

INHALTSVERZEICHNIS

1	Zusammenfassung	5
2	Vorgeschichte und Fragestellung	6
3	Methoden	7
3.1	Probenahme.....	7
3.2	Analytik.....	8
3.3	Bilanzierung	8
3.4	Berechnung der Auswaschung	8
4	Bewirtschaftung	9
5	Ergebnisse.....	10
5.1	Wirtschaftsdünger und Ernteproben.....	10
5.2	Stickstoffbilanzen	11
5.3	N _{min} -Gehalte im Boden	13
5.4	Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstalzell.....	15
5.4.1	Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung	15
5.4.2	Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser.....	16
5.5	Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach	18
5.5.1	Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung	18
5.5.2	Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser.....	19
5.6	Nitratauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking.....	21
5.6.1	Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung	21
5.6.2	Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser.....	22
5.7	Vergleich der Nitratauswaschung bzw. Nitratkonzentration im Sickerwasser zwischen den Standorten ...	24
5.8	Vergleich mit Ergebnissen von zwei Lysimeteranlagen in Schwertberg.....	27
5.9	Phosphorbilanzen	28
5.10	Phosphatauswaschung	29
6	Hydrographische Auswertung der UZ-Messstelle Pettenbach.....	32
6.1	Allgemeines	32
6.2	Hydrographische Messergebnisse	32
6.3	Grundwasserneubildung	32
6.4	Bodenwasserverhältnisse	36
7	Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen	38
8	Literatur	40

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 2-1: Lage der Lysimeter..... 6

Abb. 5-1: N_{min}-Gehalte am tiefgründigen Standort in Eberstalzell 13

Abb. 5-2: N_{min}-Gehalte am tiefgründigen Standort in Pettenbach 13

Abb. 5-3: N_{min}-Gehalte am seichtgr. Standort in Pucking 13

Abb. 5-4: Vergleich der N_{min}-Gehalte der Standorte seit September 2007 14

Abb. 5-5: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. EB)..... 15

Abb. 5-6: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2007 (tiefgr. EB) 15

Abb. 5-7: Monatliche Sickerwassermenge und Nitrat auswaschung (tiefgr. EB) 16

Abb. 5-8: Sickerwassermenge und Nitrat auswaschung (tiefgr. EB) 16

Abb. 5-9: Nitratkonzentration und Nitrat auswaschung (tiefgr. EB) 17

Abb. 5-10: Nitrat auswaschung und N_{min}-Gehalte des Bodens (tiefgr. EB) 17

Abb. 5-11: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. PE)..... 18

Abb. 5-12: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2007 (tiefgr. PE) *von Mai – Okt. 2014 nicht
gesamtes Sickerwasser erfasst..... 18

Abb. 5-13: Monatliche Sickerwassermenge und Nitrat auswaschung (tiefgr. PE) 19

Abb. 5-14: Sickerwassermenge und Nitrat auswaschung (tiefgr. PE) *von Mai – Okt. 2014 nicht
gesamtes Sickerwasser erfasst 19

Abb. 5-15: Nitratkonzentration und Nitrat auswaschung (tiefgr. PE)..... 20

Abb. 5-16: Nitrat auswaschung und N_{min}-Gehalte des Bodens (tiefgr. PE) 20

Abb. 5-17: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (seichtgr.)..... 21

Abb. 5-18: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2007 (seichtgründig)..... 21

Abb. 5-19: Monatliche Sickerwassermenge und Nitrat auswaschung (seichtgründig) 22

Abb. 5-20: Sickerwassermenge und Nitrat auswaschung (seichtgründig) 22

Abb. 5-21: Nitratkonzentration und Nitrat auswaschung (seichtgründig) 23

Abb. 5-22: Nitrat auswaschung und N_{min}-Gehalte des Bodens (seichtgründig)..... 23

Abb. 5-23: Monatliche Niederschlagssummen an den drei Standorten 24

Abb. 5-24: Monatliche Sickerwassermengen an den drei Standorten 25

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

Abb. 5-26: Monatliche Nitrat auswaschung an den drei Standorten..... 26

Abb. 5-27: Summe der als Nitrat ausgewaschenen Stickstoffmenge an den drei Standorten 26

Abb. 5-28: Monatliche Phosphat auswaschung an den drei Standorten 29

Abb. 5-29: Phosphat auswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstalzell 29

Abb. 5-30: Phosphat auswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach 30

Abb. 5-31: Phosphat auswaschung 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-Jahressummenlinie der Jahre 2014 (blau) und 2015 (rot) in Pettenbach 33

Abb. 6-2: Lufttemperatur-Jahressummenlinie der Jahre 2014 (blau) und 2015 (rot) in Pettenbach 33

Abb. 6-3: Grundwasserneubildungs-Jahressummenlinien in Eberstalzell 2014 (blau) und 2015 (rot)..... 34

Abb. 6-4: Grundwasserneubildungs-Jahressummenlinien in Pettenbach 2014 (blau) und 2015 (rot) 34

Abb. 6-5: Grundwasserneubildungs-Jahressummenlinien in Pucking 2014 (blau) und 2015 (rot)..... 35

Abb. 6-6: Grundwasserneubildungs-Jahressummenlinie 2013-2015 in Pettenbach, gemessen (orange) und berechnet nach der k_v -Funktion (blau)	35
Abb. 6-7: Oberboden-Temperaturen in °C im Jahr 2014 (blau) und 2015 (rot).....	36
Abb. 6-8: Wassergehaltsverläufe (SWI-Diagramme) im Jahr 2013 im Freiland (links) und im Lysimeter (rechts)	37
Abb. 6-9: Wassergehaltsverläufe (SWI Diagramme) im Jahr 2014 im Freiland (links) und im Lysimeter (rechts)	37
Abb. 6-10: Wassergehaltsverläufe (SWI Diagramme) im Jahr 2015 im Freiland (links) und im Lysimeter (rechts) ...	37
Abb. 7-1: Vergleich der Nitratauswaschung 2015 mit dem Durchschnitt der Winterweizenjahre seit 2002 (Durchschnitt über alle 3 Standorte).....	38

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 3-1: Tätigkeiten BAW (IKT)	7
Tab. 3-2: Analysenprogramm	8
Tab. 4-1: Bewirtschaftungsmaßnahmen 2014/2015 (nach Angaben der Bewirtschafter)	9
Tab. 5-1: Erntemengen und Analyseergebnisse der Ernteproben	10
Tab. 5-2: Stickstoffsalden (jahreswirksam) für das Erntejahr 2015	12
Tab. 5-3: Stickstoffbilanzen (feldfallend) für das Erntejahr 2015	12
Tab. 5-4: Stickstoffauswaschung vom 01.11.14 bis 31.10.15 im Vergleich zur Düngung (jahreswirksam)	24
Tab. 5-5: Sickerwassermengen und durchschnittliche Nitratkonzentration vom 01.11.14 bis 31.10.15	25
Tab. 5-6: Phosphorbilanzen für das Erntejahr 2015	28
Tab. 5-7: Sickerwasser, P_2O_5 -Verluste und mittlere PO_4 -Konzentration im Sickerwasser vom 01.11.14 bis 31.10.15	31

1 Zusammenfassung

An drei Standorten in Oberösterreich (Pettenbach, Eberstalzell und Pucking) werden seit 1994 Freiland-lysimeter betrieben. Sie sind in Ackerböden eingebaut, die unter Praxisbedingungen von Landwirten bewirtschaftet werden. Der vorliegende Bericht stellt die Ergebnisse des hydrologischen Jahres 2014/15 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 auch mit Puten- und Pferdemist gedüngt, der andere wie auch bereits in den vergangenen Jahren mit Schweinegülle.

2015 war auf allen Standorten Winterweizen angebaut. Das Stickstoffdüngenniveau entsprach auf den beiden tiefgründigen Standorten einer hohen Ertragslage und auf dem seichtgründigen Standort einer mittleren Ertragslage. Auf allen 3 Standorten wurde ein hoher Ertrag erzielt.

Auf allen Standorten wird die N- und P-Zufuhr durch die Düngung ermittelt, die N- und P-Entzüge mit der Ernte sowie die N_{\min} Gehalte im Boden gemessen und die Auswaschung von Nitrat und Phosphat mit Lysimetern bestimmt. Die wichtigsten Ergebnisse und Schlussfolgerungen des Jahres 2014/15 sind folgend zusammengefasst:

Im Wesentlichen folgt der Verlauf der Nitrat- auswaschung an allen drei Standorten jenem Muster, das auch in den vorangegangenen Jahren regelmäßig bei Winterweizen beobachtet werden konnte. Typischerweise steigt die Auswaschung im Herbst nach dem Anbau an und sinkt dann im Frühjahr wieder trotz mehrerer Düngegaben. Während des Sommers geht die Sickerwassermenge und demnach auch die ausgewaschene Nitratmenge zurück, was im Jahr

2015 besonders stark ausgeprägt war, da der Sommer und der darauffolgende Herbst außergewöhnlich trocken und heiß waren. Der immer wieder beobachtete Anstieg des Nitrataustrags im Herbst nach dem Winterweizenanbau bestätigt, dass der Winterweizen in diesem Zeitraum den aus der Vorfrucht und den Ernteresten bzw. der organischen Substanz des Bodens mineralisierten Stickstoff nur zu einem Bruchteil verwerten kann. Der Rest kann leicht ausgewaschen werden, wobei das Risiko dazu am seichtgründigen Standort in Pucking am größten ist, wie die bisherigen Messreihen zeigen. Eine Herbstdüngung würde das Risiko einer Nitratauswaschung zusätzlich erhöhen und ist daher im Hinblick auf die bei den Versuchen erreichten Ertragsmengen weder notwendig noch zu empfehlen. In Summe wurde im Jahr 2014/15 eine durchschnittliche Menge an Stickstoff ausgewaschen. Da die Sickerwassermengen aufgrund der Trockenheit sehr gering waren, stieg die Konzentration im Sickerwasser im Vergleich zu vorhergehenden Jahren jedoch an. Auf den beiden Standorten in Pettenbach und Pucking liegt der Durchschnitt über dem Grundwasserswellenwert von 45 mg NO_3/l .

Die größten Phosphormengen wurden anders als erwartet am tiefgründigen Standort in Eberstalzell und in Pettenbach 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. Im besonders trockenen und heißen Jahr 2015 konnte zudem beobachtet werden, dass die Temperaturen im Ober- und Unterboden zwischen den Messungen im Lysimeter und im Freilandprofil gut vergleichbar sind, die Saugspannungen hingegen zeigten Unterschiede. So scheint es, als könnten innerhalb des Lysimeters nicht so hohe Saugspannungen aufgebaut werden.

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: seichtgründig Pucking; tgEB: tiefgründig Eberstalzell;
tgPE: tiefgründig 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 Bereich der Grundwasserkörper der Traun-Enns-Platte, welche ab 13. September 2007 aufgrund der 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 2015 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
04.03.2015	Bei allen 3 Lysimeter wurde die Anlage überprüft (Dichtheit, Manometer)
15.07.2015	Bei Lysimeter 1 wurde der Aufsatzring gezogen und die Messstelle gemäht, Messstellenkontrolle Bei Lysimeter 3 wurde der Aufsatzring gezogen und die oberen Messfühler ausgebaut und im jeweiligen Versenkschacht abgelegt. Bei der Wetterstation wurde die Niederschlagswaage ausgelitert Bei Lysimeter 4 wurde die Messstelle inkl. Kontrollmessstellen überprüft
13.08.2015	Bei Lysimeter 4 wurde der Aufsatzring eingebaut und die Kontrollmessstellen kontrolliert
01.09.2015	Bei Lysimeter 1 wurde der Aufsatzring eingebaut und die Kontrollmessstellen kontrolliert Bei Lysimeter 3 wurde der Aufsatzring eingebaut und die Kontrollmessstellen kontrolliert

Datum	Tätigkeit
10.09.2015	Bei Lysimeter 1 wurden um den Aufsatzring Begrünpflanzen eingesetzt und die Kontrollmessstellen kontrolliert Bei Lysimeter 3 wurden um den Aufsatzring Winterrappspflanzen auf dem bzw. neben dem Lysimeter eingesetzt Der reparierte Temperaturfühler wurde in einer neuen Leitung (ca. 40 cm Tiefe) vom Messschacht zum Lysimeter verlegt und eingebaut Kontrollmessstellen wurden kontrolliert

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 0-30cm	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 Lysimetauslaufs). 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 2015. 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 2015 war auf allen 3 Standorten Winterweizen. Die einzelnen Bewirtschaftungsmaßnahmen sind in Tab. 4-1 angeführt. Die Summe der N-Düngung betrug am tiefgründigen Standort in Eberstanzell demnach 142 kg N/ha, am tiefgründigen Standort in Pettenbach 150 kg N/ha (jahreswirksam) und am seichtgründigen

Standort 127 kg N/ha. Die Phosphordüngermengen betragen in Pettenbach 22 kg P₂O₅/ha und am seichtgründigen Standort 54 kg P₂O₅/ha. In Eberstanzell wurde heuer weder Wirtschaftsdünger noch phosphorhaltiger Mineraldünger ausgebracht.

Bezüglich der Stickstoffdüngung entspricht das Düngenniveau in Eberstanzell und in Pettenbach einer hohen und in Pucking einer mittleren Ertragslage (Richtlinien für die sachgerechte Düngung, 6. Aufl., Baumgarten, 2006).

Tab. 4-1: Bewirtschaftungsmaßnahmen 2014/2015 (nach Angaben der Bewirtschafter)

Datum	Tiefgr. Eberstanzell	Tiefgr. Pettenbach	Seichtgr. Pucking
11.10.2014			Aussaat Winterweizen
20.10.2014		Aussaat Winterweizen	
28.10.2014	Aussaat Winterweizen		
10.03.2015	Düngung 199 kg NAC/ha		Düngung 60-iger Kali 40 kg/ha Düngung Linzer Star 360 kg/ha
18.03.2015		Düngung Biogasgülle (18,6 m ³)	
09.04.2015	Düngung 196 kg NAC/ha		
16.04.2015		Düngung Ammonsulfat (190 kg/ha)	
25.04.2015	Düngung 131 kg NAC/ha		Düngung Linzer NAC 100 kg/ha
09.05.2015			Düngung Linzer NAC 170 kg/ha
18.05.2015		Düngung NAC 160 kg/ha	
18.07.2015	Ernte Winterweizen (7.000 kg/ha 13%), Stroh abgef.		
22.07.2015			Ernte Winterweizen (7.570 kg/ha)
23.07.2015			gegrubbert
24.07.2015		Ernte Winterweizen, Strohabfuhr	
31.07.2015			Anbau Zwischenfrucht (Wassergüte früh, 16,3 kg/ha)
05.08.2015	Anbau Zwischenfrucht (Wassergüte fein, 15 kg/ha)		
18.08.2015		Düngung Putenmist 20 m ³ /ha	
23.08.2015		Aussaat Körnerraps	
29.09.2015	Düngung SchwGülle 22,5 m ³ /ha		

5 Ergebnisse

5.1 Wirtschaftsdünger und Ernteproben

Die im März ausgebrachte Biogasgülle in Pettenbach hatte einen Ammoniumstickstoffgehalt von 3,24 kg/m³ und einen Gesamtstickstoffgehalt von 4,11 kg/m³. Umgerechnet auf jahreswirksamen Stickstoff ergibt das 3,58 kg/m³. Der P₂O₅ - Gehalt betrug 1,2 kg/m³.

Auf den beiden Standorten in Eberstalzell und Pucking wurde bei der Kultur 2014/2015 kein Wirtschaftsdünger ausgebracht. Die am Betrieb in Eberstalzell vorhandene Schweinegülle wurde im Frühjahr dennoch analysiert. Diese hatte einen Ammoniumstickstoffgehalt von 4,93 kg/m³ und einen Gesamtstickstoffgehalt von 5,7 kg/m³. Der P₂O₅ - Gehalt betrug 2,93 kg/m³.

Nach der Ernte des Winterweizens wurden in Pettenbach und in Eberstalzell Wirtschaftsdünger ausgebracht (Schweinegülle bzw. Putenmist). Diese sind allerdings für den Bilanzierungszeitraum 2014/2015 nicht von Relevanz.

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 6,6 t/ha Winterweizen geerntet, das entspricht einer hohen Ertragslage (h1). Am tiefgründigen Standort in Pettenbach belief sich die Ernte auf 8,6 t, was einer hohen Ertragslage Stufe 2 (h2) entspricht. Am seichtgründigen Standort wurden laut Hochrechnung 10,0 t geerntet (h3), lt. Angaben des LW 7,6 t (h2).

Tab. 5-1: Erntemengen und Analysenergebnisse der Ernteproben

Probe	Erntemenge (g TS/m ²)	Trockenmasse (%)	N _{gesamt} (g/kg TS)	P ₂ O ₅ (g/kg TS)
Tiefgr. EB- Lys Korn	441	94%	18,4	29,9
Tiefgr. EB- MW Korn	580	94%	17,9	25,3
Tiefgr. EB- Lys Stroh	697	93%	5,2	9,0
Tiefgr. EB- MW Stroh	699	93%	4,5	6,3
Tiefgr. PE - Lys Korn	521	92%	16,9	28,4
Tiefgr. PE - MW Korn	752	90%	18,8	27,0
Tiefgr. PE - Lys Stroh	506	92%	3,3	5,3
Tiefgr. PE - MW Stroh	690	92%	3,8	5,3
Seichtgr. - Lys Korn	779	88%	19,5	33,1
Seichtgr. - MW Korn	879	90%	19,5	30,6
Seichtgr. - Lys Stroh	761	88%	3,8	7,2
Seichtgr. - MW Stroh	887	91%	3,8	6,0

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

Aus dem Vergleich der Ergebnisse der eigentlichen Lysimeterflächen mit den Mittelwerten von Lysimeterfläche plus 2 Vergleichsflächen ist ersichtlich, dass der Kornertrag auf der Lysimeterfläche bei allen Standorten (teilweise bis zu 44%) niedriger als der Durchschnitt aus Lysimeterfläche und Kontrollstellen liegt. Der Strohertrag ist in Eberstanzell ident, in Pettenbach auf der Lysimeterfläche um 36% niedriger als im Durchschnitt und in Pucking um 17% niedriger.

Ein Vergleich der im Rahmen der Untersuchung gewonnenen Ernte mit den Angaben der Bewirtschafter ergab eine sehr gute Übereinstimmung am Standort Eberstanzell (7,0 t/ha), in Pucking hingegen lag die Angabe des Landwirts (umgerechnet auf Standardfeuchte) um 2,4 t unter den an den Untersuchungsstellen ermittelten Werten, jedoch entsprechen beide Angaben einer hohen Ertragslage. Am Standort in Pettenbach wurde vom Landwirt kein Ertrag angegeben.

5.2 Stickstoffbilanzen

Eine Gegenüberstellung der Stickstoffentzüge mit dem N-Düngeaufwand (jahreswirksam) ergibt für den Standort in Pucking einen durchwegs negativen Saldo von -25 bzw. -44 kg N/ha. In Eberstanzell ist die Bilanz relativ ausgeglichen. In Pettenbach hingegen ist der Bilanzsaldo am Lysimeter aufgrund des niedrigen Stickstoffentzugs durch das Stroh positiv, im Durchschnitt (inkl. der 2 Vergleichsflächen) ist der Saldo ausgeglichen (Tab. 5-2).

Da 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 positiver Saldo von bis zu 55 kg N/ha am Lysimeter bzw. ein leichtes Defizit von -9 kg N/ha im Mittelwert. Da in Eberstanzell und Pucking zur Kultur 2014/2015 nur Mineraldünger verwendet wurde, sind die feldfallenden und jahreswirksamen N-Düngemengen ident.

Die Bilanzsalden für die Ernteabfuhr weichen zwischen den Lysimeterflächen und Vergleichsflächen bzw. den daraus gebildeten Mittelwerten auf allen Standorten entsprechend den Ertragsunterschieden ab. Der Unterschied bewegt sich in einem Bereich von 17 bis 69 kg N/ha. Anzumerken ist, dass die Abweichung zwischen dem Ertrag bzw. der Nährstoffabfuhr zwischen der Lysimeterfläche und den Vergleichsflächen nicht jedes Jahr in gleicher Weise ausfällt und auch nicht jedes Mal gleich gerichtet ist. Kleinräumige Schwankungen der Ertragshöhe dürften daher eine größere Rolle spielen als systematische Abweichungen.

Tab. 5-2: Stickstoffsalden (jahreswirksam) für das Erntejahr 2015

	Tiefgründiger Standort in Eberstalzell		Tiefgründiger Standort in Pettenbach		Seichtgründiger Standort in Pucking	
	----- kg N/ha -----					
Stickstoffzufuhr aus Düngung jahreswirksam	142		150		127	
Entzug durch die Pflanzen	Lysimeter	Mittelwert	Lysimeter	Mittelwert	Lysimeter	Mittelwert
Entzug durch das Korn	81	104	88	143	152	171
Entzug durch das Stroh	37	31	17	26	29	34
Summe Entzug	118	135	105	169	181	205
Abfuhr durch Ernte	118	135	105	169	152	171
Saldo Korn	61	38	62	7	-25	-44
Saldo Korn + Stroh	24	7	45	-19	-54	-78
Saldo Ernte	24	7	45	-19	-25	-44

Tab. 5-3: Stickstoffbilanzen (feldfallend) für das Erntejahr 2015

	Tiefgründiger Standort in Eberstalzell		Tiefgründiger Standort in Pettenbach		Seichtgründiger Standort in Pucking	
	----- kg N/ha -----					
Stickstoffzufuhr aus Düngung feldfallend	142		160		127	
Entzug durch die Pflanzen	Lysimeter	Mittelwert	Lysimeter	Mittelwert	Lysimeter	Mittelwert
Entzug durch das Korn	81	104	88	143	152	171
Entzug durch das Stroh	37	31	17	26	29	34
Summe Entzug	118	135	105	169	181	205
Abfuhr durch Ernte	118	135	105	169	152	171
Bilanz Korn	61	38	72	17	-25	-44
Bilanz Korn + Stroh	24	7	55	-9	-54	-78
Bilanz Ernte	24	7	55	-9	-25	-44

5.3 N_{min}-Gehalte im Boden

Die N_{min}-Gehalte (Nitrat + Ammonium) im Boden zeigen auf den drei Standorten einen deutlichen Zusammenhang mit dem Anstieg der Bodentemperatur (Abb. 6-7), den Düngemaßnahmen und dem zeitlichen Verlauf der Stickstoffaufnahme der angebauten Kulturen. Da auf allen Standorten Winterweizen 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 steigen diese allerdings nach zwei Düngegaben mit Mineraldünger im März und April auf über 200 kg N/ha an. Im Juni nach einer weiteren Mineraldüngung wurde ein Rückgang auf 23 kg N/ha verzeichnet, was zeigt, dass der Düngzeitpunkt für die Pflanzen anscheinend gut gewählt war. Nach der Ernte des Winterweizens Mitte Juli steigen die N_{min}-Gehalte im Boden stetig an. Grund dafür liegt in der Tatsache, dass zwar das Stroh abgeführt und eine Winterbegrünung angebaut wurde, diese allerdings Anfang Oktober mit Schweinegülle gedüngt wurde (Abb. 5-1).

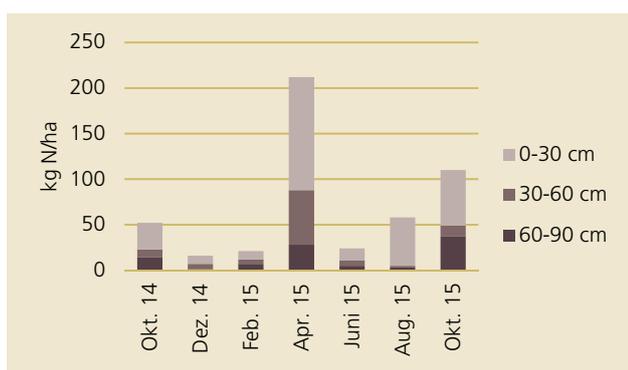


Abb. 5-1: N_{min}-Gehalte am tiefgründigen Standort in Eberstalzell

Am tiefgründigen Standort in Pettenbach blieb der N_{min}-Gehalt während der gesamten Kulturdauer immer unter 40 kg N/ha. Geringe Schwankungen sind lediglich im April und im August zu sehen. Selbst die Dü-

ngung mit Biogasgülle verursachte keine großen N_{min}-Gehalte im Boden, was die Vermutung nahe legt, dass die Düngetermine gut gewählt waren (Abb. 5-2).

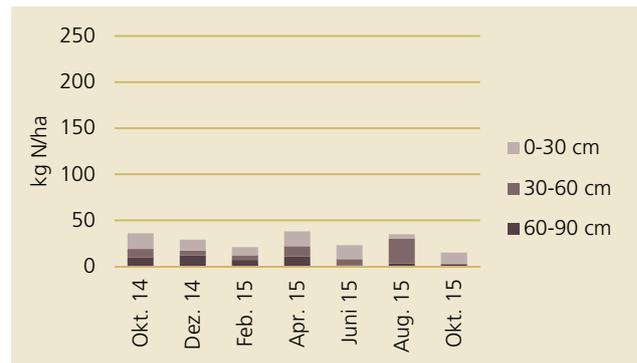


Abb. 5-2: N_{min}-Gehalte am tiefgründigen Standort in Pettenbach

Am seichtgründigen Standort in Pucking ist ein ähnlich niedriger Verlauf zu beobachten, mit Ausnahme im August. Hier dürfte das Einarbeiten des Strohs ein Ansteigen im N_{min}-Gehalt im Boden hervorgerufen haben. Die Ende Juli angebaute Winterzwischenfrucht bringt den mineralischen Stickstoff erst wieder bei den Messungen im Oktober auf ein niedriges Niveau (Abb. 5-3).

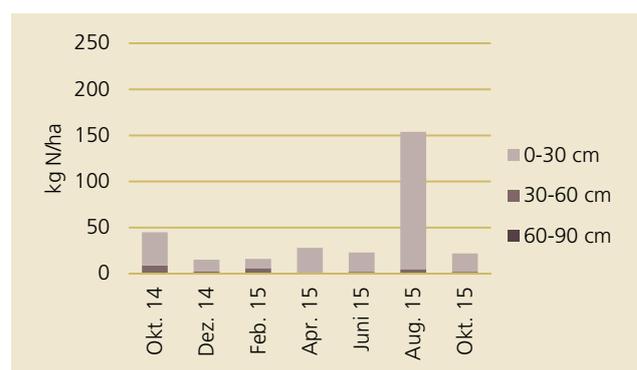


Abb. 5-3: N_{min}-Gehalte am seichtgr. Standort in Pucking

Im Vergleich aller 3 Standorte zeigt sich, dass im Jahr 2015 die höchsten N_{min}-Werte am tiefgründigen Standort in Eberstalzell und am seichtgründigen Standort gemessen wurden (Abb. 5-4). Diese Höchstwerte sind im April bzw. im August 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 allerdings ausschließlich in Jahren mit Mais auftraten. Im Jahr 2014/15 waren die N_{\min} -Gehalte für Winterweizen auf den Standorten in Eberstalzell und Pucking daher auffällig hoch.

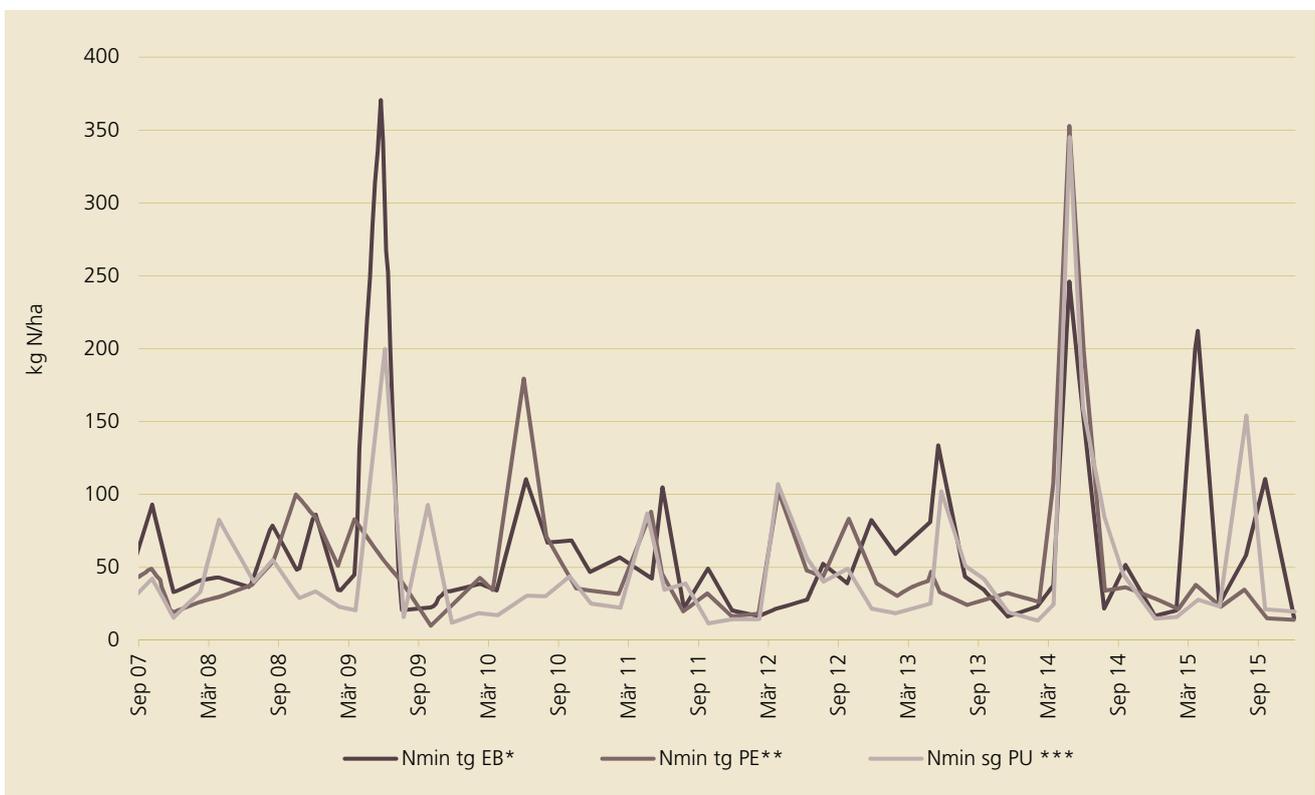


Abb. 5-4: Vergleich der N_{\min} -Gehalte der Standorte seit September 2007

- * 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 2014/15 fielen 722 mm Niederschlag. Die Sickerwassermenge in diesem Zeitraum betrug 155 mm, was 21% der Niederschlagsmenge entspricht. Die monatlichen Niederschlagssummen sind eher moderat. Der Monat Mai war mit 100 mm am höchsten, in den Monaten November und Februar war der Niederschlag gering (Abb. 5-5).

Die Sickerwasserbildung verlief im Jahr 2014/15 auf sehr niedrigem Niveau. Einzig im Jänner wurden Werte von um knapp 50 mm gemessen. In den restlichen Monaten war die Sickerwassermenge eher ge-

ring, besonders von Juni bis Oktober, was auf eine lange Hitzeperiode zurückzuführen ist.

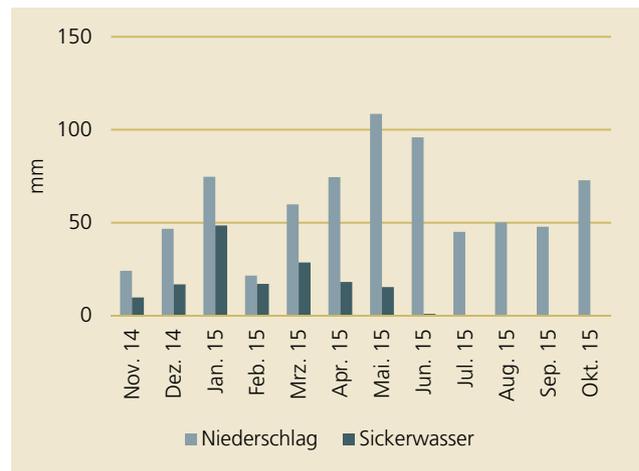


Abb. 5-5: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. EB)

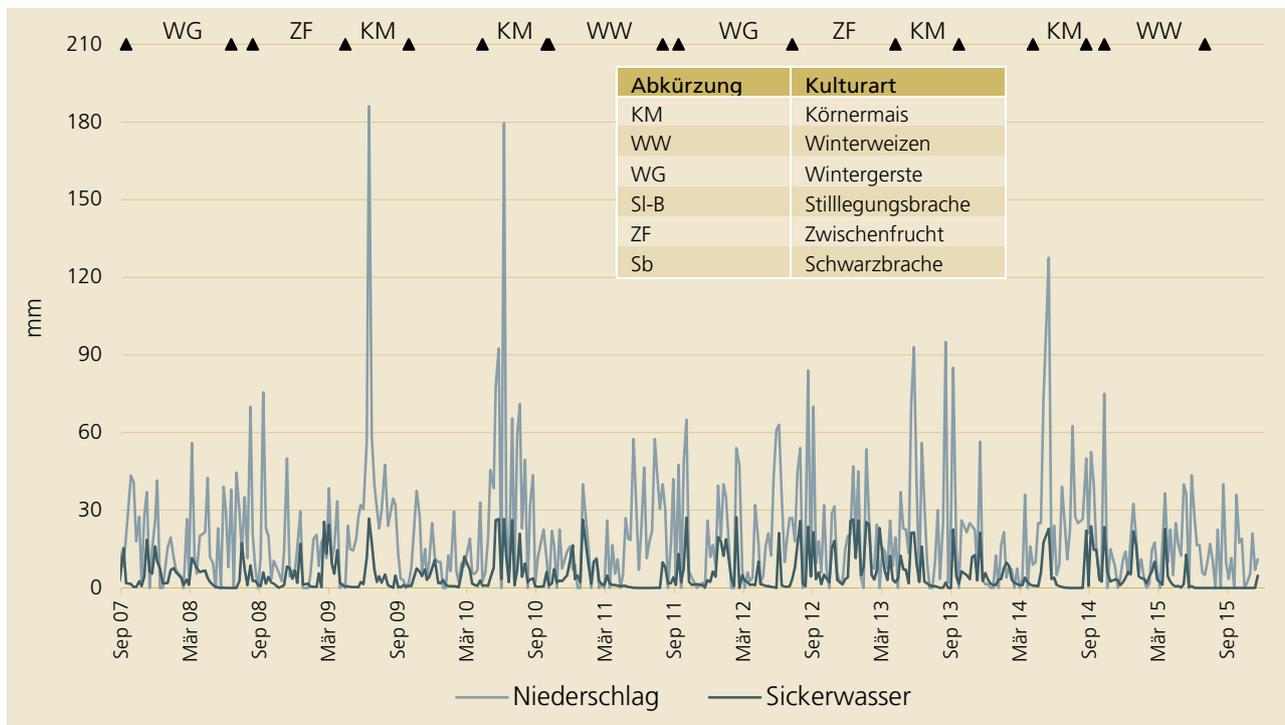


Abb. 5-6: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2007 (tiefgr. EB)

5.4.2 Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser

Die monatliche Sickerwassermenge zeigt im Jahresverlauf ein Maximum im Jänner 2015 und ein kleineres im März 2015 (Abb. 5-7).

Die Nitratauswaschung verlief im Jahr 2014/15 auf sehr niedrigem Niveau und lag maximal bei 3 kg N/ha und Monat. Der Verlauf der Nitratauswaschung ähnelt sehr stark demjenigen der Sickerwassermenge. So geht die Nitratauswaschung im Juni fast gegen null und in den restlichen Monaten bis Oktober geht kein Nitrat verloren, da kein Sickerwasser gebildet wurde. In Summe betrug die ausgewaschene Stickstoffmenge im hydrologischen Jahr 2014/15 12,5 kg N/ha.

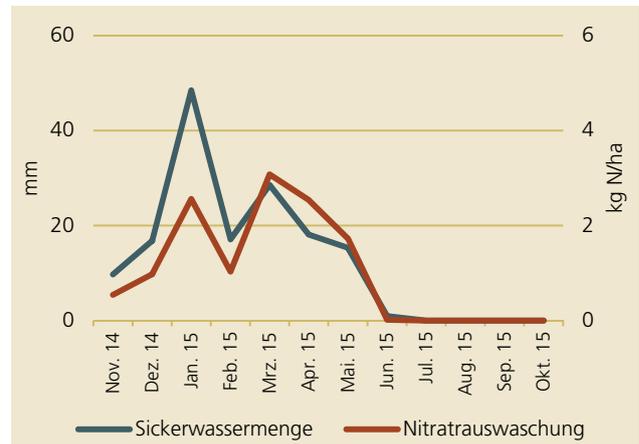


Abb. 5-7: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefr. EB)

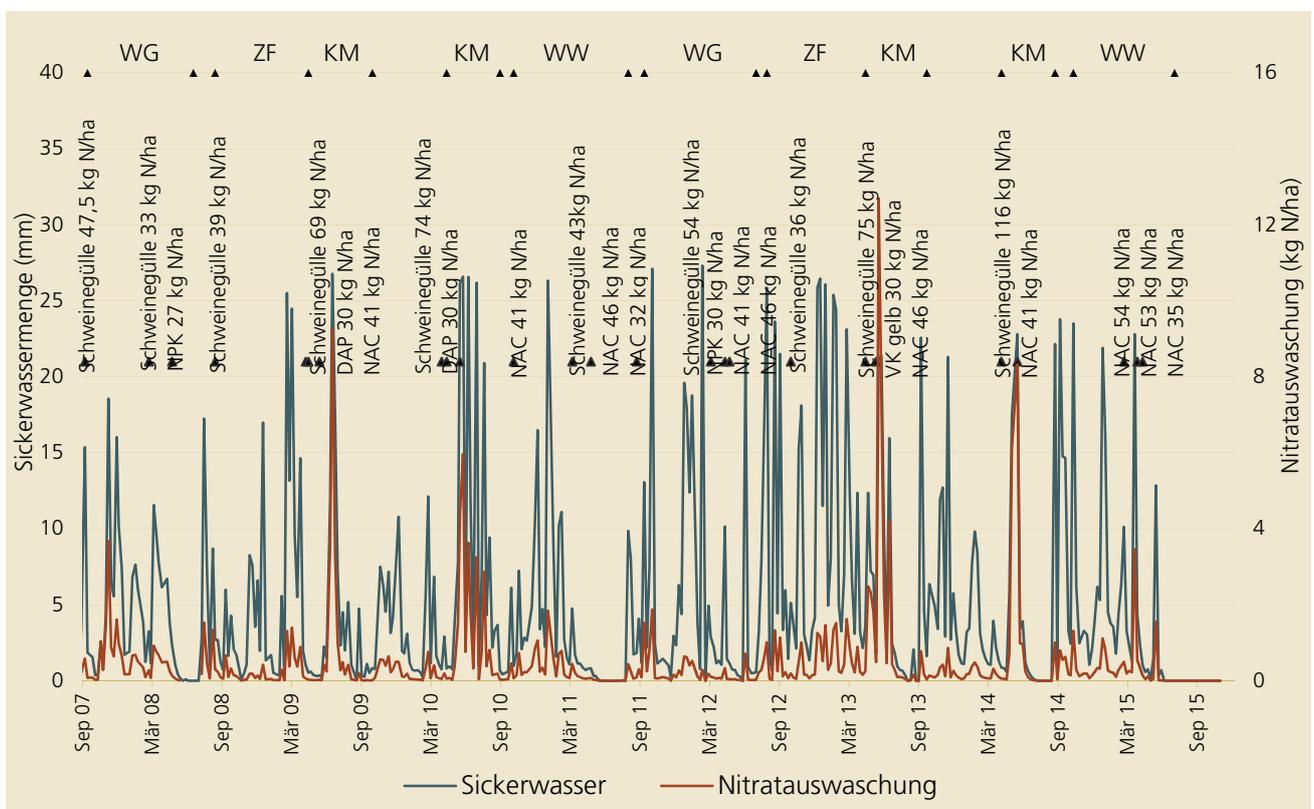


Abb. 5-8: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefr. EB)

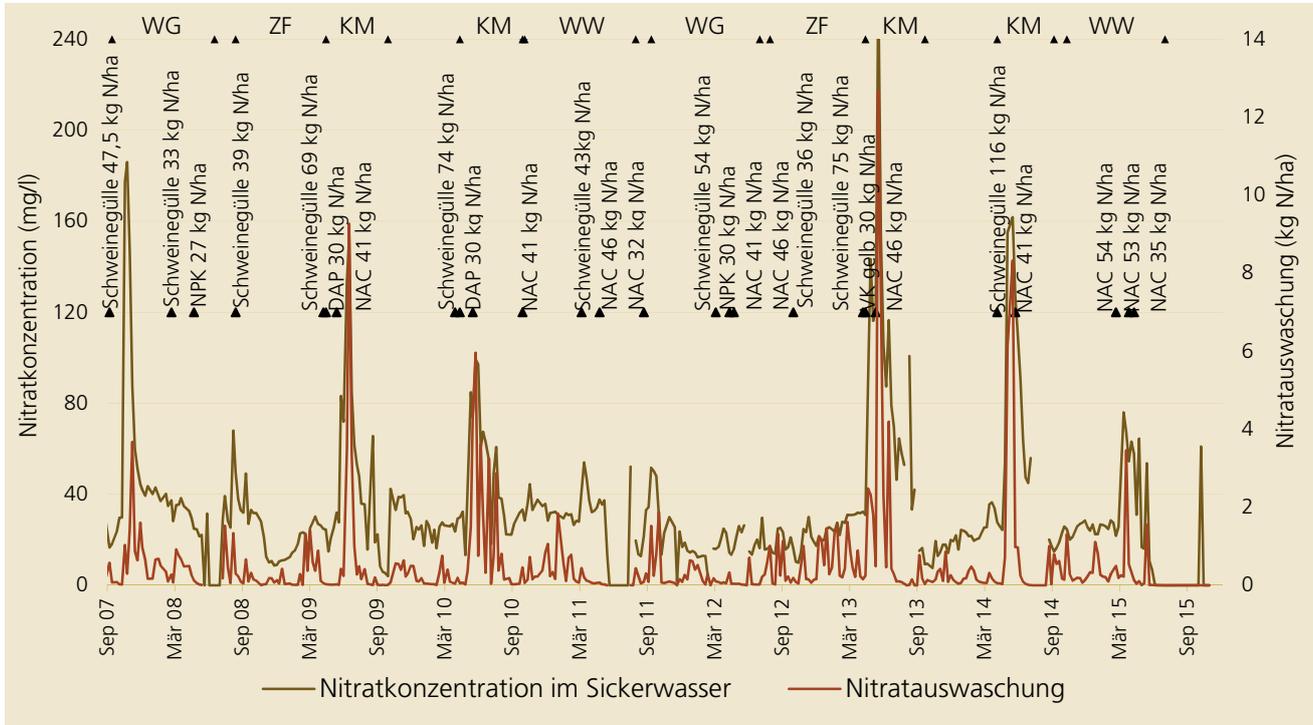


Abb. 5-9: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (tiefr. EB)

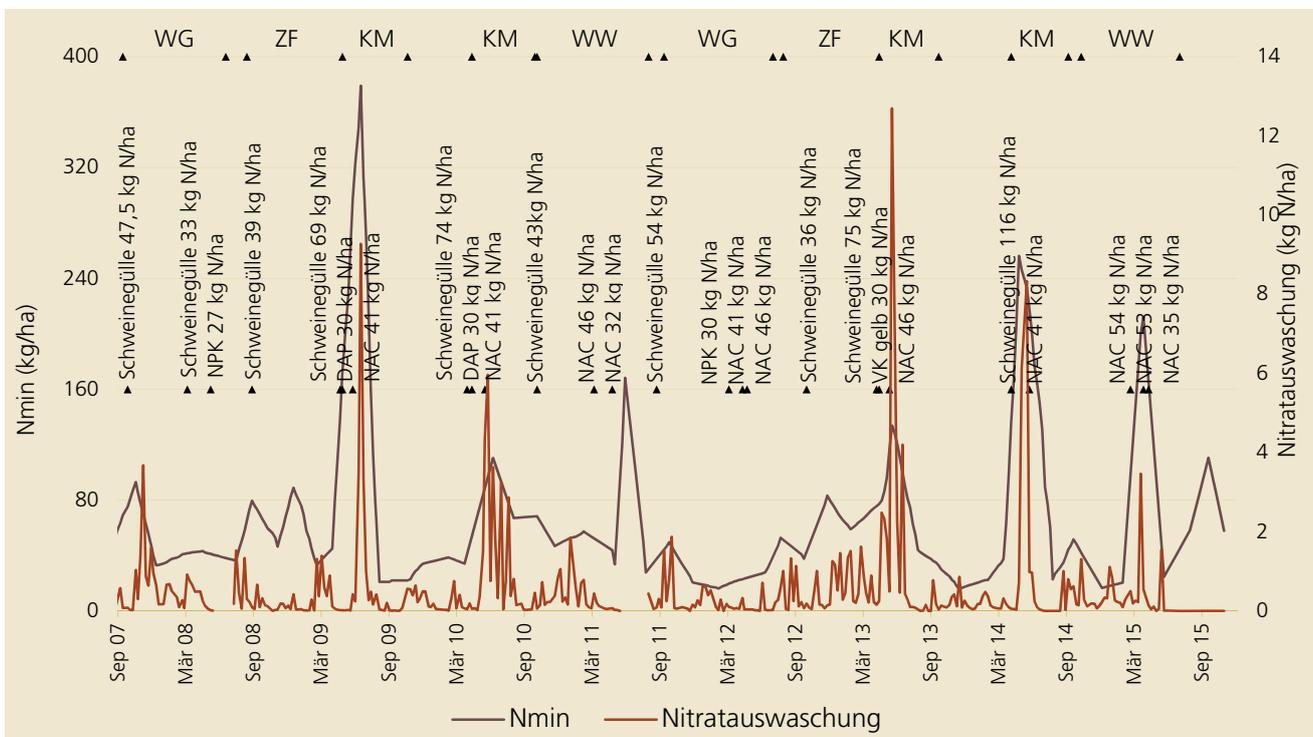


Abb. 5-10: Nitratauswaschung und N_{min}-Gehalte des Bodens (tiefr. EB)

5.5 Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach

5.5.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

Im hydrologischen Jahr 2014/15 betrug die Niederschlagssumme 759 mm, die gemessene Sickerwassermenge im selben Zeitraum 163 mm, das entspricht etwa 21% der Niederschlagsmenge (Abb. 5-11).

Die höchsten Niederschläge wurden im Mai gemessen. Vergleichbar mit den Beobachtungen am tiefgründigen Standort in Eberstallzell traten in den Monaten Juni bis September (fast) keine Sickerwassermengen auf. Im Oktober allerdings unterscheiden sich die beiden Standorte, da in Pettenbach Sickerwasser gemessen werden konnte.



Abb. 5-11: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. PE)

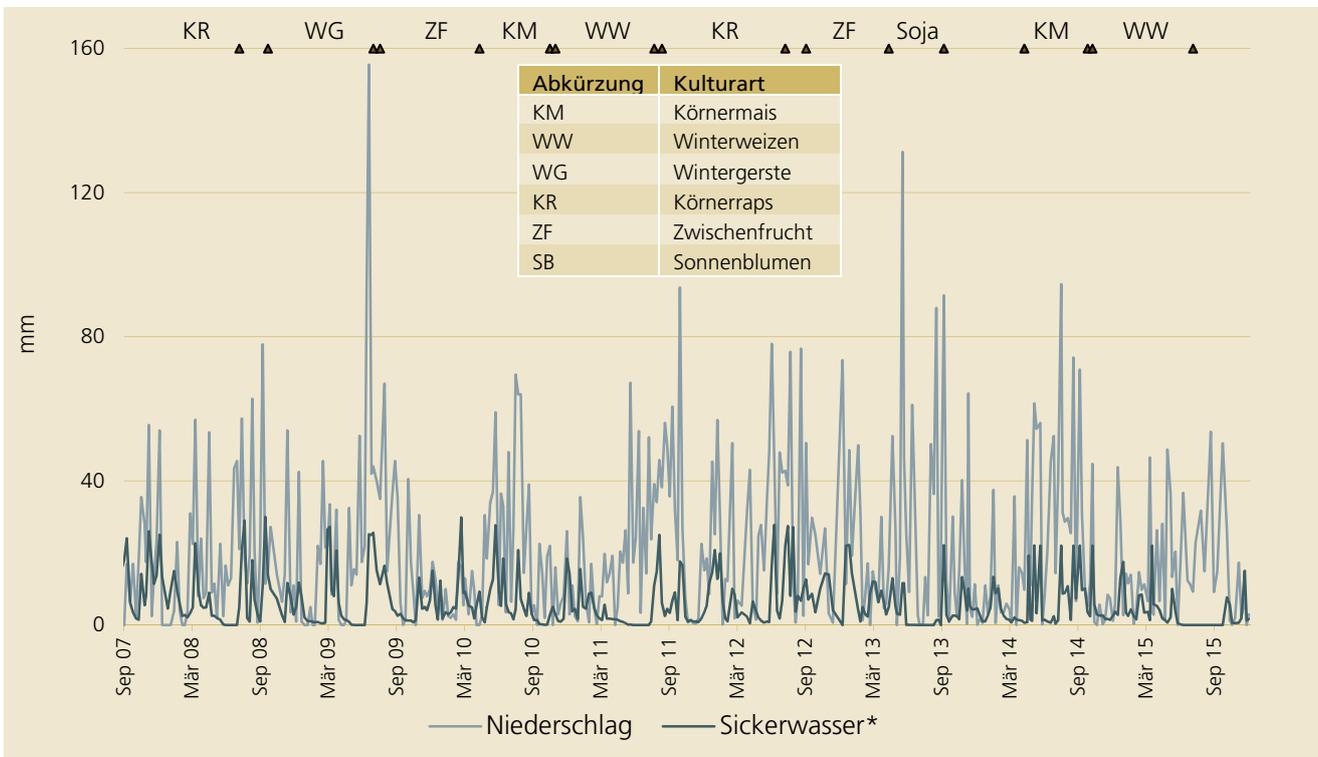


Abb. 5-12: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2007 (tiefgr. PE) *von Mai – Okt. 2014 nicht gesamtes Sickerwasser erfasst

5.5.2 Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser

Die monatliche Sickerwassermenge und die Nitratauswaschung verliefen im hydrologischen Jahr 2014/15 weitgehend parallel und sind vergleichbar mit den Beobachtungen am Standort in Eberstallzell. Die Nitratauswaschung blieb stets in einem Bereich unter 5 kg N/ha und Monat. Von Juni bis September fiel kein Sickerwasser an und demnach wurde auch kein Nitrat ausgewaschen. (Abb. 5-13).

Insgesamt wurden im hydrologischen Jahr 2014/15 19 kg N/ha ausgewaschen. Dieser Wert ist um 1/3 höher als am tiefgründigen Standort in Eberstallzell, da besonders im Herbst 2014 und Frühjahr 2015 etwa die doppelte Menge an Nitrat in Pettenbach ausgewaschen wurde. Dies dürfte noch eine Folgewirkung der

Wirtschaftsdüngergabe im Jahr 2014 sein, welche bereits im Vorjahr eine höhere Nitratauswaschung in der zweiten Jahreshälfte induzierte (Abb. 5-14).

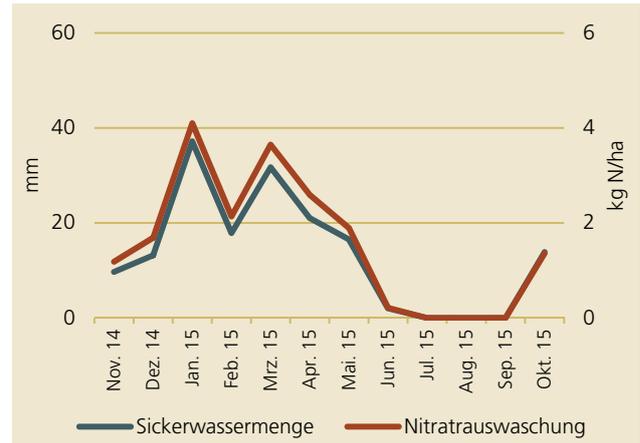


Abb. 5-13: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. PE)

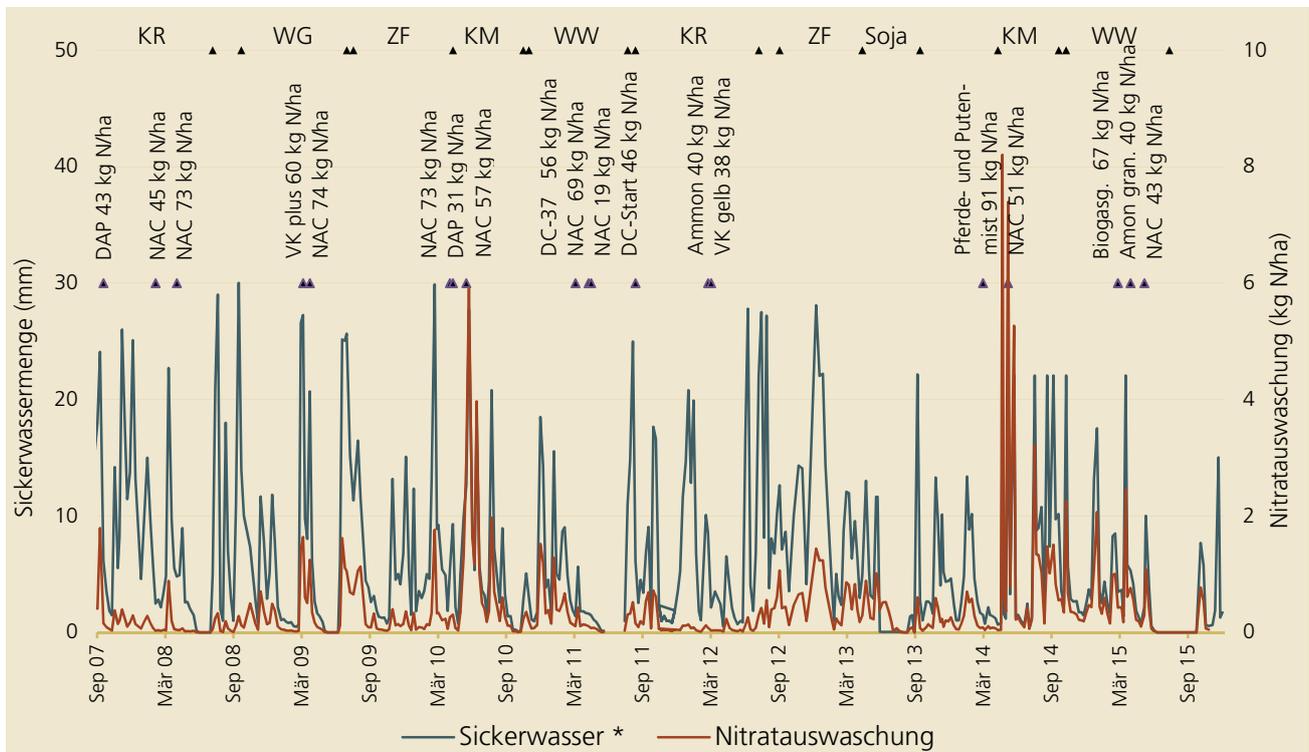


Abb. 5-14: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. PE) *von Mai – Okt. 2014 nicht gesamtes Sickerwasser erfasst

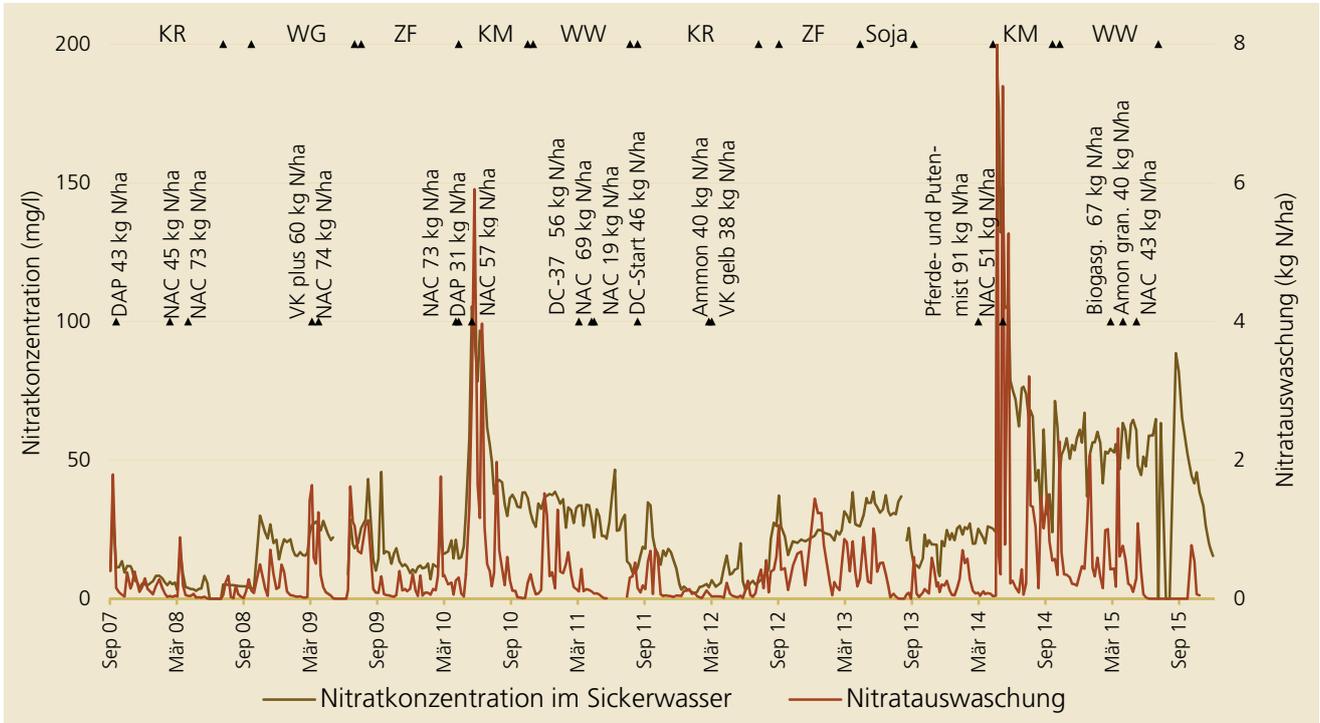


Abb. 5-15: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (tiefr. PE)

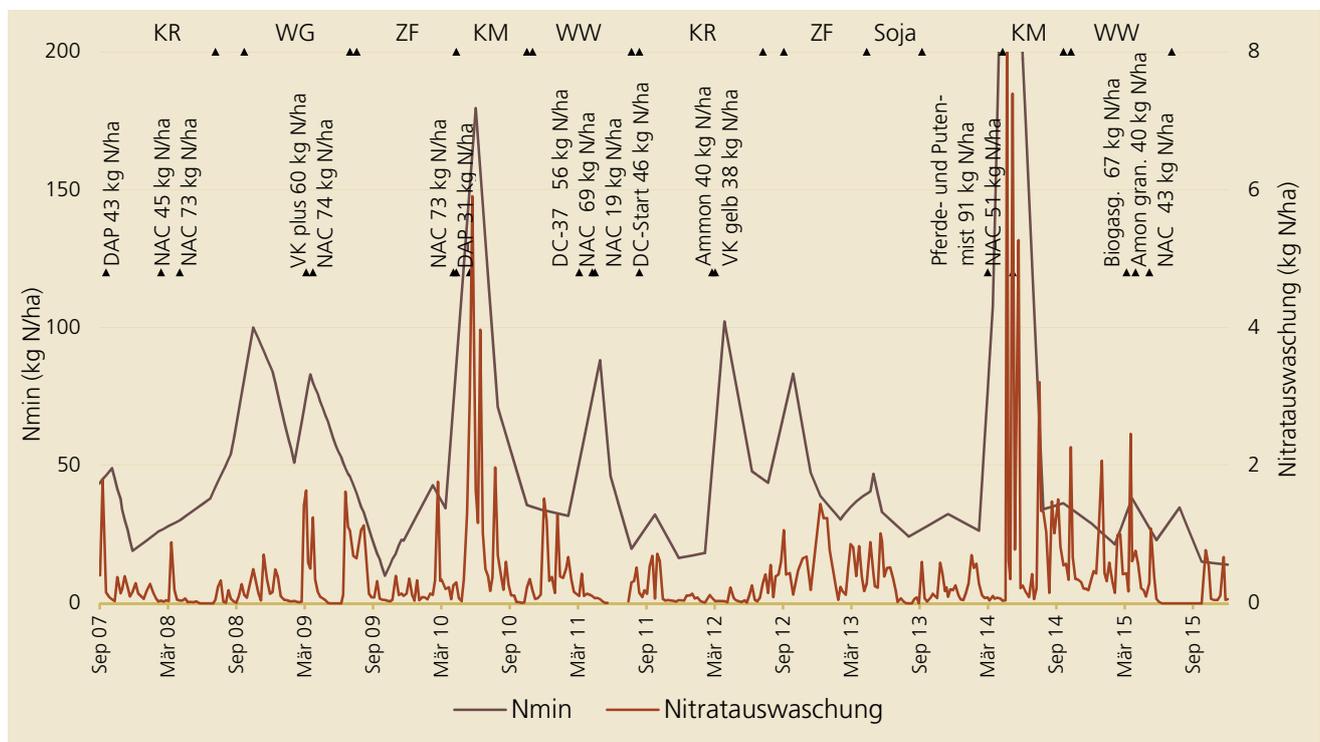


Abb. 5-16: Nitratauswaschung und N_{min}-Gehalte des Bodens (tiefr. PE)

5.6 NitratAuswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking

5.6.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

Am seichtgründigen Standort fielen im hydrologischen Jahr 2014/15 in Summe 554 mm Niederschlag (Abb. 5-17).

Die Sickerwasserbildung erfolgte ähnlich wie auf den beiden tiefgründigen Standorten hauptsächlich in den Wintermonaten und im Frühjahr. Von Juni bis Oktober trat kein Sickerwasser auf, im Mai sind die Sickerwassermengen sehr gering. In Summe lag die Sickerwasserbildung bei 102 mm, was rund 18% der Niederschlagssumme entspricht.



Abb. 5-17: Monatliche Niederschlags- und Sickerwasser-summen (seichtgr.)

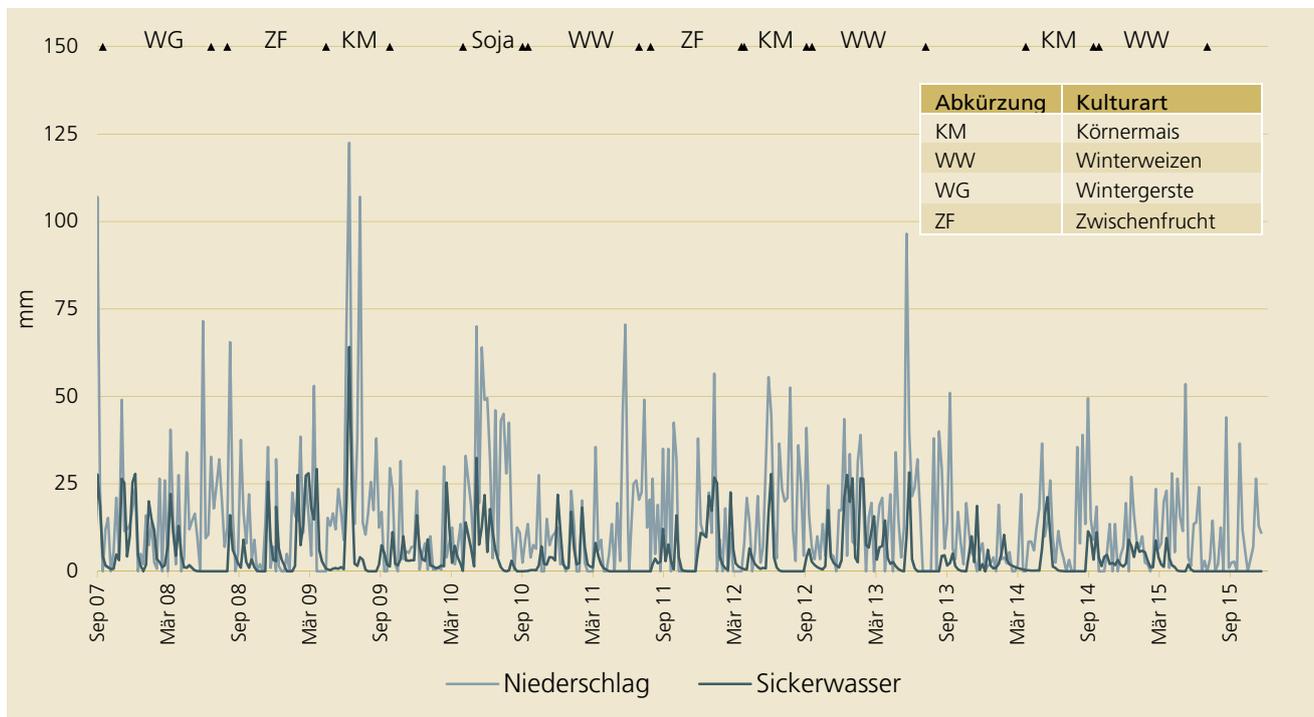


Abb. 5-18: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2007 (seichtgründig)

5.6.2 Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser

Der Verlauf der Nitratauswaschung folgte im Wesentlichen der Sickerwasserbildung und ist vergleichbar mit den beiden anderen Lysimeter (Abb. 5-19). Die Nitratauswaschung bleibt stets unter 10 kg N/ha und Monat, ist jedoch aufgrund des skelettreichen Bodens etwa doppelt so hoch wie auf den tiefgründigen Standorten.

In den restlichen Monaten ab Mai wurde keine Nitratauswaschung beobachtet, da die Sickerwassermenge gegen Null ging. Insgesamt wurden im hydrologischen Jahr 2014/15 rund 30 kg N/ha ausgewaschen.

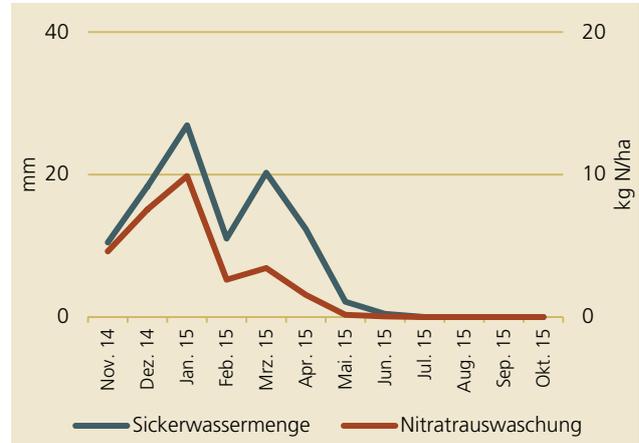


Abb. 5-19: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig)

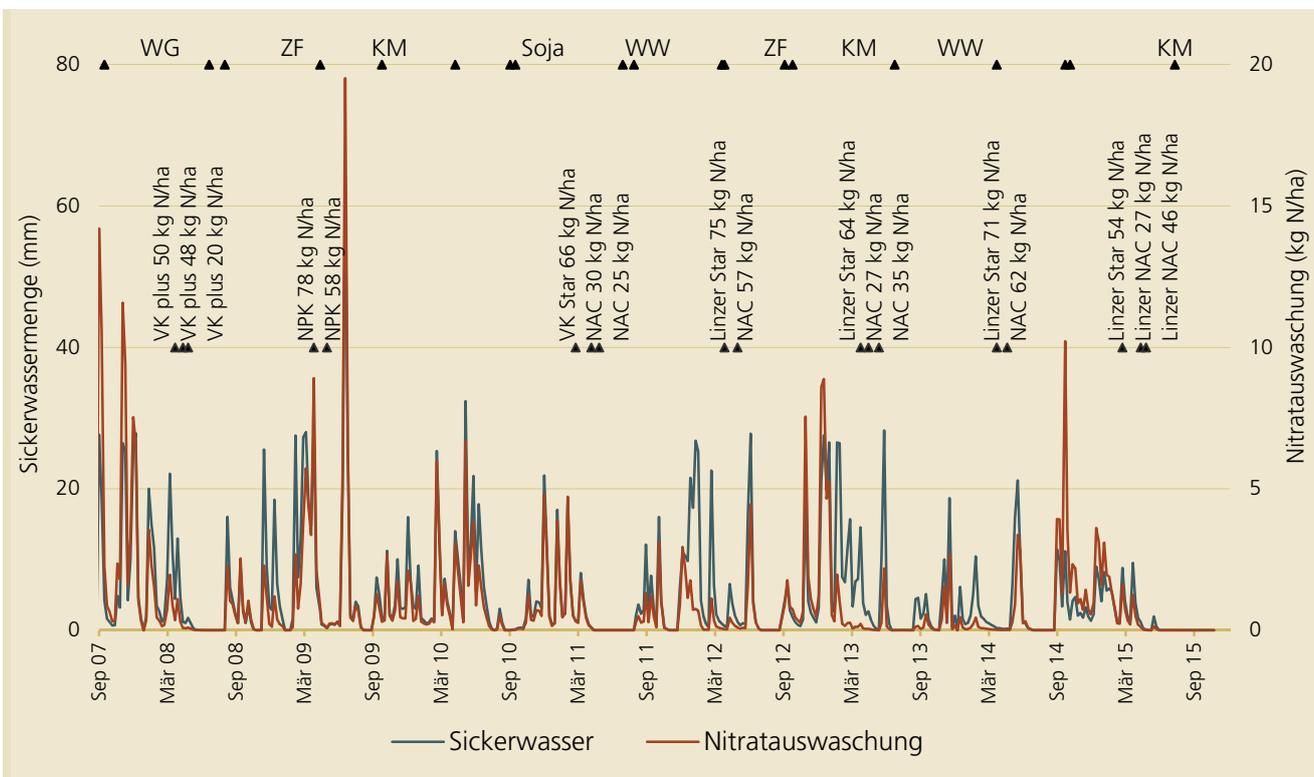


Abb. 5-20: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig)

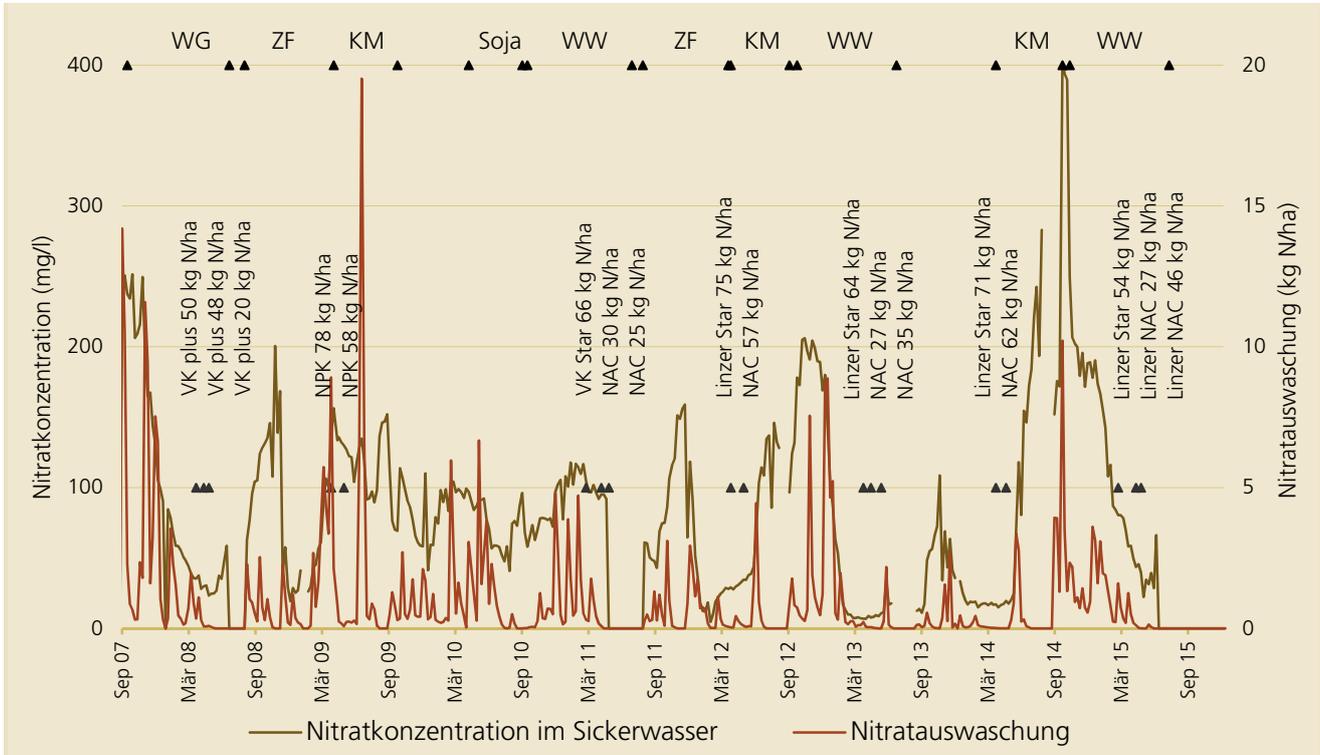


Abb. 5-21: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (seichtgründig)

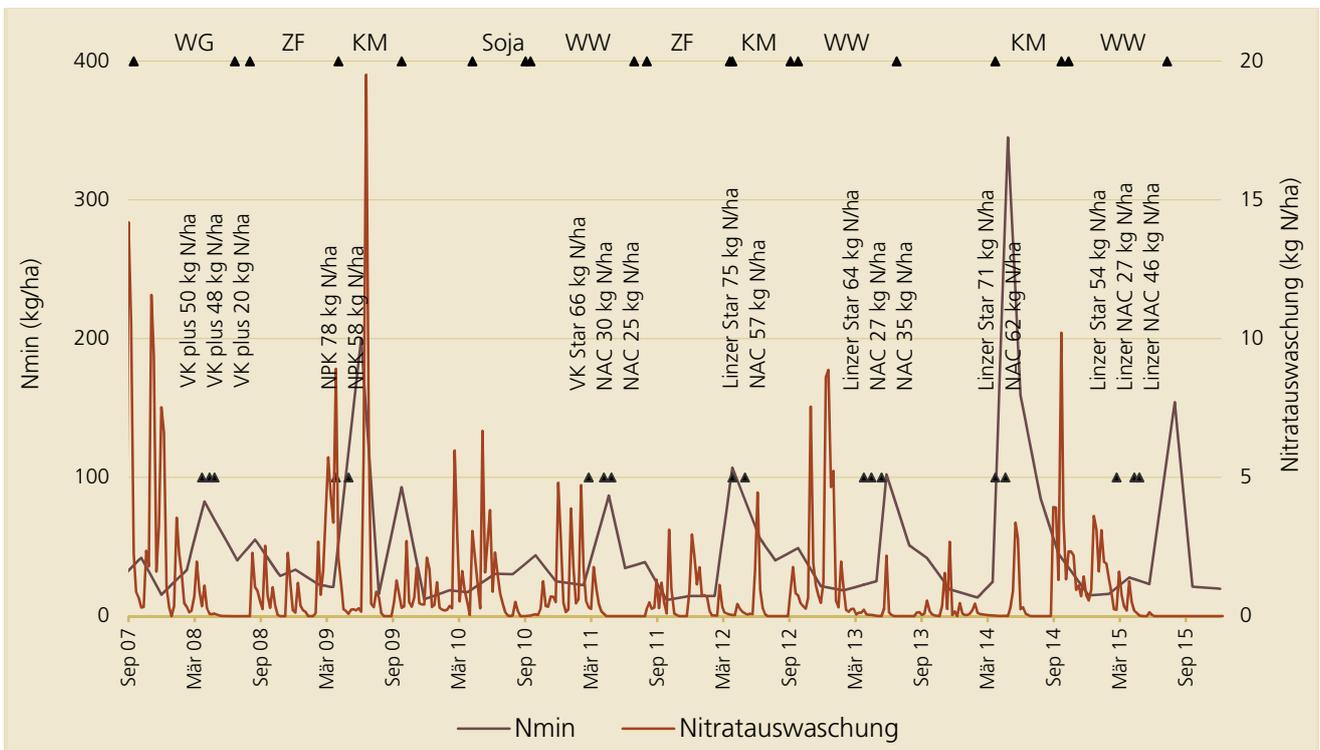


Abb. 5-22: Nitratauswaschung und N_{min}-Gehalte des Bodens (seichtgründig)

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

Die geringste Auswaschung konnte am tiefgründigen Standort in Eberstallzell beobachtet werden (12 kg N/ha). Auch der ausgewaschene Anteil der durch die Düngung zugeführten N-Menge ist mit 8% eher gering. Am Standort in Pettenbach ist die Auswaschung etwas höher (19 kg N/ha), aber im Jahresverlauf sehr ähnlich. So wurden die größten Auswaschungen in den Monaten November bis Mai bzw. Juni beobachtet.

Tab. 5-4: Stickstoffauswaschung vom 01.11.14 bis 31.10.15 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	142	12	8%	7	7
Tiefgr. PE	150	19	13%	-19	-9
Seichtgr.	127	30	24%	-44	-44

Die größte Stickstoffmenge wurde am seichtgründigen Standort in Pucking mit 30 kg N/ha ausgewaschen (Tab. 5-4). Diese entspricht ca. 24% der durch Düngung zugeführten jahreswirksamen N-Menge (127 kg N/ha). Ein Großteil davon ging bereits von November 2014 bis Jänner 2015 verloren und betrifft 22 kg N/ha, was knapp 75% der gesamten ausgewaschenen Menge entspricht. Im restlichen Jahresverlauf liegen die Werte im Bereich der beiden tiefgründigen Standorte oder darunter (Abb. 5-26). Bereits im Herbst (September und Oktober) 2014 konnte ein starkes Ansteigen der N-Auswaschung in Pucking beobachtet werden, welches aufgrund eines Mineralisierungsschubs nach der Maisernte in Kombination mit starken Niederschlägen und Sickerwassermengen resultierte. Der im Oktober angebaute Winterweizen bot dahingehend offenbar nicht ausreichend Schutz, da sich die

Auswaschung weiter fortsetzte. Ein außergewöhnlich warmer Winter begünstigte zudem die Mineralisierung und folglich auch den Nitrataustrag.

Eine weitere Ursache für die Verstärkung der Auswaschung in Pucking ist an der Niederschlagssumme zu erkennen (Abb. 5-23). Während die Niederschlagsmenge während des Jahres auf den beiden tiefgründigen Standorten sehr ähnlich verläuft, fiel in Pucking auffallend mehr Niederschlag von November 2014 bis Jänner 2015. Interessanterweise bleibt die Sickerwassermenge trotzdem im Bereich der beiden anderen Standorte, teilweise sogar darunter. Dennoch ist die Nitrataustragsmenge beachtlich, da die Nitratkonzentration im Sickerwasser außergewöhnlich hoch war.

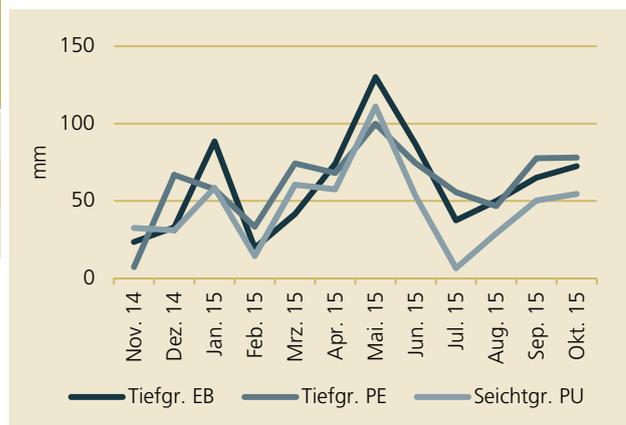


Abb. 5-23: Monatliche Niederschlagssummen an den drei Standorten

Der Sickerwasseranfall verlief im Jahr 2014/2015 auf allen Standorten fast deckungsgleich (Abb. 5-24). Die Maxima und Minima korrelieren mit dem Niederschlagsverlauf und befinden sich im Jänner und März. Die höchste Sickerwassermenge wurde in Pettenbach gemessen, direkt gefolgt von Eberstallzell. In Pucking trat in Summe der geringste Niederschlag und demnach auch die geringste Sickerwassermenge auf. Diese ist um etwa ein Drittel geringer als auf den beiden anderen Standorten, was besonders auf die länger

andauernde Trockenheit im Sommer zurückzuführen ist (Tab. 5-5).

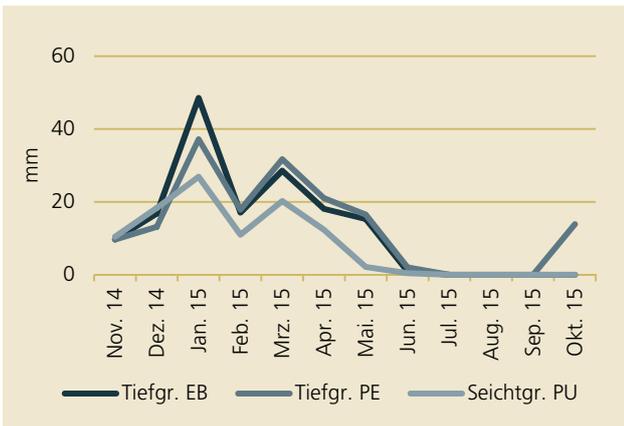


Abb. 5-24: Monatliche Sickerwassermengen an den drei Standorten

Die mit Abstand höchste durchschnittliche Nitratkonzentration wurde am seichtgründigen Standort mit 130 mg NO₃/l beobachtet (Tab. 5-5), wobei hierfür wie bereits erwähnt hauptsächlich die hohen Konzentrationen von November 2014 bis März 2015 verantwortlich sind. Im restlichen Jahresverlauf blieb die Konzentration unter 100 mg NO₃/l.

Tab. 5-5: Sickerwassermengen und durchschnittliche Nitratkonzentration vom 01.11.14 bis 31.10.15

	SW [mm]	NO ₃ -Kon. [mg/l]
Tiefgr. EB	155	36
Tiefgr. PE	163	51
Seichtgr. PU	102	130

Die zweithöchste jährliche mittlere Konzentration von 51 mg NO₃/l wurde am tiefgründigen Standort in Pettenbach gemessen und überschritt damit den Grundwasserswellenwert von 45 mg NO₃/l. Am tiefgründigen Standort in Eberstälzell blieb die Nitratkonzentration insgesamt am geringsten (36 mg NO₃/l) und somit stets unter dem Grundwasserswellenwert.

Während des Sommers trat über einen langen Zeitraum auf allen Standorten kein Sickerwasser auf, demnach konnte keine Nitratkonzentration gemessen werden (Abb. 5-25).

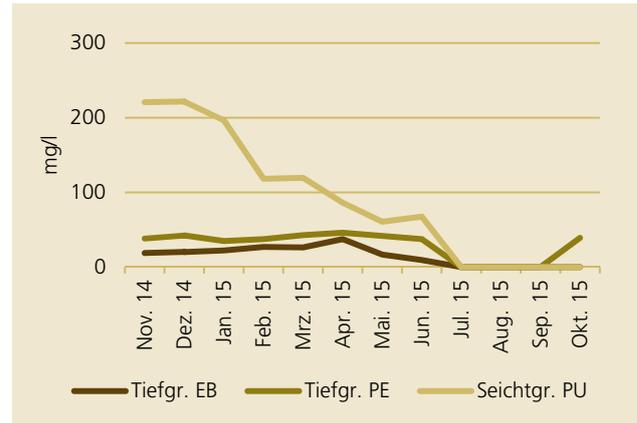


Abb. 5-25: Durchschnittliche monatliche Nitratkonzentrationen an den drei Standorten

Die Nitratkonzentrationen wurden sehr stark von den monatlichen Sickerwassermengen beeinflusst. So war jeweils ein Maximum im Mai und im März zu beobachten. Der Verlauf auf den beiden tiefgründigen Standorten ist sehr ähnlich. In Pucking steigt die Stickstoffkonzentration von November bis Jänner stark an, und pendelt sich ab Februar in Bereichen vergleichbar mit den beiden anderen Standorten ein (Abb. 5-26).

In Summe wurde während des Messzeitraums seit September 2001 bis November 2015 am seichtgründigen Standort mit 679 kg N/ha am meisten Stickstoff in Form von Nitrat ausgewaschen (Abb. 5-27). Am tiefgründigen Standort in Eberstolz waren es mit 352 kg N/ha etwa halb so viel, am tiefgründigen Standort in Pettenbach mit 264 kg N/ha ca. 1/3.

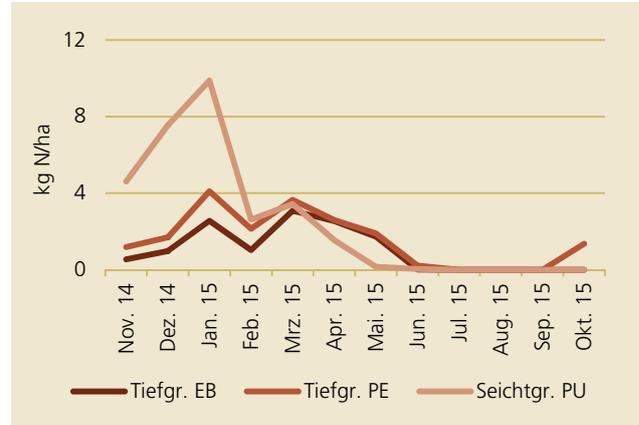


Abb. 5-26: Monatliche Nitratauswaschung an den drei Standorten

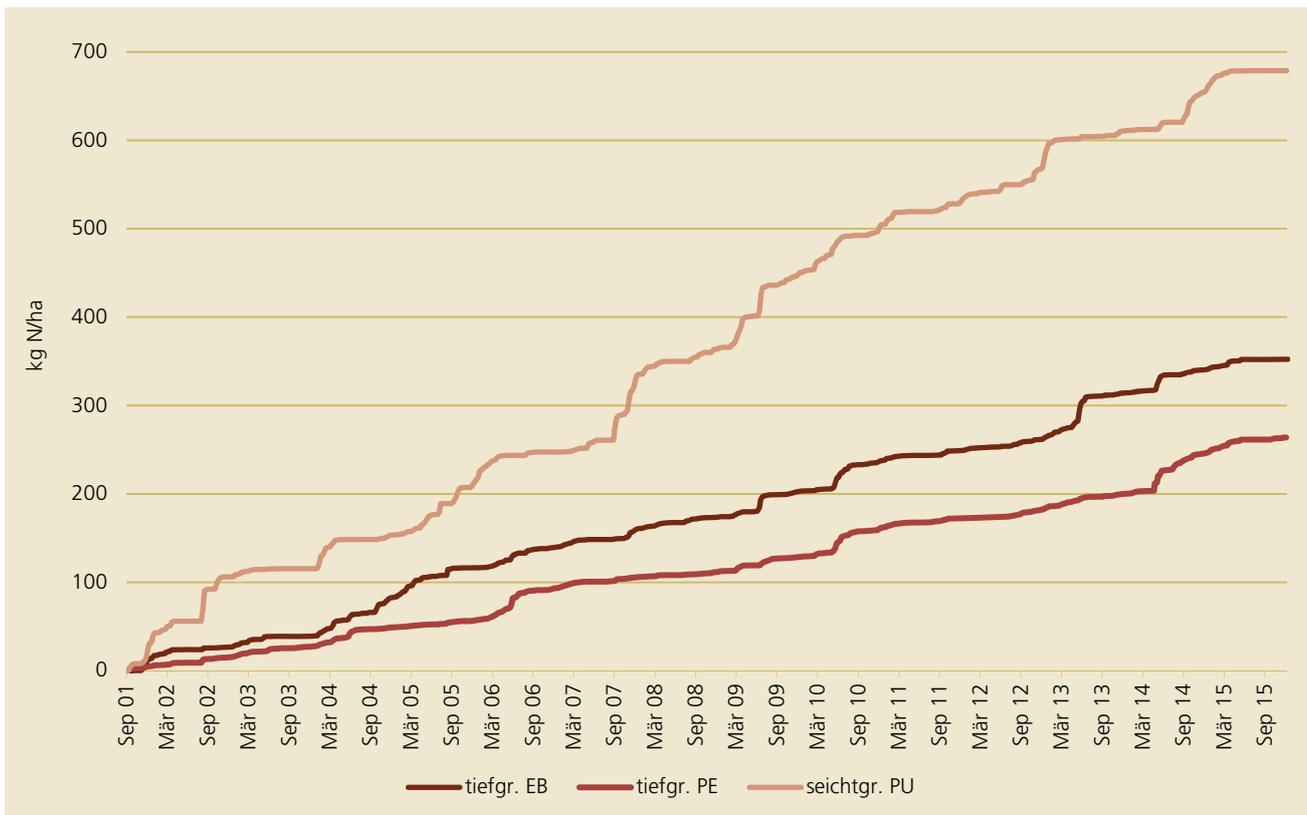


Abb. 5-27: Summe der als Nitrat ausgewaschenen Stickstoffmenge an den drei Standorten

5.8 Vergleich mit Ergebnissen von zwei Lysimeteranlagen in Schwertberg

Die Boden.Wasser.Schutz.Beratung betreut in Oberösterreich ebenfalls Freilandlysimeteranlagen. Zwei davon befinden sich an einem Ackerstandort in Schwertberg im Bereich des Wasserschongebiets Zirking und werden unter Praxisbedingungen bewirtschaftet. Die Bodenart ist sandiger Lehm oder Lehm, der Bodentyp ist eine Lockersedimentbraunerde. Die Hauptkultur 2015 war Triticale (davor Winterweizen). Nach der Triticale wurde eine Begrünung angelegt.

Im hydrologischen Jahr 2015 fielen 672 mm Niederschlag, die Sickerwassermenge an den beiden Lysimetern betrug 153 bzw. 150 mm, das entspricht 23% bzw. 22% des Niederschlags. Die Niederschlagsmenge aber auch der Sickerwasseranfall war damit etwas niedriger als an den beiden tiefgründigen Standorten in Eberstanzell und Pettenbach, die Relation von Sickerwasser zu Niederschlag beinahe gleich.

Auch der Verlauf der Sickerwasserbildung entsprach weitgehend jenem an den anderen Standorten mit einem absoluten Maximum im Jänner und einem relativen im April. Im Mai fiel kaum mehr, ab Juni bis Oktober kein Sickerwasser mehr an.

Die Nitratauswaschung betrug in Summe 10 bzw. 12 kg N/ha, der Großteil erfolgte im Jänner.

5.9 Phosphorbilanzen

In Eberstanzell wurde im Jahr 2014/2015 weder Wirtschaftsdünger noch phosphorhaltiger Mineraldünger ausgebracht. Am Standort in Pettenbach erfolgte die Phosphorzufuhr durch eine Düngung mit Biogasgülle (22 kg P₂O₅/ha). Am seichtgründigen Standort wurde Phosphor in der Höhe von 54 kg P₂O₅/ha durch eine Mineraldüngung ausgebracht.

Die Phosphorbilanz ist auf allen Standorten stark negativ (Tab. 5-6). Die Ergebnisse der Bilanzen für die Erntebfuhr zwischen den Lysimeterflächen und den Mittelwerten sind am tiefgründigen Standort in Eberstanzell sowie am seichtgründigen Standort in Pucking nahezu identisch. In Pettenbach wurde eine Abweichung von knapp 30 kg P₂O₅/ha gemessen, welche vor allem auf den niedrigeren Ertrag auf der Lysimeterfläche zurückzuführen ist.

Tab. 5-6: Phosphorbilanzen für das Erntejahr 2015

	Tiefgründiger Standort in Eberstanzell		Tiefgründiger Standort in Pettenbach		Seichtgründiger Standort in Pucking	
	----- kg P ₂ O ₅ /ha -----					
Phosphorzufuhr aus Düngung	0		22		54	
Entzug durch die Pflanzen	Lysimeter	Mittelwert	Lysimeter	Mittelwert	Lysimeter	Mittelwert
Entzug durch das Korn	57	63	64	88	112	117
Entzug durch das Stroh	27	19	12	16	24	23
Summe Entzug	84	82	76	104	136	140
Abfuhr durch Ernte	84	82	76	104	112	117
Bilanz Korn	-57	-63	-42	-66	-58	-63
Bilanz Korn + Stroh	-84	-82	-54	-82	-82	-86
Bilanz Ernte	-84	-82	-54	-82	-58	-63

5.10 Phosphatauswaschung

Der jahreszeitliche Verlauf der Phosphatauswaschung im Jahr 2015 war auf allen Standorten sehr ähnlich und folgt dem Sickerwasseranfall (Abb. 5-28). So war jeweils eine Auswaschungsspitze im Jänner und im März zu verzeichnen, wobei die höchste monatliche Auswaschung am tiefgründigen Standort zu beobachten war. Am seichtgründigen Standort war der Verlauf ab Februar zwar am niedrigsten, allerdings wurden stark erhöhte Werte im Vergleich zu den beiden tiefgründigen Standorten in den Monaten davor gemessen.

Die Auswaschungsspitzen können auf allen drei Standorten zeitlich mit Niederschlagsereignissen und dem daraus folgendem Sickerwasseraustritt 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).

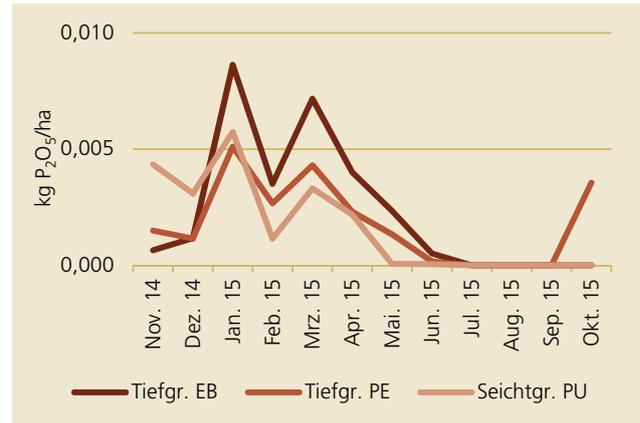


Abb. 5-28: Monatliche Phosphatauswaschung an den drei Standorten

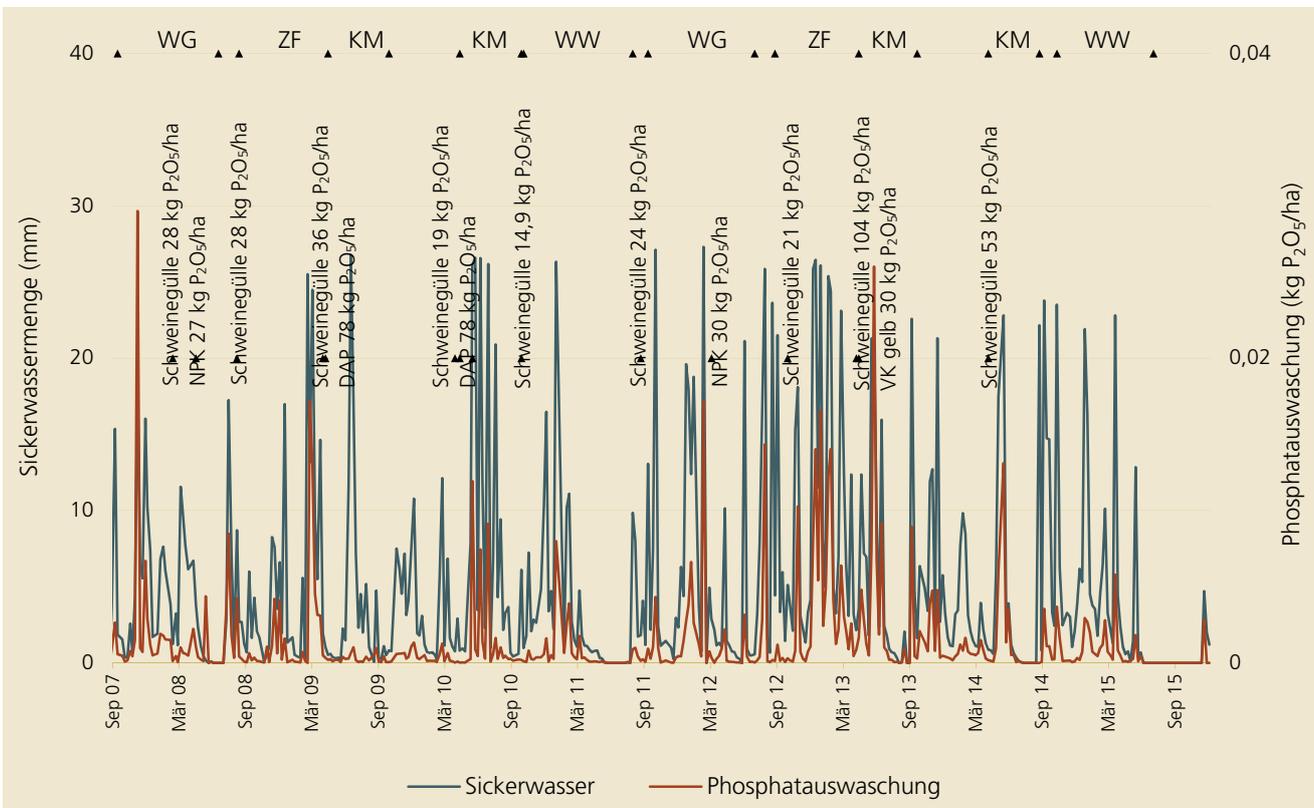


Abb. 5-29: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstalzell

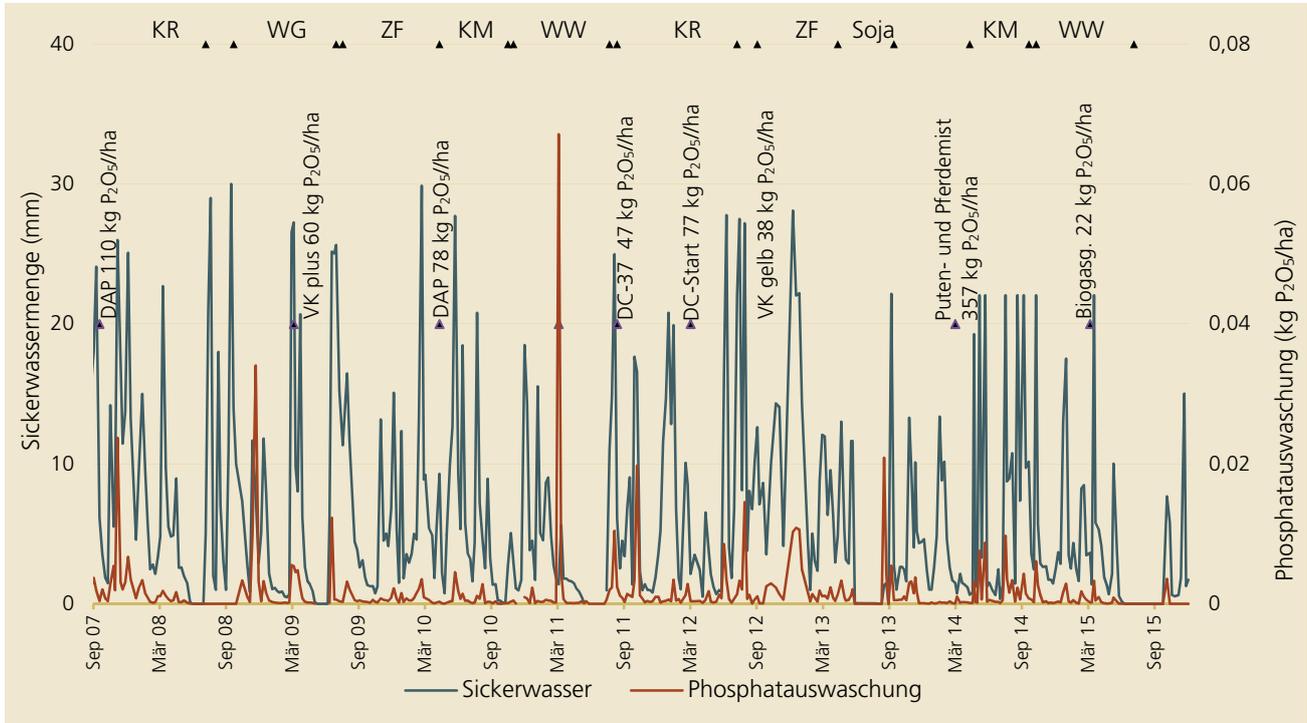


Abb. 5-30: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach

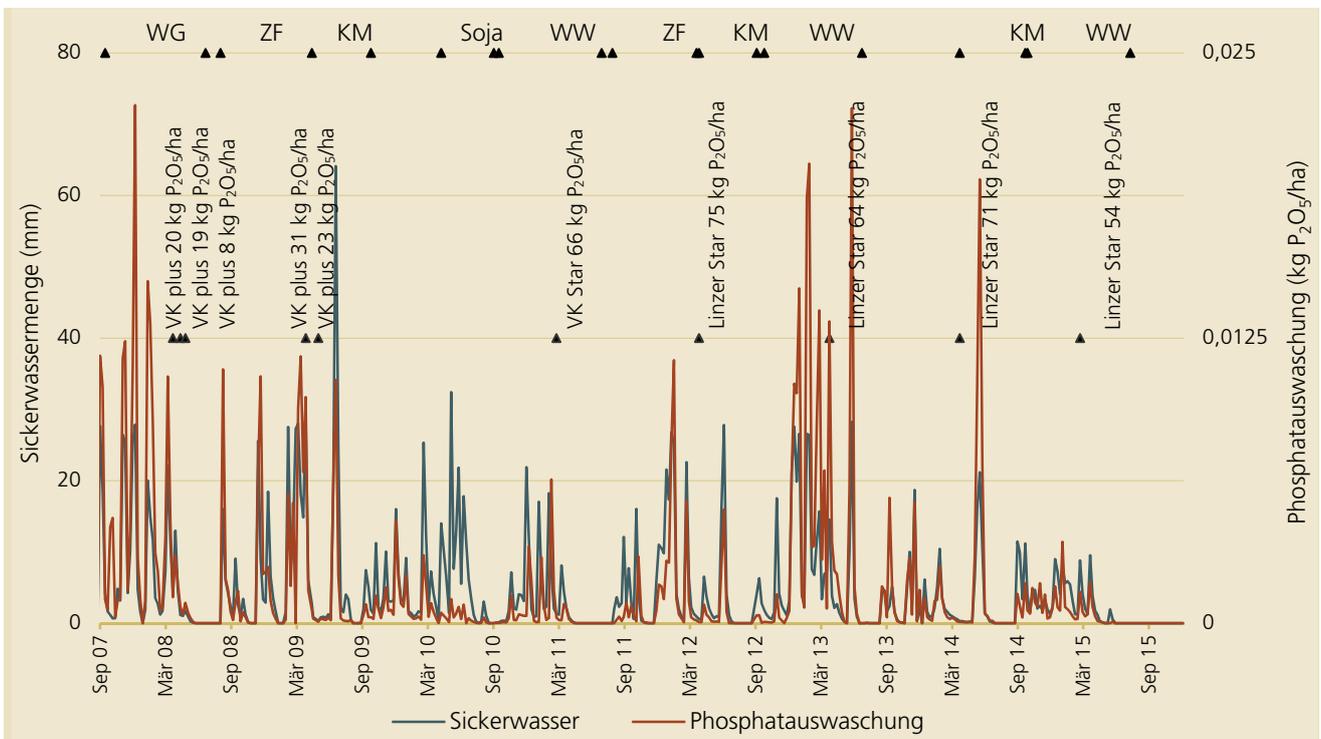


Abb. 5-31: Phosphatauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking

In Summe waren die P-Verluste mit dem Sickerwasser im hydrologischen Jahr 2014/15 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 PO₄/l.

Seit Beginn der Messreihe wurden am tiefgründigen Standort in Eberstallzell insgesamt 0,97 kg P/ha ausgewaschen und am tiefgründigen Standort in Pettenbach 1,06 kg P/ha. Am seichtgründigen Standort wurde seither in etwa die doppelte Menge, nämlich 1,74 kg P/ha ausgewaschen (Abb. 5-32).

Tab. 5-7: Sickerwasser, P₂O₅-Verluste und mittlere PO₄-Konzentration im Sickerwasser vom 01.11.14 bis 31.10.15

	SW [mm]	P ₂ O ₅ - Verlust [kg/ha]	PO ₄ -Kon. [mg/l]
Tiefgr. EB	155	0,0280	0,0242
Tiefgr. PE	163	0,0221	0,0181
Seichtgr. PU	102	0,0199	0,0262

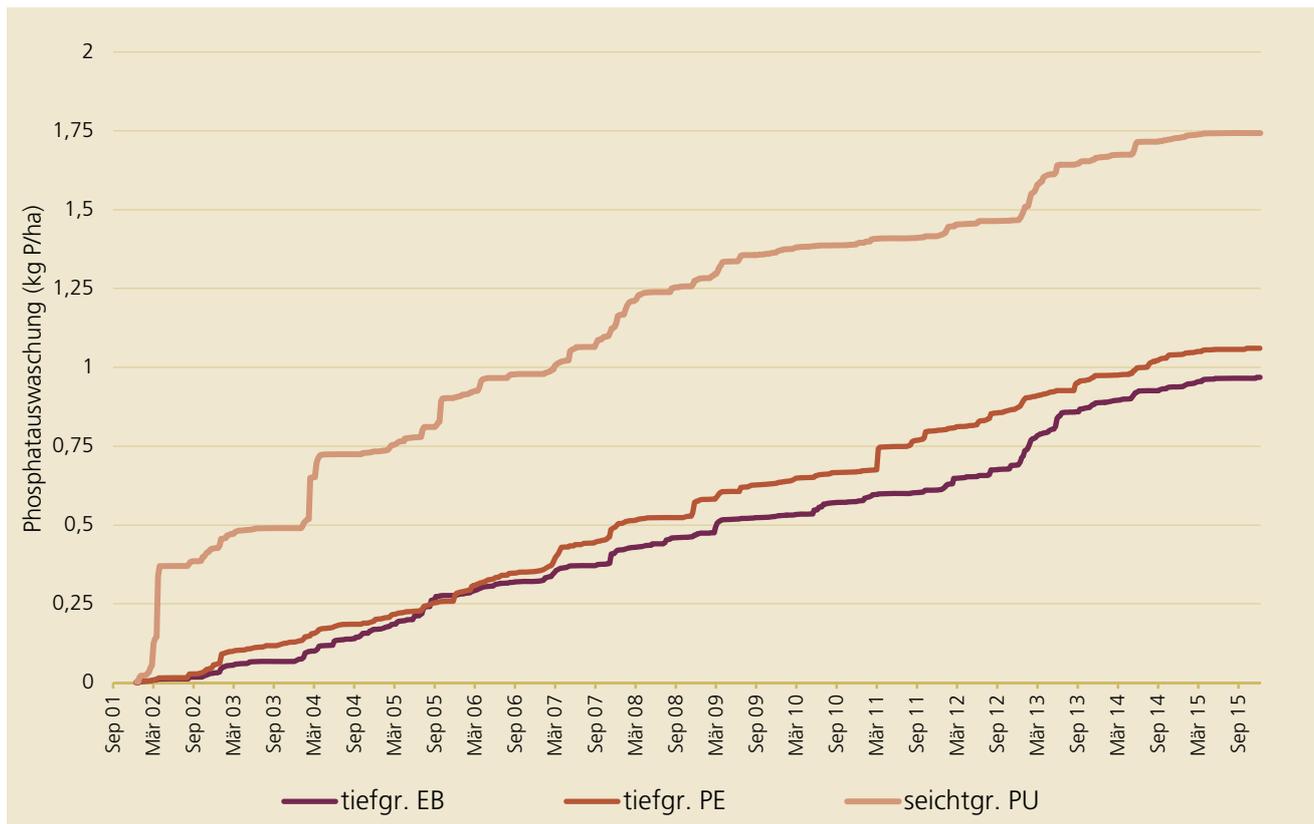


Abb. 5-32: Summe der als Phosphat ausgewaschenen P-Menge an den drei Standorten

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 bestücktem 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 3-jährige Laufzeit erlaubt eine vergleichende Gegenüberstellung der Messergebnisse bis 2014 mit dem Jahr 2015. Dies erfolgt in den in der Hydrographie üblichen Darstellungen, in welchen die Bandbreite der bisherigen Messergebnisse als gelber Hintergrund fungiert und das Vergleichsjahr 2014 (blau) und das Bearbeitungsjahr 2015 (rot) farblich auseinander gehalten werden kann. In Abb. 6-1 und Abb. 6-2 werden solcherart die **Niederschlags- und Temperaturverhältnisse** dargestellt. 2015 war betreffend den mangelnden Niederschlag und die zu hohen Temperaturen ein Rekordjahr. Seit dem Jahr 1999 gab es keinen niederschlagsärmeren Dezember und Juli als 2015. Die wenigen Niederschläge ereigneten sich jedoch zeitlich günstig für die Winterweizenkultur im Mai, Juni, September und Oktober. Desweiteren wurden im Jahr 2015 die wärmsten Juli, August, November und Dezember Lufttemperatursummen gemessen seit 1999. Alle meteorologischen Parameter wurden mit den Messstellen Vorchdorf (Niederschlag) und

Kremsmünster (Wind, Globalstrahlung) verglichen und teilweise korrigiert.

Entsprechend der **Globalstrahlungsmessung** des Pyranometers war das Jahr 2015 anfangs als eher trüb einzustufen, jedoch in der 2. Jahreshälfte wurde in den Monaten August, November und Dezember jeweils die längste Sonnenscheindauer seit 1999 gemessen. Nachdem das Jahr 2014 ein eher windstilles Jahr war, folgte mit 2015 ein besonders in der zweiten Jahreshälfte eher windstärkeres Jahr.

6.3 Grundwasserneubildung

Die Auswirkungen der klimatischen Verhältnisse auf die Grundwasserneubildungen aller 3 Lysimeterstandorte werden in den Abb. 6-3 bis Abb. 6-5 dargestellt. In allen 3 Standorten tritt die niedrigste Grundwasserneubildung seit 1995 auf. Zwischen Juni und Mitte Oktober gab es keine Versickerung. Lediglich im Jänner wurde zufolge des verregneten Herbstes im Jahr 2014 eine durchschnittliche Versickerung gemessen, im April zufolge der Niederschläge ebenfalls. Am Standort in Pettenbach ist sehr deutlich zu erkennen, dass in den Monaten November und Dezember die geringste Grundwasserneubildung im gesamten Vergleichszeitraum 1995-2015 gemessen wurde.

Mithilfe der k_u -Funktion (Wasserleitfähigkeit im ungesättigten Zustand) lassen sich aus den Saugspannungsgradienten die Grundwasserneubildungen berechnen. Abb. 6-6 zeigt bei ähnlichen Jahressummen ein differenziertes zeitliches Verhalten, welches sowohl auf eine noch nicht optimal angepasste k_u -Funktion als auch auf präferenzielles Versickern in Grobporen z.B. entlang des Lysimeterrandes zurückzuführen sein könnte. Im Jahr 2014 verursachte ein Tensiometerausfall im Zeitraum August bis November, welcher eine Rekonstruktion der Saugspannungen erforderlich machte, die zu niedriger Jahressumme der berechneten Versickerung.

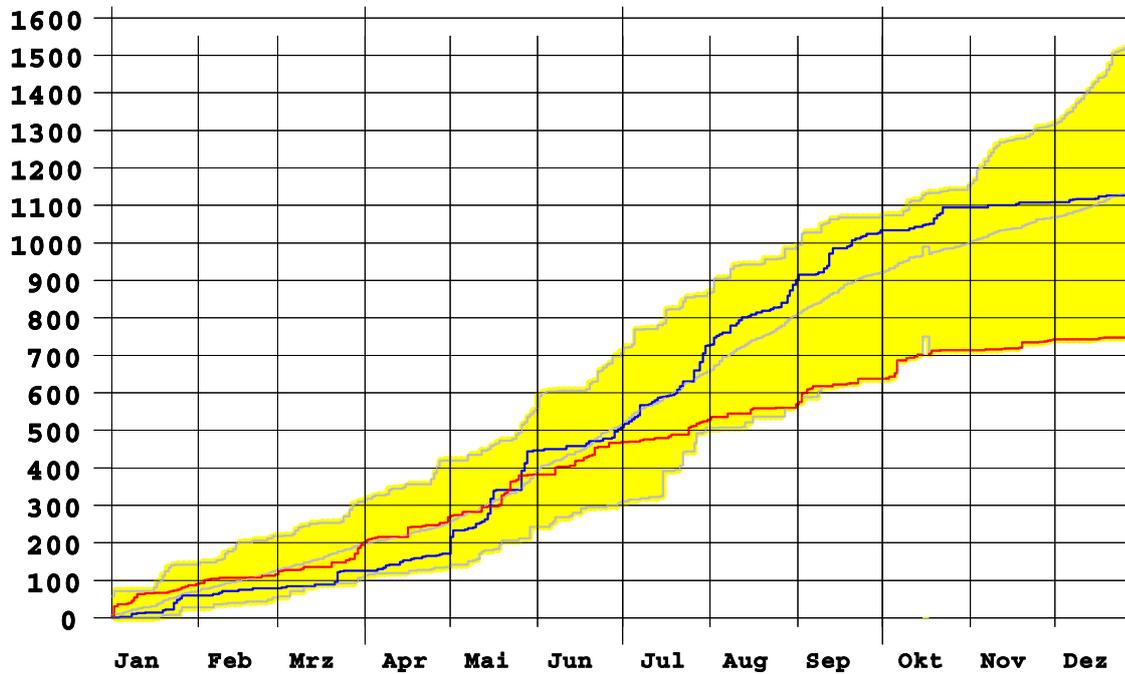


Abb. 6-1: Niederschlags-Jahressummenlinie der Jahre 2014 (blau) und 2015 (rot) in Pettenbach

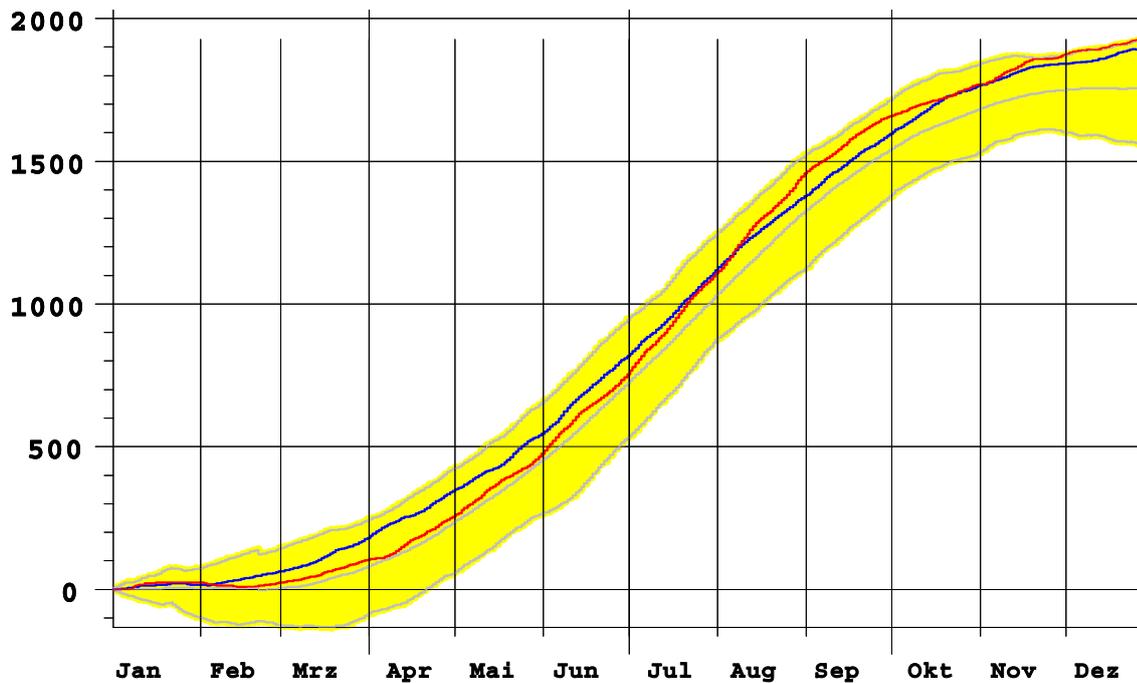


Abb. 6-2: Lufttemperatur-Jahressummenlinie der Jahre 2014 (blau) und 2015 (rot) in Pettenbach

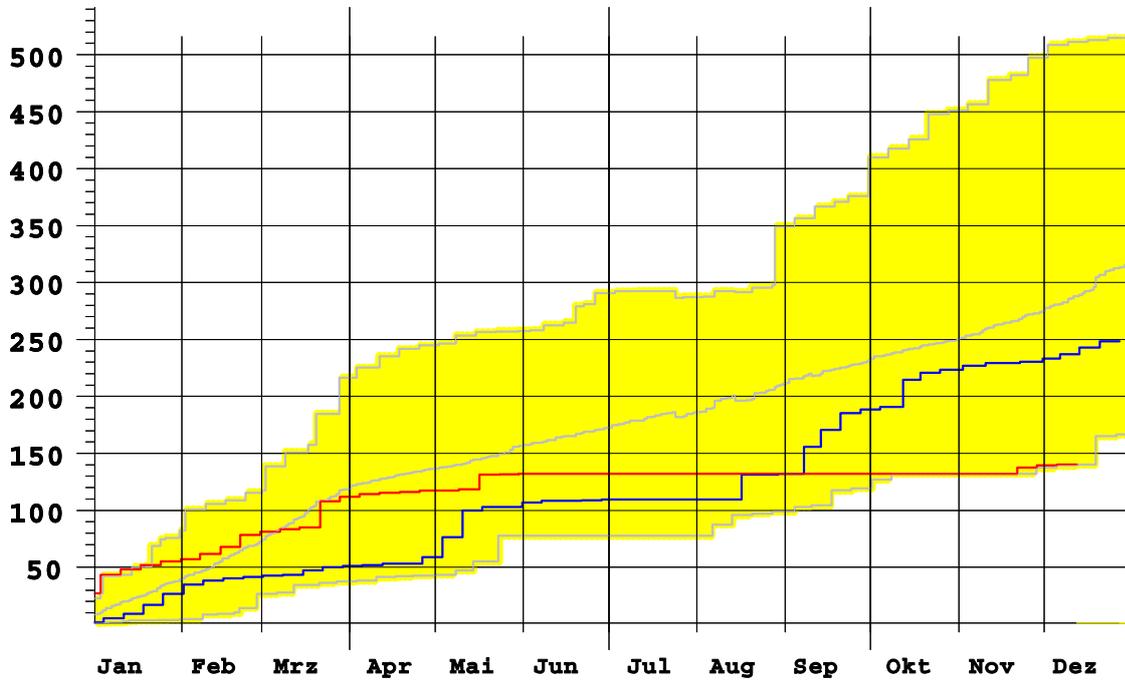


Abb. 6-3: Grundwasserneubildungs-Jahressummenlinien in Eberstalzell 2014 (blau) und 2015 (rot)

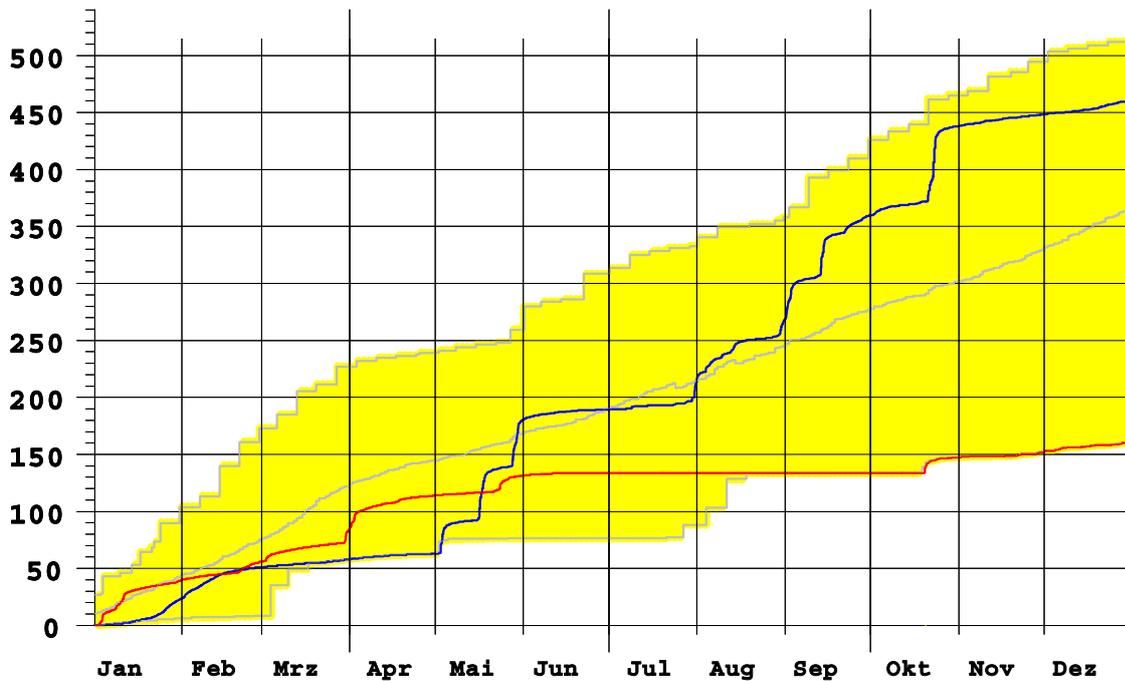


Abb. 6-4: Grundwasserneubildungs-Jahressummenlinien in Pettenbach 2014 (blau) und 2015 (rot)

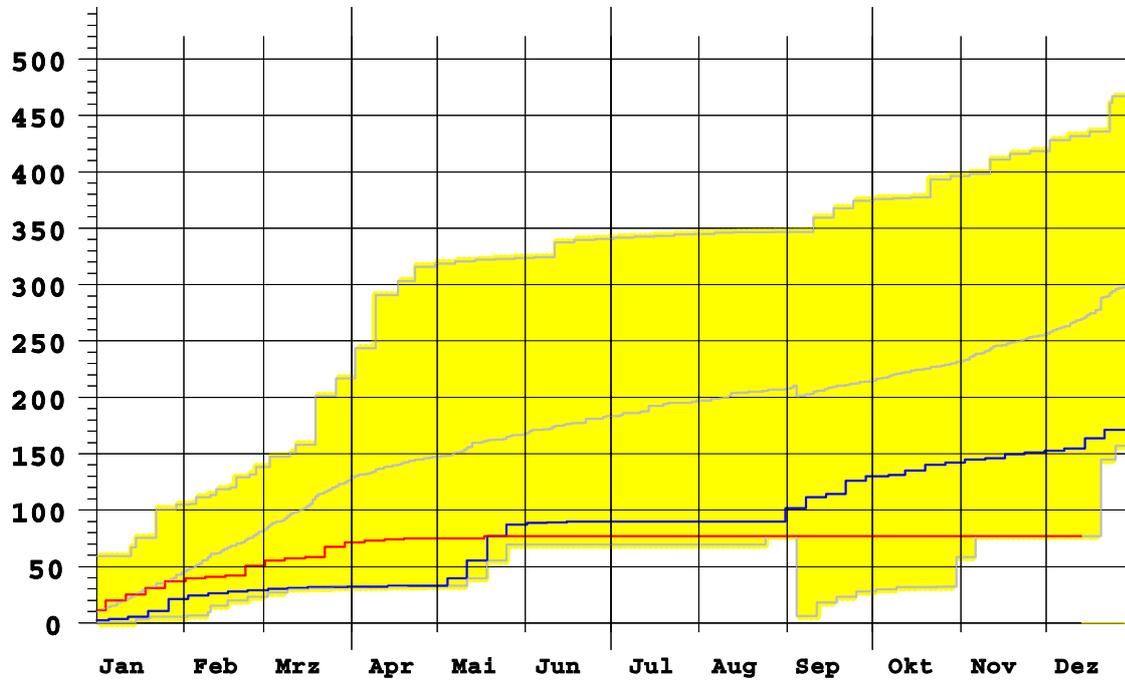


Abb. 6-5: Grundwasserneubildungs-Jahressummenlinien in Pucking 2014 (blau) und 2015 (rot)

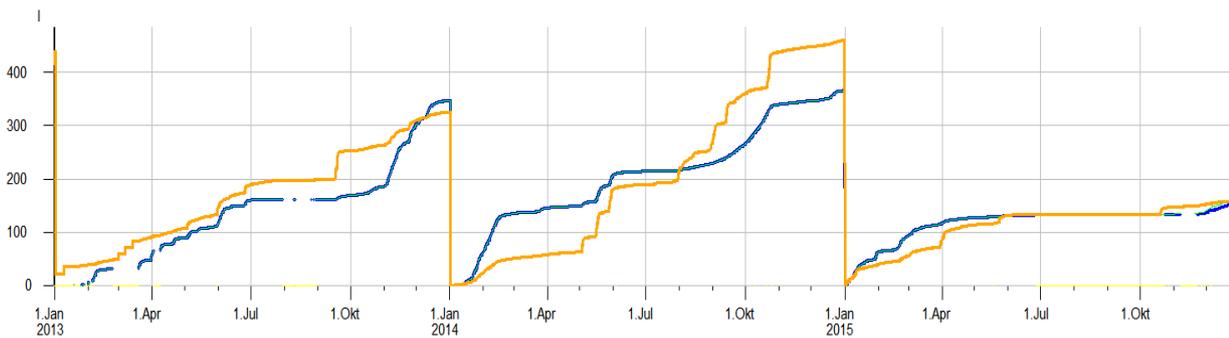


Abb. 6-6: Grundwasserneubildungs-Jahressummenlinie 2013-2015 in Pettenbach, gemessen (orange) und berechnet nach der k_v -Funktion (blau)

6.4 Bodenwasserverhältnisse

Für die Beobachtung der Bodenwasserverhältnisse im Jahr 2015 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 Hauptdurchwurzelungsbereich) und Gesamtprofil- bzw. Unterbodenzeitreihen zusammengefasst und wiederum dem Jahr 2014 gegenübergestellt. Zusätzlich wird das Lysimeter mit dem Freiland verglichen. Die Unterscheidung zwischen Ober- und Unterboden ist sinnvoll für Temperatur- und Saugspannungsauswertungen, die SWI-Auswertungen (soil water index) hingegen unterscheiden zwischen durchwurzeltem Bereich und darunter, da die verfügbare Wassermenge direkt in Bezug zu den Pflanzenaktivitäten steht.

Erwartungsgemäß zeigen die gewichtet gemittelten **Temperaturen** sowohl im Ober- als auch im Unterboden höhere Werte im Jahr 2015 als 2014, mit 3

Maxima in den Monaten Juli, August und September, welche teilweise im Jahr 2013 übertroffen wurden, und absoluten Höchstwerten in den Monaten November und Dezember. In Abb. 6-7 werden exemplarisch die Temperaturen im Oberboden dargestellt.

Die gewichtet gemittelten Ober- und Unterboden-**Saugspannungen** zeigen eine relativ gute Übereinstimmung zwischen dem Freiland und dem Lysimeter. Die Saugspannungen wurden bis max. 800 hPa aus Tensiometern gewonnen, darüber (fallweise auch bereits darunter) mit Watermark-Gipsblöcken.

Während die Temperaturen eine gute Übereinstimmung zwischen dem Lysimeter und dem Freilandprofil zeigen, gibt es bei den Saugspannungen und Wassergehalten und den daraus abgeleiteten Profilwassermengen doch Unterschiede. Es scheint, als könnten innerhalb des Lysimeters nicht so hohe Saugspannungen aufgebaut werden und als wäre der Verlauf träger.

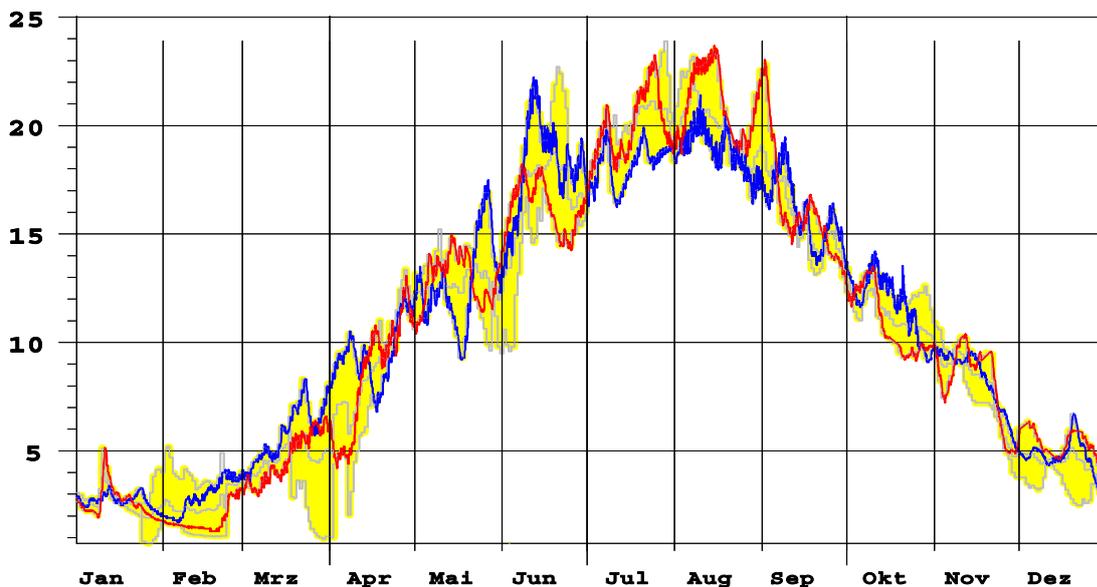


Abb. 6-7: Oberboden-Temperaturen in °C im Jahr 2014 (blau) und 2015 (rot)

Zuletzt werden die Wassergehaltsverläufe über die Tiefe und die Zeit in **SWI-Diagrammen** für 2013, 2014 und 2015 jeweils im Lysimeter und im Freiland dargestellt. Der Boden-Wasser-Index (SWI) repräsentiert den relativen Feuchtigkeitsgehalt eines Bodens zwischen Welkepunkt (0%) und Feldkapazität (100%). Maßgeblich sind die für die einzelnen Bodenschichten angenommenen Welkepunkte und Feldkapazitäten. Diese wurden in einer Kombination aus Literaturangaben, Messergebnissen und Laborauswertungen angesetzt.

In den SWI-Diagrammen in Abb. 6-8 bis Abb. 6-10 wird die Sommer-Profilaustrocknung im Jahr 2015 in Tiefe und zeitlicher Erstreckung gut wiedergegeben. Im Lysimeter entfällt der unterste, fast durchgängig dunkelblaue (85-100%) Horizont. Im Vergleich von 2013 mit 2015 fällt auf, dass 2015 die Trockenheit länger andauerte und im Lysimeter den Unterboden bis zum Jahresende jedenfalls betraf.

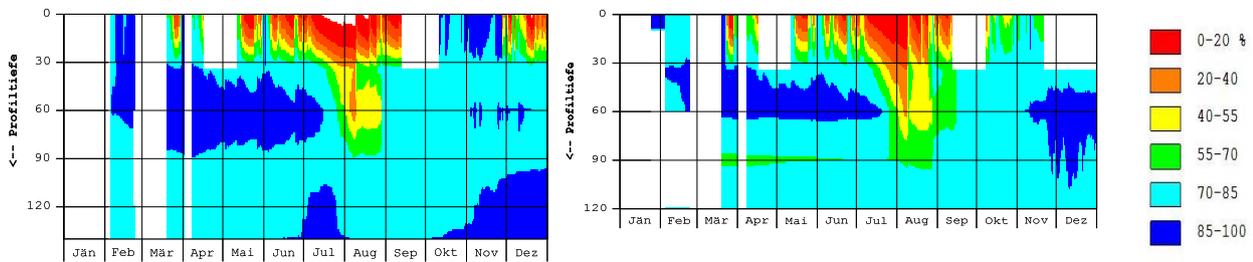


Abb. 6-8: Wassergehaltsverläufe (SWI-Diagramme) im Jahr 2013 im Freiland (links) und im Lysimeter (rechts)

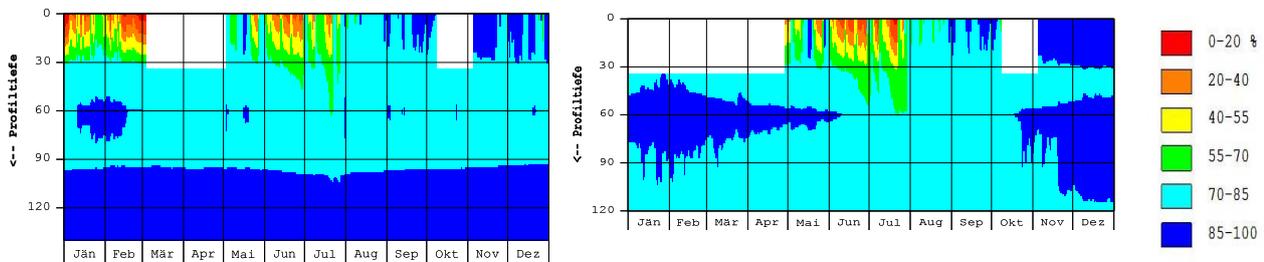


Abb. 6-9: Wassergehaltsverläufe (SWI Diagramme) im Jahr 2014 im Freiland (links) und im Lysimeter (rechts)

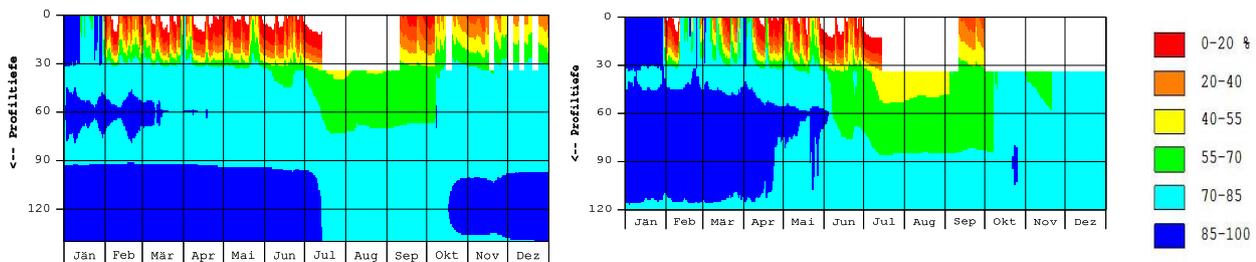


Abb. 6-10: Wassergehaltsverläufe (SWI Diagramme) im Jahr 2015 im Freiland (links) und im Lysimeter (rechts)

7 Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Sowohl laut ZAMG als auch laut der Messungen an der neuen **UZ-Messstelle** in Pettenbach war das Jahr 2015 ein Jahr der Extreme. Österreichweit war 2015 das zweitwärmste Jahr der Messgeschichte (seit 248 Jahren) und eines der 20 trockensten Jahre, desweiteren wurden außergewöhnlich viel heiße Tage mit Temperaturen über 35°C registriert. Die UZ-Messstelle in Pettenbach zeigte außerdem, dass die Grundwasserneubildung auf allen Standorten sehr gering war. Besonders auffällig ist die lang andauernde Trockenheit im Sommer.

Unter diesen extremen Bedingungen und aus den Ergebnissen der im Jahr 2015 durchgeführten Messungen und Untersuchungen lassen sich folgende Schlussfolgerungen hinsichtlich des Nährstoffauswaschungsrisikos ziehen:

Die Höhe der Düngung war an allen drei Standorten im Vergleich zum geernteten **Ertrag** gut gewählt, so wurde auf jedem Standort ein hoher Ertrag erreicht, sogar am Standort in Pucking, obwohl nur eine Düngemenge für mittlere Ertragslage aufgebracht wurde. Demnach dürften die Düngezeitpunkte in Summe gut gewählt worden sein, da auch bei der Nitratauswaschung keine besonders ausgeprägten Spitzen nach den Düngegaben beobachtet werden konnten. Die im Jahr 2015 eher geringen Niederschlagsmengen dürften sich außerdem zu günstigen Zeitpunkten im Mai, Juni, September und Oktober ereignet haben, da trotzdem ein durchaus guter Ertrag erzielt werden konnte.

Im Wesentlichen folgt der Verlauf der **Nitrat- auswaschung** an allen drei Standorten jenem Muster, das auch in den vorangegangenen Jahren regelmäßig bei Winterweizen beobachtet werden konnte. Typisch ist eine erhöhte Auswaschung im Herbst und Winter, welche dann im Frühjahr trotz mehrerer Düngegaben

zurückgeht und üblicherweise im Monat Juni den geringsten Wert aufweist (Abb. 7-1). Im weiteren Jahresverlauf unterschied sich das Jahr 2015 dann jedoch von den durchschnittlichen Verhältnissen, da bis in den Herbst auf Grund der besonderen Sommertrockenheit kein Sickerwasser anfiel und damit auch kein Nitrat ausgewaschen wurde. Unter durchschnittlichen Verhältnissen steigt in Jahren mit Winterweizen bzw. Winterungen allgemein die Nitratauswaschung nach der Ernte wieder an.

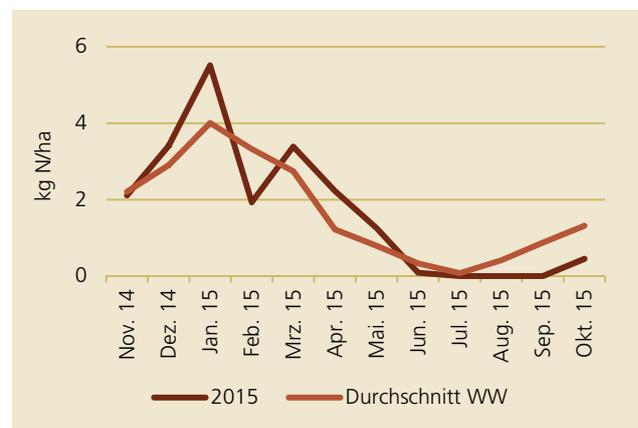


Abb. 7-1: Vergleich der Nitratauswaschung 2015 mit dem Durchschnitt der Winterweizenjahre seit 2002 (Durchschnitt über alle 3 Standorte)

An keinem der Standorte erfolgte eine Herbstdüngung, trotzdem erhöhte sich die Nitratauswaschung während des Winters, besonders am Standort in Pucking, was demnach durch die Mineralisierung nach dem Einarbeiten der Überreste aus der Vorfrucht, verstärkt durch die warmen Temperaturen im Herbst verursacht wurde. Im Durchschnitt der letzten 15 Jahre wurde in Pucking bei Winterweizen stets ein etwa doppelt so hoher Nitrataustrag im Winter beobachtet als auf den beiden tiefgründigen Standorten, obwohl nie eine Herbstdüngung ausgebracht wurde. Daran ist gut zu erkennen, dass Winterweizen während des Winters den noch aus der Vorfrucht stammenden Stickstoff nur teilweise aufnehmen und verwerten kann und der zusätzliche Eintrag durch eine Herbstdüngung ein noch größeres Auswaschungsrisiko be-

deuten würde, was auf seichtgründigen Böden besonders zu beachten ist. Im Vergleich zu vorhergehenden Jahren mit Winterweizenanbau ist der summierte Stickstoffaustrag im Jahr 2014/2015 auf allen Standorten vergleichbar und liegt jeweils im Durchschnitt.

Die **Nitratkonzentrationen** auf dem tiefgründigen Standort in Eberstalzell blieben während des gesamten Jahres unter dem Grundwasserschwellenwert von 45 mg/l. Die Konzentrationen in Pettenbach bewegten sich im Bereich des Grenzwertes, was noch eine Folgewirkung der Wirtschaftsdüngergabe im Jahr 2014 sein dürfte, welche bereits im Vorjahr höhere Konzentrationen in der zweiten Jahreshälfte verursachte. Die Nitratkonzentrationen waren für ein Weizenjahr ungewöhnlich hoch, was sich allerdings durch die geringe Sickerwassermenge nicht negativ auf den Gesamtnitrat- ausstrag auswirkte.

Die Höhe der Nitratkonzentration im Sickerwasser des auswaschungssensiblen Standorts in Pucking ist vor allem auf die Standortbedingungen und den Witterungsverlauf zurückzuführen. Hohe Temperaturen nach der Maisernte im Vorjahr dürften zu einem Mineralisierungsschub im Boden geführt haben, der dann im Zuge einer erheblichen Sickerwasserbildung zur Nitratauswaschung geführt hat. Der im Herbst 2014 angebaute Winterweizen stellte dafür keinen ausreichenden Schutz dar. Die relativ hohe Nitratauswaschung setzte sich fort bis Jänner 2015. Ab diesem Zeitpunkt dürfte die Nährstoffaufnahme durch den Winterweizen begonnen haben. Auch nachfolgende Düngergaben verursachten keinen Anstieg beim Stickstoffaustrag. Dieses Phänomen konnte auch bereits in anderen Jahren mit Winterweizenanbau beobachtet werden, so steigen im Winter die N-Konzentrationen unter Weizen auf Werte weit über 100 mg/l an, welche erst im darauffolgendem Frühjahr absinken.

Die Messung der **N_{min}-Gehalte** im Boden wies den höchsten Wert in Eberstalzell im April mit über 200 kg N/ha aus, welcher das Resultat zweier Mineral-

düngergaben im März und April sowie der Mineralisierung des organischen Stickstoffs im Boden war. Eine Schweinegülledüngung nach der Ernte im Oktober verursachte einen weiteren Anstieg des N_{min}, wenngleich nicht in der selben Höhe. In Pettenbach hingegen dürften alle Düngegaben inklusive der Düngung mit Biogasgülle zum günstigsten Zeitpunkt erfolgt sein, da der N_{min}-Gehalt durchgehend unter 50 kg N/ha blieb. In Pucking blieben die Werte ebenfalls weitgehend unter 50 kg N/ha, außer im August nach der Ernte des Winterweizens. Der Grund dafür dürfte die Bodenbearbeitung zur Einarbeitung des Strohs gewesen sein, die einen Mineralisierungsschub ausgelöst haben dürfte. Der mineralisierte Stickstoff konnte von der angebauten Begrünung erst im Oktober aufgenommen werden. Zusammenfassend sind die N_{min}-Maxima im Jahr 2015 ungewöhnlich hoch für den Winterweizenanbau. Vergleichbar hohe N_{min}-Werte wurden in den letzten Jahren nur in Jahren mit Maisanbau beobachtet.

Die Reihung der Standorte anhand der **Phosphat- auswaschung** erfolgt in genau umgekehrter Reihenfolge als bei der Nitratauswaschung. So war am tiefgründigen Standort in Eberstalzell die Phosphatauswaschung am höchsten, gefolgt vom tiefgründigen Standort in Pettenbach. Die geringste Auswaschung von Phosphat fand in Pucking statt, was entsprechend der Beobachtungen der letzten Jahre eher ungewöhnlich ist. Auf allen Standorten war die P-Auswaschung im Vergleich zu anderen Jahren sehr niedrig. Im Verhältnis zu der bei der Düngung eingebrachten Phosphormenge war der ausgewaschene Anteil somit gering. Alle 3 Standorte lagen im Durchschnitt weit unter dem Grundwasserschwellenwert von 0,3 mg PO₄/l.

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 isopenhydrologische Untersuchungen.

www.lysimeter.at Unterseite Research reports - Modeling/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.

Kuderna, M., Weinberger, C. (2015). Forschungsprojekt Lysimeter. Technischer Endbericht 2014. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz.