

# Bewachsene Spezialbodenfilter als alternative Technologie zur Mikroschadstoffelimination

Prof. Dr. Joachim Hansen  
Dr. Silvia Venditti, Dr. Irene Salmeron Garcia  
Universität Luxembourg



## Derzeit gebräuchlichen Verfahren zur Elimination von Mikroschadstoffen:

- vorwiegend für große Kläranlagen geeignet
- Relativ hohe Invest- und Betriebskosten; zudem hoher CO<sub>2</sub>-Fußabdruck
- Ausstattung kleiner und mittelgroßer Anlagen (< 20.000 EW) ist die Ausnahme

→ Robuste Technologien für **kleinere und mittelgroße Kläranlagen** als Alternativen zu gängigen Verfahren



## Entwicklung einer grenzüberschreitenden Mikroschadstoffstrategie

01/2017 – 04/2021

## Spezielle Anforderungen für Technologien im ländlichen Raum:

- wartungsarm
- Geringer Energieverbrauch
- Lokale Materialien
- Synergieeffekte beim Abbau der Nährstoffe N und P

→ **naturnahen Verfahren; im Speziellen bewachsene Bodenfilter**

# Bewachsene Bodenfilter – was wissen wir?

- Werden für **zahlreiche Anwendungen im Bereich der Abwasserentsorgung** eingesetzt (dezentrale Reinigung, hinter Mischwasserüberläufen,...)
- Substrat: in der Regel **Sand**
- Sehr gute Reinigungsleistung für **CSB, NH<sub>4</sub>, P und Schwermetalle**
- Erste Ansätze zur **gezielten Elimination von Arzneimitteln**  
(bspw. Dobner, Uni Bremen /2013/; RBF+ Erftverband / 2020/)



# Prozesse in bewachsenen Bodenfiltern

**Phytodegradation:**  
durch Pflanzen



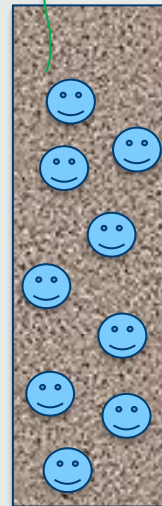
**Pilze:**  
(Mykorrhiza)  
im Wurzelgeflecht



**Photodegradation:**  
durch Sonnenlicht



**Sorption:**  
an Bodenmaterial



**Biodegradation:**  
durch Bakterien

# Versuche im Rahmen von EmiSûre I

- vertikal durchströmte Filter als additive Stufe
- bepflanzt (Schilfrohr *phragmites australis*, Sumpf-Schwertlilie *iris pseudacorus*)
- Bentonit-Sand mit Zumischung von speziellen Substraten (15 und 30%): (aktivierte) Biokohle, Zeolith
- Beschickung intermittierend: 3 mal pro Tag für 15 min

→ **Untersuchungen in unterschiedlichen Maßstäben**

# Versuche im Rahmen von EmiSûre - Labor

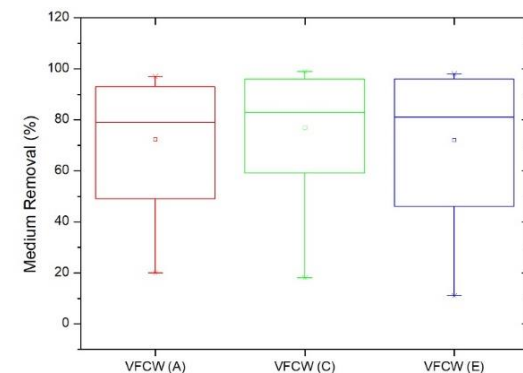
- ▶ **Versuchsaufbau/-dauer:** synthetisches Abwasser mit Spike von MS, 6 Lysimeter von je 71 L: Untersuchung von 27 Mikroschadstoffen, HLR=  $100 \text{ L d}^{-1} \text{ m}^{-2}$ , 4 Jahre Untersuchungen
- ▶ **Hypothese:** die Verwendung spezieller Substrate als Zuschlagstoffe zu Sand führt zu besserem Mikroschadstoffabbau
- ▶ **Resultate:** durchschnittlicher MS-Abbau von mehr als 90%; Aktivierung der Biokohle verbessert Performance; keine großen Unterschiede zwischen Sand-Lysimeter und denen mit Zeolith und aktivierter Biokohle





# Versuche im Rahmen von EmiSûre – kleine Pilotanlage

- ▶ **Versuchsaufbau/-dauer:** reales Abwasser (KA Reisdorf: 4.000 EW), 3 x 1m<sup>3</sup> IBC, 18 relevante MS, HLR= 180 bis 300 L d<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>); Dauer: 8 Monate
- ▶ **Ansatz:** vergleichende Betrachtung von 3 unterschiedlichen Substraten mit realem Abwasser
- ▶ **Resultate:**  
nur relativ geringe Unterschiede zwischen Substraten; durchschnittliche Elimination > 80%; Erhöhung Beschickungsmenge hat keinen negative Einfluss auf Abbau; bestes Substrat: Sand mit 15% aktivierter Biokohle



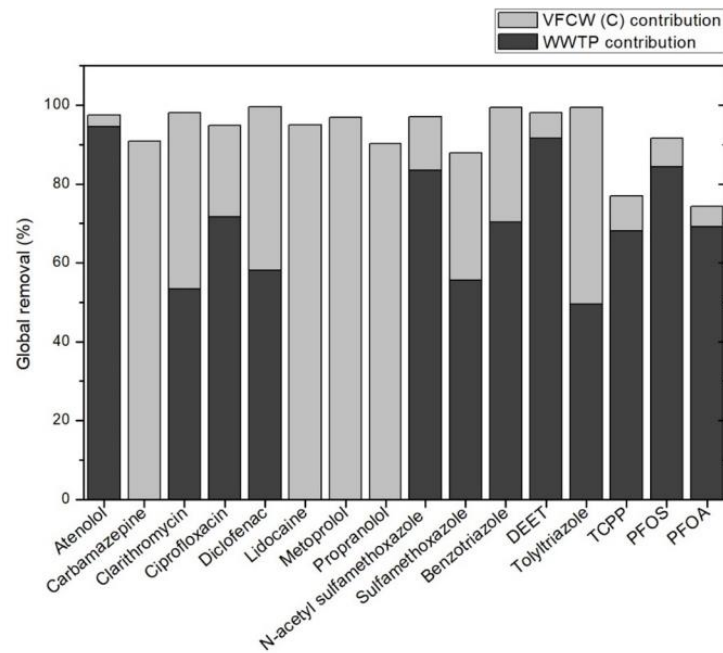
# Versuche im Rahmen von EmiSûre – große Pilotanlage

- ▶ **Versuchsaufbau/-dauer:** reales Abwasser (KA Echternach: 20.000 EW), 2 x15 m<sup>3</sup> Container, 20 relevante MS, HLR= 100 bis 200 L d<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>); Substrat: Sand + 15% aktivierte Biokohle; Dauer: 16 Monate
- ▶ **Ansatz:** vergleichende Betrachtung von unterschiedlichen Beschickungsmodi (parallel, intermittierend)
- ▶ **Resultate:** vergleichbare Ergebnisse wie in Labor und Pilot; unabhängig von Beschickung sehr stabile Resultate; kein signifikanter Unterschied zwischen paralleler und alternierender Beschickung

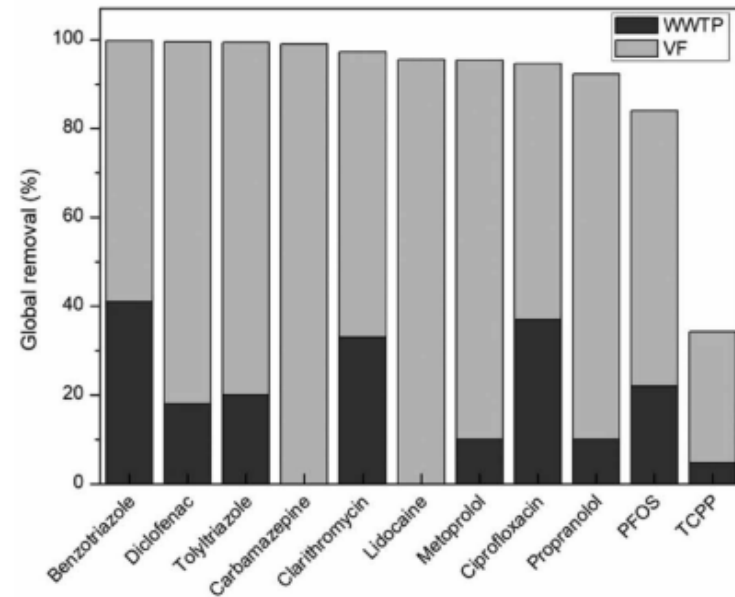


# Ergebnisse Pilotanlagen

## Reisdorf

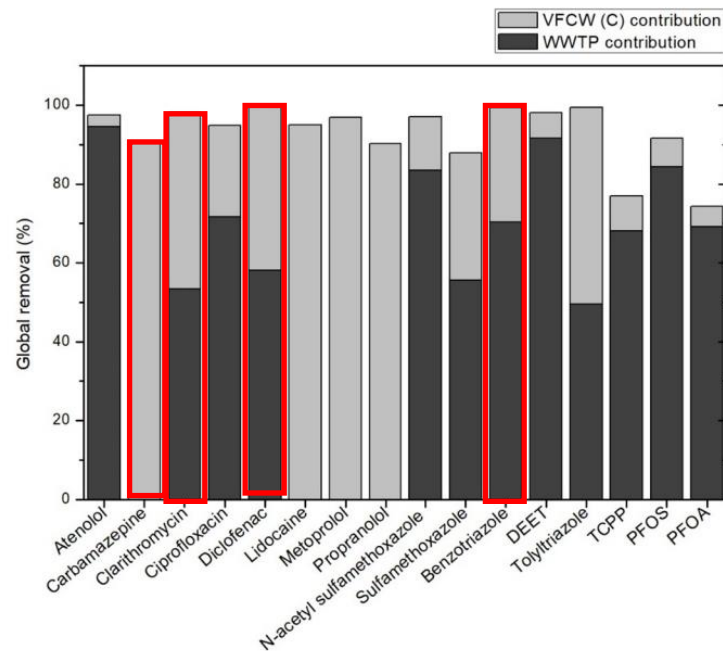


## Echternach

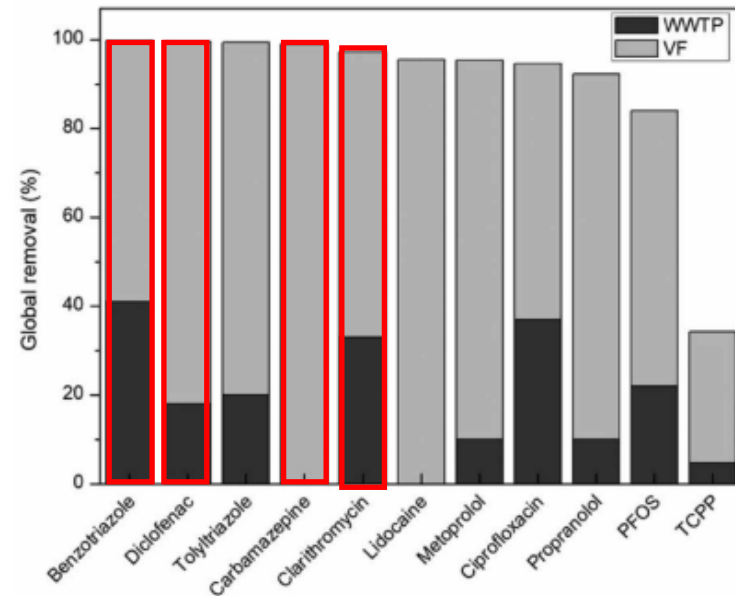


# Ergebnisse Pilotanlagen

## Reisdorf



## Echternach



biologie sans charbon actif. En Suisse et en Bade-Wurtemberg, une élimination d'au moins 80 % dans toute la STEP est prescrite pour des micropolluants organiques sélectionnés. Similairement pour le Luxembourg, une élimination d'au moins 80 % dans la STEP est prescrite à ce stade pour les substances suivantes :

Substance	Application	Numéro CAS
Diclofénac	anti-inflammatoire	15307-86-5
Carbamazépine	anticonvulsivant	298-46-4
Clarithromycine	antibiotique	81103-11-9
Benzotriazole	anticorrosif	95-14-7

# Offene Fragen

- **Langzeitverhalten:** Quantitative Aufteilung auf Reinigungsprozesse?
- Kann derzeitiger **Dimensionierungsansatz** (ca. 0,3...0,4 m<sup>2</sup>/EW) optimiert werden?
- Kann **Abbau von persistenten Substanzen** (TCPP, PFOS,...) weiter optimiert werden?



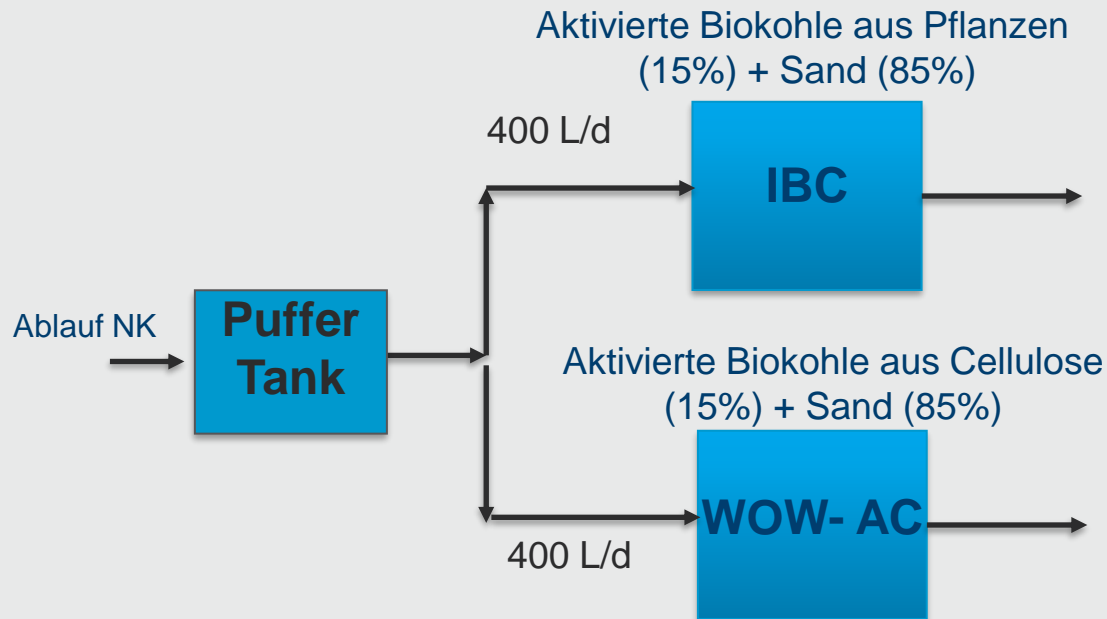
Untersuchung in Folgeprojekten (u.a. CoMinGreat) sowie PhD-Arbeit (Hana Brunhoferova)



## Spezifische Fragestellungen bzgl. Bodenfilter:

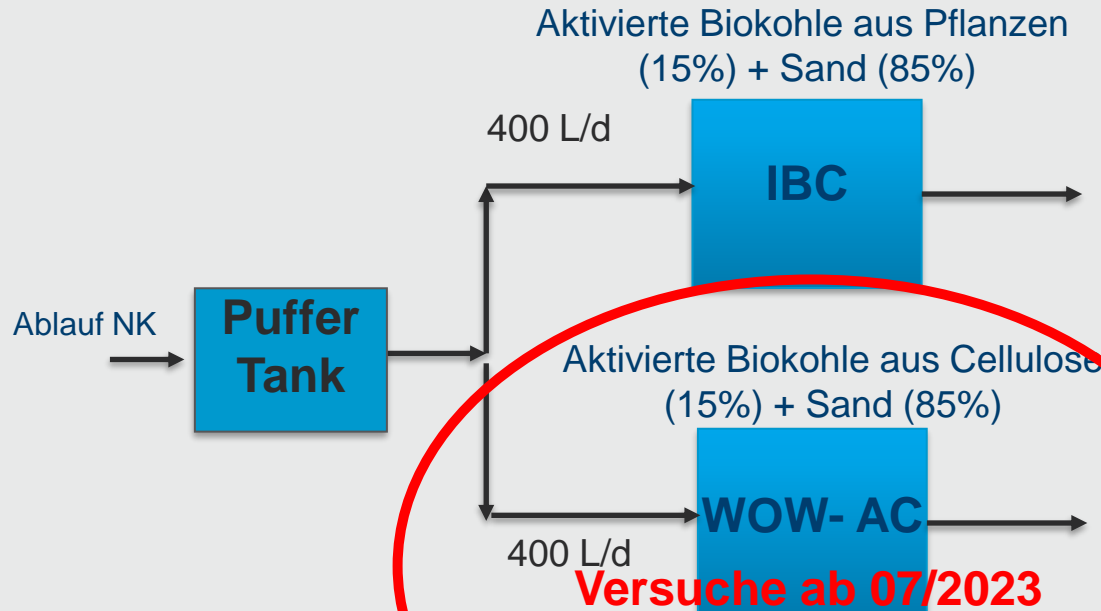
- Kann die Effizienz durch Kopplung mit Oxidationsverfahren verbessert werden?
- Welche Auswirkungen hat dies auf den Abbau von schwer abbaubaren Substanzen?
- Welche Beschickungsmenge ( $L/m^2/d$ ) können realisiert werden?
- Welche Synergieeffekte weist das Verfahren auf (N, P,...)?
- Wie ist die Performance im Vergleich zu gebräuchlichen Technologien (Ozonung, GAK, Kombination)

# Konzeption: Linie 1 – bewachsene Bodenfilter



2 IBC Tanks mit je 1 m<sup>3</sup> im Parallelbetrieb

# Konzeption: Linie 1 – bewachsene Bodenfilter



2 IBC Tanks mit je 1 m<sup>3</sup> im Parallelbetrieb



## Aktivierete Biokohle aus Cellulose:

- EU27: 6.5 Mio Tonnen Toilettenpapier pro Jahr!
- Wird über Rechen/Siebe abgetrennt und dann entsorgt (verbrannt, abgelagert)
- Verwertung ist möglich; bspw. Produktion von Biokohle (aber auch Bioöl,...)



Cellulose



Cellulose Pellets



Carbon

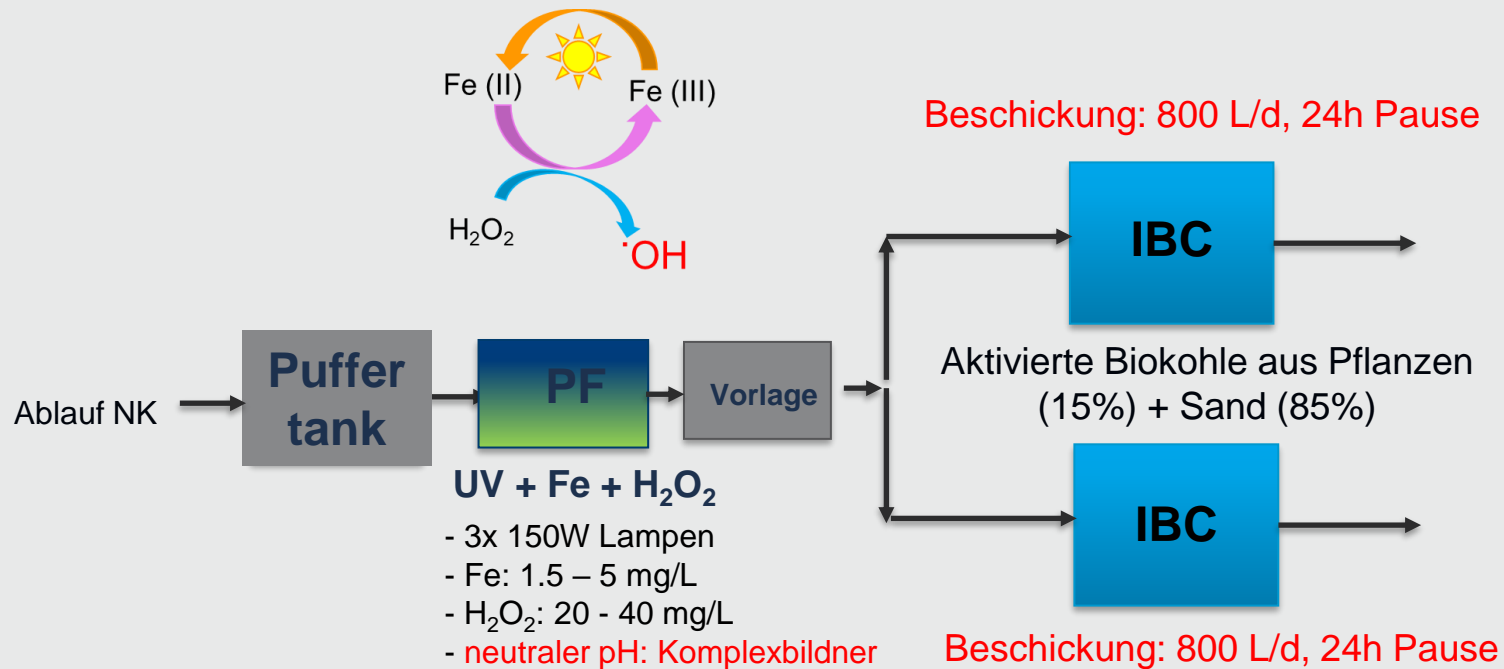
# Einschub: WOW!

## Gewinnung und Produktion:

- Abtrennung des Toilettenpapiers durch spezielle Siebanlage der Fa. CIRTEC (NL); Trocknung
- Transport zu Klimafarmer (DEU): Pellets: pur oder Mischung mit Stroh oder Holz im Verhältnis 50/50
- Karbonisierung bei  $T = 750\text{ }^{\circ}\text{C}$ , HRT: 210 min; dann biologische Aktivierung für 2...4 Wochen bei 25 bis  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$
- In Laborversuchen: Mischung mit Stroh hat beste Performance hinsichtlich MS-Elimination

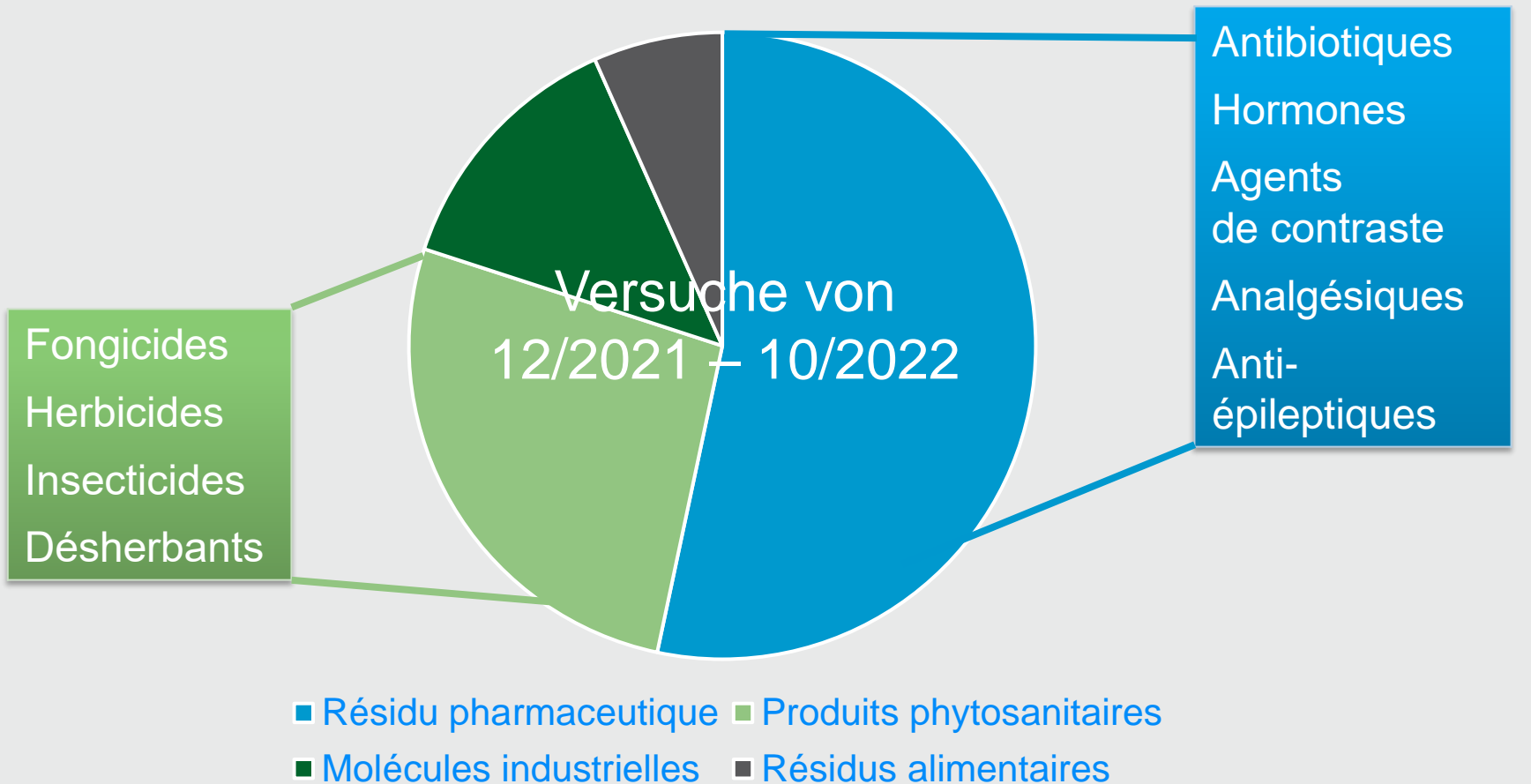


# Konzeption: Linie 2 - Photo Fenton + Bodenfilter



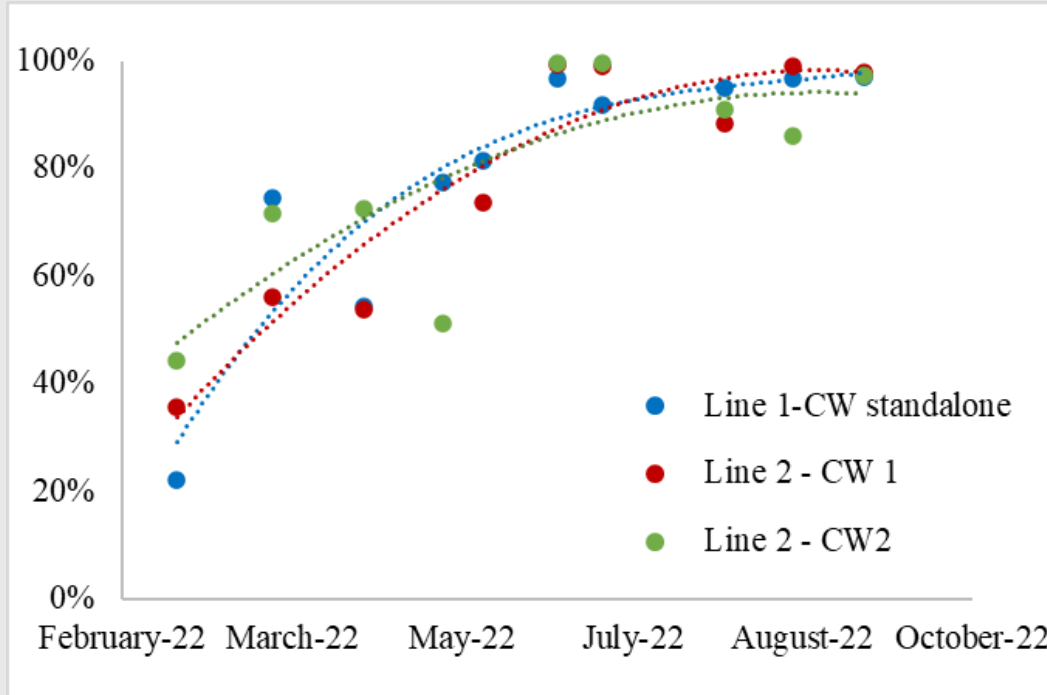
# Analytik Mikroschadstoffe

30 UNTERSCHIEDLICHE SUBSTANZEN - ZUSÄTZLICH ZU `EMISURE-ANALYSEN:  
RÖNTGENKONTRASTMITTEL, IBUPROFEN, HORMONE, KOFFEIN, SUCRALOSE



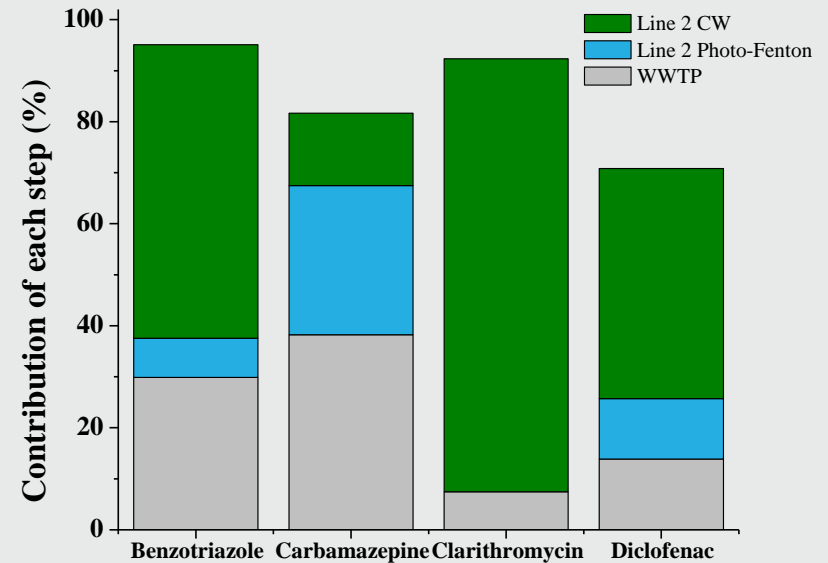
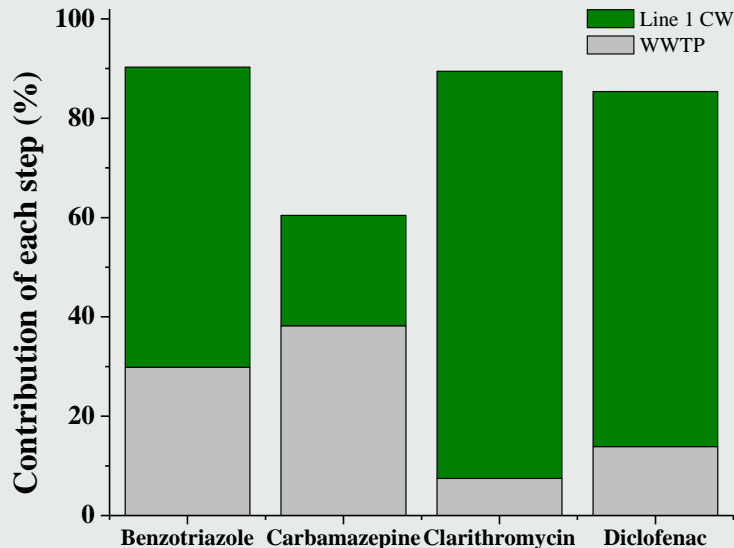
# Steigerung der Performance – Linie 1 und 2

## Trend beim Abbau von Diclofenac



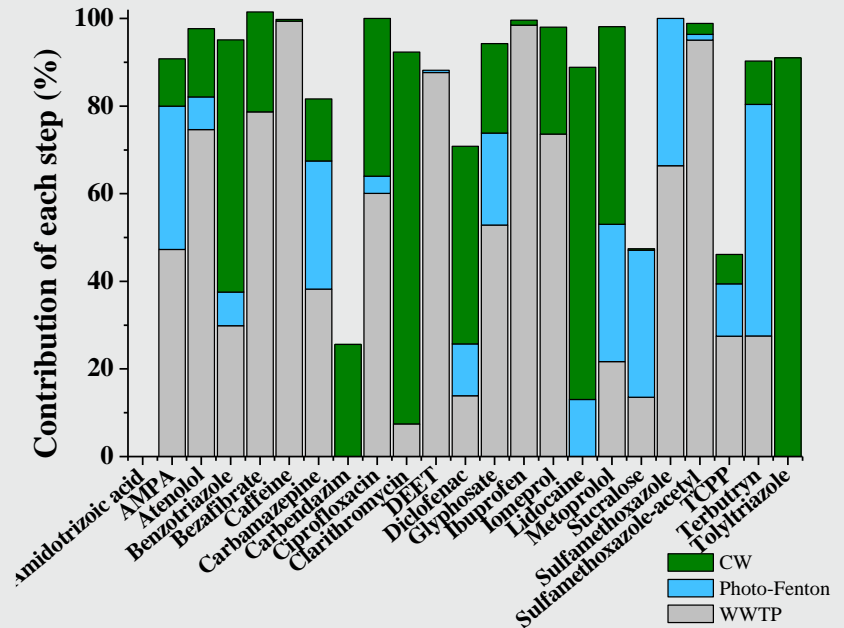
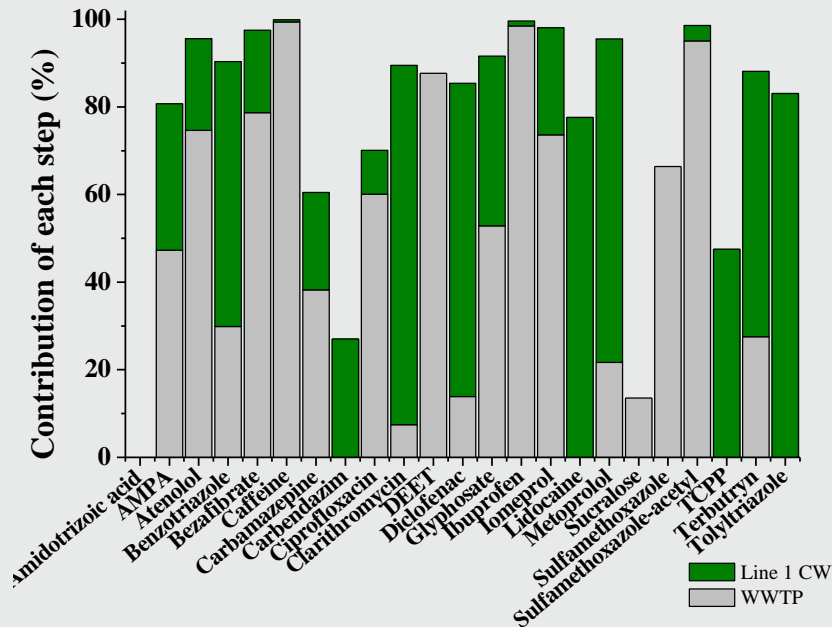
- Adaptionszeit bei naturnahen Verfahren erforderlich: ab ca. Ende Mai 80% Elimination → Steigerung bis auf > 90%
- Verlauf spricht für starke Beteiligung der Prozesse `biologischer Abbau` und `Aufnahme von Stoffen durch Pflanzen` (nicht nur Adsorption)

# Vergleich Linie 1 – Linie 2: verbindliche Substanzen (Mittelwert vier Kampagnen, 72-h-MP)



- Bis auf CBZ werden mit BoFi Reinigungsleistungen > 80% erzielt; Problem hier: vgl.weise hoher Abbaugrad in konv. KA, niedrige Zulaufkonzentrationen
- Bei Kombination PF – BoFi bedingt durch betriebliche Probleme Performance (bis auf CBZ: > 80%) vergleichbar mit BoFi als stand-alone
- Mittelwert über alle Substanzen: > 80% (Anforderung LU)

# Linie 1 und 2 – alle Substanzen (Mittelwert vier Kampagnen, 72-h-MP)



- Bei sehr persistenten Substanzen (Amidotrizoesäure (Röntgenkontrastmittel), Carbendazim (PSM), Sucralose (Süsstoff), TCPP (Flammschutzmittel) kein bzw. nur geringer Abbau in Bodenfiltern
- Durch Kombination mit PF teilweise etwas höherer Abbaugrad (Sucralose)

# Erkenntnisse Bodenfilter zur MS-Elimination

- Bewachsene Bodenfilter (insbesondere mit Spezialsubstraten) zeigen **hohe Eliminationsleistungen** für die meisten untersuchten **Mikroschadstoffe** (insbesondere `verbindlichen`) auf
- **Ausnahmen:** bspw. TCPP (Flammschutzmittel – wurde auch mit anderen Technologien nicht entfernt)
- **Keine Akkumulation** in Pflanzen, Akkumulation von Stoffen im Boden wird noch getestet (in anderen Projekten keine Akkumulation)
- **Modellvorstellung zu Elimination:** im ersten Schritt Anlagerung von schwer abbaubaren Stoffen an Bodensubstrat, dann im späteren Verlauf biologischer Abbau
- **Hydraulische Belastungsgrenze** wurde in unseren Versuchen noch nicht erreicht



# Erkenntnisse Kombination mit Oxidation

- Kombination PF - BoFi: **geringere Performance** als erwartet
- Grund: **betriebliche Probleme**, deren Ursachen erkannt wurden (u.a. Abtrieb von feinen Feststoffen aus Nachklärung; Eisenniederschlag in UV-Lampen)
- Kombination UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> mit PF führt zu **vergleichbaren Ergebnissen**
- Trotzdem: **erhebliches Potenzial** – insbesondere zur weitergehenden Elimination persistenter Stoffe

Aber: wesentliche Vorteile von `rein naturnahen Verfahren` fallen weg!

# Fazit und Ausblick

- Bewachsene Bodenfilter haben ihre grundsätzliche Eignung als additive Stufe bestätigt
- Stabile Abbaugrade für meisten Mikroschadstoffe; insbesondere für die in Luxemburg als `verbindlich` definierten
- zudem erhebliche Synergieeffekte bzgl. anderer relevanter Abwasserinhaltsstoffe (NH<sub>4</sub>-N, P); erhebliche Keimreduktion

→ stellen eine echte Alternative für die Elimination von Mikroschadstoffen im ländlichen Raum dar

→ Technologie kann auch für andere Anwendungszwecke (Grauwasserrecycling, Behandlung von Mischwasserüberläufen) genutzt werden

→ Ggf. auch als erster Schritt (in Kombination mit Desinfektion) für Wasserwiederverwertung (Bewässerung Landwirtschaft)

**VILLMOOLS MERCI**  
**MERCI BEAUCOUP**  
**DANKESCHÖN**  
**THANK YOU**