

# BMBF-Verbundprojekt TransRisk

## *Nachweis und Entfernung anthropogener Spurenstoffe und Krankheitserreger in der Abwasserreinigung*



GEFÖRDERT VOM

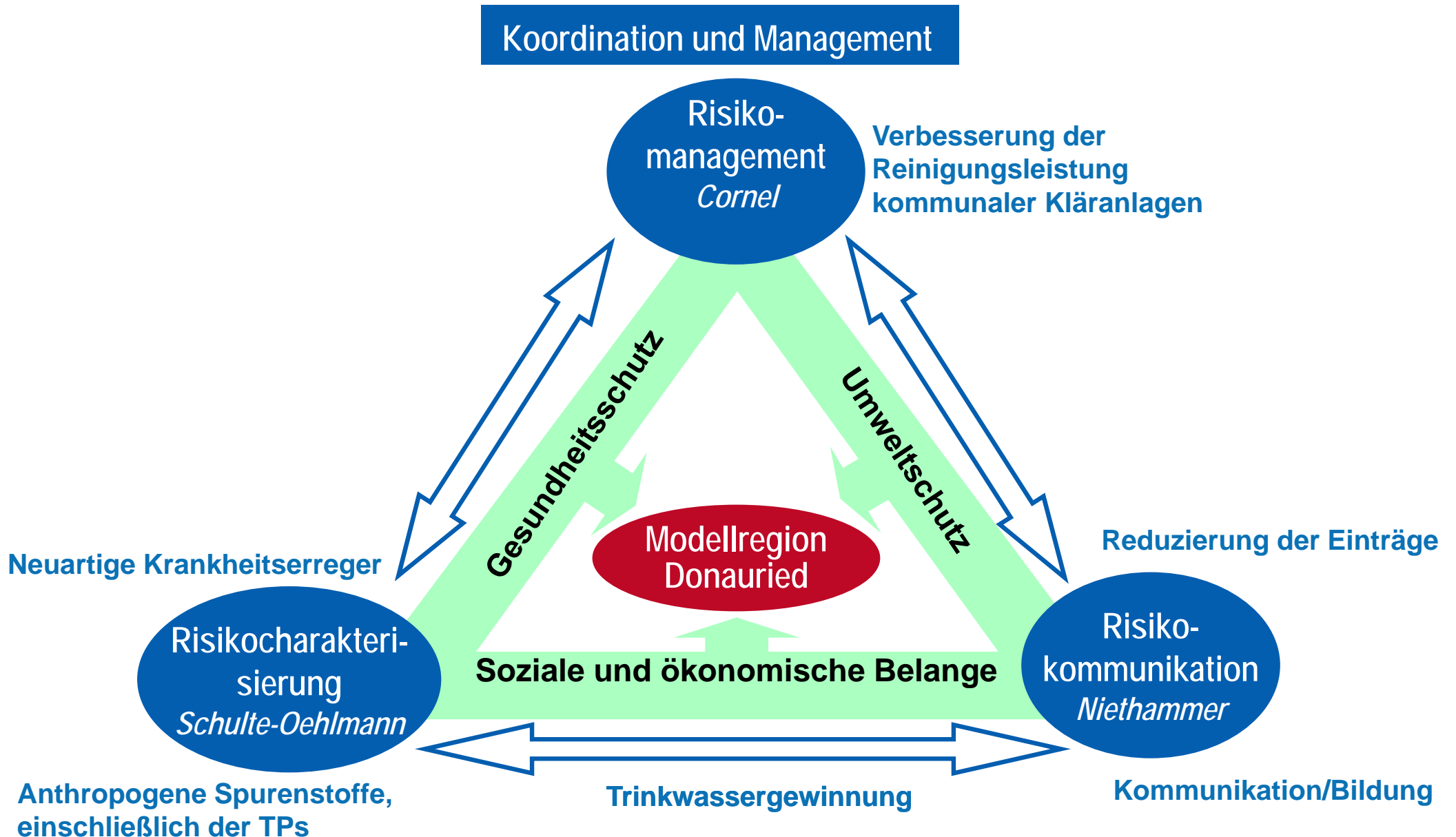


Thomas A. Ternes, Aennes Abbas, Johannes Alexander, Anna Bollmann, Anja Coors, Peter Cornel, Vedat Durmaz, Jan Funke, Yongjun Zhang, Hong Zhu, Sven Geißen, Konrad Götz,

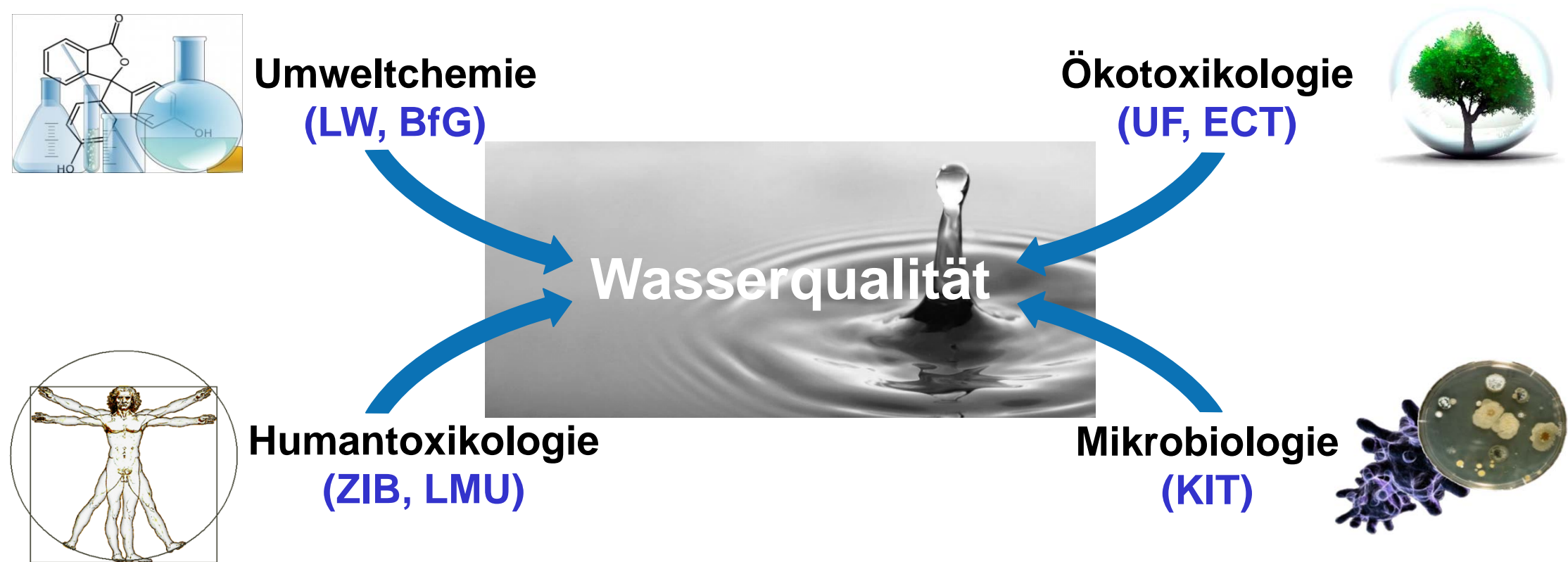
Gregor Knopp, Christian Lütke Eversloh, Jan Funke, Ulrike Krauss, Harald Mückter, Manuela Niethammer, Carsten Prasse, Ilona Schneider, Thomas Schwartz, Wolfram Seitz, Ulrike Schulte-Oehlmann, Jörg Oehlmann, Sabine Thaler, Lisa Vorberg, Marcus Weber, Arne Wieland



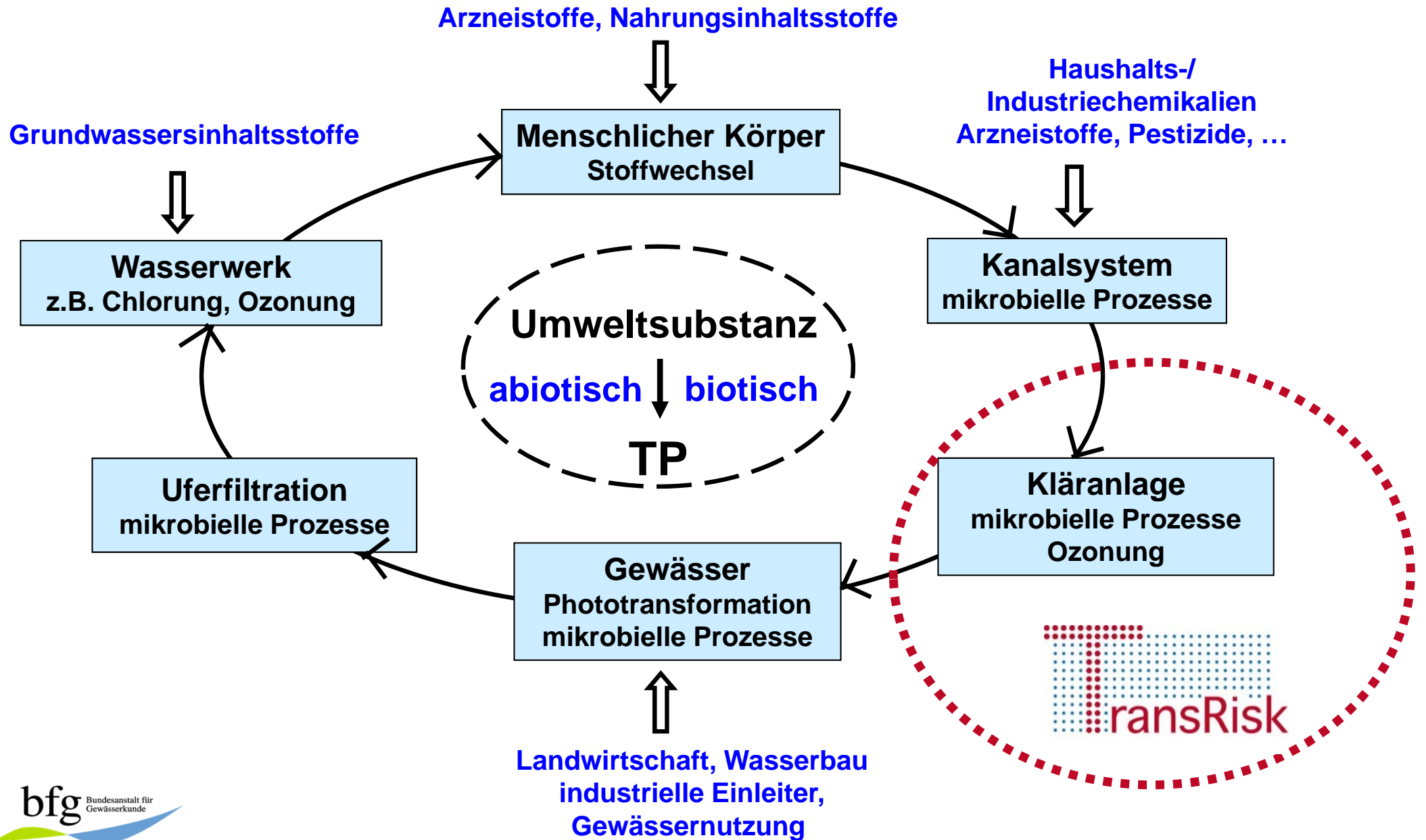
# Struktur von TransRisk



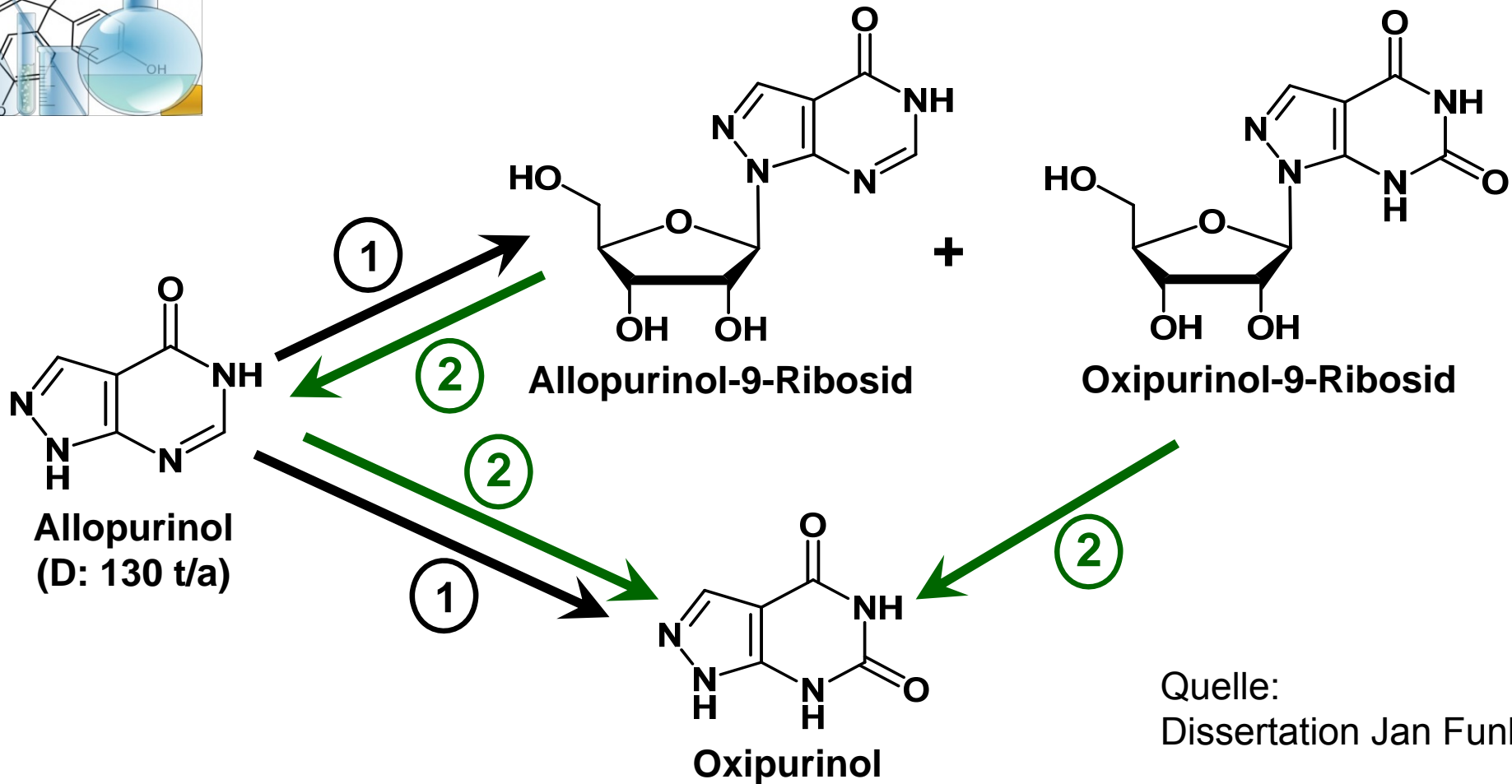
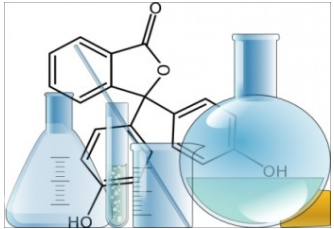
# Risikocharakterisierung basiert auf 4 Säulen (Ulrike Schulte-Oehlmann, UF)



# Überblick: Bildung von TPs im urbanen Wasserkreislauf



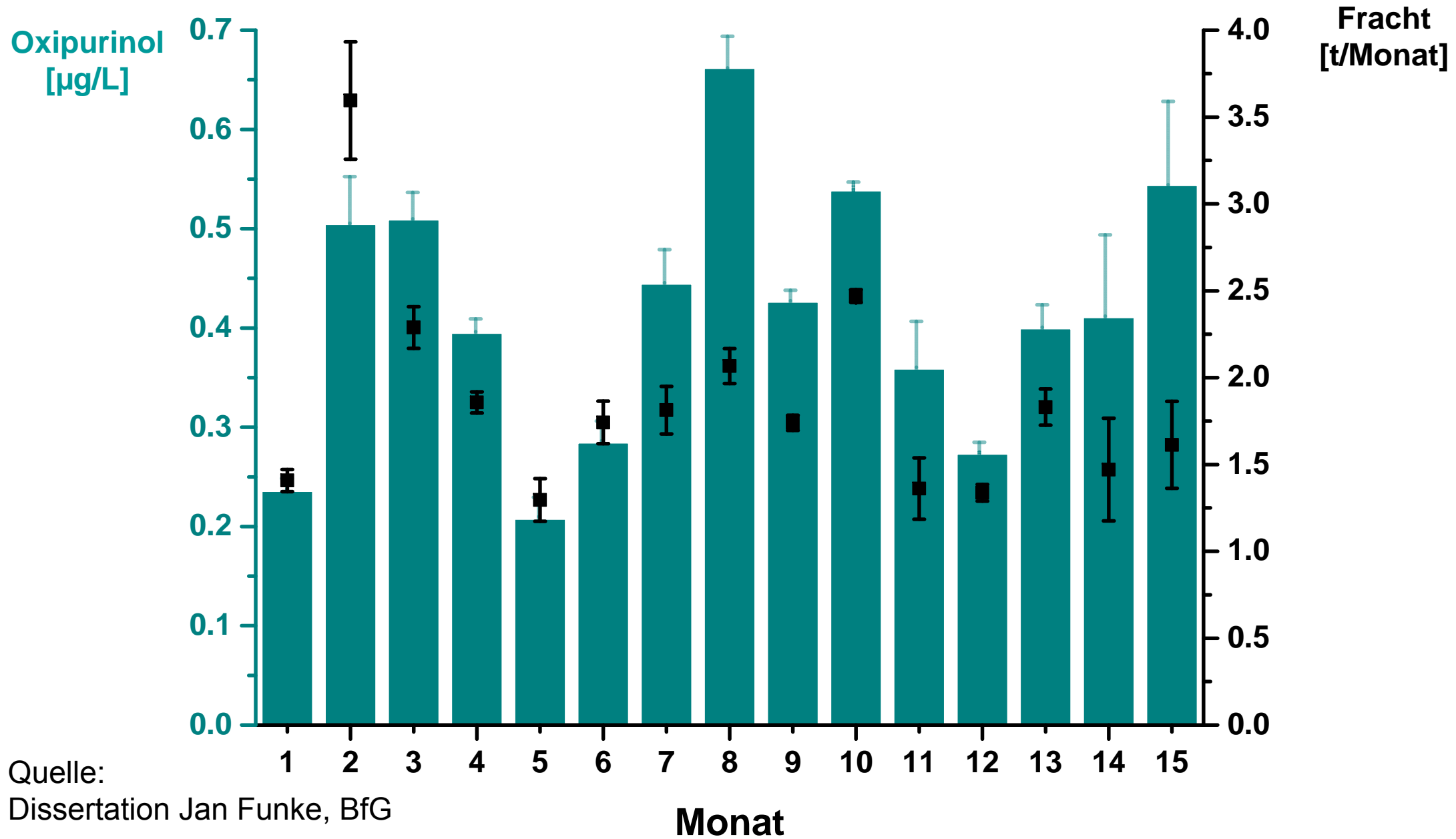
# Oxipurinol: Indikatorsubstanz für gereinigtes Abwasser und abwasserhaltiges Flusswasser (BfG)



Quelle:  
Dissertation Jan Funke, BfG

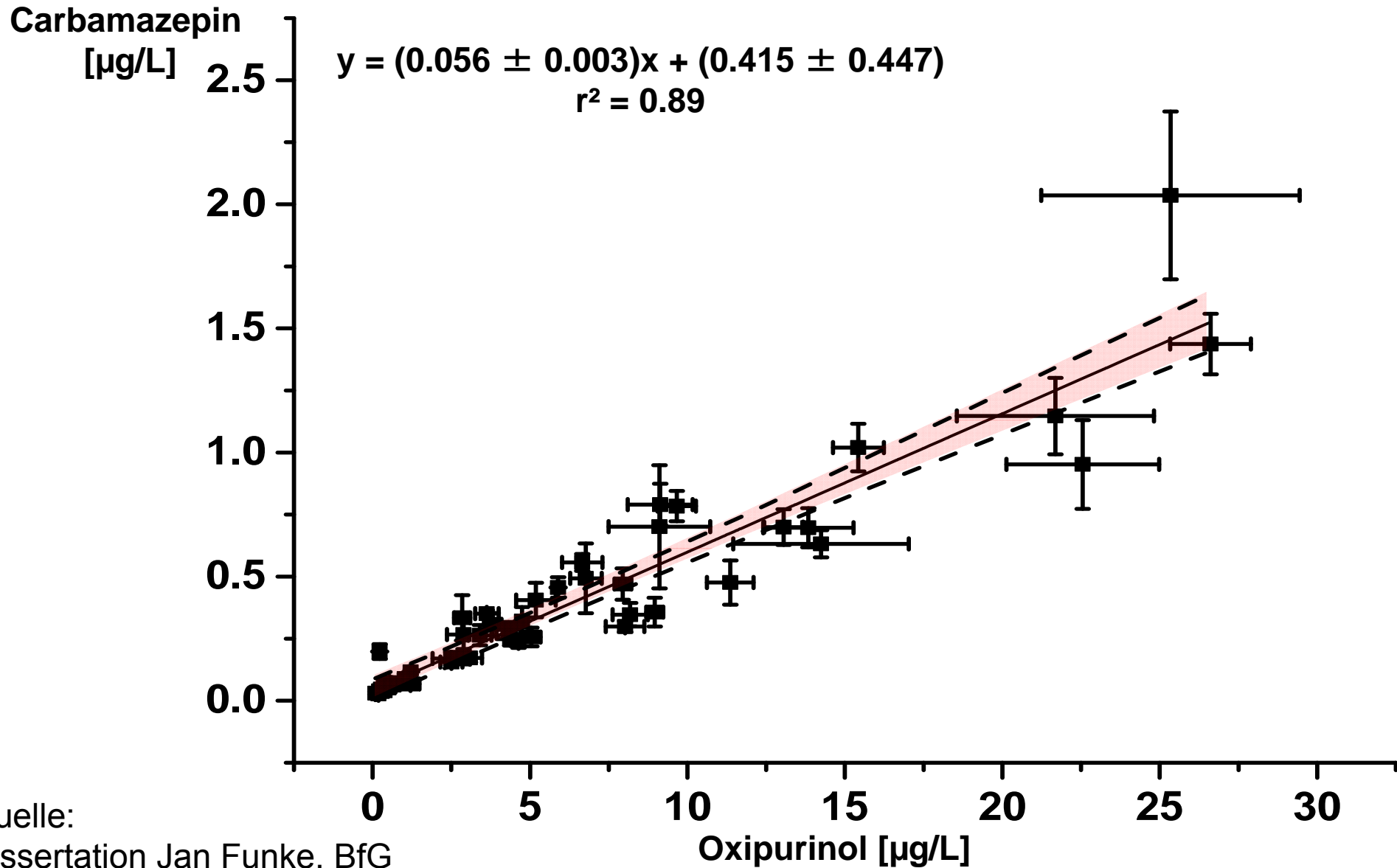
- ① Menschlicher Metabolismus
- ② Mikrobielle Spaltung (z.B. Belebtschlamm)

# Nachweis von Oxipurinol im Rhein bei Koblenz (BfG)

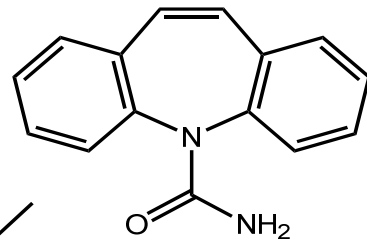
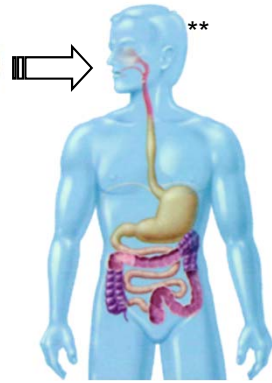
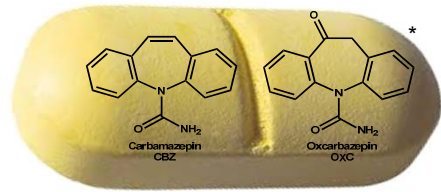


Quelle:  
Dissertation Jan Funke, BfG

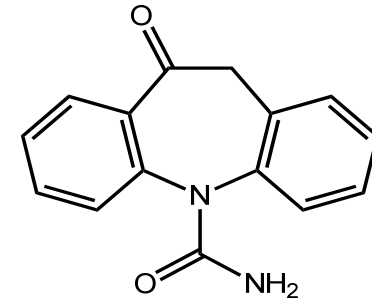
# Korrelation von Oxipurinol und Carbamazepin in Flusswasser, gereinigtem Abwasser und Grundwasser



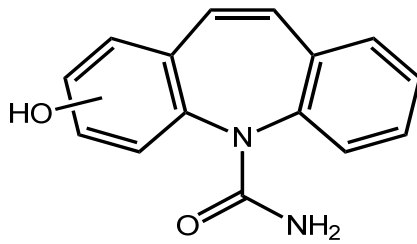
# Carbamazepin und Oxcarbazepin - Humanmetabolismus



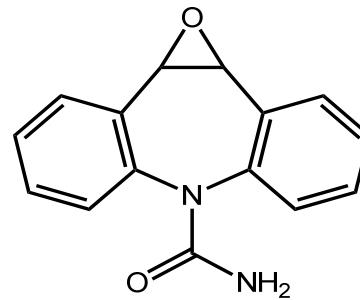
**CBZ 30 %**



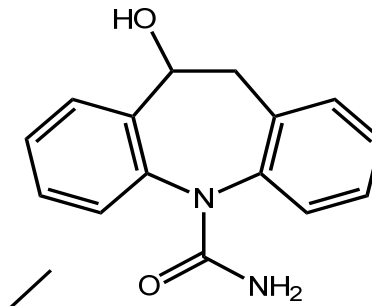
**OXC 4 %**



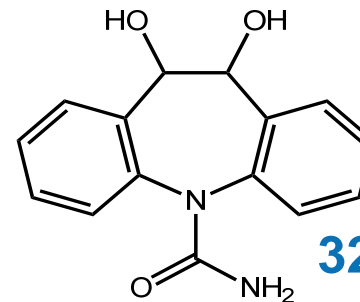
**OH-CBZ ~20 %**



**ep-CBZ 1.4 %**



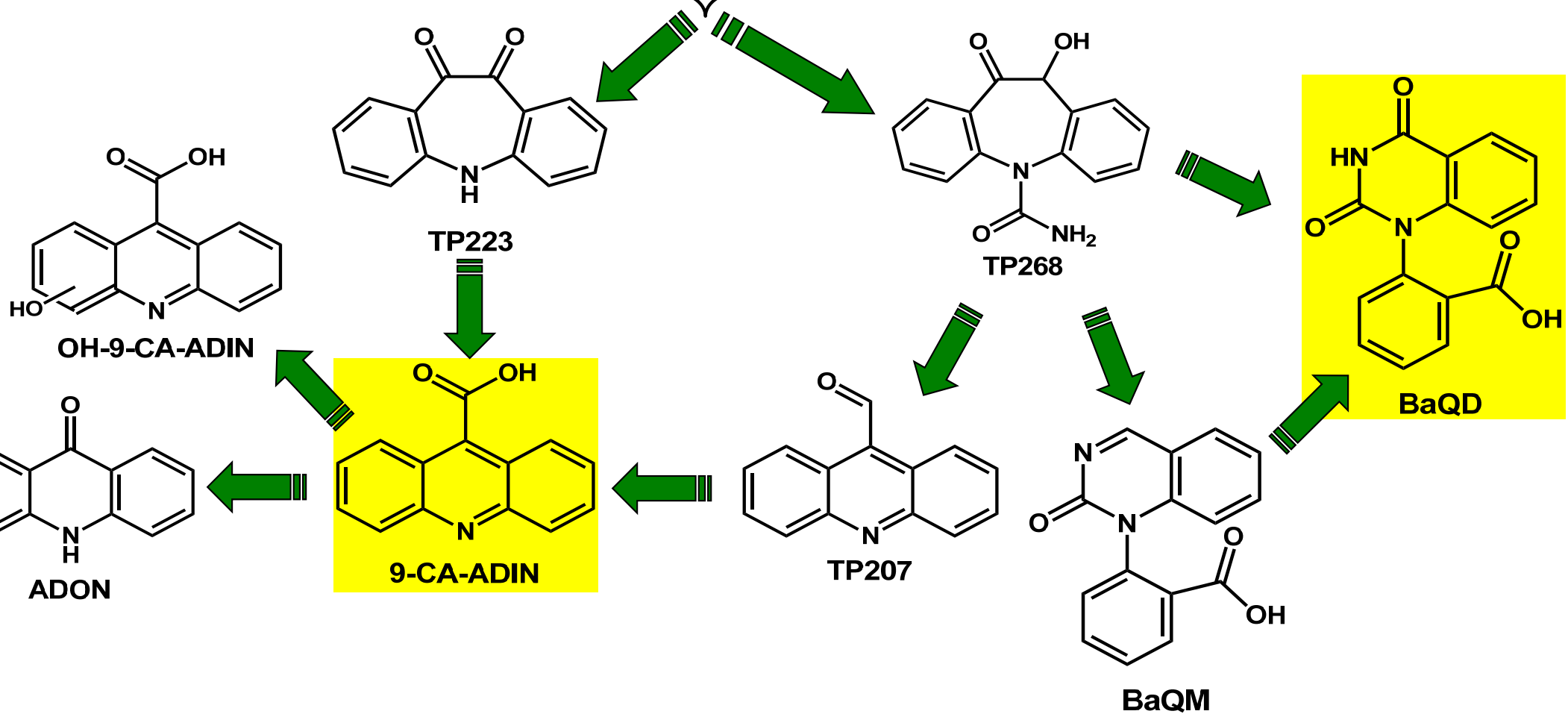
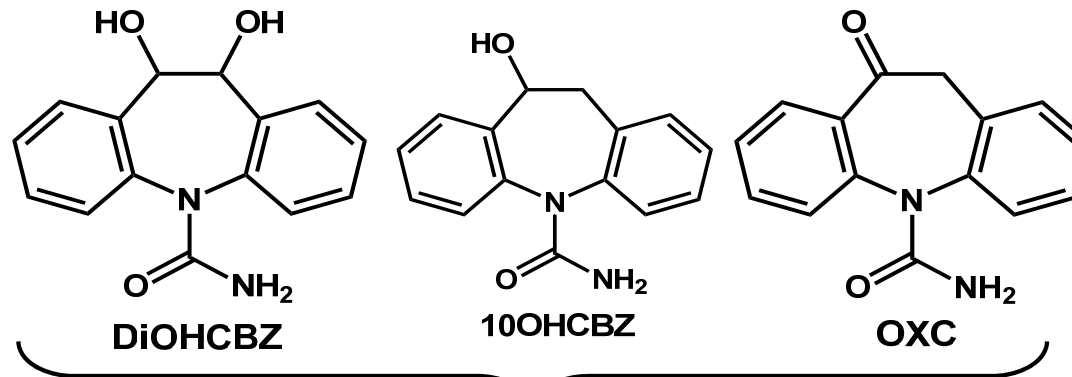
**10OHCBZ 71 %**



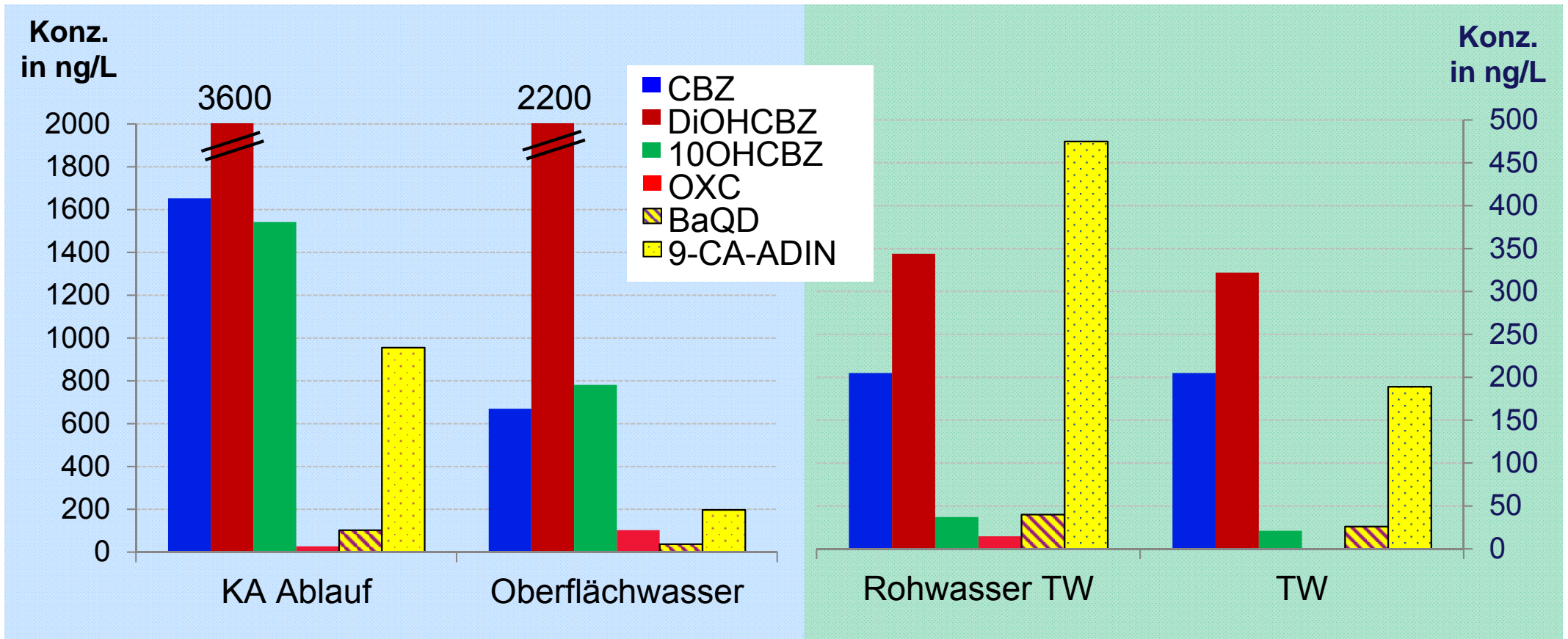
**32 % DiOHCBZ 7 %**



# Abbauweg von DiOHCBZ, 10OHCBZ und OXC (BfG)



# Vorkommen von CBZ, Metaboliten und TPs (BfG)



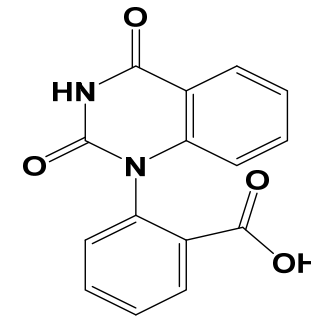
Quelle: Dissertation Elena Kaiser, BfG  
 Kaiser et al., ES&T, 2014, 48 (17), 10208-10216.

# Carbamazepin TPs - Vorhergesagte Kanzerogenität nach Lazar (LMU, ZIB)

Lazar Home <http://www.in-silico.ch/>

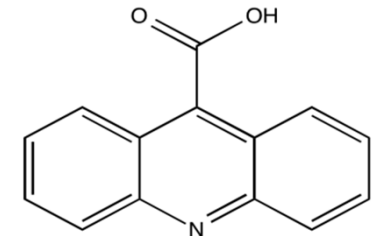
	Einzelzellen	Multizellen	Maus	Ratte	Hamster	ISSCAN Canc	Kazius-Bursi
CBZ	●	○	○	○	○	●	●
OXC	○	○	○	○	○	●	○
BaQD	○	●	○	○	○	○	○
ADON	●	●	●	●	○	●	●
TP207	●	●	●	●	○	●	●
9-CA-ADIN	●	●	●	●	○	●	●
8-Formyl-ADON	●	●	●	●	○	●	●
Acridin	●	●	●	●	○	●	●

blau: nachweisbar in Flusswasser und/oder Trinkwasser



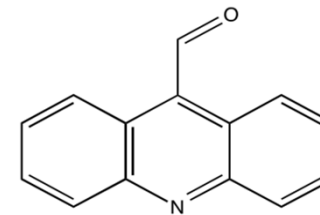
**BaQD**

(Kaiser 2014)



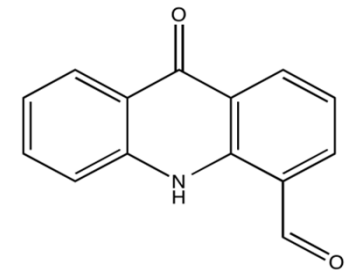
**9-CA-ADIN**

(Kaiser 2014)



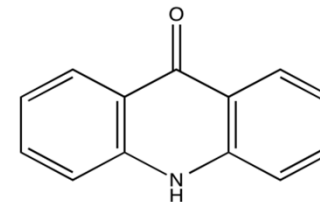
**TP207**

(Kaiser 2014)



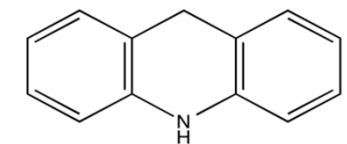
**8-Formyl-ADON**

(Hübner 2014)



**ADON**

(Kaiser 2014)



**Acridin**

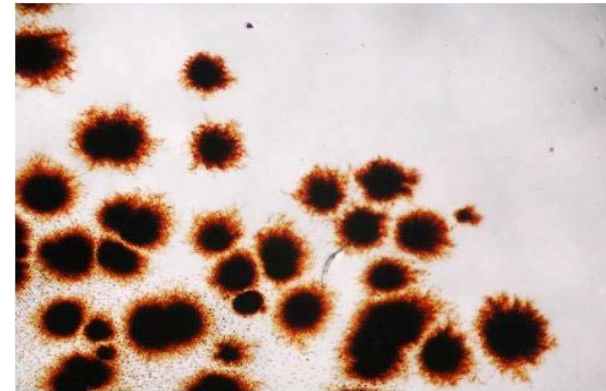
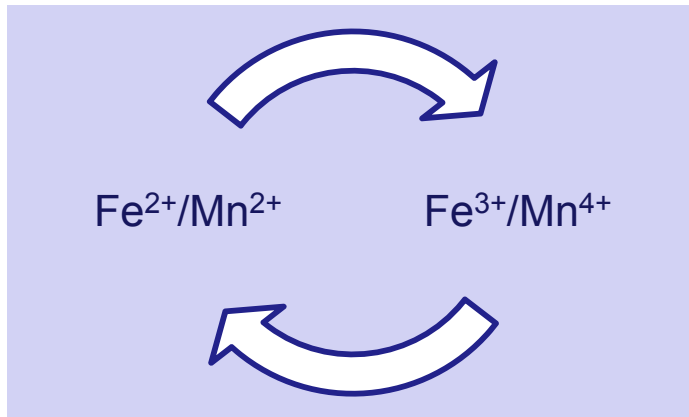
(Pearce 2002)

# TransRisk-Modellregion Wasserschutzgebiet „Donauried-Hürbe“



# Eisen-/Mangan-oxidierende Bakterien zur Entfernung von organischen Spurenstoffen

(TU Berlin (UVT, UMB) / KARY-PLANAQUA)



Demo @:  
KA Langenau

**UMB**  
mikrobiologische  
Untersuchungen

**UVT**  
Prozess-  
entwicklung

**SPA**  
Anlagenbau

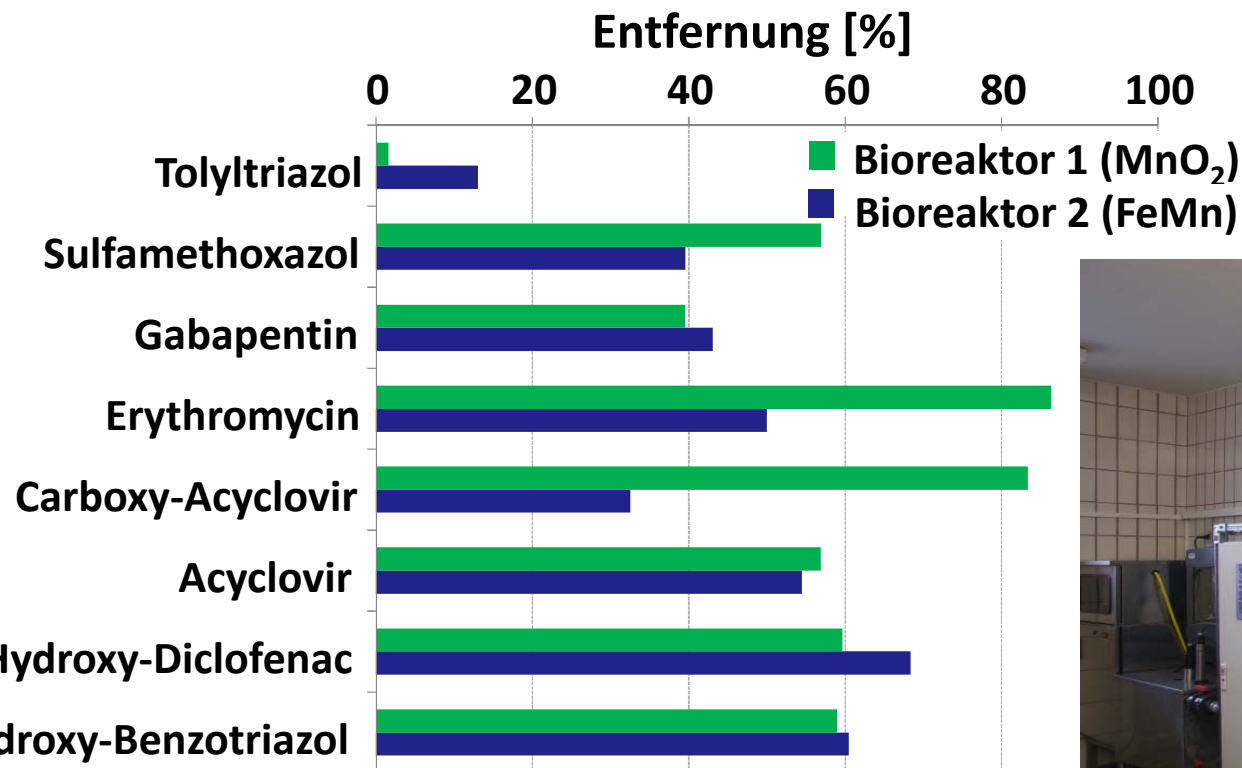
bfg

Thoma

ransRisk

# Installation einer Pilotanlage auf der Kläranlage Langenau (KARY-PLANAQUA, TUB)

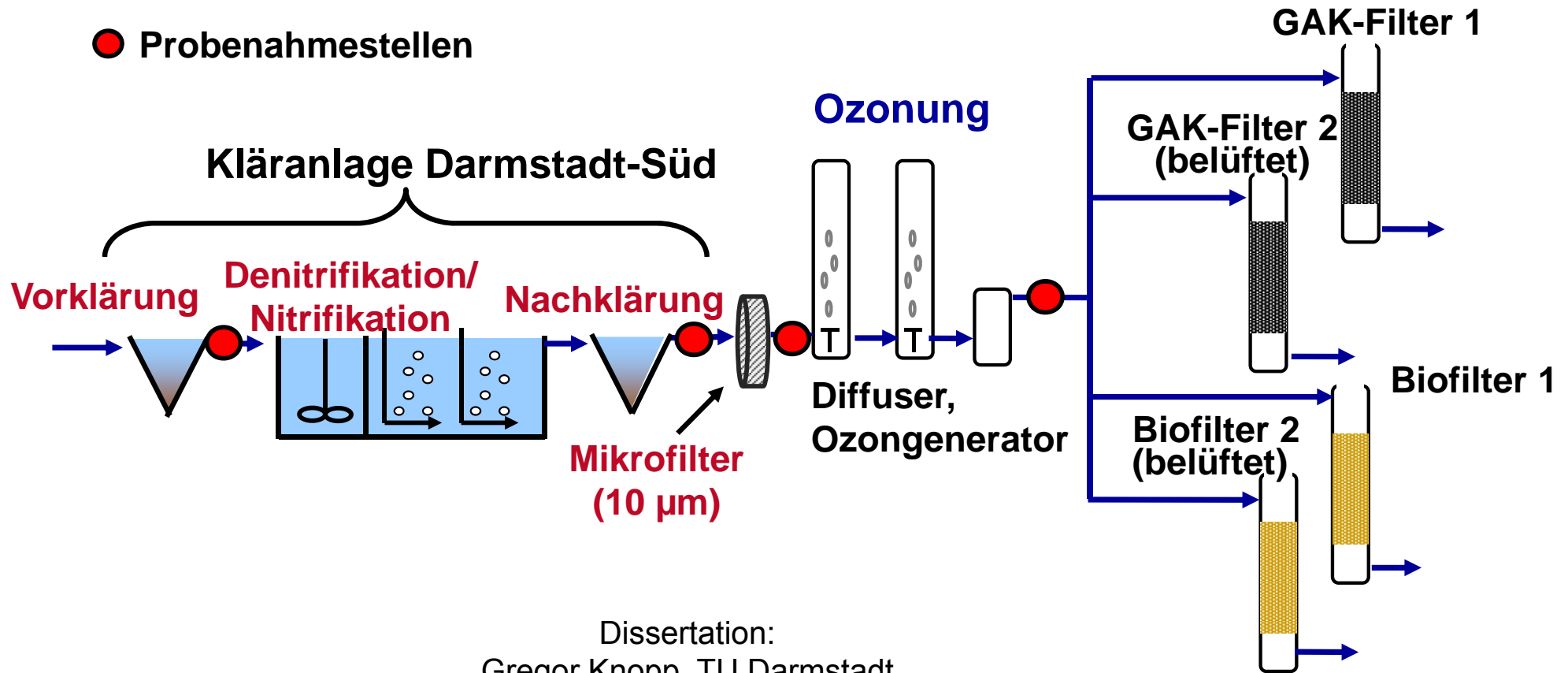
- $\text{MnO}_2$  (Bioreaktor 1), FeMn (Bioreaktor 2)
- Als nachgeschaltete Stufe nach konventioneller Reinigung
- Gesamtvolumen der Reaktoren: 250 L; Wasservolumen: 140 L



# Neue weitergehende Behandlungsmaßnahmen (TUDa/WEDECO)

## Biologische Behandlung + Ozonung + Bio-/Aktivkohlefiltration

● Probenahmestellen



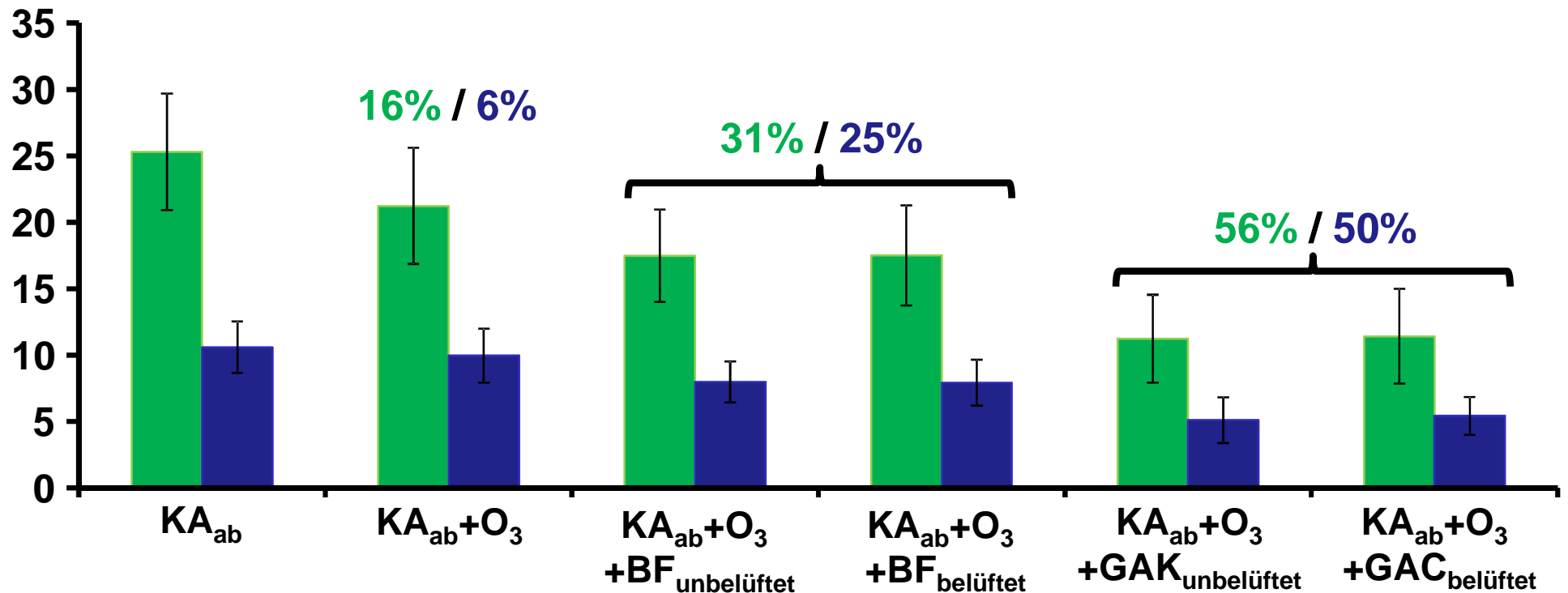
# CSB- und DOC-Entfernung in der Pilotanlage (TUDa)

(O<sub>3</sub>/DOC Verhältnis: 0.84 ± 0.15)

Mittelwerte über 28 Wochen

Konzentration in mg/L

■ CSB (filtriert)  
■ DOC

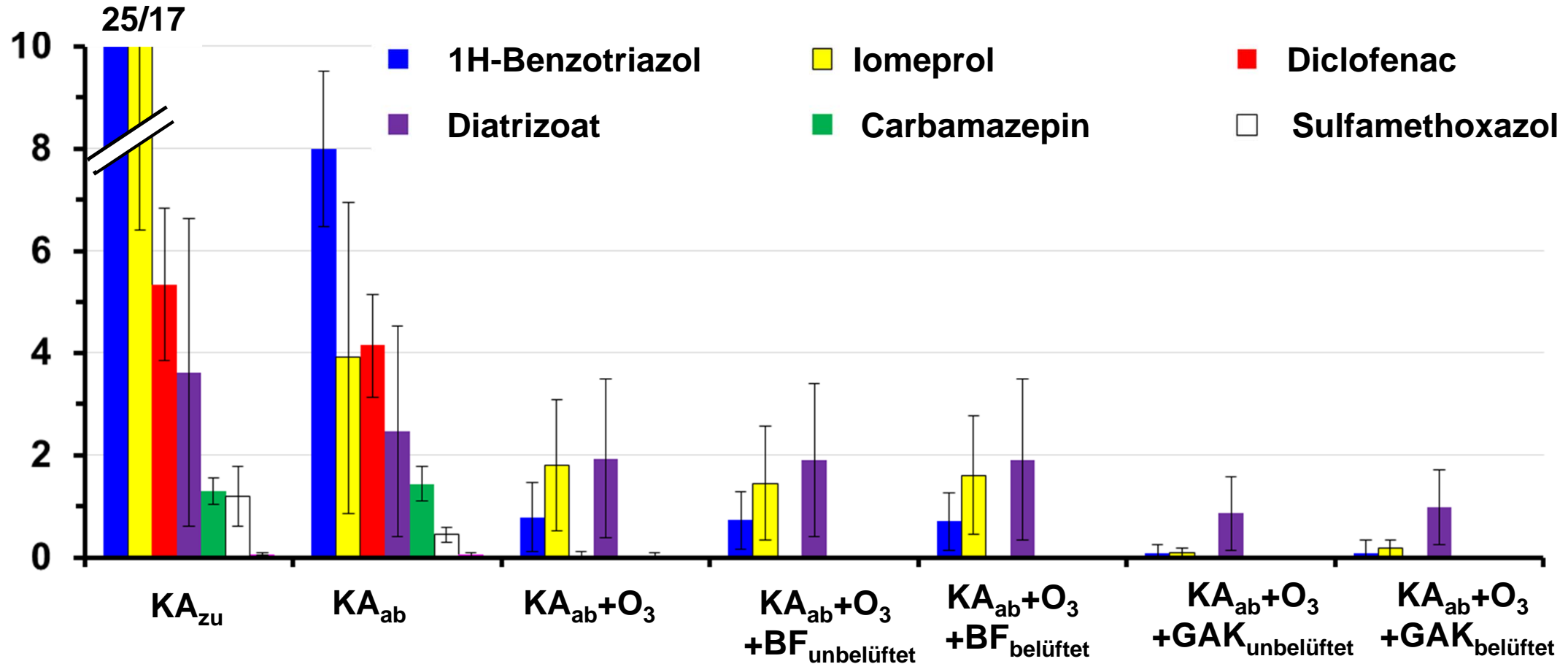




# Eliminierung ausgewählter Spurenstoffe in der Pilotanlage (TUDa, LW)

(O<sub>3</sub>/DOC: 0.84 ± 0.15)

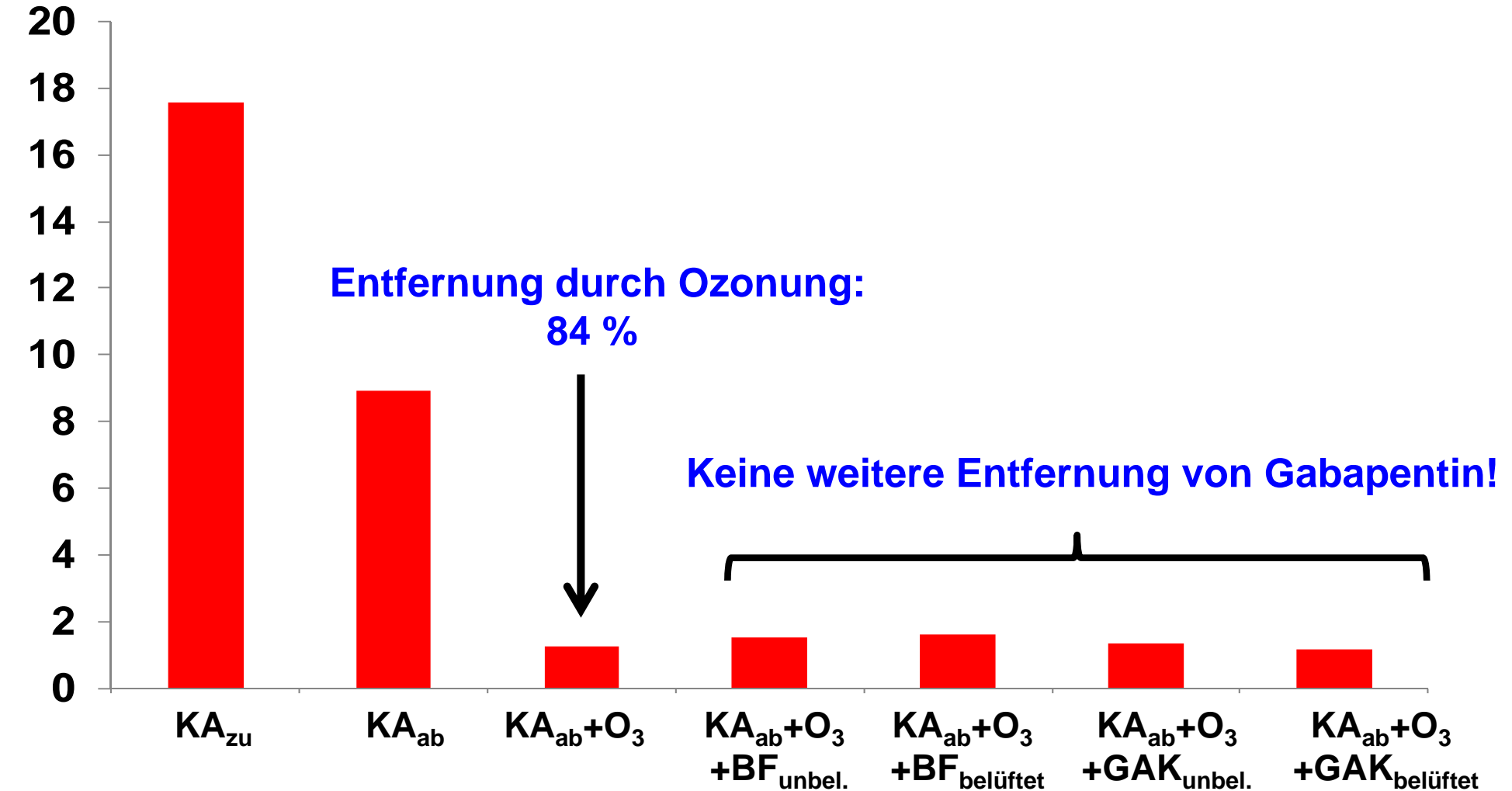
Konzentration  
in µg/L



# Eliminierung/Transformation von Gabapentin in der Pilotanlage

(O<sub>3</sub>/DOC: 1.0 ± 0.2)

Konz.  
in µg/L

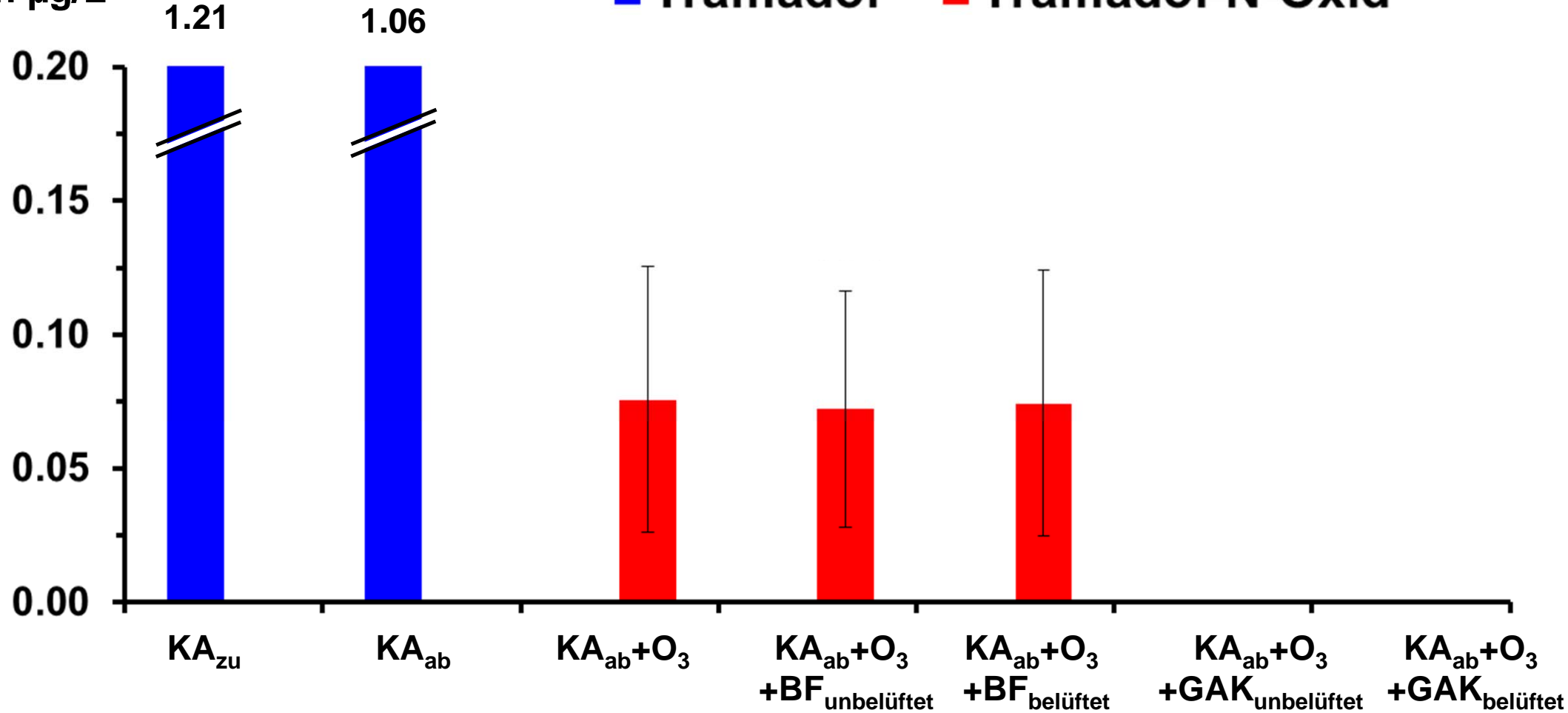


# Eliminierung/Transformation von Tramadol in der Pilotanlage

( $O_3/DOC: 0.84 \pm 0.15$ )

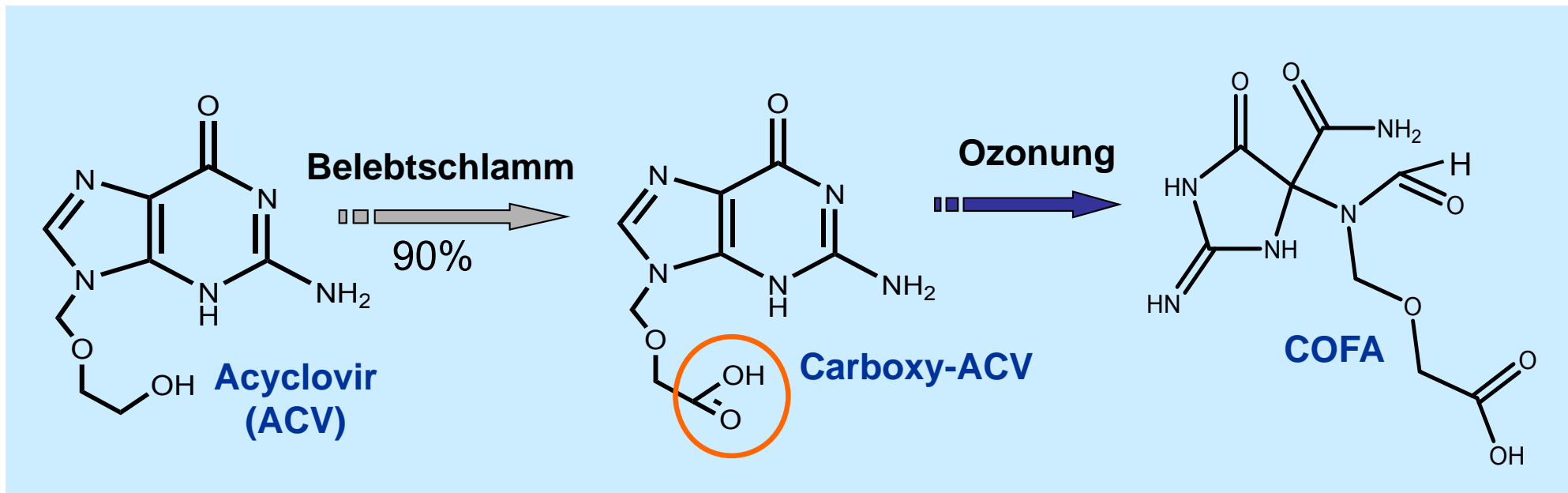
Konz.  
in  $\mu\text{g/L}$

■ Tramadol ■ Tramadol-N-Oxid



# Massenbilanzen: Transformation von Acyclovir (ACV)

Herpes Virus

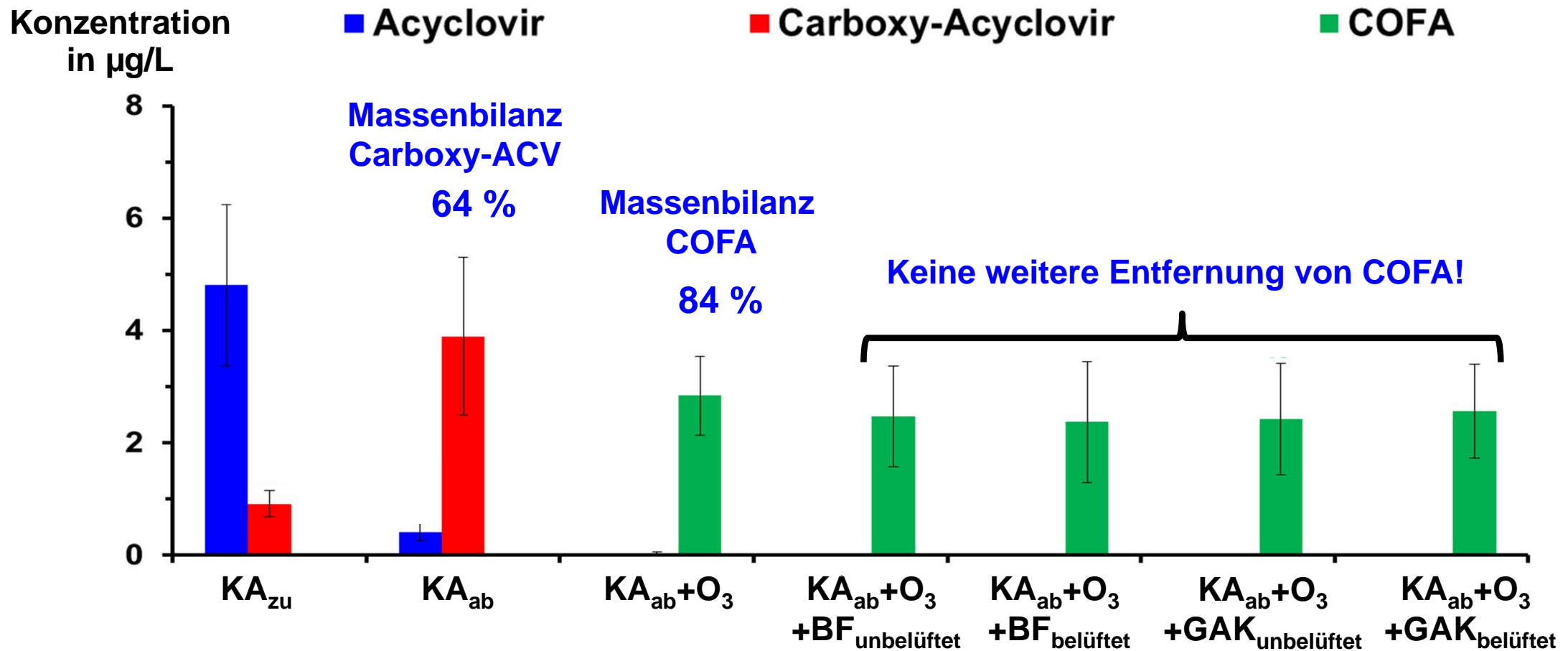


**COFA**

**N-(4-Carbamoyl-2-imino-5-oxoimidazolidinyl)formamido-N-methoxyacetic acid**

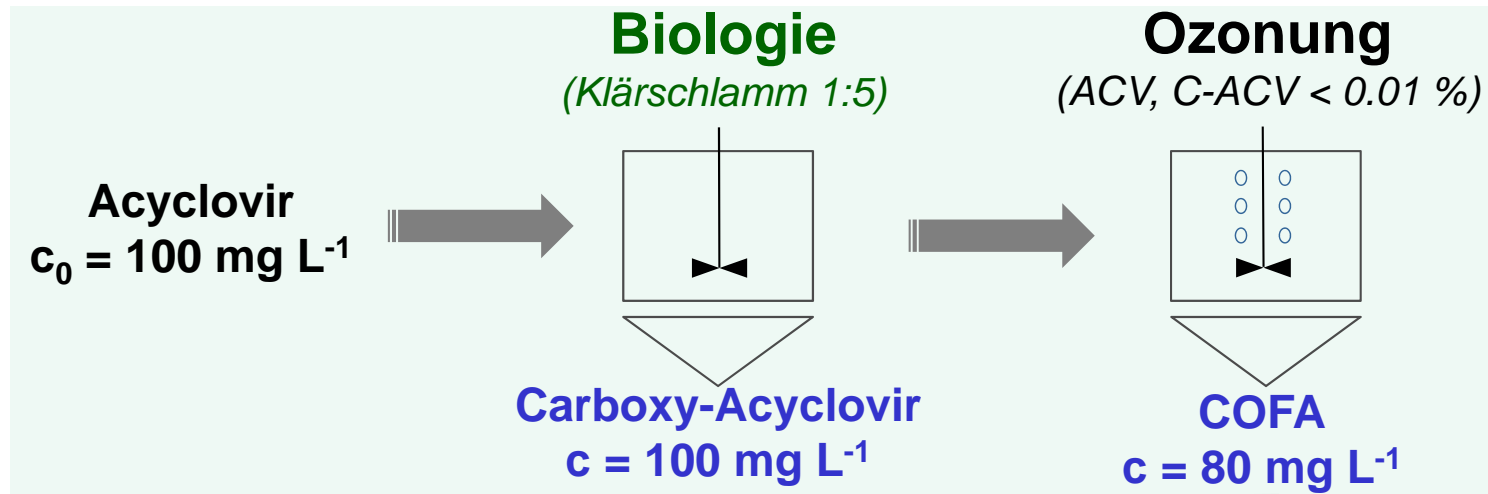
# Bildung von Carboxy-ACV u. COFA in der Pilotanlage (TUDa, BfG)

( $O_3/DOC: 0.84 \pm 0.15$ )

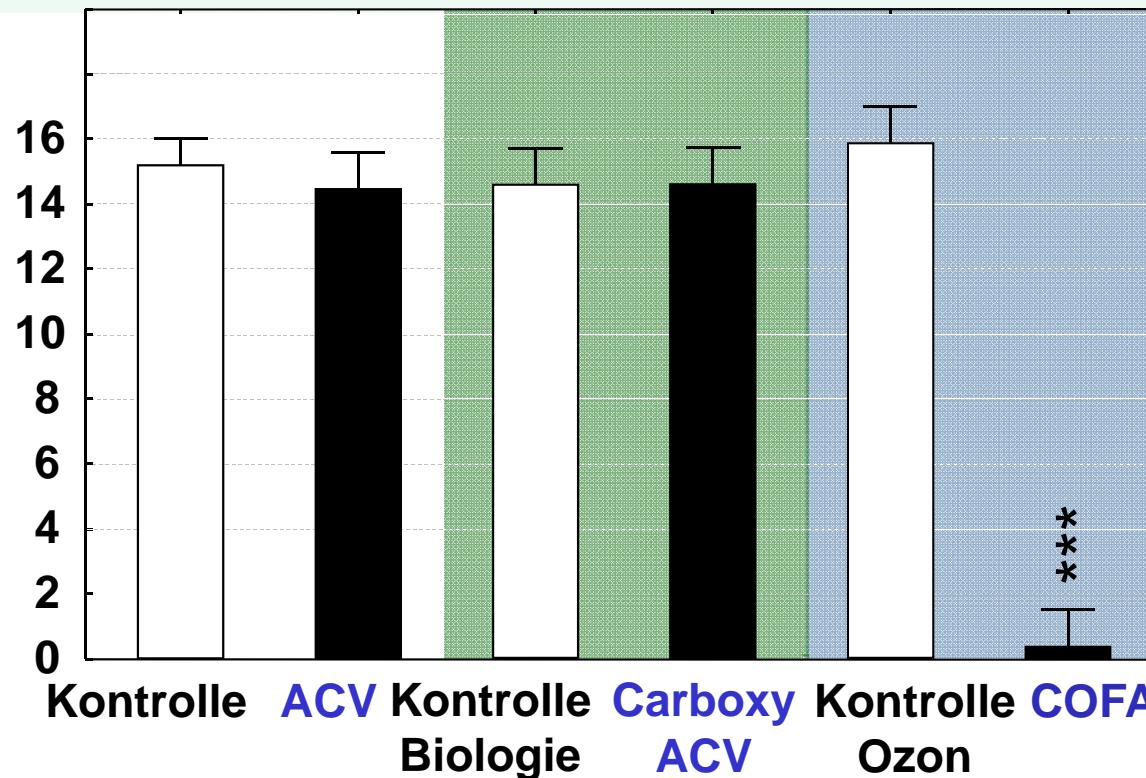


Dissertation:  
Gregor Knopp, TU Darmstadt

# Toxizität von COFA gegenüber Grünalgen (ECT, BfG)



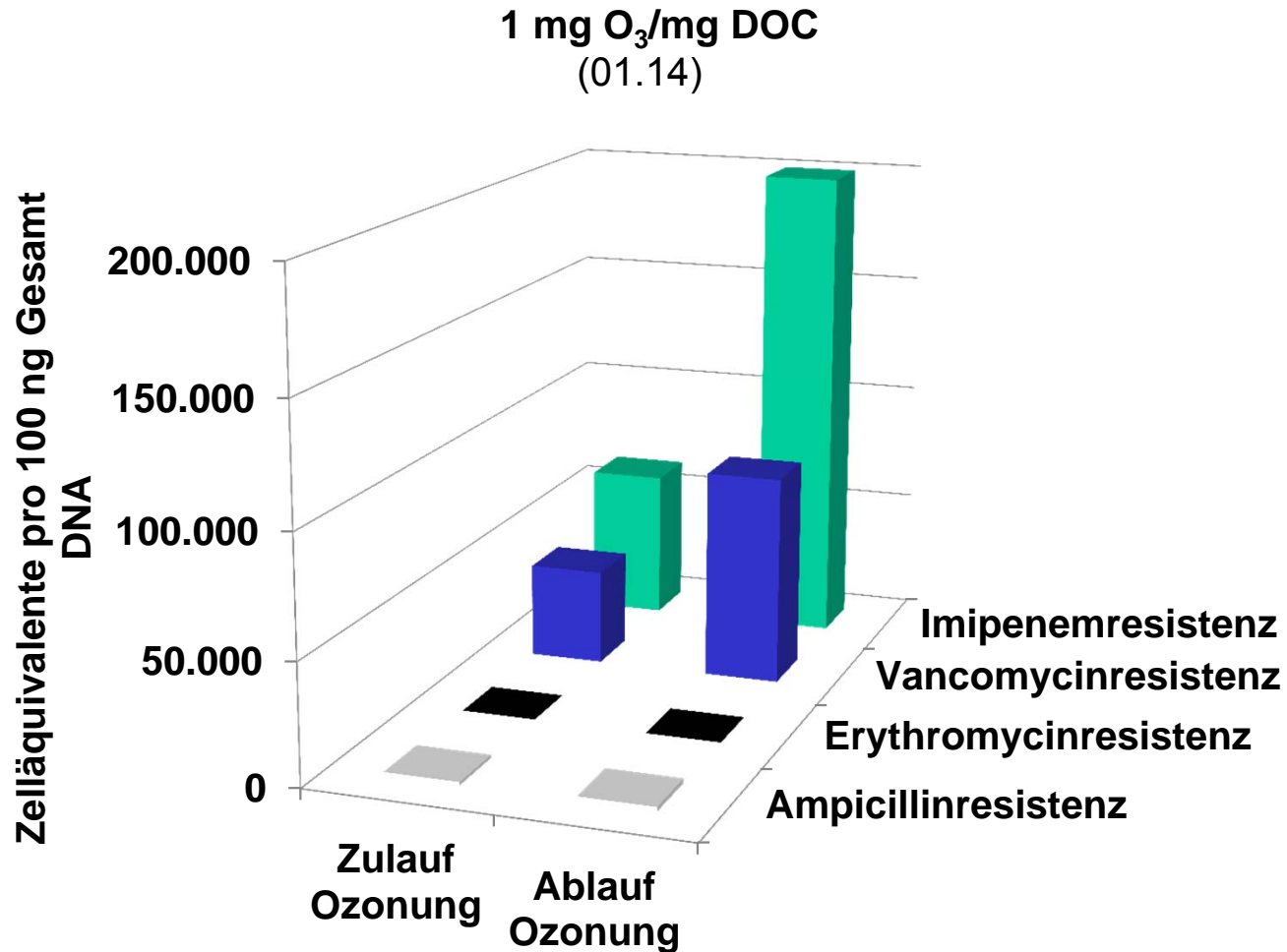
Zellzahl  
\*10<sup>4</sup>/mL



\*\*\* sign. Unterschiede im Vergleich mit allen anderen Behandlungen, Tuckey,  $p < 0.01$

Quelle:  
Dissertation  
Lisa Vorberg

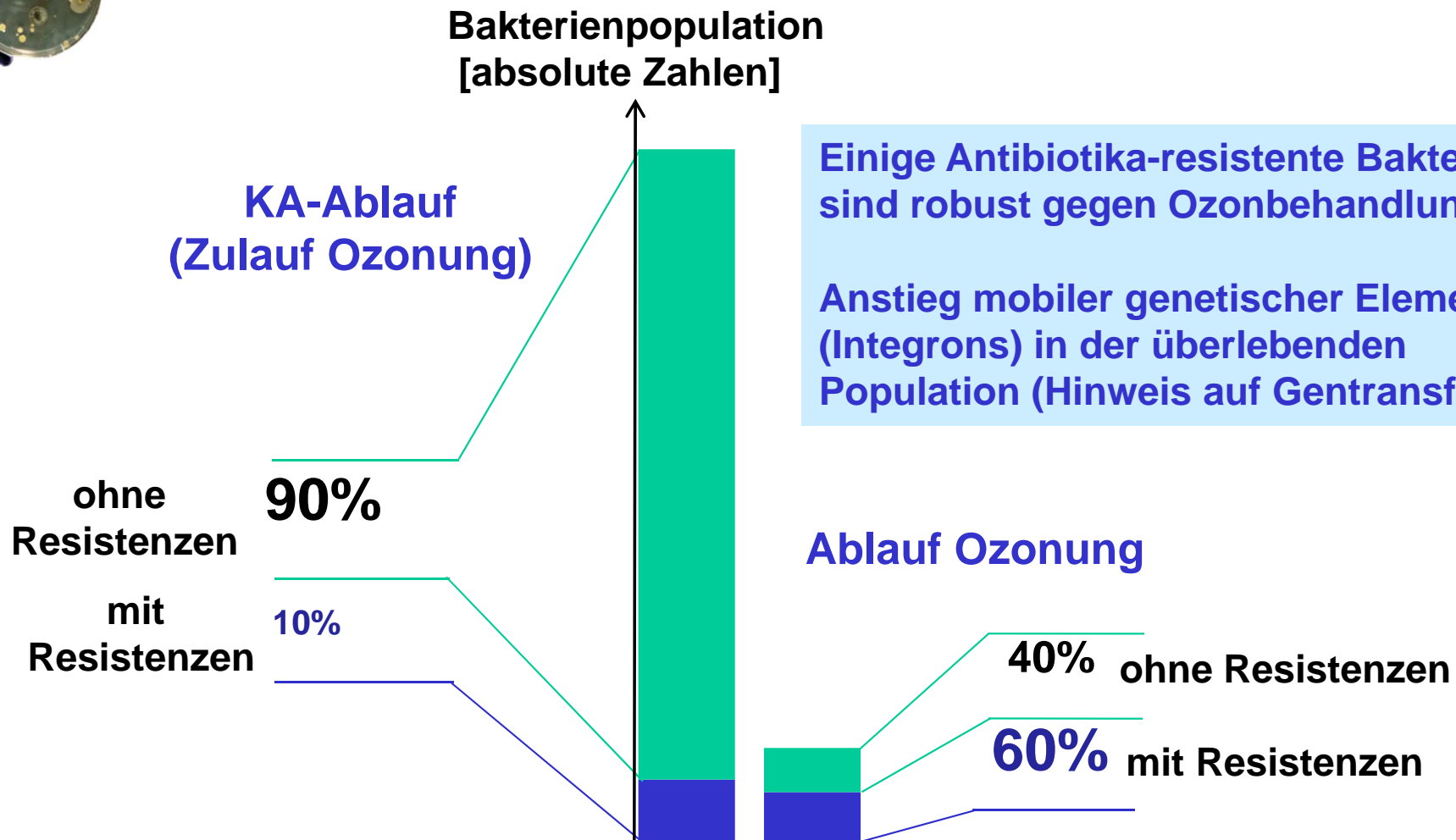
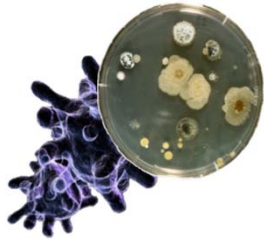
# Molekularbiologische Ergebnisse bei der KA Darmstadt Nachbehandlung: Ozonung (KIT, TUDa)



# Antibiotikaresistenzen: Ergebnisse bei der KA Darmstadt

Nachbehandlung: Ozonung (KIT, TUDa)

( $O_3/DOC: 0.84 \pm 0.15$ )



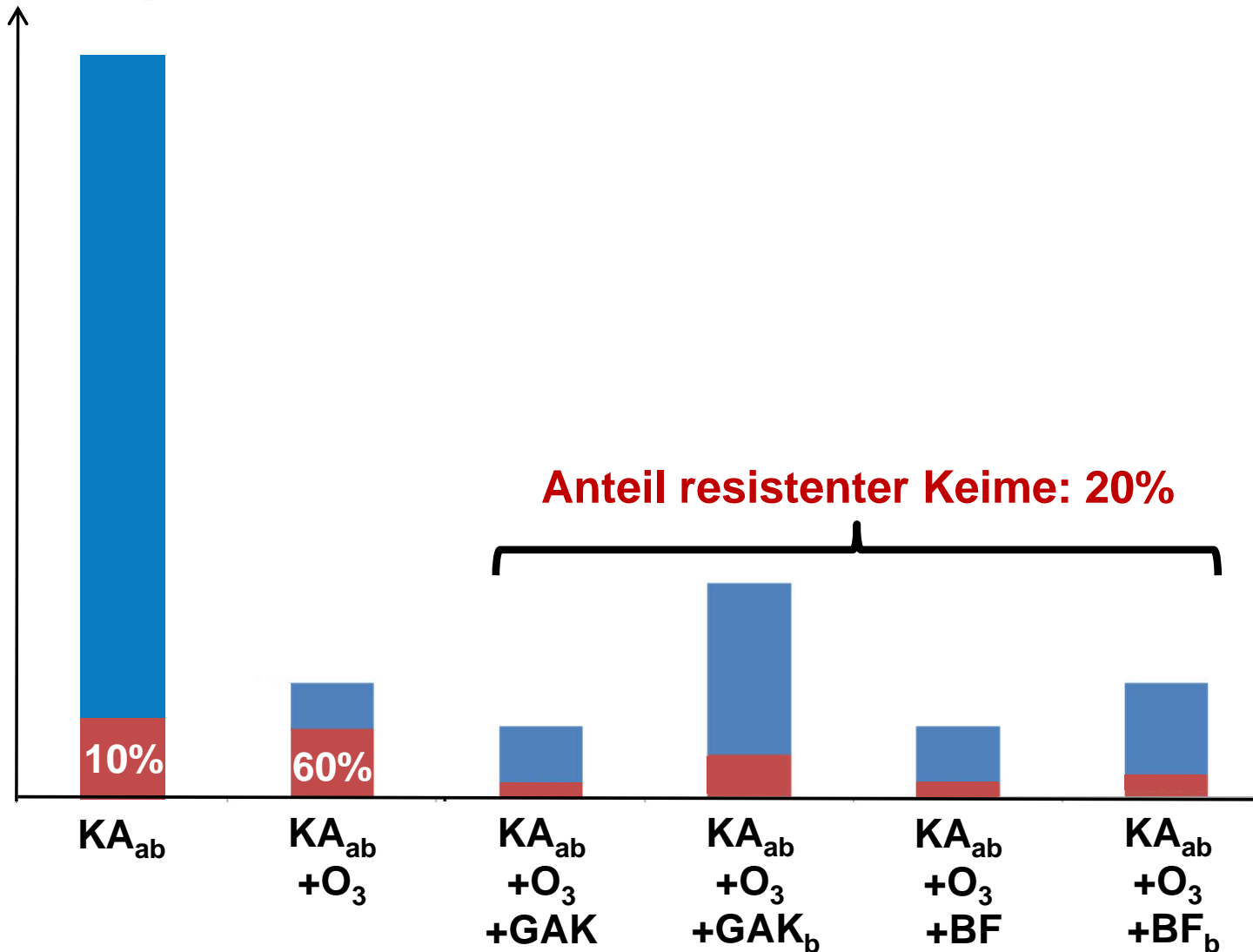


# Antibiotikaresistenzen: Ergebnisse bei der KA Darmstadt

## Nachbehandlung: Ozonung (KIT, TUDa)

(O<sub>3</sub>/DOC: 0.84 ± 0.15)

Bakterienpopulation  
[absolute Zahlen]



# Übersicht *in-vitro* Assays und *in-vivo* Biotests (UF, ECT)

## ■ *In-vitro* Assays

### ■ Nukleäre Rezeptoren (Hefereportergeren-Assays, ISO/DIN-Entwurf):

- Östrogen-Rezeptor (YES / YAES)
- Androgen-Rezeptor (YAS / YAAS)
- Aryl-Hydrocarbon- oder Dioxin-Rezeptor (YDS)
- Andere: Vitamin D- (VDR), Thyronin- (TR), Retinsäure-Rezeptor (RAR)

### ■ Gentoxizität / Mutagenität:

- *umuC*-Gentoxizitätstest (ISO 13829)
- Ames-Fluktuationstest (ISO 11350)

### ■ Zytotoxizität:

- GH3-Zellen (Hypophyse der Ratte, SOP)

## ■ *In-vivo* Biotests

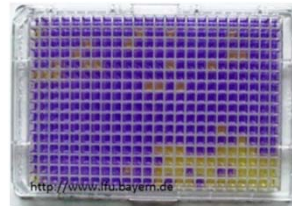
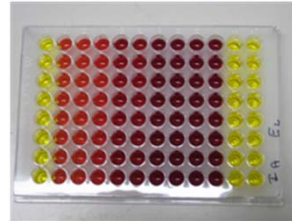
### ■ Wachstumshemmung *Lemna minor* (OECD 221)

### ■ Fortpflanzungstest *Daphnia magna* (OECD 211)

### ■ Fortpflanzungstest *Potamopyrgus antipodarum* (OECD-Entwurf)

### ■ Wachstums-/Fortpflanzungstest *Lumbricus variegatus* (OECD 225)

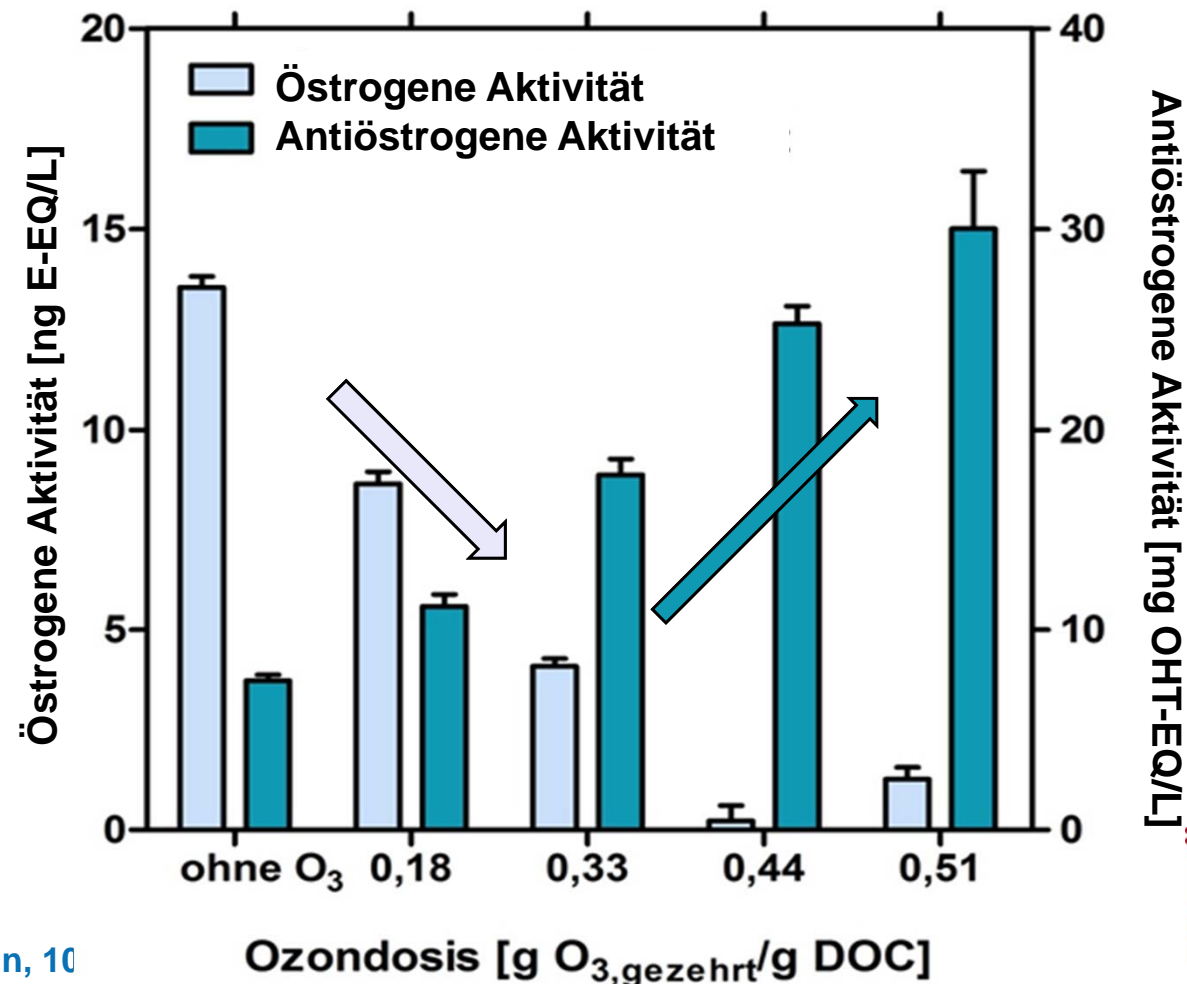
### ■ Mortalität von *Gammarus fossarum*



# Ergebnisse in-vitro-Assays mit zunehmender Ozondosis (UF)

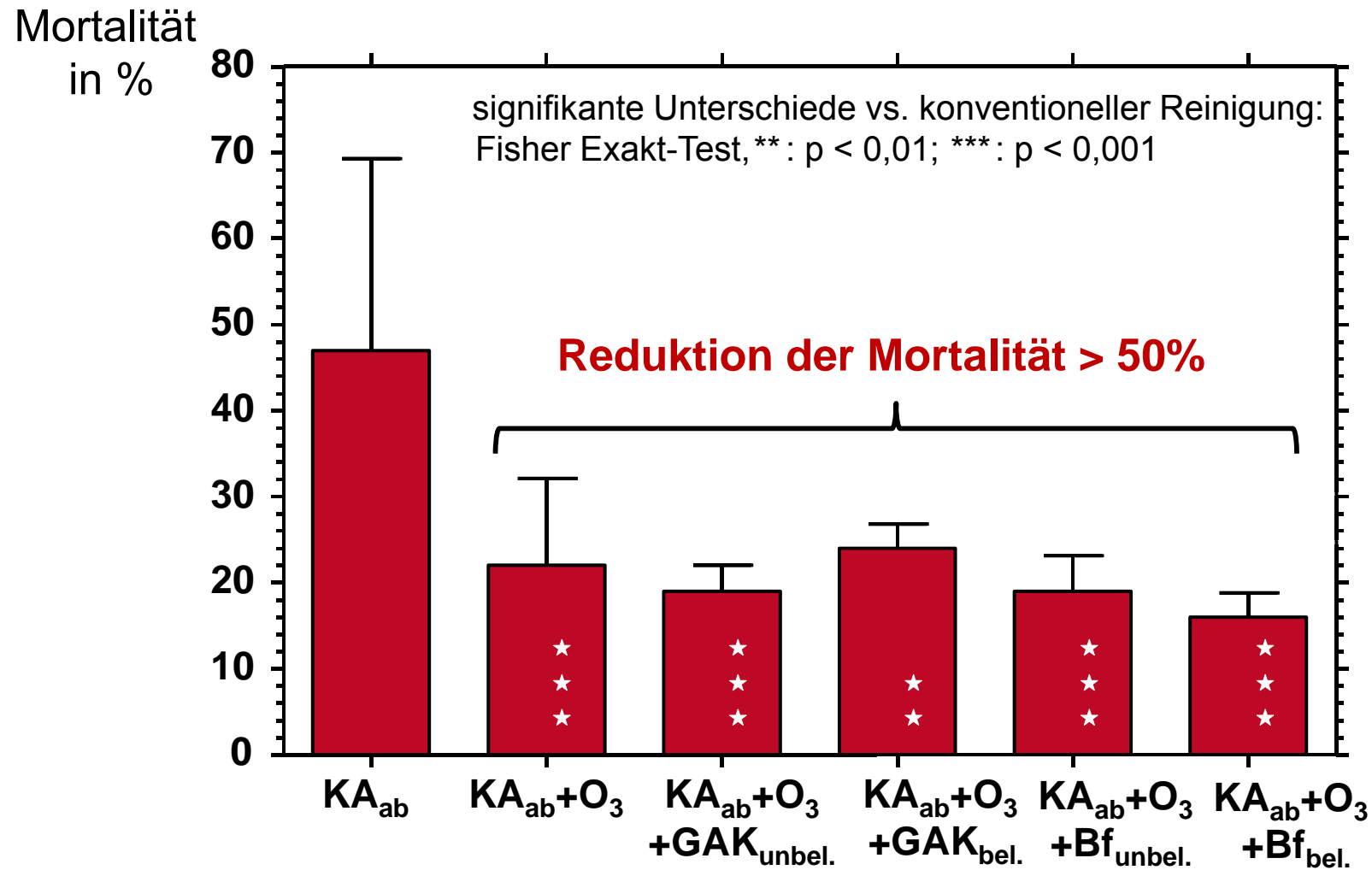
- **Östrogene Wirkpotentiale** nehmen mit steigender Ozondosis ab
- **Anti-östrogenartige Wirkpotentiale** nehmen mit steigender Ozondosis zu
- Biofilter und GAC führten zu **keiner Reduktion** der anti-östrogenen Aktivitäten

## Zunehmende Ozondosis



# On-Site-Test mit *Gammarus fossarum* Pilotkläranlage (TUDa, UF)

Mortalität wird durch weitergehende Reinigungsverfahren eliminiert



# Zusammenfassung Ökotoxikologiebewertung

*In-vitro*-Tests (nativ)



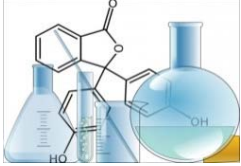
*In-vivo*-Tests (on-site)



Verwendeter Biotest	YES	Anti-YES	YAS	Anti-YAS	Lumbricus variegatus		Daphnia magna	Lemna	Potamopyrgus antipodarum	Gammarus fossarum
					Test1	Test2				
<b>KONVENTIONELL</b>	+	+	-	-	+	+	-	+	+	+
<b>OZON</b>										
<b>OZON +GAC belüftet</b>										
<b>OZON +GAC unbelüftet</b>										
<b>OZON +BIOFILTER belüftet</b>										
<b>OZON +BIOFILTER unbelüftet</b>										

**Rot: schlechter; gelb: gleich; grün: besser als Kläranlagenablauf**

# TransRisk: Schlussfolgerungen



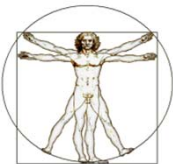
Sowohl in der **biologischen Abwasserreinigung** als auch in der **Ozonung** werden stabile TPs gebildet, die teilweise (öko)toxisch sein können. Nachbehandlung: Sie werden eher durch GAC als durch Biofilter entfernt.



Erhöhte Entfernung **pathogener Mikroorganismen** durch **Ozonung**; der Anteil **antibiotikaresistenter Keime** steigt an, verringert sich jedoch durch GAC/Biofilter.



Im KA-Ablauf waren **deutliche Wirkungen bei in-vitro-/in-vivo-Tests** nachweisbar, die durch  $O_3$ /GAC oder  $O_3$ /Biofilter reduziert/eliminiert wurden. (Ausnahme: anti-östrogene Wirkungen)



**Moleküldynamische (MD) Simulation** ist ein wichtiges Werkzeug für eine erste Abschätzung der humantoxikologischen Bedeutung der TPs

## Perspektiven für die Praxis

TransRisk Bewertungskonzept für Ozon/Biofilter, Ozon/GAC:  
basierend auf chemischen, ökotoxikologischen und mikrobiologischen Daten

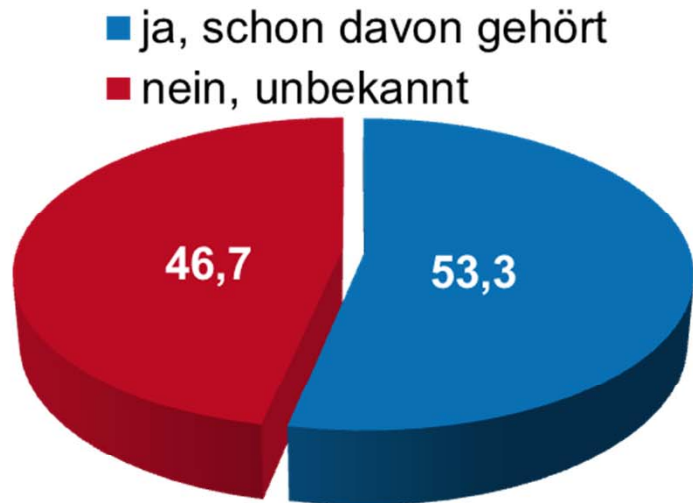
- 1) Entfernung allgemeiner Indikatorsubstanzen (ca. 25)
- 2) Bildung/Entfernung von Transformationsprodukten (z.B. COFA, Tramadol-N-Oxid)
- 3) Abundanz fakultativ pathogener Bakterien (z.B. Enterokokken)
- 4) Abundanz antibiotika-resistenter Bakterien (z.B. gegen Vancomycin)
- 5) Effekte bei in-vitro-Studien (z.B. YES, YAES)
- 6) Effekte bei in-vivo-Studien (z.B. *Gammarus fossarum*, *Potamopyrgus antipodarum*)

**Optimale Nachbehandlung (tendenzielle Verbesserung):**

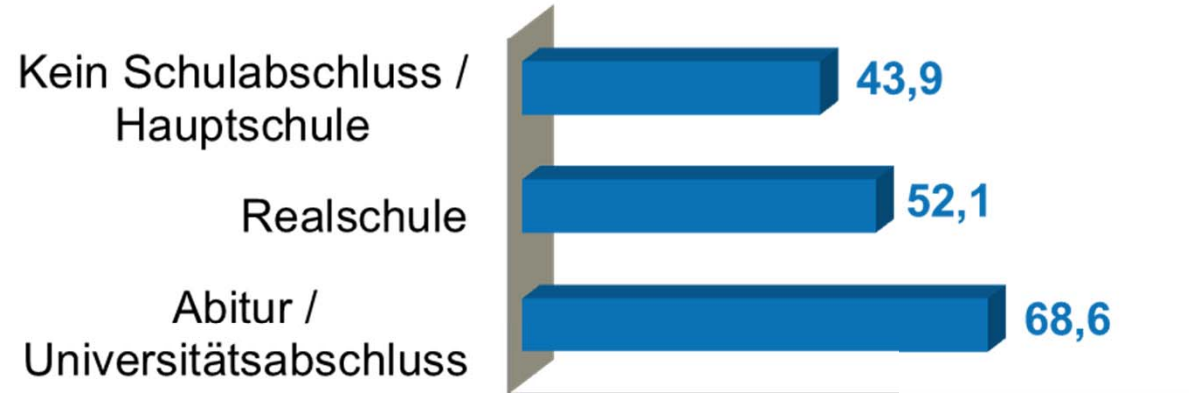
- a) Ozon (1, 3, (5), 6)
- b) Ozon/Biofilter (1, 3, 4, (5), 6)
- c) Ozon/GAC (1-6)

# Risikokommunikation: Repräsentativbefragung (2000 Befragte)

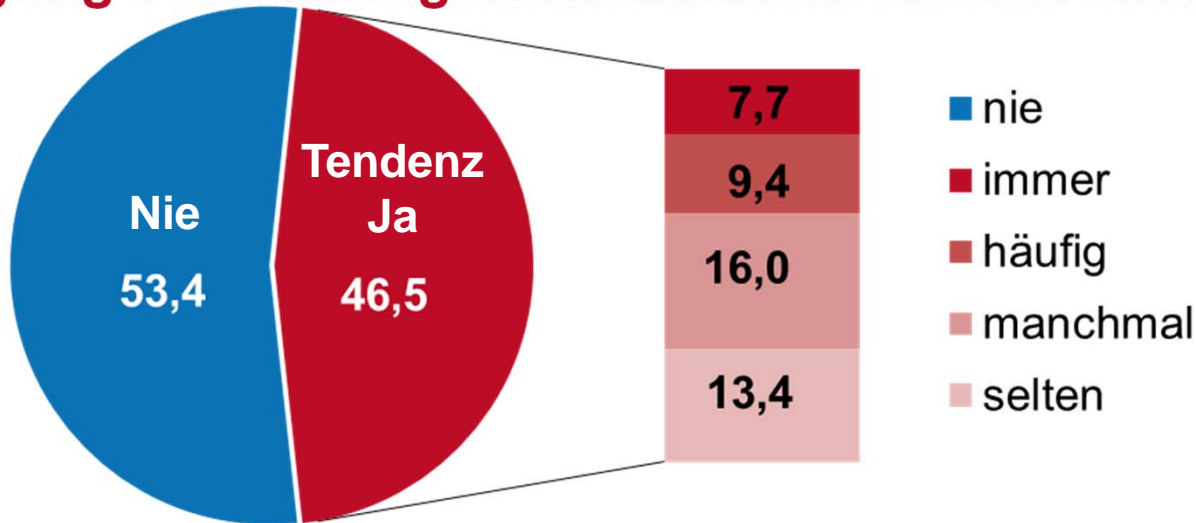
*Haben Sie schon einmal von dem Thema Medikamentenrückstände im Wasser gehört?*



„ja“ nach Schulbildung = signifikanter Zusammenhang



## Fehl-Entsorgung von Flüssigmedikamenten-Resten über Toilette / Spüle



Basis: 2026  
Angaben in Prozent





# Entwicklung eines Schülerprojekts für die Allgemeinbildung



**Ziel:** Sensibilisierung der Risikowahrnehmung bei Schülern  
Ausbildung von Bewertungskompetenz

**Zielgruppe:** Klasse 8-12 an Realschulen und Gymnasien

**Methode:** Projektlernen in Form eines Rollenspiels  
unterstützt mit Modellexperimenten zur erweiterten Abwasserreinigung

**Ergebnis:** Gutachten, welches die Problematik der anthropogenen Spurenstoffe im  
Wasserkreislauf darstellt und Maßnahmen zur Minimierung vorschlägt

**Teilnehmer:** 112 Lernende in der Modellregion Donauried sowie in Sachsen

# Ergebnis: Lehr- und Lernmaterialien

- Lehrerhandreichung mit Aufgaben, inkl. Erwartungsbilder
- Power Point-Folien, Arbeitsblätter, Experimentieranleitungen, ...
- E-Learning-Modul

## Frage 3: Wie funktioniert die Reinigung mittels Aktivkohle?

**Erarbeitung**  
Adsorption an Aktivkohle  
⇒ Grundlagen

### Hintergrundwissen

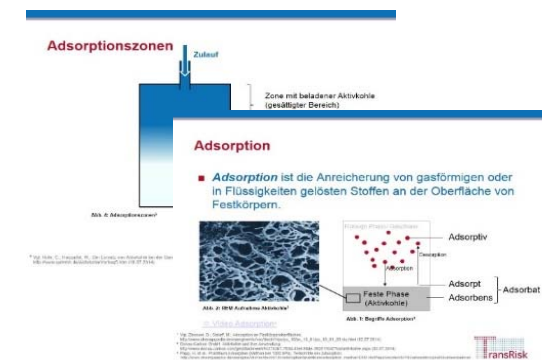
Zur Entfernung von Spurenstoffen aus dem teilgereinigten Abwasser wird Aktivkohle genutzt. Ziel ist es, die Spurenstoffe, die in sehr niedrigen Konzentrationen im Abwasser vorkommen anzureichern und in dieser aufkonzentrierten Form schließlich zu

### Aufgabe 8:

#### Aufgabe:

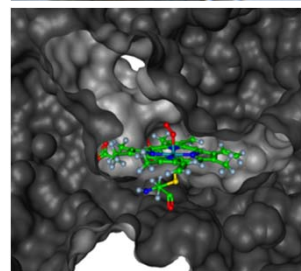
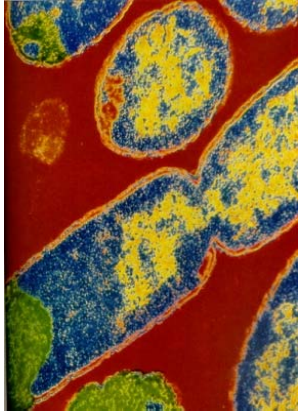
a) „Erläutern Sie, wie sich die Konzentration des Adsorptivs in den verschiedenen Adsorptionszonen während des Adsorptionsprozesses ändert.“

↳ **Lösung:** - im gesättigten Bereich findet keine Adsorption mehr statt  
→  $C_{\text{Adsorptiv}} = C_{\text{Adsorptiv-Zulauf}}$



# Öffentlichkeitsarbeit und Ergebnisverbreitung

- > 10 Publikationen in „peer reviewed“ Zeitschriften
- Öffentlichkeitsarbeit unter Berücksichtigung des ISOE-Zielgruppenmodells
- Transfer der TransRisk-Ergebnisse über die Informationsmedien der DWA
- TransRisk-Veranstaltung auf der IFAT (06.05.2014)
- DWA-Themenband mit Schlussfolgerungen aus TransRisk
- Bisher 6 KA/KW-Berichte zu TransRisk-Ergebnissen
- TransRisk-Internet-Auftritt und TransRisk-Newsletter
- Bisher 5 Presseinformationen und Bürger-Informationsbroschüren
- Arbeitsbuch und E-Learning-Modul für Studenten



# TransRisk-Konsortium



# Danke für die finanzielle Unterstützung **BMBF**

Danke für Ihr Aufmerksamkeit

