LAND OBERÖSTERREICH

Forschungsprojekt Lysimeter

Technischer Endbericht 2014

10
15
20
25
30
35
40
45
50

GTW

BUNDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT

lebensministerium.at

Forschungsprojekt Lysimeter

Technischer Endbericht 2014

Impressum

Medieninhaber: Land Oberösterreich

Herausgeber:
Amt der Oö. Landesregierung
Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft
Abteilung Grund- und Trinkwasserwirtschaft
Kärntnerstraße 12, 4021 Linz
Tel.: (0732) 77 20 - 12478
Fax.: (0732) 77 20 - 212662
E-Mail: gtw.post@ooe.gv.at

Projektleiter: Dipl.-Ing. Karl Seltenhammer
Grund- und Trinkwasserwirtschaft

Autoren:
Dipl.-Ing. Dr. Max Kuderna
Dipl.-Ing. Christine Weinberger
wpa Beratende Ingenieure GmbH, 1090 Wien

Dipl.-Ing. Gabriele Fuchs
BMLFUW, Referat VII/3c, 1030 Wien

Dipl.-Ing. Erwin Murer
Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt
Bundesamt für Wasserwirtschaft
3252 Petzenkirchen

Grafik (Umschlag)
Grund- und Trinkwasserwirtschaft
text.bild.media GmbH, Linz (911003)

1. Auflage, Juni 2015

DVR: 0069264

Copyright: Grund- und Trinkwasserwirtschaft

wpa Beratende Ingenieure

BUNDESAMT FÜR BAW WASSERWIRTSCHAFT

lebensministerium.at

GTW

INHALTSVERZEICHNIS

1 Zusammenfassung ... 4

2 Vorgeschichte und Fragestellung ... 6

3 Methoden ... 7

3.1 Probenahme ... 7
3.2 Analytik ... 9
3.3 Bilanzierung ... 9
3.4 Berechnung der Auswaschung ... 9

4 Bewirtschaftung ... 10

5 Ergebnisse ... 11

5.1 Wirtschaftsdünger und Ernteproben ... 11
5.2 Stickstoffbilanzen ... 12
5.3 N_{min} Gehalte im Boden ... 14
5.4 Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstalzell ... 16
5.4.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung ... 16
5.4.2 Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser ... 17
5.5 Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach ... 19
5.5.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung ... 19
5.5.2 Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser ... 20
5.6 Nitratauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking ... 22
5.6.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung ... 22
5.6.2 Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser ... 23
5.7 Vergleich der Nitratauswaschung bzw. Nitratkonzentration im Sickerwasser zwischen den Standorten ... 25
5.8 Phosphorbilanzen ... 28
5.9 Phosphatauswaschung ... 29

6 Hydrographische Auswertung der UZ-Messstelle Pettenbach ... 32

6.1 Allgemeines ... 32
6.2 Hydrographische Messergebnisse ... 32
6.3 Bodenwasserverhältnisse ... 35

7 Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen ... 39

8 Literatur ... 41

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 2-1: Lage der Lysimeter 6
Abb. 5-1: N_{min} Gehalte am tiefgründigen Standort in Eberstalzell 14
Abb. 5-2: N_{min} Gehalte am tiefgründigen Standort in Pettenbach 14
Abb. 5-3: N_{min} Gehalte am seichtgr. Standort in Pucking 15
Abb. 5-4: Vergleich der N_{min} - Gehalte der Standorte seit September 2007 15
Abb. 5-5: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. EB) 16
Abb. 5-6: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2007 (tiefgr. EB) 16
Abb. 5-7: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. EB) 17
Abb. 5-8: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. EB) 17
Abb. 5-9: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (tiefgr EB) 18
Abb. 5-10: Nitratauswaschung und N_{min} – Gehalte des Bodens (tiefgr. EB) 18
Abb. 5-11: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. PE) *von Mai – Okt. nicht gesamtes Sickerwasser erfasst 19
Abb. 5-12: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2007 (tiefgr. PE) 19
Abb. 5-13: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. PE) *von Mai – Okt. nicht gesamtes Sickerwasser erfasst 20
Abb. 5-14: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. PE) *von Mai – Okt. nicht gesamtes Sickerwasser erfasst 20
Abb. 5-15: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (tiefgr. PE) 21
Abb. 5-16: Nitratauswaschung und N_{min} – Gehalte des Bodens (tiefgr. PE) 21
Abb. 5-17: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (seichtgr.) **Oktober nicht gesamter Niederschlag erfasst 22
Abb. 5-18: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2007 (seichtgründig) 22
Abb. 5-19: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig) 23
Abb. 5-20: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig) 23
Abb. 5-21: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (seichtgründig) 24
Abb. 5-22: Nitratauswaschung und N_{min} – Gehalte des Bodens (seichtgründig) 24
Abb. 5-23: Monatliche Niederschlagssummen an den drei Standorten **Oktober nicht gesamter Niederschlag erfasst 25
Abb. 5-24: Monatliche Sickerwassermengen an den drei Standorten *von Mai – Okt. nicht gesamtes Sickerwasser erfasst 26
Abb. 5-25: Durchschnittliche monatliche Nitratkonzentrationen an den drei Standorten 26
Abb. 5-26: Monatliche Nitratauswaschung an den drei Standorten 27
Abb. 5-27: Summe der als Nitrat ausgewaschenen Stickstoffmenge an den drei Standorten 27
Abb. 5-28: Monatliche Phosphatauswaschung an den drei Standorten 29
Abb. 5-29: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstalzell 29
Abb. 5-30: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach 30
Abb. 5-31: Phosphatauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking 30
Abb. 5-32: Summe der als Phosphat ausgewaschenen P-Menge an den drei Standorten 31
Abb. 6-1: Niederschlags-Jahressummenlinien der Jahre 2013 (blau) und 2014 (rot) 33

Abb. 6-2: Grundwasserneubildungs-Jahressummenlinien in Eberstalzell 2013 (blau) und 2014 (rot)..... 33
Abb. 6-3: Grundwasserneubildungs-Jahressummenlinien in Pettenbach 2013 (blau) und 2014 (rot) 34
Abb. 6-4: Grundwasserneubildungs-Jahressummenlinien in Pucking 2013 (blau) und 2014 (rot)..... 34
Abb. 6-5: Temperaturen im Unterboden; 2013 (blau) und 2014 (rot)..... 35
Abb. 6-6: Saugspannungsvergleiche zwischen Lysimeter (schwarz) und Freiland (rot) im Oberboden (oberes Diagramm) und im Unterboden (unteres Diagramm) über die gesamte Beobachtungsperiode 2013-201436
Abb. 6-7: Gesamtprofilwassermenge im Lysimeter (ohne 1. Tiefe); 2013 (blau) und 2014 (rot) 37
Abb. 6-8: Wassergehaltsverläufe (SWI-Diagramme) im Lysimeter im Jahr 2013 (links) und 2014 (rechts)..... 38
Abb. 6-9: Wassergehaltsverläufe (SWI-Diagramme) im Freiland im Jahr 2013 (links) und 2014 (rechts) 38

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 3-1: Tätigkeiten BAW (IKT) 7
Tab. 3-2: Analysenprogramm 9
Tab. 4-1: Bewirtschaftungsmaßnahmen 2013/2014 10
Tab. 5-1: Erntemengen und Analysenergebnisse der Ernteproben 11
Tab. 5-2: Stickstoffbilanzen (jahreswirksam) für das Erntejahr 2014 13
Tab. 5-3: Stickstoffbilanzen (feldfallend) für das Erntejahr 2014 13
Tab. 5-4: Stickstoffauswaschung vom 01.11.13 bis 31.10.14 im Vergleich zur Düngung (jahreswirksam) 25
Tab. 5-5: Sickerwassermengen und durchschnittliche Nitratkonzentration vom 01.11.13 bis 31.10.14 26
Tab. 5-6: Phosphorbilanzen für das Erntejahr 2014 28
Tab. 5-7: Sickerwasser, P_2O_5-Verluste und mittlere PO_4-Konzentration im Sickerwasser vom 01.11.13 bis 31.10.1431
Tab. 6-1: Wassergehalte bei Feldkapazität (FK) und Welkepunkt (WP) in den Tiefenstufen der Messprofile 37

1 Zusammenfassung

An drei Standorten in Oberösterreich (Pettenbach, Eberstalzell und Pucking) werden seit 1994 Freilandlysimeter betrieben. Sie sind in Ackerböden eingebaut, die unter Praxisbedingungen von Landwirten bewirtschaftet werden. Der vorliegende Bericht stellt die Ergebnisse des hydrologischen Jahres 2013/14 dar und vergleicht diese mit den Messreihen der Vorjahre.

Zwei der Lysimeter befinden sich an tiefgründigen Standorten, einer an einem seichtgründigen Standort. Einer der tiefgründigen Standorte wird seit 2014 nicht mehr ausschließlich mit Mineraldünger sondern mit Puten- und Pferdemist gedüngt, der andere wie auch bereits in den vergangenen Jahren mit Schweinegülle. Da die Bezeichnungen der Standorte dadurch nicht mehr der Bewirtschaftung entsprechen, wurden diese wie folgt geändert:

- tiefgründig EB: ehemals tiefgründiger Standort mit Wirtschaftsdünger (Eberstalzell)
- tiefgründig PE: ehemals tiefgründiger Standort mit Mineraldünger (Pettenbach)
- seichtgründig PU: ehemals seichtgründiger Standort (Pucking)

2014 war auf allen Standorten Körnermais angebaut. Das Stickstoffdüngeniveau entsprach auf den beiden tiefgründigen Standorten einer hohen Ertragslage und auf dem seichtgründigen Standort einer mittleren Ertragslage. Am tiefgründigen Standort in Pettenbach und am seichtgründigen Standort wurden 2014 hohe Erträge (h1) erzielt, auf dem anderen tiefgründigen Standort ein hoher Ertrag der Stufe 2 (h2).

Auf allen Standorten wird die N- und P-Zufuhr durch Düngung ermittelt, die N- und P-Entzüge mit der Ernte sowie N_{min} Gehalte im Boden gemessen und die Auswaschung von Nitrat und Phosphat mit Lysimetern bestimmt.

Die wichtigsten Ergebnisse und Schlussfolgerungen des Jahres 2014 sind folgend zusammengefasst:

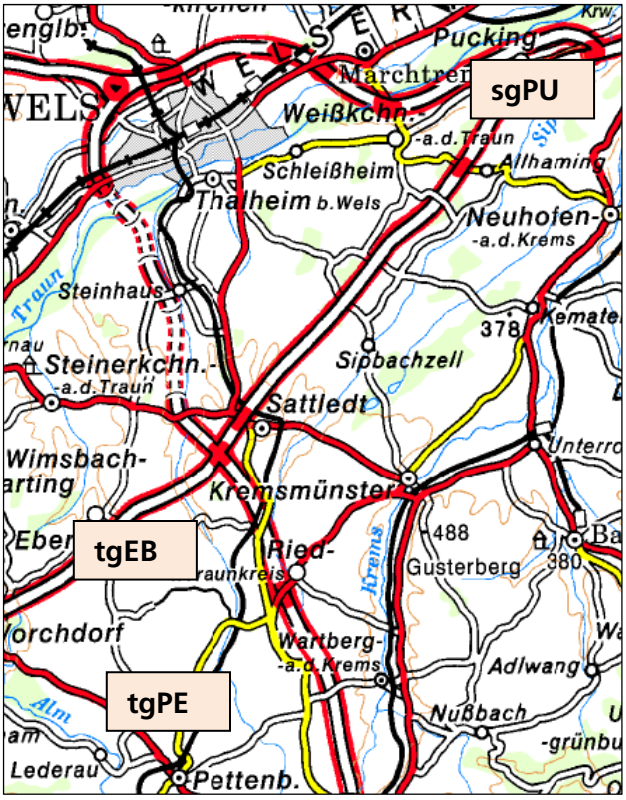
Im Wesentlichen folgt der Verlauf der Nitratauswaschung an allen drei Standorten jenem Muster, das auch in den vorangegangenen Jahren regelmäßig bei Körnermais beobachtet werden konnte. Typischerweise ist bei Maisanbau im Monat Mai eine Auswaschungsspitze festzustellen, die mit einem ausgeprägten Maximum der Sickerwasserbildung in diesem Zeitraum einhergeht. Als Ursache wurde schon bisher der relativ große zeitliche Abstand zwischen Düngegaben im zeitigen Frühjahr und der spät einsetzenden Stickstoffaufnahme des Mais genannt. Bemerkenswert war im Jahr 2014, dass hohe Bodentemperaturen im Frühjahr zu einer raschen Stickstoffmineralisierung des z.T. bereits im März ausgebrachten Wirtschaftsdüngers führten und dies sehr hohe Boden-N_{min} Gehalte im Mai zur Folge hatte. Der Rückgang der Nitratwerte im Boden bis zum Folgemonat ist zur Hälfte auf Auswaschungsverluste in diesem Monat zurückzuführen, wobei diese ihrerseits die Hälfte der gesamten während eines Jahres ausgewaschenen Nitratmenge an den tiefgründigen Standorten ausmachte. Eine spätere Ausbringung des Wirtschaftsdüngers zu Mais würde in diesem Fall einen Beitrag zur Verringerung des Nitrataustrags leisten. Am seichtgründigen Standort fand im Unterschied dazu, neben einer kleineren Auswaschungsspitze im Mai, der Großteil des Nitrataustrags im Herbst statt. Hier dürften warme Temperaturen zu einer Stickstoffmineralisierung geführt haben und die darauffolgenden Niederschläge zu einer Auswaschung, vor der der angebaute Winterweizen keinen ausreichenden Schutz bot.

Vergleichbar mit der N-Auswaschung wurden die größten Phosphormengen am tiefgründigen Standort in Pettenbach und am seichtgründigen Standort ausgewaschen. Im Vergleich zu anderen Jahren war die Phosphorauswaschung allerdings sehr niedrig.

Das Lysimeter in Pettenbach ist seit 2013 zu einer UZ-Messstelle ausgebaut. Eine Wetterstation und die in unterschiedlichen Tiefen angebrachten Saugspannungs-, Wassergehalts- und Temperatursensoren liefern regelmäßig Messwerte. Die intensiven Messprogramme an der UZ Messstelle erlauben darüber hinaus eine vertiefte Interpretation der Werte für den Stickstoffaustrag am Standort. Die im Jahr 2014 teilweise unplausiblen Werte wie die Globalstrahlung und die Windgeschwindigkeit veranlassen eine Eichung der Geräte. Ein Vergleich der Grundwasserneubildungsrate auf den 3 Standorten lässt abgesehen von den Bodeneigenschaften einen Zusammenhang mit der Messmethode (Kübelmessung, Kippzähler) vermuten. Vergleiche mit den Tensiometermessungen sollen zukünftig diese Vermutung bestätigen.

2 Vorgeschichte und Fragestellung

Im Rahmen des Pilotprojekts zur Grundwassersanierung in der Oberen Pettenbachrinne und im Gebiet von Pucking /Weisskirchen (1994 – 2000; Auftraggeber: BMFLUW und Amt der OÖ Landesregierung) wurden vom Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt des Bundesamts für Wasserwirtschaft (BAW) vier Lysimeteranlagen mit dem Ziel errichtet, die Nitratauswaschung ins Grundwasser im Projektgebiet unter den Vorgaben des Pilotprojekts zu untersuchen. Nach Abschluss des Pilotprojekts im Jahr 2000 beauftragte das Amt der Oberösterreichischen Landesregierung die wpa Beratende Ingenieure GmbH, jene drei Lysimeteranlagen, die sich auf Ackerstandorten befinden, in Zusammenarbeit mit dem BAW ab September 2001 weiter zu betreiben.



sgPu seichtgründigPucking; tgEB, tgPE tiefgründig Eberstalzell und Pettenbach

Abb. 2-1: Lage der Lysimeter

Zwei der Lysimeter befinden sich auf Standorten mit schweren tiefgründigen Böden in der Oberen Pettenbachrinne (tgEB und tgPe, vgl. Abb. 2-1).

Sie liegen im Grundwasserkörper der Traun-Enns Platte, welche ab 13. September 2007 aufgrund der hohen Nitratgehalte als Beobachtungsgebiet ausgewiesen wurde (LGBl Nr. 80/2007). Das dritte Lysimeter in Pucking / Weisskirchen befindet sich auf einem sehr sensiblen Standort am Rande der Traun-Enns Platte (sgPu). Dieser Standort ist durch einen sehr leichten, skelettreichen Boden gekennzeichnet, der darüber hinaus sehr seichtgründig ist. Eine genaue Beschreibung der Lysimeteranlage und der Charakteristik der Böden an den Lysimeterstandorten enthalten die Berichte des IKT (Klaghofer und Murer, 2001) und der wpa - Beratende Ingenieure (Kuderna et al., 2007).

Im Rahmen des Projektes wurden zwei Fragenkomplexe zur Nitrat- und Phosphat-Auswaschung untersucht:

- Einfluss der Standortverhältnisse auf die Nährstoffauswaschung: zwei tiefgründige Böden wurden einem seichtgründigen Boden gegenübergestellt
- Unterschiede in der Nährstoffauswaschung aufgrund unterschiedlicher Bewirtschaftung: auf den tiefgründigen Böden wurde ein Standort mit Schweinegülle und ein Standort mit Pferde- und Putenmist bewirtschaftet.

Für eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse wird eine – soweit unter Praxisbedingungen möglich – gleiche Bewirtschaftungsweise der Standorte angestrebt, wobei auf allen Standorten Maßnahmen zum Grundwasserschutz gesetzt werden (zielgerichtete Düngung, Zwischenbegrünung). Auf allen Standorten ist es ein Ziel, zu zeigen, dass unter Praxisbedingungen die Nitratkonzentration unter dem Grundwasserschwellenwert von 45 mg/l gehalten werden kann.

3 Methoden

3.1 Probenahme

Von Anfang September 2001 bis Ende Dezember 2014 erfolgte eine regelmäßige Beprobung des Sickerwassers, das mittels Feldlysimeter mit Freiauslauf und zwei Saugkerzen (Kontrollstellen) gewonnen wurde. Die Einbautiefe der Lysimeter und der Kontrollstellen war 1,5 m. Die Proben wurden, sofern Sickerwasser anfiel, wöchentlich gewonnen und bis zur Analyse tiefgefroren. Die technische Betreuung der Lysimeteranlagen während des Berichtszeitraums erfolgte durch Mitarbeiter des Instituts für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt der Bundesanstalt für Wasserwirtschaft (Tab. 3-1).

Tab. 3-1: Tätigkeiten BAW (IKT)

Datum	Tätigkeit
05.03.2014	Bei **Lysimeter Tiefgr. EB** wurde der Aufsatzring gezogen. Probefläschchen im Schacht hinterlegt, Messstellenkontrolle Beim **Lysimeter Tiefgr. PE** wurden die oberen Messfühler ausgebaut und im jeweiligen Versenkschacht abgelegt. Die Kabel zum Temperatur-, bzw TDR-Fühler (über dem Lysimeterrand) waren abgetrennt. Der Aufsetzring wurde gezogen. Wetterstationswartung und Kontrolle der Lysimeteranlage, Ausliterung der Niederschlagswaage Bei **Lysimeter Seichtgr. PU** Probefläschchen im Schacht hinterlegt, Messstellenkontrolle
18.03.2014	Ausbau der beschädigten Messfühler (Feuchte und Temperatur) bei **Lysimeter Tiefgr. PE** Lysimeterbesprechung in Spieldorf
14.05.2014	Bei **Lysimeter Tiefgr. EB** wurden die Kontrollflaschenpfropfen ausgetauscht und angeschlossen. Messstellenkontrolle Die reparierten TDR-, und Temperaturfühler bei **Lysimeter Tiefgr. PE** wurden angeschlossen und im Versenkschacht abgelegt. Messstellenkontrolle Bei **Lysimeter Seichtgr. PU** wurde der Aufsatzring eingebaut. Messstellenkontrolle
28.04.2014	Bei **allen 3 Lysimetern** wurden Probefläschchen im Schacht hinterlegt. Messstellenkontrolle Bei **Lysimeter Tiefgr. PE** wurde der Aufsatzring gesetzt und die Messfühler im und neben dem Lysimeter eingebaut. Bei **Lysimeter Seichtgr. PU** wurden die Maispflanzen um den Lysimeter nachgesetzt.
08.05.2014	Bei **Lysimeter Tiefgr. EB** wurde der Aufsatzring eingebaut. Bei allen drei Lysimetern wurden die Messstellen freigemäht, Messstellenkontrolle
20.06.2014	Um **Lysimeter Tiefgr. EB und Tiefgr. PE** wurden Maispflanzen nachgesetzt Messstellenkontrolle bei allen Lysimetern. Vorbesprechung zur Versetzung des Messschachts aufgrund der geplanten Straßenverbreiterung in Pucking. Neuvermessung der Lysimeter
14.08.2014	Bei **allen Lysimetern** wurden alle Messschächte gereingt und die Messstellen freigemäht, Ausliterung der Niederschlagswaage, Messstellenkontrolle.
09.10.2014	Bei **Lysimeter tiefgr. EB** wurde der Aufsatzring gezogen. Messstellenkontrolle Bei **Lysimeter tiefgr. PE** wurde der Aufsatzringe gezogen und die oberen Messfühler ausgebaut. Ausliterung der Niederschlagswaage, Messstellenkontrolle.

Datum	Tätigkeit
16.10.2014	Bei **Lysimeter seichtgr. PU** wurde der Lysimeterschacht in Richtung Lysimeter versetzt. Messstellenkontrolle
28.10.2014	Bei **Lysimeter seichtgr. PU** wurde der Aufsatzring eingebaut und Winterweizen um Lysimeter eingesetzt. Der Messschacht wurde gereinigt (Brunnenschaum entfernt). Niederschlagsmesser wurde wieder aufgestellt. Messstellenkontrolle
04.11.2014	Bei **Lysimeter tiefgr. EB und tiefgr. PE** wurde der Aufsatzring eingebaut und Winterweizen um Lysimeter angebaut. Alle Messfühler im und neben **Lysimeter tiefgr. PE** wurden wieder eingebaut. Die Niederschlagswaage wurde ausgelitert und mit einer Salzlösung befüllt. Messstellenkontrolle

Im 2- Monatsrhythmus wurden von wpa Bodenproben aus den Tiefenstufen 0-30, 30-60 und 60-90 cm der beiden tiefgründigen Standorte entnommen. Am seichtgründigen Boden konnten ab 40 cm Tiefe keine Bodenproben mehr genommen werden, da ab dieser Tiefe der Grobanteil dominiert. Unmittelbar anschließend an die Probenahme wurden die Proben gekühlt ins Labor transportiert.

An jedem Lysimeterstandort wurde jeweils der gesamte Aufwuchs direkt über dem Lysimeter und an zwei weiteren zufällig ausgewählten Stellen (Kontrollstandorten) am Feld geerntet. Jede Probenahmestelle hatte eine Fläche von 1 m². Korn und Stroh wurden nach der Ernte getrennt. Von den beiden Kontrollstandorten im Feld wurden für die chemische Analyse Mischproben gebildet.

3.2 Analytik

Die Analysen wurden von Chemcon - Technisches Büro für Technische Chemie GmbH nach folgenden Methodenvorschriften durchgeführt (Tab. 3-2):

Tab. 3-2: Analysenprogramm

Substanz	Parameter	Methoden
Sickerwasser	Nitrat Orthophosphat	ÖNORMEN ISO 10304-1, -2
Boden	Nitrat in 0-30, 30-60 und 60-90cm Bodentiefe, Ammonium in 0-30 cm	ÖNORM L1091
Pflanzenproben	Trockenmasse N_{gesamt} P_{gesamt}	N: Kjeldahlaufschluss, P: HNO_3 Aufschluss, photometrische Bestimmung mittels Ammonmolybdat nach Abtrennung der störenden Matrix.
Wirtschaftsdünger	Ammonium, N_{gesamt}, P_{gesamt}	Ammonium: gemäß ÖNORM ISO 5664, N_{gesamt}, P_{gesamt} s.o.

3.3 Bilanzierung

Zur Bilanzierung der N- und P- Ein- und Austräge wurde der Boden bis 1,5 m Tiefe abgegrenzt (Einbautiefe des Lysimeterauslaufs). Im Boden verbleibende Pflanzenteile wurden damit dem Boden zugerechnet, die oberirdischen Pflanzenteile jedoch nicht. Sie scheinen daher in der Bilanz auf. Der Bilanzierungszeitraum umfasst die Ernte der vorangegangenen Hauptfrucht bis zur Ernte der Hauptfrucht des Jahres 2014. Zur Berechnung der N- und P- Entzüge wurden die Korn- und Strohgewichte auf 1 ha hochgerechnet und mit den analysierten N- und P-Gehalten multipliziert. Die Berechnung wurde sowohl für die Mittelwerte der beprobten Teilflächen (Lysimeter- und Kontrollflächen) als auch für die Lysimeterflächen alleine durchgeführt.

Für N-Einträge durch Wirtschaftsdünger wurde rechnerisch ein Abschlag für gasförmige Verluste aufgrund der Ausbringung bei Gülle und Jauche im Ausmaß von 13% und bei Stallmist 9% berücksichtigt. Zusätzlich wurde eine Jahreswirksamkeit von 80% bei Schweinegülle und 50% bei Stallmist veranschlagt (Richtlinien für die sachgerechte Düngung 6. Aufl., Baumgarten, 2006). Die atmosphärische Deposition und Stickstoffverluste durch Denitrifikation blieben unberücksichtigt.

3.4 Berechnung der Auswaschung

In die Berechnung der Nitratauswaschung und der Sickerwasserkonzentration ging jeweils der Mittelwert der Messwerte beim Lysimeter- und den Kontrollmessstellen ein. Phosphat wurde nur an den Proben aus den Lysimetern analysiert. Die Sickerwassermenge wurde ebenso nur für das Lysimeter ausgewertet.

4 Bewirtschaftung

Auf allen drei Standorten wird eine konventionelle Bewirtschaftungsweise mit wendender Bodenbearbeitung durchgeführt. Die Hauptkultur des Jahres 2014 war auf allen 3 Standorten Körnermais. Die einzelnen Bewirtschaftungsmaßnahmen sind in Tab. 4-1 angeführt. Die Summe der N-Düngung betrug am tiefgründigen Standort in Eberstalzell demnach 157 kg N/ha (jahreswirksam), am tiefgründigen Standort in Pettenbach 142 kg N/ha (jahreswirksam) und am seichtgründigen Standort 133 kg N/ha. Die Phosphordüngermengen betrugen in Eberstalzell 53 kg P_2O_5/ha, in Pettenbach aufgrund des sehr hohen Gehalts im Putenmist 357 kg P_2O_5/ha und am seichtgründigen Standort 71 kg P_2O_5/ha.

Bezüglich der Stickstoffdüngung entspricht das Düngeniveau auf den beiden tiefgründigen Standorten einer hohen Ertragslage und am seichtgründigen Standort einer mittleren Ertragslage (Richtlinien für die sachgerechte Düngung 6. Aufl., Baumgarten, 2006).

Tab. 4-1: Bewirtschaftungsmaßnahmen 2013/2014

Datum	Tiefgr. Eberstalzell	Tiefgr. Pettenbach	Seichtgr. Pucking
05.03.2014			Düngung 196 kg Kali 60
15.03.2014		Putenmist 28 m³/ha und Pferdemist 12 m³/ha (insg. 91 kg N/ha jahreswirksam)	
03.04.2014			Düngung 474 kg Linzer Star (71,1 kg N/ha)
05.04.2014			Anbau Körnermais
18.04.2014	Schweinegülle 25-30 m³/ha (116 kg N/ha jahreswirksam); Anbau Körnermais		
23.04.2014		Anbau Körnermais	
06.05.2014			Düngung 228 kg Linzer NAC (62 kg N/ha)
23.05.2014		Düngung 190 kg NAC (51 kg N/ha)	
31.05.2014	Düngung 150 kg NAC (41 kg N/ha)		
06.09.2014	Ernte Körnermais (13,0 t/ha)		
06.10.2014			Ernte Körnermais (11,2 t/ha)
14.10.2014		Ernte Körnermais (10,9 t/ha)	
11.10.2014			Aussaat Winterweizen
20.10.2014		Aussaat Winterweizen	
28.10.2014	Aussaat Winterweizen		

5 Ergebnisse

5.1 Wirtschaftsdünger und Ernteproben

Die im Oktober ausgebrachte Schweinegülle in Eberstalzell hatte einen Ammoniumstickstoffgehalt von 2,80 kg/m³ und einen Gesamtstickstoffgehalt von 5,96 kg/m³. Umgerechnet auf jahreswirksamen Stickstoff ergibt das 4,2 kg/m³. Der P_2O_5 Gehalt betrug 1,9 kg/m³.

Der Mitte März am Standort in Pettenbach ausgebrachte Pferdemist hatte einen Ammoniumstickstoffgehalt von 0,01 kg/m³, der Gesamtstickstoffgehalt betrug 4,2 kg/m³. Umgerechnet auf jahreswirksamen Stickstoff ergibt das 1,9 kg/m³. Der P_2O_5 Gehalt betrug 4,56 kg/m³. Dieser Werte liegen deutlich über den Faustzahlen und auch über den Gehalten, die vom Landwirten anhand von Standardanfallszahlen und der Ausbringungsmenge ermittelt wurden. Letzteres würde einen N-Gehalt von 1,6 (stallfallend) ergeben. Es kann angenommen werden, dass bei der Beprobung des Pferdemists eher stroharme Bereiche erfasst wurden und deshalb der analysierte Wert zu hoch liegen dürfte. Die Berechnung der Nährstoffsalden wurde daher mit beiden Werten durchgeführt.

Der Putenmist wurde zum selben Zeitpunkt ausgebracht und hatte einen Ammoniumstickstoffgehalt von 0,03 kg/m³. Der Gesamtstickstoffgehalt betrug 5,3 kg/m³, das ergibt einen jahreswirksamen Stickstoff von 2,4 kg/m³. Der P_2O_5 Gehalt liegt bei 10,79 kg/m³. Diese Werte liegen in einem erwarteten Bereich und sind daher als plausibel zu bezeichnen.

Tab. 5-1: Erntemengen und Analysenergebnisse der Ernteproben

Probe	Erntemenge (g TS/m²)	Trockenmasse (%)	N_{gesamt} (g/kg TS)	P_2O_5 (g/kg TS)
Tiefgr. EB- Lys Korn	1302	73%	12,4	27,3
Tiefgr. EB- MW Korn	1141	70%	12,1	26,5
Tiefgr. EB- Lys Stroh	1540	29%	6,4	5,6
Tiefgr. EB- MW Stroh	1427	29%	5,7	5,4
Tiefgr. PE - Lys Korn	823	59%	15,4	28,4
Tiefgr. PE - MW Korn	955	59%	14,7	28,1
Tiefgr. PE - Lys Stroh	984	23%	7,1	10,1
Tiefgr. PE - MW Stroh	1238	23%	6,9	7,0
Seichtgr. - Lys Korn	880	67%	13,6	24,1
Seichtgr. - MW Korn	986	66%	13,5	22,4
Seichtgr. - Lys Stroh	1762	60%	9,5	8,3
Seichtgr. - MW Stroh	1630	49%	8,1	8,7

Probenbezeichnung: Lys = Probe über Lysimeter, MW = Mittelwert aller Ernteproben am Feld

Die Erntemengen und Analysenergebnisse der Ernteproben sind in Tab. 5-1 dargestellt. Umgerechnet auf Standardfeuchte wurden (jeweils im Durchschnitt aller beprobten Stellen eines Standorts) am tiefgründigen Standort in Eberstalzell 13,0 t/ha Körnermais geerntet, das entspricht einer hohen Ertragslage (h2). Am tiefgründigen Standort in Pettenbach belief sich die Ernte auf 11,9 t, was einer hohen Ertragslage Stufe 2 (h1) entspricht. Am seichtgründigen Standort wurden 11,2 t geerntet (h1).

Aus dem Vergleich der Ergebnisse der eigentlichen Lysimeterflächen mit den Mittelwerten von Lysimeterfläche plus 2 Vergleichsflächen ist ersichtlich, dass der Kornertrag auf der Lysimeterfläche in Eberstalzell um 14% höher als der Durchschnitt aus Lysimeterfläche und Kontrollstellen liegt, bei den anderen Standorten um bis zu 14% niedriger. Der Strohertrag ist in Pettenbach auf der Lysimeterfläche um 21% niedriger als im Durchschnitt, an den anderen Standorten sind die Abweichungen relativ gering. Am seichtgründigen Standort ist auf der Lysimeterfläche die Trockenmasse im Stroh auffällig hoch (60%) und liegt sowohl über dem Mittelwert auf dem Standort (49%) als auch über den Werten auf den tiefgründigen Standorten (23-29%).

Ein Vergleich der im Rahmen der Untersuchung gewogenen Ernte mit den Angaben der Bewirtschafter ergab eine sehr gute Übereinstimmung am Standort Pettenbach (10,1 t/ha), an den anderen Standorten lagen die Angaben der Landwirte (umgerechnet auf Standardfeuchte) um 19% (Eberstalzell) bzw. 16% (Pucking) unter den an den Untersuchungsstellen ermittelten Werten.

5.2 Stickstoffbilanzen

Eine Gegenüberstellung der Stickstoffentzüge mit dem N-Düngeaufwand (jahreswirksam) ergibt für alle 3 Standorte ein weitgehend ausgeglichenes Bilanzsaldo von -4 (bzw. -23) bis maximal 18 kg N/ha Überschuss (Tab. 5-2).

Da allerdings davon ausgegangen werden kann, dass der organische Anteil im Wirtschaftsdünger im Laufe der Jahre wirksam wird, werden in Tab. 5-3 zusätzlich die feldfallenden N-Düngemengen den Ernteentzügen gegenübergestellt. Am Standort in Pettenbach ergibt sich dadurch ein Bilanzüberschuss von ca. 100 kg N/ha (bzw. ca. 70 kg N/ha, wenn für Pferdemist errechnete statt gemessene Werte eingesetzt werden). Auf diesem Standort wirkt sich der Faktor der Jahreswirksamkeit bei Mist besonders deutlich auf den Unterschied der Berechungsergebnisse im Vergleich von Tab. 5-2 und Tab. 5-3 aus. In Eberstalzell liegt der Überschuss bei unter 50 kg N/ha, wenn der feldfallende Stickstoff zur Berechnung herangezogen wird. Da in Pucking nur Mineraldünger verwendet wurde, sind die feldfallenden und jahreswirksamen N-Düngemengen ident.

Die Bilanzsaldos für die Ernteabfuhr weichen zwischen den Lysimeterflächen und Vergleichsflächen bzw. den daraus gebildeten Mittelwerten auf allen Standorten entsprechend den Ertragsunterschieden teilweise ab. Der Unterschied bewegt sich in einem Bereich von maximal 22 kg N/ha.

Tab. 5-2: Stickstoffbilanzen (jahreswirksam) für das Erntejahr 2014

	Tiefgründiger Standort in Eberstalzell		**Tiefgründiger Standort in Pettenbach**		**Seichtgründiger Standort in Pucking**	
	---------- kg N/ha ----------					
Stickstoffzufuhr aus Düngung jahreswirksam	157		142 (128)*		133	
Entzug durch die Pflanzen	Lysimeter	Mittelwert	Lysimeter	Mittelwert	Lysimeter	Mittelwert
Entzug durch das Korn	161	139	127	140	120	133
Entzug durch das Stroh	98	82	70	85	167	132
Summe Entzug	259	221	197	225	287	265
Abfuhr durch Ernte	161	139	127	140	120	133
Bilanz Korn (Ernte)	-4	18	15 (1)*	2 (-12)*	13	0

Tab. 5-3: Stickstoffbilanzen (feldfallend) für das Erntejahr 2014

	Tiefgründiger Standort in Eberstalzell		**Tiefgründiger Standort in Pettenbach**		**Seichtgründiger Standort in Pucking**	
	---------- kg N/ha ----------					
Stickstoffzufuhr aus Düngung feldfallend	188		231 (205)*		133	
Entzug durch die Pflanzen	Lysimeter	Mittelwert	Lysimeter	Mittelwert	Lysimeter	Mittelwert
Entzug durch das Korn	161	139	127	140	120	133
Entzug durch das Stroh	98	82	70	85	167	132
Summe Entzug	259	221	197	225	287	265
Abfuhr durch Ernte	161	139	127	140	120	133
Bilanz Korn (Ernte)	27	49	104 (78)*	91 (65)*	13	0

*am tiefgründigen Standort in Pettenbach wurde die Stickstoffzufuhr und die Bilanz in Klammern auch für errechnete N-Gehalte von Pferdemist dargestellt

5.3 N_{min} Gehalte im Boden

Die N_{min} Gehalte (Nitrat + Ammonium) im Boden zeigen auf den drei Standorten einen deutlichen Zusammenhang mit den Düngemaßnahmen und dem zeitlichen Verlauf der Stickstoffaufnahme der angebauten Kulturen. Da auf allen Standorten Körnermais angebaut war, zeigt der Verlauf der Messwerte ein vergleichbares Bild.

Am tiefgründigen Standort in Eberstalzell waren die N_{min}-Gehalte während des Winters gering. Im Frühjahr steigerten höhere Bodentemperaturen im Vergleich zum Vorjahr (vgl. Kapitel 6.3 und Abb. 6-5) den Mineralisierungsprozess. Die Düngung mit Schweinegülle zum Maisanbau und der zusätzliche Beitrag durch den verstärkten Mineralisierungsprozess erhöhte den N_{min}-Gehalt im Boden im Mai stark und erreichte einen Gesamtwert von knapp 250 kg N/ha. Im Juni nach einer weiteren Düngung wurde ein Rückgang um 100 kg N/ha verzeichnet. Ungefähr zur Hälfte ist das auf die Nitratauswaschung zurückzuführen (vgl. 5.4.2). Gleichzeitig beginnen die Maispflanzen in dieser Zeit üblicherweise die Stickstoffaufnahme aus dem Boden, wodurch der N_{min}-Gehalt auch in den darauffolgenden Monaten stark sank und Werte unter 50 kg N/ha erreichte (Abb. 5-1).

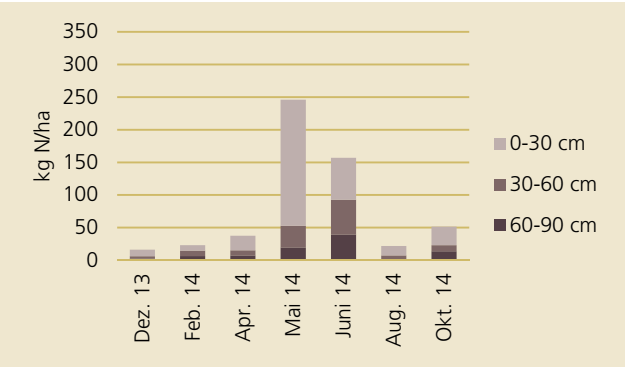


Abb. 5-1: N_{min} Gehalte am tiefgründigen Standort in Eberstalzell

Am tiefgründigen Standort in Pettenbach blieb der N_{min}-Gehalt während des Winters ebenfalls im niedrigen Bereich, allerdings erfolgte bereits eine Düngegabe mit Puten- und Pferdemist Mitte März, was einen leichten Anstieg des N_{min}-Gehalts bei der Messung im April nach sich zog. Wie Bodentemperatur-Messungen zeigten (vgl. Kapitel 6.3), lagen die Temperaturen im Unterboden im Frühjahr und Frühsommer um bis zu 6°C über den Werten des Vorjahres. Grundsätzlich können Temperaturerhöhungen den Mineralisierungsprozess verstärken, wodurch vermehrt Stickstoff frei wird. Am Standort in Pettenbach war das mit einem N_{min}-Gehalt von 350 kg N/ha Mitte Mai gut zu erkennen. Nach einem Rückgang im Juni pendelten sich die N_{min}-Gehalte wieder in einem Bereich um die 35 kg N/ha ein (Abb. 5-2). Auch auf diesem Standort war der Rückgang von Mai auf Juni zu einem erheblichen Teil auf die Nitratauswaschung zurückzuführen, was auch an den vergleichsweise hohen Werten in 30 - 60 cm Tiefe im Mai abzulesen ist.

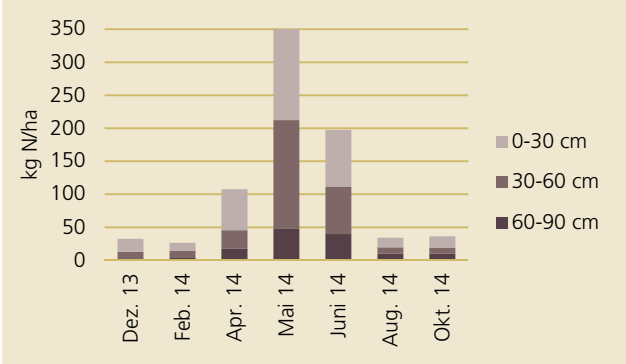


Abb. 5-2: N_{min} Gehalte am tiefgründigen Standort in Pettenbach

Am seichtgründigen Standort in Pucking ist ein ähnlicher Verlauf zu beobachten. Während über die Winterperiode die Werte unter 30 kg N/ha blieben, stieg der N_{min}-Gehalt im Mai nach einer zweimaligen Mineraldüngergabe und dem Maisanbau auf knapp 350 kg N/ha an. Die Stickstoffaufnahme der Pflanzen bedingte einen stetigen Rückgang ab Mitte Juni.

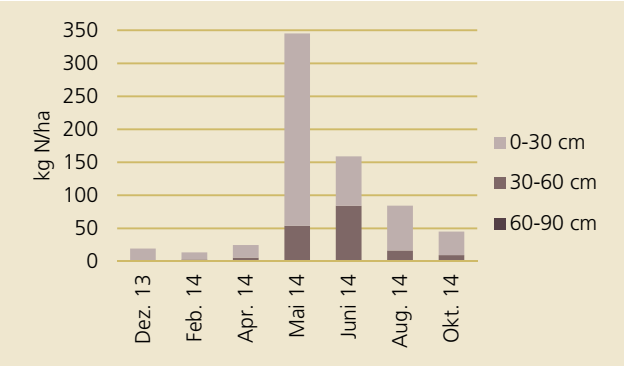


Abb. 5-3: N_{min} Gehalte am seichtgr. Standort in Pucking

Im Vergleich aller 3 Standorte zeigt sich, dass im Jahr 2014 die höchsten N_{min} Werte am tiefgründigen Standort in Pettenbach und am seichtgründigen Standort gemessen wurden (Abb. 5-4). Diese Höchstwerte sind jeweils im Mai zu finden.

In der Vergangenheit konnten ebenfalls bereits hohe N_{min}-Gehalte von über 120 kg N/ha auf allen 3 Standorten beobachtet werden, welche ausschließlich in Jahren mit Mais auftraten. Im Jahr 2014 waren die N_{min}-Gehalte im mehrjährigen Vergleich allerdings ungewöhnlich hoch. Nur im Jahr 2009 wurde der N_{min}-Gehalt am tiefgründigen Standort in Eberstalzell mit 370 kg N/ha übertroffen.

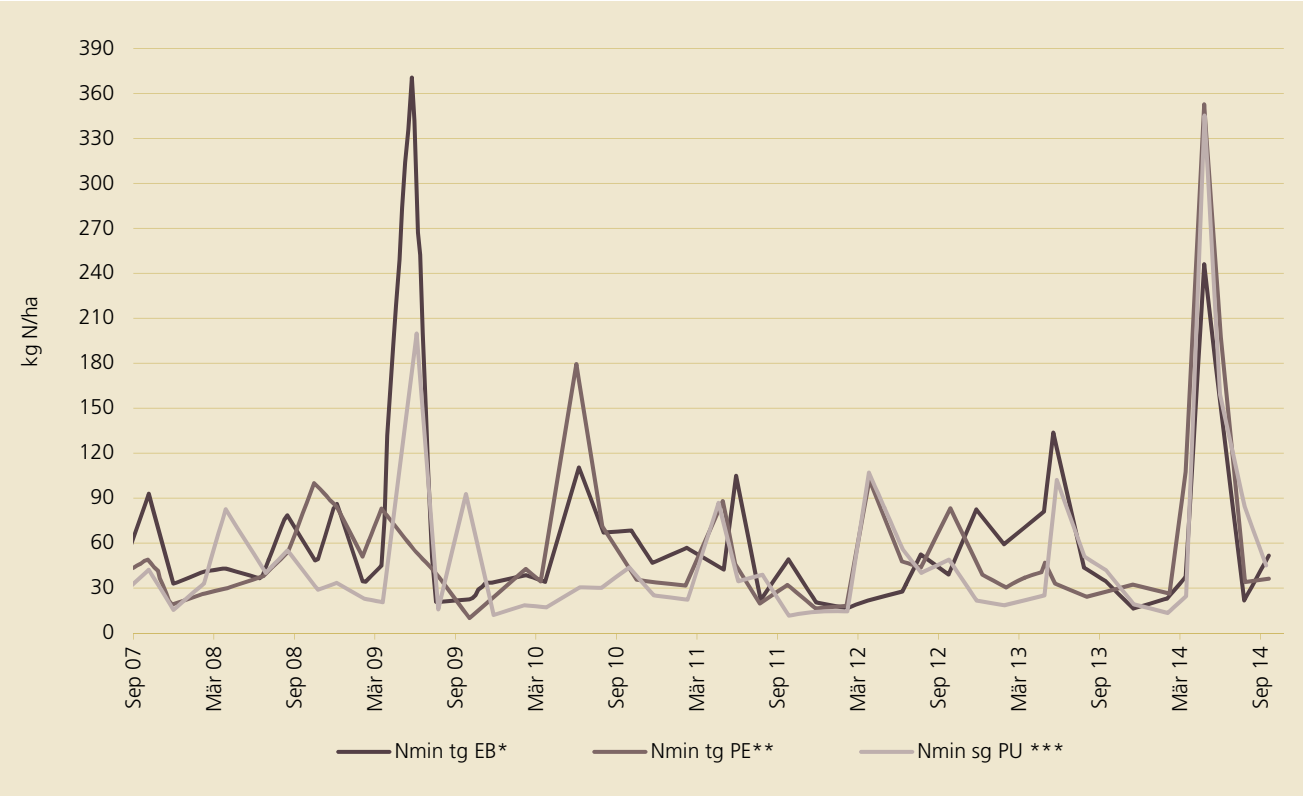


Abb. 5-4: Vergleich der N_{min} - Gehalte der Standorte seit September 2007

* tiefgründiger Standort in Eberstalzell

** tiefgründiger Standort in Pettenbach

*** seichtgründiger Standort in Pucking

5.4 Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstalzell

5.4.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

Im hydrologischen Jahr 2013/14 fielen 1.074 mm Niederschlag. Die Sickerwassermenge in diesem Zeitraum betrug 283 mm, was 26% der Niederschlagsmenge entspricht. Auffallend sind die hohen Niederschlagssummen im Mai und im Herbst 2014 (Abb. 5-5). Von Dezember bis April hingegen war in weiten Teilen Österreichs eine Trockenperiode zu verzeichnen. Auch im Untersuchungsgebiet fielen daher nur geringe Niederschlagsmengen.

Die Sickerwasserbildung verlief im Jahr 2013/14 auf sehr niedrigem Niveau. Einzig in den Monaten November 2013, Mai und September 2014 wurden aufgrund der hohen Niederschläge Werte von um die 50 mm gemessen. Wie auch bereits in vorhergehenden Jahren beobachtet, fiel während des Sommers wenig Sickerwasser an.

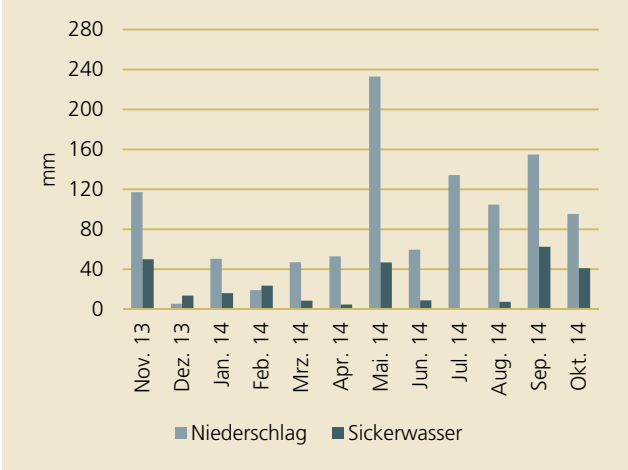


Abb. 5-5: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. EB)

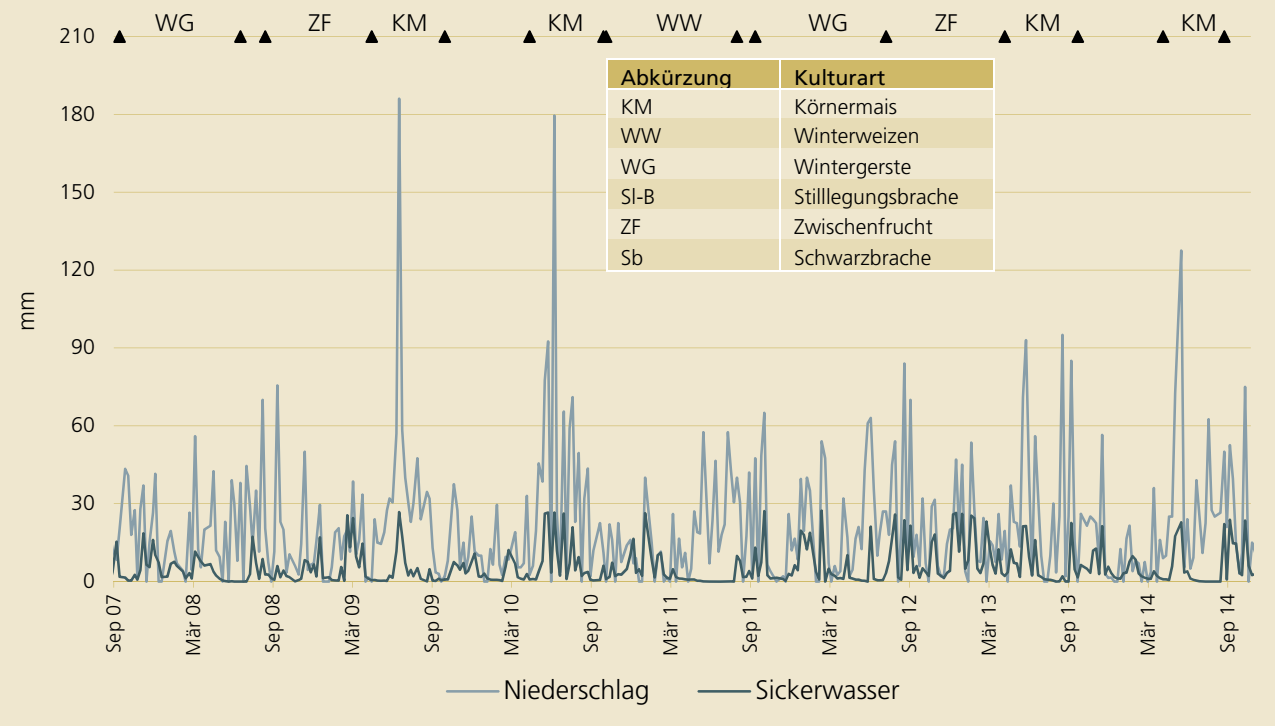


Abb. 5-6: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2007 (tiefgr. EB)

5.4.2 Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser

Die monatliche Sickerwassermenge zeigt im Jahresverlauf ein Maximum im November 2013 und zwei weitere im Mai und September 2014 (Abb. 5-7).

Die Nitratauswaschung verlief von November bis April auf sehr niedrigem Niveau und lag weit unter 2 kg N/ha und Monat. Im Mai war ein starker Anstieg zu beobachten (18 kg N/ha), der auf die Schweinegülle- und Mineraldüngergabe zum Anbau des Körnermais zurückzuführen sein dürfte. Ab Juli sank die Nitratauswaschung wieder auf unter 1 kg N/ha, da die Entzüge der Maispflanze wirksam wurden und die Sickerwasserbildung stark zurückging. Im September und Oktober stiegen die Niederschlags- und Sickerwassermengen stark an, wodurch sich die Nitratauswaschung pro Monat auf 2 bis 2,5 kg N/ha erhöhte. In Summe betrug die ausgewaschene Stickstoffmenge im hydrologischen Jahr 2013/14 27,6 kg N/ha.

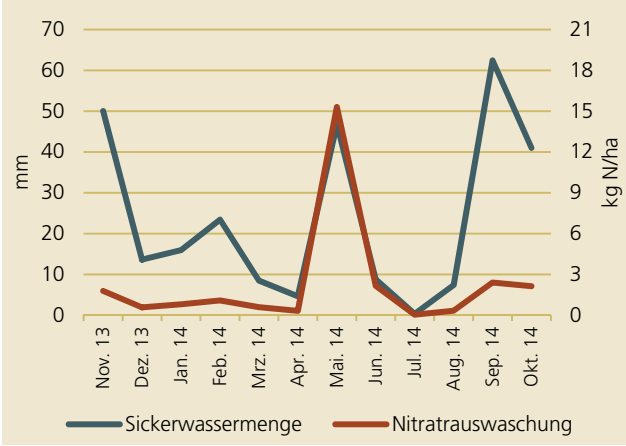


Abb. 5-7: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. EB)

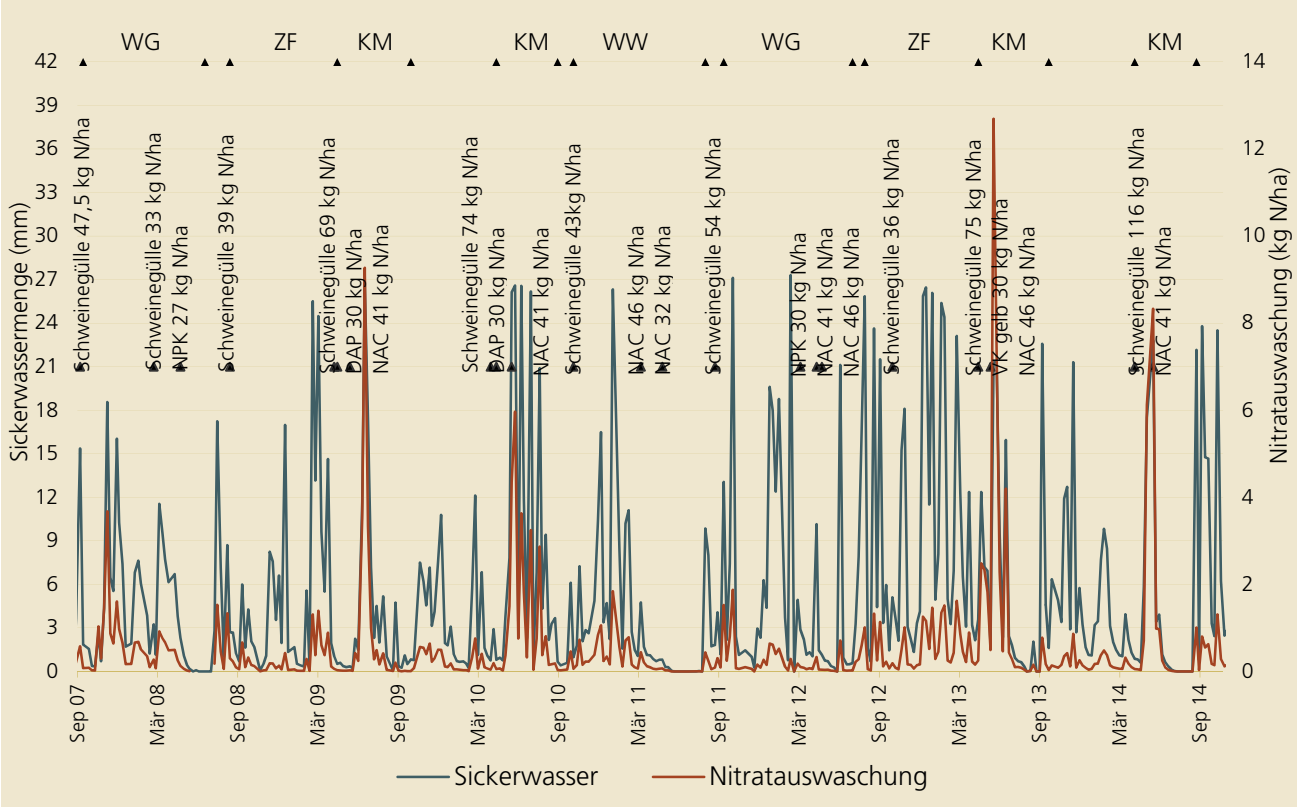


Abb. 5-8: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. EB)

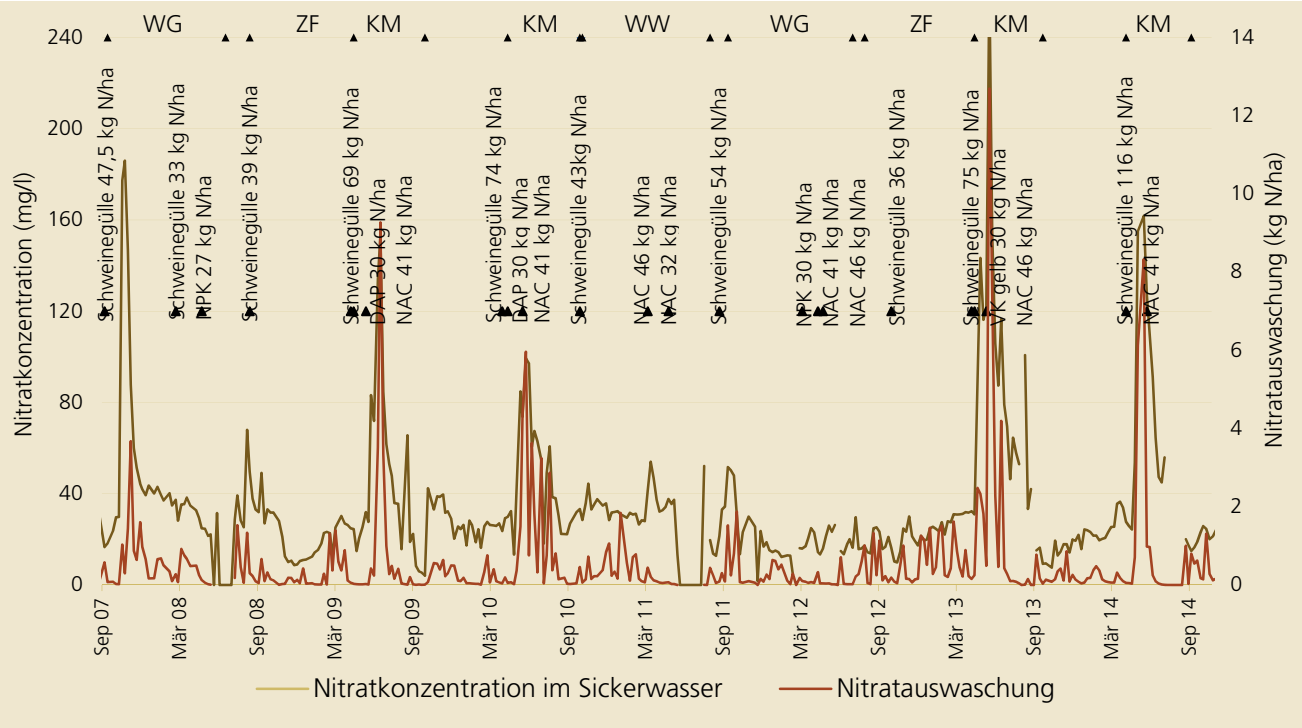


Abb. 5-9: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (tiefgr EB)

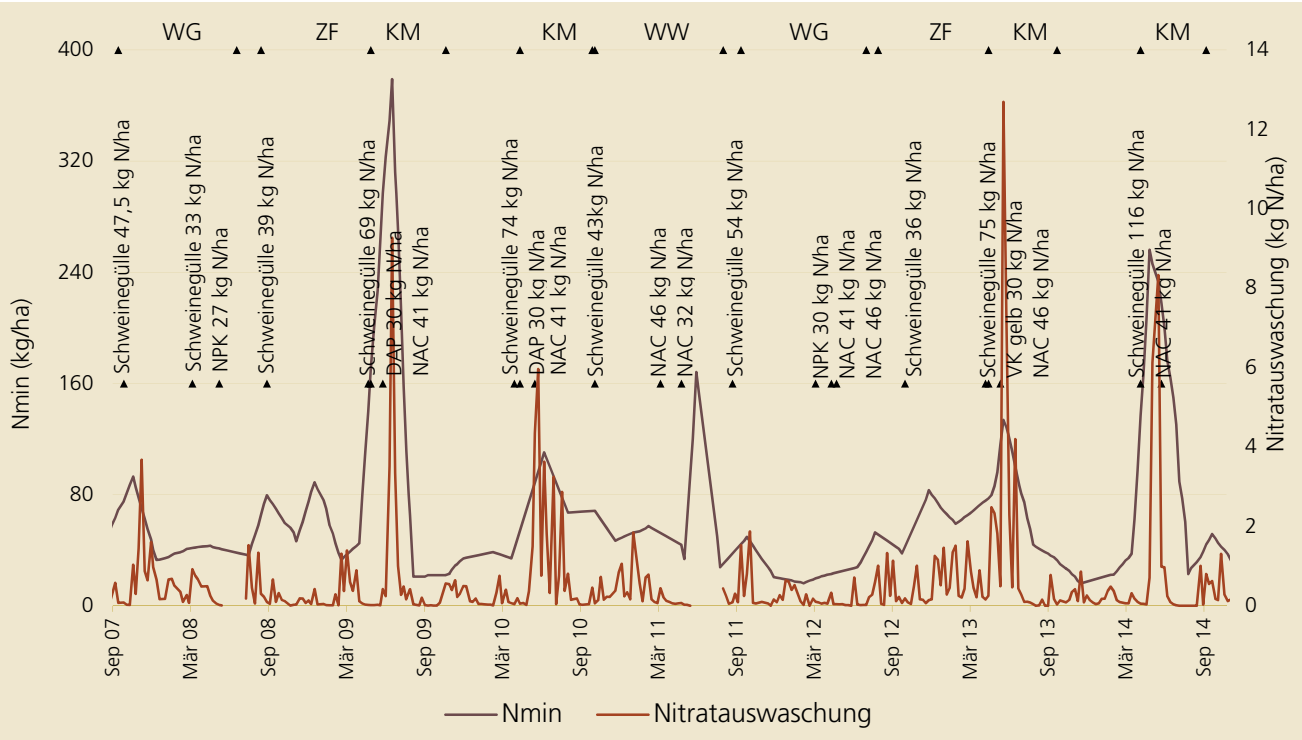


Abb. 5-10: Nitratauswaschung und N_{min} – Gehalte des Bodens (tiefgr. EB)

5.5 Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach

5.5.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

Im hydrologischen Jahr 2013/2014 betrug die Niederschlagssumme 1.238 mm, die gemessene Sickerwassermenge im selben Zeitraum 353 mm, das entspricht etwa 29% der Niederschlagsmenge (Abb. 5-11). Allerdings wurde von Ende Mai bis Ende Oktober vermutlich nicht die gesamte Sickerwassermenge erfasst, da das Auffanggefäß in diesem Zeitraum an 6 Terminen überfüllt war und somit nicht das gesamte anfallende Sickerwasser gesammelt werden konnte.

Die mit Abstand stärksten Niederschläge traten im Mai und Juli auf, gefolgt von August, September und November 2013. Vergleichbar mit den Beobachtungen am tiefgründigen Standort in Eberstallzell traten in den Monaten November, Mai und im Herbst 2014 die höchsten Sickerwassermengen auf. In den Sommermonaten Juni bis August fiel am tiefgründigen Standort in Pettenbach ebenfalls Sickerwasser an. Dies dürfte auf die hohen Niederschlagsereignisse in diesem Zeitraum zurückzuführen sein.

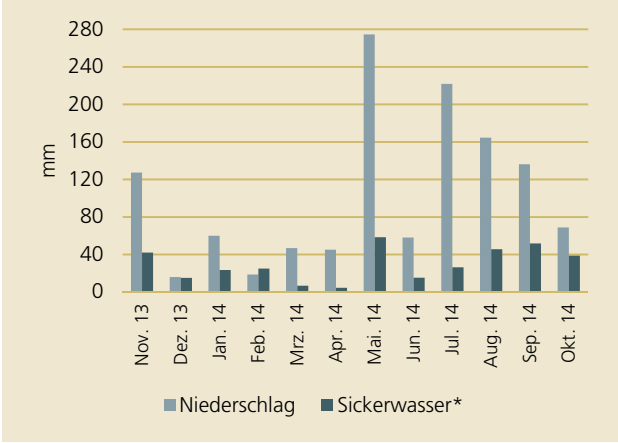


Abb. 5-11: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. PE) *von Mai – Okt. nicht gesamtes Sickerwasser erfasst

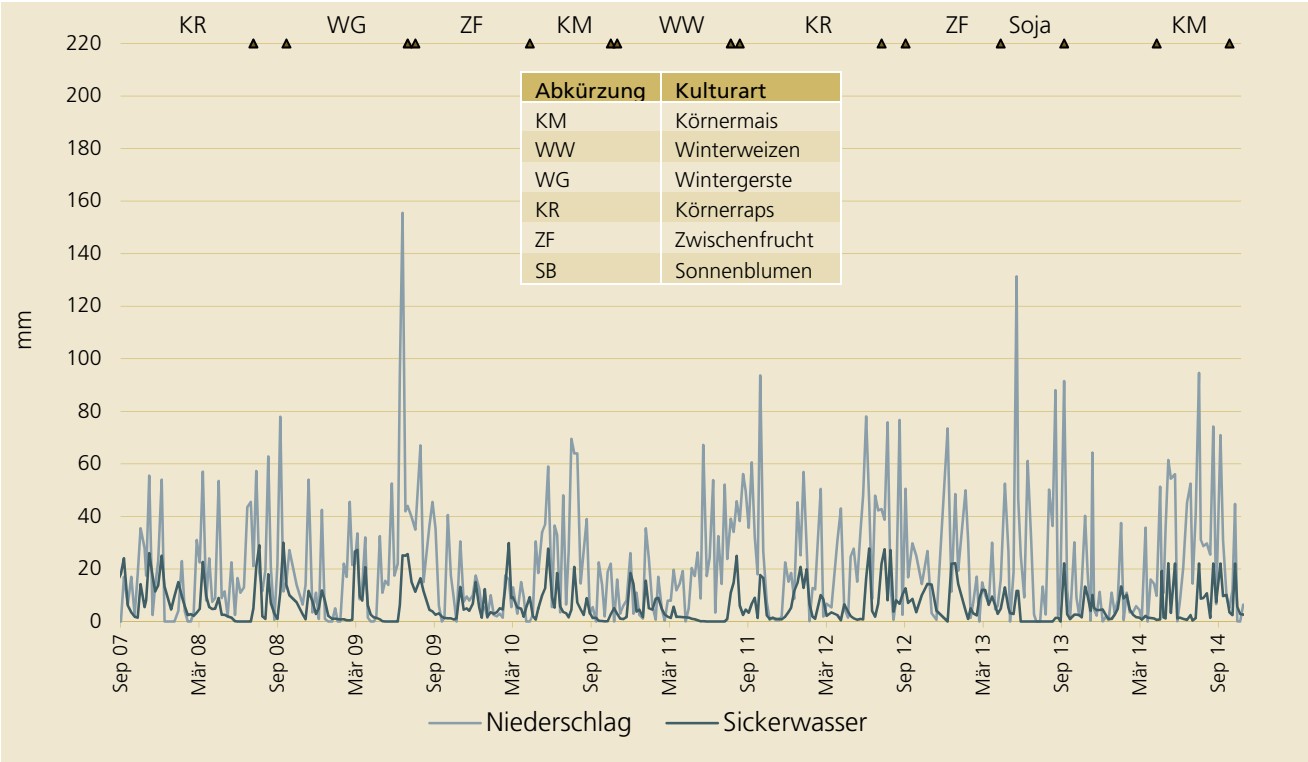


Abb. 5-12: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2007 (tiefgr. PE)

5.5.2 Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser

Die monatliche Sickerwassermenge und die Nitratauswaschung verliefen im hydrologischen Jahr 2013/14 weitgehend parallel und sind vergleichbar mit den Beobachtungen am Standort in Eberstalzell. Auffallend ist eine Nitratauswaschungsspitze im Mai von 20 kg N/ha, welche einerseits auf den aufgebrachten Stallmist zum Anbau zurückzuführen ist und auf die Tatsache, dass die Niederschlagsmenge und folglich die Sickerwasserbildung erhöht waren (Abb. 5-13). Davor blieb die Nitratauswaschung in einem Bereich unter 2 kg N/ha und Monat. Von Juli bis in den Herbst war die Auswaschung etwa doppelt so hoch und bewegte sich zwischen 3 und 5 kg N/ha.

Insgesamt wurden im hydrologischen Jahr 2013/14 46 kg N/ha ausgewaschen. Dieser Wert ist um 2/3 höher als am tiefgründigen Standort in Eberstalzell. Grund dafür liegt einerseits in der Tatsache, dass in Pettenbach höhere Niederschlagsmengen in den Sommermonaten gemessen wurden und andererseits an dem hohen N_{min}-Gehalt (350 kg N/ha) zum Zeitpunkt der Niederschläge (Abb. 5-16). Im Vergleich zu anderen Jahren mit Maisanbau wurde 2013/14 ca. 50% mehr Stickstoff ausgewaschen (Abb. 5-14).

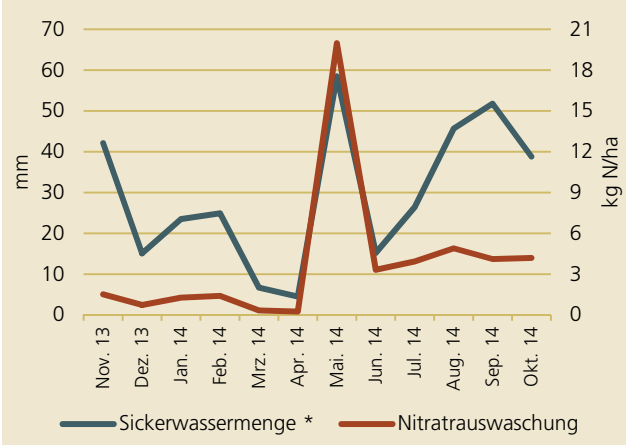


Abb. 5-13: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. PE) *von Mai – Okt. nicht gesamtes Sickerwasser erfasst

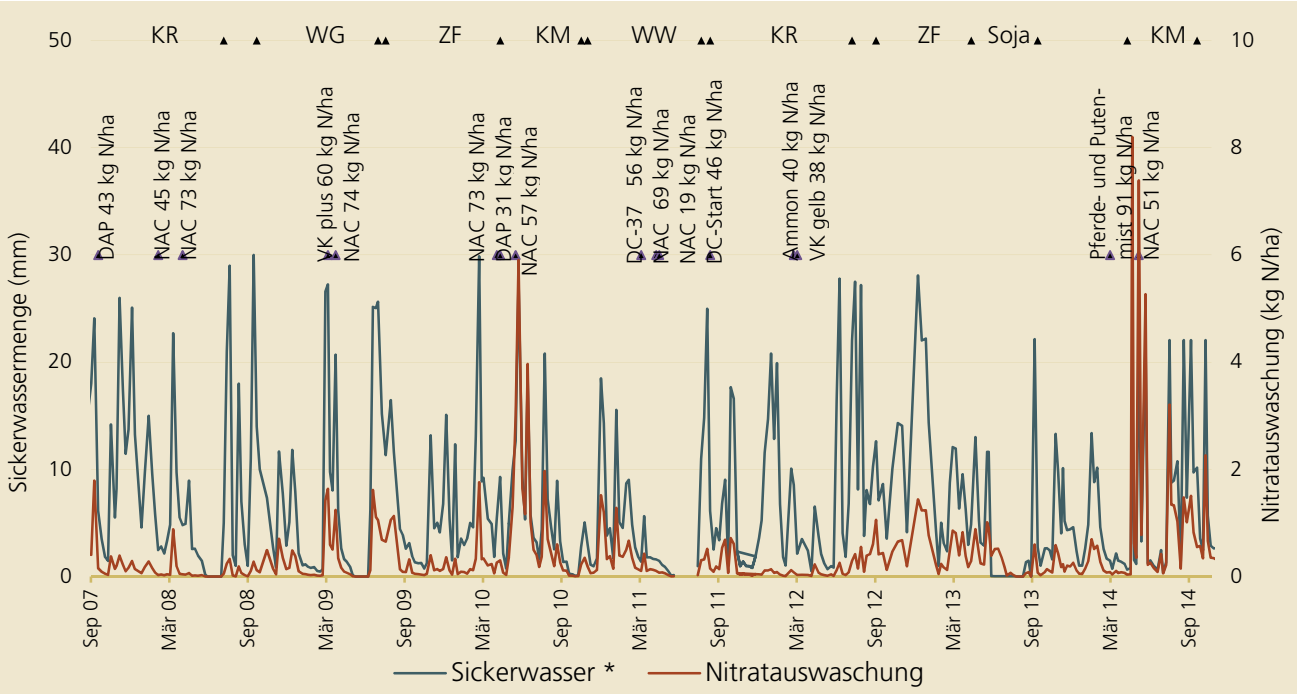


Abb. 5-14: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. PE) *von Mai – Okt. nicht gesamtes Sickerwasser erfasst

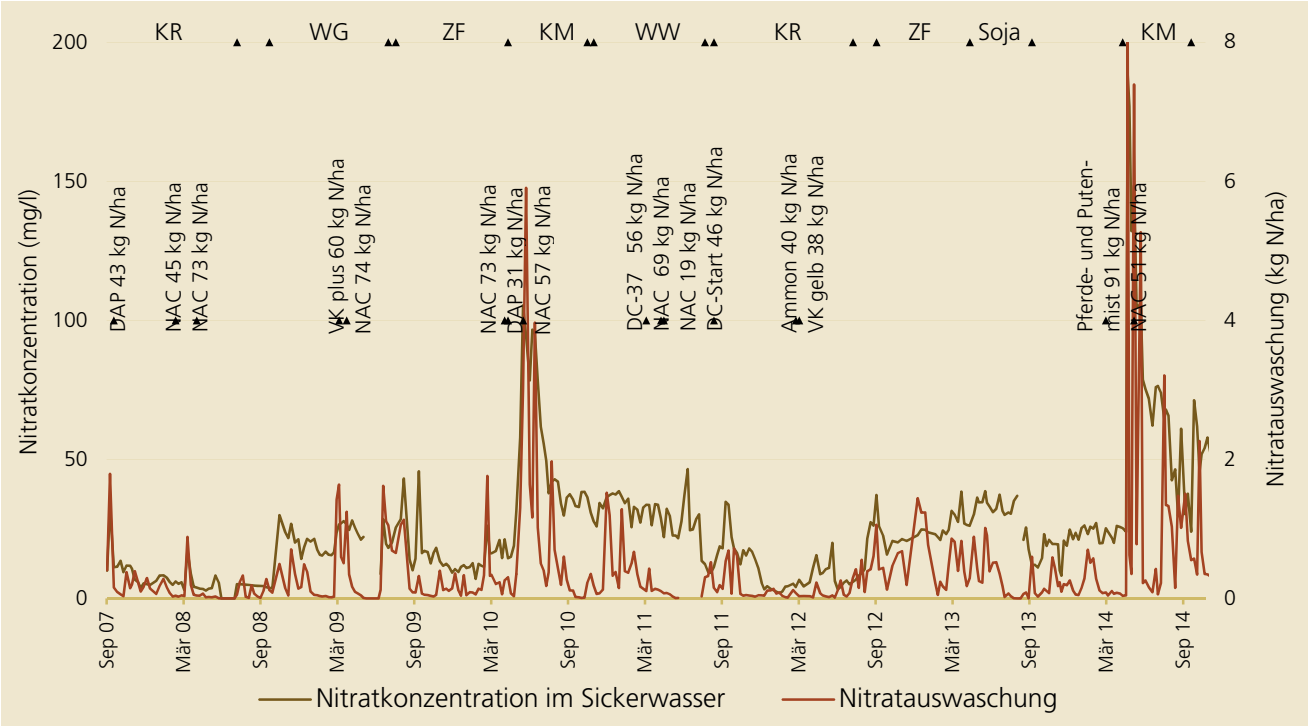


Abb. 5-15: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (tiefgr. PE)

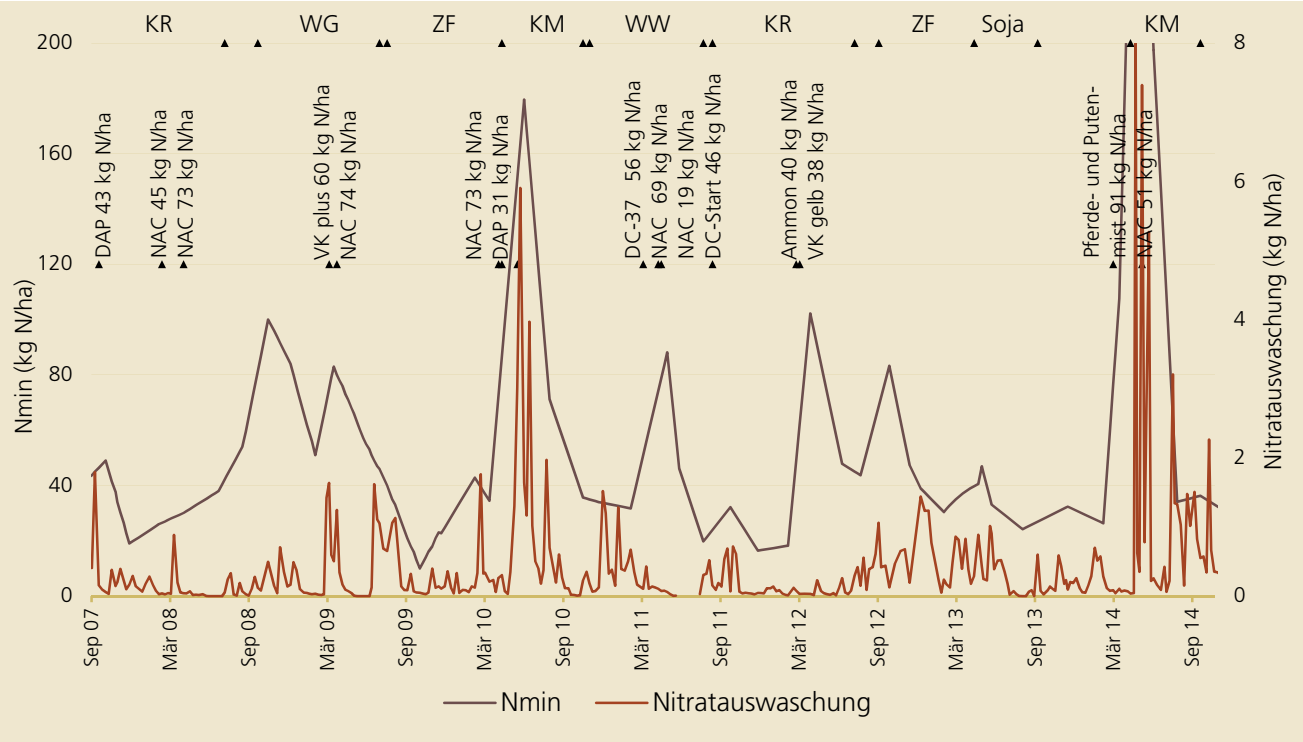


Abb. 5-16:Nitratauswaschung und N_{min} – Gehalte des Bodens (tiefgr. PE)

5.6 Nitratauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking

5.6.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

Am seichtgründigen Standort fielen im hydrologischen Jahr 2013/14 in Summe 475 mm Niederschlag (Abb. 5-17). Dieser Wert ist im Vergleich zu den beiden anderen Standorten und langjährigen Beobachtungen extrem niedrig und entspricht nur 53% der Niederschlagsmenge aus dem Vorjahr. Zusätzlich ist zu beachten, dass ab Mitte Oktober keine Regenmessungen durchgeführt werden konnten, da der Lysimeterschacht in diesem Zeitraum versetzt wurde.

Die Sickerwasserbildung erfolgte ähnlich wie auf den beiden tiefgründigen Standorten hauptsächlich im November, Mai und September. Im Juli und August trat kein Sickerwasser auf, obwohl im August doch beträchtliche Mengen an Niederschlag gemessen wurden. In Summe lag die Sickerwasserbildung bei 184 mm, was rund 39% der Niederschlagssumme entspricht.

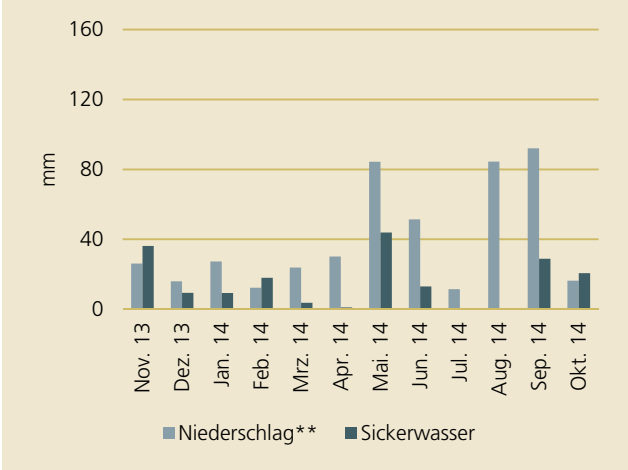


Abb. 5-17: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (seichtgr.) **Oktober nicht gesamter Niederschlag erfasst

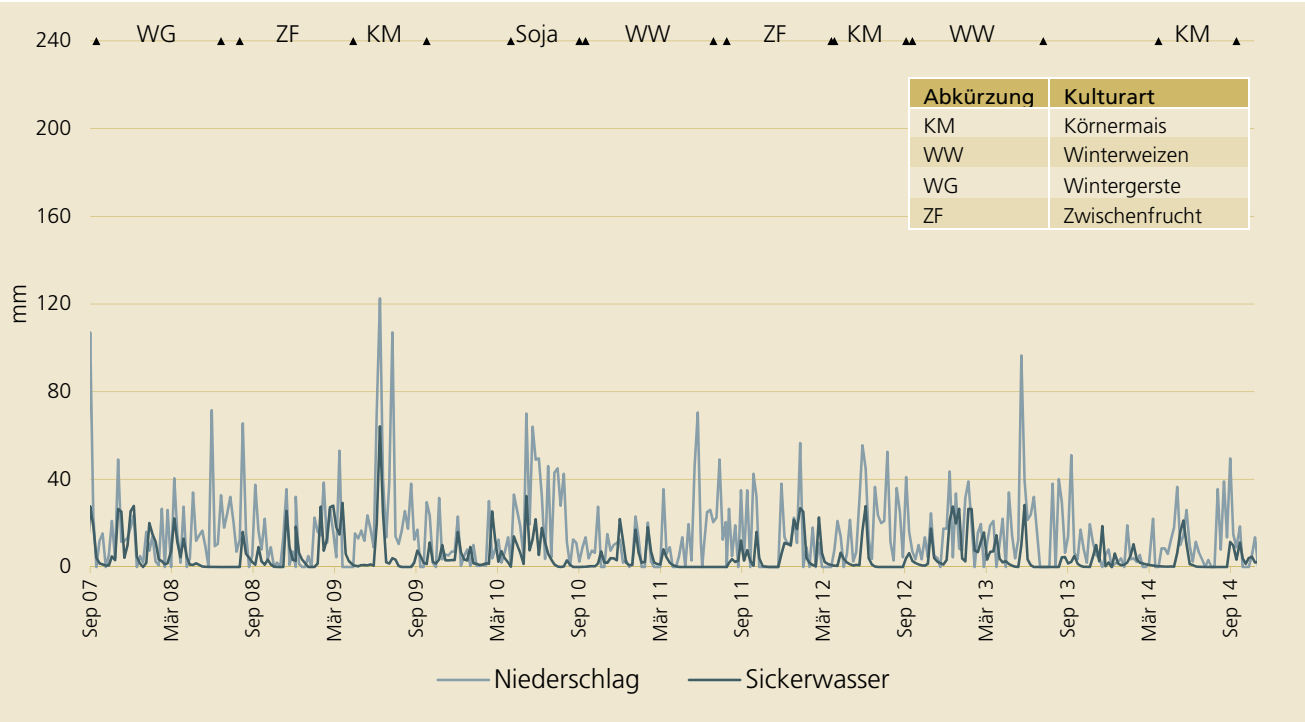


Abb. 5-18:Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2007 (seichtgründig)

5.6.2 Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser

Der Verlauf der Nitratauswaschung folgte im Wesentlichen der Sickerwasserbildung (Abb. 5-19). Außergewöhnlich für ein Jahr mit Maisanbau besonders am seichtgründigen Standort war, dass die Nitratauswaschung im Mai und Juni unter 5 kg N/ha blieb, dafür im September und Oktober auf 15 kg N/ha stieg, obwohl zu diesem Zeitpunkt keine Düngung durchgeführt wurde. Ungewöhnlich hohe Temperaturen (vgl. Kap. 6.2) in Kombination mit Niederschlägen dürften auf diesem sensiblen Standort die Ursache für N-Mineralisierung und Auswaschung gewesen sein.

In den restlichen Monaten blieb die Nitratauswaschung mit Werten unter 1 kg N/ha sehr niedrig. Einzig im Monat November 2013 stiegen die Messwerte auf knapp 5 kg N/ha. Insgesamt wurden im hydrologischen Jahr 2013/14 rund 43 kg N/ha ausgewaschen.

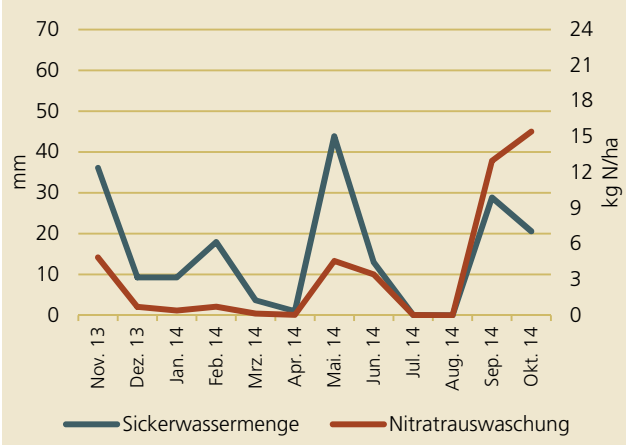


Abb. 5-19: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig)

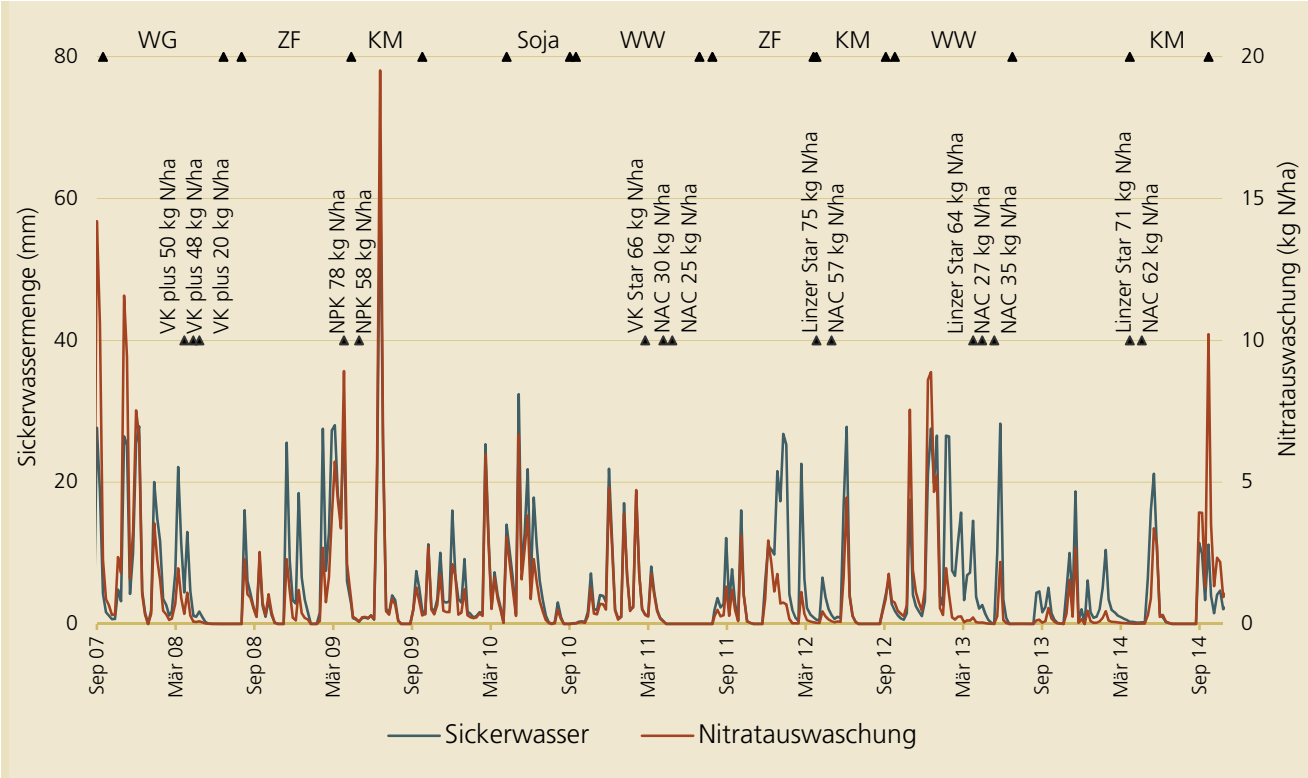


Abb. 5-20: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig)

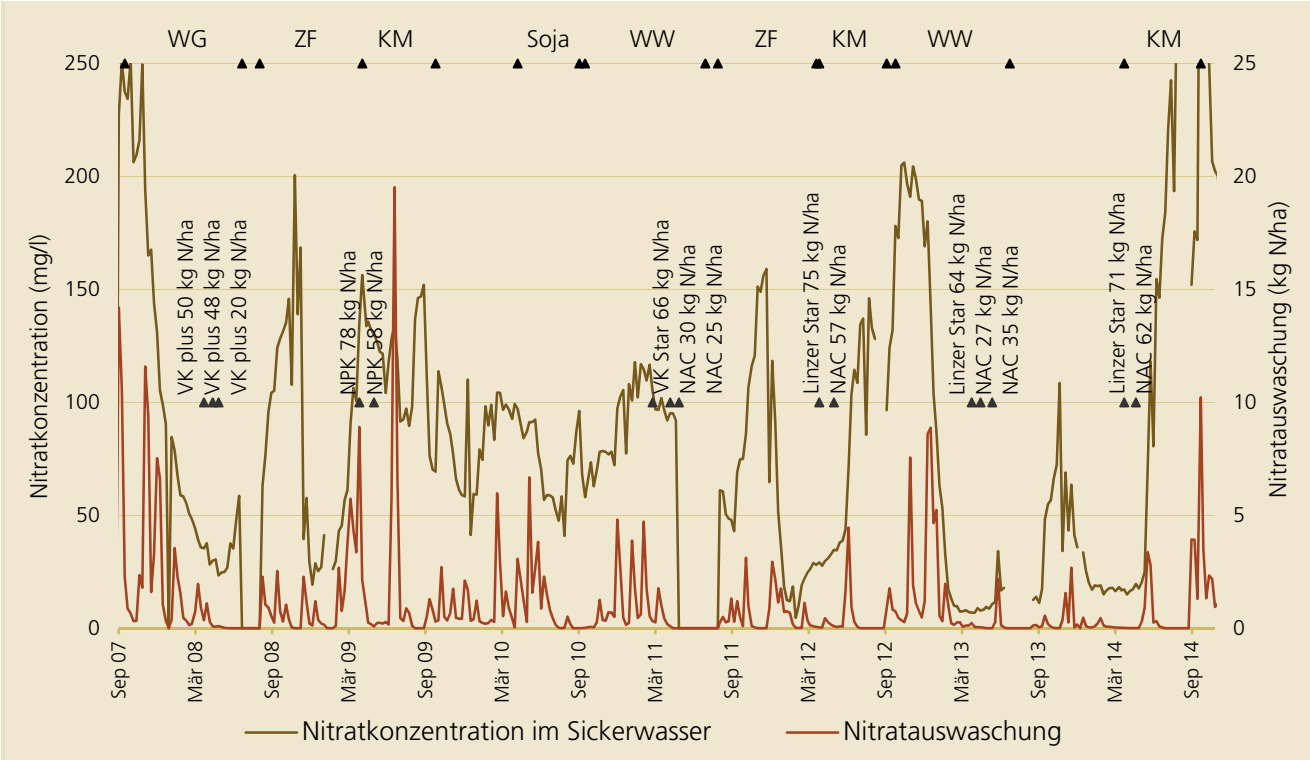


Abb. 5-21:Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (seichtgründig)

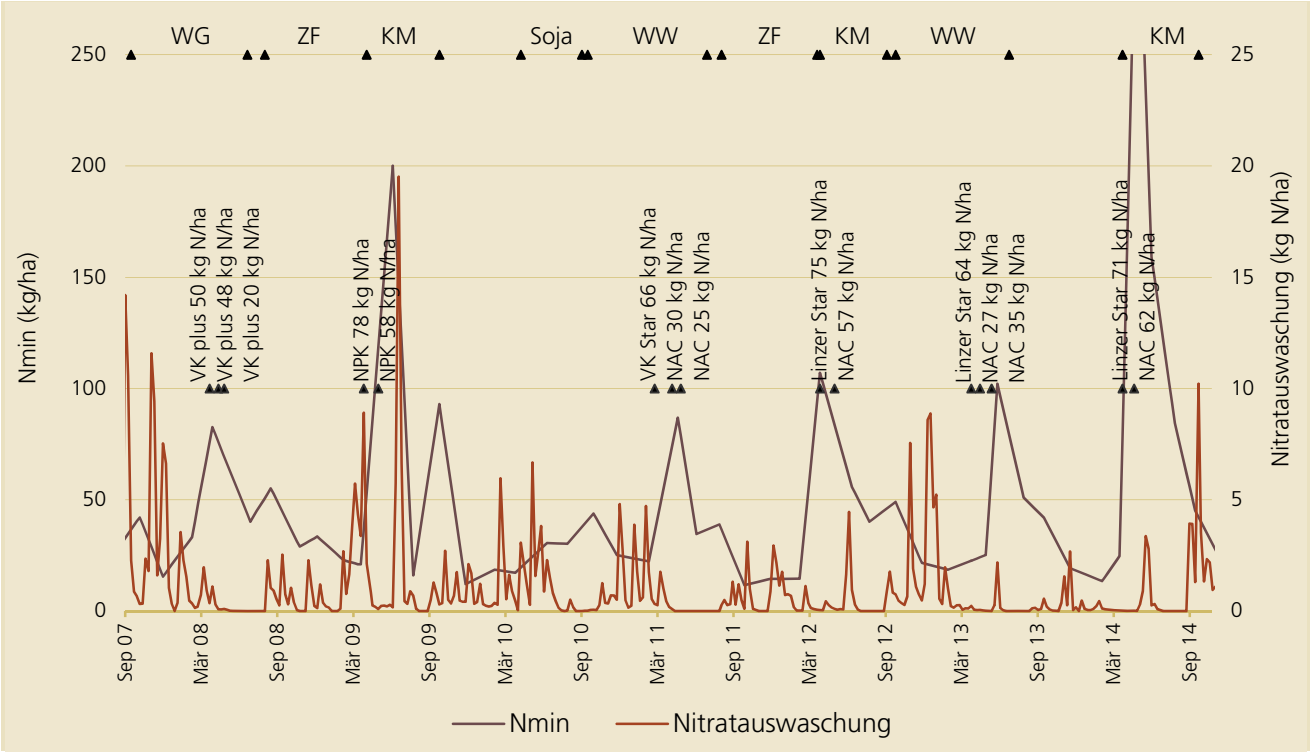


Abb. 5-22: Nitratauswaschung und N_{min} – Gehalte des Bodens (seichtgründig)

5.7 Vergleich der Nitratauswaschung bzw. Nitratkonzentration im Sickerwasser zwischen den Standorten

Die größte Stickstoffmenge wurde am tiefgründigen Standort in Pettenbach mit 46 kg N/ha ausgewaschen (Tab. 5-4). Diese entspricht ca. 32% der durch Düngung zugeführten jahreswirksamen N-Menge (142 kg N/ha). Mehr als 40% davon ging im Monat Mai verloren (19 kg N/ha). Auch in der Vergangenheit konnte regelmäßig und unabhängig vom Standort beobachtet werden, dass in Jahren des Maisanbaus das Maximum der Nitratauswaschung in diesem Zeitraum stattfindet. Als Ursache kann die im Vergleich zum Entzug relativ zeitige Düngung angesehen werden. Hinzu kommt, dass auf diesem Standort nicht wie bisher üblich rein mineralisch gedüngt wurde, sondern bereits ein Monat vor der Maisaussaat Pferde- und Putenmist gedüngt wurde, ohne dass zeitnahe ein Entzug stattfand.

Die mit Abstand geringste Auswaschung konnte am tiefgründigen Standort in Eberstalzell beobachtet werden (28 kg N/ha). Auch der ausgewaschene Anteil der durch die Düngung zugeführten N-Menge ist mit 18% weitaus geringer. Wie auch am Standort in Pettenbach wurden in Eberstalzell die größten Auswaschungen im Monat Mai nach der Wirtschaftsdüngergabe beobachtet (15 kg N/ha).

Tab. 5-4: Stickstoffauswaschung vom 01.11.13 bis 31.10.14 im Vergleich zur Düngung (jahreswirksam)

	Düngung jw [kg N/ha]	Ausw. [kgN/ha]	Anteil [%]	Bilanz jw [kg N/ha]	Bilanz ff [kg N/ha]
Tiefgr. EB	157	28	18%	-4	27
Tiefgr. PE	142	46	32%	15	104
Seichtgr.	133	43	32%	13	13

Am seichtgründigen Standort wurden 43 kg N/ha ausgewaschen. Dies entspricht rund 32% der durch Düngung zugeführten N-Menge (133 kg N/ha). Der größte N-Austrag mit einem Anteil an 65% des gesamten Jahres erfolgte im September und Oktober. Die starken Niederschläge in diesem Zeitraum verschlimmerten die Situation, wodurch die bisher sehr niedrige Auswaschungsmenge im Jahr 2013/14 deutlich erhöht wurde. Hierbei ist festzuhalten, dass im Gegensatz zu vorhergehenden Jahren mit Maisanbau die Nitratauswaschung im Mai und Juni zwar leicht erhöht war, allerdings nur Werte bis maximal 5 kg N/ha pro Monat erreichte. Dies ist dahingehend ungewöhnlich, da besonders auf diesem Standort aufgrund der geringeren Mächtigkeit das Rückhaltevermögen für Wasser und des darin enthaltenen Nitrats gering ist. Selbst auf den beiden tiefgründigen Standorten wurde in diesem Zeitraum weitaus mehr ausgewaschen (Abb. 5-26).

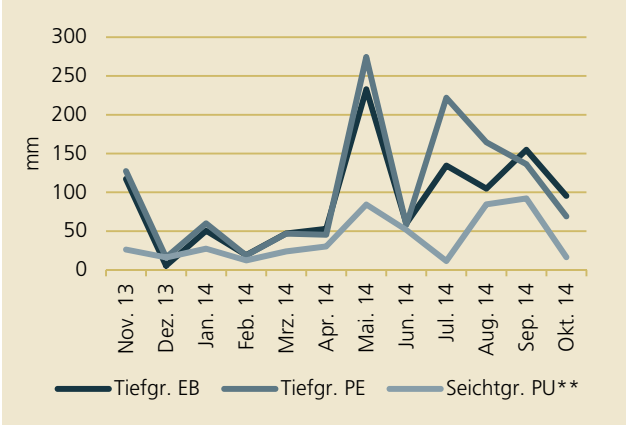


Abb. 5-23: Monatliche Niederschlagssummen an den drei Standorten **Oktober nicht gesamter Niederschlag erfasst

Hierfür könnte vor allem der mehr als doppelt so hohe Niederschlag in Eberstalzell und Pettenbach verantwortlich sein. In Abb. 5-23 ist gut erkennbar, dass der Niederschlagsverlauf auf den beiden tiefgründigen Standorten deckungsgleich verlief. In Pucking allerdings wurde im gesamten Hydrologischen Jahr 2013/14 etwa nur die Hälfte des Niederschlags gemes-

sen als in den Jahren zuvor. Die größten Niederschläge fielen in Pettenbach. In Eberstalzell waren um 13% niedrigere Niederschlagsmengen beobachtbar, am seichtgründigen Standort sogar um 61% weniger (Abb. 5-23).

Tab. 5-5: Sickerwassermengen und durchschnittliche Nitratkonzentration vom 01.11.13 bis 31.10.14

	SW [mm]	NO_3-Kon. [mg/l]
Tiefgr. EB	283	43
Tiefgr. PE	353*	57
Seichtgr. PU	183	104

*von Mai – Okt. nicht gesamtes Sickerwasser erfasst

Der Sickerwasseranfall verlief von November 2013 bis Juni 2014 auf allen Standorten fast deckungsgleich. Ab Juli traten in Pettenbach höhere Niederschläge und dadurch höhere Sickerwassermengen auf (Abb. 5-24). Tatsächlich war die Sickerwassermenge in Pettenbach im Zeitraum zwischen Mitte Mai und Oktober sogar noch höher, da an 6 Terminen das Auffanggefäß überfüllt war und kein Sickerwasser mehr aufgefangen werden konnte.

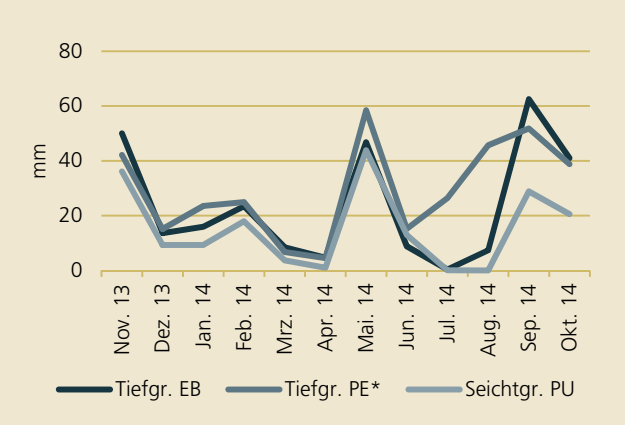


Abb. 5-24: Monatliche Sickerwassermengen an den drei Standorten *von Mai – Okt. nicht gesamtes Sickerwasser erfasst

Die höchste durchschnittliche Nitratkonzentration wurde am seichtgründigen Standort mit 104 mg NO_3/l beobachtet (Tab. 5-5), wobei hierfür ausschließlich die hohen Konzentrationen im September und Oktober verantwortlich sind. Im restlichen Jahr blieb die Konzentration weit unter 50 mg NO_3/l.

Die zweithöchste jährliche mittlere Konzentration von 57 mg NO_3/l wurde am tiefgründigen Standort in Pettenbach gemessen, welche besonders durch eine Konzentrationsspitze von 160 mg NO_3/l im Mai geprägt ist. Am tiefgründigen Standort in Eberstalzell blieb die Nitratkonzentration insgesamt am geringsten (43 mg NO_3/l) und blieb außer in den Monaten Mai und Juni weit unter 50 mg NO_3/l (Abb. 5-25).

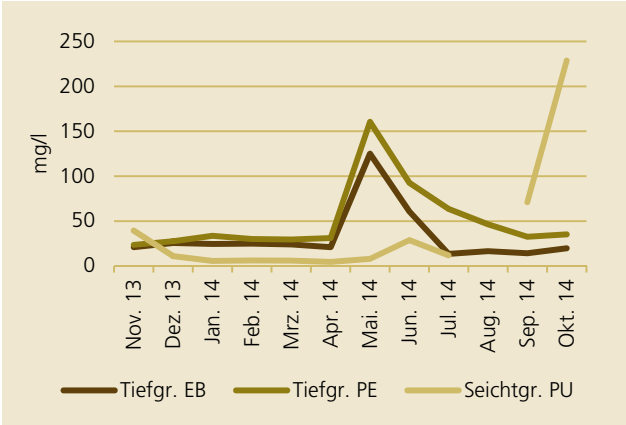


Abb. 5-25: Durchschnittliche monatliche Nitratkonzentrationen an den drei Standorten

Die Nitratkonzentrationen verliefen auf allen drei Standorten parallel zur monatlichen Nitrataus-waschung und wurden zusätzlich durch die Sickerwassermenge beeinflusst (Abb. 5-26). So war jeweils ein Maximum im Mai auf den beiden tiefgründigen Standorten zu beobachten, und ein Maximum im September und Oktober am seichtgründigen Standort.

In Summe wurde während des Messzeitraums seit September 2001 bis November 2014 am seichtgründigen Standort mit 656 kg N/ha am meisten Stickstoff in Form von Nitrat ausgewaschen (Abb. 5-27). Am tiefgründigen Standort in Eberstalzell waren es mit 340 kg N/ha etwa halb so viel, am tiefgründigen Standort in Pettenbach mit 245 kg N/ha ca. 1/3.

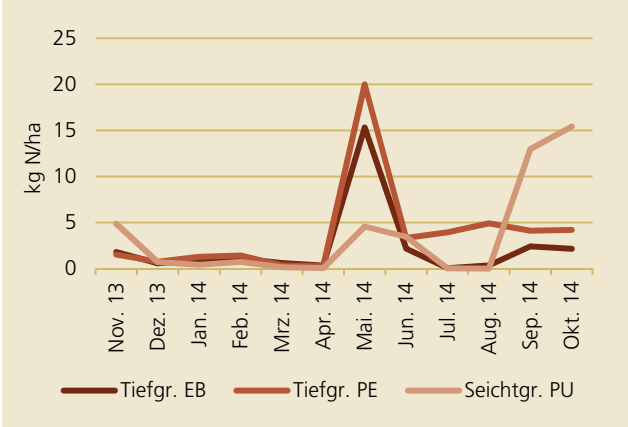


Abb. 5-26: Monatliche Nitratauswaschung an den drei Standorten

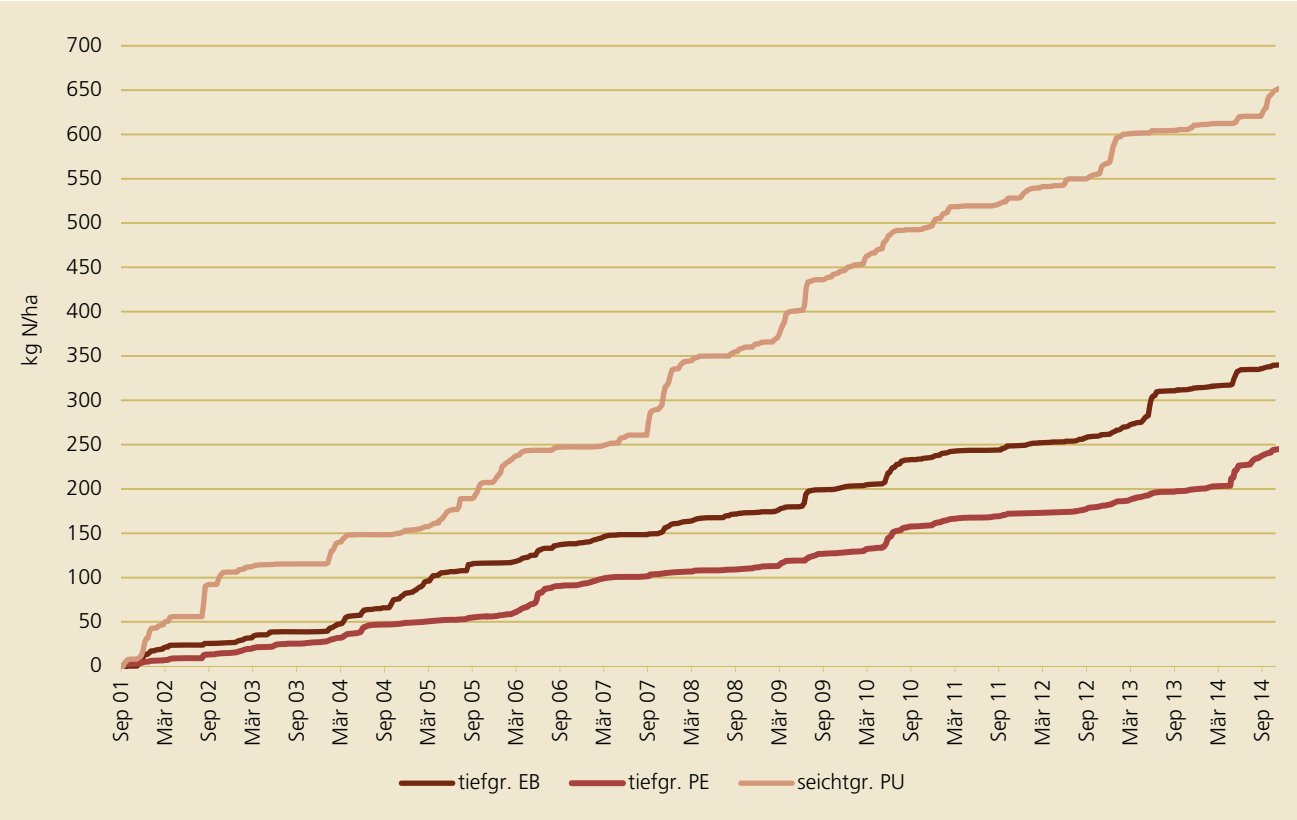


Abb. 5-27:Summe der als Nitrat ausgewaschenen Stickstoffmenge an den drei Standorten

5.8 Phosphorbilanzen

In Eberstalzell wurde Phosphor über eine Düngung mit Schweinegülle (53 kg P_2O_5/ha) zugeführt. Am Standort in Pettenbach erfolgte die Phosphorzufuhr durch eine Düngung mit Pferdemist (55 kg P_2O_5/ha bzw. 10 kg P_2O_5/ha) und Putenmist (302 kg P_2O_5/ha). Wie bereits in Kap. 5.2 in Zusammenhang mit den Stickstoffbilanzen erwähnt, ist der analytisch ermittelte P-Gehalt im Pferdemist (ebenso wie der Stickstoffgehalt) im Vergleich zu Durchschnittswerten auffallend hoch, was eine Folge der Probenahme sein könnte. Die P-Bilanz wurde daher für diesen Standort ein zweites Mal mit dem vom Landwirten rechnerisch ermittelten P-Gehalt im Pferdemist berechnet (Werte in Klammern). Am seichtgründigen Standort wurde Phosphor in der Höhe von 71 kg P_2O_5/ha durch eine Mineraldüngung ausgebracht.

Die Phosphorbilanz (Tab. 5-6) ist auf dem Standort in Pettenbach vor allem aufgrund der über den Putenmist zugeführten hohen P-menge positiv. Auf den beiden anderen Standorten ist die Bilanz der Ernteabfuhr stark negativ, besonders in Eberstalzell.

Die Ergebnisse der Bilanzen für die Ernteabfuhr zwischen den Lysimeterflächen und den Mittelwerten sind am seichtgründigen Standort in Pucking nahezu identisch. Auf den beiden tiefgründigen Standorten wurden Abweichungen von 30 bis 50 kg P_2O_5/ha gemessen, welche vor allem auf den geringeren Phosphorgehalt im Korn auf den Kontrollflächen zurückzuführen sind.

Tab. 5-6: Phosphorbilanzen für das Erntejahr 2014

	Tiefgründiger Standort in Eberstalzell		**Tiefgründiger Standort in Pettenbach**		**Seichtgründiger Standort in Pucking**	
	---------- kg P_2O_5/ha ----------					
Phosphorzufuhr aus Düngung	53		357 (312)*		71	
Entzug durch die Pflanzen	Lysimeter	Mittelwert	Lysimeter	Mittelwert	Lysimeter	Mittelwert
Entzug durch das Korn	355	303	234	268	212	220
Entzug durch das Stroh	86	78	99	83	146	141
Summe Entzug	441	381	333	351	358	361
Abfuhr durch Ernte	355	303	234	268	212	220
Bilanz Korn (Ernte)	-302	-250	123 (78)*	89 (44)*	-141	-149

*am tiefgründigen Standort in Pettenbach wurde die P-Zufuhr und die Bilanz in Klammern auch für errechnete P-Gehalte von Pferdemist dargestellt

5.9 Phosphatauswaschung

Der jahreszeitliche Verlauf der Phosphatauswaschung im Jahr 2014 war auf allen Standorten sehr ähnlich und folgt dem Sickerwasseranfall (Abb. 5-28). So war jeweils eine Auswaschungsspitze im Mai zu verzeichnen, wobei die höchste Auswaschung am seichtgründigen Standort zu beobachten war. Am tiefgründigen Standort in Pettenbach war die Spitze im Mai zwar am niedrigsten, allerdings stieg von Juli bis August die Phosphorauswaschung im Gegensatz zu den beiden anderen Standorten wieder an. Grund hierfür sind einerseits die in diesem Zeitraum beobachteten hohen Niederschläge und Sickerwassermengen und andererseits die hohe Phosphordüngemenge im Frühjahr.

Die Auswaschungsspitzen können auf allen drei Standorten zeitlich mit den Düngemaßnahmen in Zusammenhang gebracht werden. In Summe wurde jedoch im Vergleich zu vorhergehenden Jahren wenig Phosphor ausgewaschen und auch die Spitzen sind nicht so stark ausgeprägt (Abb. 5-29 bis Abb. 5-31).

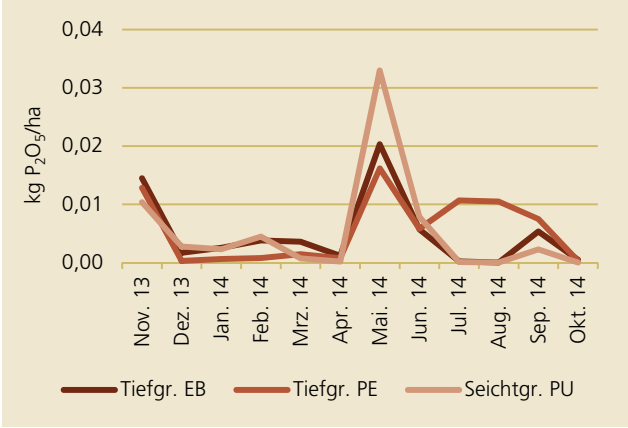


Abb. 5-28: Monatliche Phosphatauswaschung an den drei Standorten

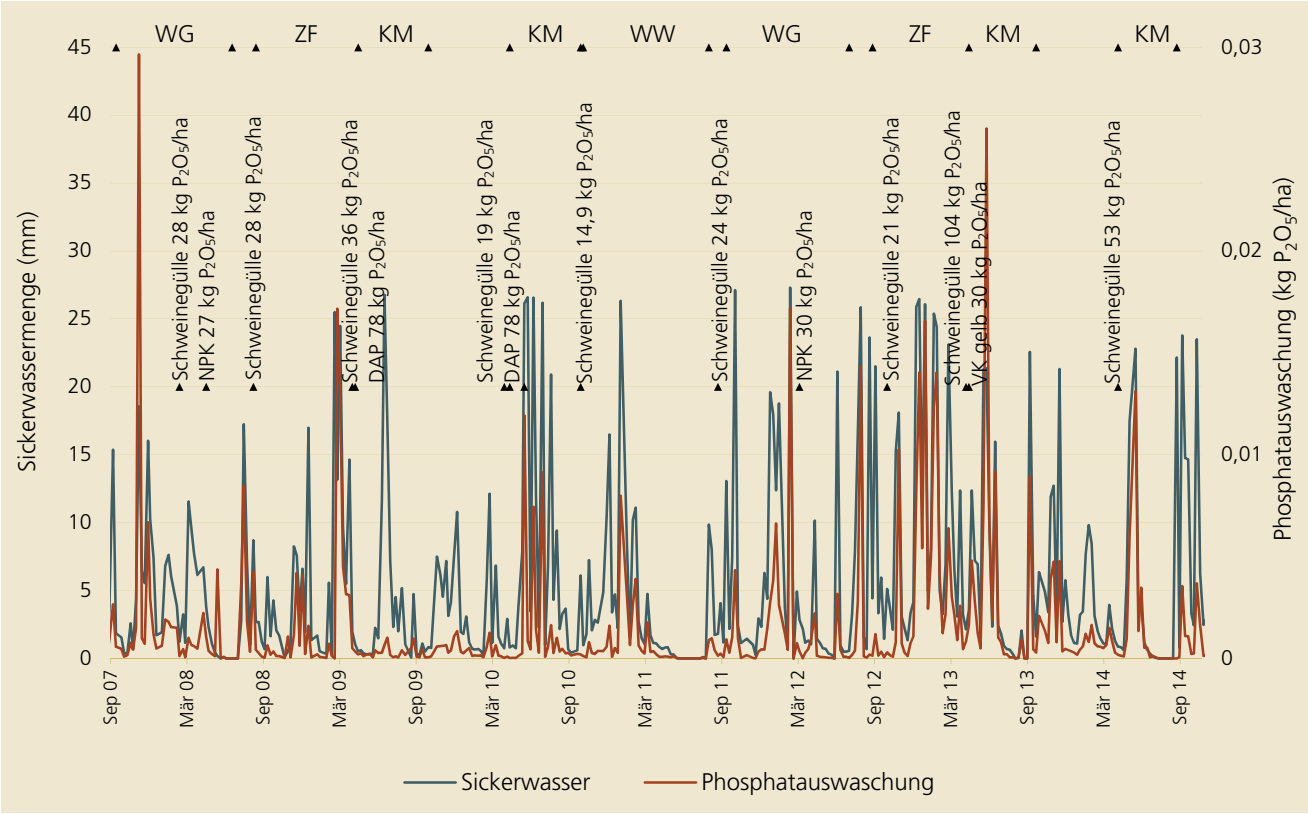


Abb. 5-29:Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstalzell

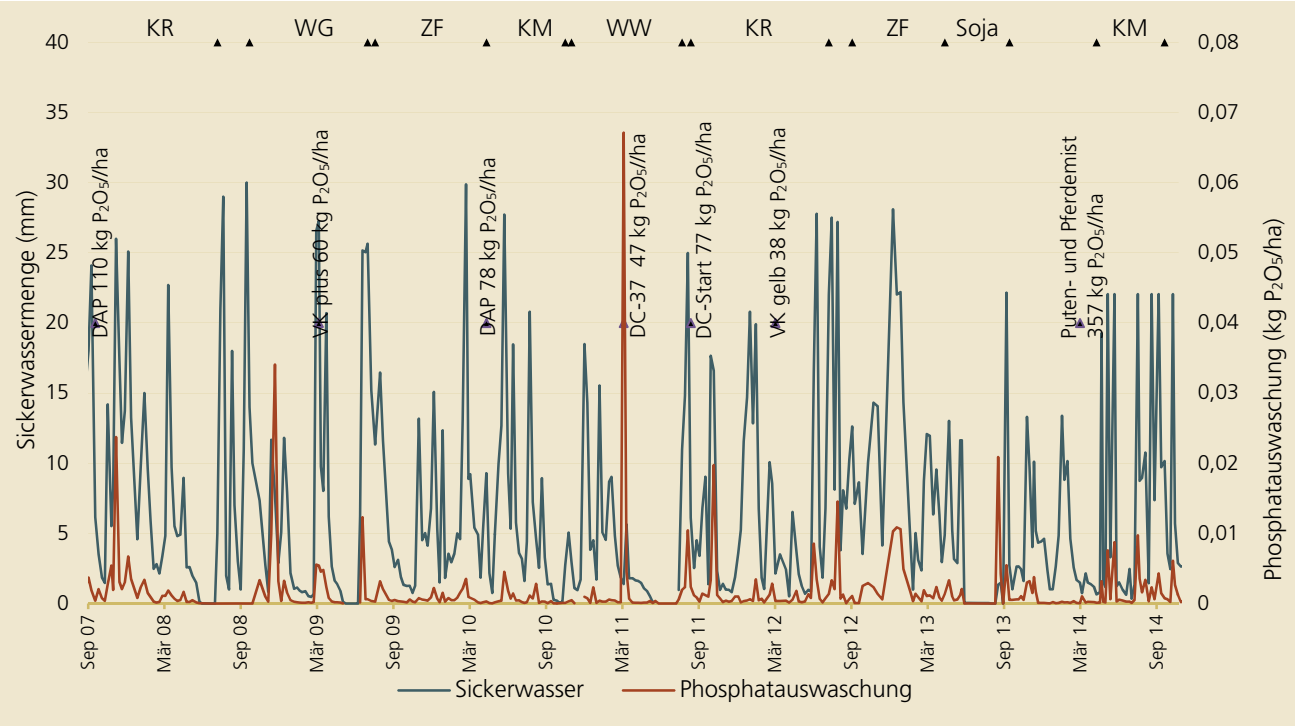


Abb. 5-30:Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach

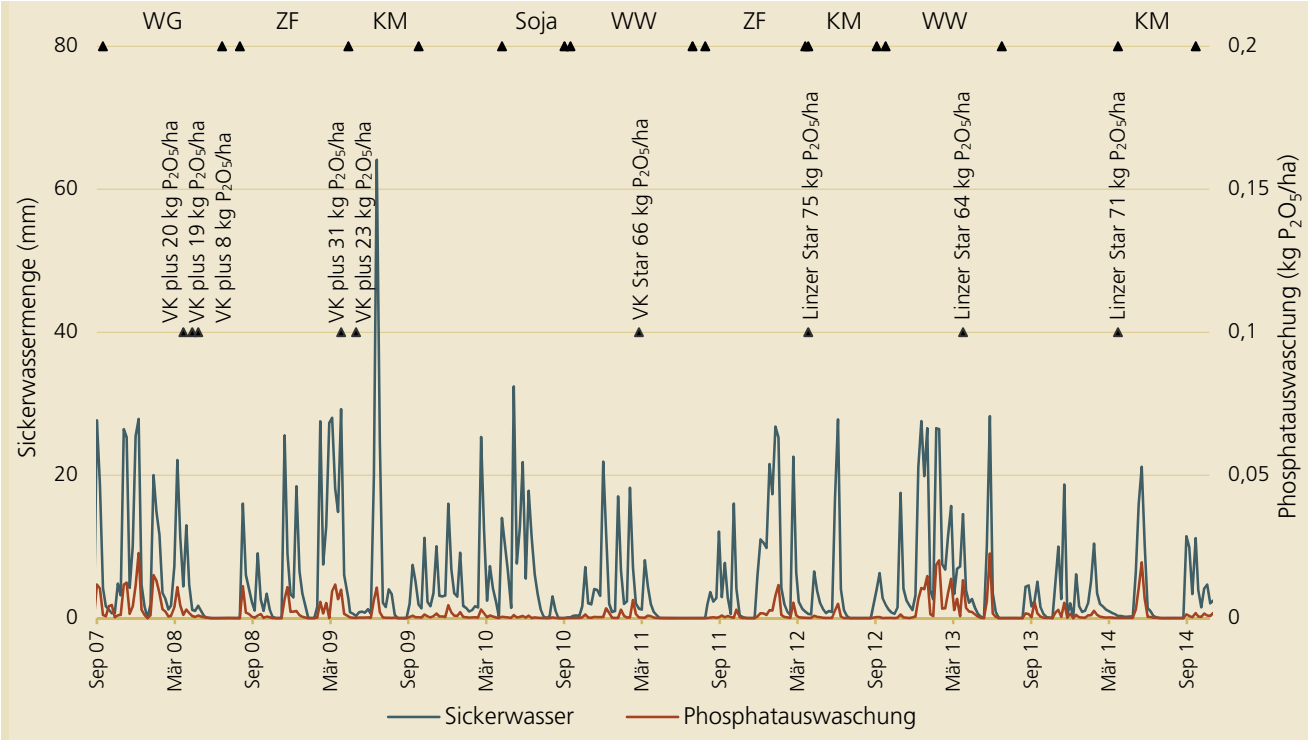


Abb. 5-31:Phosphatauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking

In Summe waren die P-Verluste mit dem Sickerwasser im hydrologischen Jahr 2013/14 im Verhältnis zu den bei der Düngung eingesetzten P-Mengen verschwindend klein (Tab. 5-7). Die durchschnittliche Phosphatkonzentration im Sickerwasser lag in diesem Jahr auf allen 3 Standorten weit unter dem Grundwasserschwellenwert von 0,3 mg PO_4/l.

Seit Beginn der Messreihe wurden am tiefgründigen Standort in Eberstalzell insgesamt 0,94 kg P/ha ausgewaschen und am tiefgründigen Standort in Pettenbach 1,04 kg P/ha. Am seichtgründigen Standort wurde seither in etwa die doppelte Menge, nämlich 1,73 kg P/ha ausgewaschen (Abb. 5-32).

Tab. 5-7: Sickerwasser, P_2O_5-Verluste und mittlere PO_4-Konzentration im Sickerwasser vom 01.11.13 bis 31.10.14

	SW [mm]	P_2O_5 - Verlust [kg/ha]	PO_4-Kon. [mg/l]
Tiefgr. EB	283	0,0593	0,0280
Tiefgr. PE	353*	0,0675	0,0256
Seichtgr. PU	184	0,0639	0,0465

*von Mai – Okt. nicht gesamtes Sickerwasser erfasst

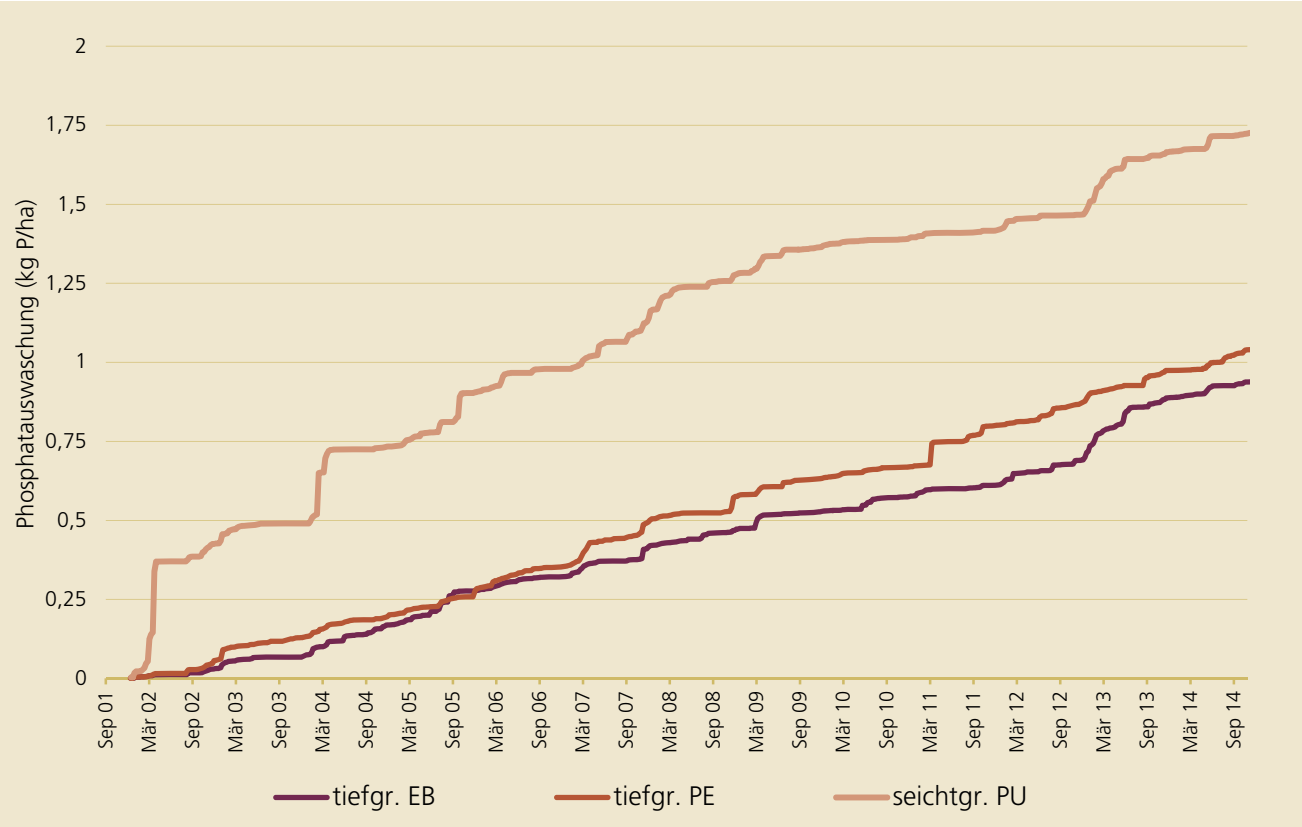


Abb. 5-32: Summe der als Phosphat ausgewaschenen P-Menge an den drei Standorten

6 Hydrographische Auswertung der UZ-Messstelle Pettenbach

6.1 Allgemeines

Seit 2013 ist die hydrographische Messstelle der Ungesättigten Zone (UZ-Messstelle) Pettenbach in Betrieb. Sie besteht aus einem mit Gipsblöcken, Tensiometern (für die Saugspannungsmessung), Temperatursensoren und Wassergehaltssensoren in den Tiefen 10, 35, 60, 90, 120 und 140 cm unter Grund bestückten Freilandprofil sowie aus einem Schwerkraftlysimeter, welches seit 1995 im Zuge des Forschungsprojektes betrieben wird. Auch dieses Lysimeter wurde mit Saugspannungs- und Wassergehaltssensoren bestückt. Die ebenfalls seit 1995 betriebene Klimastation liefert kontinuierliche Niederschlags-, Temperatur-, Globalstrahlungs-, Luftfeuchte- und Windgeschwindigkeitswerte.

6.2 Hydrographische Messergebnisse

Die 2-jährige Laufzeit erlaubt eine vergleichende Gegenüberstellung der Messergebnisse bis 2013 mit dem Jahr 2014. Dies erfolgt in den in der Hydrographie üblichen Darstellungen, in welchen die Bandbreite der bisherigen Messergebnisse als grauer Hintergrund fungiert und das Vergleichsjahr 2013 (blau) und das Bearbeitungsjahr 2014 (rot) farblich auseinander gehalten werden kann. In Abb. 6-1 werden solcherart die Niederschlagsverhältnisse dargestellt. Trotz einiger starker Niederschlagsereignisse im Mai und einem sehr verregneten Juli ist die Jahressumme durch das Ausbleiben der Niederschläge im November und Dezember im unteren Drittel der Bandbreite. Die Lufttemperaturen (nicht eigens dargestellt) zeigen einen sehr warmen März, Oktober, November und Dezember (wärmste seit 1999) und liegen insgesamt im obersten Zehntel der Bandbreite.

Das Pyranometer, welches die Globalstrahlung aufzeichnet, weist das Jahr 2014 als außerordentlich trübes Jahr aus, insbesondere in den Monaten April, Mai, August und September. Am Jahresende jedenfalls lag man im Bereich der geringsten je aufgezeichneten Globalstrahlungssumme. Die Windmessungen zeigen ebenfalls ungewöhnliche Werte, so herrschte praktisch in allen Monaten Flaute und somit die niedrigsten je gemessenen Windgeschwindigkeiten. Mangels verfügbarer Vergleichsmessungen können diese nicht verifiziert werden. Der Windsensor wird jedenfalls einer Eichung zugeführt.

Die Auswirkungen der klimatischen Verhältnisse auf die Grundwasserneubildungen aller 3 Lysimeterstandorte werden in den Abb. 6-2 bis Abb. 6-4 dargestellt. Im Vergleich der Jahressummenlinien der 3 Standorte ist auffallend, dass die unterschiedliche Reaktion auf das Ereignis Ende Mai und Ende Oktober sowie das August- und September-Verhalten ausschlaggebend für die Unterschiede der Jahressummen sind. Mögliche Gründe neben den unterschiedlichen Bodeneigenschaften der 3 Standorte könnten sein:

- Bei den Hand-Messsystemen Pucking und Eberstalzell gehen bei Starkregenereignissen durch Überlaufen des Kübels Sickerwassermengen verloren – das war vor Installation des Kippzählers in Pettenbach jedenfalls manchmal der Fall
- Bevorzugte Wegigkeiten (Rand) im Lysimeter Pettenbach bei Starkregenereignissen

Die Berechnung nach der k*i-Methode kann helfen, diese Fragen zu beantworten, allerdings fielen in der entscheidenden Zeit August bis Ende Oktober die Tensiometer aus. Abschätzungen auf Basis der Gipsmessungen bestätigen die Messergebnisse, insbesondere in ihrer Relation zu 2013. Davor wurden die Messungen mittels Kübel durchgeführt, wodurch sich bereits oben genannte Unsicherheiten ergeben.

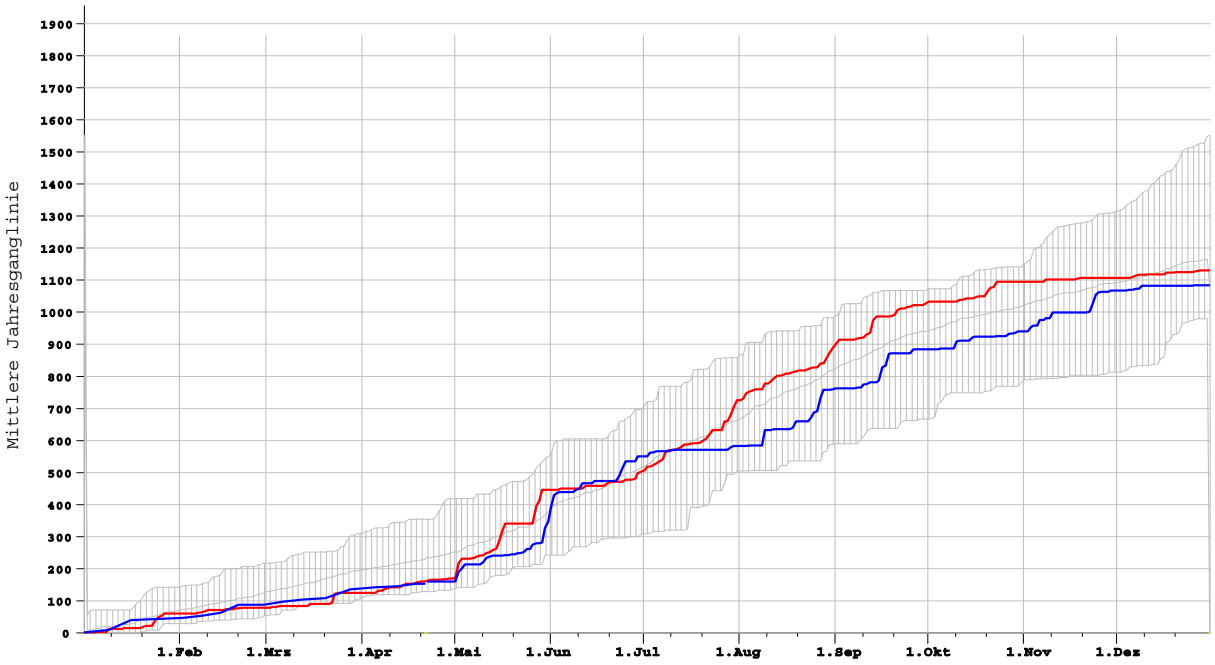


Abb. 6-1: Niederschlags-Jahressummenlinien der Jahre 2013 (blau) und 2014 (rot)

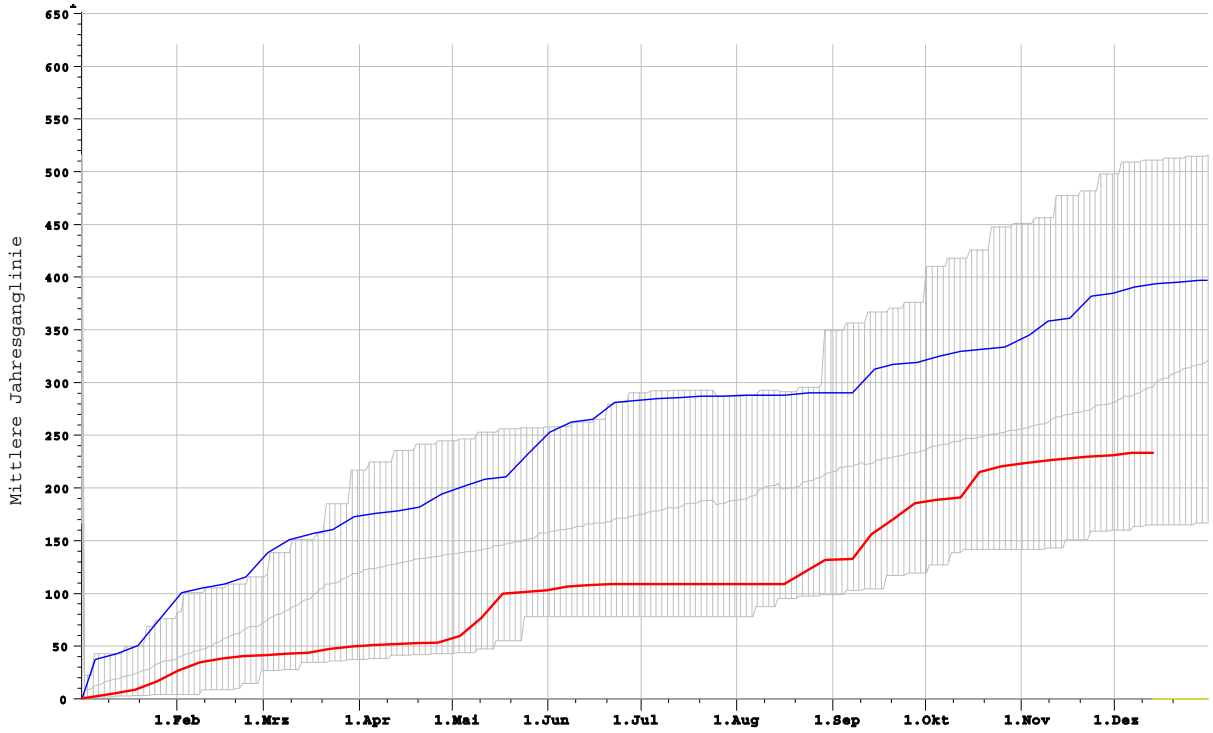


Abb. 6-2: Grundwasserneubildungs-Jahressummenlinien in Eberstalzell 2013 (blau) und 2014 (rot)

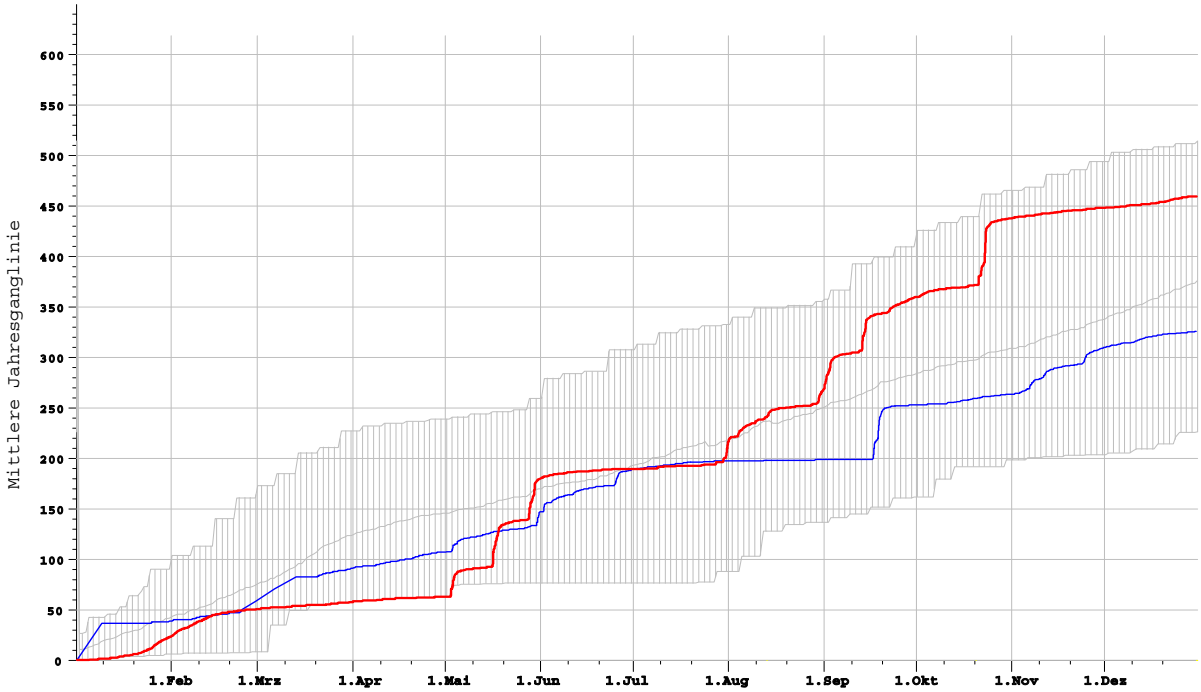


Abb. 6-3: Grundwasserneubildungs-Jahressummenlinien in Pettenbach 2013 (blau) und 2014 (rot)

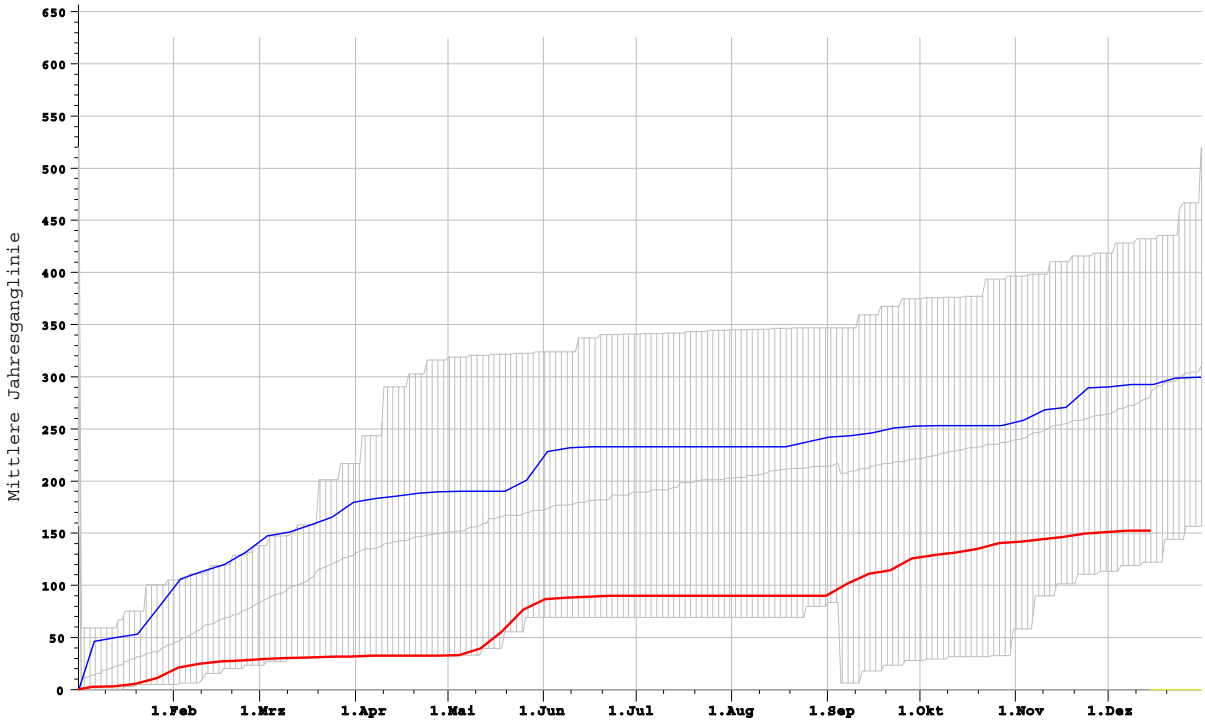


Abb. 6-4: Grundwasserneubildungs-Jahressummenlinien in Pucking 2013 (blau) und 2014 (rot)

6.3 Bodenwasserverhältnisse

Für die Beobachtung der Bodenwasserverhältnisse im Jahr 2014 wurden die Messungen der Temperatur, der Saugspannung und des Wassergehaltes in den 6 Messebenen des Freilandes und den 5 Ebenen im Lysimeter zu Oberboden- (0-40 cm; entspricht dem Durchwurzelungsbereich) und Gesamtprofil- bzw. Unterbodenzeitreihen zusammengefasst und wiederum dem Jahr 2013 gegenübergestellt. Zusätzlich wird das Lysimeter mit dem Freiland verglichen.

Erwartungsgemäß zeigen die Frühjahrs- und Herbst-Winter-**Temperaturen** sowohl im Ober- als auch im Unterboden im Jahr 2014 höhere Werte als 2013, die Sommer-Spitze im Juli und August ist eklatant abgeschnitten im Jahr 2014 (Abb. 6-5).

An den **Saugspannungen** (Abb. 6-6) erkennt man gut die deutlich höhere Bodenaustrocknung im Juni 2014 als im Vorjahr, dafür fällt die Juli-Austrocknung extrem moderat aus. Die August 2014-Werte sind rekonstruiert, aber es ist durchaus denkbar, dass die Saugspannungen kaum höher lagen als im Herbst. Die Übereinstimmung zwischen Freiland und Lysimeter ist gut gegeben. Diese Saugspannungen sind bis max. 800 hPa aus Tensiometern gewonnen, darüber (fallweise auch bereits darunter) mit Watermark-Gipsblöcken.

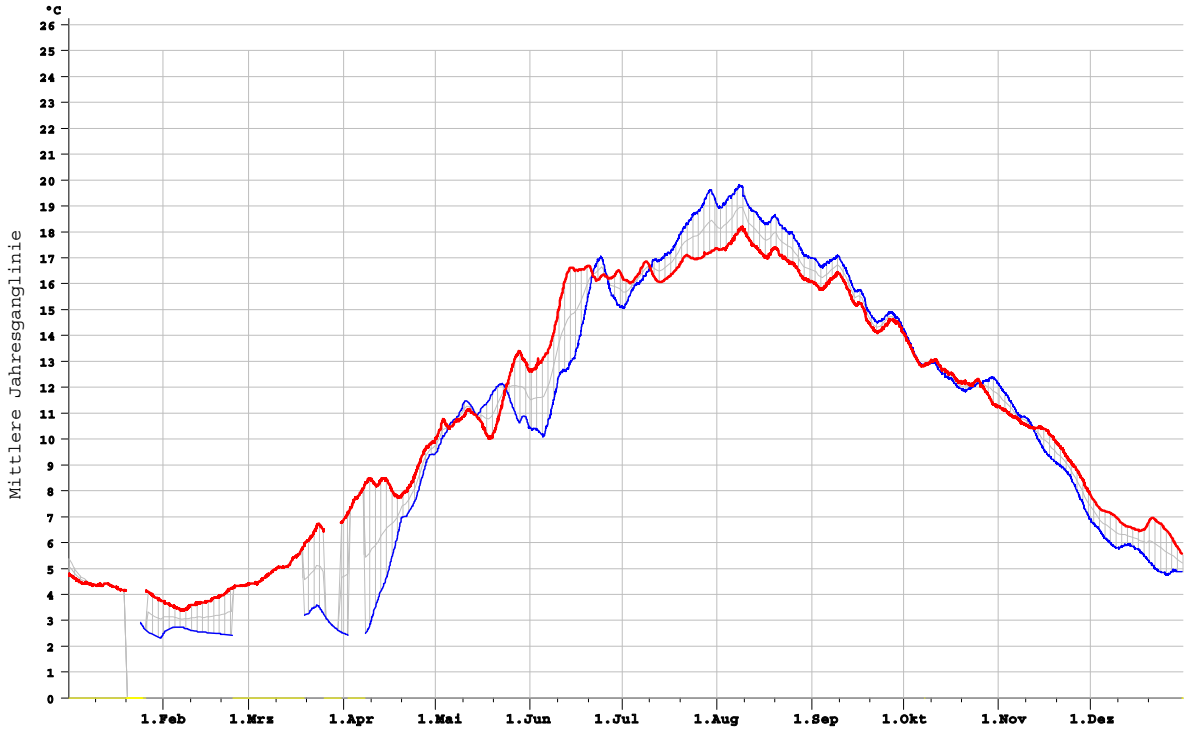


Abb. 6-5: Temperaturen im Unterboden; 2013 (blau) und 2014 (rot)

Während die Temperaturen und Saugspannungen relativ gute Übereinstimmung zwischen dem Lysimeter und dem Freilandprofil zeigen, gibt es bei den **Wassergehalten** und den daraus abgeleiteten Profilwassermengen durchaus Unterschiede. Bei der Berechnung der Profilwassermenge wird der AB-Horizont mit 25 cm u GOK angenommen und insofern bei der Berechnung berücksichtigt, dass der oberste Wassergehalt von 0-25 cm gilt, der 2. gilt von 25-47,5 cm, der 3. Geber von 47,5-75 cm, der 4. Geber von 75-105 cm, der 5. Geber von 105-130 cm und der 6. Geber, den es nur im Freiland gibt, von 130-150 cm.

Da der oberste Geber zu Zeiten der Bearbeitung ausfällt, wird auch eine Variante der Profilwassermenge ohne dem obersten Wassergehalt gerechnet. Gleiches gilt für die zuvor behandelten Oberbodentemperaturen und –saugspannungen: durch die Lücken dieser obersten Geber wären auch die Gesamtzeitreihen so lückenbehaftet, dass keine vergleichende Visualisierung möglich wäre. Hingegen wird die AB-Grenze bei den Saugspannungs- und Temperaturprofilberechnungen ignoriert, da die Verläufe linear zwischen den Messpunkten angenommen werden. Beispielhaft wird in Abb. 6-7 die Gesamtprofilwassermenge (ohne der 1. Tiefe) im Lysimeter dargestellt. Auffällig ist die generell zunehmende Tendenz der Profilwassermenge über das 2. Halbjahr 2014.

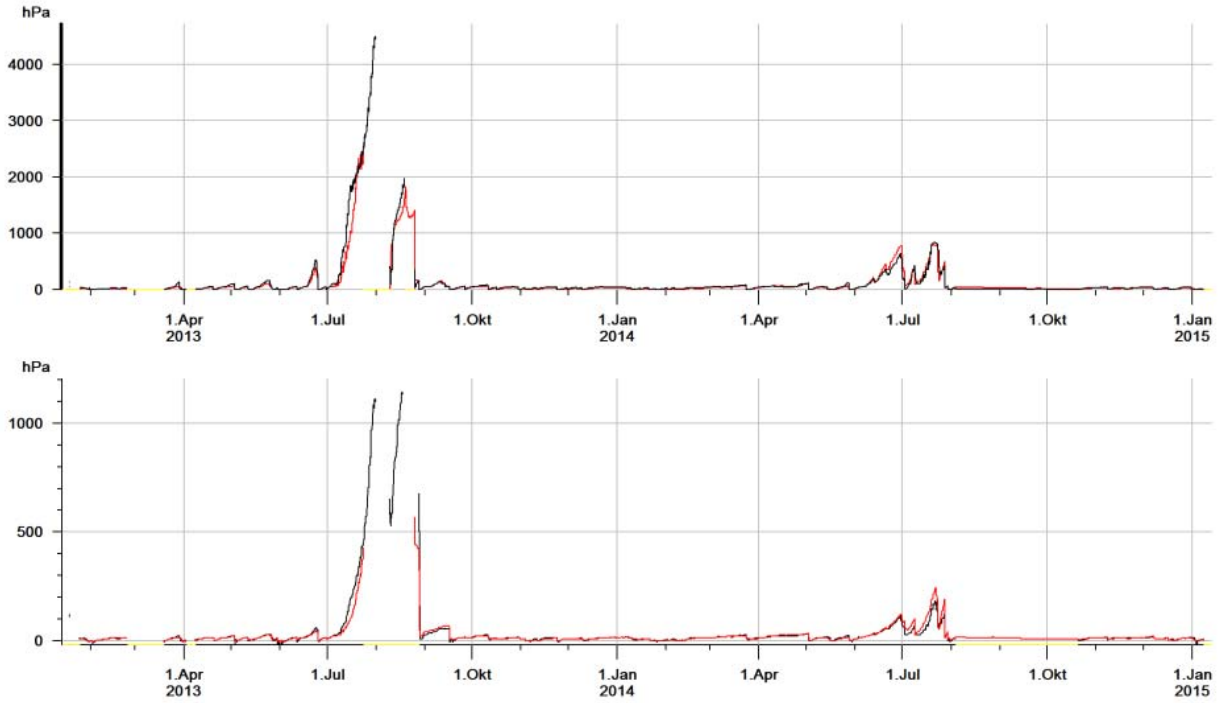


Abb. 6-6: Saugspannungsvergleiche zwischen Lysimeter (schwarz) und Freiland (rot) im Oberboden (oberes Diagramm) und im Unterboden (unteres Diagramm) über die gesamte Beobachtungsperiode 2013-2014

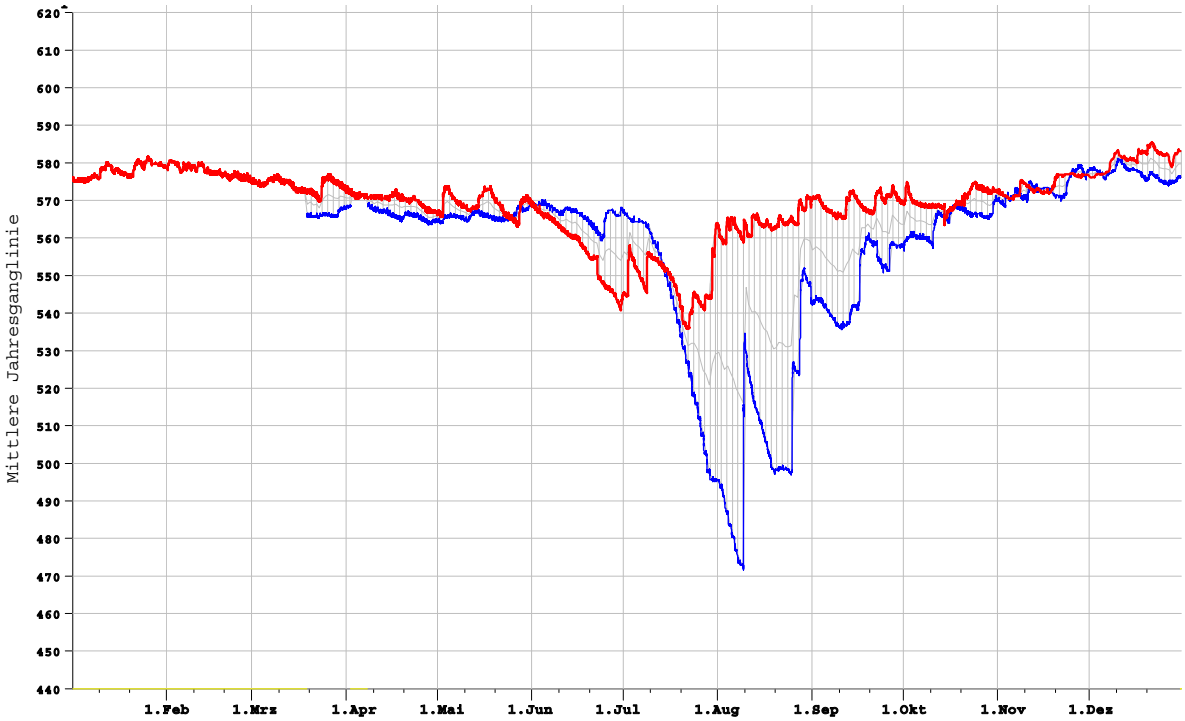


Abb. 6-7: Gesamtprofilwassermenge im Lysimeter (ohne 1. Tiefe); 2013 (blau) und 2014 (rot)

Zuletzt werden die Wassergehaltsverläufe über die Tiefe und die Zeit in **SWI-Diagrammen** für 2013 und 2014 jeweils im Lysimeter und im Freiland dargestellt. Der Soil-Water-Index (SWI) wird als auf die nutzbare Feldkapazität bezogener volumetrischer Wassergehalt definiert. Maßgeblich sind die für die einzelnen Bodenschichten angenommenen Welkepunkte und Feldkapazitäten. Diese wurden in einer Kombination aus Literaturangaben, Messergebnissen und Laborauswertungen wie in Tab. 6-1 dargestellt angesetzt.

In den SWI-Diagrammen in Abb. 6-8 und Abb. 6-9 wird die Sommer-Profilaustrocknung in Tiefe und zeitlicher Erstreckung gut wiedergegeben. Im Lysimeter entfällt der unterste, fast durchgängig dunkelblaue (85-100%) Horizont. Ob die Türkis/Blau-Aufteilung des Unterbodens durch andere Annahmen der Feldkapazität bereinigt werden muss oder tatsächlich eine Feuchtedynamik widerspiegelt, müssen erst weitere Untersuchungen klären.

Tab. 6-1: Wassergehalte bei Feldkapazität (FK) und Welkepunkt (WP) in den Tiefenstufen der Messprofile

Tiefe	Freiland		Lysimeter	
cm u GOK	FK	WP	FK	WP
10	39	15	41	17
35	38	16	39.5	16
60	36	18.7	36	18.7
90	39	15.8	40.4	15.8
120	35	15	38.4	15
140	42.4	15.8	-	-

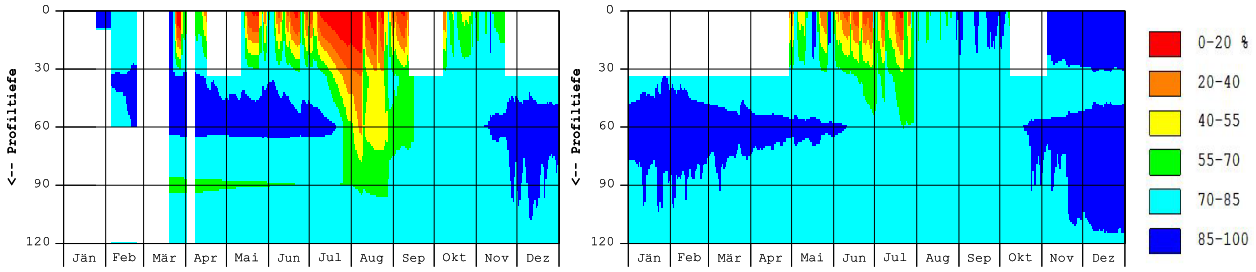


Abb. 6-8: Wassergehaltsverläufe (SWI-Diagramme) im Lysimeter im Jahr 2013 (links) und 2014 (rechts)

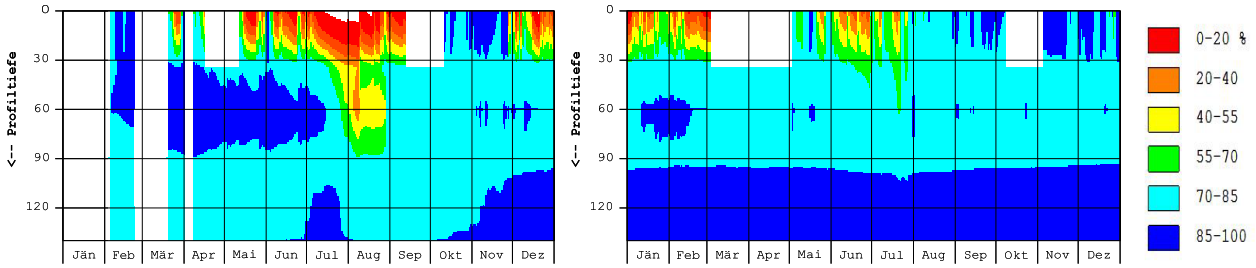


Abb. 6-9: Wassergehaltsverläufe (SWI-Diagramme) im Freiland im Jahr 2013 (links) und 2014 (rechts)

7 Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Aus den Ergebnissen der im Jahr 2014 durchgeführten Messungen und Untersuchungen lassen sich folgende Schlussfolgerungen hinsichtlich des Nährstoffauswaschungsrisikos ziehen:

Im Wesentlichen folgt der Verlauf der **Nitratauswaschung** an allen drei Standorten jenem Muster, das auch in den vorangegangenen Jahren regelmäßig bei Körnermais beobachtet werden konnte. Typischerweise ist bei Maisanbau im Monat Mai (in manchen Jahren zeitlich in den Juni verschoben) eine Auswaschungsspitze festzustellen, die mit einem ausgeprägten Maximum der Sickerwasserbildung in diesem Zeitraum einhergeht. Als Ursache wurde schon bisher der relativ große zeitliche Abstand zwischen Düngegaben in zeitigen Frühjahr und der spät einsetzenden Stickstoffaufnahme des Mais ca. Mitte bis Ende Juni genannt. Die Daten des Jahres 2014 bestätigen dies und lassen darauf aufbauend weitere Schlussfolgerungen zu:

Die Kombination von Wirtschaftsdüngergaben im März und April, Bodenbearbeitungsmaßnahmen und relativ hohen Bodentemperaturen führten im Mai des Jahres 2014 zu N_{min} Gehalten im Boden von 250 bis 350 kg N/ha. Diese stellen vor dem Hintergrund der dann mit hoher Wahrscheinlichkeit (so auch 2014) einsetzenden Regenperiode ein besonderes Auswaschungsrisiko dar. Die Nitratmenge im Sickerwasser dieser Periode entsprach der Hälfte der Nitratabnahme von Mai auf Juni 2014. Dies stellte auf den mit Wirtschaftsdünger bewirtschafteten tiefgründigen Standorten den größten Anteil an der Nitratauswaschung dieses Jahres dar. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, dass an einem der beiden Standorte eben erst begonnen wurde, intensiver mit Wirtschaftsdünger zu wirtschaften, sodass es sich in diesem Fall nicht um eine langfristige Nachwirkung organischer Wirtschaftsdüngeranteile der Vorjahre handelt. Dort war außerdem der Wirtschaftsdünger bereits Mitte März ausgebracht worden, der N_{min}-Gehalt in 30 - 90 cm Tiefe betrug in diesem Fall im Mai über 200 kg N/ha. Eine Tiefenverlagerung war somit bereits an den Bodenwerten ablesbar. Daraus kann geschlossen werden, dass mit einer möglichst späten (ersten) Düngung zu Mais ein erheblicher Beitrag zur Verminderung der Nitratauswaschung geleistet werden könnte.

Am auswaschungsgefährdeten seichtgründigen Standort war die Nitratsaustragsspitze 2014 schwächer ausgeprägt, was einerseits damit zusammenhängen dürfte, dass die erste Düngegabe zum Anbau deutlich niedriger ausfiel als an den anderen Standorten, andererseits aber den trockenen Witterungsverhältnissen im Frühjahr an diesem Standort geschuldet sein dürfte.

Die Höhe der Düngung war an allen drei Standorten im Vergleich zu den erzielten Erträgen vor dem Hintergrund der Richtlinien für die Sachgerechte Düngung moderat und lag insbesondere in Pucking und Pettenbach unter den bei solchen Erträgen empfohlenen Werten. Dennoch lag die durchschnittliche Nitratkonzentration im Sickerwasser gerade an diesen beiden Standorten über 50 mg/l. In Pettenbach kann als Ursache neben dem Düngezeitpunkt die Bewertung des Wirtschaftsdüngers genannt werden, die für die Jahreswirksamkeit bei Mist erhebliche Abschläge vorsieht. Bei einer regelkonformen Bewertung wurden dadurch zur intendierten N-Düngemenge zusätzlich weitere N-Mengen in größerem Umfang ausgebracht. Die überdurchschnittlich warmen Bodentemperaturen des Jahres 2014 führten zu einer raschen Mineralisierung, sodass die Auswaschung noch im selben Jahre sichtbar wurde. Prinzipiell stellen die nicht bewerteten N-Mengen in Wirtschaftsdüngern aber ein generelles Risiko für die Nitratbefrachtung des Grundwassers dar. Sie können z.B. durch N_{min}-Messungen sichtbar gemacht und bei der Düngung berücksichtigt werden. Solche Messungen hätten im gegenständlichen Fall

jedoch im Mai durchgeführt werden müssen (und nicht, wie im Nitratinformationsdienst derzeit üblich, im März). Sie hätten bei der Mineraldüngergabe Ende Mai berücksichtigt werden können.

Die Höhe der Nitratkonzentration im Sickerwasser des auswaschungssensiblen Standorts in Pucking ist hingegen vor allem auf die Standortbedingungen und den Witterungsverlauf zurückzuführen. Hohe Temperaturen nach der Maisernte dürften zu einem Mineralisierungsschub im Boden geführt haben, der dann im Zuge einer erheblichen Sickerwasserbildung zur Nitratauswaschung geführt hat. Der im Herbst angebaute Winterweizen stellte dafür keinen ausreichenden Schutz dar.

Vergleichbar mit der Rangverteilung der Standorte anhand der ausgewaschenen N-Menge war am tiefgründigen Standort in Pettenbach die **Phosphatauswaschung** am höchsten, gefolgt vom seichtgründigen Standort. Auf allen Standorten war die P-Auswaschung im Vergleich zu anderen Jahren sehr niedrig, obwohl in Pettenbach über 302 kg P_2O_5/ha (v.a. mit Putenmist) ausgebracht wurden. Im Verhältnis zu der bei der Düngung eingebrachten P-Menge war der ausgewaschene Anteil somit gering. Alle 3 Standorte lagen im Durchschnitt weit unter dem Grundwasserschwellenwert von 0,3 mg PO_4/l.

Das Lysimeter in Pettenbach wurde im Jänner 2013 zu einer **UZ-Messstelle** ausgebaut und leistet dadurch einen wichtigen Beitrag zur Erfassung von Daten in der ungesättigten Zone. Die Wetterstation und die Saugspannungs-, Wassergehalts- und Temperatursensoren in unterschiedlichen Tiefenstufen im Boden zeigten im Vergleich der Jahre 2013 und 2014 folgende Ergebnisse: Bei einer insgesamt niedrigeren Niederschlagsmenge und einer höheren Luft- und Bodentemperatur im Jahr 2014, besonders im Frühjahr, ist der Bodenwassergehalt im ersten Halbjahr in beiden Jahren vergleichbar, im 2. Halbjahr 2014 ist ein erhöhter Wassergehalt im Gesamtprofil erkennbar. Die Darstellung mittels SWI-Diagrammen erlaubt einen guten Überblick über den Wassergehaltsverlauf in Abhängigkeit der Tiefe und der Zeit. Die intensiven Messprogramme an der UZ Messstelle erlauben darüber hinaus eine vertiefte Interpretation der Werte für den Stickstoffaustrag am Standort.

Die in der UZ-Messstelle gemessene Grundwasserneubildung in Pettenbach wurde den beiden anderen Lysimeterstandorten gegenübergestellt. Auffällig ist, dass abgesehen von den unterschiedlichen Bodeneigenschaften auch die Messmethode Einfluss auf die Ergebnisse haben können. So werden in Pucking und Eberstalzell die Sickerwassermengen nur mit Kübeln erfasst, wodurch bei Starkregenereignissen durch Überlaufen Wassermengen verloren gehen können. Zusätzlich könnten bevorzugte Wegigkeiten am Rand des Lysimeters in Pettenbach zu den höheren Sickerwassermengen führen. Weitere Untersuchungen wie z.B. der Vergleich mit den Tensiometer-Ergebnissen sollen der Ursache näher auf den Grund gehen.

8 Literatur

Baumgarten (2006). Richtlinien für die Sachgerechte Düngung, 6. Auflage. BMLFUW Wien.

Fank, J. (2004). Erfassung von Wasserbewegung und Stofftransport in der ungesättigten Zone durch tracer- und isotopenhydrologische Untersuchungen. www.lysimeter.at Unterseite Research reports - Modelling/agricultural areas (1/2).

Klaghofer, E., Murer, E. (2001). Erfassung und Bewertung der Sickerwasserquantität und-qualität im Grundwassersanierungs-Pilotprojekt „Obere Pettenbachrinne, OÖ“ und „Weißkirchen-Pucking, OÖ“; Abschlussbericht Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, 3252 Petzenkirchen.

Kuderna, M., Wolkerstorfer, G., Murer, E. (2007). Langfristige Lysimeteruntersuchungen in Oberösterreich. Berichtszeitraum 1995 – 2006. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz.

Kuderna, M., Wolkerstorfer, G. (2009). Forschungsprojekt Lysimeter. Technischer Endbericht 2008. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz.

Kuderna, M., Schramm, C. (2010). Forschungsprojekt Lysimeter. Technischer Endbericht 2009. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz.

Kuderna, M., Haridy, S. (2011). Forschungsprojekt Lysimeter. Technischer Endbericht 2010. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz.

Kuderna, M., Haridy, S. (2012). Forschungsprojekt Lysimeter. Technischer Endbericht 2011. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz.

Kuderna, M., Weinberger, C. (2013). Forschungsprojekt Lysimeter. Technischer Endbericht 2012. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz.

Kuderna, M., Weinberger, C. (2014). Forschungsprojekt Lysimeter. Technischer Endbericht 2013. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz.