

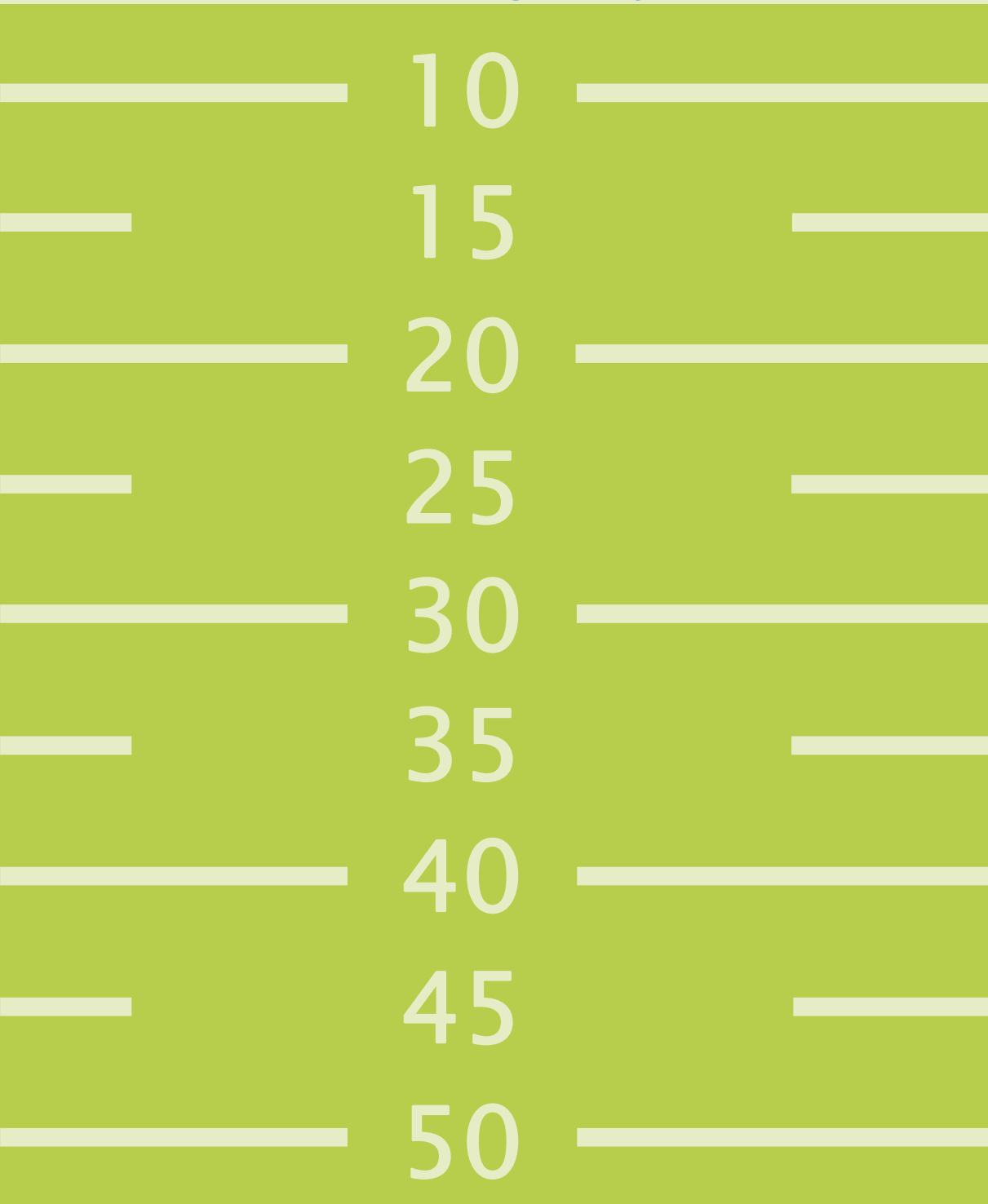


LAND


OBERÖSTERREICH

## Forschungsprojekt Lysimeter

Technischer  
Endbericht  
2019



WW

 Bundesamt  
für Wasserwirtschaft

 Bundesministerium  
Landwirtschaft, Regionen  
und Tourismus

# Forschungsprojekt Lysimeter

## Technischer Endbericht 2019

### Impressum

**Medieninhaber:** Land Oberösterreich

**Herausgeber:**

Amt der Oö. Landesregierung  
Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft  
Abteilung Wasserwirtschaft  
Kärntnerstraße 12, 4021 Linz  
Tel.: (0732) 77 20 - 124 24  
Fax.: (0732) 77 20 - 21 28 60  
E-Mail: [ww.post@ooe.gv.at](mailto:ww.post@ooe.gv.at)

**Projektleiter:** HR Dipl.-Ing. Karl Seltenhammer  
Abteilung Wasserwirtschaft

**Autoren:**

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

Dipl.-Ing. Gabriele Fuchs  
BLRT, Abteilung I-4, 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 2020

Informationen zum Datenschutz finden Sie unter  
<https://www.land-oberoesterreich.gv.at/datenschutz>

**Copyright:** Wasserwirtschaft

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Vorgeschichte und Fragestellung .....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Methoden .....</b>	<b>9</b>
3.1	Probenahme.....	9
3.2	Analytik.....	10
3.3	Bilanzierung .....	11
3.4	Berechnung der Auswaschung .....	11
<b>4</b>	<b>Bewirtschaftung .....</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>14</b>
5.1	Wirtschaftsdünger und Ernteproben.....	14
5.2	Stickstoffsalden .....	15
5.3	N <sub>min</sub> -Gehalte im Boden .....	17
5.4	Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstalzell.....	21
5.4.1	Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung .....	21
5.4.2	Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser.....	22
5.5	Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach .....	24
5.5.1	Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung .....	24
5.5.2	Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser.....	25
5.6	Nitratauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking.....	27
5.6.1	Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung .....	27
5.6.2	Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser.....	28
5.7	Nitratauswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg .....	30
5.7.1	Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung .....	30
5.7.2	Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser.....	30
5.8	Vergleich der Nitratauswaschung bzw. Nitratkonzentration im Sickerwasser zwischen den Standorten ...	33
5.9	Einfluss des Stickstoffsaldos auf die Nitratverlagerung .....	36
5.10	Phosphorbilanzen.....	37
5.11	Phosphatauswaschung.....	38
<b>6</b>	<b>Hydrographische Auswertung der UZ-Messstelle Pettenbach.....</b>	<b>42</b>
6.1	Allgemeines .....	42
6.2	Hydrographische Messergebnisse .....	42
6.3	Grundwasserneubildung .....	43
6.4	Bodenwasserverhältnisse .....	45
<b>7</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen .....</b>	<b>47</b>
<b>8</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>49</b>

**ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

Abb. 2-1: Lage der Lysimeter.....7

Abb. 5-1: N<sub>min</sub>-Gehalte am tiefgründigen Standort in Eberstalzell ..... 17

Abb. 5-2: N<sub>min</sub>-Gehalte am tiefgründigen Standort in Pettenbach - Variante 1 (=Lysimeter) ..... 18

Abb. 5-3: N<sub>min</sub>-Gehalte am tiefgründigen Standort in Pettenbach - Variante 2 ..... 18

Abb. 5-4: N<sub>min</sub>-Gehalte am tiefgründigen Standort in Pettenbach - Variante 3 ..... 18

Abb. 5-5: N<sub>min</sub>-Gehalte am seichtgr. Standort in Pucking ..... 19

Abb. 5-6: N<sub>min</sub>-Gehalte am mittelgr. Standort in Schwertberg ..... 19

Abb. 5-7: Vergleich der N<sub>min</sub>-Gehalte der Standorte seit September 2010 ..... 20

Abb. 5-8: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. EB) ..... 21

Abb. 5-9: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2010 (tiefgr. EB) \*Juli 2016 nicht gesamtes SW erfasst ..... 21

Abb. 5-10: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. EB) ..... 22

Abb. 5-11: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. EB); \*Juli 2016 nicht gesamtes SW erfasst ..... 22

Abb. 5-12: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (tiefgr. EB) ..... 23

Abb. 5-13: Nitratauswaschung und N<sub>min</sub>-Gehalte des Bodens (tiefgr. EB) ..... 23

Abb. 5-14: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. PE) ..... 24

Abb. 5-15: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2010 (tiefgr. PE) \*von Mai – Okt. 2014, Mai bis Sept. 2016 und August 2017 nicht gesamtes Sickerwasser erfasst ..... 24

Abb. 5-16: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. PE) ..... 25

Abb. 5-17: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. PE) \*von Mai – Okt. 2014, Mai bis Sept. 2016 und August 2017 nicht gesamtes Sickerwasser erfasst ..... 25

Abb. 5-18: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (tiefgr. PE) ..... 26

Abb. 5-19: Nitratauswaschung und N<sub>min</sub>-Gehalte des Bodens (tiefgr. PE) ..... 26

Abb. 5-20: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (seichtgr.) ..... 27

Abb. 5-21: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2010 (seichtgründig) ..... 27

Abb. 5-22: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig) ..... 28

Abb. 5-23: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig) ..... 28

Abb. 5-24: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (seichtgründig) ..... 29

Abb. 5-25: Nitratauswaschung und N<sub>min</sub>-Gehalte des Bodens (seichtgründig) ..... 29

Abb. 5-26: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (mittelgründig) L5=gestört, L6=ungestört ..... 30

Abb. 5-27: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (mittelgründig) L5=gestört ..... 31

Abb. 5-28: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (mittelgründig) L6=ungestört ..... 31

Abb. 5-29: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) L5=gestört ..... 31

Abb. 5-30: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) L6=ungestört ..... 31

Abb. 5-31: N<sub>min</sub>-Gehalt des Bodens (ab April 2017) und Nitratauswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) L5=gestört ..... 32

Abb. 5-32: N<sub>min</sub>-Gehalt des Bodens (ab April 2017) und Nitratauswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) L6=ungestört ..... 32

Abb. 5-33: Monatliche Niederschlagssummen ..... 33

Abb. 5-34: Monatliche Sickerwassermengen ..... 33

Abb. 5-35: Durchschnittliche monatliche Nitratkonzentrationen.....	34
Abb. 5-36: Monatliche Nitratauswaschung .....	34
Abb. 5-37: Summe der als Nitrat ausgewaschenen Stickstoffmenge an den vier Standorten .....	35
Abb. 5-38: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Eberstalzell .....	36
Abb. 5-39: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Pettenbach.....	36
Abb. 5-40: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Pucking .....	36
Abb. 5-41: Monatliche Phosphatauswaschung.....	38
Abb. 5-42: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstalzell .....	38
Abb. 5-43: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach.....	39
Abb. 5-44: Phosphatauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking .....	39
Abb. 5-45: Phosphatauswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg (gestörter Bodenaufbau) .....	40
Abb. 5-46: Phosphatauswaschung mittelgründigen Standort in Schwertberg (ungestörter Bodenaufbau) .....	40
Abb. 5-47: Summe der ausgewaschenen P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Menge .....	41
Abb. 6-1: Niederschlags-Jahres- und Monatssummenlinien 2018 (blau) und 2019 (rot) in Pettenbach.....	42
Abb. 6-2: Niederschlags-Jahres- und Monatssummenlinien 2018 (blau) und 2019 (rot) in Vorchdorf .....	42
Abb. 6-3: Lufttemperatur-Jahres- und Monatssummenlinie und Monatsmittel 2018 (blau) und 2019 (rot) in Pettenbach .....	43
Abb. 6-4: Globalstrahlungs-Jahressummenlinie und Wochenmittel 2018 (blau) und 2019 (rot) der Station Pettenbach .....	43
Abb. 6-5: Luftfeuchte- (oben) und Windgeschwindigkeits- (unten) Wochenmittel 2018 (blau) und 2019 (rot).....	43
Abb. 6-6: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pucking 2018 (blau) und 2019 (rot)....	43
Abb. 6-7: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Eberstalzell 2018 (blau) und 2019 (rot) .....	44
Abb. 6-8: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pettenbach 2018 (blau) und 2019 (rot)	44
Abb. 6-9: berechnete Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pettenbach 2018 (blau) und 2019 (rot).....	44
Abb. 6-10: Bilanzierte Verdunstungs-Monatssummen 2018 (blau) und 2019 (rot).....	44
Abb. 6-11: Oberboden- und Unterbodentemperaturen 2018 (blau) und 2019 (rot) im Freiland.....	45
Abb. 6-12: Oberboden- und Unterbodentemperaturen 2018 (blau) und 2019 (rot) im Lysimeter .....	45
Abb. 6-13: Oberboden- und Unterbodensaugspannungen 2018 (blau) und 2019 (rot) im Freiland .....	46
Abb. 6-14: Oberboden- und Unterbodensaugspannungen 2018 (blau) und 2019 (rot) im Lysimeter .....	46
Abb. 6-15: SWI des durchwurzelten Bereiches (oben) und unterhalb der Durchwurzelungstiefe (unten) im Freilandprofil, 2018 (blau) und 2019 (rot) .....	46
Abb. 6-16: SWI des durchwurzelten Bereiches (oben) und unterhalb der Durchwurzelungstiefe (unten) im Lysimeter, 2018 (blau) und 2019 (rot).....	46
Abb. 7-1: Monatliche Auswaschung im langjährigen Vergleich .....	47

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 3-1: Tätigkeiten BAW (IKT) .....	9
Tab. 3-2: Analysenprogramm .....	10
Tab. 4-1: Bewirtschaftungsmaßnahmen 2018/2019 (nach Angaben der Bewirtschafter) .....	12
Tab. 5-1: Erntemengen und Analysenergebnisse der Ernteproben .....	14
Tab. 5-2: Stickstoffsalden (jahreswirksam) für das Erntejahr 2019 .....	16
Tab. 5-3: Stickstoffsaldo (feldfallend) für das Erntejahr 2019 .....	16
Tab. 5-4: Sickerwassermengen und durchschnittliche Nitratkonzentration vom 01.11.18 bis 31.10.19 .....	33
Tab. 5-5: Phosphorbilanzen für das Erntejahr 2018 .....	37
Tab. 5-6: Sickerwasser, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -Verluste und mittlere PO <sub>4</sub> -Konzentration im Sickerwasser vom 01.11.18 bis 31.10.19 .....	41

## 1 Zusammenfassung

Seit 1995 werden an drei Standorten in Oberösterreich (Pettenbach, Eberstalzell und Pucking) Freilandlysimeter betrieben. In Schwertberg werden seit 2002 zwei weitere Lysimeter betrieben und ab 2017 im Forschungsprojekt Lysimeter mitbetrachtet. 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. Alle 5 Lysimeter sind in Ackerböden eingebaut, die unter Praxisbedingungen von Landwirten bewirtschaftet werden. Der vorliegende Bericht stellt die Ergebnisse des hydrologischen Jahres 2018/19 dar und vergleicht diese mit den Messreihen der Vorjahre.

Zwei der Lysimeter befinden sich an tiefgründigen Standorten, einer an einem seichtgründigen Standort und einer an einem mittelgründigen Standort. Einer der tiefgründigen Standorte wird seit 2014 nicht mehr (wie zuvor) ausschließlich mit Mineraldünger, sondern auch mit Puten- und Pferdemist oder Biogasgülle gedüngt, der andere wie auch bereits in den vergangenen Jahren mit Schweinegülle. 2019 war auf allen Standorten Wintergetreide angebaut. In Schwertberg war es konkret Wintertriticale, auf allen anderen Standorten Winterweizen.

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 2018/19 sind folgend zusammengefasst:

In Jahren, in denen nach einer Sommerkultur eine Winterung angebaut wird, kommt es regelmäßig zu einem Anstieg des mineralischen Stickstoffs im Boden nach der Ernte der Vorfrucht im Herbst. So auch im Jahr 2019, wo das besonders bei den beiden

tiefgründigen Böden feststellbar war. Nach einem Jahr mit extrem hohen  $N_{\min}$  Gehalten unter Mais, sind diese noch im Dezember 2018, nach dem Anbau von Winterweizen, vorhanden. Dementsprechend weist auch der Verlauf der monatlichen Nitratauswaschung auf allen Standorten einen Schwerpunkt im Dezember und Jänner auf. In Summe ergibt sich daraus eine vergleichsweise hohe Nitratauswaschung, was unter Wintergetreide eher unüblich ist. Aber aufgrund der außergewöhnlich geringen Sickerwassermengen und daraus resultierten geringen N-Auswaschungen im Vorjahr unter Mais bzw. Soja trotz hohen  $N_{\min}$  Gehalten, holte der Winter 2018/19 durch das wieder anfallende Sickerwasser alles auf.

Der restliche Jahresverlauf ist hingegen unauffällig. So halten sich die Sickerwassermengen in Grenzen, und treten nur selten bis garnicht während des Sommers auf. Die hohe Niederschlagsmenge im Mai dürfte insbesondere in Eberstalzell hauptsächlich oberflächlich abgefließen sein, oder wurde gleich von der Kultur aufgenommen ohne in den Untergrund zu versickern. Bis zum Ende des heurigen Beobachtungszeitraums (Oktober 2019) fand kein Sickerwasseraustritt mehr statt, dementsprechend liegt auch die Nitratauswaschung auf allen Standorten ab April bei annähernd null.

Die Weizenerträge entsprachen an den tiefgründigen Standorten und in Schwertberg einer sehr hohen Ertragslage (hoch 2). In Pucking wurde auf dem seichtgründigen Boden eine hohe Ertragslage (hoch 1) erzielt. Die Erträge lagen somit auf allen Standorten auf recht hohem Niveau, obwohl die Düngungsmenge weitaus unter der jeweils erreichten Ertragslage im Jahr 2019 lag. So fand in Pucking und Schwertberg eine Düngung gemäß mittlerer Ertragslage statt, und auf den beiden tiefgründigen Böden gemäß hoch 1. Die Stickstoffsalden waren trotzdem mehr oder weniger stark positiv, mit Ausnahme von Schwertberg, wo ein knapp negativer Saldo erreicht wurde.

Die Reihung der Standorte entsprechend ihrer Phosphatauswaschung hängen mehr oder weniger stark mit der Gründigkeit der Böden zusammen. So treten die geringsten Phosphorverluste auf den tiefgründigen Standorten in Eberstolz und Pettenbach auf. In Schwertberg ist heuer ein starker Unterschied zwischen dem Lysimeter mit gestörtem bzw. ungestörtem Bodenaufbau zu beobachten. Der seichtgründige Boden in Pucking verursacht neben dem gestörten Lysimeter in Schwertberg die höchste Phosphorauswaschung. Im Verhältnis zu der bei der Düngung eingebrachten Phosphormenge war der ausgewaschene Anteil sehr gering.



## 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 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.

Seit dem Frühjahr 2017 sind noch 2 Lysimeteranlagen in Aisting/Schwertberg Teil des Projekts geworden. Die zusätzliche Betrachtung dieses Standortes und der Vergleich mit den Lysimeteranlagen des Landes Oberösterreich unterstützen die Verallgemeinerbarkeit der Erkenntnisse sowie das Herausarbeiten der standortspezifischen Besonderheiten.

Die Lysimeteranlagen in Schwertberg werden seit 2002 bzw. 2003 betrieben, seit 2016 sind neue Messgeräte im Einsatz. Der Freiauslauf befindet sich auf 140 cm Tiefe. Zusätzlich sind auf 40 cm, 70 cm, 100 cm und 130 cm Saugkerzen angebracht. Die beiden Lysimeteranlagen unterscheiden sich bei der Messrichtung nicht und wurden im selben Feldstück eingebaut, jedoch wurde eine davon mit ungestörtem Boden eingebaut, für die andere wurde das Bodenmaterial ausgegraben und entsprechend der Bodenhorizonte wieder befüllt. Der Boden ist als mittelgründig einzustufen.

### 3 Methoden

#### 3.1 Probenahme

Von Anfang September 2001 bis Ende Dezember 2019 erfolgte auf den Lysimeterstandorten eine Be-  
probung 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, so-  
fern Sickerwasser anfiel, wöchentlich gewonnen und  
bis zur Analyse tiefgefroren. Die technische Betreuung  
der Lysimeteranlagen in Eberstalzell, Pettenbach und  
Pucking während des Berichtszeitraums erfolgte durch  
Mitarbeiter des Instituts für Kulturtechnik und Boden-  
wasserhaushalt der Bundesanstalt für Wasserwirt-  
schaft (Tab. 3-1). Die Analysen des Sickerwassers wur-  
den vom Landeslabor OÖ durchgeführt.

Tab. 3-1: Tätigkeiten BAW (IKT)

Datum	Tätigkeit
12.02.2019	Bei <b>L1 und L4</b> wurden die Daten von den Freiauslaufwippen ausgelesen. Im Messschacht <b>L4</b> wurde ein neues Re- gal montiert. Alle Messstellen (L1, L3 und L4) und Wet- terstation wurden kotrolliert.
13.05.2019	Bei allen <b>Lysimetern inkl. Wettersta- tion</b> wurde gemäht. Bei <b>L1 und L4</b> wurden die Daten von den Freiauslaufwippen ausgelesen. Alle Messstellen (L1, L3 und L4) und Wet- terstation wurden kotrolliert
04.06.2019	Bei <b>L1 und L4</b> wurden die Daten von den Freiauslaufwippen ausgelesen. Alle Messstellen (L1, L3 und L4) und Wet- terstation wurden kotrolliert.
22.07.2019	Bei <b>Lysimeter 1 und 3</b> wurde der Auf- satzring gezogen.

Datum	Tätigkeit
	Bei allen <b>Lysimetern inkl. Wettersta- tion</b> wurde gemäht. Bei <b>L1 und L4</b> wurden die Daten von den Freiauslaufwippen ausgelesen. 3 Ernteproben (L1, K1A u. K1B) genom- men L1, L3, L4 und die Wetterstation wurden kontrolliert.
19.08.2019	Bei <b>Lysimeter 4</b> wurde der Aufsatzring eingebaut und die Zwischenfrucht um den Lysimeterring eingesät. Alle Messstellen (L1, L3 und L4) und Wet- terstation wurden kotrolliert.
30.08.2019	Bei <b>Lysimeter 1 und 3</b> wurden der Auf- satzring eingebaut und die Zwischen- frucht um den Lysimeterring eingesät. Alle Messstellen (L1, L3 und L4) und Wet- terstation wurden kotrolliert.
04.10.2019	Bei allen <b>Lysimetern inkl. Wettersta- tion</b> wurde gemäht. Bei <b>L1 und L4</b> wurden die Daten von den Freiauslaufwippen ausgelesen. Die Niederschlagswaage wurde ausgeli- tert und mit Salz versehen. Alle Messstellen (L1, L3 und L4) und Wet- terstation wurden kotrolliert.
04.12.2019	Bei <b>L1 und L4</b> wurden die Daten von den Freiauslaufwippen ausgelesen und Batterien für Datenlogger getauscht. Alle Vakuumanlagen wurden genau kon- trolliert, da sie unterschiedliche Sickerwassermengen liefern. Es wurden keine Mängel festgestellt. Der extrem heiße Sommer hat den Boden, auch in tieferen Bodenschichten ausgetrocknet.

Datum	Tätigkeit
	Alle Messstellen (L1, L3 und L4) und Wetterstation wurden kontrolliert.

Am Lysimeterstandort in Schwertberg erfolgt die Probenahme des Sickerwassers ebenfalls im Wochenrhythmus. Zusätzlich werden Niederschlag, Temperatur und der Witterungsverlauf dokumentiert. Die Wartung der Anlagen übernimmt der Landwirt selbst.

Sechsmal pro Jahr wurden von wpa Bodenproben aus den Tiefenstufen 0-30, 30-60 und 60-90 cm der beiden tiefgründigen Standorte entnommen. Vom seichtgründigen Boden konnten ab 40 cm Tiefe keine Bodenproben mehr genommen werden, da ab dieser Tiefe der Grobanteil dominiert. Am mittelgründigen Standort wurden zeitgleich Proben ab April 2017 genommen. 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 m<sup>2</sup>. 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 Sickerwasseranalysen wurden vom Landeslabor OÖ durchgeführt, die restlichen Analysen von Chemcon - Technisches Büro für Technische Chemie GmbH. In Tabelle Tab. 3-2 werden die angewandten Methodenvorschriften aufgelistet.

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 Nachlieferbarer Stickstoff im anaeroben Brutversuch	ÖNORM L1091  ÖNORM L 1204
Pflanzenproben	Trockenmasse N <sub>gesamt</sub> P <sub>gesamt</sub>	N: Kjeldahlaufschluss, P: HNO <sub>3</sub> Aufschluss, photometrische Bestimmung mittels Ammonmolybdat nach Abtrennung der störenden Matrix
Wirtschaftsdünger	Ammonium, N <sub>gesamt</sub> , P <sub>gesamt</sub>	Ammonium: gemäß ÖNORM ISO 5664, N <sub>gesamt</sub> , P <sub>gesamt</sub> S.O.

### 3.3 Bilanzierung

Zur Bilanzierung der N- und P- Ein- und Austräge wurde der Boden bis 1,5 m Tiefe abgegrenzt (Einbautiefe des Lysimeterauslaufs). Im Boden verbleibende Pflanzenteile wurden damit dem Boden zugerechnet, die oberirdischen Pflanzenteile jedoch nicht. Sie scheinen daher in der Bilanz auf. Der Bilanzierungszeitraum umfasst die Ernte der vorangegangenen Hauptfrucht bis zur Ernte der Hauptfrucht des Jahres 2018. 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 nur für die Lysimeterflächen 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 7. 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 Konzentrationen vom Lysimeter und den Kontrollmessstellen ein. Phosphat wurde nur an den Proben aus den Lysimetern analysiert.

Zur Ermittlung der Sickerwassermenge wird der Freiauslauf aus den Lysimetern über eine Wippe geführt. Zur Kontrolle und um einen eventuellen Ausfall der Wippe überbrücken zu können, werden parallel dazu im Zuge der wöchentlichen Sickerwasserprobenahme Kübelmessungen durchgeführt.

Aus den Konzentrationen und der im jeweiligen Zeitraum ermittelten Sickerwassermenge wird die Menge an ausgewaschenem Nitrat und Phosphat berechnet.

#### 4 Bewirtschaftung

Auf allen vier Standorten wird eine konventionelle Bewirtschaftungsweise durchgeführt. Die Hauptkultur des Jahres 2019 war auf den Standorten in Pettenbach, Pucking und Eberstalzell Winterweizen, in Schwertberg Triticale. Die einzelnen Bewirtschaftungsmaßnahmen sind in Tab. 4-1 angeführt. Die Summe der N-Düngung betrug am tiefgründigen Standort in Eberstalzell demnach 148 kg N/ha (jahreswirksam) und am seichtgründigen Standort in Pucking 121 kg N/ha. Am tiefgründigen Standort in Pettenbach wurde vom Landwirt ein Düngeversuch mit 3 Varianten angelegt. Bei Variante 1 wurde in Summe 160 kg N/ha (jahreswirksam) ausgebracht, bei Variante 2 insgesamt

89 kg N/ha (jahreswirksam) und bei Variante 3 98 kg N/ha (jahreswirksam). Die Lysimeteranlage befand sich innerhalb der Variante 1. Am Standort in Schwertberg wurden 108 kg N/ha aufgebracht. Die Phosphordüngermengen betragen in Eberstalzell 32 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, in Pucking 50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha und in Schwertberg 45 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. In Pettenbach erfolgte nur auf den Varianten 1 und 3 eine Phosphordüngung mit 34 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha.

Bezüglich der Stickstoffdüngung entspricht das Düngeneiveau in Eberstalzell und in Pettenbach (Variante 1) einer hohen Ertragslage (hoch 1). In Pucking und Schwertberg entspricht die Düngung einer mittleren Ertragslage (NAPV 2018).

Tab. 4-1: Bewirtschaftungsmaßnahmen 2018/2019 (nach Angaben der Bewirtschafter)

Datum	Tiefgr. Eberstalzell	Tiefgr. Pettenbach	Seichtgr. Pucking	Mittelgr. Schwertberg
02.08.2018			Ernte Körnermais	
17.08.2018				Ernte Sojabohne
29.08.2018				Grubbern
02.09.2018			Grubbern	
15.09.2018			Grubbern	
18.09.2018				Grubbern
21.09.2018	Ernte Körnermais			
29.09.2018			Grubbern	
30.09.2018			Aussaat Winterweizen	
01.10.2018				Aussaat Wintertriticale
08.10.2018		Ernte Körnermais		
05.10.2018	Pflügen			
12.10.2018	Düngung Schweinegülle 21 m <sup>3</sup> /ha	Anbau Winterweizen		
13.10.2018	Anbau Winterweizen			
07.03.2019			Düngung 250 kg Linzer Pro	

Datum	Tiefgr. Eberstalzell	Tiefgr. Pettenbach	Seichtgr. Pucking	Mittelgr. Schwertberg
23.03.2019	Düngung 200 kg NAC			
24.03.2019		Düngung 198 kg Ammonsulfat		
30.03.2019				Düngung 300 kg Complex
01.04.2019		Düngung Varianten V1 und V3: 15,2 m <sup>3</sup> /ha Biogasgülle		
09.04.2019			Düngung 205 kg Ammonsulfat	Düngung 125 kg Linzer NAC
19.04.2019		Düngung Variante V1 230 kg NAC Variante V2 177 kg NAC		
27.04.2019	Düngung 170 kg NAC			
02.05.2019				Düngung 110 kg Linzer NAC
17.05.2019			Düngung 205 kg Ammonsulfat	
07.07.2019				Ernte Triticale 8 t/ha
12.07.2019			Ernte WW 7,2 t/ha	
22.07.2019		Ernte Winterweizen		
25.07.2019	Ernte Winterweizen (7 t bei 12,4%) 12% Hagelschaden Stroh gehäckselt			
29.07.2019				Grubbern
30.07.2019	Grubbern Anbau Begrünung			
01.08.2019			Anbau Zwischenfrucht mit Leguminosen	
16.08.2019				Aussaat Zwischenfrucht
26.08.2019		Düngung Putenmist		
27.08.2019		Anbau Raps		

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Wirtschaftsdünger und Ernteproben

Am Betrieb in Eberstalzell wurde vor dem Anbau Schweinegülle ausgebracht. Der Ammoniumstickstoffgehalt im Oktober 2018 betrug 3,1 kg/m<sup>3</sup> und der Gesamtstickstoffgehalt 3,3 kg/m<sup>3</sup>. Umgerechnet auf jahreswirksamen Stickstoff ergibt das 2,3 kg/m<sup>3</sup>. Der P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - Gehalt betrug 1,5 kg/m<sup>3</sup>.

Die im März 2019 ausgebrachte Biogasgülle in Pettenbach hatte einen Ammoniumstickstoffgehalt von 3,3 kg/m<sup>3</sup> und einen Gesamtstickstoffgehalt von 4,2 kg/m<sup>3</sup>. Da die Wirksamkeit der Biogasgülle auf Grund der Analysenwerte der einer Jauche entspricht, erfolgt kein Abzug für die Jahreswirksamkeit, weshalb der feldfallende Stickstoff dem jahreswirksamen entspricht. Dieser beträgt 3,7 kg/m<sup>3</sup>. Der P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - Gehalt betrug 2,2 kg/m<sup>3</sup>.

Die Erntemengen und Analysenergebnisse der Ernteproben sind in Tab. 5-1 dargestellt. Aus dem Vergleich der Ergebnisse der eigentlichen Lysimeterflächen mit

den Mittelwerten von Lysimeterfläche plus 2 Vergleichsflächen mit jeweils 1 m<sup>2</sup> Fläche ist ersichtlich, dass der Kornertrag auf der Lysimeterfläche bei allen Standorten etwas niedriger als der Durchschnitt aus Lysimeterfläche und Kontrollstellen war, mit Ausnahme von Schwertberg.

Umgerechnet auf Standardfeuchte wurden im Durchschnitt aller beprobten Stellen eines Standorts am tiefgründigen Standort in Eberstalzell 8,1 t/ha Winterweizen geerntet, am tiefgründigen Standort in Pettenbach 8,5 t/ha und am seichtgründigen Standort 6,4 t. In Schwertberg wurden 7,9 t/ha Triticale geerntet. Auf den beiden tiefgründigen Standorten und in Schwertberg wurde eine sehr hohe Ertragslage (hoch 2; gem. NAPV 2018) erreicht, in Pucking eine hohe Ertragslage (hoch 1).

Der Vergleich der drei Düngevarianten im Pettenbach ergab hinsichtlich der Erntehöhe keinen Vorteil der höher gedüngten Variante V1 (160 kg N/ha) gegenüber V2 (89 kg N/ha) oder V3 (98 kg N/ha). Bei V2 ist allerdings der Stickstoff- und damit der Proteingehalt deutlich niedriger.

Tab. 5-1: Erntemengen und Analysenergebnisse der Ernteproben

Probe	Erntemenge (g TS/m <sup>2</sup> )	Trockenmasse (%)	N <sub>gesamt</sub> (g/kg TS)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g/kg TS)
Tiefgr. EB- Lys Korn	563	88%	20,1	4,8
Tiefgr. EB- MW Korn	697	88%	20,0	4,5
Tiefgr. EB- Lys Stroh	649	92%	4,8	1,5
Tiefgr. EB- MW Stroh	746	93%	3,1	1,3
Tiefgr. PE - Lys Korn	549	86%	17,7	3,2
Tiefgr. PE - MW Korn V1	728	82%	17,0	5,7
Tiefgr. PE - MW Korn V2	870	88%	14,8	6,5
Tiefgr. PE - MW Korn V3	766	87%	16,7	4,9
Tiefgr. PE - Lys Stroh	507	88%	3,7	1,2
Tiefgr. PE - MW Stroh V1	734	91%	3,1	0,6



Probe	Erntemenge (g TS/m <sup>2</sup> )	Trockenmasse (%)	N <sub>gesamt</sub> (g/kg TS)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g/kg TS)
Tiefgr. PE - MW Stroh V2	844	90%	2,7	0,6
Tiefgr. PE - MW Stroh V3	711	90%	3,0	0,7
Seichtgr. - Lys Korn	501	90%	16,8	4,7
Seichtgr. - MW Korn	553	89%	17,3	5,7
Seichtgr. - Lys Stroh	559	96%	5,2	0,5
Seichtgr. - MW Stroh	641	94%	3,4	0,5
Mittelgr. SB - Lys Korn	735	90%	16,3	5,0
Mittelgr. SB - MW Korn	681	90%	16,3	5,0
Mittelgr. SB - Lys Stroh	819	93%	2,6	1,4
Mittelgr. SB - MW Stroh	734	93%	2,6	1,4

Probenbezeichnung: Lys = Probe über Lysimeter, MW = Mittelwert aller Ernteproben am Feld, n.a. = nicht analysiert

## 5.2 Stickstoffsalden

Eine Gegenüberstellung der Stickstoffentzüge mit dem N-Düngeaufwand (jahreswirksam) ergibt für alle Standorte mit Ausnahme von Schwertberg einen positiven Stickstoffsaldo. In Eberstalzell liegt der Saldo beim Lysimeter aufgrund des geringeren Ertrages bei 35 kg N/ha während im Durchschnitt über das Feld ein ausglichener Saldo erzielt wird. Pucking ist betreffend den Überschuss am Lysimeter mit Eberstalzell vergleichbar, jedoch liegt die Differenz zwischen Stickstoffzufuhr und -abfuhr im Felddurchschnitt bei 25 kg N/ha. In Pettenbach liegt der Saldo bei 40 kg N/ha, am Lysimeter sogar bei über 60 kg N/ha. Die niedriger gedüngten Varianten haben hingegen einen negativen N-Saldo (V2: -40 kg N/ha, V3: -30 kg N/ha), da die höher gedüngte Variante V1 (160 kg N/ha) im Vergleich keinen höheren N-Entzug bewirkte. In Schwertberg ist der Saldo ebenfalls negativ, da im Vergleich zur Düngung ein sehr hoher Ertrag erzielt wurde. 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. In Eberstalzell steigt der Saldo um 12 kg N/ha und bewegt sich am Lysimeter daher auf knapp unter 50 kg N/ha. In Pettenbach entspricht der jahreswirksame Stickstoff dem feldfallenden, weshalb sich keine Änderungen ergeben. In Pucking und Schwertberg sind diese ebenfalls ident aufgrund der rein mineralischen Düngung.

Die Bilanzsalden für die Ernteabfuhr variieren zwischen den Lysimeterflächen und Vergleichsflächen bzw. den daraus gebildeten Mittelwerten auf allen Standorten vor allem aufgrund der Ertragsunterschiede. Der Unterschied bewegt sich bis auf Eberstalzell und Pettenbach in einem geringen Bereich. 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 2019

	Tiefgr. Standort in Eberstalzell		Tiefgr. Standort in Pettenbach (Variante 1)		Seichtgr. Standort in Pucking		Mittelgr. Standort in Schwertberg	
	----- kg N/ha -----							
Stickstoffzufuhr aus Düngung jahreswirksam	148		160		121		108	
Entzug durch Pflanzen	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW
Entzug durch Korn	113	140	97	119	84	96	120	111
Entzug durch Stroh	31	22	19	21	29	21	21	19
Summe Entzug	144	162	116	140	113	117	141	130
Abfuhr durch Ernte	113	140	97	119	84	96	120	111
Saldo Korn	35	8	63	41	37	25	-12	-3
Saldo Korn + Stroh	4	-14	44	119	8	25	-33	-22
Saldo Ernte	35	8	63	41	37	25	-12	-3

Tab. 5-3: Stickstoffsaldo (feldfallend) für das Erntejahr 2019

	Tiefgr. Standort in Eberstalzell		Tiefgr. Standort in Pettenbach (Variante1)		Seichtgr. Standort in Pucking		Mittelgr. Standort in Schwertberg	
	----- kg N/ha -----							
Stickstoffzufuhr aus Düngung feldfallend	160		160		121		108	
Entzug durch Pflanzen	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW
Entzug durch Korn	113	140	97	119	84	96	120	111
Entzug durch das Stroh	31	22	19	21	29	21	21	19
Summe Entzug	144	162	116	140	113	117	141	130
Abfuhr durch Ernte	113	140	97	119	84	96	120	111
Saldo Korn	47	20	63	41	37	25	-12	-3
Saldo Korn + Stroh	16	-2	44	119	8	25	-33	-22
Saldo Ernte	47	20	63	41	37	25	-12	-3

### 5.3 $N_{\min}$ -Gehalte im Boden

Die  $N_{\min}$ -Gehalte (Nitrat + Ammonium) im Boden zeigen auf den fünf Standorten einen Zusammenhang mit den Düngemaßnahmen (Tab. 4-1), dem zeitlichen Verlauf der Stickstoffaufnahme der Kulturen sowie der Temperaturentwicklung (Abb. 6-11, Abb. 6-12 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**), die sich auf die Stickstoffmineralisierung im Boden auswirkt. Auf allen Standorten wurde Wintergetreide angebaut, welches unterschiedlich hoch gedüngt wurde, weshalb zwar Ähnlichkeiten zwischen den Standorten erkennbar sind, die Höhe der Messwerte sich jedoch unterscheidet.

Am tiefgründigen Standort in Eberstalzell starten die  $N_{\min}$  Gehalte bereits recht hoch in den Winter (Abb. 5-1), nachdem zum Anbau des Weizens Schweinegülle aufgebracht wurde. Der Rückgang bis zum Februar entspricht weitgehend der Nitratauswaschung in diesem Zeitraum (vgl. Abb. 5-10). Der darauffolgende Anstieg bis April steht im Zusammenhang mit weiteren Düngemaßnahmen und der Mineralisierung des organischen Stickstoffs, wobei im März überdurchschnittlich hohe Bodentemperaturen festgestellt wurden. Danach sinken die  $N_{\min}$  Gehalte auf Grund der Pflanzenaufnahme auf unter 20 kg N/ha und bleiben bis Dezember auch weitgehend niedrig, was wahrscheinlich auch auf die nachfolgend angebaute Begrü- nung ohne Düngemaßnahmen zurückzuführen ist.

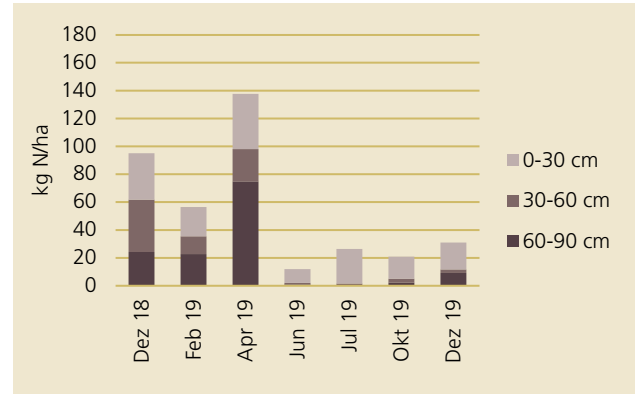


Abb. 5-1:  $N_{\min}$ -Gehalte am tiefgründigen Standort in Eberstalzell

Am tiefgründigen Standort in Pettenbach wurde nach Körnermais im Vorjahr ebenfalls Winterweizen angebaut. Der Landwirt legte auf der Schlagfläche des Lysimeters einen Düngeversuch mit 3 Varianten an, wobei die Düngemenge, und -art sowie die Anzahl der Düngegaben variierten. Bis zur  $N_{min}$  Messung im April wurde die Bewirtschaftung auf allen 3 Varianten gleich geführt. Die Messung im Dezember zeigt einen hohen  $N_{min}$  Gehalt vor allem in 60-90 cm Bodentiefe. Zur Vorjahreskultur waren größere Mengen organischen Stickstoffs als Putenmist ausgebracht worden. Dieser dürfte zwischenzeitlich mineralisiert und in die Tiefe verlagert worden sein. Bis Februar nehmen die  $N_{min}$  Gehalte auf Grund der Nitratauswaschung in 60-90 cm Bodentiefe ab (vgl. Abb. 5-16) und fallen bis zum Juni bei allen 3 Varianten auf ca. 10 kg N/ha. Im Juli sind erstmals kleine Unterschiede beim  $N_{min}$  Gehalt in der obersten Bodenschicht zu erkennen. Die Variante 2, welche die geringste Düngemenge erhalten hat, weist den niedrigsten  $N_{min}$  Gehalt auf. Die Varianten 1 und 3 sind unterscheiden sich nur wenig. Nach der Getreideernte wurde Wintertraps angebaut und davor mit Putenmist gedüngt, was auch beim  $N_{min}$  Gehalt sichtbar ist (Abb. 5-2 bis Abb. 5-4).

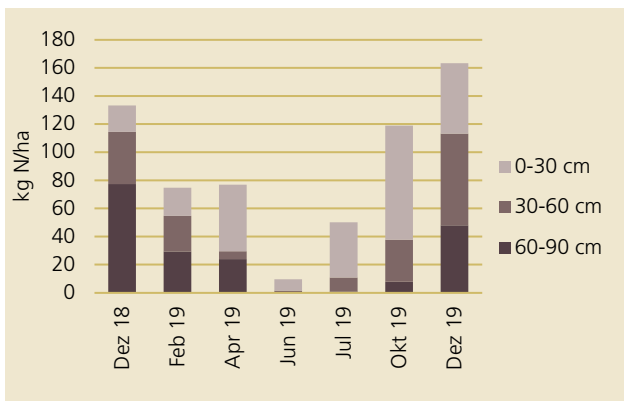


Abb. 5-2:  $N_{min}$ -Gehalte am tiefgründigen Standort in Pettenbach - Variante 1 (=Lysimeter)

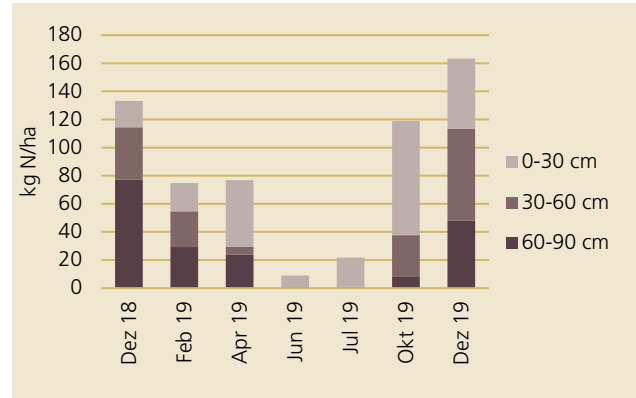


Abb. 5-3:  $N_{min}$ -Gehalte am tiefgründigen Standort in Pettenbach - Variante 2

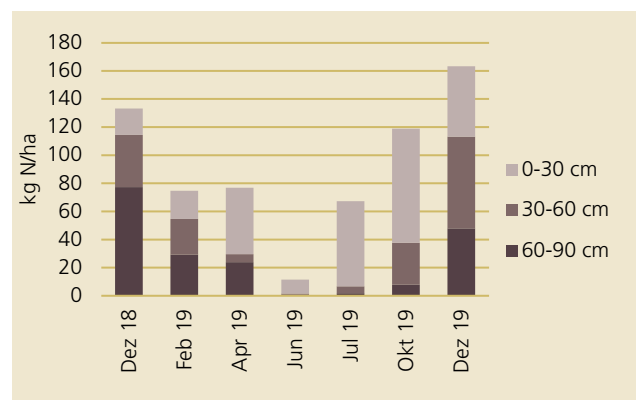


Abb. 5-4:  $N_{min}$ -Gehalte am tiefgründigen Standort in Pettenbach - Variante 3

Am seichtgründigen Standort in Pucking erfolgte ebenfalls Körnermais der Anbau von Winterweizen. Die  $N_{min}$ -Gehalte sind während des gesamten Beobachtungszeitraums 2018/19 niedrig und bewegen sich größtenteils unter 30 kg N/ha. Einzig im April ist auf Grund der Düngung und Stickstoffmineralisierung ein Anstieg auf 80 kg N/ha zu beobachten (Abb. 5-5). Im August wurde nach der Ernte des Wintergetreides eine Zwischenfrucht angebaut, weshalb auch im Herbst kein Anstieg zu beobachten ist.

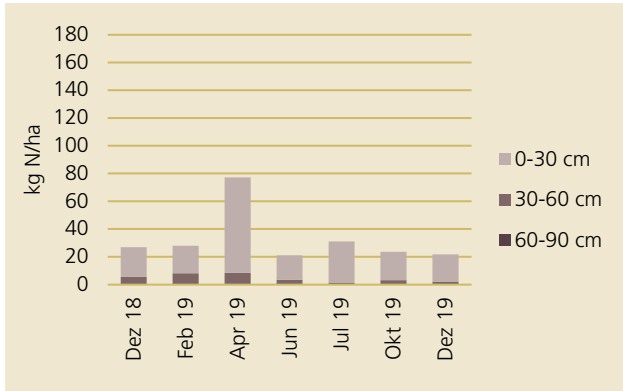


Abb. 5-5: N<sub>min</sub>-Gehalte am seichtgr. Standort in Pucking

Am mittelgründigen Standort in Schwertberg wurde nach Sojabohne im Vorjahr Wintertriticale angebaut. Es erfolgte keine Herbstdüngung, demnach bleiben die N<sub>min</sub> Gehalte zu Beginn des Winters niedrig bei ca. 40 kg N/ha. Bis April ist auf Grund der Düngung und der Bodenerwärmung ein leichter Anstieg auf 60 kg N/ha zu beobachten. Danach sind die Werte vergleichbar mit Pucking (Abb. 5-6). In Schwertberg erfolgte ebenfalls der Anbau einer Zwischenfrucht nach der Getreideernte.

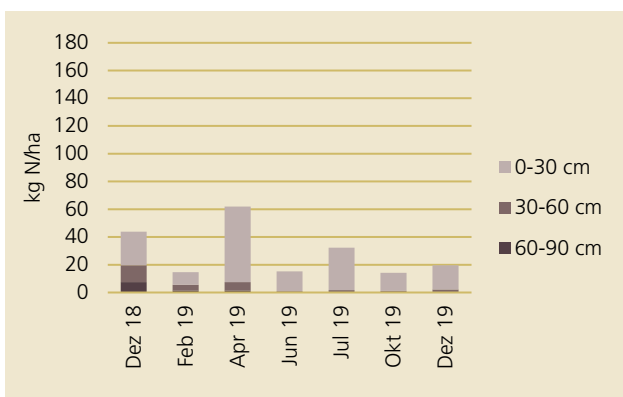


Abb. 5-6: N<sub>min</sub>-Gehalte am mittelgr. Standort in Schwertberg

Im langjährigen Vergleich zeigt sich, dass die  $N_{\min}$  Gehalte des Jahres 2019 in einem durchschnittlichen Bereich liegen (Abb. 5-7).

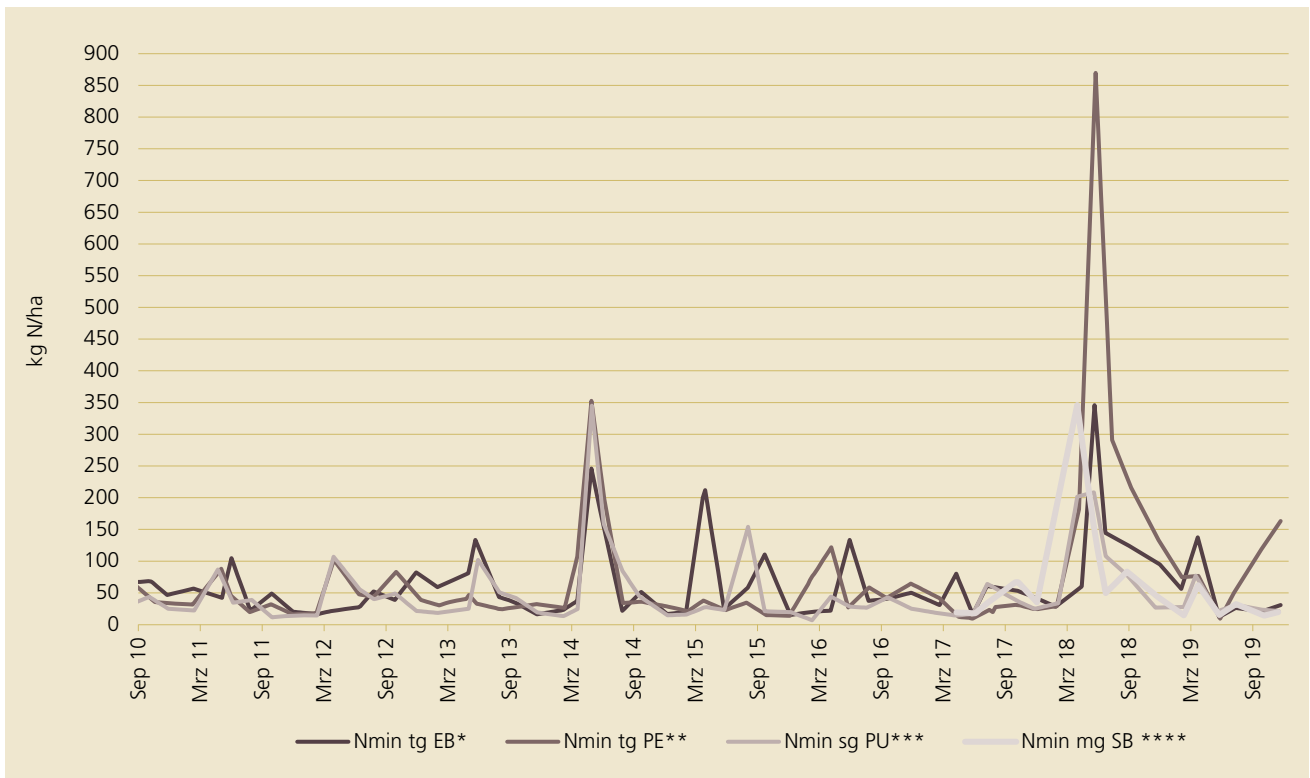


Abb. 5-7: Vergleich der  $N_{\min}$ -Gehalte der Standorte seit September 2010

- \* tiefgründiger Standort in Eberstalzell
- \*\* tiefgründiger Standort in Pettenbach
- \*\*\* seichtgründiger Standort in Pucking
- \*\*\*\* mittelgründiger Standort in Schwertberg

Die Bodenproben vom Juli 2019 wurden zusätzlich zum mineralischen Stickstoff auf das Mineralisierungspotenzial (nachlieferbarer Stickstoff) untersucht. Dies ergab für alle Proben ein niedriges Stickstoffmineralisierungspotenzial und lieferte somit keinen Anhaltspunkt zur Interpretation anderer Ergebnisse ( $N_{\min}$ , Auswaschung, etc.). Anzumerken ist, dass von dieser Untersuchungsmethode auch in anderem Zusammenhang nur eine beschränkte Aussagekraft festgestellt wurde (wpa et al. 2019).

## 5.4 Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstalzell

### 5.4.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

Im hydrologischen Jahr 2018/19 fielen 935 mm Niederschlag. Die Sickerwassermenge in diesem Zeitraum betrug 224 mm, was 24% der Niederschlagsmenge entspricht. Im Mai fiel mit 193 mm der meiste Niederschlag. Auch im Dezember 2018 wurde eine große Niederschlagsmenge von 127 mm gemessen (Abb. 5-8, Abb. 5-9).

Das Sickerwasser bildete sich ausschließlich im Zeitraum Dezember bis Juni. Der Großteil davon wiederum während des Winters. Die großen Niederschlagsmengen im Mai verursachten nur wenig Sickerwasser, da zu diesem Zeitpunkt das Wintergetreide bereits

erhebliche Wassermengen aufnimmt und zuvor nur wenig Niederschläge fielen.

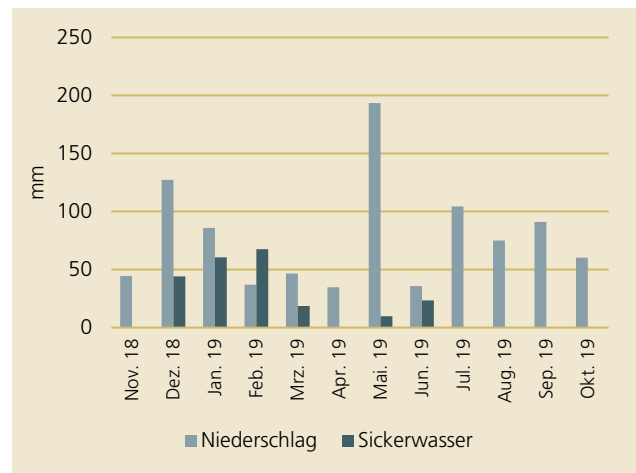


Abb. 5-8: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. EB)

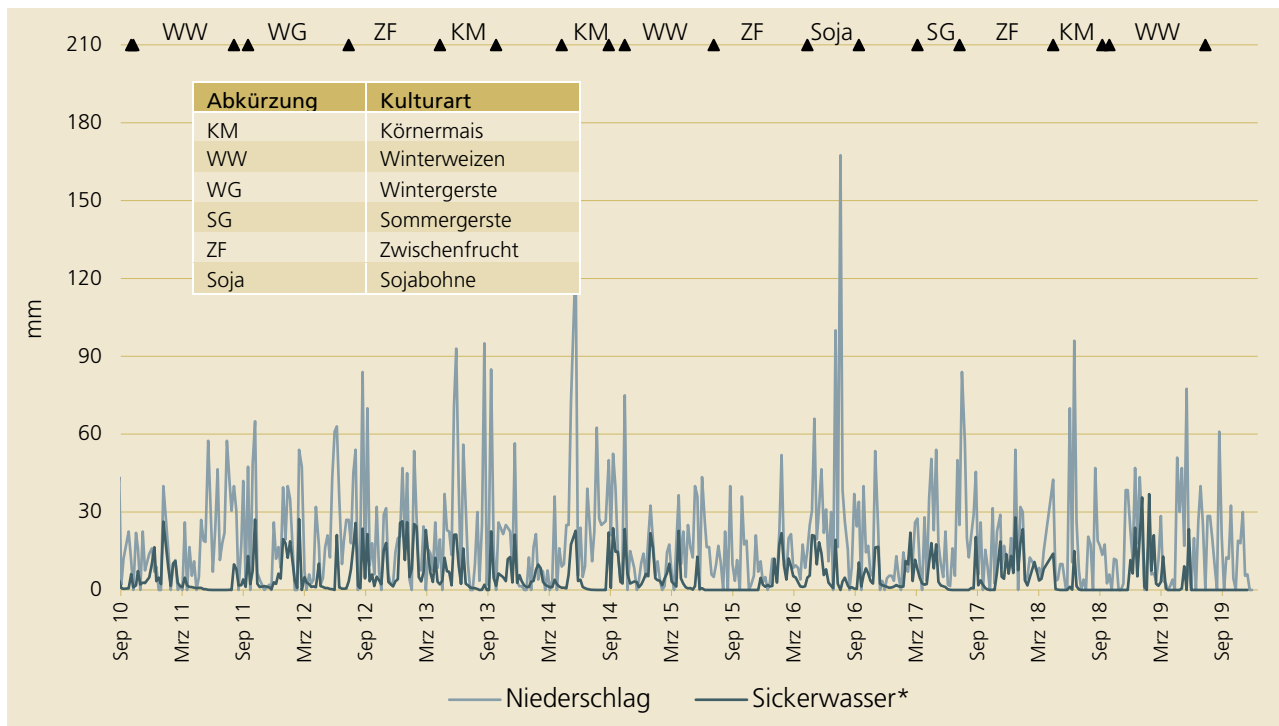


Abb. 5-9: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2010 (tiefgr. EB) \*Juli 2016 nicht gesamtes SW erfasst

### 5.4.2 Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser

Die Sickerwassermenge und die Nitratkonzentration verlaufen weitgehend parallel. So wird das meiste Nitrat während des Winters in tieferliegende Schichten transportiert. Während des Sommers verursachen die starken Niederschläge und die darauffolgenden Sickerwassermengen nur eine geringe Nitratauswaschung von unter 2 kg N/ha pro Monat (Abb. 5-10). Ab Juli wurde kein Sickerwasser mehr gemessen und demnach fand auch keine Nitratauswaschung mehr statt.

Die Nitratkonzentration im Sickerwasser ist ebenfalls im Winter am höchsten und erreicht im Dezember mit 170 mg/l das Maximum (Abb. 5-11 bis Abb. 5-13). Die Jahresgesamtsumme der ausgewaschenen

Stickstoffmenge betrug 59 kg N/ha, was im Vergleich zu vorhergehenden Jahren mit Winterweizen relativ hoch ist.

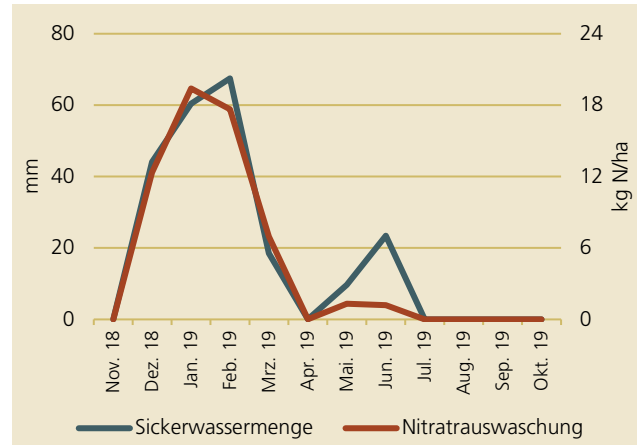


Abb. 5-10: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefg. EB)

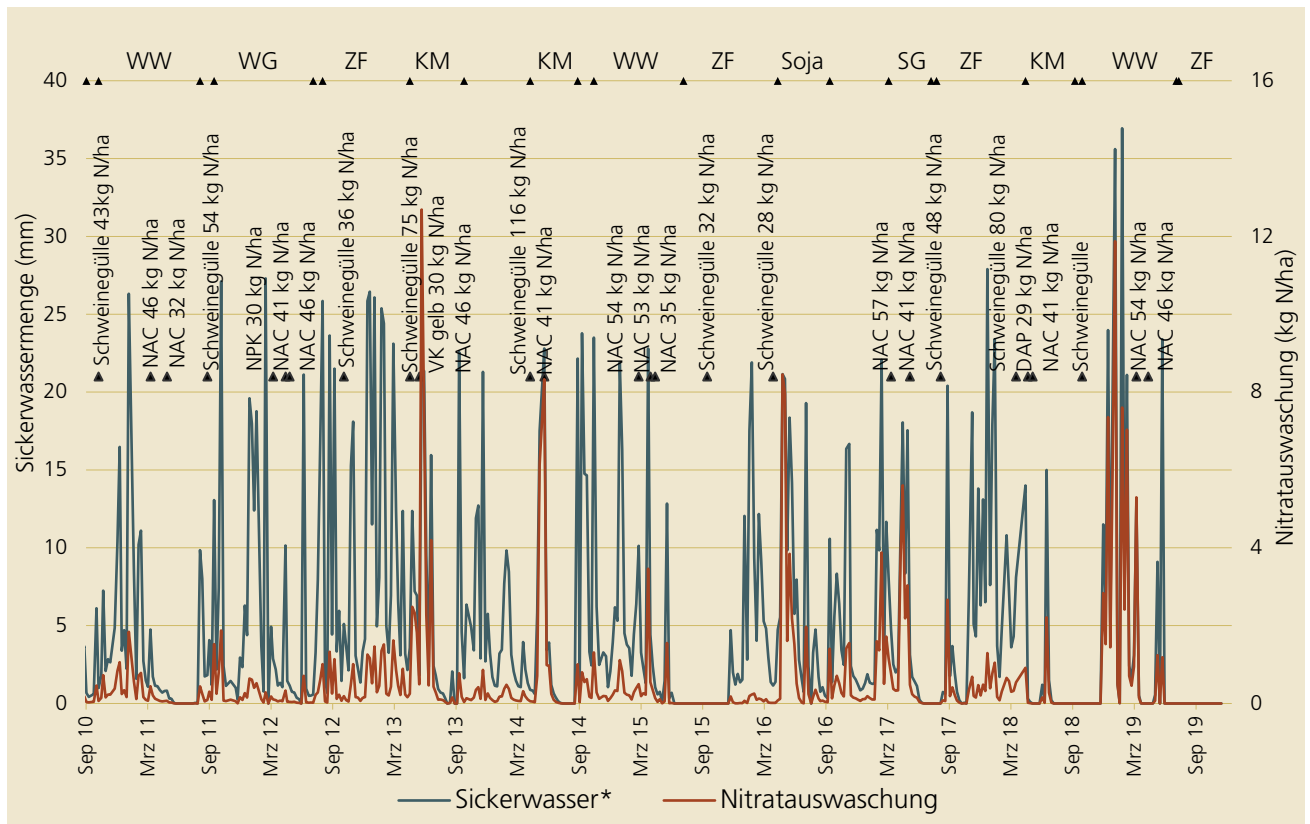


Abb. 5-11: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefg. EB); \*Juli 2016 nicht gesamtes SW erfasst



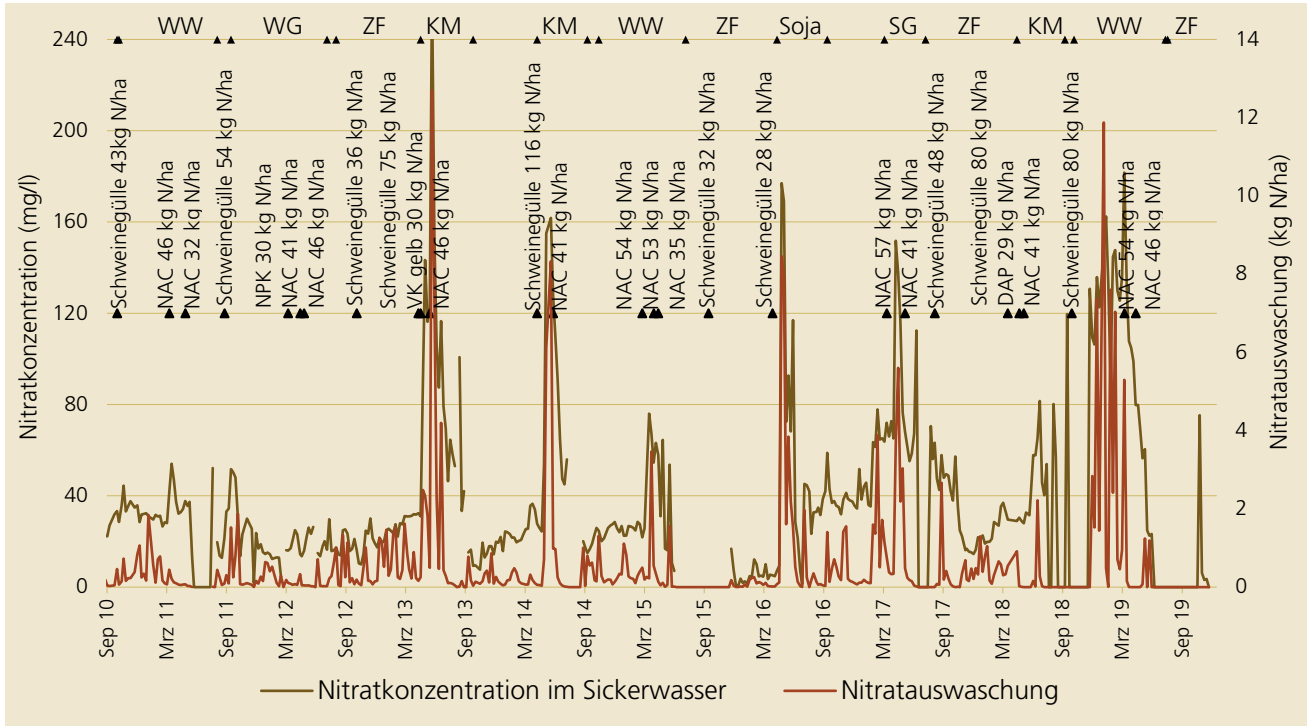


Abb. 5-12: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (tiefer EB)

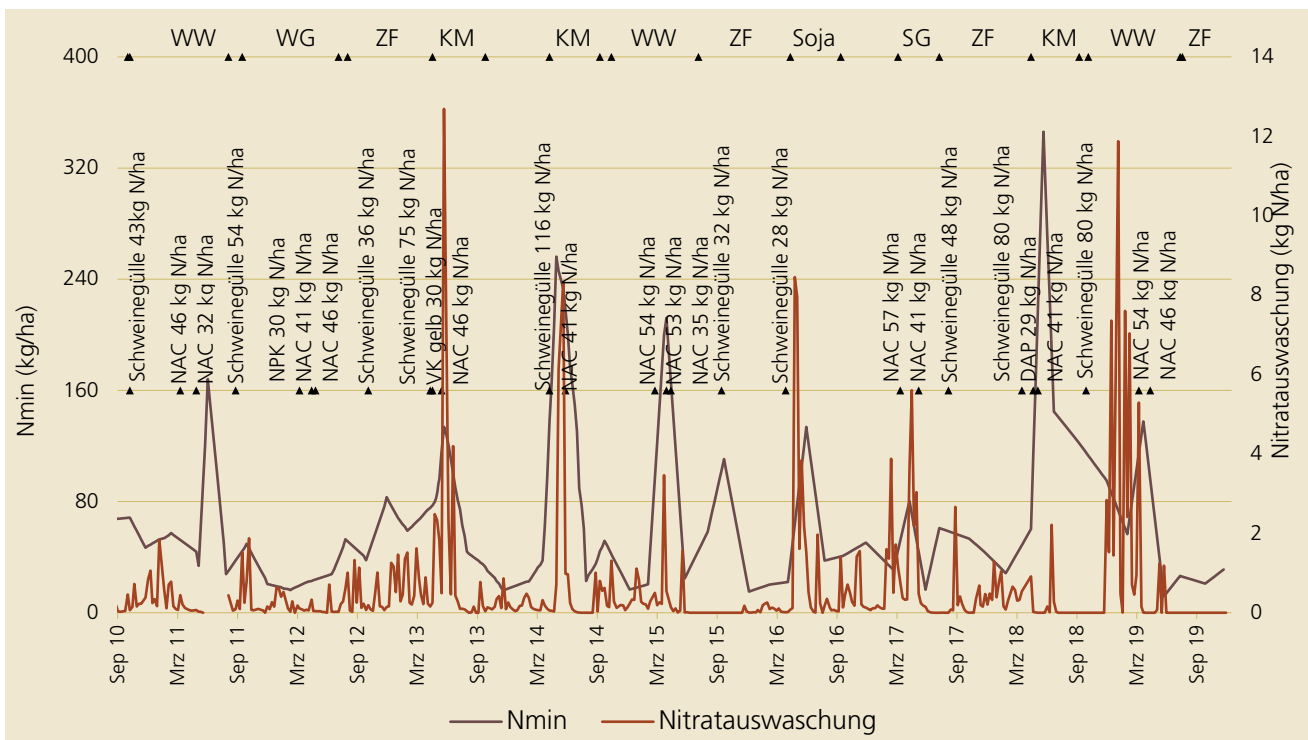


Abb. 5-13: Nitratauswaschung und N<sub>min</sub>-Gehalte des Bodens (tiefer. EB)

## 5.5 Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach

### 5.5.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

Im hydrologischen Jahr 2018/19 betrug die Niederschlagssumme 873 mm, die gemessene Sickerwassermenge im selben Zeitraum 299 mm, das entspricht etwa 34% der Niederschlagsmenge (Abb. 5-14).

Im November 2018 wurde weder Niederschlag noch Sickerwasser gemessen. Die höchsten Niederschlagssummen traten wie in Eberstallzell im Mai auf und betragen fast 200 mm. Ebenfalls vergleichbar mit dem anderen tiefgründigen Standort ist die Sickerwassermenge während der Wintermonate, welche im Dezember und Jänner am größten ist. Im Mai ist nochmal

eine höhere Sickerwassermenge zu beobachten, ab Juli versickert kein Niederschlagswasser mehr in tiefere Bodenschichten.

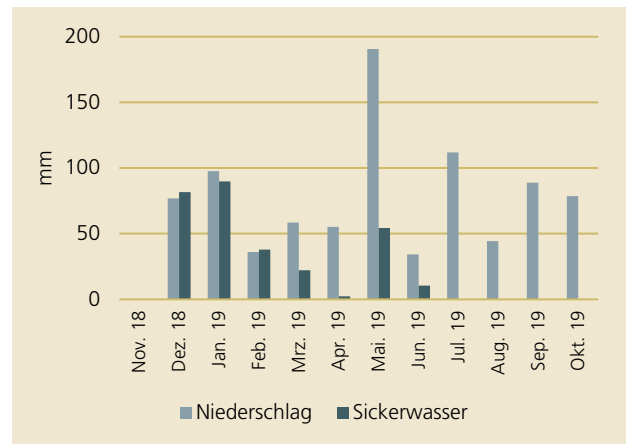


Abb. 5-14: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. PE)

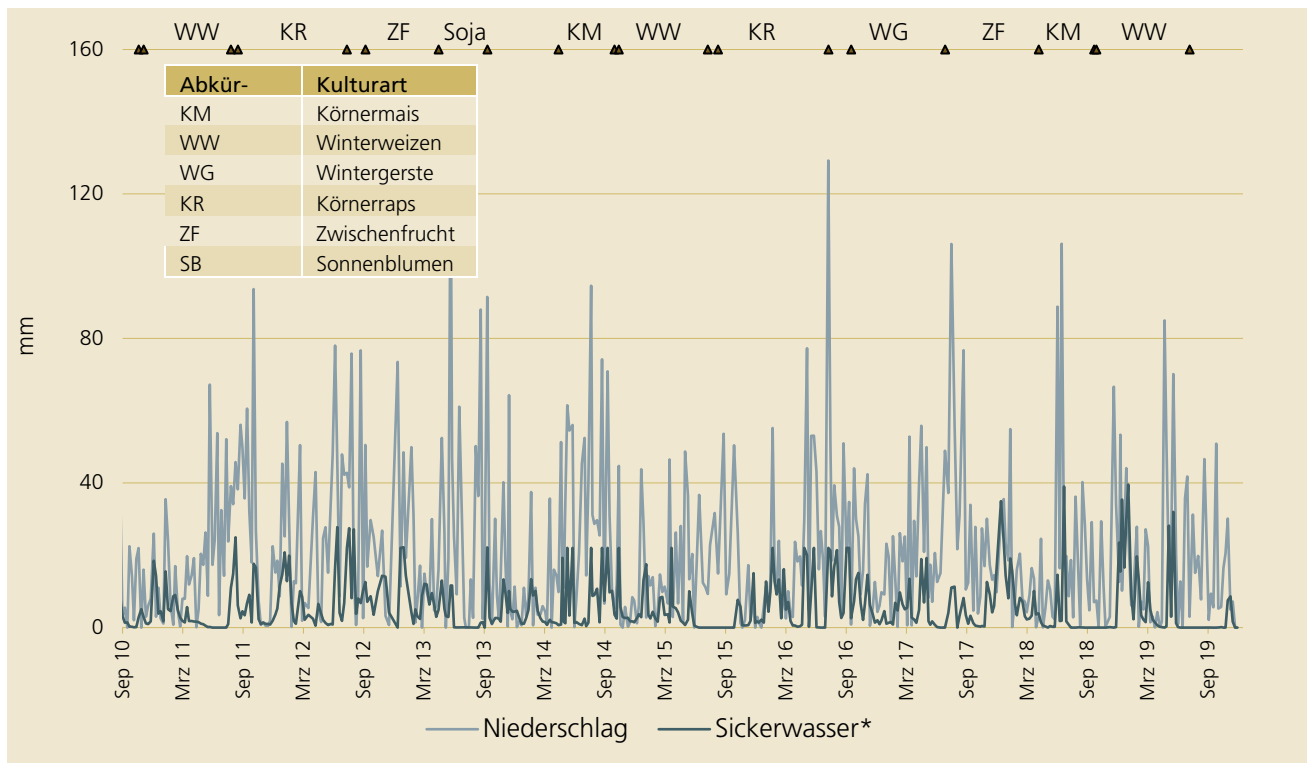


Abb. 5-15: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2010 (tiefgr. PE) \*von Mai – Okt. 2014, Mai bis Sept. 2016 und August 2017 nicht gesamtes Sickerwasser erfasst

### 5.5.2 Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser

Die monatliche durchschnittliche Nitratkonzentration im Sickerwasser lag während des gesamten Beobachtungszeitraums 2018/19 meistens im Bereich zwischen 70 und 80 mg/l. Auch während der Wintermonate, wo ein Großteil des Sickerwassers gebildet wurde und sich dadurch um die 30 kg N/ha allein im Dezember und Jänner in tiefere Schichten verlagerten (vgl. Abb. 5-16 und Abb. 5-18). So wurde in Summe eine für diesen Standort und unter Wintergetreide vergleichsweise hohe Menge an Nitrat ausgewaschen (39 kg N/ha). Ein Zusammenhang mit dem noch aus dem Vorjahr bestehenden hohen  $N_{min}$  Gehalt ist wahrscheinlich (Abb. 5-19).

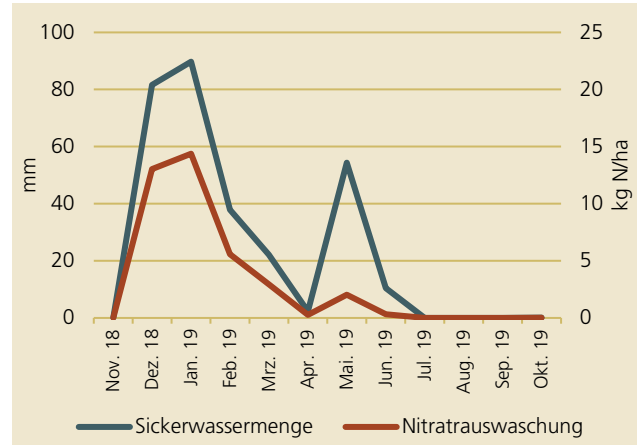


Abb. 5-16: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. PE)

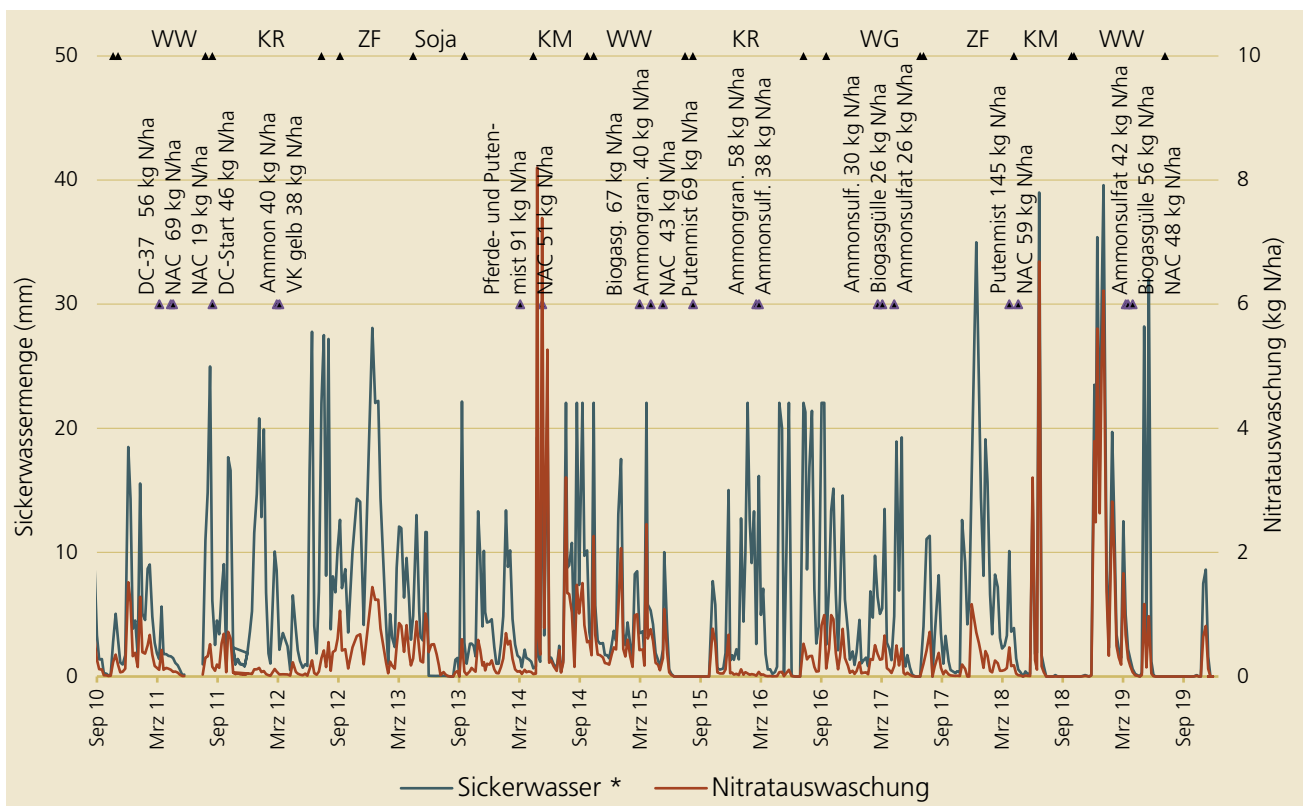


Abb. 5-17: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. PE) \*von Mai – Okt. 2014, Mai bis Sept. 2016 und August 2017 nicht gesamtes Sickerwasser erfasst

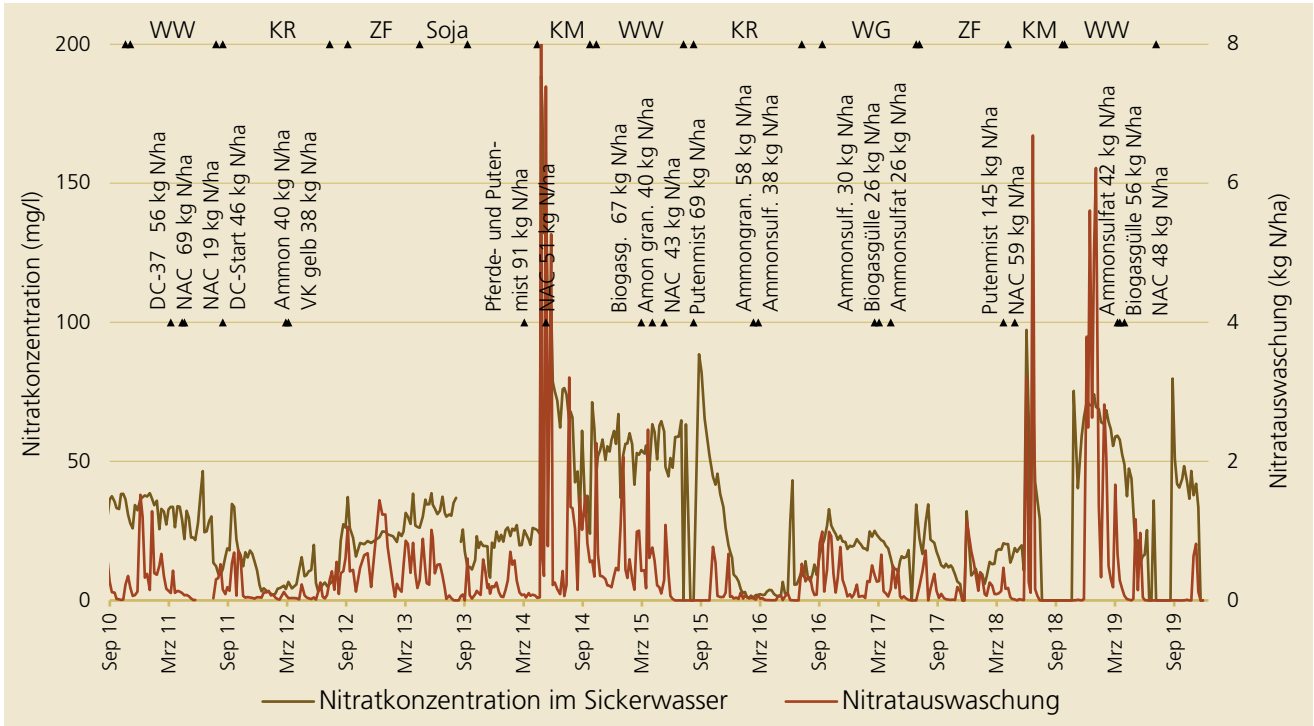


Abb. 5-18: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (tiefr. PE)

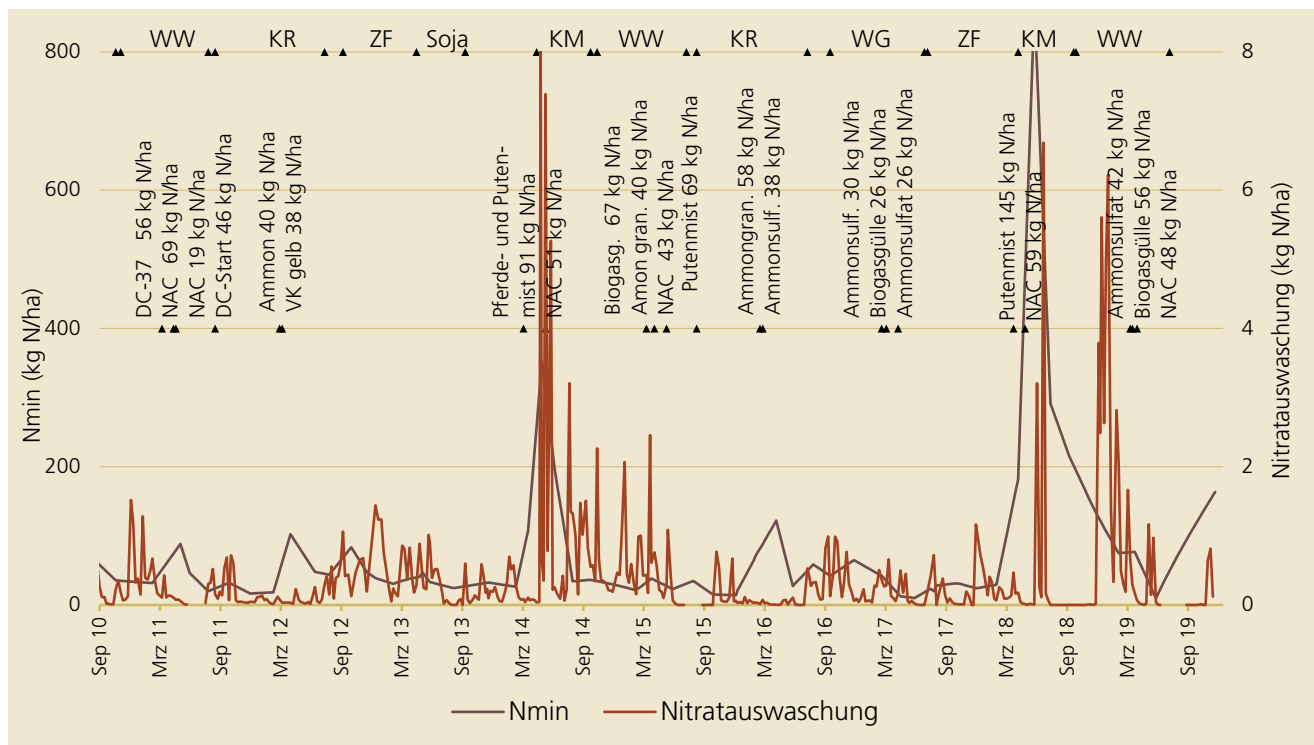


Abb. 5-19: Nitratauswaschung und N<sub>min</sub>-Gehalte des Bodens (tiefr. PE)

## 5.6 Nitrat auswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking

### 5.6.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

Am seichtgründigen Standort fielen im hydrologischen Jahr 2018/19 in Summe 730 mm Niederschlag (Abb. 5-20). Die höchsten Niederschlagsmengen traten im Dezember und im Mai mit jeweils 140 mm pro Monat auf.

Die Sickerwasserbildung erfolgte fast ausschließlich im Winter 2018/19, und hier besonders im Dezember und Jänner. Ab April 2019 trat praktisch kein Sickerwasser mehr auf. In Summe lag die Sickerwasserbildung bei 124 mm, was nur rund 17% der Niederschlagssumme entspricht und vergleichsweise gering ist.

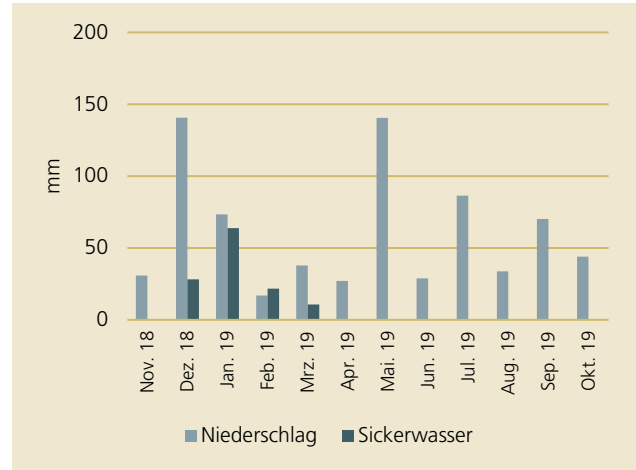


Abb. 5-20: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (seichtgr.)

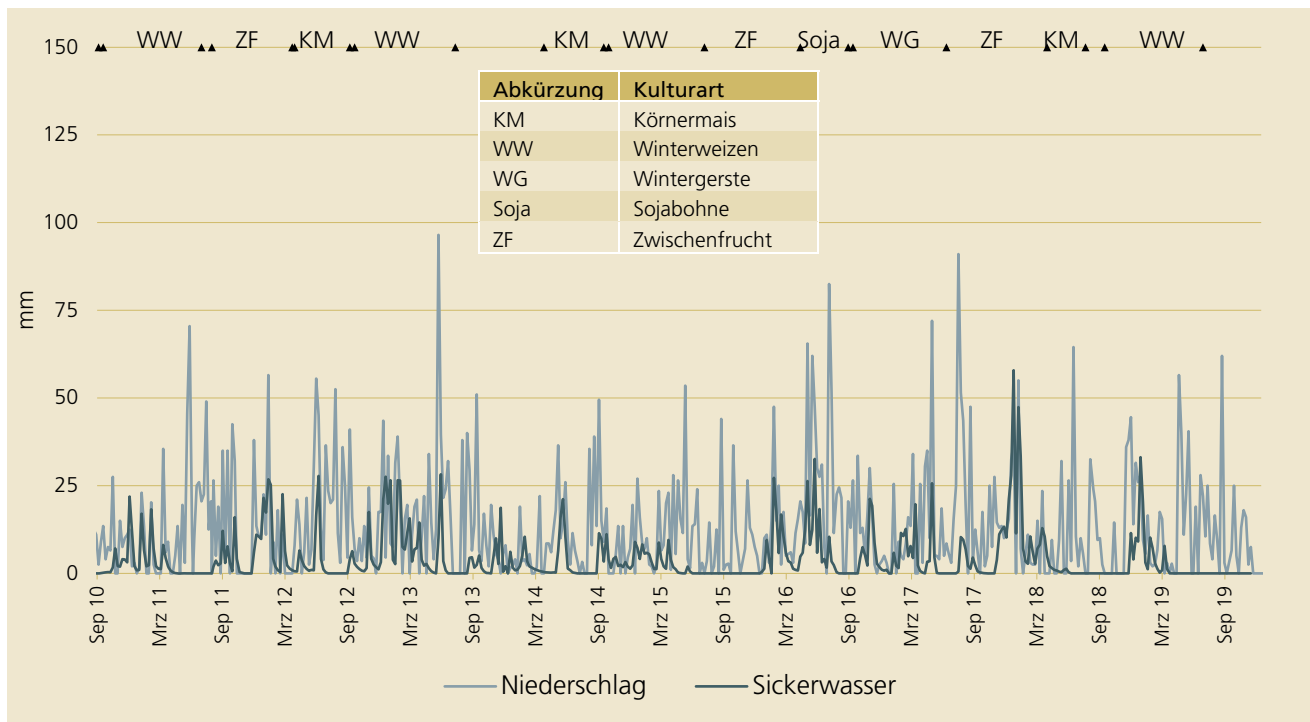


Abb. 5-21: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2010 (seichtgründig)

### 5.6.2 Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und -konzentration im Sickerwasser

Die durchschnittliche Nitratkonzentration im Dezember und Jänner lag über 100 mg/l und sank bis ins Frühjahr stetig (Abb. 5-24). Die  $N_{min}$  Gehalte blieben während der gesamten Vegetationsperiode des Weizens recht niedrig und es wurde kaum Sickerwasser gebildet, nur während der Wintermonate (vgl. Abb. 5-25). Durch diese Umstände erfolgte die Nitratauswaschung zu 95% im Dezember und Jänner. Trotz der hohen Konzentrationen bleibt die Gesamtsumme im hydrologischen Jahr 2018/19 mit rund 36 kg N/ha vergleichsweise niedrig. Auf den anderen Standorten wurden heuer größere Nitratmengen ausgewaschen.

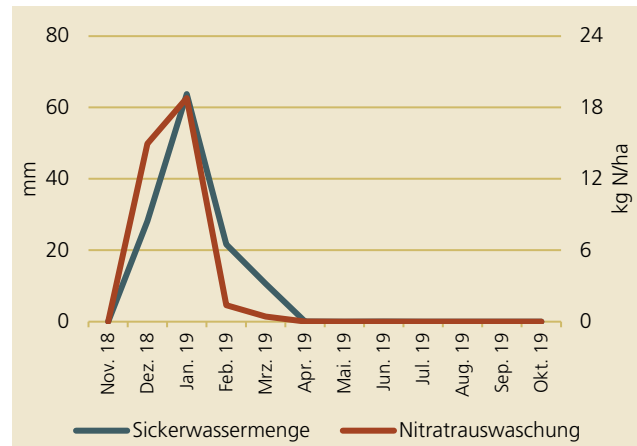


Abb. 5-22: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig)

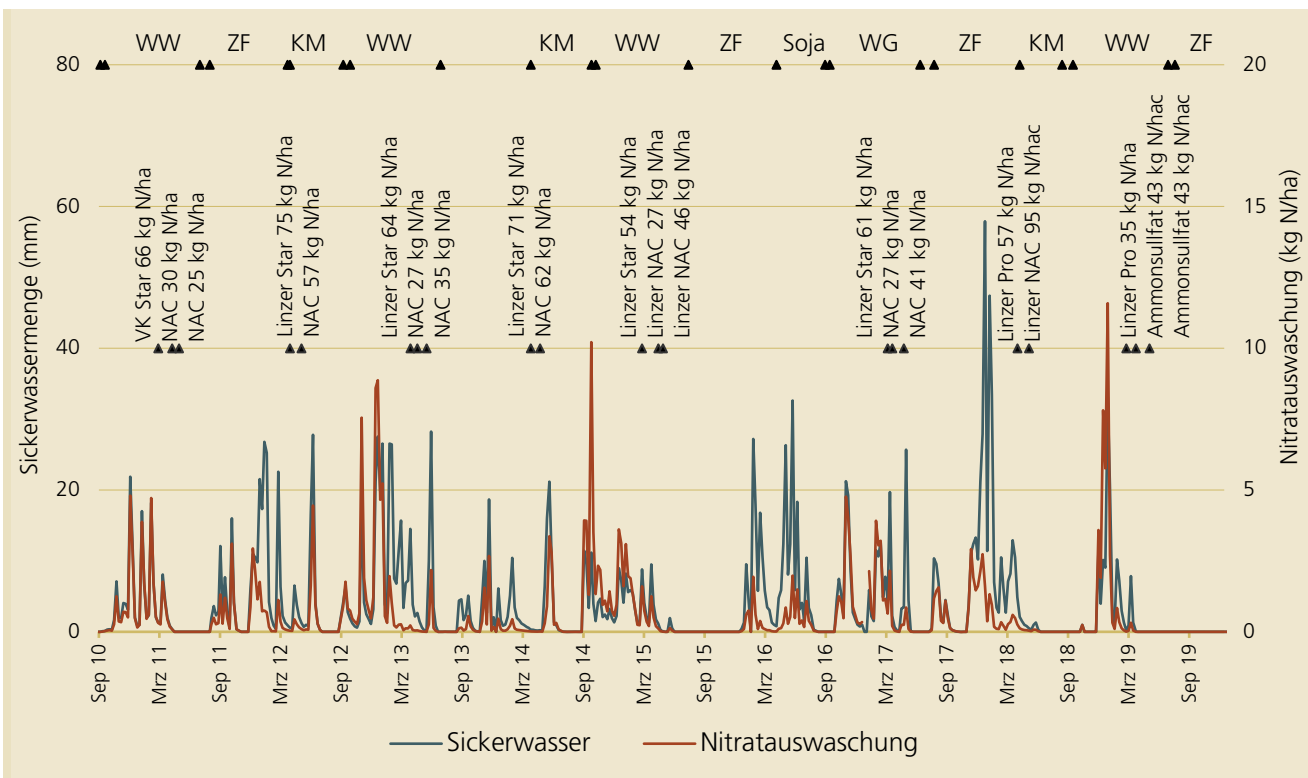


Abb. 5-23: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig)



Abb. 5-24: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (seichtgründig)

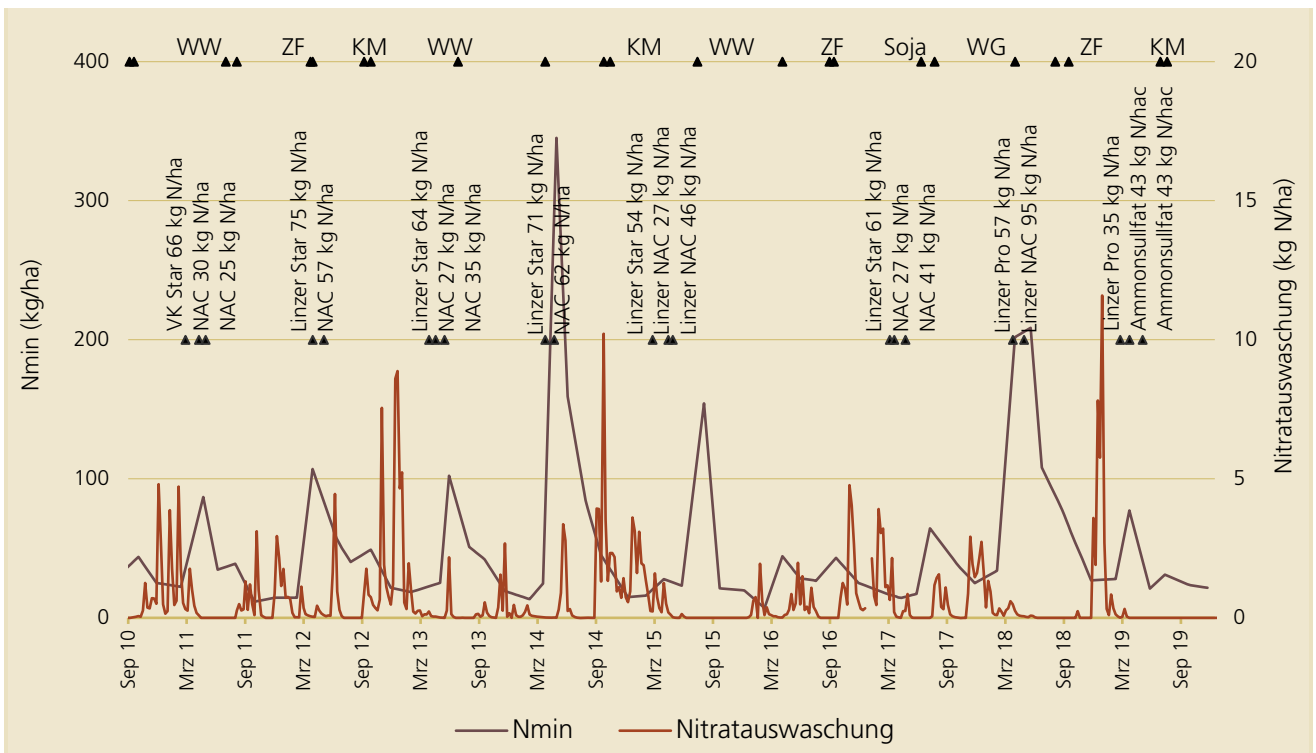


Abb. 5-25: Nitratauswaschung und  $N_{min}$ -Gehalte des Bodens (seichtgründig)

## 5.7 NitratAuswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg

### 5.7.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

In Schwertberg fielen im hydrologischen Jahr 2018/19 in Summe 771 mm Niederschlag (Abb. 5-26). So wie auf den anderen Standorten fielen die größten Niederschlagsmengen im Mai.

Die Sickerwasserbildung erfolgte bei beiden Lysimetern hauptsächlich in den Monaten Dezember und Jänner. Nach dem März ging die Sickerwassermenge fast auf null zurück. Die insgesamte Sickerwassermenge im hydrologischen Jahr 2018/19 war beim Lysimeter mit gestörtem Bodenaufbau um ca. 50 mm höher als beim Lysimeter mit ungestörtem Bodenaufbau. Die gemessene Sickerwassermenge entspricht beim L5, mit gestörtem Bodenaufbau rund 27%, und beim L6 (ungestört) 20% der Niederschlagssumme.

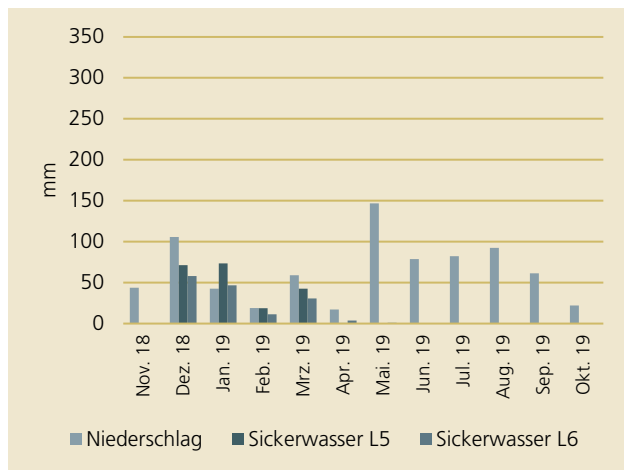


Abb. 5-26: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (mittelgründig)  
L5=gestört, L6=ungestört

### 5.7.2 Sickerwassermenge, NitratAuswaschung und –konzentration im Sickerwasser

Analog zur Sickerwassermenge wurde beim Lysimeter L5 (mit gestörtem Bodenaufbau) mehr Nitrat ausgewaschen als beim Lysimeter L6 (mit ungestörtem Bodenaufbau) (vgl. Abb. 5-27 und Abb. 5-28). Dies wird nicht nur durch die höhere Sickerwassermenge beim Lysimeter L5 bewirkt, sondern auch durch die dort auftretende höhere Nitratkonzentration. Im Durchschnitt über das hydrologische Jahre 2018/19 wurden beim Lysimeter L5 eine Nitratkonzentration von 146 mg/l erreicht mit Spitzen bis zu 200 mg/l im Jänner. Im Vergleich dazu betrug die Konzentration beim Lysimeter L6 116 mg/l (Abb. 5-29, Abb. 5-30).

Die Werte können mit einer hohen Stickstoffnachlieferung des Standorts erklärt werden, die im Frühjahr 2018 zu sehr hohen  $N_{min}$  Gehalten im Boden führten (vgl. Abb. 5-31 und Abb. 5-32). Im Herbst 2018 nach der Ernte wurden noch 80 kg N/ha bis in eine Tiefe von 90 cm gemessen. Erst im Dezember 2018 kam es wieder zu einer nennenswerten Sickerwasserbildung, die dazu führte, dass ein Teil des mineralisierten Stickstoffs ausgewaschen wurde. Insgesamt wurden im hydrologischen Jahr 2018/19 rund 68 kg N/ha beim L5 und 40kg N/ha beim L6 ausgewaschen.



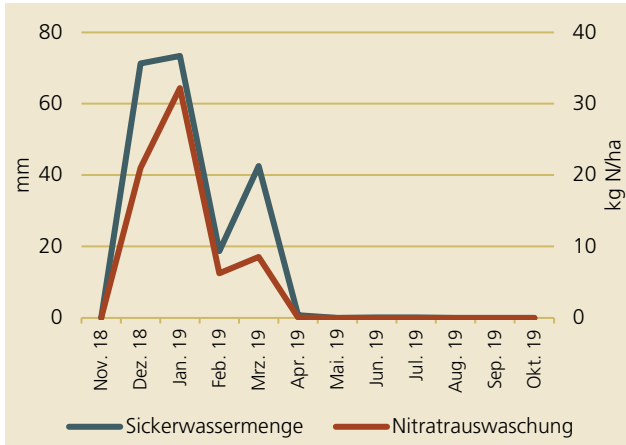


Abb. 5-27: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratrauswaschung (mittelgründig) L5=gestört

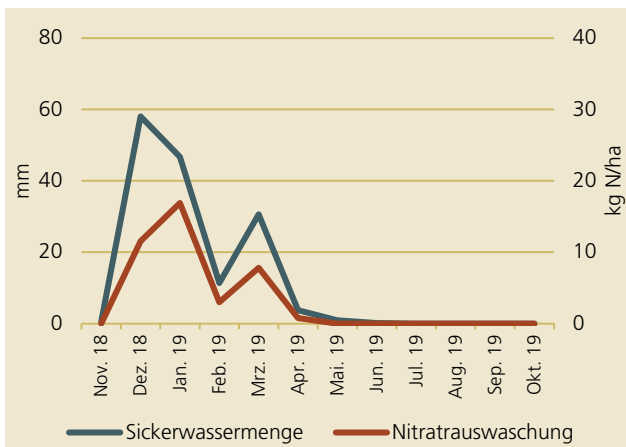


Abb. 5-28: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratrauswaschung (mittelgründig) L6=ungestört

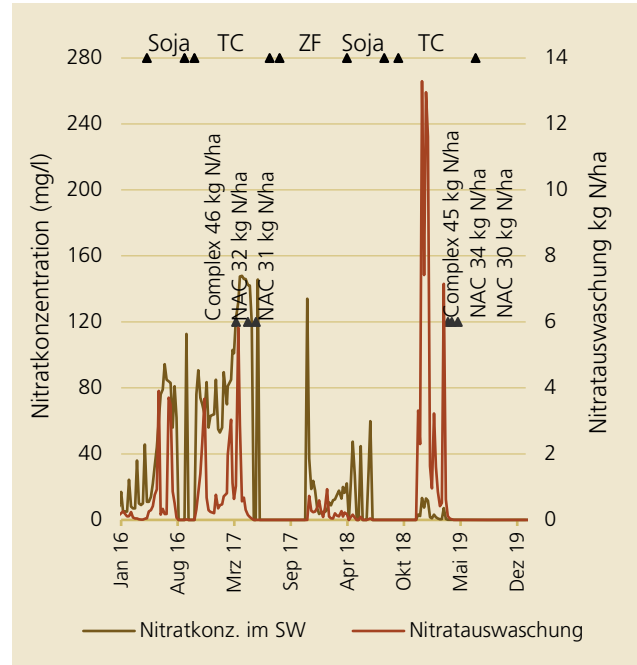


Abb. 5-29: Nitratkonzentration und Nitratrauswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) L5=gestört

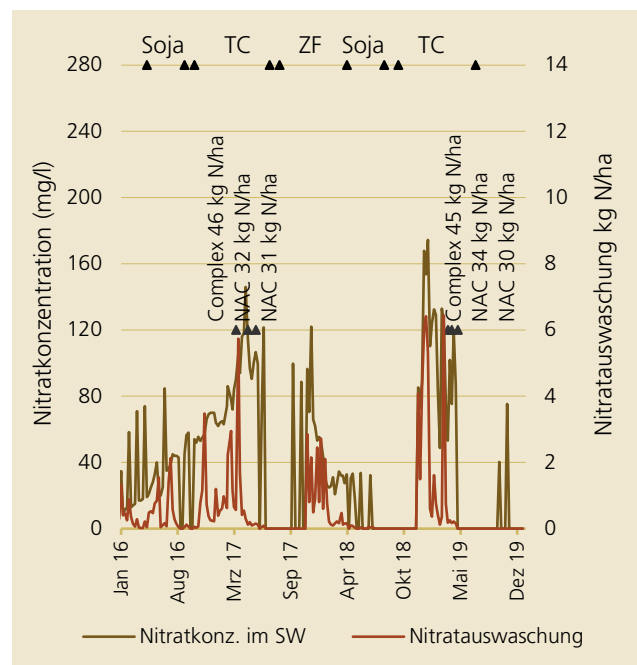


Abb. 5-30: Nitratkonzentration und Nitratrauswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) L6=ungestört

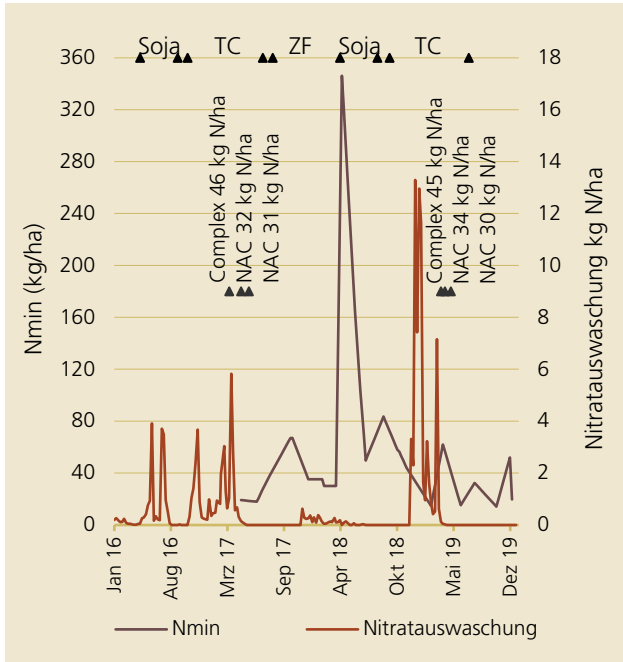


Abb. 5-31: N<sub>min</sub>-Gehalt des Bodens (ab April 2017) und Nitrat auswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) L5=gestört

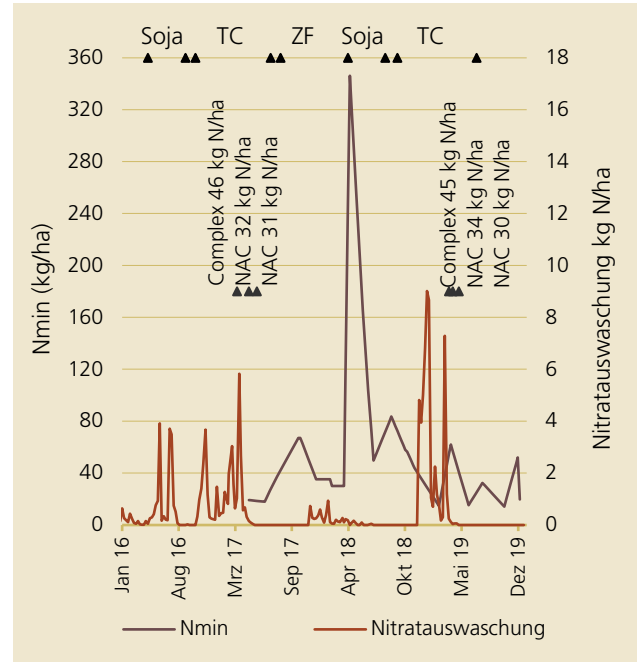


Abb. 5-32: N<sub>min</sub>-Gehalt des Bodens (ab April 2017) und Nitrat auswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) L6=ungestört

### 5.8 Vergleich der Nitratauswaschung bzw. Nitratkonzentration im Sickerwasser zwischen den Standorten

Die monatlichen Niederschlagssummen verlaufen auf allen 4 Standorten ziemlich parallel. In Pucking und Schwertberg sind die Niederschlagsspitzen generell weniger stark ausgeprägt als an den anderen Standorten weshalb die Niederschlagssumme mit 730 bzw. 771 mm unter den Werten von Eberstalzell (935 mm) und Pettenbach (873 mm) liegt (Abb. 5-33).

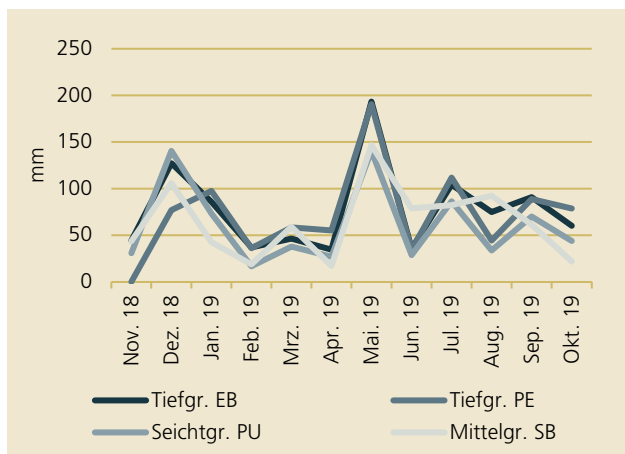


Abb. 5-33: Monatliche Niederschlagssummen

Tab. 5-4: Sickerwassermengen und durchschnittliche Nitratkonzentration vom 01.11.18 bis 31.10.19

	SW [mm]	NO <sub>3</sub> -Kon. [mg/l]
Tiefgr. EB	224	133
Tiefgr. PE	299	57
Seichtgr. PU	124	147
Mittelgr. SB gestört	207	146
Mittelgr. SB ungestört	152	116

Die höchste jährliche Sickerwassermenge wurde in Pettenbach gemessen, an zweiter Stelle steht Eberstalzell. In Pucking fiel mit 124 mm die geringste Sickerwassermenge an. In Schwertberg unterscheiden sich die beiden Lysimeter (gestört und ungestört) erstmals seit dem Jahr 2016 deutlich, wodurch sich ein Unterschied um 50 mm im gesamten hydrologischen Jahr 2018/19 ergibt (Tab. 5-4).

Der Verlauf der Sickerwassermengen ist auf allen Standorten recht ähnlich. Über 50% fallen im Zeitraum von Dezember bis März an. Der April ist auf allen Standorten nahezu Sickerwasserfrei. Im Mai und Juni werden nur auf den beiden tiefgründigen Standorten Eberstalzell und Pettenbach noch nennenswerte Mengen beobachtet, auf allen anderen Standorten ist während des Sommers bis in den Herbst hinein kein Sickerwasser angefallen (Abb. 5-34).

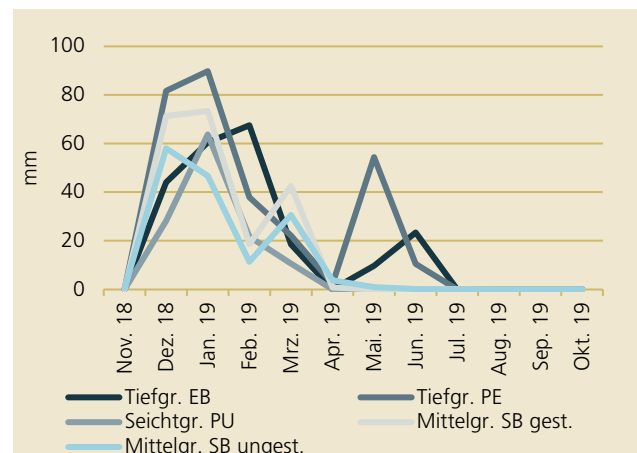


Abb. 5-34: Monatliche Sickerwassermengen

Die höchste durchschnittliche Nitratkonzentration wurde am seichtgründigen Standort in Pucking und am mittelgründigen Standort beim Lysimeter mit gestörtem Bodenaufbau in Schwertberg mit 147 bzw. 146 mg NO<sub>3</sub>/l beobachtet (Tab. 5-4). Doch auch am tiefgründigen Standort in Eberstalzell und am mittelgründigen Standort in Schwertberg mit ungestörtem Bodenaufbau war die Konzentration mit jeweils über 110 mg NO<sub>3</sub>/l hoch. Einzig in Pettenbach lag die

Nitratkonzentration im zweistelligen Bereich, war aber mit 57 mg NO<sub>3</sub>/l im Vergleich zu den Vorjahren ebenfalls hoch. An allen Standorten wurde im hydrologischen Jahr 2018/19 im Durchschnitt der Grundwasserschwellenwert von 45 mg NO<sub>3</sub>/l überschritten, zum Teil sogar recht deutlich.

Im Jahresverlauf sind zwischen den vier Standorten Unterschiede zu beobachten, die sowohl mit den Bodeneigenschaften als auch der Bewirtschaftung zusammenhängen. Am seichtgründigen Lysimeter geht die Nitratkonzentration ab dem Einsetzen der Sickerwasserbildung im Dezember stark zurück. Am mittelgründigen Standort nehmen die Konzentration mit dem Anstieg der Sickerwasserbildung zunächst bis Jänner zu und fallen dann deutlich ab. Auf den tiefgründigen Standorten erfolgt nach einem Anstieg der Rückgang der Konzentration ab Jänner erst allmählich (vgl. Abb. 5-35). Unterschiede zwischen den tiefgründigen Standorten können als Folge der Herbstdüngung in Eberstalzell interpretiert werden. Dort kam es von Dezember bis Jänner zu einem deutlichen Anstieg und die Nitratkonzentration verlief über die Wintermonate auf deutlich höherem Niveau als in Pettenbach.

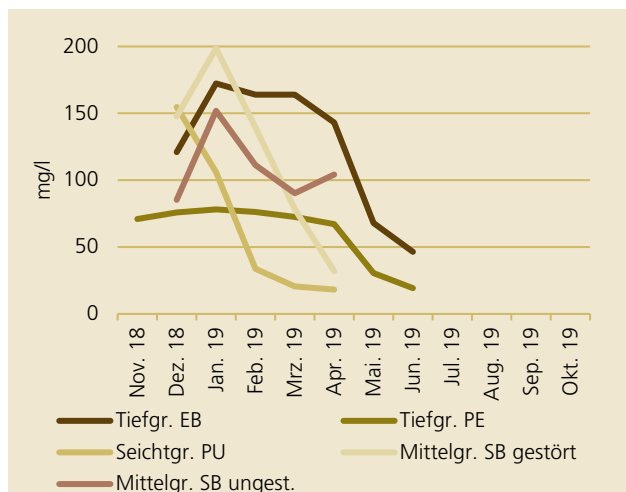


Abb. 5-35: Durchschnittliche monatliche Nitratkonzentrationen

Die geringste Auswaschung erfolgte am seichtgründigen Standort in Pucking (36 kg N/ha). Dies ist im Vergleich zu vorhergehenden Jahren ungewöhnlich. In Pettenbach wurden 39 kg N/ha, am ungestörten Lysimeter in Schwertberg mit 40 kg N/ha ausgewaschen. Die größte Menge an Stickstoff wurde in Eberstalzell (59 kg N/ha) und Schwertberg beim Lysimeter mit gestörtem Bodenaufbau gemessen (68 kg N/ha; vgl. Abb. 5-36).

Was allen Standorten gleich ist, ist der Zeitpunkt der größten Nitratauswaschung. Diese erfolgte überall hauptsächlich in den Wintermonaten von Dezember bis Jänner, vereinzelt auch noch im März. Die langjährigen Messreihen zeigen, dass dieser Verlauf typisch für Jahre ist, in denen Wintergetreide angebaut wird. Die üblicherweise im Mai/Juni auftretenden Niederschlagsmaxima führen bei Wintergetreide oder Winterraps – im Unterschied zu Mais – zu keinen (starken) Auswaschungsspitzen mehr, da der Bewuchs bereits gut entwickelt ist und sowohl größere Wasser- und Stickstoffmengen aufnimmt.

Während der Sommermonate fiel wenig oder kein Sickerwasser an, dementsprechend fand in diese Zeit auch keine nennenswerte Nitratauswaschung statt.

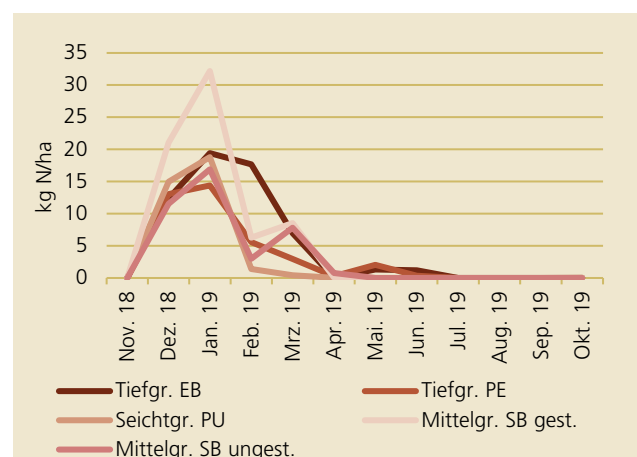


Abb. 5-36: Monatliche Nitratauswaschung

In Summe wurde während des Messzeitraums seit September 2001 bis November 2019 am seichtgründigen Standort mit 793 kg N/ha am meisten Stickstoff in Form von Nitrat ausgewaschen (Abb. 5-37). Am tiefgründigen Standort in Eberstallzell waren es mit 494 kg N/ha etwa ein Drittel weniger, am tiefgründigen Standort in Pettenbach mit 337 kg N/ha etwas weniger als die Hälfte. Am neu hinzugekommenen Standort in Schwertberg wurden von Jänner 2017 bis November 2019 in Summe 126 kg N/ha (gestört) bzw. 102 kg N/ha (ungestört) ausgewaschen.

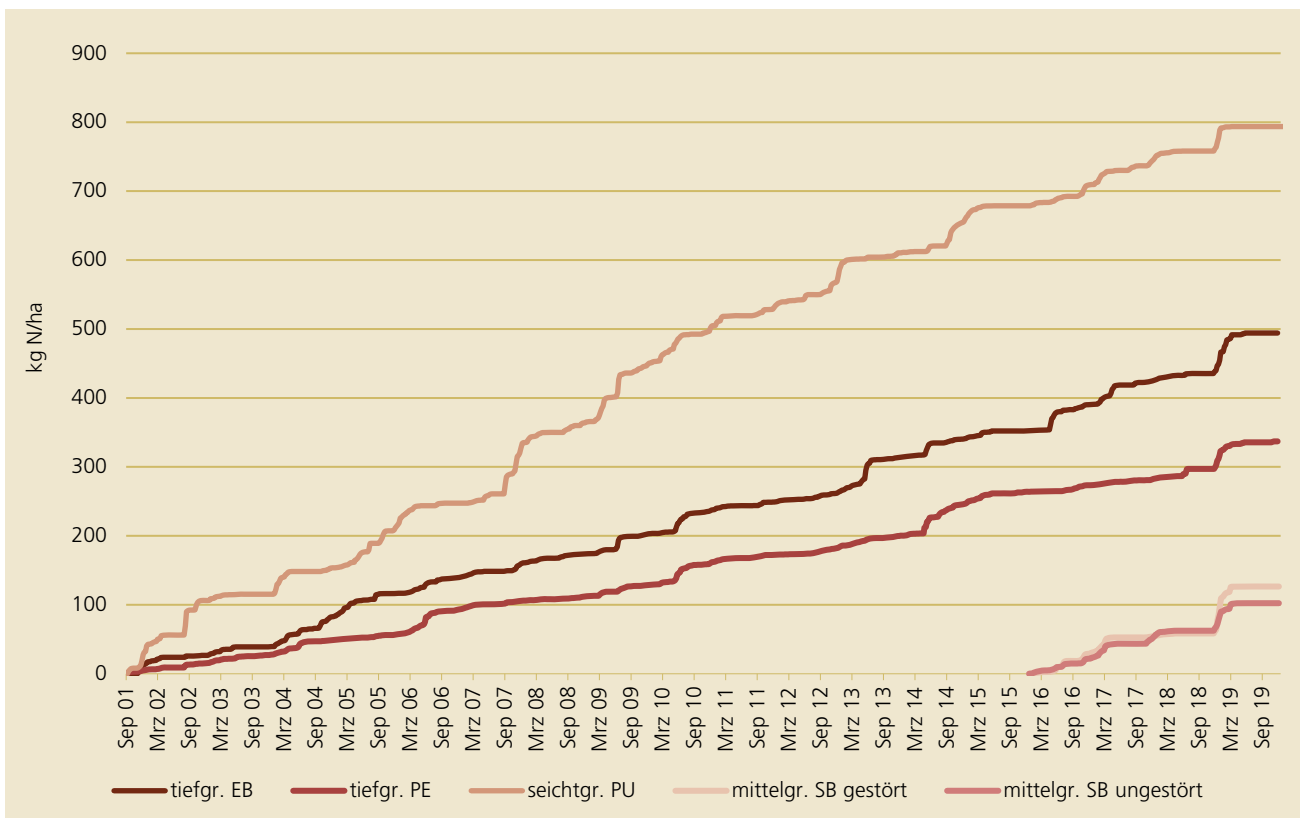


Abb. 5-37: Summe der als Nitrat ausgewaschenen Stickstoffmenge an den vier Standorten

### 5.9 Einfluss des Stickstoffsaldos auf die Nitratverlagerung

Zur Berechnung des Stickstoffsaldos wurde die Differenz aus gedüngter Stickstoffmenge und Stickstoffentzug gebildet. Da die Stickstofffixierung durch Leguminosen nicht ermittelt wurde, wurde in Jahren, in denen Leguminosen angebaut waren, die Vorfruchtwirkung gemäß den Richtlinien für die Sachgerechte Düngung als Stickstoffsaldo eingesetzt. Als Entzug wurden die vom Feld abgeführten Produkte bewertet. Der Entzug durch Stroh wurde also zur Berechnung des N-Saldos nur herangezogen, falls dieses abgeführt wurde.

Eine gute Übereinstimmung zwischen Auswaschung und N-Saldo ergibt sich nur, wenn der Wirtschaftsdünger in seiner feldfallenden Wirkung bewertet wird. Eine Bewertung mit der Jahreswirksamkeit würde an den tiefgründigen Standorten, wo regelmäßig Wirtschaftsdünger eingesetzt wurde, einen N-Saldo ergeben, der deutlich unter der ausgewaschenen Stickstoffmenge liegt.

Ein Vergleich des Stickstoffsaldos mit der Nitratauswaschung seit Beginn der Beobachtungen 1994/95 zeigt langfristig auf den tiefgründigen Standorten eine gute Übereinstimmung auch wenn bei der Betrachtung einzelner Jahre Abweichungen auftreten (Abb. 5-38 und Abb. 5-39). Am seichtgründigen Standort in Pucking lässt sich die Höhe der Auswaschung nicht mit dem Stickstoffsaldo erklären. Obwohl seit 2000 der N-Saldo weitgehend ausgeglichen ist, findet dennoch eine laufende Stickstoffauswaschung statt (Abb. 5-40). In diesem Fall ist die Mineralisierung von ausreichend vorhandenem nachlieferbarem Stickstoff des Bodens als Ursache zu sehen, der auf dem seichtgründigen Boden in Zeiten geringer Pflanzenaufnahme sehr rasch ausgewaschen werden kann.

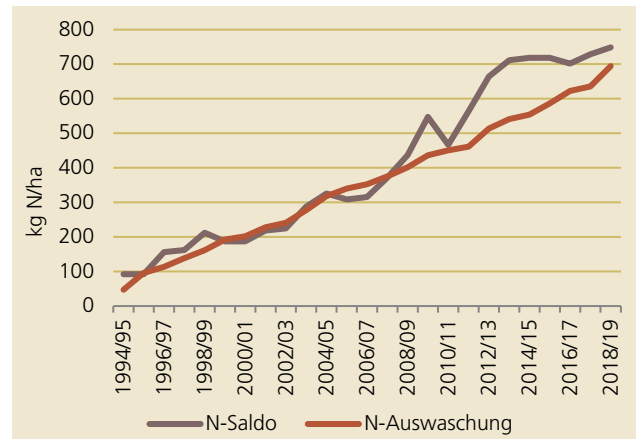


Abb. 5-38: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Eberstalzell

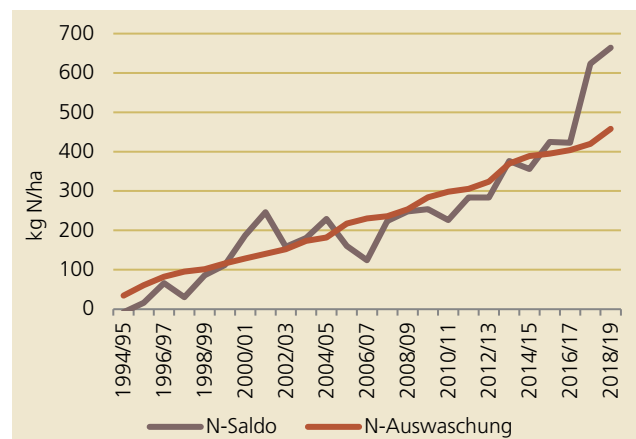


Abb. 5-39: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Pettenbach

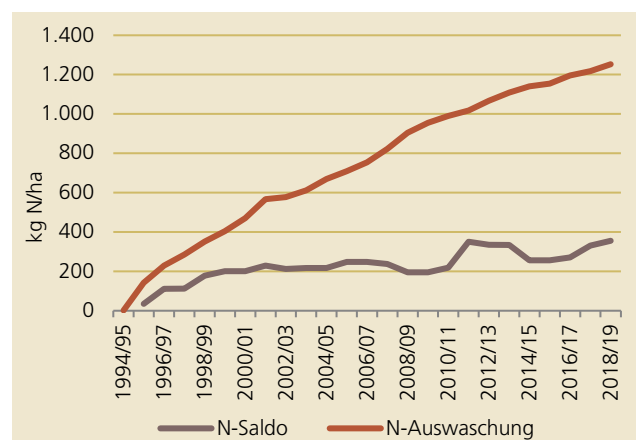


Abb. 5-40: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Pucking

### 5.10 Phosphorbilanzen

In Pettenbach erfolgte die Phosphorzufuhr in Form von Biogasgülle am 01.04.2019, wobei nur die Varianten 1 und 3 mit 34 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha gedüngt wurden. Die Variante 2 erhielt keine Phosphordüngung. In Eberstallzell erfolgte eine Phosphordüngung mit Schweinegülle am 12.10.2018 (32 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha). In Pucking wurde eine mineralische Düngung am 07.03.2019 mit 50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha durchgeführt. In Schwertberg erfolgte ebenfalls eine mineralische Düngung (30.03.2019), wodurch 45 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha aufgebracht wurden.

Die Phosphorbilanz ist auf den meisten Standorten weitgehend ausgeglichen. In Pucking ist der Saldo mit

26 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha am Lysimeter selbst und 18 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha im Flächendurchschnitt am höchsten (Tab. 5-5).

Die Ergebnisse der Bilanzen für die Ernteabfuhr zwischen den Lysimeterflächen und den Mittelwerten sind am in Eberstallzell und Schwertberg nahezu identisch, auch in Pucking ist die Abweichung mit 8 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha gering. In Pettenbach hingegen wurde eine Abweichung von ca. 20 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha gemessen. Die Differenz ist auf die unterschiedlichen P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Gehalte bei den Proben am Lysimeter und im Mittelwert mit zwei weiteren Beprobungsstellen zurückzuführen, sowie auf die am Lysimeter gemessene niedrigere Erntemenge.

Tab. 5-5: Phosphorbilanzen für das Erntejahr 2018

	Tiefgründiger Standort in Eberstallzell		Tiefgründiger Standort in Pettenbach (Var. 1)		Seichtgründiger Standort in Pucking		Mittelgründiger Stand- ort in Schwertberg	
	----- kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha -----							
Phosphorzufuhr aus Düngung	32		34		50		45	
Entzug durch die Pflanzen	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW
Entzug durch das Korn	27	31	18	38	24	32	37	34
Entzug durch das Stroh	10	9	6	5	3	3	12	10
Summe Entzug	37	40	24	43	27	35	49	44
Abfuhr durch Ernte	27	31	18	38	24	32	37	34
Bilanz Korn	5	1	16	-4	26	18	8	11
Bilanz Korn + Stroh	-5	-8	10	-9	23	15	-4	1
Bilanz Ernte	5	1	16	-4	26	18	8	11

### 5.11 Phosphatauswaschung

Der jahreszeitliche Verlauf der Phosphatauswaschung im Jahr 2018/19 folgt im Wesentlichen dem Sickerwasseranfall (Abb. 5-41). So ist in Schwertberg und Pettenbach die Auswaschungsspitze im Jänner zu finden. In Pucking wurde ein ausgeprägtes Maximum mit 0,03 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha im Jänner beobachtet, in Eberstallzell erfolgt die größte Phosphor-Auswaschung erst im Februar. Nach den Wintermonaten gehen die Auswaschungen auf allen Standorten wieder mehr oder weniger rasch zurück. In Pettenbach und Eberstallzell wurde in den Monaten Mai und Juni nochmals Phosphor im Sickerwasser detektiert, ansonsten bleiben die P-Auswaschungen auf allen anderen Standorten bei null, was Großteils auf das nicht vorhandene Sickerwasser zurückzuführen ist

Die Auswaschungsspitzen können zeitlich mit den Niederschlagsereignissen und dem daraus folgendem Sickerwasseraustritt in Zusammenhang gebracht werden (Abb. 5-42 bis Abb. 5-44).

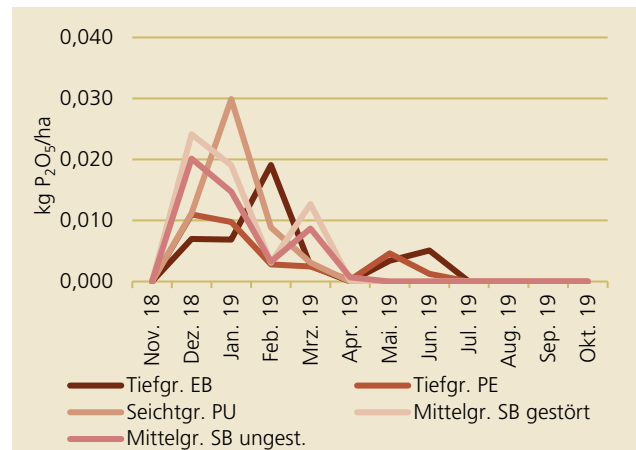


Abb. 5-41: Monatliche Phosphatauswaschung

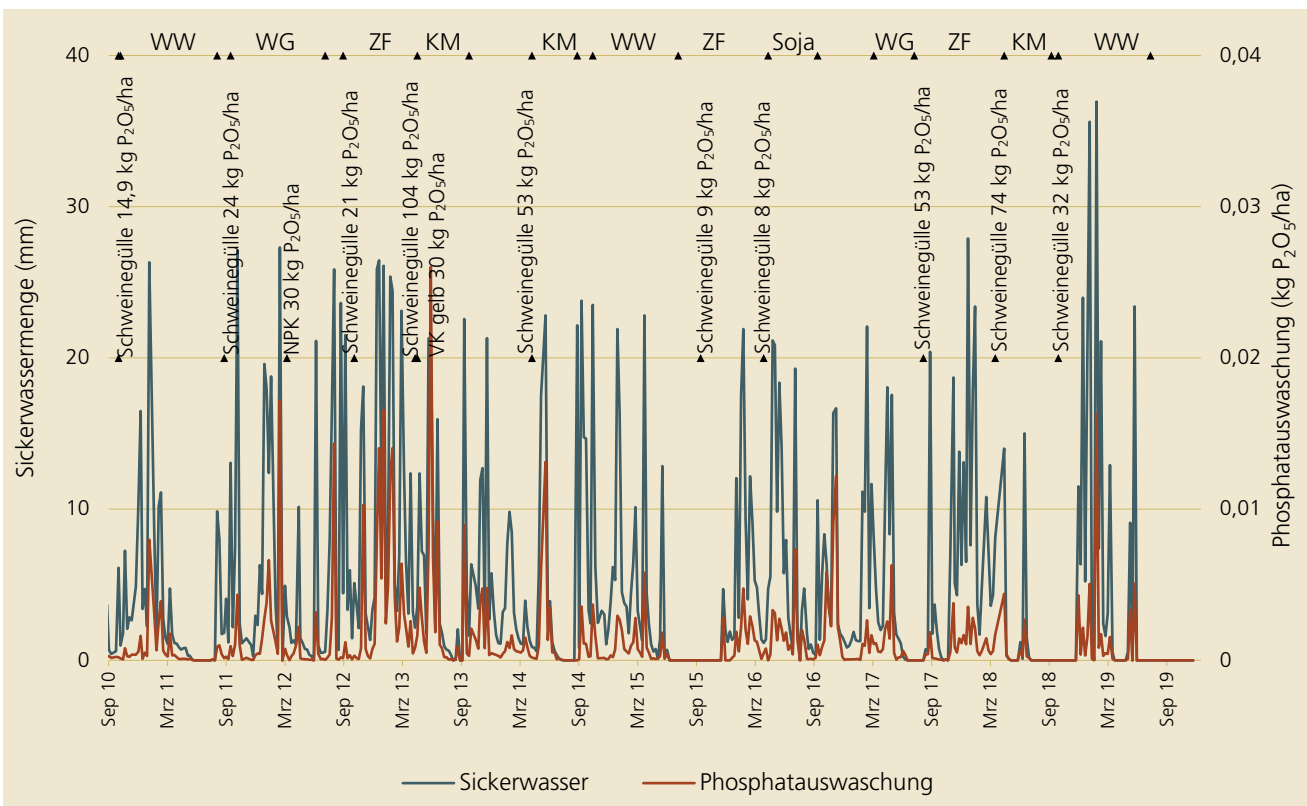


Abb. 5-42: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstallzell



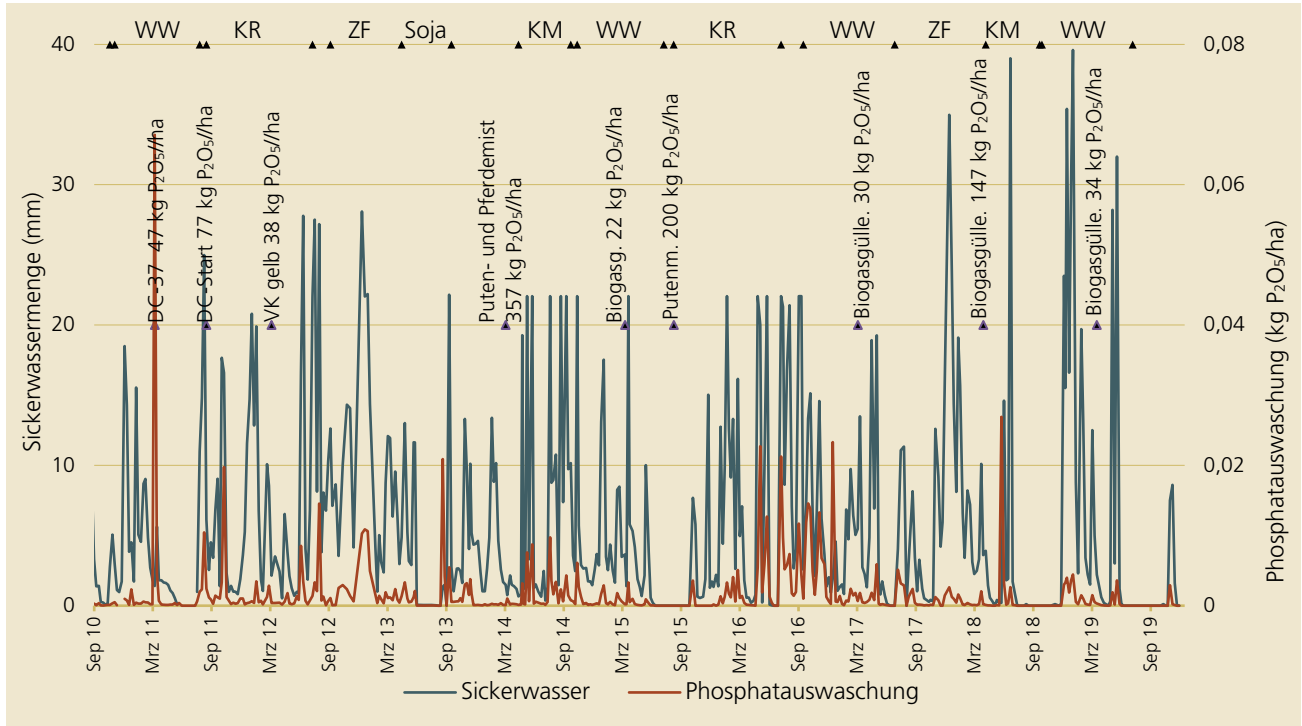


Abb. 5-43: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach

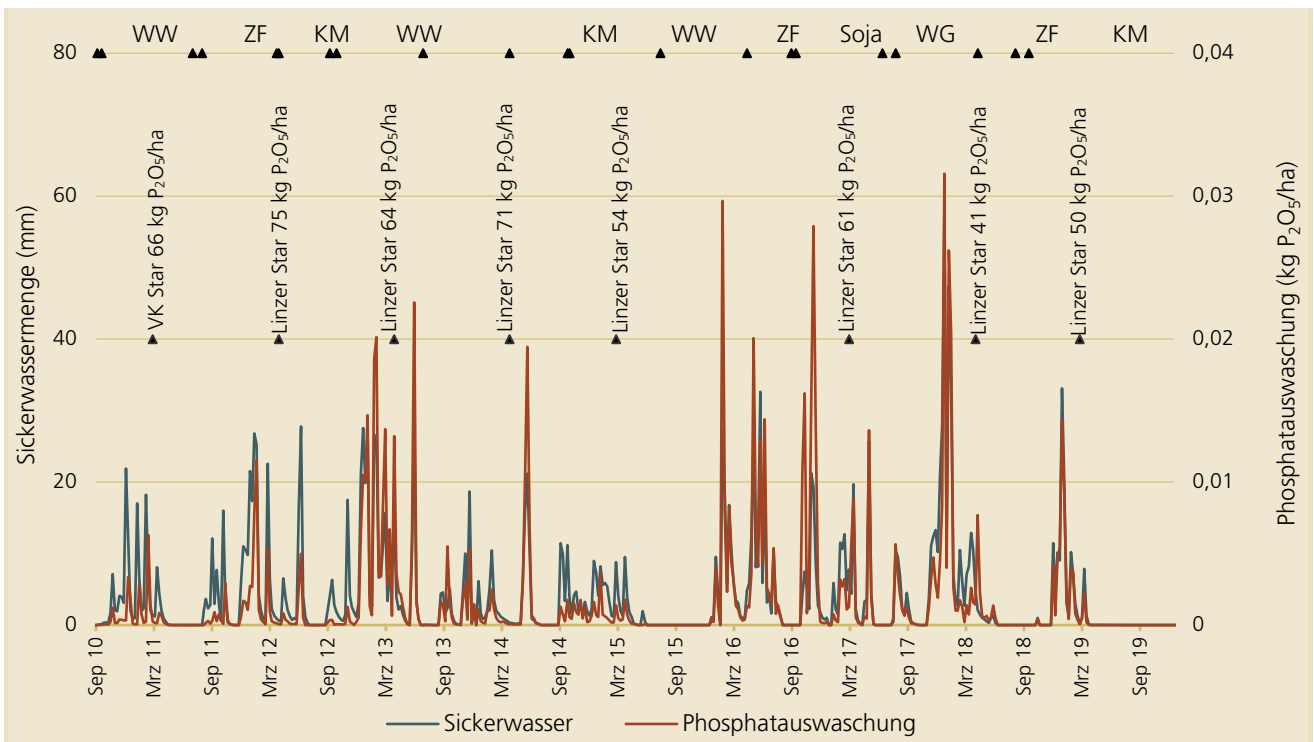


Abb. 5-44: Phosphatauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking

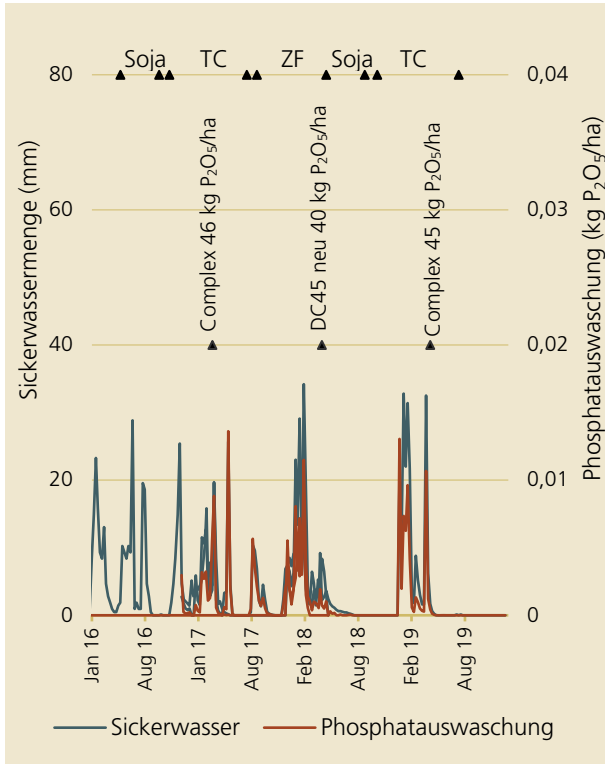


Abb. 5-45: Phosphatauswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg (gestörter Bodenaufbau)

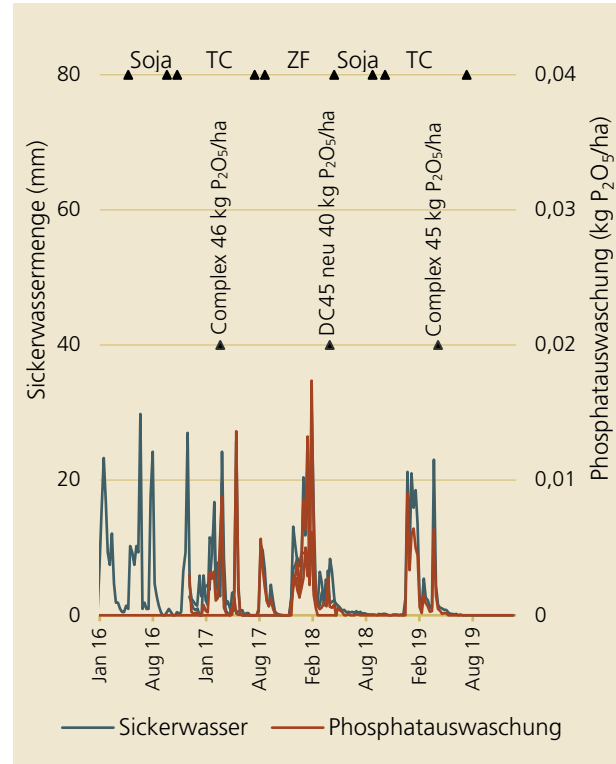


Abb. 5-46: Phosphatauswaschung mittelgründigen Standort in Schwertberg (ungestörter Bodenaufbau)

In Summe waren die P-Verluste mit dem Sickerwasser im hydrologischen Jahr 2018/19 im Verhältnis zu den bei der Düngung eingesetzten P-Mengen verschwindend klein (Tab. 5-6). Die durchschnittliche Phosphatkonzentration im Sickerwasser lag in diesem Jahr auf allen 4 Standorten weit unter dem Grundwasserswellenwert von 0,3 mg PO<sub>4</sub>/l.

Seit Beginn der Messreihe wurden am tiefgründigen Standort in Eberstolz insgesamt 1,17 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha ausgewaschen und am tiefgründigen Standort in Pettenbach 1,43 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. Am seichtgründigen Standort wurde seither in etwa die doppelte Menge, nämlich 2,24 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha ausgewaschen (Abb. 5-47). Am Standort in Schwertberg wurde seit Jänner 2016 0,12 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha beim Lysimeter mit gestörtem Bodenaufbau und 0,13 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha beim Lysimeter mit ungestörtem Bodenaufbau ausgewaschen.

Im Vergleich zu vorhergehenden Jahren liegt die P-Auswaschung in Eberstallzell, Pettenbach und Pucking im hydrologischen Jahr 2018/19 im durchschnittlichen Bereich. In Schwertberg fehlen dazu noch die langjährigen Beobachtungen, aber im Vergleich zum recht auswaschungsstarken Vorjahr, wurde 2018/19 weniger Phosphor in die Tiefe verlagert.

Tab. 5-6: Sickerwasser, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Verluste und mittlere PO<sub>4</sub>-Konzentration im Sickerwasser vom 01.11.18 bis 31.10.19

	SW [mm]	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - Verlust [kg/ha]	PO <sub>4</sub> -Kon. [mg/l]
Tiefgr. EB	224	0,044	0,026
Tiefgr. PE	299	0,032	0,014
Seichtgr. PU	124	0,053	0,057
Mittelgr. SB	207	0,059	0,038
Mittelgr. SB	152	0,047	0,042

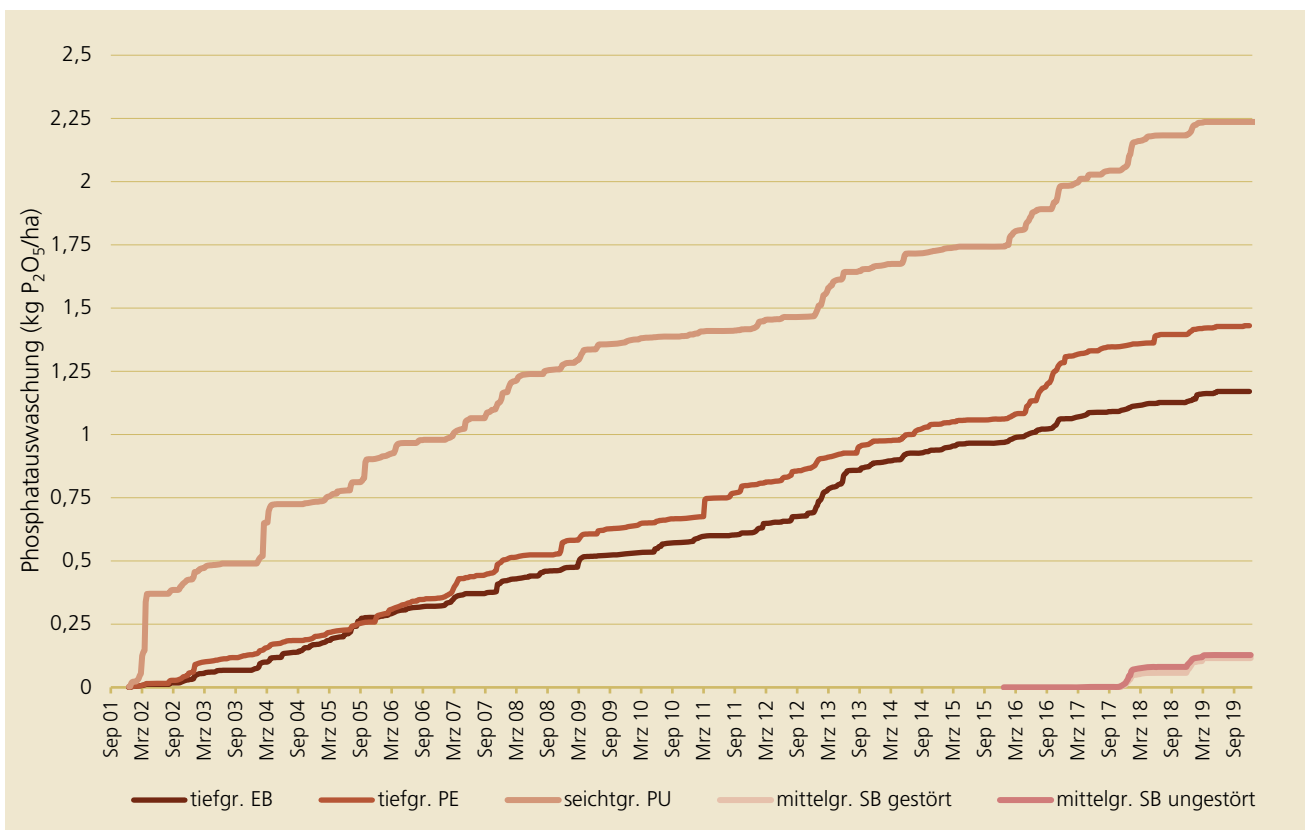


Abb. 5-47: Summe der ausgewaschenen P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Menge

## 6 Hydrographische Auswertung der UZ-Messstelle Pettenbach

### 6.1 Allgemeines

Seit 2013 ist die hydrographische Messstelle der Unge-sättigten 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) 7-jährige Laufzeit der verschiedenen Geber erlaubt eine vergleichende Gegenüberstellung des Jahres 2019 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 (2018, blau) und das Bearbeitungsjahr (2019, rot) farblich auseinandergehalten werden können.

In Abb. 6-1 bis Abb. 6-3 werden solcherart die **Niederschlags- und Temperaturverhältnisse**, teilweise inkl. der Vergleichsmessstelle in Vorchdorf, dargestellt. 2019 war das zweite sehr trockene Jahr in Folge. Wie auch im Vorjahr war der April trocken, im verregneten Mai wurden knapp 200 mm gemessen. Im Vergleich dazu, erfolgten die starken Niederschläge 2018 erst im Juni. Die niederschlagsarme 2. Jahreshälfte brachte der Jahressumme in ein Rekordtief, das nur von den Niederschlägen Ende Dezember etwas gemindert wurde.

Die Lufttemperaturen (Abb. 6-4) zeigen nach der Rekordjahressumme 2018 wieder eine hohe Summe, wobei generell eine „zeitliche Rechtsverschiebung“ zu bemerken ist. Das bedeutet, die Temperaturzunahmen fallen im späteren Jahresverlauf höher aus. Während zu Jahresbeginn bis Ende März die Temperatursumme im Mittelbereich liegt, verschiebt der rekordwarme Juni diese Kurve in den wärmeren Bereich, in Vorchdorf fällt dies noch deutlicher aus. September, Oktober und Dezember sind wieder im oberen Bereich der Bandbreite. Die meteorologischen Parameter wurden soweit möglich mit den Messstellen Vorchdorf (Niederschlag) und Kremsmünster (Wind, Globalstrahlung) verglichen und teilweise ergänzt.

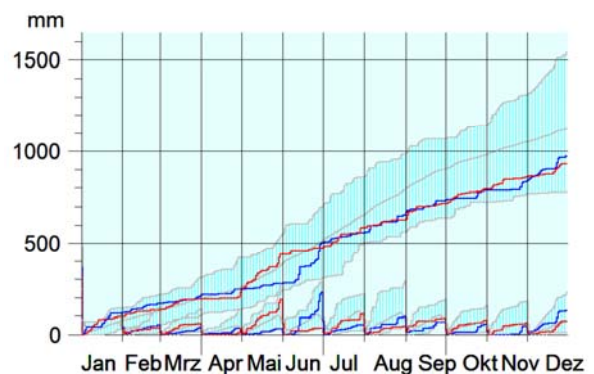


Abb. 6-1: Niederschlags-Jahres- und Monatssummenlinien 2018 (blau) und 2019 (rot) in Pettenbach

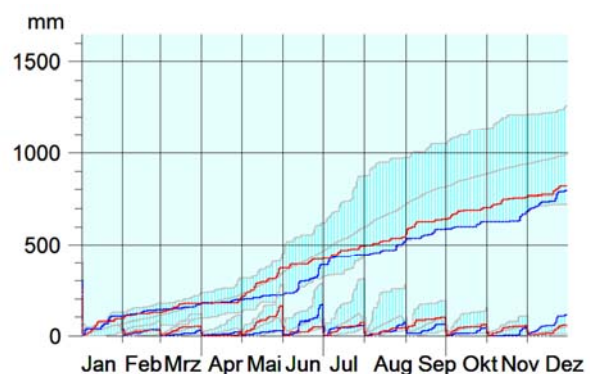


Abb. 6-2: Niederschlags-Jahres- und Monatssummenlinien 2018 (blau) und 2019 (rot) in Vorchdorf

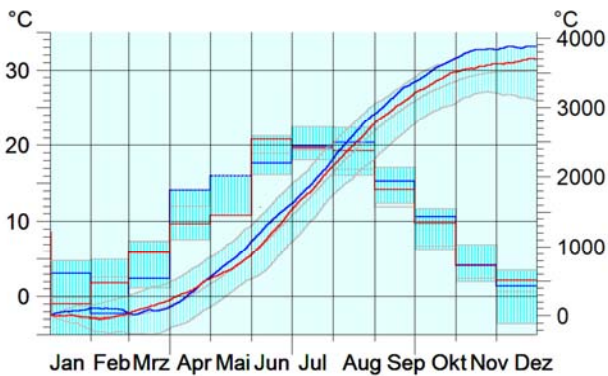


Abb. 6-3: Lufttemperatur-Jahres- und Monatssummenlinie und Monatsmittel 2018 (blau) und 2019 (rot) in Pettenbach

Globalstrahlung und Wind sind neben der Temperatur die maßgeblichen Einflussfaktoren dafür, wieviel Niederschlagswasser verdunstet und wieviel versickert. 2019 war vor allem im April (wie 2018) und im Juni extrem hell (Abb. 6-4), in der 2. Jahreshälfte war das Wetter weniger sonnig. Bezogen auf die Windgeschwindigkeit war nach dem sehr windigen Jänner und März die 2. Jahreshälfte weniger windig, wodurch zumindest die Luftfeuchte auch etwas zulegen konnte, wie (Abb. 6-5) zu entnehmen ist.

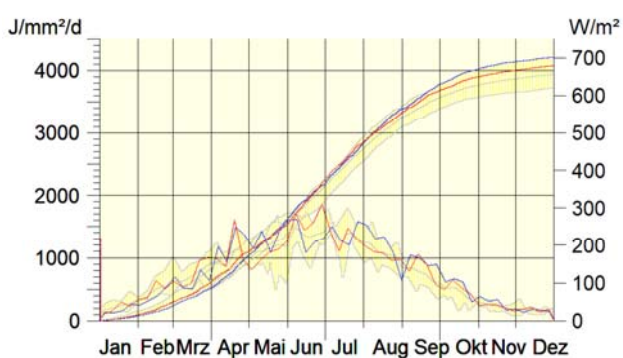


Abb. 6-4: Globalstrahlungs-Jahressummenlinie und Wochenmittel 2018 (blau) und 2019 (rot) der Station Pettenbach

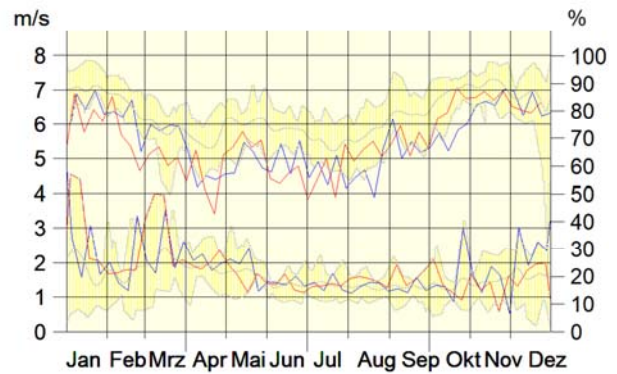


Abb. 6-5: Luftfeuchte- (oben) und Windgeschwindigkeits- (unten) Wochenmittel 2018 (blau) und 2019 (rot)

### 6.3 Grundwasserneubildung

Die Auswirkungen der klimatischen Verhältnisse auf die Grundwasserneubildungen der Lysimeterstandorte in Pucking, Eberstalzell und Pettenbach werden in den Abb. 6-6 bis Abb. 6-8 dargestellt. Der Vergleichszeitraum startet jeweils 1995. In den 3 Lysimetern des Forschungsprojektes traten ähnliche Versickerungsverläufe auf. Die leichten Unterschiede sind den unterschiedlichen Böden und wahrscheinlich auch dem unterschiedlich stark ausgefallenen Sommerniederschlägen geschuldet. In Pucking endete die Versickerung bereits ab April, in Pettenbach kam im Mai über 50 l Versickerung zustande, in Eberstalzell knapp über 20 l.

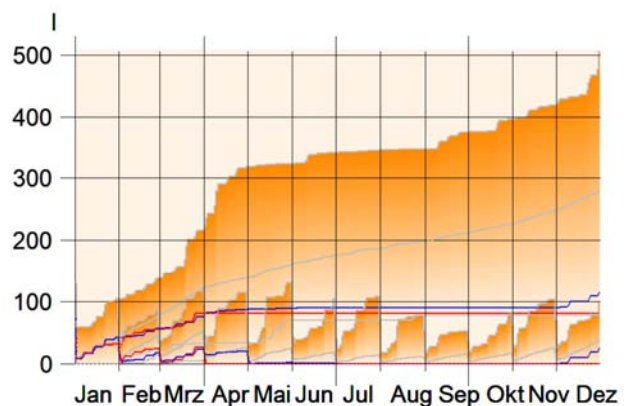


Abb. 6-6: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pucking 2018 (blau) und 2019 (rot)

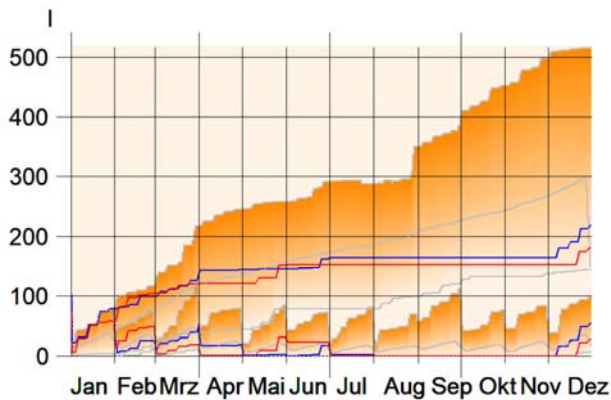


Abb. 6-7: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Eberstalzell 2018 (blau) und 2019 (rot)

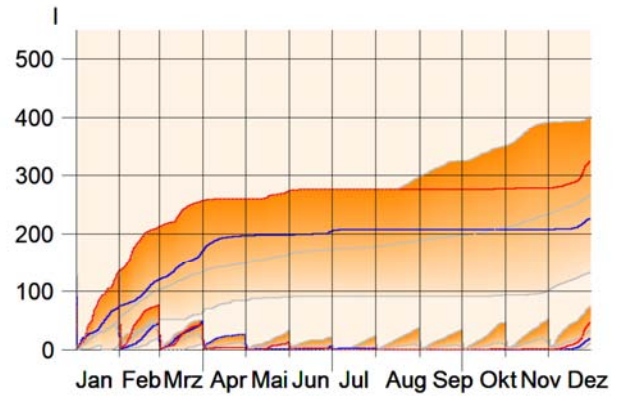


Abb. 6-9: berechnete Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pettenbach 2018 (blau) und 2019 (rot)

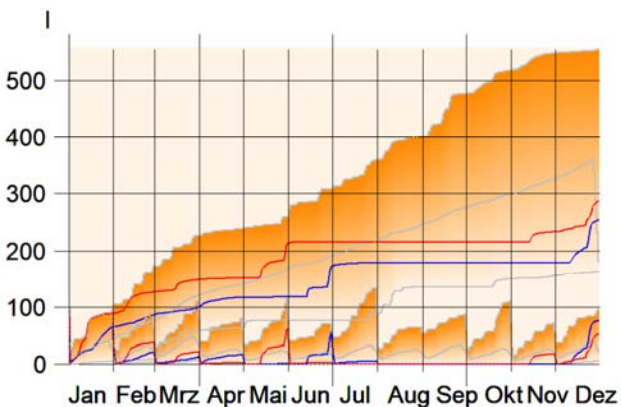


Abb. 6-8: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pettenbach 2018 (blau) und 2019 (rot)

Mithilfe der  $k_u$ -Funktion (Wasserleitfähigkeit im ungesättigten Zustand) lassen sich aus den Saugspannungsgradienten die Grundwasserneubildungen berechnen. Abb. 6-9 stellt die berechnete Grundwasserneubildung in Pettenbach als Jahressummenlinie dar. Die Frühjahrs-Versickerung wird damit überschätzt, die Relation der Jahre 2018 und 2019 werden aber gut wiedergegeben.

Aus der Differenz von Niederschlag und Versickerung – zuzüglich einer Winterkorrektur, da der Schnee erst verzögert im Frühjahr versickern kann – ergibt sich rechnerisch die Verdunstung, die in Abb. 6-10 dargestellt ist. Wie 2018 liegt sie mangels Niederschlages knapp unter dem Mittelwert der Reihe ab 1995, allerdings geringfügig höher als das Vergleichsjahr. Vernachlässigt wurde bei diesen Bilanzierungen die Änderung des Wasservolumens im Boden. Die Zeit des minimalen Wasservolumens ist etwas länger und auf gleichem Niveau wie 2018.

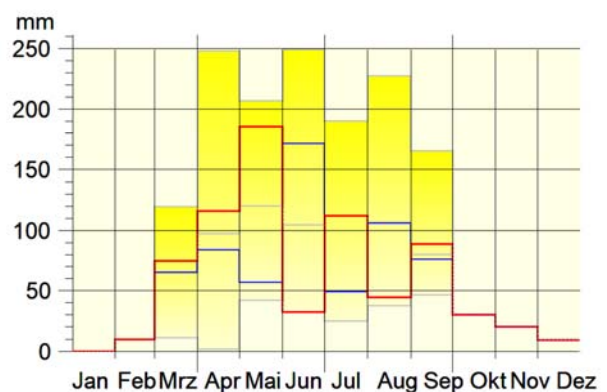


Abb. 6-10: Bilanzierte Verdunstungs-Monatssummen 2018 (blau) und 2019 (rot)



## 6.4 Bodenwasserverhältnisse

Für die Beobachtung der Bodenwasserverhältnisse im Jahr 2019 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 2018 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.

Die Lücken in den blauen und roten Jahresganglinien sind entweder auf Entnahmen der obersten Messfühler zu Zeiten der Ackerbearbeitung oder durch Sensor- bzw. Loggerausfälle zu erklären.

Analog zu den Lufttemperaturen zeigen die gewichtet gemittelten **Temperaturen** (Abb. 6-11 und Abb. 6-12) im durchwurzelten Bereich des Profils (0-40cm) 2019 nur im März, Juli, Oktober und Dezember höhere Werte als 2018, im Boden unterhalb der Durchwurzelung zu diesen Zeiten gleich hohe Werte wie 2018. Die beinahe völlige Gleichheit der Temperaturen im Freiland (Abb. 6-11) und im Lysimeter (Abb. 6-12) ist auffallend.

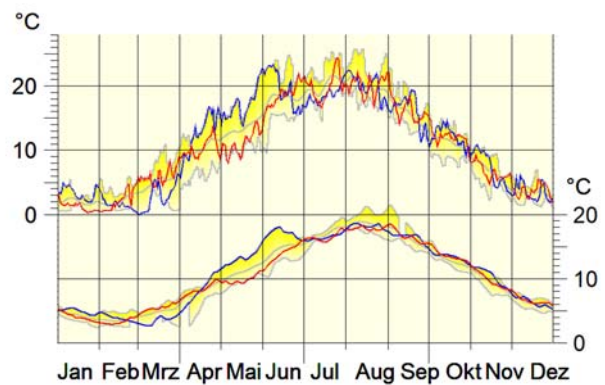


Abb. 6-11: Oberboden- und Unterbodentemperaturen 2018 (blau) und 2019 (rot) im Freiland

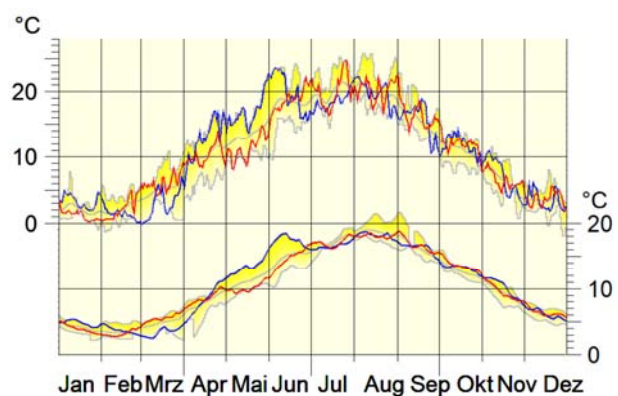


Abb. 6-12: Oberboden- und Unterbodentemperaturen 2018 (blau) und 2019 (rot) im Lysimeter

Die **Saugspannungen** in Abb. 6-13 bis Abb. 6-14 wurden aus der Kombination von Gipsblock- und Tensiometermessdaten erstellt, wodurch der Nutzen der Gipsblöcke offenbar wird. Die oberste Messebene wurde wegen ihrer Bodenbearbeitungsbedingten Lücken (im Sommer in Zeiten des maximalen Trockenstresses) weggelassen. Der erste Trockenstress findet im April statt, danach langanhaltend, wenn auch nicht gleich hoch wie 2018, im Juli und August, wobei der Boden unterhalb der Durchwurzelung noch bis in den Oktober braucht, um die Wasserspannung abzubauen. In Abb. 6-14 überrascht die Tatsache, dass die Wasserspannung im Boden unter der Durchwurzelung höher ist als jene in der zweiten Messebene. Dies wurde mehrfach überprüft und deckt sich mit einem Absinken des Wassergehaltes in Tiefe 4 ab 2018.

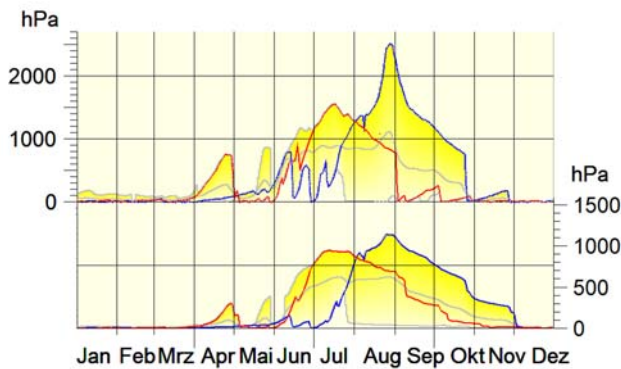


Abb. 6-13: Oberboden- und Unterbodensaugspannungen 2018 (blau) und 2019 (rot) im Freiland

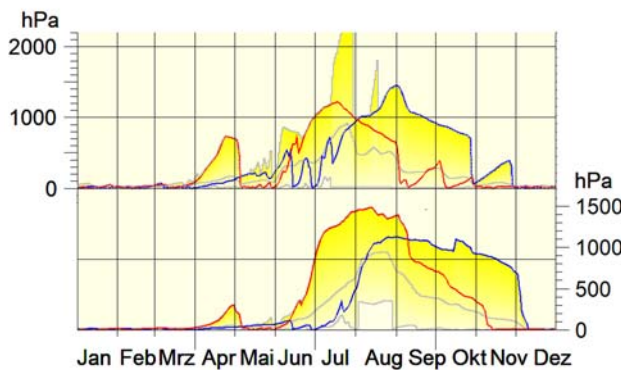


Abb. 6-14: Oberboden- und Unterbodensaugspannungen 2018 (blau) und 2019 (rot) im Lysimeter

In Abb. 6-15 bis Abb. 6-14 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.

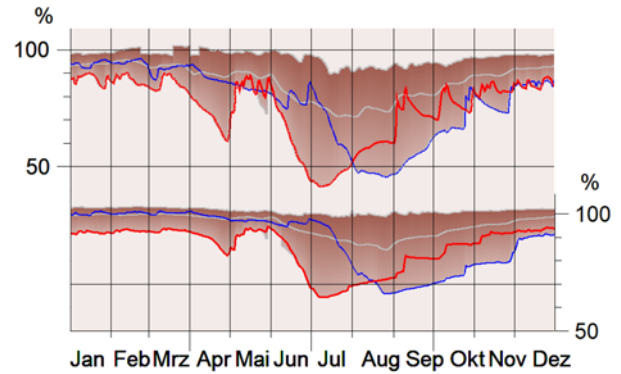


Abb. 6-15: SWI des durchwurzelten Bereiches (oben) und unterhalb der Durchwurzelungstiefe (unten) im Freilandprofil, 2018 (blau) und 2019 (rot)

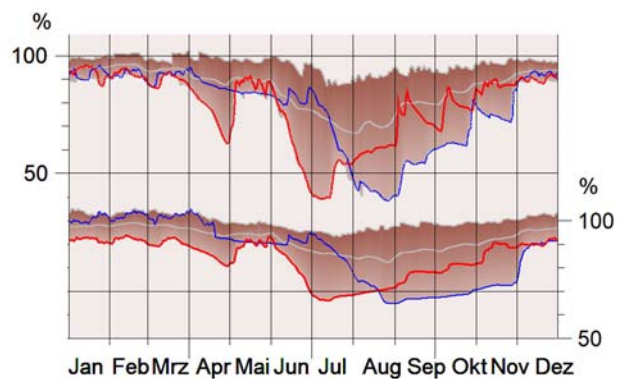


Abb. 6-16: SWI des durchwurzelten Bereiches (oben) und unterhalb der Durchwurzelungstiefe (unten) im Lysimeter, 2018 (blau) und 2019 (rot)

Abb. 6-15 bis Abb. 6-16 zeigen die SWI-Verläufe im Freiland und im Lysimeter oberhalb und unterhalb der Durchwurzelungstiefe. Sowohl im Ober- als auch im Unterboden ist die Juli-Austrocknung im Freiland und im Lysimeter vergleichbar mit der Ende-August-Austrocknung von 2018. Sowohl im Lysimeter als auch im Freiland liegt der Jahresbeginn und das Jahresende im Minimum der Bandbreite.



## 7 Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Das hydrologische Jahr 2018/19 war von einer hohen Nitratauswaschung über die Wintermonate geprägt. Zwar war der Verlauf der Auswaschung, mit einem Maximum im Zeitraum Dezember bis Jänner und einem anschließenden Absinken im Zuge der Entwicklung des Wintergetreides durchaus typisch, die Auswaschungsspitze im Winter war aber deutlich höher als im Durchschnitt der Jahre mit Winterungen. Abb. 7-1 stellt den durchschnittlichen Verlauf der Jahre mit Winterungen im Zeitraum 1995-2016 an den Lysimetern EB, PE und PU dem hydrologischen Jahr 2018/2019 gegenüber. Für 2018/19 werden diese drei Lysimeter und die Lysimeter SB getrennt dargestellt.

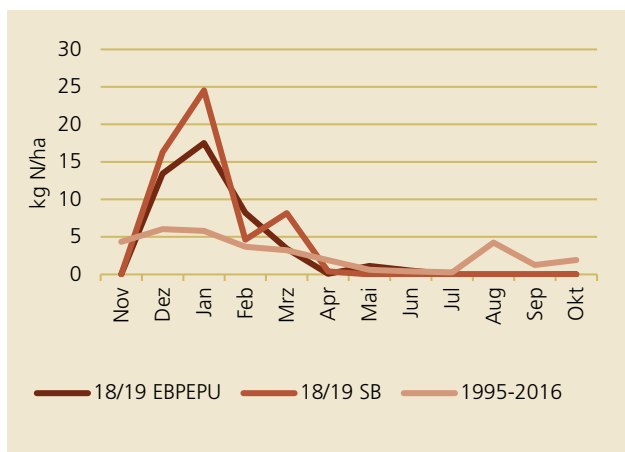


Abb. 7-1: Monatliche Auswaschung im langjährigen Vergleich

Da im hydrologischen Jahr 2018/19 ab Mai keine nennenswerten Niederschläge mehr fielen, kam es im Unterschied zum langjährigen Durchschnitt nach der Getreideernte zu keiner Auswaschung mehr.

Die überdurchschnittliche Höhe der Nitratauswaschung über den Winter hat ihre Ursachen im Jahr 2018. An allen 4 Standorten wurden damals im späten Frühjahr bzw. Frühsommer außergewöhnlich hohe  $N_{\min}$  Gehalte im Boden festgestellt (vgl. Abb. 5-7). Mit der nächsten Periode eine Sickerwasserbildung, die

erst im Spätherbst/Winter 2018 nach der Ernte des Mais bzw. der Sojabohne einsetzte (vgl. Abb. 5-9, Abb. 5-15 und Abb. 5-21) führte dies zu einer deutlich erhöhten Nitratauswaschung.

Auf beiden tiefgründigen Standorten nehmen die hohen  $N_{\min}$  Gehalte im Dezember 2018 das folgende Auswaschungsgeschehen vorweg. In beiden Fällen ist ein Zusammenhang mit der Wirtschaftsdüngerausbringung zu erkennen. In Pettenbach dürfte die Nachlieferung aus den organischen Anteilen der Putenmistdüngung des Jahres 2018 in Weiterer Folge dazu geführt haben, dass im Jahr 2019 mit der am höchsten gedüngten Variante eines Praxisversuchs (160 kg N/ha) gegenüber der am niedrigsten gedüngten Variante (89 kg N/ha) kein Mehrertrag bei Winterweizen erzielt werden konnte, wobei beiden das Niveau einer hohen Ertragslage (h2) erreichten. Offensichtlich reichte die Nachlieferung des Stickstoffs aus dem Vorjahr auch bei der niedrig gedüngten Variante für einen hohen Ertrag aus. Es kann daher der Schluss gezogen werden, dass bei Putenmist mit einer erheblichen Stickstoffnachlieferung zu rechnen ist, die im Folgejahr bei der Düngung entsprechend zu berücksichtigen wäre.

Am anderen tiefgründigen Standort, in Eberstallzell dürfte eine relativ hohe Düngegabe mit Schweinegülle im Herbst einen Beitrag zur starken Auswaschung über den Winter geleistet haben. So, wie auch im langjährigen Durchschnitt, führte das dazu, dass die Auswaschung über den Winter aber auch im gesamten hydrologischen Jahre 2018/19 höher war als in Pettenbach, wo vergleichbare Bodenverhältnisse vorliegen aber keine Herbstdüngung erfolgte. (vgl. Abb. 5-36).

Auffallend ist, dass im hydrologischen Jahr 2018/19 am auswaschungsgefährdetsten, seichtgründigen Standort in Pucking am wenigsten Nitrat ausgewaschen wurde. Der an allen Standorten im Jahr 2018 festgestellte hohe  $N_{\min}$  Gehalt im Boden wurde dort bereits im hydrologischen Jahr 2018/19

ausgewaschen, auf den anderen Standorten fand die Auswaschung zeitverzögert statt.

Auch die Unterschiede zwischen den beiden Lysimetern in Schwertberg (gestörter / ungestörter Bodenaufbau) dürften zum Teil auf einen unterschiedliche zeitliche Reaktion des Auswaschungsgeschehens zurückzuführen sein. Während im hydrologischen Jahr 2018/19 im Lysimeter mit gestörtem Bodenaufbau mehr ausgewaschen wurde, war es im Vorjahr umgekehrt.

Die Reihung der Standorte entsprechend ihrer Phosphorauswaschung hängen mehr oder weniger stark mit der Gründigkeit der Böden zusammen. So treten die geringsten Phosphorverluste auf den tiefgründigen Standorten in Eberstanzell und Pettenbach auf. In Schwertberg ist heuer ein starker Unterschied zwischen dem Lysimeter mit gestörtem bzw. ungestörtem Bodenaufbau zu beobachten. Der seichtgründige Boden in Pucking verursacht neben dem gestörten Lysimeter in Schwertberg die höchste Phosphorauswaschung. Im Verhältnis zu der bei der Düngung eingebrachten Phosphormenge war der ausgewaschene Anteil sehr gering.

## 8 Literatur

- BMLFUW (2017). Richtlinie für die Sachgerechte Düngung im Ackerbau und Grünland, 7. Auflage. BML-FUW Wien.
- Fank, J. (2004). Erfassung von Wasserbewegung und Stofftransport in der ungesättigten Zone durch tracer- und isopenhydrologische Untersuchungen. [www.lysimeter.at](http://www.lysimeter.at) Unterseite Research reports - Modelling/agricultural areas (1/2).
- Klaghofer, E., Murer, E. (2001). Erfassung und Bewertung der Sickerwasserquantität und-qualität im Grundwassersanierungs-Pilotprojekt „Obere Pettenbachrinne, OÖ“ und „Weißkirchen-Pucking, OÖ“; Abschlussbericht Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, 3252 Petzenkirchen.
- Kuderna, M., Wolkerstorfer, G., Murer, E. (2007). Langfristige Lysimeteruntersuchungen in Oberösterreich. Berichtszeitraum 1995 – 2006. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz.
- Kuderna, M., Wolkerstorfer, G. (2009). Forschungsprojekt Lysimeter. Technischer Endbericht 2008. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz.
- Kuderna, M., Schramm, C. (2010). Forschungsprojekt Lysimeter. Technischer Endbericht 2009. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz.
- Kuderna, M., Haridy, S. (2011). Forschungsprojekt Lysimeter. Technischer Endbericht 2010. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz.
- Kuderna, M., Haridy, S. (2012). Forschungsprojekt Lysimeter. Technischer Endbericht 2011. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz.
- Kuderna, M., Weinberger, C. (2013). Forschungsprojekt Lysimeter. Technischer Endbericht 2012. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz.
- Kuderna, M., Weinberger, C. (2014). Forschungsprojekt Lysimeter. Technischer Endbericht 2013. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz.
- 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.
- Kuderna, M., Weinberger, C. (2017). Forschungsprojekt Lysimeter. Technischer Endbericht 2016. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz.
- Kuderna, M., Murer, E. (2017) Forschungsprojekt Lysimeter, Langfristige Lysimeteruntersuchungen in Oberösterreich, Berichtszeitraum 1995-2016
- Kuderna, M., Weinberger, C. (2018). Forschungsprojekt Lysimeter. Technischer Endbericht 2017. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz.
- Kuderna, M., Weinberger, C. (2019). Forschungsprojekt Lysimeter. Technischer Endbericht 2018. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz.
- wpa, JR-AquaConSol, AGES (2019). Schutz des Grundwassers vor Nährstoffeinträgen. Bewertung der Wirkung relevanter LE-Maßnahmen des österreichischen Programms für ländliche Entwicklung 2014-2020.