

Stimulation von H₂/CH₄-oxidierenden Bakterien in Porengrundwasserleitern zur Reinigung von nitratbelastetem Trink- und Brauchwasser

Florian Einsiedl¹, Anja Wunderlich¹, Tillmann Lüders², Felix Pfaff², Patrick Rohlfs³, Katharina Zeh³,
Angela Zyla³, Mathias Alte⁴, Jan Fleckenstein⁵ & Vinicius Falchi-Bernardo

¹Lehrstuhl für Hydrogeologie, TUM School of Engineering and Design, Technische Universität München

²Lehrstuhl für Ökologische Mikrobiologie, Bayreuther Zentrum für Ökologie und Umweltforschung (**BayCEER**), Universität Bayreuth

³Z-Design Umwelttechnik,

⁴BASE Technologies GmbH

⁵Department Hydrogeologie, Helmholtz Zentrum für Umweltforschung GmbH, **UFZ**





Gliederung

- Problemstellung/Motivation**
- Biogeochemischer Hintergrund**
- Skalierter Ansatz**

Stand Laborexperimente (Inkubationsversuche, Säulenversuche)

Stand 2D-Technikumsversuch

Stand Feldexperiment

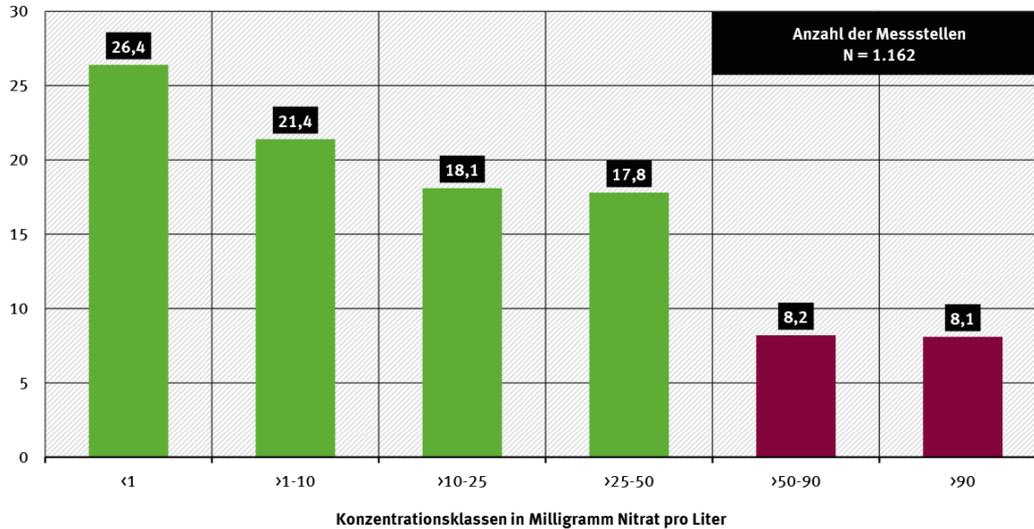
- Zusammenfassung/ Milestones**



Problemstellung

Verteilung der Nitratkonzentration im EUA-Grundwassermessnetz 2020

Anteil in Prozent



Quelle: Umweltbundesamt 2022 nach Angaben der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)

Knapp 50% keine oder geringe Belastung

Etwa 20 % deutlich mehr als 50 mg/L

Grundwasserkörper in Deutschland, die aufgrund von Nitratbelastungen in einem schlechten chemischen Zustand sind

Umwelt Bundesamt



© Umweltbundesamt, 11/2017

■ gut
■ schlecht

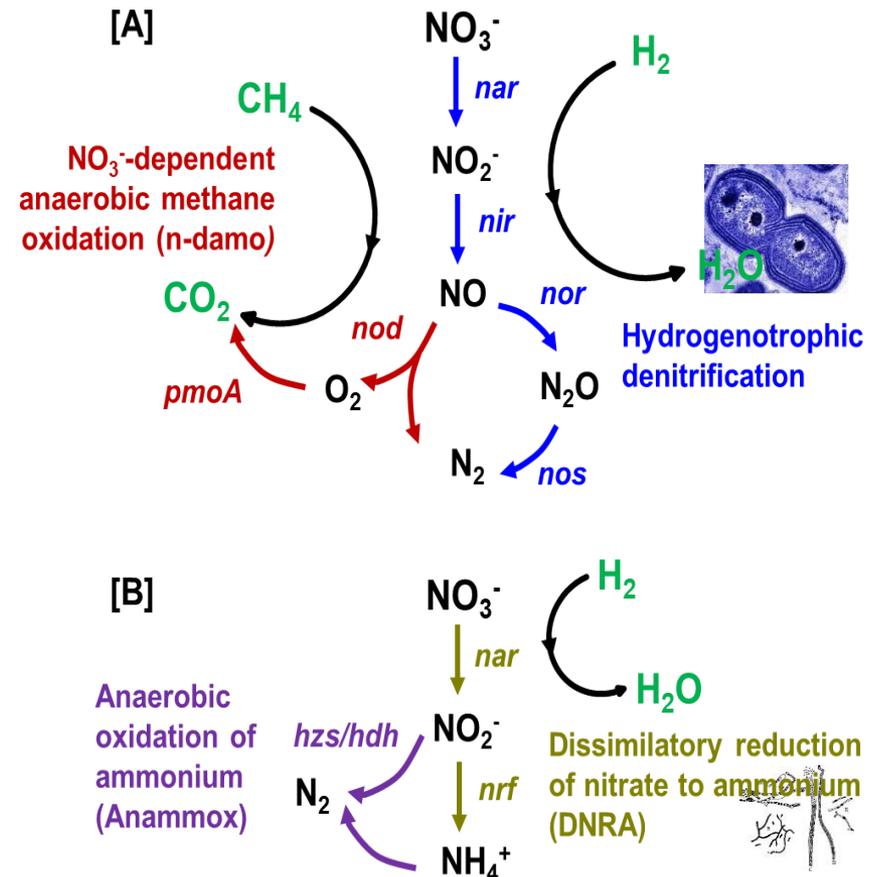
Geobasisdaten: GeoInfo-DE / BfE 2013
Fachdaten: Berichtsportal Wasser-ELK/DFG, Stand 23.09.2016
Bearbeitung: Umweltbundesamt, Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)

EU: 1200 GWK, Dt. knapp 700 Messstellen
Rote GWKs mit NO₃⁻ ≥ 37,5 mg/L
Massentierhaltung:
Niedersachsen
Nordrhein-Westfalen
Bayern (Landshut)



- Mikroorganismen können NO_3^- zu N_2 reduzieren
- e-Donor wird benötigt (Nachteile mit Methanol oder Acetat wurden beobachtet)
- In Süßwassersystemen konnte die Denitrifikation mit CH_4 und H_2 bereits gezeigt werden (*n-damo*)
- Bildung von geringerer Biomasse bei hohen Denitrifikationsraten

→ Injektion von Gasen zur Simulation der autothrophen Denitrifikation



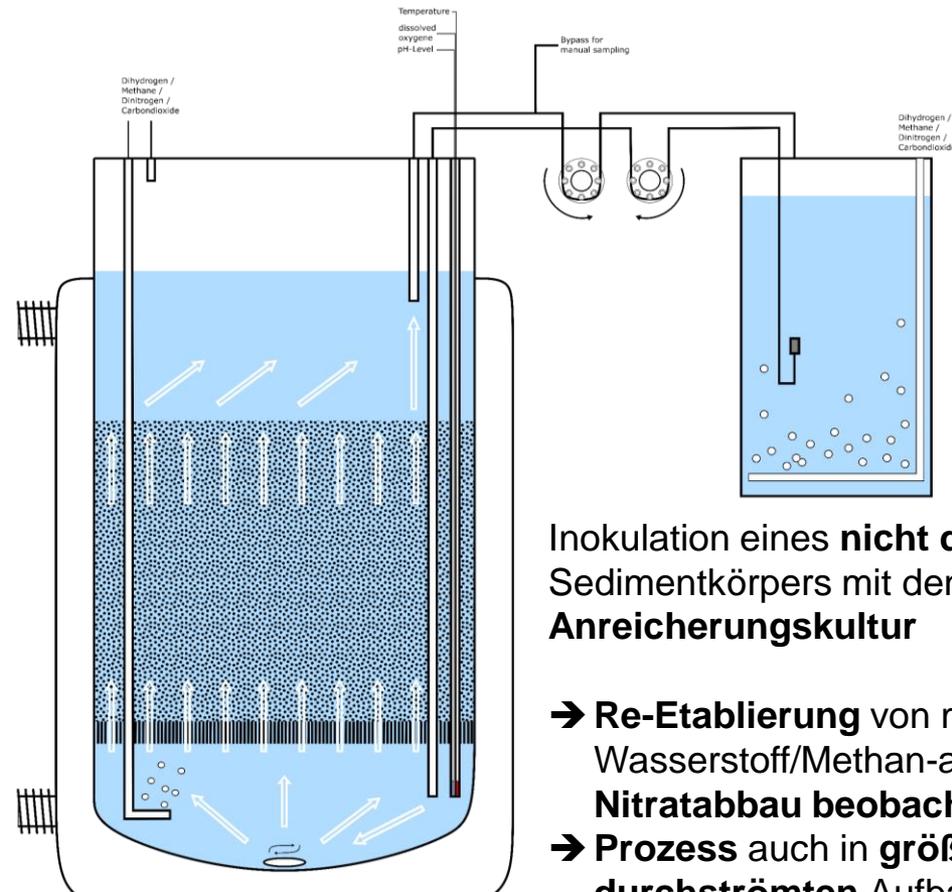


Ziele: Laborexperimente & Technikumsversuch

- **Entwicklung & Umsetzung der Gasinjektion**
- **Nachweis der Stimulation von H_2/CH_4 -oxidierenden Bakterien**
- **Denitrifikationspotential durch die Gasinjektion**

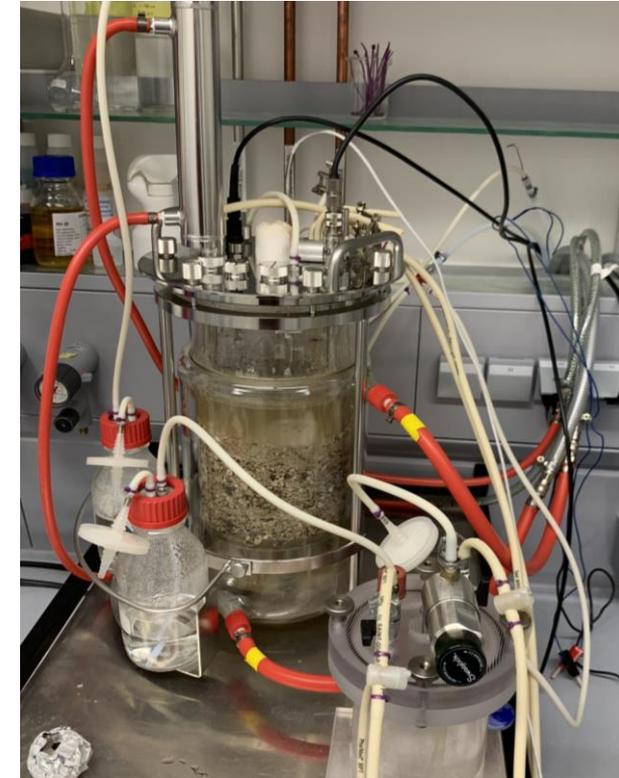


Vorversuche zur Stimulation von mikrobieller Denitrifikation durch Inokulation in *In-Situ*-Bedingungen



Inokulation eines **nicht denitrifizierenden** Sedimentkörpers mit denitrifizierender **Anreicherungskultur**

- **Re-Etablierung** von mikrobiellem und Wasserstoff/Methan-abhängigem **Nitratabbau beobachtet**
- **Prozess** auch in **größerer Skala** und in **durchströmten Aufbauten möglich**



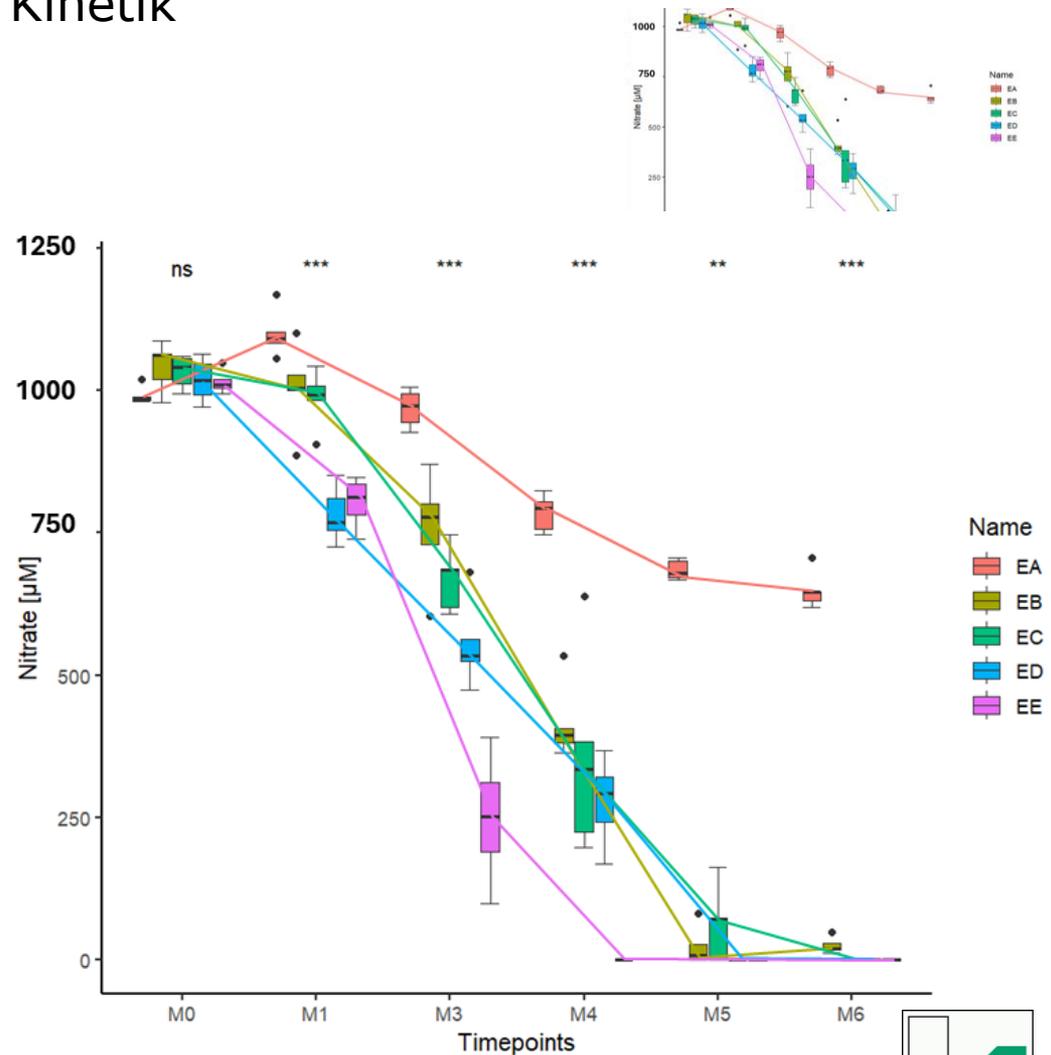
(Pfaff/ Lüders)



Einfluss von Temperatur auf die Kinetik mikrobieller Denitrifikation

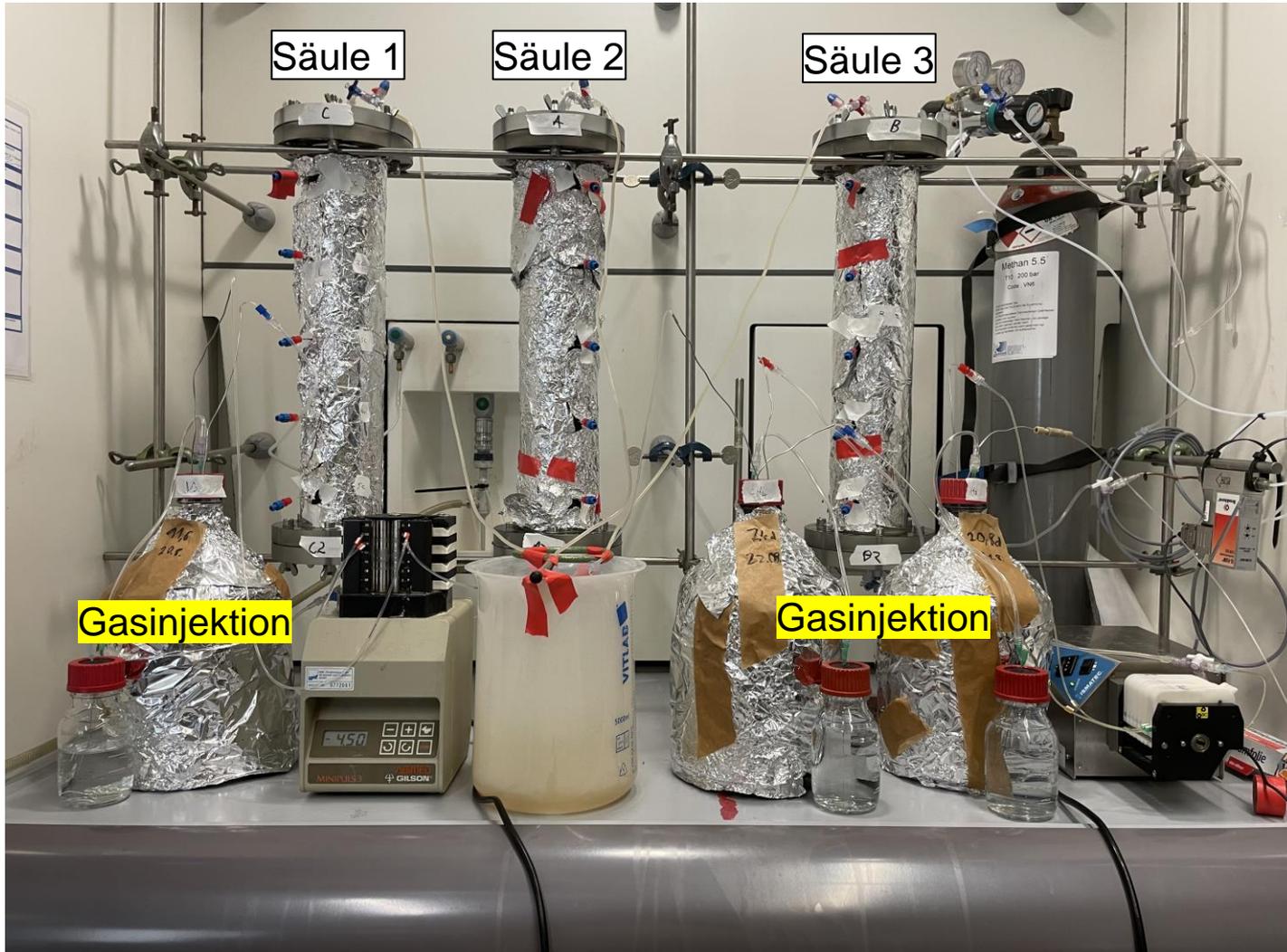
Nitratabbau in geschlossenen Reaktionsgefäßen:

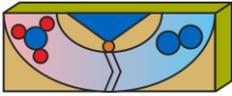
- **Mikrobielle Denitrifikation** von Sedimenten des Feldstandortes der geplanten **Pilotanlage in Autenried** bei Wasserstoff- und Methan-Behandlung
- ➔ **Temperaturabhängiger** Nitratabbau
- ➔ Mikrobielle Denitrifikation auch in **native Temperatur-bereichen** (12 – 15°C) beobachtet
- ➔ **Vollständiger Abbau** von NO_3^- über NO_2^- ; N_2O zu N_2
keine Akkumulation von Intermediaten
- ➔ Starke **Zehrung** von **Wasserstoff**, teilweise **Methanoxidation**



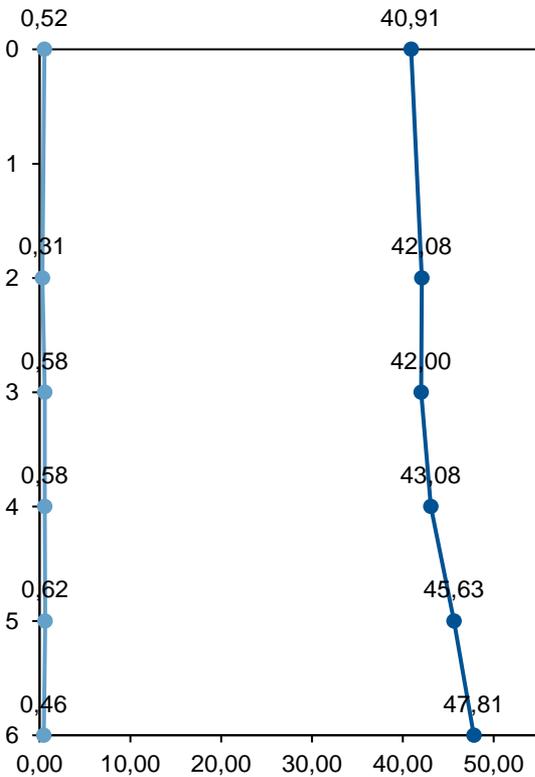


- Vorlaufzeit: 2 Monate
- Vorversuche: Juli/August 2024
- Hauptversuche: bis Anfang 2025



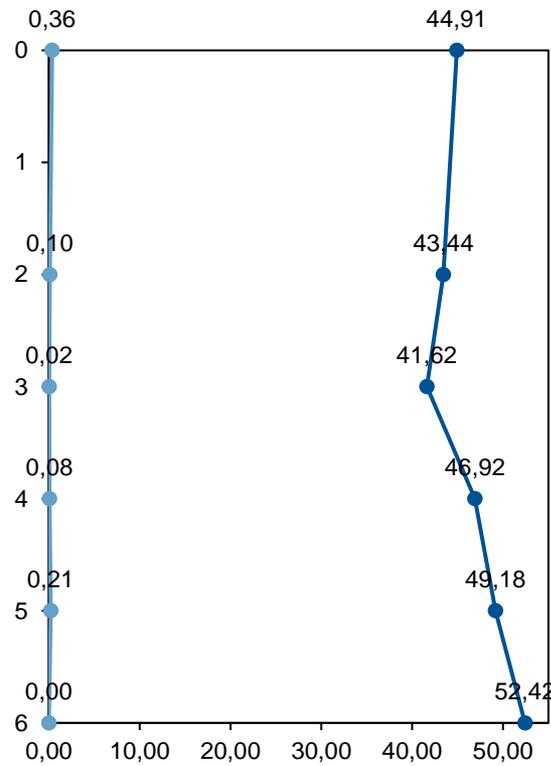


- Abnahme der Nitratkonzentration unter natürlichen Bedingungen um etwa 7 mg/L
- Abnahme bei Injektion der Elektronendonoren um bis zu 30 mg/L nach einer Versuchswoche



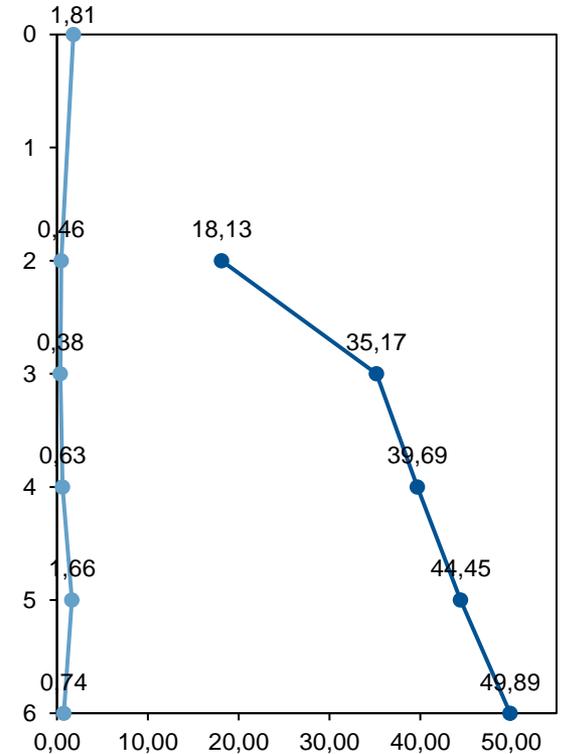
Konzentration [mg/L]

● Nitrat ● Nitrit



Konzentration [mg/L]

● Nitrat ● Nitrit

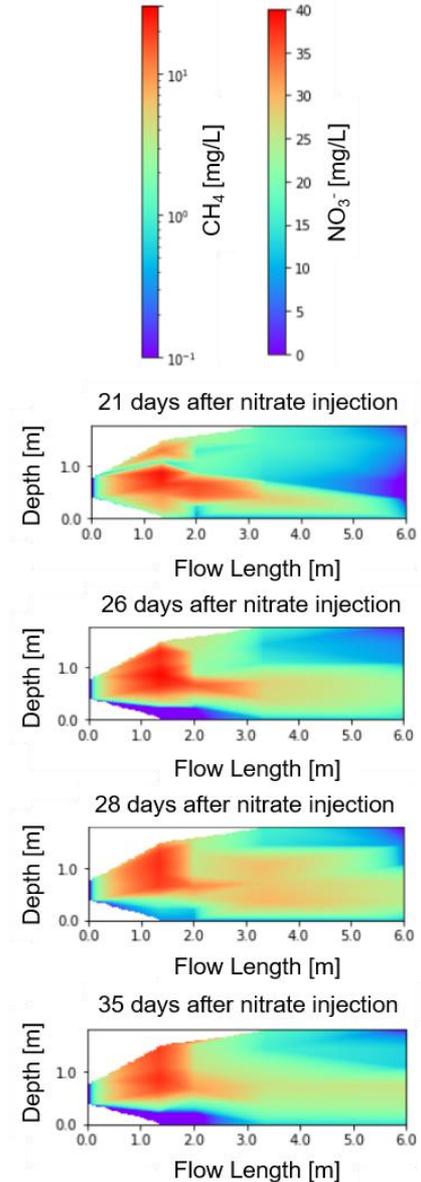
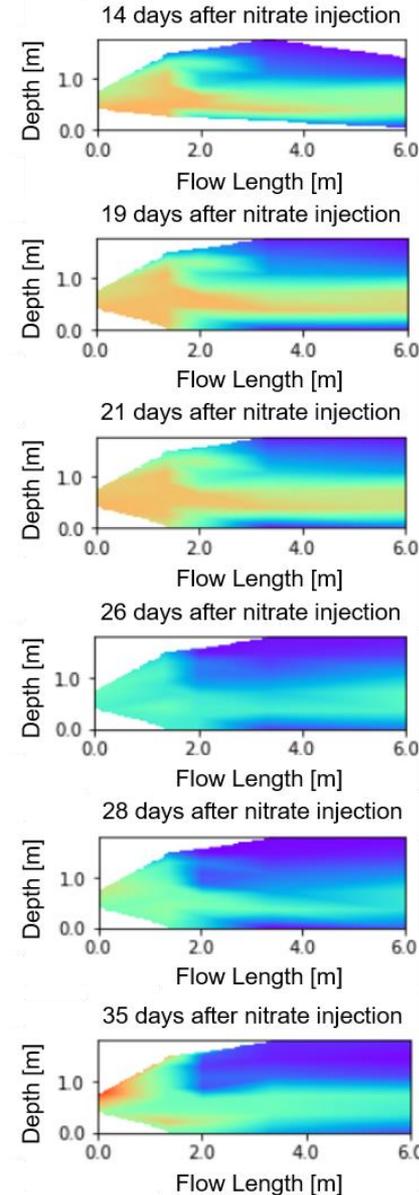


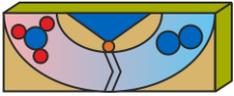
Konzentration [mg/L]

● Nitrat ● Nitrit

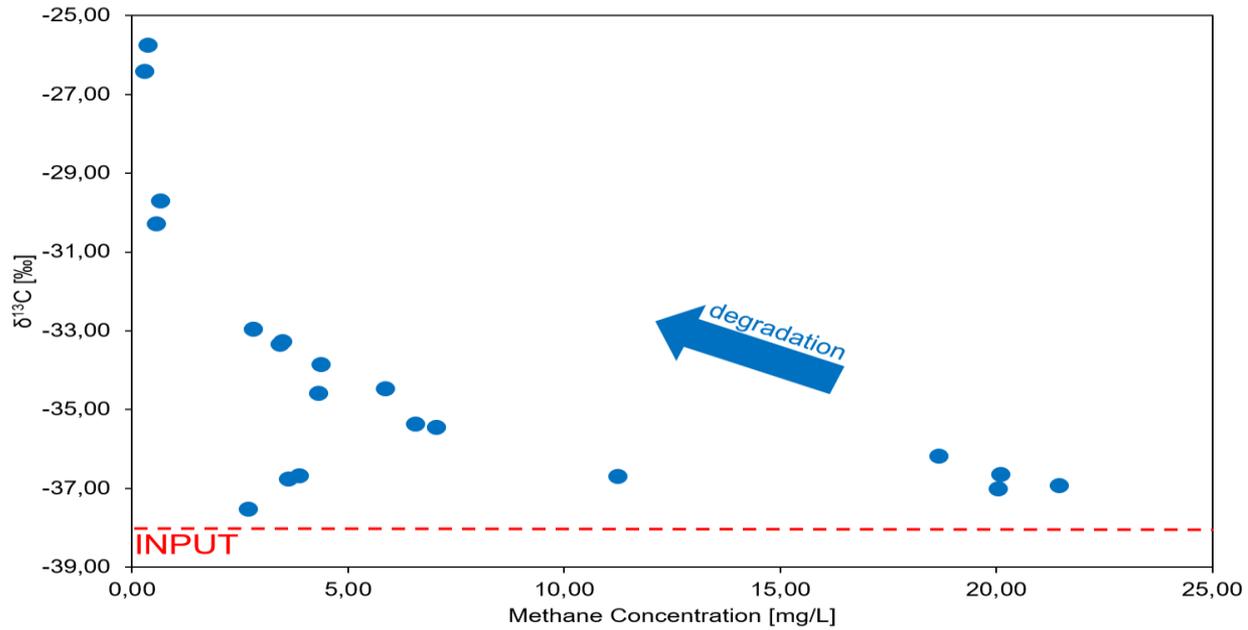
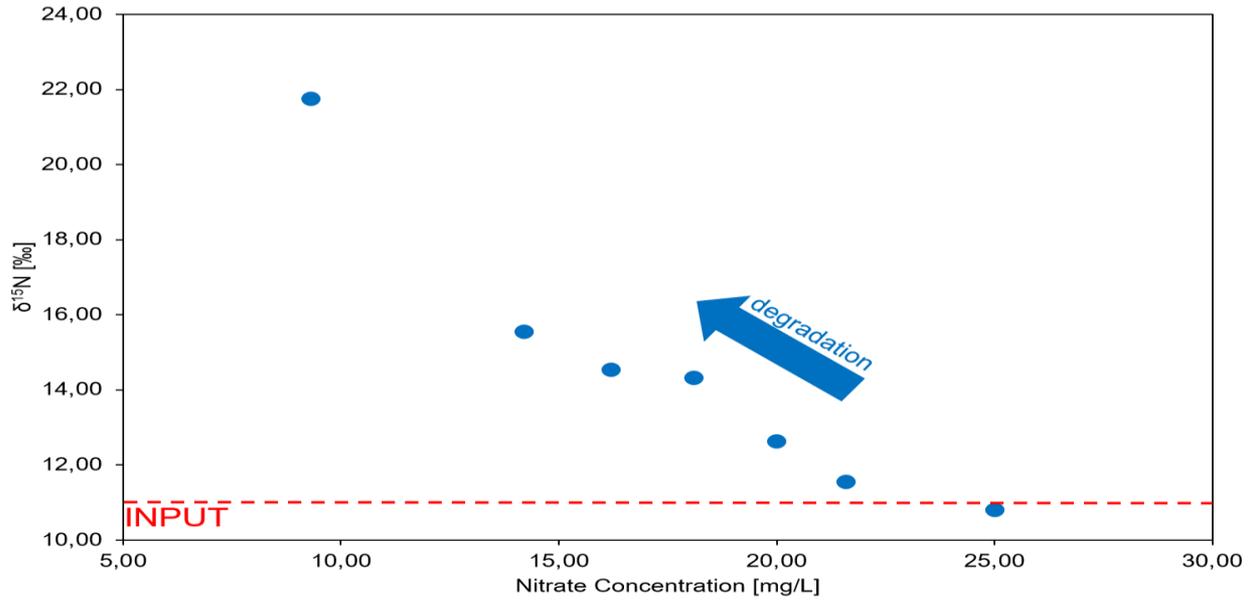


- Nitrat und Methan konnten erfolgreich in den künstlichen Grundwasserleiter injiziert werden
- Die räumliche Verteilung der beiden Proxies innerhalb des Durchflussbeckens war zufriedenstellend.
- Für den Abbau von Nitrat mit Methan als Elektronendonator konnten durch die stabile Isotopendaten erste Hinweise gesammelt werden.





$O_2 < \text{NWG}$
 CH_4 - Injektion

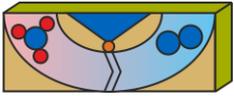




Laborexperimente Zusammenfassung

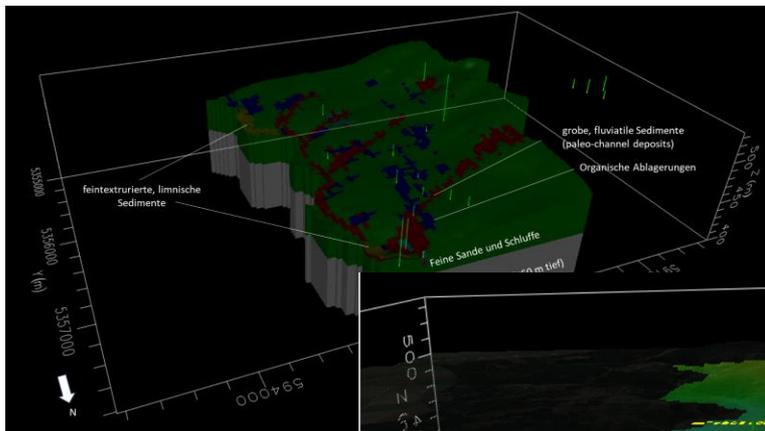
- Entwicklung & Umsetzung der Gasinjektion (z-Design, TUM, Base)
- Nachweis der Stimulation von H_2/CH_4 -oxidierenden Bakterien
- Denitrifikationspotential durch die Gasinjektion über manuelle Probenahme (TUM, Bayceer)
- **Verzögerung Micro-GC Lieferung um ca. 12 Monate, 7/24 Start der automatisierten Probenahme**
- **Systemmodellierung (UfZ), Ergebnisse Geophysik offen**
- Experimente mit Anreicherungskulturen zusammen mit *Bayceer*



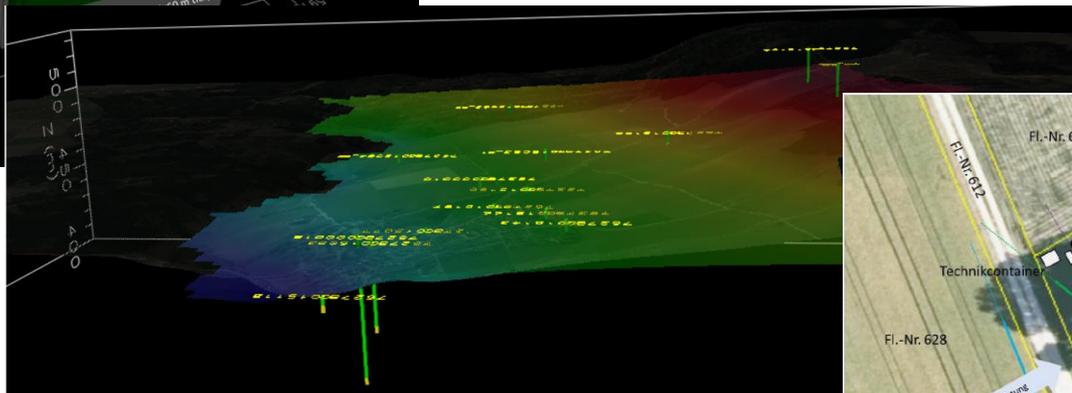


Feldexperiment

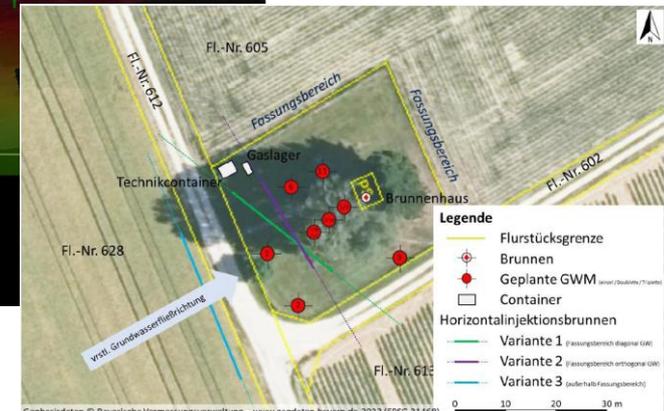
- Nachweis der technischen Effizienz des Injektionsverfahrens und mikrobiellen Abbaus von NO_3^- am Versuchsstandort der Pilotanlage (UfZ, Base, Bayceer, z-Design, TUM)
Hydrogeologisches Model



Numerischen Simulationen



Technischen Planreife





Feldexperiment

Rechtliche und planerische Umsetzung

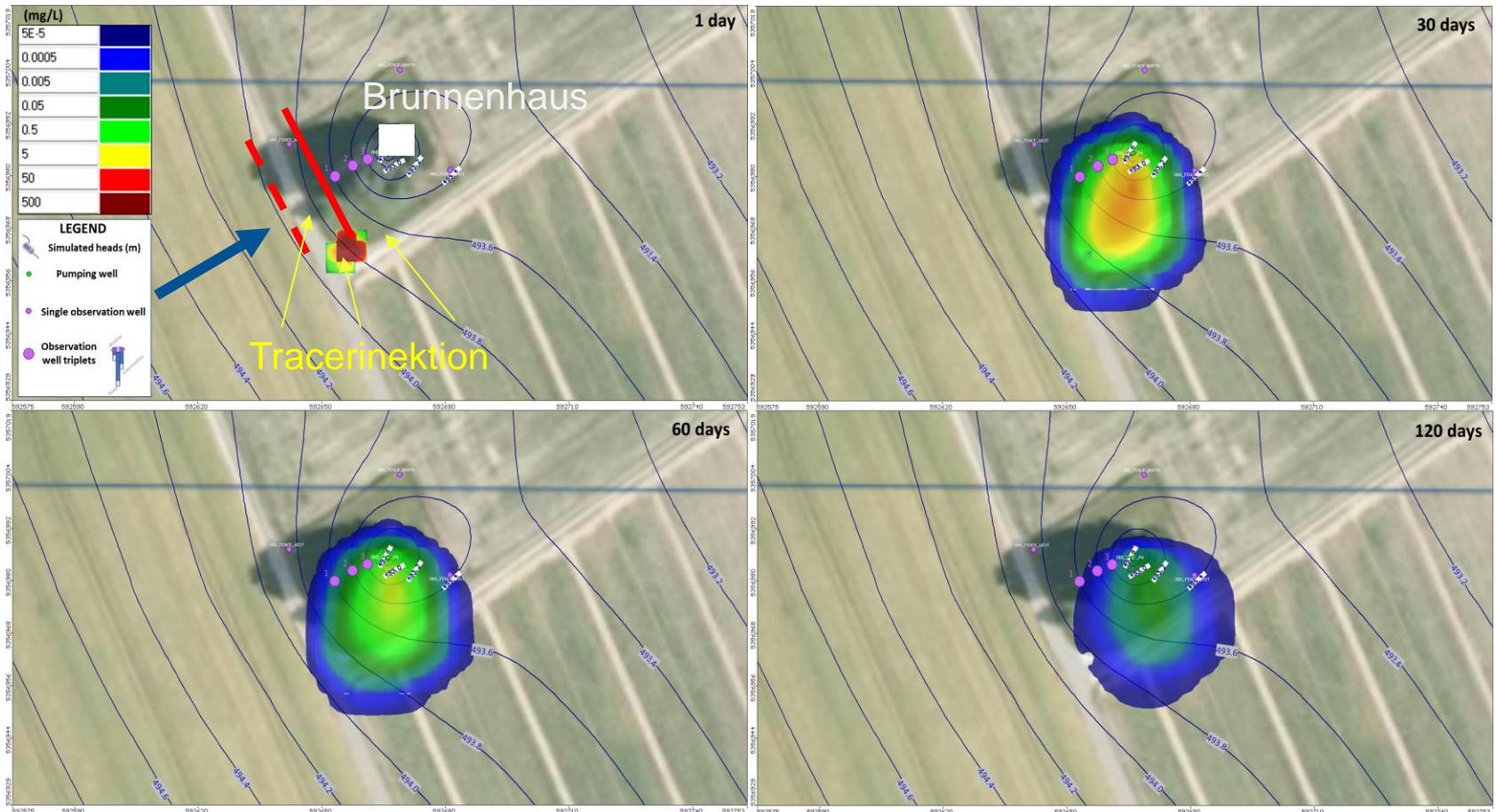
Ermittlung der Genehmigungsgrundlagen, -anforderungen und –voraussetzungen in einem Wasserschutzgebiet

Einreichung Genehmigungsplanung(en) Anfang August 2024

Zusammenstellung rechtliche Erfordernisse für Pilotversuch (ö/r-Anforderung, zivilrechtliche Themen/Aspekte) und Qualitätssicherung , Vertragswesen/-management (ö/r, zivilrechtlich)



Num. Modellierung, Lage Horizontalbrunnen, Tracerinjektion



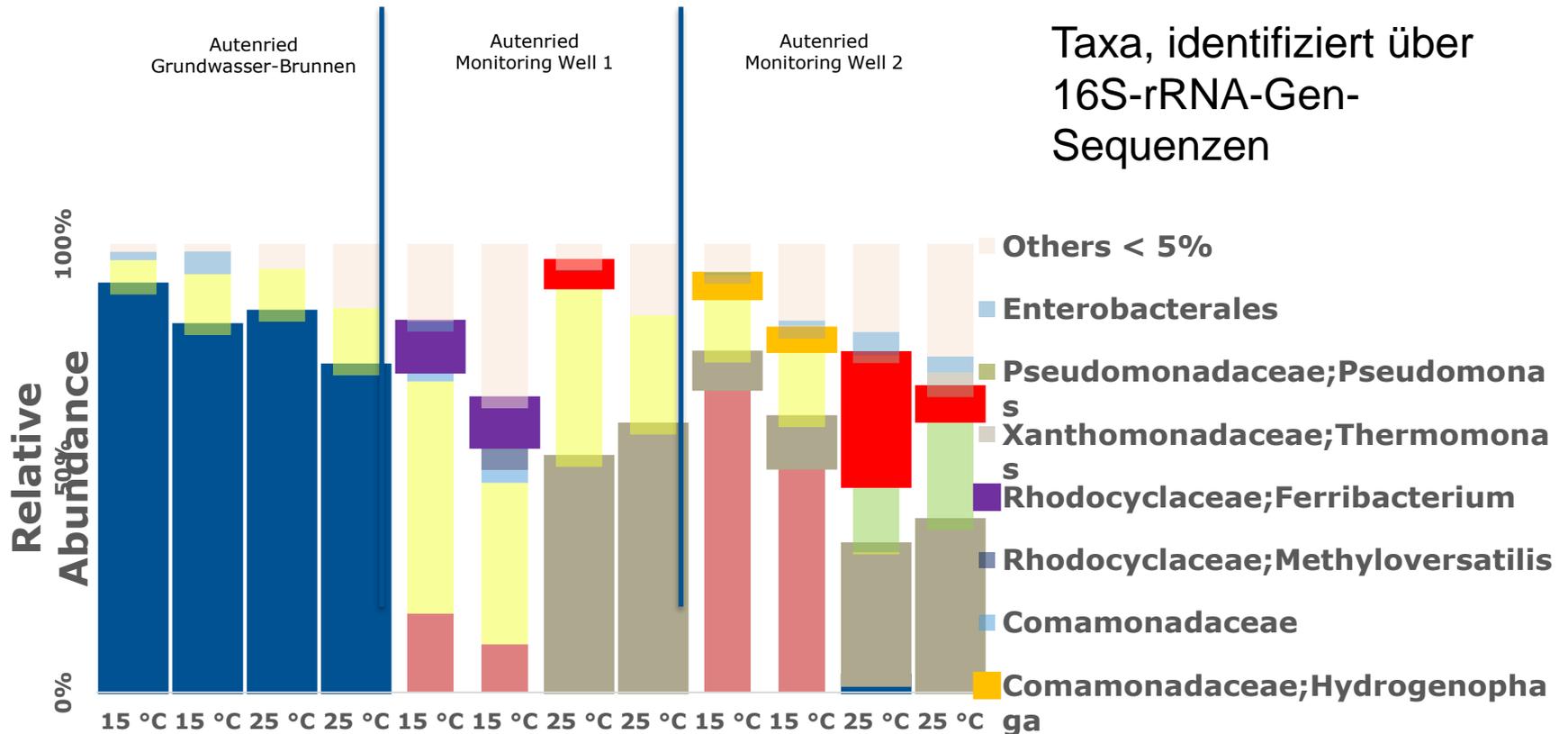


- Bohrung von 8 Messstellen zur Überwachung der Methan- und Nitratkonzentrationen sowie zur Probenahme für die Isotopenverhältnisse (08/24 v. UfZ Monitoring & Erkundungstechnologien)
- Monitoring des Grundwasserspiegels mithilfe von Drucksonden
- Durchführung eines Tracerexperimentes (09-11/24)



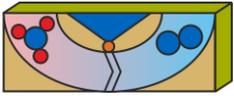


Mikrobielle Populationen von Anreicherungskulturen unterschiedlicher Standorte



- Anreicherung bekannter **hydrogenotropher** Denitrifizierer (*Rhodocyclaceae*, *Acidovorax*, *Hydrogenophaga*) aus Proben des Feldstandortes Autenried

➔ **Mikrobielles Potenzial** an den Versuchsstandorten **vorhanden** und **stimulierbar**?



Zusammenfassung

Beitrag zur qualitativen und quantitativen Umsetzung von Nitrat im Ökosystem Grundwasser

Verbesserung des Zustandes des Ökosystems bei höheren Volumensströmen im Vergleich zu bestehenden Anlagen (offen)

Ökonomische Beurteilung des Verfahrens im Vergleich zu bestehenden Methoden (offen)