

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Eine Initiative des Bundesministeriums
für Bildung und Forschung

WavE

Wassertechnologien: Wiederverwendung



Point-of-Use Re-Use:

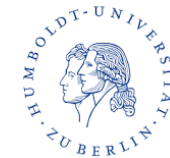
Dezentrale landwirtschaftliche Wiederverwendung von häuslichem
Abwasser zur Verringerung von Nutzungskonkurrenzen

Umwelt
Bundesamt

MANN+
HUMMEL

UV-EL
UV Applications & Electrodes UV Lamp

FH MÜNSTER
University of Applied Sciences



irriproject

UFZ HELMHOLTZ
Zentrum für Umweltforschung

Technische
Universität
Braunschweig

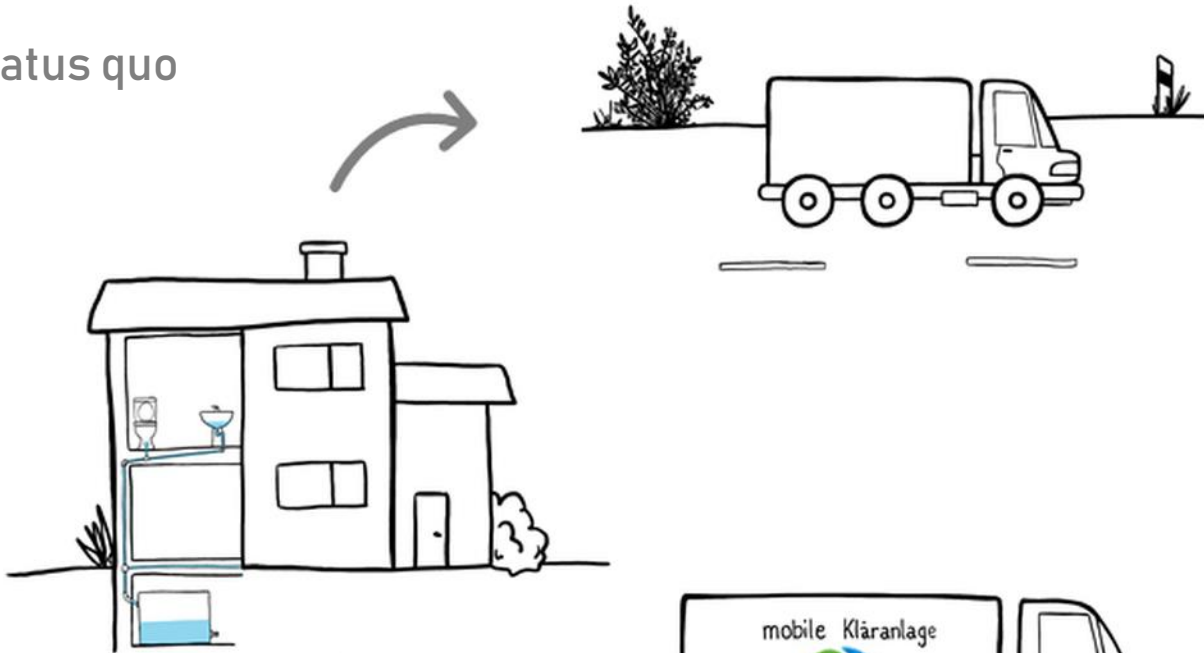


Berliner
Wasserbetriebe

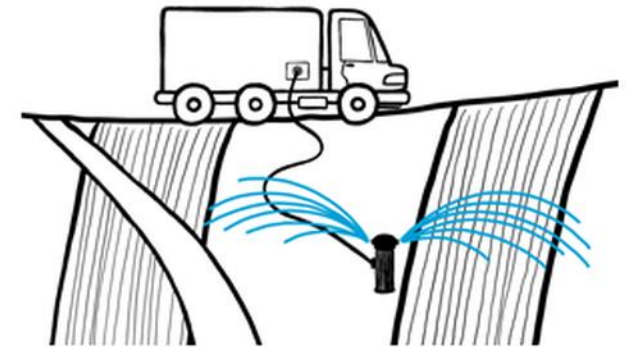
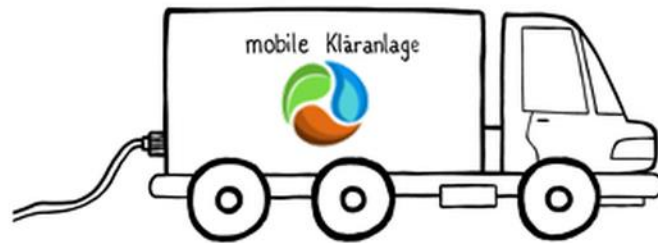
Vision



Status quo



PU₂R



Amina El-Athman

Wasserressource



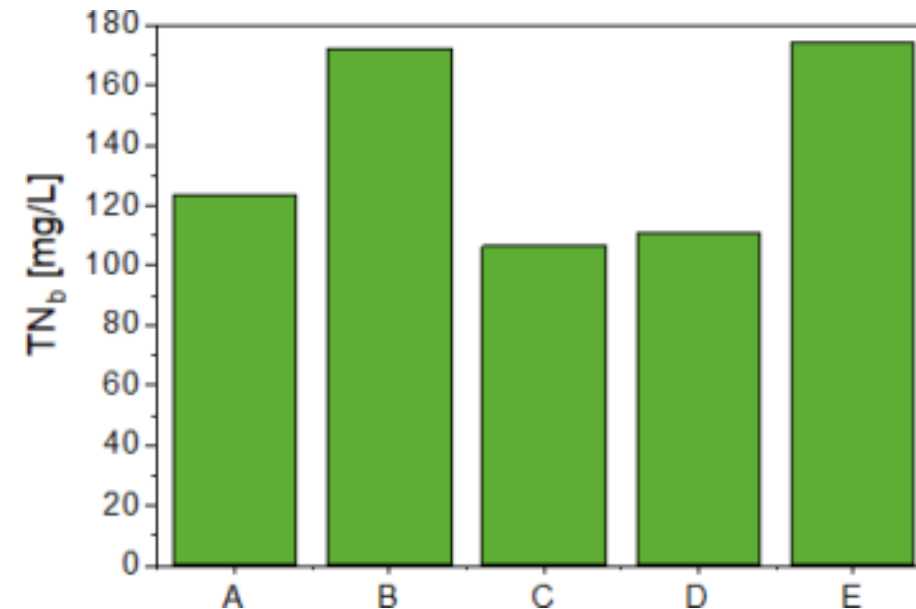
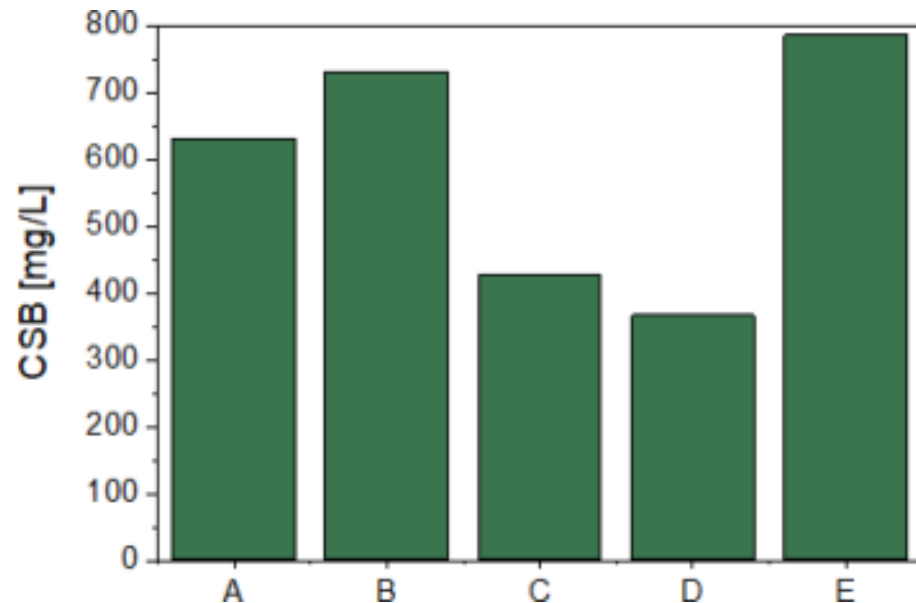
- Aufwändige Beprobungen über mehrere Wochen
- Analysen auf zahlreiche Parameter



Wasserressource



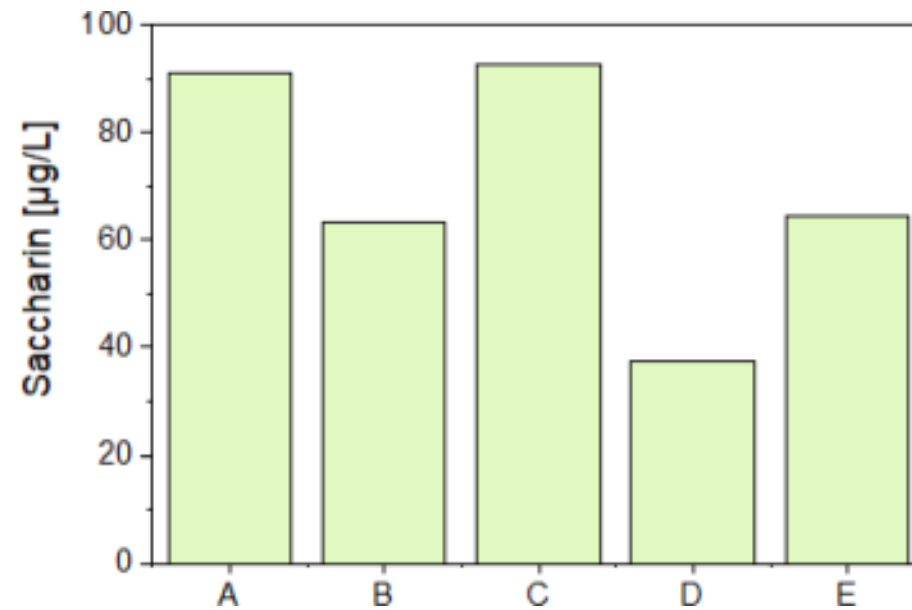
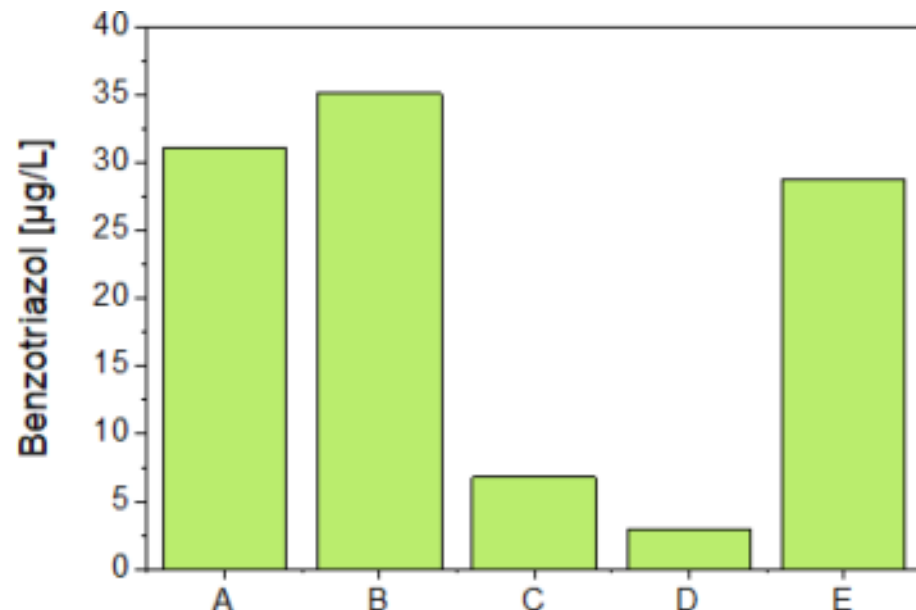
- Ähnlicher Konzentrationsbereich wie in üblichen Kläranlagenzuläufen
- Konzentration von Gesamtstickstoff vergleichsweise hoch
- Leichte Unterschiede zwischen Einzelhaushalten



Wasserressource



- Organische Spurenstoffe mit größeren Unterschieden
- Sichtbarer Einfluss von Konsumverhalten
- Keine Befunde von beispielsweise Sulfamethoxazol



Aufbereitung



- Entwicklung von zwei Membranbioreaktoren im Pilotmaßstab
- 55 und 0,7 m² Membranfläche
- Optionale Nährstoff- und Spurenstoffentfernungen



Aufbereitung



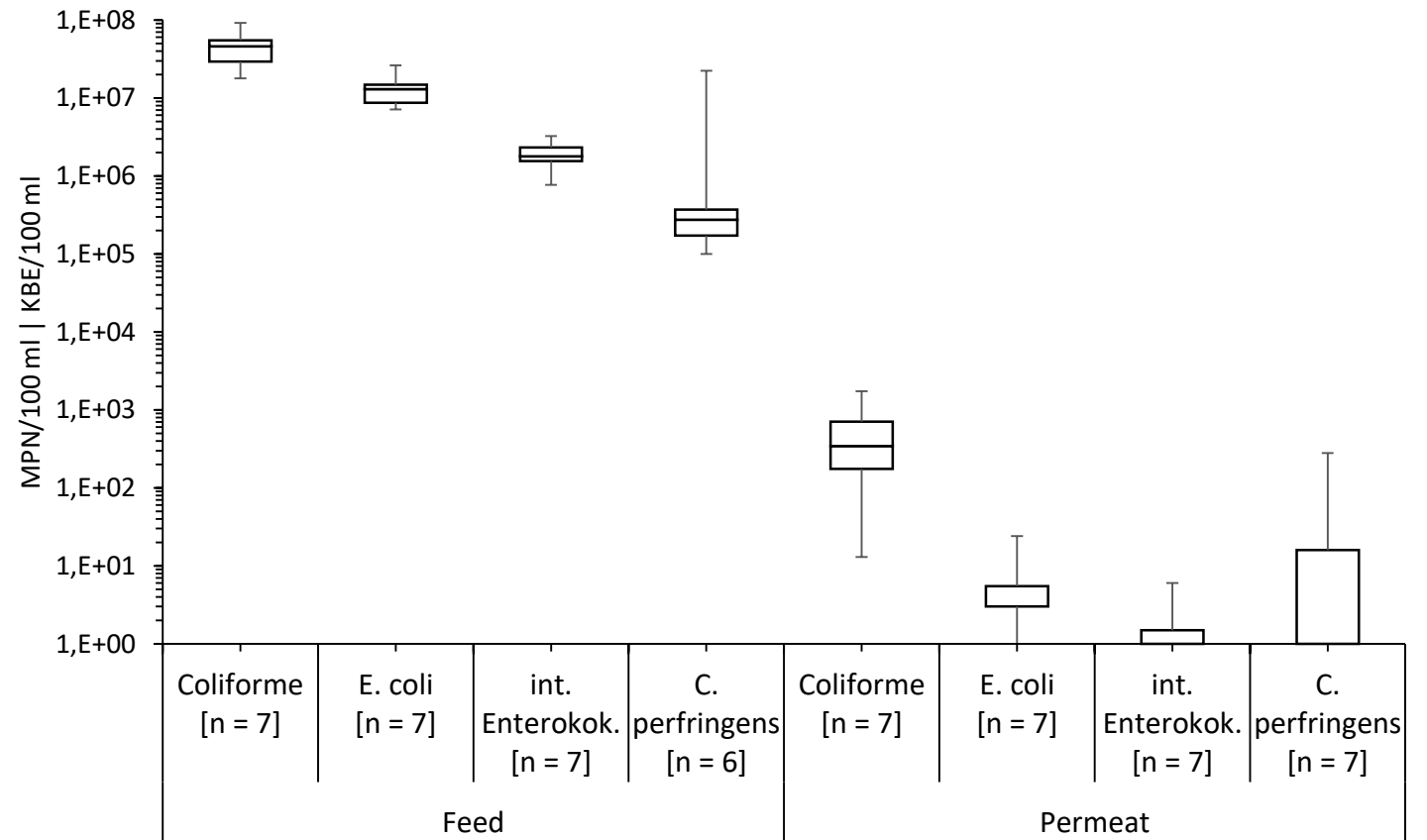
- Schnelle Aufbereitung ohne und mit Nitrifikation
- Durchflussraten (brutto) von 36 und 18 L/m²/h
- Aufenthaltszeit von ca. 3 und 6 Stunden

	Kohlenstoff-Elimination	mit Nitrifikation
CSB-Elimination (%)	95	96
TOC-Elimination (%)	92	91
DOC-Elimination (%)	87	87
Verringerung des SAK ₂₅₄ (%)	60	56
Ammonium-Reduktion (%)	7	97
Nitrat im Permeat (mg/L)	0,3	49

Aufbereitung



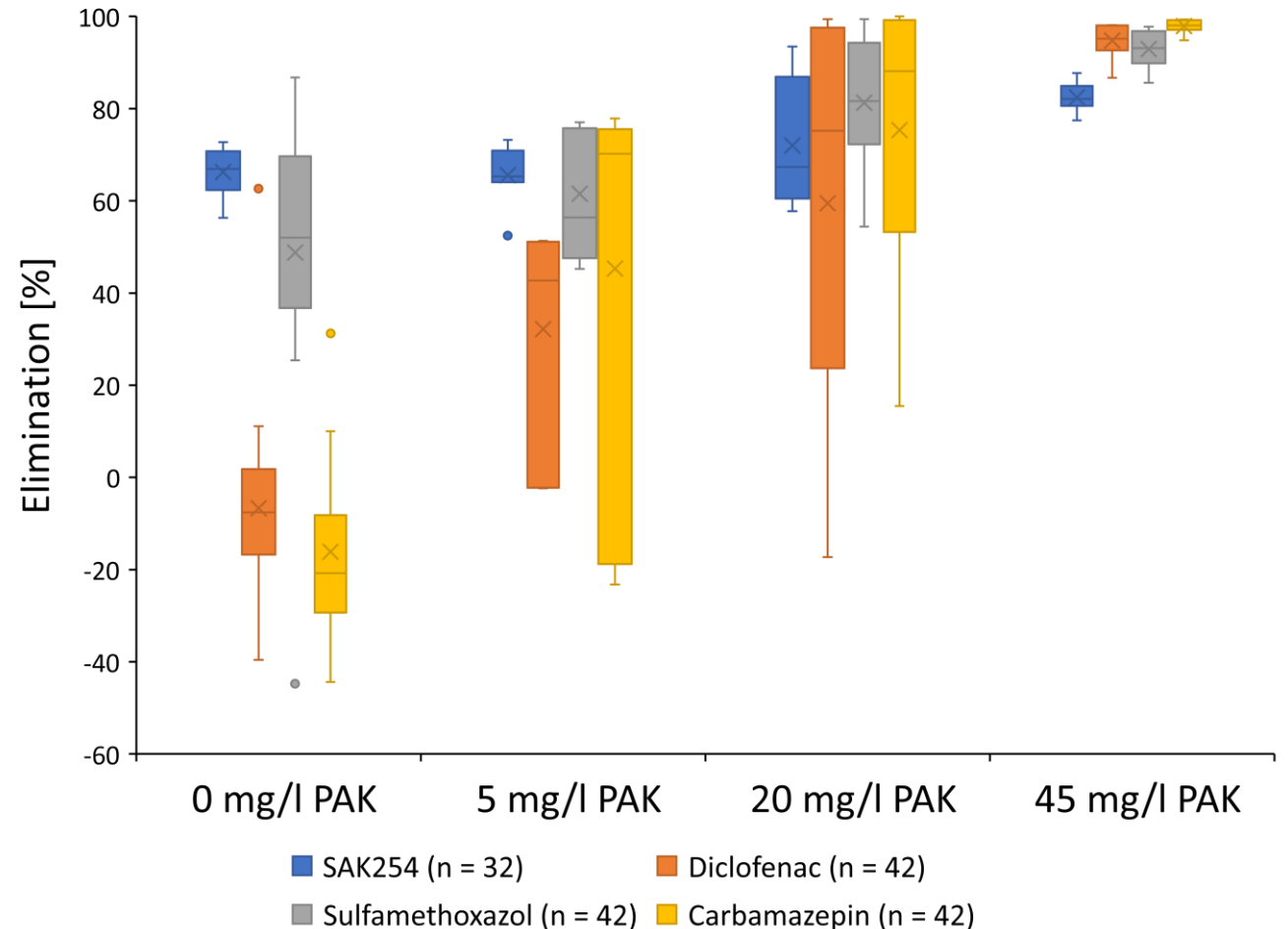
- Sehr guter physischer Rückhalt von Bakterien
- Einhaltung der Zielvorgaben



Aufbereitung



- Optionale Dosierung von Pulveraktivkohle (in-situ)
- Stärkere Verringerung des SAK₂₅₄
- Fast vollständige Entfernung gut adsorbierender organischer Spurenstoffe



Lysimeterversuche

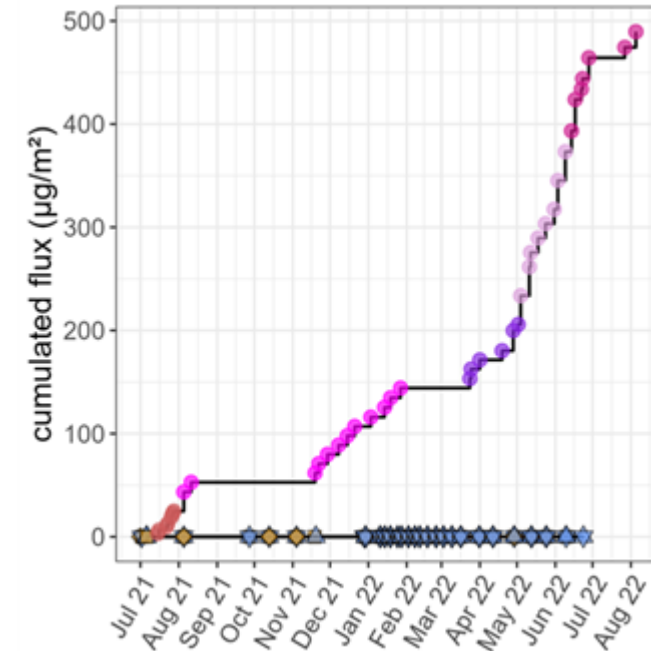
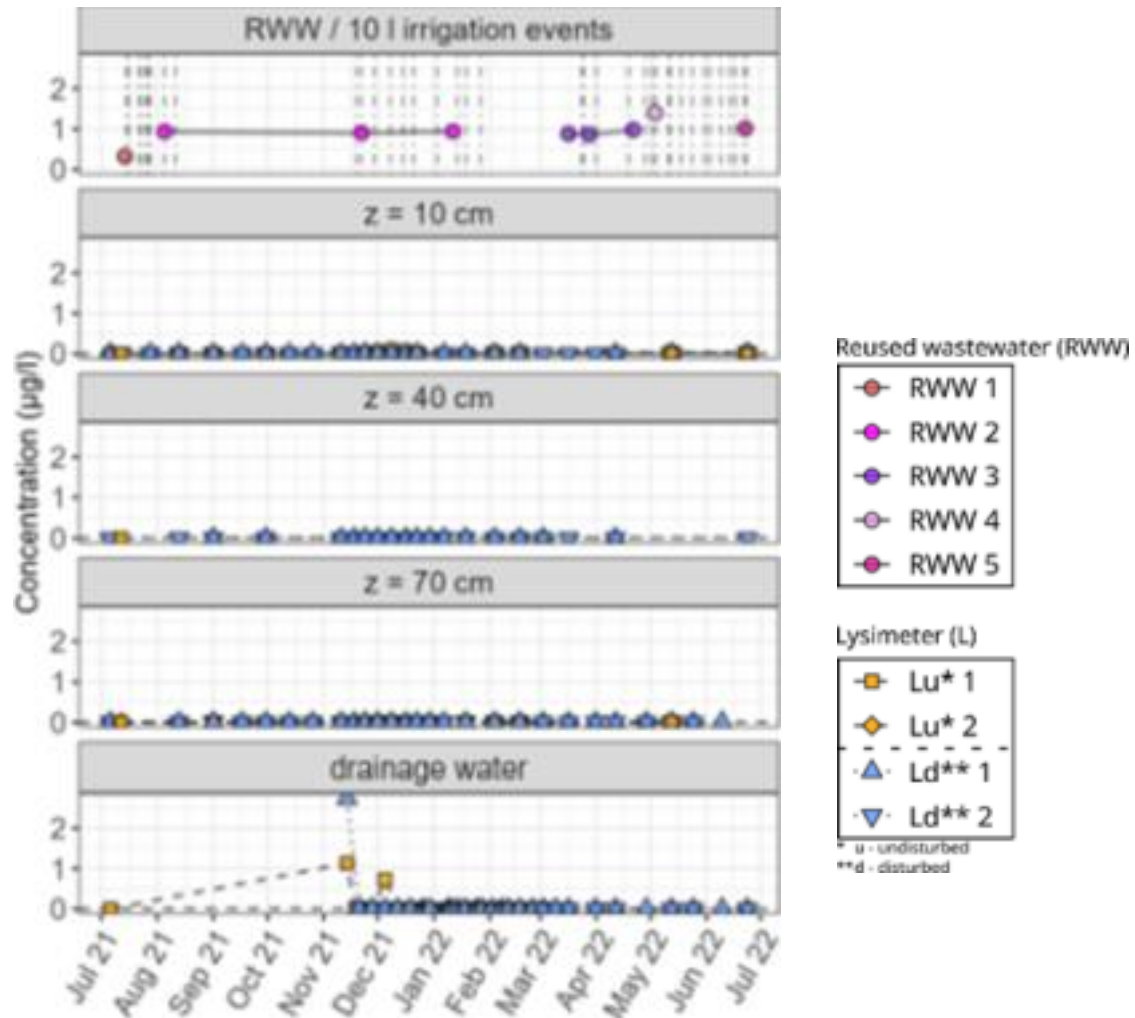


PU₂R

Lysimeterversuche



Lysimeterversuche



- Vollständiger Rückhalt von Carbamazepin

Lysimeterversuche

- Kleinere Lysimeter mit dotiertem Bewässerungswasser
- Entnahme von Bodenproben und Extraktion



Bewässerungsversuche

- Umfangreiche Versuchsreihen
- Je vier Parallelansätze
- Gut definierte Randbedingungen
- Bedarfsgerechte Bewässerung
- Unterschiedliche Bewässerungstechniken

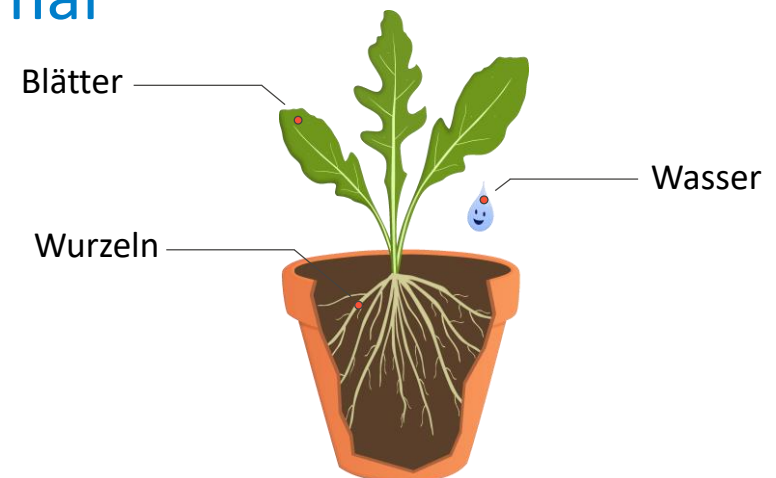
- Definierte Ernten



Spurenstoffaufnahme



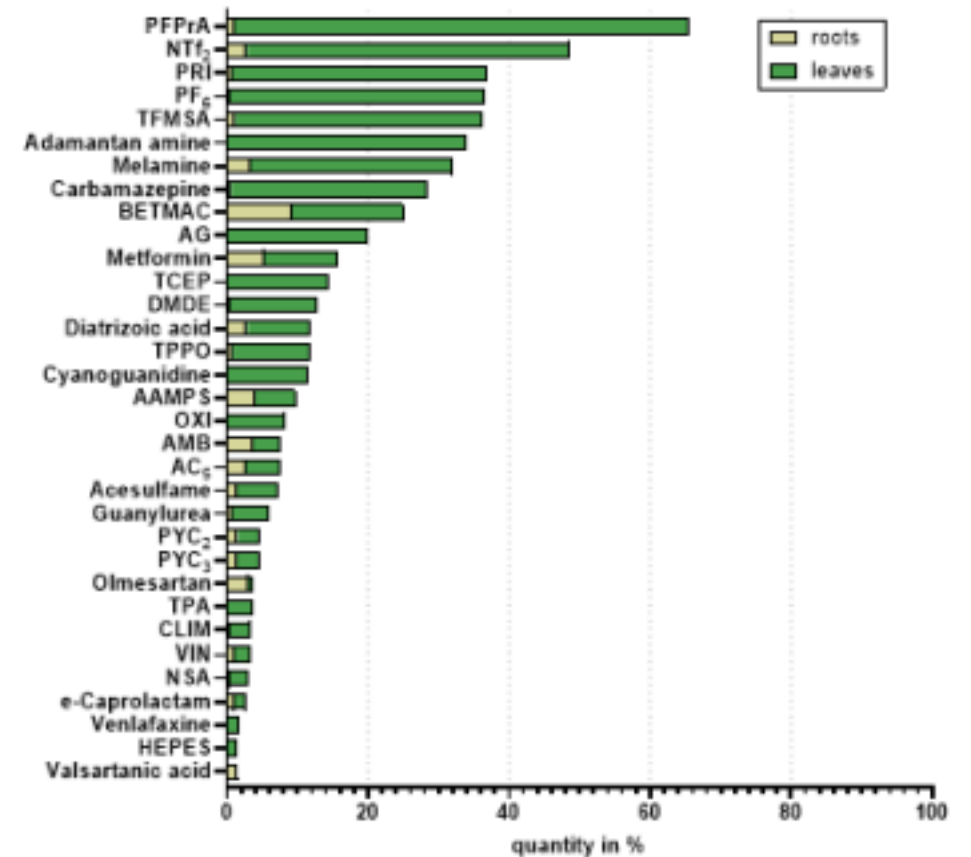
- Extraktion von Wurzeln und Blättern (Beispiel Rucola)
- Chromatographie mit überkritischem CO₂ (SFC) und Tandemmassenspektrometrie (MS/MS)
- Quantifizierung von 65 Spurenstoffen (primär persistente und mobile)



Spurenstoffaufnahme



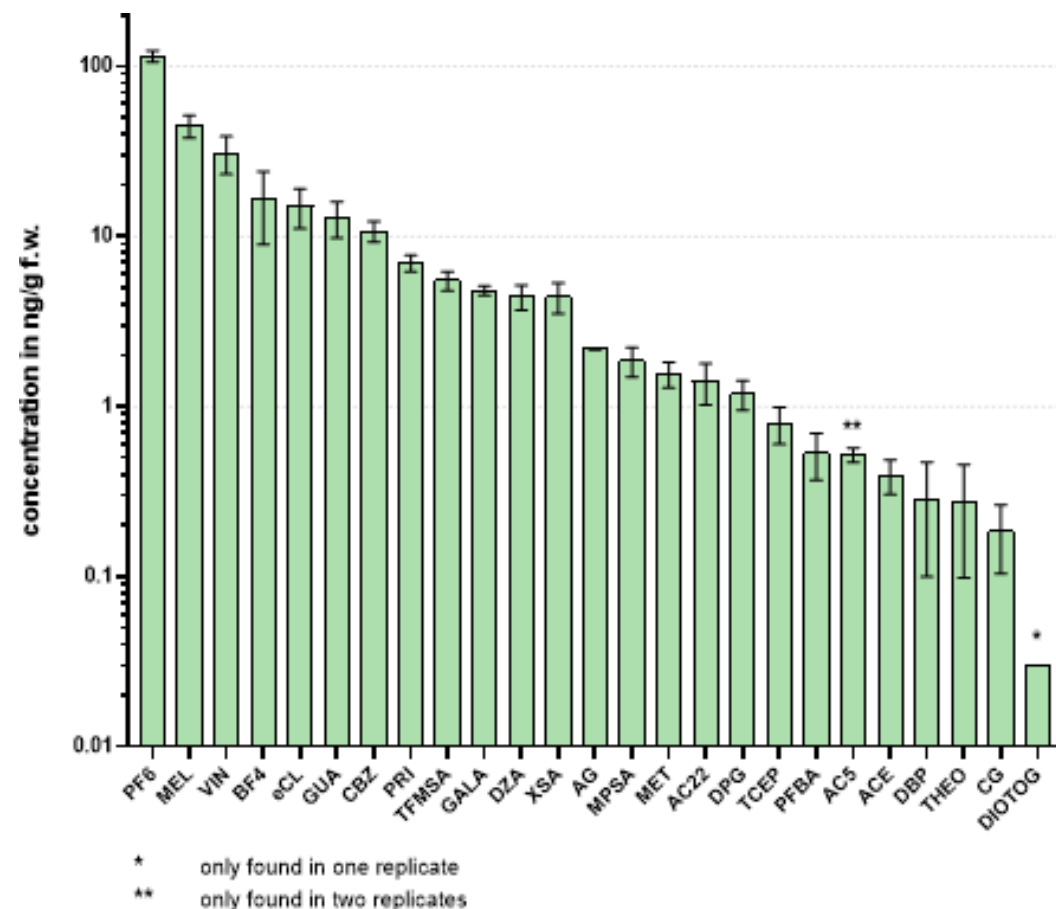
- 71 % von 65 Stoffen in Pflanzen gefunden
- Kaum Akkumulation in Wurzel
- Bis 65 % der theoretischen Maximalmenge
- Transformation oder Ausscheidung?



Spurenstoffaufnahme



- Sieben Substanzen über 10 µg/kg
- Schwer entfernbare Substanzen besonders betroffen
- Toxikologische Abschätzung nach TTC (threshold of toxicological concern)
- Geringste Verzehrmenge von 2,3 kg pro Person und Tag bezogen auf Melamin



Reallabor Fresdorf



- Energieautarke Tröpfchenbewässerung



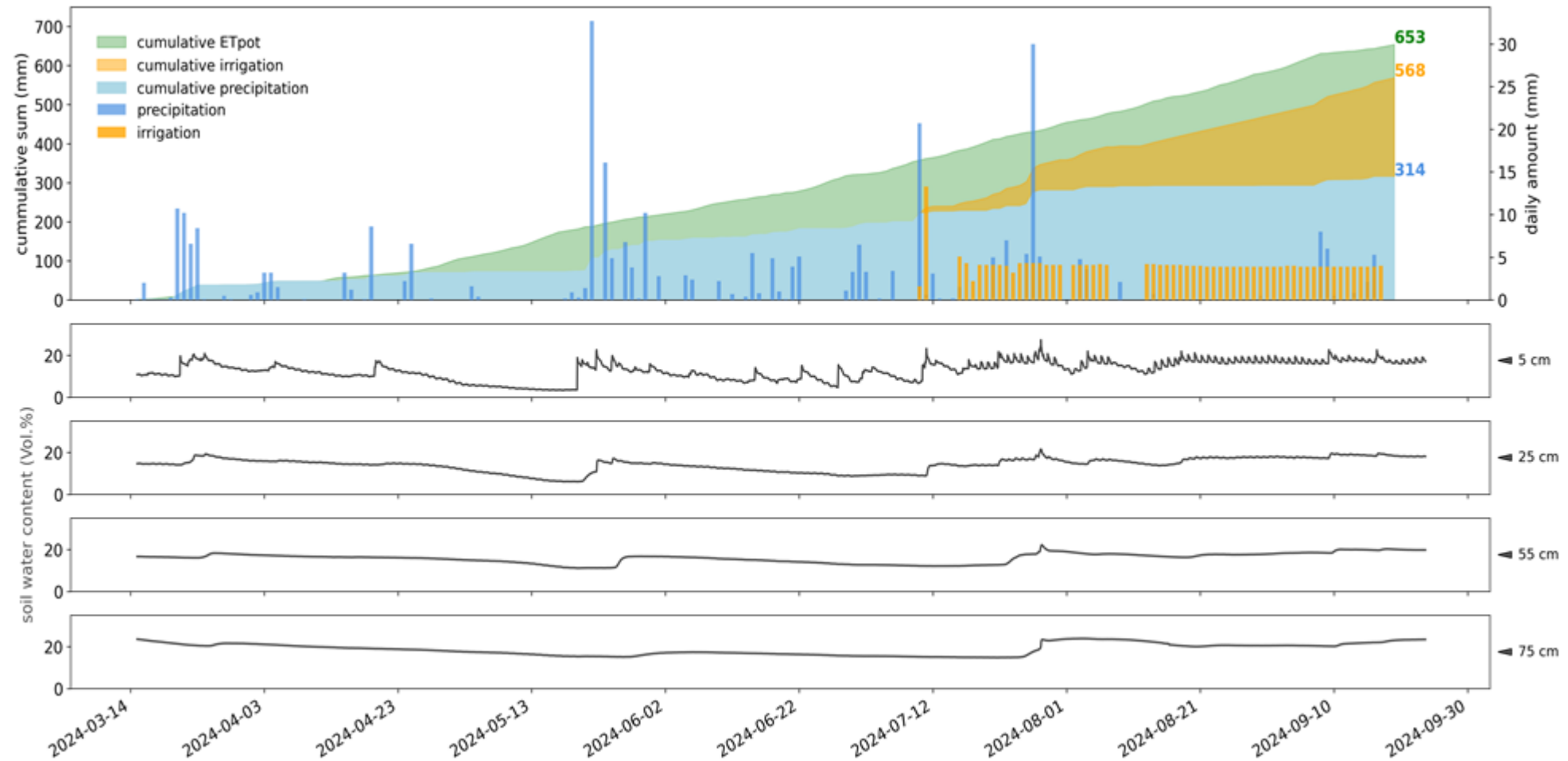
Freilandlabor Werder



- 100 m² bei 2 m Tiefe, vier überlappende Beregner



Freilandlabor Werder



Prognosewerkzeug

- Werkzeug zur Abschätzung des Risikos einer Grundwasserkontamination
- Berücksichtigung von Sorption und Abbau für unterschiedliche standortspezifische Bedingungen (Böden, Klima, Bewässerung)
- Simulationszeitraum von 50 Jahren
- Simulation des Wasser- und Stofftransports in der ungesättigten Zone mit Hydrus-1D



Simulations-Bodenprofil



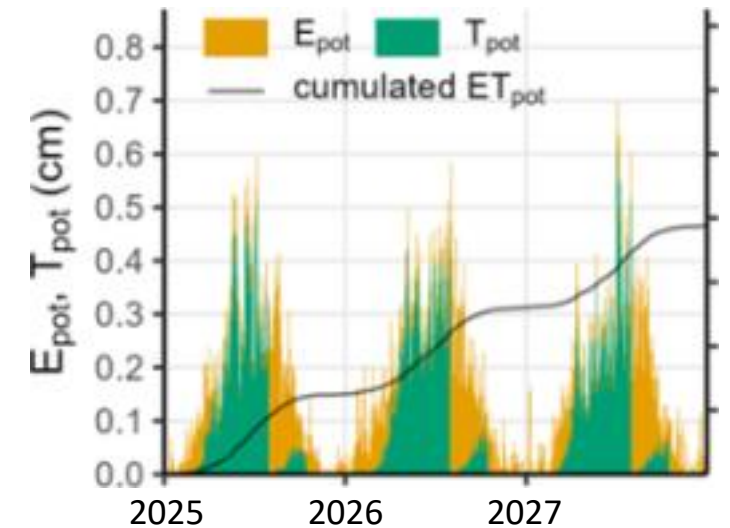
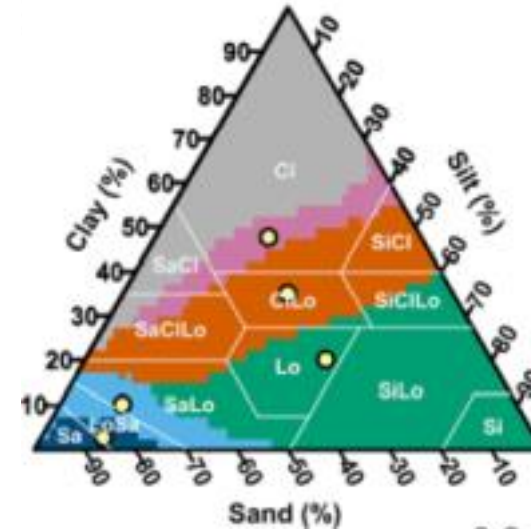
Prognosewerkzeug



- fünf Bodentypen
- zwei Klimata
- zwei Szenarien für die Aufnahme von gelösten Stoffen in Pflanzen
- zwei Bewässerungspraktiken

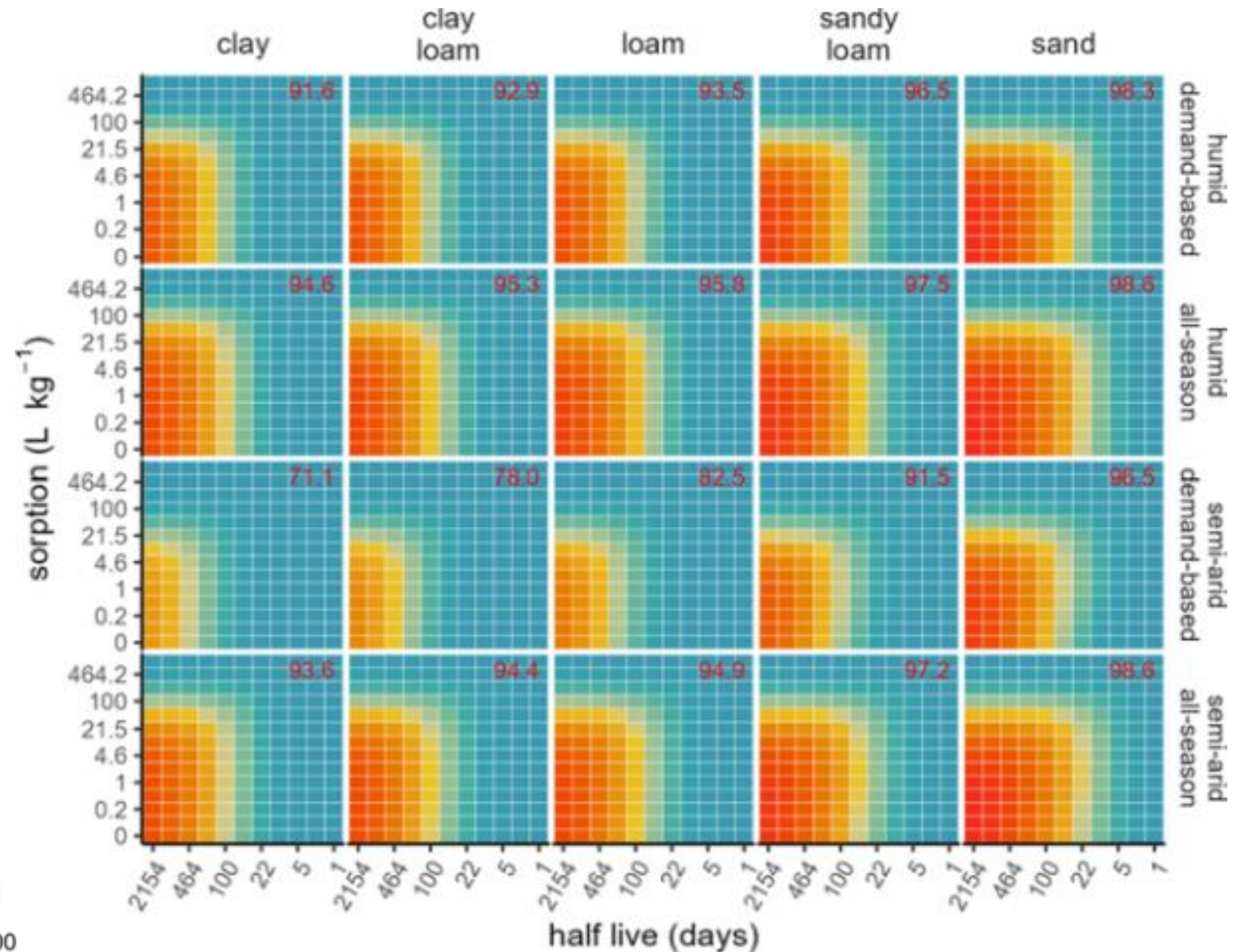
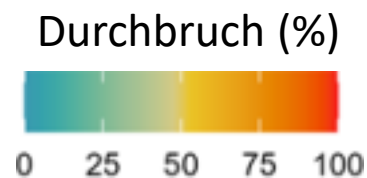
- 14 lineare Verteilungskoeffizienten
- 11 Abbauparameter (1. Ordnung)

6160 Einzelsimulationen mit Hydrus-1D



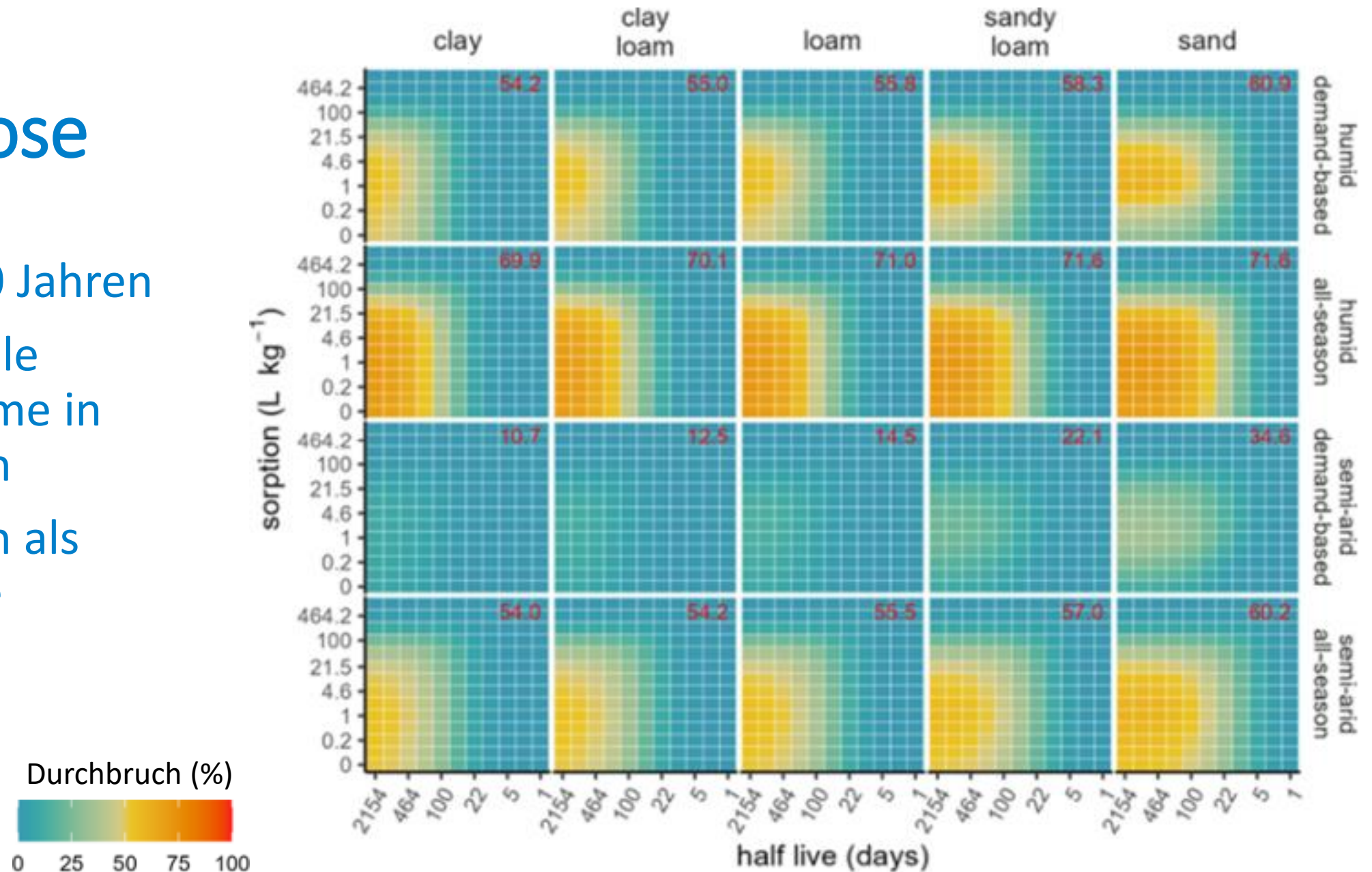
Prognose

- Abhängigkeit von Sorption und Halbwertszeit
- Nach 50 Jahren
- Keine Aufnahme in Pflanzen



Prognose

- Nach 50 Jahren
- Maximale Aufnahme in Pflanzen
- Pflanzen als Barriere



Prognosewerkzeug



- Anpassung einer Funktion an die Simulationsergebnisse
- Kumulierter Austrag an der unteren Systemgrenze (2 m)
- 200-faches Anpassungsverfahren mit 40 diskreten Szenarien und fünf Zeitschritten
- Zufriedenstellende Anpassung mit Fourier-Kosinus-Reihe 7. Ordnung (36 Parameter)
- Hohe Modellgüte (RMSE unter 0,36 %, Residuen von +/- 1,3 %)
- Nutzer*innenfreundliche Implementierung in Excel (bald erhältlich)

Fazit

- Dezentral gesammeltes Wasser wertvolle Ressource
- Bedarfsgerechte Aufbereitung (mit Spurenstoffentfernung) schnell und sicher
- Potential dezentraler Wasserwiederverwendung hoch mit Beitrag zum Klimaschutz
- Pflanzenaufnahme persistenter und mobiler Substanzen toxikologisch nicht besorgniserregend
- Prognosewerkzeug für unterschiedliche Langzeitszenarien
- Wertvolle Erkenntnisse für Handlungsoptionen und Regulatorik

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Eine Initiative des Bundesministeriums
für Bildung und Forschung

WavE

Wassertechnologien: Wiederverwendung



Vielen Dank an viele Beteiligte und Unterstützende!



**MANN+
HUMMEL**

