



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Filtration des Kläranlagenablaufs: Verfahrensschritt einer zukünftigen Abwasserbehandlung

Umsetzung des WRRL-Maßnahmenprogramms 2015 – 2021:
Weitergehende Phosphorelimination an Hessischen Kläranlagen,
18. Mai 2016 – Regierungspräsidium Darmstadt

Peter Cornel

Christian Schaum

Thomas Fundneider



Gliederung

- **Abwasser ein Vielstoffgemisch**
- **Entwicklung der Abwasserbehandlung**
- **Zukünftige Herausforderungen**
 - Weitergehende Nährstoffelimination (Phosphor)
 - Mikroplastik
 - Mikrobiologische Belastung
 - Mikroverunreinigungen
- **Fazit und Ausblick**



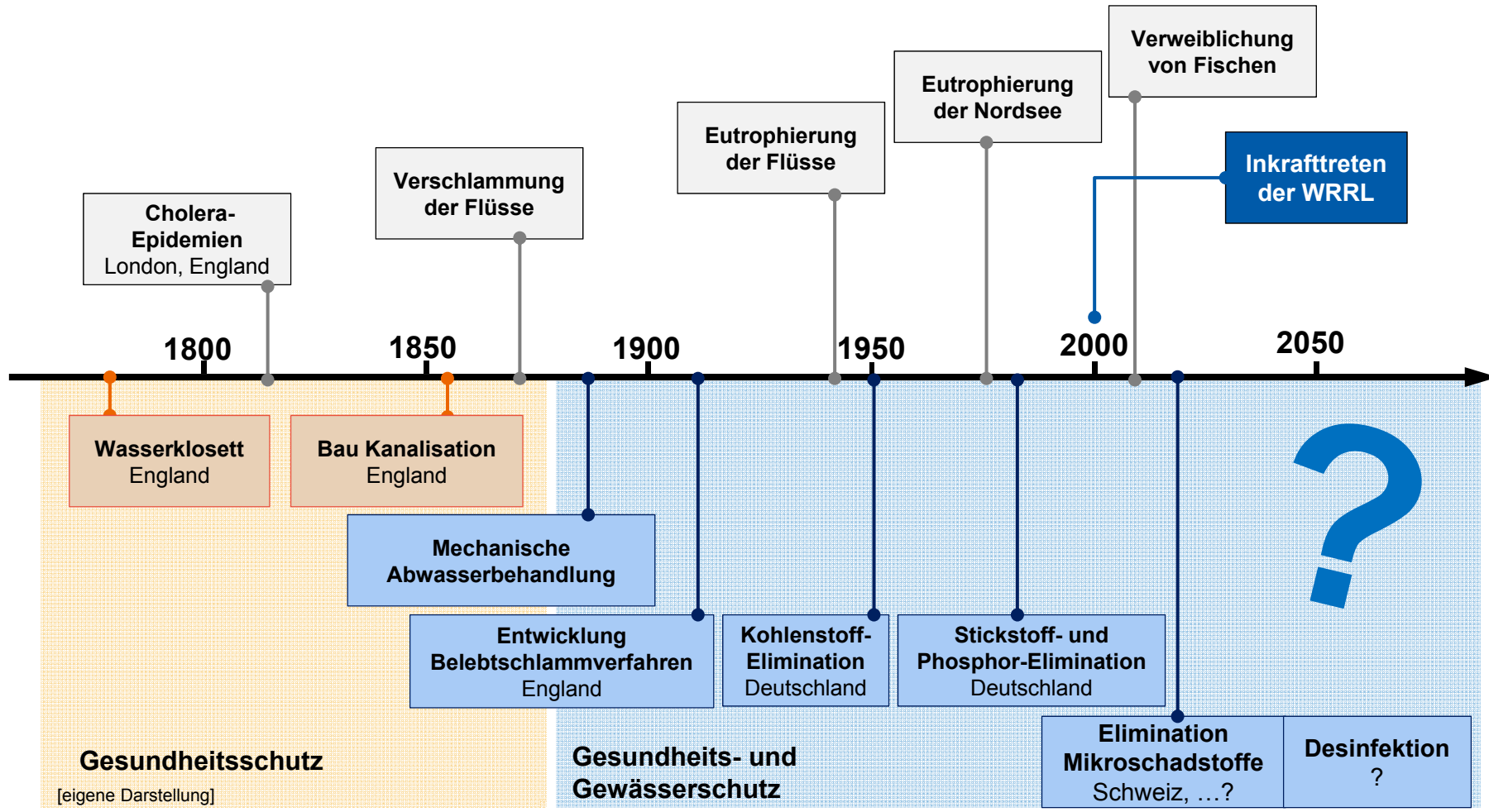
Vielstoffgemisch Abwasser



[eigene Darstellung]

- **org. Kohlenstoffverbindungen:**
Fette, Eiweiße, Kohlehydrate, ...
- **Nährstoffe:** Stickstoff, Phosphor, Kalium, ...
- **Metalle/ Schwermetalle:** Fe, Cu, Zn, Al, Pb, ...
- **Krankheitserreger:** Keime, Viren,
- **Salze:** Ca, Mg, Na, K, ...
- **Mikroverunreinigungen**
- **Mikroplastik, Nanopartikel**
- ...

Entwicklung der Abwasserbehandlung



Wasserrahmenrichtlinie

- **Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, 2000):**

„Wasser ist keine übliche Handelsware, sondern ein ererbtes Gut, dass geschützt, verteidigt und entsprechend behandelt werden muss.“

- **Ziele der WRRL:**

- Verschlechterung des Gewässerzustandes zu verhindern
- Überführung der Gewässer in guten ökologischen sowie chemischen Zustand
- Erreichen eines guten mengenmäßigen Zustandes von Grundwasser
- Verschmutzung durch höchst bedenklich eingestufte, sogenannte prioritäre Stoffe, schrittweise zu reduzieren (z. B. Pestizide, Schwermetalle und weitere organische Schadstoffe)

**10 % der Oberflächengewässer erreichen
einen „guten“ oder „sehr guten“
ökologischen Zustand (BMU, 2010)**

Emission- und Immissionsanforderung



Abwasserverordnung [AbwV, 2014]	Oberflächengewässerverordnung [OGewV Entwurf 2015]
Größenklasse 4	guter ökologischer Zustand (Gewässer)
CSB: 90 mg/l	TOC: < 15 mg/l (≈ CSB: 40 mg/l)
TN: 18 mg/l	TN: 2,8 mg/l (Ostsee mündende Flüsse) TN: 2,6 mg/l (Nordsee mündende Flüsse)
TP: 2 mg/l	TP: < 0,05 mg/l
<ul style="list-style-type: none"> • keine weitere Einzelstoffbegrenzung • keine Temperaturanforderungen 	<ul style="list-style-type: none"> • weitere Einzelstoffbegrenzung (z.B. Carbendazim 0,2 µg/l) • Temperaturanforderungen • etc

Erreichen eines guten ökologischen Zustandes bei hohem Anteil von Kläranlagenabläufen möglich?

Herausforderungen der Abwasserbehandlung



**Weitestgehende
Nährstoffelimination
(Phosphor)**

Mikroschadstoffe

Mikroplastik

**(antibiotikaresistente)
Keime**

**Eutrophierung
Wasserrahmenrichtlinie**

**aquatische Fauna
(bspw. Verweiblichung)
Vorsorgeschutz
Gesundheitsschutz**

Herausforderungen der Abwasserbehandlung

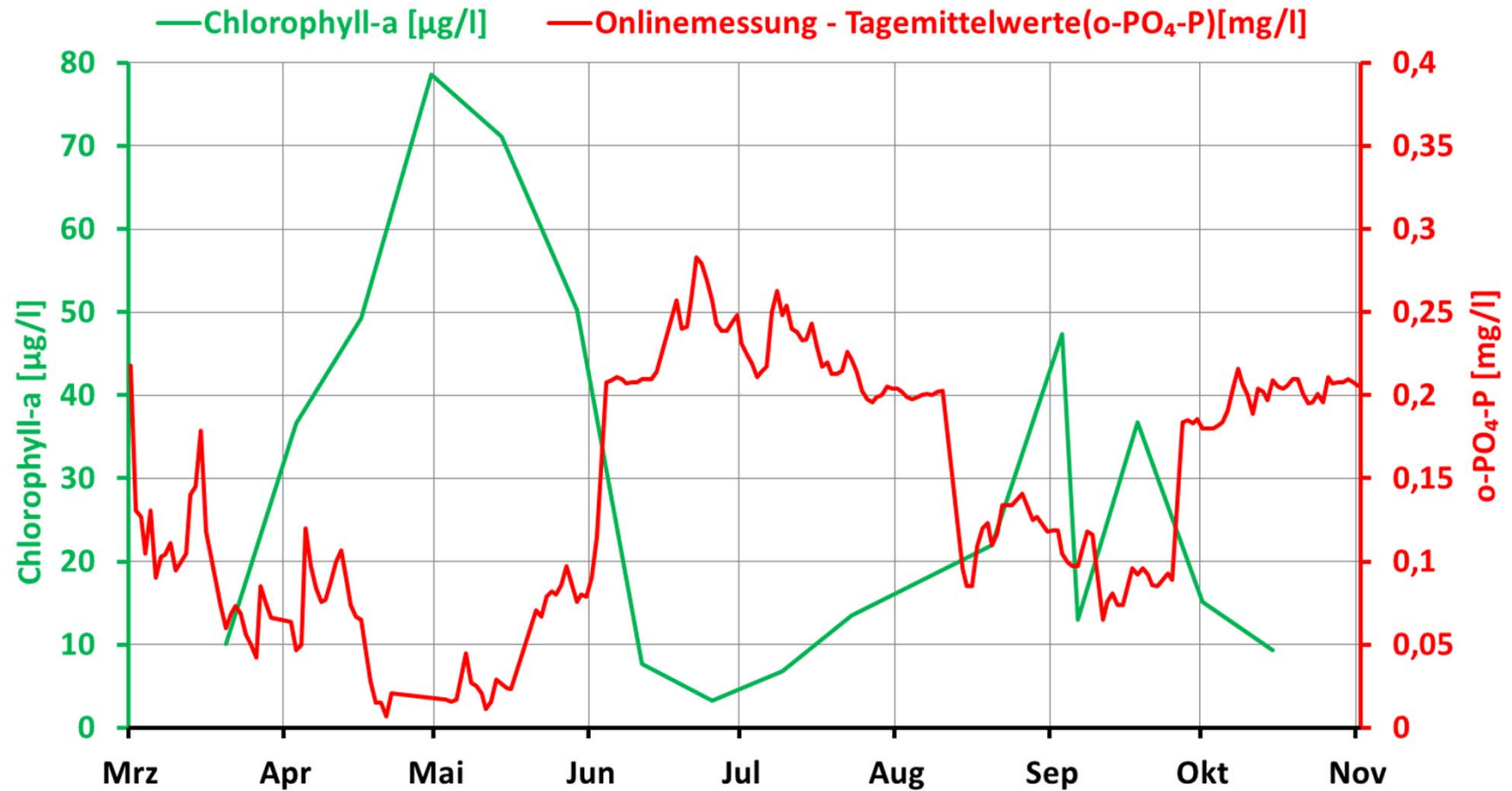


Gliederung

- Abwasser ein Vielstoffgemisch
- Entwicklung der Abwasserbehandlung
- **Zukünftige Herausforderungen**
 - **Weitergehende Nährstoffelimination (Phosphor)**
 - Mikroplastik
 - Mikrobiologische Belastung
 - Mikroverunreinigungen
- **Fazit und Ausblick**



Weitergehende Phosphor-Elimination



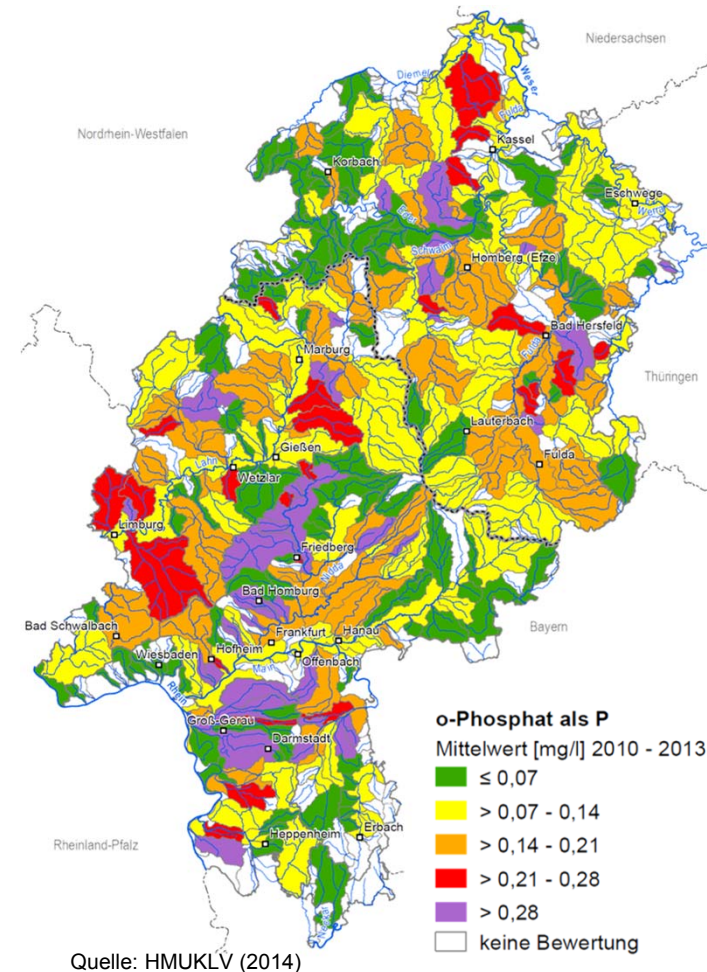
Quelle: HMUKLV (2014)

Weitergehende Phosphor-Elimination

■ Situation in Hessen

- Orientierungswert für die meisten Gewässertypen **0,07 mg/L PO₄-P**
 - Überschreitungen um den Faktor 2 - 3
 - Anteil des Gesamt-Eintrags von Phosphor durch kommunale Kläranlagen bei 65 %
- Senkung Einleitwerte für Phosphor?

vergleichbare Diskussionen
in weiteren Bundesländern



Weitergehende Phosphor-Elimination

Maßnahmenprogramm 2015 – 2021:

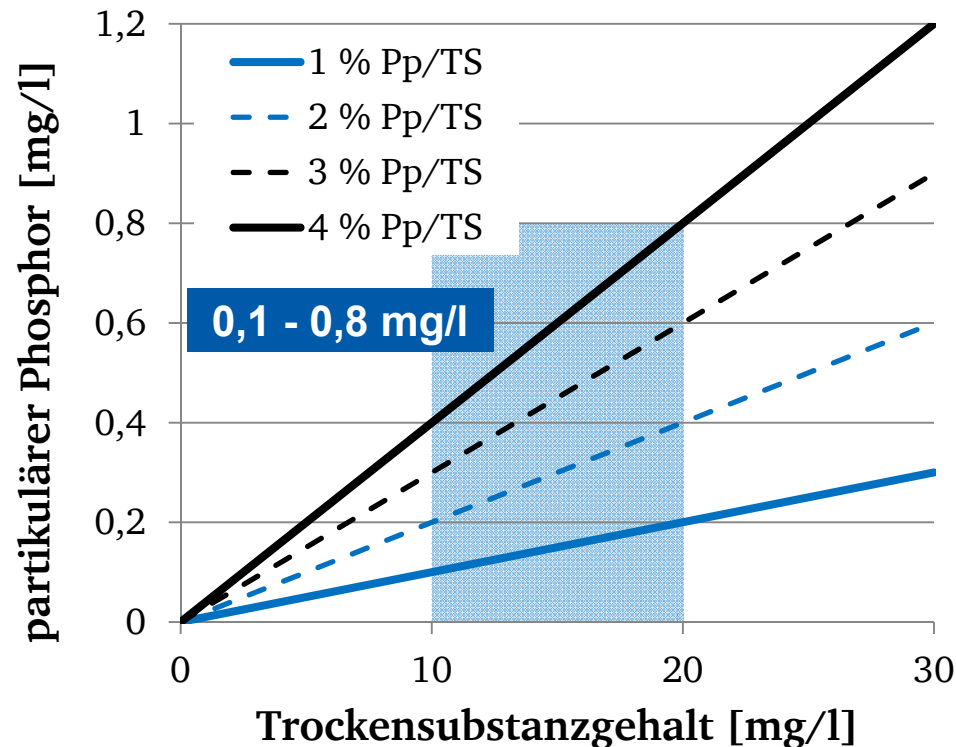
Abwasserverordnung

Anlage	Grenzwert		Probenahme	Grenzwert		Probenahme
GK 5 (GK 4)*	0,2 mg/L	P _{ges}	Monatsmittel	1,0 mg/L	P _{ges}	2-h-Probe/ qualifizierte Stichprobe
	0,4 mg/L	P _{ges}	2-h-Probe			
GK 4	0,5 mg/L	P _{ges}	Monatsmittel	2,0 mg/L	P _{ges}	2-h-Probe/ qualifizierte Stichprobe
	0,7 mg/L	P _{ges}	2-h-Probe			
	0,2 mg/L	PO ₄ -P	24-h-Probe			
GK 2 GK 3	2 mg/L	P _{ges}	2-h-Probe/ qualifizierte Stichprobe	-	-	-
	1 mg/L	P _{ges}	Jahresmittel			

* Bei Einleitung in Gewässer mit sehr hoher Abwasserbelastung oder größerer Empfindlichkeit (Talsperren)

Weitergehende Phosphor-Elimination

▪ Einfluss der Feststoffe auf den Gehalt an Phosphor im Ablauf:



[eigene Darstellung]

partikulärer Phosphor

Minimierung des Feststoffabtriebes

- Verbesserung Absetzverhalten
- Optimierung Nachklärung
- Betrieb einer Filtration

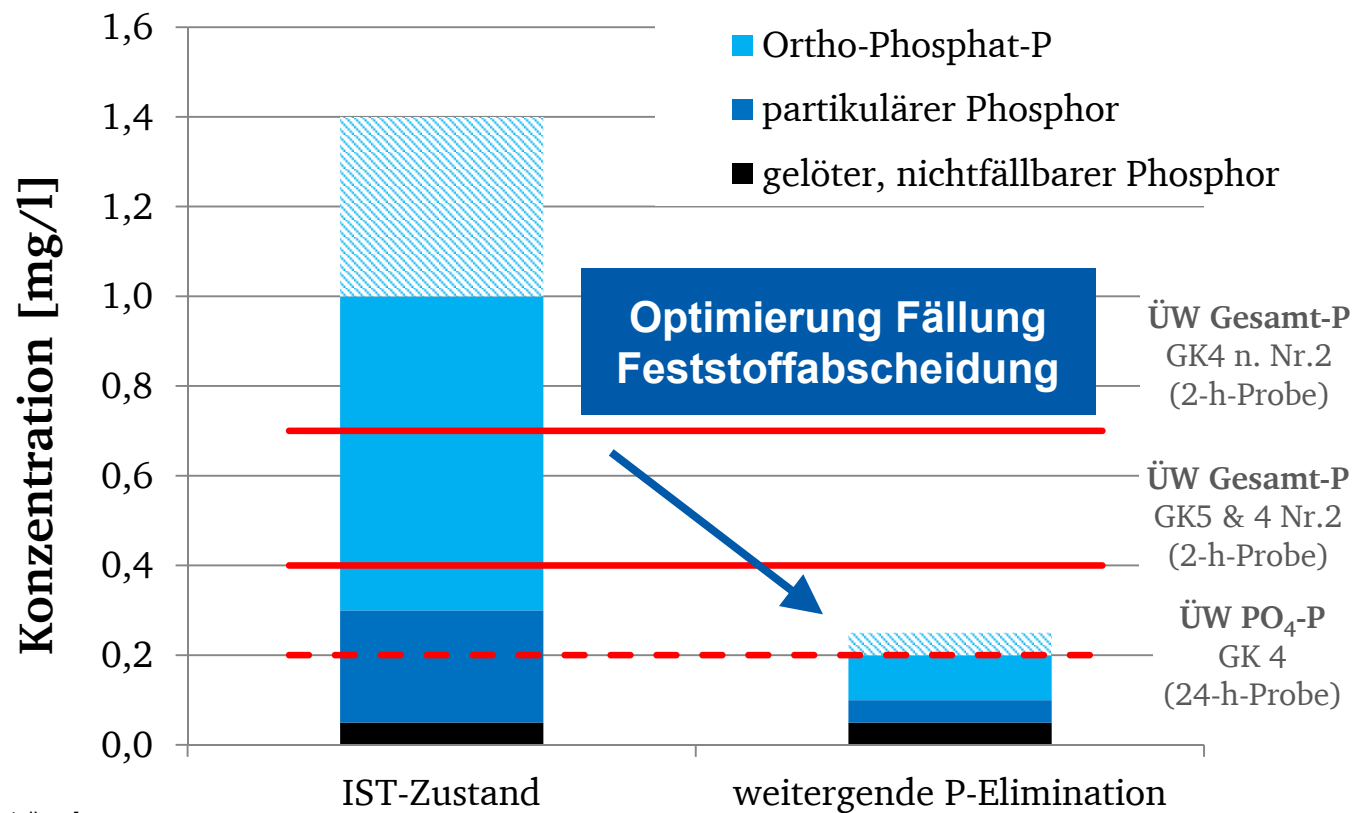
gelöster Phosphor

Optimierung der P-Elimination

- Zwei-Punkt-Fällung
- Erhöhung der Fällmittelmenge
- Einsatz/ Optimierung BioP

Weitergehende Phosphor-Elimination

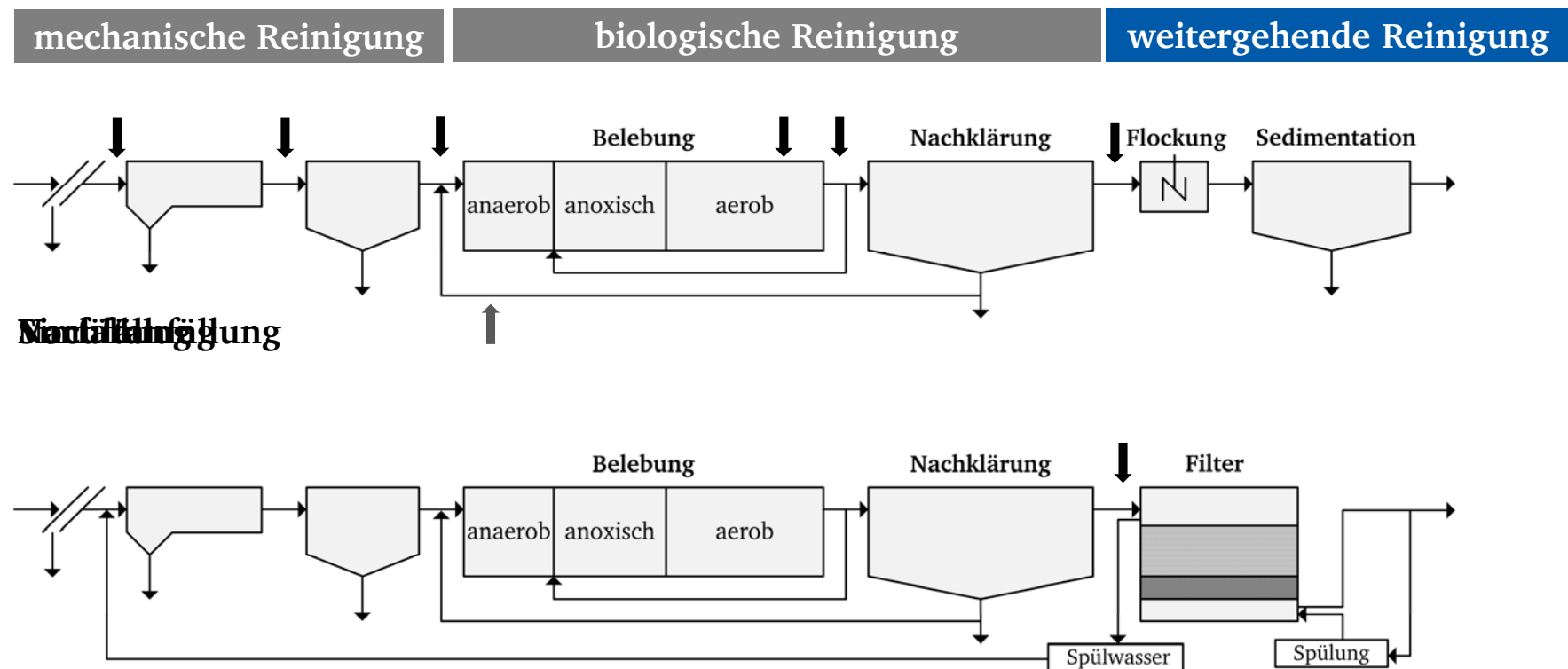
Phosphor im Ablauf der Kläranlage:



[eigene Darstellung]

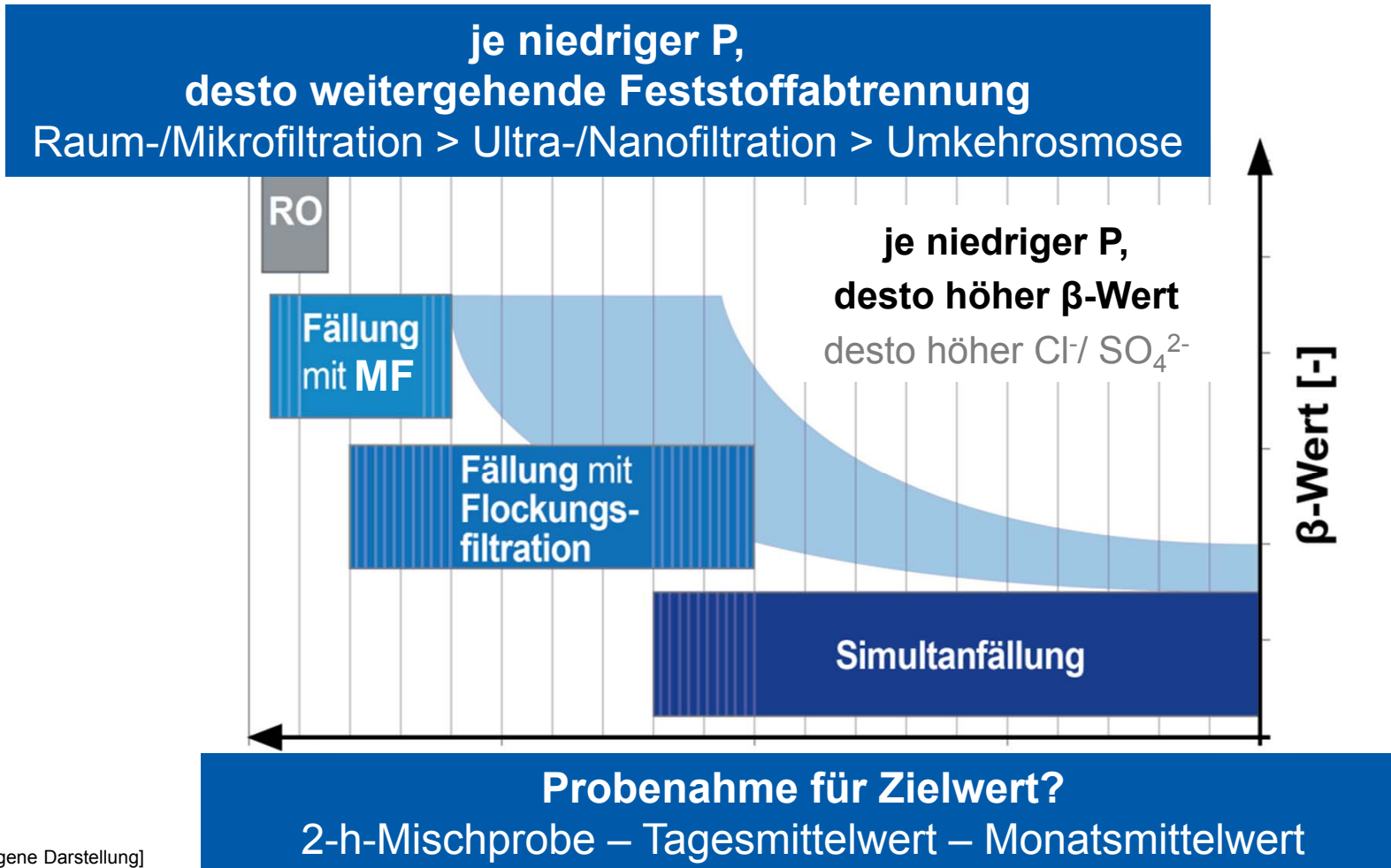
Weitergehende Phosphor-Elimination

- **Fällmitteldosierung** nach DWA-A 202 (2011):



Flockungsfiltration

Weitergehende Phosphor-Elimination



[eigene Darstellung]

Filtrationsverfahren

Mittlere
Ablaufkonzentration

Oberflächenfiltration

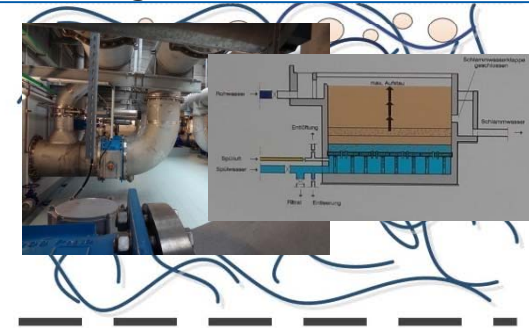
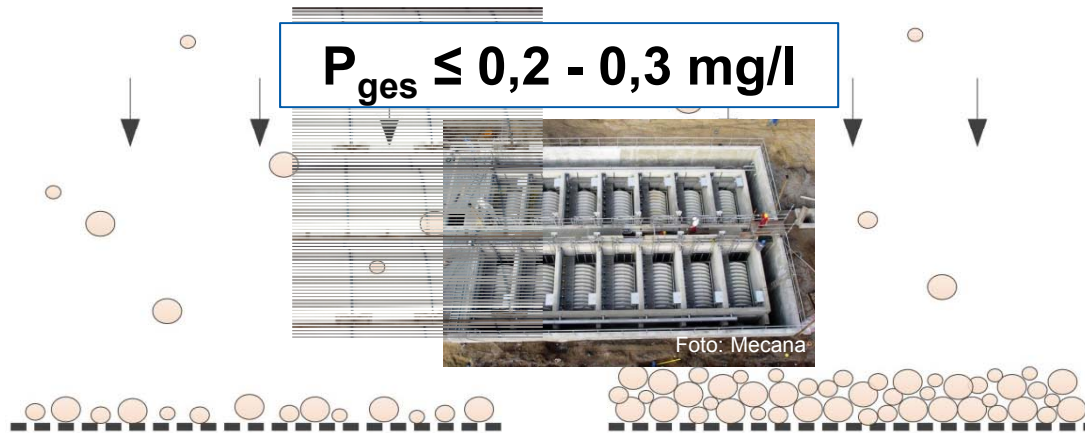
Tiefenfiltration

Mikrosieb
Tuchfilter

Sandfilter

$P_{ges} \leq 0,2 - 0,3 \text{ mg/l}$

$P_{ges} \leq 0,2 \text{ mg/l}$



Membran
Mikro-/(Ultra)filtration ($> 0,1$ bzw. $> 0,01 \mu\text{m}$)
Siebung (deckschichtkontrolliert)

$P_{ges} \leq 0,1 \text{ mg/l}$

Gliederung

- Abwasser ein Vielstoffgemisch
- Entwicklung der Abwasserbehandlung
- **Zukünftige Herausforderungen**
 - Weitergehende Nährstoffelimination (Phosphor)
 - **Mikroplastik**
 - Mikrobiologische Belastung
 - Mikroverunreinigungen
- **Fazit und Ausblick**



Mikroplastik

Kunststoffabfälle

**industriell gefertigte
Kunststoffpartikel**

**Durchmesser aufgrund
Zerkleinerung**

(mechanische und/ oder chemische
Beanspruchung im Gewässer)

**Durchmesser entsprechend
Anwendungszweck**

(Größenordnung von Pulver)

... Plastikflaschen
... Kanister
... Plastiktüten
...

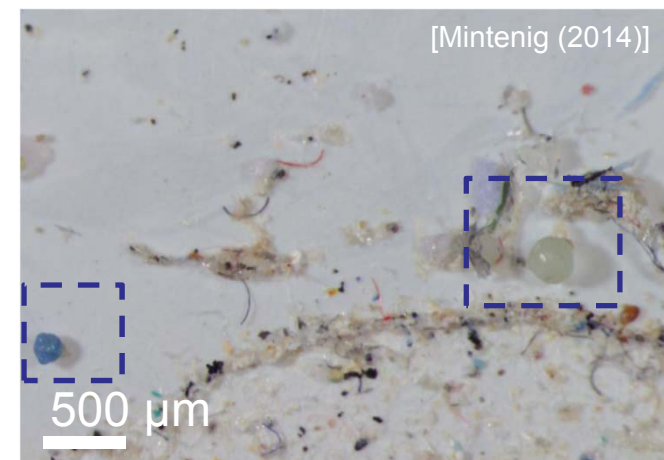
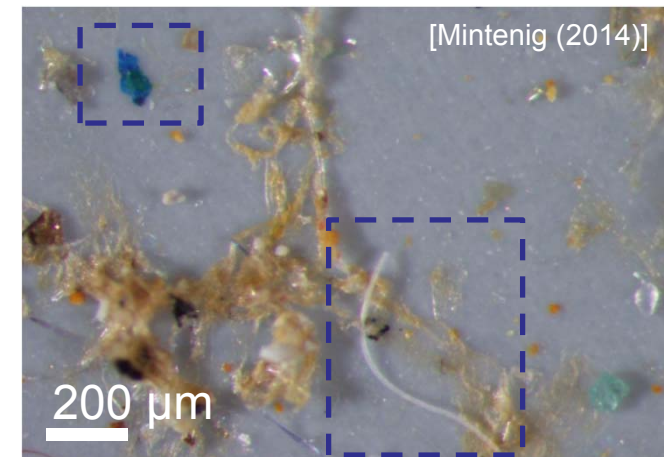
von

... Haushaltsreinigern
... Körperpflegemitteln
... Kosmetika
...

in

Mikroplastik

- **Mikroplastik:**
 - Durchmesser von wenigen Mikrometern bis mehreren Millimetern
 - langlebig, Anreicherung mit Schadstoffen
 - Aufnahme durch aquatische Organismen:
 - Verletzungen/ Verstopfungen
 - Wechselwirkung von angereicherten Schadstoffen
- **Verhalten im Abwasser?**



Mit Feststoffrückhalt auch Rückhalt von Mikroplastik!

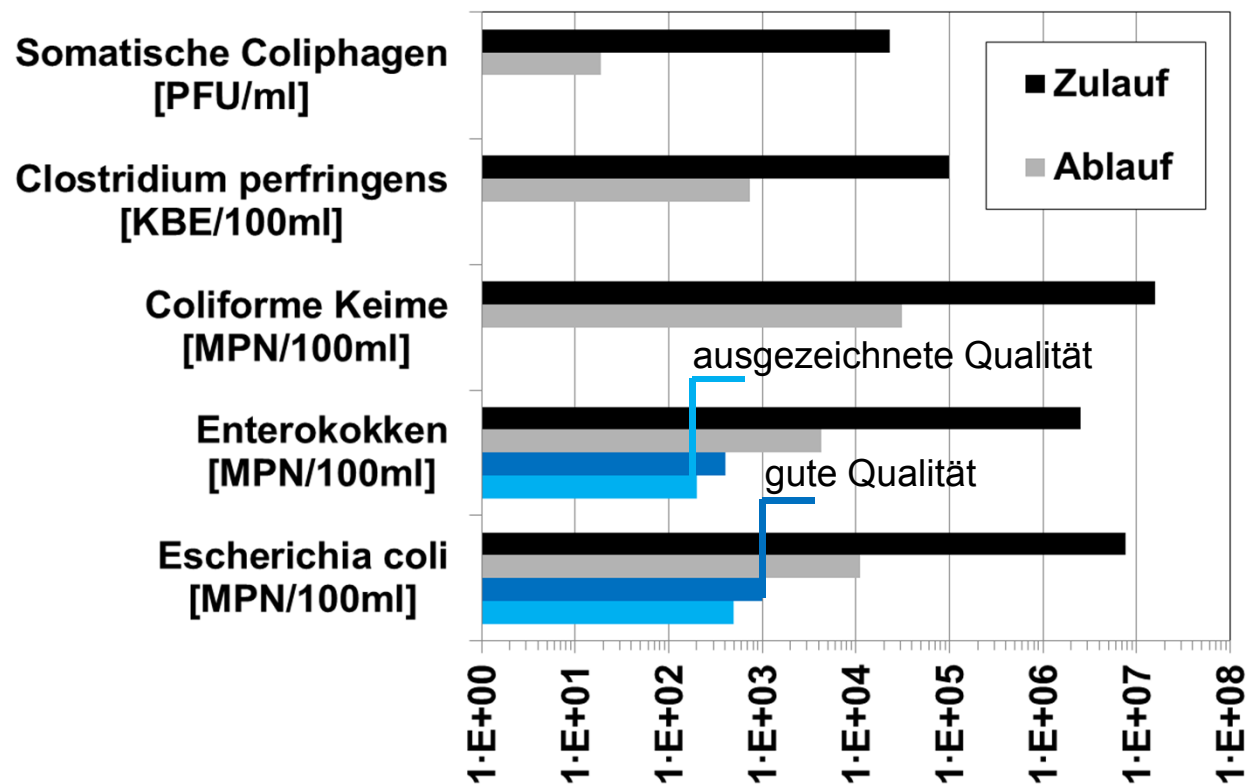
Gliederung

- **Abwasser ein Vielstoffgemisch**
- **Entwicklung der Abwasserbehandlung**
- **Zukünftige Herausforderungen**
 - Weitergehende Nährstoffelimination (Phosphor)
 - Mikroplastik
 - **Mikrobiologische Belastung**
 - Mikroverunreinigungen
- **Fazit und Ausblick**



Mikrobiologische Belastung

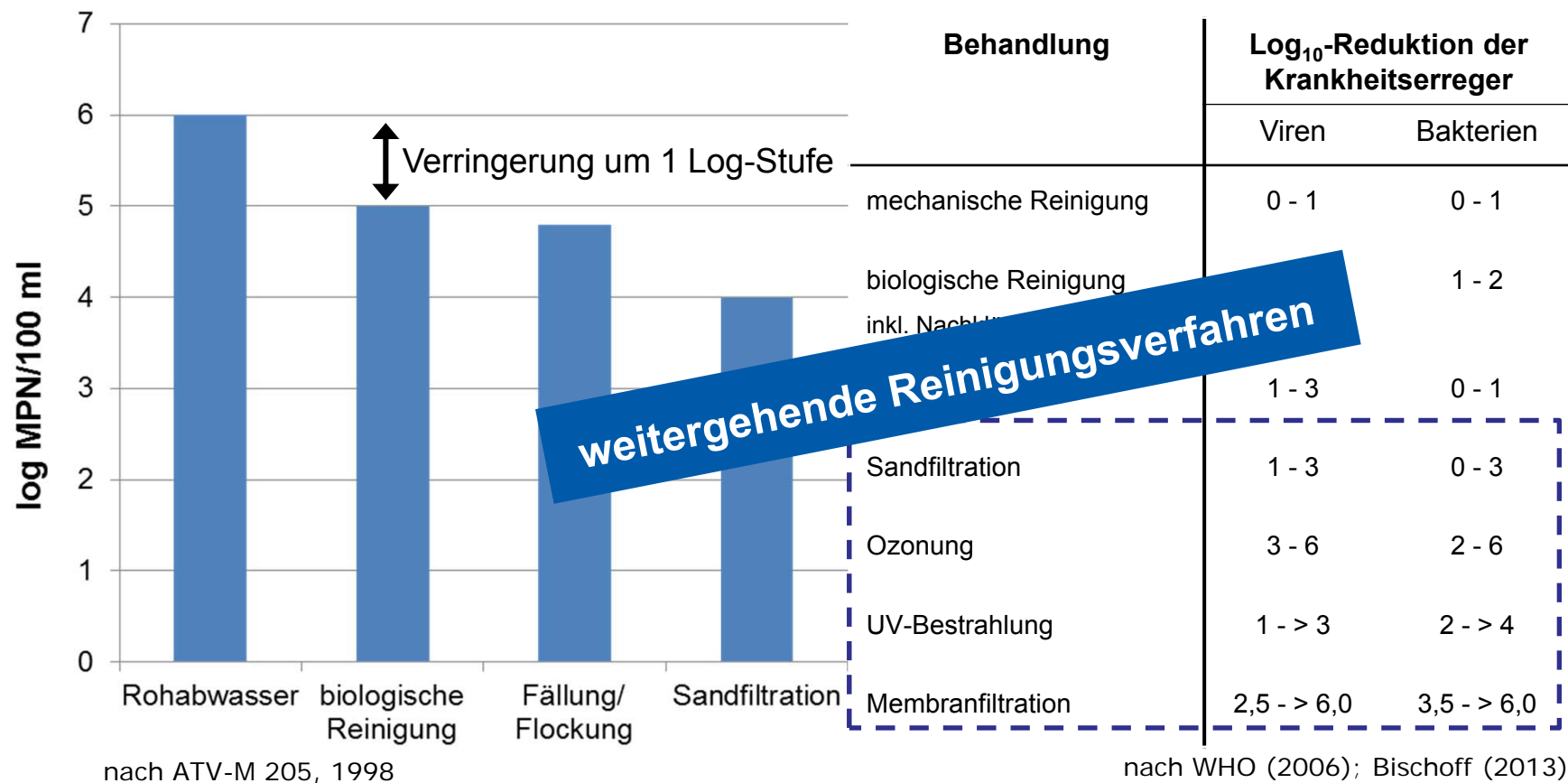
Belastung durch Kläranlagenabläufe:



VO-BGW: Verordnung
über die Qualität und die
Bewirtschaftung der
Badegewässer (Hessen)

Mikrobiologische Belastung

Reduktion der Krankheitserreger in der Abwasserbehandlung:



Gliederung

- Abwasser ein Vielstoffgemisch
- Entwicklung der Abwasserbehandlung
- **Zukünftige Herausforderungen**
 - Weitergehende Nährstoffelimination (Phosphor)
 - Mikroplastik
 - Mikrobiologische Belastung
 - **Mikroverunreinigungen**
- Fazit und Ausblick



Mikroverunreinigungen

- Unterschiedliche Chemikalien:
 - **Pharmazeutika:** Schmerzmittel, Antibiotika, Hormone, Röntgenkontrastmittel,...
 - **Industrie- und Haushaltschemikalien:** Lösemittel, Tenside, Weichmacher, ...

Konzentrationsbereich:

- **Mikrogramm** $\mu\text{g/L} \rightarrow 1 \text{ g in } 1.000 \text{ m}^3$ (Schwimmbecken)
- **Nanogramm** $\text{ng/L} \rightarrow 1 \text{ g in } 1.000.000 \text{ m}^3$
- **Pikogramm** $\text{pg/L} \rightarrow 1 \text{ g in } 1.000.000.000 \text{ m}^3$ (Bielersee/Schweiz)

- Charakteristische Eigenschaften:
 - Schlechte oder keine biologische Abbaubarkeit
 - Konzentrationsbereich: von 10^{-6} (Mikro) bis 10^{-12} (Piko) g/l



Mikroverunreinigungen

▪ Mögliche Wirkungen auf die aquatische Umwelt

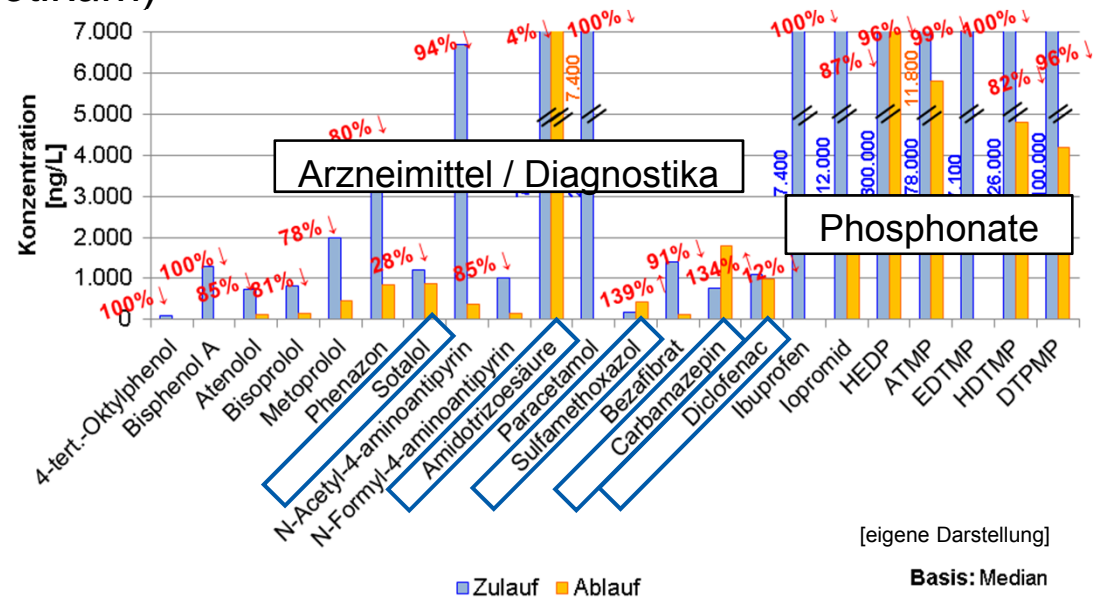
- Schmerzmittel / Entzündungshemmer Diclofenac
 - Auswirkungen auf Kiemen, Nieren und Leber (Hoeger et al., 2015)
- Hormone / hormonell wirksame Substanzen
 - Störung des geschlechtsspezifischen Verhaltens (Jobling et al., 1998)
- Insektizide / Herbizide / Flammschutzmittel
 - Hemmung der Photosynthese (Dorigo und Leboulanger, 2001; Escher et al. 2008; Dorigo et al., 2010)
 - Schädigung des Nervensystems (Ebbert et al, 2000; Hoffmann et al., 2000; Hamilton et al., 2004; Scholz et al, 2006)
 - Beeinträchtigung der Fortpflanzung (Legler und Brouwer, 2003; Hale et al., 2006; Hamers et al., 2006; Cristale et al., 2013)

- Unvollständige Reglementierung der Mikroschadstoffe
- Aufnahme von Diclofenac auf die „Beobachtungsliste der WRRL, UQN-Vorschlag: 0,1 µg/l

Mikroverunreinigungen

- **Exemplarische Analyse einer kommunalen Kläranlage**
 - zahlreiche Stoffe werden deutlich eliminiert oder transformiert
 - schlecht abgebaut (< 30%) werden: Sotalol (*Betablocker*), Amidotrizoesäure (*Kontrastmittel*), Diclofenac (*Schmerzmittel*), Carbamazepin (*Antiepileptikum*) und Sulfamethoxazol (*Antibiotikum*)

**Weitere Verfahren
notwendig!**



Ausblick - Maßnahmen an Kläranlagen

- Vereinfachte Verfahrensmatrix (weitergehende) Abwasserbehandlung:

	Nährstoffe (P, N)	mikrobio. Belastung	Mikroplastik	Mikroverun- reinigungen
Filtration	✓	✗	✓	✗
Filtration UV-Behandlung	✓	✓	✓	✗
Adsorption (PAK, GAK) mit Filtration	✓	✗	✓	✓
Oxidation mit Filtration (Ozon)	✓	✓	✓	✓
Adsorption mit Membran (NF/UF)	✓	✓	✓	✓

Nutzung von Synergieeffekten!

[eigene Darstellung]

Fazit und Ausblick

- **Abwasserbehandlung wird zum Systemdienstleister:**

Vom Klärwerk zum Produzenten spezifikationsgerechter „Produkte“, das Zusammenspiel von Gesundheits-, Gewässer- und Ressourcenschutz

- Optimierung und Erweiterung der Abwasserbehandlung
 - Prozessimmanente Verfahren bspw. Optimierung Fällung
 - Zusätzliche Verfahrensstufen bspw. Filtration

→ weitergehende Elimination: Nähr- und Spurenstoffen, Viren

- Berücksichtigung von Synergieeffekten bspw.

Einsatz Filtration für Phosphor- und Mikroschadstoffelimination

- **Ganzeinheitlicher Ansatz für Abwasserbehandlungsanlagen in Bezug auf die Emissionsbetrachtung**

**Bestandteil diverser
Forschungsarbeiten**





TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Filtration des Kläranlagenablaufs: Verfahrensschritt einer zukünftigen Abwasserbehandlung

Umsetzung des WRRL-Maßnahmenprogramms 2015 – 2021:
Weitergehende Phosphorelimination an Hessischen Kläranlagen,
18. Mai 2016 – Regierungspräsidium Darmstadt

Prof. Dr.-Ing. Peter Cornel

Dr.-Ing. habil. Christian Schaum

Thomas Fundneider, M.Sc.

