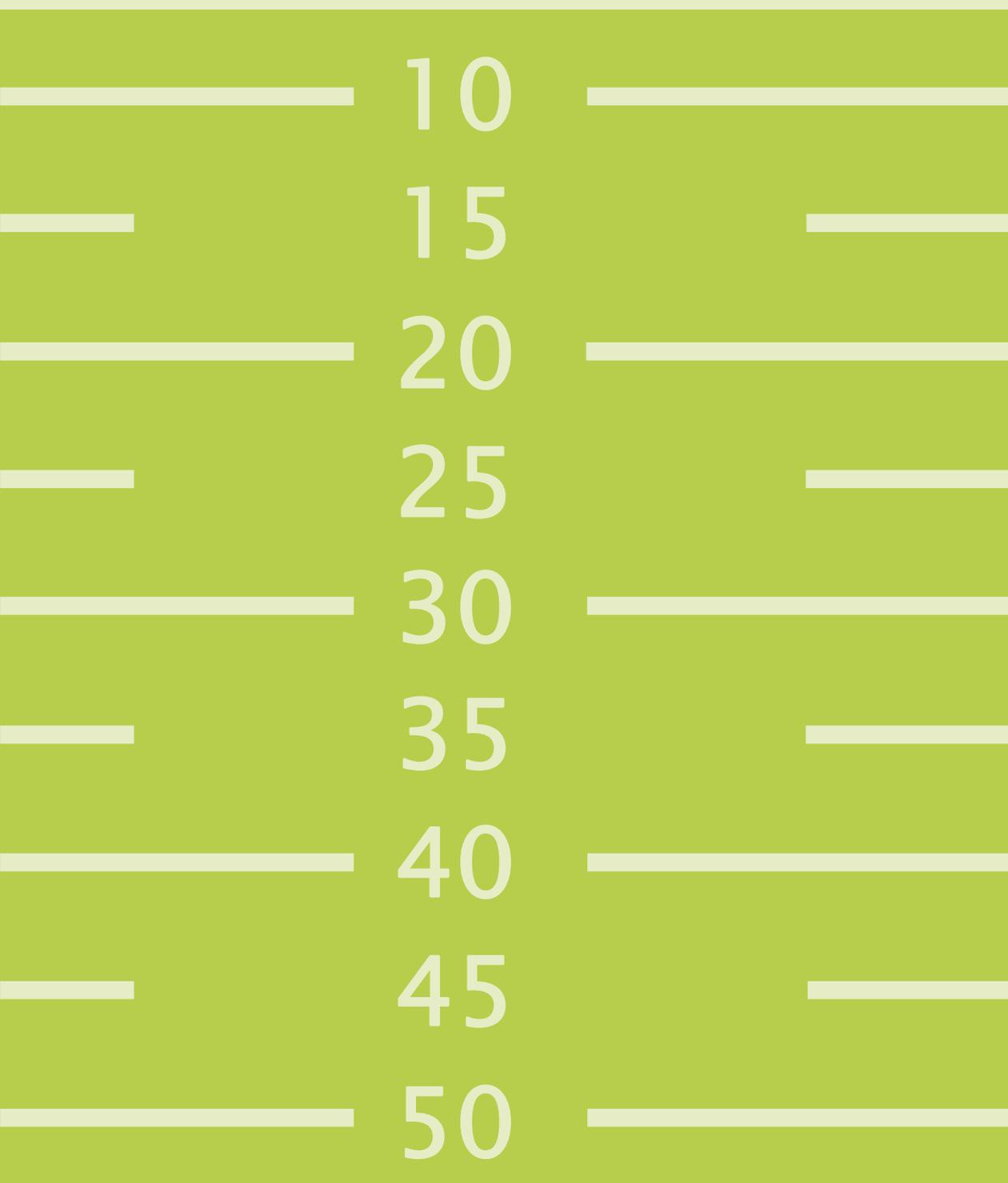




# Forschungsprojekt Lysimeter

Technischer  
Endbericht  
2023



 Bundesamt  
für Wasserwirtschaft

 Bundesministerium  
Landwirtschaft, Regionen  
und Tourismus





# Forschungsprojekt Lysimeter

## Technischer Endbericht 2023

### 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  
BMNT, 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, Dezember 2023

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>6</b>  |
| <b>3</b> | <b>Methoden .....</b>  | <b>8</b>  |
| 3.1      | Probenahme.....  | 8         |
| 3.2      | Analytik.....  | 9         |
| 3.3      | Bilanzierung .....   | 10        |
| 3.4      | Berechnung der Auswaschung .....   | 10        |
| <b>4</b> | <b>Bewirtschaftung .....</b>   | <b>11</b> |
| <b>5</b> | <b>Ergebnisse.....</b>   | <b>13</b> |
| 5.1      | Wirtschaftsdünger und Ernteproben.....   | 13        |
| 5.2      | Stickstoffsalden .....   | 14        |
| 5.3      | Nachlieferbarer Stickstoff .....   | 16        |
| 5.4      | N <sub>min</sub> -Gehalte im Boden .....   | 16        |
| 5.5      | Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstalzell.....                                     | 19        |
| 5.5.1    | Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung .....   | 19        |
| 5.5.2    | Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und -konzentration im Sickerwasser .....                        | 20        |
| 5.6      | Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach .....                                      | 22        |
| 5.6.1    | Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung .....   | 22        |
| 5.6.2    | Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und -konzentration im Sickerwasser .....                        | 23        |
| 5.7      | Nitratauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking.....  | 25        |
| 5.7.1    | Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung .....   | 25        |
| 5.7.2    | Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und -konzentration im Sickerwasser .....                        | 26        |
| 5.8      | Nitratauswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg .....                                   | 28        |
| 5.8.1    | Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung .....   | 28        |
| 5.8.2    | Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und -konzentration im Sickerwasser .....                        | 28        |
| 5.9      | Vergleich der Nitratauswaschung bzw. Nitratkonzentration im Sickerwasser zwischen den Standorten ... | 31        |
| 5.10     | Einfluss des Stickstoffsaldos auf die Nitratverlagerung .....  | 34        |
| 5.11     | Phosphorbilanzen.....  | 35        |
| 5.12     | Phosphatauswaschung .....  | 35        |
| <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 .....  | 43        |
| 6.4      | Bodenwasserverhältnisse .....  | 47        |
| <b>7</b> | <b>Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen .....</b>  | <b>51</b> |
| <b>8</b> | <b>Literatur .....</b>   | <b>52</b> |

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

|  |    |
|--|----|
| Abb. 2-1: Lage der Lysimeter.....  | 6  |
| Abb. 5-1: N <sub>min</sub> -Gehalte am tiefgründigen Standort in Eberstalzell .....  | 16 |
| Abb. 5-2: N <sub>min</sub> -Gehalte am tiefgründigen Standort in Pettenbach .....  | 16 |
| Abb. 5-3: N <sub>min</sub> -Gehalte am seichtgr. Standort in Pucking .....   | 17 |
| Abb. 5-4: N <sub>min</sub> -Gehalte am mittelgr. Standort in Schwertberg, mgSBg, mgSBu.....  | 17 |
| Abb. 5-5: Vergleich der N <sub>min</sub> -Gehalte der Standorte seit Jänner 2015 .....   | 18 |
| Abb. 5-6: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. EB).....   | 19 |
| Abb. 5-7: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Jänner 2015 (tiefgr. EB) *Juli 2016 nicht gesamtes SW<br>erfasst.....                                       | 19 |
| Abb. 5-8: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. EB).....   | 20 |
| Abb. 5-9: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. EB); *Juli 2016 nicht gesamtes SW erfasst .....   | 20 |
| Abb. 5-10: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (tiefgr EB) .....   | 21 |
| Abb. 5-11: Nitratauswaschung und N <sub>min</sub> -Gehalte des Bodens (tiefgr. EB).....  | 21 |
| Abb. 5-12: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. PE).....  | 22 |
| Abb. 5-13: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Juni 2015 (tiefgr. PE) *von Mai bis Sept. 2016 und<br>August 2017 nicht gesamtes Sickerwasser erfasst..... | 22 |
| Abb. 5-14: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. PE) .....   | 23 |
| Abb. 5-15: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. PE) von Mai bis Sept. 2016 und August 2017 nicht<br>gesamtes Sickerwasser erfasst.....                   | 23 |
| Abb. 5-16: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (tiefgr. PE).....   | 24 |
| Abb. 5-17: Nitratauswaschung und N <sub>min</sub> -Gehalte des Bodens (tiefgr. PE) .....   | 24 |
| Abb. 5-18: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (seichtgr.).....   | 25 |
| Abb. 5-19: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Jänner 2015 (seichtgründig) .....  | 25 |
| Abb. 5-20: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig) .....  | 26 |
| Abb. 5-21: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig) .....   | 26 |
| Abb. 5-22: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (seichtgründig) .....   | 27 |
| Abb. 5-23: Nitratauswaschung und N <sub>min</sub> -Gehalte des Bodens (seichtgründig).....   | 27 |
| Abb. 5-24: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (mittelgründig) mgSBg=gestört,<br>mgSBu=ungestört.....   | 28 |
| Abb. 5-25: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (mittelgründig) mgSBg .....  | 28 |
| Abb. 5-26: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (mittelgründig) mgSBu .....  | 28 |
| Abb. 5-27: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) mgSBg.....   | 29 |
| Abb. 5-28: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) mgSBu.....   | 29 |
| Abb. 5-29: N <sub>min</sub> -Gehalt des Bodens (ab April 2017) und Nitratauswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) mgSBg<br>.....                                   | 30 |
| Abb. 5-30: N <sub>min</sub> -Gehalt des Bodens (ab April 2017) und Nitratauswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) mgSBu<br>.....                                   | 30 |
| Abb. 5-31: Monatliche Niederschlagssummen.....   | 31 |
| Abb. 5-32: Monatliche Sickerwassermengen.....  | 31 |
| Abb. 5-33: Durchschnittliche monatliche Nitratkonzentrationen.....   | 32 |

|   |    |
|---|----|
| Abb. 5-34: Monatliche Nitratauswaschung .....   | 33 |
| Abb. 5-35: Summe der als Nitrat ausgewaschenen Stickstoffmenge an den vier Standorten .....   | 33 |
| Abb. 5-36: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Eberstanzell .....   | 34 |
| Abb. 5-37: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Pettenbach .....   | 34 |
| Abb. 5-38: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Pucking .....  | 34 |
| Abb. 5-39: Monatliche Phosphatauswaschung .....   | 36 |
| Abb. 5-40: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstanzell .....  | 36 |
| Abb. 5-41: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach .....  | 37 |
| Abb. 5-42: Phosphatauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking .....   | 37 |
| Abb. 5-43: Phosphatauswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg (gestörter Bodenaufbau) .....   | 38 |
| Abb. 5-44: Phosphatauswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg (ungest. Bodenaufbau) .....   | 38 |
| Abb. 5-45: Summe der ausgewaschenen $P_2O_5$ Menge. ....  | 40 |
| Abb. 6-1: Niederschlags-Jahres- und Monatssummenlinien 2022 (blau) und 2023 (rot) in Pettenbach .....   | 41 |
| Abb. 6-2: Niederschlags-Jahres- und Monatssummenlinien 2022 (blau) und 2023 (rot) in Vorchdorf .....  | 41 |
| Abb. 6-3: Lufttemperatur-Jahres- und Monatssummenlinie und Monatsmittel 2022 (blau) und 2023 (rot) in<br>Pettenbach .....   | 42 |
| Abb. 6-4: Lufttemperatur-Jahres- und Monatssummenlinie und Monatsmittel 2022 (blau) und 2023 (rot) in<br>Vorchdorf .....  | 42 |
| Abb. 6-5: Globalstrahlungs-Jahressummenlinie und Wochenmittel 2022 (blau) und 2023 (rot) der Station<br>Pettenbach .....  | 42 |
| Abb. 6-6: Luftfeuchte- (oben) und Windgeschwindigkeits- (unten) Wochenmittel 2022 (blau) und 2023 (rot) .....   | 42 |
| Abb. 6-7: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pucking 2022 (blau) und 2023 (rot) .....   | 43 |
| Abb. 6-8: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Eberstanzell 2022 (blau) und 2023 (rot) .....  | 43 |
| Abb. 6-9: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pettenbach 2022 (blau) und 2023 (rot) .....  | 43 |
| Abb. 6-10: berechnete Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pettenbach 2022 (blau) und<br>2023 (rot) .....   | 44 |
| Abb. 6-11: Bilanzierte Verdunstungs-Monatssummen 2022 (blau) und 2023 (rot) .....   | 44 |
| Abb. 6-12: Profilwassermengen (4Tagesmittel) im Bodenprofil Pettenbach 2022 (blau) 2023 (rot) .....   | 45 |
| Abb. 6-13: Jahressummen der Versickerungen, bilanzierten Verdunstungen und des Niederschlages der<br>Messstellen Pettenbach (oben), Eberstanzell (Mitte) und Pucking (unten) .....  | 45 |
| Abb. 6-14: Monatsmittel der Gesamtprofilwassermengen (grün, rechts skaliert) und Wassermenge des<br>durchwurzelten Profilbereichs (0-40 cm; schwarz, links skaliert) in Pettenbach seit 2013: oben Freiland,<br>unten Lysimeter ..... | 46 |
| Abb. 6-15: Oberboden- und Unterbodentemperaturen 2022 (blau) und 2023 (rot) im Freiland .....   | 47 |
| Abb. 6-16: Oberboden- und Unterbodentemperaturen 2022 (blau) und 2023 (rot) im Lysimeter .....  | 47 |
| Abb. 6-17: Oberboden- und Unterbodensaugspannungen 2022 (blau) und 2023 (rot) im Freiland .....   | 48 |
| Abb. 6-18: Oberboden- und Unterbodensaugspannungen 2022 (blau) und 2023 (rot) im Lysimeter .....  | 48 |
| Abb. 6-19: SWI des durchwurzelten Bereiches (oben) und unterhalb der Durchwurzelungstiefe (unten) im<br>Freilandprofil, 2022 (blau) und 2023 (rot) .....  | 48 |
| Abb. 6-20: SWI des durchwurzelten Bereiches (oben) und unterhalb der Durchwurzelungstiefe (unten) im<br>Lysimeter, 2022 (blau) und 2023 (rot) .....   | 48 |

Abb. 6-21: Mehrjährige SWI Charts von 2013-2023 (dargestellte Wassergehalte: rot: <10%, orange: 10-20%, gelb: 20-40%, grün: 40-60%, hellblau: 60-80%, mittelblau: 80-100%, dunkelblau: >=100%) im Freilandprofil (links) und im Lysimeter (rechts).....50

**TABELLENVERZEICHNIS**

Tab. 3-1: Tätigkeiten BAW (IKT) .....8  
Tab. 3-2: Analysenprogramm .....9  
Tab. 4-1: Bewirtschaftungsmaßnahmen 2022/2023 (nach Angaben der Bewirtschafter) ..... 11  
Tab. 5-1: Erntemengen und Analysenergebnisse der Ernteproben ..... 13  
Tab. 5-2: Stickstoffsalden (jahreswirksam) für das Erntejahr 2022 ..... 15  
Tab. 5-3: Stickstoffsaldo (feldfallend) für das Erntejahr 2022 ..... 15  
Tab. 5-4: Sickerwassermengen und durchschnittliche Nitratkonzentration vom 01.11.22 bis 31.10.23 .....31  
Tab. 5-5: Phosphorbilanzen für das Erntejahr 2022 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) .....35  
Tab. 5-6: Sickerwasser, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Verluste und mittlere PO<sub>4</sub>-Konzentration im Sickerwasser vom 01.11.22 bis 31.10.23 .....39

## 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 2022/23 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. 2023 war in Eberstalzell und Pucking Winterweizen, in Schwertberg Triticale und in Pettenbach Körnermais angebaut.

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 2022/23 sind folgend zusammengefasst:

In diesem Jahr war ein außergewöhnlichen Witterungsverlauf mit hohen Niederschlägen in den Monaten April und August zu verzeichnen, die sich auch auf das Auswaschungsgeschehen auswirkten. Zwar fand

auch 2023 unter Wintergetreide ein erheblicher Teil der Nitratverlagerung, so wie in Durchschnittsjahren, in den Wintermonaten (Dezember bis Februar) statt, diesmal kam es aber zu einem erneuten Anstieg im April. Die ungewöhnlich starken Niederschläge im August führten unter anderem zu einer Nitratauswaschung unter Mais, die üblicherweise in diesem Monat nicht zu beobachten ist.

Im Vergleich der Standorte wurde die Nitratauswaschung im Jahr 2023 aufgrund der hohen Niederschläge diesmal sehr deutlich von den Bodeneigenschaften, insbesondere dem Wasserrückhaltevermögen und dem daraus resultierenden Nitrataustragsrisiko, bestimmt. Die hohen Niederschlagsspitzen des Jahres 2023 und das resultierende Auswaschungsgeschehen brachten mit sich, dass die durchschnittlichen Nitratkonzentrationen nur an den tiefgründigen Standorten mit geringem Nitrataustragsrisiko unter 45 mg/l lagen.

Während auf den mittel- und seichtgründigen Standorten mit erhöhtem Nitrataustragsrisiko der Niederschlagsverlauf das Auswaschungsgeschehen bestimmt, tritt auf den tiefgründigen Standorten mittel- bis langfristig der Stickstoffsaldo als dominierender Faktor in den Vordergrund. Dabei wurde prinzipiell eine gute Übereinstimmung zwischen Saldo und Auswaschung erzielt, wenn bei Wirtschaftsdünger der feldfallende Stickstoff zur Bewertung herangezogen wurde, da die dort mit enthaltenen, langsam wirksam werdenden organischen Stickstoffverbindungen im Lauf der Jahre und Jahrzehnte ebenfalls in Nitrat umgewandelt werden. Am tiefgründigen Standort Pettenbach, wo erst seit einigen Jahren Putenmist eingesetzt wird, also eine Änderung der Bewirtschaftung stattfand, ist zu beobachten, dass Stickstoffüberschüsse, die aus organischen Anteilen resultieren, erst mit mehrjähriger Verzögerung zu einem allmählichen stärkeren Anstieg der Nitratauswaschung führen.

## 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.

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).



sgPU: seichtgründig Pucking; tgEB: tiefgründig Eberstalzell; tgPE: tiefgründig Pettenbach

Abb. 2-1: Lage der Lysimeter

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 das 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 2023 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   |
|------------|---|
| 15.02.2023 | Bei Lysimeter 1 und 4 wurden die Freiauslaufwippendaten ausgelesen und die Anlage kontrolliert.   |
| 06.04.2023 | Bei Lysimeter 3 wurde der Aufsatzring gezogen und die Fühler ausgebaut und im Boden versenkt.<br>Bei Lysimeter 1 und 4 wurden die Freiauslaufwippendaten ausgelesen und die Anlage kontrolliert.  |
| 11.05.2023 | Bei Lysimeter 3 wurde der Aufsatzring aufgesetzt (Mais noch nicht sichtbar) und die Messfühler auf und neben dem Lysimeter eingebaut.<br>Bei Lysimeter 1 und 4 wurden die Freiauslaufwippendaten ausgelesen und die Anlagen kontrolliert. |
| 25.05.2023 | Bei Lysimeter 1 und 4 wurden die Freiauslaufwippendaten ausgelesen und die Anlage kontrolliert.   |

| Datum      | Tätigkeit   |
|------------|---|
|            | Bei Lysimeter 1, 3, 4 und der Wetterstation wurde gemäht.   |
| 05.07.2023 | Bei Lysimeter 1 wurde die Wippe repariert (wieder dicht).<br>Besprechung mit WPA und Landwirten bei L3 (Aitzetmüller)<br>Bei Lysimeter 1, 3, 4 und der Wetterstation wurde gemäht.  |
| 02.08.2023 | Bei Lysimeter 1 wurde der Aufsatzring gezogen und nach Zwischenfruchtanbau wieder aufgesetzt.<br>Bei Lysimeter 1 und 4 wurden die Freiauslaufwippendaten ausgelesen.<br>Bei Lysimeter 1, 3, 4 und der Wetterstation wurde gemäht. |
| 16.08.2023 | Bei Lysimeter 4 wurde der Aufsatzring aufgesetzt (Zwischenfrucht noch nicht sichtbar).<br>Bei Lysimeter 1 und 4 wurden die Freiauslaufwippendaten ausgelesen.   |
| 04.10.2023 | Bei Lysimeter 3 wurde der Aufsatzring gezogen und die Fühler ausgebaut und im Boden versenkt.<br>Bei Lysimeter 1 und 4 wurden die Freiauslaufwippendaten ausgelesen.<br>Bei Lysimeter 1, 3, 4 und der Wetterstation wurde gemäht. |
| 23.10.2023 | Bei Lysimeter 3 wurde der Aufsatzring aufgesetzt (Winterweizen leicht angekeimt) und die Messfühler auf und neben dem Lysimeter eingebaut.  |

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 üblicherweise 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 Tab. 3-2 werden die angewandten Methodenvorschriften aufgelistet.

Tab. 3-2: Analysenprogramm

| Substanz          | Parameter  | Methoden  |
|-------------------|--|---|
| Sickerwasser      | Nitrat<br>Orthophosphat  | ÖNORMEN ISO 10304-1, -2   |
| Boden             | Nitrat in 0-30, 30-60 und 60-90cm Bodentiefe,<br>Ammonium in 0-30cm<br>Nachlieferbarer Stickstoff im anaeroben Brutversuch | ÖNORM L1091<br><br>ÖNORM L 1204   |
| Pflanzenproben    | Trockenmasse<br>N <sub>gesamt</sub><br>P <sub>gesamt</sub>   | N: Kjeldahlaufschluss, P: HNO <sub>3</sub> Aufschluss, photometrische Bestimmung mittels Ammonmolybdat nach Abtrennung der störenden Matrix |
| Wirtschaftsdünger | Ammonium,<br>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 2023. 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 8. Aufl., Baumgarten, 2022). 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 Freilauf 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. Als Hauptkulturen des Jahres 2023 waren auf den Standorten in Eberstanzell, sowie Pucking Winterweizen, in Pettenbach Körnermais und in Schwertberg Wintertriticale angebaut. Die einzelnen Bewirtschaftungsmaßnahmen sind in Tab. 4-1 angeführt.

Die Summe der N-Düngung betrug am tiefgründigen Standort in Eberstanzell 170 kg N/ha (jahreswirksam). Am tiefgründigen Standort in Pettenbach wurde nach den Variantendüngungen 2022, im Jahr 2023 einheitlich gedüngt. Es wurden 180 kg N/ha (jahreswirksam) ausgebracht, wovon 115 kg N/ha im August 2022 zur Zwischenfrucht gedüngt wurden. Am seichtgründigen

Standort in Pucking wurden 142 kg N/ha ausgebracht. Der Standort in Schwertberg wurde mit 124 kg N/ha gedüngt.

Die Phosphordüngermengen betragen in Eberstanzell 96 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, in Pettenbach 585 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. In Pucking wurden 20 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha ausgebracht und in Schwertberg 44 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha.

Bezüglich der Stickstoffdüngung in Eberstanzell stand das Düngenniveau zu Winterweizen einer hohen Ertragslage (hoch 1) gleich (gem. NAPV 2023). Das Niveau der Düngung für Winterweizen in Pucking entsprach einer mittleren Ertragslage. In Pettenbach sowie Schwertberg wurde jeweils die Düngungsmenge für eine hohe Ertragslage (hoch 1) ausgebracht.

Tab. 4-1: Bewirtschaftungsmaßnahmen 2022/2023 (nach Angaben der Bewirtschafter)

| Datum      | Tiefgr. Eberstanzell<br>tgEB | Tiefgr. Pettenbach<br>tgPE                     | Seichtgr. Pucking sgSB                               | Mittelgr. Schwertberg      |
|------------|------------------------------|--|--|----------------------------|
| 08.08.2022 |                              | Düngung<br>Putenmist 26 m <sup>3</sup> /ha     |  |                            |
| 10.08.2022 |                              | Aussaat<br>Zwischenfrucht<br>(Wassergüte fein) |  |                            |
| 07.10.2022 |                              |  | Aussaat<br>Winterweizen                              |                            |
| 13.10.2022 |                              |  |  | Aussaat<br>Wintertriticale |
| 22.10.2022 | Aussaat<br>Winterweizen      |  |  |                            |
| 02.03.2023 |                              |  | Düngung<br>Linzer Pro NPK: 200 kg/ha                 |                            |
| 03.03.2023 |                              |  | Düngung<br>Ammonsulfatsalpeter<br>(ASS): 134,9 kg/ha |                            |
| 11.03.2023 | Düngung                      |  |  |                            |

| Datum      | Tiefgr. Eberstolz<br>tgEB                            | Tiefgr. Pettenbach<br>tgPE                   | Seichtgr. Pucking sgSB                             | Mittelgr. Schwertberg                   |
|------------|--|--|--|---|
|            | 15/15/15: 200 kg/ha                                  |  |  |   |
| 13.03.2023 |  |  |  | Düngung<br>COMPLEX 291,9 kg/ha          |
| 21.03.2023 | Düngung<br>Schweinegülle: 14,3<br>m <sup>3</sup> /ha |  |  |   |
| 06.04.2023 |  |  | Düngung<br>Ammonsulfatsalpeter<br>(ASS): 105 kg/ha |   |
| 07.04.2023 | Düngung<br>Schweinegülle: 20 m <sup>3</sup> /ha      |  |  |   |
| 22.04.2023 | Düngung<br>NAC 27%: 170,7 kg/ha                      |  |  | Düngung<br>NAC 27%: 145 kg/ha           |
| 01.05.2023 |  | Düngung<br>Putenmist 24,4 m <sup>3</sup> /ha |  |   |
| 05.05.2023 |  | Aussaat Körnermais                           |  |   |
| 22.05.2023 |  |  | Düngung<br>Ammonsulfatsalpeter<br>(ASS): 100 kg/ha |   |
| 22.05.2023 |  |  |  | Düngung<br>NAC 27%: 152 kg/ha           |
| 08.05.2023 | Düngung<br>NAC 27%: 119 kg/ha                        |  |  |   |
| 11.07.2023 |  |  |  | Ernte<br>Wintertriticale<br>7.524 kg/ha |
| 27.07.2023 | Ernte<br>Winterweizen 8.000<br>kg/ha                 |  |  |   |
| 31.07.2023 |  |  |  | Aussaat Zwischenfrucht<br>Grubbern      |
| 12.10.2023 |  | Ernte<br>Mais 11.880 kg/ha                   | Ernte<br>Winterweizen 5.352 kg/ha                  |   |
| 18.10.2023 |  | Aussaat Winterweizen                         |  |   |

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Wirtschaftsdünger und Ernteproben

Am Betrieb in Eberstanzell wurde im April 2023 Schweinegülle ausgebracht. Der Gesamtstickstoffgehalt betrug  $3,8 \text{ kg/m}^3$ . Umgerechnet auf jahreswirksamen Stickstoff ergibt das  $2,7 \text{ kg/m}^3$ . Der  $\text{P}_2\text{O}_5$  - Gehalt betrug  $2,8 \text{ kg/m}^3$ .

In Pettenbach wurde zum Anbau der Zwischenfrucht 2022 Putenmist ausgebracht. Dieser hatte einen Gesamtstickstoffgehalt von  $9,7 \text{ kg/m}^3$ . Umgerechnet auf jahreswirksamen Stickstoff ergibt das  $4,4 \text{ kg/m}^3$ . Der  $\text{P}_2\text{O}_5$  - Gehalt betrug  $12,8 \text{ kg/m}^3$ . Bei der Düngung im Frühjahr 2023 betrug der Gesamtstickstoffgehalt des Putenmistes  $5,8 \text{ kg/m}^3$ . Der jahreswirksame Stickstoff ergab  $2,7 \text{ kg/m}^3$  und der  $\text{P}_2\text{O}_5$  - Gehalt lag bei  $10,3 \text{ kg/m}^3$ .

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 Eberstanzell und Pucking etwas niedriger als der Durchschnitt aus Lysimeterfläche und Kontrollstellen war. Der Vergleich in Pettenbach zeigt, dass der Ertrag auf der Lysimeterfläche etwas höher war.

Tab. 5-1: Erntemengen und Analysenergebnisse der Ernteproben

| Probe            | Erntemenge<br>(g TS/m <sup>2</sup> ) | Trockenmasse<br>(%) | N <sub>gesamt</sub><br>(g/kg TS) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>(g/kg TS) |
|------------------|--------------------------------------|---------------------|----------------------------------|--|
| tgEB - Lys Korn  | 286                                  | 82%                 | 19,1                             | 9,9  |
| tgEB - MW Korn   | 313                                  | 84%                 | 19,1                             | 9,0  |
| tgEB - Lys Stroh | 366                                  | 66%                 | 2,9                              | 2,2  |
| tgEB - MW Stroh  | 478                                  | 73%                 | 2,2                              | 1,3  |
| tgPE - Lys Korn  | 1117                                 | 77%                 | 11,6                             | 5,9  |
| tgPE - MW Korn   | 1109                                 | 76%                 | 12,0                             | 6,4  |

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 Eberstanzell (inkl. Lysimeter) ca.  $5,8 \text{ t/ha}$  und am seichtgründigen Standort in Pucking ca.  $6,4 \text{ t/ha}$  Winterweizen geerntet. Am tiefgründigen Standort in Pettenbach wurde hochgerechnet  $12,9 \text{ t/ha}$  Mais geerntet. In Schwertberg wurden annähernd  $4,5 \text{ t/ha}$  Triticale geerntet.

Nach den Angaben der Landwirte wurde in Pucking ca.  $5,4 \text{ t/ha}$  geerntet, was leicht unter dem hochgerechneten Wert liegt. Der berechnete Wert in Pettenbach stimmte mit jenem des Landwirtes ( $11,9 \text{ t/ha}$ ) beinahe überein. In Eberstanzell und Schwertberg lagen die berechneten Werte unter jenen des Landwirtes ( $8 \text{ t/ha}$  und  $7,5 \text{ t/ha}$ ).

Entsprechend der Angaben der Landwirte wurde in Eberstanzell gem. NAPV 2023 eine hohe Ertragslage erreicht (hoch 2). Die Standorte in Pettenbach und Schwertberg konnten ebenfalls eine hohe Ertragslage verbuchen (hoch 1). In Pucking wurde im Vergleich die geringste Erntemenge eingeholt (mittlere Ertragslage), was dem Niveau der Düngung entspricht.

| Probe            | Erntemenge<br>(g TS/m <sup>2</sup> ) | Trockenmasse<br>(%) | N <sub>gesamt</sub><br>(g/kg TS) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>(g/kg TS) |
|------------------|--------------------------------------|---------------------|----------------------------------|--|
| tgPE - Lys Stroh | 1029                                 | 55%                 | 6,8                              | 2,2  |
| tgPE - MW Stroh  | 508                                  | 47%                 | 7,2                              | 2,0  |
| sgPU - Lys Korn  | 493                                  | 89%                 | 16,5                             | 8,8  |
| sgPU - MW Korn   | 554                                  | 88%                 | 19,3                             | 7,8  |
| sgPU - Lys Stroh | 627                                  | 91%                 | 3,9                              | 1,7  |
| sgPU - MW Stroh  | 706                                  | 92%                 | 3,7                              | 1,2  |
| mgSB - Korn      | 390                                  | 92%                 | 12,4                             | 8,7  |
| mgSB - Stroh     | 444                                  | 79%                 | 1,8                              | 3,4  |

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

## 5.2 Stickstoffsalden

Zur Berechnung der Stickstoffsalden ist anzumerken, dass bei allen vier Standorten das Stroh nach der Ernte auf dem Feld gelassen wurde. Ein Vergleich der Stickstoffentzüge mit dem N-Düngeaufwand (jahreswirksam) ergab für die Standorte unterschiedliche Stickstoffsalden.

In Eberstalzell war der Saldo mit 115 kg N/ha am Lysimeter am höchsten. Der Mittelwert am Feld lag bei 110 kg N/ha. Die Berücksichtigung des feldfallenden Stickstoffs ergibt einen Saldo von 137 kg N/ha am Lysimeter bzw. 132 kg N/ha im Durchschnitt, womit die Differenzen der Salden vom Lysimeter und Durchschnittswert gleich hoch sind. In Pucking zeigte sich, ähnlich wie im Jahr 2021/22, ein deutlicher Unterschied zwischen dem Lysimeter und dem Mittelwert. Es wurden Salden von 61 bzw. 31 kg N/ha erreicht. Dieser Unterschied lässt sich anhand der inhomogenen Bodenbeschaffenheit des Feldstücks erklären. Zudem trägt generell der, wenn auch sehr umsichtig durchgeführte, Ein- und Ausbau der Lysimeterringe für die erforderliche Bodenbearbeitung zur Vergleichunschärfe bei. Am Lysimeter in Pettenbach war der N-Saldo zur Ernte im Vergleich mit den anderen Ortschaften am geringsten 9 kg N/ha. In Schwertberg ergab sich im

hydrologischen Jahr 2022/23 ein N-Saldo von 76 kg N/ha.

Die Stickstoffsalden bezogen auf jahreswirksamen Stickstoff und die einzelnen Bilanzglieder werden in Tab. 5-2 aufgelistet. Da davon ausgegangen werden kann, dass der organische Anteil im Wirtschaftsdünger im Laufe der Jahre wirksam wird, werden in Tab. 5-3 zusätzlich die feldfallenden N-Düngemengen den Ernteentzügen gegenübergestellt. Da in Pucking und Schwertberg kein Wirtschaftsdünger eingesetzt wurde, bleiben die Salden ident.

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 zumeist in einem kleinen 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 2022

|  | 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 | 170                                   |     | 145                                 |     | 142                                |     | 124                               |  |
| Entzug durch Pflanzen                      | Lysimeter                             | MW  | Lysimeter                           | MW  | Lysimeter                          | MW  | MW                                |  |
| Entzug durch Korn                          | 55                                    | 60  | 136                                 | 133 | 81                                 | 109 | 48                                |  |
| Entzug durch Stroh                         | 11                                    | 10  | 70                                  | 60  | 25                                 | 26  | 8                                 |  |
| Summe Entzug                               | 66                                    | 70  | 206                                 | 193 | 106                                | 135 | 56                                |  |
| Abfuhr durch Ernte                         | 55                                    | 60  | 136                                 | 133 | 81                                 | 109 | 48                                |  |
| Saldo Korn                                 | 115                                   | 110 | 9                                   | 12  | 61                                 | 33  | 76                                |  |
| Saldo Korn + Stroh                         | 105                                   | 100 | -61                                 | -48 | 36                                 | 7   | 68                                |  |
| Saldo Ernte                                | 115                                   | 110 | 9                                   | 12  | 61                                 | 33  | 76                                |  |

Tab. 5-3: Stickstoffsaldo (feldfallend) für das Erntejahr 2022

|  | 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 | 192                                   |     | 360                                 |     | 142                                |     | 124                               |  |
| Entzug durch Pflanzen                    | Lysimeter                             | MW  | Lysimeter                           | MW  | Lysimeter                          | MW  | MW                                |  |
| Entzug durch Korn                        | 55                                    | 60  | 136                                 | 133 | 81                                 | 109 | 48                                |  |
| Entzug durch das Stroh                   | 11                                    | 10  | 70                                  | 60  | 25                                 | 26  | 8                                 |  |
| Summe Entzug                             | 66                                    | 70  | 206                                 | 193 | 106                                | 135 | 56                                |  |
| Abfuhr durch Ernte                       | 55                                    | 60  | 136                                 | 133 | 81                                 | 109 | 48                                |  |
| Saldo Korn                               | 137                                   | 132 | 224                                 | 227 | 61                                 | 33  | 76                                |  |
| Saldo Korn + Stroh                       | 127                                   | 122 | 154                                 | 167 | 36                                 | 7   | 68                                |  |
| Saldo Ernte                              | 137                                   | 132 | 224                                 | 227 | 61                                 | 33  | 76                                |  |

### 5.3 Nachlieferbarer Stickstoff

Die Werte für den nachlieferbaren Stickstoff wurden im Erntejahr nicht untersucht, da in dem kurzen Zeitraum zum Jahr 2021 kaum Unterschiede zu erwarten waren.

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

Die  $N_{min}$  Gehalte (Nitrat + Ammonium) im Boden zeigen auf den fünf Standorten (vgl. Abb. 5-1-bis Abb. 5-4) zum Teil einen Zusammenhang mit den Düngemaßnahmen, dem zeitlichen Verlauf der Stickstoffaufnahme der Kulturen sowie der Hauptkulturen im Vorjahr. Auf den Standorten wurden verschiedene Kulturen angebaut, wodurch sich Unterschiede beim  $N_{min}$  Gehalt im Boden ergeben.

Am tiefgründigen Standort in Eberstalzell wurde 2023 Winterweizen geerntet. Nach dem Anbau im Oktober 2022 erfolgte im März 2023 eine Düngung mit Schweinegülle (38 kg N/ha (jw), 48 kg N/ha (ff)). Anfang April folgte eine weitere Schweinegülledüngung (53 kg N/ha (jw), 67 kg N/ha (ff)). Ende April und Anfang Mai wurde NAC-Dünger (46 kg N/ha und 32 kg N/ha) aufgebracht.

Während die  $N_{min}$ -Messungen in Eberstalzell im gesamten Jahr nicht über 50 kg N/ha hinausgehen wurden im April und Juni während der Wachstumsphase des Winterweizens die geringsten Werte registriert. Im Juli 2023 kurz vor der Ernte steigt der  $N_{min}$ -Gesamtwert auf 43 kg N/ha (Abb. 5-1). Schlussendlich liegt der  $N_{min}$  Gehalt im Oktober nach der Ernte bei 28 kg N/ha.

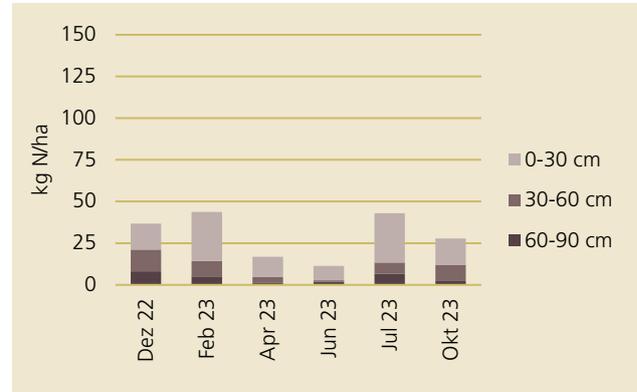


Abb. 5-1:  $N_{min}$ -Gehalte am tiefgründigen Standort in Eberstalzell

Am tiefgründigen Standort in Pettenbach wurde nach Winterweizen im Vorjahr sowie einer darauffolgenden Zwischenfrucht Körnermais angebaut. Die Düngung für das hydrologische Jahr 2022/23 erfolgte durch Putenmist im August 2022 (115 kg N/ha (jw), 230 kg N/ha (ff)) sowie im Mai 2023 (65 kg N/ha (jw), 130 kg N/ha (ff)). Der  $N_{min}$ -Gehalt im Jahresverlauf in Pettenbach zeigte sehr hohe Werte im Juni und Juli 2023 um 245 kg N/ha, wobei die höchsten Werte in der oberen Bodenschicht bis 30 cm gemessen wurden. Im Februar, April und Oktober wurden  $N_{min}$ -Gehalte zwischen 80 und 87 kg N/ha gemessen. Dezember 2022 zeigte den geringsten gemessenen  $N_{min}$ -Wert (Abb. 5-2).

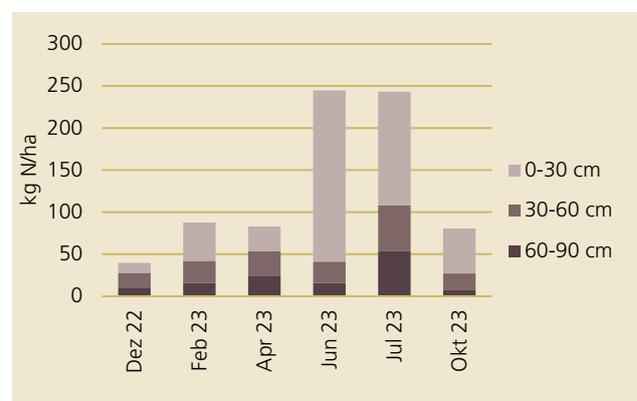


Abb. 5-2:  $N_{min}$ -Gehalte am tiefgründigen Standort in Pettenbach

Am seichtgründigen Standort in Pucking wurde im hydrologischen Jahr 2022/23 Mineraldünger im März, April und Mai, mit einem Gesamtgehalt von 142 kg N/ha aufgebracht. Als Hauptfrucht wurde Winterweizen angebaut, wodurch sich ein ähnliches Bild der  $N_{\min}$ -Gehalte im Jahresverlauf ergibt. Während von Dezember 2022 bis Juni 2023 die Gesamtwerte sinken, steigt im Juli der gemessene Gehalt auf den höchsten Wert (53 kg N/ha) im hydrologischen Jahr. Auffallend ist, dass dieser Wert nur in der oberen Bodenschicht registriert wurde (Abb. 5-3).

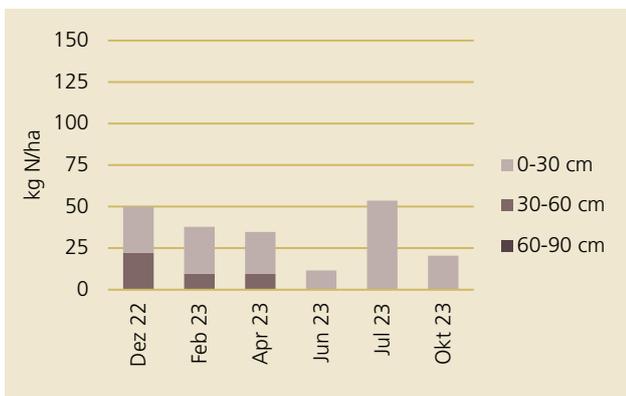


Abb. 5-3:  $N_{\min}$ -Gehalte am seichtgr. Standort in Pucking

In Schwertberg wurde auf den beiden Lysimetern (mgSBg = gestörter Bodenaufbau; mgSBu= ungestörter Bodenaufbau) als Hauptfrucht Triticale angebaut. Im gesamten hydrologischen Jahr wurden 3 Mineraldüngungen im März, April und Mai durchgeführt, mit einem Gesamtstickstoffgehalt von 124 kg N/ha.

Der höchste  $N_{\min}$ -Gehalt wurde im Dezember 2022 mit 92 kg N/ha registriert. Im Laufe des Jahres nahm dieser kontinuierlich ab auf 15 kg N/ha. Der hohe Wert im Dezember lässt sich mit der Einarbeitung des Sojastrohs und dem warmen Herbst, der die Mineralisierung beeinflusst, erklären (Abb. 5-4).

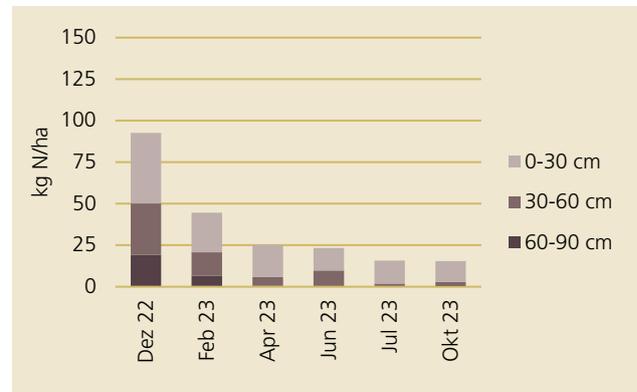


Abb. 5-4:  $N_{\min}$ -Gehalte am mittelgr. Standort in Schwertberg, mgSBg, mgSBu

Der Verlauf der  $N_{\min}$  Gehalte des Jahres 2023 ist bei den allen Standorten relativ ähnlich. Die höchsten Werte wurden jeweils im April erzielt. Im langjährigen Vergleich liegen die Werte des Jahres 2023 insgesamt in einem durchschnittlichen bis niedrigen Bereich.

Ausnahme bildet hier Pettenbach, wo im Juni und im Juli 2023 Werte um 245 kg N/ha gemessen wurden (Abb. 5-5).

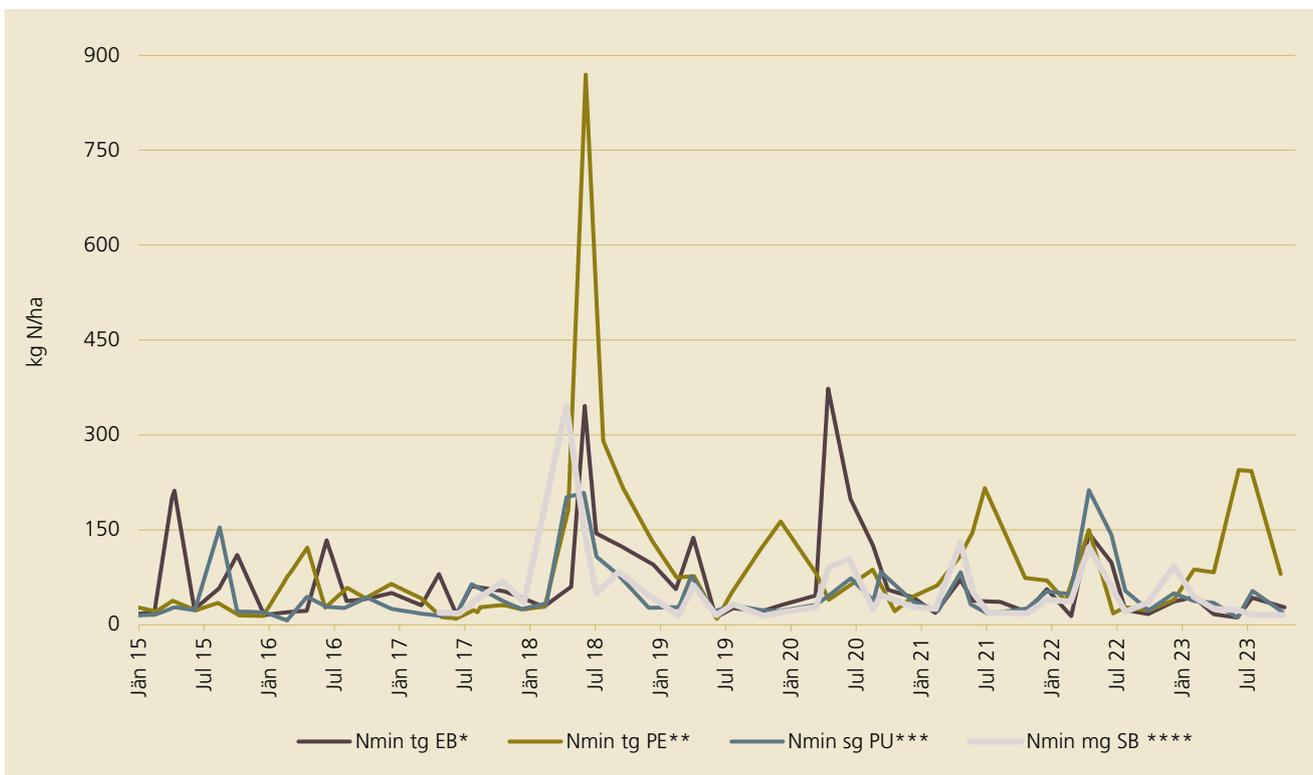


Abb. 5-5: Vergleich der  $N_{\min}$ -Gehalte der Standorte seit Jänner 2015

- |     |   |      |   |
|-----|---|------|---|
| *   | tiefgründiger Standort in Eberstallzell | **   | 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 2022/23 fielen 1.092 mm Niederschlag. Die Sickerwassermenge in diesem Zeitraum betrug 338 mm, was 30,96% der Niederschlagsmenge entspricht. Die höchsten Niederschlagswerte wurden im August (234 mm) und April (163 mm) gemessen. Die beiden trockensten Monate waren Oktober (36 mm) und Juni (41 mm) (Abb. 5-6, Abb. 5-7).

Die höchste Menge an Sickerwasser bildete sich in Eberstalzell im April (74,3 mm). Die geringsten Mengen an Sickerwasser wurden im Juni (0,0 mm), Juli (0,2 mm) und Oktober (2,1 mm) gemessen.

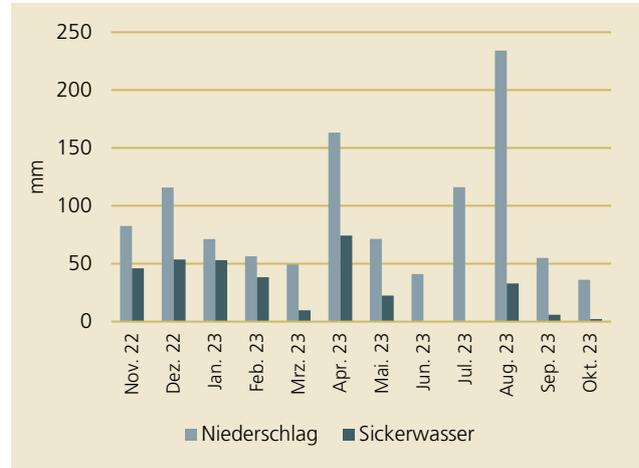


Abb. 5-6: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. EB)

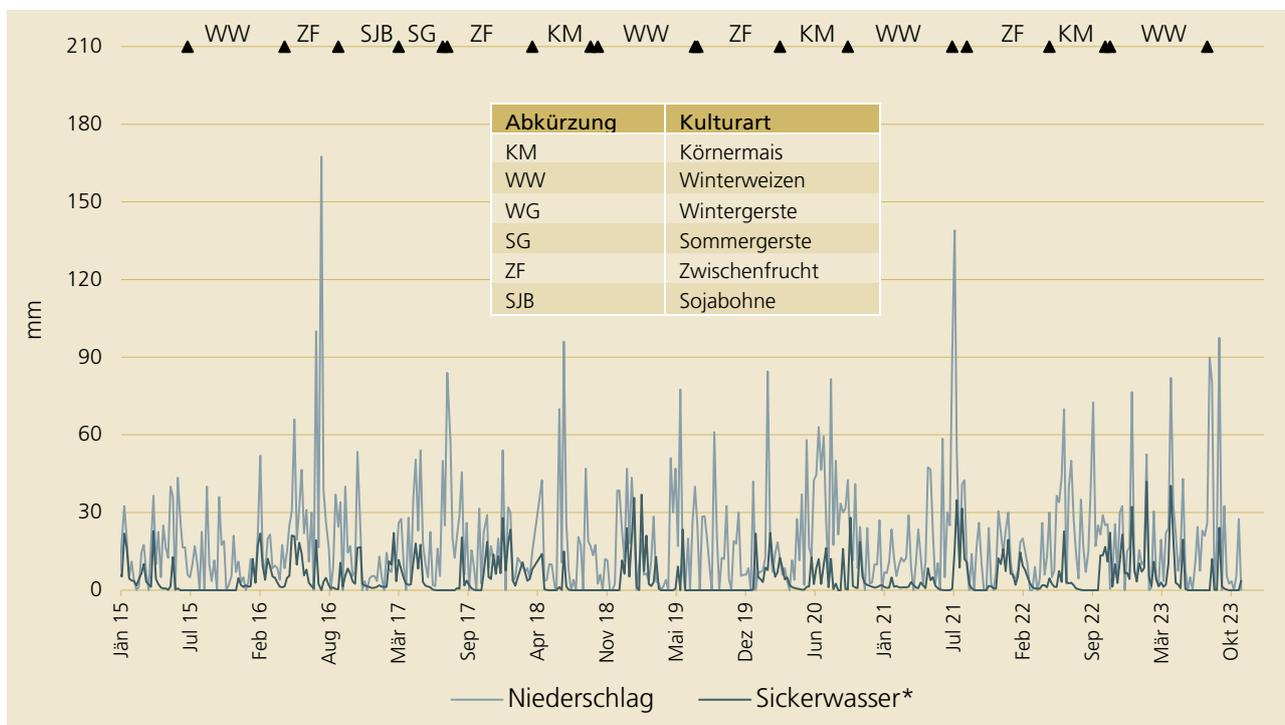


Abb. 5-7: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Jänner 2015 (tiefgr. EB) \*Juli 2016 nicht gesamtes SW erfasst

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

Der Verlauf der Nitratauswaschung korreliert mit dem Verlauf des Sickerwasseranfalls. Die höchste monatliche Nitratmenge wurde im April mit 2,8 kg N/ha ausgewaschen, gefolgt von November mit 1,6 kg N/ha. In den restlichen Monaten blieben die Werte unter 1,3 kg N/ha (Abb. 5-8).

Insgesamt wurden im gesamten Jahr 2022/23 10,8 kg N/ha ausgewaschen. Von diesen wurden 38% aufgrund der starken Niederschläge und des hohen Sickerwasseranfalls in den Monaten April und August ausgewaschen.

Die Nitratkonzentration im Sickerwasser war im März und Juni am höchsten (Abb. 5-9 bis Abb. 5-11) und betrug im hydrologischen Jahr 14 mg/l.

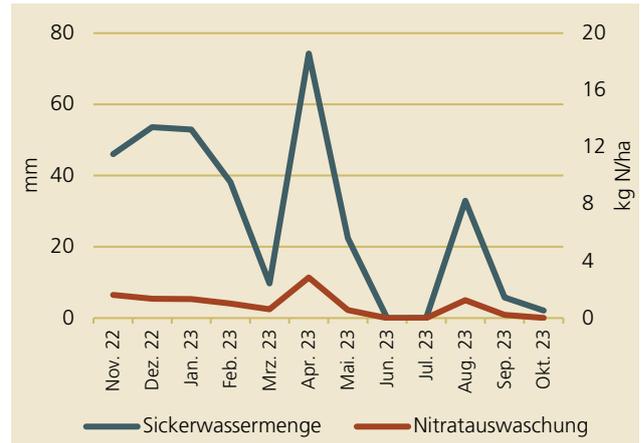


Abb. 5-8: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. EB)

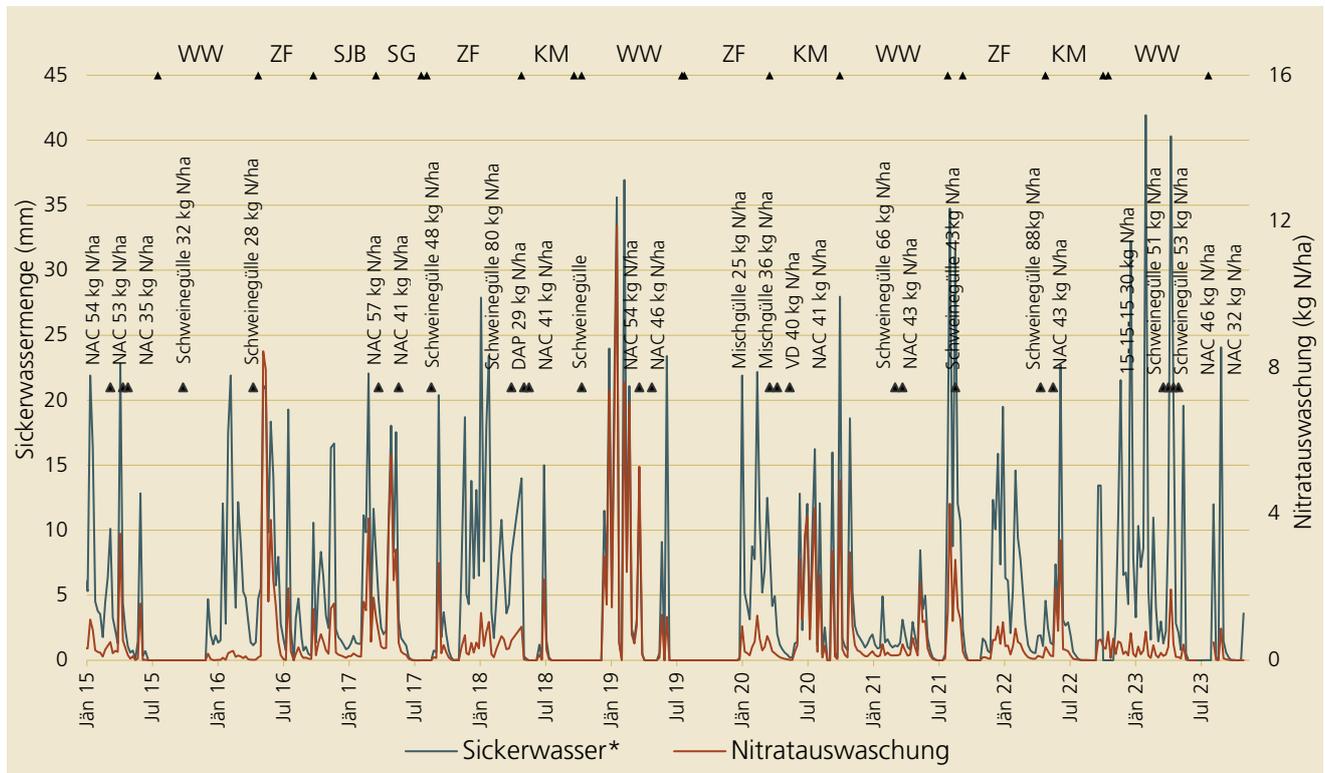


Abb. 5-9: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. EB); \* Juli 2016 nicht gesamtes SW erfasst

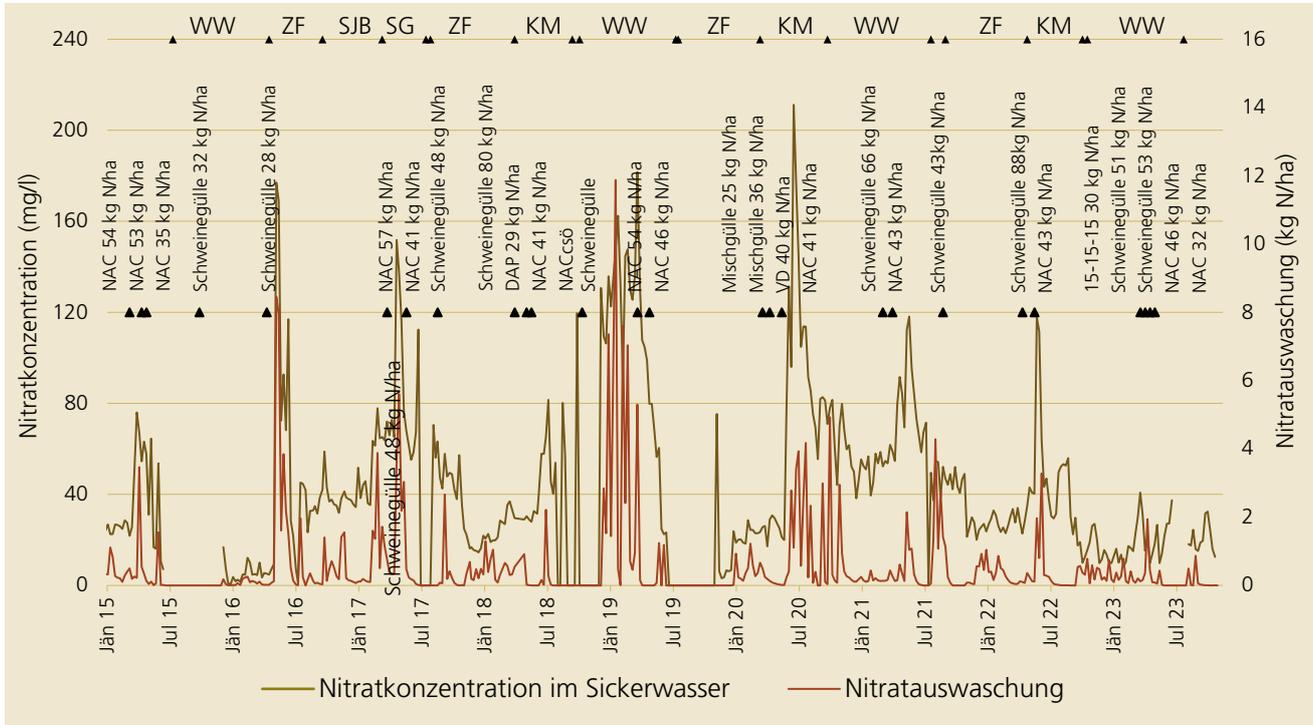


Abb. 5-10: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (tiefgr. EB)

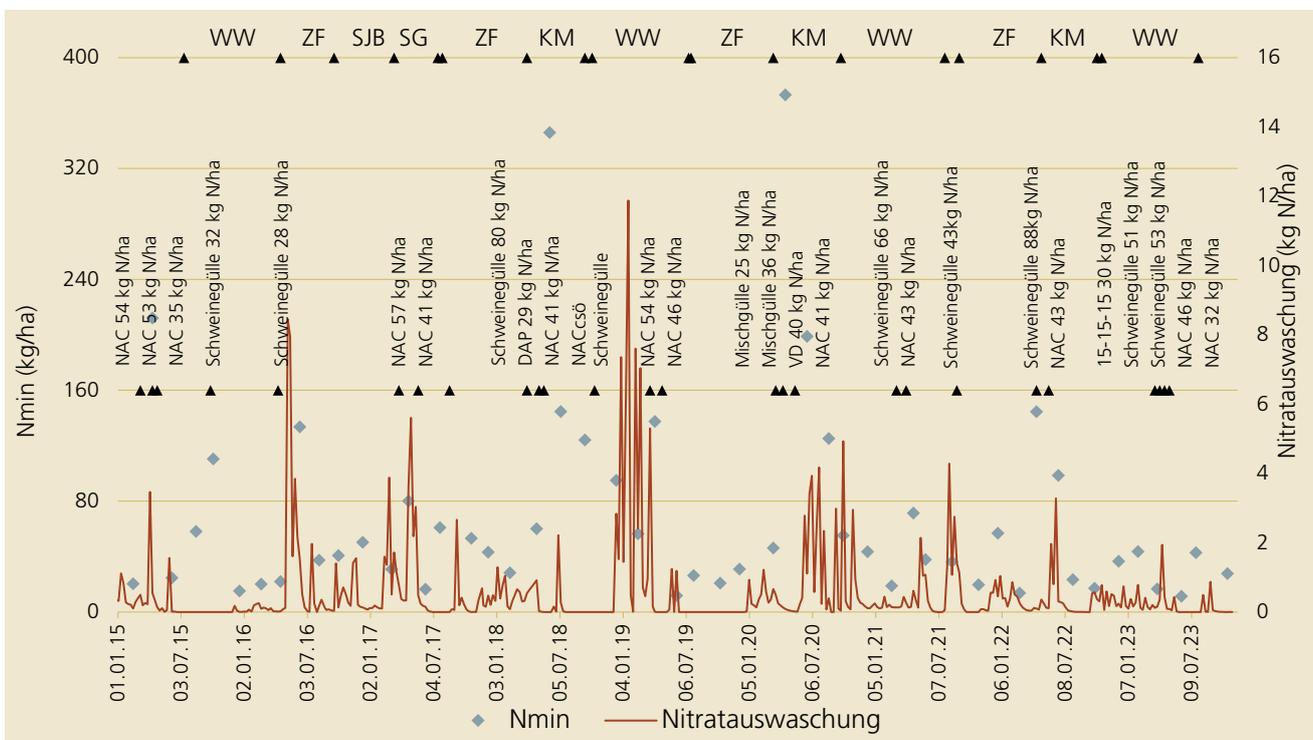


Abb. 5-11: Nitratauswaschung und  $N_{min}$ -Gehalte des Bodens (tiefgr. EB)

## 5.6 Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach

### 5.6.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

Im hydrologischen Jahr 2022/23 wurde eine Niederschlagssumme von 1.126 mm und eine Sickerwassermenge von 374 mm gemessen. Das Verhältnis der Sickerwassermenge zur Niederschlagsmenge (Abb. 5-12) betrug etwa 33%. Die höchsten Niederschlagssummen traten wie in Eberstallzell im August (239 mm) und April (160 mm) auf.

Gleich wie in Eberstallzell wurden in Pettenbach die geringsten Mengen an Sickerwasser im Oktober (0 mm), gefolgt von Juli (2 mm) und Juni (4 mm) gemessen. Die höchsten Sickerwasserwerte konnten im August

(68 mm) und April (62 mm) verzeichnet werden, was mit den höchsten Niederschlagswerten des Jahres übereinstimmt.



Abb. 5-12: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefr. PE)

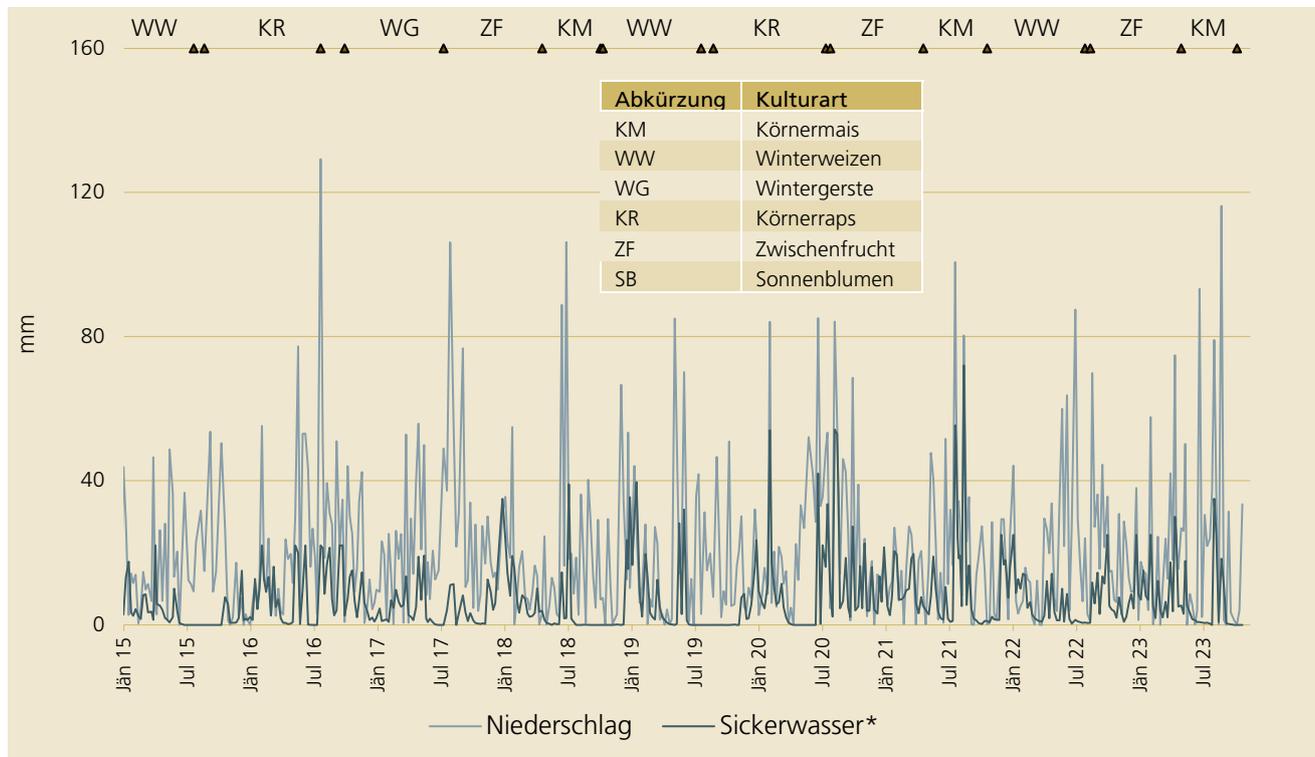


Abb. 5-13: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Juni 2015 (tiefr. PE) \*von Mai bis Sept. 2016 und August 2017 nicht gesamtes Sickerwasser erfasst

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

Die höchsten Nitratauswaschungswerte wurden im April und August 2022/23 registriert. Von der insgesamt ausgewaschenen Menge von 28,7 kg N/ha wurden 30% im April und Mai 2023 in den Untergrund verlagert. Im August 2023 wurden etwa 20% der Gesamtjahresmenge ausgewaschen.

Die höchste Nitratkonzentration im Sickerwasser wurde bei einer Messung im Mai 2023 mit 87 mg/l im Lysimeter aufgezeichnet. Die durchschnittliche Nitratkonzentration im Jahresverlauf lag bei 34 mg/l.

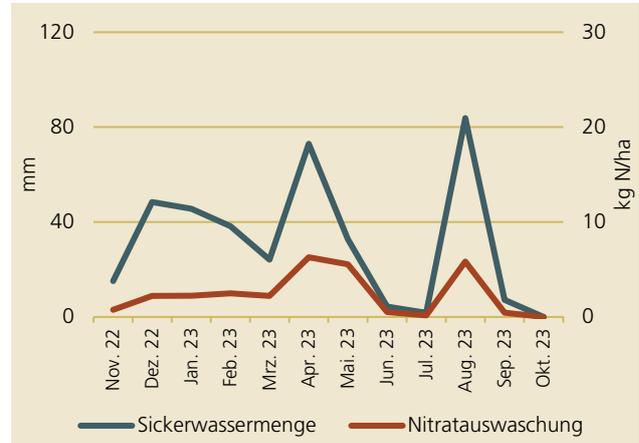


Abb. 5-14: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. PE)

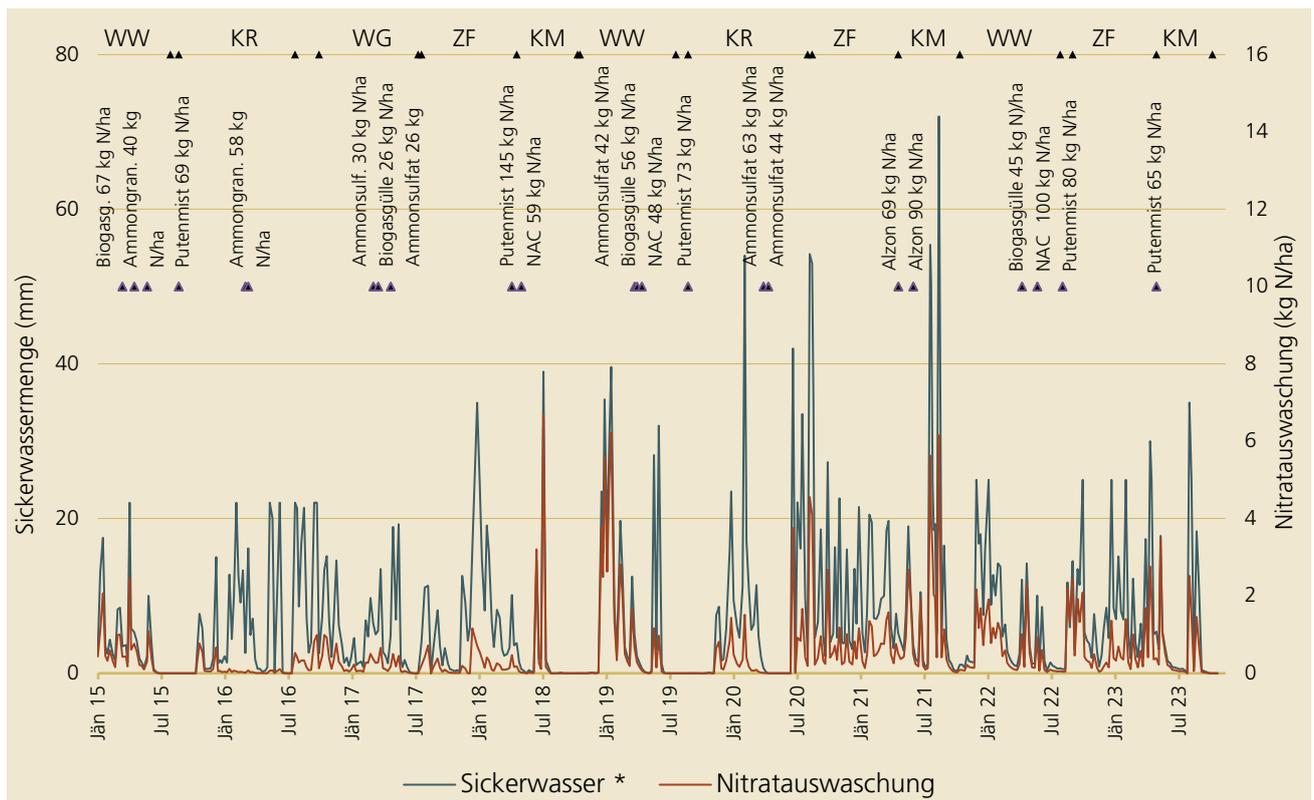


Abb. 5-15: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. PE) von Mai bis Sept. 2016 und August 2017 nicht gesamtes Sickerwasser erfasst

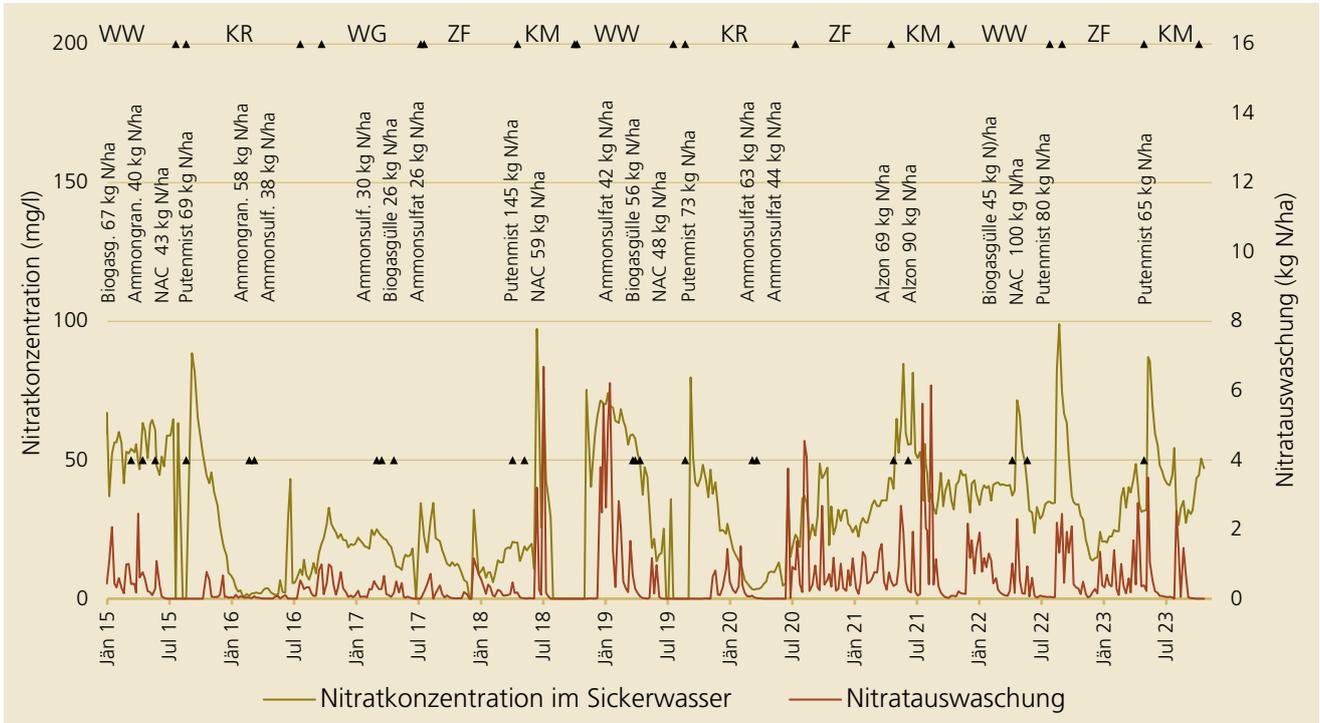


Abb. 5-16: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (tiefgr. PE)

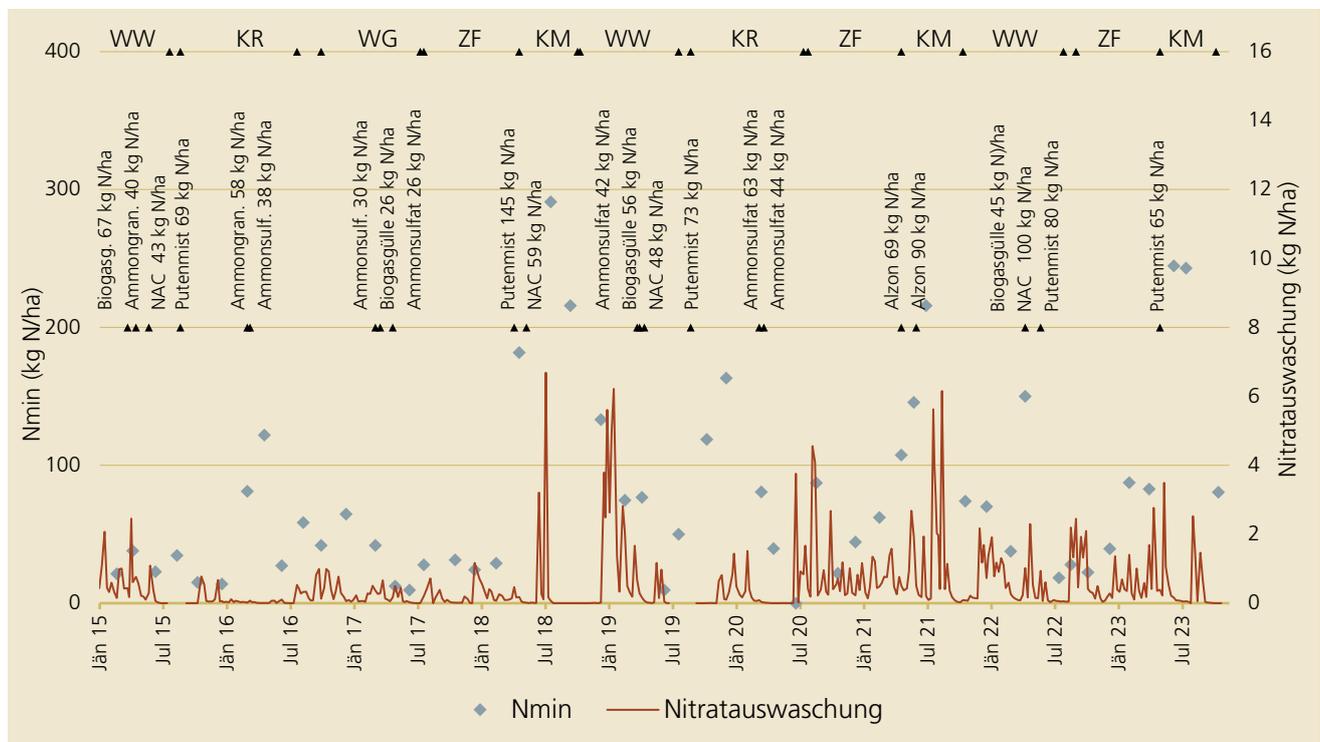


Abb. 5-17: Nitratauswaschung und N<sub>min</sub>-Gehalte des Bodens (tiefgr. PE)

## 5.7 Nitratauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking

### 5.7.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

Am seichtgründigen Standort fielen im hydrologischen Jahr 2022/23 in Summe 907 mm Niederschlag (Abb. 5-18). Die niederschlagsreichsten Monate waren August (211 mm), Juli (156 mm) und April (130 mm).

Die Gesamtmenge an Sickerwasser betrug 285 mm wobei die höchste Sickerwasserbildung im April (69 mm) und August (57 mm) erfolgte. In diesen beiden Monaten versickerten insgesamt 44% der Jahressumme. Die Monate Mai, Juni, Juli und Oktober waren sickerwasserfrei. Die gesamte Sickerwassermenge entspricht rund 31% der jährlichen Niederschlagssumme.

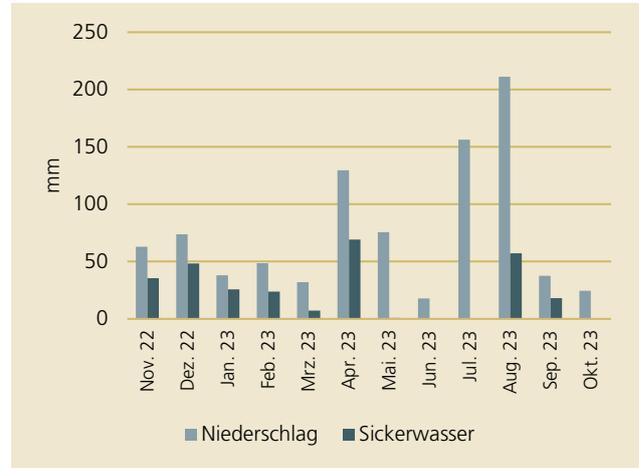


Abb. 5-18: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (seichtgr.)

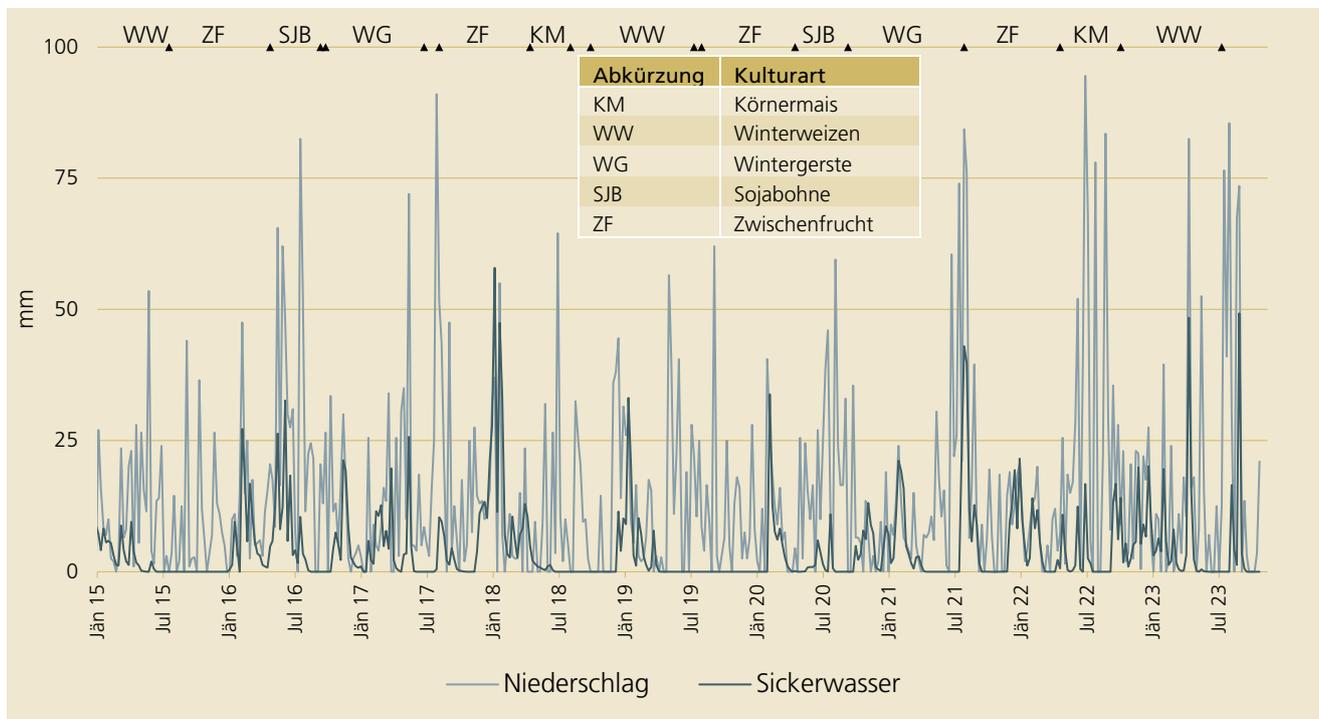


Abb. 5-19: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Jänner 2015 (seichtgründig)

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

Die gesamt ausgewaschene Nitratmenge betrug im hydrologischen Jahr 2022/23 40,4 kg N/ha. Die höchsten Nitratauswaschungen wurden in den Monaten August 2023 (12,6 kg N/ha) und Dezember 2022 (9,2 kg N/ha) verzeichnet, was 54% der Jahresmenge entspricht. Im Vergleich zur Sickerwassermenge zeigt sich, dass die Nitratauswaschung im April gering ausfiel (Abb. 5-20).

Im Sickerwasser wurde die höchste Nitratkonzentration im September 2023 mit 128 mg/l im Lysimeter registriert. Die durchschnittliche Nitratkonzentration im hydrologischen Jahr lag bei 63 mg/l (Abb. 5-22).

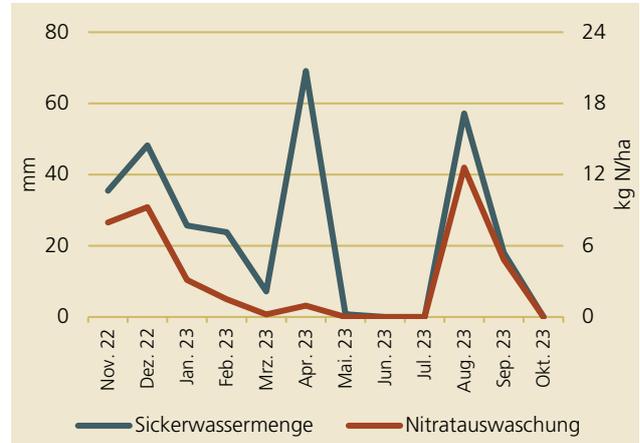


Abb. 5-20: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig)

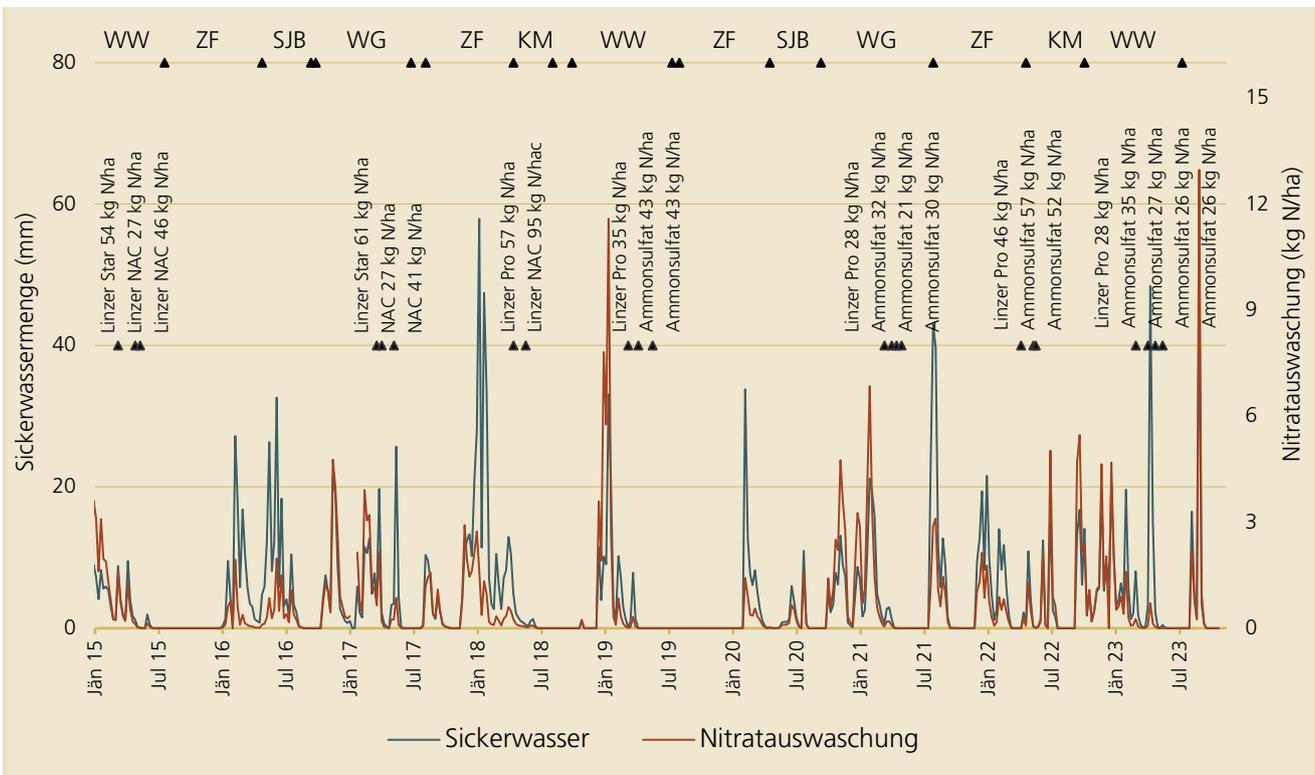


Abb. 5-21: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig)

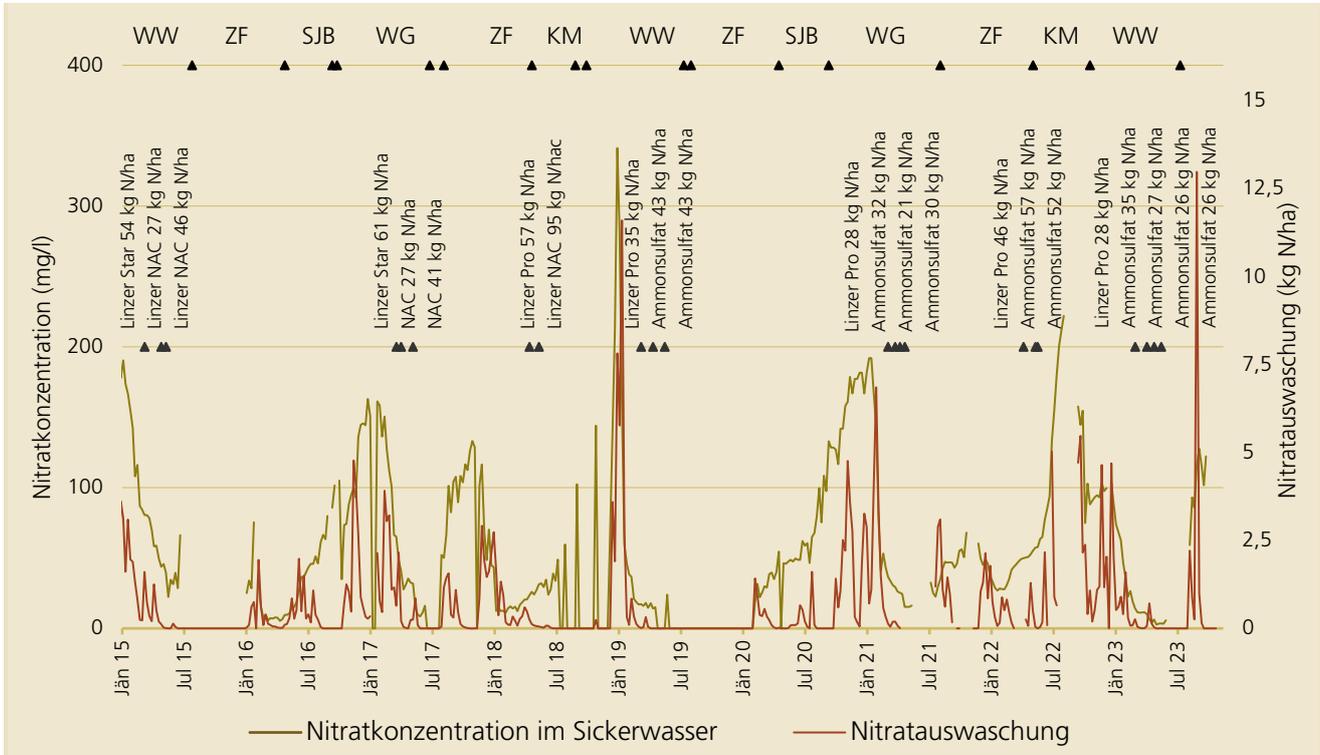


Abb. 5-22: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (seichtgründig)

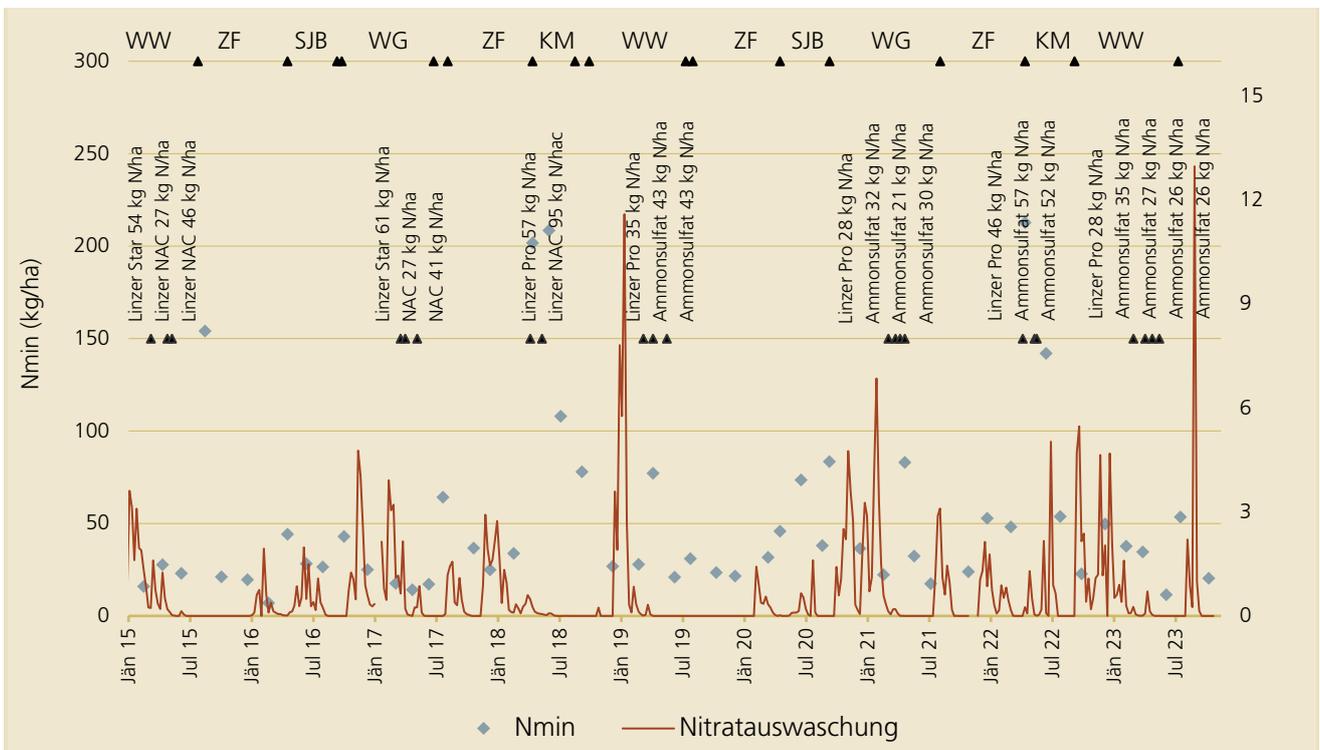


Abb. 5-23: Nitratauswaschung und N<sub>min</sub>-Gehalte des Bodens (seichtgründig)

## 5.8 Nitrat auswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg

### 5.8.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

In Schwertberg fielen im hydrologischen Jahr 2022/23 in Summe 865 mm Niederschlag (Abb. 5-24). Vergleichbar mit den anderen Standorten fielen die größten Niederschlagsmengen im April, Juli und August. In diesen drei Monaten wurden 48% des Jahresniederschlags verzeichnet. Die Sickerwasserbildung erfolgte bei beiden Lysimetern hauptsächlich im April 2023 (gestört: 60 mm, ungestört: 53 mm), gefolgt von Dezember 2022 (gestört: 52 mm, ungestört: 34 mm). Im Vergleich zur Niederschlagsmenge ist auffällig, dass von Juni bis September kein Sickerwasser anfiel.

Im Vergleich der beiden Lysimeter in Schwertberg ist die Sickerwassermenge bei mgSBg mit gestörtem Bodenaufbau mit 188 mm um 49 mm höher als beim Lysimeter mit ungestörtem Bodenaufbau (139 mm). Die gemessene Sickerwassermenge entspricht bei mgSBg gestörtem Bodenaufbau rund 22%, und bei mgSBu (ungestört) 16% der Niederschlagssumme.

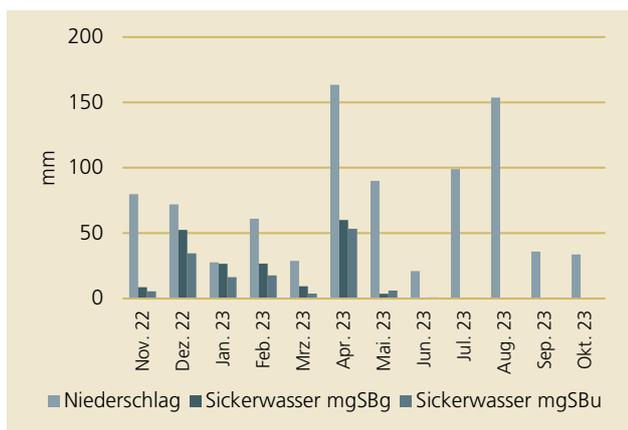


Abb. 5-24: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (mittelgründig)  
mgSBg=gestört, mgSBu=ungestört

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

Die ausgewaschene Nitratmenge im hydrologischen Jahr 2022/23 beim Lysimeter mit gestörtem Bodenaufbau war mit 33 kgN/ha, ähnlich zu den vergangenen Jahren, beinahe doppelt so hoch wie diejenige des ungestörten Lysimeters (18 kgN/ha) (vgl. Abb. 5-25 und Abb. 5-26). In den Monaten November 2022 bis März 2023 lagen die Nitratkonzentrationen bei mgSBg im Schnitt etwa 25% über jenen von mgSBu (Abb. 5-27, Abb. 5-28). Auch die höheren Sickerwassermengen bei mgSBg können eine mögliche Erklärung für die hohe ausgewaschene Nitratmenge sein.

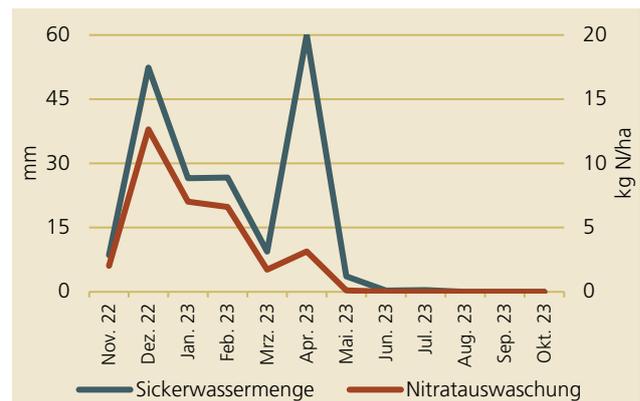


Abb. 5-25: Monatliche Sickerwassermenge und Nitrat auswaschung (mittelgründig) mgSBg

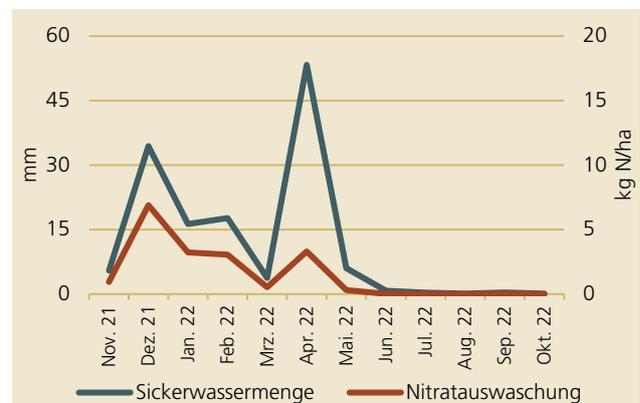


Abb. 5-26: Monatliche Sickerwassermenge und Nitrat auswaschung (mittelgründig) mgSBu

Beim Lysimeter mgSBg waren die Werte im Beobachtungszeitraum des hydrologischen Jahres 2022/23 im Vergleich zu den vergangenen drei Jahren überdurchschnittlich. Die Werte beim Lysimeter mgSBu lagen im

Durchschnitt der Beobachtungen der letzten Jahre (vgl. Abb. 5-27 und Abb. 5-28). Beide Lysimeter zeigten einen ähnlichen Verlauf der Nitratkonzentration im hydrologischen Jahr 2022/23.

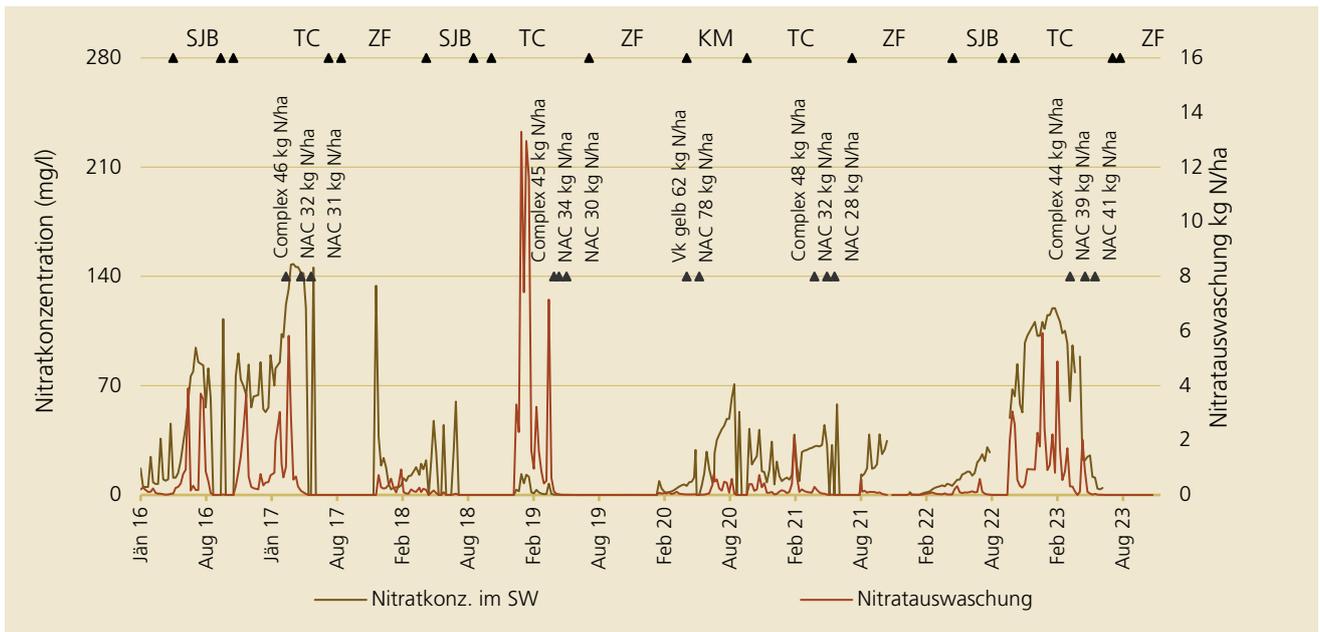


Abb. 5-27: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) mgSBg

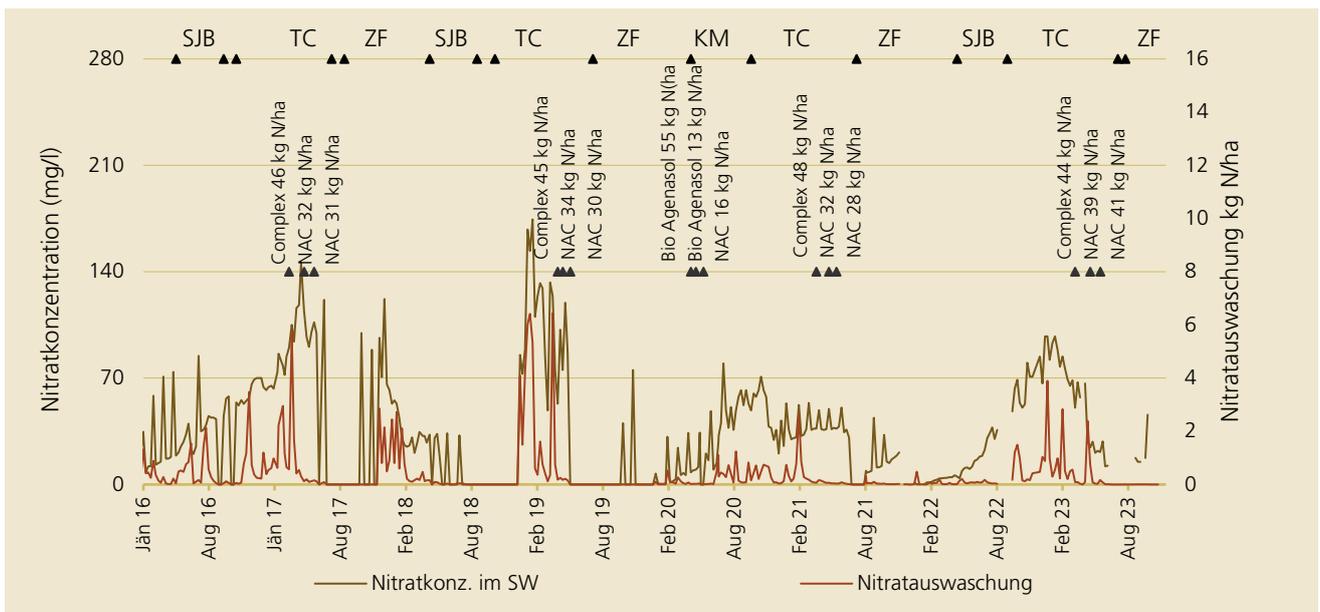


Abb. 5-28: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) mgSBu

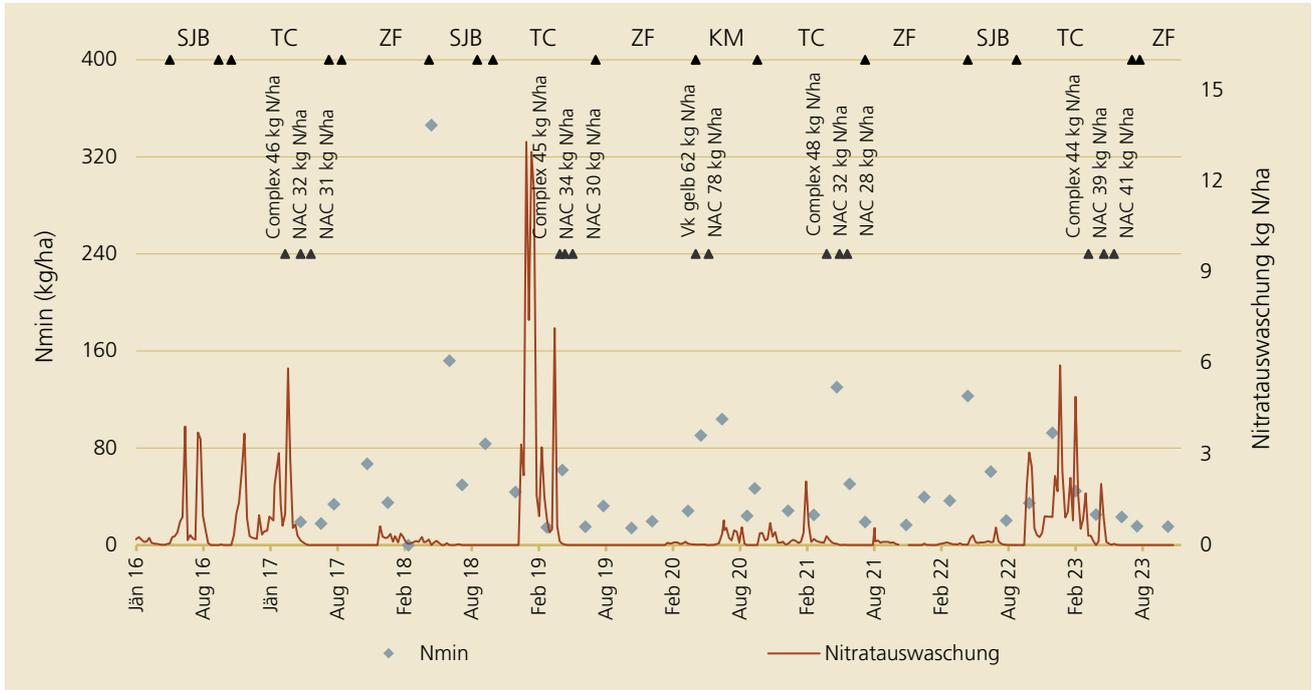


Abb. 5-29:  $N_{min}$ -Gehalt des Bodens (ab April 2017) und Nitrat auswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) mgSBg

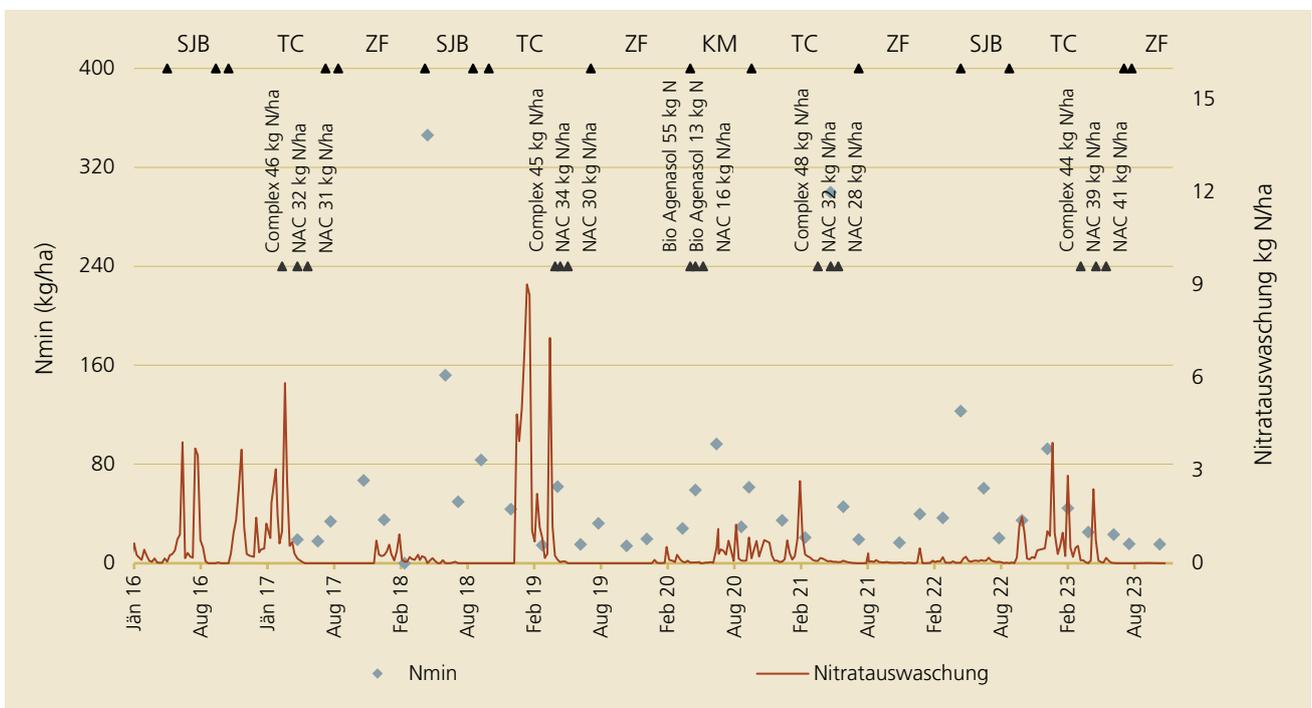


Abb. 5-30:  $N_{min}$ -Gehalt des Bodens (ab April 2017) und Nitrat auswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) mgSBu

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

Die monatlichen Niederschlagssummen der 4 Standorte verlaufen im hydrologischen Jahr 2022/23 etwa parallel. Die höchste Jahresniederschlagssumme wurde in Pettenbach (1.126 mm) gemessen, gefolgt von Eberstalzell (1.092 mm) und Pucking (907 mm). In Schwertberg war die Niederschlagsmenge weniger stark ausgeprägt, wodurch sich eine Jahressumme von 865 mm ergibt (Abb. 5-31).

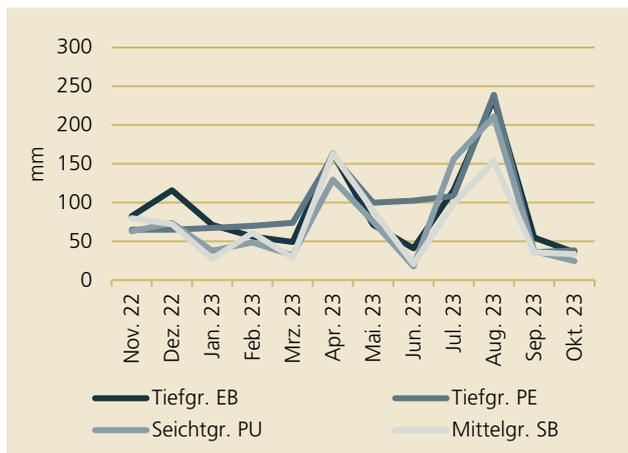


Abb. 5-31: Monatliche Niederschlagssummen

Tab. 5-4: Sickerwassermengen und durchschnittliche Nitratkonzentration vom 01.11.22 bis 31.10.23

|                        | SW [mm] | NO <sub>3</sub> -Kon. [mg/l] |
|------------------------|---------|------------------------------|
| Tiefgr. EB             | 338     | 14,2                         |
| Tiefgr. PE             | 374     | 33,9                         |
| Seichtgr. PU           | 285     | 62,7                         |
| Mittelgr. SB gestört   | 188     | 78,3                         |
| Mittelgr. SB ungestört | 139     | 58,3                         |

Die Reihung der Ortschaften nach Niederschlagssummen ist gleich der Reihung nach Sickerwassermenge. Während in Pettenbach die höchste Menge (374 mm) im hydrologischen Jahr 2022/23 registriert wurde, folgen Eberstalzell (338 mm) und Pucking (285 mm). Die niedrigsten Sickerwassermengen wurden in Schwertberg verzeichnet (gestört 188 mm, ungestört 139 mm) (Tab. 5-4).

Der Verlauf der Sickerwassermengen im hydrologischen Jahr war auf allen Standorten bis zum Juni 2023 ähnlich, wobei sich im April ein markanter Anstieg zeigte. Ebenso wurde im August in Pettenbach, Pucking und Eberstalzell eine Sickerwasserspitze ausgebildet. In Pettenbach stellt diese gleichzeitig die höchste monatliche Sickerwassermenge im Vergleich zu den anderen Ortschaften dar. In Schwertberg wurden ab Juni nur noch sehr geringe Sickerwassermengen verzeichnet. Auffallend dabei ist der Vergleich mit der Niederschlagsspitze im August, welche kein Sickerwasser zur Folge hatte (Abb. 5-32).

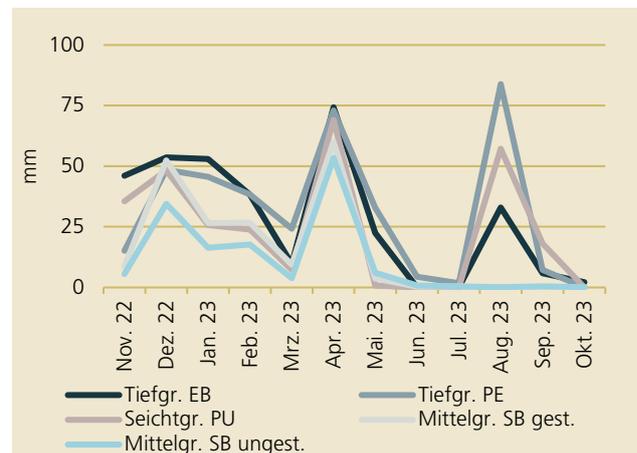


Abb. 5-32: Monatliche Sickerwassermengen

Die höchste durchschnittliche Nitratkonzentration wurde am mittelgründigen Standort in Schwertberg mit 78,3 mg NO<sub>3</sub>/l beobachtet, gefolgt vom seichtgründigen Standort in Pucking (62,7 mg NO<sub>3</sub>/l) und dem ungestörten Standort in Schwertberg (58,3 mg NO<sub>3</sub>/l). Die beiden tiefgründigen Standorte

Pettenbach und Eberstalzell verzeichneten die geringsten Werte mit 33,9 mg NO<sub>3</sub>/l und 14,2 mg NO<sub>3</sub>/l (Tab. 5-4). Sowohl Schwertberg, als auch Pucking überschrritten die durchschnittlichen Nitratkonzentrationen im Beobachtungszeitraum den Grundwasserschwel-lenwert von 45 mg NO<sub>3</sub>/l.

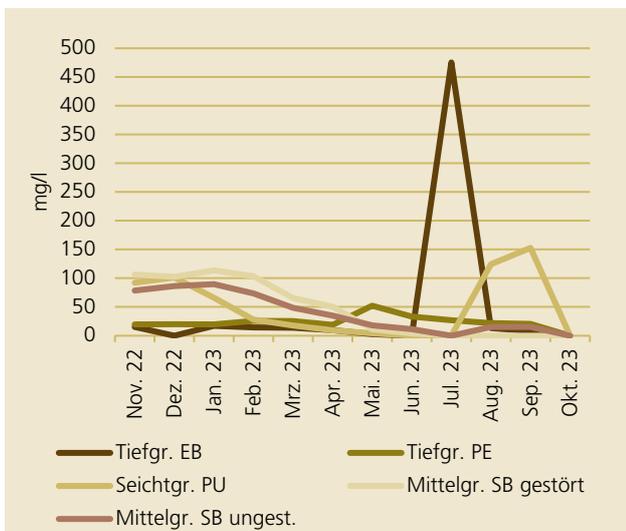


Abb. 5-33: Durchschnittliche monatliche Nitratkonzentrationen

Im Jahresverlauf sind zwischen den vier Standorten Unterschiede zu beobachten, die sowohl mit den Bodeneigenschaften als auch der Bewirtschaftung und der angebauten Kultur zusammenhängen. Die beiden tiefgründigen Standorte wiesen zu Beginn des hydrologischen Jahres eine geringere Nitratkonzentration auf. Im Jahresverlauf bildete dieser in Pettenbach eine Spitze im Mai zum Zeitpunkt des Körnermaisbaus (52 mg NO<sub>3</sub>/l). Der Verlauf der Sickerwasserkonzentrationskurve in Pettenbach zeigte ein für Körnermais typisches Bild, das so auch in den vergangenen Jahren auf den tiefgründigen Standorten beobachtet werden konnte.

In Eberstalzell ist ein hoher Wert im Juli mit 475 mg NO<sub>3</sub>/l auffällig, welcher nach einer längeren sickerwasserfreien Zeit entstand, und bei einer sehr geringen Sickerwassermenge gemessen wurde (0,2 mm).

Aufgrund der geringen Sickerwassermenge hat dieser Wert keine Auswirkung auf die Gesamtauswaschung an diesem Standort. An den Standorten in Pucking und Schwertberg verringerte sich die Nitratkonzentration nach anfänglichen Werten zwischen 78 mg NO<sub>3</sub>/l und 113 mg NO<sub>3</sub>/l ab Februar und März stetig. Der Anstieg des Wertes in Pucking ab August (124 mg NO<sub>3</sub>/l und 152 mg NO<sub>3</sub>/l) ist mit dem erneuten Auftreten von Sickerwasser zu erklären, welches in den Monaten davor beinahe bei null lag.

Die geringste Nitratauswaschung erfolgte in Eberstalzell (10,8 kg N/ha), gefolgt vom Lysimeter mit ungestörtem Bodenaufbau in Schwertberg (18,3 kg N/ha). Pettenbach sowie der gestörte Lysimeter in Schwertberg liegen mit 28,7 kg N/ha und 33,2 kg N/ha im Mittelfeld. Die höchste Auswaschung wurde wie im Vorjahr in Pucking (40,4 kg N/ha) gemessen (vgl. Abb. 5-34).

Die monatliche Nitratauswaschung zeigte erneut Spitzen im April und August welche mit der Niederschlagsmenge in Zusammenhang gebracht werden können. Während sich auf den seicht- und mittelgründigen Standorten Schwertberg und Pucking auch im Dezember eine Austragsspitze bildete, zeigte sich zu Beginn des hydrologischen Jahres (November bis März) eine, bei den tiefgründigen Standorten, gleichmäßige Auswaschung.

Der Jahresverlauf der Nitratauswaschung zeigt für den Mais-Standort Pettenbach eine im Vergleich zu Vorjahren frühe Auswaschung ab April. Eine weitere Anomalität ist die Auswaschungsspitze unter wachsendem Mais im August. Die Standorte mit der Hauptfrucht Winterweizen und Triticale in Pucking und Schwertberg zeigen die typischen, höheren Auswaschungen zu Beginn des Jahres. Am seichtgründigen Standort in Pucking kann die hohe Auswaschung im August auf den hohen Niederschlag und die Bodeneigenschaften zurückgeführt werden. Am tiefgründigen Standort in Eberstalzell konnte zu Beginn des hydrologischen

Jahres eine konstante Auswaschung beobachtet werden. Die Auswaschungsspitzen waren im Vergleich zu den anderen Standorten moderat.

Während des Messzeitraums seit September 2001 bis November 2023 wurde in Summe am seichtgründigen Standort mit 939 kg N/ha am meisten Stickstoff in Form von Nitrat ausgewaschen (Abb. 5-35). Am tiefgründigen Standort in Eberstalzell waren es mit 587 kg N/ha etwa ein Drittel weniger, am tiefgründigen Standort in Pettenbach mit 486 kg N/ha etwas weniger als die Hälfte. Am neu hinzugekommenen Standort in Schwertberg wurden von Jänner 2016 bis November 2023 in Summe 185 kg N/ha (gestört) bzw. 148 kg N/ha (ungestört) ausgewaschen.

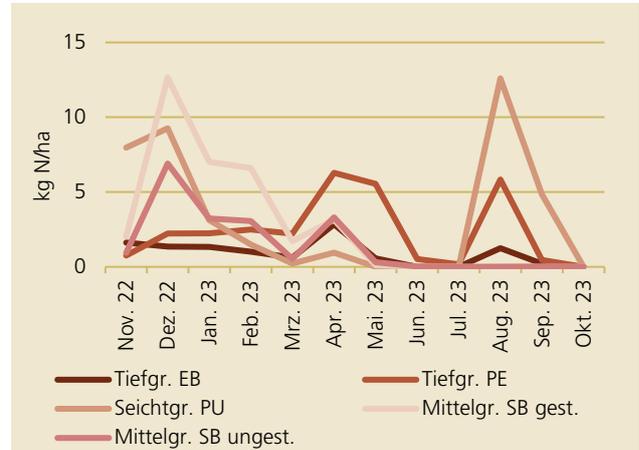


Abb. 5-34: Monatliche Nitratauswaschung

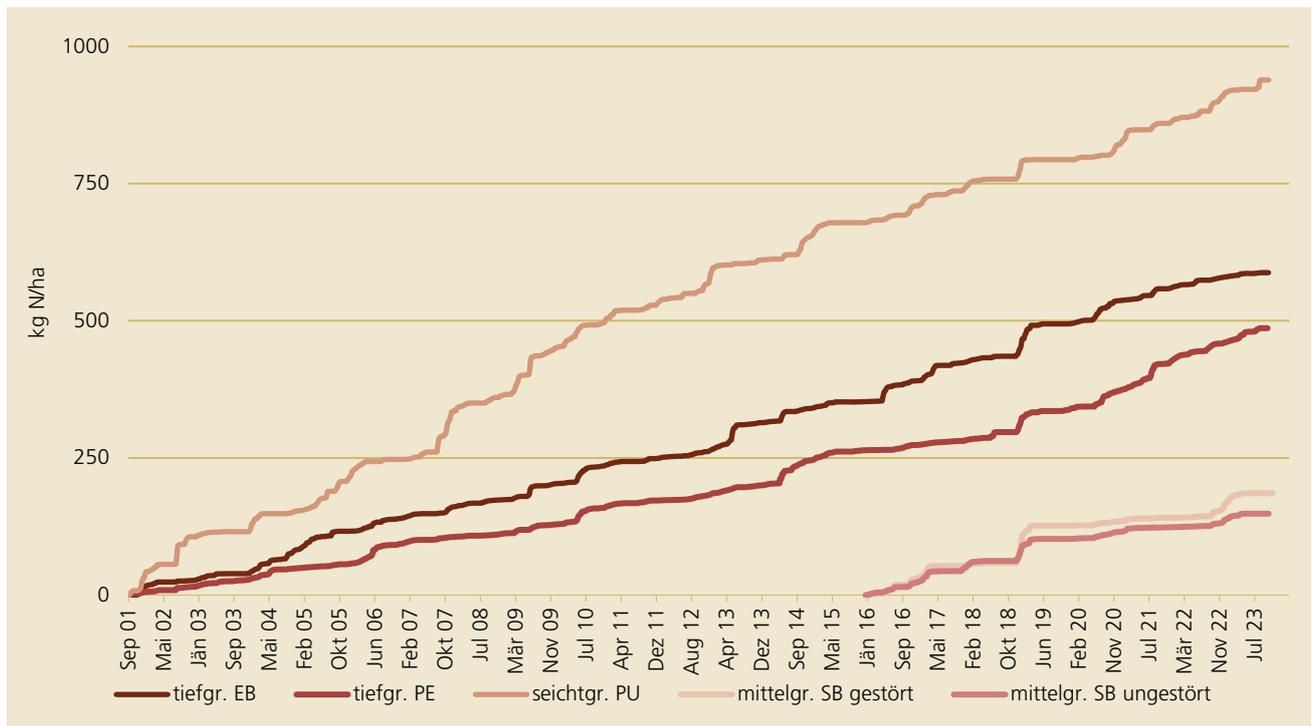


Abb. 5-35: Summe der als Nitrat ausgewaschenen Stickstoffmenge an den vier Standorten

### 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 aussagekräftige 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. 5-36 und Abb. 5-37), wobei in Pettenbach eine Rolle spielen dürfte, dass der seit wenigen Jahren eingesetzte Wirtschaftsdünger erst zeitverzögert zu einem Anstieg der Nitratkonzentration im Sickerwasser führt. Am seichtgründigen Standort in Pucking lässt sich die Höhe der Auswaschung nicht mit dem Stickstoffsaldo erklären (vgl. Tab. 5-3). Obwohl seit 2000 der N-Saldo weitgehend ausgeglichen oder nur schwach positiv ist, findet dennoch eine laufende Stickstoffauswaschung statt (Abb. 5-38). 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.

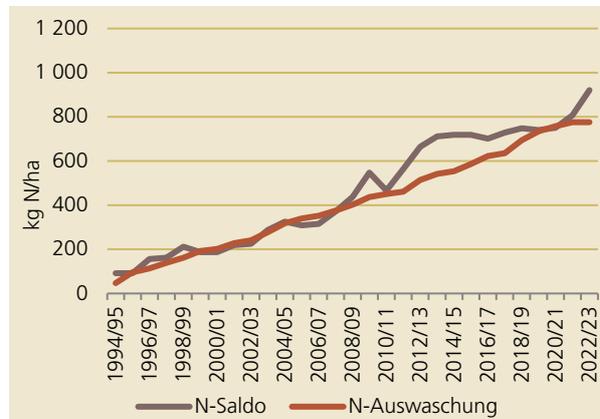


Abb. 5-36: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Eberstalzell

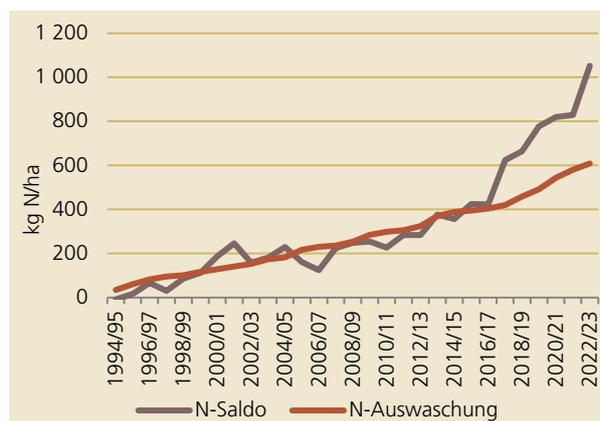


Abb. 5-37: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Pettenbach

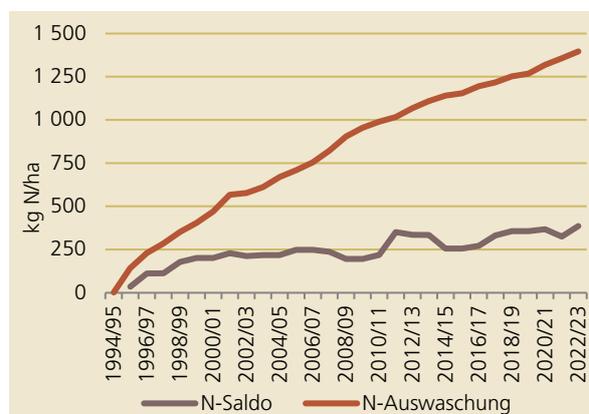


Abb. 5-38: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Pucking

### 5.11 Phosphorbilanzen

In Eberstolzcell erfolgte die Phosphorzufuhr in Form von Schweinegülle am 21.03.2023 mit 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha und am 07.04.2023 mit 56 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. Auf dem Standort in Pettenbach erfolgte am 08.08.2022 vor der Aussaat der Hauptfrucht für das hydrologische Jahr 2022/23 eine Düngung durch Putenmist mit 332 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. Am 01.05.2023 wurde erneut mit Putenmist gedüngt (253 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha). In Pucking erfolgte eine mineralische Phosphordüngung am 02.03.2023 mit 20 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. Der Standort in Schwertberg wurde am 13.03.2023 mit 44 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha gedüngt.

Die Standorte Eberstolzcell, Pettenbach und Schwertberg konnten nach der Ernte eine positive Phosphorbilanz aufzeigen. Nach den negativen Phosphorbilanzen im Vorjahr in Pettenbach und Schwertberg, lagen diese im hydrologischen Jahr 2022/23 bei 515 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha und 10 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. In Pucking resultierte eine negative Phosphorbilanz mit 23 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha im Lysimeter (Tab. 5-5).

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

Tab. 5-5: Phosphorbilanzen für das Erntejahr 2022 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)

|                            | Tiefgr. Standort in Eberstolzcell 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 | 96   |    | 585                                 |     | 20                                 |     | 44                                |   |
| Entzug durch die Pflanzen  | Lysimeter  | MW | Lysimeter                           | MW  | Lysimeter                          | MW  | MW                                | - |
| Entzug durch das Korn      | 28   | 27 | 70                                  | 71  | 43                                 | 46  | 34                                | - |
| Entzug durch das Stroh     | 8  | 6  | 22                                  | 17  | 11                                 | 8   | 15                                | - |
| Summe Entzug               | 36   | 33 | 92                                  | 88  | 54                                 | 54  | 49                                | - |
| Abfuhr durch Ernte         | 28   | 27 | 70                                  | 71  | 43                                 | 46  | 34                                | - |
| Bilanz Korn                | 68   | 69 | 515                                 | 514 | -23                                | -26 | 10                                | - |
| Bilanz Korn + Stroh        | 60   | 63 | 493                                 | 497 | -34                                | -34 | -5                                | - |
| Bilanz Ernte               | 68   | 69 | 515                                 | 514 | -23                                | -26 | 10                                | - |

### 5.12 Phosphatauswaschung

Der jahreszeitliche Verlauf der Phosphatauswaschung im Jahr 2022/23 folgt im Wesentlichen dem Sickerwasseranfall (Abb. 5-39). Eine Ausnahme bildet hier Schwertberg, wo im April des hydrologischen Jahres

trotz Sickerwassers keine Phosphatauswaschung verzeichnet wurde. Die Standorte Eberstolzcell und Pucking verzeichnen die höchsten Auswaschsummen des Jahres von 0,18 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha und 0,17 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. Der gestörte Standort in Schwertberg, sowie Pettenbach folgen mit jeweils 0,05 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. Die geringste

Auswaschsumme wurde am ungestörten Standort in Schwertberg verzeichnet (0,04 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha). Die Auswaschungsspitzen erfolgten erneut im April und August. Die dritte Spitze im Januar und Februar 2023 in Eberstalzell kann nicht mit Niederschlag oder Sickerwassermenge erklärt werden und wurde daher als Ausreißer gesehen. Insgesamt sind die Werte der Phosphatauswaschung gering. Die Standorte Eberstalzell und Pucking verzeichneten im Vergleich zu den beiden anderen Standorten extremere Ausschläge der monatlichen Phosphatauswaschung.

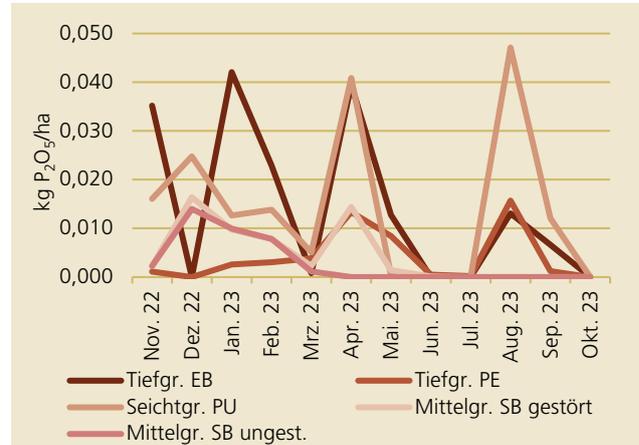


Abb. 5-39: Monatliche Phosphatauswaschung

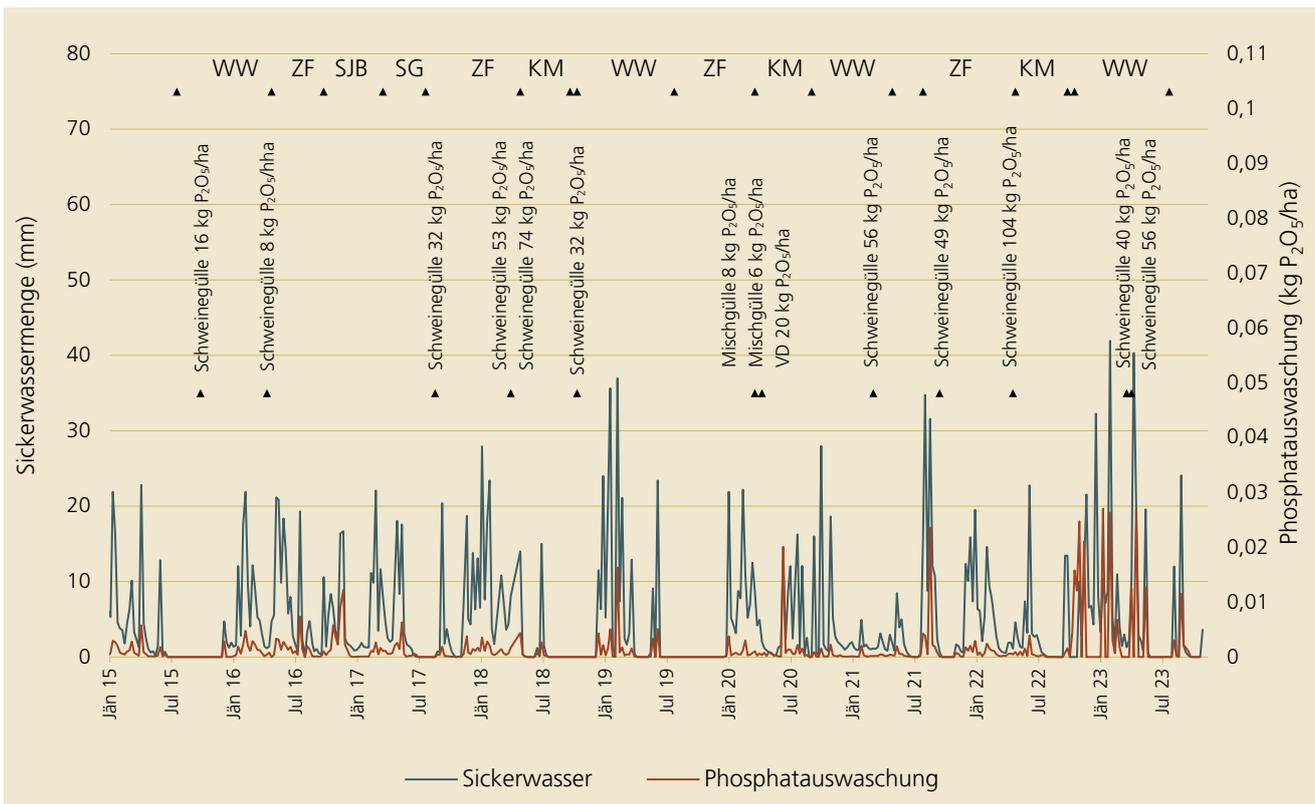


Abb. 5-40: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstalzell

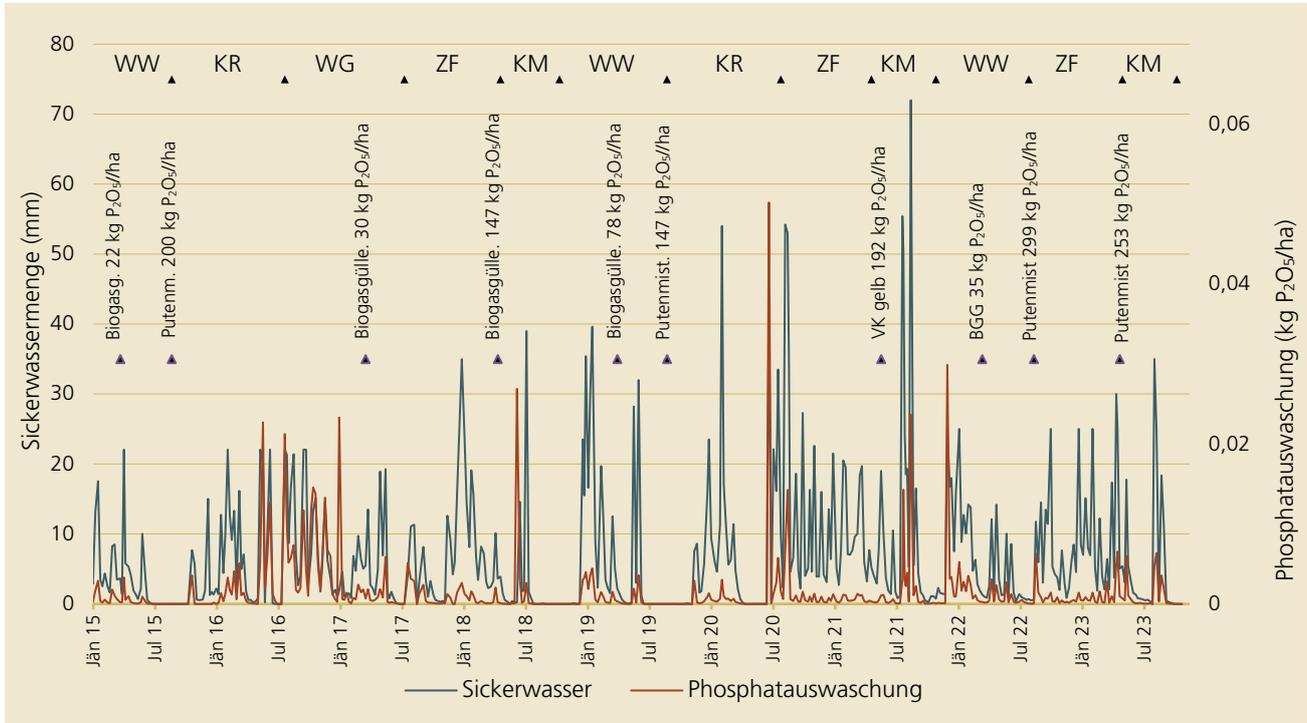


Abb. 5-41: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach

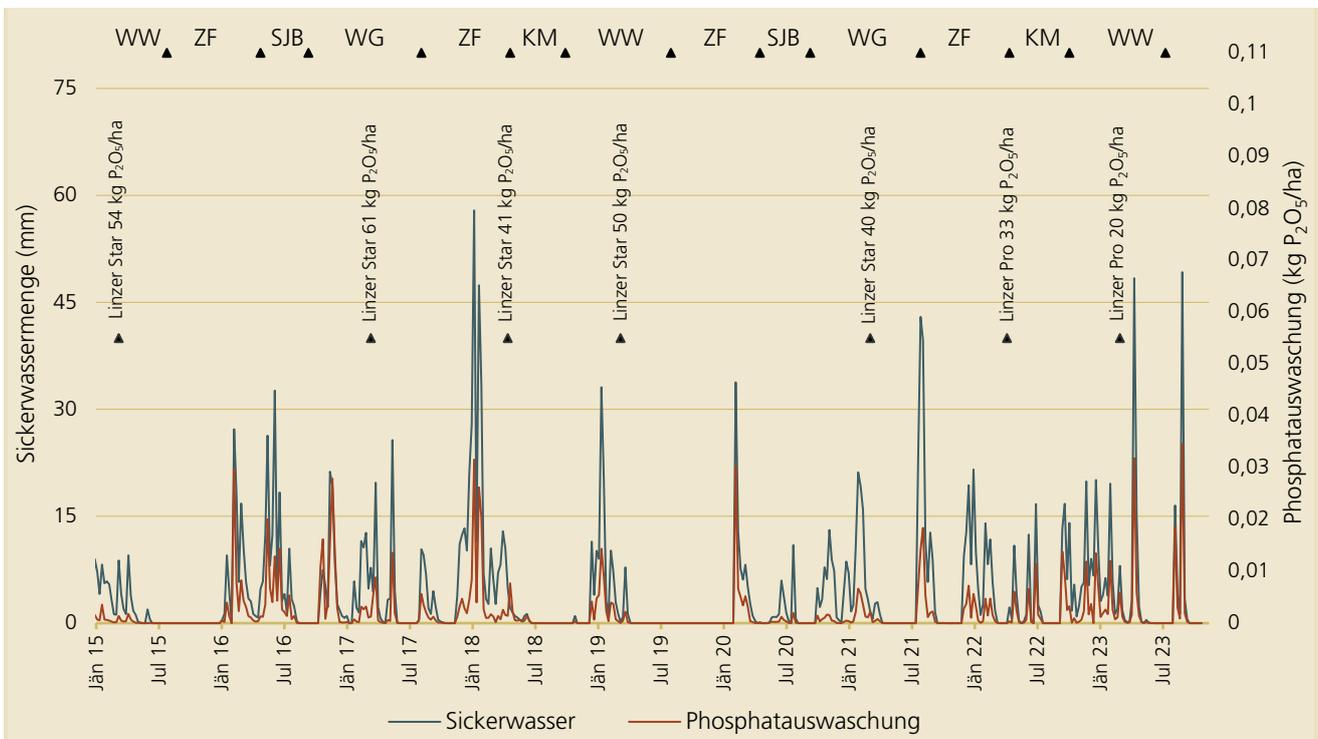


Abb. 5-42: Phosphatauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking

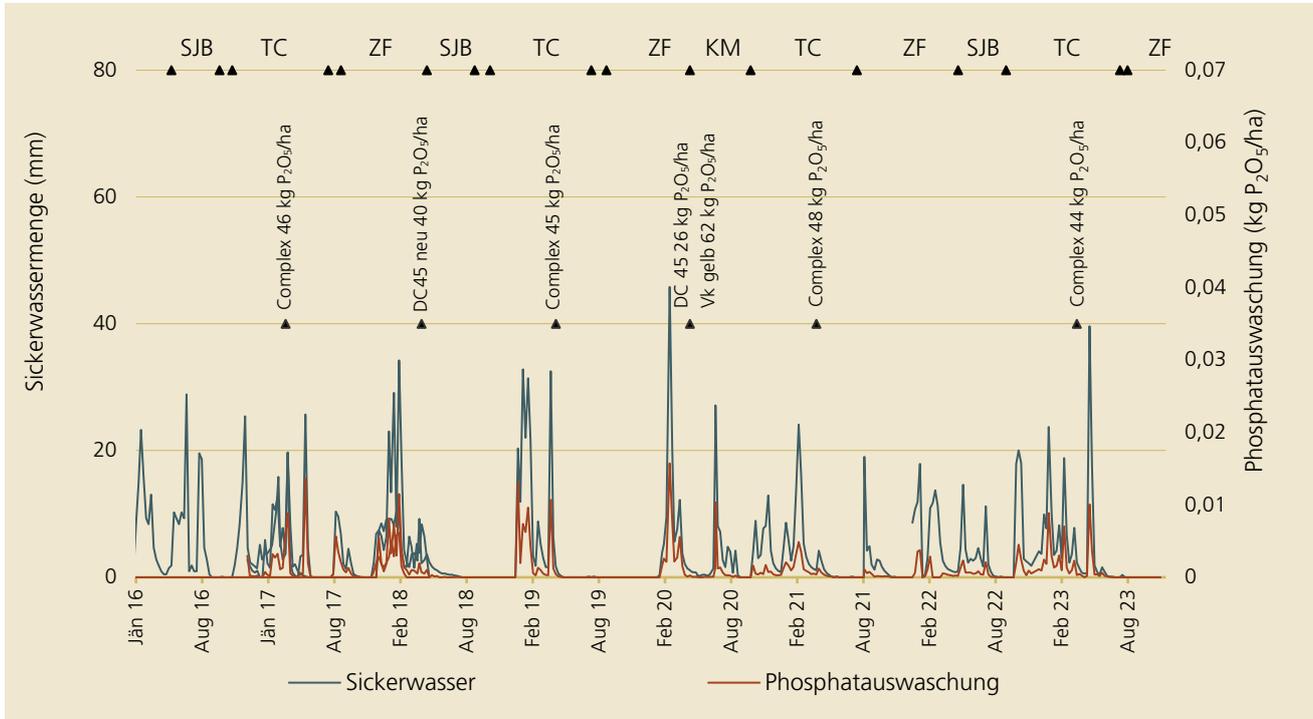


Abb. 5-43: Phosphatauswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg (gestörter Bodenaufbau)

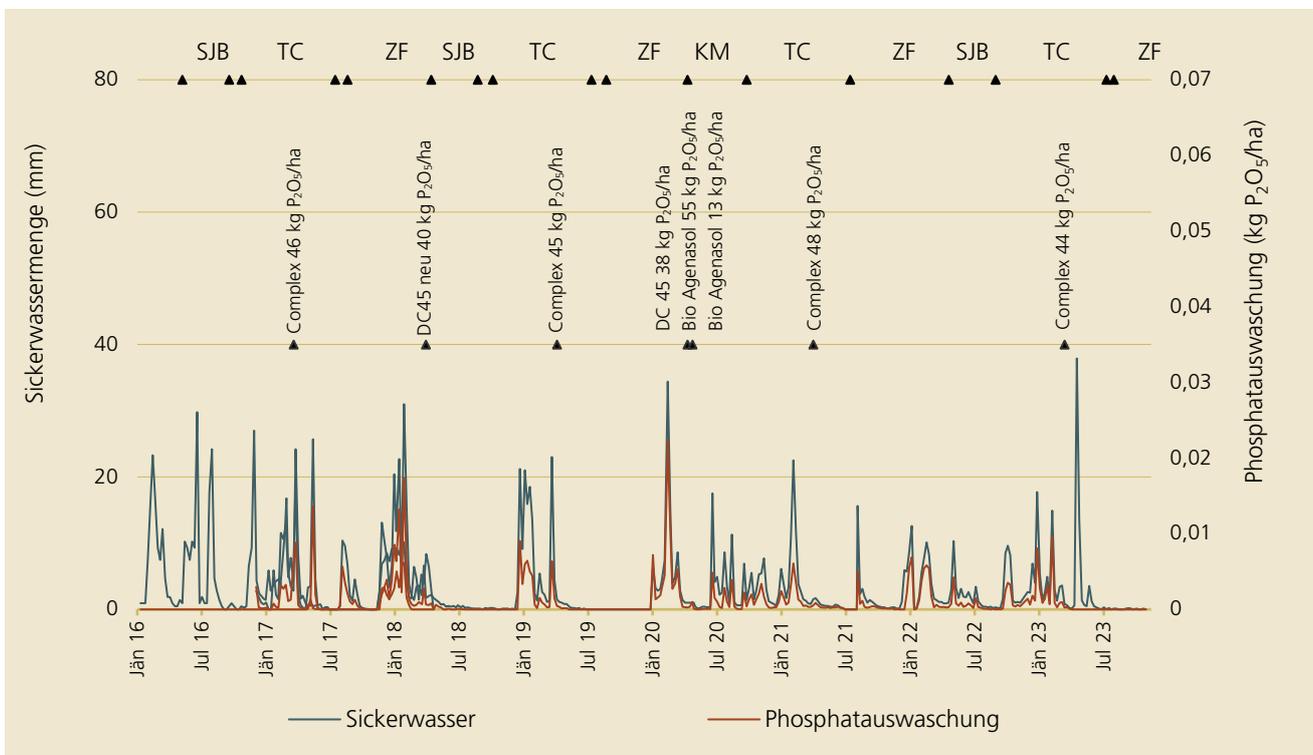


Abb. 5-44: Phosphatauswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg (ungest. Bodenaufbau)

In Summe waren die P-Verluste mit dem Sickerwasser im hydrologischen Jahr 2022/23 um etwa 52% höher als im Vergleichszeitraum des vorigen Jahres. Die durchschnittliche Phosphatkonzentration im Sickerwasser lag in diesem Jahr auf allen 4 Standorten deutlich unter dem Grundwasserschwellenwert von 0,30 mg PO<sub>4</sub>/l.

Seit Beginn der Messreihe wurden am tiefgründigen Standort in Eberstallzell insgesamt 1,52 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha ausgewaschen und am tiefgründigen Standort in Pettenbach 1,75 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. Am seichtgründigen Standort in Pucking wurde seither mit 2,65 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha annähernd die doppelte Menge von Eberstallzell ausgewaschen. (Abb. 5-45). Am Standort in Schwertberg wurde seit Jänner 2016 0,30 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha beim Lysimeter mit gestörtem Bodenaufbau und 0,37 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha beim Lysimeter mit ungestörtem Bodenaufbau ausgewaschen.

Im hydrologischen Jahr 2022/23 liegt die P-Auswaschung in Eberstallzell um 173% über dem Wert vom Vorjahr, wobei ein unplausibler Wert im Oktober 2022 bei der Berechnung nicht berücksichtigt wurde. In Pettenbach wurde die P-Auswaschung um ca. 42% reduziert. Der Standort Pucking verzeichnete einen Zuwachs von 83%. Die Sickerwasserproben aus Schwertberg registrierten eine um 64% erhöhte P-Auswaschung am gestörten Standort. Die P-Auswaschung am ungestörten Standort wurden im Vergleich zum Vorjahr um 19% reduziert.

Während der Vorjahreszuwachs an allen Standorten im Schnitt bei 16% lag, wurden im hydrologischen Jahr 2022/23 52% mehr P ausgewaschen. Die Menge an Sickerwasser stieg im durchschnittlich um etwa 4%.

Die mittlere PO<sub>4</sub>-Konzentration im Sickerwasser war in Pucking am höchsten, gefolgt von Eberstallzell. In Schwertberg wurden ähnliche PO<sub>4</sub>-Konzentration bestimmt und in Pettenbach wurde die geringste Menge registriert (Tab. 5-6).

Tab. 5-6: Sickerwasser, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Verluste und mittlere PO<sub>4</sub>-Konzentration im Sickerwasser vom 01.11.22 bis 31.10.23

|                        | SW [mm] | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - Verlust [kg/ha] | PO <sub>4</sub> -Kon. [mg/l] |
|------------------------|---------|---|------------------------------|
| Tiefgr. EB             | 338     | 0,18  | 0,070                        |
| Tiefgr. PE             | 374     | 0,05  | 0,018                        |
| Seichtgr. PU           | 285     | 0,17  | 0,081                        |
| Mittelgr. SB gestört   | 188     | 0,05  | 0,039                        |
| Mittelgr. SB ungestört | 139     | 0,04  | 0,034                        |

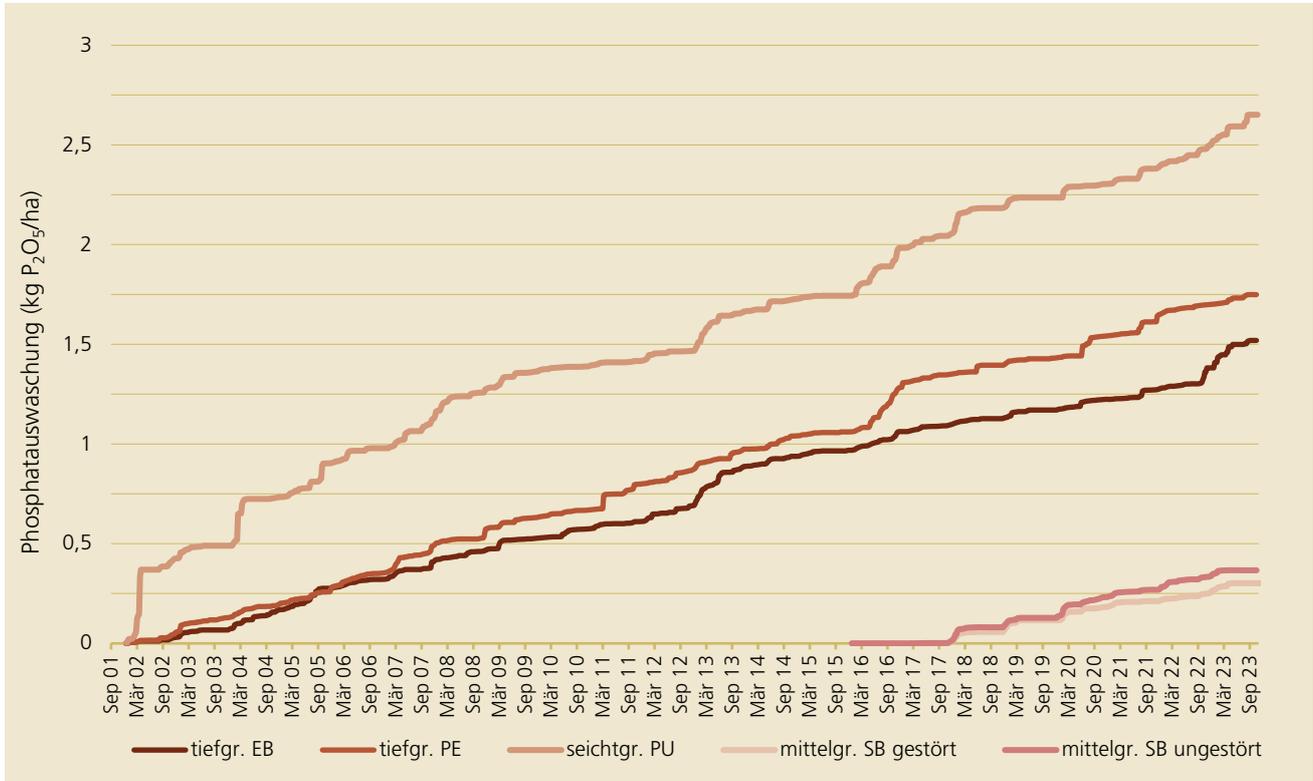


Abb. 5-45: Summe der ausgewaschenen P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Menge.

## 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) 10-jährige Laufzeit der verschiedenen Geber erlaubt eine vergleichende Gegenüberstellung des Jahres 2023 mit den bisherigen Messergebnissen. Dies erfolgt in Darstellungen, in welchen die Bandbreite der bisherigen Messergebnisse – also die je beobachteten Tagesmaxima und Tagesminima der dargestellten Zeitreihe - bis inkl. 2022 als Hintergrund fungiert, das Vergleichsjahr (2022, blau) und das Bearbeitungsjahr (2023, rot) farblich unterschieden werden.

Da defekte Module der Messstelle dankenswerterweise vom Hydrographischen Dienst Oberösterreich laufend ersetzt werden, gelingt es auch heuer wieder, komplette Tiefenprofile der Messstelle aus gemessenen und rekonstruierten Werten auszuwerten.

In Abb. 6-1 und Abb. 6-3 werden solcherart die Niederschlags- und Temperaturverhältnisse, teilweise inkl. der Vergleichsmessstelle in Vorchdorf, dargestellt. 2023 war ein insgesamt mitteltrockenes Jahr mit niederschlagsfreiem März, sehr nassem April, maximal

trockenem Juni, maximal nasser 2. Augushälfte und maximal trockenem Oktober. Sowohl der trockene März als auch Oktober sowie der nasse April stellen seit Messbeginn 2002 Extrema dar. Bereits 2022 war gekennzeichnet durch einen trockenen Jahresbeginn bis inkl. März mit nassem April. Es gab 2023 drei Regenereignisse mit mehr als 40 l/Tag, nämlich am 3. Februar, 15. April. und 28. August sowie 2 starke Regenphasen vom 7.-20. April und vom 25. Juli bis 9. August.

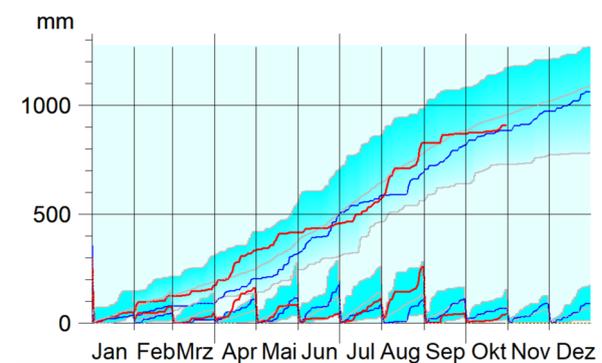


Abb. 6-1: Niederschlags-Jahres- und Monatssummenlinien 2022 (blau) und 2023 (rot) in Pettenbach

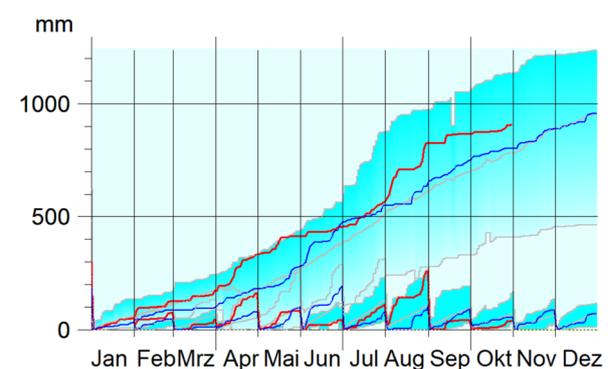


Abb. 6-2: Niederschlags-Jahres- und Monatssummenlinien 2022 (blau) und 2023 (rot) in Vorchdorf

Die Lufttemperaturen (Abb. 6-3 und Abb. 6-4) zeigen eine deutlich höhere Jahres- (genauer November bzw. Oktober-) Summe als die bisherige Mittellinie, was den beiden seit Messbeginn wärmsten Monaten September und Oktober geschuldet ist. Der Sommer lag im Mittel, im Frühjahr glich der maximal kalte April die

leicht überdurchschnittlich warmen Vormonate in der Summenlinie aus.

Die meteorologischen Parameter wurden soweit möglich mit den umliegenden Messstellen verglichen und teilweise ergänzt.

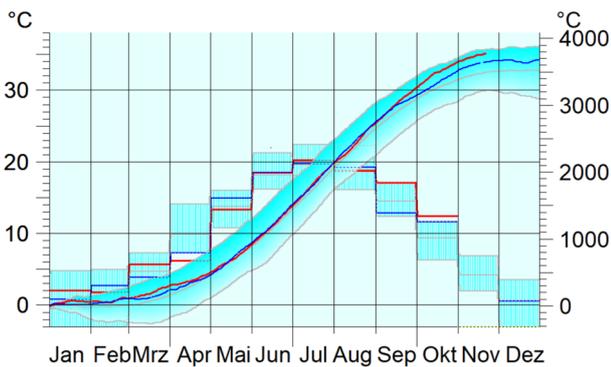


Abb. 6-3: Lufttemperatur-Jahres- und Monatssummenlinie und Monatsmittel 2022 (blau) und 2023 (rot) in Pettenbach

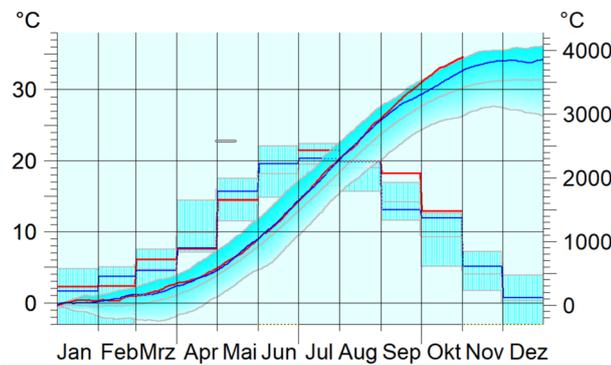


Abb. 6-4: Lufttemperatur-Jahres- und Monatssummenlinie und Monatsmittel 2022 (blau) und 2023 (rot) in Vorchdorf

Globalstrahlung und Wind sind die maßgeblichen Treiber der Verdunstung und Versickerung. Am besten lassen sich diese Größen über Wochenmittelwerte vergleichen. 2023 war das Frühjahr trüb, die Luft mittelfeucht und windarm bis auf den Zeitraum 30. Jänner bis 3. Februar. Der nasse April ist strahlungsarm und hebt mit etwas Wind die Luftfeuchtigkeit in ein saisonales Maximum. Auch der Mai ist strahlungsarm, die Luft wird kontinuierlich trockener mit saisonalem

Minimum der Luftfeuchte. Im Juni steigt die Globalstrahlung kontinuierlich bis zu einem saisonalen Maximum und die Luft trocknet bei starkem Wind auf ein saisonales Minimum. Auffallend windarm sind die folgenden Monate Juli bis September bei knapp über dem Mittel liegender Luftfeuchte und bis auf Anfang August überdurchschnittlicher Strahlung. Es bleibt hell im Oktober, der Wind legt zu, aber der fehlende Niederschlag und die Wärme lassen die Luft zu einem saisonalen Minimum trocknen. All diese Werte liegen im äußeren Bereich der Bandbreite und wurden im Beobachtungszeitraum ab 2002 bereits erreicht, lediglich der dunkle April, Mai und Augustbeginn sowie Windspitzen Mitte November stellen neue saisonale Rekorde auf.

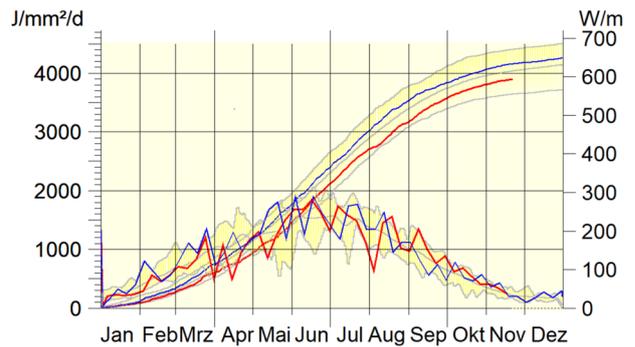


Abb. 6-5: Globalstrahlungs-Jahressummenlinie und Wochenmittel 2022 (blau) und 2023 (rot) der Station Pettenbach

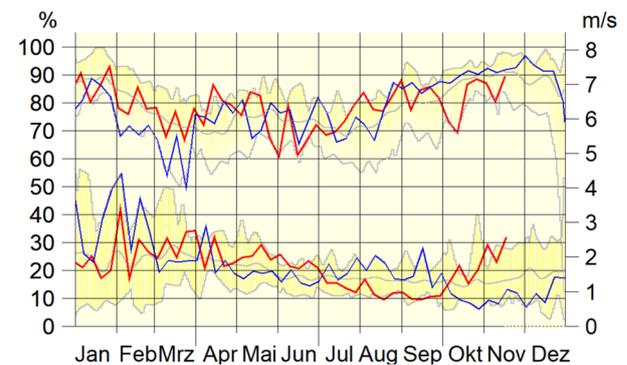


Abb. 6-6: Luftfeuchte- (oben) und Windgeschwindigkeits- (unten) Wochenmittel 2022 (blau) und 2023 (rot)

### 6.3 Grundwasserneubildung

Die Auswirkungen der klimatischen Verhältnisse auf die Grundwasserneubildungen der Lysimeterstandorte in Pucking, Eberstallzell und Pettenbach werden in den Abb. 6-7 bis Abb. 6-9 dargestellt. Der Vergleichszeitraum startet jeweils 1995. Die Unterschiede sind den unterschiedlichen Böden, im Fall Pucking den stark unterschiedlichen Niederschlagsdargeboten sowie etwaigen Lysimeter-immanenten Messunsicherheiten geschuldet. Jedenfalls betätigen die 3 Lysimeter einander in den wichtigsten Versickerungsphasen.

Es sind alle Wippen (Pettenbach, Pucking und Eberstallzell) bzw. deren Logger aus unterschiedlichen Gründen 2023 zeitweise ausgefallen – und zwischenzeitlich wieder repariert, sodass auch auf wöchentliche manuelle Ausliterungen der betreuenden Landwirte zurückgegriffen wurde.

Alle 3 Lysimeter zeigen eine Aprilversickerung von rd. 75 l, welche bei Eberstallzell und Pettenbach auf eine bereits hohe Jänner- (und Februar-)Versickerung aufsetzt. Bei Pucking ist die Jänner-Versickerung geringer, der Zeitraum der April-Versickerung kürzer, wie es dem seichtgründigen leichten Boden entspricht. Die August-Versickerung beträgt bei Pettenbach 80 l, bei Pucking 55 l, bei Eberstallzell 33 l, wobei Anfang September in Pucking noch 20 l dazukommen. 2023 ist mit seinen 2 massiven Regenereignissen ein quantitativ gutes Grundwasserneubildungsjahr.

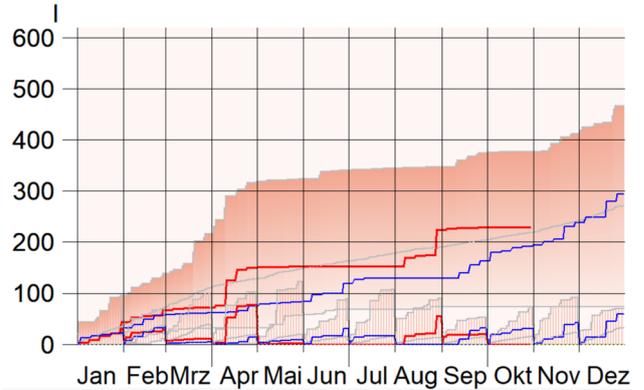


Abb. 6-7: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pucking 2022 (blau) und 2023 (rot)

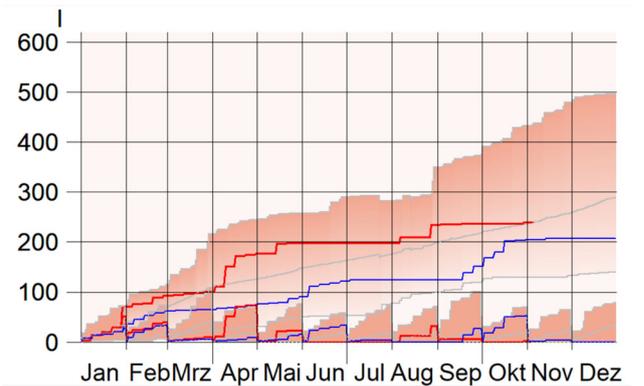


Abb. 6-8: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Eberstallzell 2022 (blau) und 2023 (rot)

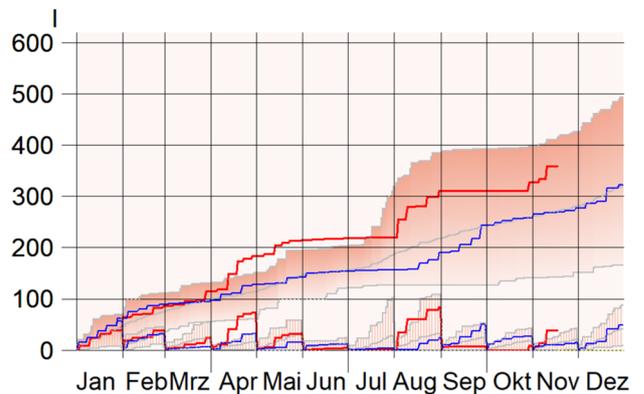


Abb. 6-9: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pettenbach 2022 (blau) und 2023 (rot)

Mithilfe der  $k_u$ -Funktion (Wasserleitfähigkeit im ungesättigten Zustand) lassen sich aus den Saugspannungsgradienten die Grundwasserneubildungen berechnen. Abb. 6-10 stellt die berechnete Grundwasserneubildung in Pettenbach als Jahressummenlinie dar. 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. Beide Größen liegen bis Mai und dann erst wieder ab Anfang November im Bereich größerer Versickerungen.

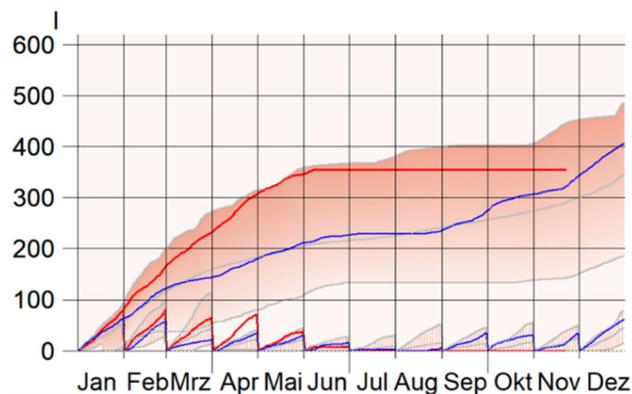


Abb. 6-10: berechnete Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pettenbach 2022 (blau) und 2023 (rot)

Aufgrund eines Loggerfehlers musste im Jahr 2023 das Matrixpotential 6 aus dem Matrixpotential 5 rekonstruiert werden. Dadurch ergibt sich auch noch in der 2. Oktoberhälfte sowie im November ein leicht negativer Matrixpotential-Gradient 5-6, welcher Versickerung verhindert, aber eventuell der Rekonstruktionsungenaugigkeit geschuldet ist.

Generell signalisiert der Gradientenverlauf über die Tiefe nach Regenereignissen, dass von Kompartiment 4 nach Kompartiment 5 die Wasserbewegung nach unten gerichtet ist, von Kompartiment 5 nach 6 aber noch nach oben und erst nach geraumer Zeit (sprich nach mehreren Wochen) nach unten. Das lässt sich bei den schweren Böden in diesen Tiefen (120 und 140 cm unter Gelände) leicht nachvollziehen.

Aus der Differenz von Niederschlag und Versickerung – zuzüglich einer Winterkorrektur (Okt-Februar-Verdunstung 30 20 10 0 10 gesetzt; Restwerte gesammelt und zu 30-50-20% zu März April Mai dazugezählt), da der Schnee erst verzögert im Frühjahr versickern kann - ergibt sich rechnerisch die Verdunstung, deren Jahresverlauf bei der Messstelle Pettenbach in Abb. 6-11 dargestellt ist. Ihre Jahressumme liegt 2023 etwa gleich hoch wie im Vorjahr, wobei die Starkregenereignisse im April und August dafür verantwortlich sind. Juni und September aber zeigen sehr geringe bis minimale Verdunstungen, was auf Mangel an Niederschlag (Juni) und ausgetrockneten Boden (September) zurückzuführen ist.

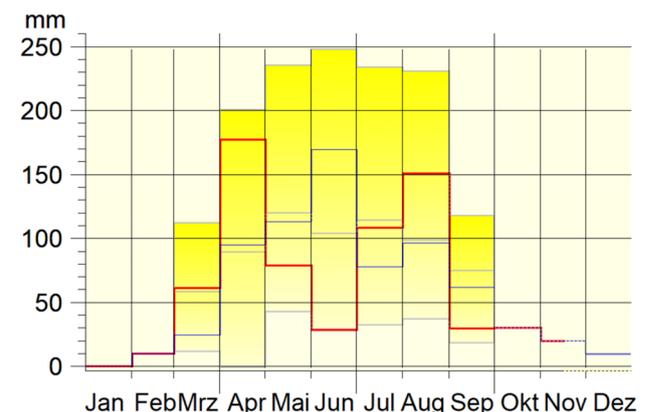


Abb. 6-11: Bilanzierte Verdunstungs-Monatssummen 2022 (blau) und 2023 (rot)

Vernachlässigt wurde bei diesen Bilanzierungen die Änderung des Wasservolumens im Boden. 2023 hat der Boden im März 70 mm, von Mai bis Juli 100 mm und im August innerhalb kürzester Zeit nochmals 50 mm Wasser bereitgestellt für Pflanzenwachstum, Verdunstung und eben nur in geringerem Ausmaß für Versickerung.

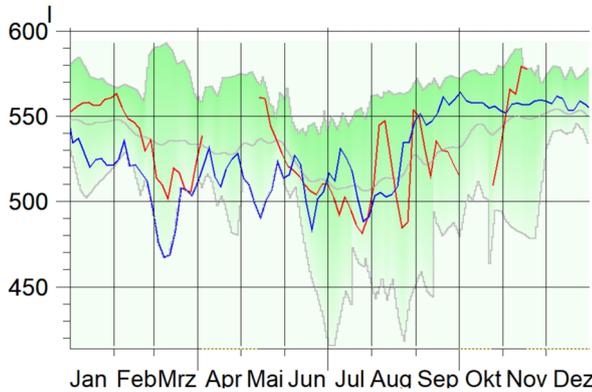


Abb. 6-12: Profilwassermengen (4Tagesmittel) im Bodenprofil Pettenbach 2022 (blau) 2023 (rot)

Die langjährige Entwicklung der Versickerungen und Verdunstungen wird durch Abb. 6-13 wiedergegeben. Da es seit 1996 durchgehende Versickerungsmessungen in den 3 Lysimetern des Forschungsprojekts gibt, lassen sich gewisse dem Klimawandel zuzurechnende Aussagen treffen. Zunächst ist es wichtig, die mengenmäßig stark variierenden Niederschlagsverhältnisse im Projektgebiet zu berücksichtigen. Eberstallzell und Pettenbach liegen in der Traun-Enns-Platte und können mit ca. einem Drittel mehr Jahresniederschlag rechnen als Pucking in der Raumeinheit „Unteres Trauntal“.

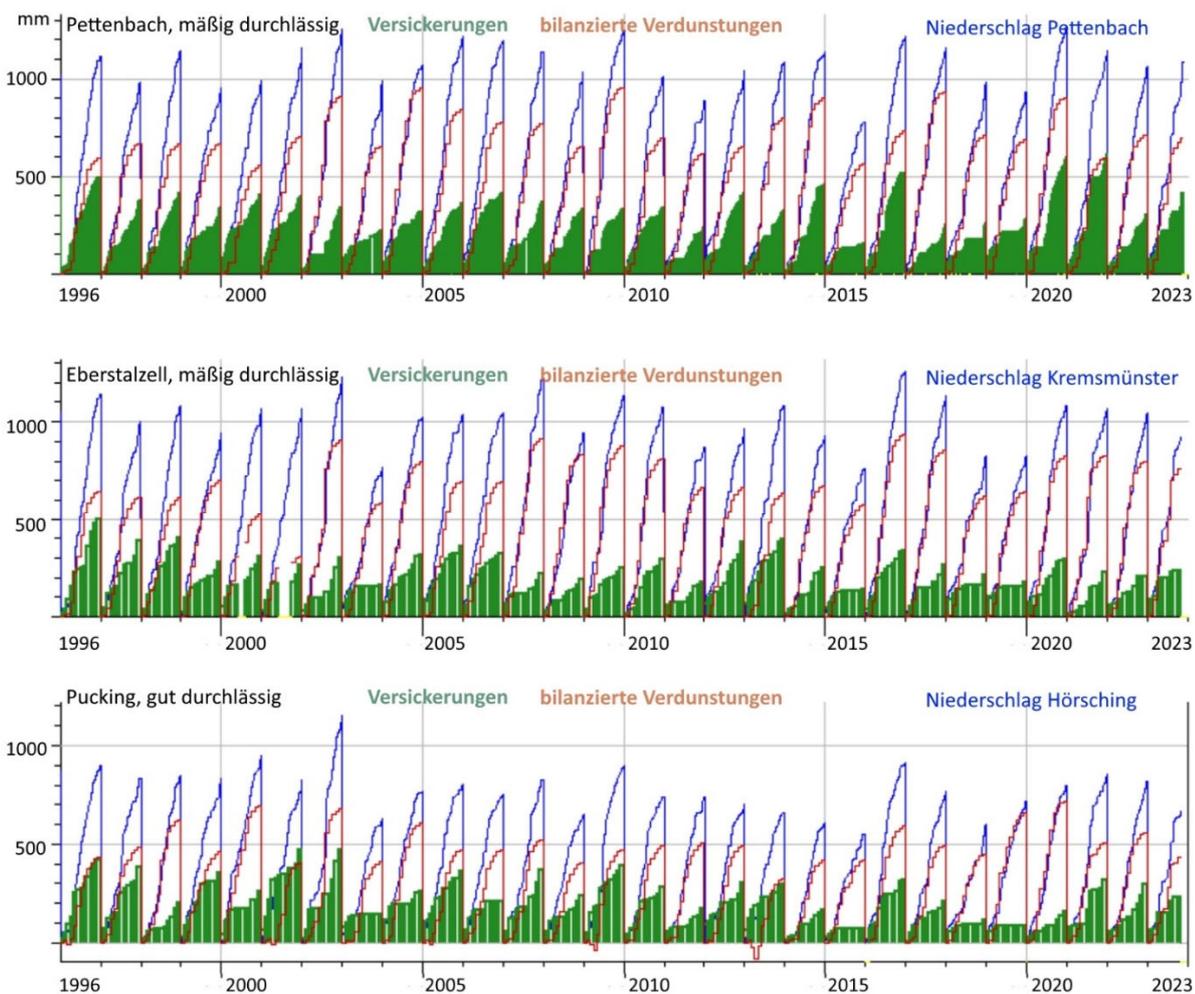


Abb. 6-13: Jahressummen der Versickerungen, bilanzierten Verdunstungen und des Niederschlages der Messstellen Pettenbach (oben), Eberstallzell (Mitte) und Pucking (unten)

Dennoch ist allen 3 Standorten gemeinsam, dass die Relation Verdunstung zu Versickerung sich ab 1996 von größer 1 in Pettenbach und Eberstalzell bzw. 1 in Pucking nach 2-3 in den jüngeren Jahren verschiebt. Während in Eberstalzell und Pucking der negative Trend der Versickerung ins Auge springt, wird er in Pettenbach durch einzelne Jahre mit hohen Versickerungssummen wie 2014, 2016, 2020 und 2021 unterbrochen.

In Pettenbach hat die Variabilität der Jahresversickerungen seit 2015 sehr augenscheinlich zugenommen, wobei sich dieses Phänomen auch in Pucking und abgeschwächt in Eberstalzell zeigt. Ungeachtet etwaiger Lysimeterfehler lässt sich die Aussage treffen, dass in der Messstellenregion Versickerungen tendenziell abnehmen, Verdunstungen bei ausreichendem Niederschlagsangebot zunehmen und daher in dieser Region in trockenen Jahren die Versickerung mit 20-30%

des Niederschlags, in feuchten mit 30-35 % anzusetzen ist.

Abb. 6-14 zeigt einen generellen leichten Abwärtstrend im Freiland-Bodenwasservolumen (oberes Diagramm), da die extremen Sommeraustrocknungen ab 2016 den Boden scheinbar nachhaltig veränderten. Allerdings ist mit dem letzten sichtbaren Monatsmittel, dem November 2023, wieder eine Höhe des Bodenwasservolumens wie vor 2016 erreicht. Weiters ist zu Abb. 6-14 zu bemerken, dass die Differenzen zwischen den Gesamtprofilwassermengen im Lysimeter und im Freiland sich aus den unterschiedlichen rechnerischen Gesamtprofiltiefen erklären, welche jeweils 10 cm unter den untersten Wassergehaltssensor reichen: das ist im Freiland 150 cm, im Lysimeter 130 cm unter Gelände, da der unterste Wassergehaltssensor defekt ist.

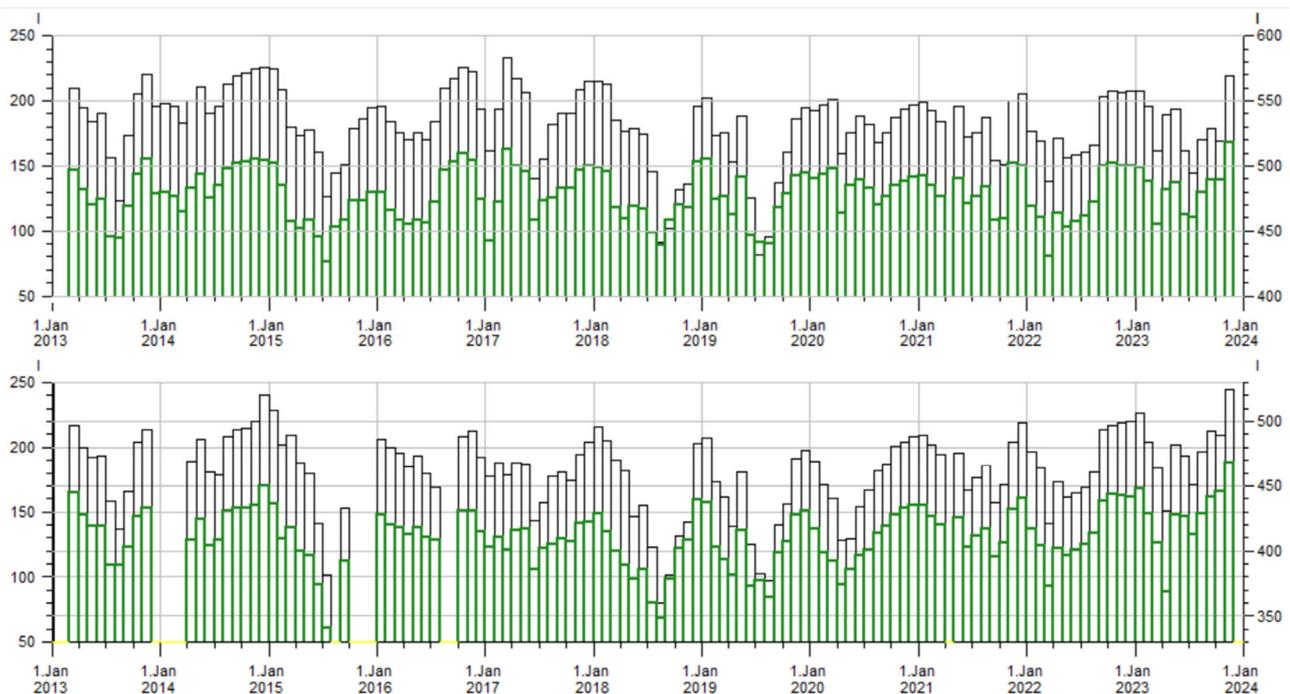


Abb. 6-14: Monatsmittel der Gesamtprofilwassermengen (grün, rechts skaliert) und Wassermenge des durchwurzelten Profilvereichs (0-40 cm; schwarz, links skaliert) in Pettenbach seit 2013: oben Freiland, unten Lysimeter

## 6.4 Bodenwasserverhältnisse

Für die Beobachtung der Bodenwasserverhältnisse im Jahr 2022 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 2021 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. Wo möglich, werden Messlücken aber durch Interpolationswerte (gedämpfte Phasen-verschobene Werte einer höheren Tiefe oder in Parallellaufzeiten gewonnene Wertepaarverbindungen zweier Sensoren) geschlossen.

Die gewichtet gemittelten 4 Tages-Temperaturen (Abb. 6-15 und Abb. 6-16) im durchwurzelten Bereich des Profils (0-40 cm) zeigen 2023 im durchwurzelten Bereich ungewöhnliche Februar- und März-Erwärmungen, die sich auch gedämpft im Boden unter der Durchwurzelung wiederfinden. Das weitere Jahr verläuft im Mittel, sowie im Juni, Juli und September im oberen Bereich der Bandbreite, der warme Oktoberanfang aber verlässt die Bandbreite sowohl im durchwurzelten Bereich als auch darunter und stellt somit einen saisonalen Temperaturrekord auf.

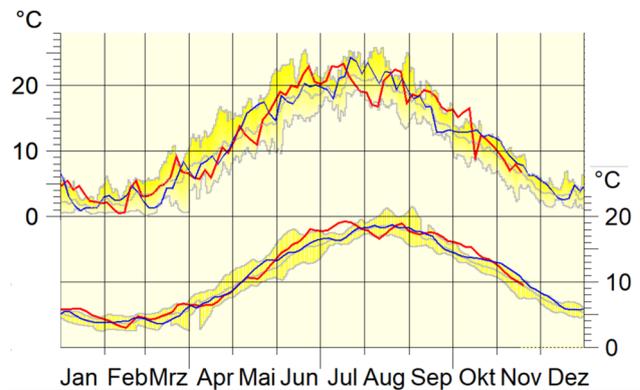


Abb. 6-15: Oberboden- und Unterbodentemperaturen 2022 (blau) und 2023 (rot) im Freiland

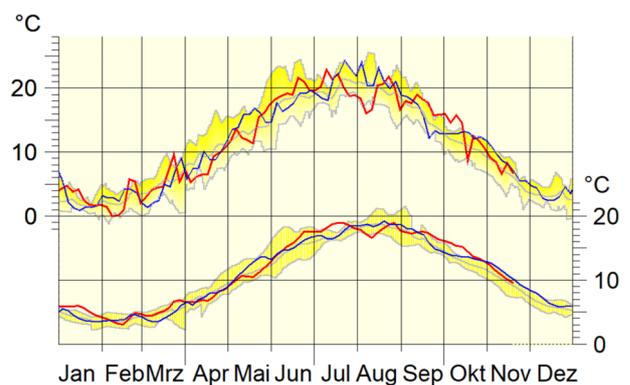


Abb. 6-16: Oberboden- und Unterbodentemperaturen 2022 (blau) und 2023 (rot) im Lysimeter

Bei der Berechnung der Saugspannungen in Abb. 6-17 bis Abb. 6-18 wurden 2 Messsysteme überlagert: Tensiometer für den feuchten Bereich mit Obergrenzen von SOLL-800, IST oft 300-400 hPa, und Gipssensoren (Watermark) mit Messbereich bis 4.000 hPa für die Quantifizierung von Austrocknungen. Zudem fehlten im Jahr 2023 wegen Wartungsproblemen wichtige Sensoren und wurden rudimentär rekonstruiert. Sowohl die funktionierenden Matrixpotentialsensoren als auch die Wassergehalte signalisieren Ende Oktober noch größere Wasserspannungen als im Juni. Dies erklärt den spitzen Verlauf in den oberen Diagrammen der beiden Abbildungen.

Das Jahr beginnt mit Frostspitzen im Februar sowohl im Freiland als auch im Lysimeter. Darauf folgt ein deutlicher März-Trockenstress, welcher im Lysimeter noch ausgeprägter ist als im Freiland. Der lange Trockenstressaufbau von Mitte Mai bis Ende Juni endet in der durchwurzelten Zone abrupt, aber nicht nachhaltig durch die Juli-Niederschläge. Erst Ende Juli bricht die Wasserspannung bis an die Profilunterkante (also auch unter der durchwurzelten Zone) ein, das gleiche Spiel von Aufbau und Zusammenbruch auch im August. Im September dann beginnt der große späte Trockenstress mit Höchstwert Ende Oktober.

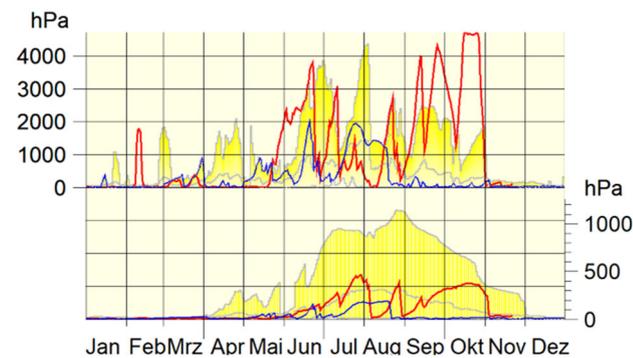


Abb. 6-17: Oberboden- und Unterbodensaugspannungen 2022 (blau) und 2023 (rot) im Freiland

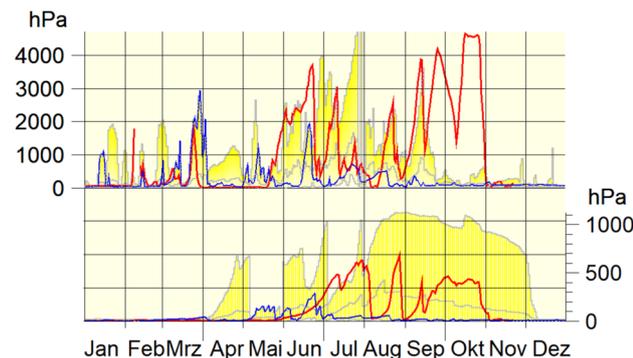


Abb. 6-18: Oberboden- und Unterbodensaugspannungen 2022 (blau) und 2023 (rot) im Lysimeter

In Abb. 6-19 und Abb. 6-20 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.

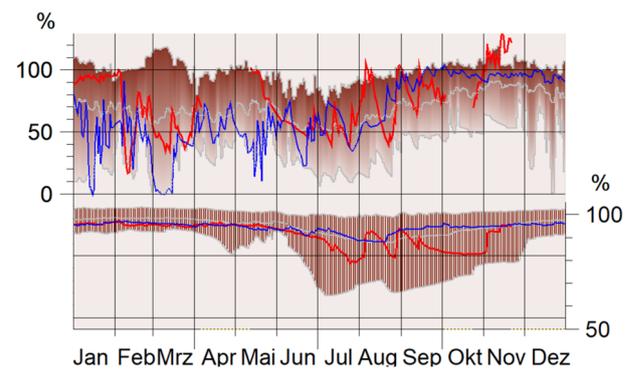


Abb. 6-19: SWI des durchwurzelten Bereiches (oben) und unterhalb der Durchwurzelungstiefe (unten) im Freilandprofil, 2022 (blau) und 2023 (rot)

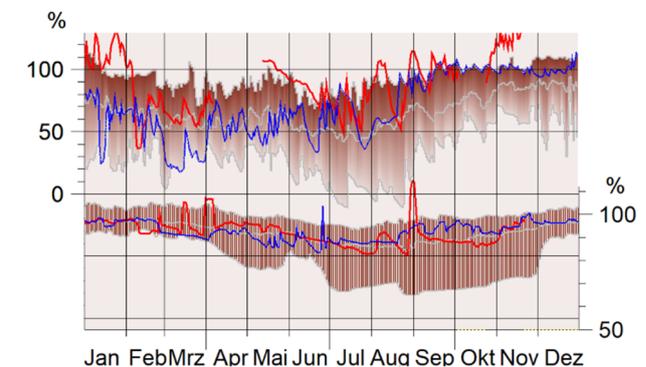


Abb. 6-20: SWI des durchwurzelten Bereiches (oben) und unterhalb der Durchwurzelungstiefe (unten) im Lysimeter, 2022 (blau) und 2023 (rot)

Abb. 6-19 und Abb. 6-20 zeigen die SWI-Verläufe im Freiland und im Lysimeter oberhalb und unterhalb der Durchwurzelungstiefe. Im durchwurzelten Bereich (siehe obere Diagramme in den beiden Abbildungen) beginnt das Jahr mit nassem Boden, im Freiland im Bereich der Feldkapazität, im Lysimeter deutlich darüber liegend. Es folgen Februarfrost und März-trockenheit. Im April ist aus Bodenbearbeitungsgründen der oberste Wassergehaltssensor ausgebaut, die Nässe steigt (Niederschlagsbedingt) bis sie Mitte Mai wieder

im Bereich der Feldkapazität liegt. Von Mai bis Juni folgte eine lange kontinuierliche Austrocknung. Die Bodenfeuchte wird erst im August durch die Niederschläge wieder in den Rang der Feldkapazität befördert. Die Darstellung der starken Oktober-Austrocknung fällt leider wieder dem bearbeitungs-bedingten Sensorausbau zum Opfer, die Starkniederschläge zum Oktoberende bewirken Bodenfeuchten von 130% - ein absolutes saisonales Maximum.

Die jeweils unteren Diagramme in den beiden Abbildungen zeigen die Zeitreihen des Unterboden-SWIs. Im Freiland ist die Zeitreihe relativ bewegt für den schweren Boden. Das August-September-Wechselspiel der durchwurzeltten Zone mit Austrocknung, Nässezunahme bis zur Feldkapazität und abermalige Austrocknung bis zum Oktober-Minimum wird vom Unterboden ohne Zeitverzug gedämpft mitgemacht.

Im Lysimeter ist die Zeitreihe des Unterboden-SWIs durch 3 Feuchtespitzen beeinträchtigt, welche Hinweis auf temporären Wasserstau im Lysimeter geben.

Mehrjährige SWI-Charts zeigen den Zeit-Tiefe-Verlauf des soil-water-Index und erlauben somit den Vergleich der Jahre 2013-2022 untereinander (Abb. 6-21). Die

Darstellung erfolgt gestaffelt in 2-Jahresdiagrammen. Da das Freilandprofil (links) seinen tiefsten Wassergehaltssensor in 140 cm hat, das Lysimeter (rechts) hingegen in 120 cm, sind die rechten Profile etwas weniger tief.

Freiland: Der Beginn der Trockenjahre 2018 bis 2021 wird markiert durch die sich weit in die Tiefe erstreckende grün-türkise Bodenaustrocknung im 2. Halbjahr 2018. In den darauffolgenden Jahren 2019 bis 2021 ist die dunkelblaue Farbe der Feldkapazität an der Profilunterkante verschwunden. Sie taucht am Ende 2022 wieder auf und findet eine Fortsetzung im 1. Halbjahr 2023, wo sie in der 2. Jahreshälfte auch bereits wieder verschwindet. Dies sowie die tief reichende Bodenaustrocknung (grün-türkis) trotz der Niederschläge ist bemerkenswert und wohl eine Folge der Klimawandel-bedingten (Erd)Erwärmung. Die Herbst-austrocknung erstreckt sich zwar nicht so tief in den Boden wie 2018, sie findet auch ein deutlich früheres Ende mit wesentlich stärkerer und tiefer reichender Oberbodendurchfeuchtung.

Das Lysimeter bestätigt im Grunde die soeben geschilderten Phänomene, was ein Qualitätszeichen für das Lysimeter ist.

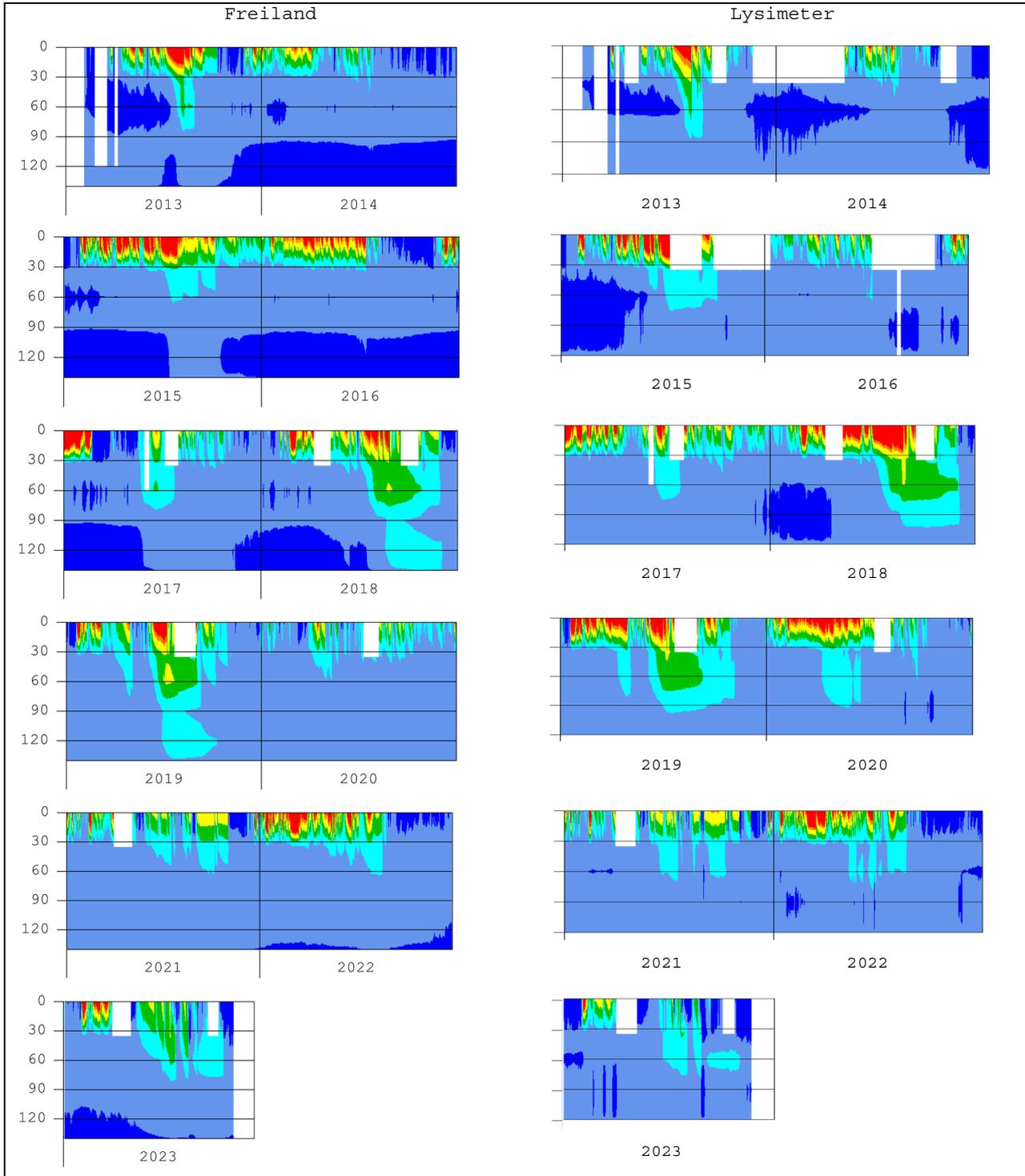


Abb. 6-21: Mehrjährige SWI Charts von 2013-2023 (dargestellte Wassergehalte: rot: <10%, orange: 10-20%, gelb: 20-40%, grün: 40-60%, hellblau: 60-80%, mittelblau: 80-100%, dunkelblau:  $\geq$ 100%) im Freilandprofil (links) und im Lysimeter (rechts)

## 7 Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Das hydrologische Jahr 2023 (November 2022 – Oktober 2023) war durch einen besonderen Witterungsverlauf gekennzeichnet. Die üblicherweise erst im späten Frühjahr zu beobachtenden Niederschlagsspitzen traten diesmal bereits im April auf und fielen mit einer Monatssumme von ca. 160 mm an den Lysimeterstandorten Pettenbach und Eberstanzell überdurchschnittlich aus. Auch an den anderen beiden Standorten in Pucking und Schwertberg waren im April hohe Niederschläge zu verzeichnen. Außergewöhnlich waren aber insbesondere die sehr hohen Niederschläge im August mit ca. 235 mm in Pettenbach und Eberstanzell (und hohen Werten auch an den anderen Standorten, insbesondere Pucking mit 212 mm). Beides führte zu einem Verlauf der Nitratauswaschung, der vom üblichen Muster abwich. Zwar fand auch 2023 unter Wintergetreide ein erheblicher Teil der Nitratverlagerung wie in Durchschnittsjahren in den Wintermonaten (Dezember bis Februar) statt, diesmal kam es aber zu einem erneuten Anstieg im April. Weiters hatten am seichtgründigen Standort in Pucking die hohen Niederschläge im August einen markanten Anstieg der Nitratauswaschung zur Folge. Ebenso verursachten die hohen Niederschläge im August eine außergewöhnliche Auswaschungsspitze am Lysimeterstandort Pettenbach unter Mais in einem Zeitraum, in dem aufgrund des Pflanzenwachstums in Durchschnittsjahren nur wenig Sickerwasser anfällt und dementsprechend auch kaum Nitrat verlagert wird.

Im Vergleich der Standorte wurde die Nitratauswaschung im Jahr 2023 aufgrund der hohen Niederschläge diesmal sehr deutlich von den Bodeneigenschaften, insbesondere dem Wasserrückhaltevermögen und dem daraus resultierenden Nitrataustragsrisiko, bestimmt. Am seichtgründigen Standort wurden 40 kg N/ha ausgewaschen, an den mittelgründigen 29 kg N/ha bzw. 33 kg N/ha, an den tiefgründigen 18 kg N/ha bzw. 11 kg N/ha. Die hohen Nieder-

schlagsspitzen des Jahres 2023 und das resultierende Auswaschungsgeschehen brachten mit sich, dass die durchschnittlichen Nitratkonzentrationen nur an den tiefgründigen Standorten mit geringem Nitrataustragsrisiko unter 45 mg/l lagen.

Während auf den mittel- und seichtgründigen Standorten mit erhöhtem Nitrataustragsrisiko der Niederschlagsverlauf das Auswaschungsgeschehen bestimmt, tritt auf den tiefgründigen Standorten mittel- bis langfristig der Stickstoffsaldo als dominierender Faktor in den Vordergrund. Dabei wurde prinzipiell eine gute Übereinstimmung zwischen Saldo und Auswaschung erzielt, wenn bei Wirtschaftsdünger der feldfallende Stickstoff zur Bewertung herangezogen wurde, da die dort mit enthaltenen, langsam wirksam werdenden organischen Stickstoffverbindungen im Lauf der Jahre und Jahrzehnte ebenfalls in Nitrat umgewandelt werden. Am tiefgründigen Standort Pettenbach, wo erst seit einigen Jahren Putenmist eingesetzt wird, also eine Änderung der Bewirtschaftung stattfand, ist zu beobachten, dass Stickstoffüberschüsse, die aus organischen Anteilen resultieren, erst mit mehrjähriger Verzögerung zu einem allmählichen stärkeren Anstieg der Nitratauswaschung führen.

Hinsichtlich der Bewirtschaftung ist festzustellen, dass beim Einsatz von Putenmist zur Deckung des Stickstoffbedarfs gleichzeitig sehr hohe Phosphatmengen zugeführt werden. Da Phosphat im Boden gut gebunden wird, stellt dies für die Phosphatauswaschung kein unmittelbares Problem dar. Tatsächlich ist die durchschnittliche Phosphatkonzentration im Sickerwasser an diesem Standort im Vergleich zu den anderen am niedrigsten. Im Hinblick auf eine optimale Ausnutzung der Pflanzennährstoffe im Wirtschaftsdünger wäre jedoch eine passende Kombination mit Mineraldünger sinnvoll, also eine verringerte Düngung mit Putenmist ergänzt durch mineralischen Stickstoffdünger.

## 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.

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

Kuderna, M., Weinberger, C. (2021). Forschungsprojekt Lysimeter. Technischer Endbericht 2021. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz.

Kuderna, M., Weinberger, C. (2022). Forschungsprojekt Lysimeter. Technischer Endbericht 2022. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz.