

Aktuelle Ergebnisse der Lysimeterstation Brandis zu Nitratdynamiken im Sickerwasser landwirtschaftlich genutzter Lysimeter



Gliederung

- Hintergrund
- Stickstoffbilanzen & Bewirtschaftung
- Aufenthaltszeiten
- Isotopenuntersuchungen
- Schlussfolgerung
- Repräsentativität
- Ausblick
- Fragen



Abb. 1: Blick über das mit Winterweizen bestellte Lysimeterfeld im Mai 2019

Lysimeterstation Brandis

- Nordwest Sachsen
- Rand des mitteldeutschen Trockengebietes
- kontinuierlicher Betrieb seit Nov. 1980
- Landwirtschaft stark vom Wasserspeichervermögen des Bodens abhängig
- 10 verschiedene Böden
- landwirtschaftliche Bewirtschaftung entsprechend der regionaltypischen Fruchtfolgen und Düngestrategien
- Lysimeter:
 - monolithisch gewonnen (ungestört)
 - Tiefe: 3m



Abb. 1: Lage der Lysimeterstation Brandis in Sachsen (links), sowie Blick über das mit Winterweizen bestellte Lysimeterfeld im Februar 2019

Warum Lysimeter ?



Warum Lysimeter ?

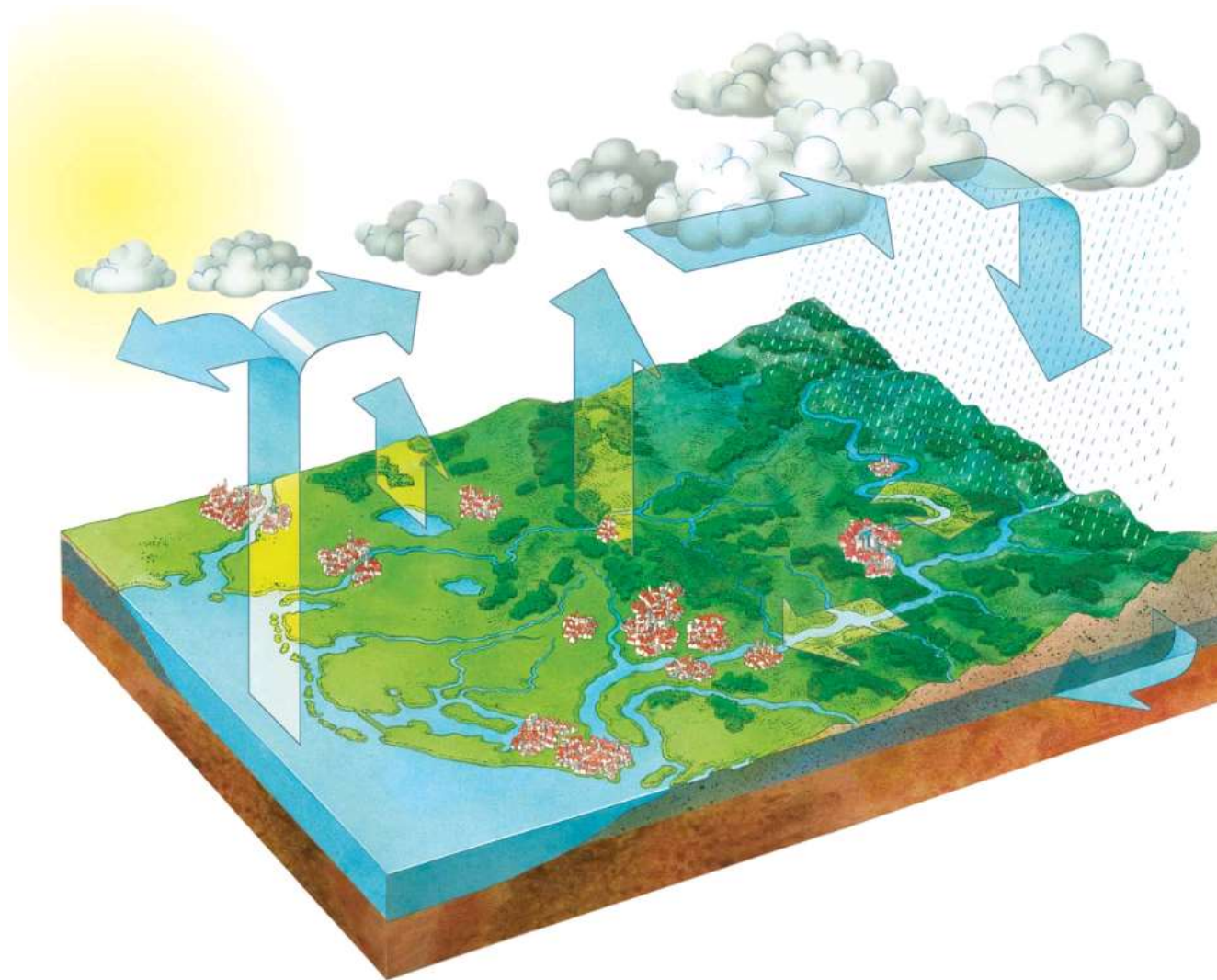


Abb. 2:
Schematische
Darstellung des
Wasserkreislaufs

Warum Lysimeter ?

- Boden ist ein komplexer aber langsamer Reaktor der vielfältige Funktionen erfüllt und vielfältigen Belastungen ausgesetzt ist
- Im Zusammenspiel mit Bewirtschaftung und der Vegetation steuert der Boden die Wassermenge und Wasserqualität die dem Grundwasser zufließt
- der Zustrom zum Grundwasser wird mit Lysimetern direkt messbar, in Quantität und Qualität

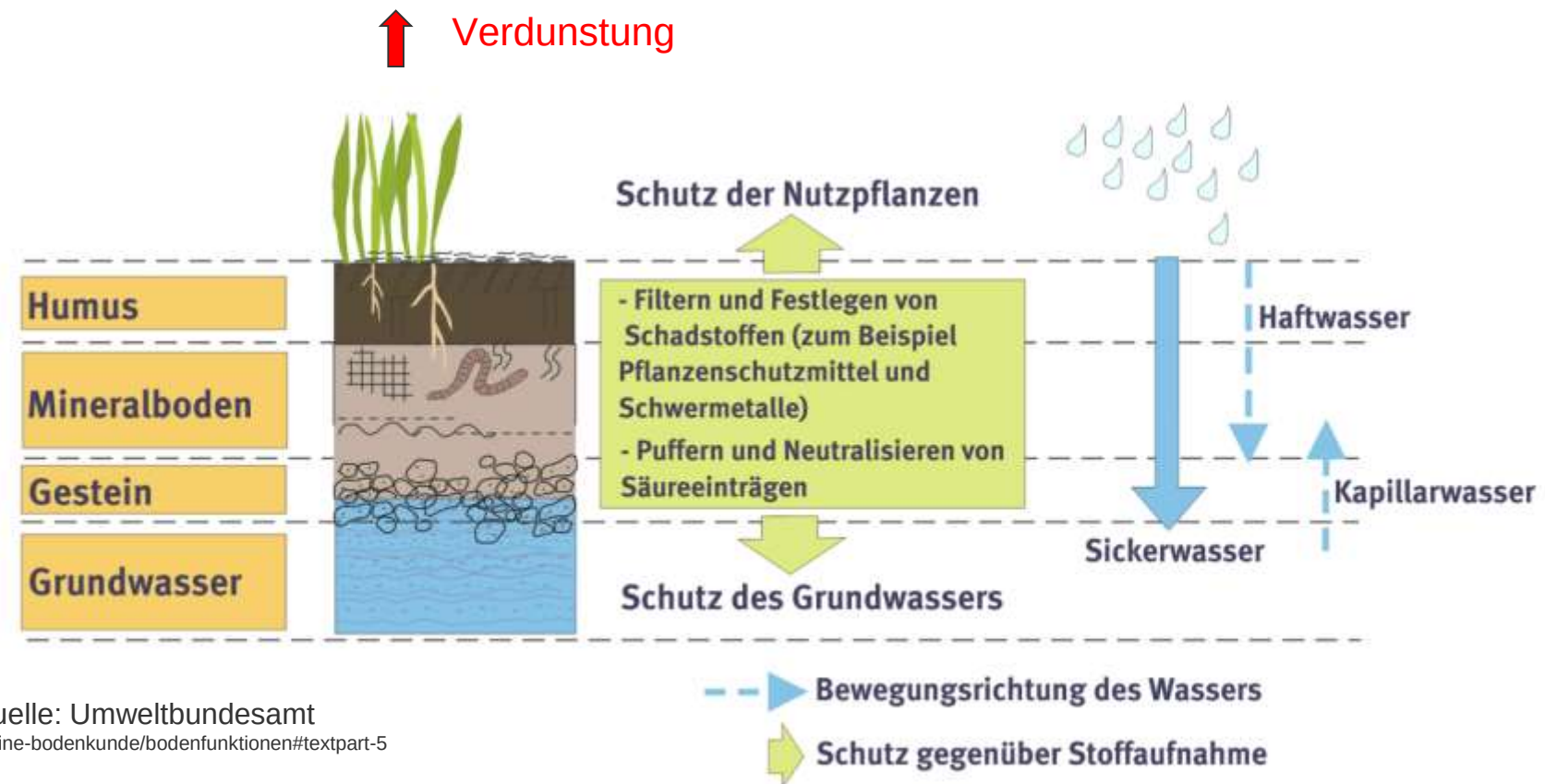


Abb. 3: Der Boden und seine Funktionen, Quelle: Umweltbundesamt

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/kleine-bodenkunde/bodenfunktionen#textpart-5>

Bewirtschaftungshistorie und Stickstoffbilanzen



Bewirtschaftungsregime

Bewirtschaftungsform	intensive, konventionelle Bewirtschaftung	1980
Düngung	mineralisch & organisch	
Fruchtfolge	Hackfrüchte & Wintergetreide	
N _{Dep.}	49 kg/ha	
Bewirtschaftungsform	Flächenstilllegung & ökologischer Landbau	1992
Düngung	Stalldung & Leguminosen	
Fruchtfolge	Stilllegungsmaßnahmen anschl. ökologischer Landbau	
N _{Dep.}	29 kg/ha	
Bewirtschaftungsform	konventionelle Bewirtschaftung mit Düngebedarfsermittlung	1998
Düngung	mineralisch	
Fruchtfolge	Winterweizen und Winterraps, zunehmend Zwischenfrüchte	
N _{Dep.}	15 kg/ha	2019

Abb. 4:
Bewirtschaftungshistorie
der Lysimeterstation
Brandis

Stickstoffbilanzen



Abb. 5:
Schematische
Darstellung der
N-Bilanz-
komponenten
auf Lysimetern.

- Zufuhr: min. Dünger, Wirtschaftsdünger, leguminöse Bindung,...
- Abfuhr: Erntegut

Lysimetergruppe		Gruppe 5	Gruppe 4	Gruppe 8	Gruppe 1	Gruppe 7	Gruppe 9
NStE		D3	D5	D3	D6	D4	löß
Bodenzahl		35	48	50	55	50	80
1981 - 1992	N - Saldo* (kg/ha)	142	116	116	100	102	61
	N - Fracht (kg/ha)	51	38	29	38	21	4
1993 - 1998	N - Saldo* (kg/ha)	-19	-40	-34	-52	-36	-77
	N - Fracht (kg/ha)	45	34	19	28	8	1
1999 - 2009	N - Saldo* (kg/ha)	77	46	41	30	30	-9
	N - Fracht (kg/ha)	61	45	33	29	25	1
2010 - 2019	N - Saldo* (kg/ha)	68	42	41	31	38	2
	N - Fracht (kg/ha)	60	39	41	31	25	1

* ohne Deposition, N-Abfuhr Laborwerte – keine Schätzung

- trotz Reduktion der Überschüsse keine Veränderung der Austräge oder sogar Anstiege?!

Nitratkonzentrationen

- Flächenstilllegung deutlich sichtbar, aber selbst innerhalb 2.Periode bereits wieder Anstieg der Konzentrationen
- trotz Düngeverordnung und Reduktion der N-Überschüsse keine Verbesserung in Nitratkonzentrationen & N-Frachten in 3.Periode feststellbar

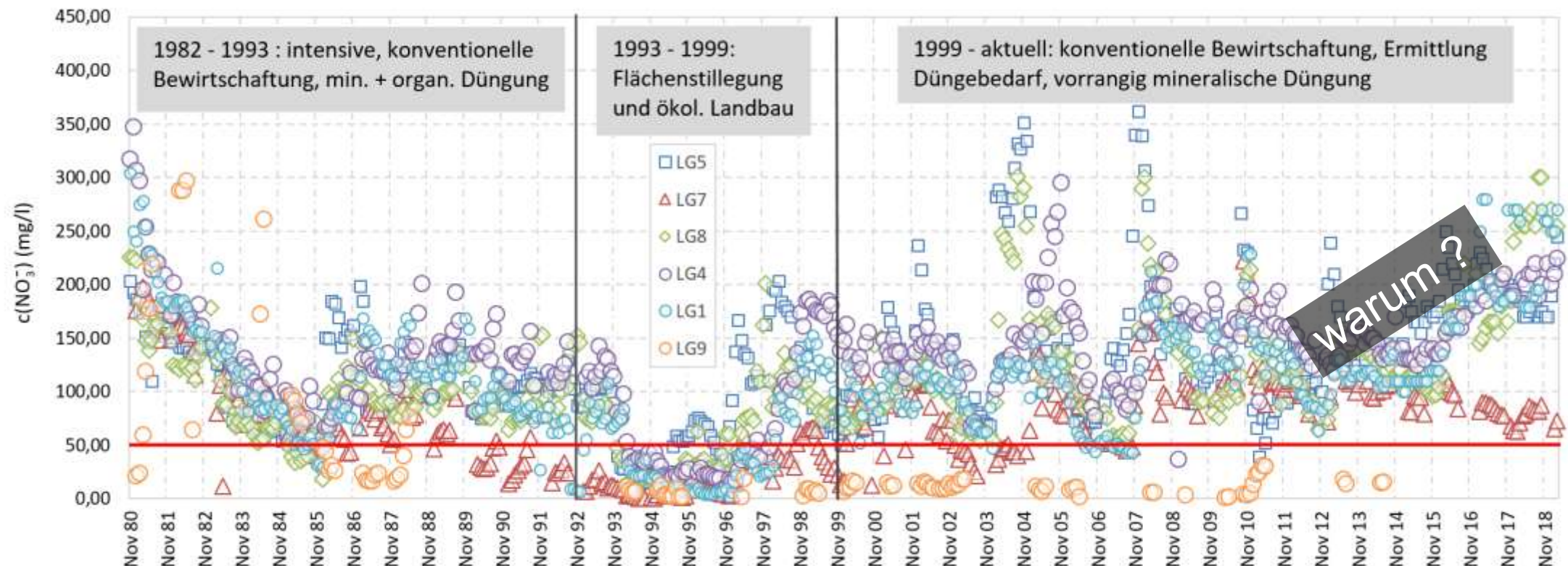
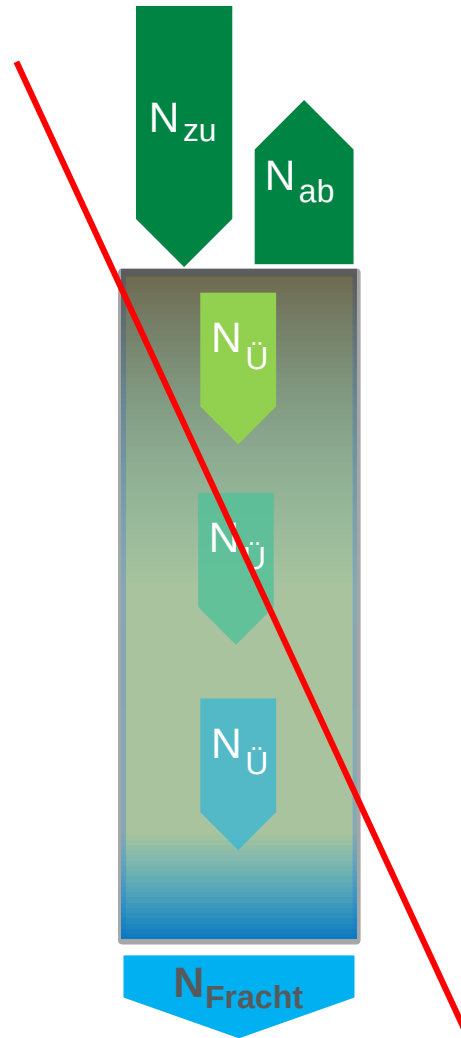


Abb. 6:
Darstellung der
monatlichen
Nitratkonzentrationen des
Sickerwassers von
6 verschiedenen
Lysimetern für den
Zeitraum Nov. 81
bis Feb. 19

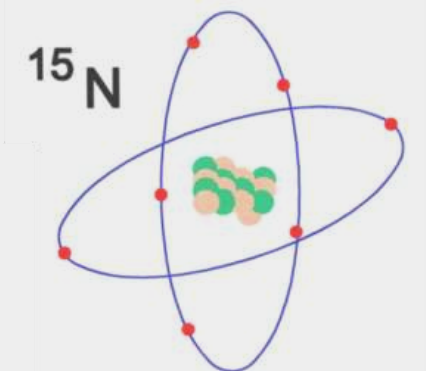
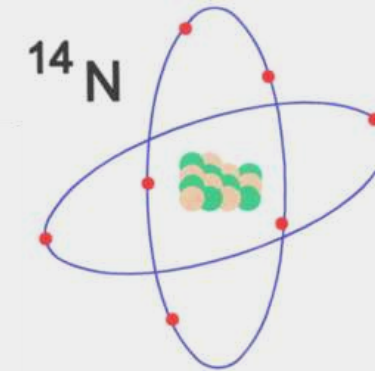
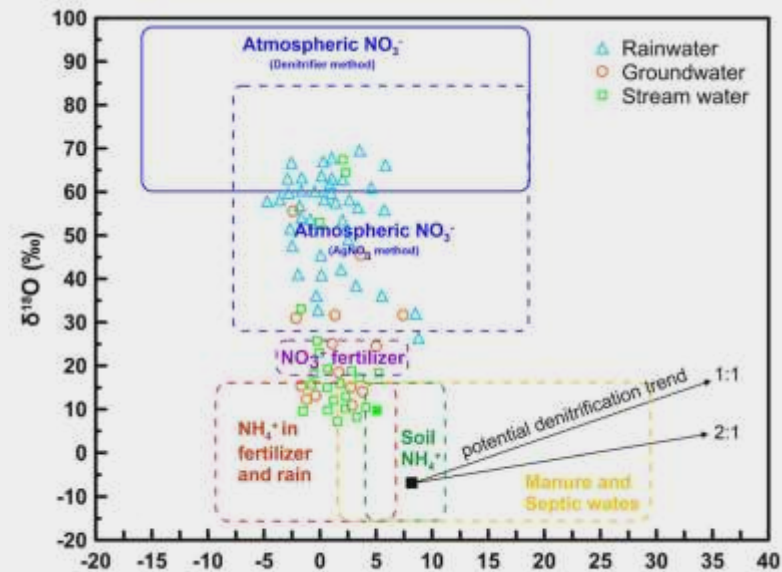
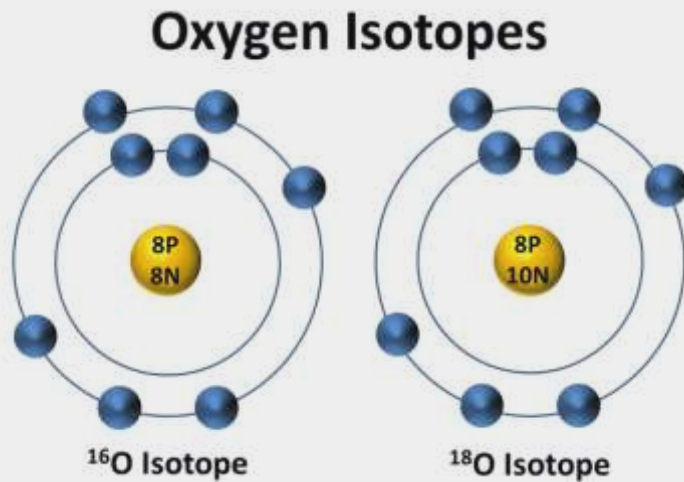


- Standardannahme:
 - Dünger-Stickstoff der nicht während der Wachstumsperiode aufgenommen wird, perkoliert mit dem Sickerwasser aus der Wurzelzone und tritt zeitverzögert im Grundwasser ein
 - Stickstoff muss dafür als Nitrat vorliegen und konservativ transportiert werden ?!
- veränderte Bewirtschaftungsmaßnahmen müssten also mit Zeitverzögerung sichtbar sein
- Wie lang sind Transportzeiten in den verschiedenen Böden ?**

$$t_{exp} < t_{theor} < 5a$$

Abb. 7: Darstellung der vereinfachten Vorstellung eines direkten Vertikaltransports des überschüssigen Stickstoffs in die Tiefe.

Nitrat und stabile Isotope



Stabilisotope

- I stabile Isotope von Sauerstoff (^{18}O) und Stickstoff (^{15}N) bekannt
- I stabile Isotope sind seltene Varianten eines Elementes mit anderen Atommassen durch zusätzliche Neutronen im Atomkern
- I nachfolgend wird Massenverhältnis zwischen „normalem“ Element und stabilem Isotop bewertet, Bewertung erfolgt als Abweichung von einem Standard (δ -Notation)
- I N - Standard: Luft
- I O - Standard: VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water)

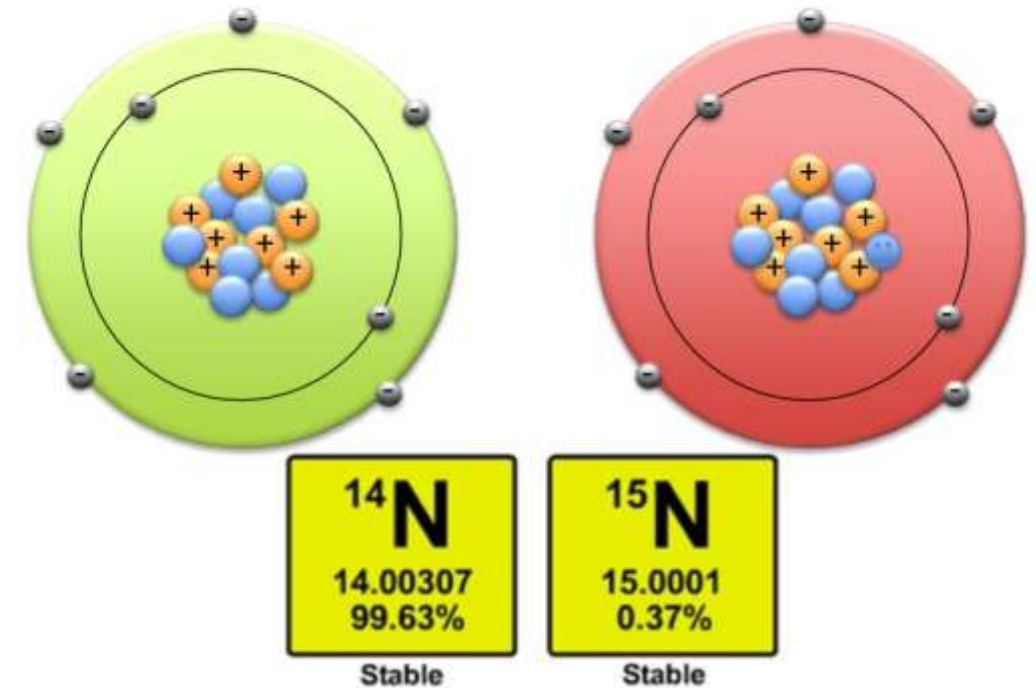


Abb. 8: Stabilisotope von Stickstoff und Sauerstoff zusammen mit ihren Atommassen und Massenverhältnissen auf der Erde.

Isotopensignaturen

- I $\delta^{15}\text{N}$ & $\delta^{18}\text{O}$ Signaturen des Nitrats im Sickerwasser beinhalten Informationen über seine Herkunft
- I $\delta^{18}\text{O}$ differenziert zwischen atmosphärischem Ursprung, min. Düngern und dem Prozess der Nitrifikation
- I $\delta^{15}\text{N}$ hilft zwischen verschiedenen Quellen des N für den Nitrifikationsprozess zu unterscheiden

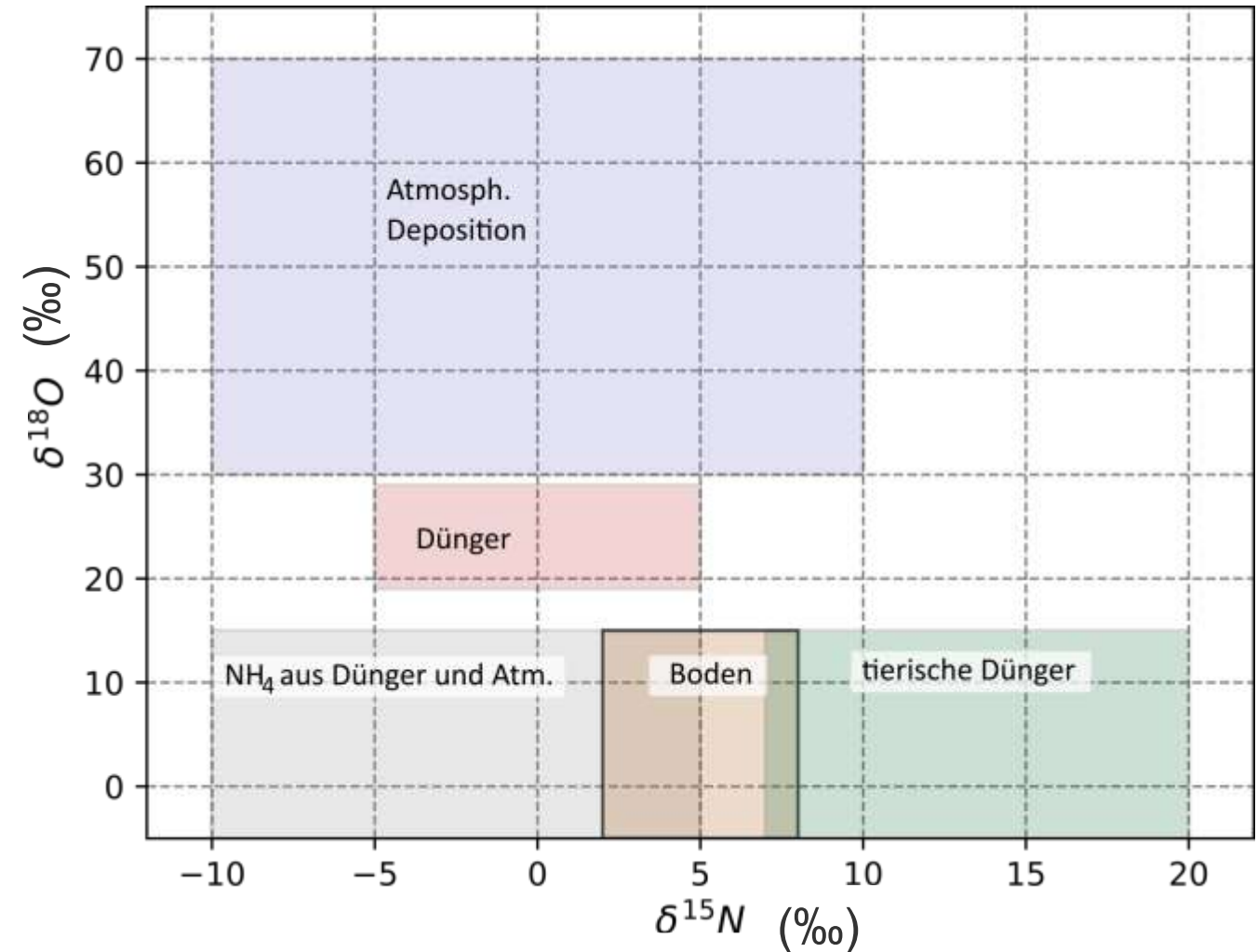


Abb. 9: Signaturen typischer Nitratquellen in landwirtschaftlichen Systemen. Grafik modifiziert nach Mongelli et al. (2011) mit Daten aus Xue et al. (2009). Die unteren 3 Kästen beschreiben den Prozess der Nitrifikation von Nitrat aus 3 verschiedenen Quellen.



- $\delta^{15}\text{N}$ & $\delta^{18}\text{O}$ in atmosphärischer Deposition (P)
- $\delta^{15}\text{N}$ & $\delta^{18}\text{O}$ im Dünger (F)
- $\delta^{15}\text{N}$ in Bodenproben der ersten 3 Horizonte (S)
- $\delta^{15}\text{N}$ & $\delta^{18}\text{O}$ im Sickerwasser (S_w)

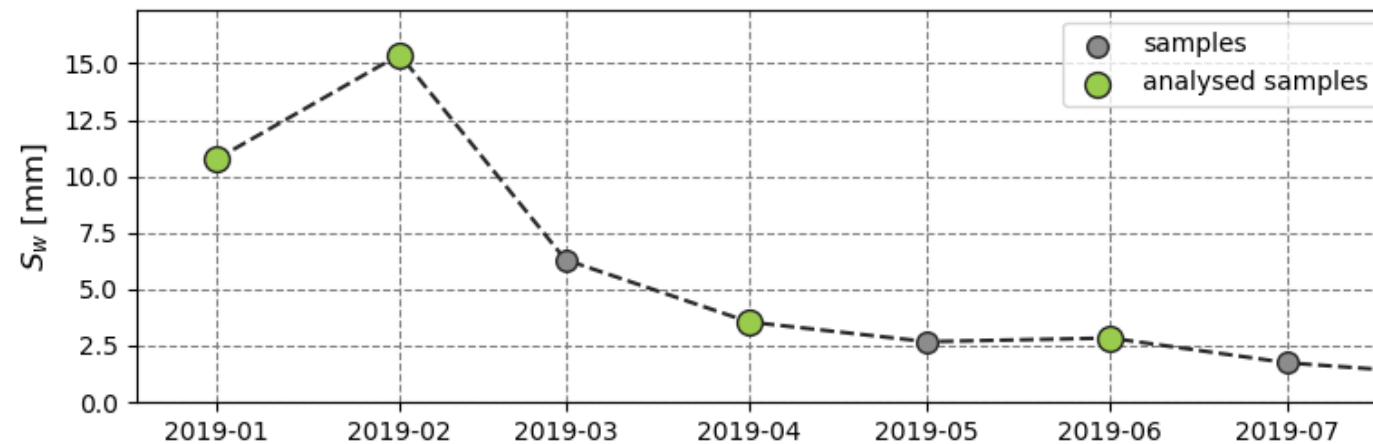


Abb. 10: Sampling strategy to investigate the N-dynamics and N sources of the nitrate in the seepage water. Samples of the atmospheric deposition were taken as well as fertilizer and soil samples, along with four water samples from the recharge at the lysimeter bottom.

Analyse Stabilisotope

- Wasserproben: filtriert (0,2 µm Spritzenfilter), anschließend einfrieren
 - gefroren länger konservierbar
- Feststoff eingefroren
- Nitratanalyse basiert auf Denitrifikationsmethode:
 - unvollständige Denitrifikation durch Bakterien „*Pseudomonas aureofaciens*“
 - Umwandlung von NO_3 zu N_2O
- Analysen am Institut für Grundwasserbewirtschaftung der TU Dresden durchgeführt (Dr. Burghardt)

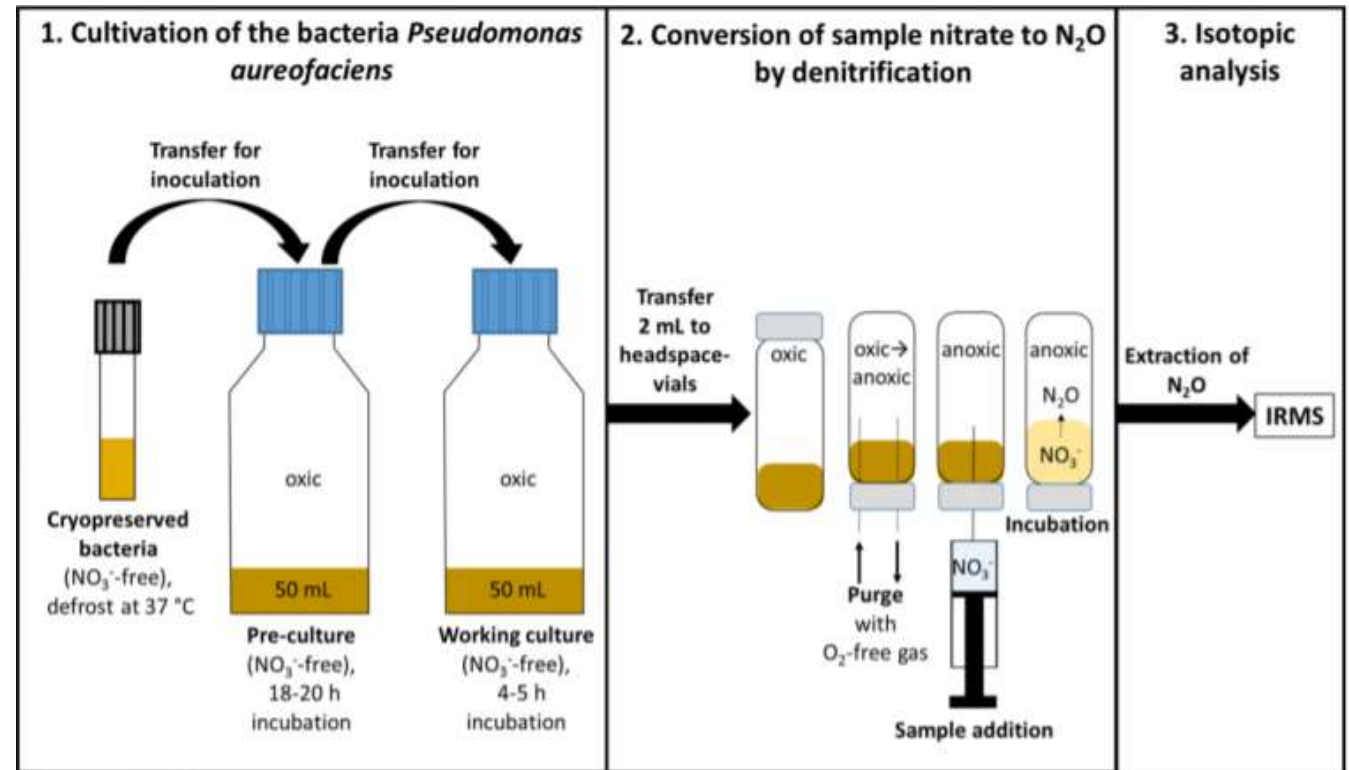


Abb. 11: Schematische Darstellung der Denitrifikationsmethode nach Stock et al. (2020)

Isotopensignaturen Bodenprofile

- $\delta^{15}\text{N}$ -Signaturen nehmen mit der Tiefe ab
- $\delta^{15}\text{N}$ -Signaturen liegen höher als angenommen
- $\delta^{15}\text{N}$ -Signaturen scheinen räumlich geringfügig variabel zu sein
- Hinweise auf historisch häufigere organische Düngungen durch hohe (atypische) $\delta^{15}\text{N}$ -Signaturen

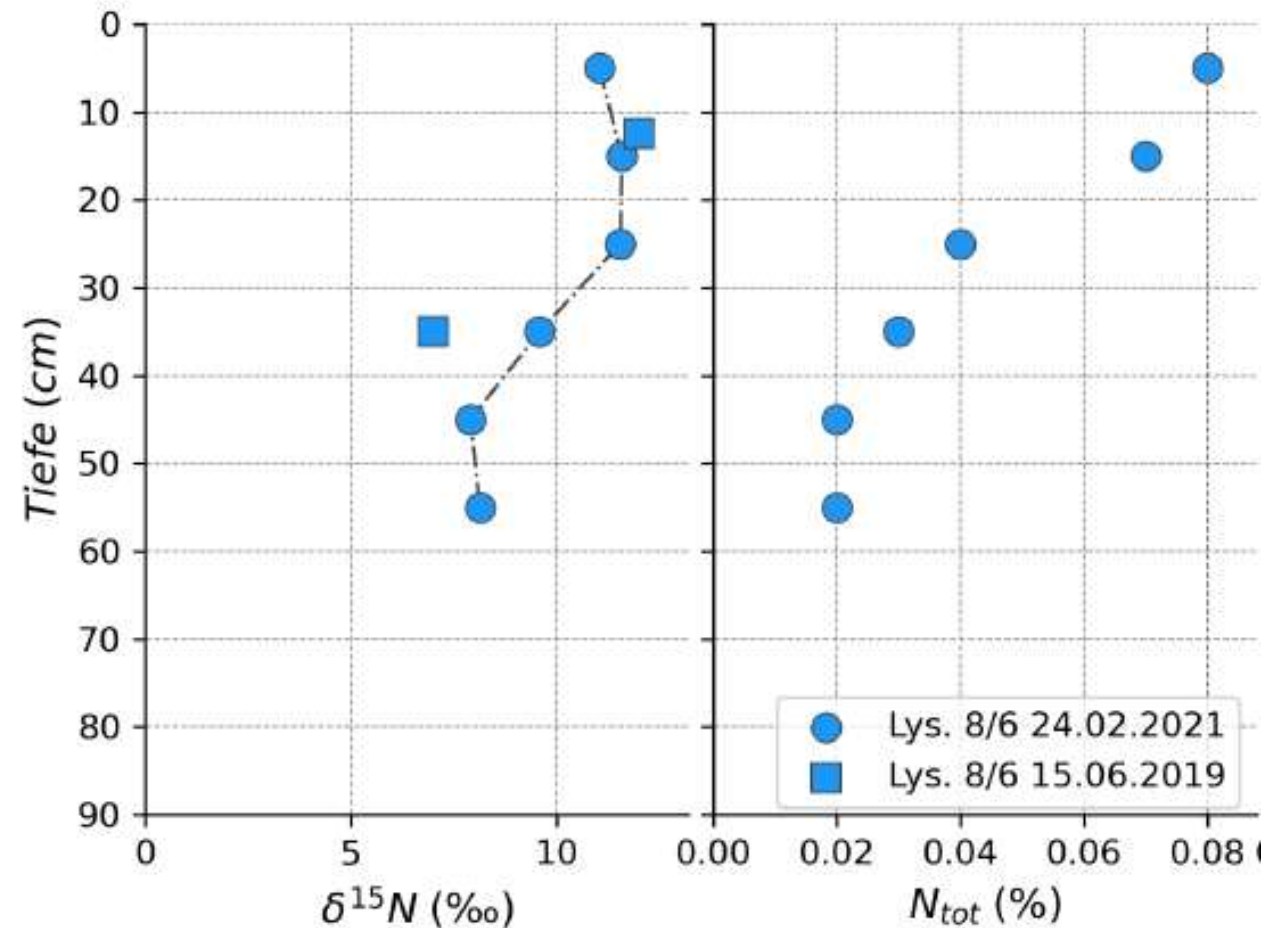


Abb. 12: $\delta^{15}\text{N}$ Signaturen des Bodenprofils, des Lysimeters L8/6, sowie Profil der Gehalte an Gesamtstickstoff (N_{tot}).

Isotopensignaturen Sickerwasser

- L8/6 unter normaler landwirtschaftlicher Nutzung
- Nitrat im Sickerwasser zeigt deutlich die Signaturen der bodenorganischen Substanz als Ausgangsmaterial
- Ergebnisse zeigen eindeutig, dass das Nitrat mehrheitlich aus der Nitrifikation der bodenorganischen Substanz stammt
- $\delta^{18}\text{O}$ - Signaturen deuten auf Bildungszeitraum in der kalten Jahreszeit hin

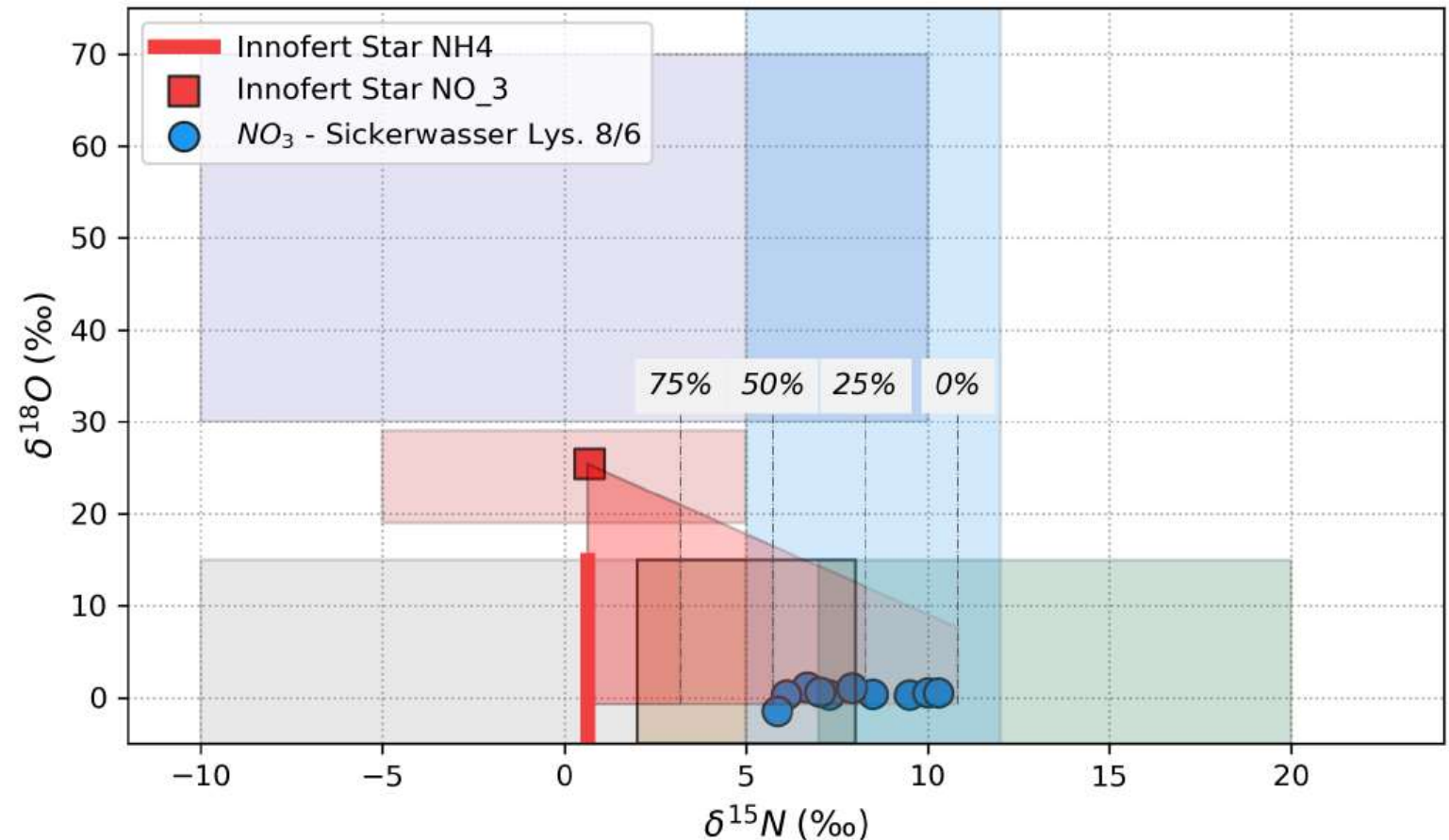


Abb. 13: Einordnung der Auslenkung bezüglich $\delta^{15}\text{N}$ & $\delta^{18}\text{O}$ der Proben des Düngers (2018, 2019), des atmosphärischen Eintrags aus der Niederschlagsprobe von (2019, 2020) und der Sickerwasserproben des Lysimeters 8/6 (2019, 2020, 2021), welches in der Vergangenheit nicht markiert wurden. Die Boxen markieren die typischen Bereiche für die verschiedenen Eintragspfade. Das rote Trapez markiert die **potentiellen** Mischungsbereiche der Signaturen aus Dünger und Nitrifikation der bodenorganischen Substanz.

Isotopensignaturen Sickerwasser

Ergebnisse einer ersten mixing-model Analyse:

- Ergebnisse unterstreichen den visuellen Eindruck, dass das Nitrat hauptsächlich aus dem bodenorganischen Pool stammen muss.
- Hauptzeit für Nitrifikation von Nitrat, dass auch ausgespült wird scheint das Winterhalbjahr zu sein
- Hauptnitratmenge stammt aus Bodentiefen von 20cm – 40cm

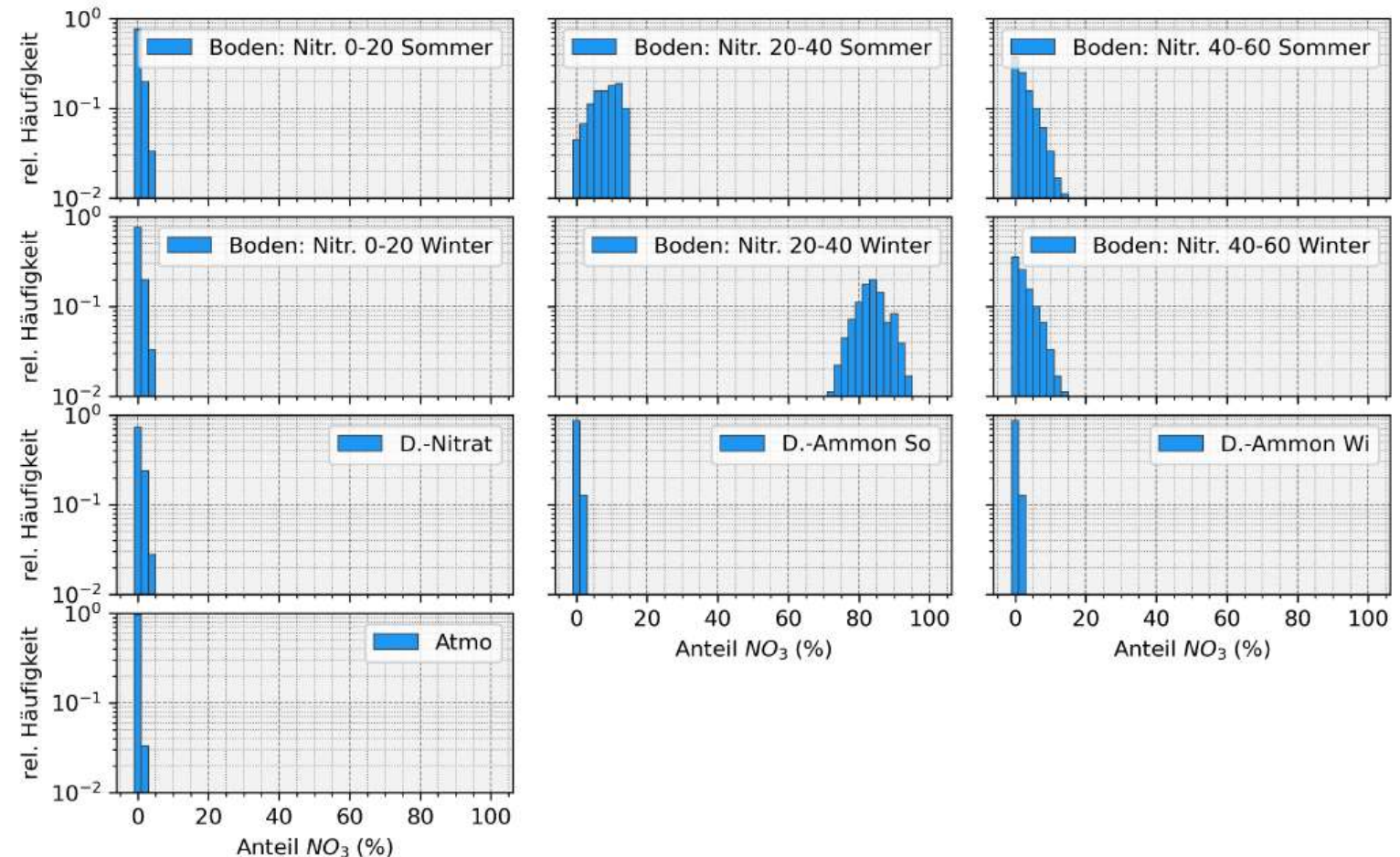


Abb. 14: Darstellung der möglichen Bandbreiten des Nitrats aus verschiedenen Quellen für das Lysimeter 8/6 für den Median der beobachteten $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ -Signaturen des Nitrats im Sickerwasser unter Berücksichtigung eines Fraktionierungsfaktors von $\epsilon = -1.5\text{‰}$ bei der Nitrifikation.

Historische Markierungsexperimente

- ^{15}N markierter Dünger (26.8 At.-%) wurde in folgenden Jahren eingesetzt:

- 1976 - 77: 3 Gruppen

- 1980 - 86: Gruppe 7 gegen Gruppe 9 getauscht

- Ziel: Bestimmung der Stickstoffnutzungseffizienzen der Anbaukulturen

- Probenahme fand nun 33 Jahre nach der letzten Applikation von markiertem Dünger statt

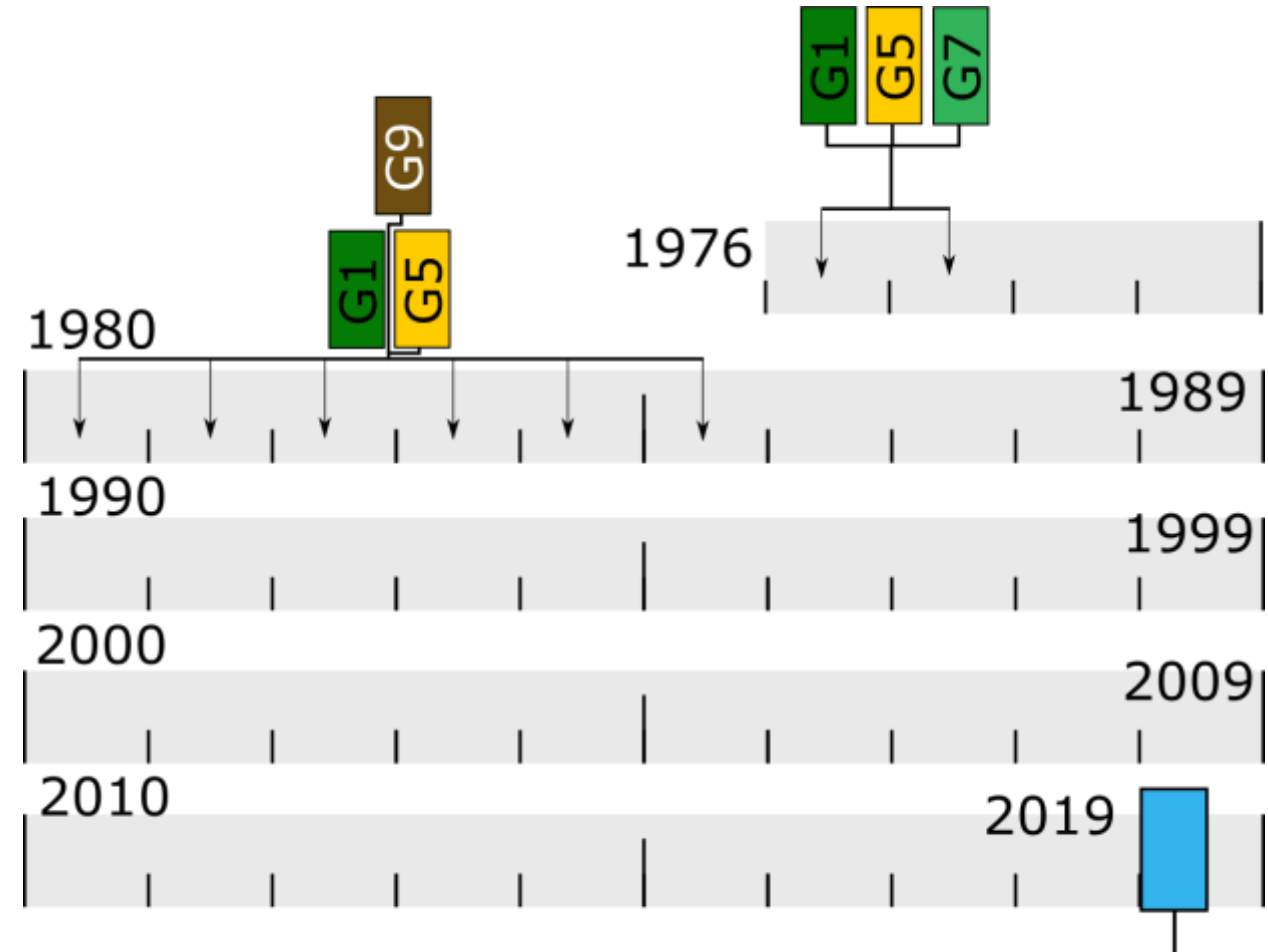


Abb. 15: Historische Markierungsexperimente und deren zeitlicher Bezug zur aktuellen Untersuchungskampagne.

Isotopensignaturen Bodenprofile

- Markierungen noch heute deutlich sichtbar
- In den obersten Horizonten am stärksten ausgeprägt
- Dünger-N aus den 70ern und 80ern noch immer im Boden, aber:
 - Massenanteile schwer zu bestimmen aber auf allen Böden <25% der eingesetzten Düngermenge sehr wahrscheinlich
 - Massenanteile am Gesamtstickstoff < 0.5%

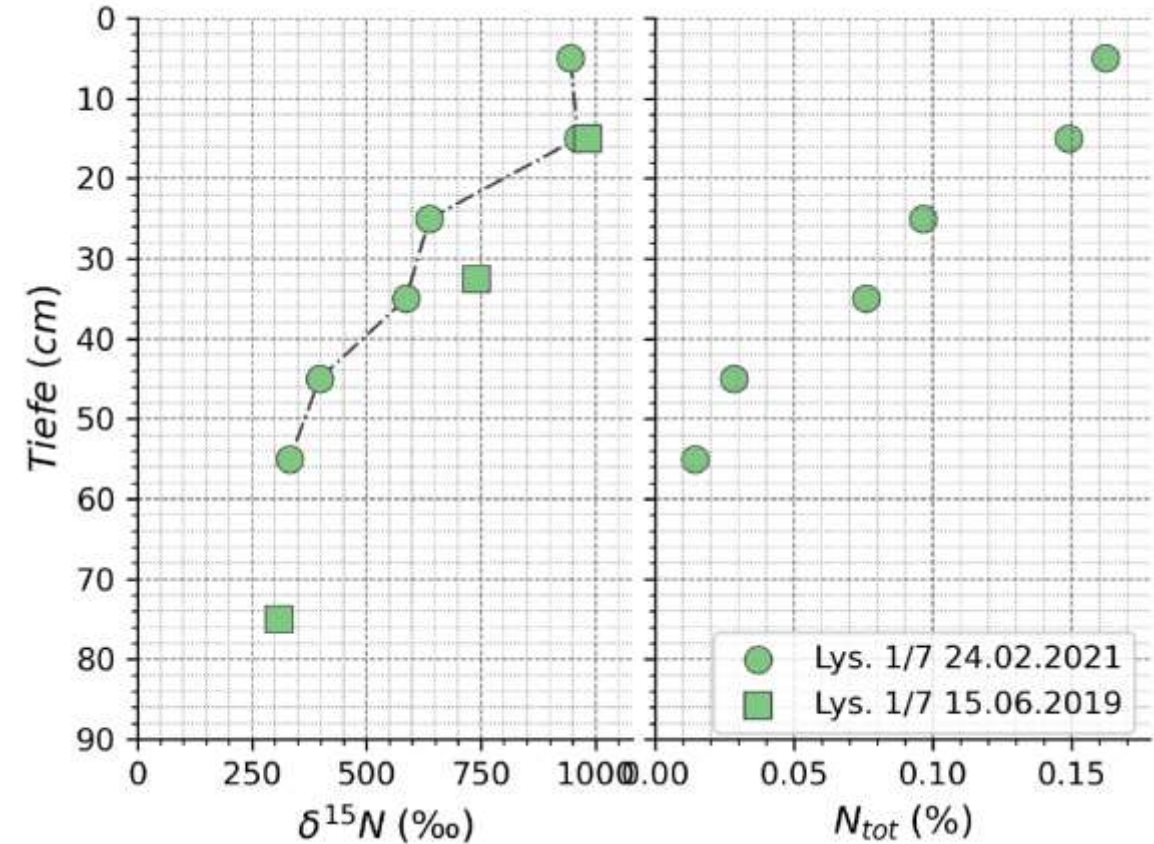
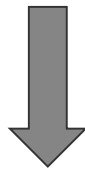


Abb. 16: $\delta^{15}\text{N}$ Signaturen des Bodens im Lysimeter 1/7 mit historischen Markierungsexperimenten.

Isotopensignaturen Sickerwasser

- Sickerwasser trägt deutlich die $\delta^{15}\text{N}$ Signatur der Böden
- $\delta^{18}\text{O}$ Signatur deutet ebenfalls auf einen Nitrifikationsprozess als Quelle hin



- Auch auf “markierten” Lysimetern stammt das Nitrat mehrheitlich aus der Nitrifikation der bodenorganischen Substanz

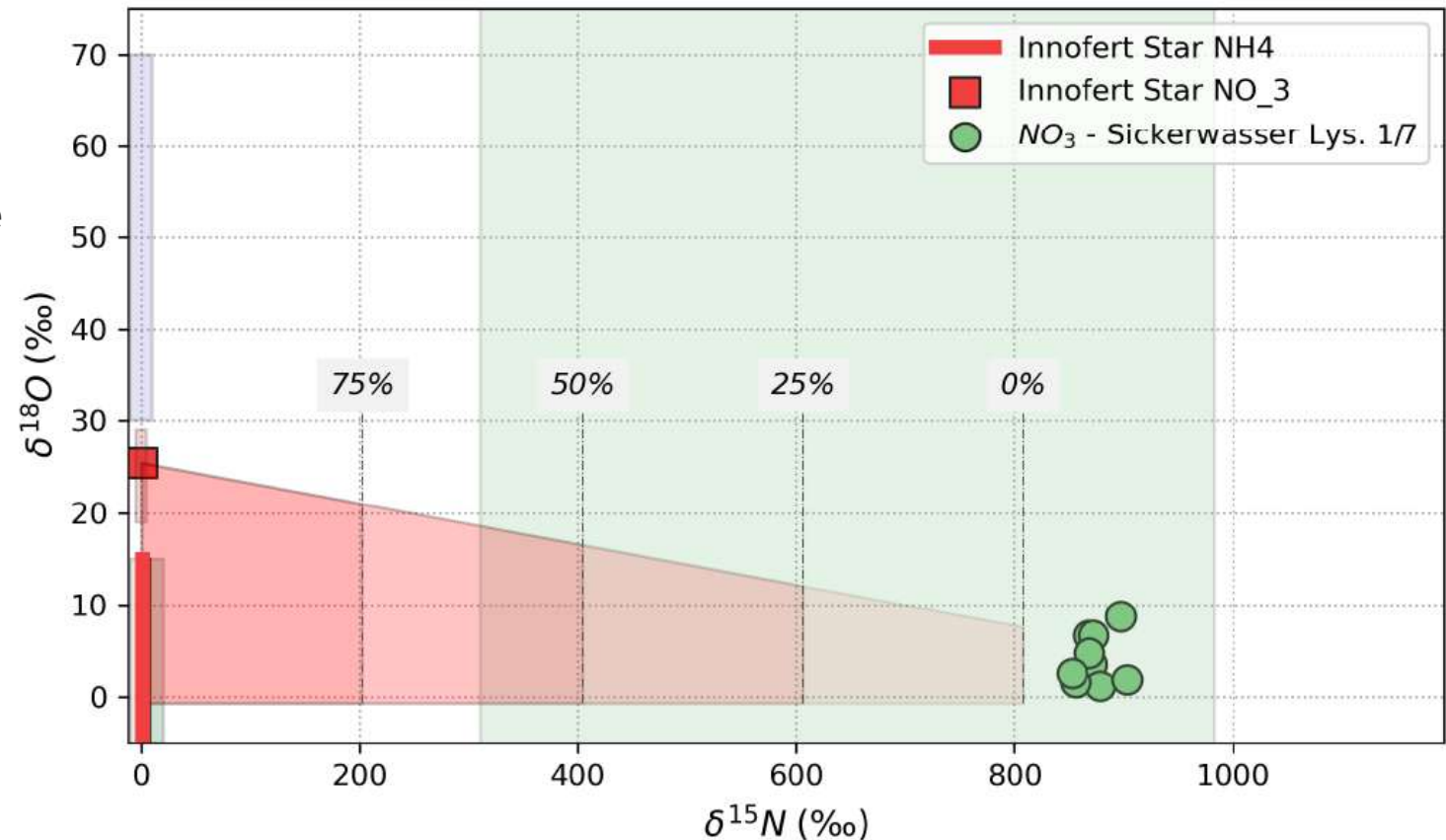
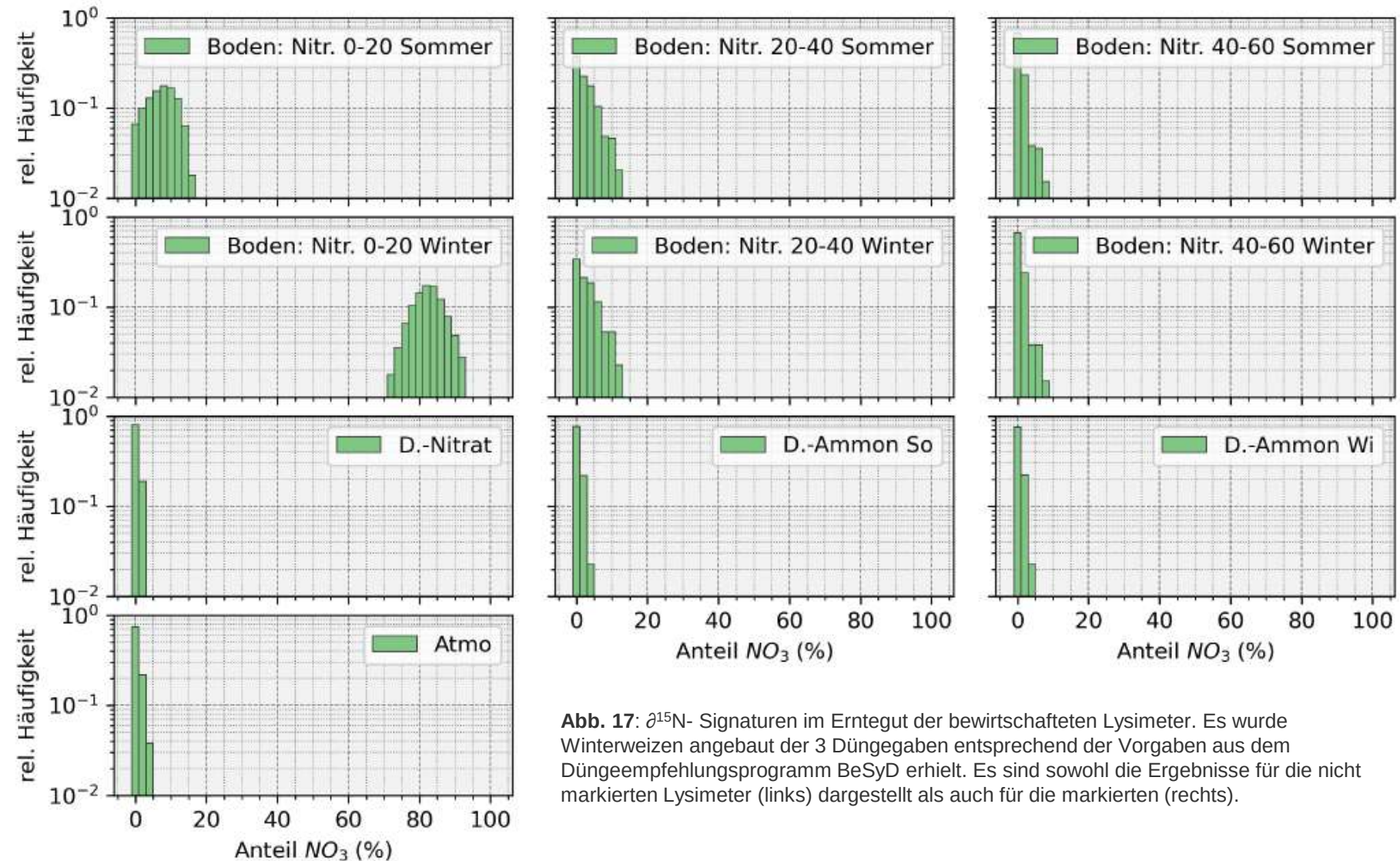


Abb. 16: Dual-Isotope Plot für das Lysimeter 1/7. Die in der Literatur angegebenen Bereiche für die $\delta^{15}\text{N}$ – $\delta^{18}\text{O}$ -Signaturen aus den verschiedenen Quellen sind durch farbige Vierecke markiert. Der Bereich der im Boden vorgefundenen $\delta^{15}\text{N}$ -Signaturen ist durch die vertikale grüne Fläche gekennzeichnet. Das rote Trapez markiert die theoretisch möglichen Beimischungen von Dünger Nitrat und Ammonium unter Annahme der gewichteten mittleren $\delta^{15}\text{N}$ -Signatur des Bodens

Mixing model

- Ergebnisse unterstreichen den visuellen Eindruck, dass das Nitrat hauptsächlich aus dem bodenorganischen Pool stammen muss.
- Hauptzeit für Nitrifikation von Nitrat, dass auch ausgespült wird scheint das Winterhalbjahr zu sein
- Hauptnitratmenge stammt aus Bodentiefen von 0cm – 20cm



Zusammenfassung

- I Nitratauswaschung ist kein simples Verlagerungsproblem
- I N ist reaktiv unterliegt einer Vielzahl dynamischer Prozesse (Raum und Zeit)
- I Dünger-N scheint vor allem im organischen N-Pool des Bodens eingelagert zu werden
- I Nitrat im Sickerwasser kommt hauptsächlich aus organischem Pool (>99%)

„... dass der applizierte Dünger unmittelbar nur einen unbedeutenden Beitrag zum Nitrat Leaching liefert. Die Hauptmenge des mit dem Perkolat ausgetragenen Nitrates entstammt der Mineralisierung der organischen Bodensubstanz ...“

- I **Problem:** Mineralisierung kann kaum beeinflusst werden → keine Steuerung möglich

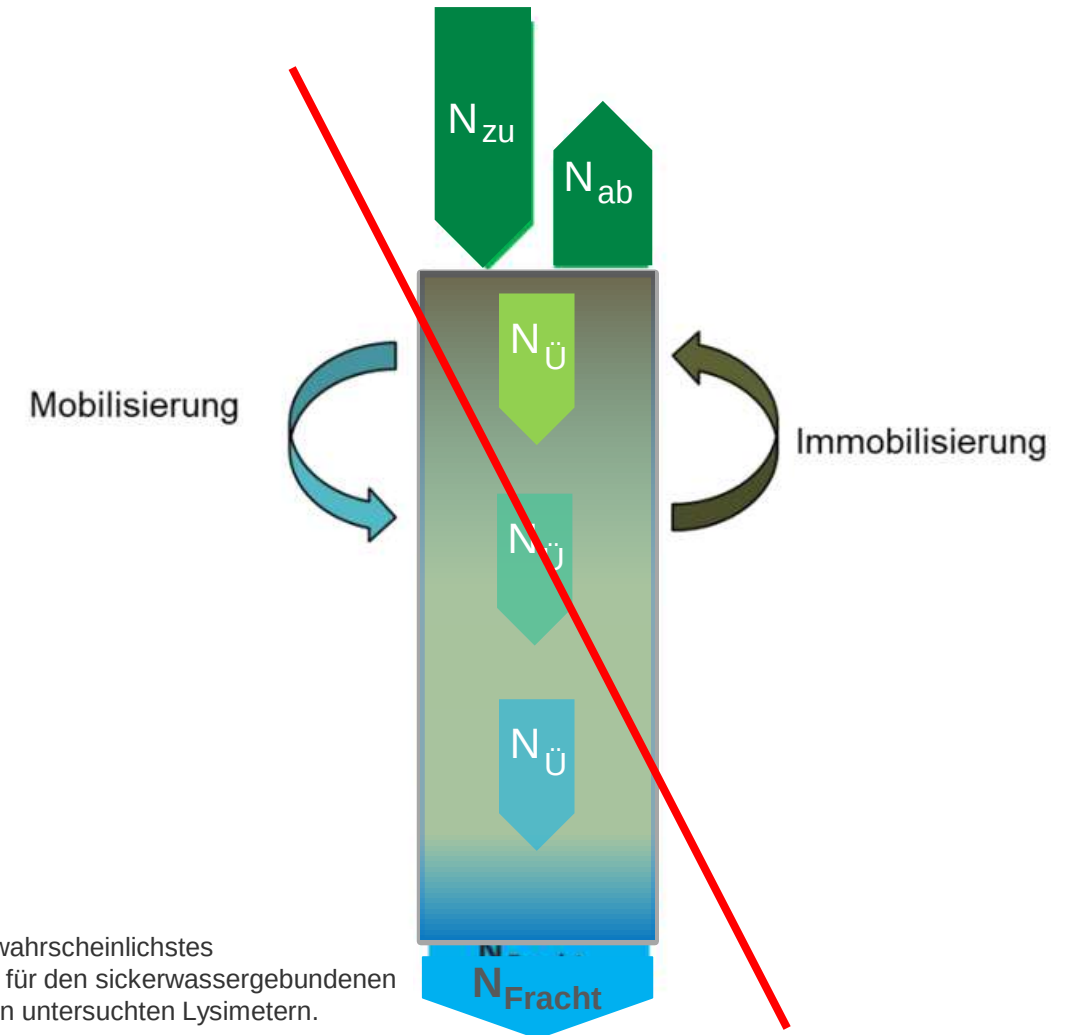


Abb. 18: Aktuell wahrscheinlichstes Erklärungsmodell für den sickerwassergebundenen Nitratverlust in den untersuchten Lysimetern.

Anwendung im Grundwasser

- Einordnung von niedrigen Nitratkonzentrationen an Messstellen:
 - niedrig weil wenig Einträge
 - niedrig weil denitrifiziert
- Einordnung von hohen Nitratkonzentrationen hinsichtlich der Nitratquellen um entsprechende Maßnahmenprogramme zu entwickeln
- Vorteile:
 - Vorteile: direkt an Probe
 - Probenahme mit Standardequipment
- Nachteile:
 - Analyse nicht trivial
 - Bodenanalysen notwendig

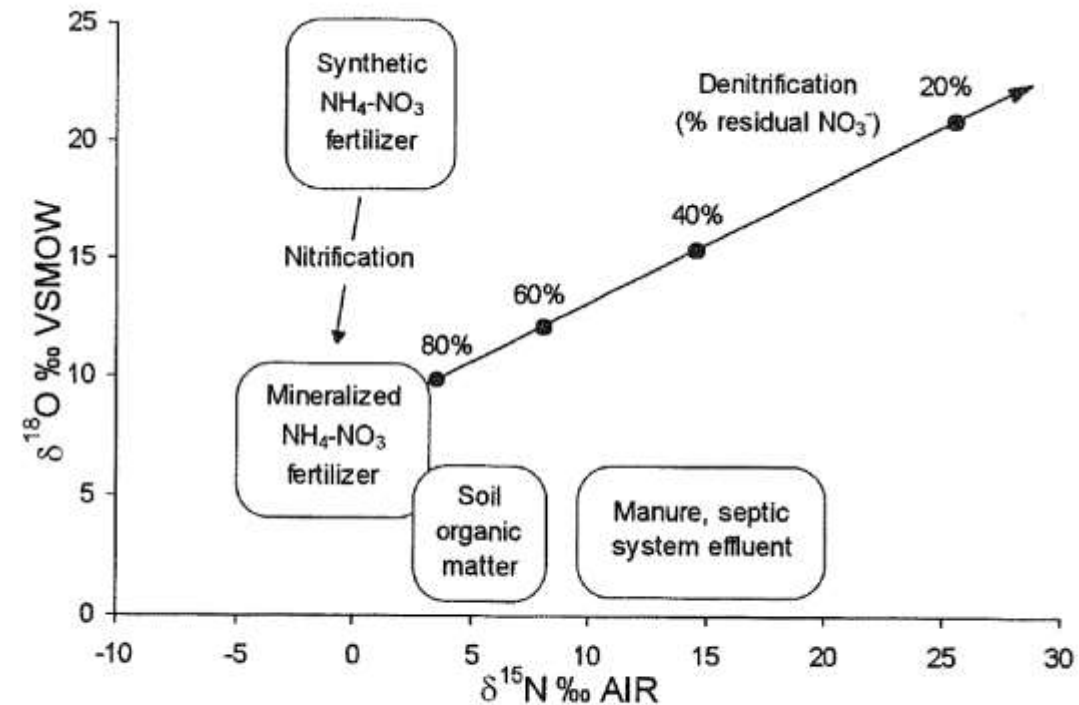


Fig. 6-12 The isotopic composition of various sources of NO_3^- . The enrichment trend for NO_3^- during denitrification is shown with % of original concentration remaining. $\delta^{18}\text{O}$ values for nitrate vary according to the $\delta^{18}\text{O}$ of local groundwaters. Ranges are for groundwaters with $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} \sim -10$ ‰ VSMOW.

Abb. 18: Darstellung der Fraktionierungseffekte bei der Denitrifikation auf die Isotopensignaturen des in Lösung verbleibenden Nitrats (Quelle: Clark und Fritz, 1997).



**Vielen Dank für die
Aufmerksamkeit !**

Clark, I. und P. Fritz (1997). Chapter 6: Groundwater Quality, in : Environmental Isotopes in Hydrogeology. Hrsg. von I. Clark und P. Fritz. CRC Press LLC. isbn: 9780429069574, doi: 10.1201/9781482242911.

Mongelli, G., M. Paternoster und R. Sinisi (2013): Assessing nitrate origin in a volcanic aquifer using a dual isotope approach, In: International Journal of Environmental Science and Technology 10, S. 1149-1156, doi:10.1007/s13762-012-0169-9.

Stock, P., S. Roder und D. Burghardt (2020): Further optimization of the denitrifier method for the rapid ^{15}N and ^{18}O analysis of nitrate in natural water samples, In: Rapid Communications in Mass Spectrometry 35, e8931, doi: 10.1002/rcm.8931.

Xue, D., Botte, J., De Baets, B., Avvoe, F., Nestler, A., Taylor, P., Van Cleemput, O., Berglund, M., Boeckx, P. (2009): Present limitations and future prospects of stable isotope methods for nitrate source identification in surface- and groundwater, In: Water Research 43.5, S. 1159-1170. doi: 10.1016/j.watres.2008.12.048.