

# Lysimeteruntersuchungen als Unterstützung zum Grundwasserschutz

Erwin Murer<sup>1\*</sup>, Max Kuderna<sup>2</sup>, Karl Seltenhammer<sup>3</sup> und Gabriele Fuchs<sup>4</sup>

## Zusammenfassung

Im Rahmen des Grundwassersanierungsprojekts im Einzugsgebiet Obere Pettenbachrinne (zwei tiefgründige Ackerböden) und in Pucking (seichtgründiger Ackerboden) wurden im Jahr 1994 drei monolithische Feldlysimeter errichtet. Die beiden tiefgründigen Standorte der Pettenbachrinne, werden unter Einsatz von Mineraldünger bzw. vorwiegend Wirtschaftsdünger unter Einhaltung der Richtlinien für die sachgerechte Düngung bewirtschaftet. Am seichtgründigen Standort in Pucking wurde vor und zu Beginn der Untersuchungen Hühnergülle eingesetzt, seit 2000 wurde rein mineralisch gedüngt. Auf allen drei Standorten dominieren Wintergetreide und Mais die Fruchtfolge. Ziel dieses Projekts ist die Überwachung der Auswirkungen der landwirtschaftlichen Praxis auf die Grundwasserqualität in Bezug auf die Nitratbelastung. Die Ergebnisse dieses Langzeitversuches zeigen, dass auf den beiden tiefgründigen Standorten der Pettenbachrinne durch das landwirtschaftliche Management die Nitratkonzentration im Sickerwasser unterhalb des Grundwasserschwellenwertes (<45 mg/l) bleibt. Trotz vergleichbarer Bewirtschaftung ist die Auswaschung von Nitrat für den Standort mit vorwiegender Verwendung von Wirtschaftsdünger um 45% höher als für den rein mineralisch gedüngten Standort. Am seichtgründigen Standort Pucking kann eine ordnungsgemäße landwirtschaftliche Praxis keine Nitratkonzentrationen im Sickerwasser unter 50 mg/l sicherstellen. Dort erreicht die Nitratkonzentration im Durchschnitt beinahe den doppelten Grundwasserschwellenwert.

*Schlagwörter:* Oberösterreich, Grundwassersanierung, Lysimeter, Ackerbau, Sickerwasser, Nitrat

## Summary

In the framework of a groundwater remediation pilot project of the catchment area 'Obere Pettenbachrinne' (two deep arable fields) and 'Pucking' (shallow arable field) three monolithic field lysimeters were installed in 1994. The aim of this project is to monitor the impact and benefits of agricultural practices on groundwater remediation with respect to nitrate pollution. One of the sites at Pettenbachrinne is treated using mineral fertilizers; at the second site mainly manure is applied. At the shallow site in Pucking chicken manure was used in the early stages of the investigations. Since 2000 only mineral fertiliser is applied. All sites are managed in compliance with the Austrian guidelines for proper fertilization. At all three sites winter cereals and maize dominate the crop rotation. The results of this long-term experiment show that proper agricultural management is able to keep the nitrate concentration in the leachate water below the threshold value (<45 mg/l) for the two sites of Pettenbachrinne. Although a similar management was applied the amount of nitrate leaching at the site with manure application was about 45% higher as compared to the site with mineral fertilizer application only. For the shallow soil site at Pucking mean nitrate concentrations reach almost twice the groundwater threshold. Thus, even practices in compliance with the guidelines for proper agricultural management are not able to maintain sustainable groundwater management at this site.

*Keywords:* Upper Austria, Groundwater Remediation, Lysimeter, Arable Land, Seepage, Nitrate

## Einleitung

Als Basis für eine gewässerverträgliche Landbewirtschaftung im Rahmen der Anforderungen der EU Water Framework Directive ist es notwendig, die Einflüsse des Standorts und der Bewirtschaftung auf die Nitrat- und Phosphatbefruchtung des Sickerwassers unter Ackerflächen zu untersuchen. Anzustreben ist dabei eine Nitratkonzentration im Sickerwasser, die auch unter Praxisbedingungen unter den vorgegebenen Grundwasserschwellenwerten (<45 mg/l) liegt. Damit wird sowohl für die Wasserwirtschaft als auch für die Landwirtschaft eine Grundlage geschaffen, für die Zielsetzungen des

Grundwasserschutzes ungeeignete Handlungsweisen zu erkennen, konkrete Maßnahmen zum Grundwasserschutz zu überprüfen und eine grundwasserschonende Bewirtschaftung laufend weiterzuentwickeln.

Im Zuge eines Pilotprojektes - beauftragt durch das BMLFUW und das Amt der OÖ Landesregierung - werden seit 1994 an drei Standorten in Oberösterreich Feldlysimeter betrieben (*Abbildung 1*). Sie sind auf drei verschiedenen Ackerstandorten (Pettenbach, Eberstallzell und Pucking) eingebaut, die unter Praxisbedingungen von Landwirten bewirtschaftet werden. Das Projekt liefert auch Grundlagen für die Kalibrierung und Validierung von Wasser- und

<sup>1</sup> Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Pollnbergstraße 1, A-3252 PETZENKIRCHEN

<sup>2</sup> wpa Beratende Ingenieure GmbH, Lackierergasse 1/4, A-1090 WIEN

<sup>3</sup> Amt der Oö. Landesregierung, Kärntnerstraße 10-12, A-4021 LINZ

<sup>4</sup> BMLFUW-Wasserhaushalt, Marxergasse 2, A-1030 WIEN

\* Ansprechpartner: DI Erwin Murer, erwin.murer@baw.at



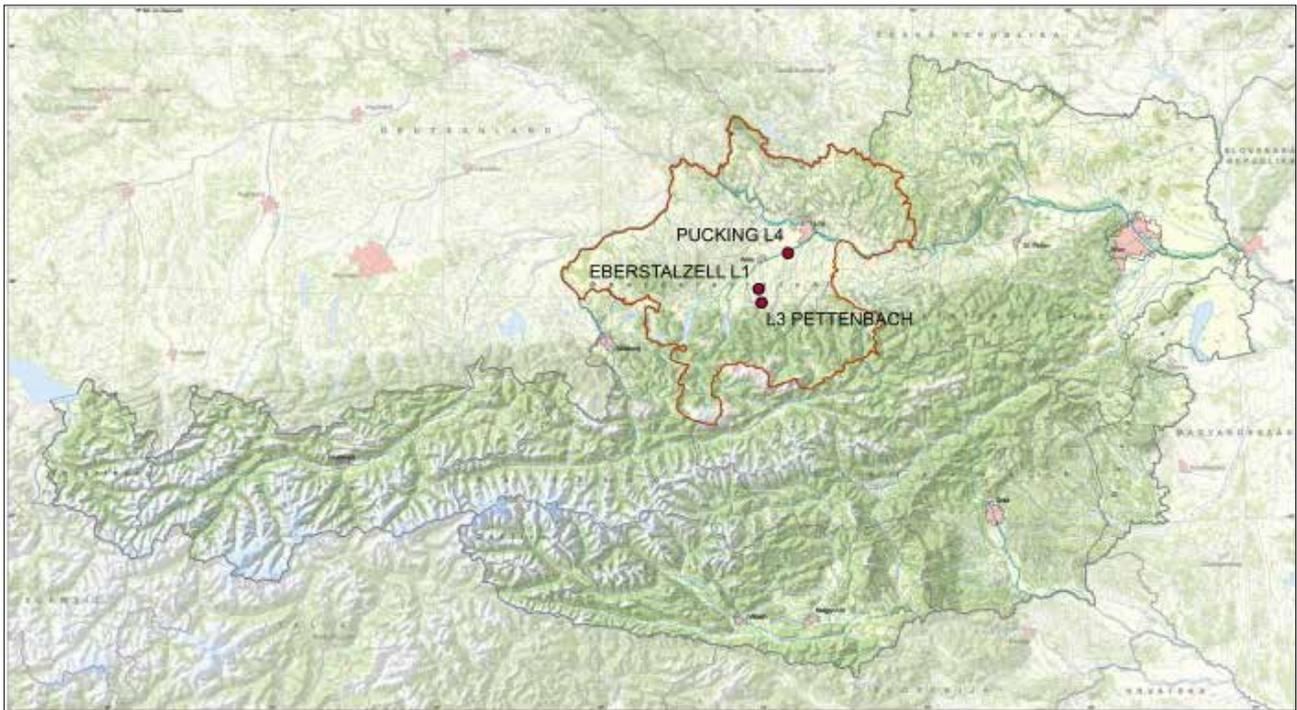


Abbildung 1: Lage der Lysimeteranlagen.

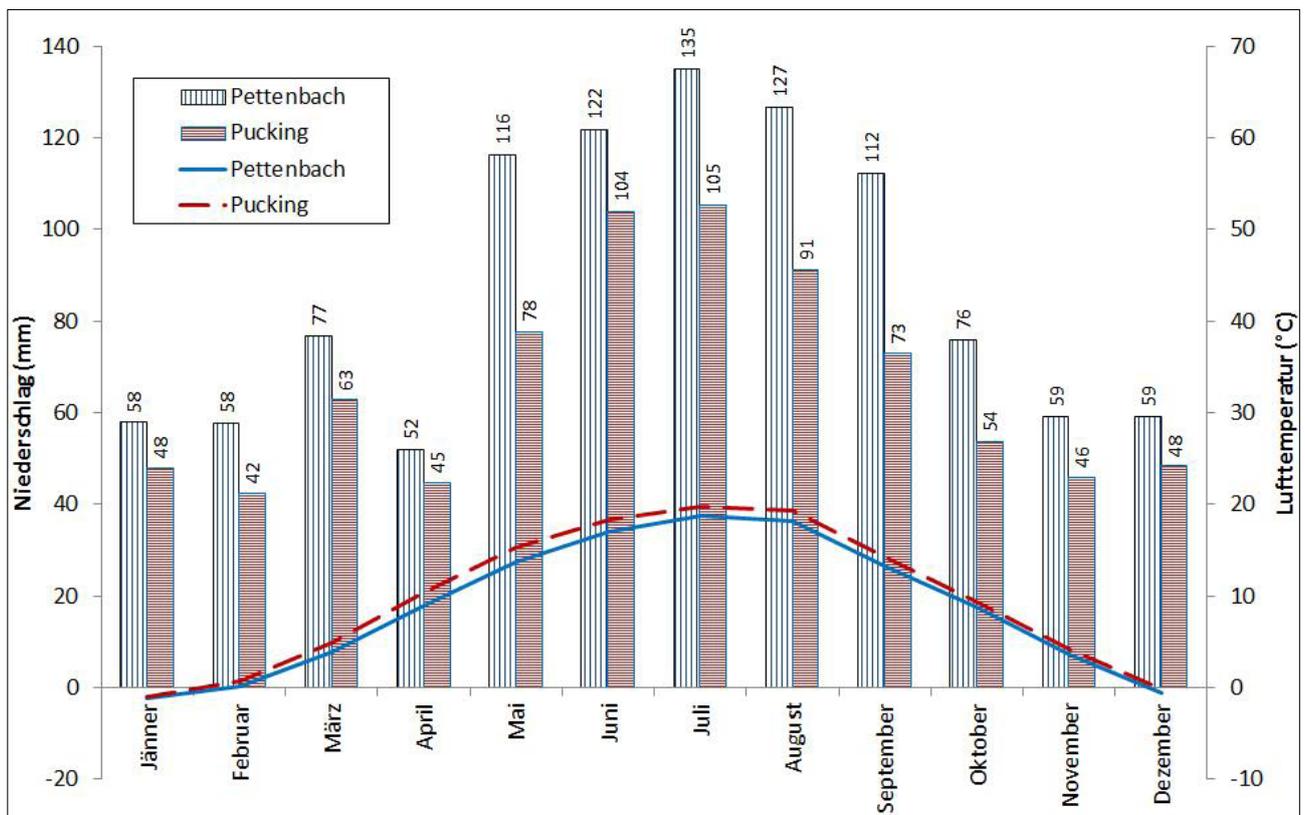


Abbildung 2: Klimadiagramm der Stationen Pettenbach (L1, L3) und Pucking (L4).

Stofftransportmodellen, z.B. SIMWASER und STOTRA-SIM (Stenitzer 1988, Feichtinger 1998) und ist am Standort Pettenbach mit den Messstellen der „Ungesättigten Zone“ der Hydrographischen Dienste von Österreich verknüpft. Die mittleren jährlichen Niederschläge betragen in der

Oberen Pettenbachrinne beim Lysimeter L1 960 mm und beim Lysimeter L3 1073 mm und in Pucking L4 830 mm (Abbildung 2). Die mittlere langjährige Lufttemperatur beträgt in der Oberen Pettenbachrinne L1 und L3 8,7°C und in Pucking L4 9,6 °C.

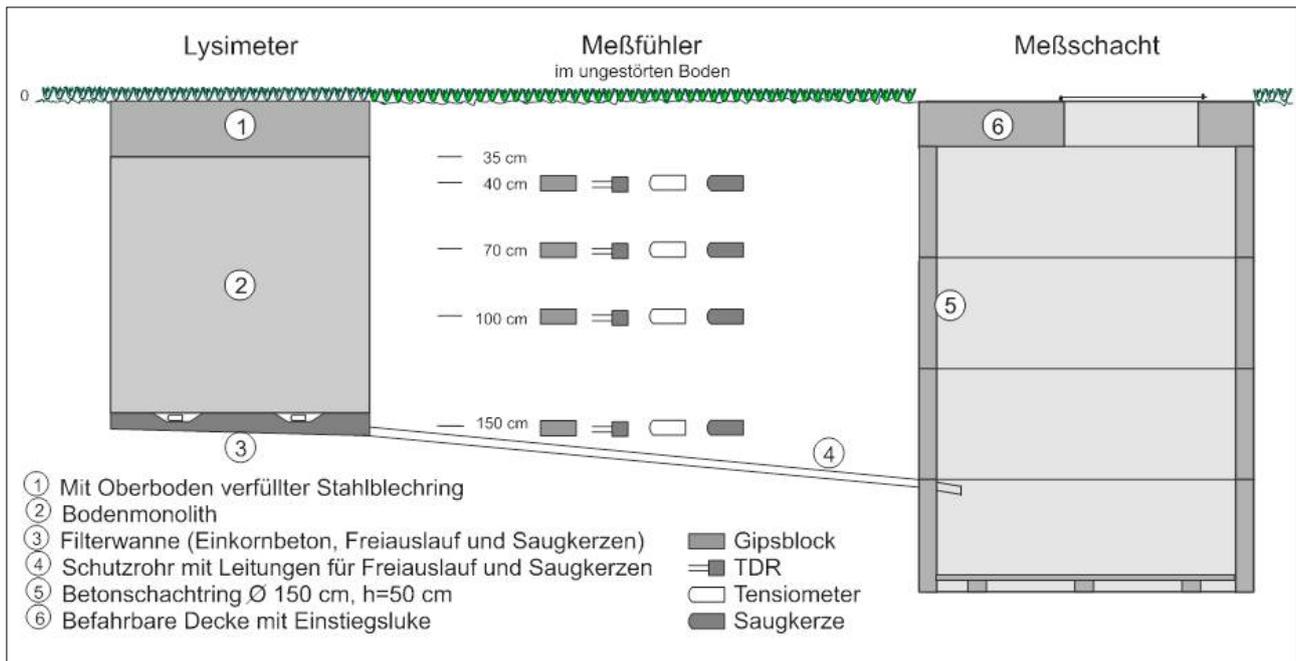


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Feldlysimeter.

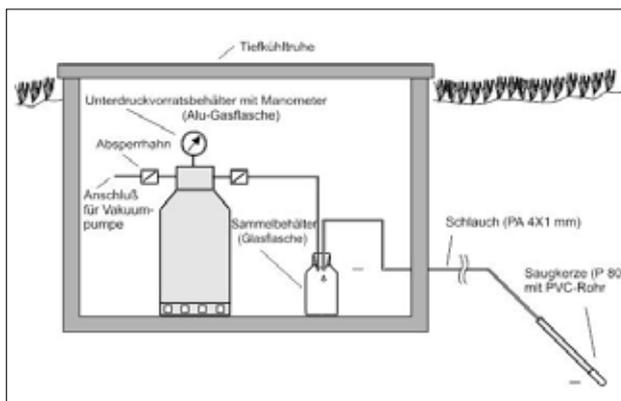


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Vergleichsmessstelle als Saugkerzenanlage.

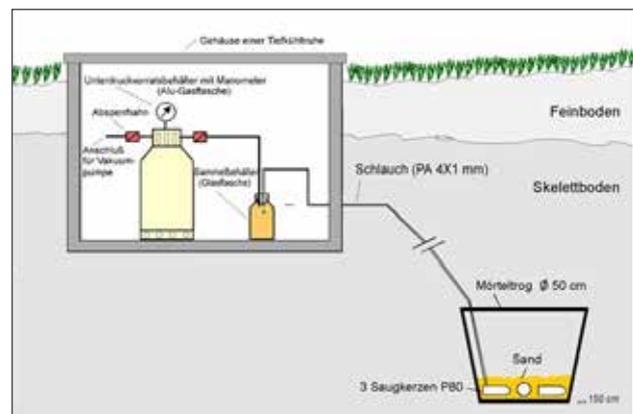


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Vergleichsmessstelle als Sickerwassersammler.

## Material und Methoden

### Charakterisierung der Lysimeter

Die vier Lysimeter des Bautyps Murer (1995) besitzen eine kreisförmige Oberfläche von 1 m<sup>2</sup> und die Lysimetersohle liegt 1,5 m unter Gelände (Abbildung 3). Die Lysimeter werden einerseits frei auslaufend und andererseits über keramische Saugkerzen - eingebaut im Boden an der Lysimetersohle - entwässert. An diesen Saugkerzen liegt ein Unterdruck von 60 hPa an. Innerhalb einer Bewirtschaftungs- und Bodeneinheit wurden zu jedem Lysimeter jeweils zwei Vergleichsmessstellen, an den tiefgründigen Standorten als Saugkerzenanlagen (Abbildung 4) und am seichtgründigen Standort als Sickerwassersammler (Abbildung 5) zusätzlich eingebaut. Die Sickerwassermenge der Lysimeter wurde bis zum Jahr 2000 täglich und danach wöchentlich ermittelt. Die Nitratkonzentration wurde wöchentlich an Sammelproben analysiert.

Für die Berechnung der mittleren jährlichen Nitratkonzentration der einzelnen Lysimeteranlagen wurde für jeden Standort der wöchentliche Nitrataustrag und Sickerwassermenge verwendet. Bei den Vergleichsmessstellen wurde die Sickerwassermenge des jeweiligen Lysimeters angesetzt.

### Boden und Management

In Eberstallzell (L1) handelt es sich um eine pseudovergleyte, tiefgründige Lockersedimentbraunerde, in Pettenbach (L3) um eine tiefgründige Parabraunerde und in Pucking (L4) um eine seichtgründige, kalkhaltige Lockersedimentbraunerde (www.bodenkarte.at). Auf allen drei Standorten dominieren Wintergetreide und Mais die Fruchtfolge. Am Standort in Eberstallzell (L1) wird zur Düngung regelmäßig Schweinegülle eingesetzt, während in Pettenbach (L3) die Düngung bis 2013 ausschließlich mineralisch, ab 2013 auch mit Wirtschaftsdünger erfolgte. In Pucking (L4) wurde vor und zu Beginn der Untersuchungen Hühnergülle eingesetzt, seit 2000 wird rein mineralisch gedüngt. Die Tabellen 1 bis

**Tabelle 1: Physikalische und chemische Bodenkennwerte von Lysimeter L1 in Eberstalzell (Bodentyp: pseudovergleyte Lockersediment-Braunerde).**

Tiefe (cm)	Horizont (ÖBG)	Bodenart AG Boden	Ton (%)	PV (%)	LK (%)	nFK (%)	Humus (%)	pH (-)	C/N (-)
0 - 30	Ap	Ut4 G0	20	51	15	21	2,1	6,4	7,8
30 - 85	Bv	Lu G0	27	42	10	11	0,3	6,5	5,8
85 - 150	BvS	Lu G0	30	41	5	12	0,0	6,6	2,4

**Tabelle 2: Physikalische und chemische Bodenkennwerte von Lysimeter L3 in Pettenbach (Bodentyp: Parabraunerde).**

Tiefe (cm)	Horizont (ÖBG)	Bodenart AG Boden	Ton (%)	PV (%)	LK (%)	nFK (%)	Humus (%)	pH (-)	C/N (-)
0 - 30	Ap	Lu G0	22	45	10	20	2,0	6,6	7,6
30 - 75	AB/B	Lu G0	22	45	12	14	0,4	6,7	5,8
75 - 110	Bg	Lu G0	23	42	8	15	0,4	6,9	4,9

**Tabelle 3: Physikalische und chemische Bodenkennwerte von Lysimeter L4 Pucking (Bodentyp: kalkhaltige Lockersediment-Braunerde).**

Tiefe (cm)	Horizont (ÖBG)	Bodenart AG Boden	Ton (%)	PV (%)	LK (%)	nFK (%)	Humus (%)	pH (-)	C/N (-)
0 - 30	Ap	Sl3 G3	10,9	48	23	23	1,5	7,3	10
30 - 80	Bv/D	Ss G5	2,1	27	13	12	1,2	7,2	9,7
80 - 150	D	Ss G5	1,1	20	10	10	0,2	7,7	9,7

**Tabelle 4: Düngung, Fruchtfolge und Erträge auf der Lysimeteranlage L1 in Pettenbach von 1995-2015.**

Kultur (L1)	Winterweizen	Wintergerste	Körnermais	Körnererbse	Grünbrache
Anzahl in der Fruchtfolge	5	5	7	1	3
Mineraldünger (kg N/ha)	75	45	68	0	0
Wirtschaftsdünger (kg N <sup>f</sup> /ha)	66	108	126	48	44
Wirtschaftsdünger (kg N <sup>s</sup> /ha)	53	87	101	38	35
Korn TM L/S (dt/ha)	53,4/65,5	52,3/54,1	104,7/115,3	18,4/38,8	-/31,2
N-Abfuhr L/S (kg/ha)	114/146	116/101	133/149	68/132	-/67
Ernte Ertragslage „	m/h1	m/m	h1/h2	n/m	-/-
N-Saldo L/S (kg/ha)	54/21	7/22	24/8	-30 <sup>f</sup> /-94 <sup>s</sup>	35/-32
Düngung Ertragslage „	m	h1	h1	m	-

<sup>f</sup> feldfallend, <sup>s</sup> stallfallend; L...Lysimeter/S...Schlag; n...niedrig, m...mittel, h...hoch; „RSGD (2006); <sup>^</sup>ohne N-Bindung

3 geben einen Überblick über die physikalischen und chemischen Bodenverhältnisse an den drei Lysimeterstandorten.

## Ergebnisse

In den *Tabellen 4 bis 6* sind die Bewirtschaftungsdaten (Kultur, Düngung, Ernte und N-Abfuhr) am Lysimeter und auch am Schlag im Bereich der Vergleichsmessstellen zusammengefasst. Die Ertragslagen liegen zwischen mittel und hoch 1 auf den beiden tiefgründigen Standorten. Auf dem seichtgründigen Standort in Pucking wurde nach mittlerer Ertragslage gedüngt und die Erträge ergeben eine mittlere Ertragslage.

In den *Abbildungen 6 bis 8* sind die Messergebnisse aus 20 Jahren Lysimeteruntersuchungen abgebildet. Die höchsten Sickerwassermengen treten in den Wintermonaten auf (*Abbildung 6*). Das Verhältnis des Sickerwasseranfalls Winterhalbjahr zu Sommerhalbjahr beträgt bei L1 62:38, L3 58:42 und L4 65:35. Zwischen den einzelnen Ergebnissen aus den Lysimetern bestehen hinsichtlich der Nitratkonzentration und dem Nitrat-Stickstoffaustrag wesentliche Unterschiede, einerseits bedingt durch den Standort und andererseits durch die Bewirtschaftung. Die *Abbildung 7* zeigt, dass unter

Praxisbedingungen unter den klimatischen Verhältnissen in der Oberen Pettenbachrinne auf tiefgründigem Boden (L1 und L3) und bei der Einhaltung der „Richtlinien für die sachgerechte Düngung 6. Auflage“ die Nitratkonzentration unter dem Grundwasserschwellenwert von 45 mg/l gehalten werden kann. Die mittlere Nitratkonzentration beträgt für den 20 jährigen Zeitraum (1996-2015) auf dem tiefgründigen Standort mit vorwiegend Einsatz von Mineraldünger 22 mg/l und für den Standort mit vorwiegend Wirtschaftsdünger 36 mg/l. Auf dem seichtgründigen Standort in Pucking wurde für den Zeitraum von 20 Jahren eine mittlere Nitratkonzentration von 90 mg/l gemessen. Der Unterschied im Nitrat-Stickstoffaustrag in der Oberen Pettenbachrinne zwischen der Variante mit Mineraldünger (ca. 18 kg NO<sup>3</sup>-N/ha\*a) und der Variante mit Wirtschaftsdünger (ca. 25 kg NO<sup>3</sup>-N/ha\*a) beträgt das 1,5-fache. Im Vergleich zu den tiefgründigen Varianten in der Pettenbachrinne wurden in Pucking am seichtgründigen Standort das 2,2 bis 3,2 fache an Nitrat-Stickstoff ausgetragen (*Abbildung 8*). Die Bandbreite des mittleren jährlichen Nitratkonzentrationsverlaufes zeigt den Einfluss der unterschiedlichen Witterung und Bewirtschaftungsmaßnahmen der einzelnen Jahre. An

Tabelle 5: Düngung, Fruchtfolge und Erträge auf der Lysimeteranlage L3 in Pettenbach von 1995-2015.

Kultur (L3)	Winterweizen	Wintergerste	Sonnenblume*	Sommerweizen	Sommerweizen*	Soja	Körnerribs	Körnermais	Hafer
Anzahl in der Fruchtfolge	4	3	1	1	1	1	4	5	1
Mineraldünger (kg N/ha)	128	103	53	80	32	0	127	108	75
Wirtschaftsdünger (kg N <sup>s</sup> /ha)	19	0	0	0	0	0	0	59	0
Wirtschaftsdünger (kg N <sup>f</sup> /ha)	15	0	0	0	0	0	0	38	0
Ertrag TM L/S (dt/ha)	66,6/77,7	50,2/59,6	67,3/85,3	25,0/25,0	67,3/85,3	15,7/17,2	17,2/27,4	117/114	38,3/27,7
N-Abfuhr L/S (kg/ha)	155/180	109/120	101/128	88/82	101/128	82/99	52/66	169/155	112/99
Ernte Ertragslage „	h1/h2	m/h1	-/-	n/n	-/-	m/m	n/m	h2/h2	m/n
N-Saldo L/S (kg/ha)	38/13	6/-5	-48/-75	-8/-2	-69/-96	-82 <sup>^</sup> /-99 <sup>^</sup>	45/31	-30/-16	-37/-24
Düngung Ertragslage „	h1	m	m	n	n	m	m	h1	m

<sup>f</sup> feldfallend, <sup>s</sup> stallfallend; L...Lysimeter/S...Schlag; n...niedrig, m...mittel, h...hoch; \* Biogasnutzung; „RSGD (2006); <sup>^</sup>ohne N-Bindung

Tabelle 6: Düngung, Fruchtfolge und Erträge auf der Lysimeteranlage L4 in Pucking von 1996-2015.

Kultur (L4)	Winterweizen	Wintergerste	Körnermais	Soja	Körnerribs
Anzahl in der Fruchtfolge	6	4	5	4	1
Mineraldünger (kg N/ha)	89	57	104	0	0
Wirtschaftsdünger (kg N <sup>s</sup> /ha)	38	50	35	0	0
Wirtschaftsdünger (kg N <sup>f</sup> /ha)	30	40	28	0	184
Ertrag TM L/S (dt/ha)	59,3/56,8	50,6/50,9	99,6/85,1	24,6/24,0	32,1/25,6
N-Abfuhr vom L/S (kg/ha)	139/118	89/76	122/101	147/153	102/79
Ernte Ertragslage „	m/m	m/m	h1/m	m/m	m/m
N-Saldo L/S (kg/ha)	-17/4	18/31	2/23	-147 <sup>^</sup> /-153 <sup>^</sup>	-18/6
Düngung Ertragslage “	m	g/m	m	m	m

<sup>f</sup> feldfallend, <sup>s</sup> stallfallend; L...Lysimeter/S...Schlag; n...niedrig, m...mittel, h...hoch; „RSGD (2006); <sup>^</sup>ohne N-Bindung

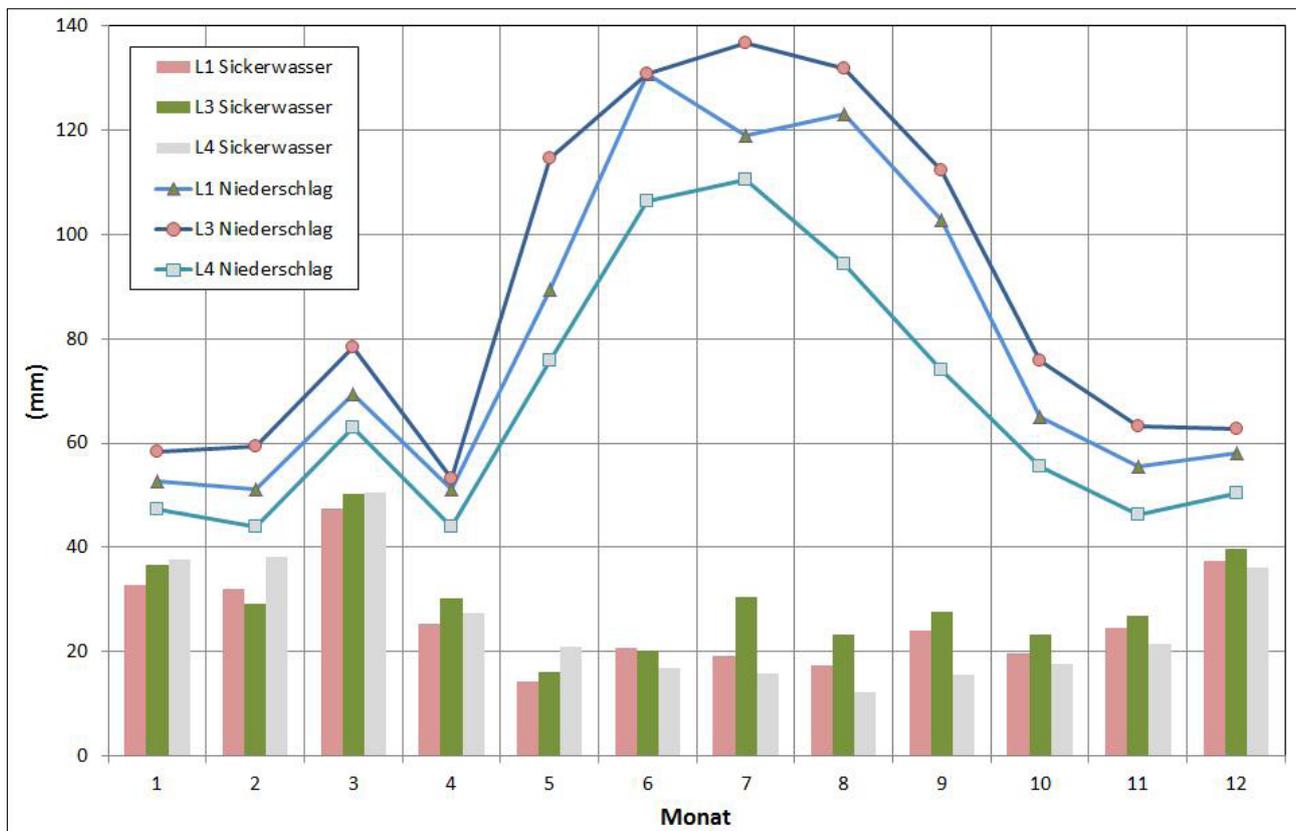


Abbildung 6: Mittlerer monatlicher Niederschlag und Sickerwassermenge für die Periode 1996 bis 2015 der Lysimeter L1, L3 und L4.

den beiden tiefgründigen Standorten liegen diese meist unterhalb des Grundwasserswellenwertes (Abbildung 7). Detailauswertungen des Nitratverlustes haben gezeigt,

dass eine Verdopplung der Nitratverluste gegenüber Winterungen, die nicht im Herbst gedüngt wurden durch eine Herbstdüngung verursacht wurde. Ähnliche Ergebnisse

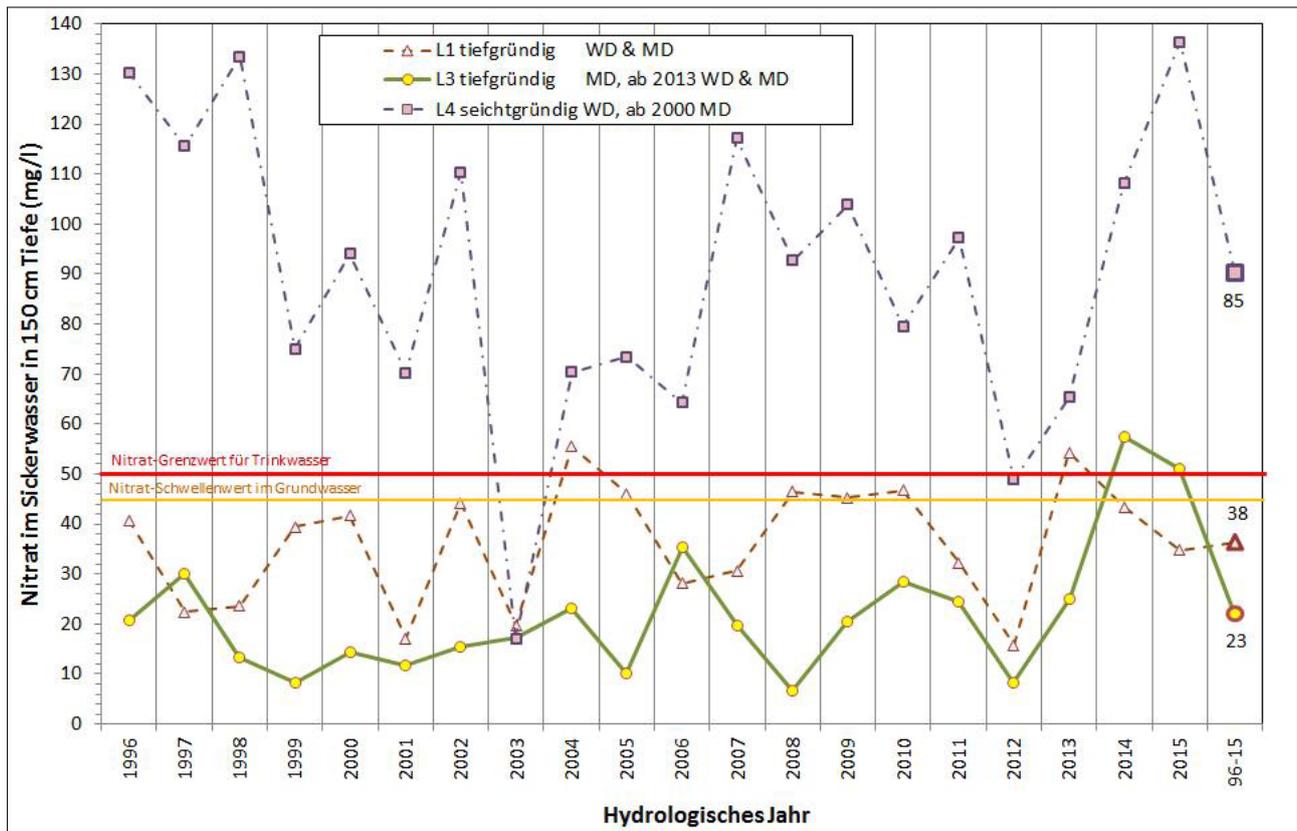


Abbildung 7: Mittlerer jährlicher Verlauf der Nitratkonzentration der Lysimeteranlagen L1, L3 und L4 (Mittelwert aus Lysimeter und zwei Saugkerzenanlagen bei L1 und L3 bzw. Sickerwassersammlern bei L4) für die hydrologischen Jahre 1996 bis 2015 (WD Wirtschaftsdünger, MD Mineraldünger).

zeigten sich auch durch den Anbau von Mais, wobei der Zeitabstand zwischen Düngung und Stickstoffaufnahme die wesentliche Ursache darstellte (WPA-BAW 2013).

## Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen zeigen sehr deutlich, dass die Standorteigenschaften einen wesentlichen Einfluss auf die Sickerwasserquantität und -qualität besitzen. Mit der Abnahme der Gründigkeit und Wasserspeicherfähigkeit nimmt das Risiko erhöhter Nitratgehalte im Grundwasser zu. Auf den beiden Ackerstandorten mit tiefgründigen Böden (Pettenbach und Eberstälzell) wird in fast allen Jahren und über den gesamten Untersuchungszeitraum eine durchschnittliche Sickerwasserqualität erzielt, die den Grundwasserschwellenwert für Nitrat unterschreitet. Trotz vergleichbarer Bewirtschaftung ist die Nitrat auswaschung am Standort mit Wirtschaftsdünger ca. um 50% höher als am rein mineralisch gedüngten Standort. Dies liefert einen deutlichen Hinweis darauf, dass organische Stickstoffanteile im Dünger langfristig wirksam werden. Laut den geltenden Regelwerken (RSGD 2006) werden diese allerdings nicht in der Düngebilanz berücksichtigt. Am seichtgründigen Standort liegt die durchschnittliche Nitrat auswaschung in den meisten Jahren und im gesamten Untersuchungszeitraum über dem Grundwasserschwellenwert. Die Auswertung der Erträge ergab eine Einstufung in die mittlere Ertragslage (RSGD 2006). Ein Versuch mit Bromid als Tracer zeigte, dass hier vor allem die sehr rasche Auswaschung entscheidend ist. Die Auswaschungsspitze von Bromid in 150 cm Tiefe wurde bereits nach 3 Monaten erreicht, der Boden ist aber nur bis ca. 50 cm

durchwurzelbar (LAND OÖ 2009). Ebenso führt eine rasche Erwärmung des Bodens an den Rändern der Vegetationszeit zu einem starken Anstieg der Stickstoffmineralisierung und -auswaschung. Eine Anpassung der Düngerrichtlinie für eine grundwasserverträgliche Bewirtschaftung vor allem für Standorte mit geringer Ertragslage wird empfohlen.

## Literatur

- Feichtinger F. (1998) STOTRASIM - Ein Modell zur Simulation der Stickstoffdynamik in der ungesättigten Zone eines Ackerstandortes. Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Bd. 7, 14-41.
- LAND OÖ (2009) Forschungsprojekt Lysimeter, Technischer Endbericht 2009. Amt der Oö. Landesregierung, Grund- und Trinkwasserwirtschaft, Linz.
- Murer E. (1995) Wassergüteerfassungssysteme in der ungesättigten Bodenzone. Ergebnisbericht aus dem Grundwassersanierungs-Pilotprojekt „Obere Pettenbachrinne“, OÖ. Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Bd. 1, 160-173.
- RSGD (2006) Richtlinien für die sachgerechte Düngung. Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in der Landwirtschaft, 6. Auflage, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- Stenitzer E. (1988) Ein numerisches Modell zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes und des Pflanzenertrages eines Standortes. Mitt. aus der Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Nr. 31, Petzenkirchen.
- WPA-BAW (2013) Endbericht Traun-Enns-Platte, Ursachenermittlung nach §33f Landwirtschaft. Projektbericht der wpa beratende Ingenieure GmbH, Wien und BAW, Petzenkirchen.

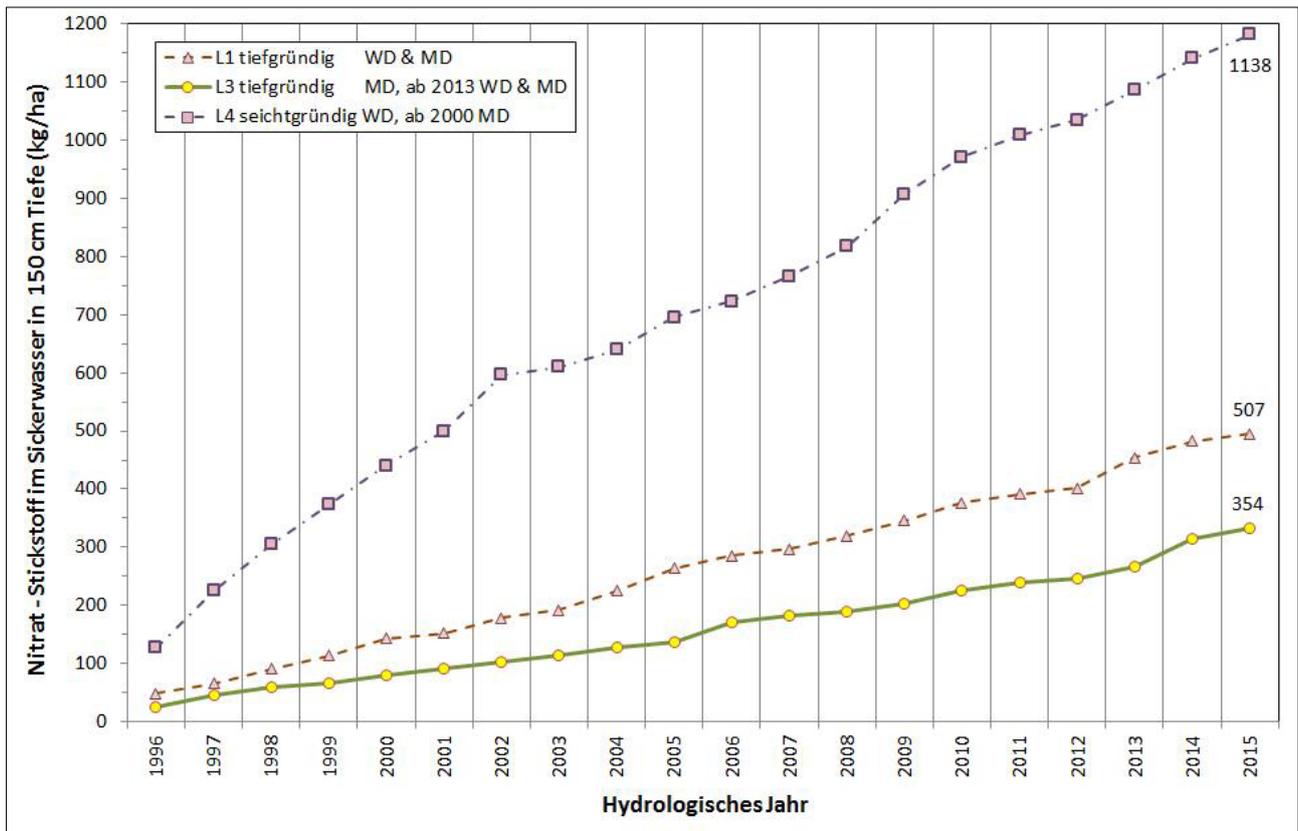


Abbildung 8: Akkumulierter jährlicher Verlauf des Nitrataustrags der Lysimeteranlagen 1, 3 und 4 (Mittelwert aus Lysimeter und zwei Saugkerzenanlagen bzw. Sickerwassersammler) für die hydrologischen Jahre 1996 bis 2015.

