



LAND

OBERÖSTERREICH

Forschungsprojekt Lysimeter

Technischer
Endbericht
2016

10

15

20

25

30

35

40

45

50



GTW



lebensministerium.at

Forschungsprojekt Lysimeter

Technischer Endbericht 2016

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, März 2017

DVR: 0069264

Copyright: Grund- und Trinkwasserwirtschaft



INHALTSVERZEICHNIS

1	Zusammenfassung	4
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	Phosphorbilanzen.....	27
5.9	Phosphatauswaschung.....	28
6	Hydrographische Auswertung der UZ-Messstelle Pettenbach.....	31
6.1	Allgemeines	31
6.2	Hydrographische Messergebnisse	31
6.3	Grundwasserneubildung	32
6.4	Bodenwasserverhältnisse	33
7	Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen	37
8	Literatur	39

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) * Juli 2016 nicht gesamtes SW erfasst 15

Abb. 5-6: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2007 (tiefgr. EB) * Juli 2016 nicht gesamtes SW erfasst..... 15

Abb. 5-7: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. EB) * Juli 2016 nicht gesamtes SW erfasst..... 16

Abb. 5-8: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. EB); * Juli 2016 nicht gesamtes SW erfasst 16

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

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

Abb. 5-11: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. PE) ** von Mai bis Sept. nicht gesamtes SW erfasst 18

Abb. 5-12: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2007 (tiefgr. PE) * von Mai – Okt. 2014 und von Mai bis Sept. 2016 nicht gesamtes Sickerwasser erfasst..... 18

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

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

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

Abb. 5-16: Nitratauswaschung 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 Nitratauswaschung (seichtgründig) 22

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

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

Abb. 5-22: Nitratauswaschung 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 * Juli nicht gesamtes SW erfasst ** von Mai bis Sept. nicht gesamtes SW erfasst 25

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

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

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

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

Abb. 5-29: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstalzell 28

Abb. 5-30: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach 29

Abb. 5-31: Phosphatauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking 29

Abb. 5-32: Summe der als Phosphat ausgewaschenen P-Menge an den drei Standorten 30

Abb. 6-1: Niederschlags-Jahressummenlinien 2015 (blau) und 2016 (rot)..... 31

Abb. 6-2: Niederschlags-Monatssummenlinien 2015 (blau) und 2016 (rot)	31
Abb. 6-3: Lufttemperatur-Jahressummenlinie 2015 (blau) und 2016 (rot)	31
Abb. 6-4: Lufttemperatur-Monatssmittel 2015 (blau) und 2016 (rot).....	32
Abb. 6-5: Globalstrahlungs-Monatssummenlinien 2015 (blau) und 2016 (rot) der Station Pettenbach	32
Abb. 6-6: Windgeschwindigkeits-Monatssummenlinien 2015 (blau) und 2016 (rot).....	32
Abb. 6-7: Grundwasserneubildungs-Jahressummenlinien in Pucking 2015 (blau) und 2016 (rot).....	32
Abb. 6-8: Grundwasserneubildungs-Jahressummenlinien in Eberstalzell 2015 (blau) und 2016 (rot).....	33
Abb. 6-9: Grundwasserneubildungs-Jahressummenlinien in Pettenbach 2015 (blau) und 2016 (rot)	33
Abb. 6-10: berechnete Grundwasserneubildungs-Jahressummenlinien in Pettenbach 2015 (blau) und 2016 (rot)	33
Abb. 6-11: Bilanzierte Verdunstungs-Monatssummen 2015 (blau) und 2016 (rot).....	33
Abb. 6-12: Oberboden-Temperaturen 2015 (blau) und 2016 (rot).....	34
Abb. 6-13: Unterboden-Temperaturen 2015 (blau) und 2016 (rot).....	34
Abb. 6-14: Oberbodensaugspannungen 2015 (blau) und 2016 (rot)	34
Abb. 6-15: Unterbodensaugspannungen 2015 (blau) 2016 (rot)	34
Abb. 6-16: SWI des durchwurzelten Bereiches im Freilandprofil (0-40cm) 2015 (blau) und 2016 (rot)	35
Abb. 6-17: SWI unterhalb der Durchwurzelungstiefe im Freilandprofil (40-170cm) 2015 (blau) und 2016 (rot)	35
Abb. 6-18: SWI des durchwurzelten Bereiches im Lysimeter (0-40cm) 2015 (blau) und 2016 (rot).....	35
Abb. 6-19: SWI unterhalb der Durchwurzelungstiefe im Lysimeter (40-150cm) 2015 (blau) und 2016 (rot).....	35

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 3-1: Tätigkeiten BAW (IKT)	7
Tab. 3-2: Analysenprogramm	8
Tab. 4-1: Bewirtschaftungsmaßnahmen 2015/2016 (nach Angaben der Bewirtschafter)	9
Tab. 5-1: Erntemengen und Analyseergebnisse der Ernteproben	10
Tab. 5-2: Stickstoffsalden (jahreswirksam) für das Erntejahr 2016	12
Tab. 5-3: Stickstoffbilanzen (feldfallend) für das Erntejahr 2016	12
Tab. 5-4: Stickstoffauswaschung vom 01.11.15 bis 31.10.16 im Vergleich zur Düngung (jahreswirksam)	24
Tab. 5-5: Sickerwassermengen und durchschnittliche Nitratkonzentration vom 01.11.15 bis 31.10.16	25
Tab. 5-6: Phosphorbilanzen für das Erntejahr 2016	27
Tab. 5-7: Sickerwasser, P ₂ O ₅ -Verluste und mittlere PO ₄ -Konzentration im Sickerwasser vom 01.11.15 bis 31.10.1630	

1 Zusammenfassung

An drei Standorten in Oberösterreich (Pettenbach, Eberstallzell und Pucking) werden seit 1995 Freiland-lysimeter betrieben. Sie sind in Ackerböden eingebaut, die unter Praxisbedingungen von Landwirten bewirtschaftet werden. Der vorliegende Bericht stellt die Ergebnisse des hydrologischen Jahres 2015/16 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 (wie zuvor) ausschließlich mit Mineraldünger sondern auch mit Puten- und Pferdemist gedüngt, der andere wie auch bereits in den vergangenen Jahren mit Schweinegülle.

2016 war in Pettenbach Körnerraps angebaut, auf den beiden anderen Standorten Sojabohne. Das Stickstoffdüngenniveau entsprach beim Körnerraps einer hohen Ertragslage, die Sojabohne in Pucking wurde nicht gedüngt. Die Sojabohne in Eberstallzell hingegen erhielt eine Düngung mit Schweinegülle im Herbst zur Zwischenbegrünung und im Frühjahr vor dem Anbau. 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 2015/16 sind folgend zusammengefasst:

Der Verlauf der N-Auswaschung in Eberstallzell und Pucking zeigt im Vergleich, dass eine Düngung zur Sojabohne selbst bei günstigen Bodenverhältnissen das Risiko einer Nitratauswaschung deutlich erhöht. Sowohl eine Düngegabe vor dem Anbau als auch die Düngung zur vorangegangenen Zwischenfrucht dürfte sich ausgewirkt haben. Zwar schützte die Zwischen-

frucht vor eine Auswaschung über den Winter, allerdings dürfte der von der Begrünung offensichtlich sehr gut verwertete Stickstoff im Frühjahr rascher mineralisiert worden sein, als er von der Sojabohne verwertet werden konnte. Auch die N_{\min} Gehalte im Boden spiegelten die unterschiedliche Düngung an den beiden Standorten deutlich wieder. Sie blieben am seichtgründigen durchwegs auf niedrigem Niveau, während am tiefgründigen Anstiege in Folge der Düngung und der (im Frühjahr zusätzlichen) Mineralisierung deutliche Anstiege zu beobachten waren.

Die ausgewaschene Stickstoffmenge entsprach am tiefgründigen Standort mit Soja dementsprechend ca. einem Drittel der gedüngten (jahreswirksamen) Menge. Anzumerken ist, dass der Ertrag am ungedüngten seichtgründigen Boden höher war, als am tiefgründigen gedüngten. In Summe war damit die Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort deutlich höher als am seichtgründigen, auswaschunggefährdeten Standort, an dem keine Stickstoffdüngung zur Sojabohne (oder zur vorangegangenen Vorfrucht) vorgenommen wurde. Die durchschnittlichen Nitratkonzentrationen betragen 51 mg/l bzw. 27 mg/l.

Generell ist zu beobachten, dass bei Sojabohne ebenso wie bei anderen Kulturen mit später Entwicklung (z.B. Mais) im Mai oder Juni ein großer Teil des Sickerwassers anfällt und diese Periode somit generell bei solchen Kulturen mit einem Auswaschungsrisiko verbunden ist. Dies trifft auch auf das Jahr 2016 zu, wo am tiefgründigen Standort unter Soja ein Großteil der ausgewaschenen Stickstoffmenge (22 von 35 kg N/ha) auf den Monate Mai entfiel.

Der in Pettenbach angebaute Körnerraps verursachte die geringste N-Auswaschung. Die Düngzeitpunkte im Herbst und im Frühjahr dürften somit gut gewählt worden sein. Einzig im Juni traten höhere Nitratkonzentrationen im Sickerwasser auf. Da jedoch weniger Sickerwasser in diesem Zeitraum anfiel, bleibt die Menge der ausgewaschenen N-Menge gering. Im

Jahresmittel lag die Nitratkonzentration mit 9 mg/l weit unter dem Grundwasserswellenwert.

Der größte Phosphoraustrag fand in Pettenbach statt, was für diesen Standort ungewöhnlich ist und dort in diesem Ausmaß bisher noch nicht beobachtet wurde. Ursache dafür waren eine Herbsdüngung mit phosphorreichem Putenmist und die starken Niederschläge während des Sommers. Auch auf den anderen beiden Standorten war die P-Auswaschung höher als in den letzten 3 Jahren. Die Konzentration lag an allen 3 Standorten aber trotzdem unter dem Grundwasserswellenwert von 0,3 mg PO₄/l.

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. Nach einem besonders heißen und trockenen Jahr 2015 folgt mit 2016 ein recht feuchtes und ab Sommer ausgesprochen kühles Jahr. Sowohl im Ober- als auch im Unterboden bleibt die Bodentrockenheit des Jahres 2015 bis in den Mai 2016 bestehen. Nach einem ausgesprochen feuchten Mai und dem niederschlagsreichsten Juli seit 1999 ist danach eine kontinuierliche Wassergehaltszunahme zu beobachten, welche bis Ende des Jahres bestehen bleibt. Die Messungen im Freilandprofil sind mit den Lysimetermessungen grundsätzlich vergleichbar, jedoch treten im Lysimeter immer wieder abrupte Feuchtigkeitsänderungen auf, die auf Staueffekte innerhalb des Lysimeters zurückzuführen sein könnten.

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 Nitrat- und Phosphat-Auswaschung 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 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 2016 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
23.02.2016	Bei der Wetterstation(L3) wurden Wartungsarbeiten (Niederschlagswaage ausgeteilt, Akkuwechsel) durchgeführt. L1, L3 und L4 Messstellenkontrolle Bei der Kontrollmessstelle (K4A) in Pucking ergibt eine Kontrolle, dass eine Deckelerneuerung notwendig ist.
22.03.2016	Bei L1 wurde der Aufsatzring gezogen. Es wird nach der Bodenbearbeitung Ackerbohne angebaut. Bei der Wetterstation (L3) wurde ein neuer Akku (12V, 27 Ah, Solar) installiert. L1, L3 und L4 Messstellenkontrolle
28.04.2016	Bei Lysimeter 4 wurde der Aufsatzring eingebaut (Soja wurde vor ca.1 Woche angebaut) Kontrollmessstellen kontrolliert
09.05.2016	Bei Lysimeter 1 wurde der Aufsatzring eingebaut (Soja wurde vor ca.1 Woche angebaut)

Datum	Tätigkeit
	L1, L3 und L4 Alle Messstellen freigemäht. L1, L3 und L4 Messstellenkontrolle
06.06.2016	Bei L1 und L4 wurden Sojapflanzen außerhalb des Lysimeters nachgesetzt Der verrostete Gefrierruhendeckel bei K4A wurde entfernt und durch einen neuen Isolierdeckel ersetzt. L1, L3 und L4 Messstellenkontrolle
11.07.2016	Bei L3 wurde der Aufsatzring gezogen, die Messfühler ausgebaut und ihm Rohr versenkt. L1, L3 und L4 Messstellenkontrolle
24.08.2016	Bei L1 wurde das Manometer bei der Vakuumflasche der Kontrollmessstellen ausgetauscht. L1 und L3 Messstellen ausgemäht. L1, L3 und L4 Messstellenkontrolle
28.09.2016	Bei L4 wurde der Aufsatzring aufgesetzt und Wintergerste angebaut. Bei L1 wurde der Aufsatzring gezogen. L1, L3 und L4 Messstellenkontrolle
31.10.2016	Bei L3 wurde der Aufsatzring aufgesetzt, Messfühler am und neben Lysimeter eingebaut und Wintergerste nachgesetzt (ca. 5 cm hoch). L1 und L3 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 0-30cm	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 2016. 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 2016 war auf den Standorten in Eberstanzell und Pucking Sojabohne, in Pettenbach Körnerraps. Die einzelnen Bewirtschaftungsmaßnahmen sind in Tab. 4-1 angeführt. Die Summe der N-Düngung betrug am tiefgründigen Standort in Eberstanzell demnach 60 kg N/ha (jahreswirksam), am tiefgründigen Standort in Pettenbach 165 kg N/ha (jahreswirksam) und am

Tab. 4-1: Bewirtschaftungsmaßnahmen 2015/2016 (nach Angaben der Bewirtschafter)

seichtgründigen Standort wurde kein Stickstoff- oder Phosphordünger ausgebracht. Die Phosphordüngermengen betragen in Eberstanzell 24 kg P₂O₅/ha und in Pettenbach 200 kg P₂O₅/ha.

Bezüglich der Stickstoffdüngung entspricht das Düngenniveau in Pettenbach einer hohen Ertragslage. In Eberstanzell lag die Düngemenge im Bereich der empfohlenen Menge von 0-60 kg N/ha für alle Ertragslagen bei Soja. (RL für die sachgerechte Düngung, 6. Aufl., Baumgarten, 2006).

Datum	Tiefgr. Eberstanzell	Tiefgr. Pettenbach	Seichtgr. Pucking
31.07.2015			Begrünung angebaut (Wassergüte früh)
08.08.2015	Begrünung angebaut (Wassergüte fein)		
18.08.2015		Düngung Putenmist 20 m ³ /ha	
23.08.2015		Aussaat Körnerraps	
29.09.2015	Düngung Schw.gülle 12 m ³ /ha		
27.02.2016		Düngung Ammongranulat (277 kg/ha)	
05.03.2016		Düngung Ammonsulfat (180 kg/ha)	
22.03.2016	Gegrubbert		
01.04.2016			Düngung 60er Kali 151 kg/ha
07.04.2016	Düngung Schw.gülle 12 m ³ /ha		
08.04.2016	Gegrubbert		
20.04.2016			Aussaat Sojabohne
23.04.2016	Aussaat Sojabohne		
20.07.2016		Ernte Körnerraps	
30.07.2016		Scheibenegge	
09.09.2016			Ernte Sojabohne
28.09.2016	Ernte Sojabohne (3.600 kg/ha)	Aussaat Wintergerste	
21.11.2016	Gepflügt		

5 Ergebnisse

5.1 Wirtschaftsdünger und Ernteproben

Die im September 2015 ausgebrachte Schweinegülle in Eberstanzell hatte einen Ammoniumstickstoffgehalt von 2,24 kg/m³ und einen Gesamtstickstoffgehalt von 3,8 kg/m³. Umgerechnet auf jahreswirksamen Stickstoff ergibt das 2,6 kg/m³. Der P₂O₅ - Gehalt betrug 0,71 kg/m³.

Im April 2016 wurde nochmal Schweinegülle am Standort in Eberstanzell ausgebracht. Diese hatte einen Ammoniumstickstoffgehalt von 2,58 kg/m³ und einen Gesamtstickstoffgehalt von 3,4 kg/m³. Umgerechnet auf jahreswirksamen Stickstoff ergibt das 2,4 kg/m³. Der P₂O₅ - Gehalt betrug 0,65 kg/m³.

Der am Standort in Pettenbach ausgebrachte Putenmist wurde nicht analysiert, sondern es wurde der Richtwert von 7,7 kg Gesamt-N/m³ gemäß den Richtlinien für die sachgerechte Düngung (6. Aufl., Baumgarten, 2006) für die weiteren Berechnungen verwendet.

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 Eberstanzell 3,7 t/ha Sojabohne geerntet, das entspricht einer hohen Ertragslage. Am seichtgründigen Standort wurden etwas mehr, nämlich 3,9 t Sojabohne geerntet. Am tiefgründigen Standort in Pettenbach belief sich die Ernte von Körnermais auf 6,2 t, was einer hohen Ertragslage Stufe 3 (h3) entspricht.

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	335	93%	93,7	8,4
Tiefgr. EB- MW Korn	323	89%	84,6	8,7
Tiefgr. EB- Lys Stroh	314	98%	18,5	2,4
Tiefgr. EB- MW Stroh	291	86%	16,9	2,3
Tiefgr. PE - Lys Korn	666	91%	30,1	8,4
Tiefgr. PE - MW Korn	568	93%	29,4	6,6
Tiefgr. PE - Lys Stroh	1214	65%	6,4	1,7
Tiefgr. PE - MW Stroh	1231	70%	8,3	2,1
Seichtgr. - Lys Korn	432	91%	75,2	7,2
Seichtgr. - MW Korn	349	88%	75,6	8,7
Seichtgr. - Lys Stroh	331	90%	7,3	2,8
Seichtgr. - MW Stroh	341	88%	13,8	3,9

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 etwas höher als der Durchschnitt aus Lysimeterfläche und Kontrollstellen liegt, insbesondere in Pettenbach (17%) und in Pucking (24%). Der Strohertrag hingegen ist an allen Standorten beim Lysimeter und beim Mittelwert in etwa ident.

Ein Vergleich der im Rahmen der Untersuchung gewogenen Ernte mit den Angaben der Bewirtschafter ergab am Standort Eberstanzell eine sehr gute Übereinstimmung (3,6 t/ha bei 17,5% Feuchte). Auf den anderen beiden Standorten wurde von den Landwirten kein Ertrag angegeben.

5.2 Stickstoffbilanzen

Eine Gegenüberstellung der Stickstoffentzüge mit dem N-Düngeaufwand (jahreswirksam) ergibt für die Standorte in Eberstanzell und Pucking einen durchwegs negativen Saldo von -214 bis -325 kg N/ha. Der stark negative Saldo ergibt sich aus der Tatsache, dass an beiden Standorten Soja angebaut wurde, und demnach in Pucking keine Düngung und in Eberstanzell eine im Vergleich zum Entzug geringe Düngemenge ausgebracht wurde. Bei Leguminosen wie die Sojabohne ist zu beachten, dass diese den Stickstoff aus der Luft binden können, diese Stickstoffmenge in der Berechnung des N-Saldos jedoch nicht enthalten ist. In Pettenbach ist der Saldo von Körnertraps ausgeglichen bis leicht negativ (-36 kg N/ha). Die Stickstoffsalden bezogen auf jahreswirksamen Stickstoff und die einzelnen Bilanzglieder werden in Tab. 5-2 aufgelistet. 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 68 kg N/ha. In Eberstanzell bleibt die Bilanz auch unter Berücksichtigung der feldfallenden N-Düngemenge weiterhin negativ. Da in Pucking zur Kultur 2015/2016 kein Dünger verwendet wurde, sind Bilanzen in beiden Tabellen 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 34 bis 61 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 2016

	Tiefgründiger Standort in Eberstalzell		Tiefgründiger Standort in Pettenbach		Seichtgründiger Standort in Pucking	
	----- kg N/ha -----					
Stickstoffzufuhr aus Düngung jahreswirksam	60		165		0	
Entzug durch die Pflanzen	Lysimeter	Mittelwert	Lysimeter	Mittelwert	Lysimeter	Mittelwert
Entzug durch das Korn	314	274	201	167	325	264
Entzug durch das Stroh	58	50	78	102	24	47
Summe Entzug	372	324	279	269	349	311
Abfuhr durch Ernte	314	274	201	167	325	264
Saldo Korn	-254	-214	-36	-2	-325	-264
Saldo Korn + Stroh	-312	-264	-114	-104	-349	-311
Saldo Ernte	-254	-214	-36	-2	-325	-264

Tab. 5-3: Stickstoffbilanzen (feldfallend) für das Erntejahr 2016

	Tiefgründiger Standort in Eberstalzell		Tiefgründiger Standort in Pettenbach		Seichtgründiger Standort in Pucking	
	----- kg N/ha -----					
Stickstoffzufuhr aus Düngung feldfallend	75		235		0	
Entzug durch die Pflanzen	Lysimeter	Mittelwert	Lysimeter	Mittelwert	Lysimeter	Mittelwert
Entzug durch das Korn	314	274	201	167	325	264
Entzug durch das Stroh	58	50	78	102	24	47
Summe Entzug	372	324	279	269	349	311
Abfuhr durch Ernte	314	274	201	167	325	264
Bilanz Korn	-239	-199	34	68	-325	-264
Bilanz Korn + Stroh	-297	-249	-44	-34	-349	-311
Bilanz Ernte	-239	-199	34	68	-325	-264

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 unterschiedliche Kulturen angebaut waren und diese unterschiedlich hoch gedüngt wurden, zeigt der Vergleich der Messwerte einen unterschiedlichen Verlauf.

Am tiefgründigen Standort in Eberstalzell war im Herbst 2015 nach der Winterweizenernte und einer Schweinegüllegabe der N_{min}-Gehalt mit 111 kg N/ha sehr hoch. Der Rückgang in den Folgemonaten kann als Effekt der Zwischenbegrünung interpretiert werden. Bis zum April blieben die Werte bei ca. 20 kg N/ha. Die im April erfolgte zweite Schweinegüllegabe. Der N_{min}-Gehalt im Boden stieg im Anschluss wieder auf 134 kg N/ha, wobei aber auch die Mineralisierung von Stickstoff im Boden eine Rolle gespielt haben könnte (Abb. 5-1).

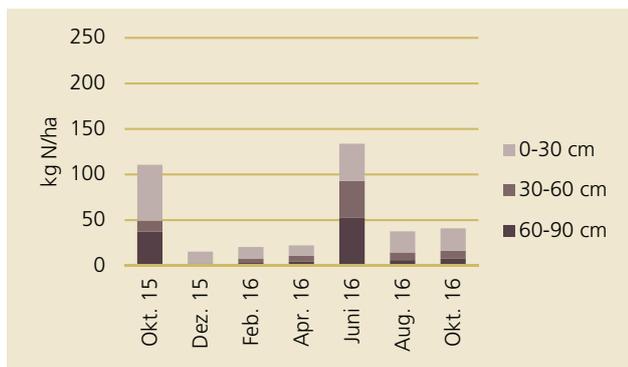


Abb. 5-1: N_{min}-Gehalte am tiefgründigen Standort in Eberstalzell

Am tiefgründigen Standort in Pettenbach blieb der N_{min}-Gehalt von Oktober bis Dezember unter 15 kg N/ha. Der Ende August 2015 angebaute Winter rapс dürfte die Nährstoffe gut aufgenommen haben. Ab dem Spätwinter/Frühjahr stiegen die Werte nach zwei Mineraldüngergaben an und erreichten

122 kg N/ha. Im restlichen Jahresverlauf schwankte der N_{min}-Gehalt um ca. 50 kg N/ha (Abb. 5-2).

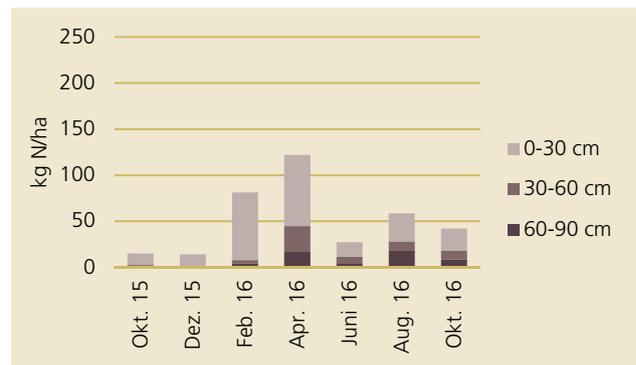


Abb. 5-2: N_{min}-Gehalte am tiefgründigen Standort in Pettenbach

Am seichtgründigen Standort in Pucking ist ein durchgängig niedriger Verlauf zu beobachten. Der Anbau von Sojabohne erforderte keine Düngung, wodurch der N_{min}-Gehalt stets unter 50 kg N/ha lag (Abb. 5-3).

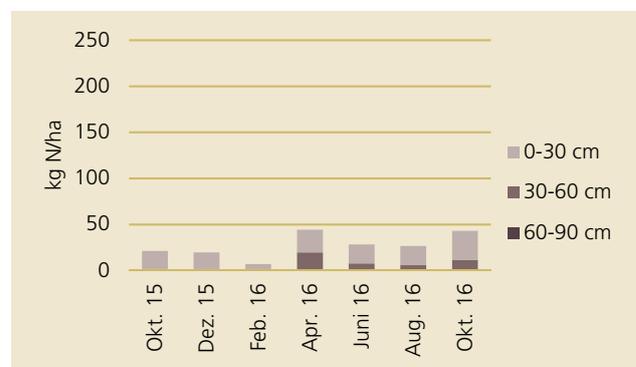


Abb. 5-3: N_{min}-Gehalte am seichtgr. Standort in Pucking

Im Vergleich aller 3 Standorte zeigt sich, dass im Jahr 2015 die höchsten N_{min}-Werte am tiefgründigen Standort in Eberstalzell gemessen wurden, wo Dünger ausgebracht wurde, obwohl dies zu Sojabohne nicht notwendig gewesen wäre (Abb. 5-1). Die Höchstwerte sind im Oktober 2015 und Juni 2016 zu finden, jeweils nach einer Schweinegüllegabe. In Pettenbach wurden ebenfalls erhöhte N_{min}-Gehalte gemessen. Diese sind auf zwei Mineraldüngergaben Ende Februar und Anfang März zurückzuführen.

In Abb. 5-4 wird der mehrjährige Verlauf der N_{\min} -Messungen seit Ende 2007 grafisch dargestellt. Im Vergleich zu den vorhergehenden Jahren ist zu erkennen, dass die N_{\min} -Gehalte 2016 im durchschnittlichen Bereich lagen.

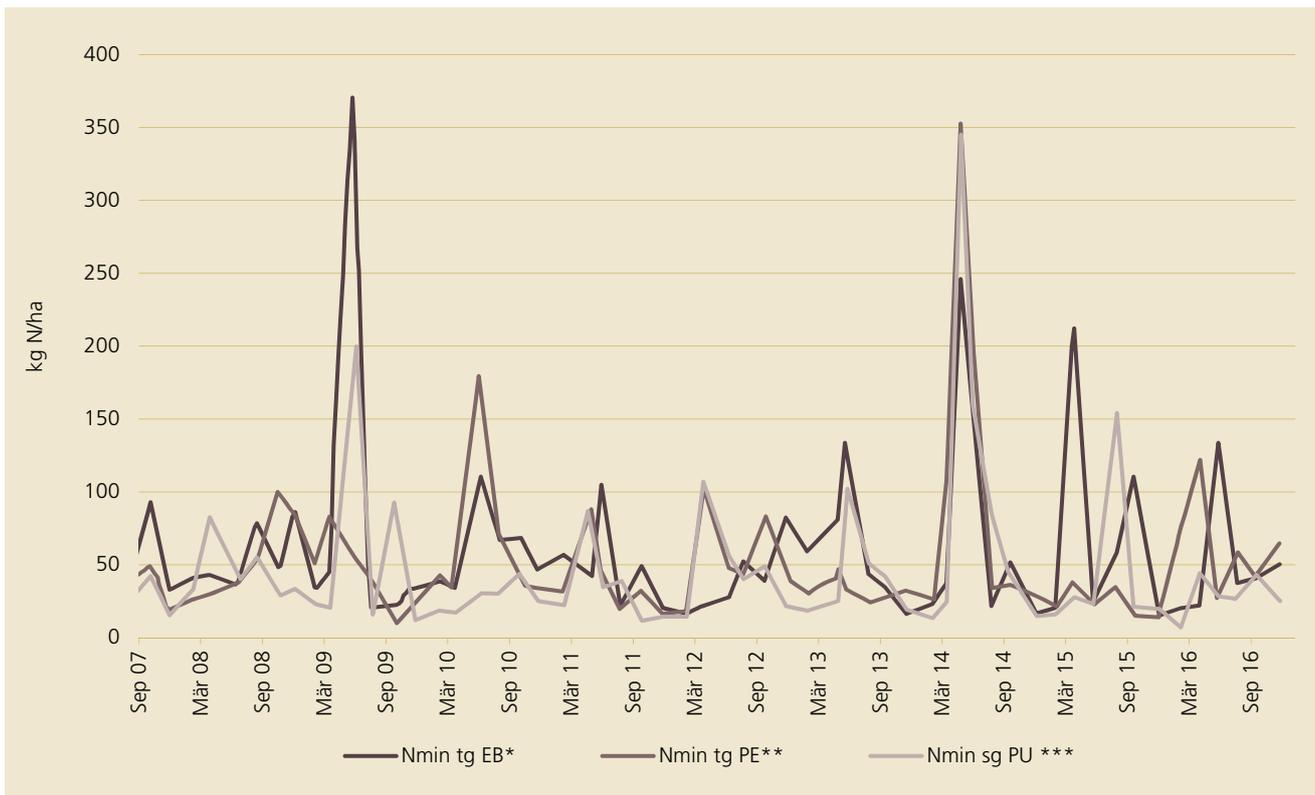


Abb. 5-4: Vergleich der N_{\min} -Gehalte der Standorte seit September 2007

- * tiefgründiger Standort in Eberstälzell
- ** 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 2015/16 fielen 1.151 mm Niederschlag. Die Sickerwassermenge in diesem Zeitraum betrug 303 mm, was 26% der Niederschlagsmenge entspricht. Die Niederschlagsmenge war im gesamten Jahr auffällig hoch. Die Monatssummen Mai und Juli bilden im Jahresverlauf 2 ausgeprägte Spitzen, welche bei 170 mm und knapp 300 mm liegen (Abb. 5-5).

Die Sickerwasserbildung verlief im Jahr 2015/16 durchwegs parallel zum Niederschlagsverlauf. So konnte im Mai 2016 eine beachtliche Menge von 75 mm gemessen werden. Im Juli 2016 war wegen Hochwasser ein Gefäß zur Sickerwassermessung umgefallen, weshalb eine beträchtliche Menge an Si-

ckerwasser nicht erfasst werden konnte. Es ist daher davon auszugehen, dass in diesem Monat die Sickerwassermenge ebenfalls erhöht war.

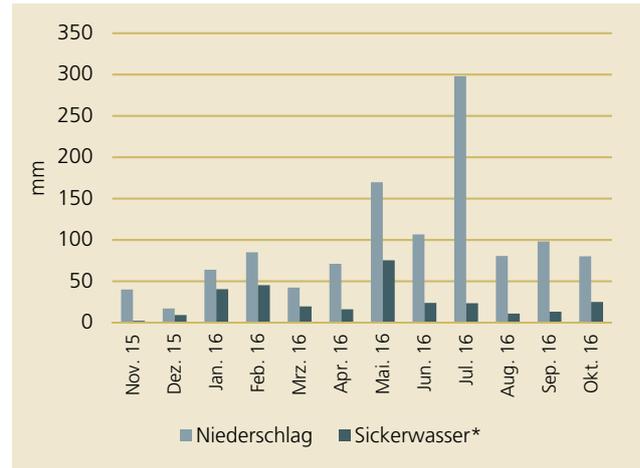


Abb. 5-5: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. EB)

* Juli 2016 nicht gesamtes SW erfasst

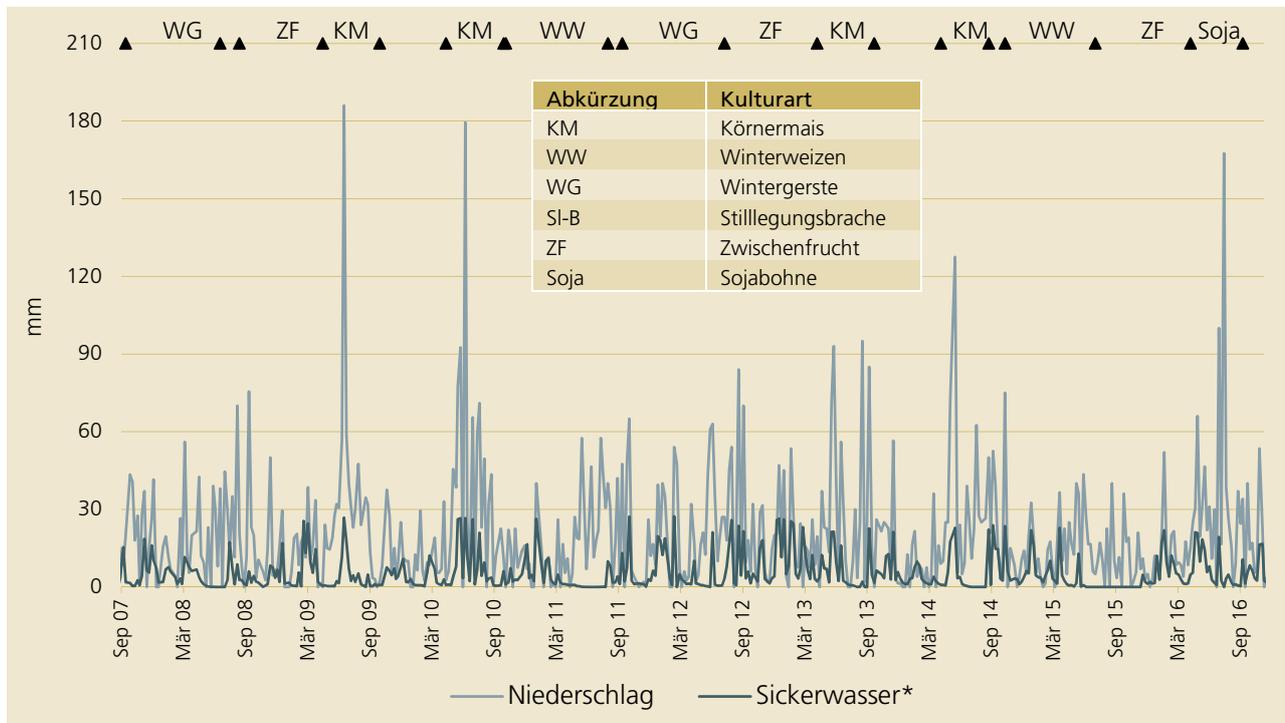


Abb. 5-6: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2007 (tiefgr. EB) *Juli 2016 nicht gesamtes SW erfasst

5.4.2 Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser

Die monatliche Sickerwassermenge zeigt im Jahresverlauf ein Maximum im Mai 2016 und ein kleineres im Jänner-Februar 2016 (Abb. 5-7).

Die Nitratauswaschung zeigte einen Verlauf, wie er für Jahre mit spät entwickelnden Kulturen typisch ist. Während über den Winter die Begrünung einen Schutz bot, kommt es im Mai zu einer Auswaschungsspitze (22 kg N/ha), die als Folge der Düngung und Stickstoffmineralisierung in Kombination mit einer erst später einsetzenden Stickstoffaufnahme der Pflanzen interpretiert werden kann. Die Jahresgesamtsumme der ausgewaschenen Stickstoffmenge betrug 35 kg N/ha.

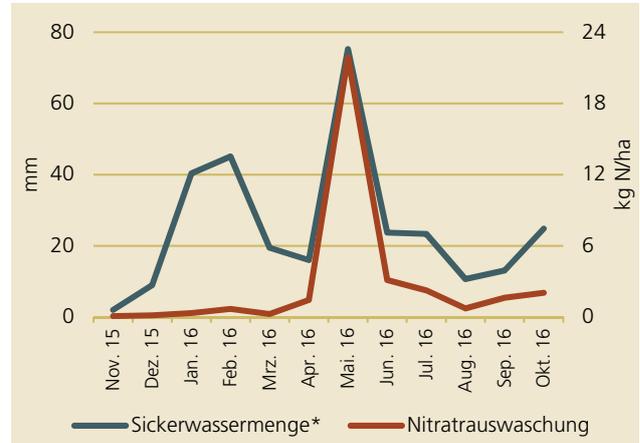


Abb. 5-7: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. EB)

* Juli 2016 nicht gesamtes SW erfasst

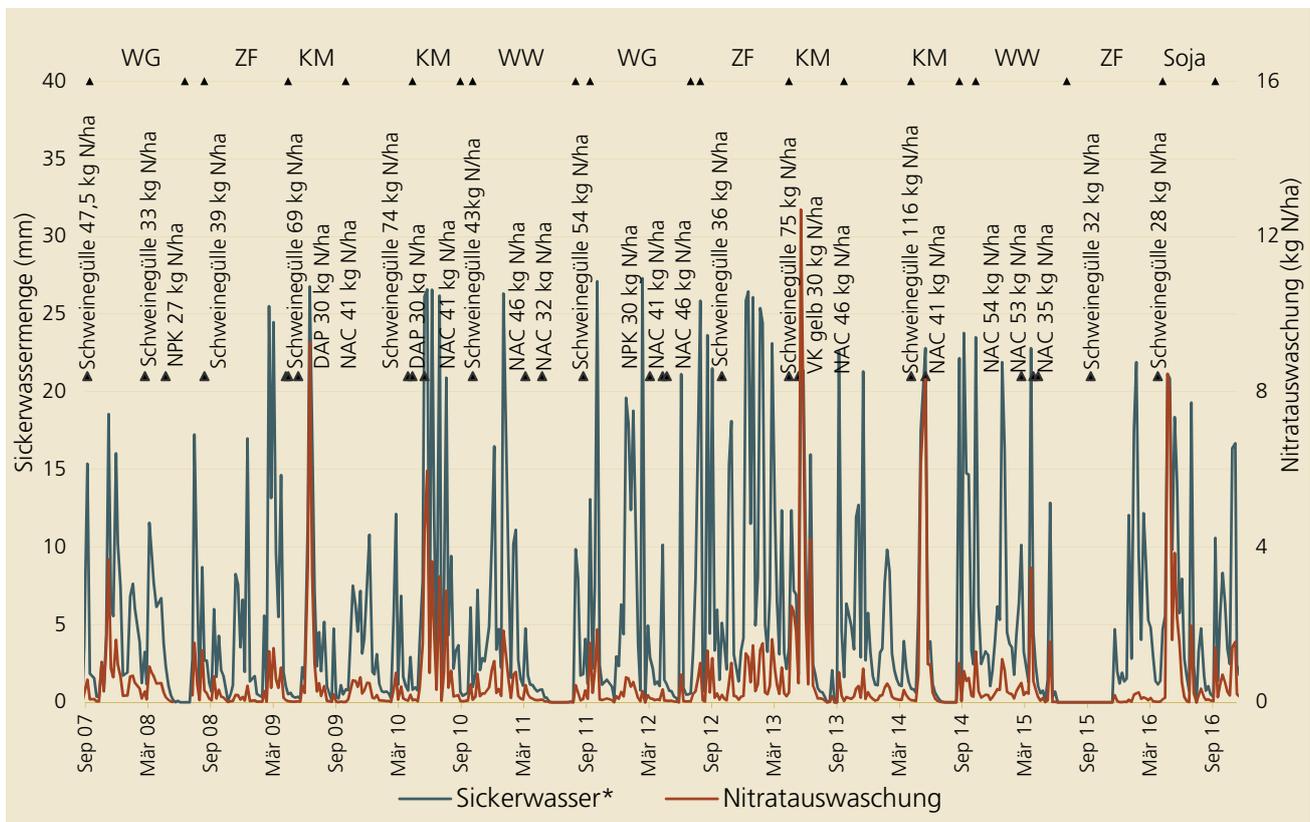


Abb. 5-8: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. EB); *Juli 2016 nicht gesamtes SW erfasst

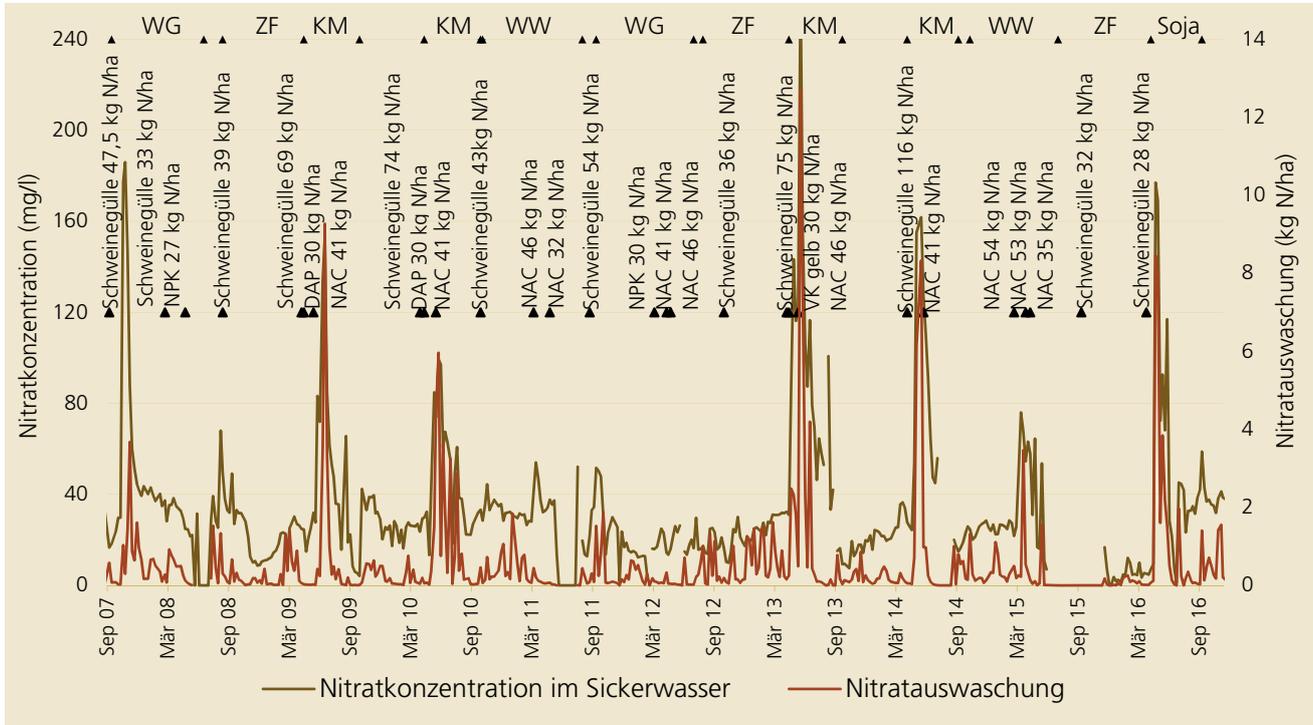


Abb. 5-9: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (tiefr. EB)

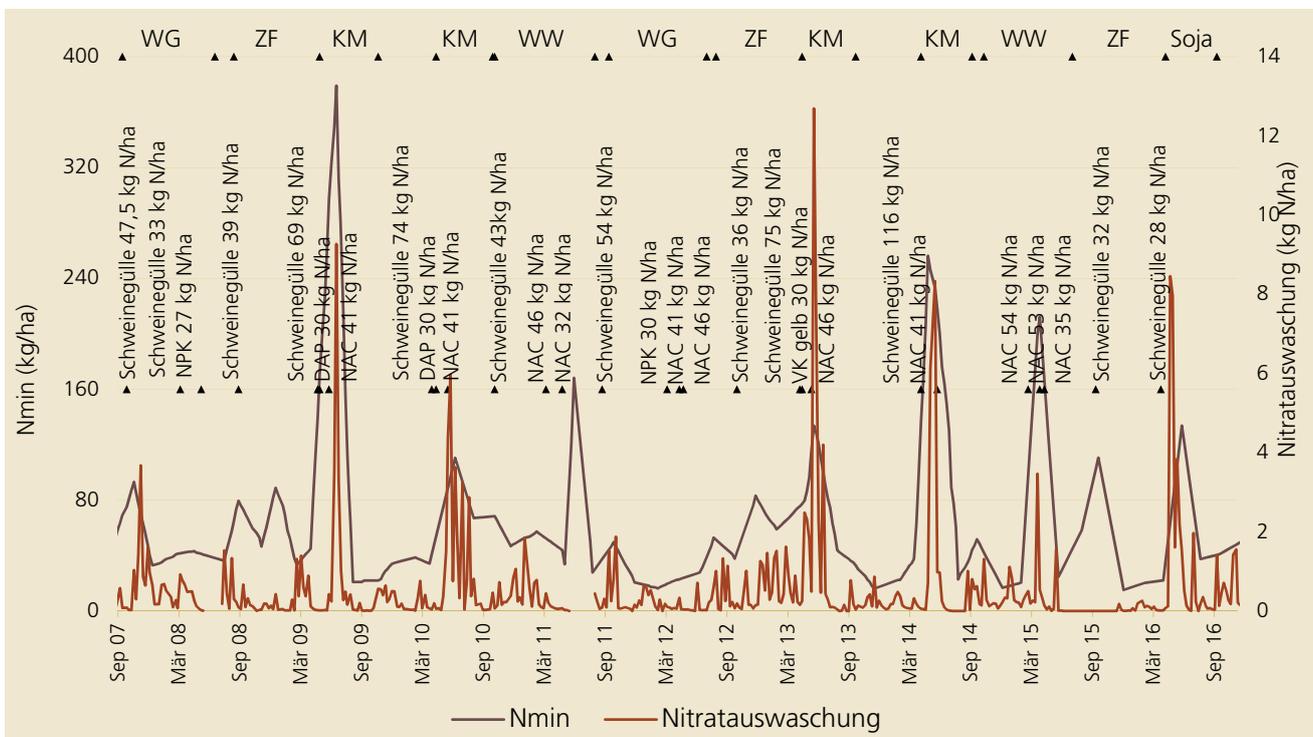


Abb. 5-10: Nitratauswaschung und N_{min}-Gehalte des Bodens (tiefr. EB)

5.5 Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach

5.5.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

Im hydrologischen Jahr 2015/16 betrug die Niederschlagssumme 1.127 mm, die gemessene Sickerwassermenge im selben Zeitraum 414 mm, das entspricht etwa 37% der Niederschlagsmenge (Abb. 5-11). Von Mai bis September wurde allerdings vereinzelt nicht das gesamte Sickerwasser erfasst, da der Sammelkanister überfüllt war.

Die höchsten Niederschläge traten wie in Eberstallzell im Mai und Juli auf, wobei die Niederschlagsmengen im Juli um einiges geringer ausfielen. Im April wurde nur sehr wenig Sickerwasser gemessen und von Juli bis

Oktober blieb die Sickerwassermenge pro Monat relativ konstant.

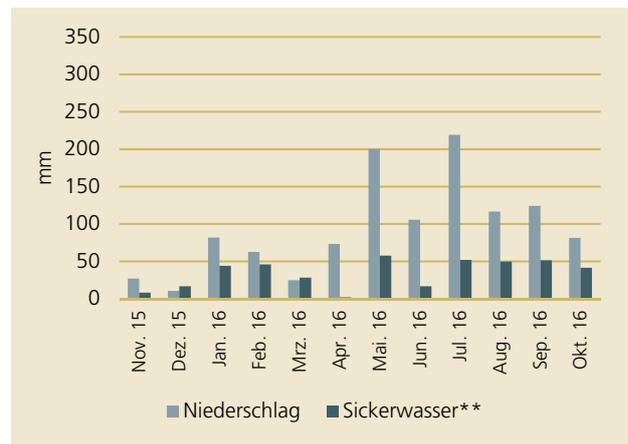


Abb. 5-11: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. PE) ** von Mai bis Sept. nicht gesamtes SW erfasst

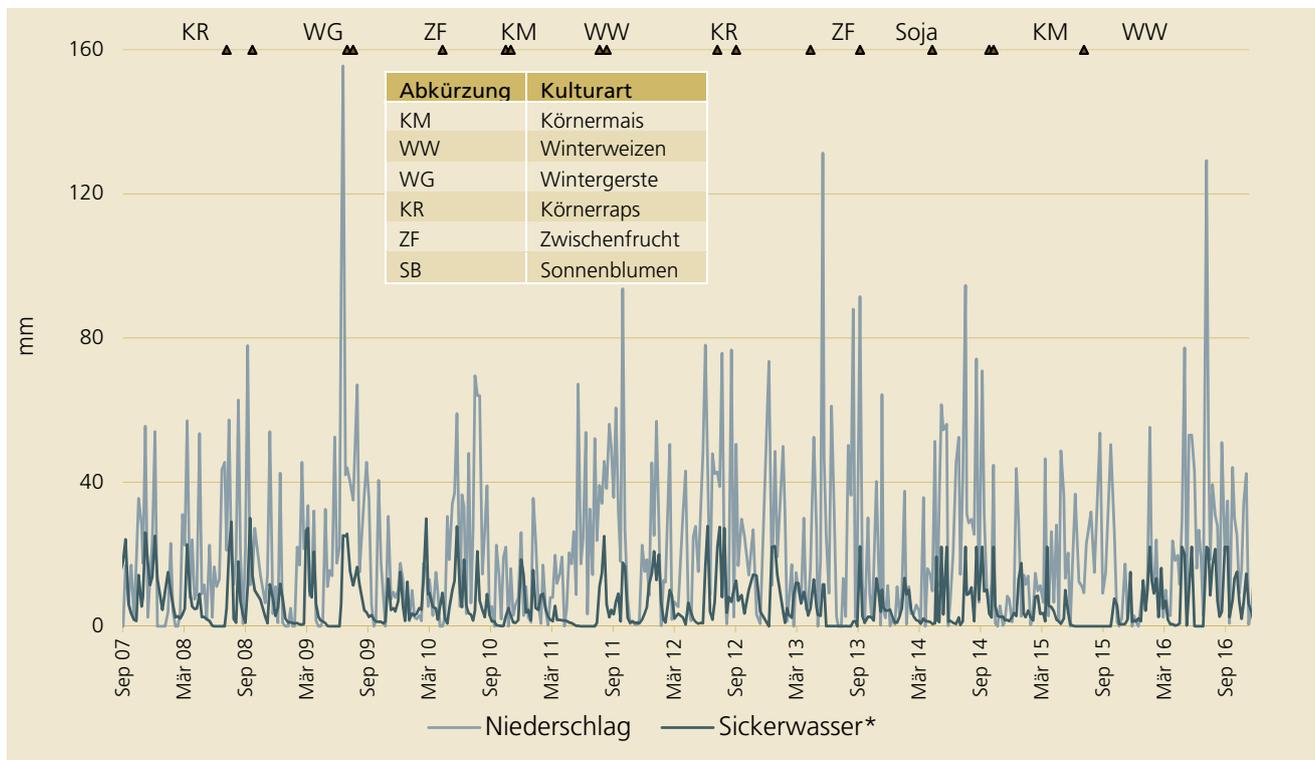


Abb. 5-12: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2007 (tiefgr. PE) * von Mai – Okt. 2014 und von Mai bis Sept. 2016 nicht gesamtes Sickerwasser erfasst

5.5.2 Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser

Die Sickerwassermenge ist mit 414 mm um knapp 100 mm höher als am Standort in Eberstallzell. Die Spitze im Mai ist jedoch nicht so stark ausgeprägt. Vielmehr ist der hohe Sickerwasseraustritt in Pettenbach auf das gesamte Jahr aufgeteilt, mit Ausnahme der regenschwächeren Monate April und Juni.

Die Nitratauswaschung ist im Jahr 2015/16 gering und blieb stets in einem Bereich unter 3 kg N/ha und Monat. Gegen Herbst 2016 steigen die Werte im Vergleich zu den Vormonaten leicht an (Abb. 5-13). Insgesamt wurden im hydrologischen Jahr 2015/16 8,8 kg N/ha ausgewaschen (Abb. 5-14).

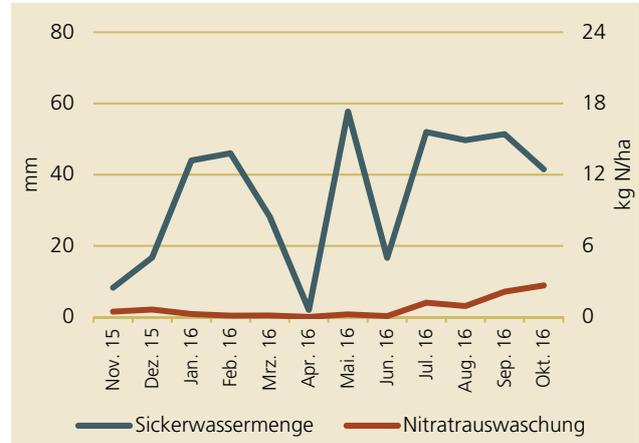


Abb. 5-13: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. PE)

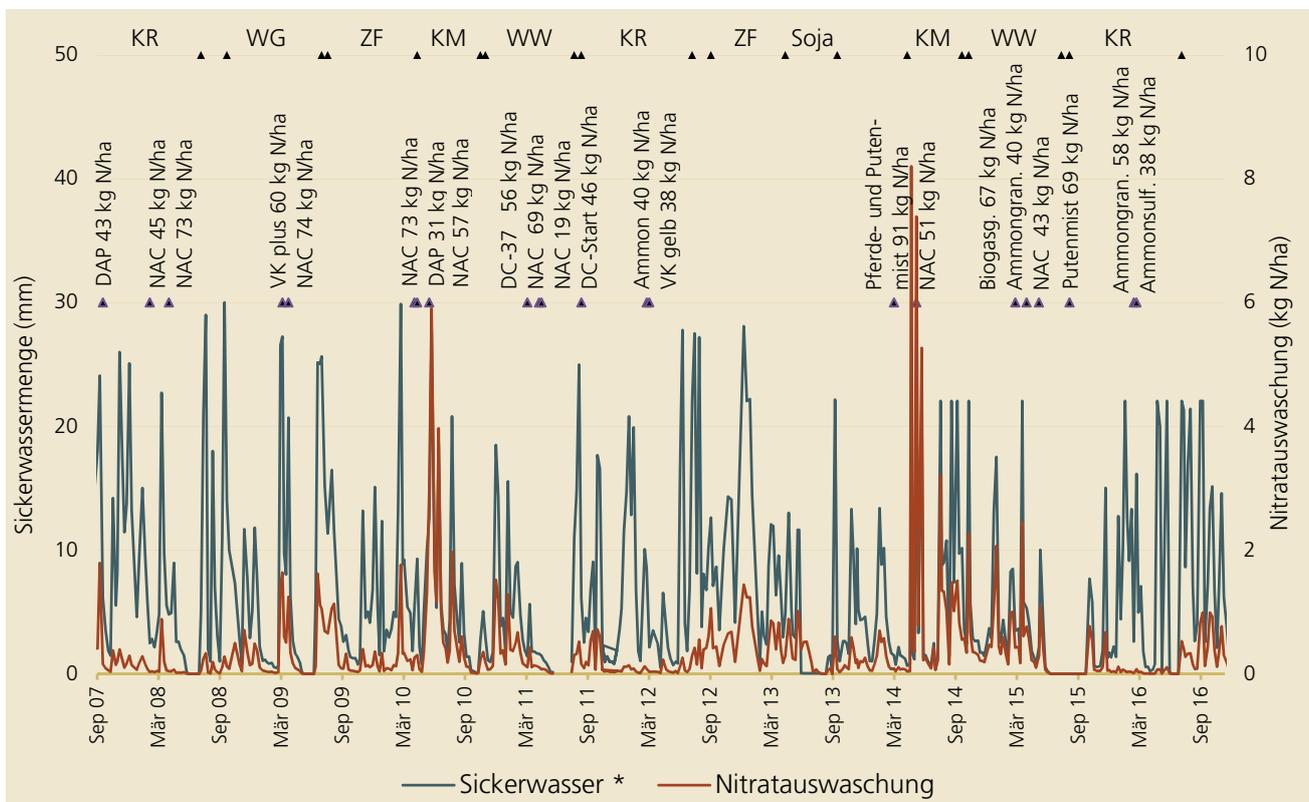


Abb. 5-14: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. PE) *von Mai – Okt. 2014 nicht gesamtes Sickerwasser erfasst

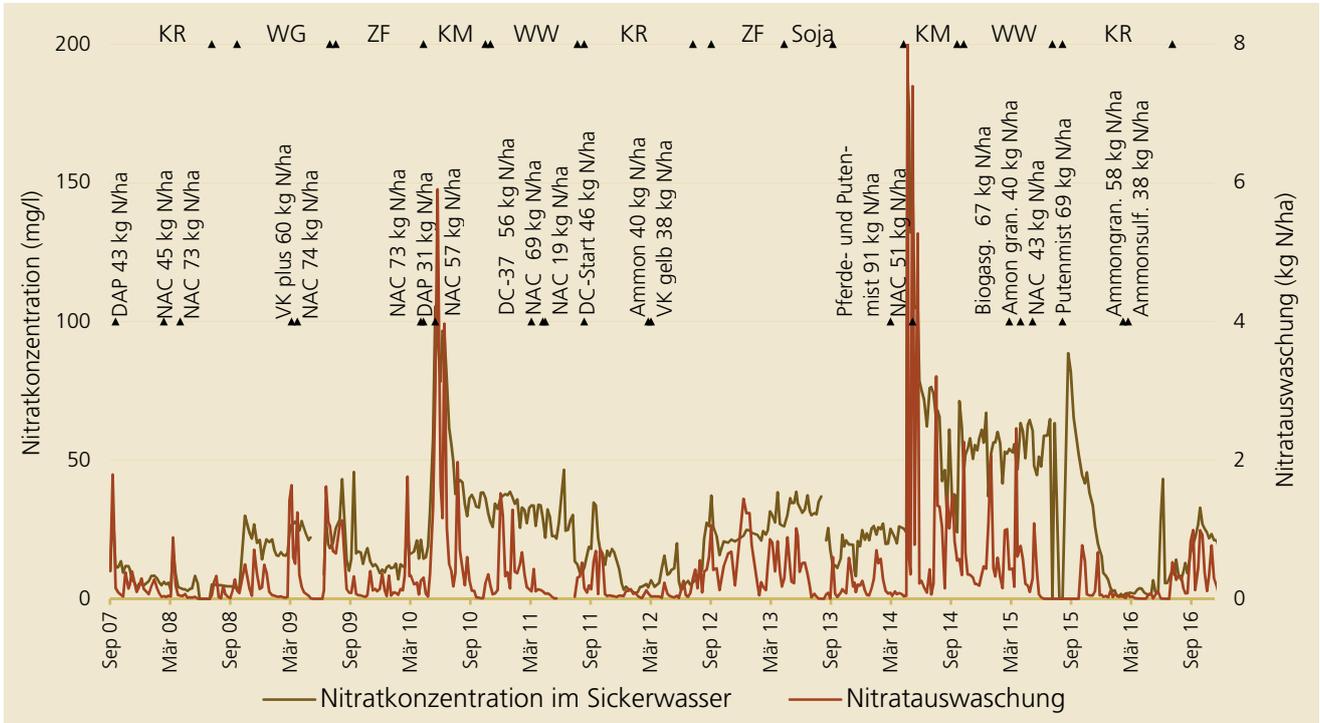


Abb. 5-15: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (tiefgr. PE)

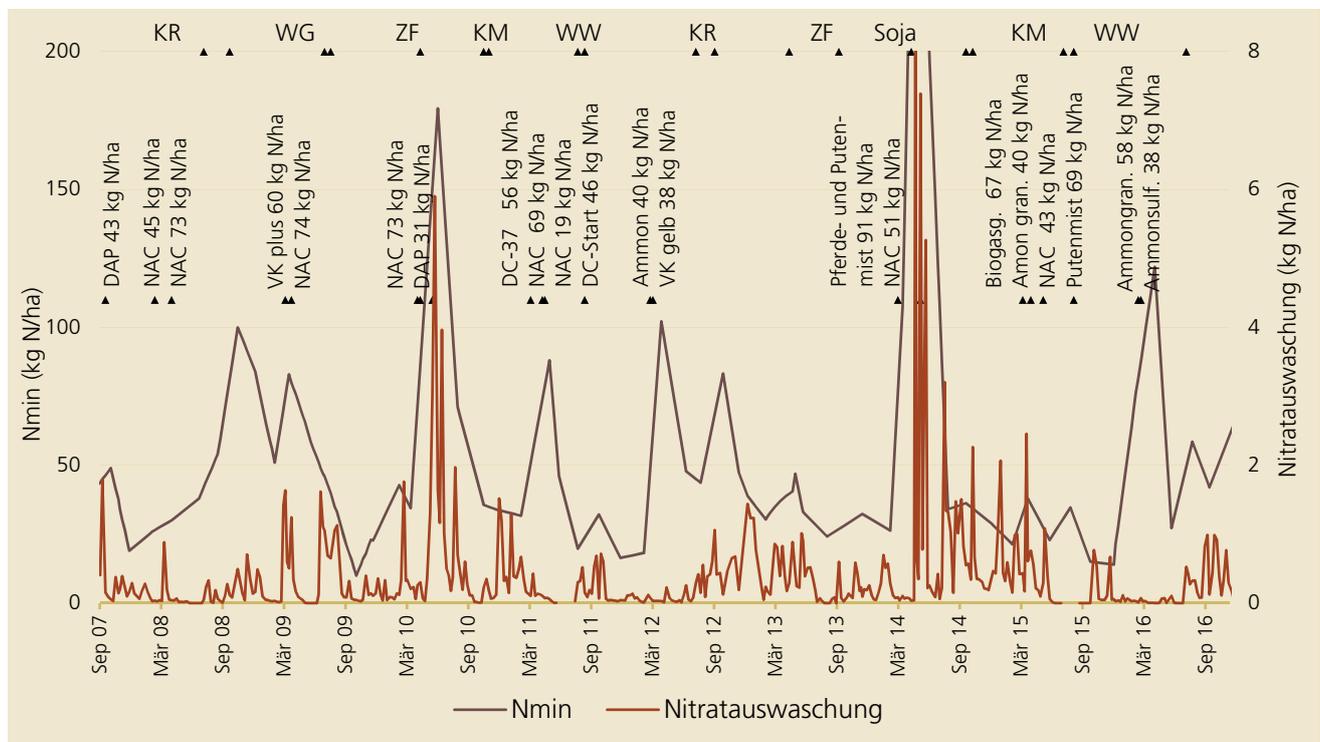


Abb. 5-16: Nitratauswaschung und N_{min}-Gehalte des Bodens (tiefgr. PE)

5.6 Nitratauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking

5.6.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

Am seichtgründigen Standort fielen im hydrologischen Jahr 2015/16 in Summe 943 mm Niederschlag (Abb. 5-17). Wie auch bereits auf den anderen Standorten beobachtet, ereigneten sich die höchsten Niederschläge im Mai und Juli. Am seichtgründigen Standort sind die Spitzen allerdings nicht so stark ausgeprägt.

Die Sickerwasserbildung erfolgte hauptsächlich in den Monaten Februar, Mai und Juni. Von November bis Dezember 2015 und von August bis September 2016 trat kein oder nur sehr wenig Sickerwasser auf. In Summe lag die Sickerwasserbildung bei 279 mm, was rund 30% der Niederschlagssumme entspricht.



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

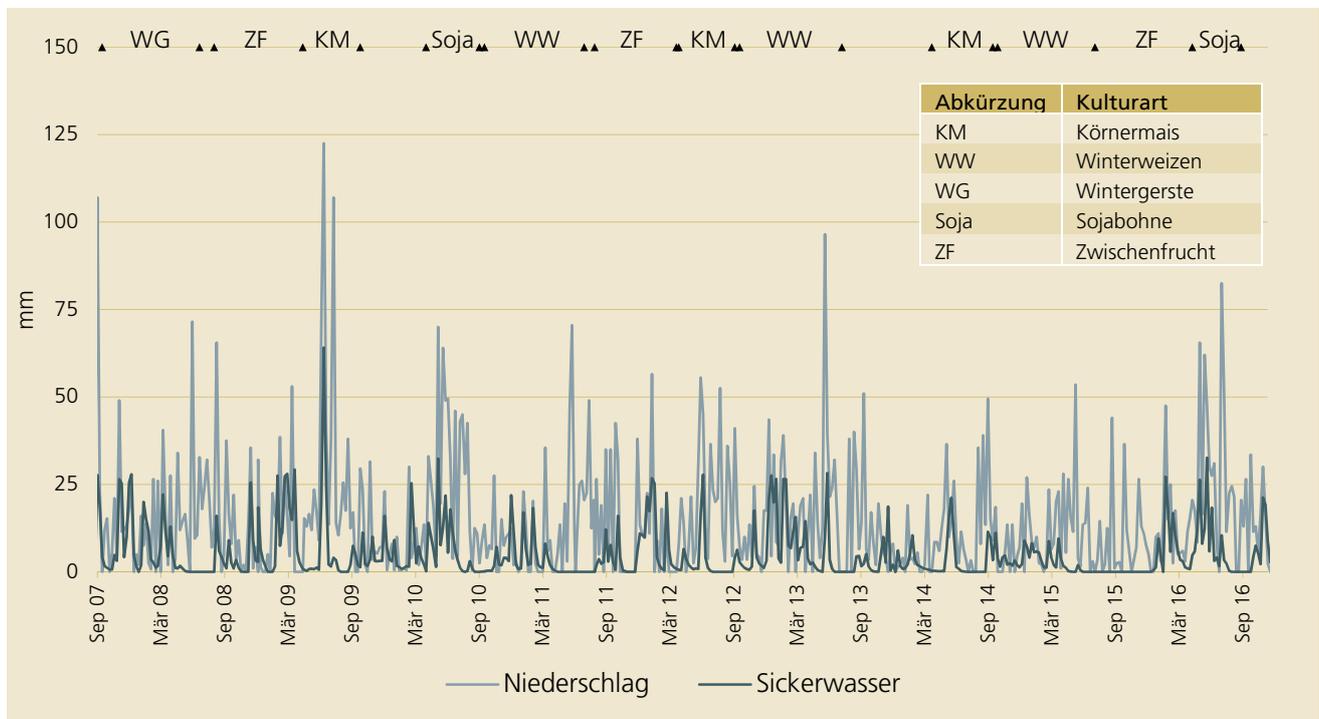


Abb. 5-18: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2007 (seichtgründig)

5.6.2 Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser

Der Verlauf der Nitratauswaschung folgte im Wesentlichen der Sickerwasserbildung (Abb. 5-19). So sind zwei Spitzen im Februar und im Mai/Juni zu beobachten. Die Nitratauswaschung war für den Standort vergleichsweise gering und blieb stets unter 5 kg N/ha und Monat.

In den Monaten November bis Dezember 2015 und August bis September 2016 wurde keine Nitratauswaschung beobachtet, da die Sickerwassermenge gegen Null ging. Insgesamt wurden im hydrologischen Jahr 2015/16 rund 17 kg N/ha ausgewaschen.

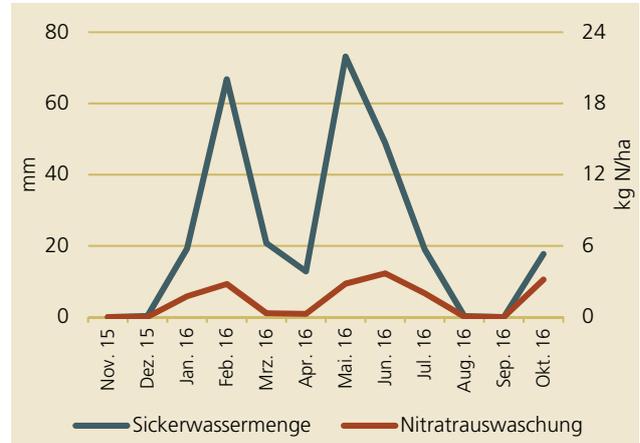


Abb. 5-19: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig)

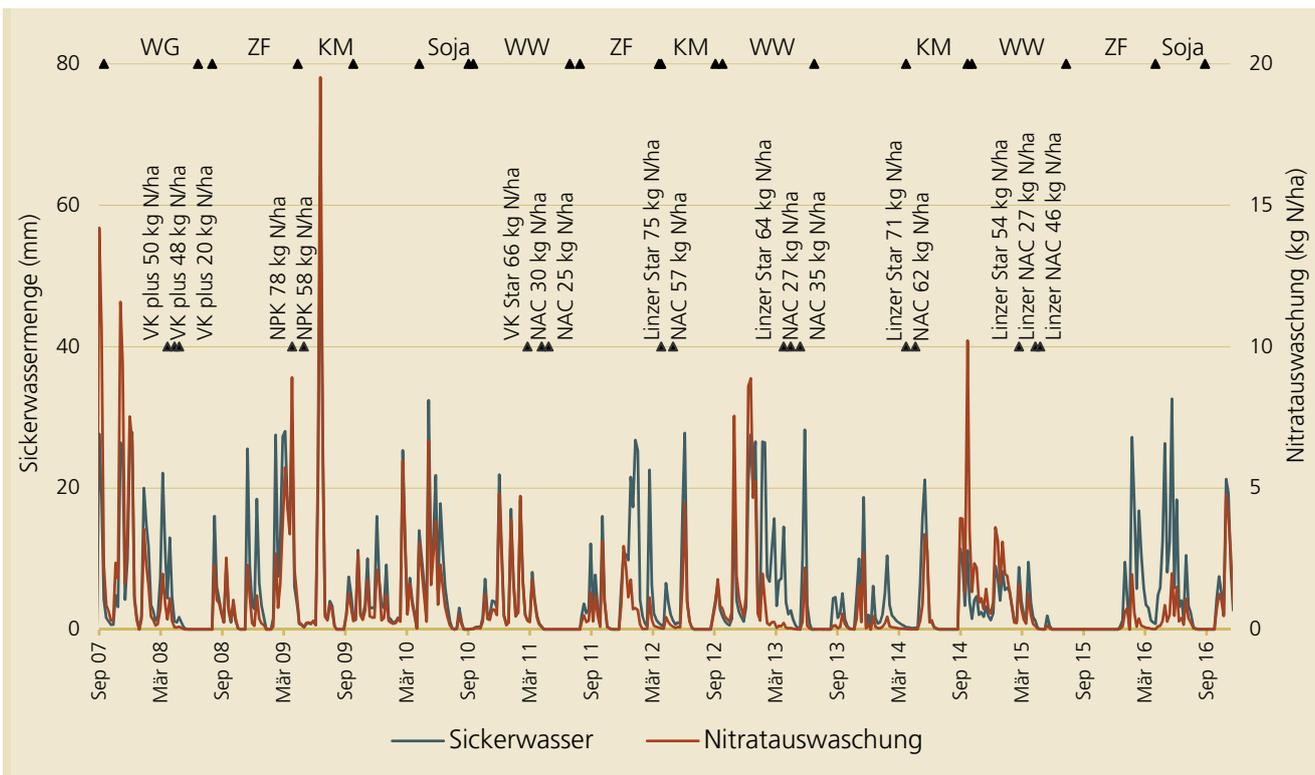


Abb. 5-20: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig)

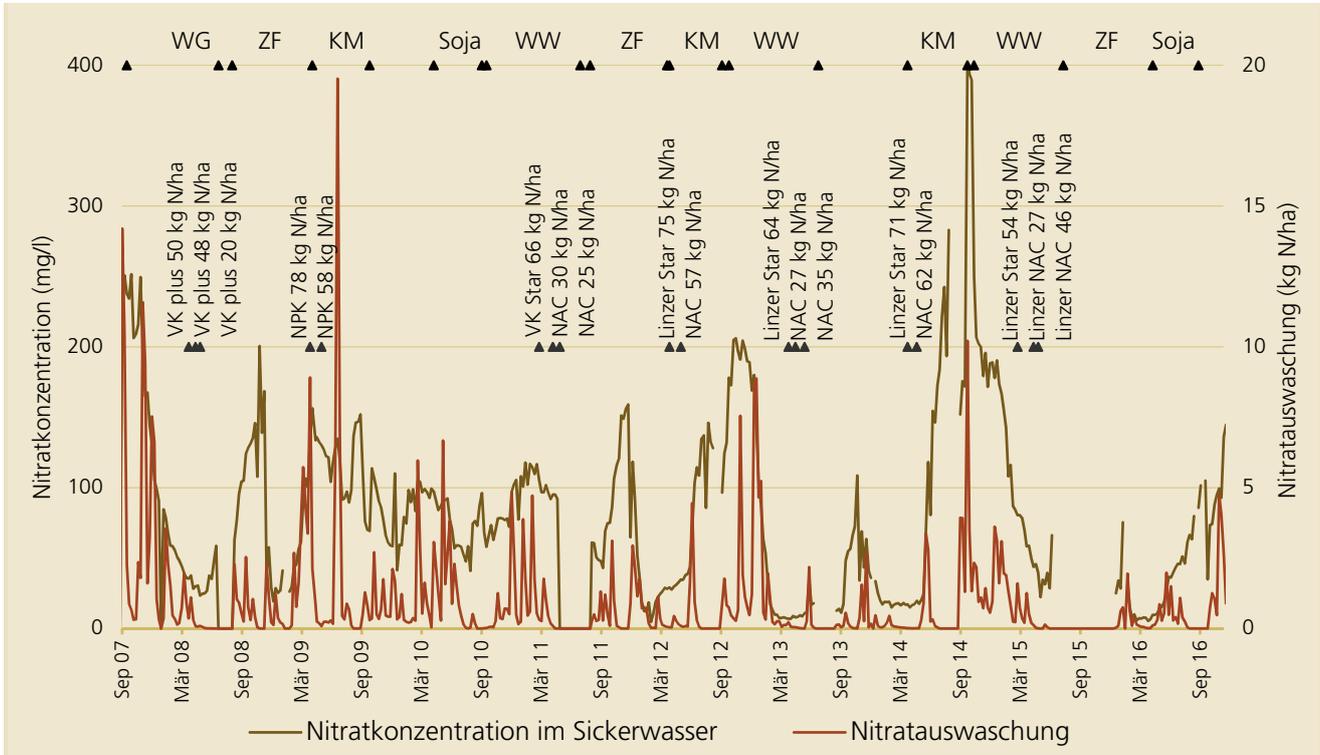


Abb. 5-21: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (seichtgründig)

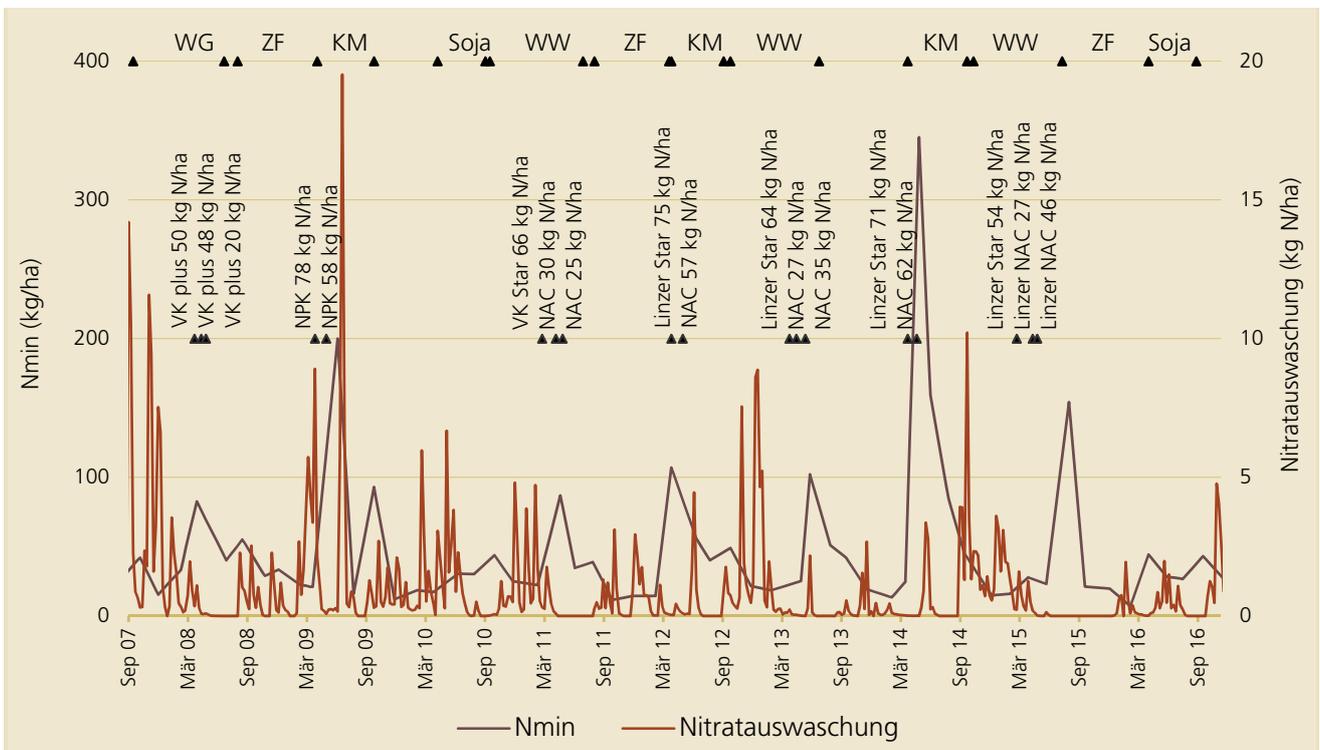


Abb. 5-22: Nitratauswaschung und N_{min}-Gehalte des Bodens (seichtgründig)

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

Die geringste Auswaschung konnte am tiefgründigen Standort in Pettenbach beobachtet werden (9 kg N/ha). Auch der ausgewaschene Anteil der durch die Düngung zugeführten N-Menge ist mit 5% eher gering. Am seichtgründigen Standort in Pucking war die Auswaschung etwa doppelt so hoch (17 kg N/ha), aber im Vergleich zu den Vorjahren für diesen Standort eher gering, was vermutlich auch damit zusammenhängt, dass die an diesem Standort angebaute Kultur (Sojabohne) nicht gedüngt wurde.

Tab. 5-4: Stickstoffauswaschung vom 01.11.15 bis 31.10.16 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	60	35	58%	-214	-199
Tiefgr. PE	165	9	5%	-2	68
Seichtgr.	0	17	-	-264	-264

Die größte Stickstoffmenge wurde am tiefgründigen Standort in Eberstalzell mit 35 kg N/ha ausgewaschen, das ist die doppelte Menge von Pucking (Tab. 5-4). Auf beiden Standorten wurde Sojabohne angebaut. Die ausgewaschene Stickstoffmenge entspricht ca. 58% der durch Düngung zugeführten jahreswirksamen N-Menge (60 kg N/ha). Ein Großteil davon, nämlich 22 kg N/ha, ging allein im Monat Mai verloren, nachdem im April Schweinegülle mit 28 kg N/ha (jahreswirksam) gedüngt wurde. Im restlichen Jahresverlauf lagen die Werte im Bereich der beiden anderen Standorte. Während der Wintermonate sogar weit darunter, was darauf hindeutet, dass die angebaute Zwischenfrucht den im Herbst noch ausgebrachten Stickstoff aus der Schweinegülle gut aufnehmen konnte (Abb. 5-26).

Die monatlichen Niederschlagssummen verlaufen auf allen 3 Standorten bis Juni ziemlich parallel. Insbesondere im Juli dürften die starken Niederschläge nur sehr lokal aufgetreten sein, weshalb die Summen zwischen den Standorten differieren (Abb. 5-23). So fielen in Eberstalzell Ende Juli in Summe knapp 300 mm. Das entspricht in etwa einem Viertel des gesamten Jahresniederschlags.

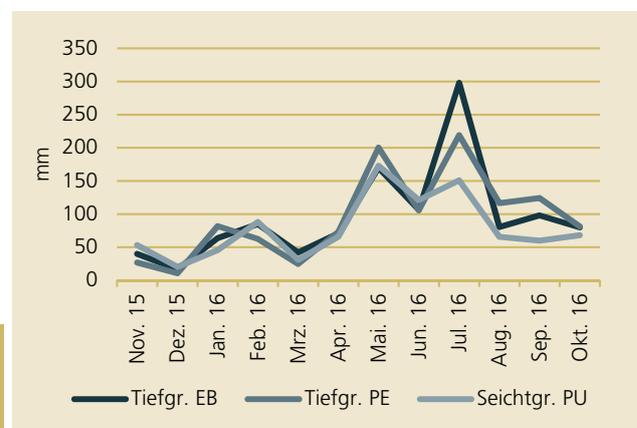


Abb. 5-23: Monatliche Niederschlagssummen an den drei Standorten

Die im Jahr 2015/16 beobachteten hohen Niederschlagssummen verursachten dementsprechend hohe Sickerwassermengen (Abb. 5-24). Der Sickerwasseranfall verlief auf allen Standorten fast deckungsgleich, mit Ausnahme von Pettenbach ab Juli 2016, wo mehr als doppelt so hohe Mengen gemessen wurden wie in Eberstalzell. Die Maxima befanden sich jeweils im Januar/Februar und im Mai. Insbesondere die hohe Sickerwassermenge im Mai verstärkte zusätzlich die bereits erwähnte hohe N-Auswaschung in Eberstalzell.

Die höchste Sickerwassermenge wurde in Pettenbach gemessen, direkt gefolgt von Eberstalzell. In Pucking trat in Summe der geringste Niederschlag und demnach auch die geringste Sickerwassermenge auf (Tab. 5-5).

Aufgrund der hohen Sickerwassermengen liefen die Messkübel im Lysimeter in Pettenbach im Zeitraum

von Mai bis September 2017 einige Male über. Die N-Konzentrationen waren zu diesen Zeitpunkten allerdings durchwegs sehr niedrig. Es sind somit keine erheblichen Auswirkungen auf das Ergebnis der ausgewaschenen Nitratmenge zu erwarten.

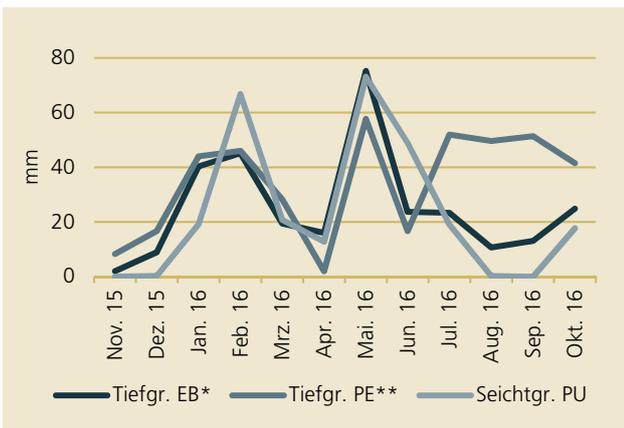


Abb. 5-24: Monatliche Sickerwassermengen an den drei Standorten
 * Juli nicht gesamtes SW erfasst
 ** von Mai bis Sept. nicht gesamtes SW erfasst

Die mit Abstand höchste durchschnittliche Nitratkonzentration wurde am tiefgründigen Standort in Eberstallzell mit 51 mg NO₃/l beobachtet (Tab. 5-5) und überschritt damit den Grundwasserschwellenwert von 45 mg NO₃/l, wobei hierfür hauptsächlich die hohen Konzentrationen im Mai verantwortlich waren. Im restlichen Jahresverlauf blieb die Konzentration unter 40 mg NO₃/l.

Tab. 5-5: Sickerwassermengen und durchschnittliche Nitratkonzentration vom 01.11.15 bis 31.10.16

	SW [mm]	NO ₃ -Kon. [mg/l]
Tiefgr. EB	303	51
Tiefgr. PE	414	9
Seichtgr. PU	279	27

Die zweithöchste jährliche mittlere Konzentration von 27 mg NO₃/l wurde am seichtgründigen Standort in

Pucking gemessen. Mit Ausnahme von August (48,5 mg/l) blieb die Nitratkonzentration stets unter 45 mg/l. Am tiefgründigen Standort in Pettenbach war die Nitratkonzentration insgesamt am geringsten (9 mg NO₃/l), jedoch wurden auch hier im Juni 73 mg/l erreicht.

Von Februar bis April blieb die Nitratkonzentration an allen Standorten unter 12 mg/l (Abb. 5-25).

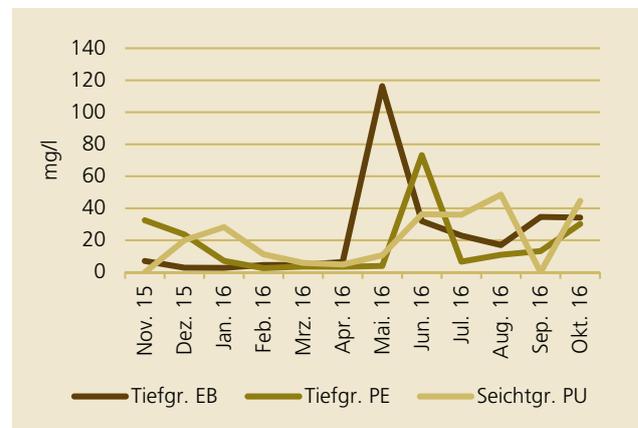


Abb. 5-25: Durchschnittliche monatliche Nitratkonzentrationen an den drei Standorten

Die monatlichen Nitratkonzentrationen und der N-Austrag verlaufen an allen Standorten jeweils parallel (vgl. Abb. 5-25 und Abb. 5-26). Einzig in Pettenbach im Juni und in Pucking im August verursachten die hohen Nitratkonzentrationen keine hohen Auswaschungen, was an den niedrigen Sickerwassermengen in diesem Zeitraum liegt.

In Summe wurde während des Messzeitraums seit September 2001 bis November 2016 am seichtgründigen Standort mit 708 kg N/ha am meisten Stickstoff in Form von Nitrat ausgewaschen (Abb. 5-27). Am tiefgründigen Standort in Eberstolz waren es mit 390 kg N/ha etwa halb so viel, am tiefgründigen Standort in Pettenbach mit 273 kg N/ha ca. 1/3.

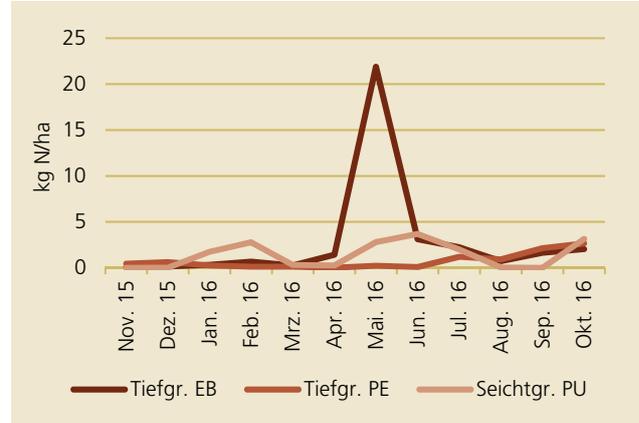


Abb. 5-26: Monatliche Nitratauswaschung an den drei Standorten

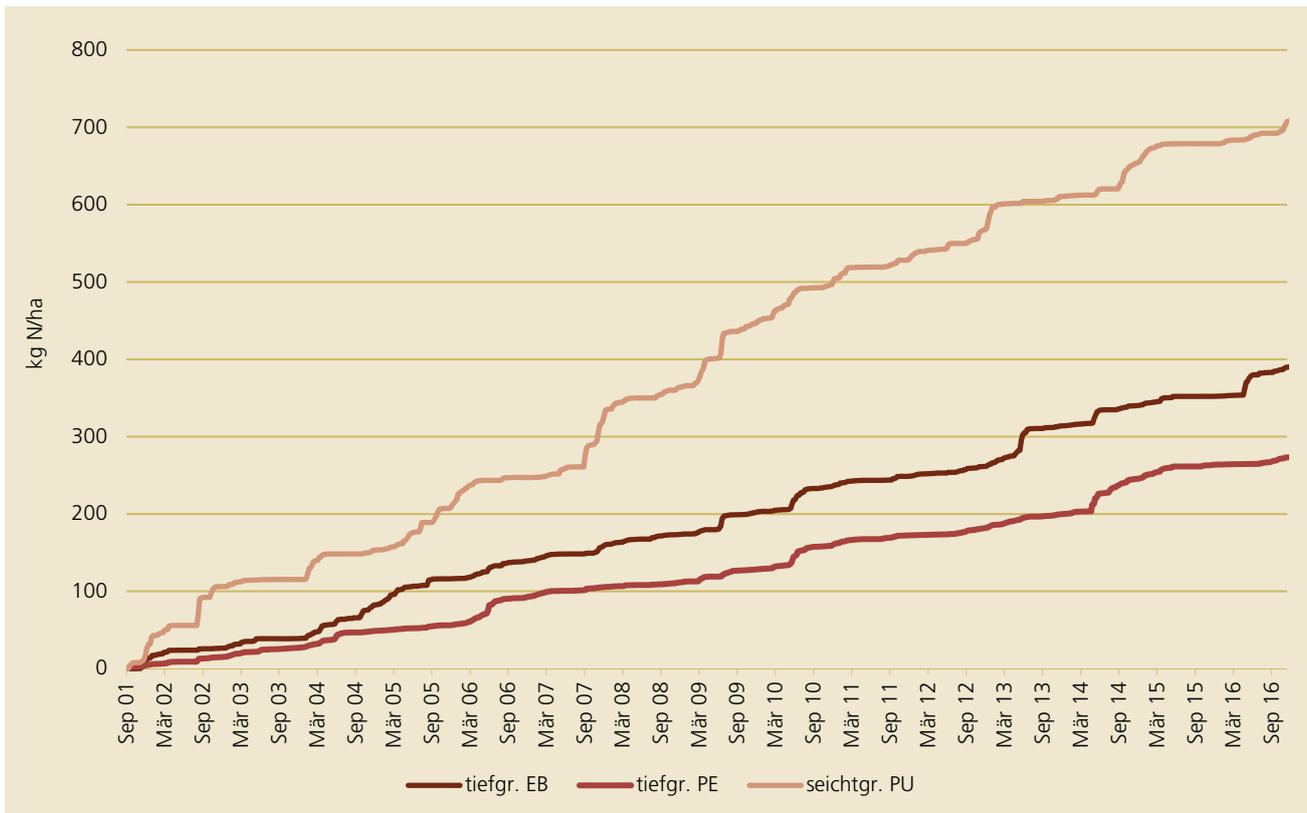


Abb. 5-27: Summe der als Nitrat ausgewaschenen Stickstoffmenge an den drei Standorten

5.8 Phosphorbilanzen

In Eberstanzell wurde im Jahr 2015/2016 Phosphor in Form von 2 Schweinegüllegaben aufgebracht (9 kg P₂O₅/ha und 8 kg P₂O₅/ha). Am Standort in Pettenbach erfolgte die Phosphorzufuhr durch eine Düngung mit Putenmist (200 kg P₂O₅/ha). Am seichtgründigen Standort wurde kein Phosphordünger ausgebracht.

Die Phosphorbilanz ist in Eberstanzell ausgeglichen und in Pucking, wo in diesem Jahr kein Dünger ausgebracht wurde, negativ. In Pettenbach ist die Bilanz

aufgrund der Putenmistdüngung im Herbst 2015 stark positiv (Tab. 5-6).

Die Ergebnisse der Bilanzen für die Ernteabfuhr 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 ca. 17 kg P₂O₅/ha gemessen, welche sowohl auf den höheren Ertrag als auch auf den höheren P-Gehalt im Korn auf der Lysimeterfläche zurückzuführen ist.

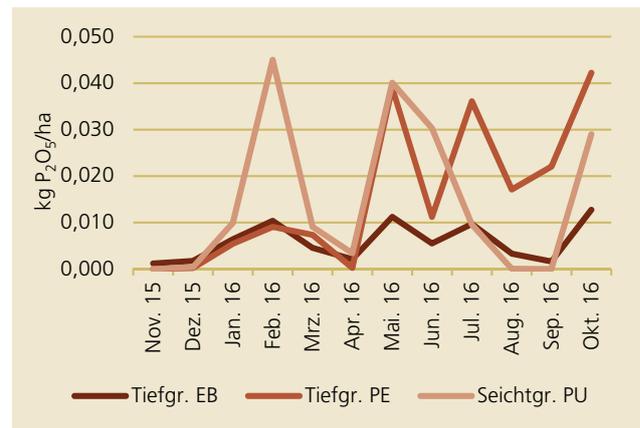
Tab. 5-6: Phosphorbilanzen für das Erntejahr 2016

	Tiefgründiger Standort in Eberstanzell		Tiefgründiger Standort in Pettenbach		Seichtgründiger Standort in Pucking	
	----- kg P ₂ O ₅ /ha -----					
Phosphorzufuhr aus Düngung	17		200		0	
Entzug durch die Pflanzen	Lysimeter	Mittelwert	Lysimeter	Mittelwert	Lysimeter	Mittelwert
Entzug durch das Korn	28	28	56	39	31	30
Entzug durch das Stroh	8	7	21	26	9	13
Summe Entzug	36	35	77	65	40	43
Abfuhr durch Ernte	28	28	56	39	31	30
Bilanz Korn	-11	-11	144	161	-31	-30
Bilanz Korn + Stroh	-19	-18	123	135	-40	-43
Bilanz Ernte	-11	-11	144	161	-31	-30

5.9 Phosphatauswaschung

Der jahreszeitliche Verlauf der Phosphatauswaschung im Jahr 2015/16 folgt im Wesentlichen dem Sickerwasseranfall (Abb. 5-28). So war auf allen Standorten eine Auswaschungsspitze im Februar zu verzeichnen, die am seichtgründigen Standort besonders stark ausgeprägt war. Ab Mai verlief die Phosphat-Auswaschung auf den beiden tiefgründigen Standorten parallel, wobei die Fracht in Pettenbach in etwa doppelt so hoch war. Ausschlaggebend dafür ist die in Pettenbach erfolgte Putenmistdüngung, wodurch 200 kg P₂O₅/ha eingebracht wurden. Am seichtgründigen Standort ereignete sich eine zweite Auswaschungsspitze im Mai/Juni und später im Oktober, nachdem im August und September kein Sickerwasser angefallen war.

und dem daraus folgendem Sickerwasseraustritt in Zusammenhang gebracht werden. In Summe wurde vergleichsweise viel Phosphor ausgewaschen, was ein Resultat der generell hohen Niederschläge im Jahr 2015/16 ist (Abb. 5-29 bis Abb. 5-31).



Die Auswaschungsspitzen können auf allen drei Standorten zeitlich mit den Niederschlagsereignissen

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

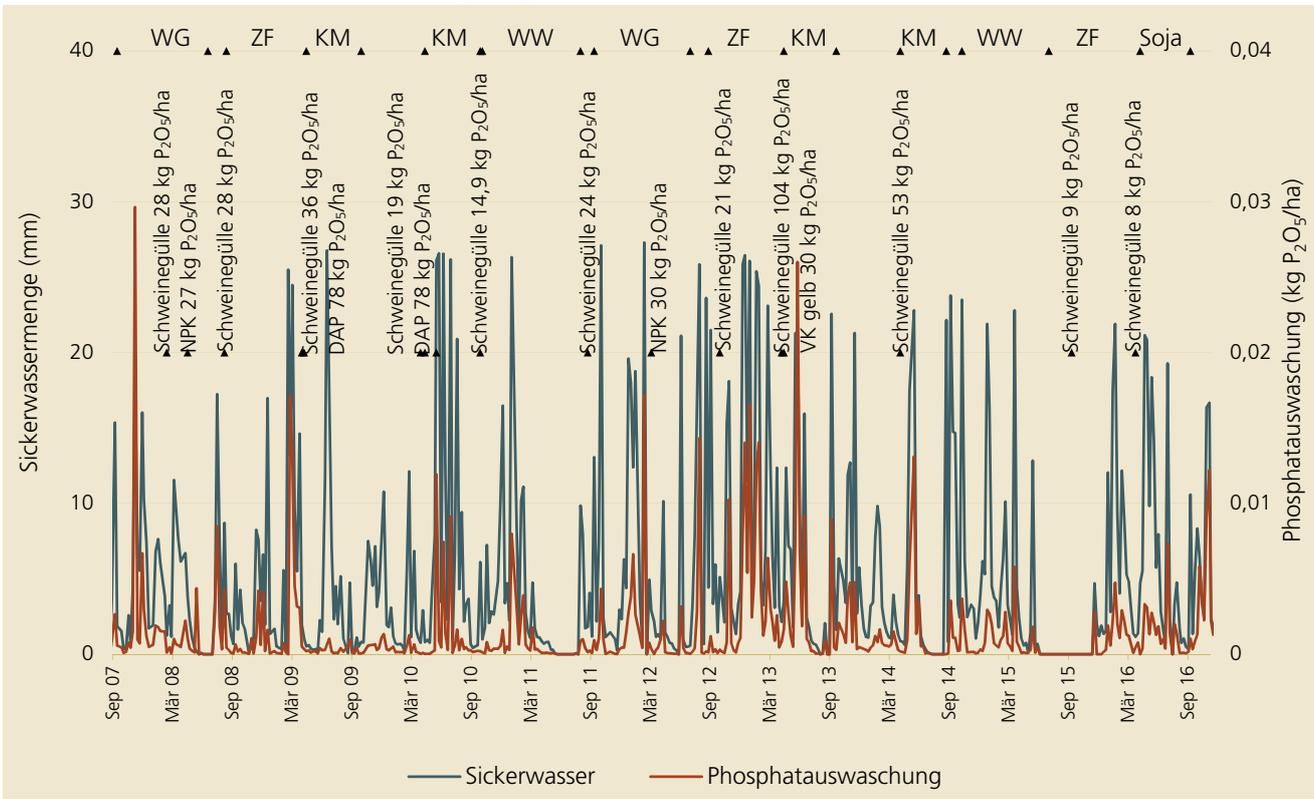


Abb. 5-29: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstallzell

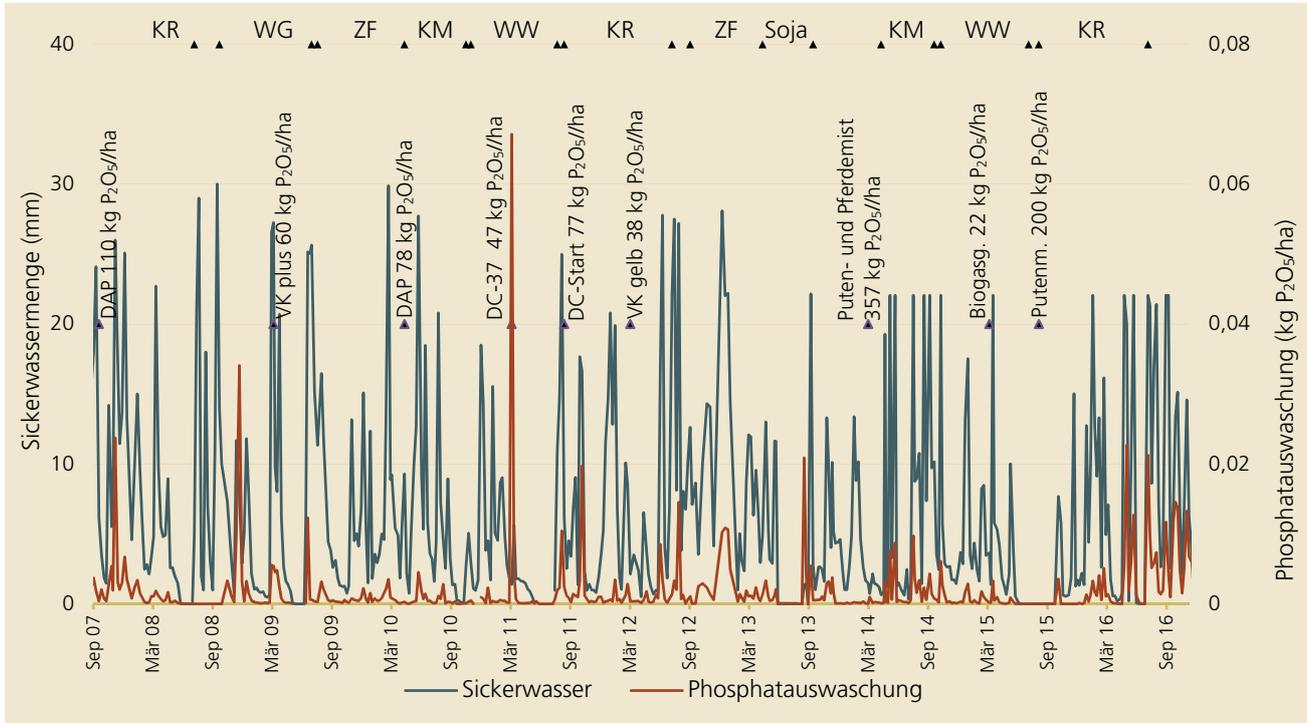


Abb. 5-30: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach

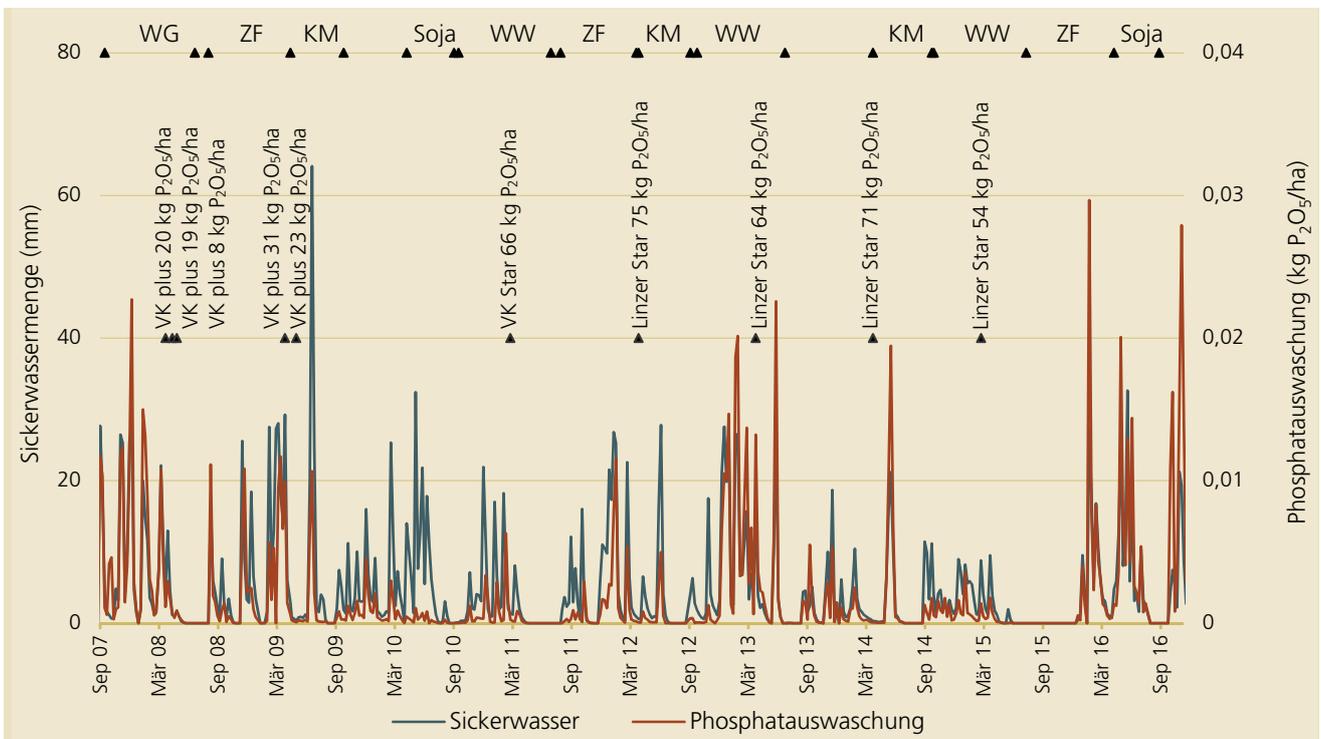


Abb. 5-31: Phosphatauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking

In Summe waren die P-Verluste mit dem Sickerwasser im hydrologischen Jahr 2015/16 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 Grundwasserswellenwert von 0,3 mg PO₄/l.

Seit Beginn der Messreihe wurden am tiefgründigen Standort in Eberstallzell insgesamt 1,06 kg P/ha ausgewaschen und am tiefgründigen Standort in Pettenbach 1,28 kg P/ha. Am seichtgründigen Standort wurde seither in etwa die doppelte Menge, nämlich 1,98 kg P/ha ausgewaschen (Abb. 5-32).

Auffällig ist in Pettenbach der starke Anstieg der P-Auswaschung ab Beginn 2016. Eine solch rasche Zunahme wurde seit 2001 auf diesem Standort noch nie gemessen. In Pucking wurde ebenfalls eine starke Zunahme beobachtet, diese ist jedoch für diesen Standort nicht ungewöhnlich.

Tab. 5-7: Sickerwasser, P₂O₅-Verluste und mittlere PO₄-Konzentration im Sickerwasser vom 01.11.15 bis 31.10.16

	SW [mm]	P ₂ O ₅ - Verlust [kg/ha]	PO ₄ -Kon. [mg/l]
Tiefgr. EB	303	0,070	0,031
Tiefgr. PE	414	0,190	0,061
Seichtgr. PU	279	0,177	0,085

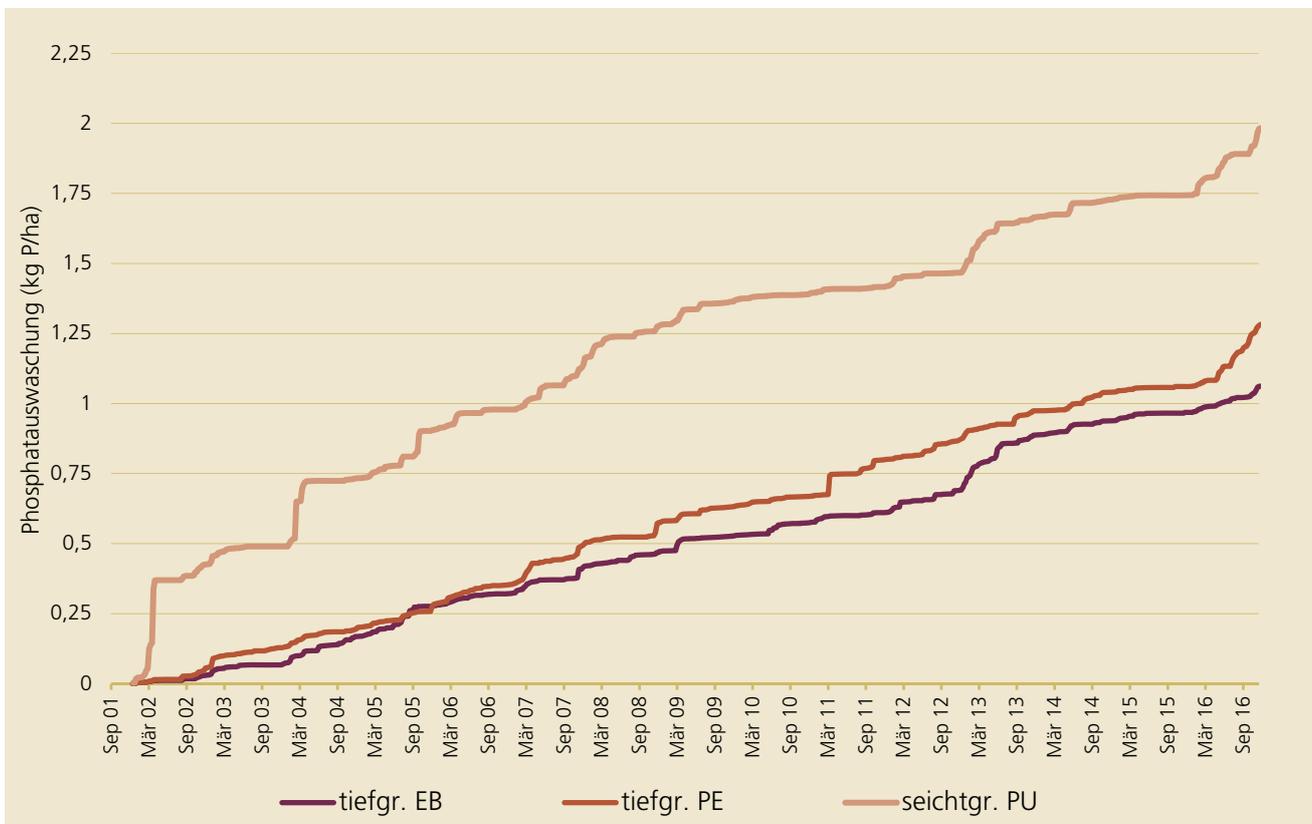


Abb. 5-32: Summe der als Phosphat ausgewaschenen P-Menge an den drei Standorten

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 GOK 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 seit 2001/2 betriebene Klimastation liefert kontinuierliche Niederschlags-, Temperatur-, Globalstrahlungs-, Luftfeuchte- und Windgeschwindigkeitswerte.

6.2 Hydrographische Messergebnisse

Die (mindestens) 4-jährige Laufzeit der verschiedenen Geber erlaubt eine vergleichende Gegenüberstellung des Jahres 2016 mit den bisherigen Messergebnissen. Dies erfolgt in den in der Hydrographie üblichen Darstellungen, in welchen die Bandbreite der bisherigen Messergebnisse als Hintergrund fungiert und das Vergleichsjahr (2015, blau) und das Bearbeitungsjahr (2016, rot) farblich auseinandergelassen werden können.

In Abb. 6-1 bis Abb. 6-4 werden solcherart die **Niederschlags- und Temperaturverhältnisse** dargestellt. 2016 war ein recht feuchtes und ab Sommer ausgesprochen kühles Jahr. Abb. 6-2 zeigt einen ausgesprochen verregneten Mai und den niederschlagsreichsten Juli seit 1999. Nur im März fiel kaum Regen. Die Lufttemperaturen Abb. 6-3 und Abb. 6-4 zeigen eine mittlere Jahrestemperatursumme mit einem relativ warmen Februar und September sowie Temperaturmonatsmittelminima (ab 2001) im April, Mai, November und Dezember. Alle meteorologischen Para-

meter wurden mit den Messstellen Vorchdorf (Niederschlag) und Kremsmünster (Wind, Globalstrahlung) verglichen und teilweise korrigiert.

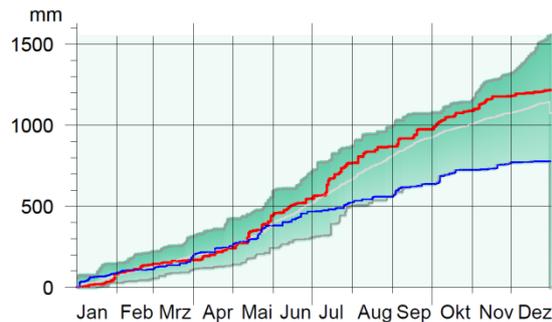


Abb. 6-1: Niederschlags-Jahressummenlinien 2015 (blau) und 2016 (rot)

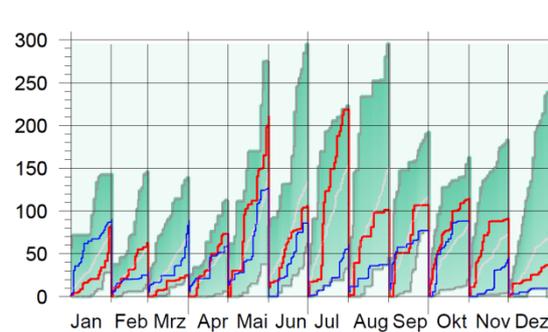


Abb. 6-2: Niederschlags-Monatssummenlinien 2015 (blau) und 2016 (rot)

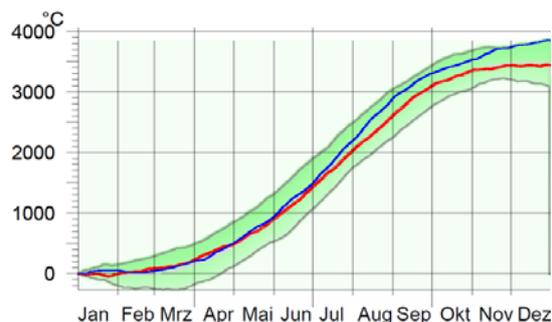


Abb. 6-3: Lufttemperatur-Jahressummenlinie 2015 (blau) und 2016 (rot)

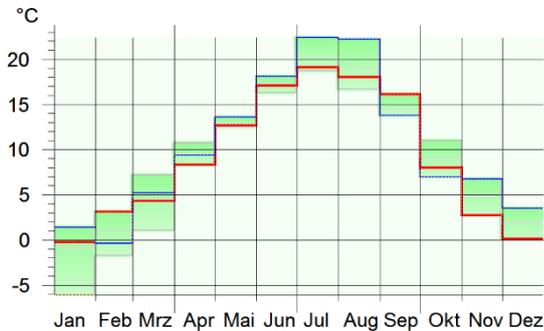


Abb. 6-4: Lufttemperatur-Monatsmittel 2015 (blau) und 2016 (rot)

Die **Globalstrahlungsmessungen** in Abb. 6-5 zeigen, dass 2015 trotz Niederschlagsarmut und hoher Temperatur ein eher trübes Jahr war, bei 2016 überrascht die geringe Strahlungssumme hingegen kaum. Auffallend sind die trotz der Niederschläge hellen Monate Mai, Juni und September.

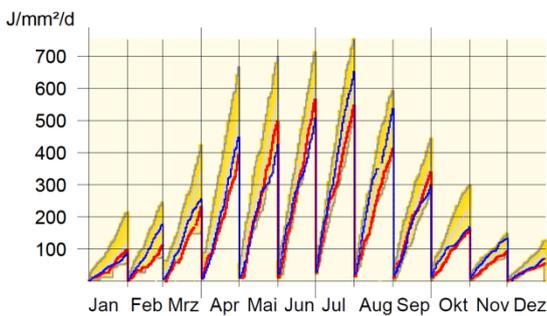


Abb. 6-5: Globalstrahlungs-Monatssummenlinien 2015 (blau) und 2016 (rot) der Station Pettenbach

Für die Messung der **Windgeschwindigkeiten** wurde im Mai 2015 ein neuer Windsensor installiert, die Werte davor mit Hilfe von Kremsmünster korrigiert. Insofern ist die Bandbreite in Abb. 6-6 als nicht gesichert anzusehen. Der Mai und der Dezember 2016 scheinen als sehr windreiche Monate auf.

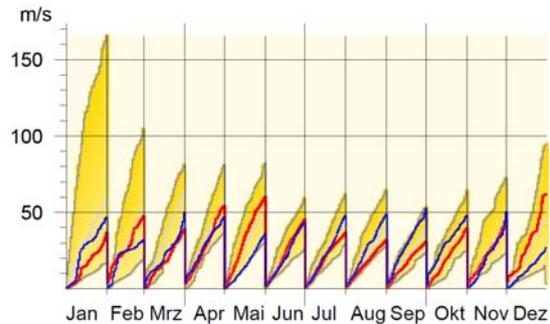


Abb. 6-6: Windgeschwindigkeits-Monatssummenlinien 2015 (blau) und 2016 (rot)

6.3 Grundwasserneubildung

Die Auswirkungen der klimatischen Verhältnisse auf die Grundwasserneubildungen aller 3 Lysimeterstandorte werden in den Abb. 6-7 bis Abb. 6-9 dargestellt. Es wird vermutet, dass die Versickerungssummen in Pucking und in Eberstallzell mit rd. 350 mm zufolge übergelaufener Kübel oder Ähnlichem eine Unterschätzung der tatsächlich aufgetretenen Versickerungen zeigen. In Pettenbach hingegen tritt mit 520 mm die höchste je gemessene Jahresversickerungssumme auf, wobei zu bedenken ist, dass erst ab 2013 kontinuierlich mit Wippe gemessen wird. Davor haben möglicherweise auch „Kübel-Verluste“ zu geringeren aufgezeichneten Jahressummen geführt. Extrem hoch ist die Mai- und die Juli-Versickerung, lediglich im Dezember gab es zufolge Frosteinfluss kaum Versickerung.

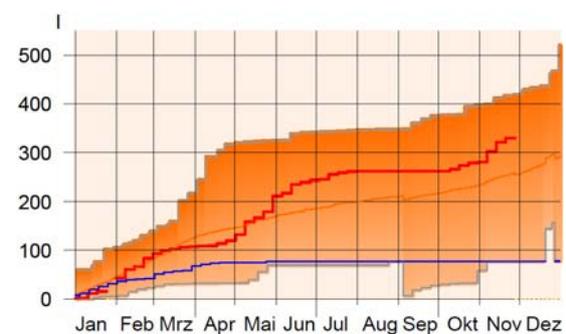


Abb. 6-7: Grundwasserneubildungs-Jahressummenlinien in Pucking 2015 (blau) und 2016 (rot)

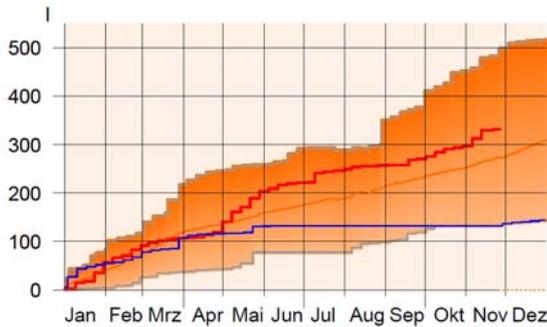


Abb. 6-8: Grundwasserneubildungs-Jahressummenlinien in Eberstalzell 2015 (blau) und 2016 (rot)

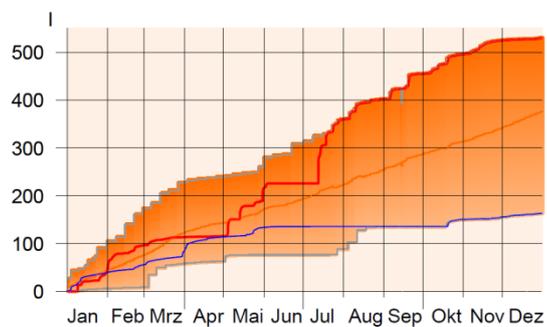


Abb. 6-9: Grundwasserneubildungs-Jahressummenlinien in Pettenbach 2015 (blau) und 2016 (rot)

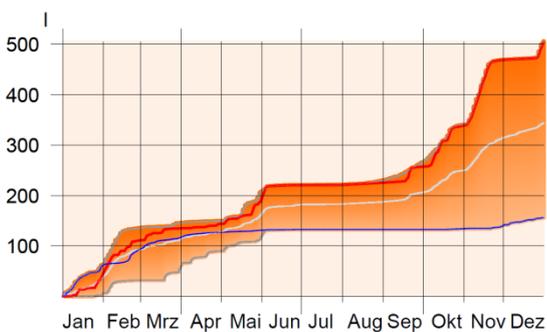


Abb. 6-10: berechnete Grundwasserneubildungs-Jahressummenlinien in Pettenbach 2015 (blau) und 2016 (rot)

Mithilfe der k_u -Funktion (Wasserleitfähigkeit im ungesättigten Zustand) lassen sich aus den Saugspannungsgradienten die Grundwasserneubildungen berechnen. Abb. 6-10 stellt die berechnete Grundwasserneubildung in Pettenbach als Jahressummenlinie dar und zeigt im Vergleich zu Abb. 6-9 ein differenziertes zeitliches Verhalten bei ähnlichen Jahressum-

men, welches sowohl auf eine noch nicht optimal angepasste k_u -Funktion als auch auf präferenzielles Versickern in Grobporen zB. entlang des Lysimeter-randes zurückzuführen sein könnte. Im Jahr 2016 hat ein Tensiometerausfall im Zeitraum Juli-August mit rekonstruierten Saugspannungen in diesem Zeitraum zu rekonstruierten Monatsversickerungen geführt, die in extremem Widerspruch zu der geradezu unplausibel hohen Juli-Versickerung im Lysimeter stehen.

Aus der Differenz von Niederschlag und Versickerung ergibt sich rechnerisch die Verdunstung, die in Abb. 6-11 dargestellt ist. Es fällt auf, dass im Juli und August trotz reichlichem Niederschlagsdargebot wenig Verdunstung anfällt, was zu den geringen Wind- und Globalstrahlungssummen dieser Monate gut passt. Die in der Bandbreite gezeigten hohen Sommerverdunstungen stammen aus dem Jahr 2014.

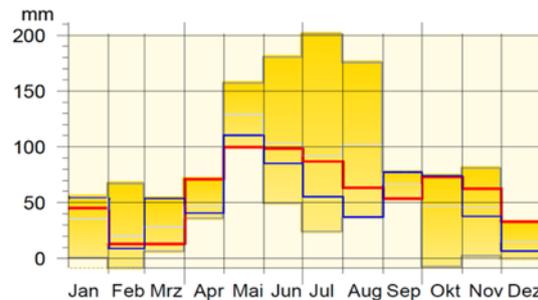


Abb. 6-11: Bilanzierte Verdunstungs-Monatssummen 2015 (blau) und 2016 (rot)

6.4 Bodenwasserverhältnisse

Für die Beobachtung der Bodenwasserverhältnisse im Jahr 2016 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 2015 gegenübergestellt. Auch wird das Lysimeter mit dem Freiland verglichen und im Falle signifikanter Unterschiede eigens dargestellt. Die

Ober/Unterbodenunterscheidung ist sinnvoll für Temperatur- und Saugspannungsauswertungen, die SWI-Auswertungen unterscheiden zwischen durchwurzeltem Bereich und darunter, da die verfügbare Wassermenge direkt in Bezug zu den Pflanzenaktivitäten steht.

Da die 10cm-Messebene zufolge Bearbeitung häufig ausfällt, wurde 2016 anlässlich einer großen Anfrage nach Bodenwassertemperaturen ein Datenrekonstruktionsschwerpunkt gesetzt und auf die Temperaturen angewendet. Zuzufolge eines Tensiometerausfalls sind auch die tiefer gemessenen Temperaturen im Juli und August ausgefallen und wurden rekonstruiert. Die stark schwankenden Wassergehalte hingegen lassen sich nicht rekonstruieren.

Erwartungsgemäß zeigen die gewichtet gemittelten **Temperaturen** sowohl im Ober- (Abb. 6-12) als auch im Unterboden (Abb. 6-13) 2016 deutlich tiefere Werte als 2015, mit Abwärtsspitzen in den Monaten Juli, August. Der September war 2016 ausnehmend warm, was sich im 1. Monatsdrittel bereits im Oberboden und ab der Monathälfte auch im Unterboden zeigt. November und Dezember weisen die niedrigsten Temperaturen seit 2012 auf.

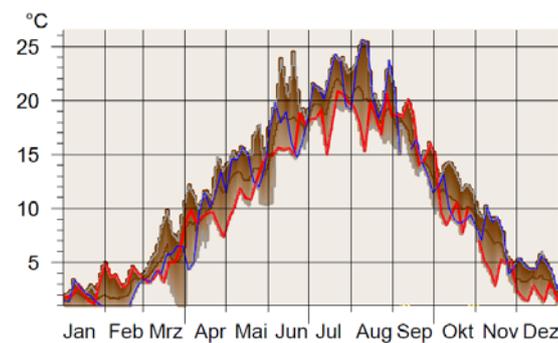


Abb. 6-12: Oberboden-Temperaturen 2015 (blau) und 2016 (rot)

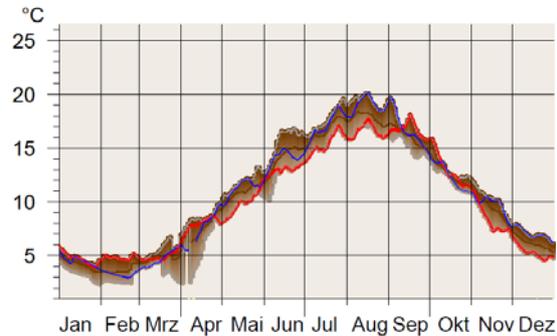


Abb. 6-13: Unterboden-Temperaturen 2015 (blau) und 2016 (rot)

Bei den gewichtet gemittelten Ober- und Unterboden-**Saugspannungen** (Abb. 6-14 bis Abb. 6-15) dominiert das Trockenjahr 2015 die Darstellungen. Die Saugspannungen 2016 brechen Mitte Juli im Ober- und Unterboden zusammen und erholen sich im Jahresverlauf nicht mehr.

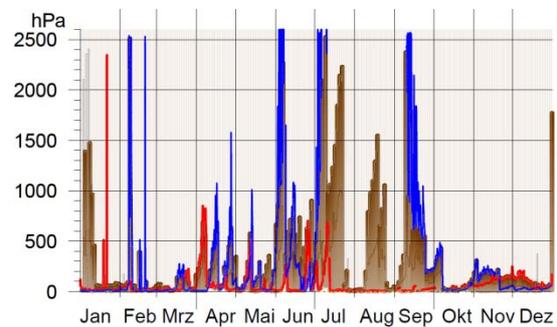


Abb. 6-14: Oberbodensaugspannungen 2015 (blau) und 2016 (rot)

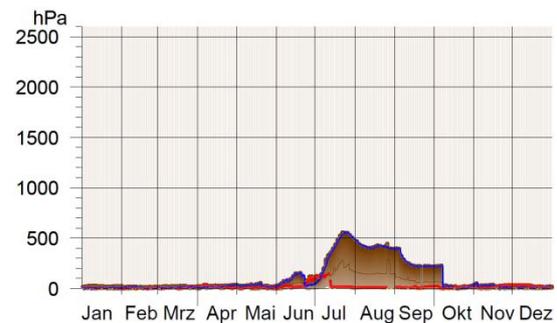


Abb. 6-15: Unterbodensaugspannungen 2015 (blau) 2016 (rot)

Passend zu den längeren niederschlagsarmen Zeiträumen wurden 2 Austrocknungsphänomene beobachtet: einmal Anfang April, wo eine kurze intensive Saugspannungsspitze zu erkennen ist, und ab Mitte Oktober bis Mitte Dezember, wo eine für diese Jahreszeit unübliche kontinuierliche Spannungszunahme mäßigen Ausmaßes gemessen wurde.

In Abb. 6-16 bis Abb. 6-19 werden die Wassergehaltsverläufe über die Tiefe und die Zeit in **SWI-Diagrammen** 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.

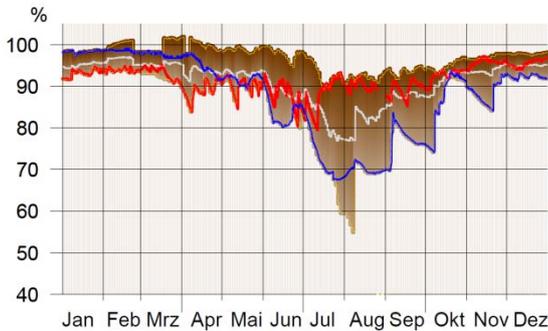


Abb. 6-16: SWI des durchwurzelten Bereiches im Freilandprofil (0-40cm) 2015 (blau) und 2016 (rot)

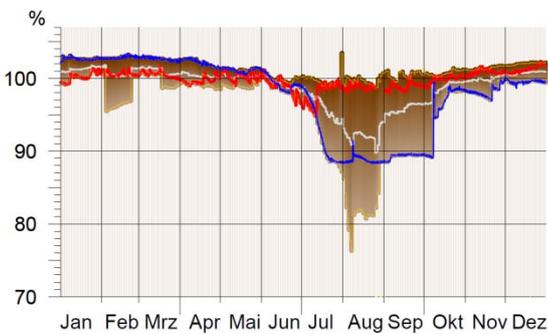


Abb. 6-17: SWI unterhalb der Durchwurzelungstiefe im Freilandprofil (40-170cm) 2015 (blau) und 2016 (rot)

Zuletzt werden die Wassergehaltsverläufe über die Tiefe und die Zeit in **SWI-Diagrammen** 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.

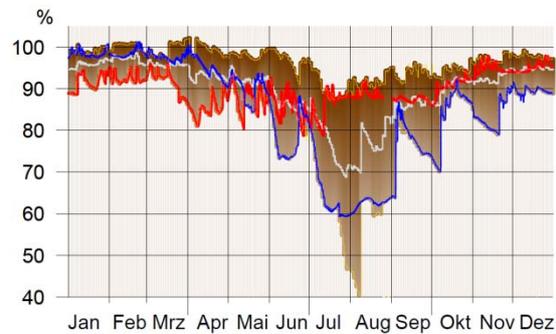


Abb. 6-18: SWI des durchwurzelten Bereiches im Lysimeter (0-40cm) 2015 (blau) und 2016 (rot)

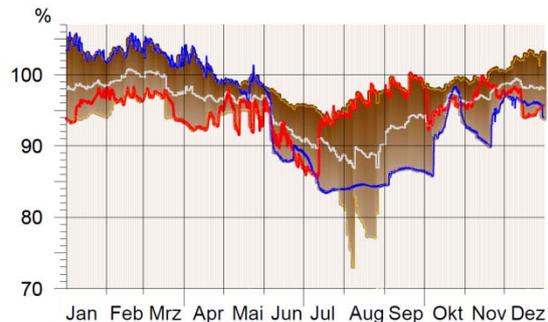


Abb. 6-19: SWI unterhalb der Durchwurzelungstiefe im Lysimeter (40-150cm) 2015 (blau) und 2016 (rot)

Abb. 6-16 und Abb. 6-17 zeigen die SWI-Verläufe im Freiland oberhalb und unterhalb der Durchwurzelungstiefe. Sowohl im Ober- als auch im Unterboden setzt sich die Bodentrockenheit des Jahres 2015 bis in den Mai 2016 fort. Die zuerst steile, danach aber bis Ende des Monats kontinuierliche Wassergehaltszunahme im Juli lässt die SWI-Werte des Oberbodens bis Ende des Jahres auf dem hohen Niveau verharren. Der

Verlauf im Unterboden ist ähnlich, aber um einige Tage nach hinten verschoben. Im Lysimeter (Abb. 6-18 und Abb. 6-19) zeigen sich zusätzlich zu diesem prinzipiellen Verlauf abrupte Feuchtigkeitsänderungen, die auf Staueffekte innerhalb des Lysimeters zurückzuführen sein könnten. Zusätzlich zum präferentiellen Grobporenfluss an den Lysimeterrändern könnten die Sickerwassermengen, welche ja in erster Näherung als Grundwasserneubildung verwendet werden, auch dadurch verfälscht werden.

7 Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Das Jahr 2016 war ein feuchtes und ab Jahresmitte eher kühles Jahr. In den Monaten Mai und Juli wurden besonders hohe Niederschläge beobachtet. Aus den Ergebnissen der im Jahr 2016 durchgeführten Messungen und Untersuchungen lassen sich folgende Schlussfolgerungen hinsichtlich des Nährstoffauswaschungsrisikos ziehen:

Die Höhe der Düngung war an den Standorten in Pettenbach und Pucking im Vergleich zum geernteten **Ertrag** gut gewählt. Der Körnerraps in Pettenbach wurde entsprechend einer hohen Ertragslage gedüngt und es wurde auch ein hoher Ertrag (h3) eingefahren. In Pucking wurde die angebaute Sojabohne nicht gedüngt und der Ertrag war hoch. In Eberstanzell wurde ebenfalls Sojabohne angebaut, diese wurde jedoch einmal im Herbst (zur Strohrotte bzw. vor dem Anbau der Zwischenfrucht) und einmal im Frühjahr vor dem Anbau der Hauptfrucht gedüngt. Der Ertrag lag trotz Düngung etwas unter dem Ertrag, der in Pucking erreicht wurde, liegt aber auch im hohen Bereich. Dies zeigt, dass insbesondere bei Leguminosen nicht die N-Düngung ausschlaggebend für einen guten Ertrag ist, sondern vielmehr der Witterungsverlauf, welcher im Jahr 2016 als niederschlagsreich zu bezeichnen war. In niederschlagsreichen Jahren bietet der seichtgründige Standort in Pucking für Sojabohne offensichtlich einen gewissen Vorteil.

Die **Nitratauswaschung** verlief an allen drei Standorten unterschiedlich entsprechend der angebauten Kultur und der eingesetzten Düngemenge. In Pettenbach war die Auswaschung am geringsten. Erst nach der Ernte ist ein leichtes Ansteigen der Werte erkennbar. Die Düngezeitpunkte dürften daher gut gewählt worden sein. Der Stickstoffaustrag ist mit jenem der vorangegangenen Jahre mit Körnerrapsanbau vergleichbar und liegt im Durchschnitt. In Pucking bleibt die Nitratauswaschung ebenfalls in einem moderaten

Bereich, handelt es sich doch dabei um einen seichtgründigen Standort, welcher in den Jahren zuvor schon oft zu hohen Auswaschungen neigte. In Eberstanzell hingegen wurde allein in einem Monat (Mai) mehr ausgewaschen, als im gesamten Jahr 2015/16 in Pucking. Ursachen sind die einsetzende Stickstoffmineralisierung (der eingearbeiteten Begrünung) in Verbindung mit einer Düngegabe im April (Schweinegülle mit 28 kg N/ha) ohne dass in diesem Zeitraum eine Stickstoffaufnahme durch eine Pflanzendecke stattfand. Im Monat Mai wurden daher kurz nach dem Anbau der Sojabohne 22 kg N/ha ausgewaschen. Generell neigen spät entwickelnde Kulturen zu Auswaschungsspitzen im Mai/Juni. Befördert wird dieser Effekt durch die üblicherweise (und auch 2016) in dieser Zeit auftretenden hohen Niederschläge.

Im Fall von Soja sollte daher auf eine Düngung im Frühjahr aber auch im Herbst davor verzichtet werden. Selbst wenn die Zwischenbegrünung den Stickstoff gut verwertet, wird dieser nach Einarbeiten unter Umständen schneller mineralisiert, als er verwertet werden kann.

An keinem der Standorte blieben die monatlichen **Nitratkonzentrationen** ganzjährig unter dem Grundwasserswellenwert von 45 mg/l. In Eberstanzell lag die durchschnittliche Nitratkonzentration vom 01.11.2015 bis 31.10.2016 bei 51 mg NO₃/l und somit auch im Durchschnitt darüber. Verantwortlich dafür war in erster Linie die hohen Konzentrationen im Mai. Im restlichen Jahresverlauf blieb die Konzentration unter 40 mg NO₃/l, bis April sogar unter 10 mg NO₃/l. Am Standort in Pettenbach lag der jährliche Durchschnitt weit unter 45 mg/l. Im Juni wurde allerdings ein Monatsmittelwert von 73 mg NO₃/l erreicht. Da die Sickerwassermenge in diesem Zeitraum jedoch eher gering war, wirkte sich das auf den N-Austrag kaum aus. Im restlichen Jahresverlauf konnten höhere Werte im Bereich von 30 mg NO₃/l während des Winters 2015 als auch nach der Körnerrapsenernte beobachtet werden. Am seichtgründigen Standort in

Pucking lag die Jahresdurchschnittskonzentration unter 45 mg/l. Im Jahresverlauf ist ein Anstieg der Konzentration ab Juni bis in den Herbst zu erkennen. Im August und September trat nur sehr wenig bis kein Sickerwasser auf. Die Nitratkonzentration stieg zwar im August knapp über 45 mg/l an, die Nitrat Auswaschung blieb aber auf Grund der geringen Sickerwassermenge niedrig.

Die **N_{min}-Gehalte** im Boden zeigen einen deutlichen Zusammenhang mit den Düngemaßnahmen. So war in Eberstalzell ein hoher Gehalt an mineralisiertem Stickstoff im Oktober vor dem Anbau der Zwischenfrucht zu erkennen. Dadurch, dass die Werte in den darauffolgenden Wintermonaten niedriger waren und keine N-Auswaschung festgestellt werden konnte, hatte die Zwischenfrucht den Stickstoff aus dem Boden aufgenommen und so vor einer Auswaschung gesichert. Bei der Düngung im April 2016 blieb vorerst ein Großteil des Stickstoffs noch organisch gebunden, sodass der N_{min}-Gehalt niedrig blieb. Danach fand eine verstärkte Mineralisierung statt, was an den hohen Nitrat Auswaschungsmengen im Juni und dem hohen N_{min}-Gehalt im Juli zu erkennen ist. In Pettenbach erhöhte sich der N_{min}-Gehalt nach zwei Mineraldüngergaben zum Körnerapps im Frühjahr. Sowohl der Entzug durch die Vegetation als auch eine geringe Nitrat Auswaschung verringerten diesen wieder in den darauffolgenden Monaten. Am seichtgründigen Standort in Pucking wurde keine Düngung ausgebracht, demnach blieb der N_{min}-Gehalt das gesamte Jahr über unter 50 kg N/ha, wobei während des Winters 2015/16 die Werte sogar unter 20 kg N/ha blieben. Zusammenfassend befinden sich die N_{min}-Gehalte im Vergleich zu den vorhergehenden Jahren im durchschnittlichen Bereich.

Die Reihung der Standorte anhand der **Phosphat Auswaschung** erfolgt in genau umgekehrter Reihenfolge als bei der Nitrat Auswaschung. So war am tiefgründigen Standort in Eberstalzell die Phosphat Auswaschung am niedrigsten, gefolgt vom seicht-

gründigen Standort in Pucking, wobei erhöhte P-Auswaschungen für den letztgenannten Standort nicht untypisch sind. Die höchste Auswaschung von Phosphat fand in Pettenbach statt, was für diesen Standort eher ungewöhnlich ist und in diesem Ausmaß bisher noch nicht beobachtet werden konnte. Ausschlaggebend dafür ist die im Herbst 2015 durchgeführte Putenmistdüngung mit 200 kg P₂O₅/ha in Kombination mit mehreren Starkregenereignissen während des Sommers. Im Vergleich zu den letzten 3 Jahren war die P-Auswaschung auf allen Standorten erhöht. Im Verhältnis zu der bei der Düngung eingebrachten Phosphormenge war der ausgewaschene Anteil allerdings gering. Alle 3 Standorte lagen im Durchschnitt weit unter dem Grundwasserswellenwert von 0,3 mg PO₄/l.

Bei der **UZ-Messstelle** in Pettenbach wurde 2016 aufgrund mehrerer Anfragen ein Schwerpunkt auf die Datenrekonstruktion gesetzt, welche wegen des zeitweiligen Ausfalls einiger Sensoren notwendig ist. Desweiteren wurde im Vergleich des Freilandprofils mit dem Lysimeter festgestellt, dass im Lysimeter abrupte Feuchtigkeitsänderungen im Ober- und Unterboden auftreten, welche in weiterer Folge die Sickerwassermessungen verfälschen können. Es zeigt sich weiters, dass in sehr niederschlagsreichen Perioden die Gefäße zur händischen Ermittlung der Sickerwassermenge überlaufen können und die damit ermittelte Sickerwassermenge dann unterschätzt wird. Es wird daher erwogen, die anderen beiden Standorte ebenfalls mit einer Einrichtung zur automatisierten Mengenermittlung (Wippe) auszustatten.

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.
- Kuderna, M., Weinberger, C. (2016). Forschungsprojekt Lysimeter. Technischer Endbericht 2015. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz.