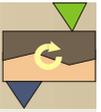


# Denitrifikation im Grundwasser

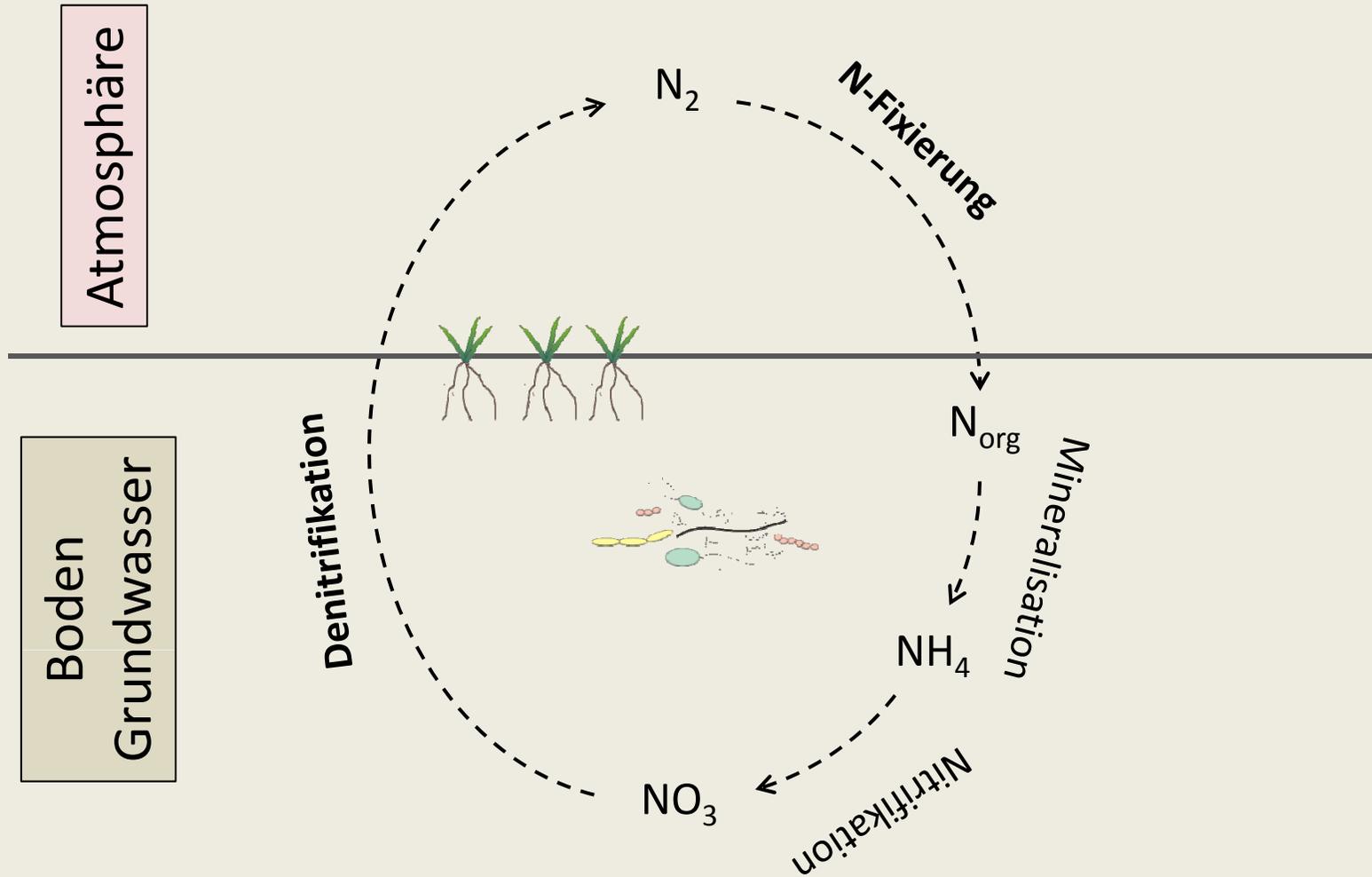
## Voraussetzungen, Stoffumsätze, Nachhaltigkeit

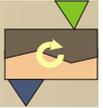
- grundlegende Forschung in Niedersachsen in den `80er und `90er Jahren -

Prof. Dr. Jürgen Böttcher  
Institut für Bodenkunde  
Leibniz Universität Hannover



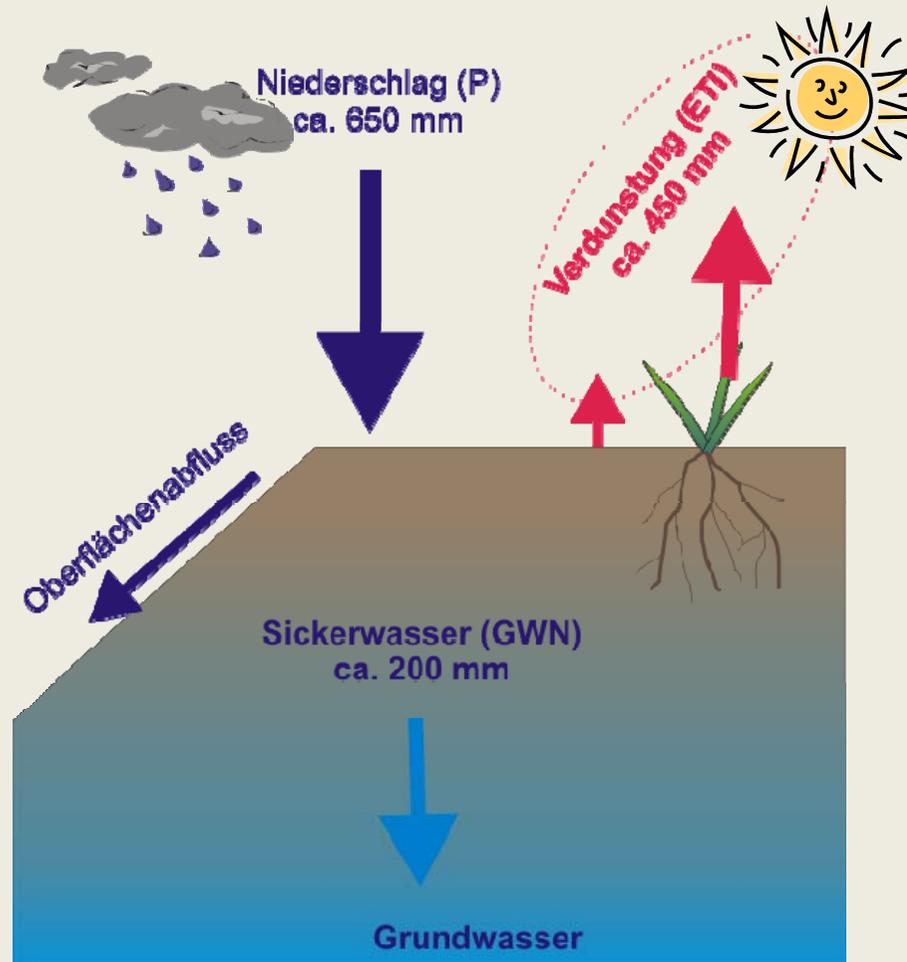
Vereinfachter N-Kreislauf





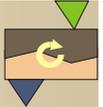
## Denitrifikation im Grundwasser: **Voraussetzungen**

### Verfrachtung von Nitrat ins Grundwasser: **Sickerwasserbildung**



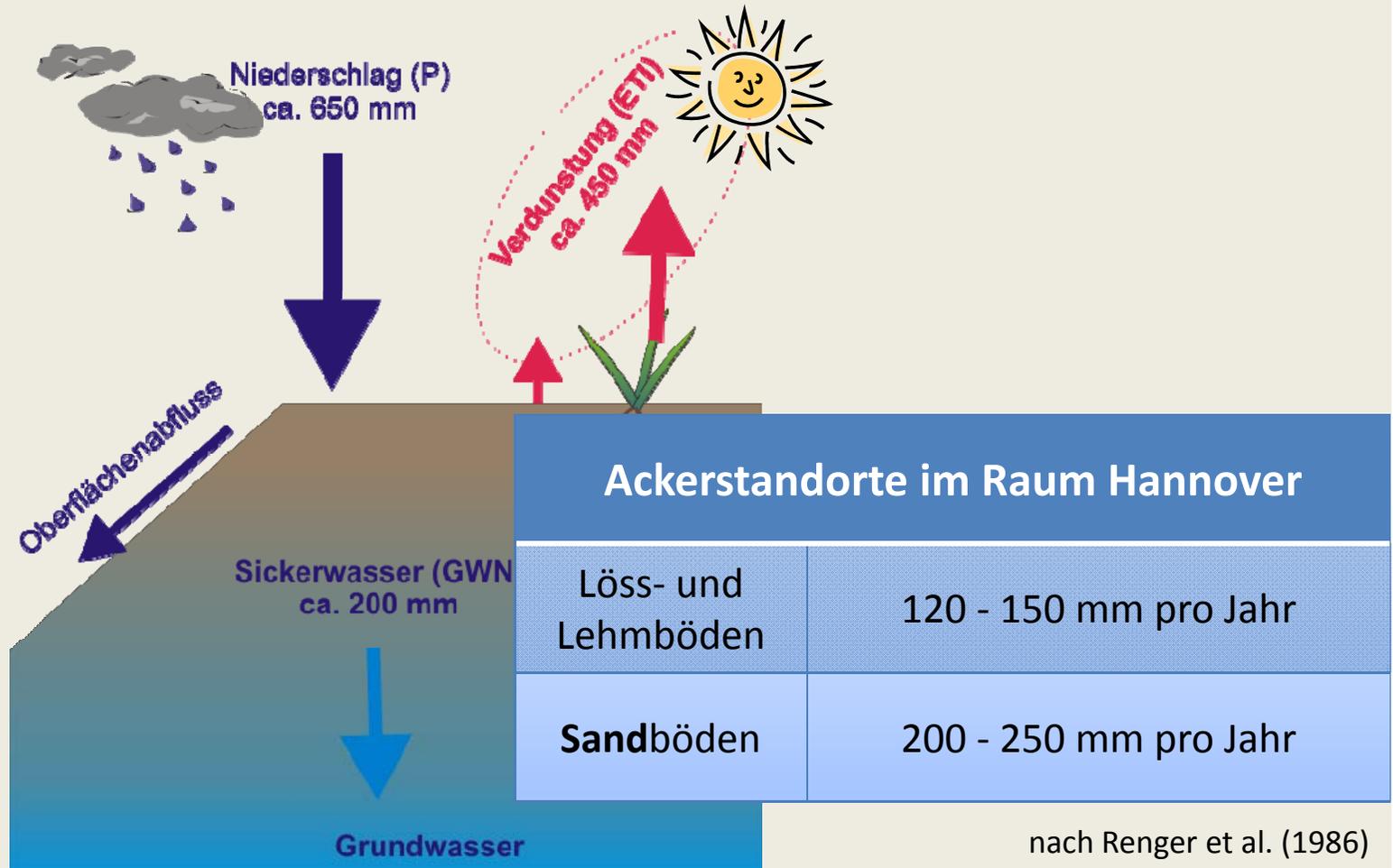
Durchschnittlicher Wasserhaushalt  
eines ebenen Standorts

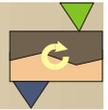
(Klima: Großraum Hannover,  
Boden: sandig, Acker)



## Denitrifikation im Grundwasser: Voraussetzungen

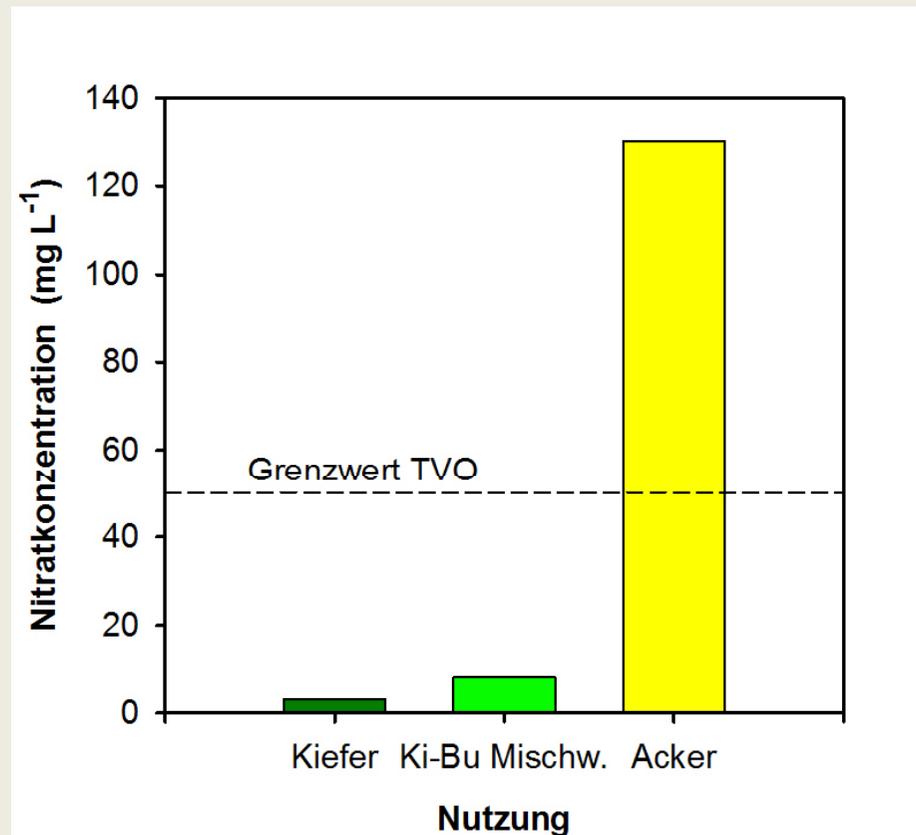
Verfrachtung von Nitrat ins Grundwasser: **Sickerwasserbildung**



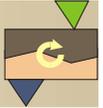


## Denitrifikation im Grundwasser: Voraussetzungen

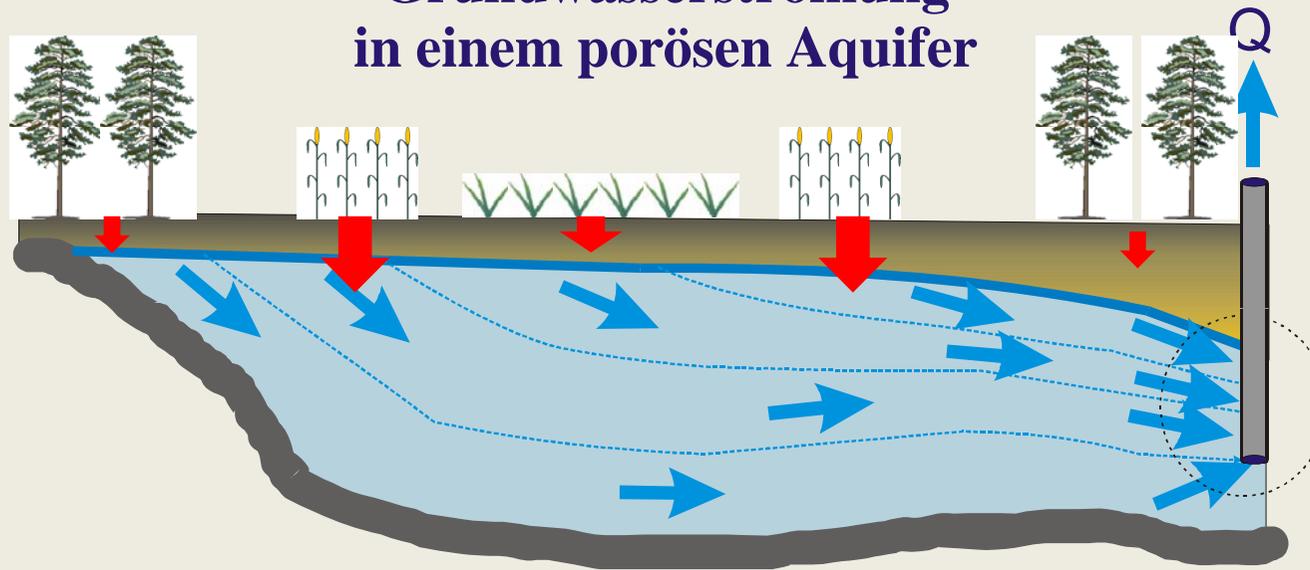
Mittlere nutzungsabhängige Nitratkonzentration im Sickerwasser  
Sandböden im Fuhrberger Feld



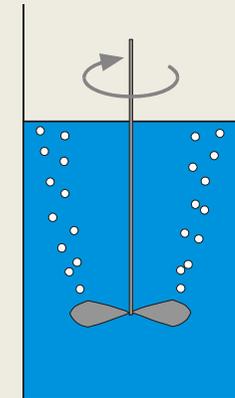
nach Ringe et al. (2003), Strebel & Böttcher (1989) und Strebel et al. (1993)



## Denitrifikation im Grundwasser: Voraussetzungen

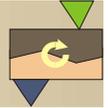
Grundwasserströmung  
in einem porösen Aquifer

und Mischungseffekt der Förderung



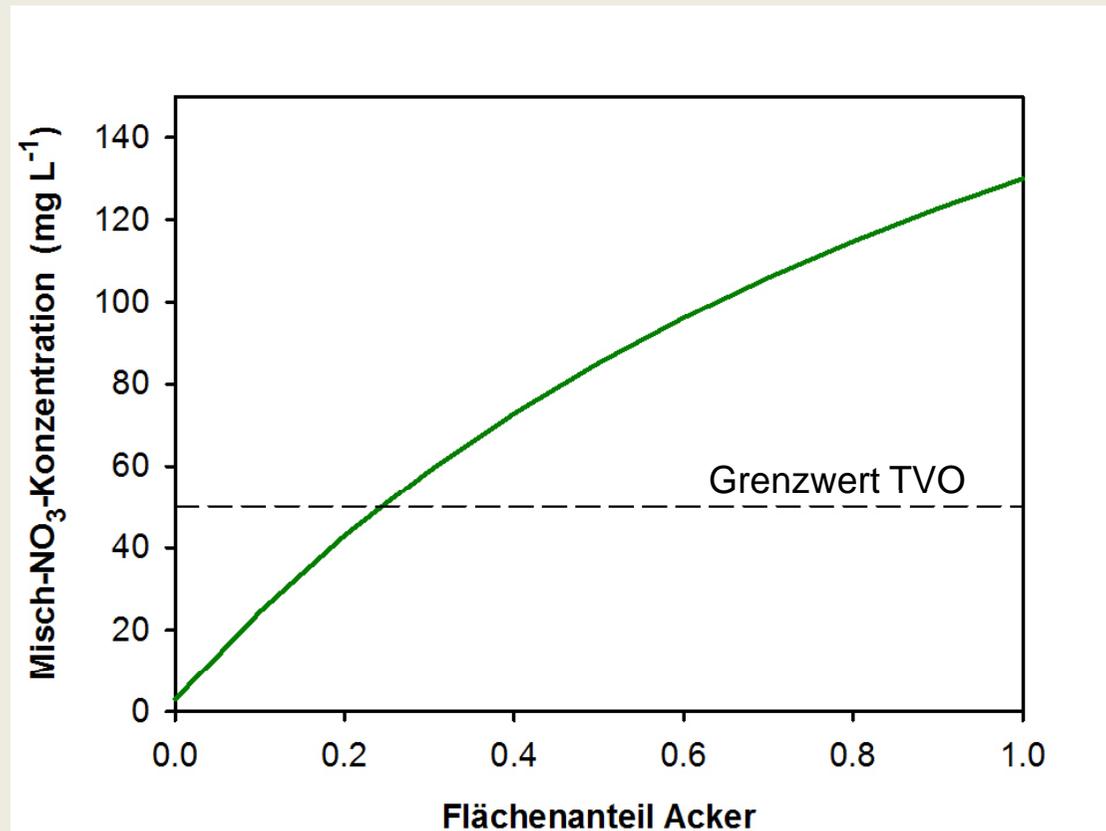
$$\bar{C}_{NO_3} = \frac{\sum_{j=1}^n GWN_j \times NA_j \times C_{NO_3,j}}{\sum_{j=1}^n GWN_j \times NA_j}$$

Mischungsrechnung nach Böttcher und Strebel (1985)

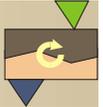


## Denitrifikation im Grundwasser: Voraussetzungen

Nitrat-Mischkonzentration im Rohwasser eines Förderbrunnens  
Flächenanteil Acker 0 - 100 % / Flächenanteil Kiefernforst 100 - 0 %  
(alles Sandböden)

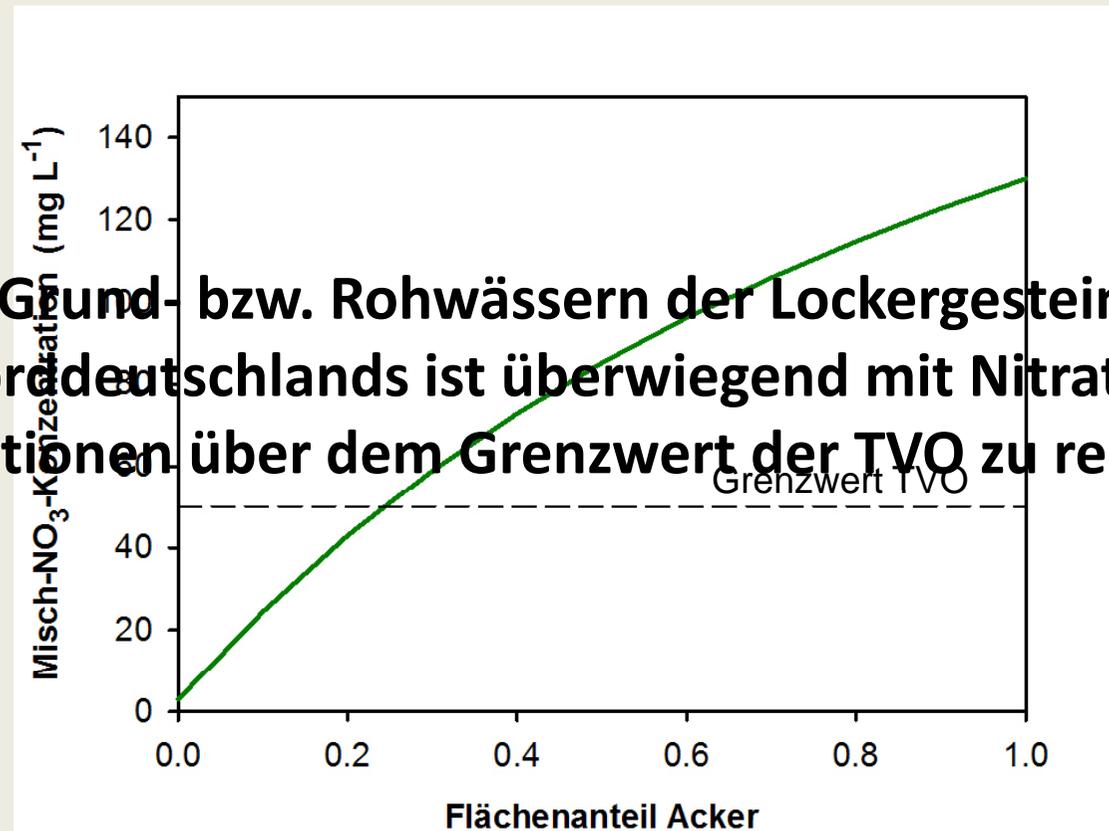


Mischungsrechnung nach Böttcher und Strebel (1985)



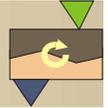
## Denitrifikation im Grundwasser: Voraussetzungen

Nitrat-Mischkonzentration im Rohwasser eines Förderbrunnens  
Flächenanteil Acker 0 - 100 % / Flächenanteil Kiefernforst 100 - 0 %



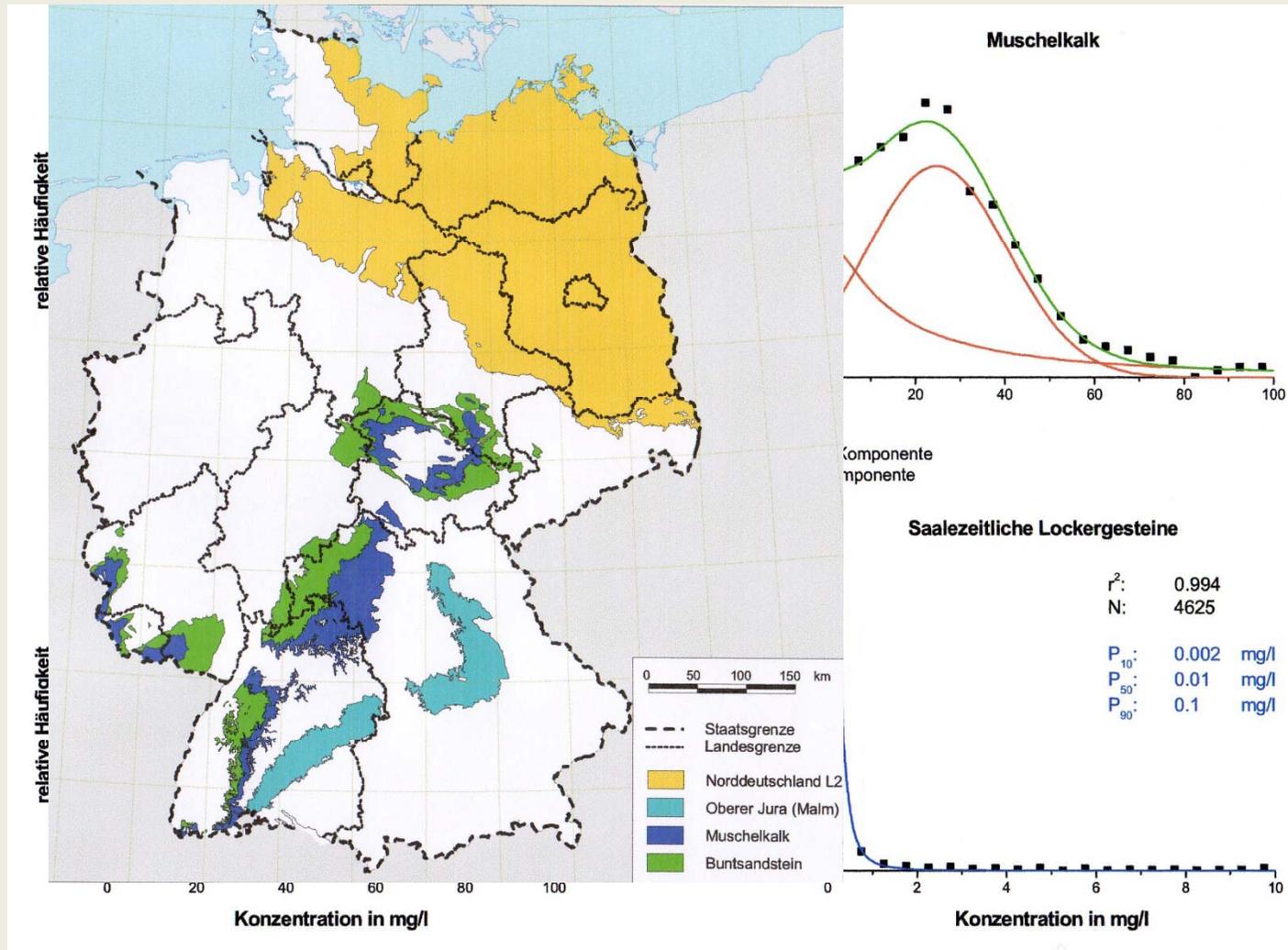
**Fazit: In Grund- bzw. Rohwässern der Lockergesteinsgebiete Norddeutschlands ist überwiegend mit Nitratkonzentrationen über dem Grenzwert der TVO zu rechnen!**

Mischungsrechnung nach Böttcher und Strebel (1985)

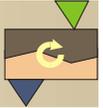


Denitrifikation im Grundwasser: **Stoffumsätze**

**Nitratkonzentrationen in Grundwässern hydrostratigraphischer Einheiten**

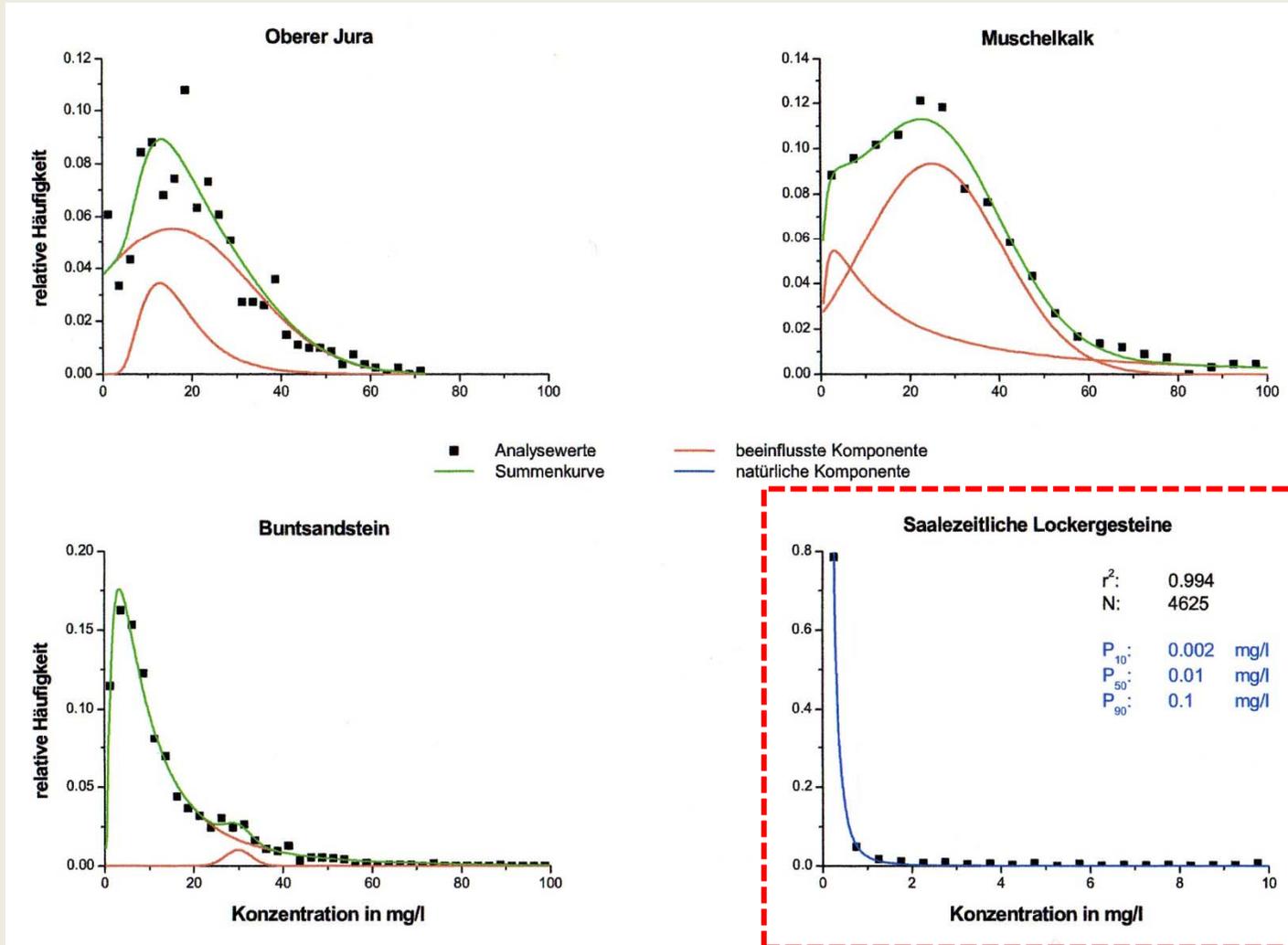


aus Kunkel et al. (2002)

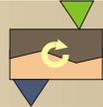


Denitrifikation im Grundwasser: Stoffumsätze

Nitratkonzentrationen in Grundwässern hydrostratigraphischer Einheiten

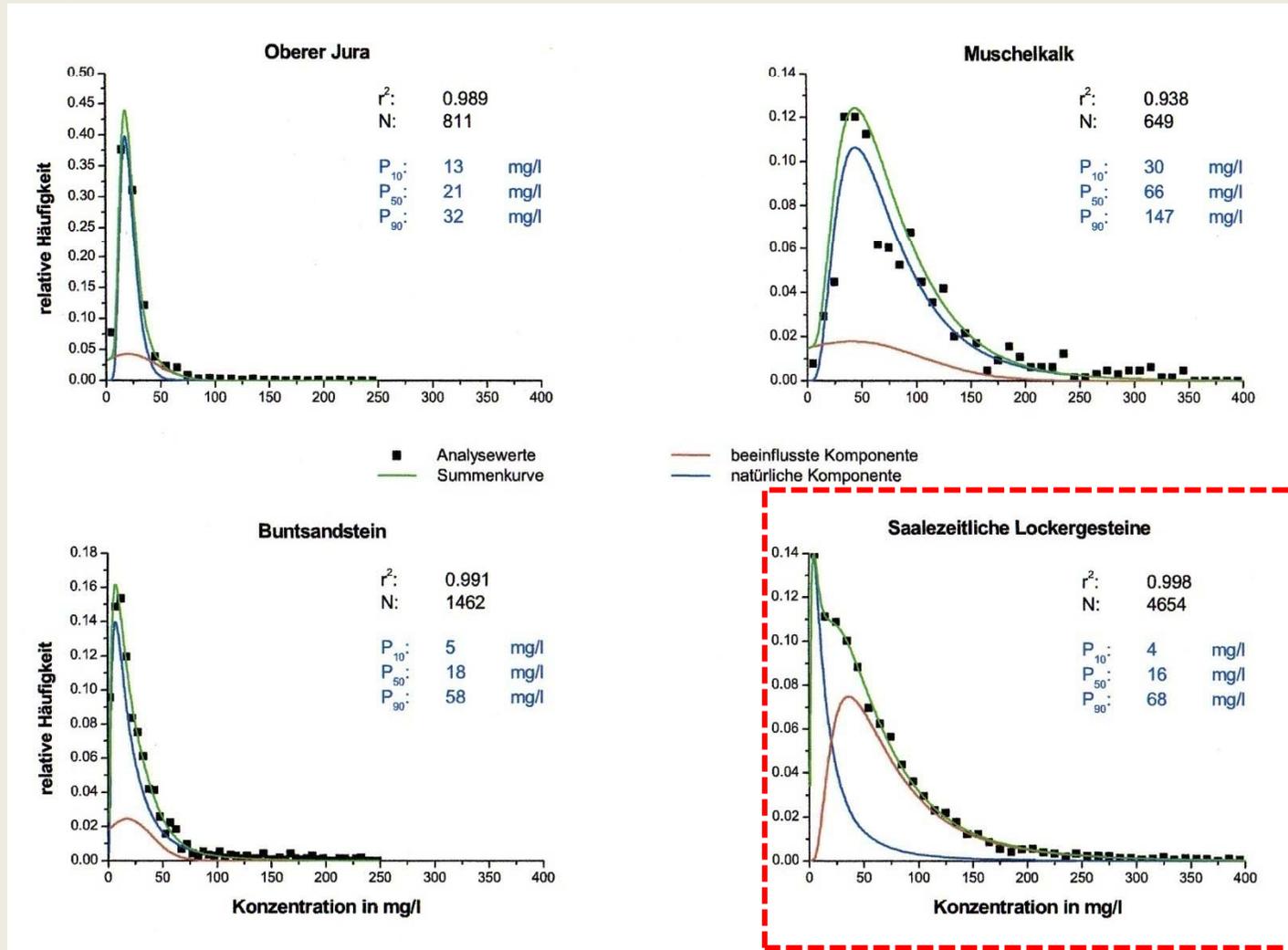


aus Kunkel et al. (2002)

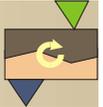


Denitrifikation im Grundwasser: Stoffumsätze

Sulfatkonzentrationen in Grundwässern hydrostratigraphischer Einheiten



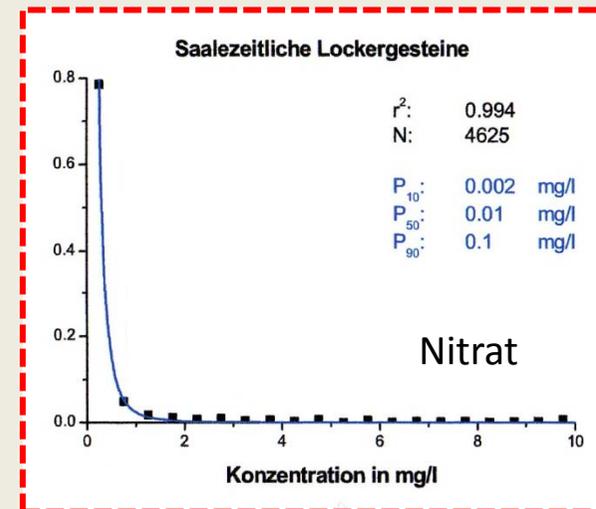
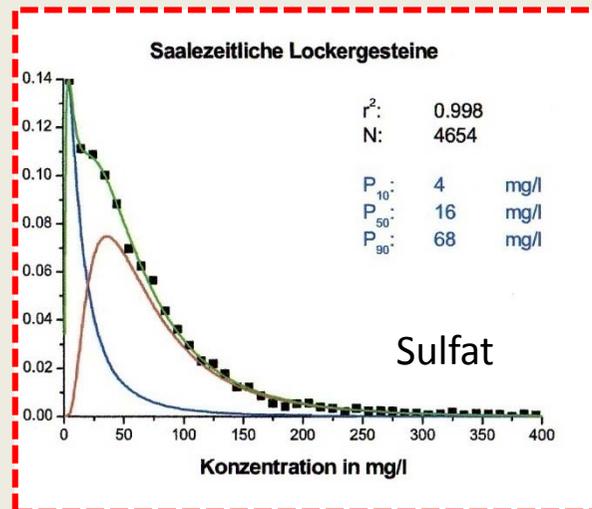
aus Kunkel et al. (2002)



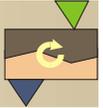
## Denitrifikation im Grundwasser: Stoffumsätze

Nitrat-/Sulfatkonzentrationen in Grundwässern hydrostratigraphischer Einheiten

**Fazit: *verbreitet* unerwartet niedrige Nitratkonzentrationen  
und „unnatürlich“ hohe Sulfatkonzentrationen**  
➔ **Nitratverbrauch / Sulfatbildung im Grundwasser**



aus Kunkel et al. (2002)

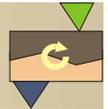


## Denitrifikation im Grundwasser: Stoffumsätze - **Fallstudie Fuhrberger Feld**

Nähere Betrachtungen zu Nitratabbau und Sulfatbildung im Grundwasser am Beispiel der

### **Fallstudie Fuhrberger Feld**

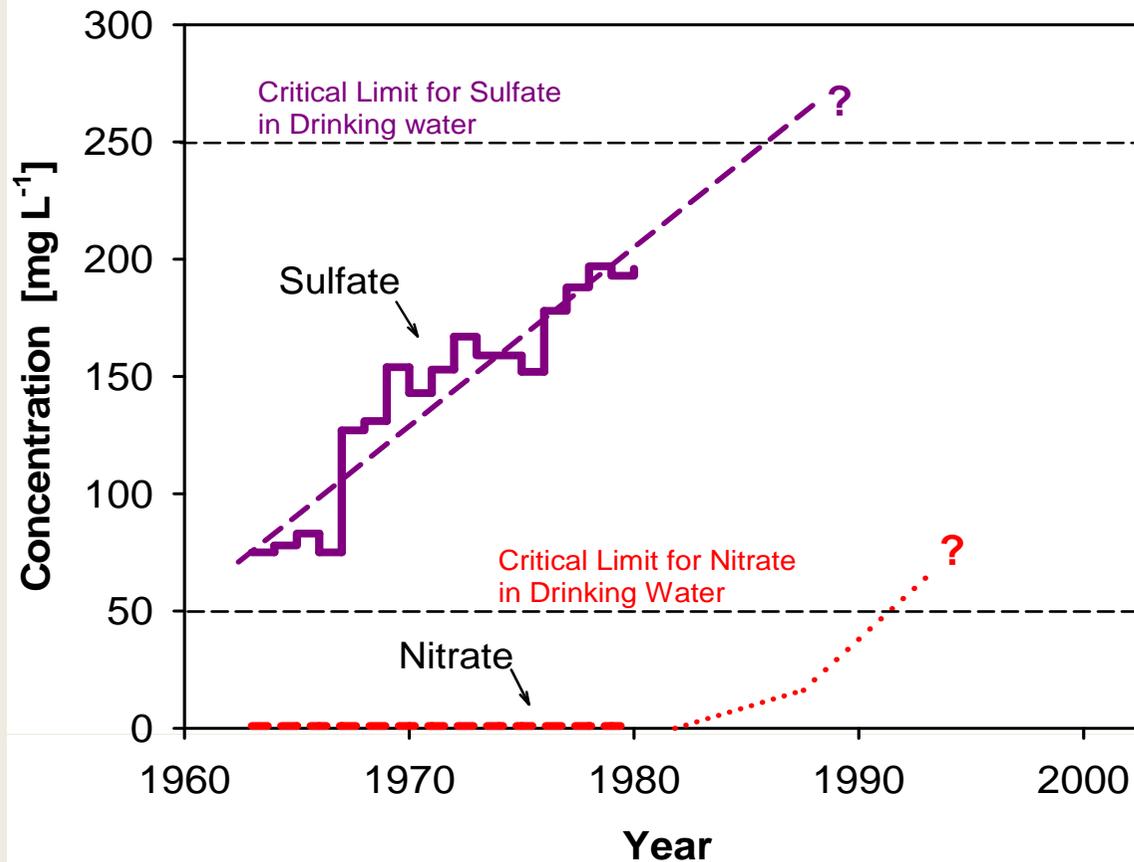
begonnen Anfang der 1980er Jahre

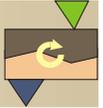


## Denitrifikation im Grundwasser: Stoffumsätze - Fallstudie Fuhrberger Feld

## Der Anlass

Stoffkonzentrationen im Rohwasser von Br. 1, WW Fuhrberg





## Denitrifikation im Grundwasser: Stoffumsätze - Fallstudie Fuhrberger Feld

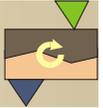
### Die Initiatoren



**Dr. Walter Kölle**  
Stadtwerke Hannover AG

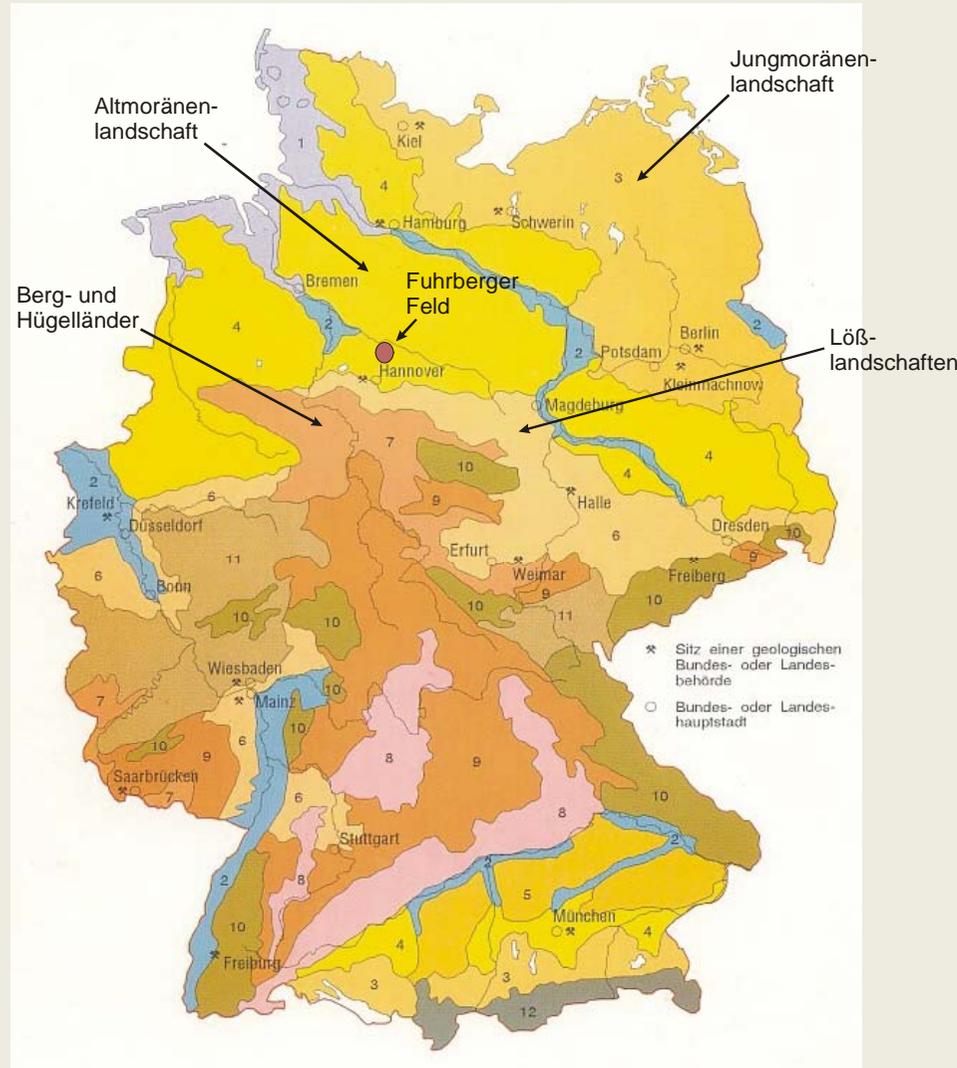


**Dr. Otto Strebel**  
† 2003  
Bundesanstalt für  
Geowissenschaften und Rohstoffe  
Hannover

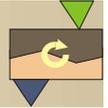


Denitrifikation im Grundwasser: Stoffumsätze - Fallstudie Fuhrberger Feld

Wo?

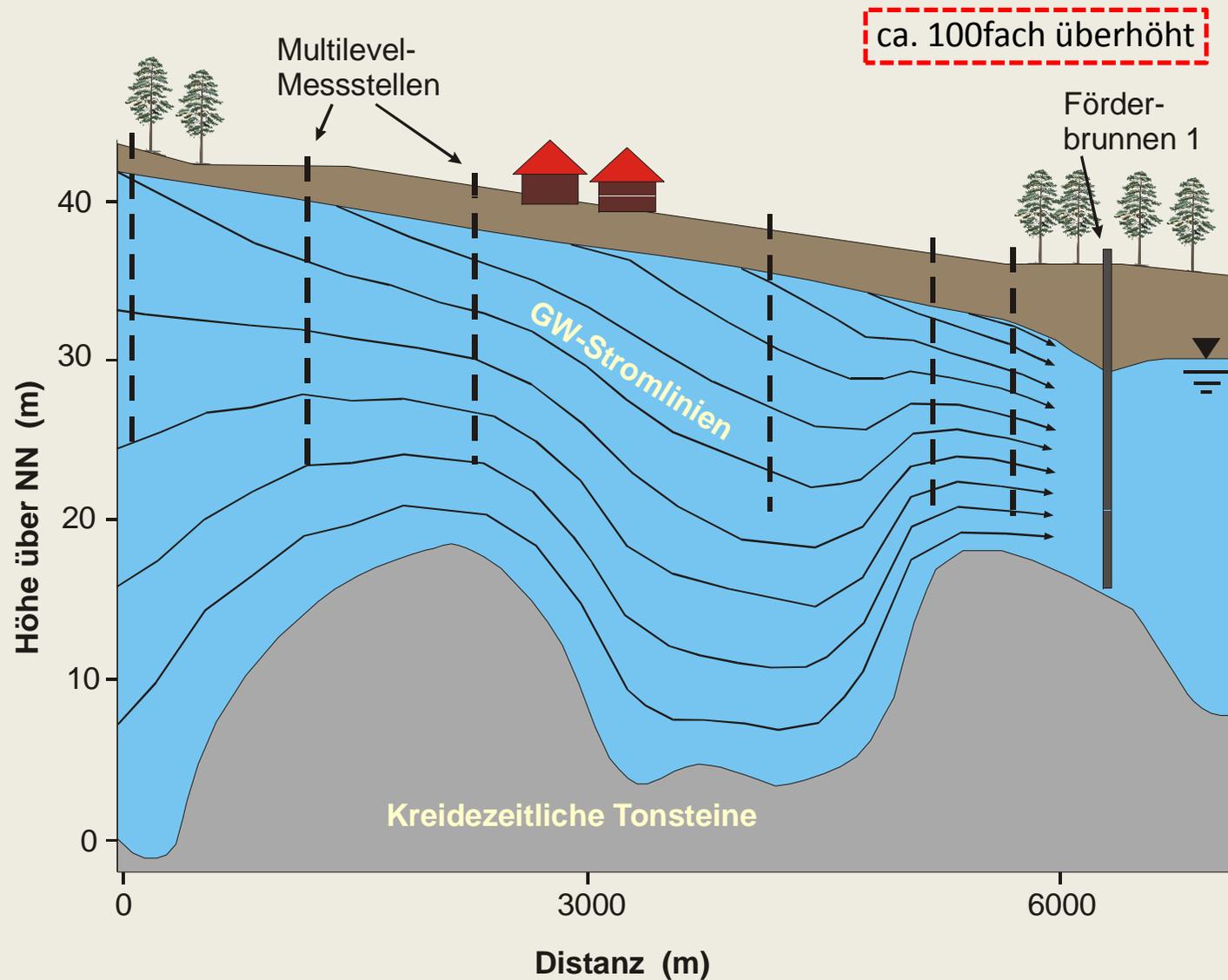


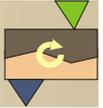
Karte: BGR, Hannover



## Denitrifikation im Grundwasser: Stoffumsätze - Fallstudie Fuhrberger Feld

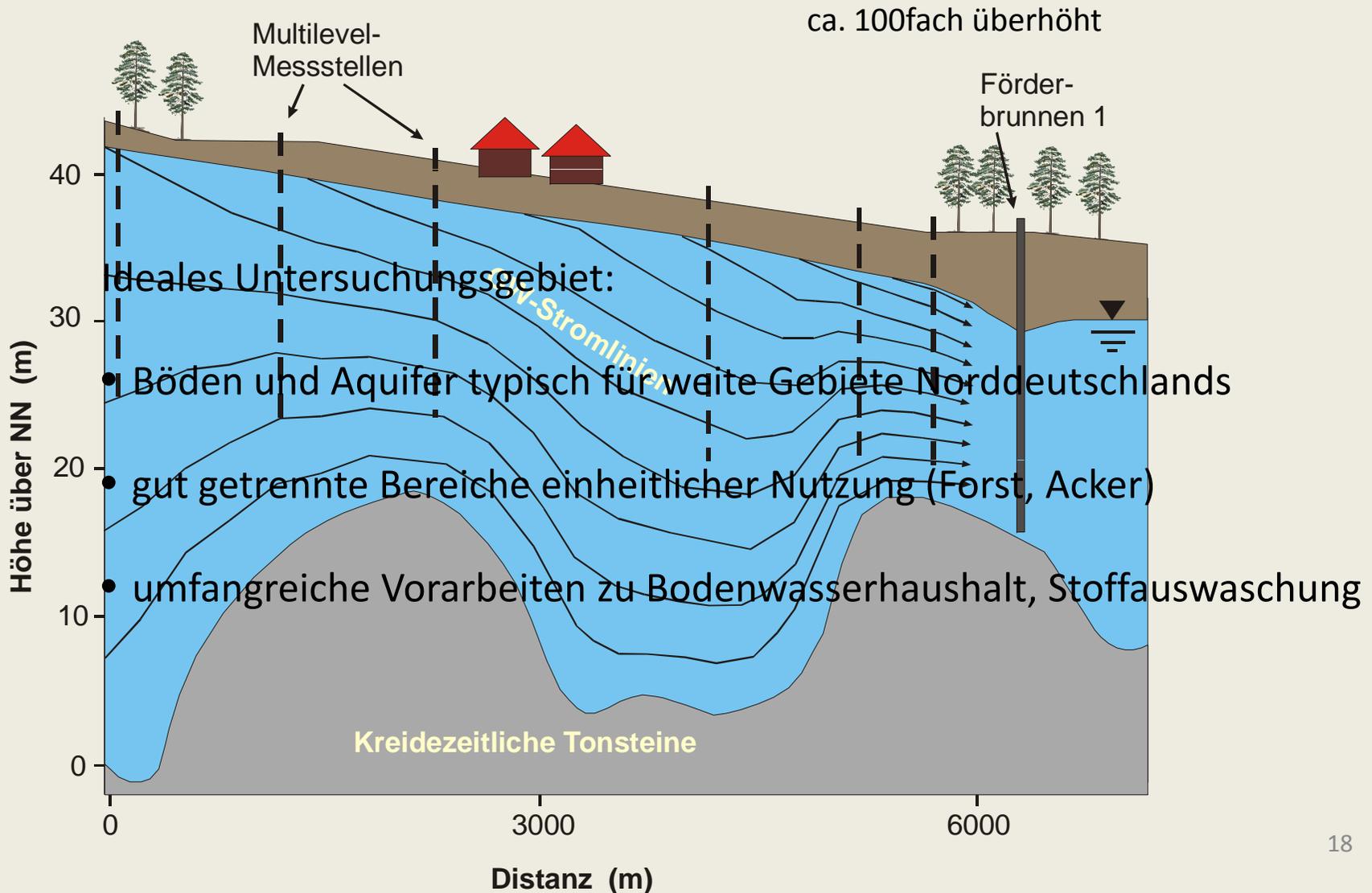
## Vertikalschnitt (Süd - Nord) durch den Aquifer

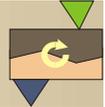




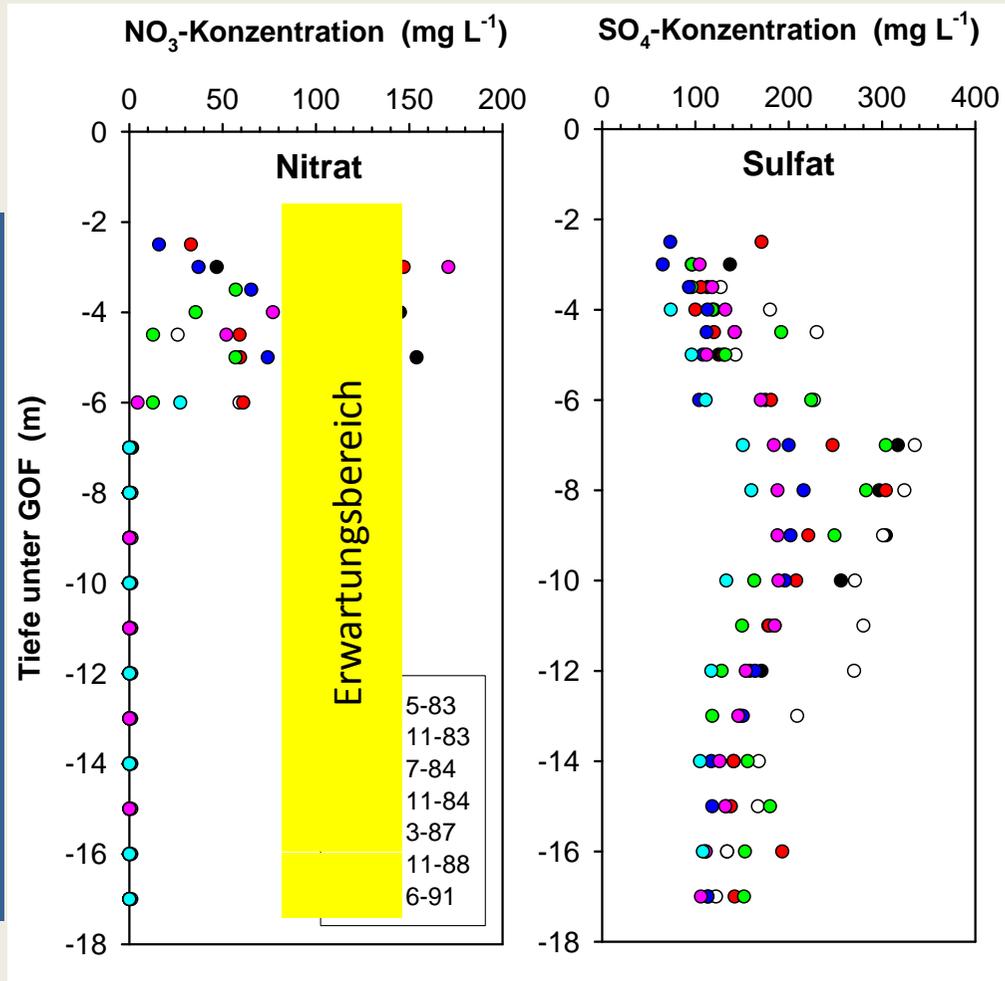
Denitrifikation im Grundwasser: Stoffumsätze - Fallstudie Fuhrberger Feld

Vertikalschnitt (Süd - Nord) durch den Aquifer

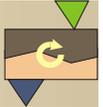




## Denitrifikation im Grundwasser: Stoffumsätze - Fallstudie Fuhrberger Feld

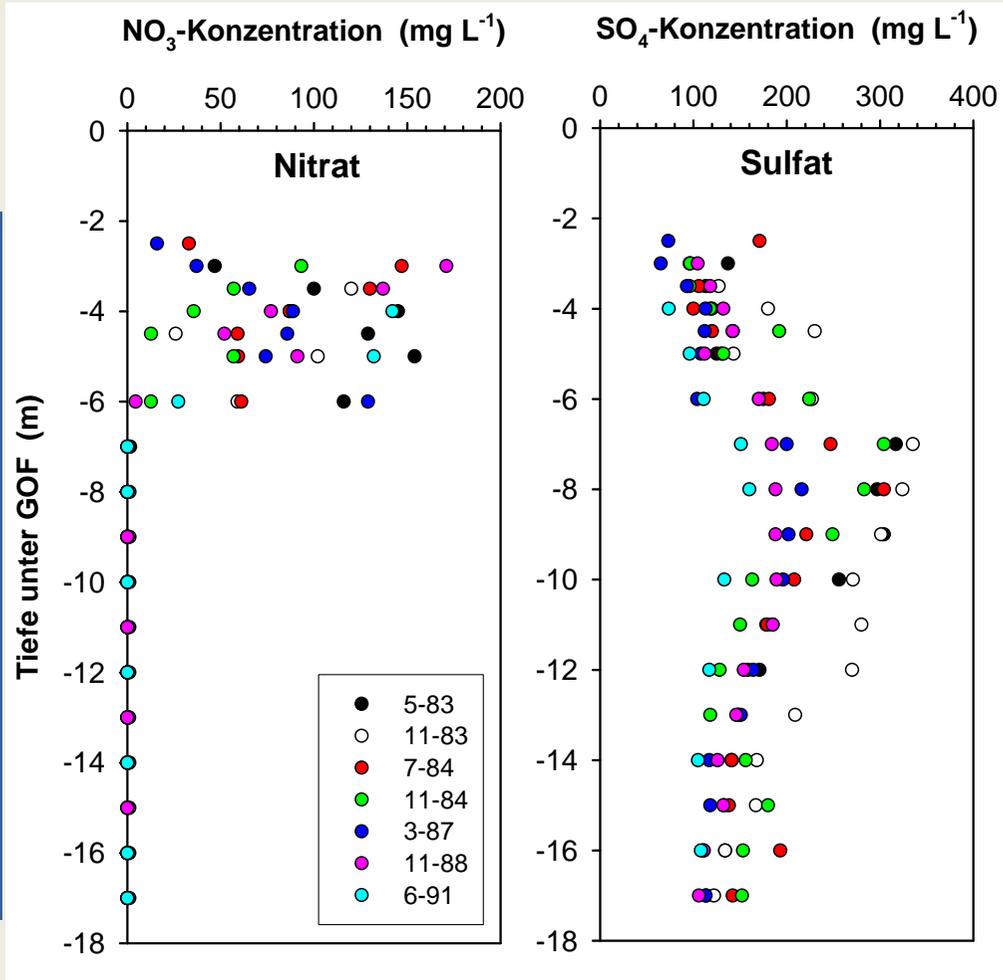
Typische  $\text{NO}_3^-$ - und  $\text{SO}_4^-$ -Tiefenfunktionen  
(Messstelle N 10, in Ackerumgebung)

nach Strebel et al. (1993), verändert

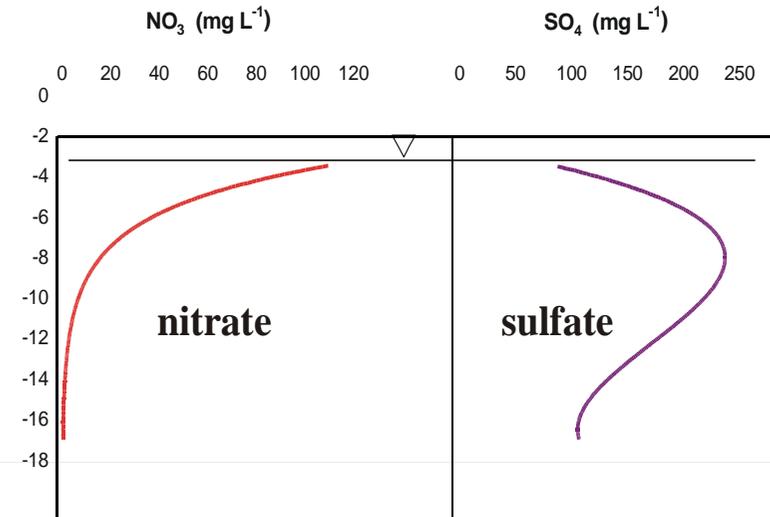


Denitrifikation im Grundwasser: Stoffumsätze - Fallstudie Fuhrberger Feld

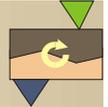
Typische  $\text{NO}_3^-$ - und  $\text{SO}_4^{2-}$ -Tiefenfunktionen  
(Messstelle in Ackerumgebung)



schematisiert

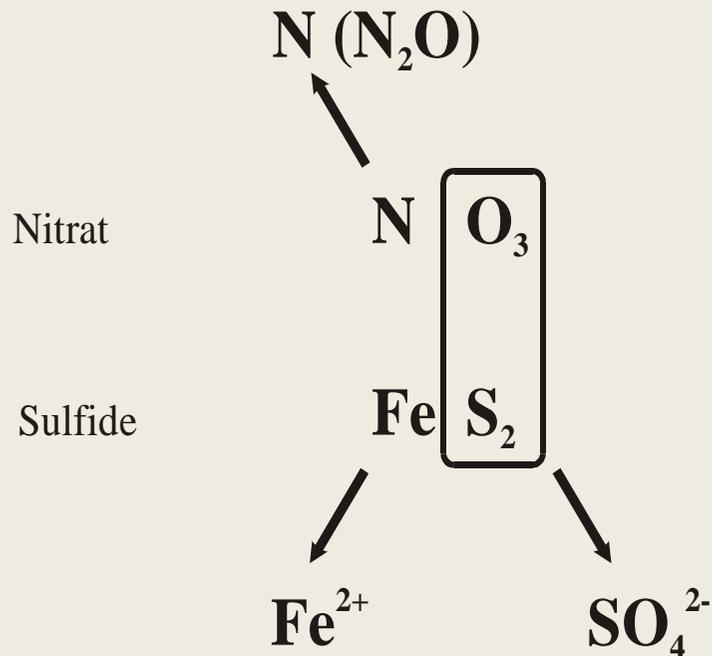


Denitrifikation



## Denitrifikation im Grundwasser: Stoffumsätze - Fallstudie Fuhrberger Feld

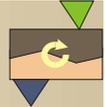
## Denitrifikation mit reduzierten Schwefelverbindungen (Sulfide)



Stöchiometrie:

Faktor  $\text{NO}_3 \rightarrow \text{SO}_4$  : ~ 1.1*Thiobacillus denitrificans*

nach Kölle et al. (1983)

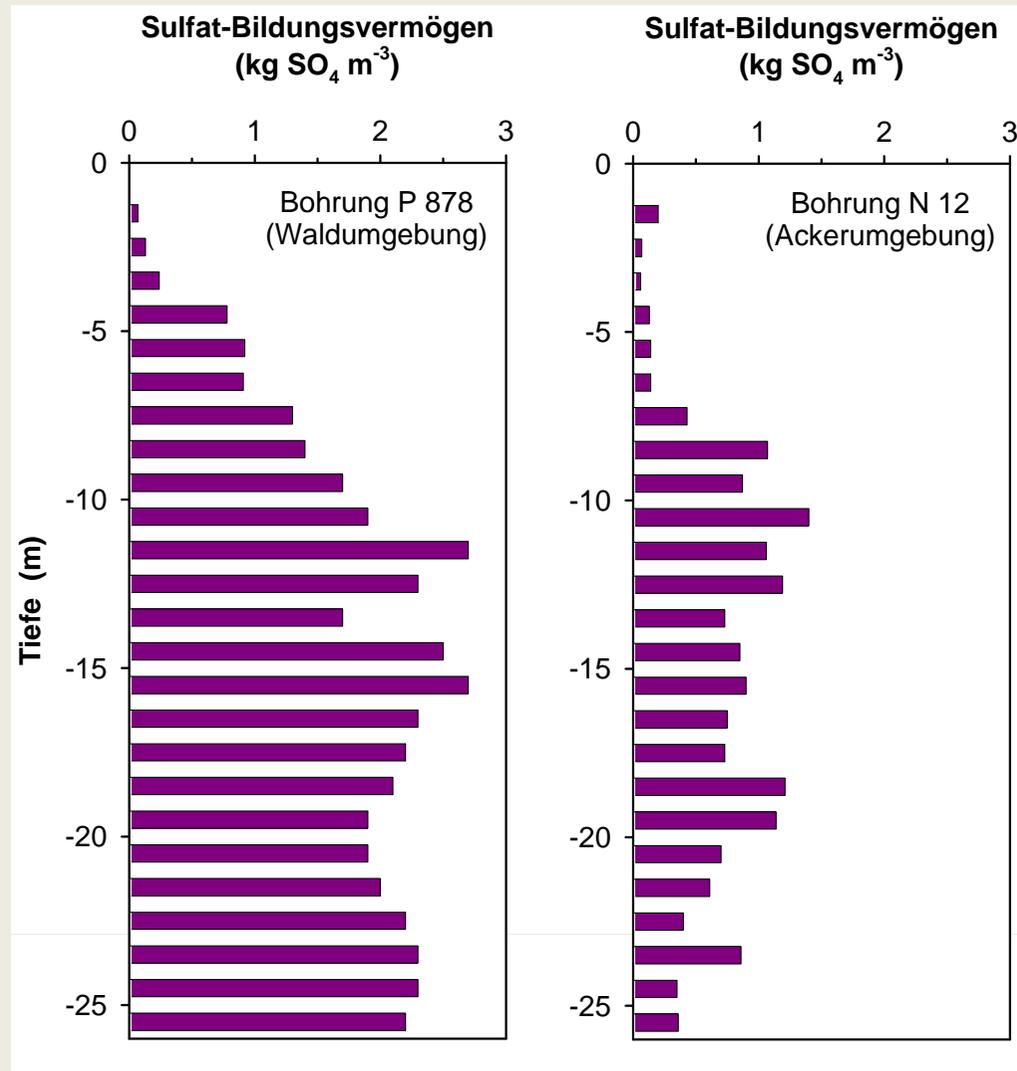


## Denitrifikation im Grundwasser: Stoffumsätze - Fallstudie Fuhrberger Feld

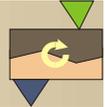
Sulfatbildungsvermögen des  
Sedimentmaterials

= umsetzbare Sulfide

→ Voraussetzung für die  
Denitrifikation



nach Kölle et al. (1985, 1990), verändert



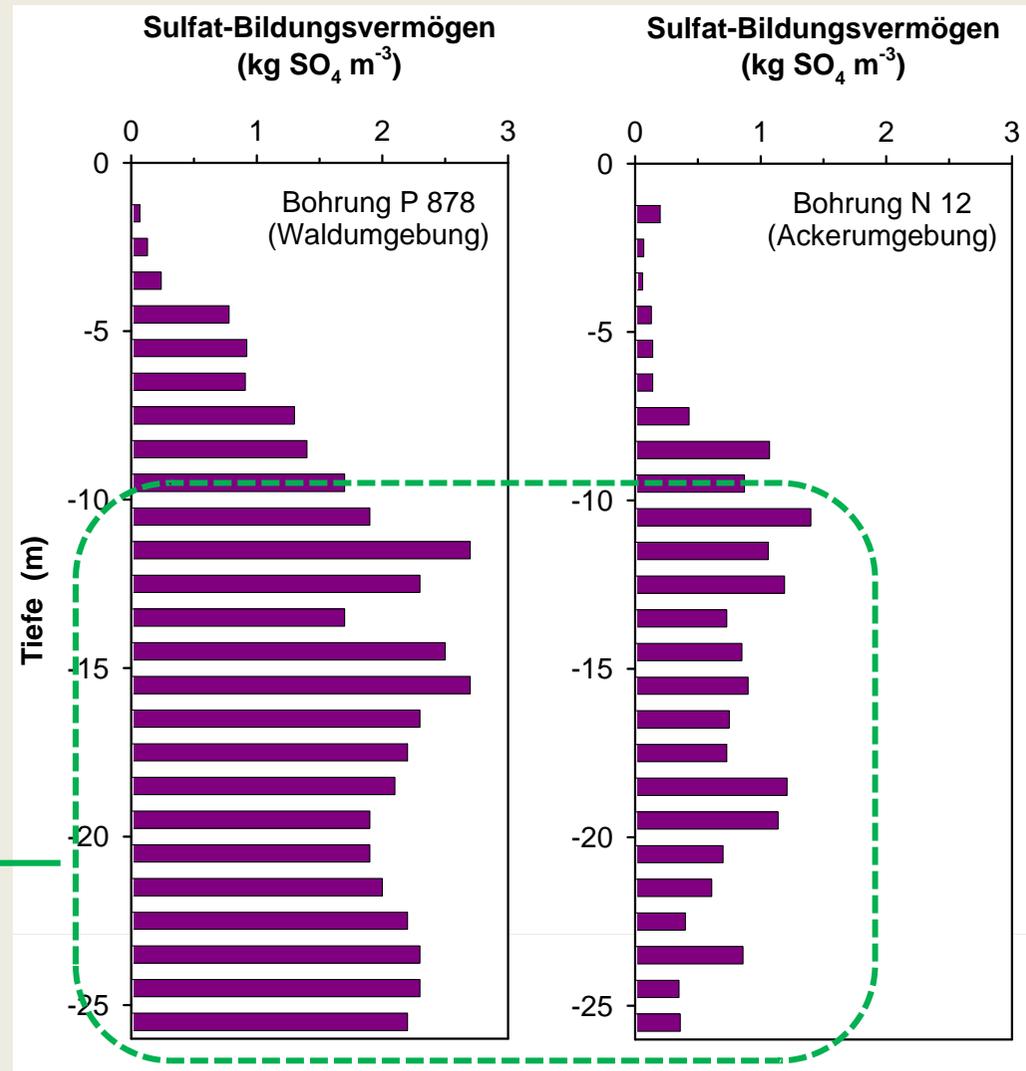
## Denitrifikation im Grundwasser: Stoffumsätze - Fallstudie Fuhrberger Feld

Sulfatbildungsvermögen des  
Sedimentmaterials

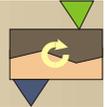
= umsetzbare Sulfide

→ Voraussetzung für die  
Denitrifikation

Unterschiede in größerer  
Tiefe beruhen auf „normaler“  
räumlicher Heterogenität



nach Kölle et al. (1985, 1990), verändert



## Denitrifikation im Grundwasser: Stoffumsätze - Fallstudie Fuhrberger Feld

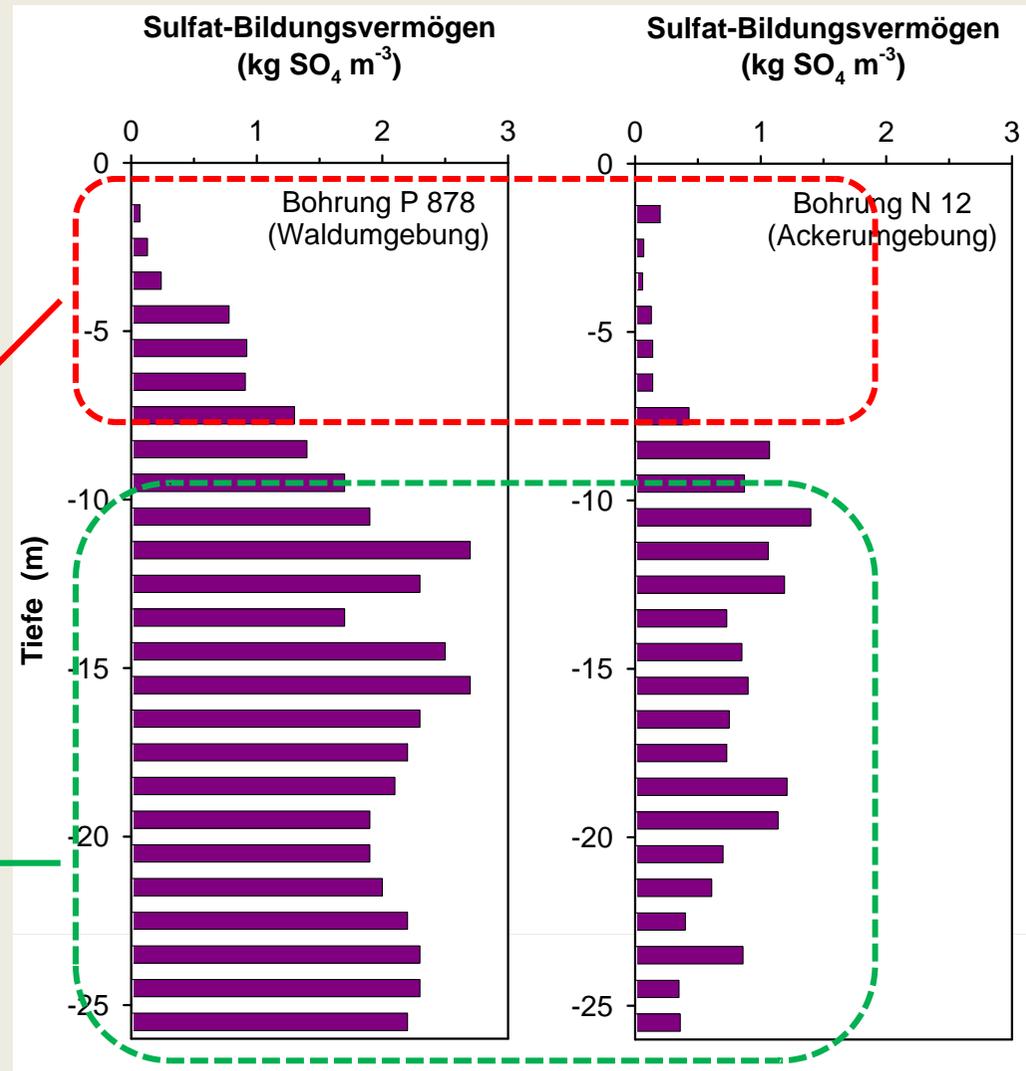
Sulfatbildungsvermögen des  
Sedimentmaterials

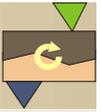
= umsetzbare Sulfide

➔ Voraussetzung für die  
Denitrifikation

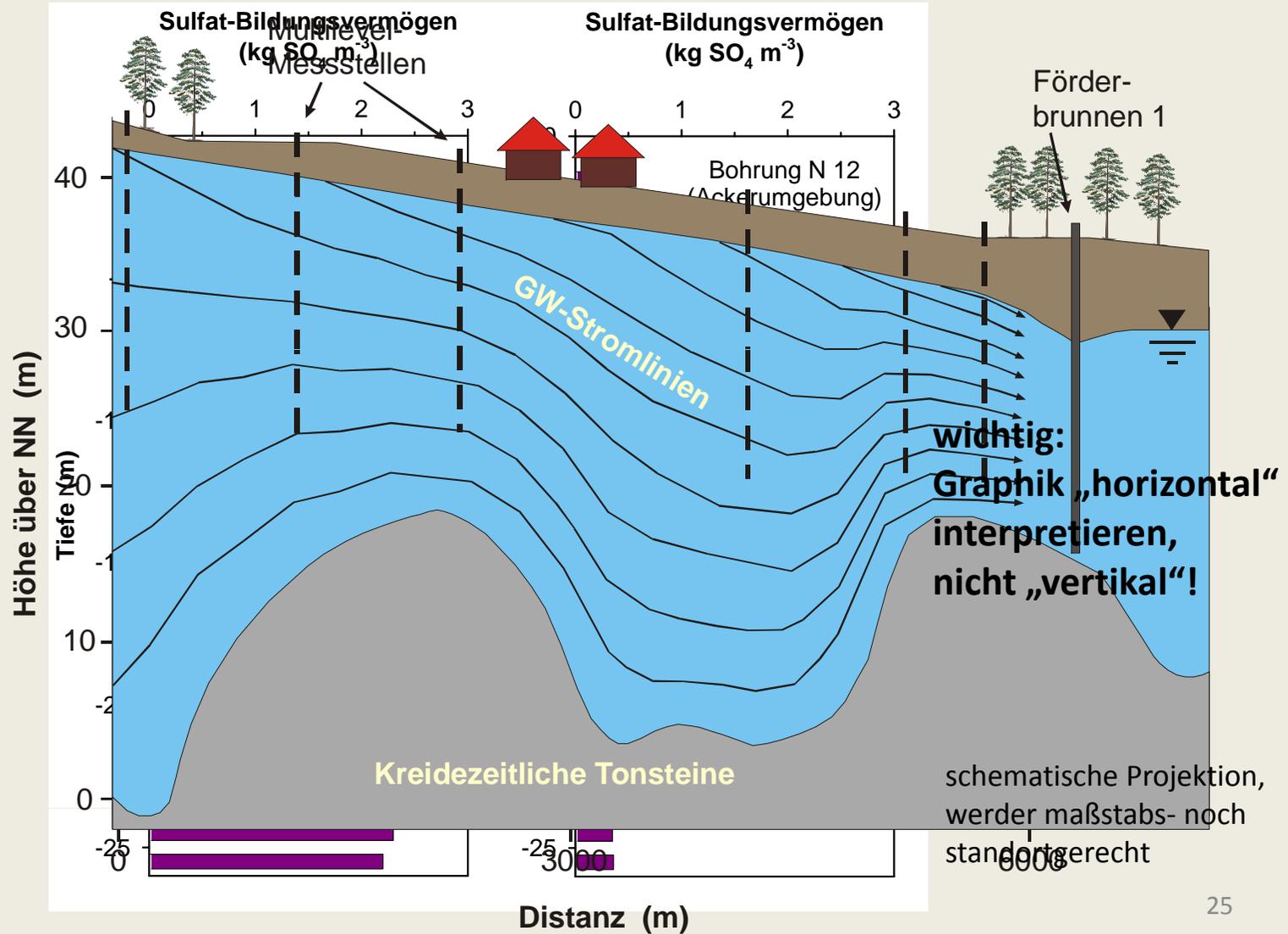
Oberflächennahe Unterschiede  
deuten auf Verbrauch der  
Sulfide durch Nitrat aus Äckern  
hin!

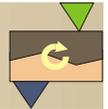
Unterschiede in größerer  
Tiefe beruhen auf „normaler“  
räumlicher Heterogenität.





Denitrifikation im Grundwasser: Stoffumsätze - Fallstudie Fuhrberger Feld

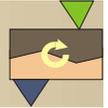




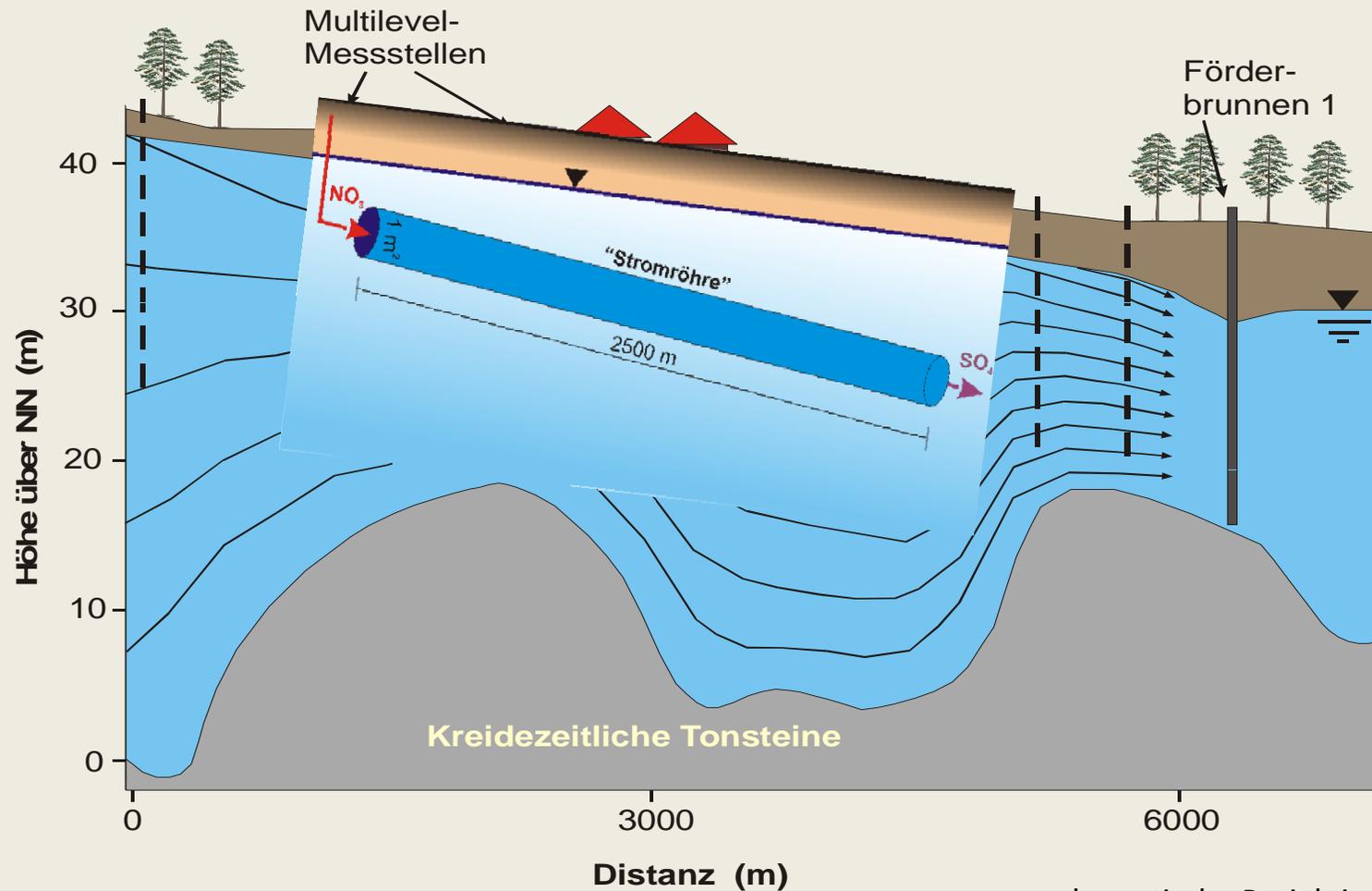
## Denitrifikation im Grundwasser: **Nachhaltigkeit**

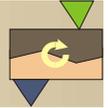
### Aspekte zur **Nachhaltigkeit** der Denitrifikation:

- Aufbrauch des Sulfidvorrats
- Bedeutung der Denitrifikation mit Kohlenstoffverbindungen
- Freisetzung von Schadstoffen

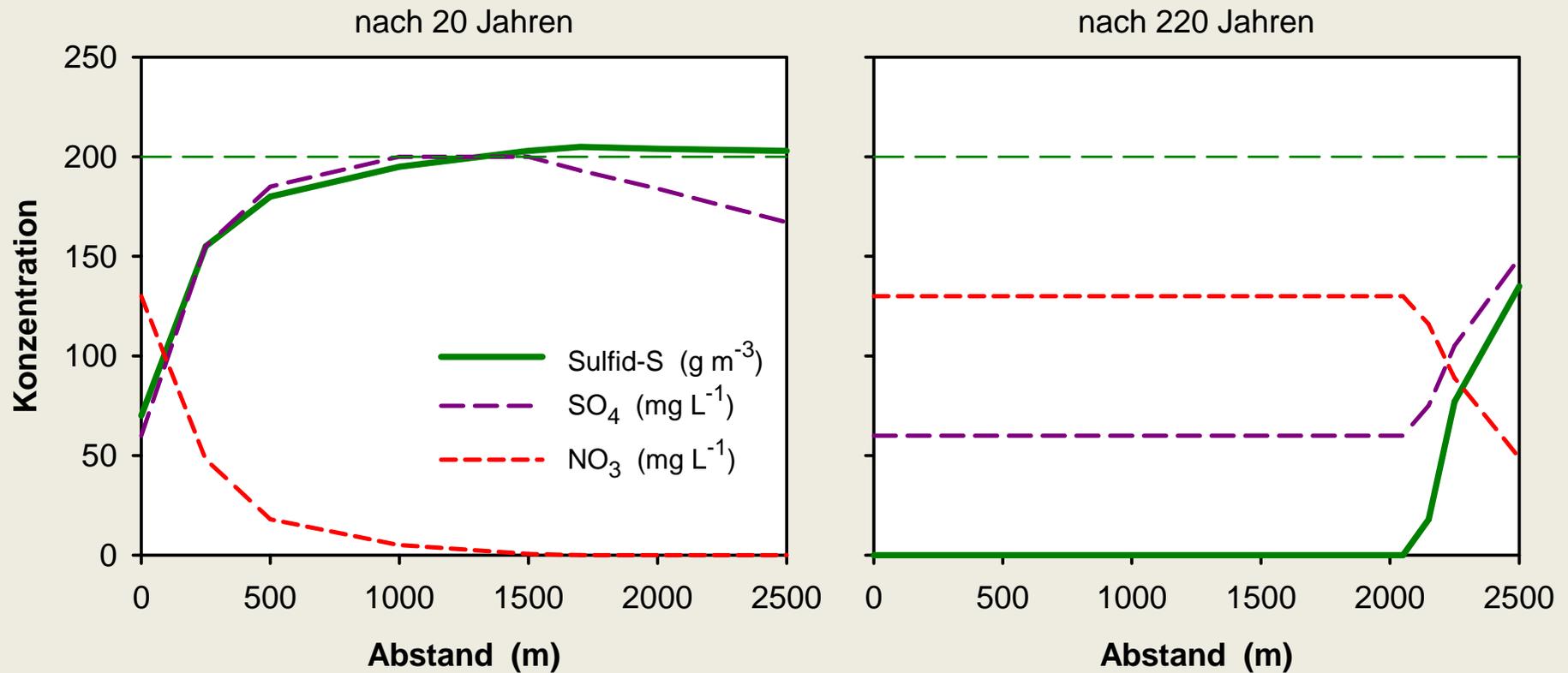


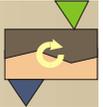
## Denitrifikation im Grundwasser: Nachhaltigkeit

Aufbrauch des Sulfidvorrats: **Modellrechnungen** für eine 1d-Stromröhreschematische Projektion,  
nicht maßstabsgerecht



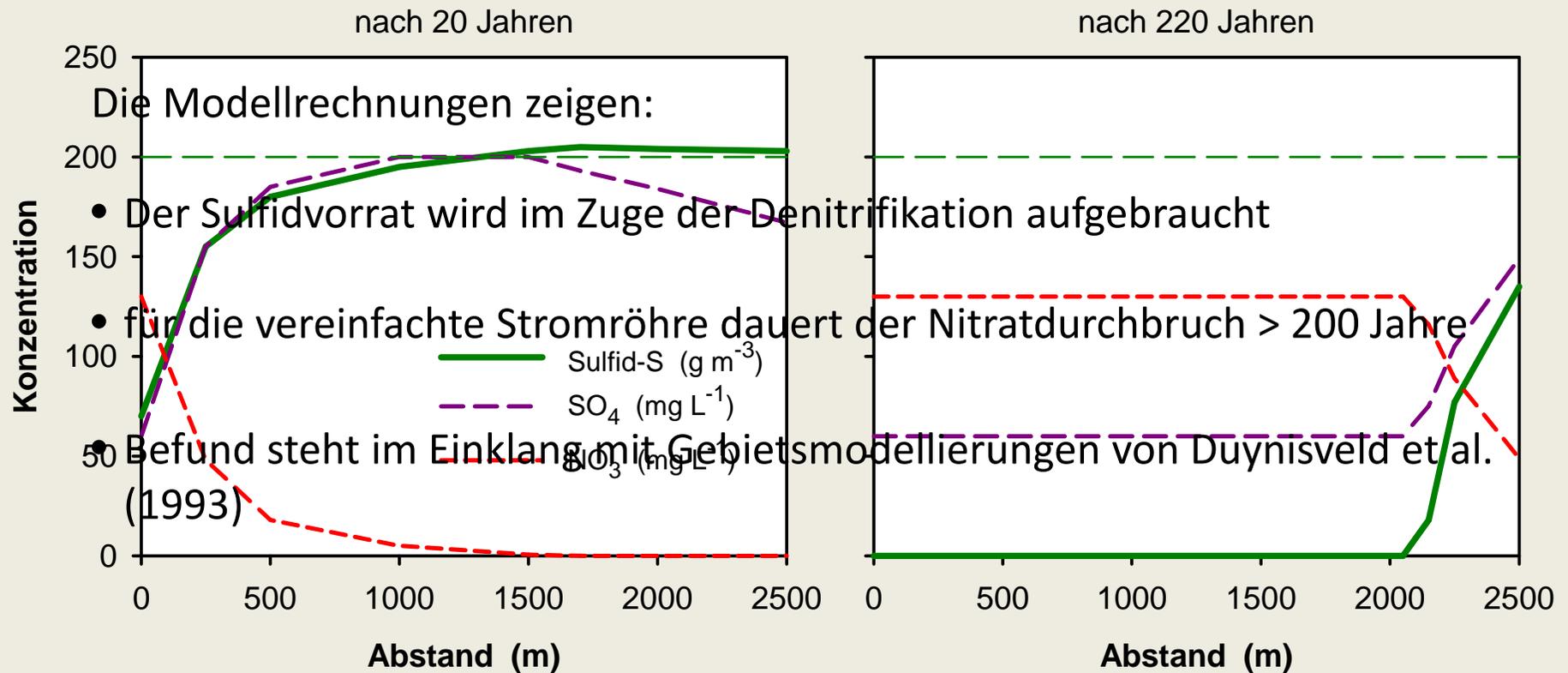
## Denitrifikation im Grundwasser: Nachhaltigkeit

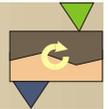
Aufbrauch des Sulfidvorrats: **Modellrechnungen** für eine 1d-Stromröhre



## Denitrifikation im Grundwasser: Nachhaltigkeit

Aufbrauch des Sulfidvorrats: **Modellrechnungen** für eine 1d-Stromröhre



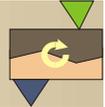


## Denitrifikation im Grundwasser: Nachhaltigkeit

### Bedeutung der **Denitrifikation mit Kohlenstoffverbindungen (Corg)**

In pleistozänen Grundwasserleitern sind (fast) immer feste und gelöste organische Kohlenstoffverbindungen vorhanden, aber in niedrigen Konzentrationen (0.1 - 1 Gew. % Corg in Fuhrberg).

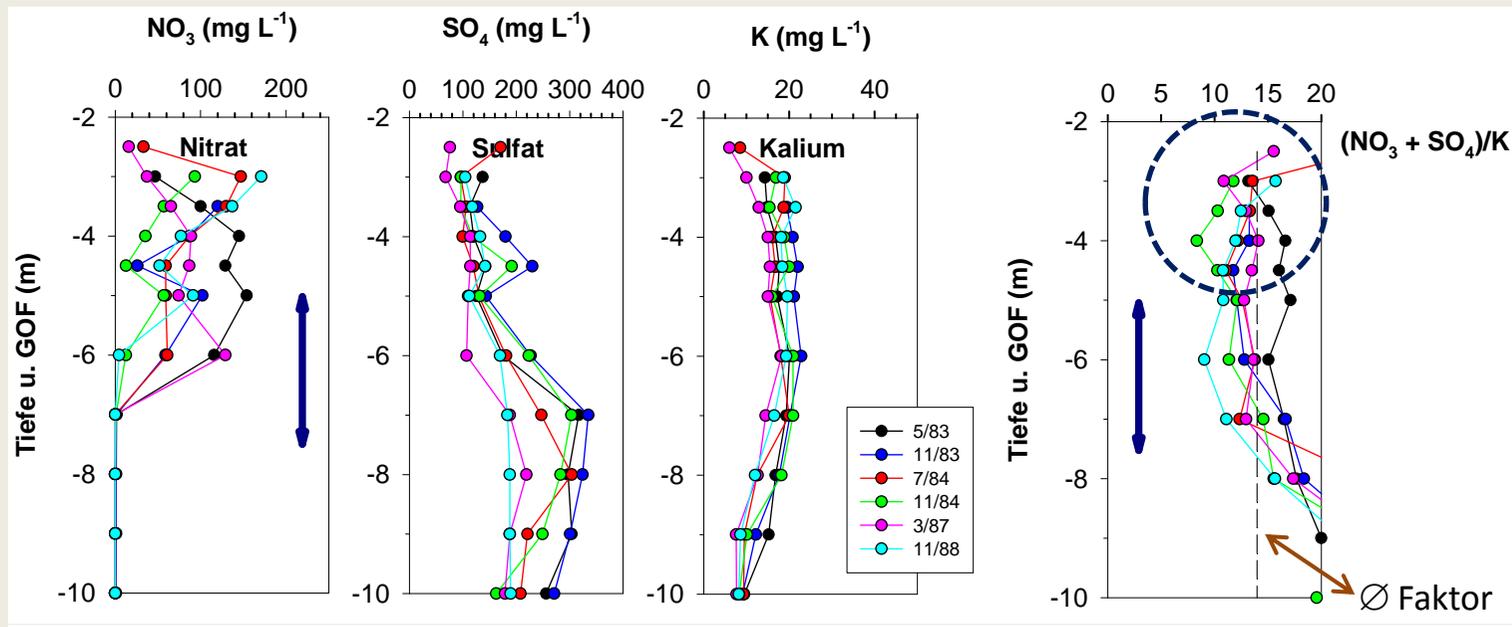
- Denitrifikation mit Corg ist aus Oberböden gut bekannt
- $5 \text{ CH}_2\text{O} + 4 \text{ NO}_3^- \rightarrow 2 \text{ N}_2 + 4 \text{ HCO}_3^- + \text{ CO}_2 + 3 \text{ H}_2\text{O}$  (nach Rivett et al. 2008)
- puffert  $\text{H}^+$ -Ionen, hebt also den pH-Wert, wegen  $\text{HCO}_3^-$ -Bildung



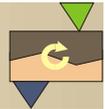
## Denitrifikation im Grundwasser: Nachhaltigkeit

## Bedeutung der Denitrifikation mit Kohlenstoffverbindungen (Corg)

kein Trend zu Faktoren  $< \emptyset$   
→ Denitrifikation mit Corg  
unbedeutend



Fallstudie Fuhrberger Feld, Messstelle N10, Denitrifikation mit Sulfiden in ca. 5 – 7 m Tiefe



## Denitrifikation im Grundwasser: Nachhaltigkeit

### Bedeutung der Denitrifikation mit Kohlenstoffverbindungen (Corg)

Anhand der Felddaten (*in situ*) der Fallstudie Fuhrberger Feld ist festzustellen:

- Der Denitrifikation mit Corg kommt offensichtlich keine große Bedeutung zu

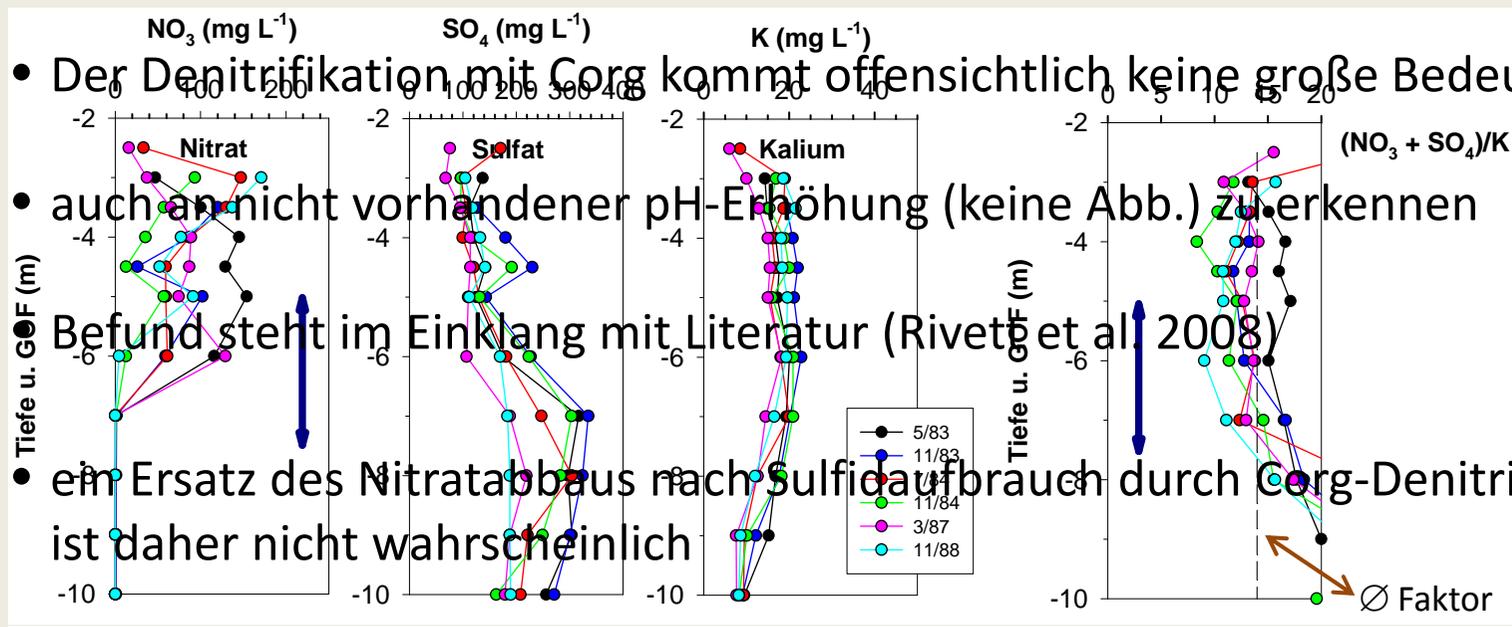
- auch an nicht vorhandener pH-Erhöhung (keine Abb.) zu erkennen

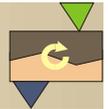
Befund steht im Einklang mit Literatur (Rivett et al. 2008)

- ein Ersatz des Nitratabbaus nach Sulfidaufbrauch durch Corg-Denitrifikation ist daher nicht wahrscheinlich

- Ausnahmen an Sonderstandorten (z. B. in Flussauen) sind denkbar

Messtelle N10 im FF, Denitrifikation mit Sulfid in ca. 5 – 7 m Tiefe

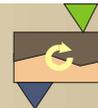




## Denitrifikation im Grundwasser: Nachhaltigkeit

### Freisetzung von Schadstoffen

- klimarelevantes Spurengas  $\text{N}_2\text{O}$

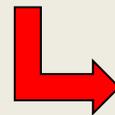
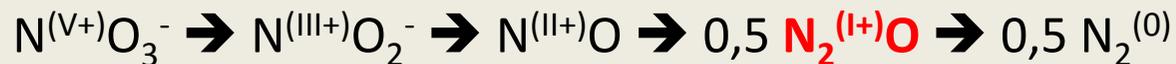


## Denitrifikation im Grundwasser: Nachhaltigkeit

### Freisetzung von Schadstoffen

- klimarelevantes **Spurengas N<sub>2</sub>O**

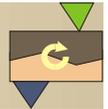
*obligatorisches* Zwischenprodukt bei der Reduktion von NO<sub>3</sub> zu N<sub>2</sub>:



Gefahr der N<sub>2</sub>O-Entgasung

Treibhauspotential CO<sub>2</sub> : N<sub>2</sub>O  
gleich 1 : ca. 270 !!

über die N<sub>2</sub>O-Problematik berichtet Dr. R. Well im Anschluss!

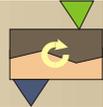


## Denitrifikation im Grundwasser: Nachhaltigkeit

### Freisetzung von Schadstoffen

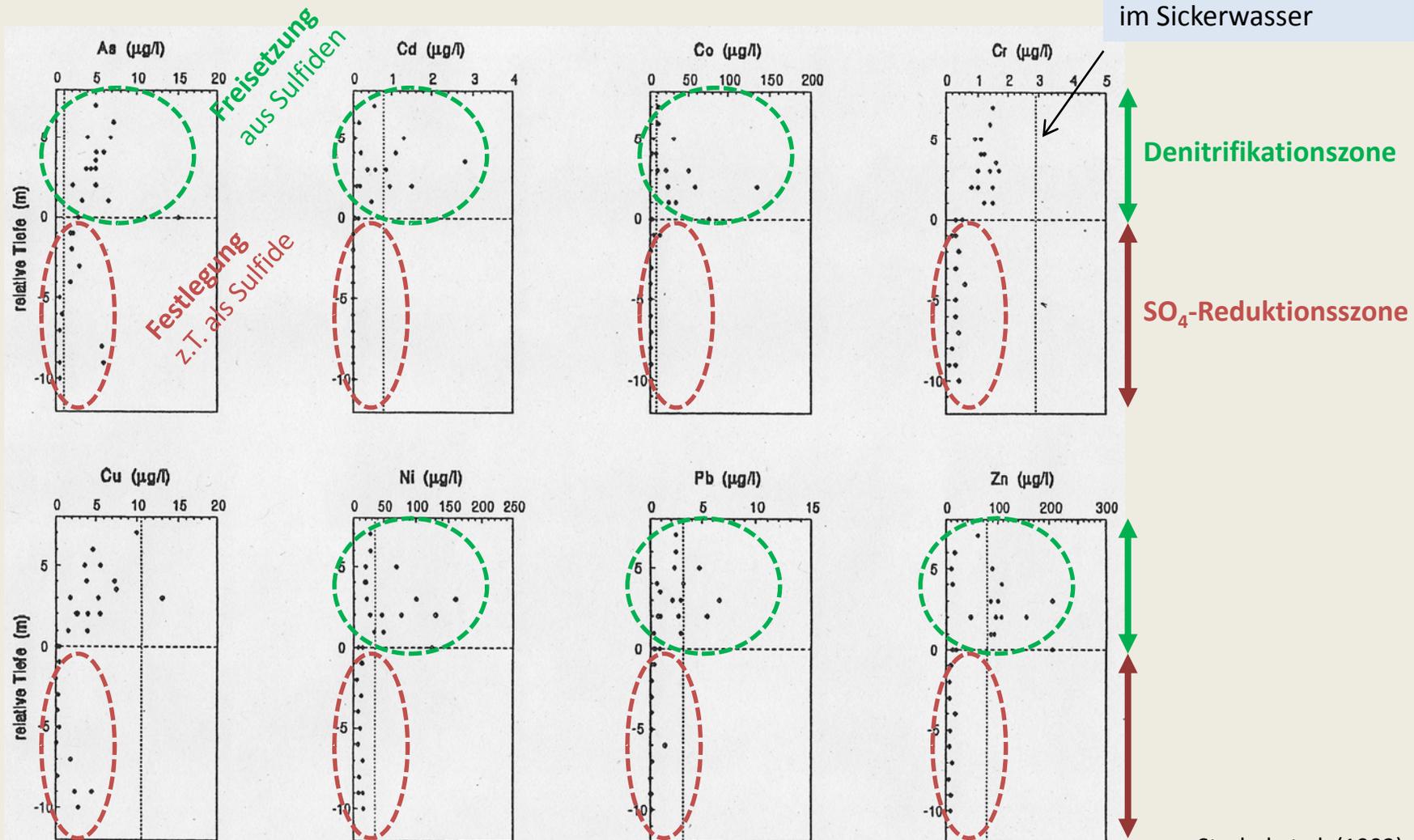
- klimarelevantes Spurengas  $\text{N}_2\text{O}$
- **Schwermetalle**

Schwermetalle sind als Beimengungen in vielen geogenen Sulfiden enthalten.



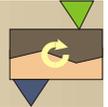
Denitrifikation im Grundwasser: Nachhaltigkeit

Freisetzung von Schadstoffen: **Schwermetalle**

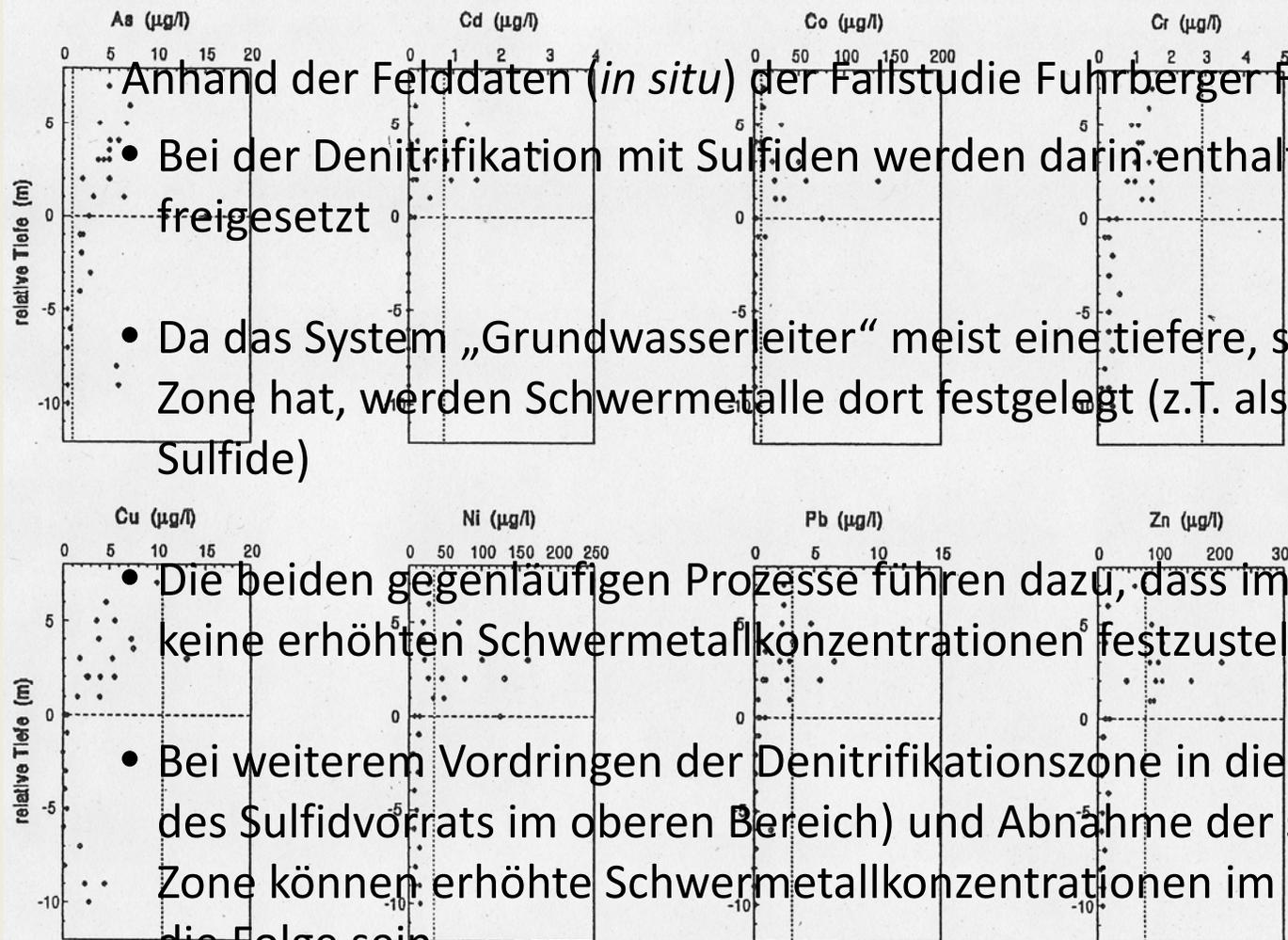


Arsen ist kein SM! Es wird trotzdem mit aufgeführt.

aus Strebel et al. (1993)



## Denitrifikation im Grundwasser: Nachhaltigkeit

Freisetzung von Schadstoffen: **Schwermetalle**

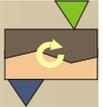
Anhand der Felddaten (*in situ*) der Fallstudie Fuhrberger Feld ist festzustellen:

- Bei der Denitrifikation mit Sulfiden werden darin enthaltene Schwermetalle freigesetzt

- Da das System „Grundwasserleiter“ meist eine tiefere, stark reduzierende Zone hat, werden Schwermetalle dort festgelegt (z.T. als neu gebildete Sulfide)

- Die beiden gegenläufigen Prozesse führen dazu, dass im Brunnen-Rohwasser keine erhöhten Schwermetallkonzentrationen festzustellen waren

- Bei weiterem Vordringen der Denitrifikationszone in die Tiefe (durch Verlust des Sulfidvorrats im oberen Bereich) und Abnahme der stark reduzierenden Zone können erhöhte Schwermetallkonzentrationen im Brunnen-Rohwasser die Folge sein



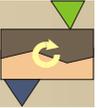
## Denitrifikation im Grundwasser: Nachhaltigkeit

### Fazit Nachhaltigkeit

Die **Denitrifikation im Grundwasser** ist **nicht nachhaltig**, weil sie

- die endlichen Vorräte an Sulfiden verbraucht,
- die Grundwasserqualität ungünstig beeinflusst (Sulfathärte),
- und mit der Freisetzung von Schadstoffen verbunden ist.

Unbestreitbar schafft sie aber zeitweise Erleichterung in der schwierig zu lösenden Nitratproblematik.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit und Geduld!



## Denitrifikation im Grundwasser

### Literaturverzeichnis

- Böttcher, J. & O. Strebel, 1985: Die mittlere Nitratkonzentration des Grundwassers in Sandgebieten in Abhängigkeit von der Bodennutzungsverteilung. *Wasser und Boden*, 37: 383 - 387.
- Böttcher, J., O. Strebel & W.H.M. Duynisveld, 1989: Kinetik und Modellierung gekoppelter Stoffumsetzungen im Grundwasser eines Lockergesteins-Aquifers. *Geol. Jahrbuch, Reihe C, Heft 51*, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Duynisveld, W.H.M., O. Strebel & J. Böttcher, 1993: Prognose der Grundwasserqualität in einem Wassereinzugsgebiet mit Stofftransportmodellen. *Texte*, 5/93, Umweltbundesamt, Berlin.
- Köhler, K., W.H.M. Duijnsveld & J. Böttcher, 2006: Nitrogen fertilization and nitrate leaching into groundwater on arable sandy soils. *J. Plant Nutrition Soil Science*, 169: 185 - 195.
- Kölle, W., P. Werner, O. Strebel & J. Böttcher, 1983: Denitrifikation in einem reduzierenden Grundwasserleiter. *Vom Wasser*, 61: 125 - 147.
- Kölle, W., O. Strebel & J. Böttcher, 1985: Formation of sulfate by microbial denitrification in a reducing aquifer. *Water Supply*, 3: 35 - 40.
- Kölle, W., O. Strebel & J. Böttcher, 1990: Reduced sulphur compounds in sandy aquifers and their interactions with groundwater. *Groundwater Monitoring and Management*, IAHS Publ. no. 173: 23 - 30.
- Kunkel, R., S. Hannappel, H.-J. Voigt & F. Wendland, 2002: Die natürliche Grundwasserbeschaffenheit ausgewählter hydrostratigrafischer Einheiten in Deutschland, Endbericht.  
[http://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/cms/WaBoAb\\_prod/WaBoAb/Vorhaben/LAWA/Vorhaben\\_des\\_Ausschusses\\_Grundwasser\\_und\\_Wasserversorgung\\_%28AG%29/G\\_3.02/endbericht\\_g\\_302.pdf](http://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/cms/WaBoAb_prod/WaBoAb/Vorhaben/LAWA/Vorhaben_des_Ausschusses_Grundwasser_und_Wasserversorgung_%28AG%29/G_3.02/endbericht_g_302.pdf)
- Renger, M., O. Strebel, G. Wessolek & W.H.M. Duynisveld, 1986: Evapotranspiration and groundwater recharge - A case study for different climate, crop patterns, soil properties and groundwater depth conditions. *Z. Pflanzenernährung Bodenkunde*, 149: 371 - 381.
- Ringe, H., J. Böttcher & W.H.M. Duijnsveld, 2003: Einfluss von Nadel- bzw. Mischforsten auf die Qualität der Grundwasserneubildung von Sandböden. *HORIZONTE*, Band 14, Der Andere Verlag, Osnabrück.
- Rivett, M.O., S.R. Buss, P. Morgan, J.W.N. Smith & C.D. Bemment, 2008: Nitrate attenuation in groundwater: A review of biogeochemical controlling processes. *Water Research*, 42: 4215 - 4232.
- Strebel, O. & J. Böttcher, 1989: Solute input into groundwater from sandy soils under arable land and coniferous forest: Determination of area-representative mean values of concentration. *Agricultural Water Management*, 15: 265 - 278.
- Strebel, O., J. Böttcher & W.H.M. Duynisveld, 1993: Ermittlung von Stoffeinträgen und deren Verbleib im Grundwasserleiter eines norddeutschen Wassergewinnungsgebietes. *Texte*, 46/93, Umweltbundesamt, Berlin.