

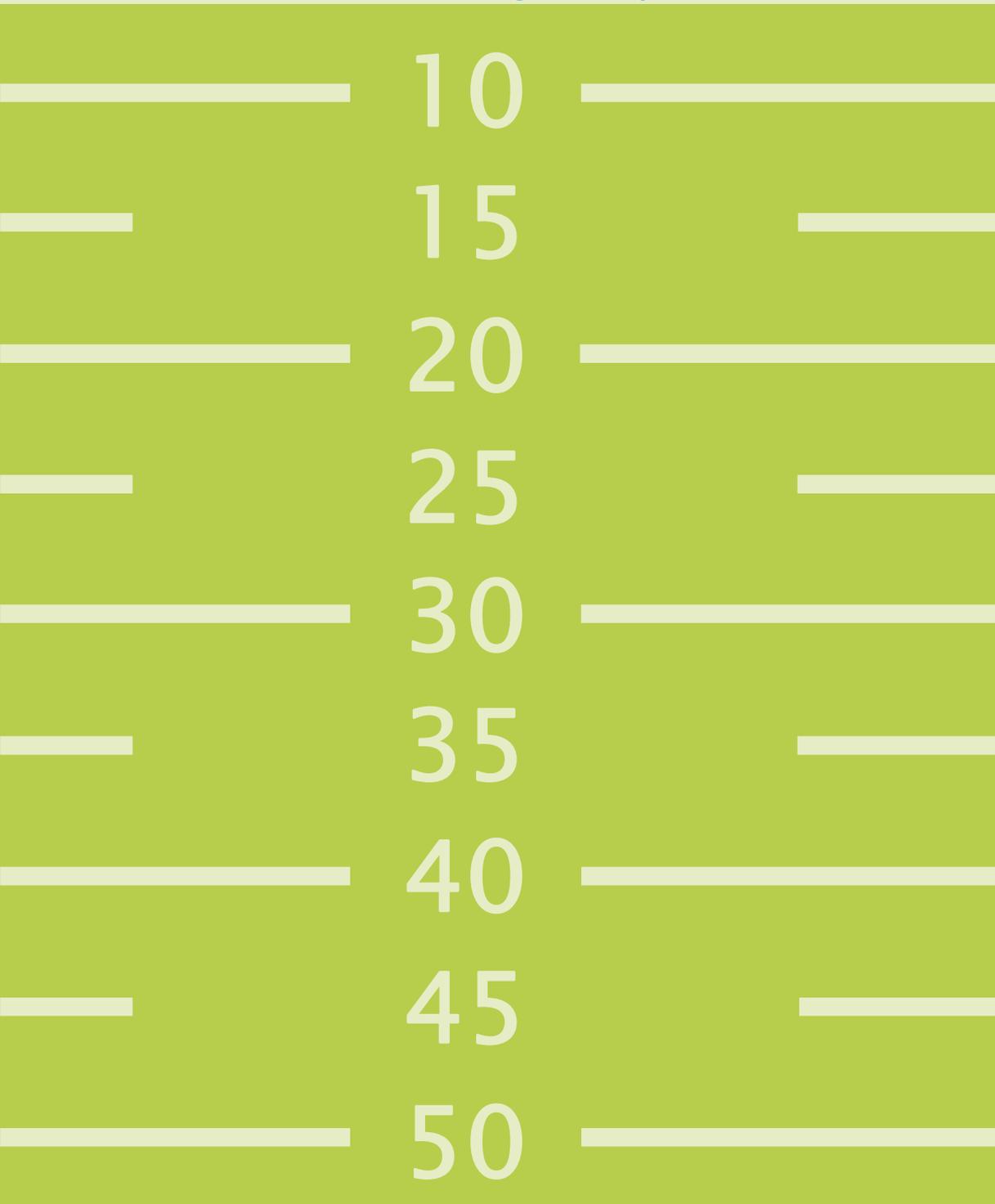


LAND

OBERÖSTERREICH

## Forschungsprojekt Lysimeter

Technischer  
Endbericht  
2020



WW

 Bundesamt  
für Wasserwirtschaft

 Bundesministerium  
Landwirtschaft, Regionen  
und Tourismus

# Forschungsprojekt Lysimeter

## Technischer Endbericht 2020

### 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: Dipl.-Ing. Sebastian Friedl-Haubner  
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. Thomas Weninger  
Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt  
Bundesamt für Wasserwirtschaft  
3252 Petzenkirchen

Grafik (Umschlag)

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

1. Auflage, November 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>13</b>
5.1	Wirtschaftsdünger und Ernteproben.....	13
5.2	Stickstoffsalden .....	15
5.3	N <sub>min</sub> -Gehalte im Boden .....	17
5.4	Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstalzell.....	20
5.4.1	Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung .....	20
5.4.2	Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und -konzentration im Sickerwasser .....	21
5.5	Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach .....	23
5.5.1	Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung .....	23
5.5.2	Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und -konzentration im Sickerwasser .....	24
5.6	Nitratauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking.....	26
5.6.1	Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung .....	26
5.6.2	Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und -konzentration im Sickerwasser .....	27
5.7	Nitratauswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg .....	29
5.7.1	Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung .....	29
5.7.2	Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und -konzentration im Sickerwasser .....	29
5.8	Vergleich der Nitratauswaschung bzw. Nitratkonzentration im Sickerwasser zwischen den Standorten ...	32
5.9	Einfluss des Stickstoffsaldos auf die Nitratverlagerung .....	35
5.10	Phosphorbilanzen.....	36
5.11	Phosphatauswaschung.....	37
<b>6</b>	<b>Hydrographische Auswertung der UZ-Messstelle Pettenbach.....</b>	<b>41</b>
6.1	Allgemeines .....	41
6.2	Hydrographische Messergebnisse .....	41
6.3	Grundwasserneubildung .....	42
6.4	Bodenwasserverhältnisse .....	44
<b>7</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen .....</b>	<b>46</b>
<b>8</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>47</b>

**ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

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

Abb. 5-1:  $N_{min}$ -Gehalte am tiefgründigen Standort in Eberstalzell ..... 17

Abb. 5-2:  $N_{min}$ -Gehalte am tiefgründigen Standort in Pettenbach ..... 17

Abb. 5-3:  $N_{min}$ -Gehalte am seichtgr. Standort in Pucking ..... 18

Abb. 5-4:  $N_{min}$ -Gehalte am mittelgr. Standort in Schwertberg, mgSBg..... 18

Abb. 5-5:  $N_{min}$ -Gehalte am mittelgr. Standort in Schwertberg, mgSBu..... 18

Abb. 5-6: Vergleich der  $N_{min}$ -Gehalte der Standorte seit September 2010..... 19

Abb. 5-7: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. EB).....20

Abb. 5-8: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2010 (tiefgr. EB) \*Juli 2016 nicht gesamtes SW  
erfasst.....20

Abb. 5-9: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. EB) .....21

Abb. 5-10: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. EB); \*Juli 2016 nicht gesamtes SW erfasst .....21

Abb. 5-11: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (tiefgr. EB) .....22

Abb. 5-12: Nitratauswaschung und  $N_{min}$ -Gehalte des Bodens (tiefgr. EB).....22

Abb. 5-13: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. PE) .....23

Abb. 5-14: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2010 (tiefgr. PE) \*von Mai – Okt. 2014, Mai bis  
Sept. 2016 und August 2017 nicht gesamtes Sickerwasser erfasst.....23

Abb. 5-15: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. PE) .....24

Abb. 5-16: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. PE) \*von Mai – Okt. 2014, Mai bis Sept. 2016 und  
August 2017 nicht gesamtes Sickerwasser erfasst.....24

Abb. 5-17: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (tiefgr. PE).....25

Abb. 5-18: Nitratauswaschung und  $N_{min}$ -Gehalte des Bodens (tiefgr. PE) .....25

Abb. 5-19: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (seichtgr.).....26

Abb. 5-20: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2010 (seichtgründig).....26

Abb. 5-21: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig) .....27

Abb. 5-22: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig) .....27

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

Abb. 5-24: Nitratauswaschung und  $N_{min}$ -Gehalte des Bodens (seichtgründig).....28

Abb. 5-25: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (mittelgründig) mgSBg=gestört,  
mgSBu=ungestört.....29

Abb. 5-26: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (mittelgründig) mgSBg .....29

Abb. 5-27: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (mittelgründig) mgSBu .....30

Abb. 5-28: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) mgSBg.....30

Abb. 5-29: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) mgSBu.....30

Abb. 5-30:  $N_{min}$ -Gehalt des Bodens (ab April 2017) und Nitratauswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) mgSBg  
.....31

Abb. 5-31:  $N_{min}$ -Gehalt des Bodens (ab April 2017) und Nitratauswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) mgSBu  
.....31

Abb. 5-32: Monatliche Niederschlagssummen.....32

Abb. 5-33: Monatliche Sickerwassermengen.....32

Abb. 5-34: Durchschnittliche monatliche Nitratkonzentrationen.....	33
Abb. 5-35: Monatliche Nitratauswaschung .....	34
Abb. 5-36: Summe der als Nitrat ausgewaschenen Stickstoffmenge an den vier Standorten .....	34
Abb. 5-37: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Eberstalzell .....	35
Abb. 5-38: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Pettenbach.....	35
Abb. 5-39: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Pucking .....	35
Abb. 5-40: Monatliche Phosphatauswaschung.....	37
Abb. 5-41: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstalzell .....	37
Abb. 5-42: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach.....	38
Abb. 5-43: Phosphatauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking .....	38
Abb. 5-44: Phosphatauswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg (gestörter Bodenaufbau) .....	39
Abb. 5-45: Phosphatauswaschung mittelgründigen Standort in Schwertberg (ungestörter Bodenaufbau) .....	39
Abb. 5-46: Summe der ausgewaschenen P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Menge .....	40
Abb. 6-1: Niederschlags-Jahres- und Monatssummenlinien 2019 (blau) und 2020 (rot) in Pettenbach.....	41
Abb. 6-2: Niederschlags-Jahres- und Monatssummenlinien 2019 (blau) und 2020 (rot) in Vorchdorf .....	41
Abb. 6-3: Lufttemperatur-Jahres- und Monatssummenlinie und Monatsmittel 2019 (blau) und 2020 (rot) in Pettenbach .....	42
Abb. 6-4: Globalstrahlungs-Jahressummenlinie und Wochenmittel 2019 (blau) und 2020 (rot) der Station Pettenbach .....	42
Abb. 6-5: Luftfeuchte- (oben) und Windgeschwindigkeits- (unten) Wochenmittel 2019 (blau) und 2020 (rot).....	42
Abb. 6-6: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pucking 2019 (blau) und 2020 (rot)....	42
Abb. 6-7: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Eberstalzell 2019 (blau) und 2020 (rot) .....	43
Abb. 6-8: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pettenbach 2019 (blau) und 2020 (rot)	43
Abb. 6-9: berechnete Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pettenbach 2019 (blau) und 2020 (rot).....	43
Abb. 6-10: Bilanzierte Verdunstungs-Monatssummen 2019 (blau) und 2020 (rot).....	43
Abb. 6-11: Oberboden- und Unterbodentemperaturen 2019 (blau) und 2020 (rot) im Freiland.....	44
Abb. 6-12: Oberboden- und Unterbodentemperaturen 2019 (blau) und 2020 (rot) im Lysimeter .....	44
Abb. 6-13: Oberboden- und Unterbodensaugspannungen 2019 (blau) und 2020 (rot) im Freiland .....	45
Abb. 6-14: Oberboden- und Unterbodensaugspannungen 2019 (blau) und 2020 (rot) im Lysimeter .....	45
Abb. 6-15: SWI des durchwurzelten Bereiches (oben) und unterhalb der Durchwurzelungstiefe (unten) im Freilandprofil, 2019 (blau) und 2020 (rot) .....	45
Abb. 6-16: SWI des durchwurzelten Bereiches (oben) und unterhalb der Durchwurzelungstiefe (unten) im Lysimeter, 2019 (blau) und 2020 (rot).....	45

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 3-1: Tätigkeiten BAW (IKT) .....	9
Tab. 3-2: Analysenprogramm .....	10
Tab. 4-1: Bewirtschaftungsmaßnahmen 2019/2020 (nach Angaben der Bewirtschafter) .....	12
Tab. 5-1: Erntemengen und Analysenergebnisse der Ernteproben .....	14
Tab. 5-2: Stickstoffsalden (jahreswirksam) für das Erntejahr 2020 .....	16
Tab. 5-3: Stickstoffsaldo (feldfallend) für das Erntejahr 2020 .....	16
Tab. 5-4: Sickerwassermengen und durchschnittliche Nitratkonzentration vom 01.11.19 bis 31.10.20 .....	32
Tab. 5-5: Phosphorbilanzen für das Erntejahr 2020 .....	36
Tab. 5-6: Sickerwasser, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -Verluste und mittlere PO <sub>4</sub> -Konzentration im Sickerwasser vom 01.11.19 bis 31.10.20 .....	40

## 1 Zusammenfassung

Seit 1995 werden an drei Standorten in Oberösterreich Freilandlysimeter betrieben, nämlich in Pettenbach (tgPE), Eberstalzell (tgEB) und Pucking (sgPU). In Schwertberg werden seit 2002 zwei weitere Lysimeter betrieben (mgSBg und mgSBu) 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 2019/20 dar und vergleicht diese mit den Messreihen der Vorjahre.

Zwei der Lysimeter (tgEB und tgPE) befinden sich an tiefgründigen Standorten, einer an einem seichtgründigen Standort (sgPU) und zwei an einem mittelgründigen Standort (mgSBg und mgSBu). Einer der tiefgründigen Standorte (tgPE) wird seit 2014 nicht mehr (wie zuvor) ausschließlich mit Mineraldünger, sondern auch mit Puten- und Pferdemist oder Biogasgülle gedüngt, der andere (tgEB), wie auch bereits in den vergangenen Jahren, mit Schweinegülle. 2020 war in Eberstalzell und Schwertberg Körnermais angebaut, in Pettenbach Winterraps und in Pucking Sojabohne. Als Besonderheit des Jahres 2020 erfolgte heuer auf einem der beiden Lysimetern in Schwertberg ein Düngerversuch mit BioAgenasol.

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 2019/20 sind folgend zusammengefasst:

Während in Eberstalzell ein für Körnermais typischer Nitrat auswaschungsverlauf mit einem ausgeprägten Maximum im Juni beobachtet wurde, blieb der Nitrat austrag in Schwertberg bei beiden Lysimetern unauffällig und während des gesamten Jahres auf niedrigem Niveau. Solch ein Jahresverlauf konnte unter Mais auf den anderen Standorten bisher nur in trockenen Jahren ohne viel Sickerwasseraufkommen beobachtet werden. Die Auswaschungssumme in Eberstalzell ist mit 40 kg N/ha vergleichsweise hoch. Auch in Pettenbach wurde, diesfalls unter Winterraps, eine hohe Nitrat auswaschung gemessen, was hauptsächlich darauf zurückzuführen ist, dass im August hohe Niederschlagsmengen beobachtet wurden, die nach der Ernte viel Sickerwasser erzeugten, welches den Stickstoff in die Tiefe transportierte. Dieser stammte vor allem aus der Einarbeitung des stickstoffreichen Rapsstrohs im Juli bzw. kann auch eine Nachwirkung des organischen Düngers (Putenmist) angenommen werden, der zum Anbau des Rapses ausgebracht wurde. In Pucking erfolgte zur Sojabohne keine Düngung, der  $N_{\min}$  Gehalt im Boden blieb auf eher niedrigem Niveau und der Sickerwasseranfall war gering, weshalb der Nitrat austrag ähnlich wie im Jahr 2015/16 unter Sojabohne niedrig blieb.

Die Körnermaiserträge entsprachen am tiefgründigen Standort in Eberstalzell einer sehr hohen Ertragslage (hoch 3) und am mittelgründigen Standort in Schwertberg bei beiden Düngervarianten einer hohen Ertragslage der Stufe 2. Der Unterschied in der Ertragsmenge zwischen den beiden Düngervarianten liegt dort unter einer Tonne. Der Sojaertrag in Pucking entspricht einer hohen Ertragslage. Die Düngemengen lagen bei allen Standorten unter den erzielten Ertragslagen, so fanden in Eberstalzell und Schwertberg - mgSBg eine Düngung gemäß mittlerer Ertragslage, in Pettenbach gemäß hoher Ertragslage (hoch 1) und in Schwertberg - mgSBu mit BioAgenasol gemäß einer niedrigen Ertragslage statt. Die Stickstoffsalden waren demnach weitgehend negativ oder ausgeglichen, mit Ausnahme von Pettenbach.

Bei der Phosphatauswaschung wurde beobachtet, dass die geringsten Verluste unter dem tiefgründigen Standort in Eberstanzell gemessen wurden, gefolgt von Schwertberg mgSBg mit gestörtem Bodenaufbau und dem seichtgründigen Standort in Pucking. Die höchsten Mengen wurden unter der einzigen Winterkultur in Pettenbach beobachtet. Im Verhältnis zu der bei der Düngung eingebrachten Phosphormenge war der ausgewaschene Anteil jedoch an allen Standorten 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. Eine Anlage wurde mit ungestörtem Boden eingebaut (mgSBu), für die andere wurde das Bodenmaterial ausgegraben und entsprechend der Bodenhorizonte wieder befüllt (mgSBg). Der Boden ist als mittelgründig einzustufen.

### 3 Methoden

#### 3.1 Probenahme

Von Anfang September 2001 bis Ende Dezember 2020 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
07.04.2020	Bei Lysimeter tgEB und sgPU wurde der Aufsatzring gezogen und die Freiauslaufwippen ausgelesen. tgEB, tgPE, sgPU und die Wetterstation wurden kontrolliert.
22.04.2020	Bei Lysimeter tgEB und sgPU wurde der Aufsatzring eingebaut. Am Standort tgEB wurde Mais, am Standort sgPU wurde Sojabohne angebaut.
20.05.2020	Bei allen Lysimetern inkl. Wetterstation wurde gemäht. Im Lysimeter tgEB wurde die Sickerwasserwippe abgebaut und zur Reparatur mitgenommen.
03.07.2020	Im Messschacht von Lysimeter tgPE wurde eine neue Sickerwasserwippe für den Freiauslauf montiert. Im Lysimeter sgPU wurden die Sickerwasserwerte ausgelesen. Bei allen Lysimetern inkl. Wetterstation

Datum	Tätigkeit
	wurde gemäht, die Messstelle kontrolliert und Fotos gemacht.
07.08.2020	Bei Lysimeter tgPE wurde der Aufsatzring (Zwischenfrucht ca. 2 cm hoch) und die Fühler eingebaut. Im Lysimeterschacht tgEB u. tgPE wurden neue Halterungen für die Kontrollflaschen montiert. tgEB, tgPE und die Wetterstation wurden kontrolliert.
06.10.2020	Bei Lysimeter tgEB wurde der Aufsatzring gezogen (Ernte Mais steht an). Bei tgEB und sgPU wurden Freiauslaufwippen ausgelesen und bei allen Standorten wurde gemäht tgEB, tgPE, sgPU und die Wetterstation wurden kontrolliert.
22.10.2020	Bei Lysimeter sgPU wurde der Aufsatzring eingebaut. Bei tgEB und sgPU wurden die Freiauslaufwippen ausgelesen. tgEB, tgPE, sgPU Messstellenkontrolle
09.11.2020	Bei Lysimeter tgEB wurde der Aufsatzring eingebaut. Bei tgEB und sgPU wurden die Freiauslaufwippen ausgelesen. tgEB, tgPE, sgPU Messstellenkontrolle

Am Lysimeterstandort in Schwertberg (mgSBg und mgSBu) 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 2020. 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 2020 war auf den Standorten in Eberstalzell und Schwertberg Körnermais, in Pettenbach Winter- raps und in Pucking Sojabohne. Die einzelnen Bewirt- schaftungsmaßnahmen sind in Tab. 4-1 angeführt. Die Summe der N-Düngung betrug am tiefgründigen Standort in Eberstalzell demnach 148 kg N/ha (jahres- wirksam). Am tiefgründigen Standort in Pettenbach wurden 180 kg N/ha (jahreswirksam) ausgebracht. Am Standort in Schwertberg wurde ein Düngeversuch in 2 Varianten durchgeführt. Am Lysimeter mgSBg mit

gestörtem Bodenaufbau wurden 140 kg N/ha ausge- bracht und am Lysimeter mgSBu mit ungestörtem Bo- denaufbau 84 kg N/ha. In Pucking erfolgte weder eine Stickstoff- noch eine Phosphordüngung. Die Phosphordüngermengen betragen in Eberstalzell 33 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, in Pettenbach 73 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha und in Schwertberg 87 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha bzw. 106 kg N/ha. Bezüglich der Stickstoffdüngung entspricht das Dün- geniveau in Eberstalzell einer mittleren Ertragslage und in Pettenbach einer hohen Ertragslage (hoch 1). In Schwertberg entspricht die Düngung beim Lysimeter mgSBg einer mittleren und beim mgSBu einer niedri- gen Ertragslage (NAPV 2018).

Tab. 4-1: Bewirtschaftungsmaßnahmen 2019/2020 (nach Angaben der Bewirtschafter)

Datum	Tiefgr. Eberstalzell tgEB	Tiefgr. Pettenbach tgPE	Seichtgr. Pucking sgSB	Mittelgr. Schwertberg
28.07.2019	Ernte Winterweizen			
30.07.2019	Grubbern, Anbau Begrünung			
01.08.2019			Anbau Begrünung (mit Leguminosen)	
16.08.2019				Anbau Begrünung
26.08.2019		Putenmist 20 m <sup>3</sup>		
27.08.2019		Anbau Winterraps		
08.03.2020		300 kg Ammonsulfat		
17.03.2020		210 kg Ammonsulfat		
21.03.2020	18 m <sup>3</sup> Mischgülle			
07.04.2020				<b>mgSBg:</b> 215 kg DC45, 411 kg VK gelb <b>mgSBu:</b> 320 kg DC45, 2.187 kg BioAgenasol Anbau Körnermais
11.04.2020	20 m <sup>3</sup> Mischgülle, 200 kg VD, Anbau Körnermais			
20.04.2020			Anbau Sojabohne	mgSBu: 500 kg BioA- genasol

Datum	Tiefgr. Eberstolz tgEB	Tiefgr. Pettenbach tgPE	Seichtgr. Pucking sgSB	Mittelgr. Schwertberg
08.05.2020				<b>mgSBg:</b> 290 kg NAC <b>mgSBu:</b> 60 kg NAC
16.05.2020	150 kg NAC			
14.07.2020		Ernte Winterraps 3,3 t/ha		
25.07.2020		Pflug, Anbau Begrünung		
14.09.2020			Ernte Sojabohne, 3,7 t/ha	
22.09.2020				Ernte Körnermais (14% Feuchte) <b>mgSBg:</b> 12,8 t/ha <b>mgSBu:</b> 11,6 t/ha
01.10.2020			Aussaat Wintergerste	
03.10.2020	Ernte Körnermais, 16,5 t/ha (35% Feuchte)			

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Wirtschaftsdünger und Ernteproben

Am Betrieb in Eberstolz wurde vor dem Anbau im März 2020 Mischgülle ausgebracht. Der Ammoniumstickstoffgehalt betrug  $1,6 \text{ kg/m}^3$  und der Gesamtstickstoffgehalt  $2,0 \text{ kg/m}^3$ . Umgerechnet auf jahreswirksamen Stickstoff ergibt das  $1,4 \text{ kg/m}^3$ . Der  $\text{P}_2\text{O}_5$  - Gehalt betrug  $0,4 \text{ kg/m}^3$ .

Zum Anbau im April erfolgte in Eberstolz nochmals eine Düngegabe mit Mischgülle. Der Ammoniumstickstoffgehalt betrug  $1,3 \text{ kg/m}^3$  und der Gesamtstickstoffgehalt  $2,6 \text{ kg/m}^3$ . Umgerechnet auf jahreswirksamen Stickstoff ergibt das  $1,8 \text{ kg/m}^3$ . Der  $\text{P}_2\text{O}_5$  - Gehalt betrug  $0,3 \text{ kg/m}^3$ .

In Pettenbach wurde zum Anbau Putenmist ausgebracht. Dieser hatte bei der Analyse im Jahr 2018 einen Ammoniumstickstoffgehalt von  $0,8 \text{ kg/m}^3$  und

einen Gesamtstickstoffgehalt von  $8,0 \text{ kg/m}^3$ . Umgerechnet auf jahreswirksamen Stickstoff ergibt das  $3,6 \text{ kg/m}^3$ . Der  $\text{P}_2\text{O}_5$  - Gehalt betrug  $7,33 \text{ kg/m}^3$ .

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  $1 \text{ m}^2$  Fläche ist ersichtlich, dass der Kornertrag auf der Lysimeterfläche in Pettenbach und Pucking etwas niedriger als der Durchschnitt aus Lysimeterfläche und Kontrollstellen war. In Eberstolz war der Ertrag auf der Lysimeterfläche höher.

In Schwertberg wurde heuer eine unterschiedliche Bewirtschaftung bei den beiden Lysimetern durchgeführt. Beim Lysimeter mgSBu erfolgte die Düngung teilweise mit BioAgenasol, während beim Lysimeter mgSBg rein mineralisch gedüngt wurde, weshalb explizit zwischen den beiden Lysimeterbereichen unterschieden wurde. Nachdem kein Lysimeterring

vorhanden war und somit keine klare Abgrenzung, wurden in Schwertberg nur 2 Mischproben entnommen. Zu sehen ist, dass sowohl die Erntemenge als auch der Nährstoffgehalt bei der rein mineralisch gedüngten Variante höher ist.

Umgerechnet auf Standardfeuchte wurden im Durchschnitt aller beprobten Stellen eines Standorts am tiefgründigen Standort in Eberstalzell 17,6 t/ha Körnermais geerntet, am tiefgründigen Standort in Pettenbach 4,7 t/ha Winterraps und am seichtgründigen Standort 5,5 t Sojabohne. In Schwertberg mgSBg wurden 15,7 t/ha Körnermais geerntet und in Schwertberg mgSBu 14,7 t/ha. Insbesondere bei den Standorten mit Körnermais erscheint die Erntemenge im Vergleich zu den Angaben der Landwirte im Jahr 2020

ausnahmsweise nicht repräsentativ zu sein, was damit zusammenhängen dürfte, dass die Lysimeterfläche im Vergleich zum Pflanzabstand bei Mais klein ist. Entsprechend deren Angaben wurden nach Umrechnung auf Standardfeuchte in Eberstalzell 14 t Körnermais geerntet, in Schwertberg mgSBg 12,8 t und in Schwertberg mgSBu 11,6 t. In Eberstalzell wurde eine sehr hohe Ertragslage (hoch 3, gem. NAPV 2018) erreicht. In Schwertberg und in Pettenbach erreichte der Körnermais bzw. der Winterraps eine hohe Ertragslage der Stufe 2. Zur Berechnung der Stickstoffsalden (Kap. 5.2) wurden die Durchschnittserträge der beprobten Stellen auf die von den Landwirten ermittelten Erntemengen korrigiert und der Ertrag am Lysimeter um denselben Differenzbetrag korrigiert.

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)
tgEB - Lys Korn	1709	68%	13,7	2,6
tgEB - MW Korn	1518	68%	13,7	2,5
tgEB - Lys Stroh	1281	28%	8,7	0,9
tgEB - MW Stroh	1267	28%	7,5	1,1
tgPE - Lys Korn	363	84%	33,9	5,5
tgPE - MW Korn	454	89%	32,3	5,8
tgPE - Lys Stroh	772	69%	7,8	2,4
tgPE - MW Stroh	946	84%	8,2	2,1
sgPU - Lys Korn	396	79%	62,1	6,8
sgPU - MW Korn	472	81%	63,1	7,1
sgPU - Lys Stroh	1799	78%	6,9	1,9
sgPU - MW Stroh	1918	80%	6,9	2,0
mgSBg Korn	1352	68%	11,6	4,0
mgSBu Korn	1261	70%	10,4	3,9
mgSBg Stroh	1081	31%	5,0	2,3
mgSBu Stroh	957	30%	3,5	3,0

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 die Maisstandorte überwiegend einen negativen Stickstoffsaldo. In Eberstallzell liegt der Saldo aufgrund des hohen Ertrages und des hohen Nährstoffgehalts bei - 23 kg N/ha, am Lysimeter liegt der Saldo sogar bei - 44 kg N/ha. In Schwertberg mgSBg war die ausgebrachte Düngemenge vergleichbar mit Eberstallzell, der Ertrag fiel allerdings etwas niedriger aus, wodurch die Bilanz mit 12 kg N/ha leicht positiv ist. In Schwertberg-mgSBu erfolgte die Düngung teilweise mit „Bio Agenasol“. Die Düngemenge entspricht feldfallend in etwa jener von mgSBg, jedoch nach Berücksichtigung der Jahreswirksamkeit fällt die Düngemenge um 40% niedriger aus. Dementsprechend sind auch der Ertrag und folglich der Entzug niedriger. Bei jahreswirksamer Betrachtung bleibt der Stickstoffsaldo demnach mit -20 kg N/ha deutlich negativ. In Pettenbach ist kein merklicher Unterschied zwischen der Lysimeterfläche und dem Felddurchschnitt erkennbar. Der Stickstoffsaldo liegt beide Male bei ca. 40 kg N/ha, obwohl die Düngemenge nur einer h1-Ertragslage gem. NAPV 2018 entsprach und ein h2-Ertrag erzielt wurde. Grund ist, dass bei Raps nur ein vergleichsweise kleiner Teil des aufgenommenen Stickstoffs im Erntegut landet und relativ viel im Stroh (vgl. dazu Tab. 5-2). In Pucking wurde zur Sojabohne keine Düngung ausgebracht, weshalb die Bilanz entsprechend negativ wird, da in dieser Berechnung zunächst kein Wert für die Luftstickstofffixierung angesetzt 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 Erntentzügen gegenübergestellt.

In Eberstallzell war die organische Düngemenge im Jahr 2020 gering, weshalb sich die feldfallende N-Düngemenge gegenüber der jahreswirksamen nur unmerklich erhöht und der Stickstoffsaldo fast ident bleibt. In Pettenbach wurde vom Landwirten entsprechend den geltenden Zahlenwerken eine feldfallende Stickstoffmenge in der Höhe von 208 kg N/ha geplant und ausgebracht. Die nachträglich eingelangten Analyseergebnisse ergaben jedoch höhere Stickstoffgehalte des Putenmist, sodass sich hinterher herausstellte, dass gemäß Messergebnissen die feldfallende Düngung 250 kg N/ha ergibt und damit einen Stickstoffsaldo von 120 kg N/ha nach gemessenen Werten, nach berechneten hingegen 78 kg N/ha. Abweichungen zwischen den errechneten niedrigeren Stickstoffgehalten im Putenmist und den analysierten (höheren) Gehalten wurden auch in der Vergangenheit festgestellt. Probleme bei der Beprobung können als Ursache nicht ausgeschlossen werden. Die systematische Abweichung liefert aber auch einen Hinweis, dass die offiziellen Standardzahlen zur Berechnung möglicherweise anzupassen wären. In den Darstellungen dieses Berichts wird von den Messwerten ausgegangen. Wird in Schwertberg-West der feldfallende Stickstoff berücksichtigt, fällt die Bilanz mit 46 kg N/ha ebenfalls positiv aus.

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 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 gleichgerichtet ist. Kleinräumige Schwankungen der Ertragshöhe dürften daher eine größere Rolle spielen als systematische Abweichungen.

Tab. 5-2: Stickstoffsalden (jahreswirksam) für das Erntejahr 2020

	Tiefgr. Standort in Eberstalzell tgEB		Tiefgr. Standort in Pettenbach tgPE		Seichtgr. Standort in Pucking sgPU		Mittelgr. Standort in Schwertberg	
	----- kg N/ha -----							
Stickstoffzufuhr aus Düngung jahreswirksam	142		159 ( <sup>b</sup> berechnet) 180 ( <sup>a</sup> gemessen)		0		140	84
Entzug durch Pflanzen	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW	<b>mgSBg</b>	<b>mgSBu</b>
Entzug durch Korn	186	165	132	139	246	298	128	104
Entzug durch Stroh	88	76	60	72	124	132	44	26
Summe Entzug	274	241	192	211	370	430	172	130
Abfuhr durch Ernte	186	165	132	139	246	298	128	104
Saldo Korn	-44	-23	27 <sup>b</sup> /48 <sup>a</sup>	41	-246	-298	12	-20
Saldo Korn + Stroh	-132	-99	-12	-31	-370	-430	-32	-46
Saldo Ernte	-44	-23	27 <sup>b</sup> /48 <sup>a</sup>	41	-246	-298	12	-20

Tab. 5-3: Stickstoffsaldo (feldfallend) für das Erntejahr 2020

	Tiefgr. Standort in Eberstalzell tgEB		Tiefgr. Standort in Pettenbach tgPE		Seichtgr. Standort in Pucking sgPU		Mittelgr. Standort in Schwertberg	
	----- kg N/ha -----							
Stickstoffzufuhr aus Düngung feldfallend	157		208 ( <sup>b</sup> berechnet) 252 ( <sup>a</sup> gemessen)		0		140	150
Entzug durch Pflanzen	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW	<b>mgSBg</b>	<b>mgSBu</b>
Entzug durch Korn	186	165	132	139	246	298	128	104
Entzug durch das Stroh	88	76	60	72	124	132	44	26
Summe Entzug	274	241	192	211	370	430	172	130
Abfuhr durch Ernte	186	165	132	139	246	298	128	104
Saldo Korn	-29	-8	78 <sup>b</sup> /120 <sup>a</sup>	113	-246	-298	12	46
Saldo Korn + Stroh	-117	-84	60	41	-370	-430	-32	20
Saldo Ernte	-29	-8	78 <sup>b</sup> /120 <sup>a</sup>	113	-246	-298	12	46

### 5.3 N<sub>min</sub>-Gehalte im Boden

Die N<sub>min</sub>-Gehalte (Nitrat + Ammonium) im Boden zeigen auf den fünf Standorten einen Zusammenhang mit den Düngemaßnahmen, dem zeitlichen Verlauf der Stickstoffaufnahme der Kulturen sowie der Temperaturentwicklung (Abb. 6-11 und Abb. 6-12), die sich auf die Stickstoffmineralisierung im Boden auswirkt. Auf den Standorten wurden verschiedene Kulturen angebaut, wodurch sich Unterschiede beim N<sub>min</sub> Gehalt im Boden ergeben.

Am tiefgründigen Standort in Eberstalzell wurde Körnermais angebaut. Der N<sub>min</sub> Verlauf während des Jahres zeigt einen typischen Verlauf für diese Kultur: Nach dem Anbau einer Begrünung, welche ungedüngt blieb, waren die N<sub>min</sub> Gehalte bis März niedrig. Durch die beiden Düngungen vor dem Anbau, wohl aber auch durch das Einarbeiten der Zwischenbegrünung kommt es zu einem Anstieg vor allem im Oberboden auf über 350 kg N/ha (Abb. 5-1). Im weiteren Jahresverlauf verlagert sich der Stickstoff in die tieferen Schichten und der gesamte N<sub>min</sub> Gehalt geht aufgrund des Entzugs durch die Vegetation und teilweise auch aufgrund der Nitratauswaschung zurück (vgl. Abb. 5-9). Schlussendlich werden im Herbst zur Maisernte 50 kg N/ha erreicht.

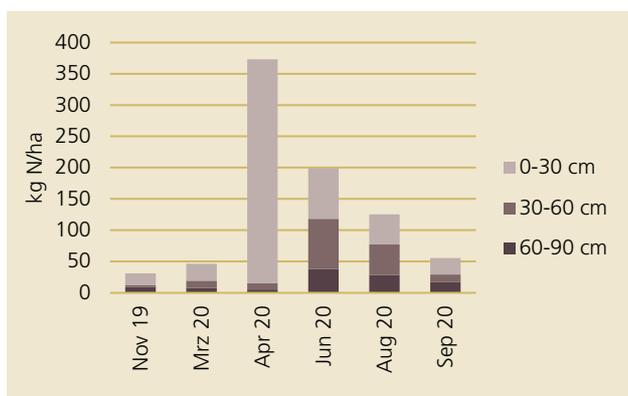


Abb. 5-1: N<sub>min</sub>-Gehalte am tiefgründigen Standort in Eberstalzell

Am tiefgründigen Standort in Pettenbach wurde Winterraps angebaut. Zum Anbau Ende August 2019 erfolgte eine Putenmistdüngung, deren Auswirkung im N<sub>min</sub> Gehalt im Dezember mit einer Höhe von 160 kg N/ha zu sehen ist. Der Stickstoff hatte sich zu diesem Zeitpunkt bereits in tiefere Schichten (bis 90 cm) verlagert (Abb. 5-2), führte aber noch zu keiner erhöhten Nitratauswaschung in 150 cm Bodentiefe (Abb. 5-15). Die beiden Mineraldüngungen im März verursachen einen vergleichsweise hohen Stickstoffanteil im Oberboden, insgesamt ist aber ein Rückgang des Gesamt-N<sub>min</sub> zu beobachten, was sich bis zur Ernte im Sommer so weiterentwickelt. Im Juni 2020 wurde keine N<sub>min</sub>-Probe entnommen, da der Reifezustand des Rapses keine Probenahme zuließ. Nach dem Einsatz des Pfluges Ende Juli setzt die Mineralisierung im Boden ein, was an der Erhöhung des N<sub>min</sub> im August zu erkennen ist. Erhöhte Auswaschungen im August und September (vgl. Abb. 5-15) und der Entzug durch die aufwachsende Begrünung verursachen einen Rückgang bis zum Oktober.

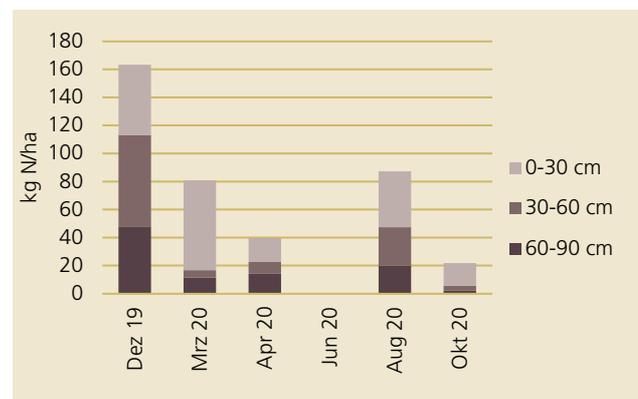


Abb. 5-2: N<sub>min</sub>-Gehalte am tiefgründigen Standort in Pettenbach

Am seichtgründigen Standort in Pucking erfolgte nach einer Winterbegrünung der Anbau von Sojabohne. Die N<sub>min</sub>-Gehalte sind während des gesamten Beobachtungszeitraums 2019/20 vergleichsweise niedrig, da auch keine Düngung erfolgte (Abb. 5-3). Aufgrund der wärmeren Temperaturen und der dadurch

fortschreitenden Mineralisierung ist eine leichte Zunahme vom Winter bis zum Sommer zu beobachten.

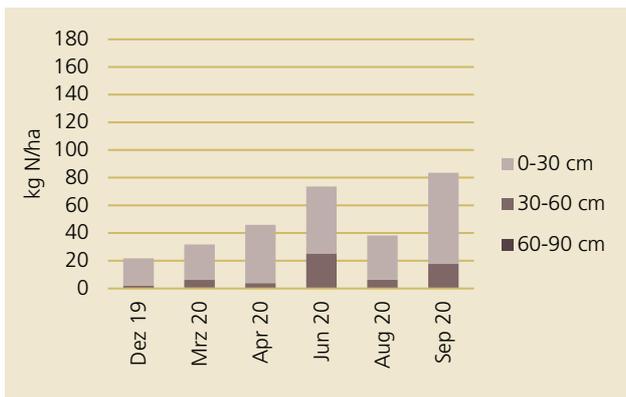


Abb. 5-3: N<sub>min</sub>-Gehalte am seichtgr. Standort in Pucking

Auf den beiden Lysimetern am mittelgründigen Standort in Schwertberg erfolgte im Jahr 2020 ein Düngerversuch zu Körnermais. Die Unterschiede beim N<sub>min</sub> sind allerdings gering (Abb. 5-4 und Abb. 5-5). Nur im April wurde bei der rein mineralisch gedüngten Variante (mgSBg) ein um 30 kg N/ha höherer N<sub>min</sub> Gehalt gemessen. Im sonstigen Jahresverlauf sind die Werte sehr vergleichbar. Typisch für eine Sommerkultur steigt der Stickstoffgehalt im Jahresverlauf bis zum Frühsommer. Die Düngungen im Anfang und Ende April sowie Mitte Mai wirken sich auf den N<sub>min</sub> Gehalt von knapp 100 kg N/ha im Juni aus. Danach gehen die Werte durch den Nährstoffentzug der Maispflanzen zurück.

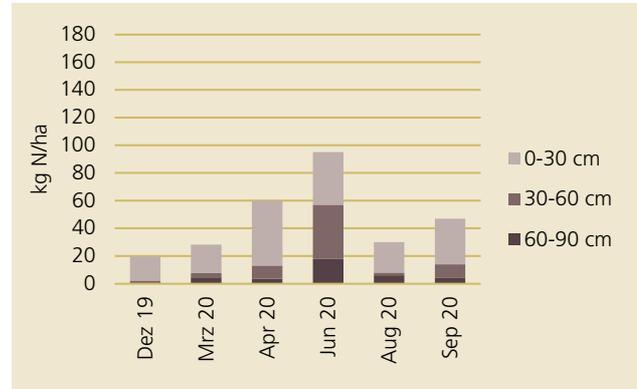


Abb. 5-5: N<sub>min</sub>-Gehalte am mittelgr. Standort in Schwertberg, mgSBu

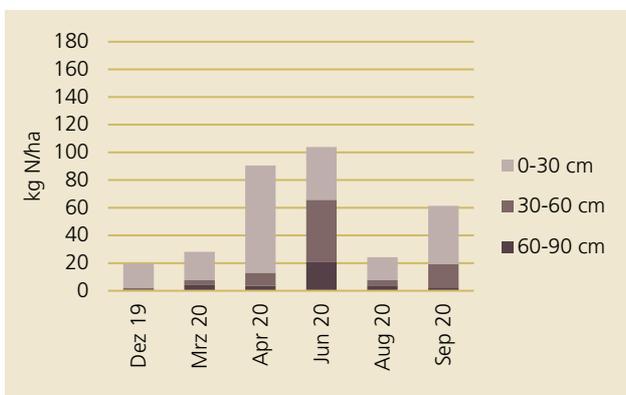


Abb. 5-4: N<sub>min</sub>-Gehalte am mittelgr. Standort in Schwertberg, mgSBg

Im langjährigen Vergleich zeigt sich, dass die  $N_{\min}$  Gehalte des Jahres 2020 mit Ausnahme von Eberstalzell in einem durchschnittlichen Bereich liegen (Abb. 5-6).

In Eberstalzell wurde mit 373 kg N/ha der höchste jemals an diesem Standort gemessene  $N_{\min}$  Wert verzeichnet.

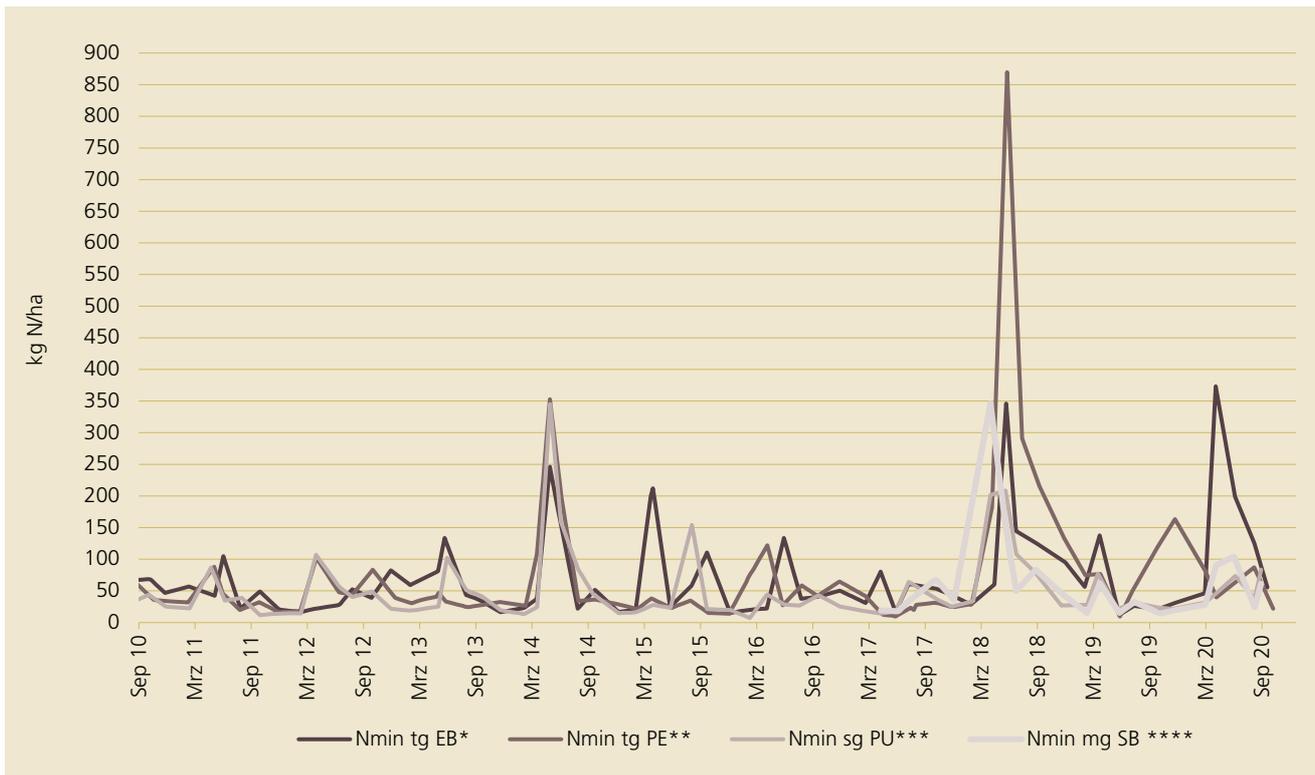


Abb. 5-6: Vergleich der  $N_{\min}$ -Gehalte der Standorte seit September 2010

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

## 5.4 Nitrat auswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstalzell

### 5.4.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

Im hydrologischen Jahr 2019/20 fielen 1.201 mm Niederschlag. Die Sickerwassermenge in diesem Zeitraum betrug 284 mm, was 24% der Niederschlagsmenge entspricht. Der gesamte Sommer war sehr niederschlagsreich, so fiel von Mai bis September ein Niederschlag von insgesamt 750 mm. Die höchste Niederschlagssumme wurde im August mit 185 mm gemessen (Abb. 5-7, Abb. 5-8).

Das Sickerwasser bildete sich hauptsächlich während des Winters von Dezember bis März und dann wieder nach den ausgiebigen Niederschlägen ab Juni. Die höchste Sickerwassermenge wurde im Februar mit 53 mm ausgetragen. Die hohen Niederschlagssummen

im August verursachten nur eine vergleichsweise geringe Sickerwassermenge, was auf den Wasserentzug durch die Maispflanzen zurückgeführt werden kann.

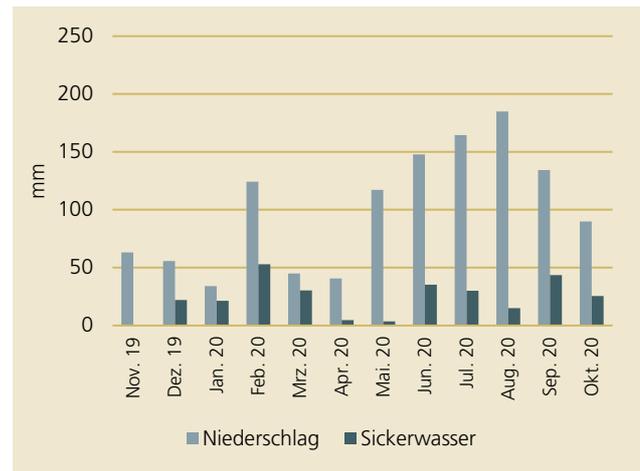


Abb. 5-7: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. EB)

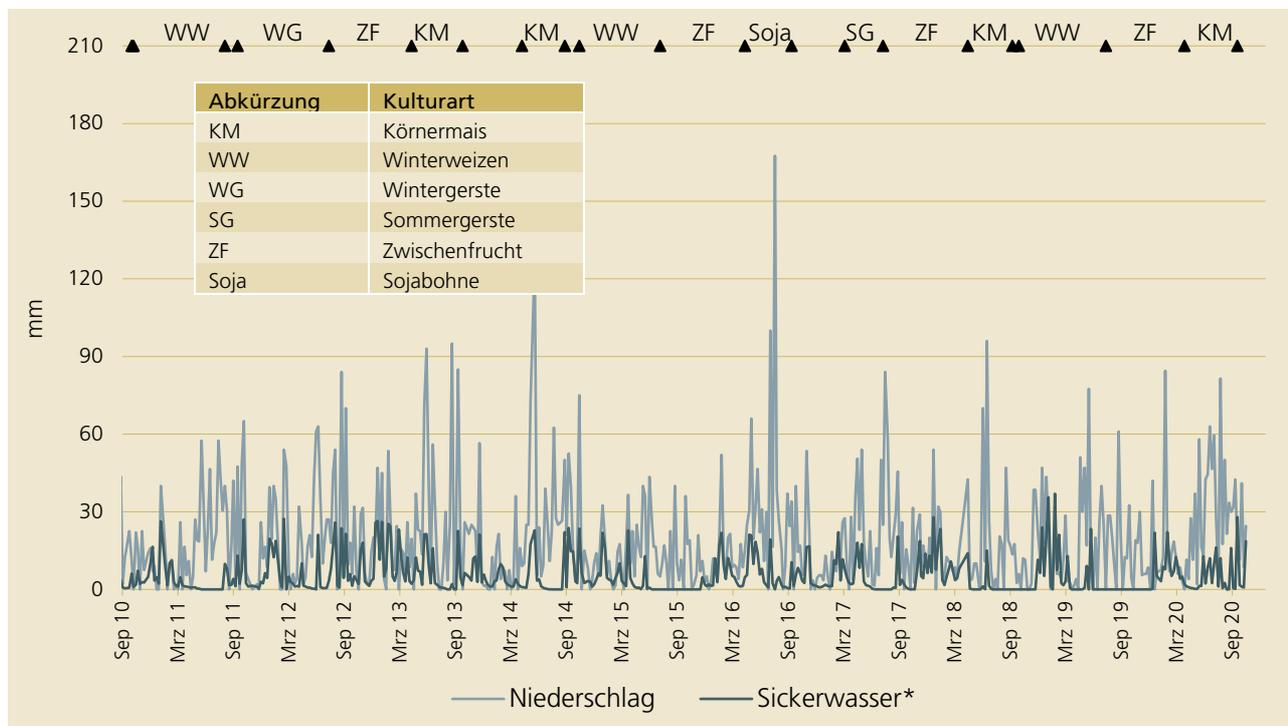


Abb. 5-8: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2010 (tiefgr. EB) \*Juli 2016 nicht gesamtes SW erfasst

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

Der Sickerwasseranfall über die Wintermonate führte zu keiner nennenswerten Nitratauswaschung (Abb. 5-9), da die Nitratgehalte im Boden zu diesem Zeitpunkt niedrig waren (vgl. Abb. 5-1 sowie Abb. 5-12). Ganz im Unterschied dazu im Sommer, als ein erhöhter Sickerwasseranfall und hohe  $N_{min}$  Gehalte im Boden zusammentrafen, was zu Folge hatte, dass von Juni bis Juli mit 19 kg N/ha ca. die Hälfte der gesamten Jahresauswaschung stattfand.

Die Nitratkonzentration im Sickerwasser ist ebenfalls während der Sommermonate am höchsten und erreicht im Juli mit 96 mg/l das Maximum (Abb. 5-10 bis Abb. 5-12). Die Jahresgesamtsomme der ausgewaschenen Stickstoffmenge betrug 40 kg N/ha, was im

Vergleich zu vorhergehenden Jahren mit Körnermais relativ hoch ist.

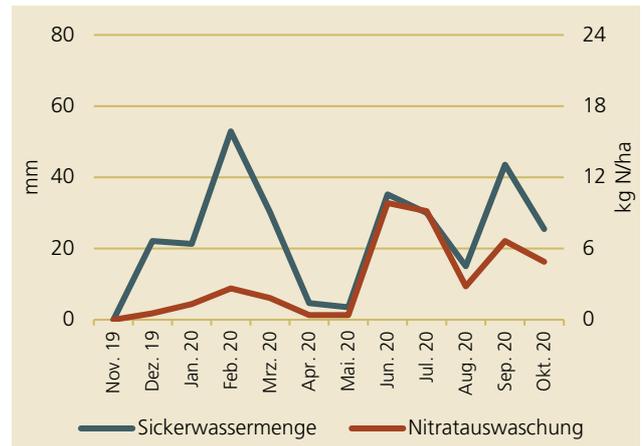


Abb. 5-9: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tieflgr. EB)

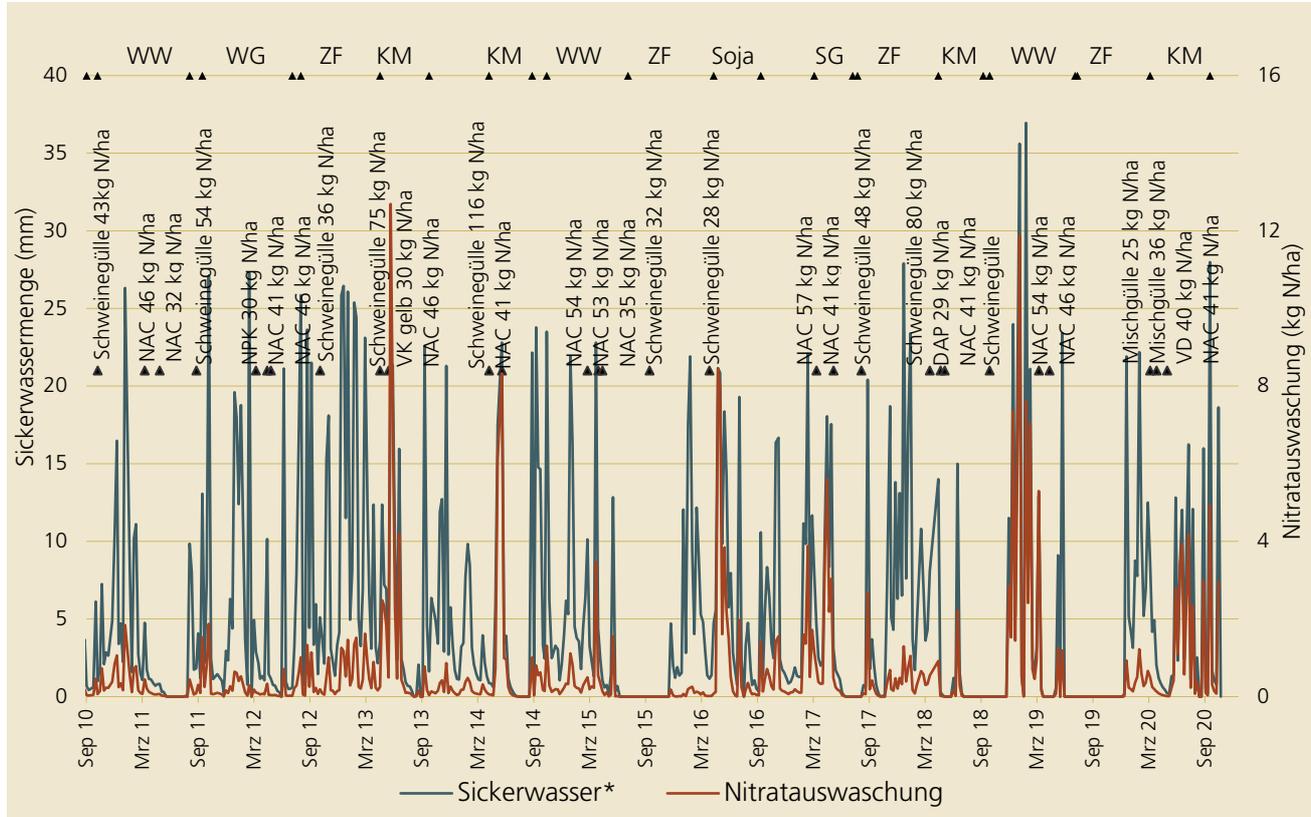


Abb. 5-10: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tieflgr. EB); \*Juli 2016 nicht gesamtes SW erfasst

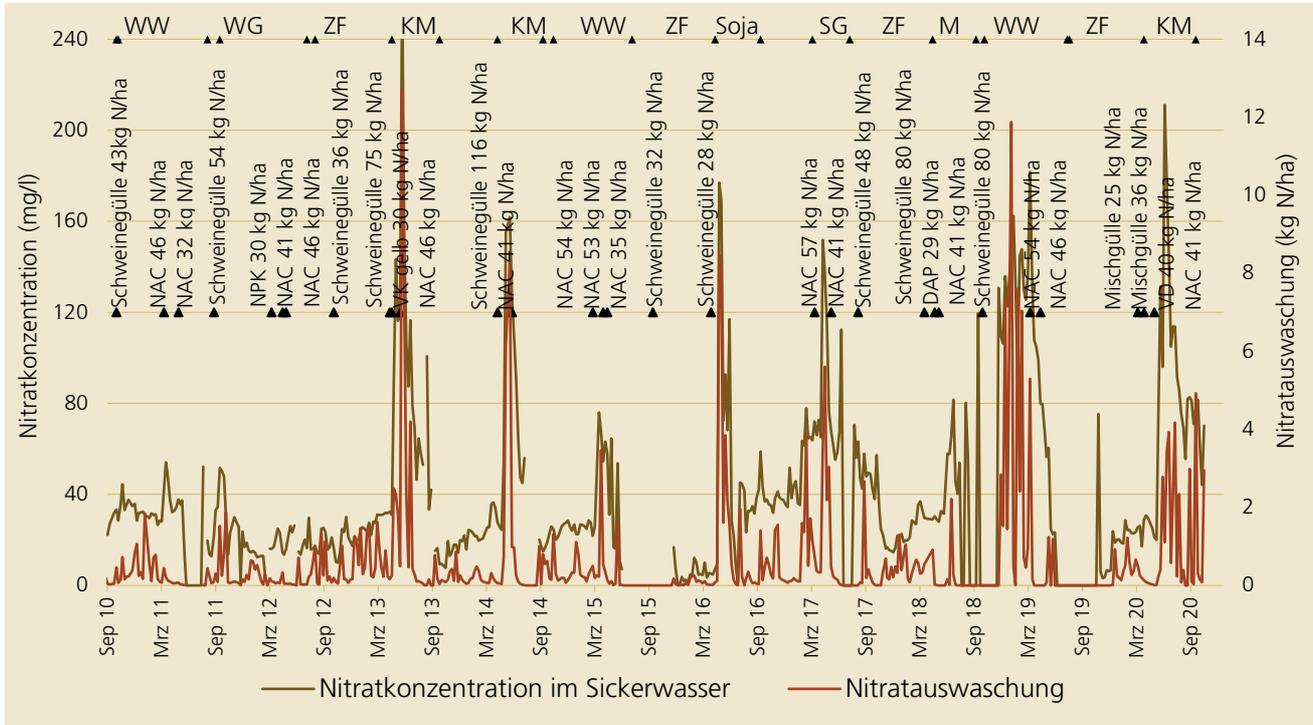


Abb. 5-11: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (tiefgr. EB)

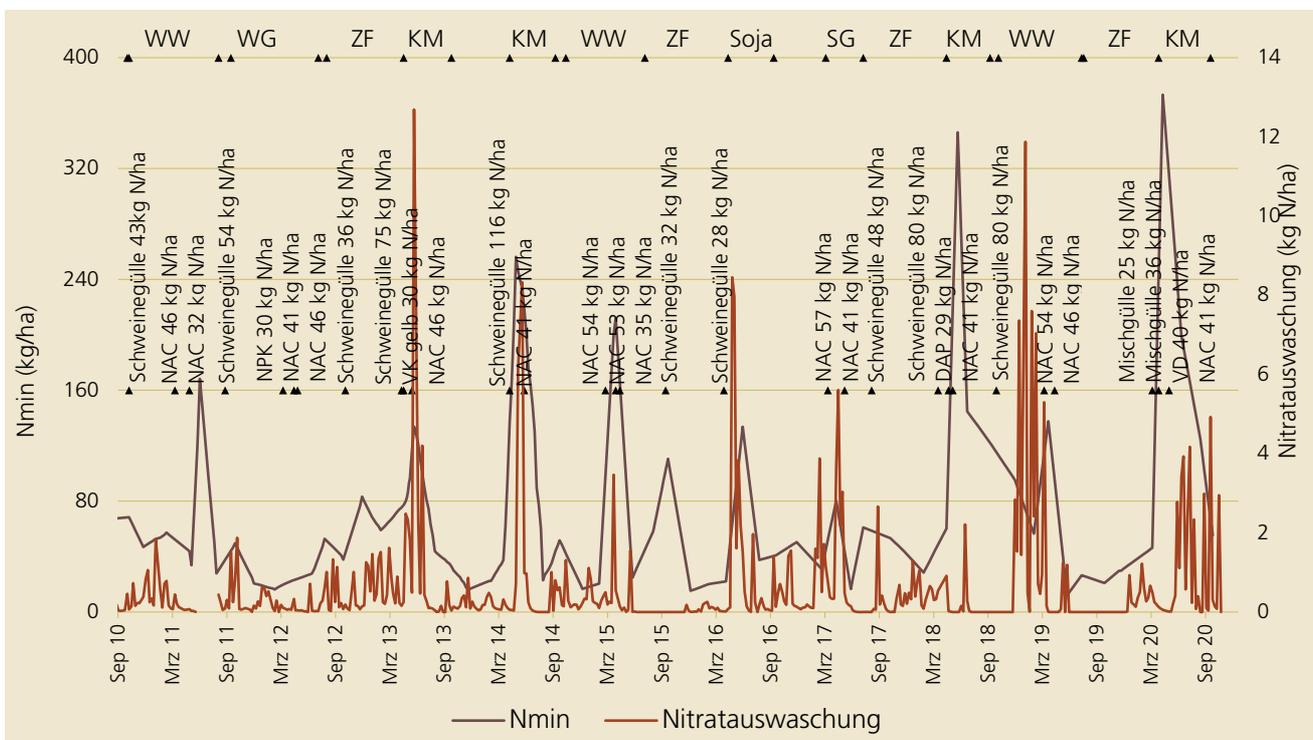


Abb. 5-12: Nitratauswaschung und N<sub>min</sub>-Gehalte des Bodens (tiefgr. EB)

## 5.5 Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach

### 5.5.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

Im hydrologischen Jahr 2019/20 betrug die Niederschlagssumme 1.310 mm, die gemessene Sickerwassermenge im selben Zeitraum 591 mm, das entspricht etwa 45% der Niederschlagsmenge (Abb. 5-13).

Die höchsten Niederschlagssummen traten wie in Eberstalzell im August auf und betragen mehr als 200 mm. Ebenfalls vergleichbar mit dem anderen tiefgründigen Standort ist die Sickerwassermenge während des Sommers am höchsten, insbesondere im August, wo die außergewöhnlich hohen Niederschläge

nach der Ernte des Raps Sickerwasser in der Menge von 150 mm erzeugte.

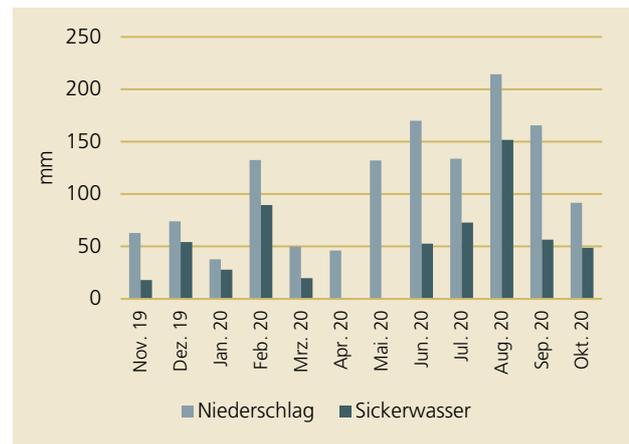


Abb. 5-13: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. PE)

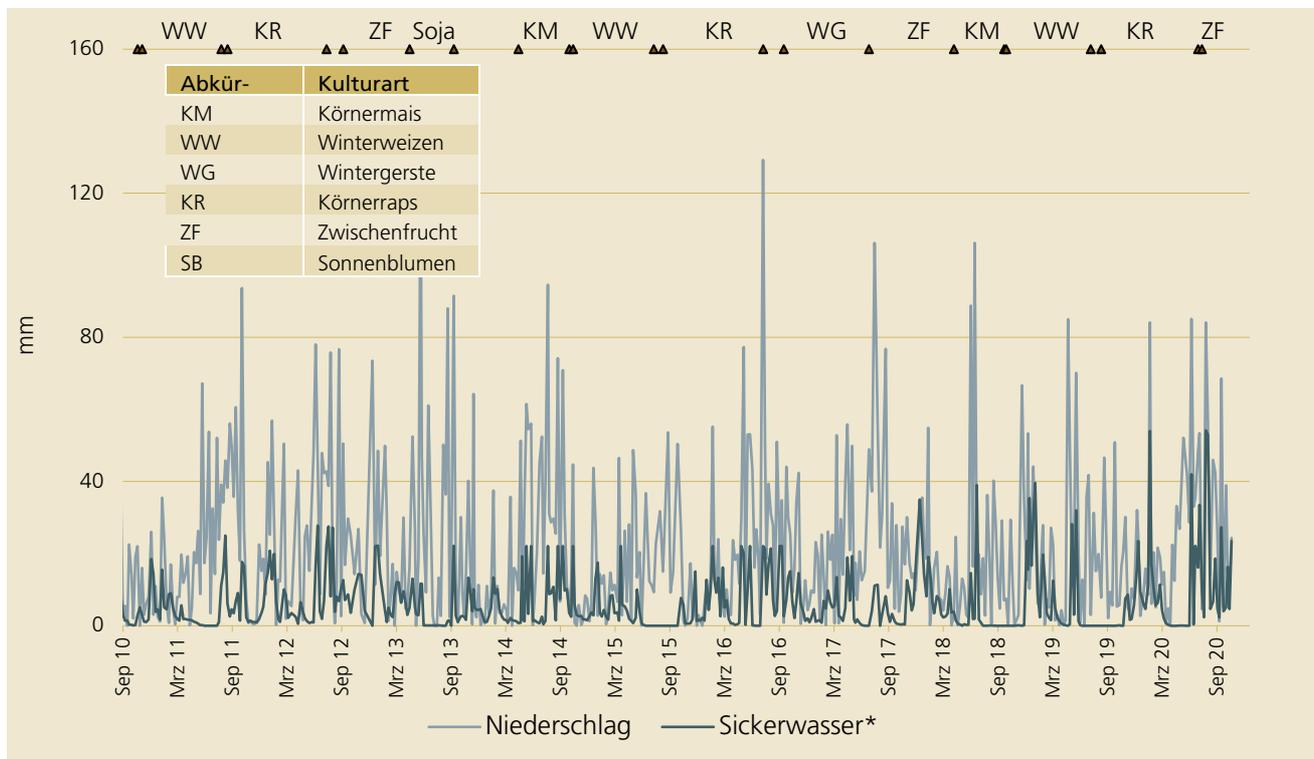


Abb. 5-14: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2010 (tiefgr. PE) \*von Mai – Okt. 2014, Mai bis Sept. 2016 und August 2017 nicht gesamtes Sickerwasser erfasst

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

Die monatliche durchschnittliche Nitratkonzentration im Sickerwasser lag während des gesamten Beobachtungszeitraums 2019/20 stets unter 35 mg/l. Die meiste Auswaschung fand während der Sommermonate statt. So gingen allein im August 12 kg N/ha verloren, was einem Drittel der Gesamtsumme in diesem Jahr von 33 kg N/ha entspricht. Als Ursache können die Bodenbearbeitung zur Einarbeitung der stickstoffreichen Pflanzenreste des Raps im Juli (vgl. auch Anstieg der  $N_{\min}$  Gehalte in Abb. 5-2) in Kombination mit der außergewöhnlich hohen Sickerwassermenge im Folgemonat gesehen werden. Die Zwischenbegrünung war für einen Grundwasserschutz zu diesem Zeitpunkt noch nicht ausreichend entwickelt.

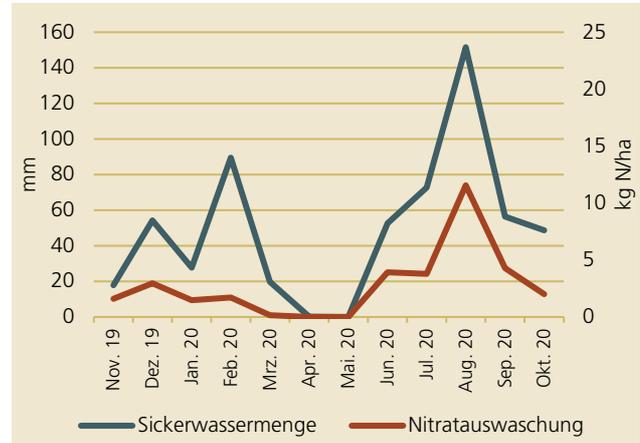


Abb. 5-15: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. PE)

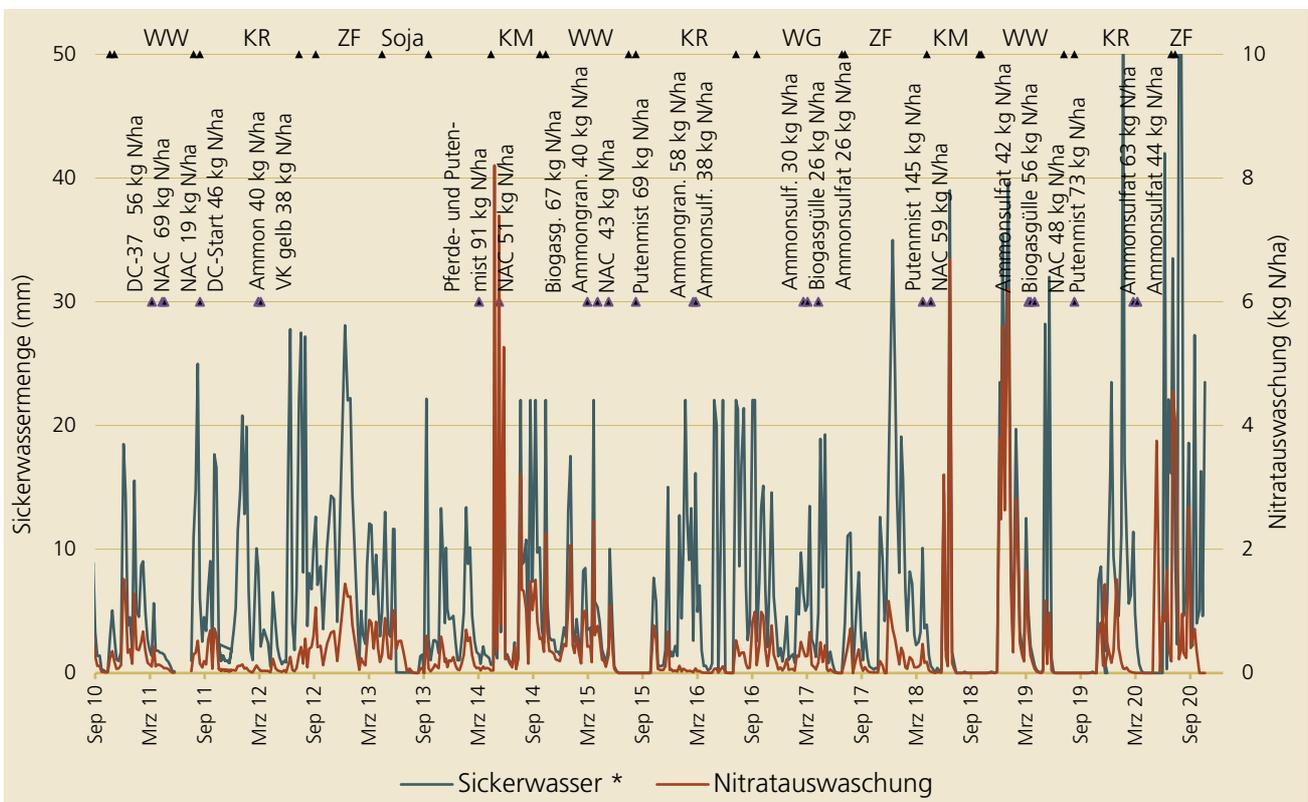


Abb. 5-16: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. PE) \*von Mai – Okt. 2014, Mai bis Sept. 2016 und August 2017 nicht gesamtes Sickerwasser erfasst

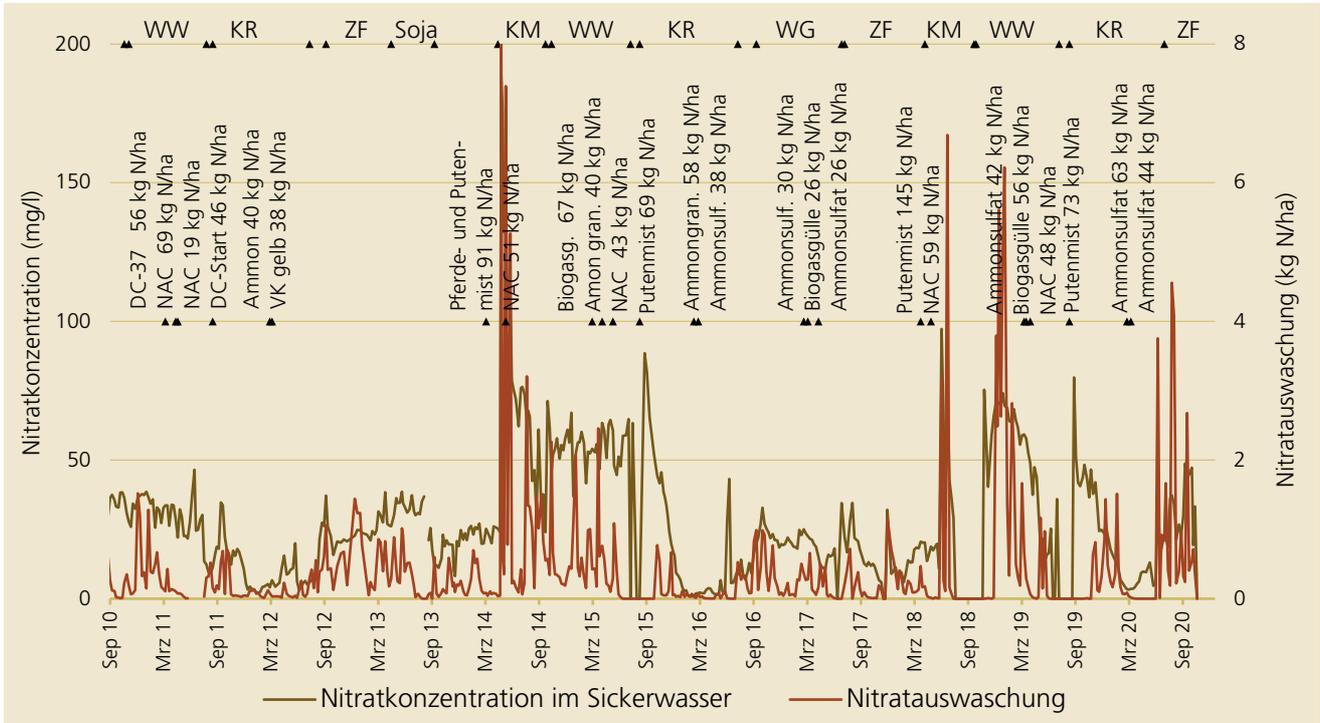


Abb. 5-17: Nitratkonzentration und Nitratwaschung (tiefgr. PE)

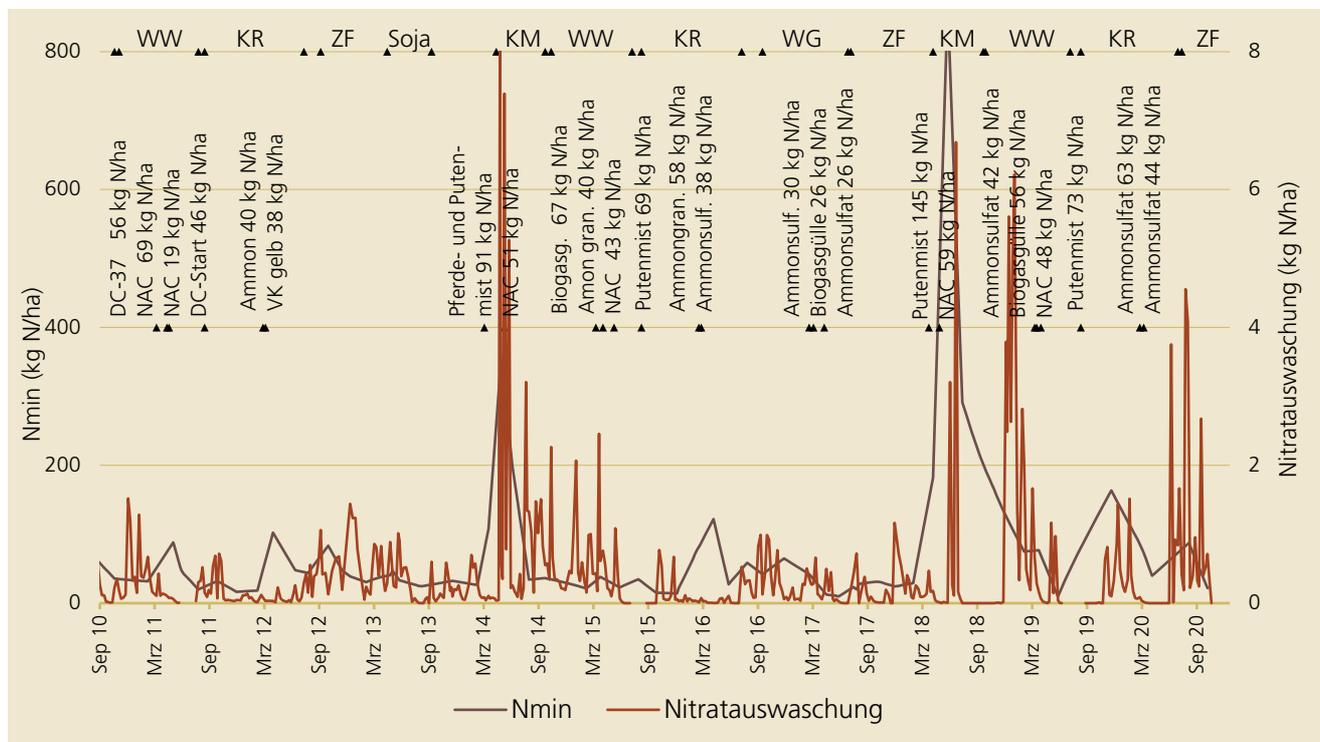


Abb. 5-18: Nitratwaschung und N<sub>min</sub>-Gehalte des Bodens (tiefgr. PE)

## 5.6 Nitrat auswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking

### 5.6.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

Am seichtgründigen Standort fielen im hydrologischen Jahr 2019/20 in Summe 717 mm Niederschlag (Abb. 5-19). Die höchsten Niederschlagsmengen traten im Juli und August mit 110 bzw. 126 mm pro Monat auf.

Die Sickerwasserbildung erfolgte größtenteils im Februar, wo mit 60 mm knapp bereits die Hälfte der Jahressumme von 130 mm anfiel. Weitere Sickerwassermengen traten im März, Juni, Juli und Oktober auf, alle anderen Monate waren praktisch sickerwasserfrei. Die gesamte angefallene Sickerwassermenge entspricht

rund 18% der Niederschlagssumme, was im Vergleich zu den anderen Standorten sehr gering ist.

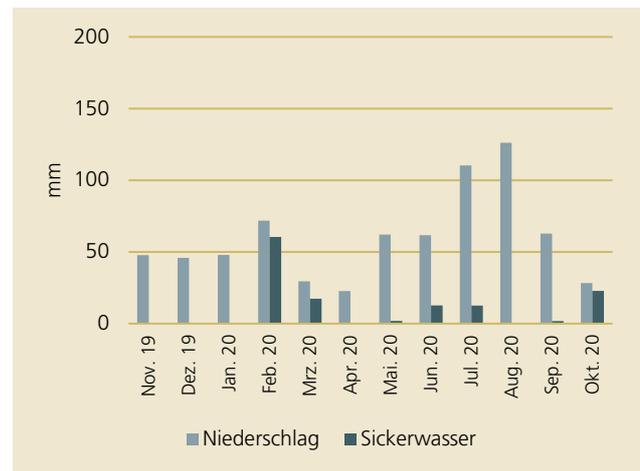


Abb. 5-19: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (seichtgr.)

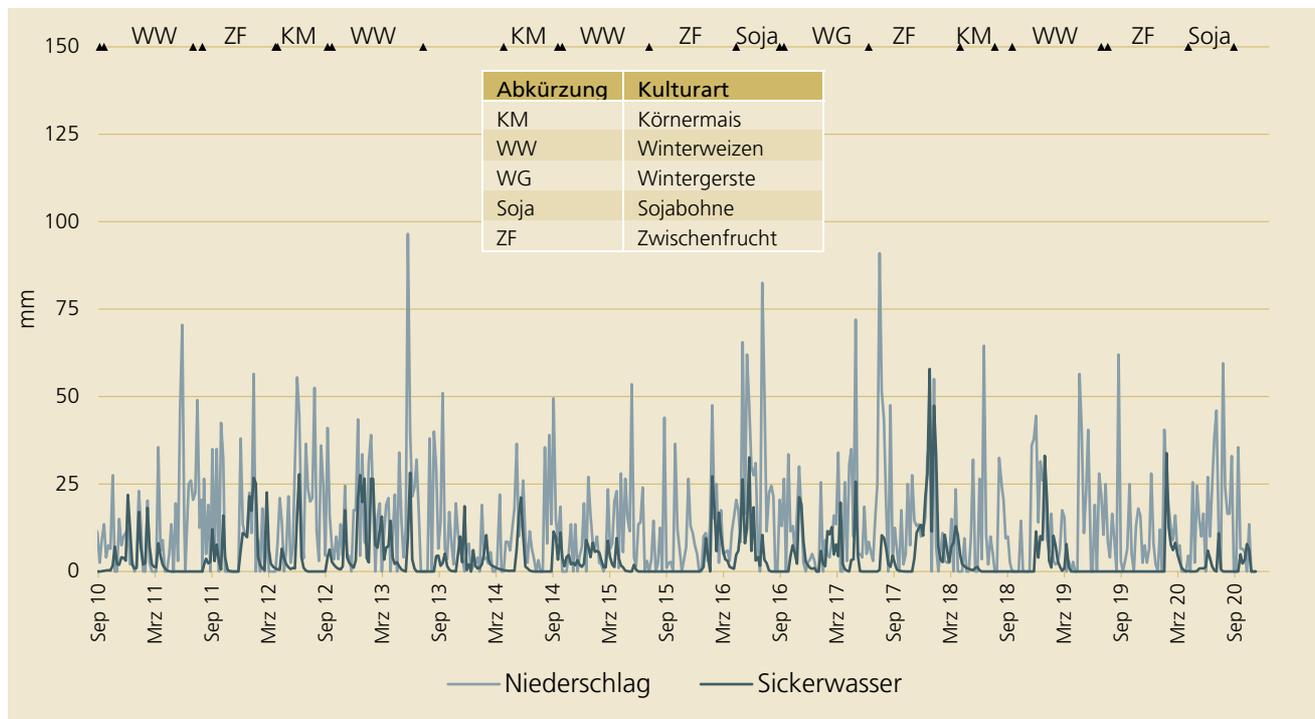


Abb. 5-20: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2010 (seichtgründig)

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

Die durchschnittliche Nitratkonzentration bewegte sich bis August stets unter 50 mg/l. Im Februar, wo die größte Sickerwassermenge anfiel, war die Konzentration mit 15 mg/l besonders gering. Ab September stieg die Konzentration stetig an, wodurch der höchste Nitrataustrag mit 7 kg N/ha im Oktober stattfand (Abb. 5-21). Im Zeitraum Nov. 19 bis Okt. 20 ist die Nitratauswaschung mit 16 kg/ha in Summe niedrig, sowohl im Vergleich zu den Vorjahren (vgl. Abb. 5-23) als auch zu den anderen Standorten.

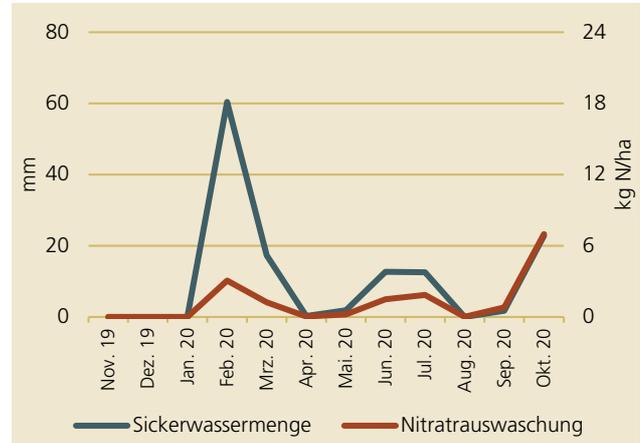


Abb. 5-21: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig)

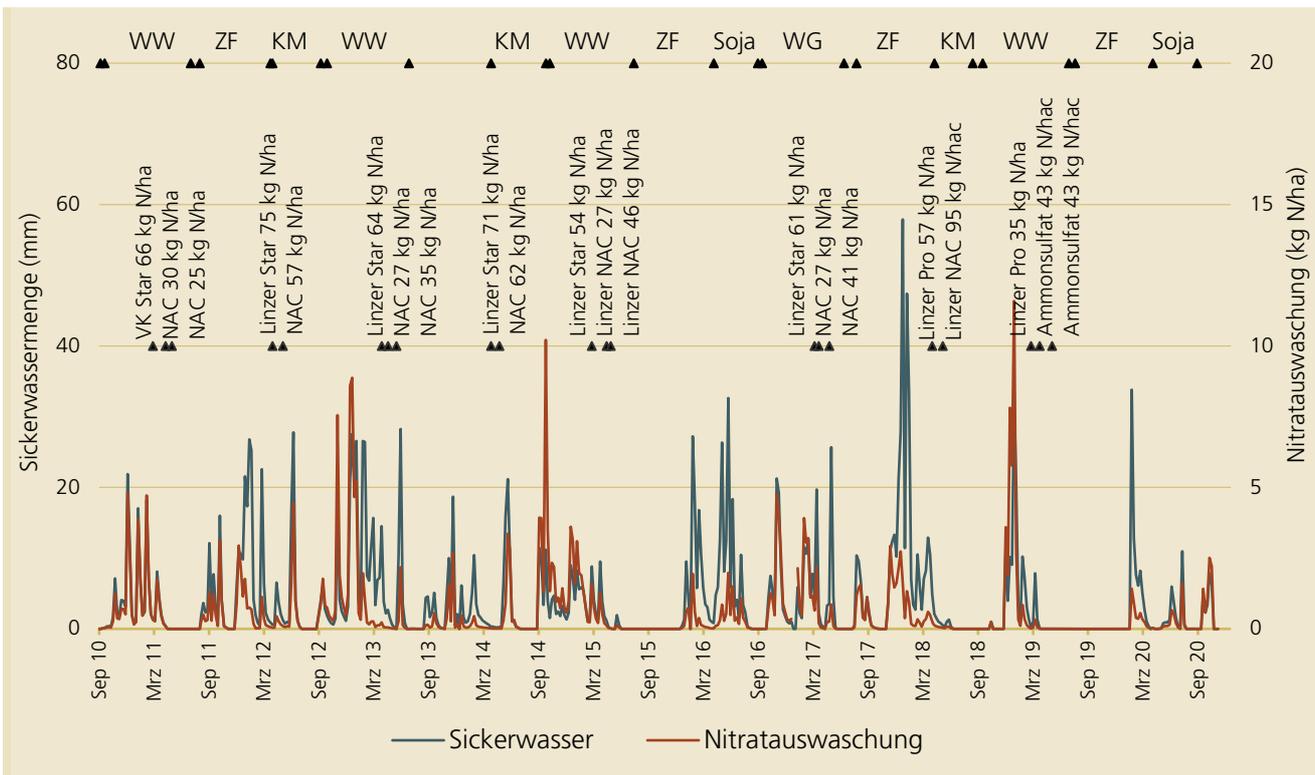


Abb. 5-22: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig)

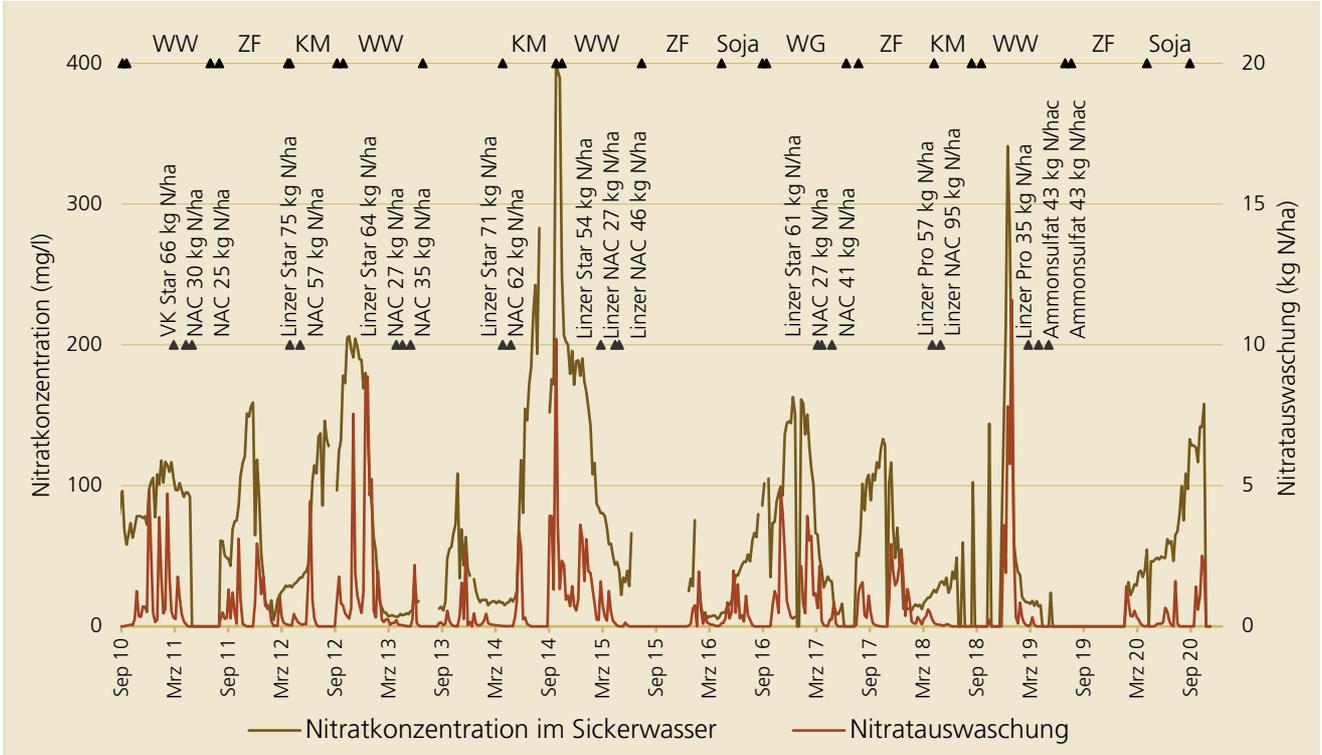


Abb. 5-23: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (seichtgründig)

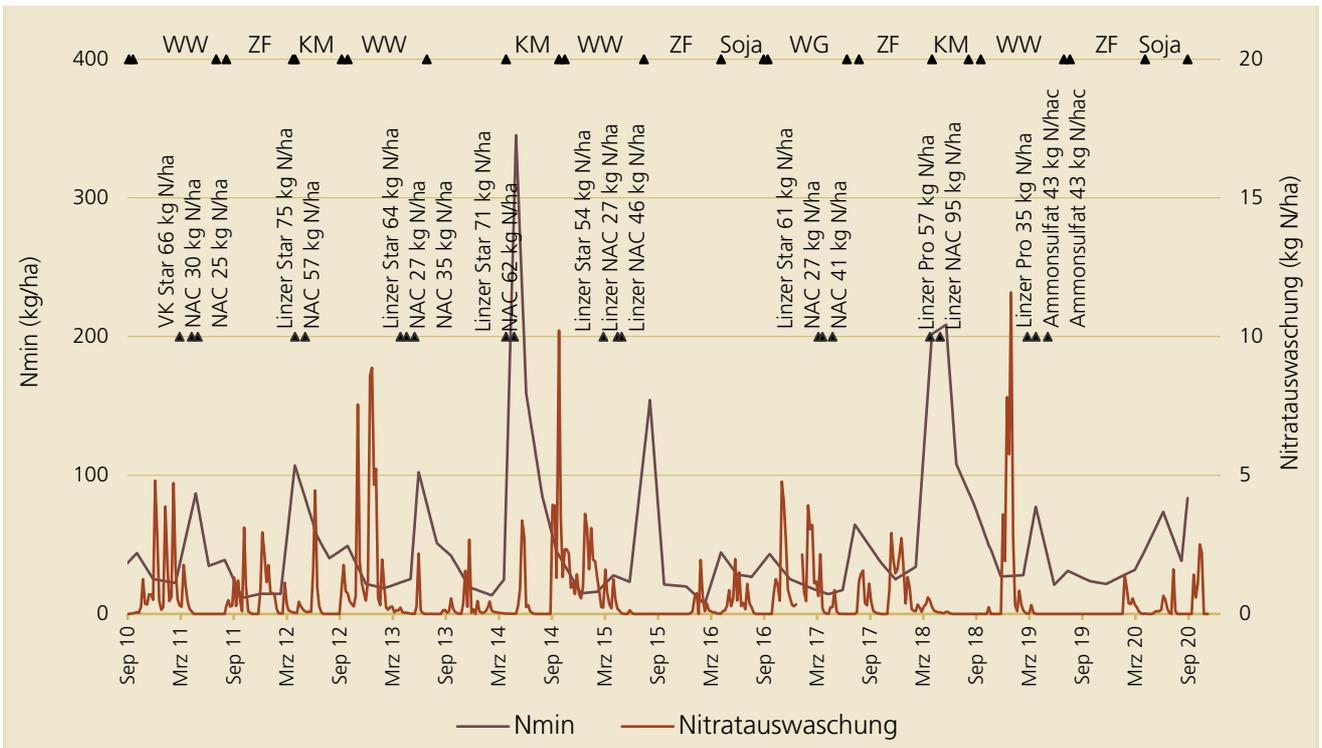


Abb. 5-24: Nitratauswaschung und N<sub>min</sub>-Gehalte des Bodens (seichtgründig)

## 5.7 Nitrat auswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg

### 5.7.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

In Schwertberg fielen im hydrologischen Jahr 2019/20 in Summe 933 mm Niederschlag (Abb. 5-25). So wie auf den anderen Standorten fielen die größten Niederschlagsmengen im August.

Die Sickerwasserbildung erfolgte bei beiden Lysimetern hauptsächlich in den Monaten Februar und Juni. Während des Sommers, wo die Niederschläge recht beachtlich waren, tritt nur vergleichsweise wenig Sickerwasser auf. Wie in Eberstallzell wurde auch in Schwertberg Körnermais angebaut, welcher während des Sommers das Niederschlagswasser fast zur Gänze verbraucht, sodass kaum Sickerwasser gebildet wurde. Im Vergleich der beiden Lysimeter in Schwertberg ist die Sickerwassermenge bei mgSBg mit gestörtem Bodenaufbau um 27 mm höher als beim Lysimeter mit ungestörtem Bodenaufbau. Die gemessene Sickerwassermenge entspricht bei mgSBg gestörtem Bodenaufbau rund 25%, und bei mgSBu (ungestört) 22% der Niederschlagssumme.

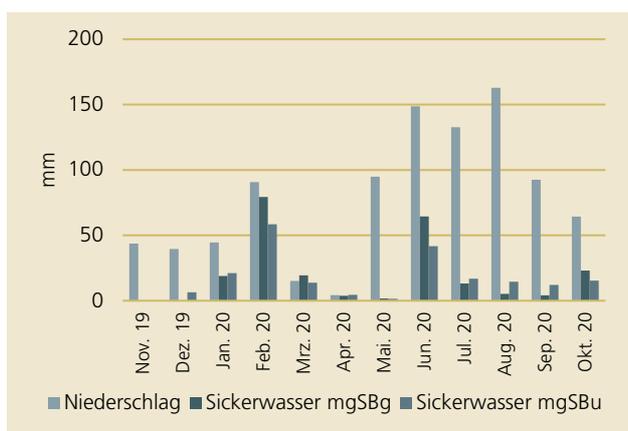


Abb. 5-25: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (mittelgründig) mgSBg=gestört, mgSBu=ungestört

### 5.7.2 Sickerwassermenge, Nitrat auswaschung und -konzentration im Sickerwasser

Anders als bei der Sickerwassermenge wurde beim Lysimeter mgSBg (mit gestörtem Bodenaufbau) weniger Nitrat ausgewaschen als beim Lysimeter mgSBu (mit ungestörtem Bodenaufbau), wobei die Unterschiede gering sind (vgl. Abb. 5-26 und Abb. 5-27). Dafür verantwortlich sind hauptsächlich die höheren Nitratkonzentrationen im Herbst 2020. Im Durchschnitt über das hydrologische Jahr 2019/20 wurden beim Lysimeter mgSBg eine Nitratkonzentration von 14 mg/l erreicht. Im Vergleich dazu betrug die Konzentration beim Lysimeter mgSBu 25 mg/l (Abb. 5-28, Abb. 5-29).

Die Werte liegen somit deutlich unter den Beobachtungen der letzten Jahre (vgl. Abb. 5-28 und Abb. 5-29). Insgesamt wurden im hydrologischen Jahr 2019/20 rund 7 kg N/ha bei mgSBg und 12 kg N/ha bei mgSBu ausgewaschen.

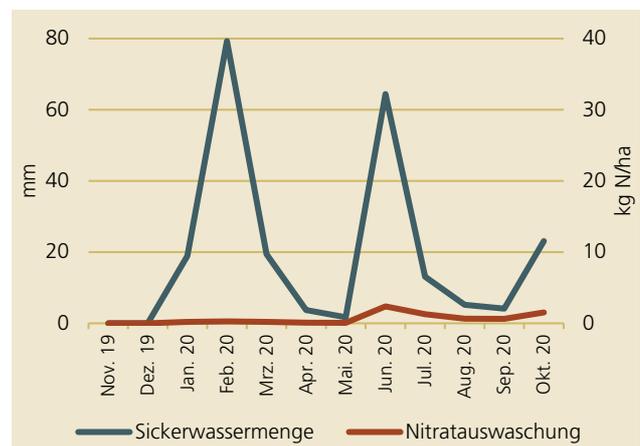


Abb. 5-26: Monatliche Sickerwassermenge und Nitrat auswaschung (mittelgründig) mgSBg

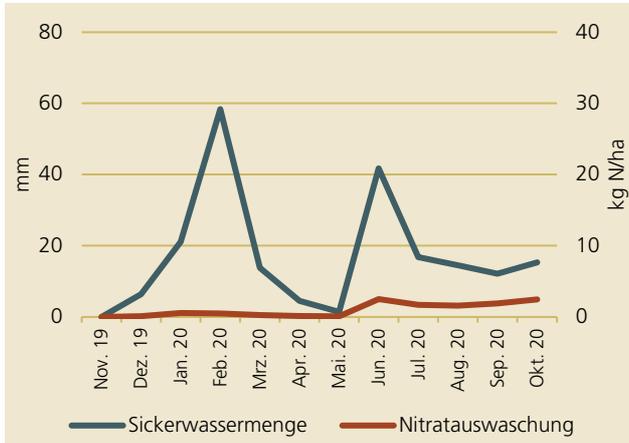


Abb. 5-27: Monatliche Sickerwassermenge und Nitrat auswaschung (mittelgründig) mgSBu

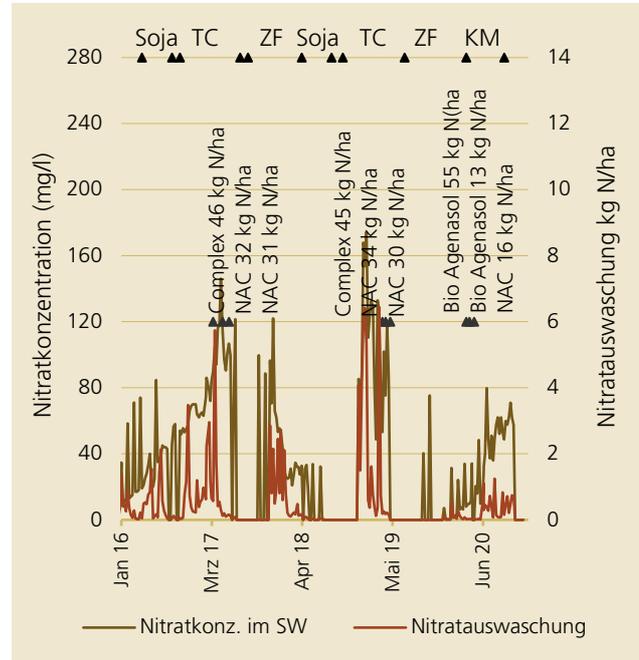


Abb. 5-29: Nitratkonzentration und Nitrat auswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) mgSBu

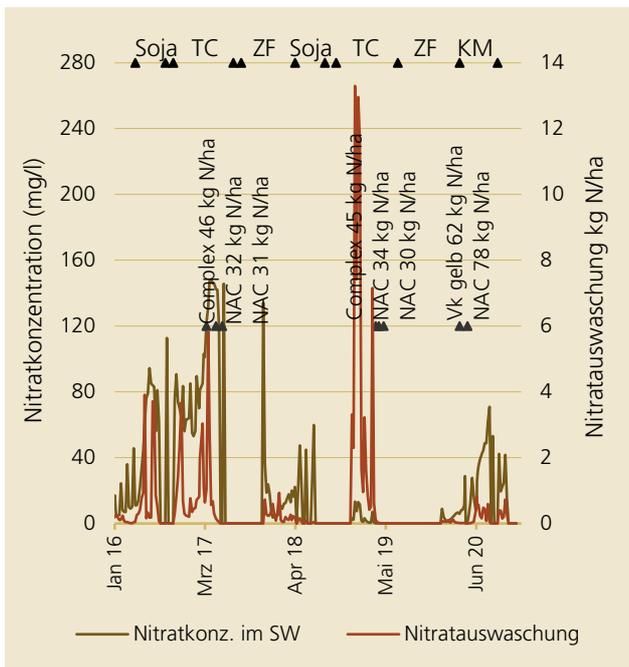


Abb. 5-28: Nitratkonzentration und Nitrat auswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) mgSBg

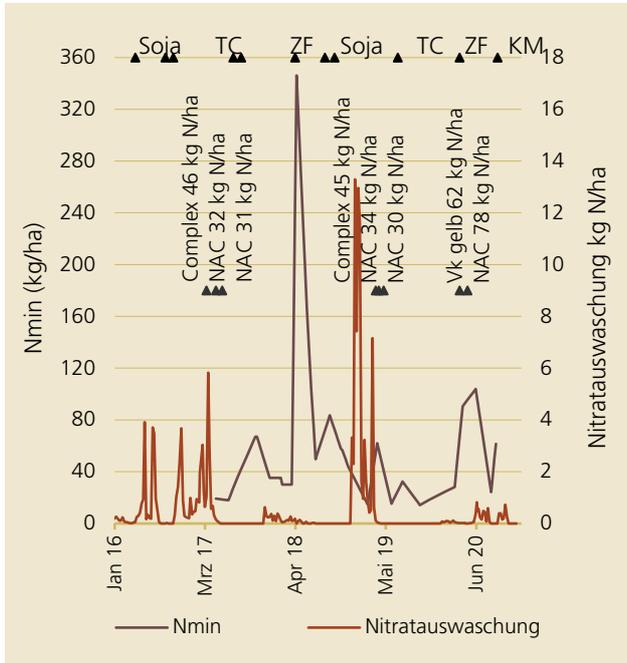


Abb. 5-30:  $N_{\min}$ -Gehalt des Bodens (ab April 2017) und Nitrat auswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) mgSBg

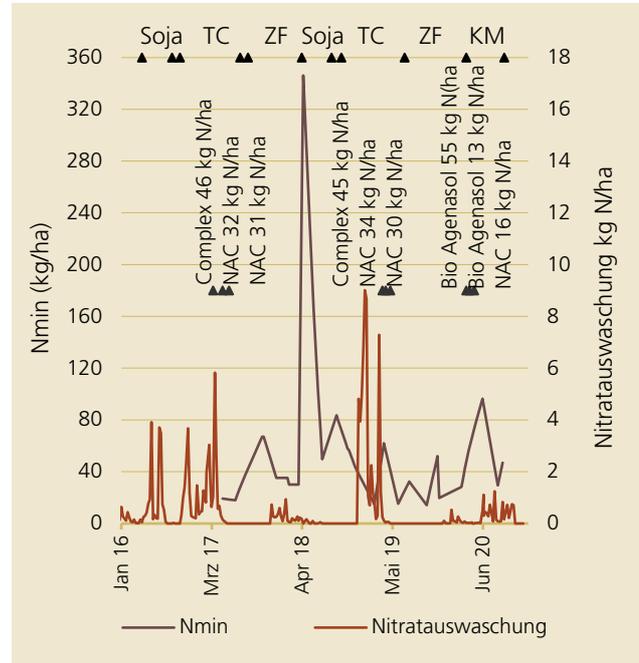


Abb. 5-31:  $N_{\min}$ -Gehalt des Bodens (ab April 2017) und Nitrat auswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) mgSBu

### 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 717 bzw. 933 mm weit unter den Werten von Eberstalzell (1.201 mm) und Pettenbach (1.310 mm) liegt (Abb. 5-32).

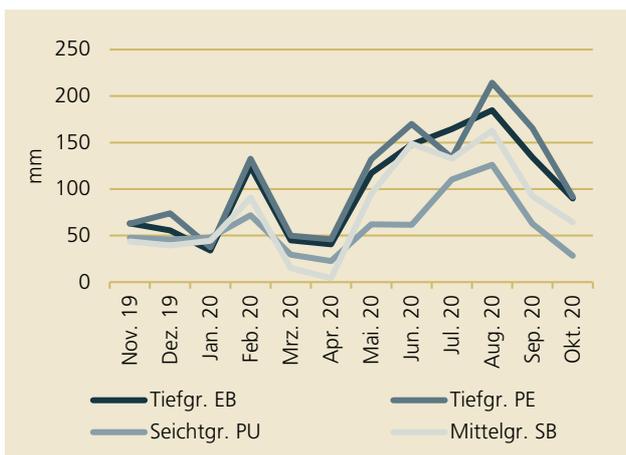


Abb. 5-32: Monatliche Niederschlagssummen

Tab. 5-4: Sickerwassermengen und durchschnittliche Nitratkonzentration vom 01.11.19 bis 31.10.20

	SW [mm]	NO <sub>3</sub> -Kon. [mg/l]
Tiefgr. EB	284	63
Tiefgr. PE	591	25
Seichtgr. PU	130	53
Mittelgr. SB gestört	233	14
Mittelgr. SB ungestört	206	25

Die mit Abstand höchste jährliche Sickerwassermenge wurde in Pettenbach mit 591 mm gemessen, an zweiter Stelle steht Eberstalzell. In Pucking fiel mit 130 mm die geringste Sickerwassermenge an. In Schwertberg unterscheiden sich die beiden Lysimeter mit 233 bzw. 206 mm (gestört und ungestört), der Unterschied von 27 mm im gesamten hydrologischen Jahr 2019/20 ist aber gering (Tab. 5-4).

Der Verlauf der Sickerwassermengen ist auf allen Standorten recht ähnlich, mit Ausnahme von Pettenbach, wo im Juli und August die größten Mengen anfielen, während auf allen anderen Standorten kaum Sickerwasser gemessen wurde. Es muss dabei jedoch berücksichtigt werden, dass in Pettenbach heuer die einzige Winterkultur angebaut war, welche im Sommer bereits abgeerntet wurde, wodurch die hohen Niederschlagsmengen nicht von Pflanzen aufgenommen werden konnten. Der April und Mai ist auf allen Standorten nahezu sickerwasserfrei (Abb. 5-33), was auf die geringe Niederschlagsmenge zurückzuführen ist.

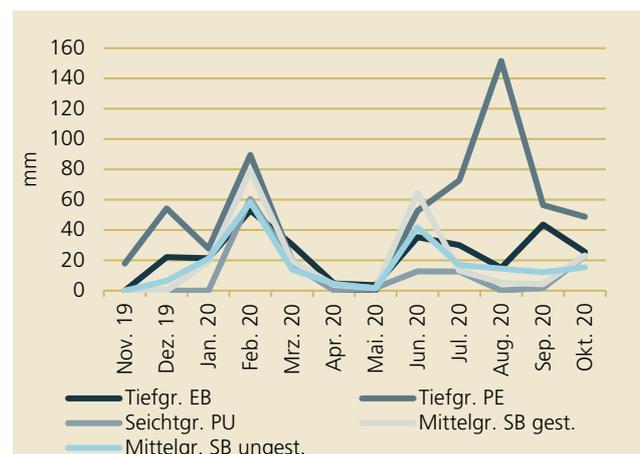


Abb. 5-33: Monatliche Sickerwassermengen

Die höchste durchschnittliche Nitratkonzentration wurde am tiefgründigen Standort in Eberstalzell mit 63 mg NO<sub>3</sub>/l beobachtet, gefolgt vom seichtgründigen Standort in Pucking mit 53 mg NO<sub>3</sub>/l (Tab. 5-4). Beide überschreiten im Durchschnitt den Grundwasser-

schwollenwert von 45 mg NO<sub>3</sub>/l. In Pettenbach und in Schwertberg beim Lysimeter mit ungestörtem Bodenaufbau wurde jeweils eine durchschnittliche Konzentration von 25 mg NO<sub>3</sub>/l erreicht. Die niedrigste Konzentration findet sich heuer in Schwertberg beim Lysimeter mit gestörtem Bodenaufbau.

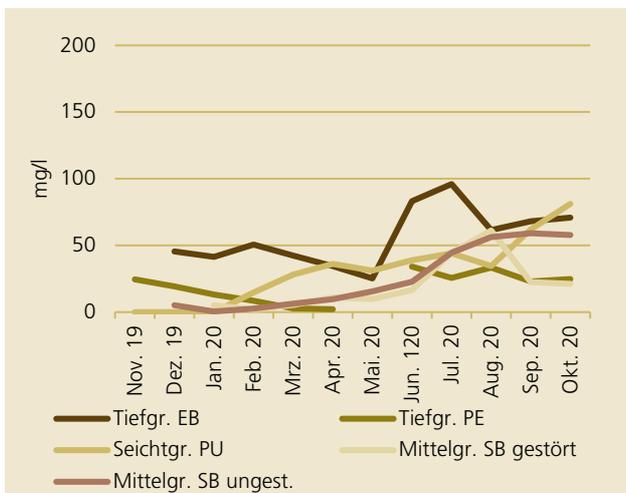


Abb. 5-34: Durchschnittliche monatliche Nitratkonzentrationen

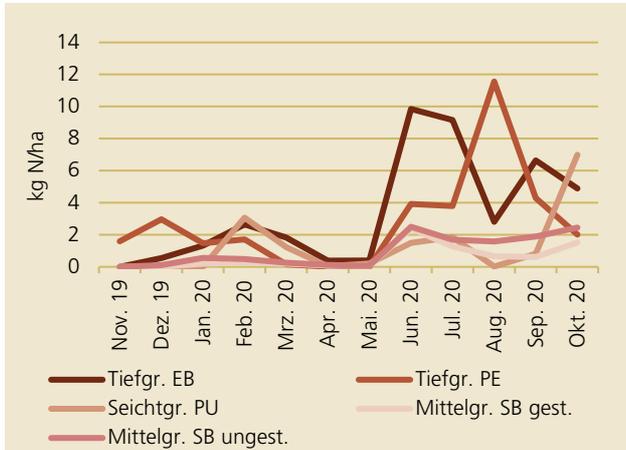
Im Jahresverlauf sind zwischen den vier Standorten Unterschiede zu beobachten, die sowohl mit den Bodeneigenschaften als auch der Bewirtschaftung und der angebauten Kultur zusammenhängen. Am seichtgründigen Lysimeter steigt die Nitratkonzentration ab dem Einsetzen der Sickerwasserbildung im Februar stetig an und landet im Oktober am Höchstwert von 81 mg NO<sub>3</sub>/l. Am tiefgründigen Standort in Pettenbach nimmt die Konzentration im Winter zunächst ab und nach einer zweimonatigen Sickerwasserpause bleibt die Konzentration ab dem Sommer fast konstant. Die monatliche Nitratkonzentration bleibt stets unter dem Grundwasserswellenwert von 45 mg NO<sub>3</sub>/l. Am tiefgründigen Standort in Eberstanzell zeigt sich ein für Körnermais typisches Bild, wo die höchsten Werte im Juni/Juli erreicht werden. Auffällig ist, dass bereits während des Winters Konzentrationen um die 50 mg NO<sub>3</sub>/l erreicht wurden, obwohl keine Herbstdüngung stattfand und eine Begrünung angelegt wurde. In Schwertberg erhöhte sich im Jahresverlauf

auf beiden Lysimetern die Konzentration immer mehr, was für bisherige Beobachtungen auf anderen Standorten eher untypisch für Körnermais ist. Ab September gehen die Werte beim gestörten Lysimeter zurück, weshalb hier auch insgesamt geringere Auswaschungen gemessen wurden, als beim Lysimeter mit ungestörtem Bodenaufbau (vgl. Abb. 5-34).

Die geringste Auswaschung erfolgte in Schwertberg beim Lysimeter mit ungestörtem Bodenaufbau (7 kg N/ha), gefolgt von dem zweiten Lysimeter in Schwertberg und dem seichtgründigen Standort in Pucking (16 kg N/ha). Die größte Menge an Stickstoff wurde in Eberstanzell (40 kg N/ha) und Pettenbach gemessen (33 kg N/ha; vgl. Abb. 5-35).

Was allen Standorten gleich ist, ist der Zeitpunkt der größten Nitratauswaschung. Diese erfolgte überall hauptsächlich in den Sommermonaten, was einerseits auf die großen Sickerwassermengen und die hohen Nitratkonzentrationen in diesem Zeitraum zurückzuführen ist. Für Sommerkulturen wie Körnermais ist dieser Verlauf typisch. Auch bei Wintererbsen wurde in der Vergangenheit des Öfteren beobachtet, dass nach der Ernte im Juli die Nitratauswaschungen zunehmen, da keine Vegetation vorhanden ist, die die teilweise recht heftig ausfallenden Sommerniederschläge aufnehmen könnte und so die Sickerwassermenge und dadurch erzeugten Stickstoffaustrag reduzieren könnte.

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



In Summe wurde während des Messzeitraums seit September 2001 bis November 2020 am seichtgründigen Standort mit 809 kg N/ha am meisten Stickstoff in Form von Nitrat ausgewaschen (Abb. 5-36). Am tiefgründigen Standort in Eberstolz waren es mit 534 kg N/ha etwa ein Drittel weniger, am tiefgründigen Standort in Pettenbach mit 369 kg N/ha etwas weniger als die Hälfte. Am neu hinzugekommenen Standort in Schwertberg wurden von Jänner 2017 bis November 2020 in Summe 134 kg N/ha (gestört) bzw. 114 kg N/ha (ungestört) ausgewaschen.

Abb. 5-35: Monatliche Nitratauswaschung

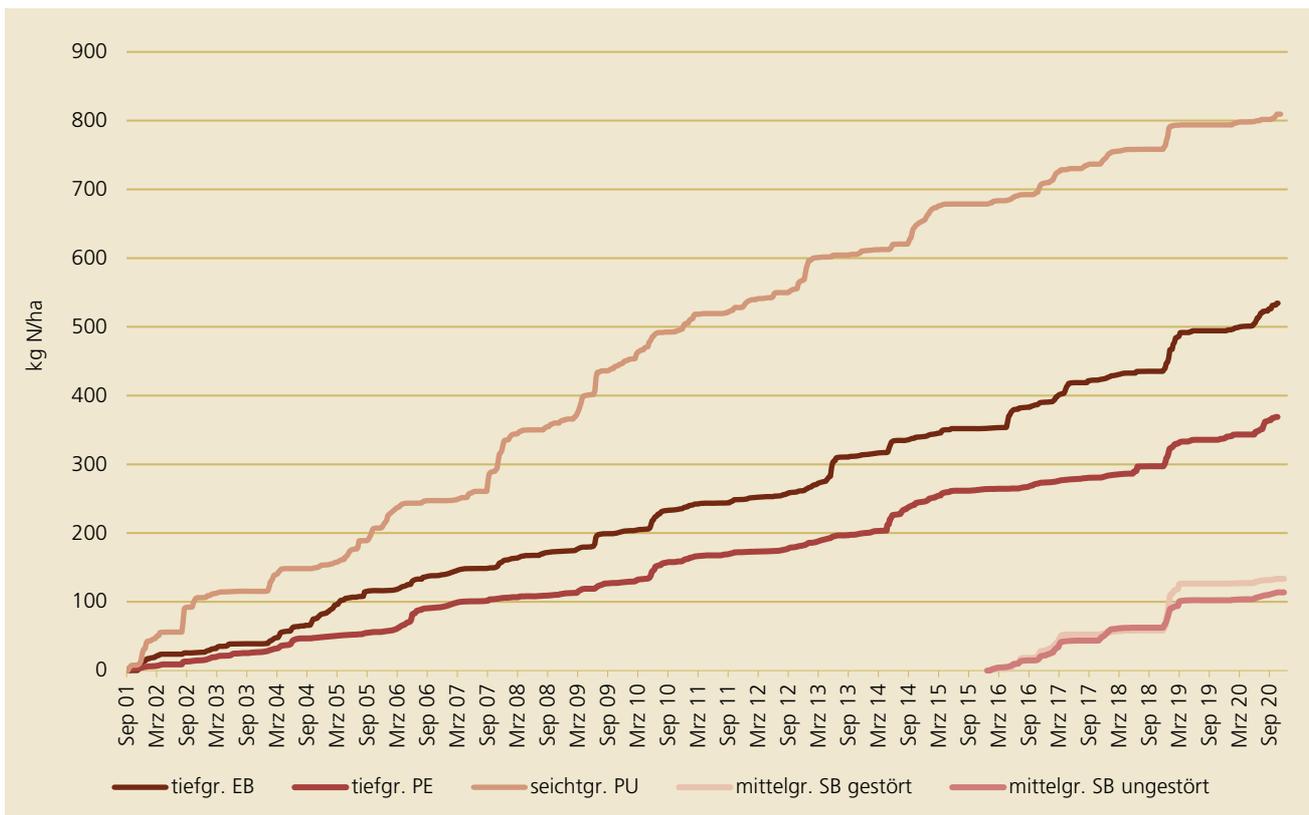


Abb. 5-36: Summe der als Nitrat ausgewaschenen Stickstoffmenge an den vier Standorten

### 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. 5-37 und Abb. 5-38). 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. 5-39). 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.

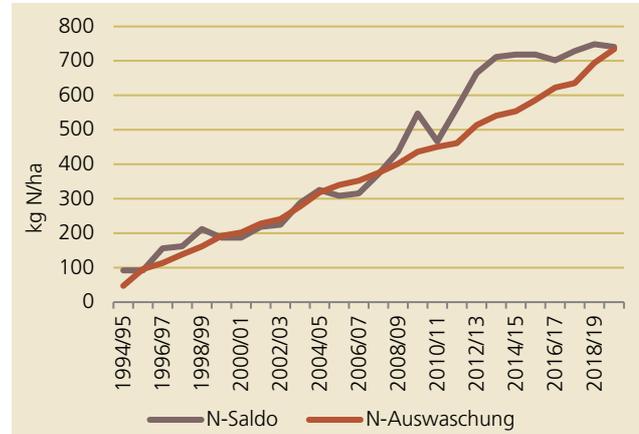


Abb. 5-37: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Eberstalzell

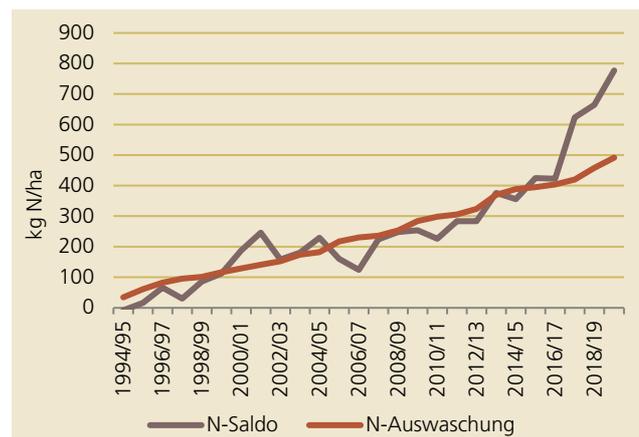


Abb. 5-38: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Pettenbach

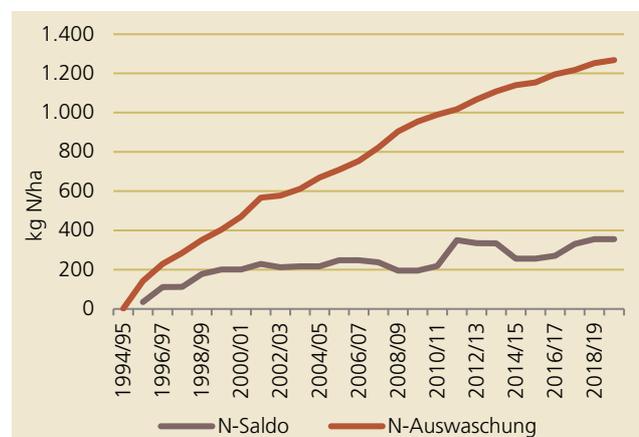


Abb. 5-39: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Pucking

### 5.10 Phosphorbilanzen

In Eberstanzell erfolgte die Phosphorzufuhr in Form von Mischgülle am 21.03.2020 mit 8 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha und am 11.04.2020 mit 6 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. Zusätzlich wurde am 11.04.2020 20 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha als mineralischer Phosphordünger mit VD gedüngt. In Pettenbach erfolgte eine Phosphordüngung mit Putenmist am 26.08.2019 (73 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha). In Pucking wurde kein Dünger aufgebracht. In Schwertberg wurde bei mgSBg in Form von Mineraldünger Phosphor ausgebracht (26 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha und 62 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha am 07.04.2020). Bei mgSBu erfolgte die Phosphordüngung am 07.04.2020 sowohl mineralisch (38 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha) als auch organisch

(55 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha). Zusätzlich dazu wurde am 20.04.2020 nochmal organisch mit 13 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha gedüngt.

Die Phosphorbilanz ist in Eberstanzell ausgeglichen und in Pucking negativ, da keine Düngung stattfand. In Pettenbach liegt der Saldo bei 50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. In Schwertberg-West ist der Saldo mit 67 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 auf allen Standorten nahezu identisch.

Tab. 5-5: Phosphorbilanzen für das Erntejahr 2020

	Tiefgr. Standort in Eberstanzell tgEB		Tiefgr. Standort in Pettenbach tgPE		Seichtgr. Standort in Pucking sgPU		Mittelgr. Standort in Schwertberg	
	----- kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha -----							
Phosphorzufuhr aus Düngung	32		73		0		86	106
Entzug durch die Pflanzen	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW	mgSBg	mgSBu
Entzug durch das Korn	35	30	20	24	27	33	44	39
Entzug durch das Stroh	10	11	19	19	34	39	20	22
Summe Entzug	45	41	39	43	61	72	64	61
Abfuhr durch Ernte	35	30	20	24	27	33	44	39
Bilanz Korn	-3	2	53	49	-27	-33	42	67
Bilanz Korn + Stroh	-13	-9	34	30	-61	-72	22	45
Bilanz Ernte	-3	2	53	49	-27	-33	42	67

### 5.11 Phosphatauswaschung

Der jahreszeitliche Verlauf der Phosphatauswaschung im Jahr 2019/20 folgt im Wesentlichen dem Sickerwasseranfall (Abb. 5-40). So ist in Schwertberg und Pucking die Auswaschungsspitze im Februar zu finden und in Eberstalzell und Pettenbach im Juni. Das größte Maximum wurde in Pettenbach mit 0,050 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha im Juni beobachtet, dicht gefolgt von Pucking im Februar mit 0,045 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. Von März bis Mai bleiben die Auswaschungen auf allen Standorten auf niedrigem Niveau, da kaum Sickerwasser anfällt. Einzig in Pettenbach tritt im August ein zweites Maximum auf, welches durch die hohen Niederschlagsereignisse und folglich sehr hohen Sickerwassermengen zu dem Zeitpunkt auf dem Standort verursacht wurde.

Die Auswaschungsspitzen können zeitlich mit den Niederschlagsereignissen und dem daraus folgendem Sickerwasseraustritt in Zusammenhang gebracht werden (Abb. 5-41 bis Abb. 5-43).

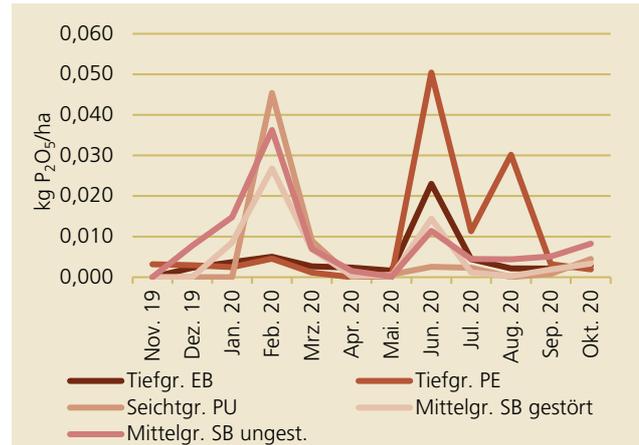


Abb. 5-40: Monatliche Phosphatauswaschung

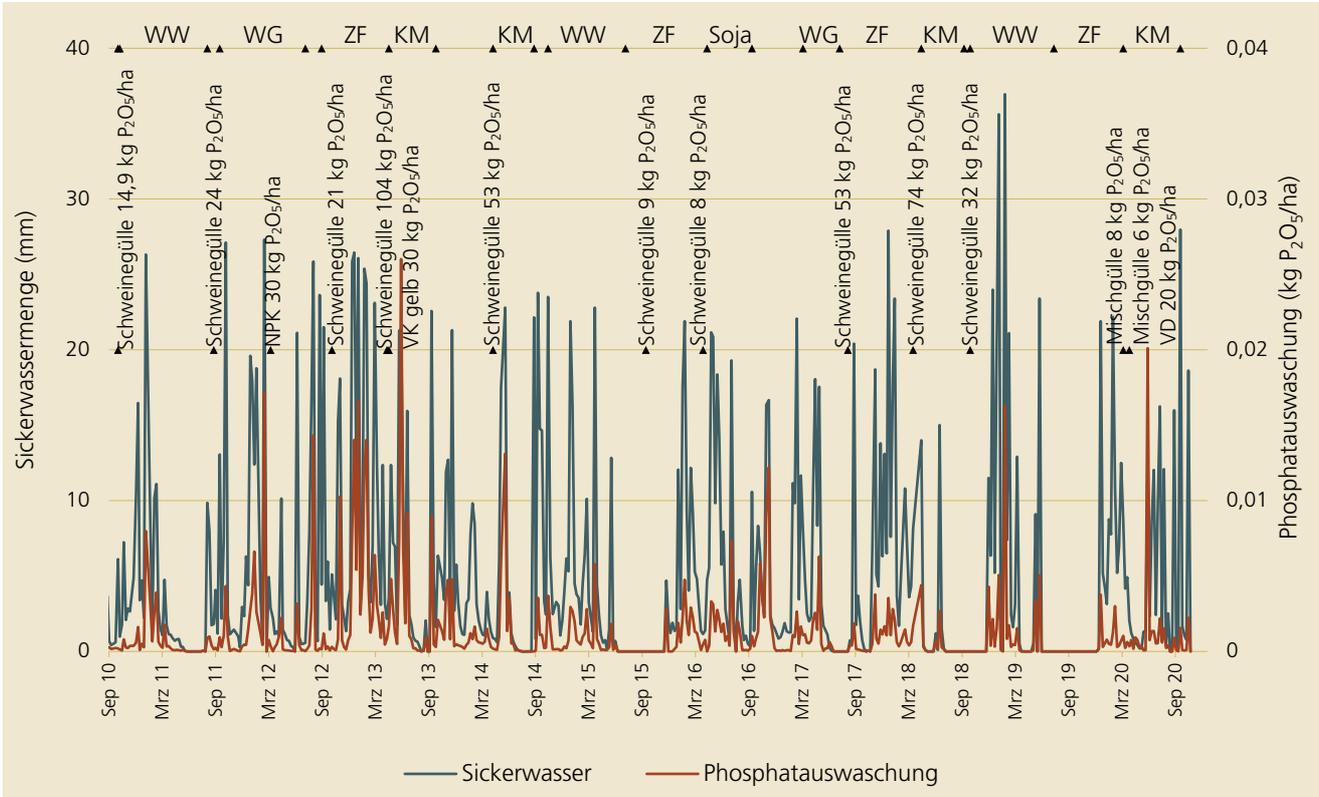


Abb. 5-41: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstalzell

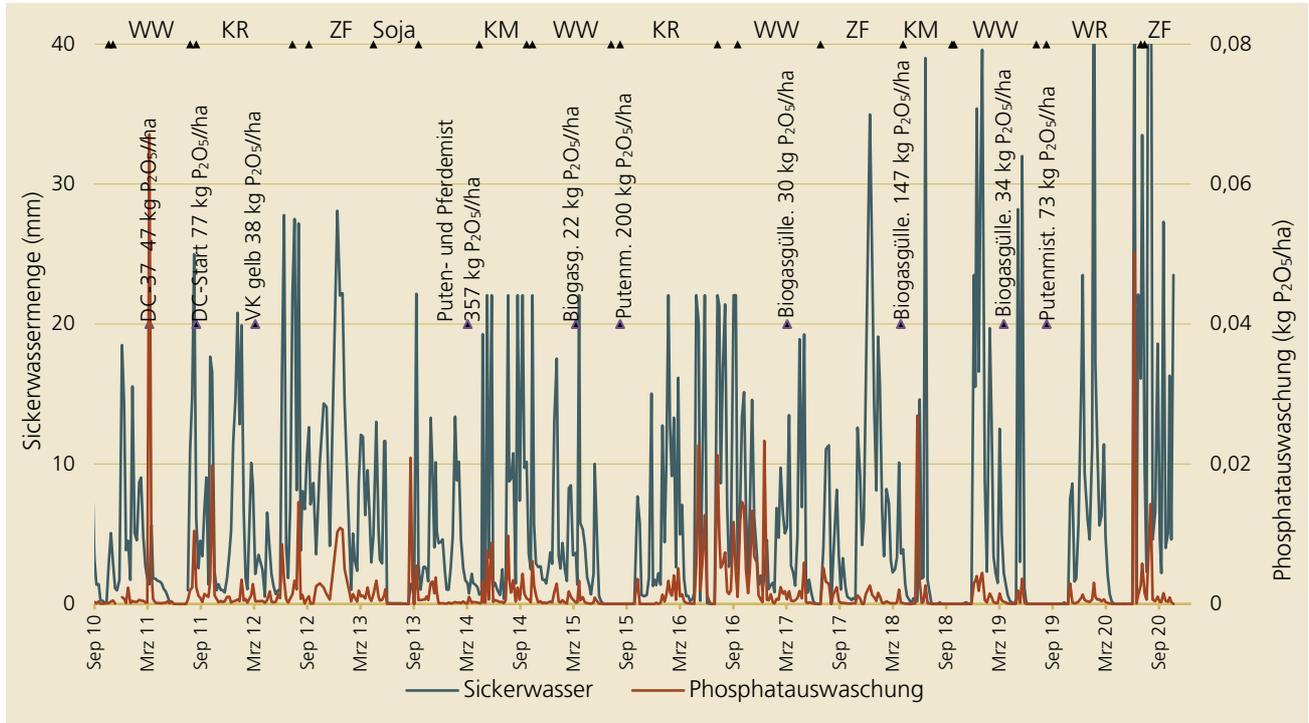


Abb. 5-42: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach

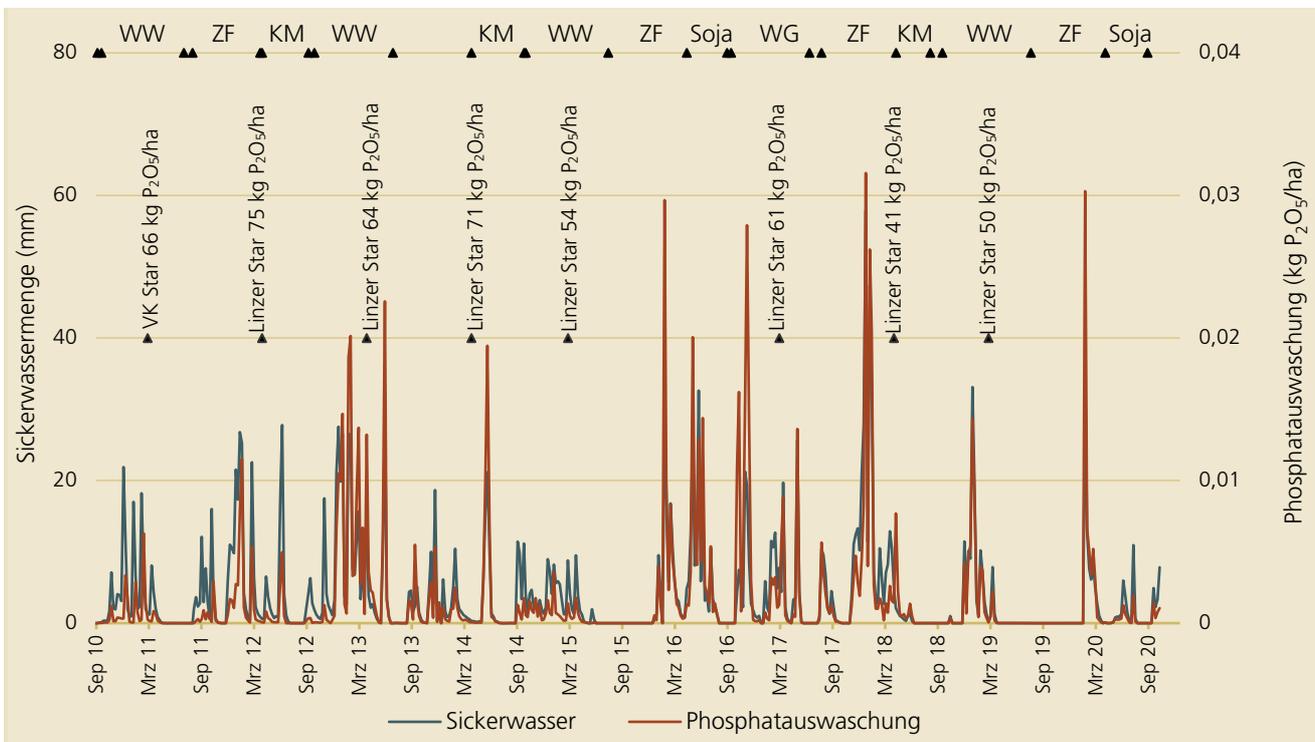


Abb. 5-43: Phosphatauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking

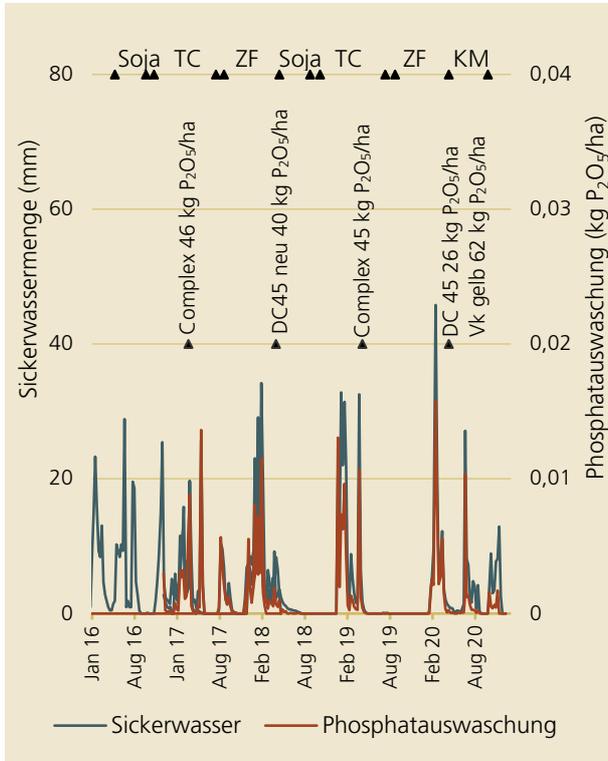


Abb. 5-44: Phosphatauswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg (gestörter Bodenaufbau)

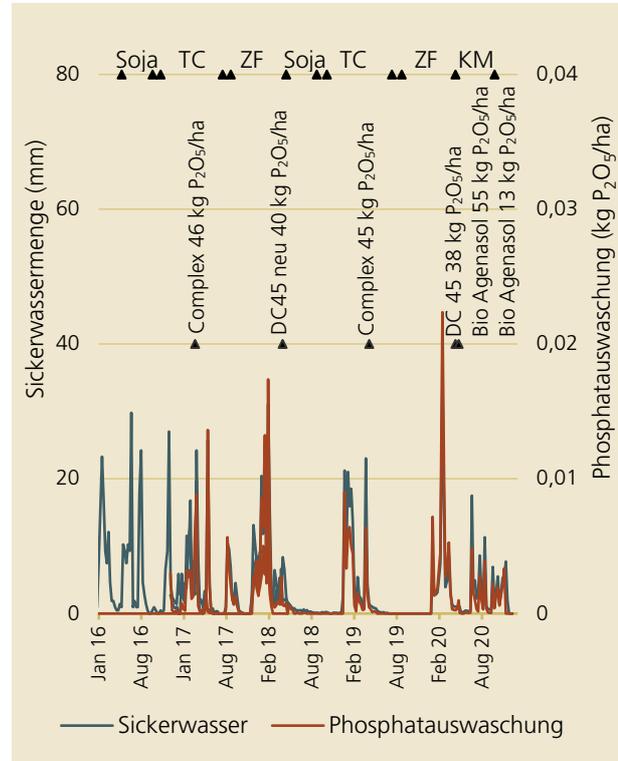


Abb. 5-45: Phosphatauswaschung mittelgründigen Standort in Schwertberg (ungestörter Bodenaufbau)

In Summe waren die P-Verluste mit dem Sickerwasser im hydrologischen Jahr 2019/20 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 Grundwasserschwel­lenwert von 0,3 mg PO<sub>4</sub>/l.

Seit Beginn der Messreihe wurden am tiefgründigen Standort in Eberstallzell insgesamt 1,22 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha ausgewaschen und am tiefgründigen Standort in Pettenbach 1,54 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. Am seichtgründigen Standort wurde seither in etwa die doppelte Menge von Eberstallzell, nämlich 2,30 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha ausgewaschen (Abb. 5-46). Am Standort in Schwertberg wurde seit Jänner 2016 0,18 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha beim Lysimeter mit gestörtem Bodenaufbau und 0,29 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 2019/20 im durchschnittlichen Bereich. In Schwertberg fehlen dazu noch die langjährigen Beobachtungen, aber im Vergleich zum Vorjahr wurde 2019/20 etwas mehr 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 01.11.19 bis 31.10.20

	SW [mm]	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - Verlust [kg/ha]	PO <sub>4</sub> -Kon. [mg/l]
Tiefgr. EB	284	0,052	0,025
Tiefgr. PE	591	0,111	0,025
Seichtgr. PU	130	0,065	0,067
Mittelgr. SB gestört	233	0,064	0,037
Mittelgr. SB ungestört	206	0,101	0,066

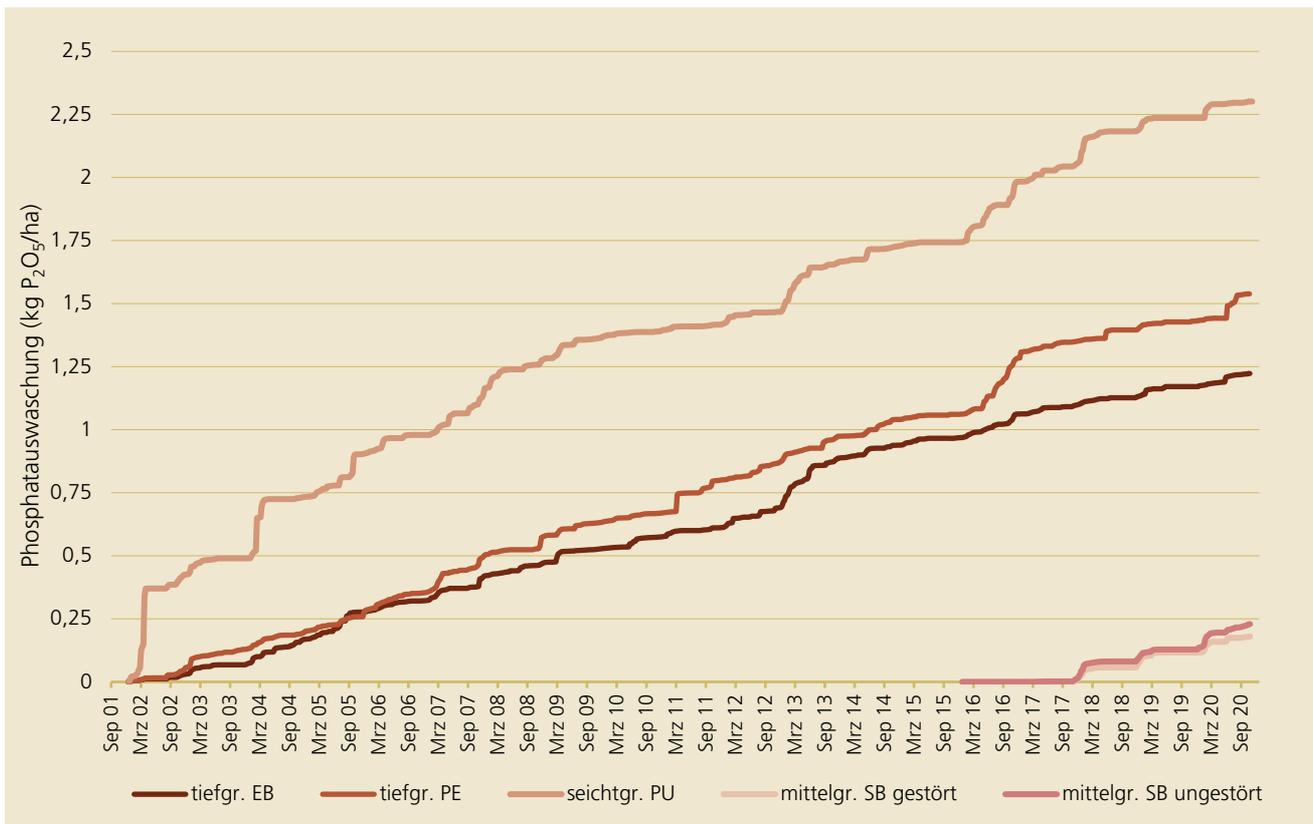


Abb. 5-46: Summe der ausgewaschenen P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Menge

## 6 Hydrographische Auswertung der UZ-Messstelle Pettenbach

### 6.1 Allgemeines

Seit 2013 ist die hydrographische Messstelle der 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) 7-jährige Laufzeit der verschiedenen Geber erlaubt eine vergleichende Gegenüberstellung des Jahres 2020 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 (2019, blau) und das Bearbeitungsjahr (2020, 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. 2020 war ein insgesamt überdurchschnittlich feuchtes Jahr, eine willkommene Abwechslung nach den beiden vorangegangenen Trockenjahren. Nach einem ersten kräftigen Niederschlagsereignis im Februar blieben die Niederschläge bis Anfang Mai komplett aus. Ab Mai normalisierte sich das Niederschlagsgeschehen, um im August und September überdurchschnittlich zu

werden: Ende Oktober wurde in Pettenbach die seit 2003 maximale Niederschlagshöhe erreicht.

Die Lufttemperaturen (Abb. 6-4) zeigen eine deutlich geringere Jahres-(genauer November-) Summe als 2019, wobei das 1. Quartal, insbesondere der Februar, deutlich überdurchschnittlich warm, in Vorchdorf sogar der wärmste seit Beobachtungsbeginn 1999, war. Der kühle Mai und insbesondere der in Pettenbach Rekord-kalte Juni drückten die Temperatursummenlinie unter den Durchschnitt. Auch Juli und August waren in Pettenbach deutlich kühler als das Mittel ab 2003.

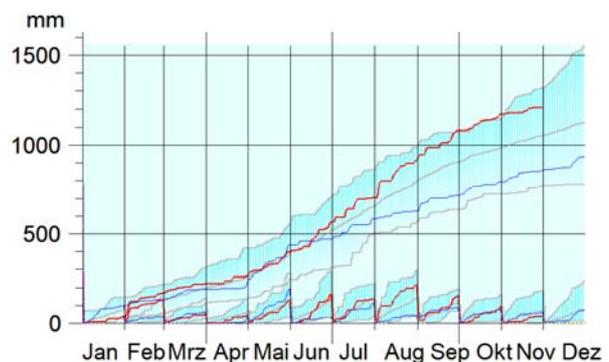


Abb. 6-1: Niederschlags-Jahres- und Monatssummenlinien 2019 (blau) und 2020 (rot) in Pettenbach

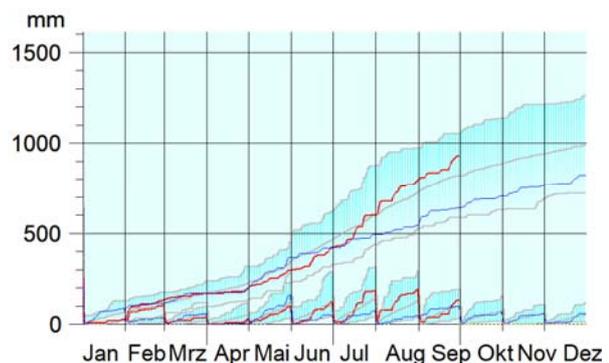


Abb. 6-2: Niederschlags-Jahres- und Monatssummenlinien 2019 (blau) und 2020 (rot) in Vorchdorf

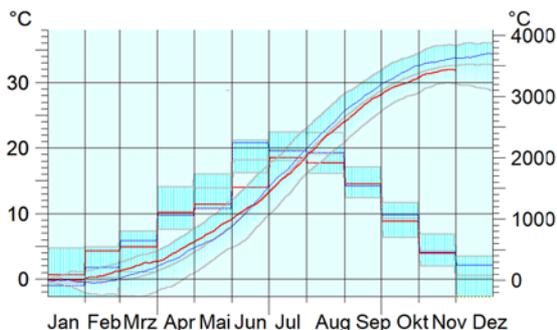


Abb. 6-3: Lufttemperatur-Jahres- und Monatssummenlinie und Monatsmittel 2019 (blau) und 2020 (rot) in Pettenbach

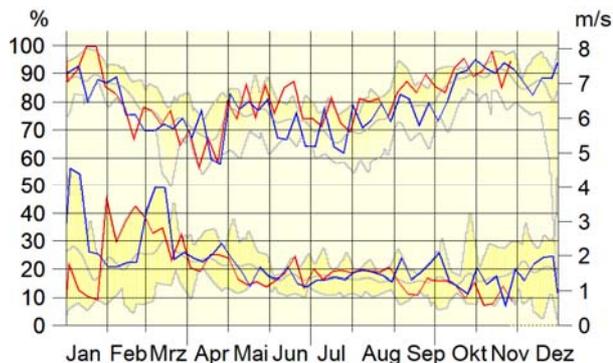


Abb. 6-5: Luftfeuchte- (oben) und Windgeschwindigkeits- (unten) Wochenmittel 2019 (blau) und 2020 (rot)

**Globalstrahlung** und **Wind** sind neben der Temperatur die maßgeblichen Einflussfaktoren dafür, wieviel Niederschlagswasser verdunstet und wieviel versickert. Am besten lassen sich diese Größen mit Wochenmittelwerten vergleichen. 2020 war zunächst der April (wie bereits 2018 und 2019) extrem strahlungsreich, dann wieder Ende Juni, Anfang Juli sowie August und September überdurchschnittlich hell, sodass die Globalstrahlungs-Jahressumme ähnlich hoch liegen dürfte wie im heißen trockenen hellen 2019er Jahr (Abb. 6-4). Bezogen auf die Windgeschwindigkeit war es nach dem sehr windstarken Februar deutlich abnehmend windig, insbesondere zum Vergleichsjahr 2019. In Abb. 6-5 ist in der oberen Diagrammhälfte der Luftfeuchtigkeitsverlauf dargestellt. Die Luftfeuchte war ab September im maximalen Bereich der bisherigen Messungen und ab Mai durchgängig höher als 2019.

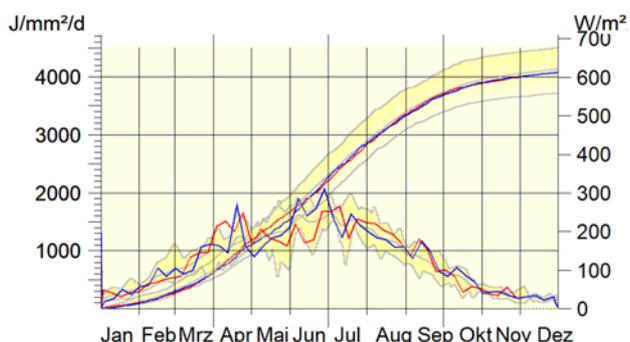


Abb. 6-4: Globalstrahlungs-Jahressummenlinie und Wochenmittel 2019 (blau) und 2020 (rot) der Station Pettenbach

### 6.3 Grundwasserneubildung

Die Auswirkungen der klimatischen Verhältnisse auf die Grundwasserneubildungen der Lysimeterstandorte in Pucking, Eberstallzell und Pettenbach werden in den Abb. 6-6 bis Abb. 6-8 dargestellt. Der Vergleichszeitraum startet jeweils 1995. Die Unterschiede sind für Lysimeter typischen (Lysimeter-immanenten) Meßunsicherheiten und den unterschiedlichen Böden sowie Kulturen geschuldet. Weder scheint die in Pucking zu geringe noch die in Pettenbach zu hohe Versickerung regionale Verhältnisse wiederzugeben.

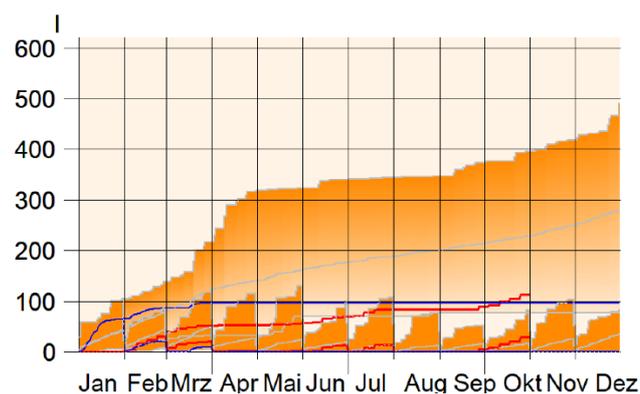


Abb. 6-6: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pucking 2019 (blau) und 2020 (rot)

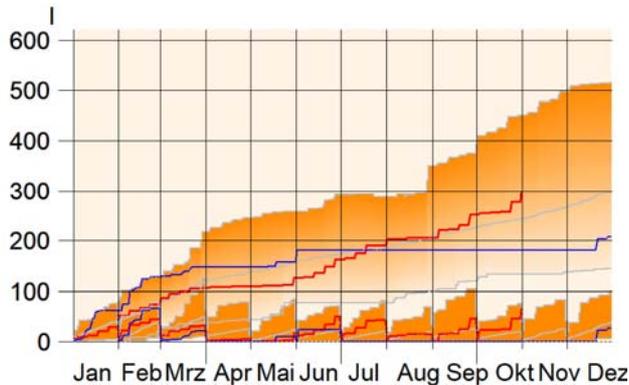


Abb. 6-7: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Eberstalzell 2019 (blau) und 2020 (rot)

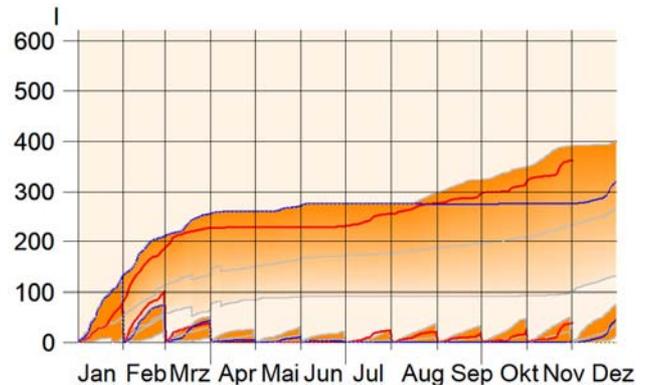


Abb. 6-9: berechnete Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pettenbach 2019 (blau) und 2020 (rot)

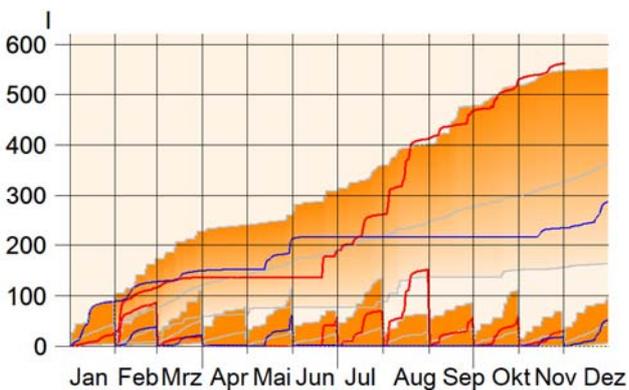


Abb. 6-8: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pettenbach 2019 (blau) und 2020 (rot)

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. Bei noch nicht optimal angepasster  $k_u$ -Funktion scheint die Frühjahrsversickerung sehr hoch, möglicherweise überschätzt. Nach der Versickerungspause April bis Mitte Juni findet eine stetige Versickerung statt, die etwas größer als jene in Eberstalzell ist, vom Verlauf aber vergleichbar.

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. Sie liegt etwas höher als 2019. Es gab zwar ausreichend Wasservorrat im Boden, aber die Haupttreiber der Verdunstung wie Temperatur, Wind und Sommerstrahlung waren deutlich geringer als 2019. Vernachlässigt wurde bei diesen Bilanzierungen die Änderung des Wasservolumens im Boden. Die Jahreswasservolumenschwankung fällt mit 50 mm deutlich geringer aus als 2019 mit 130 mm.

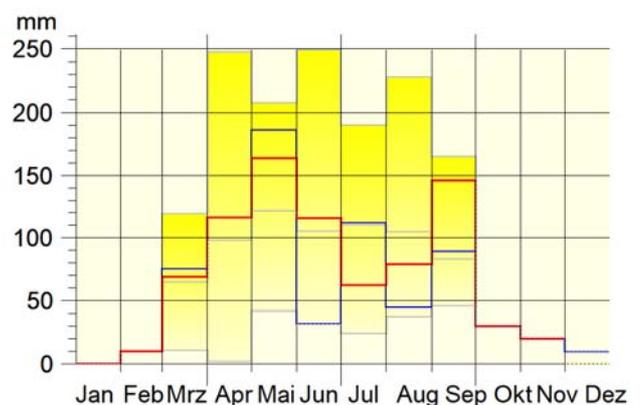


Abb. 6-10: Bilanzierte Verdunstungs-Monatssummen 2019 (blau) und 2020 (rot)

## 6.4 Bodenwasserverhältnisse

Für die Beobachtung der Bodenwasserverhältnisse im Jahr 2020 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 2019 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.

Die gewichtet gemittelten **Temperaturen** (Abb. 6-11 und Abb. 6-12) im durchwurzelten Bereich des Profils (0-40cm) zeigen 2020 im März, Juli und August saisonale Minima der Reihe ab 2013. Aber bereits in der 2. Jahreshälfte pendeln sie um den Mittelwert, um Anfang November ein Reihenmaximum aufzuweisen. Im Unterboden zeigt sich die Rechtsverschiebung der Kurve, und man hätte nach dem gefühlten „kühlen“ Jahr 2020 eigentlich auch kühlere 2. Halbjahreswerte im Unterboden erwartet.

Die Übereinstimmung der Temperaturen im Freiland und im Lysimeter ist auffallend und ein Qualitätszeichen für das Lysimeter.

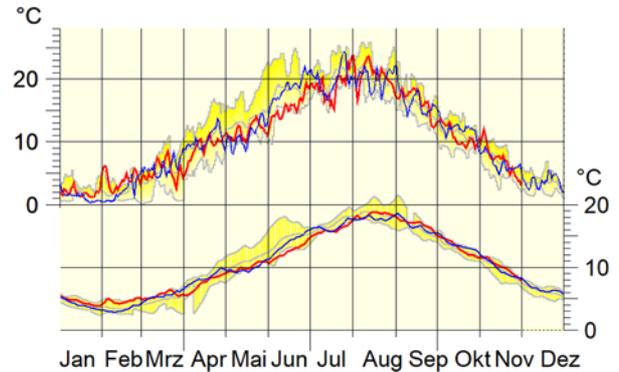


Abb. 6-11: Oberboden- und Unterbodentemperaturen 2019 (blau) und 2020 (rot) im Freiland

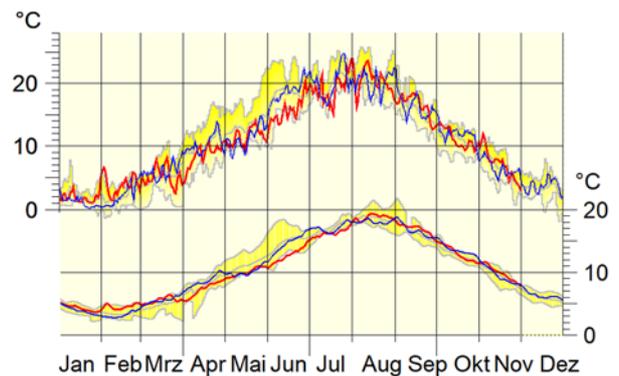


Abb. 6-12: Oberboden- und Unterbodentemperaturen 2019 (blau) und 2020 (rot) im Lysimeter

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 wie bereits 2019 im April statt, auffälliger Weise im Unterboden deutlicher als im durchwurzelten Bereich, doch danach gibt es keinen auffälligen Trockenstress mehr im ganzen Jahr.

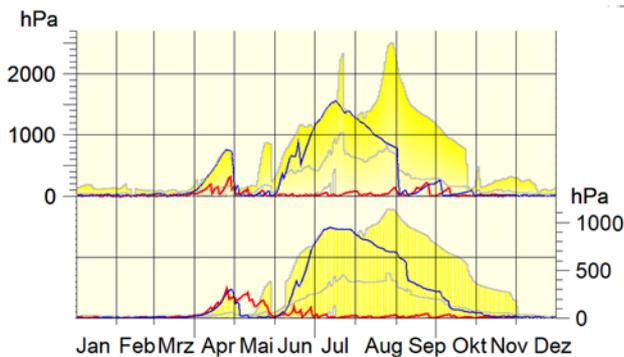


Abb. 6-13: Oberboden- und Unterbodensaugspannungen 2019 (blau) und 2020 (rot) im Freiland

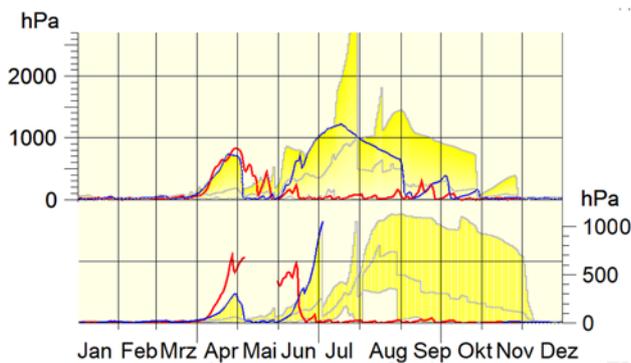


Abb. 6-14: Oberboden- und Unterbodensaugspannungen 2019 (blau) und 2020 (rot) im Lysimeter

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.

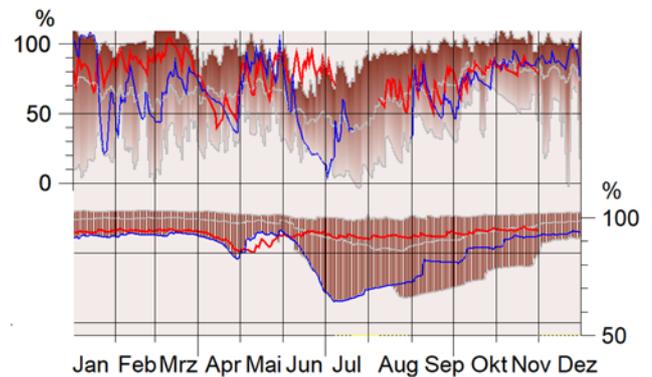


Abb. 6-15: SWI des durchwurzelten Bereiches (oben) und unterhalb der Durchwurzelungstiefe (unten) im Freilandprofil, 2019 (blau) und 2020 (rot)

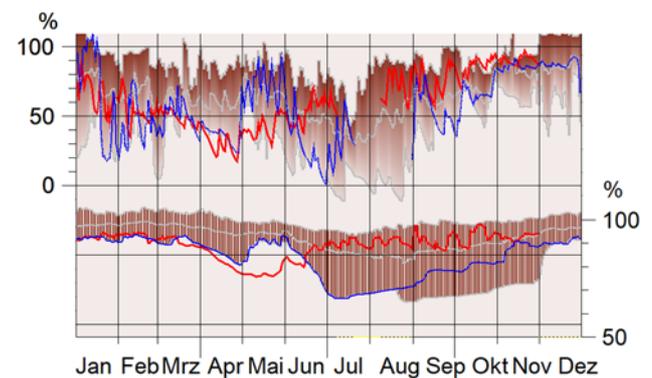


Abb. 6-16: SWI des durchwurzelten Bereiches (oben) und unterhalb der Durchwurzelungstiefe (unten) im Lysimeter, 2019 (blau) und 2020 (rot)

Abb. 6-15 bis Abb. 6-16 zeigen die SWI-Verläufe im Freiland und im Lysimeter oberhalb und unterhalb der Durchwurzelungstiefe. Sowohl im Freiland als auch im Lysimeter ist die Mai-Austrocknung vor allem im Unterboden ein saisonales Minimum der ganzen Reihe. Der Juni bringt die Unterboden-SWI-Linien in den mittleren, aber keinesfalls in einen hohen Bereich.

## 7 Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Das hydrologische Jahr 2019/20 war von hohen Niederschlägen während des Sommers geprägt, welche unterschiedliche Auswirkungen auf die verschiedenen Kulturen und das Auswaschungsgeschehen hatten. So hatten die hohen Niederschläge in Pettenbach zur Folge, dass nach der Ernte des Winterrapses die Niederschläge nicht mehr aufgenommen werden konnten und somit in die Tiefe versickerten. An keinem anderen Standort wurden heuer derart hohe Sickerwassermengen im August beobachtet, da ansonsten Sommerkulturen angebaut waren, die zu diesem Zeitpunkt voll im Wachstum standen. Folge aus dem hohen Sickerwasseranfall in Pettenbach ist, dass damit Nitrat ausgetragen wurde und trotz relativ geringer Nitratkonzentrationen eine hohe Menge an Stickstoff verloren ging (33 kg N/ha). In Eberstanzell hingegen bewirkten die Niederschläge einen sehr guten Ertrag, da mit einer Düngemenge im Bereich der mittleren Ertragslage 14 t Körnermais (hoch 3) geerntet wurden. Auch in Schwertberg übersteigt die Ertragslage der Erntemenge jene der Düngemenge bei Weitem.

In Pucking bestätigen sich die Beobachtungen aus dem Jahr 2015/16, wo ebenfalls Sojabohne angebaut wurde und das Auswaschungsgeschehen ähnlich verlief. Damals wie auch im Jahr 2019/20 bewegt sich der Nitrataustrag um 16 kg N/ha und Jahr, was für einen seichtgründigen Standort niedrig ist. Aber das war nicht immer so. Vor mehr als 10 Jahren verursachte der Anbau von Sojabohne auf diesem Standort Auswaschungen von 50 kg N/ha und Jahr, obwohl mit einer Ausnahme ebenfalls kein Dünger im betreffenden Jahr ausgebracht wurde. Auch in Eberstanzell wurde heuer beobachtet, dass eine hohe Menge an Stickstoff ausgewaschen wurde (40 kg N/ha), obwohl die Gesamtdüngemenge eher gering ausfiel und der Ertrag sehr gut war. Bei den  $N_{\min}$  Messungen fällt der hohe Stickstoffgehalt im April auf, welcher mit über 350 kg N/ha nicht ausschließlich eine Folge der

Düngung zum Anbau sein kann. Es ist daher davon auszugehen, dass die Bewirtschaftung im Vorjahr und die daraus resultierenden Stickstoffreserven im Boden und der eingearbeiteten Begrünung einen wesentlichen Einfluss auf das Auswaschungsgeschehen im Folgejahr hat.

In Schwertberg wurde ein Düngeversuch mit BioAgenasol durchgeführt im Vergleich zu einer rein mineralisch gedüngten Variante. Entsprechend der feldfallenden Stickstoffmenge waren beide Varianten in etwa gleich hoch. Wird hingegen die Jahreswirksamkeit beim organischen Dünger berücksichtigt, ist die Düngemenge bei der BioAgenasol-Variante um 40% niedriger, was sich auch in einem etwas niedrigeren Ertrag niederschlägt. Sonst ist der Unterschied betreffend die  $N_{\min}$ -Gehalte und der Nitratauswaschung zwischen den beiden Varianten gering. Es ist generell auffällig, dass, anders als auf den tiefgründigen Standorten in Eberstanzell und Pettenbach bisher beobachtet, die Nitratauswaschung unter Mais keine ausgeprägte Auswaschungsspitze im Mai/Juni aufweist und somit insgesamt gering ausfällt (7 bzw. 11 kg N/ha). Die zukünftigen Messungen in Schwertberg werden zeigen, ob es sich dabei um einen Sonderfall handelt oder ob sich dieses Verhalten öfters wiederholt.

Bei der Phosphatauswaschung wurde beobachtet, dass die geringsten Verluste unter dem tiefgründigen Standort in Eberstanzell gemessen wurden, gefolgt von Schwertberg mgSBg mit gestörtem Bodenaufbau und dem seichtgründigen Standort in Pucking. Die höchsten Mengen wurden unter der einzigen Winterkultur in Pettenbach beobachtet. 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. BMLFUW 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.
- Kuderna, M., Weinberger, C. (2020). Forschungsprojekt Lysimeter. Technischer Endbericht 2019. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz.