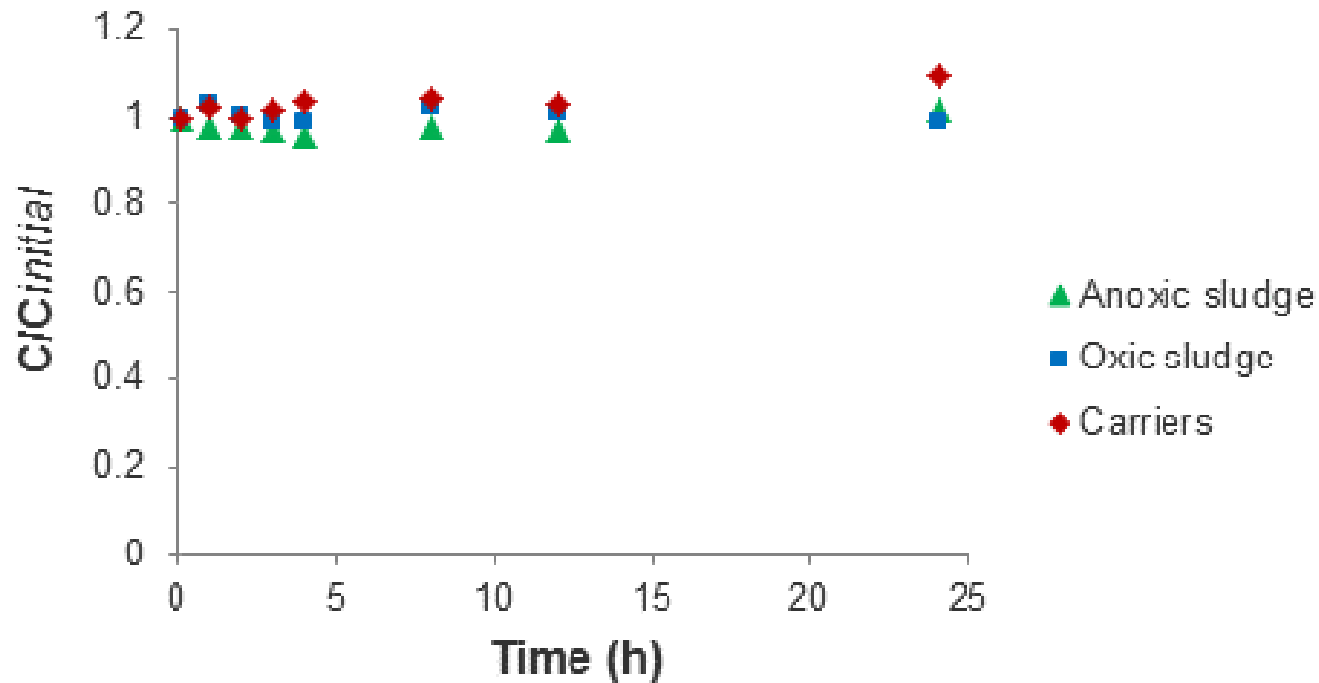


Removal rate constant (L/g biomass*d)

Anoxic sludge	0.8
Oxidic sludge	0.8
Carriers	0.6

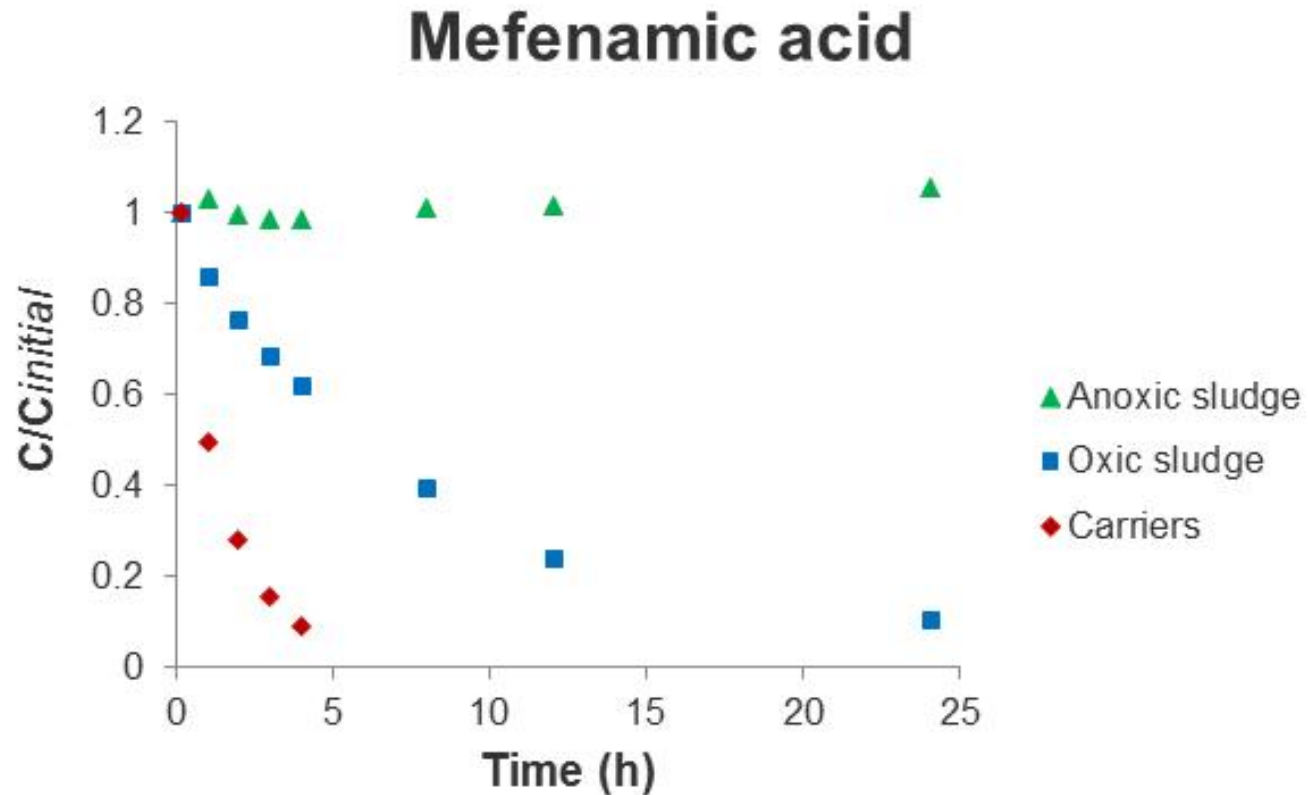
MP removal in hybrid MBBR

Carbamazepine



Removal rate constant (L/g biomass*d)	
Anoxic sludge	0
Oxidic sludge	0
Carriers	0

MP removal in hybrid MBBR



Removal rate constant (L/g biomass*d)

Anoxic sludge	0
Oxidic sludge	1.0
Carriers	4.6