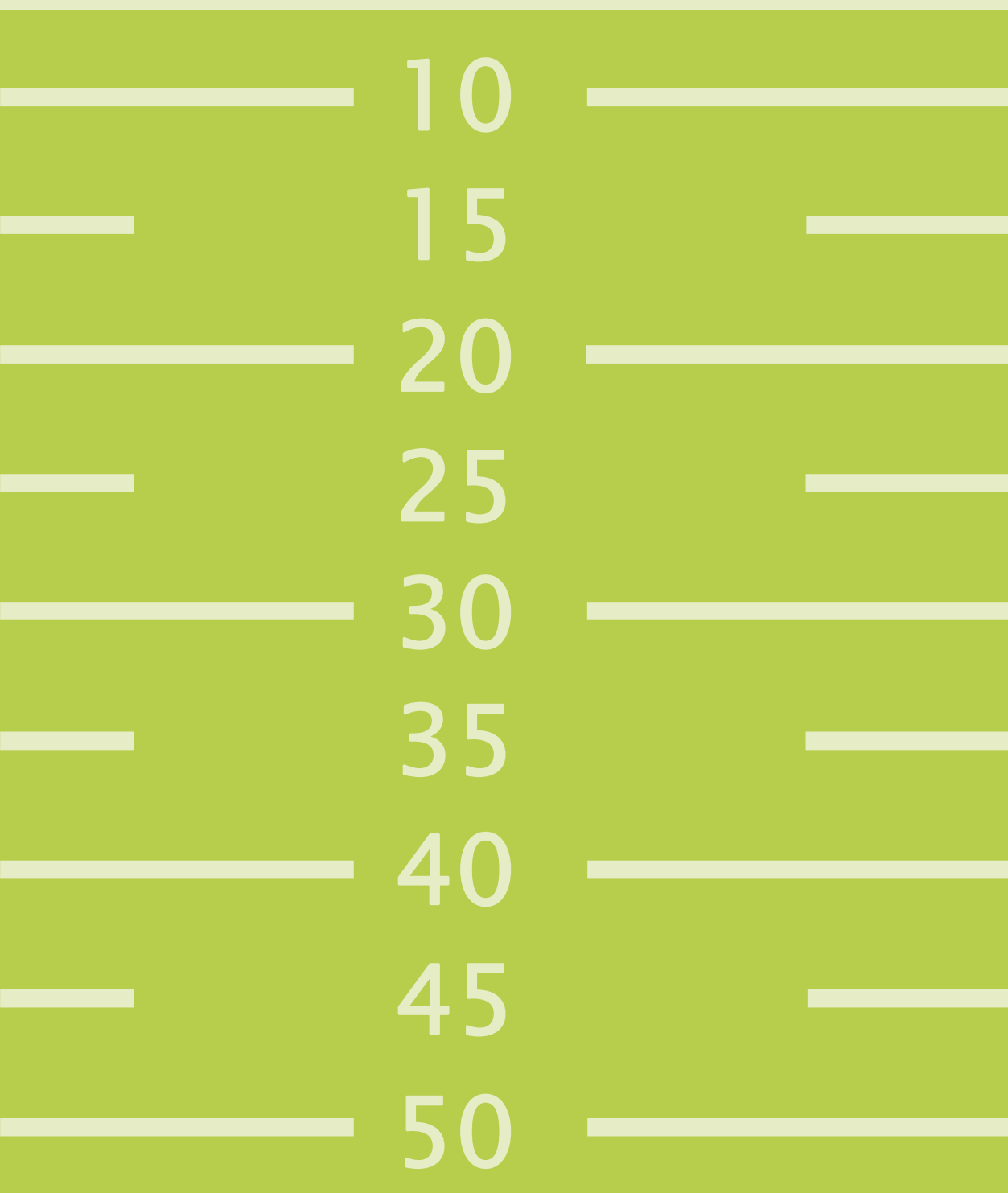





## Forschungsprojekt Lysimeter

Technischer  
Endbericht  
2021



 Bundesamt  
für Wasserwirtschaft

 Bundesministerium  
Landwirtschaft, Regionen  
und Tourismus



# Forschungsprojekt Lysimeter

## Technischer Endbericht 2021

### 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  
BMLRT, 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 2021

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

Copyright: Wasserwirtschaft

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Vorgeschichte und Fragestellung .....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Methoden .....</b>	<b>9</b>
3.1	Probenahme.....	9
3.2	Analytik.....	10
3.3	Bilanzierung .....	11
3.4	Berechnung der Auswaschung .....	11
<b>4</b>	<b>Bewirtschaftung .....</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>14</b>
5.1	Wirtschaftsdünger und Ernteproben.....	14
5.2	Stickstoffsalden .....	15
5.3	Nachlieferbarer Stickstoff .....	18
5.4	N <sub>min</sub> -Gehalte im Boden .....	18
5.5	Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstalzell.....	21
5.5.1	Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung .....	21
5.5.2	Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und -konzentration im Sickerwasser .....	22
5.6	Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach .....	24
5.6.1	Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung .....	24
5.6.2	Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und -konzentration im Sickerwasser .....	25
5.7	Nitratauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking.....	27
5.7.1	Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung .....	27
5.7.2	Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und -konzentration im Sickerwasser .....	28
5.8	Nitratauswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg .....	30
5.8.1	Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung .....	30
5.8.2	Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und -konzentration im Sickerwasser .....	30
5.9	Vergleich der Nitratauswaschung bzw. Nitratkonzentration im Sickerwasser zwischen den Standorten ...	33
5.10	Einfluss des Stickstoffsaldos auf die Nitratverlagerung .....	36
5.11	Phosphorbilanzen.....	37
5.12	Phosphatauswaschung .....	38
<b>6</b>	<b>Hydrographische Auswertung der UZ-Messstelle Pettenbach.....</b>	<b>42</b>
6.1	Allgemeines .....	42
6.2	Hydrographische Messergebnisse .....	42
6.3	Grundwasserneubildung .....	43
6.4	Bodenwasserverhältnisse .....	45
<b>7</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen .....</b>	<b>48</b>
<b>8</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>49</b>

**ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

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

Abb. 5-1: N<sub>min</sub>-Gehalte am tiefgründigen Standort in Eberstalzell ..... 18

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

Abb. 5-3: N<sub>min</sub>-Gehalte am tiefgründigen Standort in Pettenbach - Variante 1 bis 4 im Vergleich ..... 19

Abb. 5-4: N<sub>min</sub>-Gehalte am seichtgr. Standort in Pucking ..... 19

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

Abb. 5-6: N<sub>min</sub>-Gehalte am mittelgr. Standort in Schwertberg, mgSBu..... 20

Abb. 5-7: Vergleich der N<sub>min</sub>-Gehalte der Standorte seit September 2011 ..... 20

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Abb. 5-28: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (mittelgründig) mgSBu ..... 31

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

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

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

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

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

Abb. 5-34: Monatliche Sickerwassermengen .....	33
Abb. 5-35: Durchschnittliche monatliche Nitratkonzentrationen.....	34
Abb. 5-36: Monatliche Nitratauswaschung .....	35
Abb. 5-37: Summe der als Nitrat ausgewaschenen Stickstoffmenge an den vier Standorten .....	35
Abb. 5-38: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Eberstalzell .....	36
Abb. 5-39: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Pettenbach.....	36
Abb. 5-40: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Pucking .....	36
Abb. 5-41: Monatliche Phosphatauswaschung.....	38
Abb. 5-42: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstalzell .....	38
Abb. 5-43: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach.....	39
Abb. 5-44: Phosphatauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking .....	39
Abb. 5-45: Phosphatauswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg (gestörter Bodenaufbau) .....	40
Abb. 5-46: Phosphatauswaschung mittelgründigen Standort in Schwertberg (ungestörter Bodenaufbau).....	40
Abb. 5-47: Summe der ausgewaschenen P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Menge .....	41
Abb. 6-1: Niederschlags-Jahres- und Monatssummenlinien 2020 (blau) und 2021 (rot) in Pettenbach.....	42
Abb. 6-2: Niederschlags-Jahres- und Monatssummenlinien 2020 (blau) und 2021 (rot) in Vorchdorf .....	42
Abb. 6-3: Lufttemperatur-Jahres- und Monatssummenlinie und Monatsmittel 2020 (blau) und 2021 (rot) in Pettenbach .....	43
Abb. 6-4: Globalstrahlungs-Jahressummenlinie und Wochenmittel 2020 (blau) und 2021 (rot) der Station Pettenbach .....	43
Abb. 6-5: Luftfeuchte- (oben) und Windgeschwindigkeits- (unten) Wochenmittel 2020 (blau) und 2021 (rot).....	43
Abb. 6-6: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pucking 2020 (blau) und 2021 (rot).....	43
Abb. 6-7: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Eberstalzell 2020 (blau) und 2021 (rot) .....	44
Abb. 6-8: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pettenbach 2020 (blau) und 2021 (rot).....	44
Abb. 6-9: berechnete Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pettenbach 2020 (blau) und 2021 (rot).....	44
Abb. 6-10: Bilanzierte Verdunstungs-Monatssummen 2020 (blau) und 2021 (rot).....	44
Abb. 6-11: Oberboden- und Unterbodentemperaturen 2020 (blau) und 2021 (rot) im Freiland.....	45
Abb. 6-12: Oberboden- und Unterbodentemperaturen 2020 (blau) und 2021 (rot) im Lysimeter .....	45
Abb. 6-13: Oberboden- und Unterbodensaugspannungen 2020 (blau) und 2021 (rot) im Freiland .....	46
Abb. 6-14: Oberboden- und Unterbodensaugspannungen 2020 (blau) und 2021 (rot) im Lysimeter .....	46
Abb. 6-15: SWI des durchwurzelten Bereiches (oben) und unterhalb der Durchwurzelungstiefe (unten) im Freilandprofil, 2020 (blau) und 2021 (rot) .....	46
Abb. 6-16: SWI des durchwurzelten Bereiches (oben) und unterhalb der Durchwurzelungstiefe (unten) im Lysimeter, 2020 (blau) und 2021 (rot).....	46
Abb. 6-17: Mehrjährige SWI Charts von 2013-2021 (dargestellte Wassergehalte: rot: <10%, orange: 10-20%, gelb: 20-40%, grün: 40-60%, hellblau: 60-80%, mittelblau: 80-100%, dunkelblau: >=100%) .....	47

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 3-1: Tätigkeiten BAW (IKT) .....	9
Tab. 3-2: Analysenprogramm .....	10
Tab. 4-1: Bewirtschaftungsmaßnahmen 2020/2021 (nach Angaben der Bewirtschafter) .....	12
Tab. 5-1: Erntemengen und Analysenergebnisse der Ernteproben .....	14
Tab. 5-2: Stickstoffsalden auf den Varianten in Pettenbach .....	16
Tab. 5-3: Stickstoffsalden (jahreswirksam) für das Erntejahr 2021 .....	17
Tab. 5-4: Stickstoffsaldo (feldfallend) für das Erntejahr 2021 .....	17
Tab. 5-5: Sickerwassermengen und durchschnittliche Nitratkonzentration vom 01.11.20 bis 31.10.21 .....	33
Tab. 5-6: Phosphorbilanzen für das Erntejahr 2020 .....	37
Tab. 5-7: Sickerwasser, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -Verluste und mittlere PO <sub>4</sub> -Konzentration im Sickerwasser vom 01.11.20 bis 31.10.21 .....	41

## 1 Zusammenfassung

Seit 1995 werden an drei Standorten in Oberösterreich Freilandlysimeter betrieben, nämlich in Pettenbach (tgPE), Eberstallzell (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 2020/21 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. 2021 war in Pettenbach Körnermais und auf allen anderen Standorten ein Wintergetreide angebaut. Konkret handelte es sich um Winterweizen in Eberstallzell, Wintergerste in Pucking und Wintertriticale in Schwertberg. In Pettenbach wurde ein Düngeversuch in 4 Varianten durchgeführt, um die Anzahl der Düngezeitpunkte und die Art des Düngers zu testen.

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 2020/21 sind folgend zusammengefasst:

In Pettenbach wurde ein für Körnermais typischer Nitratauswaschungsverlauf mit einem ausgeprägten Maximum im Juli/August beobachtet. In Eberstallzell war der Verlauf der Nitratauswaschung nur teilweise vergleichbar mit vorhergehenden Beobachtungen unter Winterweizen. Es traten ähnlich Auswaschungsspitzen im Sommer auf, konkret im Mai und August, dafür war der Winter nach dem Anbau austragsarm. Dieser Verlauf ist untypisch und ergibt sich aus den ungewöhnlich niedrigen Sickerwassermengen während des Winters und den starken Niederschlägen im Hochsommer des heurigen Jahres. In Pucking waren die durchschnittlichen Nitratkonzentrationen während des Winters sehr hoch, was zu hohen Auswaschungen in diesem Zeitraum führte. Immer wieder werden auf diesem seichtgründigen Standort hohe Konzentrationen im Herbst/Winter gemessen, obwohl im Herbst oder, so wie es diesmal der Fall war, gar keine Düngung im Vorjahr durchgeführt wurde. In Schwertberg waren die Konzentrationen und die Sickerwassermengen am niedrigsten, wodurch die geringste Menge an Stickstoff ausgewaschen wurde.

Die Körnermaiserträge entsprachen bei verschiedenen im heurigen Jahr angelegten Düngevarianten am tiefgründigen Standort in Pettenbach einer sehr hohen Ertragslage (hoch 2), obwohl entsprechend der hoch 1 - Ertragslage bzw. einer mittleren Ertragslage (bei Variante 3) gedüngt wurde. In Pucking die Wintergerste und in Schwertberg das Triticale erzielten ebenfalls eine sehr hohe Ertragslage (hoch 2). Auch hier wurde in beiden Fällen die für die Düngung abgeschätzte Ertragslage überschritten (mittel). Der Winterweizen in Eberstallzell wurde gemäß einer mittleren Ertragslage gedüngt und auch hier wurde ein höherer Ertrag (hoch 1) erzielt. Die Düngemengen lagen somit bei allen Standorten unter den erzielten Ertragslagen. Die Stickstoffsalden waren demnach weitgehend negativ oder ausgeglichen, mit Ausnahme von Pettenbach. Dies konnte bereits im Vorjahr in Pettenbach beobachtet werden, dass der Ertrag zwar über der Ertragslage der Düngemenge liegt, aber trotzdem weniger

Stickstoff mit der Ernte abtransportiert wird und somit ein Überschuss zurückbleibt.

Bei der Phosphatauswaschung wurde beobachtet, dass die geringsten Verluste unter den beiden mittelgründigen Standorte in Schwertberg (mgSGg und mgSBu) gemessen wurden, gefolgt von Eberstälzell. Beim tiefgründigen Standort in Pettenbach und beim seichtgründigen Standort in Pucking wurden die höchsten Phosphatauswaschungen beobachtet. Im Verhältnis zu der bei der Düngung eingebrachten Phosphormenge war der ausgewaschene Anteil allerdings 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 Oktober 2021 erfolgte auf den Lysimeterstandorten eine Beprobung des Sickerwassers, das mittels Feldlysimeter mit Freiauslauf und zwei Saugkerzen (Kontrollstellen) gewonnen wurde. Die Einbautiefe der Lysimeter und der Kontrollstellen war 1,5 m. Die Proben wurden, sofern Sickerwasser anfiel, wöchentlich gewonnen und bis zur Analyse tiefgefroren. Die technische Betreuung der Lysimeteranlagen in Eberstalzell, Pettenbach und Pucking während des Berichtszeitraums erfolgte durch Mitarbeiter des Instituts für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt der Bundesanstalt für Wasserwirtschaft (Tab. 3-1). Die Analysen des Sickerwassers wurden vom Landeslabor OÖ durchgeführt.

Tab. 3-1: Tätigkeiten BAW (IKT)

Datum	Tätigkeit
10.03.2021	Bei Lysimeter tgEB und sgPU wurden und die Freiauslaufwippen ausgelesen. Lysimeter tgEB, tgPE, sgPU und die Wetterstation wurden kontrolliert.
31.03.2021	Bei Lysimeter tgPE wurde der Aufsatzring gezogen. Bei Lysimeter tgEB und sgPU wurden und die Freiauslaufwippen ausgelesen. Lysimeter tgEB, tgPE, sgPU und die Wetterstation wurden kontrolliert.
05.05.2021	Bei Lysimeter tgPE wurde der Aufsatzring aufgesetzt. (Mais noch nicht sichtbar) Bei Lysimeter tgPE und der Wetterstation wurde gemäht.
08.06.2021	Bei Lysimeter tgEB und sgPU wurden und die Freiauslaufwippen ausgelesen. Lysimeter tgEB, tgPE, sgPU und die Wetterstation wurden gemäht.

Datum	Tätigkeit
	Lysimeter tgEB, tgPE, sgPU und die Wetterstation wurden kontrolliert.
16.07.2021	Bei Lysimeter tgEB wurde der Aufsatzring gezogen. Bei Lysimeter tgEB und sgPU wurden und die Freiauslaufwippen ausgelesen.
11.08.2021	Bei Lysimeter tgPE wurde eine neue Bodenplatte (5 cm) betoniert. Bei Lysimeter tgEB, tgPE und der Wetterstation wurde gemäht. Bei Lysimeter tgEB und sgPU wurden und die Freiauslaufwippen ausgelesen.
18.08.2021	Bei Lysimeter tgEB wurde eine neue Bodenplatte (5 cm) betoniert. Bei Lysimeter tgEB und sgPU wurden und die Freiauslaufwippen ausgelesen.. Lysimeter tgEB, tgPE, sgPU und die Wetterstation wurden kontrolliert.
07.09.2021	Bei Lysimeter tgEB und sgPU wurde der Aufsatzring aufgesetzt. An beiden Standorten wurde eine Zwischenfrucht angebaut.
21.09.2021	Bei Lysimeter tgEB, tgPE, sgPU und der Wetterstation wurde gemäht. Bei Lysimeter tgEB und sgPU wurden und die Freiauslaufwippen ausgelesen..
20.10.2021	Bei Lysimeter tgPE wurde der Aufsatzring gezogen. Bei Lysimeter tgEB und sgPU wurden und die Freiauslaufwippen ausgelesen.
10.11.2021	Bei Lysimeter tgPE wurde der Aufsatzring aufgesetzt. Bei Lysimeter tgEB und sgPU wurden und die Freiauslaufwippen ausgelesen.

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 2021. 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 2021 war auf dem Standort in Pettenbach Körnermais und auf allen anderen Standorten ein Wintergetreide. Konkret wurde in Eberstallzell Winterweizen, in Pucking Wintergerste und in Schwertberg Wintertriticale angebaut. Die einzelnen Bewirtschaftungsmaßnahmen sind in Tab. 4-1 angeführt. Die Summe der N-Düngung betrug am tiefgründigen Standort in Eberstallzell demnach 109 kg N/ha (jahreswirksam) und am seichtgründigen Standort in Pucking 110 kg N/ha. Am tiefgründigen Standort in Pettenbach wurde ein Düngeversuch in 4 Varianten durchgeführt, wobei teilweise das Cultanverfahren (Controlled Uptake Long Term ammonium Nutrition) mit Harnstofflösung angewandt wurde. Dabei wird die Stickstoffversorgung über ammoniumhaltige Dünger sichergestellt, wobei der Dünger in Form eines Düngerdepots 5 bis 10 cm tief im Boden abgelegt wird. Die Pflanzen reagieren darauf mit einem verstärkten Wurzelwachstum, wodurch Stressphasen besser bewältigt werden können. Bei den Varianten 1 und 2 ist die ausgebrachte

Tab. 4-1: Bewirtschaftungsmaßnahmen 2020/2021 (nach Angaben der Bewirtschafter)

Datum	Tiefgr. Eberstallzell tgEB	Tiefgr. Pettenbach tgPE	Seichtgr. Pucking sgSB	Mittelgr. Schwertberg
25.07.2020		Aussaat Zwischenfrucht		
01.10.2020			Aussaat Wintergerste	Pflügen
09.10.2020				Aussaat Triticale
24.10.2020	Pflügen			
31.10.2020	Aussaat Winterweizen			
03.03.2021			Düngung Linzer Pro 200 kg/ha	
04.03.2021	Düngung Schweinegülle 16 m <sup>3</sup>			
25.03.2021				Düngung Complex 322 kg/ha
27.03.2021	Düngung NAC 160 kg/ha		Düngung Ammonsulfat 150 kg/ha	

Stickstoffdüngemenge gleich hoch (159 kg N/ha, aufgeteilt auf 2 Gaben), nur bei Variante 2 wurde bei der zweiten Gabe das Cultanverfahren angewandt. Bei Variante 3 wurde die Düngemenge von 180 kg N/ha bei nur einer Gabe mittels Cultan gedüngt. Bei Variante 4 wurde Putenmist und Mineraldünger mittels Cultan aufgebracht (insgesamt 141 kg N/ha jahreswirksam). Am Standort in Schwertberg wurden 109 kg N/ha ausgebracht.

Die Phosphordüngermengen betragen in Eberstallzell 56 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, in Pettenbach bei Variante 4 192 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha (bei den anderen Varianten wurde kein Phosphor gedüngt) und in Pucking 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. In Schwertberg wurde kein Phosphordünger aufgebracht.

Bezüglich der Stickstoffdüngung entspricht das Düngeneiveau in Eberstallzell, in Pucking und in Schwertberg einer mittleren Ertragslage. In Pettenbach entsprechen die Varianten 1 bis 3 einer hohen Ertragslage (hoch 1) und die Variante 4 einer mittleren Ertragslage (NAPV 2018).

Datum	Tiefgr. Eberstalzell tgEB	Tiefgr. Pettenbach tgPE	Seichtgr. Pucking sgSB	Mittelgr. Schwertberg
02.04.2021			Düngung Ammonsulfat 100 kg/ha	
21.04.2021				Düngung NAC 120 kg/ha
22.04.2021		Grubbern		
26.04.2021		Düngung V1+2: Alzon 150 kg/ha V3: keine Düngung V4: Putenmist 16,7 m <sup>3</sup>		
28.04.2021			Düngung Ammonsulfat 141 kg/ha	
30.04.2021		Aussaat Körnermais		
15.05.2021				Düngung NAC 105 kg/ha
03.06.2021		Düngung V1: Alzon 195 kg/ha		
08.06.2021		Düngung V2+4: Cultan 450 kg/ha V3: Cultan 900 kg/ha		
03.07.2021			Ernte Wintergerste 7.883 kg/ha	
16.07.2021				Ernte Triticale 7.215 kg/ha (17%F)
11.08.2021	Ernte Winterweizen ca. 9.000 kg (13,5%F)			
14.08.2021				Aussaat Zwischenfrucht Wassergüte fein
20.08.2021	Aussaat Zwischenfrucht			
20.09.2021	Düngung Schweinegülle 12 m <sup>3</sup>			
28.10.2021		Ernte Körnermais V1: 12.441 kg/ha V2: 12.078 kg/ha V3: 12.168 kg/ha V4: 12.027 kg/ha		

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Wirtschaftsdünger und Ernteproben

Am Betrieb in Eberstalzell wurde im März 2021 Schweinegülle ausgebracht. Der Ammoniumstickstoffgehalt betrug 4,15 kg/m<sup>3</sup> und der Gesamtstickstoffgehalt 5,9 kg/m<sup>3</sup>. Umgerechnet auf jahreswirksamen Stickstoff ergibt das 4,1 kg/m<sup>3</sup>. Der P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - Gehalt betrug 3,5 kg/m<sup>3</sup>.

In Pettenbach wurde bei der Variante 4 zum Anbau Putenmist ausgebracht. Dieser hatte einen Gesamtstickstoffgehalt von 17,6 kg/m<sup>3</sup>. Umgerechnet auf jahreswirksamen Stickstoff ergibt das 3,1 kg/m<sup>3</sup>. Der P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - Gehalt betrug 23,0 kg/m<sup>3</sup>.

Die Erntemengen und Analysenergebnisse der Ernteproben sind in Tab. 5-1 dargestellt. Aus dem Vergleich der Ergebnisse der eigentlichen Lysimeterflächen mit den Mittelwerten von Lysimeterfläche plus 2 Vergleichsflächen mit jeweils 1 m<sup>2</sup> Fläche ist ersichtlich, dass der Kornertrag auf der Lysimeterfläche in Eberstalzell etwas niedriger als der Durchschnitt aus

Lysimeterfläche und Kontrollstellen war. In Pettenbach und in Pucking war der Ertrag auf der Lysimeterfläche höher. In Schwertberg war kein Lysimeterring und somit keine klare Abgrenzung vorhanden. Deshalb wurden nur 2 Mischproben entnommen.

Umgerechnet auf Standardfeuchte wurden im Durchschnitt aller beprobten Stellen eines Standorts am tiefgründigen Standort in Eberstalzell 7,0 t/ha Winterweizen geerntet und am seichtgründigen Standort 7,9 t/ha Wintergerste. Am tiefgründigen Standort in Pettenbach wurde bei der Variante 1 (=Standort des Lysimeters) 11,6 t/ha Körnermais geerntet. In Schwertberg wurden 7,3 t/ha Triticale geerntet. Die Angaben der Landwirte stimmen sehr gut mit der Erntemengenbestimmung aus der Analytik überein. Nur in Eberstalzell lag die Schätzung des Landwirts mit 9 t/ha Winterweizen über der Messung von 7,0 t/ha. In Eberstalzell wurde demnach eine hohe Ertragslage (hoch 1, gem. NAPV 2018) erreicht. In Pucking und in Pettenbach wurde jeweils eine sehr hohe Ertragslage (hoch 2) erreicht. In Schwertberg wurde ebenfalls eine sehr hohe Ertragslage (hoch 2) erreicht.

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	579	86%	22,2	9,4
tgEB - MW Korn	600	86%	19,2	9,0
tgEB - Lys Stroh	693	92%	3,2	1,5
tgEB - MW Stroh	954	92%	2,8	1,0
tgPE - Lys Korn	1416	75%	10,9	7,0
tgPE – V1 Korn	888	71%	11,2	17,4
tgPE – V2 Korn	860	71%	11,4	14,7
tgPE – V3 Korn	865	71%	10,4	14,3
tgPE – V4 Korn	761	63%	8,8	15,6
tgPE - MW Korn	958	70%	10,5	13,8



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)
tgPE - Lys Stroh	981	32%	5,9	2,1
tgPE – V1 Stroh	209	26%	6,8	1,5
tgPE – V2 Stroh	279	26%	7,8	1,6
tgPE – V3 Stroh	218	30%	7,5	1,8
tgPE – V4 Stroh	362	38%	6,2	2,0
tgPE - MW Stroh	410	30%	6,8	1,8
sgPU - Lys Korn	708	88%	15,1	9,1
sgPU - MW Korn	680	88%	14,6	9,0
sgPU - Lys Stroh	743	91%	5,6	1,0
sgPU - MW Stroh	622	91%	3,5	1,2
mgSB Korn	628	87%	16,1	9,6
mgSB Stroh	486	82%	2,4	2,8

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 Standorte mit Wintergetreide einen ausgeglichenen bis leicht negativen Stickstoffsaldo. In Eberstallzell ist der Saldo mit -20 kg N/ha am Lysimeter am geringsten. Der Mittelwert am Feld liegt mit -6 kg N/ha etwas höher. Wird der feldfallende Stickstoff berücksichtigt, ist die Bilanz mit -4 kg N/ha am Lysimeter bzw. im Durchschnitt mit 10 kg N/ha nahezu ausgeglichen. In Pucking ist der Unterschied zwischen dem Lysimeter und dem Mittelwert gering. So wird ein Saldo von 3 bzw. 11 kg N/ha erreicht. In Schwertberg entspricht die Düngemenge ebenfalls in etwa der Abfuhrmenge, wodurch ein Saldo von 8 kg N/ha erzielt wurde.

In Pettenbach ist der Unterschied zwischen der Lysimeterfläche und dem Felddurchschnitt (bei Variante 1) deutlich erkennbar. Der Grund hierfür liegt in der höheren Erntemenge am Lysimeter, wodurch der Entzug am Lysimeter höher ist als im Durchschnitt. Dadurch ist der Stickstoffsaldo am Lysimeter mit 5 kg N/ha nahezu

ausgeglichen, während im Mittelwert mit 42 kg N/ha der Saldo deutlich positiv ist, obwohl die Düngemenge einer h1-Ertragslage gem. NAPV 2018 entsprach und ein (knapper) h2-Ertrag erzielt wurde.

Die Stickstoffsalden bezogen auf jahreswirksamen Stickstoff und die einzelnen Bilanzglieder werden in Tab. 5-3 aufgelistet. Da davon ausgegangen werden kann, dass der organische Anteil im Wirtschaftsdünger im Laufe der Jahre wirksam wird, werden in Tab. 5-4 zusätzlich die feldfallenden N-Düngemengen den Erntentzügen gegenübergestellt. Nachdem in Pucking und Schwertberg kein Wirtschaftsdünger eingesetzt wurde, bleiben die Salden ident. In Pettenbach wurde lediglich bei der Variante 4 Wirtschaftsdünger eingesetzt. Nachdem in den beiden Tabellen nur die Variante 1 dargestellt ist, bleiben die Werte ebenfalls ident. In Tab. 5-2 hingegen werden die Ergebnisse aus den 4 Varianten gegenübergestellt, wobei in diesem Fall die Werte vom Lysimeter nicht in die Mittelwertbildung eingeflossen sind.

Tab. 5-2: Stickstoffsalden auf den Varianten in Pettenbach

	tgPE V1	tgPE V2	tgPE V3	tgPE V4
<b>N-Zufuhr jahreswirksam</b>	<b>159</b>	<b>159</b>	<b>180</b>	<b>141</b>
Entzug Korn	99	98	90	67
Entzug Stroh	14	22	16	23
Summe Entzug	113	120	106	90
Abfuhr Ernte	99	98	90	67
Saldo Korn+Stroh	46	39	74	51
Saldo Ernte	60	61	90	74
<b>N-Zufuhr feldfallend</b>	<b>159</b>	<b>159</b>	<b>180</b>	<b>192</b>
Entzug Korn	99	98	90	67
Entzug Stroh	14	22	16	23
Summe Entzug	113	120	106	90
Abfuhr Ernte	99	98	90	67
Saldo Korn+Stroh	46	39	74	102
Saldo Ernte	60	61	90	125

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 meistens 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. 5-3: Stickstoffsalden (jahreswirksam) für das Erntejahr 2021

	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	109		159 (Variante 1)		110		109	
Entzug durch Pflanzen	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW	MW	
Entzug durch Korn	129	115	154	117	107	99	101	
Entzug durch Stroh	22	26	58	32	42	23	12	
Summe Entzug	151	141	212	149	149	122	113	
Abfuhr durch Ernte	129	115	154	117	107	99	101	
Saldo Korn	-20	-6	5	42	3	11	8	
Saldo Korn + Stroh	-42	-32	-53	10	-39	-12	-4	
Saldo Ernte	-20	-6	5	42	3	11	8	

Tab. 5-4: Stickstoffsaldo (feldfallend) für das Erntejahr 2021

	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	125		159 (Variante 1)		110		109	
Entzug durch Pflanzen	Lysimeter	Lysimeter	MW	Lysimeter	Lysimeter	MW	MW	
Entzug durch Korn	129	115	154	117	107	99	101	
Entzug durch das Stroh	22	26	58	32	42	23	12	
Summe Entzug	151	141	212	149	149	122	113	
Abfuhr durch Ernte	129	115	154	117	107	99	101	
Saldo Korn	-4	10	5	42	3	11	8	
Saldo Korn + Stroh	-26	-16	-53	10	-39	-12	-4	
Saldo Ernte	-4	10	5	42	3	11	8	

### 5.3 Nachlieferbarer Stickstoff

Die Werte für den nachlieferbaren Stickstoff lagen mit  $1 \text{ mg N kg}^{-1} 7\text{d}^{-1}$  (sgPU) und  $9 \text{ mg N kg}^{-1} 7\text{d}^{-1}$  (tgEB) generell in einem niedrigen Bereich (tgPE  $6 \text{ mg N kg}^{-1} 7\text{d}^{-1}$ , mgSBg  $4 \text{ mg N kg}^{-1} 7\text{d}^{-1}$ ). Als Ursache ist zu vermuten, dass zum Zeitpunkt der Probenahme (April) das Mineralisierungspotenzial zu einem erheblichen Teil bereits realisiert war (vgl. Abb. 5-1-bis Abb. 5-5).

### 5.4 $N_{\min}$ -Gehalte im Boden

Die  $N_{\min}$ -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  $N_{\min}$  Gehalt im Boden ergeben.

Am tiefgründigen Standort in Eberstalzell wurde nach der Maisernte im Vorjahr Winterweizen bei einem  $N_{\min}$  Gehalt von  $55 \text{ kg N/ha}$  ohne Herbstdüngung angebaut. Bis zum Februar sinkt dieser auf  $19 \text{ kg N/ha}$ . Nach den beiden Düngungen im März steigt der  $N_{\min}$  Gehalt besonders in den oberen Schichten deutlich an und erreicht eine Summe von  $71 \text{ kg N/ha}$  von 0-90 cm Tiefe (Abb. 5-1). Im weiteren Jahresverlauf geht der gesamte  $N_{\min}$  Gehalt aufgrund des Entzugs durch die Vegetation und teilweise auch aufgrund der Nitratauswaschung zurück (vgl. Abb. 5-10). Schlussendlich werden im August nach der Ernte  $36 \text{ kg N/ha}$  erreicht. Es folgt der Anbau einer Zwischenfrucht, welche im September mit Schweinegülle ( $49 \text{ kg N/ha jw}$ ) gedüngt wurde. Diese Düngemaßnahmen bildet sich im  $N_{\min}$  Gehalt im Oktober ( $20 \text{ kg N/ha}$ ) nicht ab. Nachdem im September und Oktober fast kein Stickstoff mit dem Sickerwasser ausgewaschen wurde (vgl. Abb. 5-10), dürfte die N-Menge von der Zwischenfrucht aufgenommen worden sein.

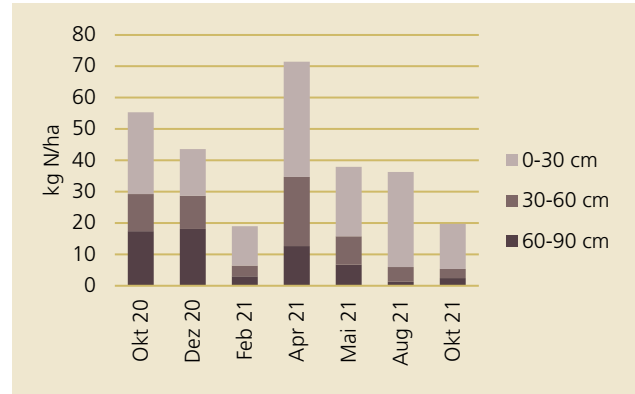


Abb. 5-1:  $N_{\min}$ -Gehalte am tiefgründigen Standort in Eberstalzell

Am tiefgründigen Standort in Pettenbach wurde nach einer Winterzwischenfrucht Körnermais angebaut. Während des Winters bleibt der  $N_{\min}$  Gehalt noch gering, steigt aber stetig bis zum Sommer an, insbesondere nach der Düngung zum Anbau Ende April und nach einer weiteren Düngung im Juni. Dieser Verlauf ist typisch für eine Sommerkultur und konnte bereits in vorhergehenden Jahren beobachtet werden. Der Höchstwert wird im Juli mit  $216 \text{ kg N/ha}$  (bei Variante 1) erreicht. Bis zum Oktober gehen die Werte auf ca.  $70 \text{ kg N/ha}$  zurück (Abb. 5-2), was einerseits dem Entzug durch die Maispflanzen, aber auch einer starken Nitratauswaschung zuzuschreiben ist (vgl. Abb. 5-16).

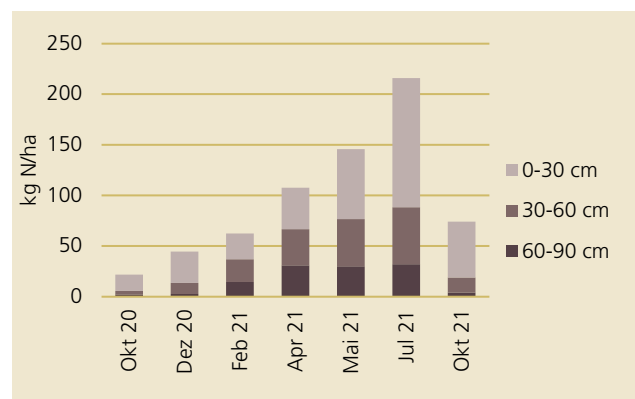


Abb. 5-2:  $N_{\min}$ -Gehalte am tiefgründigen Standort in Pettenbach - Variante 1

Bei den Messungen im Juli und Oktober 2021 wurden die 4 Düngewaranten (siehe Kap. 4) einzeln beprobt

und analysiert. In der Darstellung in Abb. 5-3 werden die Ergebnisse dieser Varianten gegenübergestellt. Es ist zu erkennen, dass der Unterschied zwischen den Varianten 1, 2 und 4 gering ist. Bei der Variante 3 wurde nur eine einmalige Düngung mittels dem Cultantverfahren im Juni aufgebracht, welche einen weit aus geringeren  $N_{\min}$  Gehalt im Juli verursachte.

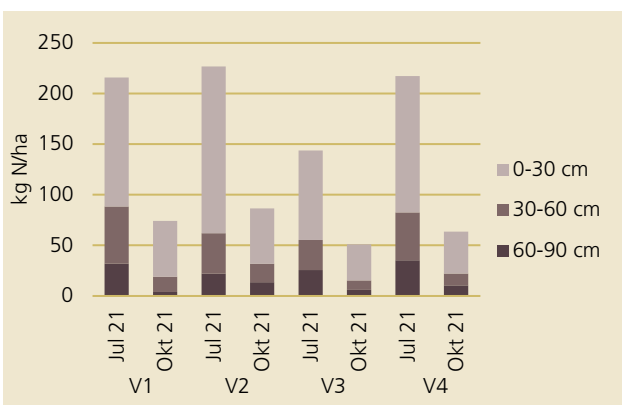


Abb. 5-3:  $N_{\min}$ -Gehalte am tiefgründigen Standort in Pettenbach - Variante 1 bis 4 im Vergleich

Am seichtgründigen Standort in Pucking erfolgte der Anbau von Wintergerste. Der  $N_{\min}$ -Gehalt ist nach der Ernte der Vorjahreskultur (Sojabohne) mit 84 kg N/ha recht hoch. Bis zum Frühjahr nehmen die Werte ab, was vor allem den Nitratauswaschungen während des Winters zuzuschreiben ist (vgl. Abb. 5-22). Nach den Düngungen im März und April steigt der  $N_{\min}$  Gehalt wieder auf 83 kg N/ha an und nimmt im Verlauf des Jahres aufgrund des Entzugs durch die Pflanzen bis zur Ernte im Juli wieder ab. Der  $N_{\min}$  Gehalt bleibt nach dem Anbau einer Zwischenfrucht auf niedrigem Niveau bis zum Oktober (Abb. 5-4).

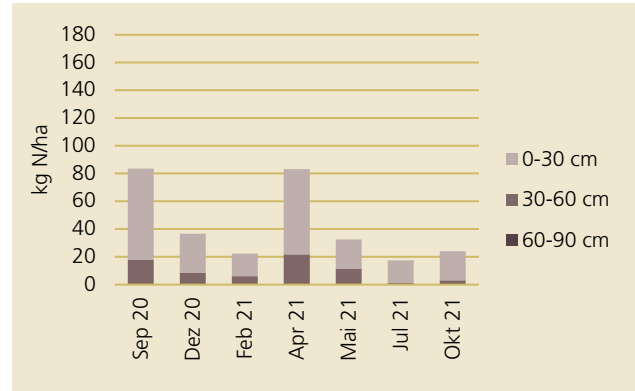


Abb. 5-4:  $N_{\min}$ -Gehalte am seichtgr. Standort in Pucking

Die beiden Lysimeter am mittelgründigen Standort in Schwertberg (mgSBg = gestörter Bodenaufbau; mgSBu= ungestörter Bodenaufbau) wurden im Jahr 2020/21 gleich bewirtschaftet. Der  $N_{\min}$  Verlauf ist auch fast ident, nur im April ist ein Unterschied bemerkbar. Bei mgSBg beträgt der  $N_{\min}$  Gehalt im April 130 kg N/ha und bei mgSBu 300 kg N/ha (Abb. 5-5 und Abb. 5-6). Nachdem am Vortrag der Mineraldünger ausgebracht wurde, liegt die Vermutung nahe, dass trotz Vorsicht bei der Probenahme eine Kontamination mit Spuren des Düngers erfolgte, wodurch der ansonsten unplausible, hohe Wert von 300 kg N/ha verursacht wurde. Der restlichen Jahresverlauf ist bei beiden Lysimeter ident und die Werte gehen durch den Nährstoffentzug zurück.

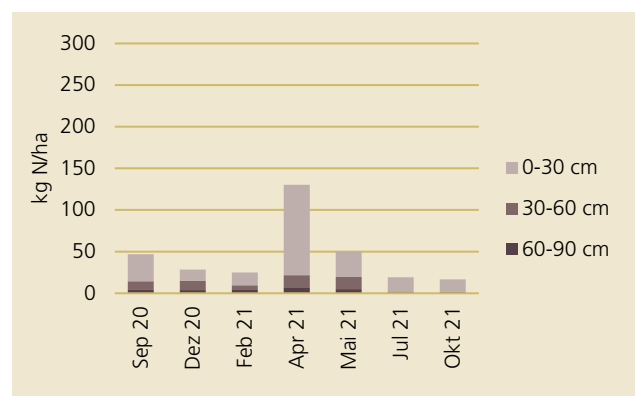
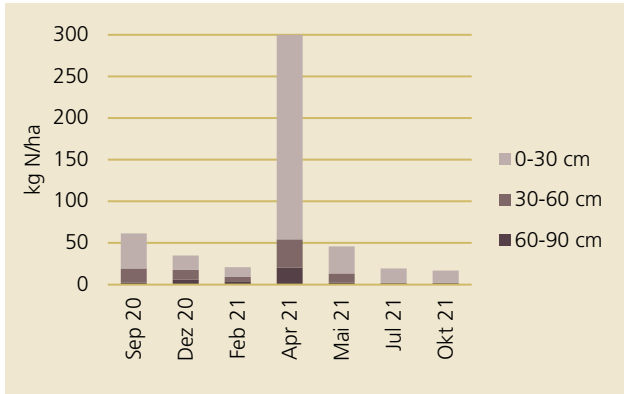


Abb. 5-5:  $N_{\min}$ -Gehalte am mittelgr. Standort in Schwertberg, mgSBg



Der Verlauf der N<sub>min</sub> Gehalte des Jahres 2021 ist bei den Standorten mit Getreide relativ ähnlich, in Pettenbach, wo Mais angebaut wurde, ist ein späterer Anstieg der N<sub>min</sub> Gehalte erkennbar. Im langjährigen Vergleich liegen die Werte des Jahres 2021 insgesamt in einem durchschnittlichen Bereich (Abb. 5-7).

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

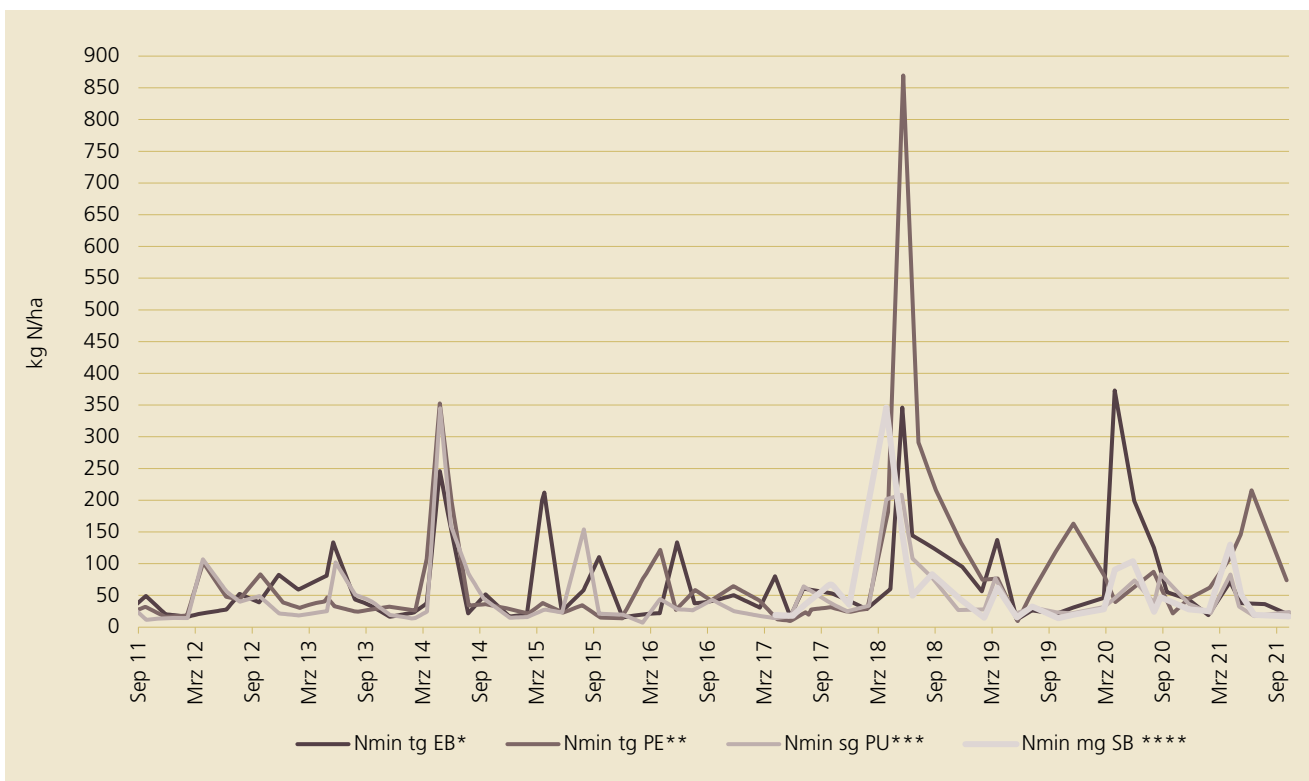


Abb. 5-7: Vergleich der N<sub>min</sub>-Gehalte der Standorte seit September 2011

- |     |  |      |   |
|-----|--|------|---|
| *   | tiefgründiger Standort in Eberstälzell | **   | tiefgründiger Standort in Pettenbach              |
| *** | seichtgründiger Standort in Pucking    | **** | mittelgründiger Standort in Schwertberg (gestört) |

## 5.5 Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstalzell

### 5.5.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

Im hydrologischen Jahr 2020/21 fielen 996 mm Niederschlag. Die Sickerwassermenge in diesem Zeitraum betrug 185 mm, was 19% der Niederschlagsmenge entspricht. Der gesamte Sommer war sehr niederschlagsreich, so fiel von Mai bis September ein Niederschlag von insgesamt 643 mm. Die höchste Niederschlagssumme wurde im Juli mit 295 mm gemessen (Abb. 5-8, Abb. 5-9).

Das Sickerwasser bildete sich hauptsächlich kurz vor und nach der Ernte des Winterweizens im Juli und August, wo auch die stärksten Niederschläge auftraten.

Die höchste Sickerwassermenge wurde im August mit 86 mm ausgetragen.

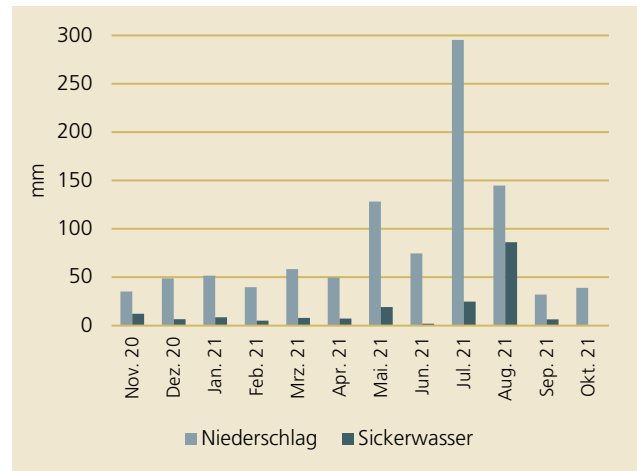


Abb. 5-8: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. EB)

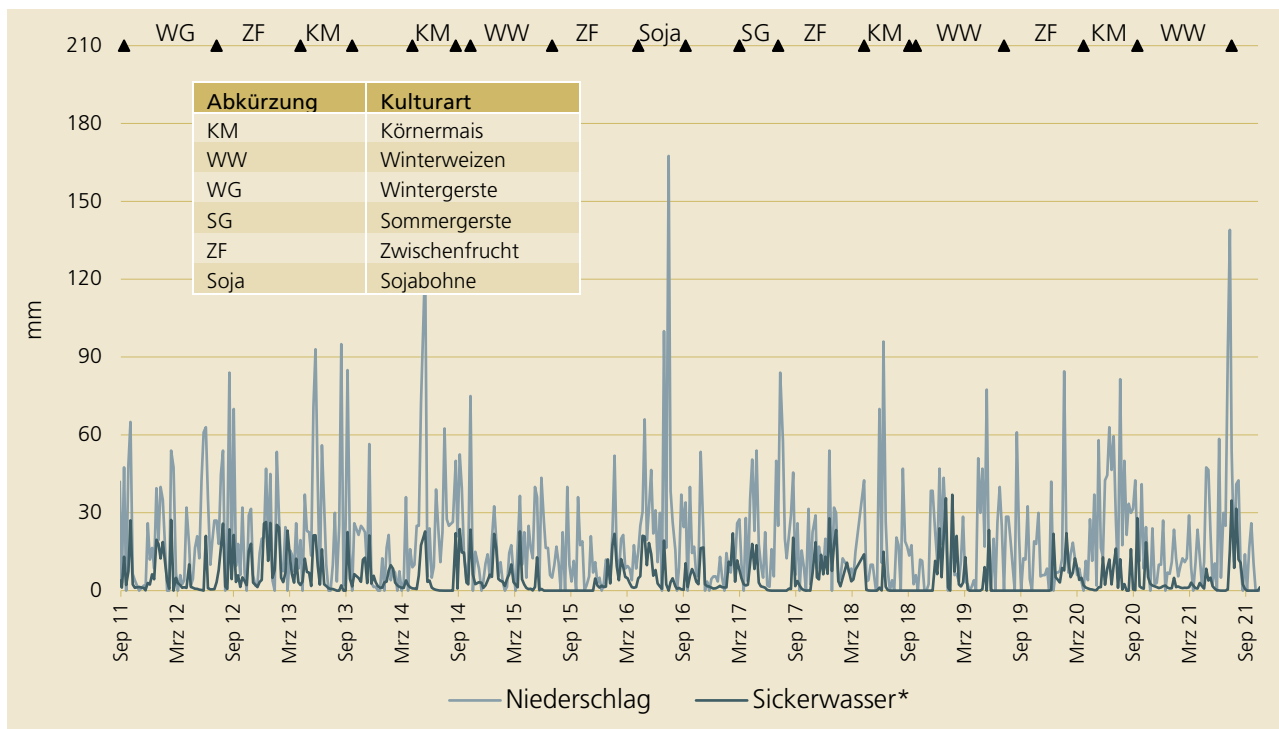


Abb. 5-9: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2010 (tiefgr. EB) \*Juli 2016 nicht gesamtes SW erfasst

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

Der Verlauf der Nitratauswaschung ist ident mit dem Verlauf des Sickerwasseranfalls. Die höchste monatliche Nitratmenge wurde im August mit 9,5 kg N/ha ausgewaschen. Eine zweite Spitze ist, ähnlich zur Sickerwassermenge, im Mai zu finden mit 4,5 kg N/ha. Im sonstigen Jahresverlauf bleiben die Werte unter 2 kg N/ha (Abb. 5-10).

Insgesamt wurden im gesamten Jahr 2020/21 23,5 kg N/ha ausgewaschen, was im Bereich des langjährigen Durchschnitts unter Wintergetreide liegt. Der Großteil davon erfolgte während des Sommers aufgrund der starken Niederschläge und des hohen Sickerwasseranfalls.

Die Nitratkonzentration im Sickerwasser ist ebenfalls im Mai und im August am höchsten (Abb. 5-11 bis Abb. 5-13).

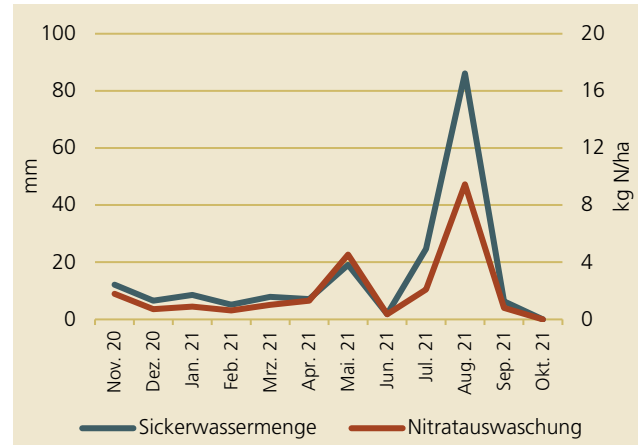


Abb. 5-10: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefr. EB)

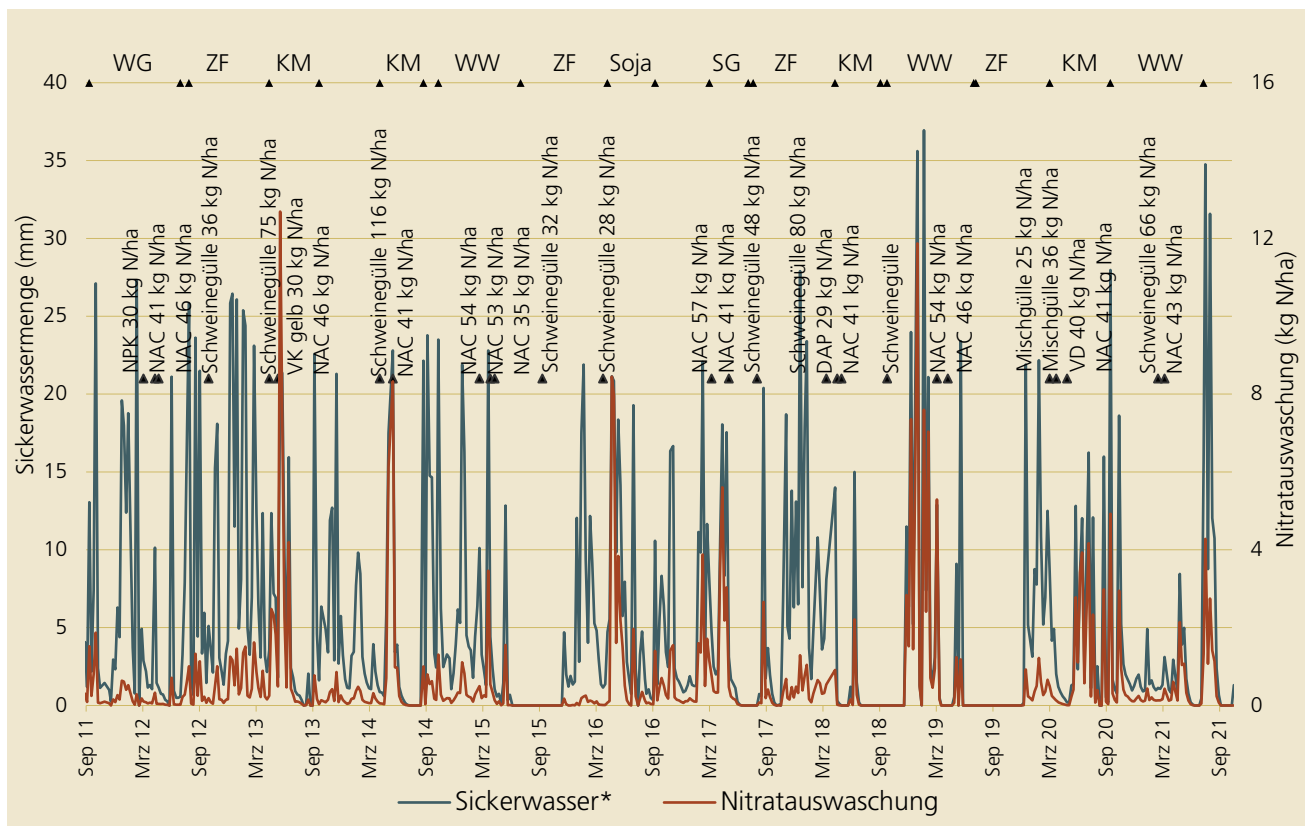


Abb. 5-11: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefr. EB); \*Juli 2016 nicht gesamtes SW erfasst



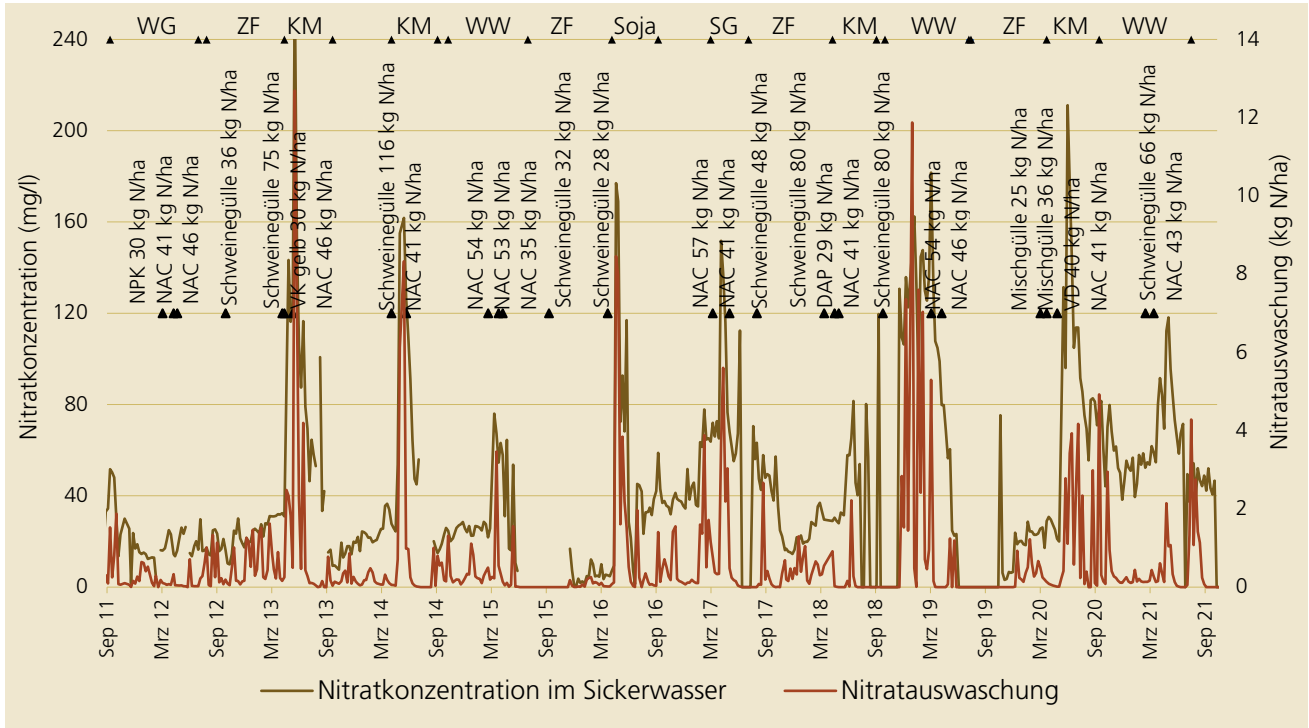


Abb. 5-12: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (tiefgr. EB)

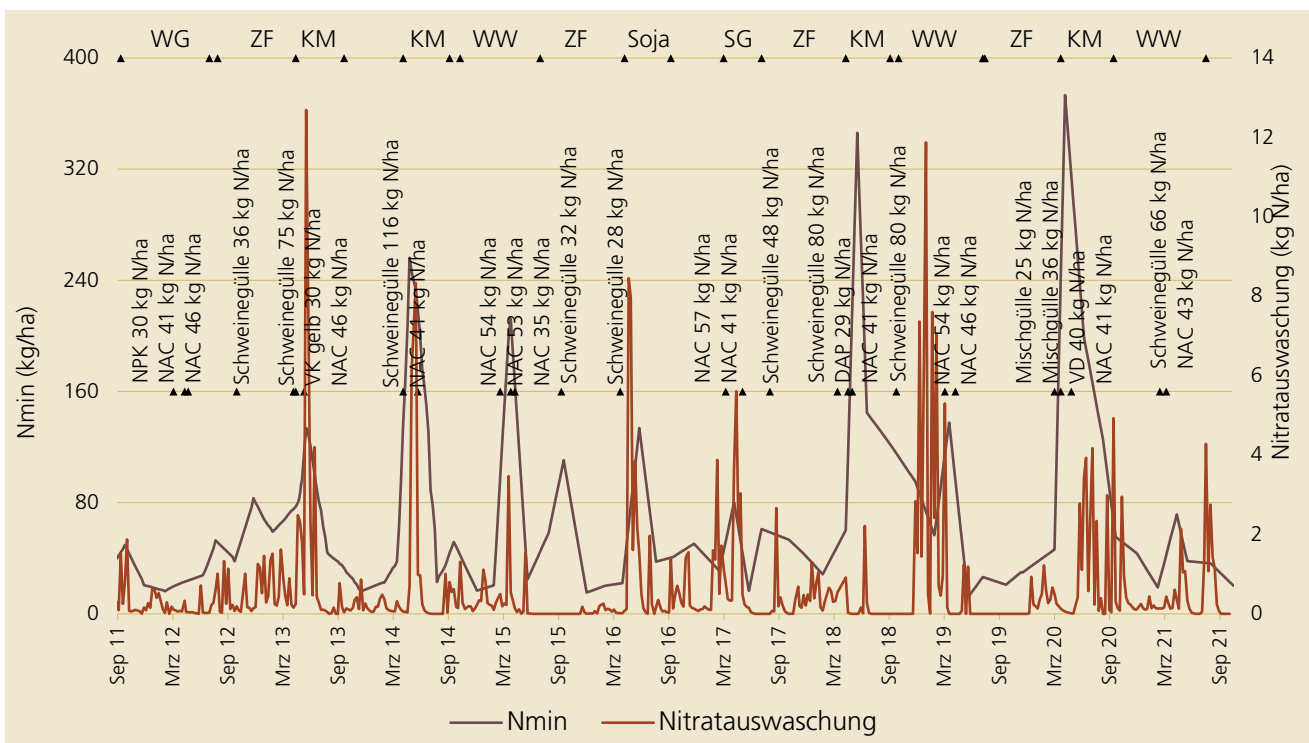


Abb. 5-13: Nitratauswaschung und  $N_{min}$ -Gehalte des Bodens (tiefgr. EB)

## 5.6 Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach

### 5.6.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

Im hydrologischen Jahr 2020/21 betrug die Niederschlagssumme 1.058 mm, die gemessene Sickerwassermenge im selben Zeitraum 576 mm, das entspricht etwa 54% der Niederschlagsmenge (Abb. 5-14).

Die höchsten Niederschlagssummen traten wie in Eberstallzell im Juli auf und betragen mehr als 270 mm. Ebenfalls vergleichbar mit dem anderen tiefgründigen Standort ist die Sickerwassermenge während des Sommers am höchsten, insbesondere im Juli und August, wo die außergewöhnlich hohen

Niederschläge Sickerwasser in der Menge von insgesamt 270 mm erzeugte.

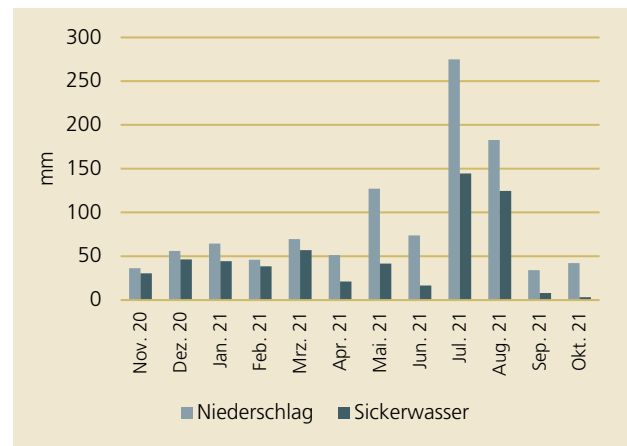


Abb. 5-14: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. PE)

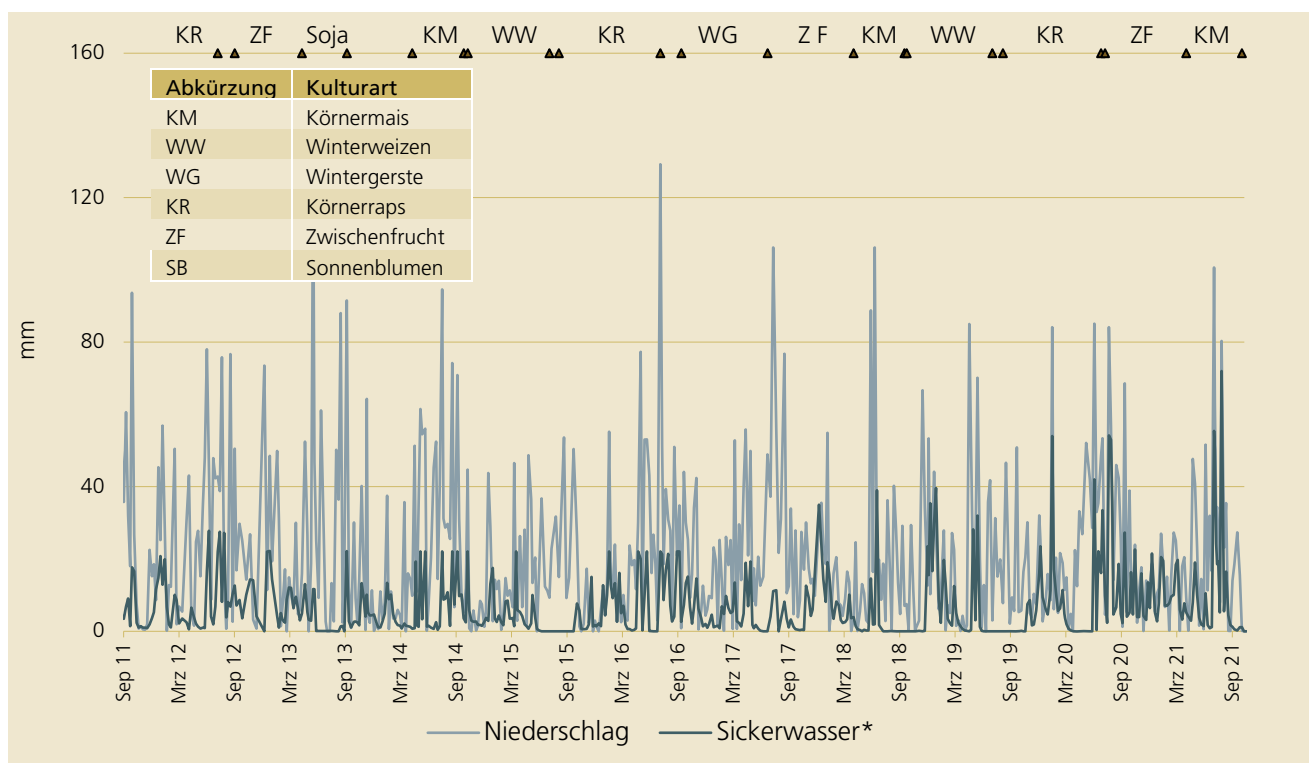


Abb. 5-15: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2010 (tiefgr. PE) \*von Mai – Okt. 2014, Mai bis Sept. 2016 und August 2017 nicht gesamtes Sickerwasser erfasst

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

Die höchsten monatlichen durchschnittliche Nitratkonzentrationen im Sickerwasser sind in den Monaten Mai und Juni zu finden mit um die 53 mg/l. Im sonstigen Jahresverlauf liegen die Werte stets unter 40 mg/l. Die meiste Auswaschung fand während der Sommermonate statt. So gingen allein im Juli und August 25 kg N/ha verloren, was der Hälfte der Gesamtsumme in diesem Jahr von 52 kg N/ha entspricht. Im Vergleich zu vorhergehenden Jahren mit Maisanbau auf diesem Standort ist dieser Wert sehr hoch. Als Ursache können die starken Niederschläge, welche eine hohe Sickerwassermenge zur Folge hatten, gesehen werden und das zu einem Zeitpunkt, wo ein hoher

mineralischer Stickstoffgehalt im Boden vorhanden war (vgl.  $N_{min}$  Gehalte in Abb. 5-2).

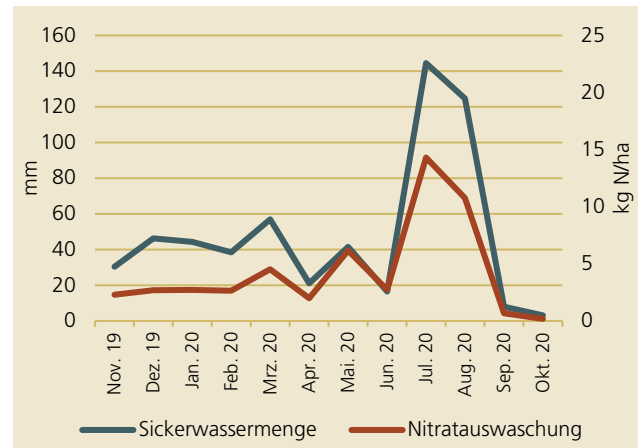


Abb. 5-16: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tieflgr. PE)

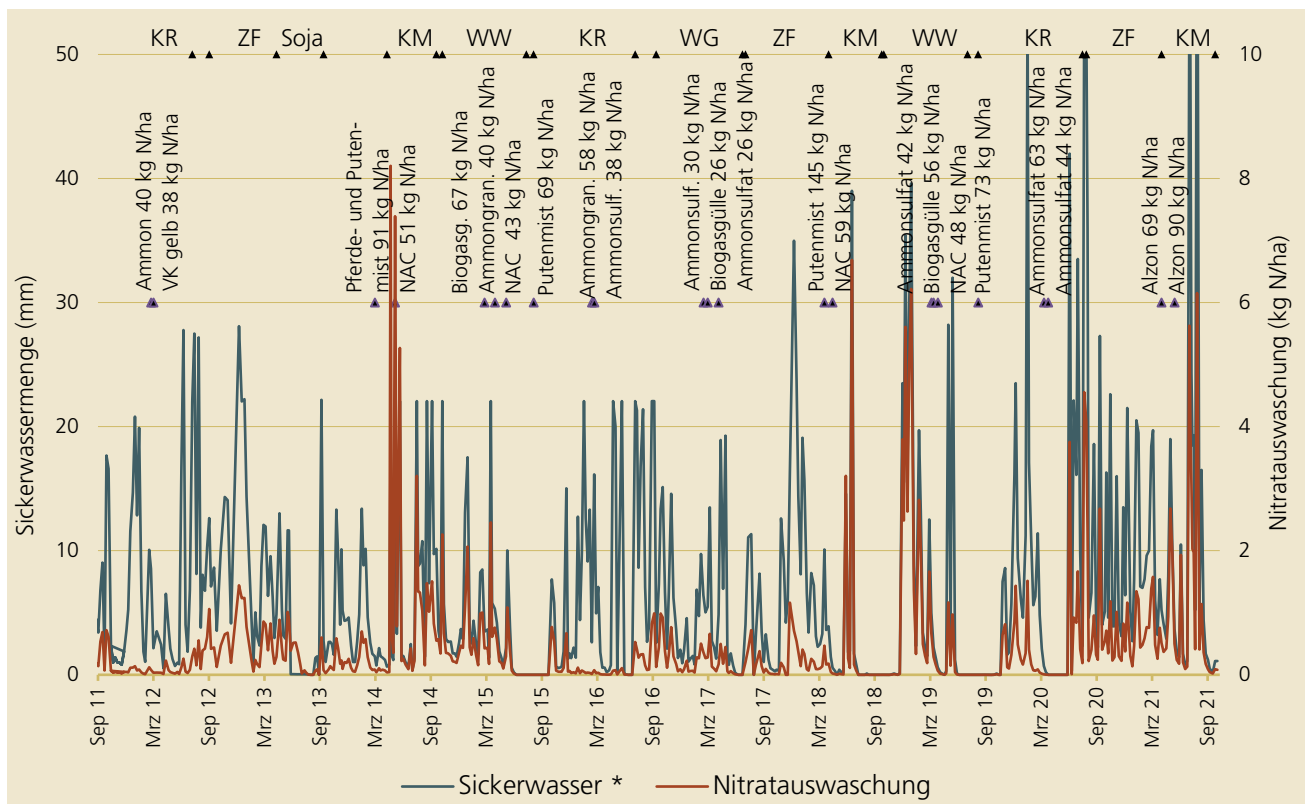


Abb. 5-17: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tieflgr. PE) \*von Mai – Okt. 2014, Mai bis Sept. 2016 und August 2017 nicht gesamtes Sickerwasser erfasst

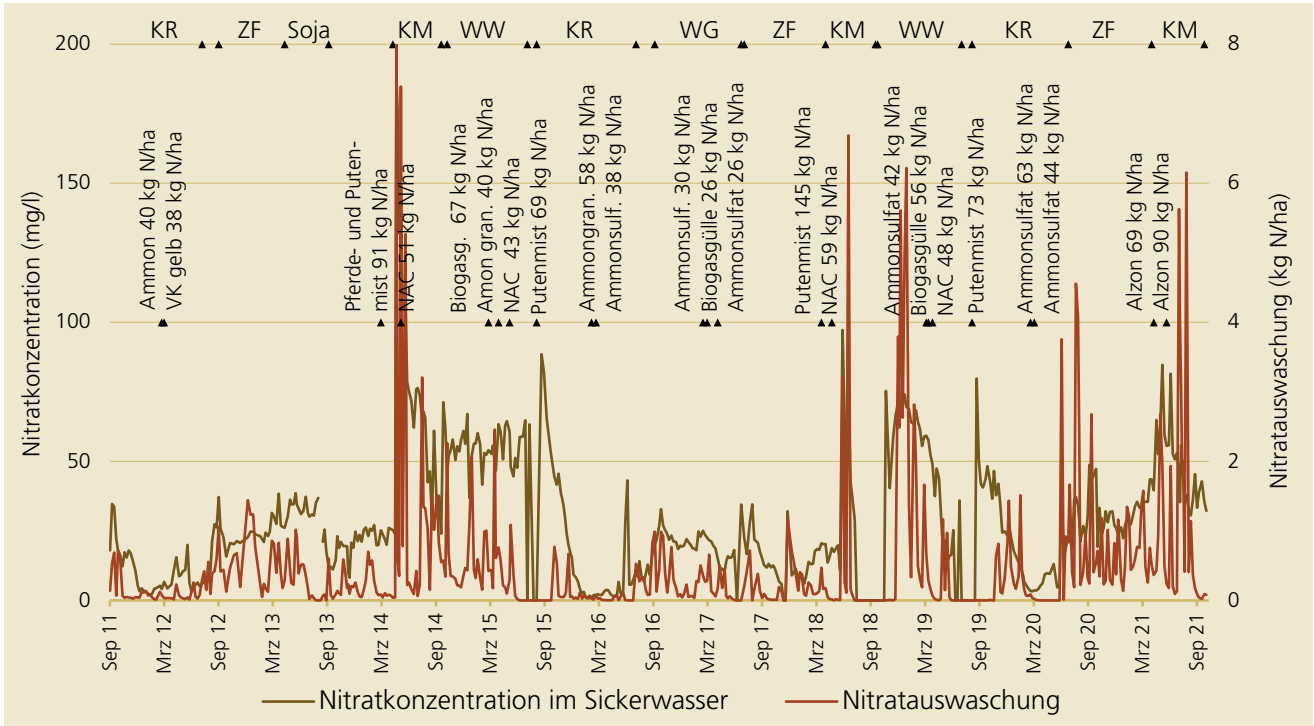


Abb. 5-18: Nitratkonzentration und Nitratwaschung (tiefr. PE)

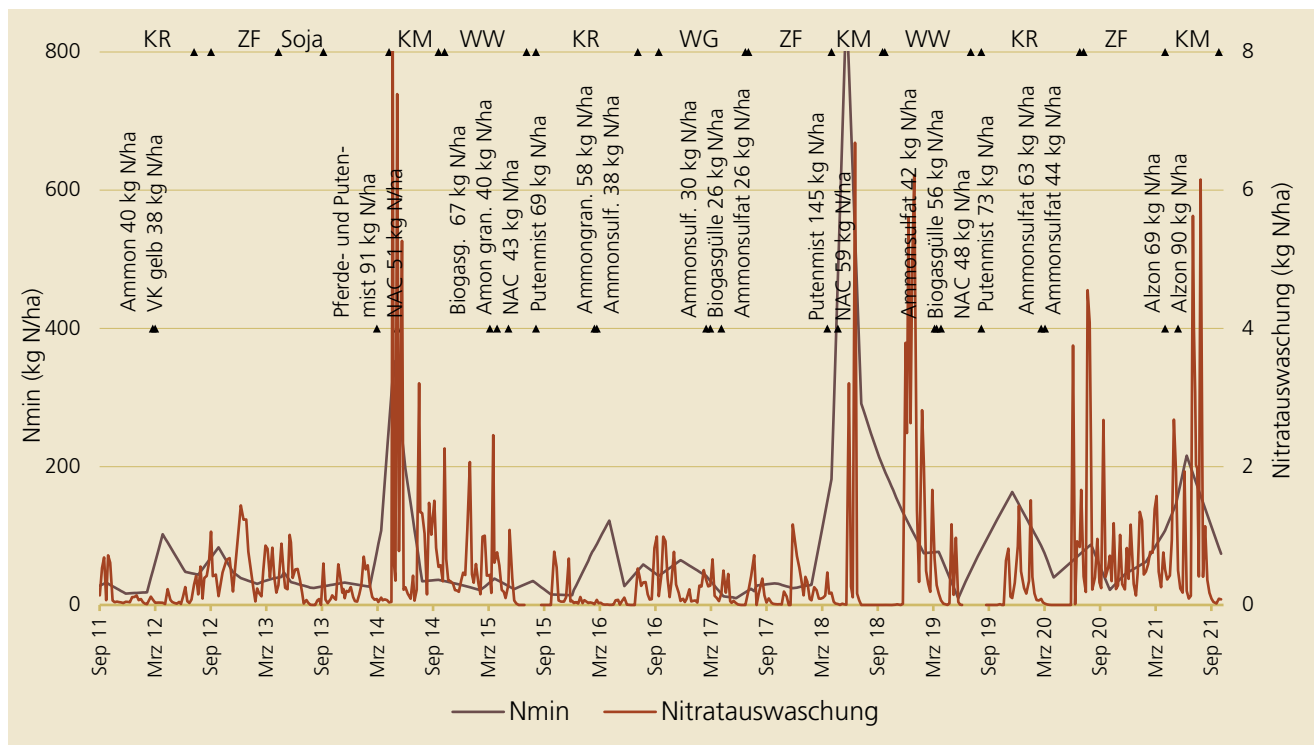


Abb. 5-19: Nitratwaschung und N<sub>min</sub>-Gehalte des Bodens (tiefr. PE)

## 5.7 Nitratauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking

### 5.7.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

Am seichtgründigen Standort fielen im hydrologischen Jahr 2020/21 in Summe 735 mm Niederschlag (Abb. 5-20). Die höchsten Niederschlagsmengen traten wie auch bei den anderen Standorten im Juli und August mit 215 bzw. 141 mm pro Monat auf.

Die Sickerwasserbildung erfolgte Großteils im Juli und August, wo mit insgesamt 142 mm bereits die Hälfte der Jahressumme von 286 mm anfiel. Weitere Sickerwassermengen traten im Jänner und Februar von jeweils ca. 40 mm pro Monat auf. Die Monate April bis Juni waren sickerwasserfrei. Die gesamte angefallene

Sickerwassermenge entspricht rund 39% der Niederschlagssumme.

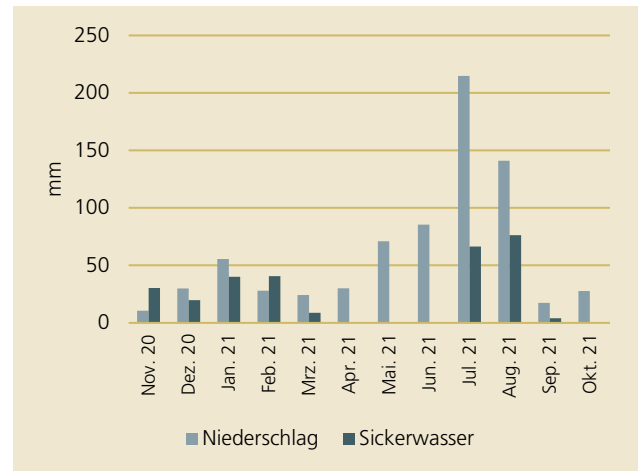


Abb. 5-20: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (seichtgr.)

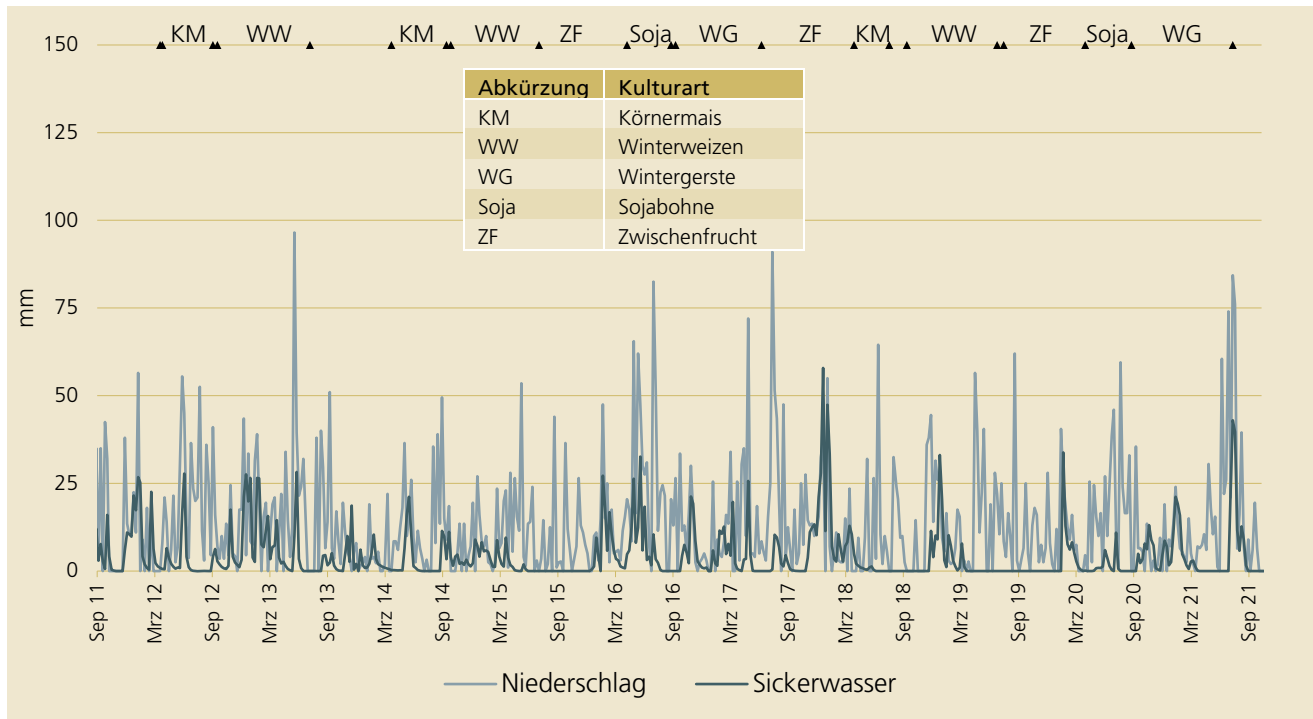


Abb. 5-21: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2010 (seichtgründig)

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

Die durchschnittliche monatliche Nitratkonzentration bewegte sich im Winter von November bis Jänner zwischen 120 und 140 mg/l, weshalb in diesem Zeitraum auch die höchsten Nitratmengen ausgewaschen wurden, mit dem Höchstwert von 14 kg N/ha im Jänner. Danach nimmt die Konzentration stetig ab. Im Juli und August sind die Sickerwassermengen so hoch, dass auch mit einem Gehalt von unter 40 mg/l eine Menge von 11 kg N/ha in beiden Monaten verloren gingen (Abb. 5-22). Im Zeitraum Nov. 20 bis Okt. 21 beträgt die gesamte Nitratauswaschung 50 kg/ha, was leicht über dem Durchschnitt der vergangenen Jahre mit Wintergetreide auf diesem Standort liegt (vgl. Abb. 5-24).

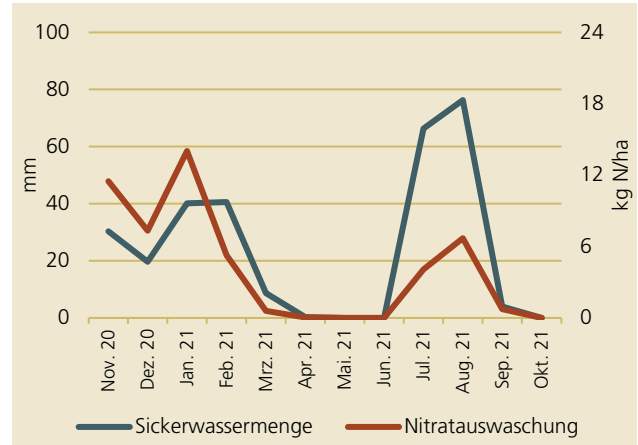


Abb. 5-22: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig)

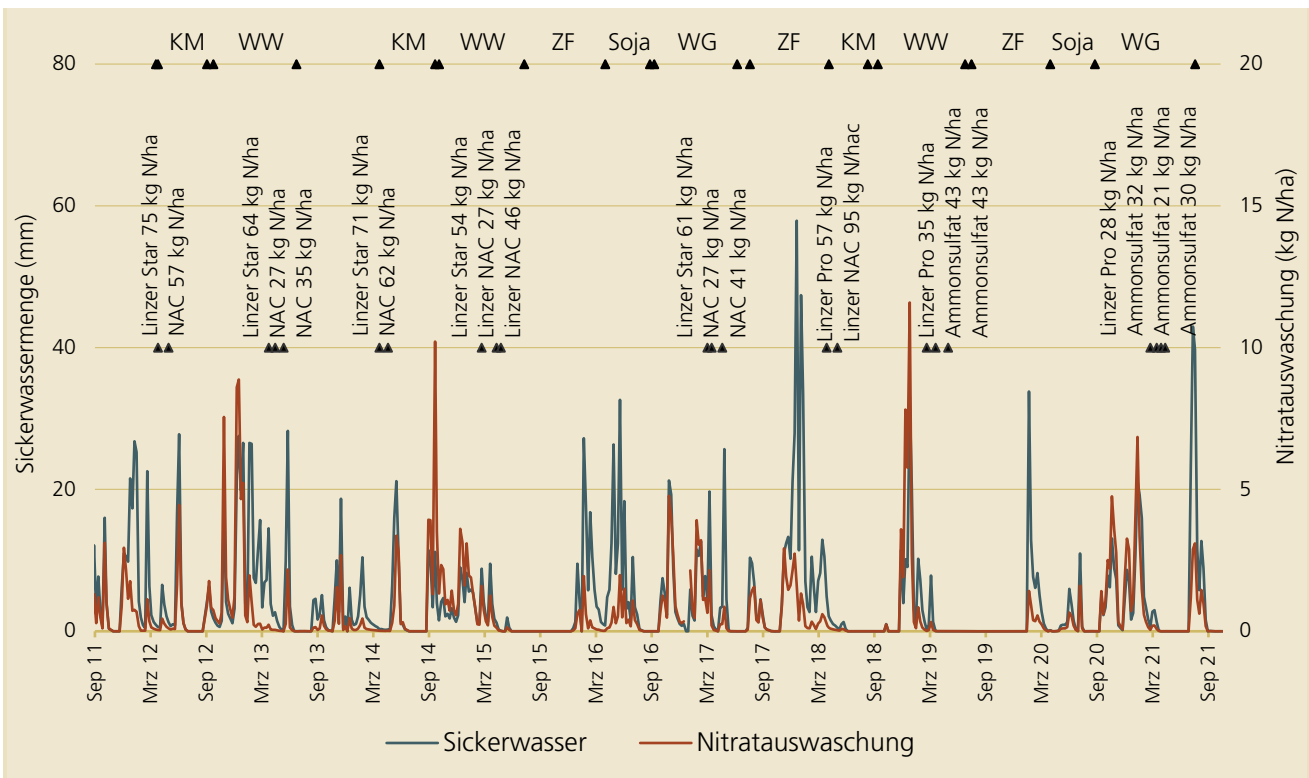


Abb. 5-23: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig)

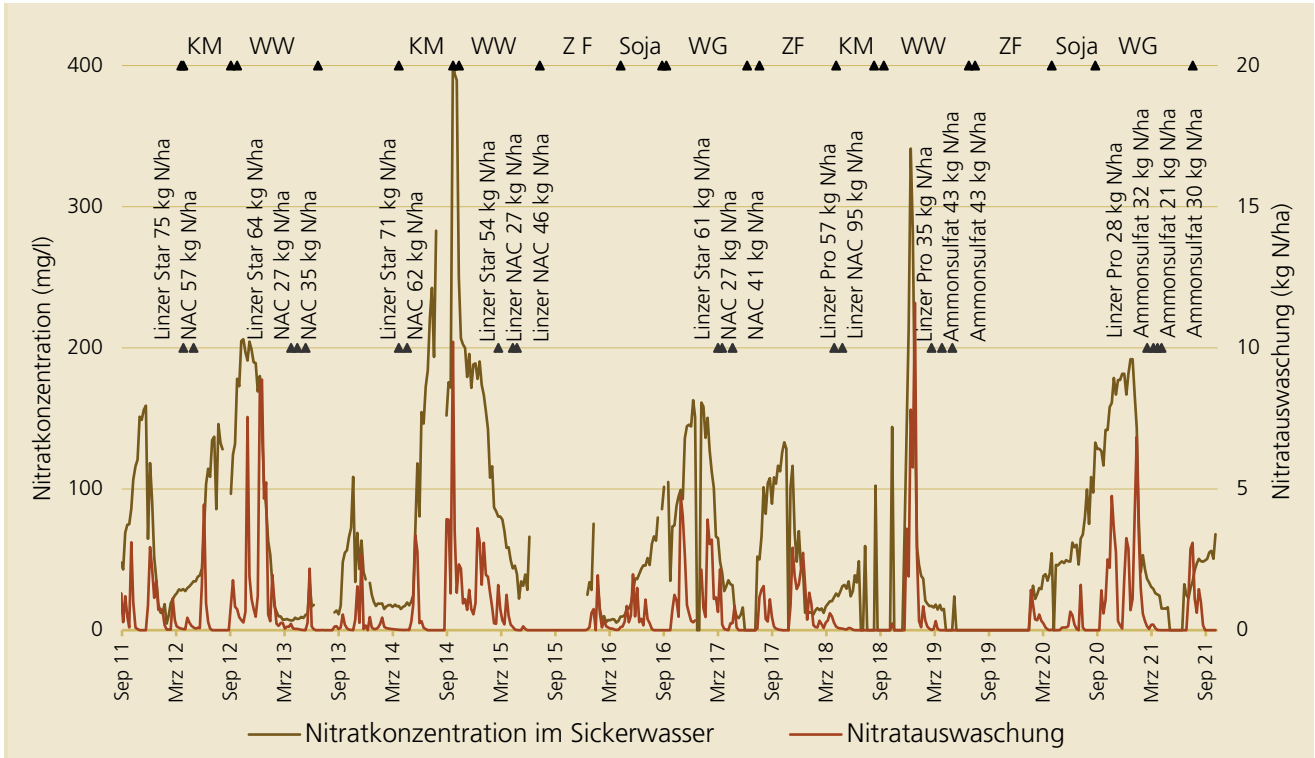


Abb. 5-24: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (seichtgründig)

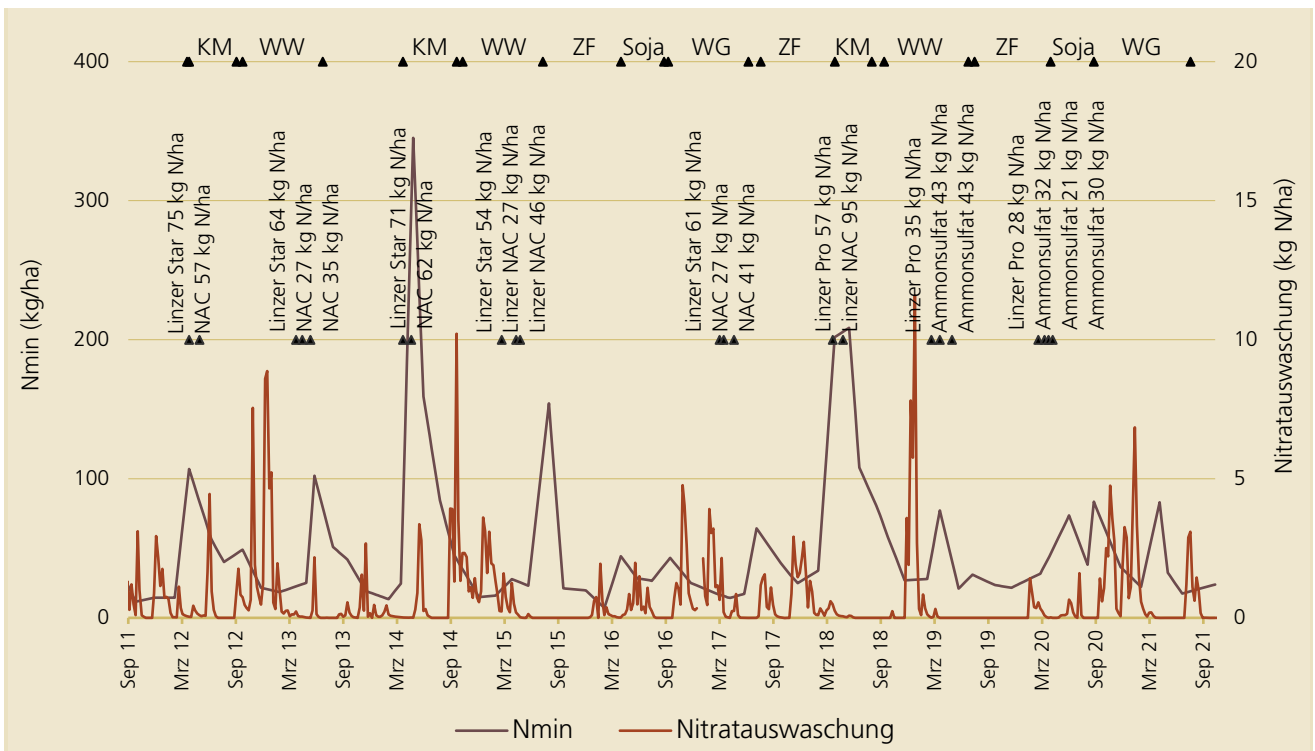


Abb. 5-25: Nitratauswaschung und  $N_{min}$ -Gehalte des Bodens (seichtgründig)

## 5.8 NitratAuswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg

### 5.8.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

In Schwertberg fielen im hydrologischen Jahr 2020/21 in Summe 728 mm Niederschlag (Abb. 5-26). So wie auf den anderen Standorten fielen die größten Niederschlagsmengen im Juli und August.

Die Sickerwasserbildung erfolgte bei beiden Lysimetern hauptsächlich im Jänner, gefolgt von August, Februar und im November des Vorjahres. Während des Sommers, wo die Niederschläge recht beachtlich waren, tritt nur vergleichsweise wenig bis gar kein Sickerwasser auf, besonders im Juli und Mai. Das angebaute Wintergetreide Triticale dürfte während des Sommers das Niederschlagswasser fast zur Gänze verbraucht haben, sodass kaum Sickerwasser gebildet wurde. Im Vergleich der beiden Lysimeter in Schwertberg ist die Sickerwassermenge bei mgSBg mit gestörtem Bodenaufbau mit 175 mm um 44 mm höher als beim Lysimeter mit ungestörtem Bodenaufbau (131 mm). Die gemessene Sickerwassermenge entspricht bei mgSBg gestörtem Bodenaufbau rund 24%, und bei mgSBu (ungestört) 18% der Niederschlagssumme.

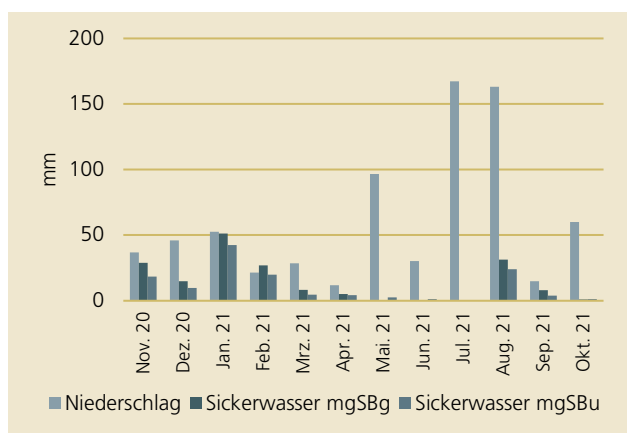


Abb. 5-26: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (mittelgründig)  
mgSBg=gestört, mgSBu=ungestört

### 5.8.2 Sickerwassermenge, NitratAuswaschung und -konzentration im Sickerwasser

Die ausgewaschene Nitratmenge ist bei den beiden Lysimetern fast ident. Während beim Lysimeter mit gestörtem Bodenaufbau mgSBg 7 kg N/ha ausgewaschen wurden, waren es beim mgSBu (ungestörter Bodenaufbau) 9 mg N/ha (vgl. Abb. 5-27 und Abb. 5-28). Dafür verantwortlich sind hauptsächlich die höheren Nitratkonzentrationen im Winter 2020/21 bei mgSBu. Im Durchschnitt über das hydrologische Jahr 2019/20 wurden beim Lysimeter mgSBg eine Nitratkonzentration von 18 mg/l erreicht. Im Vergleich dazu betrug die Konzentration beim Lysimeter mgSBu 32 mg/l (Abb. 5-29, Abb. 5-30).

Die Werte liegen somit im Durchschnitt der Beobachtungen der letzten Jahre (vgl. Abb. 5-29 und Abb. 5-30).

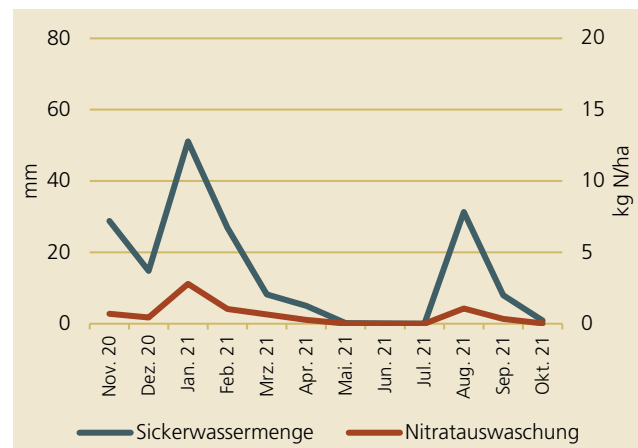


Abb. 5-27: Monatliche Sickerwassermenge und NitratAuswaschung (mittelgründig) mgSBg



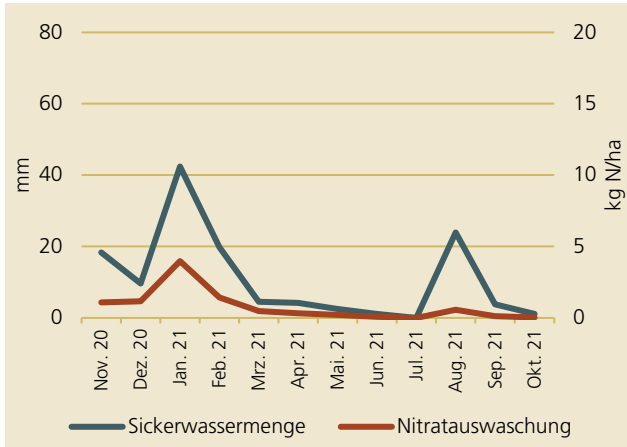


Abb. 5-28: Monatliche Sickerwassermenge und Nitrat auswaschung (mittelgründig) mgSBu

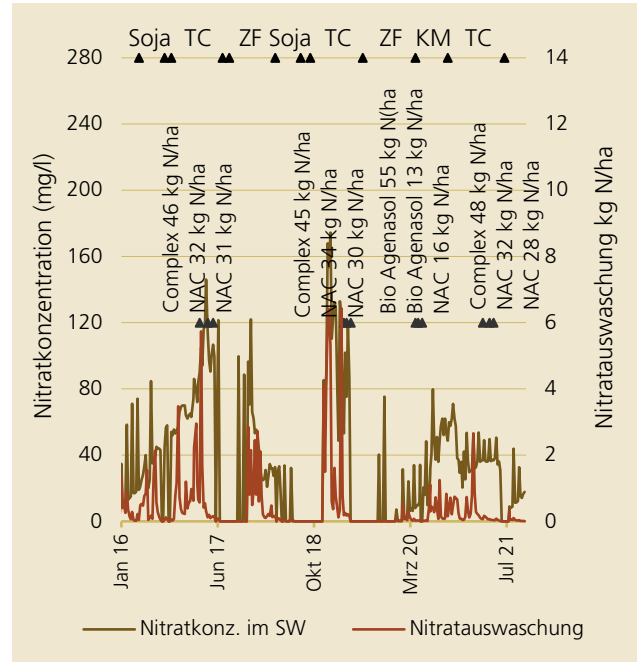


Abb. 5-30: Nitratkonzentration und Nitrat auswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) mgSBu

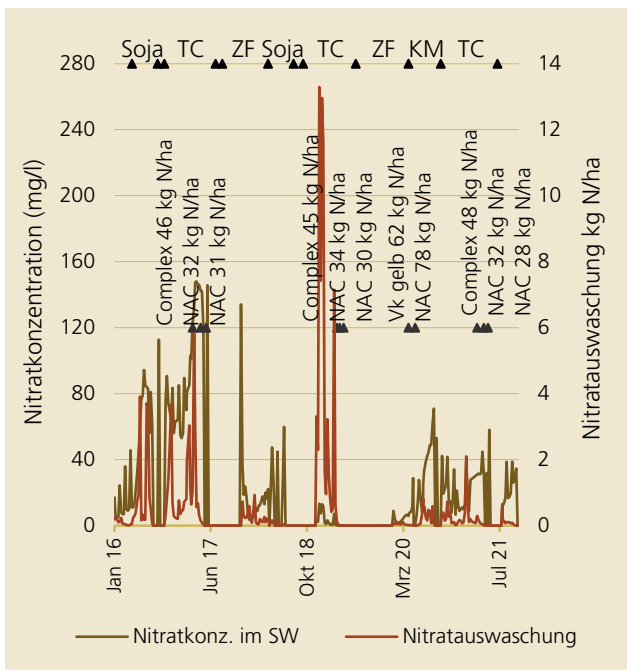


Abb. 5-29: Nitratkonzentration und Nitrat auswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) mgSBg

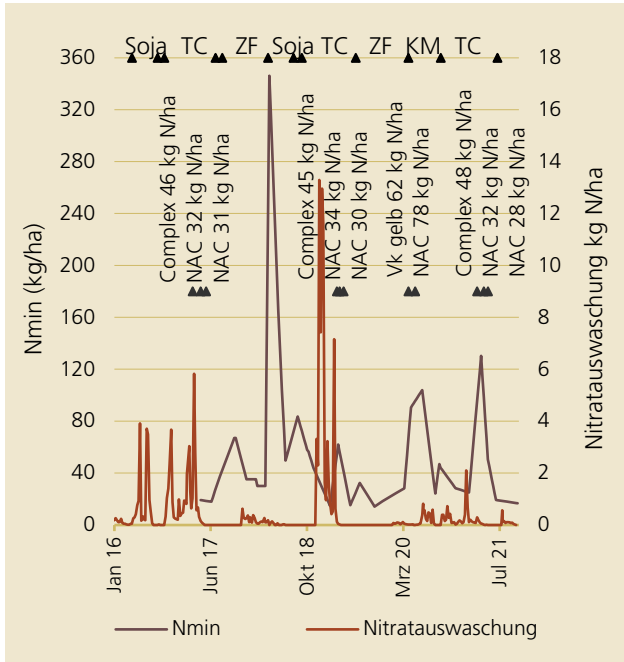


Abb. 5-31:  $N_{min}$ -Gehalt des Bodens (ab April 2017) und Nitrat auswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) mgSBg

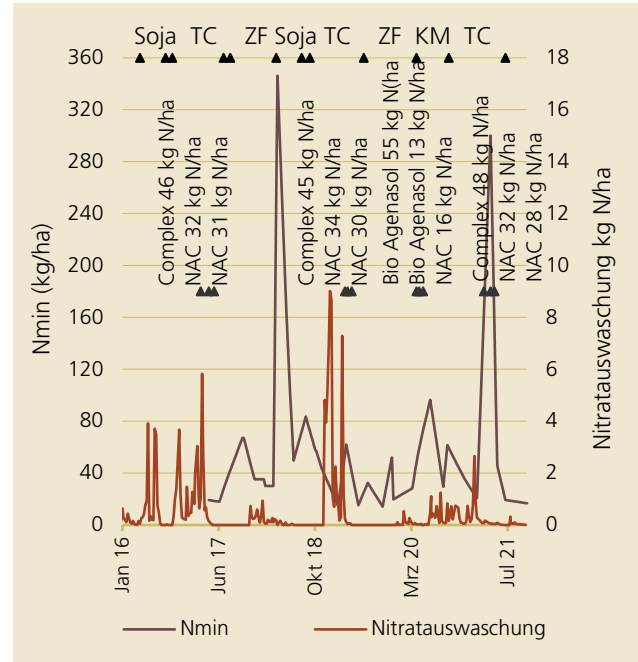


Abb. 5-32:  $N_{min}$ -Gehalt des Bodens (ab April 2017) und Nitrat auswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) mgSBu

### 5.9 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 735 bzw. 728 mm weit unter den Werten von Eberstallzell (996 mm) und Pettenbach (1.058 mm) liegt (Abb. 5-33).

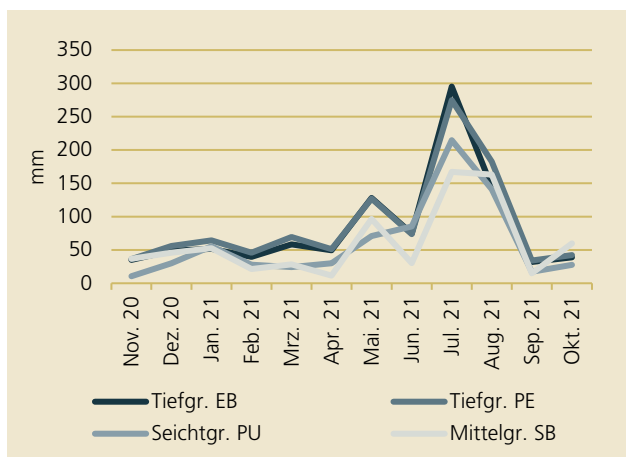


Abb. 5-33: Monatliche Niederschlagssummen

Tab. 5-5: Sickerwassermengen und durchschnittliche Nitratkonzentration vom 01.11.20 bis 31.10.21

	SW [mm]	NO <sub>3</sub> -Kon. [mg/l]
Tiefgr. EB	185	56
Tiefgr. PE	576	40
Seichtgr. PU	286	78
Mittelgr. SB gestört	175	18
Mittelgr. SB ungestört	131	32

Die mit Abstand höchste jährliche Sickerwassermenge wurde in Pettenbach mit 576 mm gemessen, an zweiter Stelle steht Pucking mit 286 mm. Die geringste Sickerwassermenge fiel bei den beiden Lysimeter in Schwertberg an. Dort wurden Mengen von 175 mm und 131 mm (gestört und ungestört) gemessen (Tab. 5-5).

Der Verlauf der Sickerwassermengen ist auf allen Standorten recht ähnlich, mit Ausnahme von Pettenbach, wo auch im März und Mai erhebliche Mengen anfielen, während auf allen anderen Standorten kaum Sickerwasser gemessen wurde. Es muss dabei jedoch berücksichtigt werden, dass in Pettenbach heuer die einzige Sommerkultur angebaut war, welche erst im April angebaut wurde und demnach der Niederschlag im März und Mai nicht von den Pflanzen aufgenommen werden konnte (Abb. 5-34).

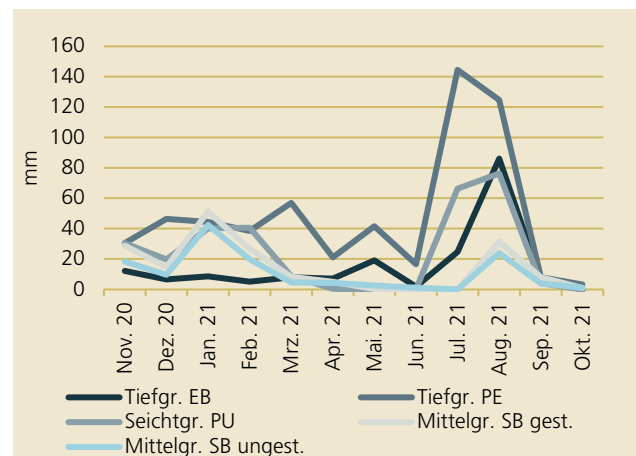


Abb. 5-34: Monatliche Sickerwassermengen

Die höchste durchschnittliche Nitratkonzentration wurde am seichtgründigen Standort in Pucking mit 78 mg NO<sub>3</sub>/l beobachtet, gefolgt vom tiefgründigen Standort in Eberstallzell mit 56 mg NO<sub>3</sub>/l (Tab. 5-5). Beide überschreiten im Durchschnitt den Grundwasserswellenwert von 45 mg NO<sub>3</sub>/l. In Pettenbach beträgt die durchschnittliche Konzentration 40 mg NO<sub>3</sub>/l und in Schwertberg beim Lysimeter mit ungestörtem Bodenaufbau 32 mg NO<sub>3</sub>/l. Die niedrigste

Konzentration findet sich heuer in Schwertberg beim Lysimeter mit gestörtem Bodenaufbau.

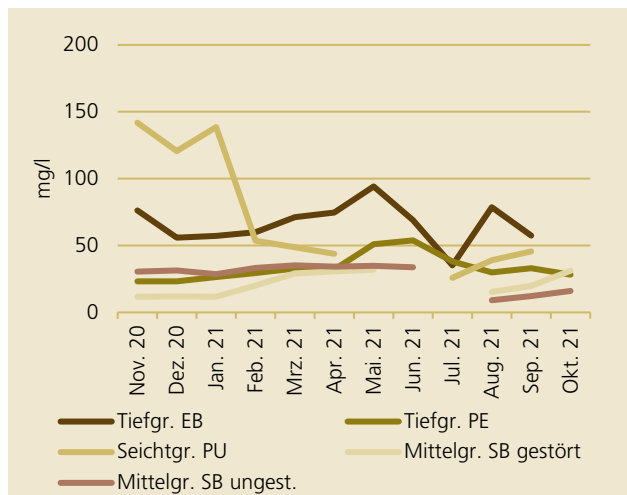


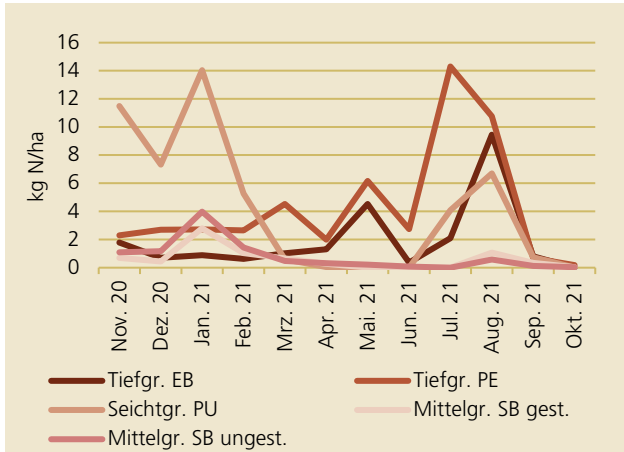
Abb. 5-35: Durchschnittliche monatliche Nitratkonzentrationen

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 ist die Nitratkonzentration nach der Sojaernte im Vorjahr bereits während des Winters 2020/21 hoch und startet bereits im November 2020 mit dem Höchstwert von 142 mg NO<sub>3</sub>/l. Im Laufe der Vegetationsperiode sinken die Werte auf unter 45 mg NO<sub>3</sub>/l. Am tiefgründigen Standort in Eberstallzell nimmt die Konzentration von Dezember bis Mai stetig zu und nimmt danach wieder ab. Der Höchstwert wird im Mai mit 94 mg NO<sub>3</sub>/l erreicht. Am tiefgründigen Standort in Pettenbach bleiben die Sickerwasserkonzentration von November bis April relativ konstant bei ca. 30 mg NO<sub>3</sub>/l. Im Mai und Juni allerdings erreichen sie knapp über 50 mg NO<sub>3</sub>/l und nehmen danach wieder ab. Dieser Verlauf zeigt ein für Körnermais typisches Bild, das so auch in den vergangenen Jahren auf den tiefgründigen Standorten beobachtet werden konnte. In Schwertberg bleibt die monatliche Nitratkonzentration bei beiden Lysimetern recht konstant und stets unter dem Grundwasserschwellenwert von 45 mg NO<sub>3</sub>/l. Nach der Ernte im Juli wurde eine

Begrünung angebaut, wodurch die Konzentrationen noch weiter zurückgingen. (vgl. Abb. 5-35).

Die geringste Nitratauswaschung erfolgte in Schwertberg beim Lysimeter mit gestörtem Bodenaufbau (7 kg N/ha), dicht gefolgt vom Lysimeter mit ungestörtem Bodenaufbau (9 kg N/ha). Eberstallzell liegt mit 25 kg N/ha im Mittelfeld. Die größten Auswaschungen wurden in Pettenbach (52 kg N/ha) und Pucking (50 kg N/ha) gemessen (33 kg N/ha; vgl. Abb. 5-36).

Was bei fast allen Standorten gleich ist, ist der Zeitpunkt der größten Nitratauswaschung. Diese erfolgte hauptsächlich in den Sommermonaten, mit Ausnahme von Pucking, wo auch während des Winters 2020/21 eine beachtliche Menge an Stickstoff verloren ging. Dafür verantwortlich waren die hohen Nitratkonzentrationen im Sickerwasser, welche sich nach der Ernte der Vorfrucht bildeten. Solch ein Verlauf ist entsprechend der Beobachtungen aus den vergangenen Jahren für den seichtgründigen Standort auch typisch. Die hohen Austragsmengen im Sommer besonders in Pettenbach und Eberstallzell ist einerseits auf die großen Sickerwassermengen und andererseits auf die hohen Nitratkonzentrationen in diesem Zeitraum zurückzuführen. Für Sommerkulturen wie Körnermais ist dieser Verlauf typisch. Je nachdem, wann die starken Niederschläge auftreten, ist die ausgeprägte Auswaschungsspitze zwischen Mai und Juli zu finden. Auch bei Wintergetreide konnte in der Vergangenheit immer eine Auswaschungsspitze nach der Ernte im August beobachtet werden, aber heuer ist sie in Eberstallzell mit 10 kg N/ha besonders stark ausgeprägt. Es wurde zwar anschließend eine Zwischenfrucht angebaut, dieser ist es aber zu dem Zeitpunkt noch nicht möglich den Stickstoff zu binden. Auffällig ist, dass in Eberstallzell kein nennenswerter Nitrataustrag während des Herbst/Winters nach dem Anbau stattfand. In Schwertberg fiel generell sehr wenig Sickerwasser an und von Mai bis Juli fast gar keines, wodurch in diesem Zeitraum auch keine nennenswerte Nitratauswaschung stattfand.



In Summe wurde während des Messzeitraums seit September 2001 bis November 2020 am seichtgründigen Standort mit 860 kg N/ha am meisten Stickstoff in Form von Nitrat ausgewaschen (Abb. 5-37). Am tiefgründigen Standort in Eberstolz waren es mit 558 kg N/ha etwa ein Drittel weniger, am tiefgründigen Standort in Pettenbach mit 421 kg N/ha etwas weniger als die Hälfte. Am neu hinzugekommenen Standort in Schwertberg wurden von Jänner 2017 bis November 2020 in Summe 141 kg N/ha (gestört) bzw. 123 kg N/ha (ungestört) ausgewaschen.

Abb. 5-36: Monatliche Nitratauswaschung

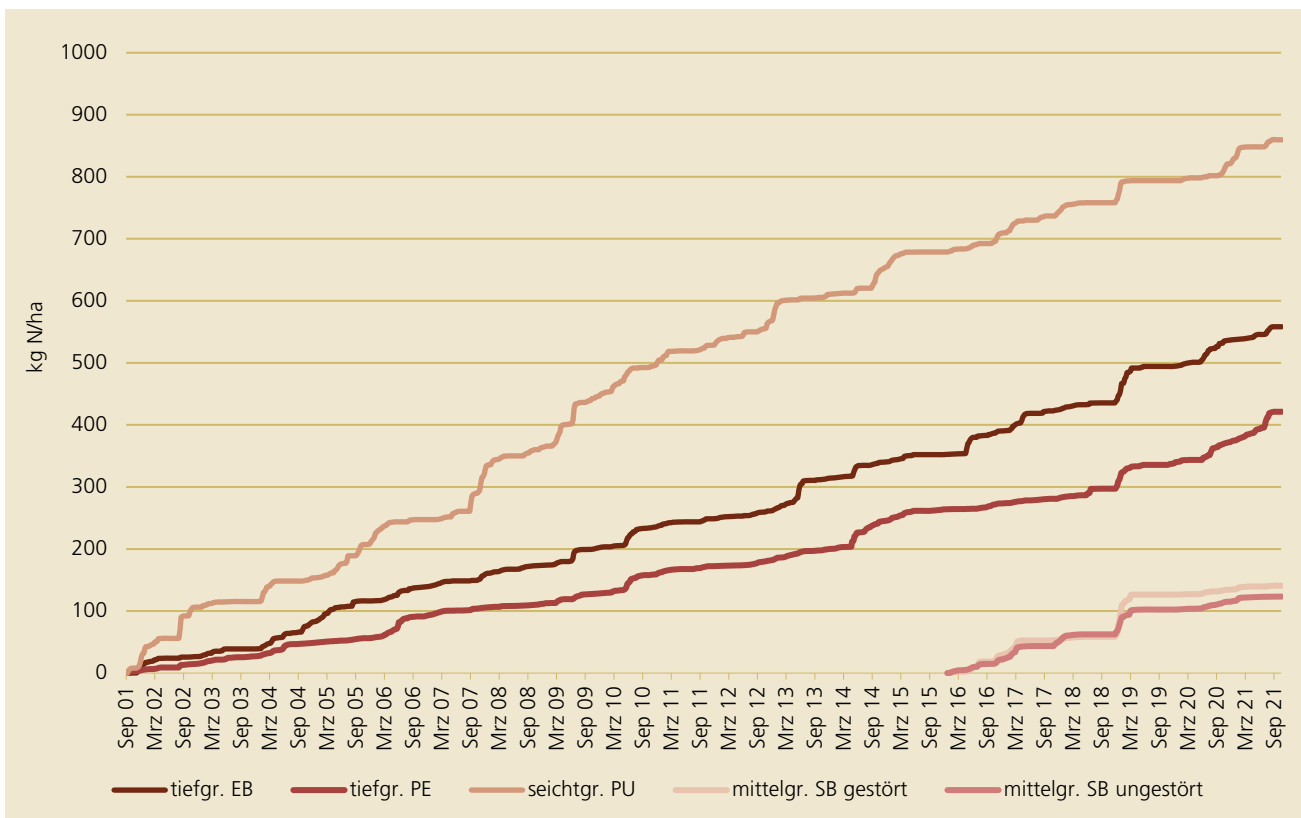


Abb. 5-37: Summe der als Nitrat ausgewaschenen Stickstoffmenge an den vier Standorten

### 5.10 Einfluss des Stickstoffsaldos auf die Nitratverlagerung

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

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

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

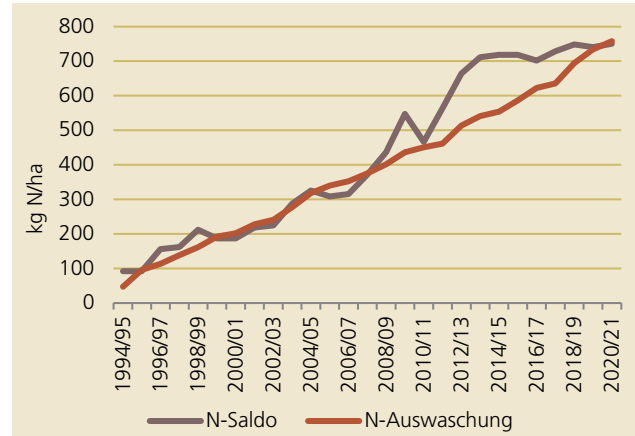


Abb. 5-38: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Eberstalzell

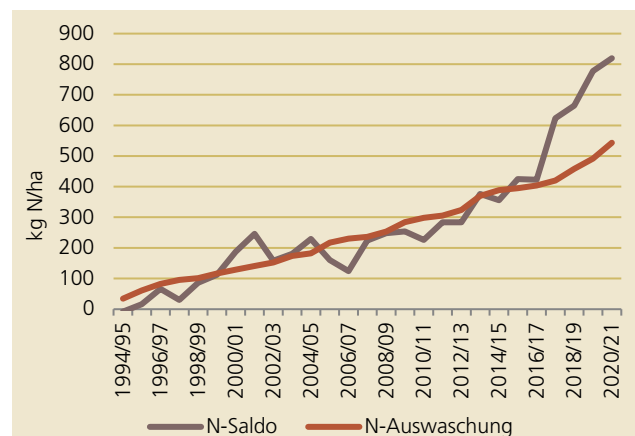


Abb. 5-39: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Pettenbach

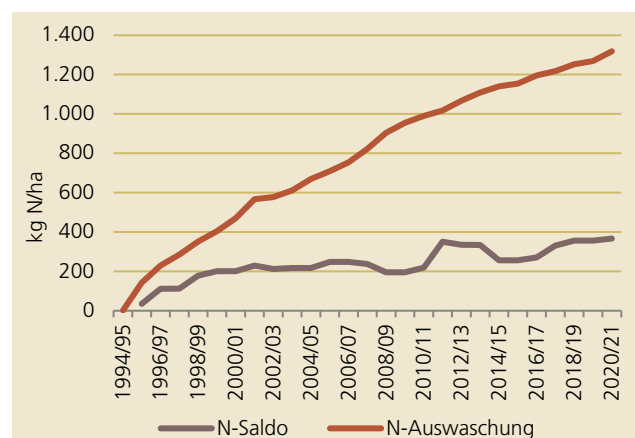


Abb. 5-40: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Pucking

### 5.11 Phosphorbilanzen

In Eberstälzell erfolgte die Phosphorzufuhr in Form von Schweinegülle am 04.03.2021 mit 56 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. In Pucking erfolgte eine mineralische Phosphordüngung am 03.03.2021 mit 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. In Schwertberg und in Pettenbach wurde kein Phosphor gedüngt.

Die Phosphorbilanz ist in Eberstälzell ausgeglichen und in Pucking mit ca. -20 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha negativ. Auf den beiden anderen Standorten ist der Phosphorsaldo stark negativ, da keine Düngung stattfand (Tab. 5-6).

Die Ergebnisse der Bilanzen für die Ernteabfuhr zwischen den Lysimeterflächen und den Mittelwerten sind auf allen Standorten nahezu identisch.

Tab. 5-6: Phosphorbilanzen für das Erntejahr 2020

	Tiefgr. Standort in Eberstälzell 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	56		0		40		0
Entzug durch die Pflanzen	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW	MW
Entzug durch das Korn	54	54	100	127	64	61	60
Entzug durch das Stroh	11	9	21	10	7	8	14
Summe Entzug	65	63	121	137	71	69	74
Abfuhr durch Ernte	54	54	100	127	64	61	60
Bilanz Korn	2	2	-100	-127	-24	-21	-60
Bilanz Korn + Stroh	-9	-7	-121	-137	-31	-29	-74
Bilanz Ernte	2	2	-100	-127	-24	-21	-60

### 5.12 Phosphatauswaschung

Der jahreszeitliche Verlauf der Phosphatauswaschung im Jahr 2020/21 folgt im Wesentlichen dem Sickerwasseranfall (Abb. 5-41). So ist in Schwertberg die Auswaschungsspitze im Jänner/Februar zu finden und in Eberstallzell, Pettenbach und Pucking im August. Das größte Maximum wurde in Pettenbach mit 0,032 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha im August beobachtet, dicht gefolgt von Eberstallzell (0,031 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha) und Pucking (0,028 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha). Von März bis Juni bleiben die Auswaschungen auf allen Standorten auf niedrigem Niveau, da kaum Sickerwasser anfällt.

Die Auswaschungsspitzen können zeitlich mit den Niederschlagsereignissen und dem daraus folgendem

Sickerwasseraustritt in Zusammenhang gebracht werden (Abb. 5-42 bis Abb. 5-44).

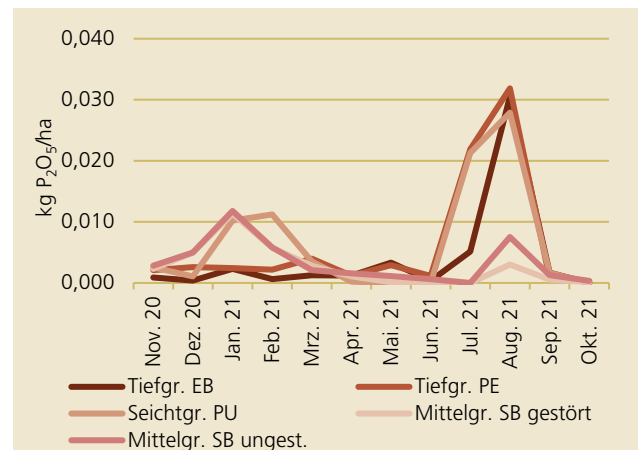


Abb. 5-41: Monatliche Phosphatauswaschung

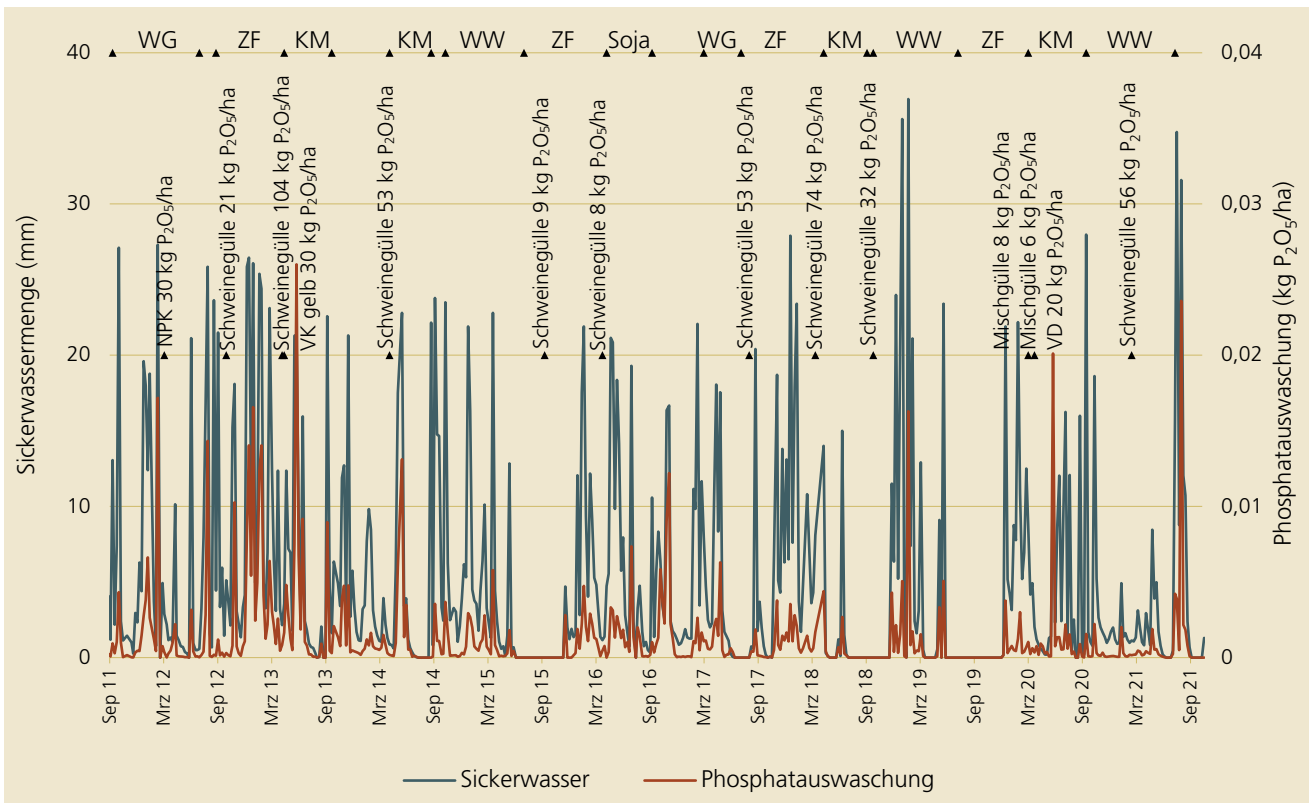


Abb. 5-42: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstallzell



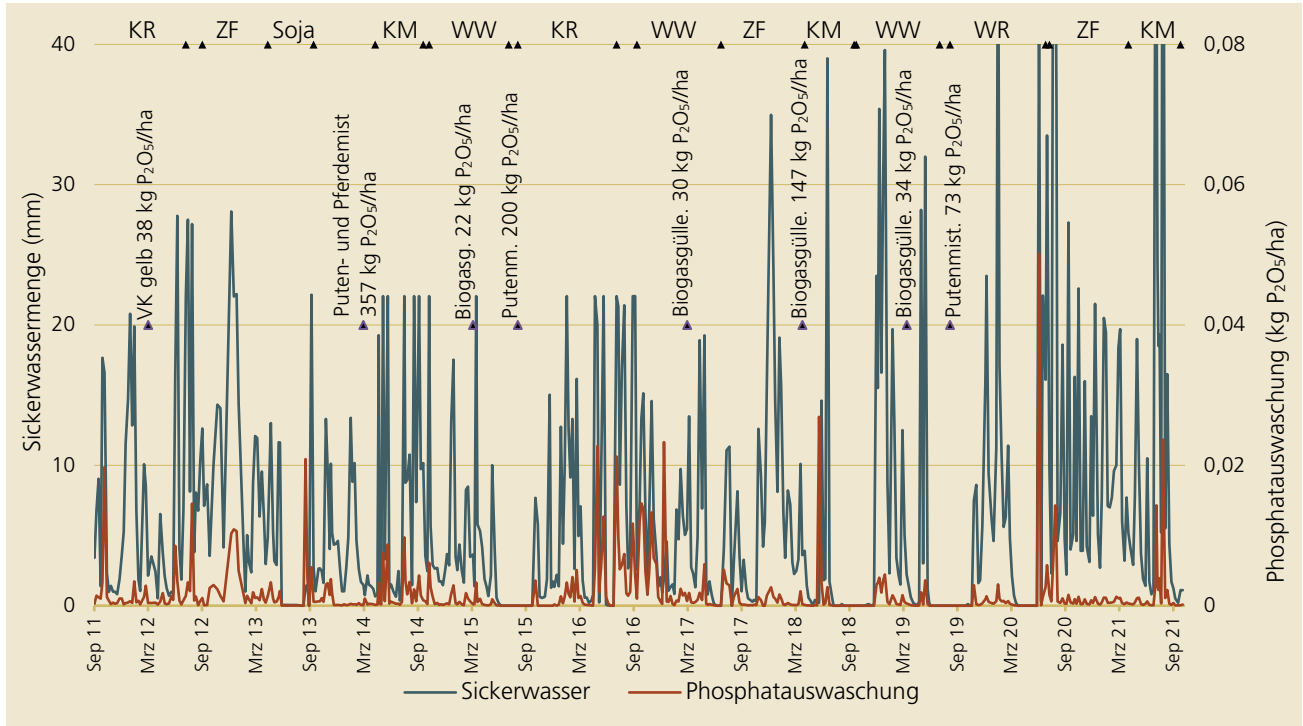


Abb. 5-43: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach

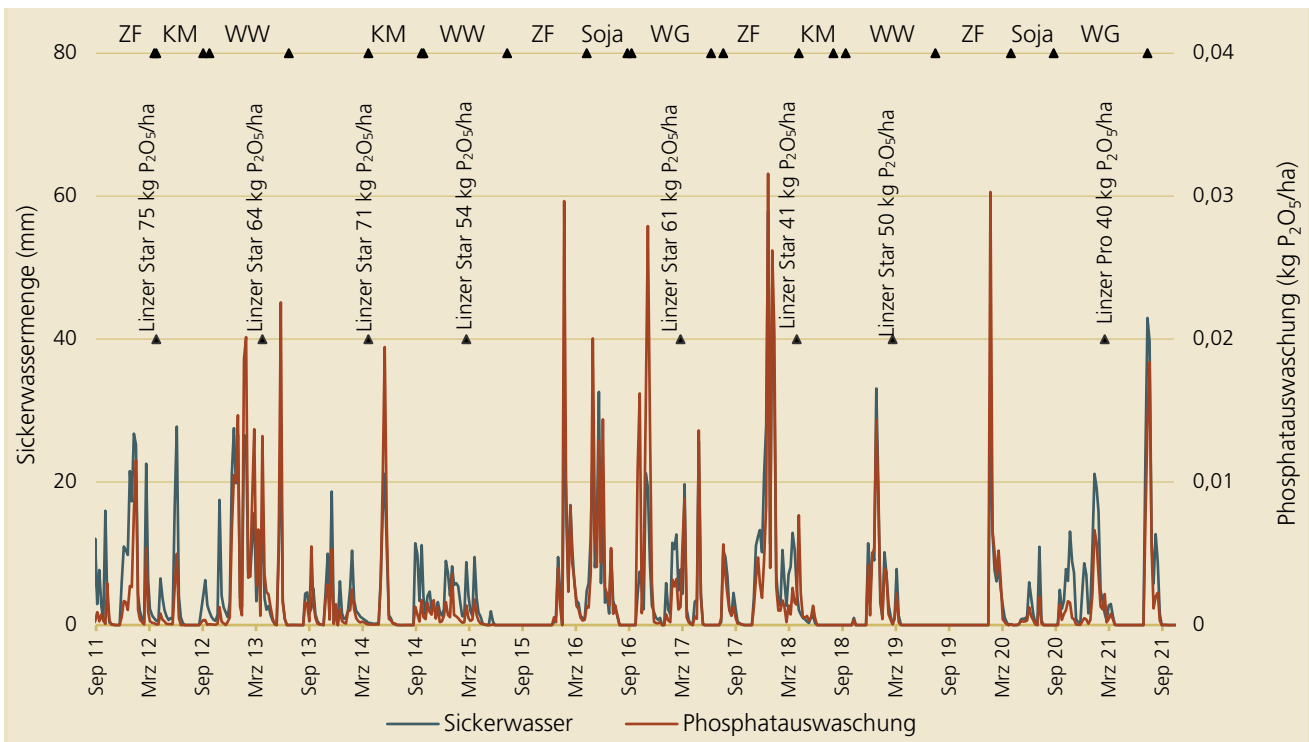


Abb. 5-44: Phosphatauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking

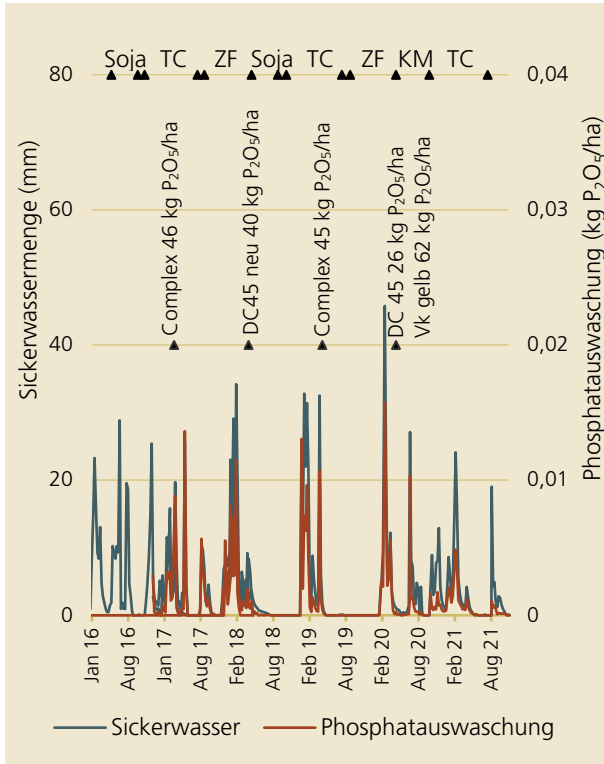


Abb. 5-45: Phosphatauswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg (gestörter Bodenaufbau)

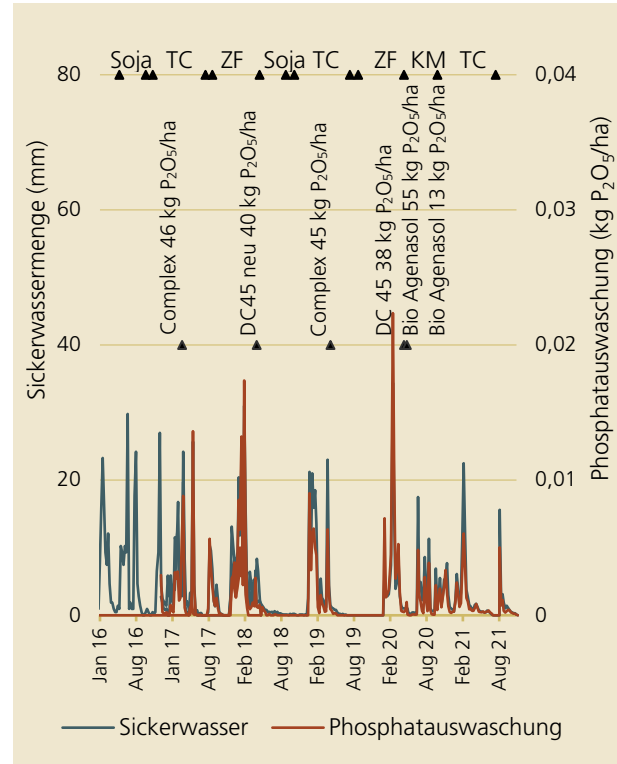


Abb. 5-46: Phosphatauswaschung mittelgründigen Standort in Schwertberg (ungestörter Bodenaufbau)

In Summe waren die P-Verluste mit dem Sickerwasser im hydrologischen Jahr 2020/21 im Verhältnis zu den bei der Düngung eingesetzten P-Mengen verschwindend klein (Tab. 5-7). Die durchschnittliche Phosphatkonzentration im Sickerwasser lag in diesem Jahr auf allen 4 Standorten weit unter dem Grundwasserschwel­lenwert von 0,3 mg PO<sub>4</sub>/l.

Seit Beginn der Messreihe wurden am tiefgründigen Standort in Eberstalzell insgesamt 1,27 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha ausgewaschen und am tiefgründigen Standort in Pettenbach 1,61 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. Am seichtgründigen Standort wurde seither in etwa die doppelte Menge von Eberstalzell, nämlich 2,38 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha ausgewaschen (Abb. 5-47). Am Standort in Schwertberg wurde seit Jänner 2016 0,21 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha beim Lysimeter mit gestörtem Bodenaufbau und 0,27 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 2020/21 im durchschnittlichen Bereich. In Schwertberg fehlen dazu noch die langjährigen Beobachtungen, aber im Vergleich zu den Vorjahren wurde 2020/21 etwas weniger Phosphor in die Tiefe verlagert.

Tab. 5-7: Sickerwasser, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Verluste und mittlere PO<sub>4</sub>-Konzentration im Sickerwasser vom 01.11.20 bis 31.10.21

	SW [mm]	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - Verlust [kg/ha]	PO <sub>4</sub> -Kon. [mg/l]
Tiefgr. EB	185	0,048	0,034
Tiefgr. PE	579	0,073	0,017
Seichtgr. PU	286	0,079	0,037
Mittelgr. SB gestört	175	0,032	0,024
Mittelgr. SB ungestört	131	0,040	0,041

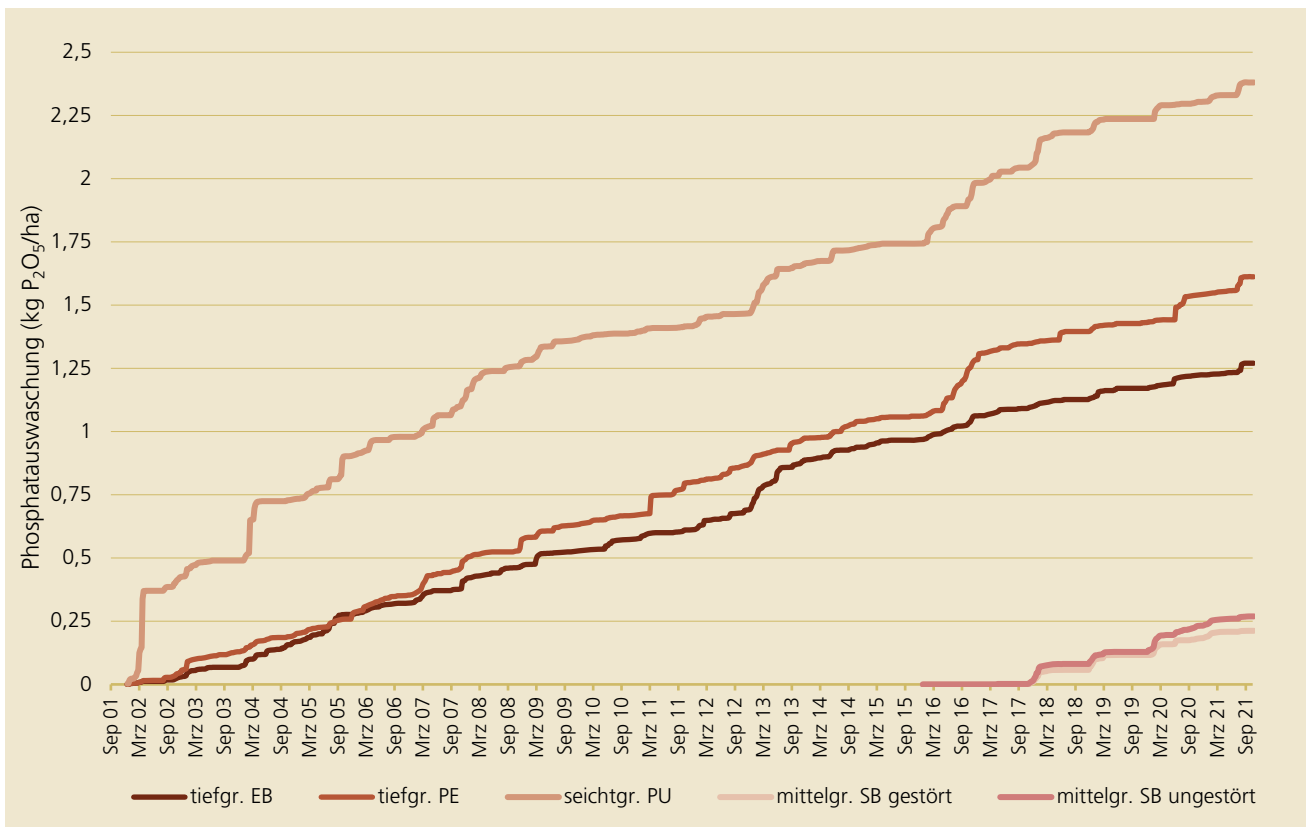


Abb. 5-47: Summe der ausgewaschenen P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Menge

## 6 Hydrographische Auswertung der UZ-Messstelle Pettenbach

### 6.1 Allgemeines

Seit 2013 ist die hydrographische Messstelle der Unge-sättigten Zone (UZ-Messstelle) Pettenbach in Betrieb. Sie besteht aus einem mit Gipsblöcken, Tensiometern (für die Saugspannungsmessung), Temperatursensoren und Wassergehaltssensoren in der 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) 9-jährige Laufzeit der verschiedenen Geber erlaubt eine vergleichende Gegenüberstellung des Jahres 2021 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 (2020, blau) und das Bearbeitungsjahr (2021, rot) farblich auseinandergelassen werden können.

In Abb. 6-1 bis Abb. 6-3 werden solcherart die **Niederschlags- und Temperaturverhältnisse**, teilweise inkl. der Vergleichsmessstelle in Vorchdorf, dargestellt. 2021 war ein insgesamt mittelfeuchtes Jahr mit sehr trockenem April und sehr nassem Juli. Das trockene Frühjahr ist in Vorchdorf stärker ausgeprägt als in Pettenbach, sodass in Vorchdorf am 22.Juni mit insgesamt bis dahin nur 290 mm Niederschlag die geringste Niederschlagssumme seit 1981 erreicht wurde.

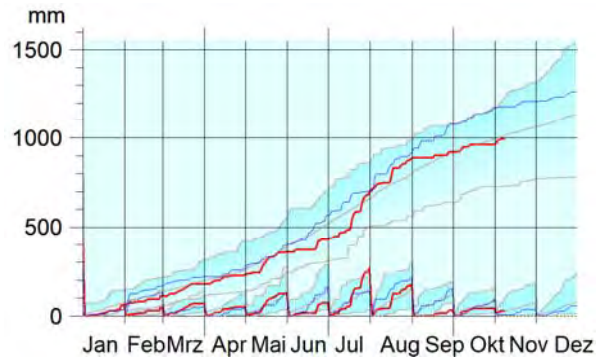


Abb. 6-1: Niederschlags-Jahres- und Monatssummenlinien 2020 (blau) und 2021 (rot) in Pettenbach

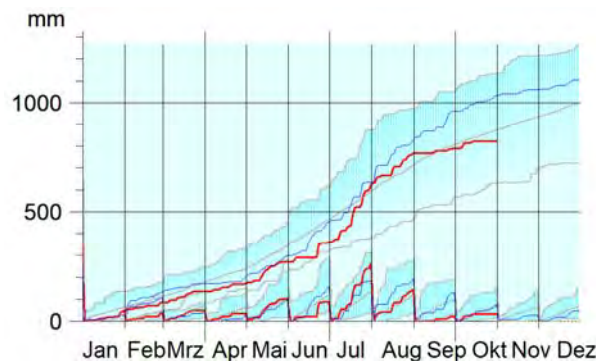


Abb. 6-2: Niederschlags-Jahres- und Monatssummenlinien 2020 (blau) und 2021 (rot) in Vorchdorf

Die Lufttemperaturen (Abb. 6-4) zeigen eine deutlich geringere Jahres-(genauer November-) Summe als 2020, wobei das 1. Quartal, insbesondere April und Mai außergewöhnlich kühl, der Juni hingegen deutlich überdurchschnittlich warm und wärmer als Juli und August war. Dieses kühle Frühjahr drückte die Temperatursummenlinie unter den Durchschnitt.

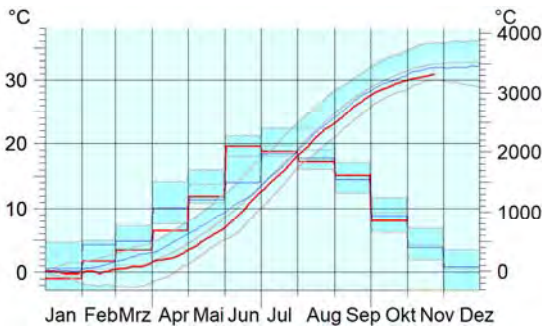


Abb. 6-3: Lufttemperatur-Jahres- und Monatssummenlinie und Monatsmittel 2020 (blau) und 2021 (rot) in Pettenbach

**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. 2021 war das Frühjahr mäßig hell, der April (im Gegensatz zu 2020) extrem dunkel, ehe sich der Juni als der hellste je seit 2013 beobachtete Monat zeigte, gefolgt von einem extrem trübem Julibeginn, danach wieder mehr Sonnenschein als üblich mit einem extrem sonnenreichen September. Auffallend die starke Wechselhaftigkeit in der Strahlung und der Luftfeuchte, bei welcher der trockene April- und Junibeginn auffallen. Der Wind war bis auf April und vor allem Mai deutlich geringer als 2020 und insgesamt knapp unter der saisonalen mittleren Windgeschwindigkeit.

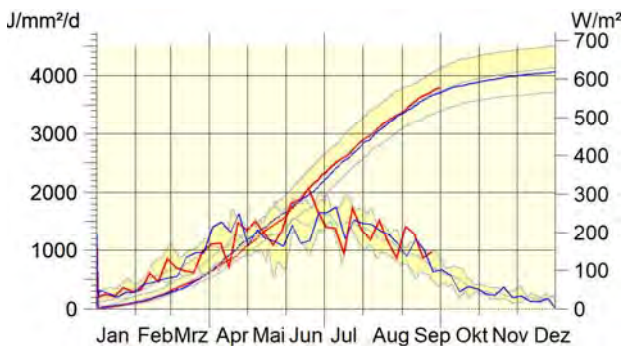


Abb. 6-4: Globalstrahlungs-Jahressummenlinie und Wochenmittel 2020 (blau) und 2021 (rot) der Station Pettenbach

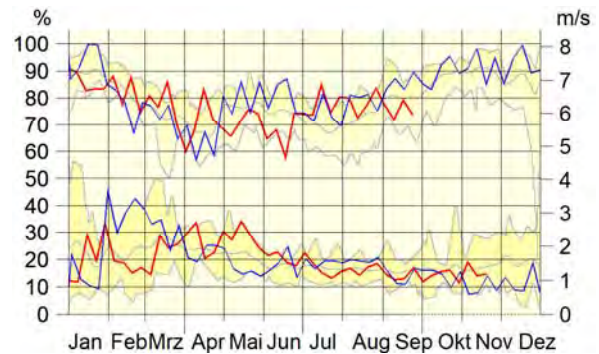


Abb. 6-5: Luftfeuchte- (oben) und Windgeschwindigkeits- (unten) Wochenmittel 2020 (blau) und 2021 (rot)

### 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 Eberstallzell zu geringe noch die in Pettenbach zu hohe Versickerung regionale Verhältnisse wiederzugeben. Auch ist bei schweren Böden das direkte Durchsickern der Mai- und Juli-Niederschläge nicht sehr wahrscheinlich. In Pettenbach versickern 280 l von Mitte Juli bis Mitte August. Das kann durch Trockenrisse und bevorzugte Fließwege im Lysimeter verursacht worden sein.

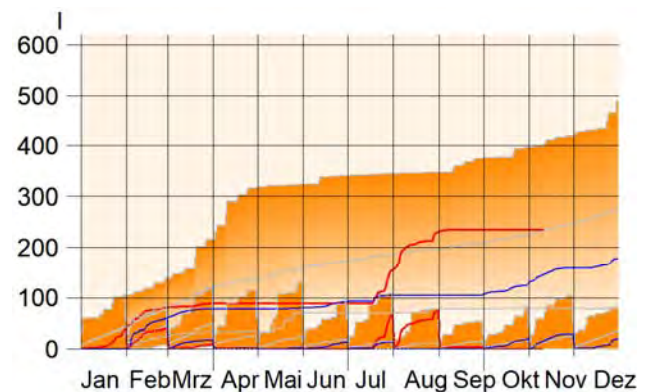


Abb. 6-6: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pucking 2020 (blau) und 2021 (rot)

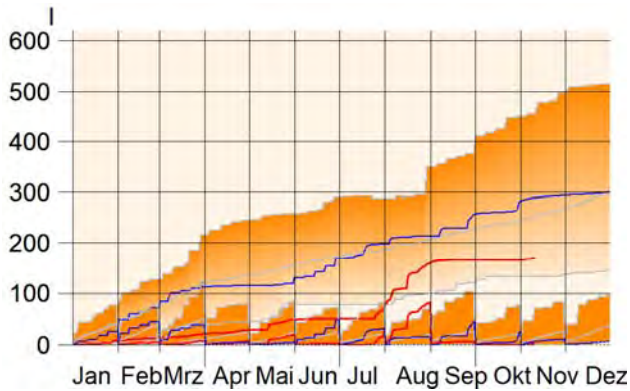


Abb. 6-7: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Eberstalzell 2020 (blau) und 2021 (rot)

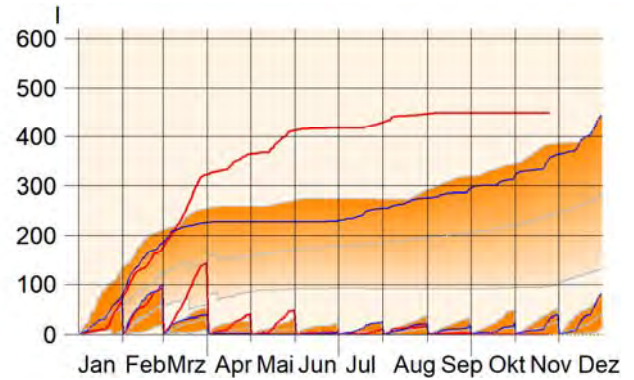


Abb. 6-9: berechnete Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pettenbach 2020 (blau) und 2021 (rot)

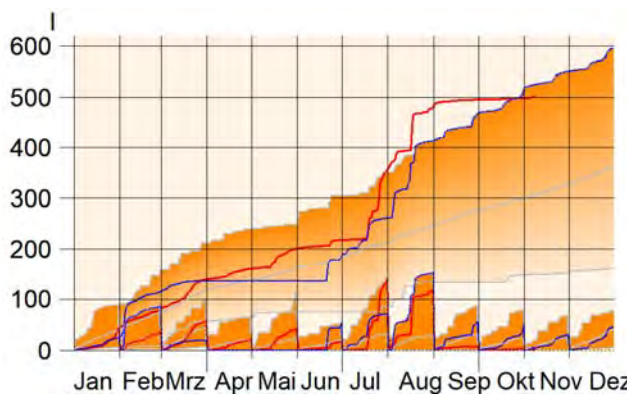


Abb. 6-8: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pettenbach 2020 (blau) und 2021 (rot)

Mithilfe der  $k_u$ -Funktion (Wasserleitfähigkeit im ungesättigten Zustand) lassen sich aus den Saugspannungsgradienten die Grundwasserneubildungen berechnen. Abb. 6-9 stellt die berechnete Grundwasserneubildung in Pettenbach als Jahressummenlinie dar. Die  $k_u$ -Funktion wird aus den Messdaten gewonnen. Sie kann entweder mit einem tiefen Matrixpotential (Tiefe 5 oder 6) oder dem Wassergehalt skaliert werden. Jedoch reagiert weder der Wassergehalt noch das Matrixpotential in Tiefe 4, 5 oder 6 auf die Niederschläge im Juli oder August. Entsprechend dem Matrixpotentialniveau muss die berechnete maximale Versickerung somit im März stattfinden, was jedoch nicht mit den Grundwasserneubildungs-Messungen (Abb. 6-8) übereinstimmt.

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 deutlich niedriger als 2020. Das ist erklärbar durch die unstetige Niederschlagsverteilung mit langen Trockenphasen und Starkniederschlägen, den geringeren Wind und die geringere Strahlung in Monaten mit ausreichend Wasservorrat im Boden.

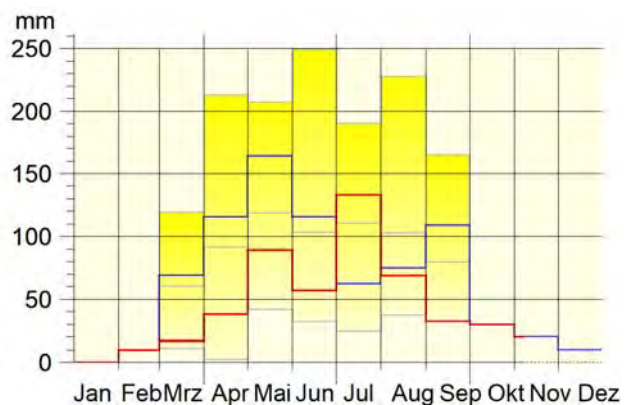


Abb. 6-10: Bilanzierte Verdunstungs-Monatssummen 2020 (blau) und 2021 (rot)

## 6.4 Bodenwasserverhältnisse

Für die Beobachtung der Bodenwasserverhältnisse im Jahr 2021 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 2020 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 4 Tages-Temperaturen (Abb. 6-11 und Abb. 6-12) im durchwurzelten Bereich des Profils (0-40cm) zeigen 2021 im Juni saisonale Maxima der Reihe ab 2013. Aber bereits im August (und davor im April) saisonale Minima. Sogar im Unterboden findet sich das saisonale Juni-Maximum, sowohl im Freiland als auch im Lysimeter.

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

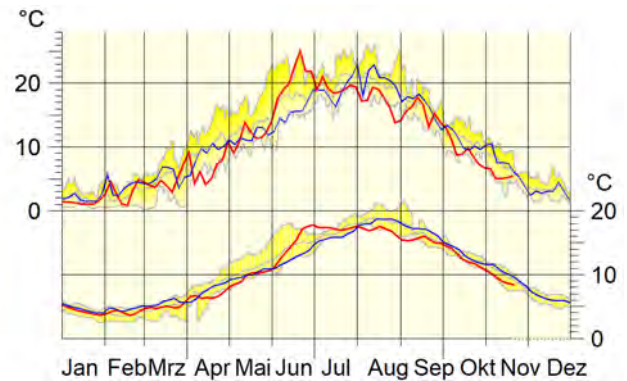


Abb. 6-11: Oberboden- und Unterbodentemperaturen 2020 (blau) und 2021 (rot) im Freiland

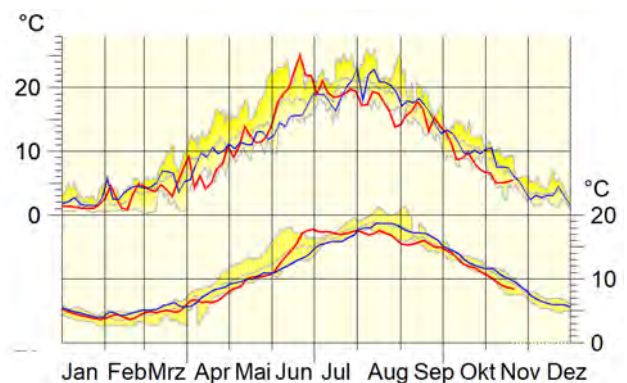


Abb. 6-12: Oberboden- und Unterbodentemperaturen 2020 (blau) und 2021 (rot) im Lysimeter

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. 2021 trat der Trockenstress im Mai und Juni vor dem Niederschlag und im September auf und zog sich bis in den Bereich unter der Durchwurzelung. Im Lysimeter sind die Spannungsspitzen im Oberboden häufiger und stärker ausgeprägt (mangels seitlichem Ausgleich zufolge Lysimeterwand), zeigen aber das gleiche saisonale Verhalten.

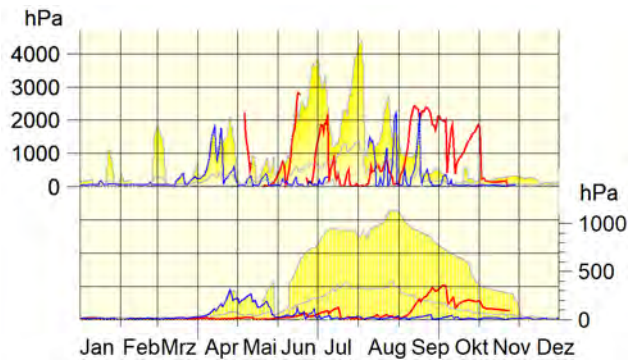


Abb. 6-13: Oberboden- und Unterbodensaugspannungen 2020 (blau) und 2021 (rot) im Freiland

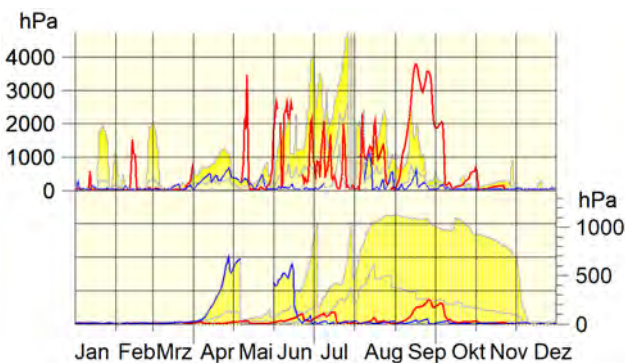


Abb. 6-14: Oberboden- und Unterbodensaugspannungen 2020 (blau) und 2021 (rot) im Lysimeter

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.

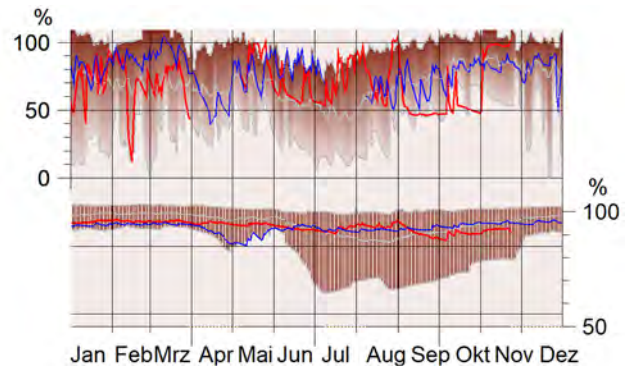


Abb. 6-15: SWI des durchwurzelten Bereiches (oben) und unterhalb der Durchwurzelungstiefe (unten) im Freilandprofil, 2020 (blau) und 2021 (rot)

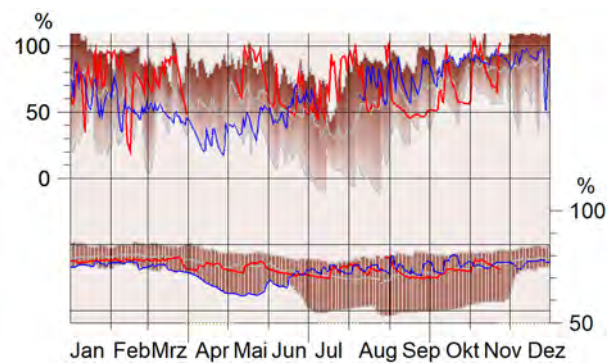


Abb. 6-16: SWI des durchwurzelten Bereiches (oben) und unterhalb der Durchwurzelungstiefe (unten) im Lysimeter, 2020 (blau) und 2021 (rot)

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 September-Austrocknung im Oberboden ein saisonales Minimum der ganzen Reihe. Im Spätsommer-Herbst sind die Unterboden-SWI-Linien knapp unter dem Mittelwert der Beobachtungsreihe ab 2013, sowohl im Lysimeter als auch im Freiland. Der Unterboden-SWI-Bereich des Lysimeters ist um rund 15% niedriger als im Freiland, weil im Lysimeter die 6. Messebene mit ihrem sich zu  $\frac{3}{4}$  der Gesamtreihe nur zwischen 90-100% bewegenden SWI fehlt.

Mehrjährige SWI-Charts zeigen den Zeit-Tiefe-Verlauf des soil-water-Index und erlauben somit den Vergleich der Jahre untereinander. Die Zeitreihe ab 2013 wurde



der besseren Sichtbarkeit wegen unterteilt in die beiden Abschnitte 2013-2017 und 2017-2021 (Abb. 6-17). Gut erkennbar sind die beiden Trockenjahre 2018 und 2019, nach denen der dunkelblaue Feldkapazitätsfarbton ( $\geq 100\%$ ) im Unterboden nicht mehr auftritt.

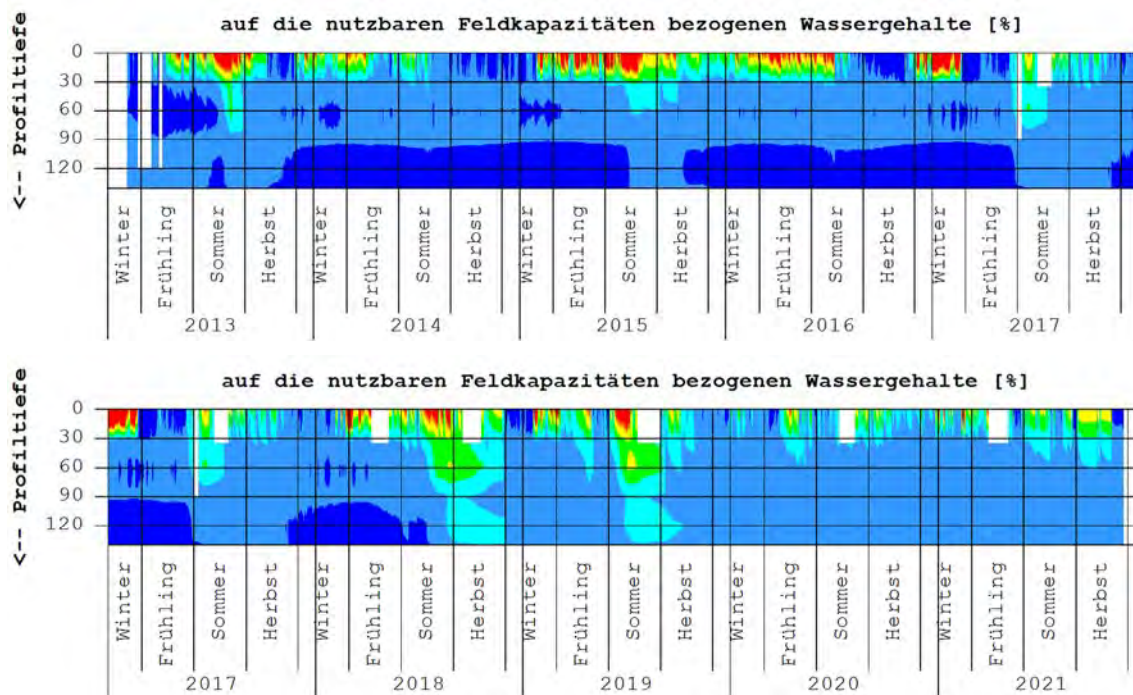


Abb. 6-17: Mehrjährige SWI Charts von 2013-2021 (dargestellte Wassergehalte: rot:  $<10\%$ , orange: 10-20%, gelb: 20-40%, grün: 40-60%, hellblau: 60-80%, mittelblau: 80-100%, dunkelblau:  $\geq 100\%$ )

## 7 Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Das hydrologische Jahr 2020/21 war von einem kühlen und trockenen Frühjahr und hohen Niederschlägen während des Sommers geprägt, welche unterschiedliche Auswirkungen auf die verschiedenen Kulturen und das Auswaschungsgeschehen hatten.

In Eberstanzell konnte wie auch bereits in mehreren Jahren zuvor beobachtet werden, dass die größten Nitratauswaschungen nach der Ernte des Wintergetreides auftreten. Also zu einem Zeitpunkt, wo keine Vegetation mehr vorhanden ist, die den überschüssigen Stickstoff binden könnte. Es wurde zwar nach der Ernte eine Zwischenfrucht angebaut, diese war heuer jedoch noch zu wenig entwickelt, um die Auswaschung zu verhindern. Sind die Niederschläge auch noch besonders hoch, so wie es im Jahr 2021 im August der Fall war, sind entsprechende Nitratverluste die Folge. Es ist daher generell von essentieller Bedeutung, dass so rasch wie möglich nach der Getreideernte eine (Zwischen-) Kultur angebaut wird. Untersaaten wären zudem noch eine Möglichkeit die Stickstoffbindung nach der Ernte zu erhöhen.

In Pettenbach wurde gemeinsam mit der BWSB ein Düngeversuch mit dem Cultan-Verfahren durchgeführt. Vorteil dieses Verfahrens ist, dass der Dünger direkt in den Boden eingebracht wird und nicht erst mithilfe des Niederschlags gelöst und in den Boden versickern muss. Dadurch wird der N-Verlust über Oberflächenabfluss und Verflüchtigung in die Atmosphäre verringert. Zusätzlich dazu werden die Pflanzen zu einem stärkeren Wurzelwachstum angeregt, wodurch die Stressresistenz gesteigert wird. Der Düngeversuch demonstriert, dass unter Anwendung dieses Verfahrens bei Körnermais eine Düngung im Juni ausreicht (also auf die Düngung zum Anbau verzichtet werden kann) ohne dass ein Ernteverlust verursacht wird.

In Pucking ist wieder die hohe Auswaschung während des Winters auffallend, welche aufgrund erhöhter  $N_{\min}$  Gehalte im Herbst und daraus resultierenden Nitratkonzentrationen von über 120 mg  $NO_3/l$  auftritt. Dieser Jahresverlauf tritt auf dem seichtgründigen Standort immer wieder auf, obwohl keine Düngung im Herbst stattfindet. Die Begründung dürfte in dem hohen Stickstoffnachlieferungspotential auf leichten Böden liegen.

In Schwertberg wurde das zweite Jahr in Folge eine sehr niedrige Auswaschung im Vergleich zu den Beobachtungen aus vergangenen Jahren auf den anderen Standorten gemessen. Die Zeitpunkte der Maxima, nämlich im Jänner und nach der Ernte im August, ist unter den anderen Wintergetreideschlägen ähnlich, aber die Höhe der Werte ist in Schwertberg um einiges niedriger. So liegt die Auswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg unter 10 kg N/ha, während auf den beiden tiefgründigen Standorten Eberstanzell und Pettenbach bisher ein Mittelwert von 25 kg N/ha bzw. 21 kg N/ha unter Wintergetreide beobachtet wurde. Die zukünftigen Messungen in Schwertberg werden zeigen, ob es sich dabei um einen Sonderfall handelt oder ob sich dieses Verhalten öfters wiederholt. Grundsätzlich ist festzustellen, dass das Jahr 2020/21 ein sehr ertragreiches Jahr war, da auf allen Standorten und sowohl bei Wintergetreide als auch bei Körnermais eine höhere Ertragslage (hoch1 bzw. hoch 2) erreicht wurde, als gedüngt wurde.

Bei der Phosphatauswaschung wurden die geringsten Verluste unter den beiden mittelgründigen Standorten in Schwertberg (mgSGg und mgSBu) gemessen, gefolgt von Eberstanzell. Beim tiefgründigen Standort in Pettenbach und beim seichtgründigen Standort in Pucking wurden die höchsten Phosphatauswaschungen 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 isotonhydrologische 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.

Kuderna, M., Weinberger, C. (2020). Forschungsprojekt Lysimeter. Technischer Endbericht 2020. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz.