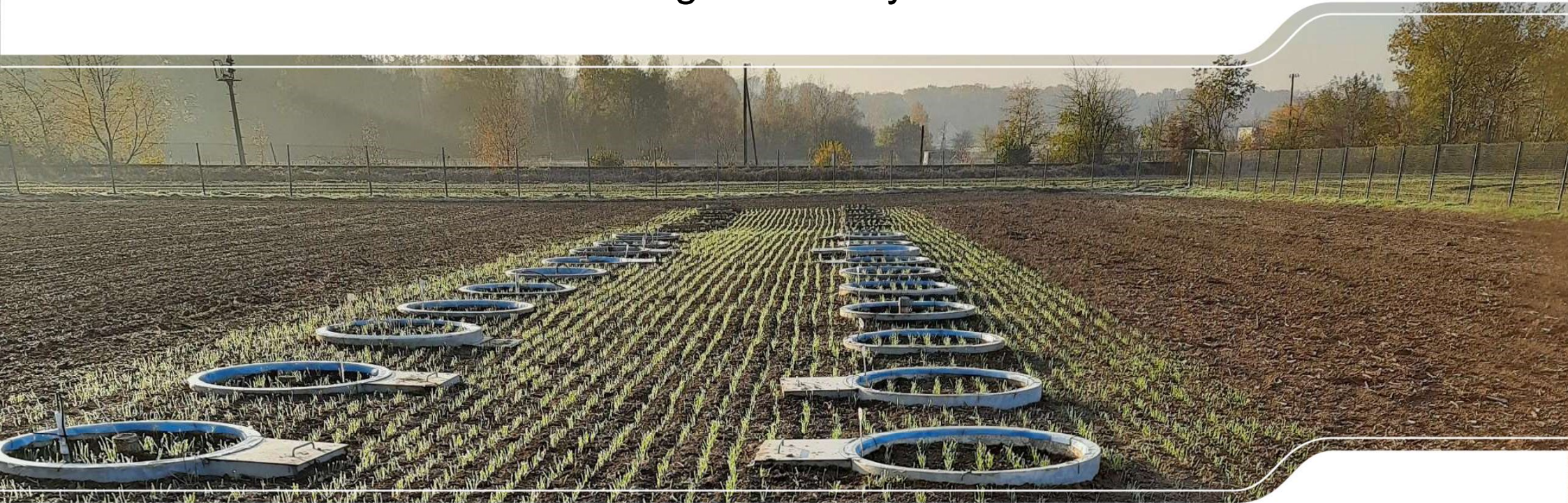


Aktuelle Ergebnisse der Lysimeterstation Brandis zu Nitratdynamiken im Sickerwasser landwirtschaftlich genutzter Lysimeter



Lysimeterstation Brandis

- I Northwest Sachsen
- I kontinuierlicher Betrieb seit Nov. 1980
- I Rand des mitteldeutschen Trockengeb.



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

Warum Lysimeter ?

- I Wesentliche Komponenten des Wasserhaushaltes können in der Fläche nicht direkt gemessen werden:
 - I Evapotranspiration
 - I Grundwasserneubildung
- I beide Komponenten mit wesentlichen Anteilen an Wasserhaushaltsbilanz in trockenen Flachlandregionen
 - I Evapotranspiration: 60% – 85%
 - I Grundwasserneubildung: 30% – 5%

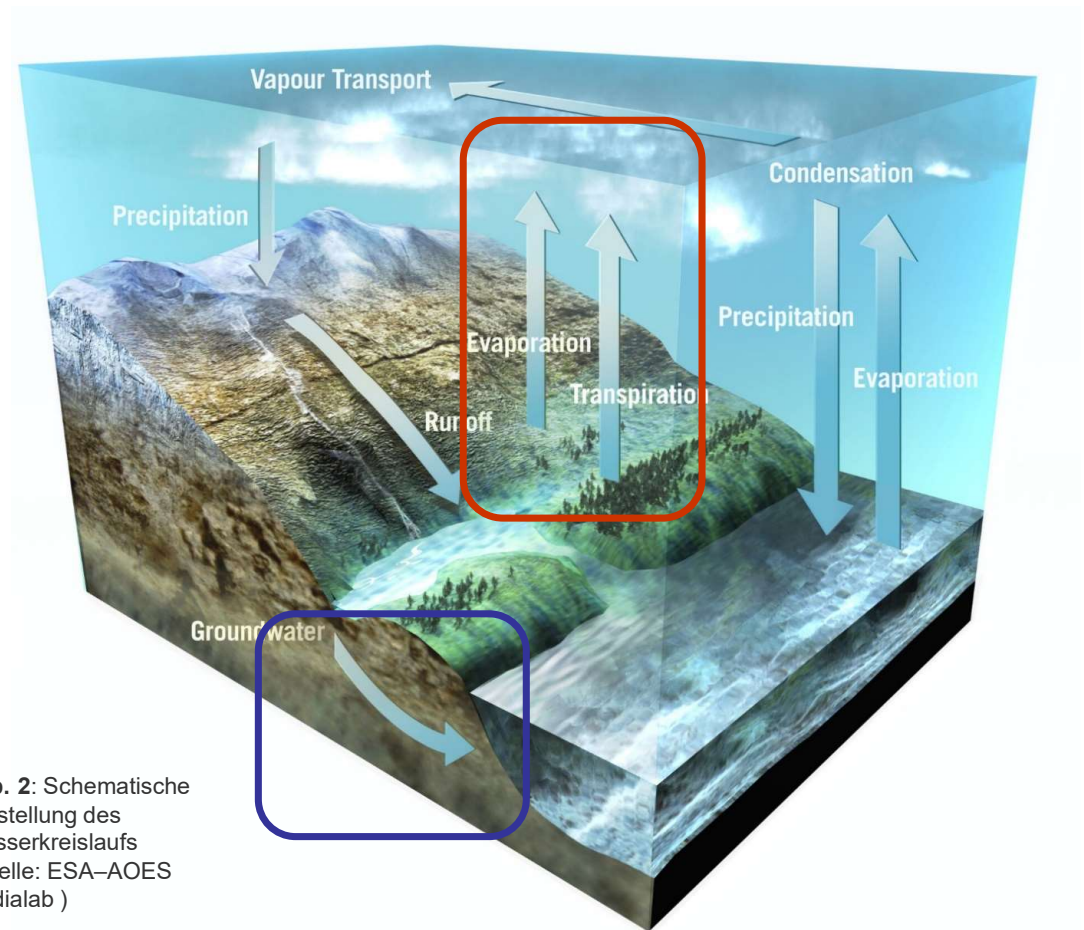


Abb. 2: Schematische Darstellung des Wasserkreislaufs (Quelle: ESA-AOES Medialab)

Warum Lysimeter ?

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

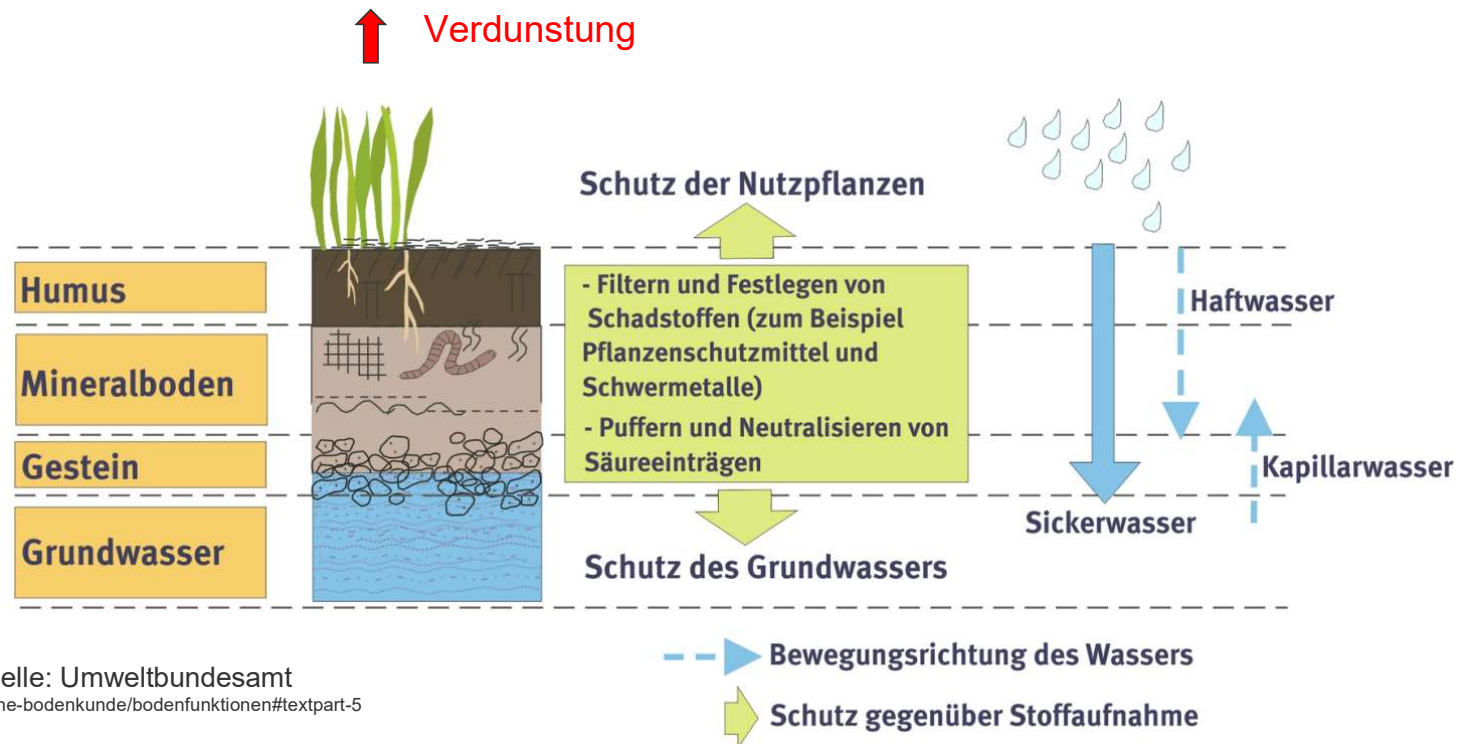


Abb. 3: Der Boden und seine Funktionen, Quelle: Umweltbundesamt
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/kleine-bodenkunde/bodenfunktionen#textpart-5>

Lysimeterstation Brandis - Aufgaben

- | Erfassung langfristiger Wasserhaushaltsbilanzen zur Quantifizierung der Einflüsse:
 - | veränderlicher landwirtschaftlicher Randbedingungen
 - | des Klimawandels
- | Untersuchungen zum Stoffhaushalt mit besonderem Blick auf die WRRL
 - | Erfassung stofflicher Einflüsse der Landwirtschaft auf das Sickerwasser
 - | Auswirkung des Klimawandels auf den Wasser- und Stoffhaushalt und dessen Dynamik mit besonderem Augenmerk auf Stickstoff und Phosphat



Lysimeterstation Brandis

- | 10(12) verschiedene Böden
 - | Ackerzahlen von 35 bis 90
- | landwirtschaftliche Bewirtschaftung entsprechend der regionaltypischen Fruchtfolgen und Düngestrategien
- | Lysimeter:
 - | monolithisch gewonnen (ungestört)
 - | Tiefe: 3m
 - | Oberfläche $A = 1\text{m}^2$
- | Bestimmung der täglichen Wasserhaushaltskomponenten
 - | Niederschlag (1m, bodengleich)
 - | reale Evapotranspiration
 - | Grundwasserneubildung
 - | Sickerwasserqualität aus Monatsmischprobe



Abb. 6: Blick über das Lysimeterfeld mit Lysimetern im Vordergrund und Versickerungsmessern im Hintergrund

Bewirtschaftungshistorie



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. 7:
Bewirtschaftungshistorie
der Lysimeterstation
Brandis

Stickstoffbilanzen



I Zufuhr: min. Dünger, Wirtschaftsdünger, leguminöse Bindung,...

I Abfuhr: Erntegut

Bodenart Oberboden				SI3	Su4	Su4	Uls	Slu	Su2
Lysimetergruppe			Dep.	5	4	8	1	7	11
Bodenzahl				35	48	50	55	50	50
nFK _w (mm)				59	110	109	126	130	125
1.Periode	N _{saldo}	(kgN/ha*a)	49	127	104	104	91	93	87
1981-1992	N _{Fracht}	(kgN/ha*a)		51	40	31	33	21	41
2.Periode	N _{saldo}	(kgN/ha*a)	29	-39	-57	-52	-61	-55	-63
1993-1998	N _{Fracht}	(kgN/ha*a)		35	18	16	12	4	21
3.Periode	N _{saldo}	(kgN/ha*a)	16	77	48	35	33	30	30
1999-2009	N _{Fracht}	(kgN/ha*a)		67	32	37	35	25	46
3.Periode	N _{saldo}	(kgN/ha*a)	12	63	42	39	38	28	29
2010-2019	N _{Fracht}	(kgN/ha*a)		57	39	41	36	29	41

* ohne Deposition, N-Abfuhr Laborwerte – keine Schätzung

I 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



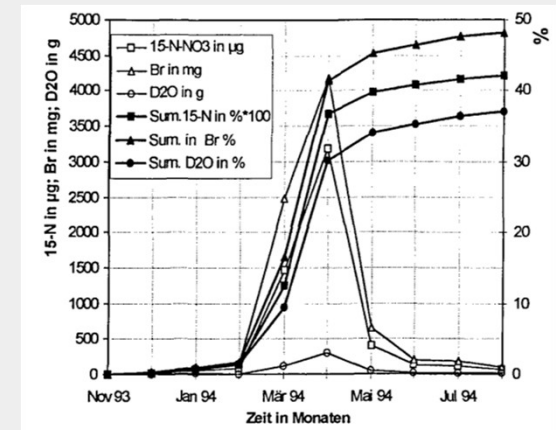
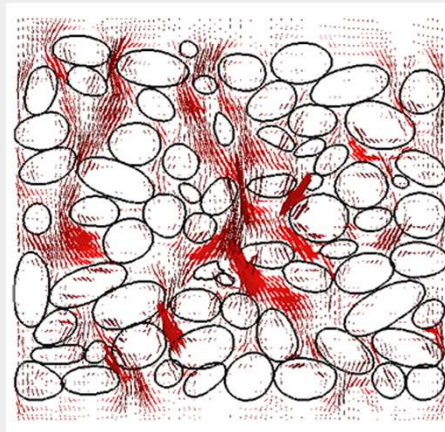
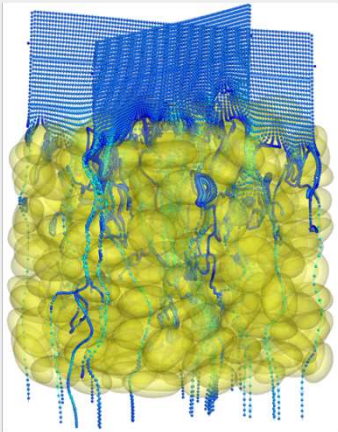
Stickstoff



- | 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 ?**

Abb. 10: Darstellung der vereinfachten Vorstellung eines direkten Vertikaltransports des überschüssigen Stickstoffs in die Tiefe.

Aufenthaltszeiten Sickerwasser Theorie und Praxis



Transportzeiten - Abschätzung

- I theoretische Abschätzung der Transportzeiten auf Basis der Wasserbilanz
- I mit zunehmendem Wasserspeichervermögen längere Aufenthaltszeiten

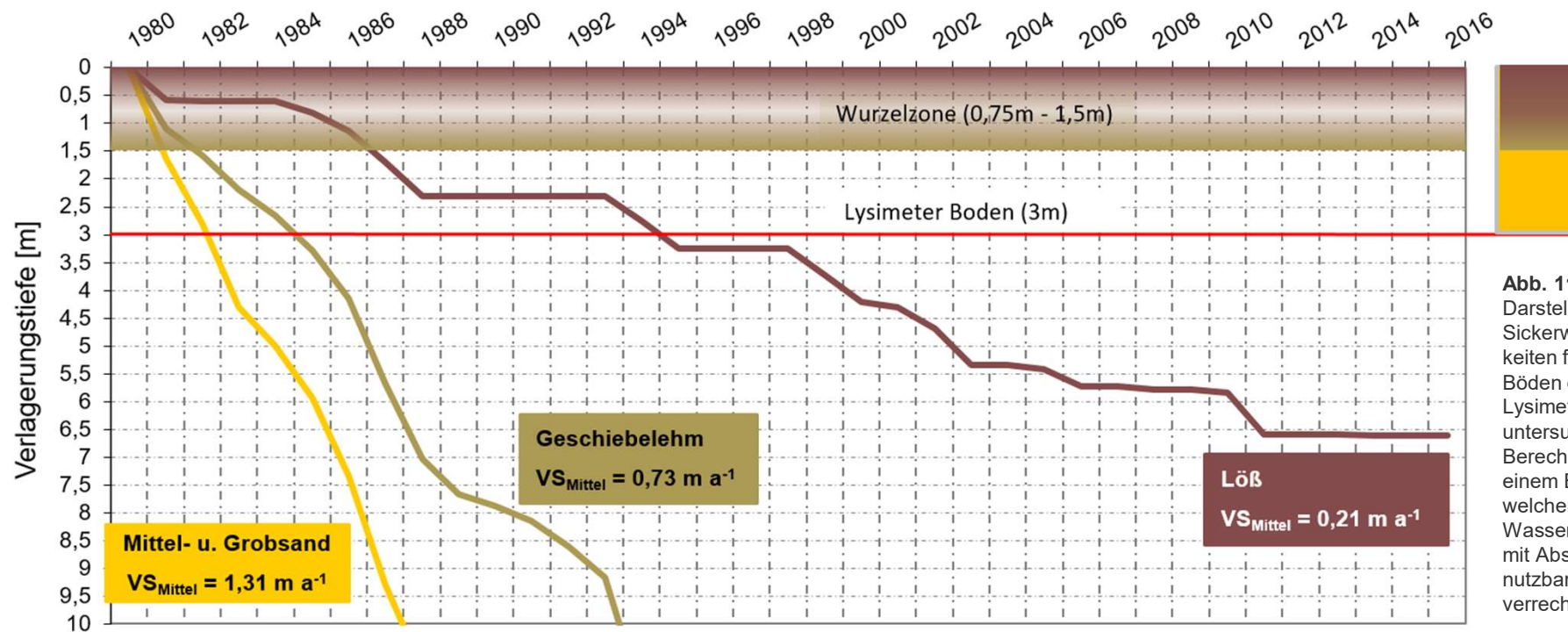


Abb. 11: Theoretische Darstellung der Sickerwassergeschwindigkeiten für 3 verschiedene Böden die in der Brandiser Lysimeteranlage untersucht werden. Die Berechnung erfolgt mit einem Bilanzansatz, welcher reale Wasserhaushaltsgrößen mit Abschätzungen der nutzbaren Feldkapazität verrechnet.

Transportzeiten - Abschätzung

- Mit Ausnahme der Lößböden sollten auf allen Böden binnen 5 Jahren Bewirtschaftungseffekte sichtbar sein

Tab. 36: *Durchschnittliche Verlagerungsgeschwindigkeit [dm/Jahr] und Verweilzeit des Sickerwassers in der Dränwasserzone der Lysimeter - Reihe 1981-97*

Lys.- Gruppe	Drän- zone*	FK _{Drän.} **	Sicker- wasser	Verlagerungs- geschwindigkeit in der Dränzone	Verweilzeit in der Dränzone
	[dm]	[mm]	[mm/Jahr]	[dm/Jahr]	[Jahre]
5	27,4	351	175	13,6	2,0
4	26,0	369	135	9,5	2,7
8	26,2	566	146	6,8	3,9
1	24,9	251	113	11,2	2,2
7	24,0	538	98	4,4	5,5
11	23,5	548	114	4,9	4,8
9	19,1	481	57	2,3	8,3
10	18,8	471	50	2,0	9,4

Dränzone = Lysimetertiefe (3 m) minus We aus Tab. 35

**schichtweise berechnete FK in der Dränwasserzone des Lysimeters

Transportzeiten - Abschätzung

- I Experimentelle Abschätzung durch Transportexperiment mit „konservativen“ Markierungsstoffen (Tracern)
 - I Kaliumbromid
 - I Natriumchlorid

- I 2 Lysimeterböden, aber 2m tiefe Versickerungsmesser:
 - I Gr. 5 – 2 Jahre
 - I Gr. 7 – 5.5 Jahre
 - I Applikation 1998

- I 3 Lysimeter, je 3m (Russow et al., 1996)
 - I Gr. 5 – 2 Jahre
 - I Gr. 7 – 5.5 Jahre
 - I Gr. 10 – 9.4 Jahre
 - I Applikation 1993

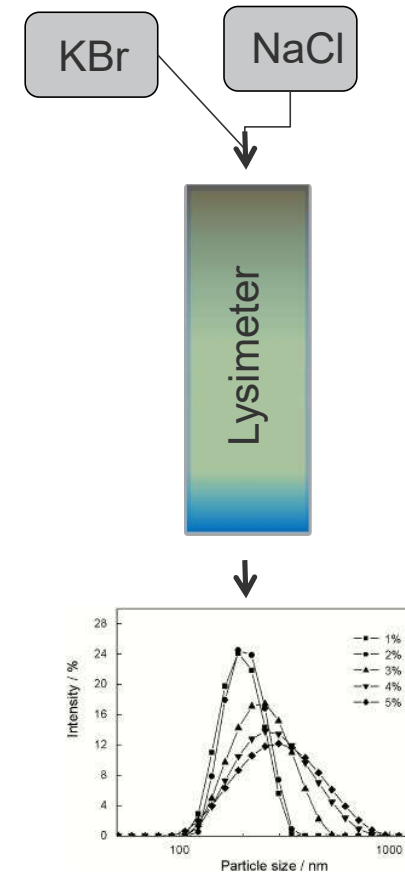


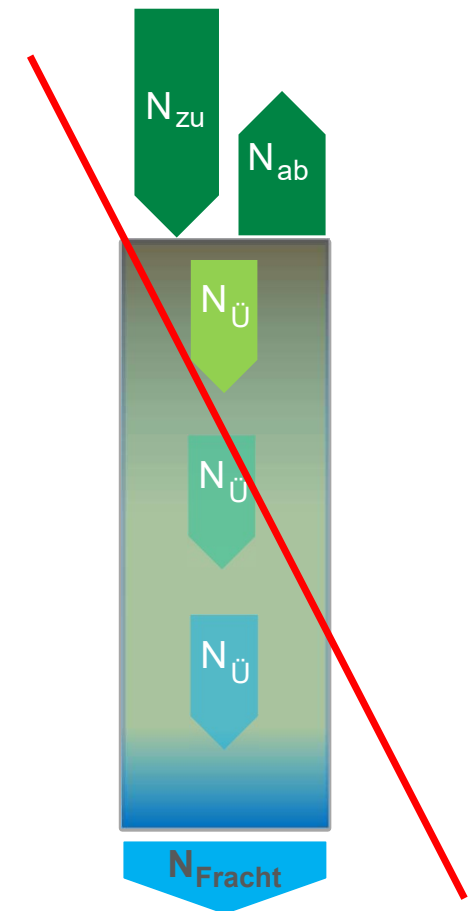
Abb. 12:
Funktionsprinzip eines
Tracerexperimentes

Transportzeiten - Abschätzung

- I Transportzeiten können theoretisch auf Basis bodenphysikalischer Kenngrößen und realer Wasserbilanzkomponenten geschätzt werden
- I Transportzeiten können experimentell durch Tracerversuche ermittelt werden

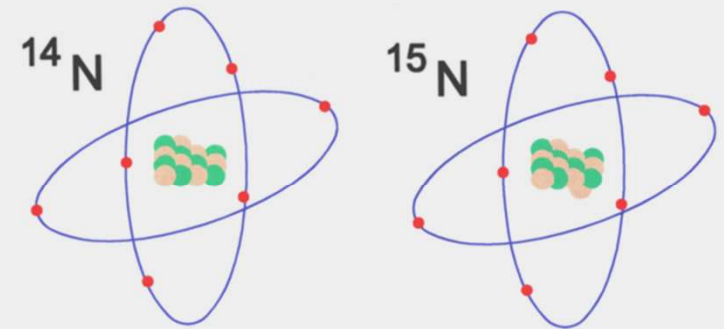
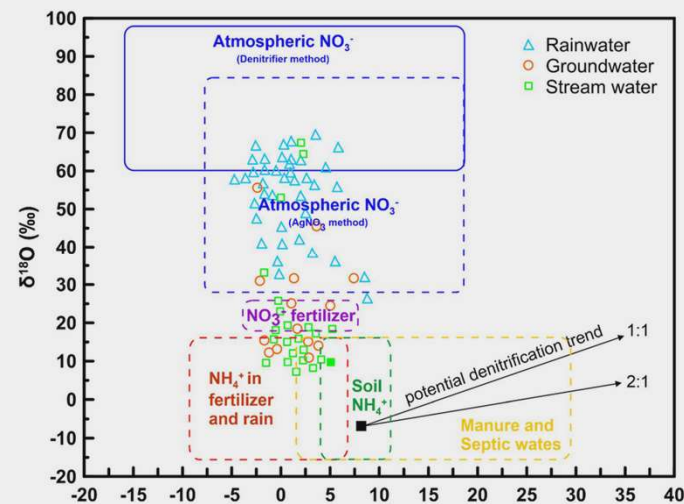
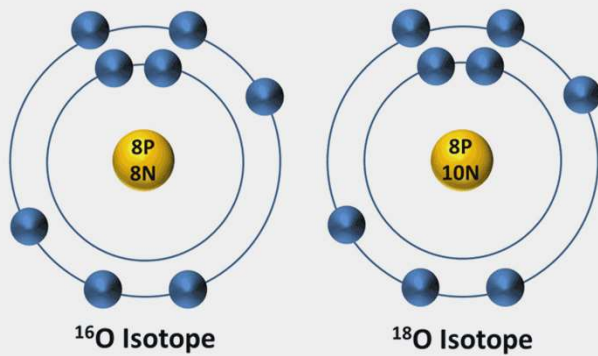
$$t_{\text{exp}} < t_{\text{theor}} < 5a$$

- I Bewirtschaftungsänderungen sollten sichtbar sein, sind es aber nicht
- I Dünger perkoliert nicht einfach, Transport erfolgt reaktiv
- I Quelle des Sickerwassernitrats ?
 - ➔ I Analyse der Stabilisotope von $\delta^{15}\text{N}$ & $\delta^{18}\text{O}$ im NO_3 des Sickerwassers



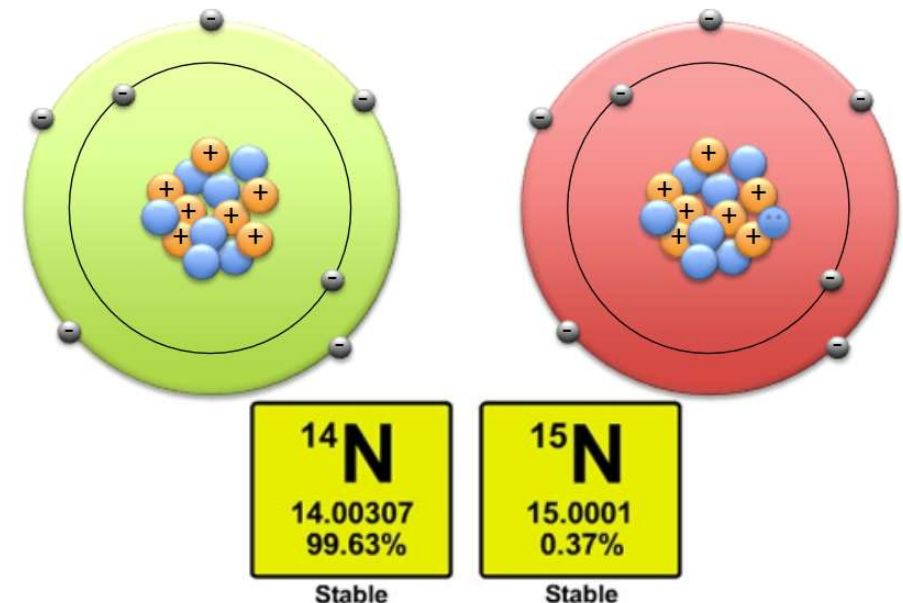
Nitrat und stabile Isotope

Oxygen Isotopes



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)



^{16}O 15.9949 99.76% Stable	^{17}O 16.9991 0.04% Stable	^{18}O 17.9991 0.20% Stable
--	---	---

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

- 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

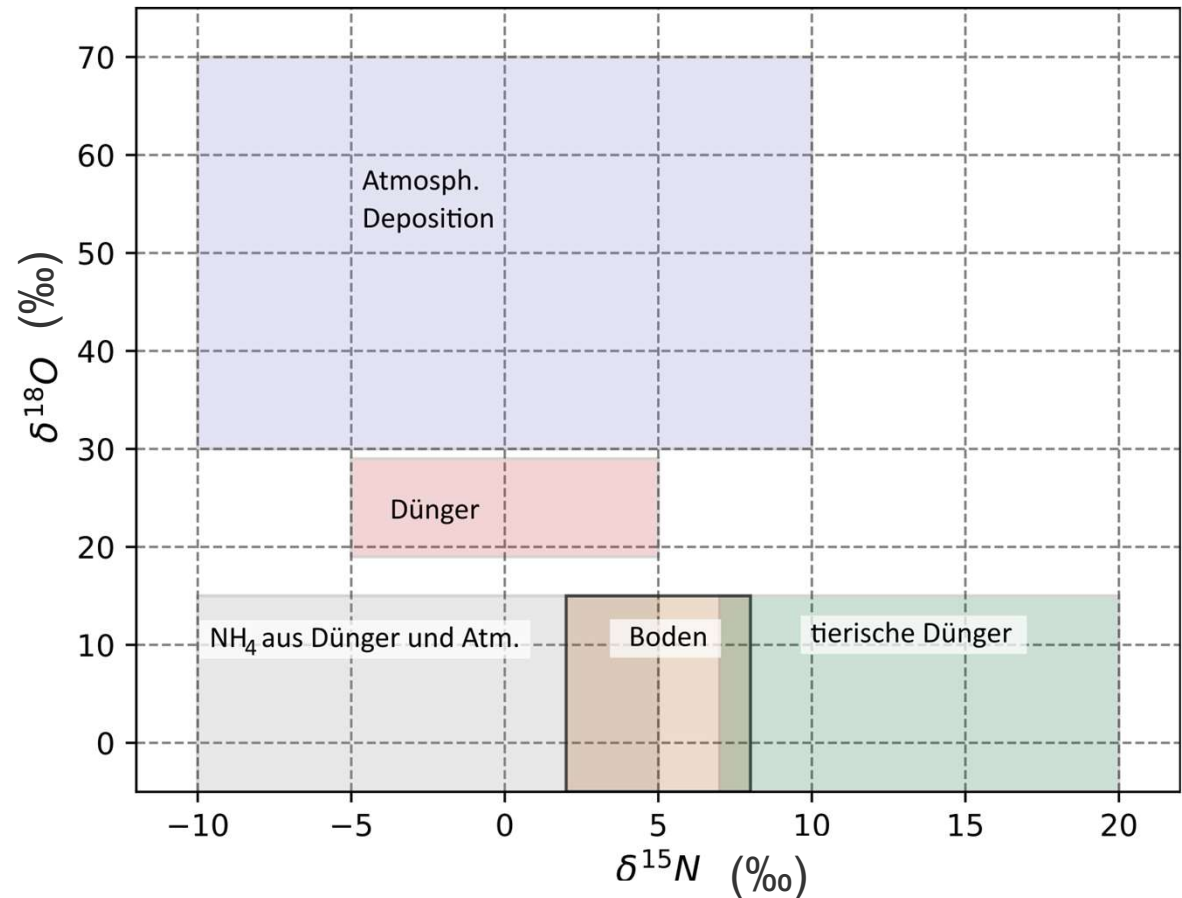


Abb. 9: Signaturen typischer Nitratquellen in landwirtschaftlichen Systemen. Grafik modifiziert nach Mongelli et al. (2011) mit Daten aus Xue et al. (2009). Die unteren 3 Kästen beschreiben den Prozess der Nitrifikation von Nitrat aus 3 verschiedenen Quellen.

Historische Markierungsexperimente

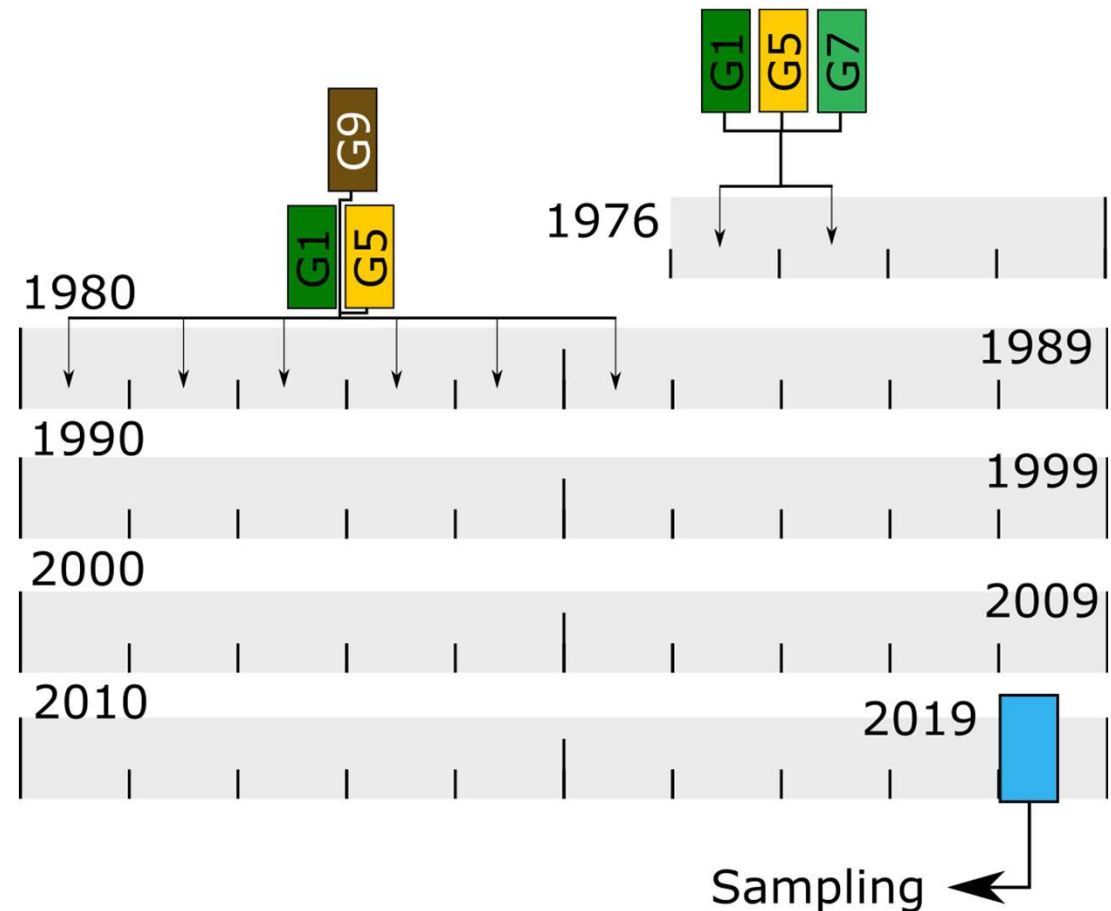
- | ^{15}N markierter Dünger (26.8 At.-%) wurde in folgenden Jahren eingesetzt:

- | 1976 - 77: 3 Gruppen

- | 1980 - 86: Gruppe 7 gegen Gruppe 9 getauscht

- | Ziel: Bestimmung der Stickstoffnutzungseffizienzen der Anbaukulturen

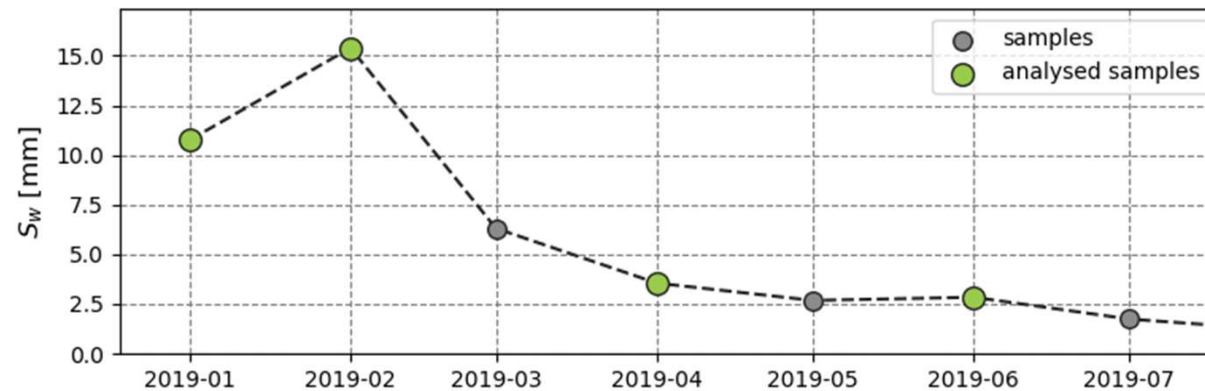
- | Probenahme fand nun 33 Jahre nach der letzten Applikation von markiertem Dünger statt



Analyse Stabilisotope

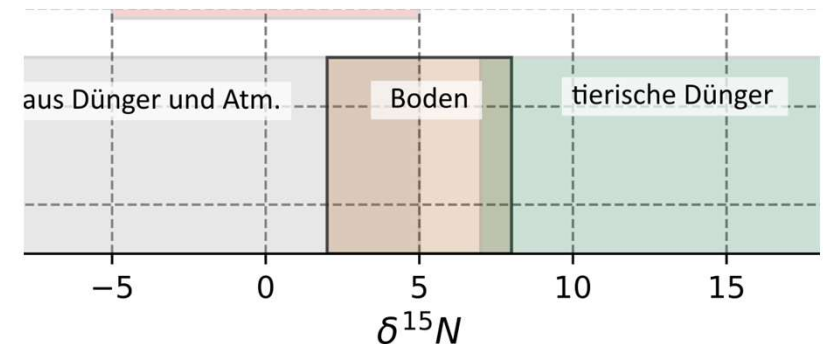
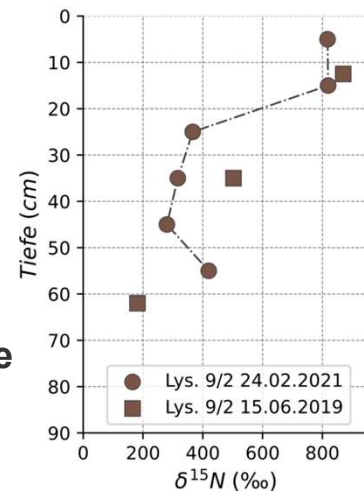
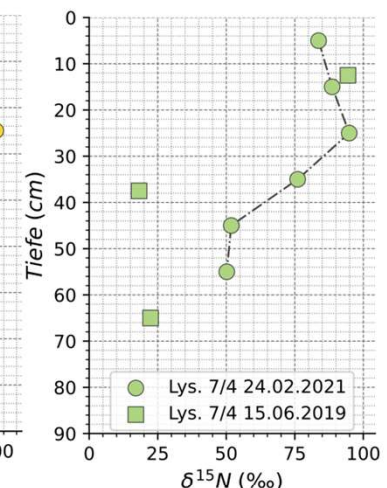
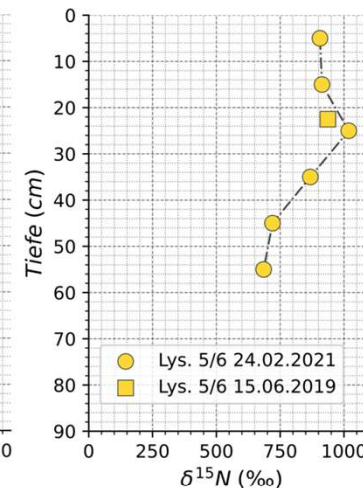
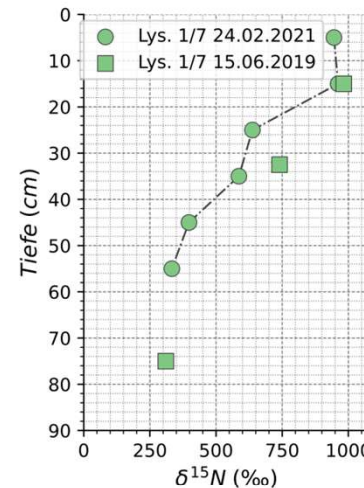


- | $\delta^{15}\text{N}$ & $\delta^{18}\text{O}$ in atmosphärischer Deposition (P)
- | $\delta^{15}\text{N}$ & $\delta^{18}\text{O}$ im Dünger (F)
- | $\delta^{15}\text{N}$ in Bodenproben der ersten 3 Horizonte (S)
- | $\delta^{15}\text{N}$ & $\delta^{18}\text{O}$ im Sickerwasser (S_w)



Isotopensignaturen Bodenprofile

- I Markierungen noch heute deutlich sichtbar
 - I In den obersten Horizonten am stärksten ausgeprägt
 - I Markierung aus den 70ern und 80ern noch immer in den Böden, aber:
 - I Massenanteile schwer zu bestimmen aber auf allen Böden <25% der eingesetzten Düngermenge
 - I Massenanteile am Gesamtstickstoff < 0.5%
- ↓
- I **Stickstoffüberschuss kann für Jahrzehnte in Böden gespeichert werden**



Isotopensignaturen Bodenprofile

- I Gesamtstickstoff weist ausgeprägtes Tiefenprofil auf
- I $\delta^{15}\text{N}$ –Signatur ebenfalls ein ausgeprägtes Tiefenprofil
- I Nitrat welches in diesem Profil durch Nitrifikation gebildet wird ist eindeutig zu identifizieren
- I sogar Entstehungstiefe kann identifizierbar sein
- I **einmalige Voraussetzungen für Identifikation der sickwasser gebundenen Stickstoffverluste**

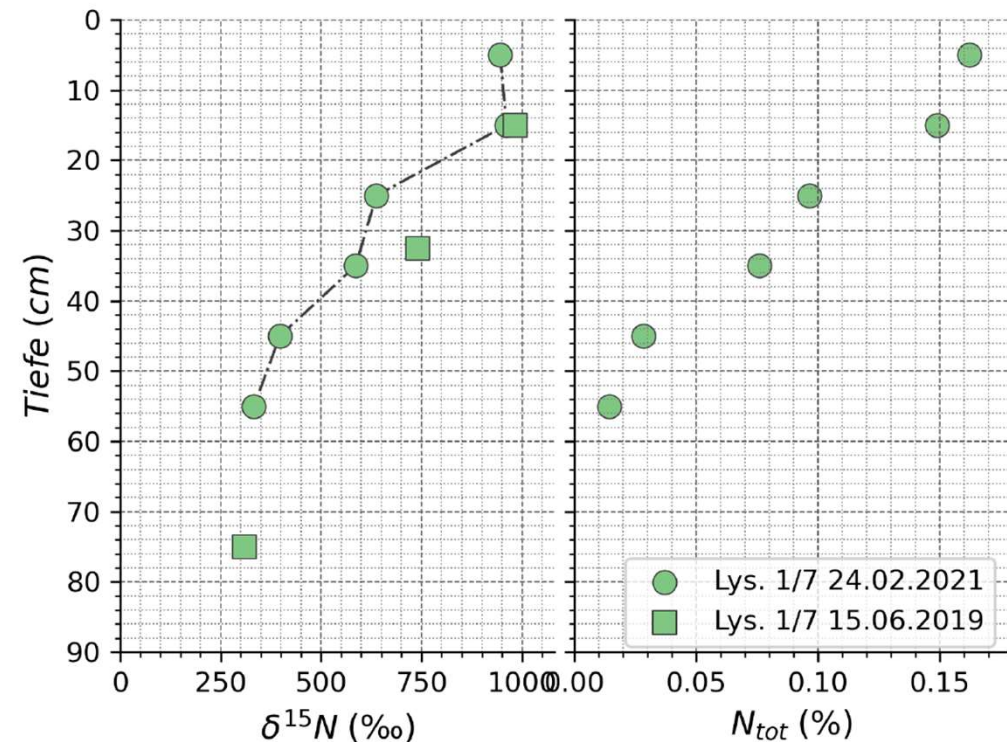
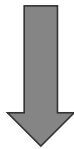


Abb. 16: $\delta^{15}\text{N}$ Signaturen des Bodens im Lysimeter 1/7 mit historischen Markierungsexperimenten.

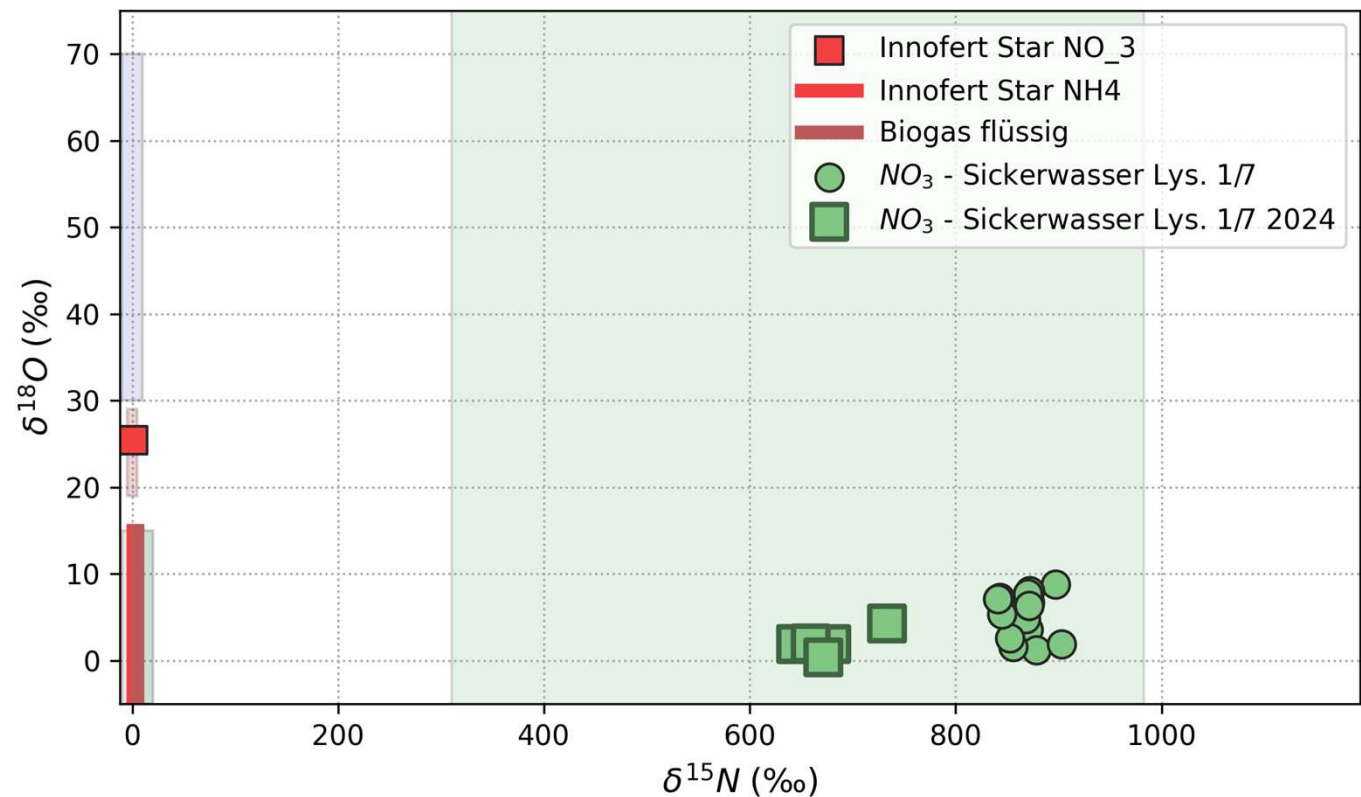
Isotopensignaturen Sickerwasser

I Sickerwasser der Jahre 2019 bis 2024 trägt deutlich die $\delta^{15}\text{N}$ Signatur der Böden

I $\delta^{18}\text{O}$ Signatur deutet ebenfalls auf einen Nitrifikationsprozess als Quelle hin



I Nitrat mehrheitlich aus der Nitrifikation der bodenorganischen Substanz



Stochastische Herkunftsanalyse

- stoch. mixing model
(Phillips & Gregg, 2003)
- 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**

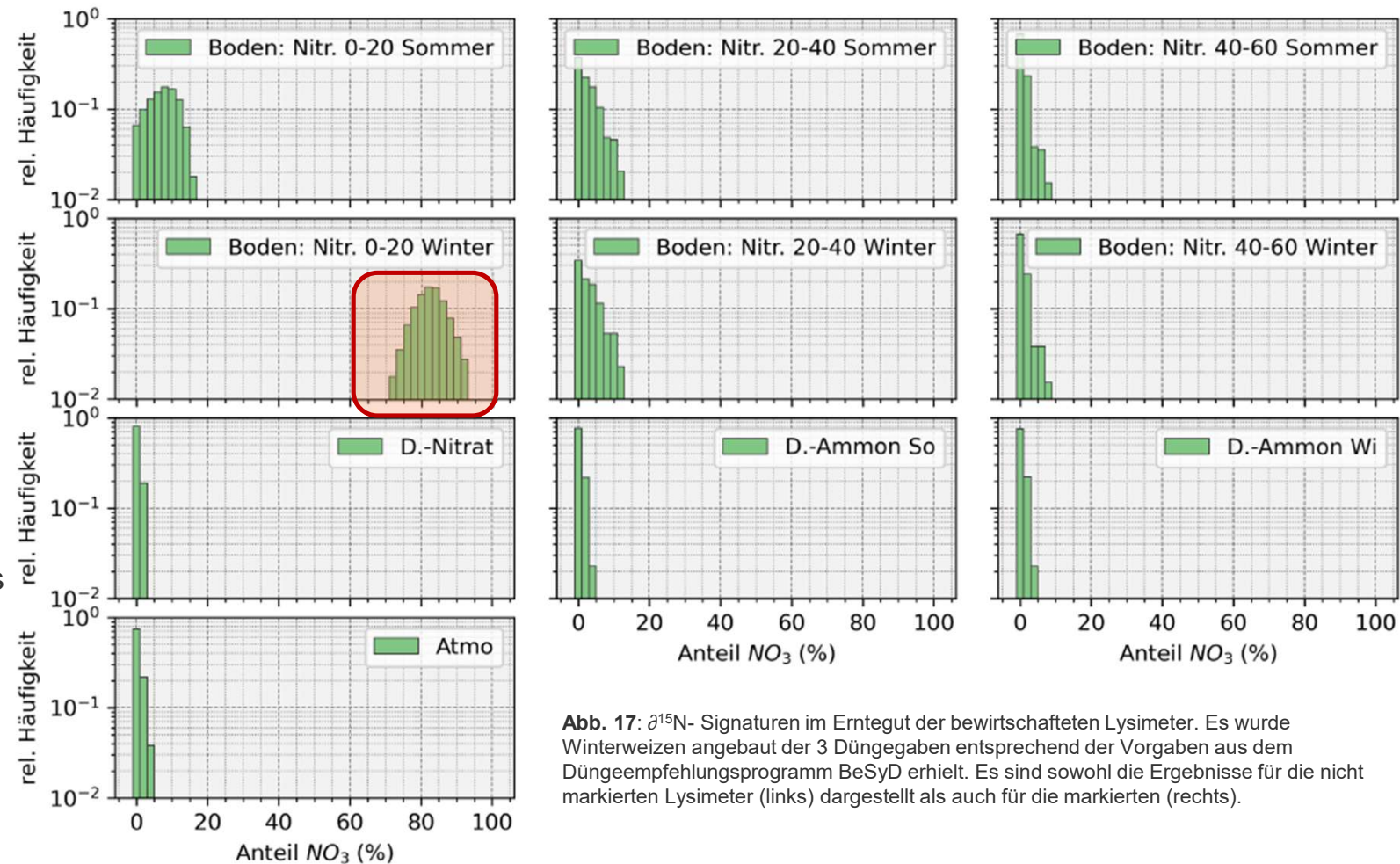
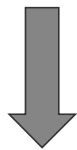


Abb. 17: $\delta^{15}N$ - Signaturen im Erntegut der bewirtschafteten Lysimeter. Es wurde Winterweizen angebaut der 3 Düngegaben entsprechend der Vorgaben aus dem Düngempfehlungsprogramm BeSyD erhielt. Es sind sowohl die Ergebnisse für die nicht markierten Lysimeter (links) dargestellt als auch für die markierten (rechts).

Isotopensignaturen Sickerwasser

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



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

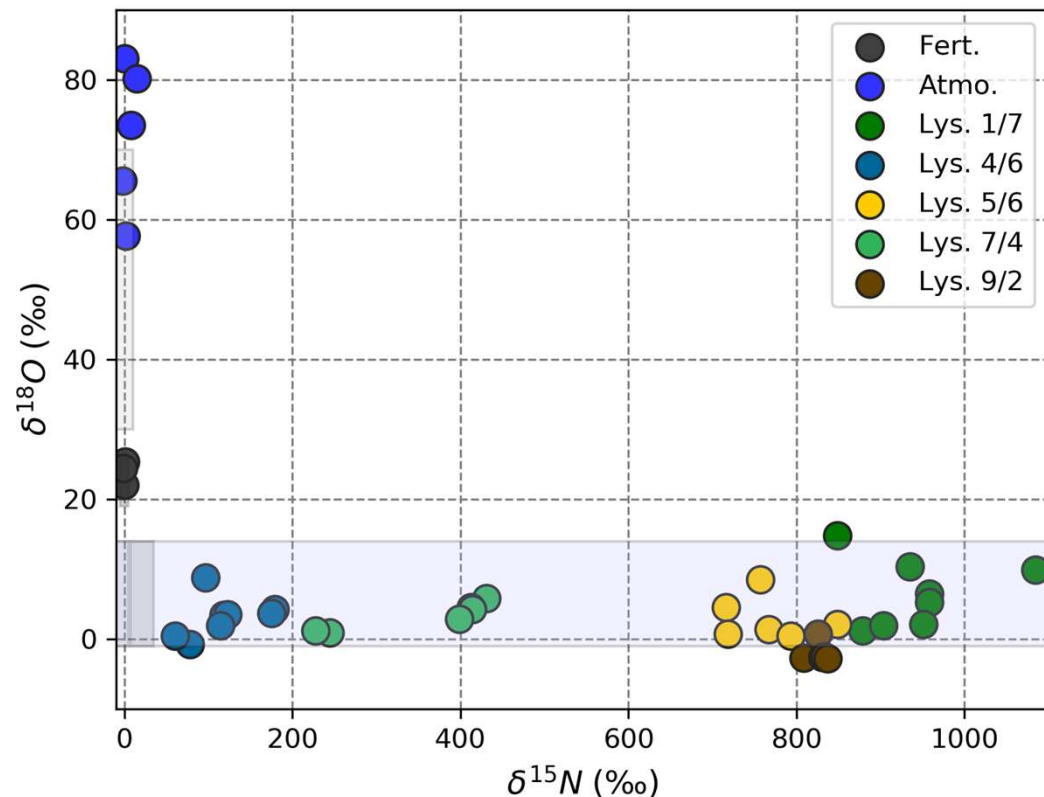
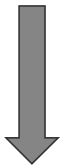


Abb. 16: $\delta^{15}\text{N}$ Signaturen der Böden mit historischen Markierungsexperimenten. Zu Lysimeter 4/6 existieren zwar keine offiziellen Unterlagen, aber anhand der Auslenkungen des Sickerwassers hat dieses Lysimeter mit Sicherheit mindestens einmal eine ^{15}N markierte Düngung erhalten. Aufgrund der hohen Sandanteile im Lysimeter 5/6 konnte keine Bodenproben in den 2 tieferen Horizonten gewonnen werden.

Isotopensignaturen Erntegut

- I substantielle Anteile des pflanzengebundenen Stickstoffs stammen aus dem bodenorganischen N-Pool
- I Düngung wird nur teilweise von Pflanzen aufgenommen
- I Düngung wurde nicht mit Sickerwasser ausgetragen



- I Einlagerung in N-Pool

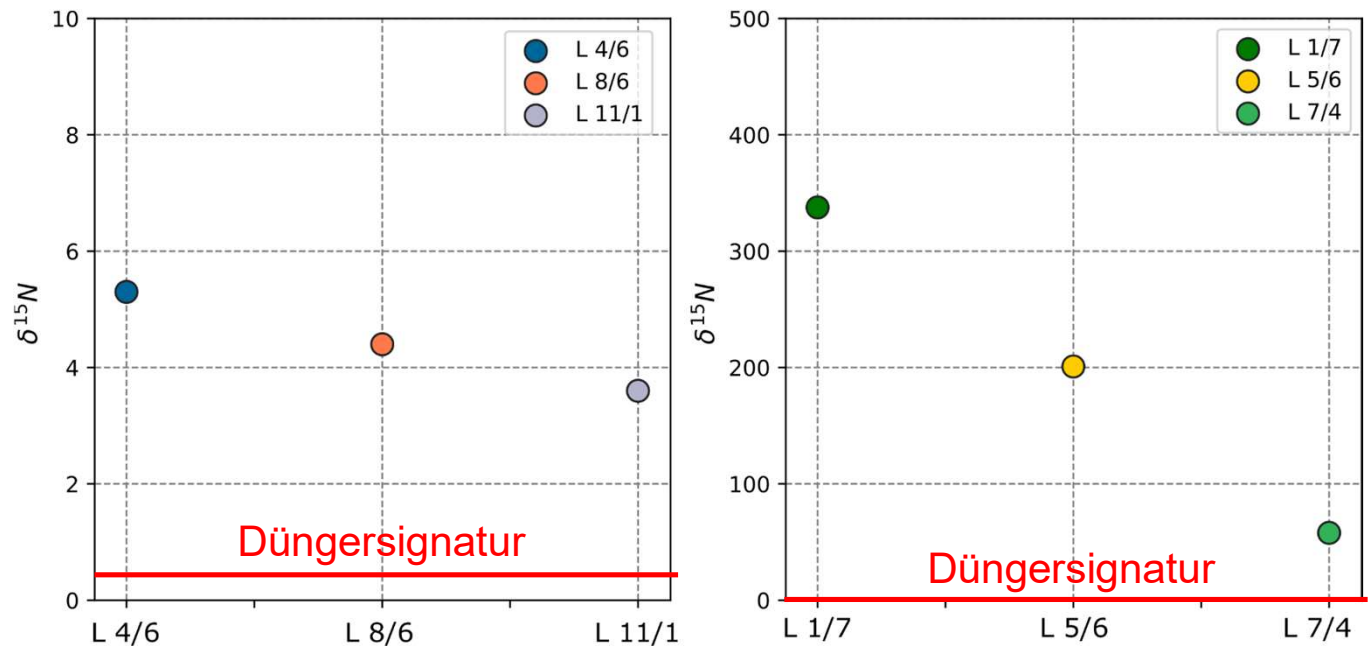


Abb. 17: $\delta^{15}N$ - Signaturen im Erntegut der bewirtschafteten Lysimeter. Es wurde Winterweizen angebaut der 3 Düngegaben entsprechend der Vorgaben aus dem Düngeempfehlungsprogramm BeSyD erhielt. Es sind sowohl die Ergebnisse für die nicht markierten Lysimeter (links) dargestellt als auch für die markierten (rechts).

Zusammenfassung

- I Nitratauswaschung ist kein simples Verlagerungsproblem
- I N ist reaktiv unterliegt einer Vielzahl dynamischer Prozesse (Raum und Zeit)
- I Stickstoffdynamiken in landwirtschaftlichen Böden vor allem durch Zusammenspiel von Mineralisierung und Immobilisierung kontrolliert
 - I jahreszeitlich unterschiedliche Bedeutungen
- I Nitrat im Sickerwasser kommt hauptsächlich aus organischem Pool (>99%)
- I **Problem:** Mineralisierung kann kaum beeinflusst werden → keine Steuerung möglich

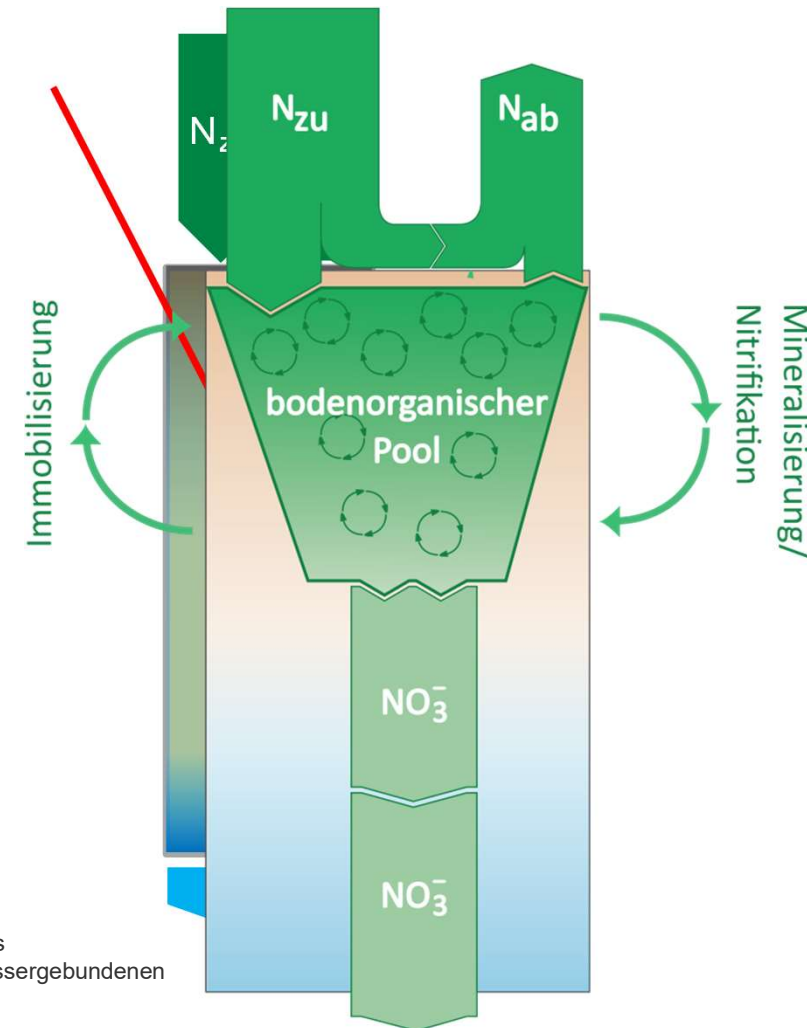


Abb. 18: Aktuell wahrscheinlichstes Erklärungsmodell für den sickerwassergebundenen Nitratverlust.

Schlussfolgerung

- I Mineralisation in Böden wird vor allem durch folgende Faktoren beeinflusst:
 - I Temperatur
 - I Bodenfeuchte
 - I C/N Verhältnis
 - I Belüftung
- I zukünftige Mineralisationsleistung wird also auch vom Klimawandel beeinflusst werden, vor allem durch:
 - I Bodentemperaturen
 - I innerjährliche Niederschlagsverteilung
- I jetzige Bedingungen begünstigen Mineralisierung durch höhere Temperaturen und Bewirtschaftung

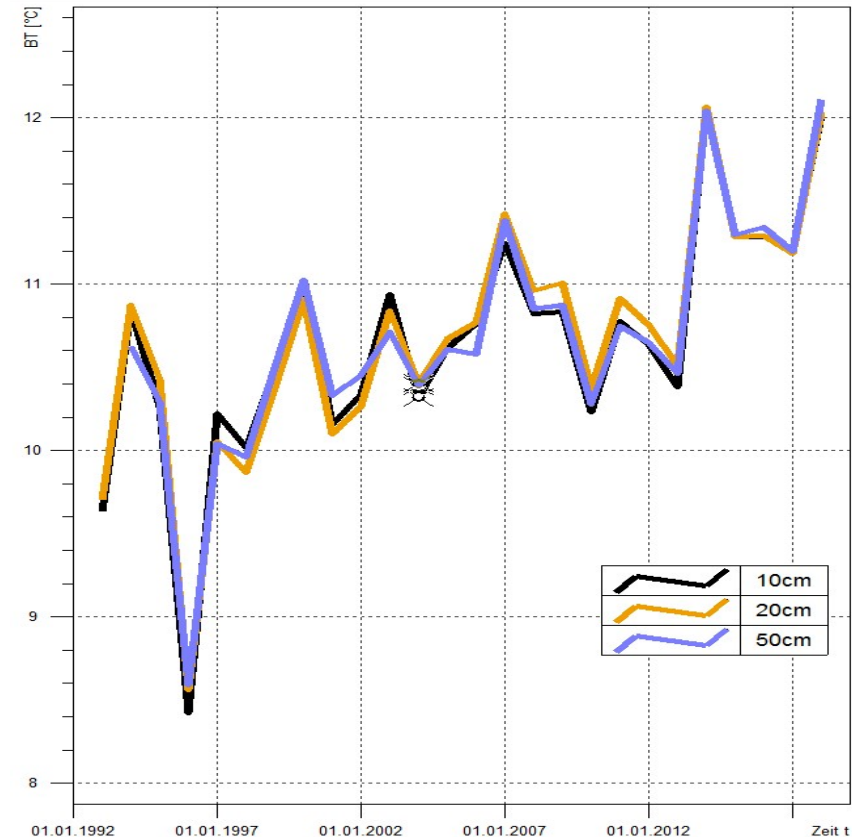


Abb. 19: In Brandis gemessene Bodentemperaturen (Jahresmittel) in drei verschiedenen Tiefen seit 1992.

Schlussfolgerung

- I Verbindung zwischen Dünger-N und Sickerwasseraustrag **besteht indirekt** über bodenorganischen N-Pool (Russow et al. 1996; Minet et al., 2012; ...)
- I kontinuierlich positive N-Salden reichern diesen mit N-an (van Meter et al., 2016, 2019)
 - I Verschiebung C/N Verhältnisse ?
 - I Steigerung N-Verlustpotential
 - I Aufbau eines „Stickstoffvermöchnisses“
- I **Nitratauswaschung reagiert daher nur langsam und gedämpft auf Veränderungen in N-Salden**
- I aktuell sind **erhöhte Nitratausträge durch Sickerwassermengen limitiert** nicht durch verfügbaren Stickstoff

Lysimetergruppe NStE Bodenzahl		Gruppe 5 D3 35	Gruppe 4 D5 48
1981 - 1992	N - Saldo* (kg/ha)	142	116
	N - Fracht (kg/ha)	51	38
1993 - 1998	N - Saldo* (kg/ha)	-19	-40
	N - Fracht (kg/ha)	45	34
1999 - 2009	N - Saldo* (kg/ha)	77	46
	N - Fracht (kg/ha)	61	45
2010 - 2019	N - Saldo* (kg/ha)	68	42
	N - Fracht (kg/ha)	60	39
Σ N-Saldo (kg/ha)		3121	2084
Σ N-Saldo + Deposition (kg/ha)		4179	3142
Σ N-Fracht (kg/ha)		2152	1550
N-Überhang (kg/ha)	ohne Depos.	969	534
	mit Depos.	2027	1592

Schlussfolgerung

- | Aufenthaltszeit des Sickwassers $\neq$ Aufenthaltszeit Stickstoff
- | wesentliche Anteile des Dünger-Stickstoffs werden nicht von den Pflanzen aufgenommen und nicht direkt ausgewaschen
 - | Einlagerung und Akkumulation in bodenorganischen N-Pool
 - | Ernährung landwirtschaftlicher Kulturen aus diesem Pool (Düngung der Pflanze über den Boden)
- | Nitrat im Sickerwasser aller Lysimeter in Periode 2019 – aktuell aus Mineralisierung der bodenorganischen Substanz
- | Mineralisierung im Boden nach der Ernte ursächlich für Nitrataustrag
 - | kaum steuerbar
 - | von klimatischen und bodenchemischen Zuständen abhängig



Abb. 20: Ausbringung von Mineraldünger mit einem Düngerstreuer (Quelle: Von Amazone GmbH & Co. KG, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10545946>).

A photograph of a field with rows of young plants and blue circular markers. A semi-transparent text box is overlaid in the center.

**Danke für die
Aufmerksamkeit !**

Literatur

Basu, N.B., Van Meter, K.J., Byrnes, D.K. et al. 2022: Managing nitrogen legacies to accelerate water quality improvement. *Nat. Geosci.* 15, 97–105, <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00889-9>

Frick, H., Oberson, A., Frossard, E., Bünemann, E., 2022: Leachate nitrate under fertilised loamy soil originates mainly from mineralisation of soil organic N, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108093>

Minet, E., Coxon, C., Goddhue, R., Richards, K., Kalin, R., Meier-Augenstein, W., 2012: Evaluating the utility of ^{15}N and ^{18}O isotope abundance analyses to identify nitrate sources: A soil zone study, *Water Research*, 46, pp. 3723 – 37336, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.03.004>

Mongelli, G., Paternoster, M., Sinisi, R., 2013: Assessing nitrate origin in a volcanic aquifer using a dual isotope approach, *International Journal of Environmental Science and Technology*, <https://doi.org/10.1007/s13762-012-0169-9>

Phillips, D., Gregg, J., 2003: SOURCE PARTITIONING USING STABLE ISOTOPES: COPING WITH TOO MANY SOURCES. *OECOLOGIA*. Springer-Verlag, New York, NY, 136:261-269, (2003).

Rupp, H., Tauchnitz, N., Meissner, R., 2024: The influence of increasing mineral fertilizer application on nitrogen leaching of arable land and grassland – results of a long-term lysimeter study, *Frontiers in Soil Science*, <https://doi.org/10.3389/fsoil.2024.1345073>

Russow, R., Segschneider, H.-J., Förstel, H., 1996: Vergleich der Wasser- und Anionenbewegung in agrarisch genutzten Sandlöss- und Löss-Schwarzerde-Böden an Hand von Multitracer-Untersuchungen, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 40(6), p 453 – 472

Sørensen, P, Pedersen, B., Thomsen, I., Eriksen, J., Christensen, B, 2023: Plant availability and leaching of ^{15}N -labelled mineral fertilizer residues retained in agricultural soil for 25 years: A Lysimeter study, *Journal of Plant nutrition and soil science*, 186, 441-450, <https://doi.org/10.1002/jpln.202200288>

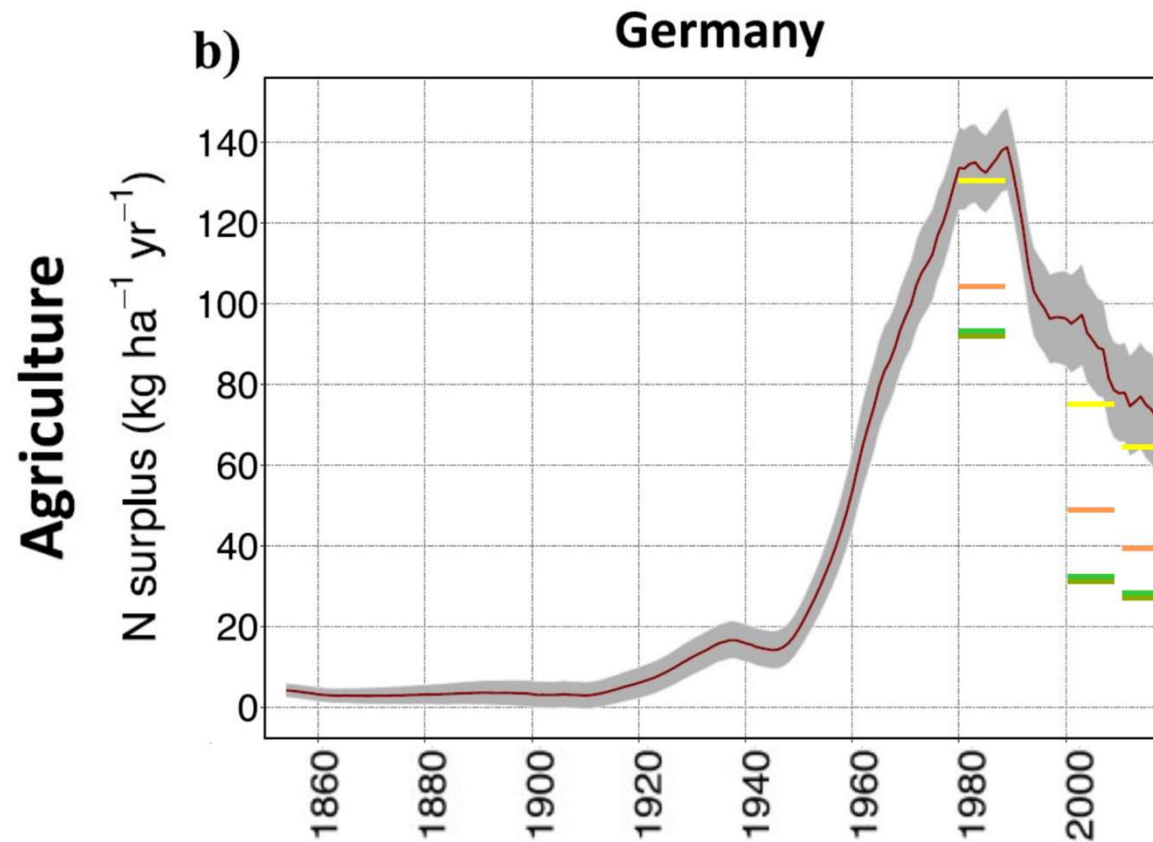
Stock, P., Roder, S. and Burghardt, D. (2020): Further optimization of the denitrifier method for rapid ^{15}N and ^{18}O analysis of nitrate in natural water samples, *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 35:e8931 <https://doi.org/10.1002/rcm.8931>

Van Meter, K., Basu, N., Veenstra, J. und Burras, C., 2016: The nitrogen legacy: emerging evidence of nitrogen accumulation in anthropogenic landscapes, *Environmental Research Letters*, 11, 035014, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/3/035014>

Van Meter, K. J., Basu, N. B., & Van Cappellen, P. (2017). Two centuries of nitrogen dynamics: Legacy sources and sinks in the Mississippi and Susquehanna River Basins: Two centuries of nitrogen dynamics. *Global Biogeochemical Cycles*, 31(1), 2–23. <https://doi.org/10.1002/2016GB005498>

Van Meter, Kimberly J., Byrnes, D. K., & Basu, N. B. (2023). Memory and Management: Competing Controls on Long-Term Nitrate Trajectories in U.S. Rivers. *Global Biogeochemical Cycles*, 37(4), e2022GB007651. <https://doi.org/10.1029/2022GB007651>





2017/2018 Phacelia

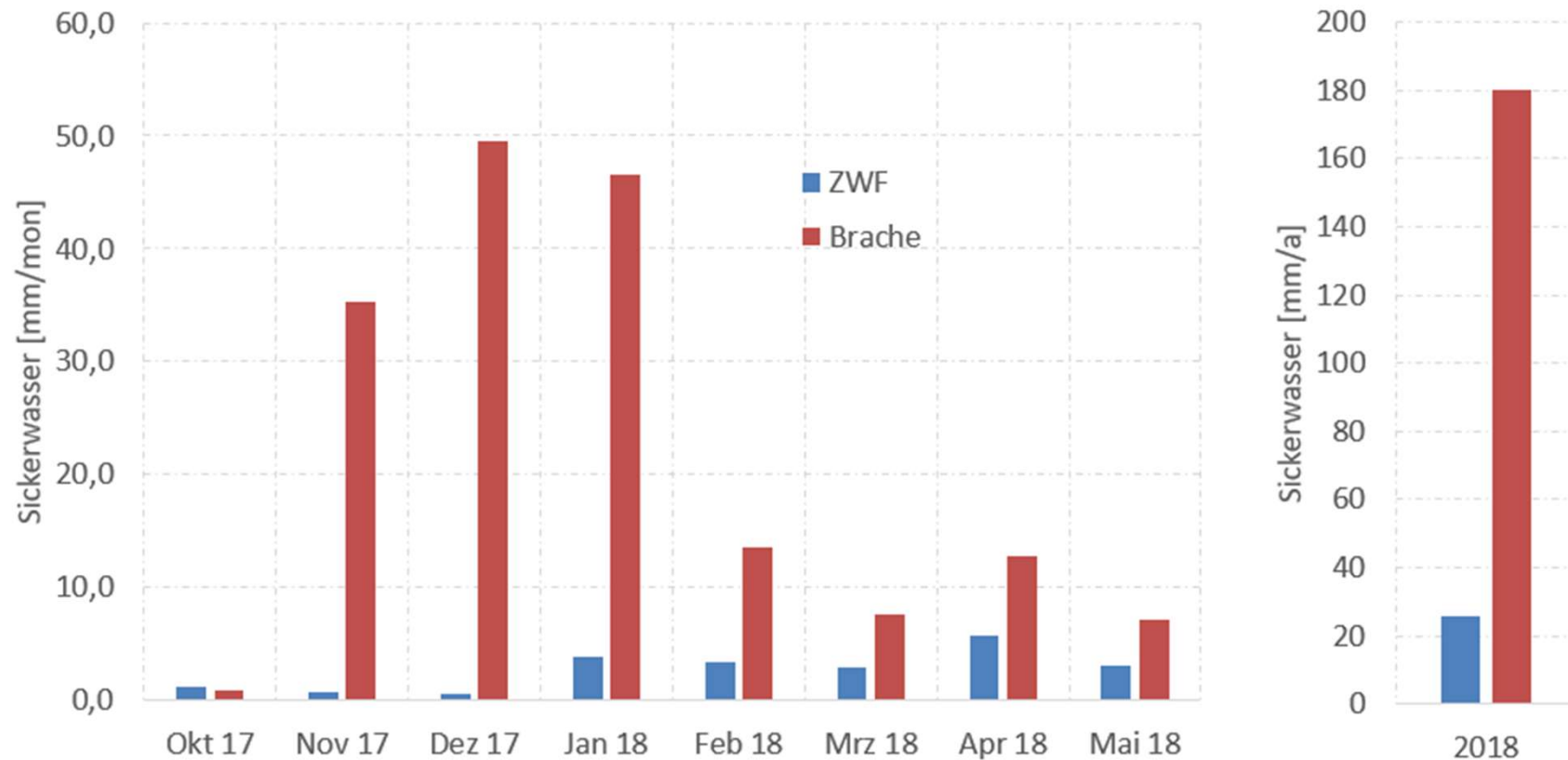


Abb. 24: Vergleich der monatlichen Sickerwassermengen (links) und der Jahressumme (rechts) zwischen bewachsenen Versickerungsmessern der Gruppe 8 und den Winterbrachen der Lysimeter der Gruppe 8 im Winter 2017/2018

2017/2018 Phacelia

- I Phacelia-Bestände waren gut entwickelt und recht dicht
- I deutlicher Wasserbedarf durch Transpiration der Bestände auf allen Böden
- I erhöhter Wasserbedarf äußert sich in drastisch reduzierter Sickerwassermenge auf allen Böden
 - I gut im Sinne reduzierter Nitratreinträge
 - I nachteilig für Grundwasserneubildung (insbesondere in Wasserschutzgebieten)

Bodengruppe	Sickerwassermenge [mm/a]	
	Zwischenfrucht	Brache
1	31	153
4	22	139
8	26	180

2021/2022 ZWF-Mischung

- I Mischung aus:
 - I Ramtillkraut
 - I Phacelia
 - I Alexandrinerklee
- I Aufgang trockenheitsbedingt heterogen
- I Bestandesentwicklung ebenfalls heterogen insgesamt unterdurchschnittlich
- I abfrieren: Mitte Januar
- I Hauptfrucht: Mais
- I Vergleich nur auf Lysimetergruppe 1 möglich, da dort einzelnes Lysimeter ohne Bestand (keine Etablierung)



Abb. 25: Beispiele für gut entwickelte Bestände der Zwischenfruchtmischung (Quelle: Baywa, https://www.baywa-agrarhandel.de/binaries/pdf/content/documents/baywa-agrarhandel-de/downloads/saatgut-kompakt/saatgut-kompakt/baywacms%3Adownloadpdf/BAH_Saatgut_Kompakt_2023_2024.pdf)

2021/2022 ZWF-Mischung

I deutliche Unterschiede in der Evapotranspiration der Lysimeter mit ohne Bewuchs

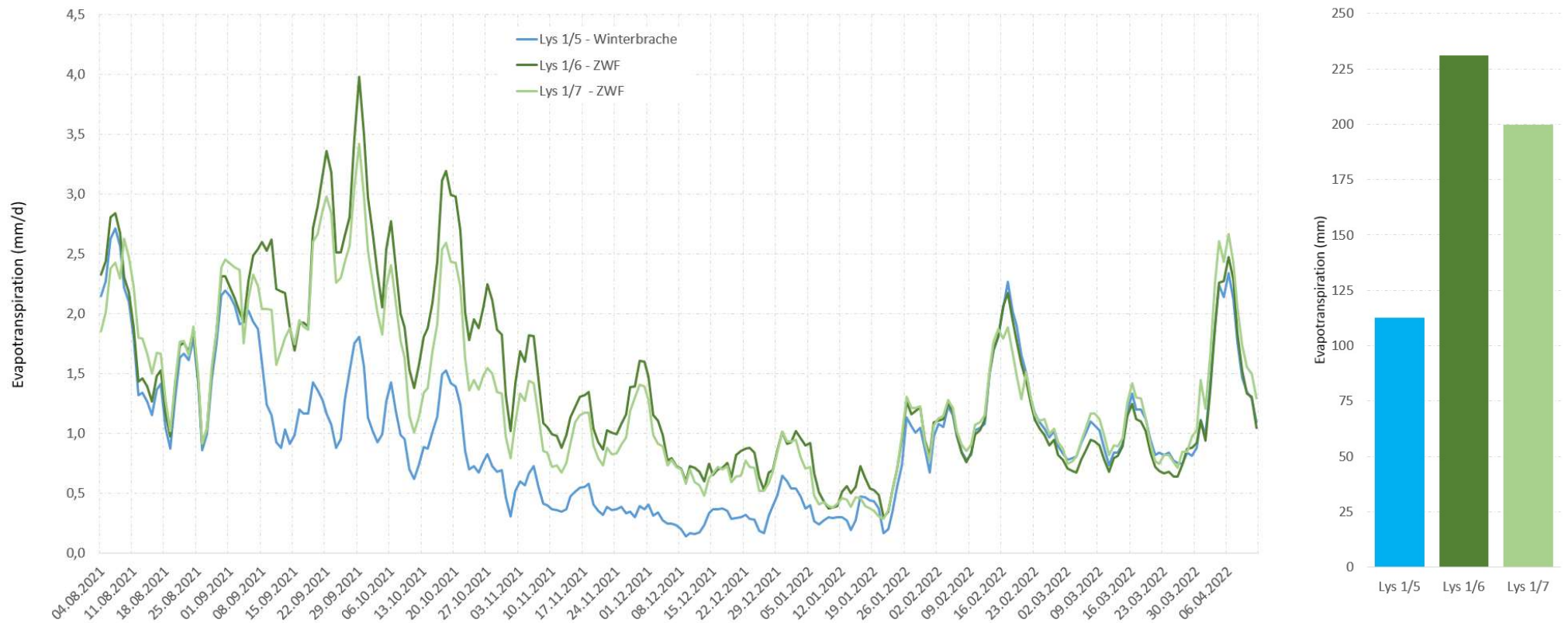


Abb. 26: Vergleich der täglichen Verdunstungen zwischen mit Zwischenfruchtmischung bewachsenen Lysimetern der Gruppe 1 und dem Lysimeter 1/5 der Gruppe 1 auf dem keine Bestände der Zwischenfruchtmischung etabliert werden konnten.

2021/2022 ZWF-Mischung

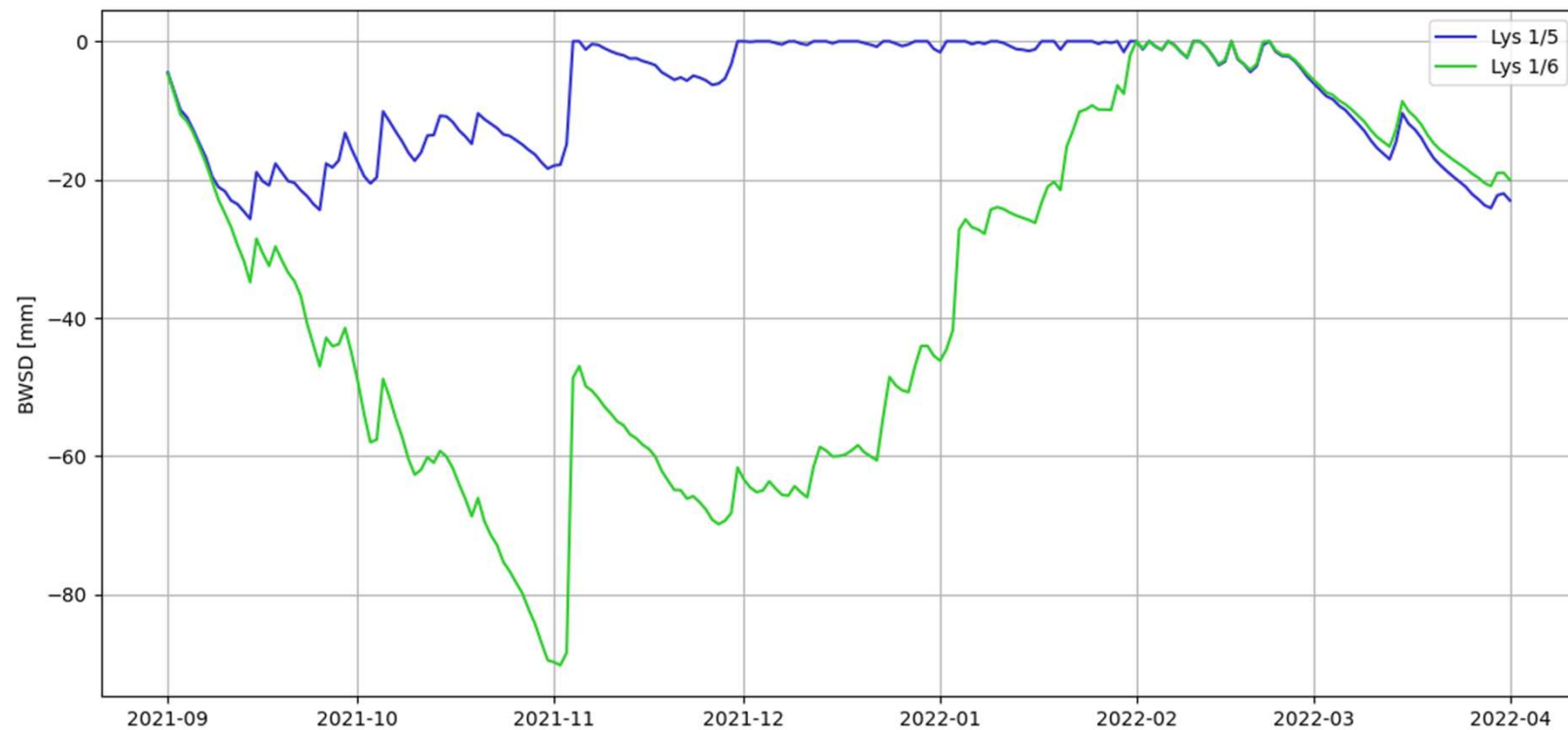


Abb. 27: Vergleich der Tagesgänge des Bodenwasserspeicherdefizits zwischen dem bewachsenen Lysimeter 1/6 und der Winterbrache auf dem Lysimeter 1/5 der Bodengruppe 1.

2021/2022 ZWF-Mischung

I erneut deutliche Unterschiede in Sickerwasserbildung feststellbar

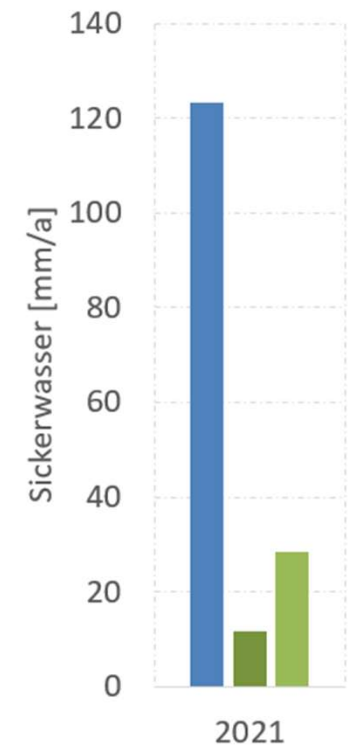
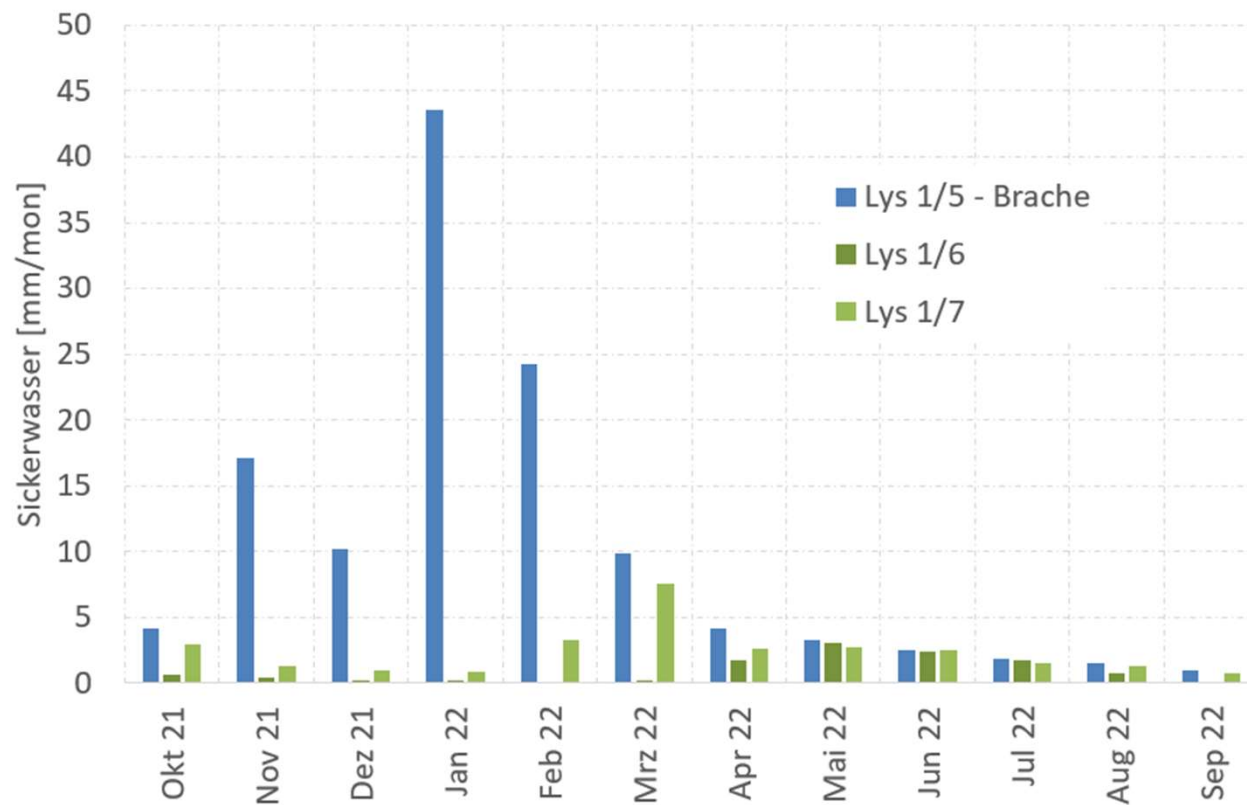


Abb. 28: Vergleich der monatlichen Sickerwassermengen (links) und der Jahressumme (rechts) zwischen bewachsenen Lysimetern der Gruppe 1 und der Winterbrache des Lysimeters 1/5 im hydrol. Jahr 2022