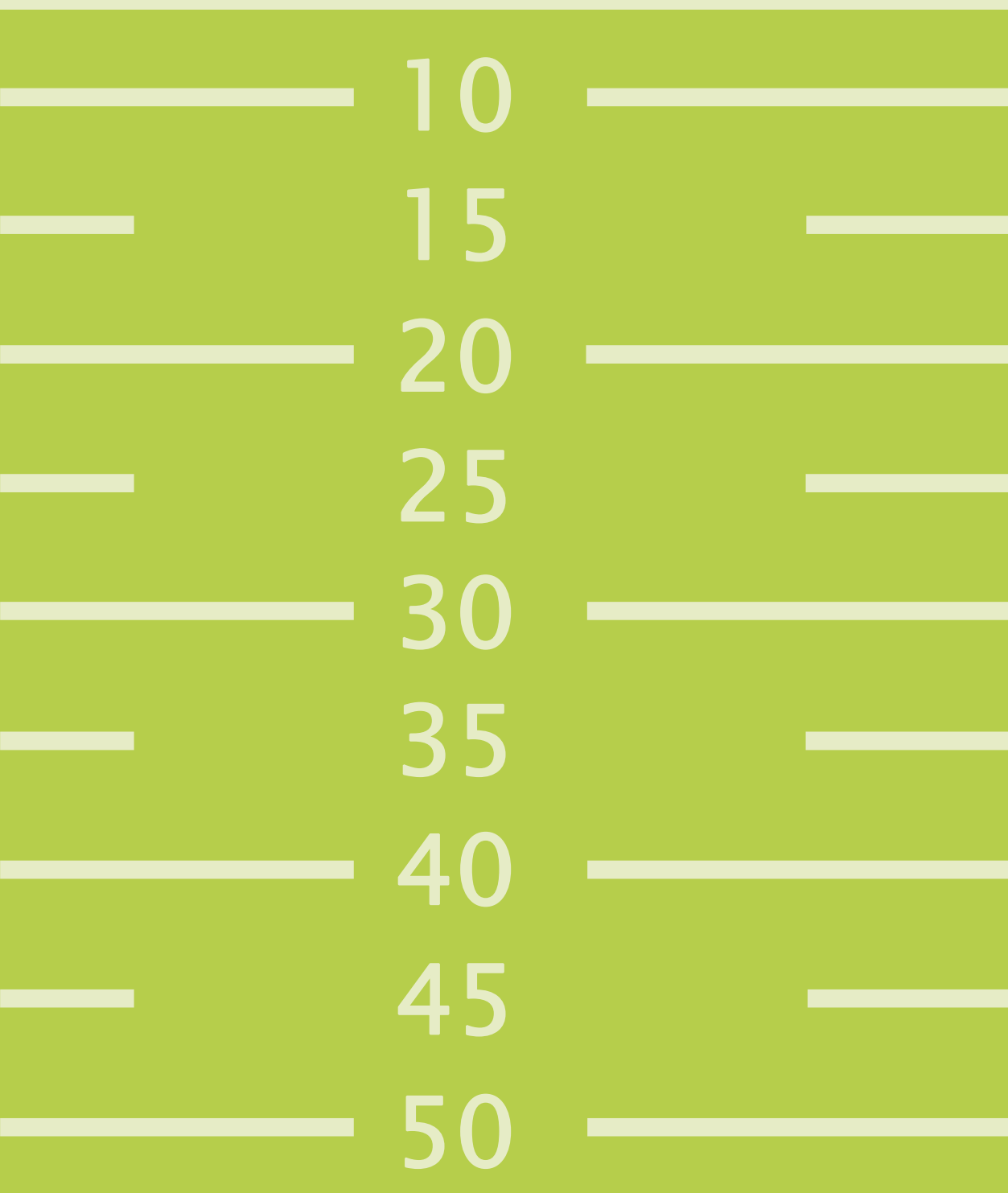




## Langzeitmonitoring Lysimeter

Technischer  
Endbericht  
2025



 Bundesamt  
für Wasserwirtschaft

 Bundesministerium  
Land- und Forstwirtschaft,  
Klima- und Umweltschutz,  
Regionen und Wasserwirtschaft



# Langzeitmonitoring Lysimeter

## Technischer Endbericht 2025

### Inhalt

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)

**Projektleiterin:** Elisabeth Hartinger MSc,  
Abteilung Wasserwirtschaft

#### Autoren:

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

Dipl.-Ing. Gabriele Fuchs  
1180 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 2025

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 .....                                                                               | 15        |
| 5.3      | Nachlieferbarer Stickstoff .....                                                                     | 17        |
| 5.4      | N <sub>min</sub> -Gehalte im Boden .....                                                             | 17        |
| 5.5      | Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstolz.....                                        | 20        |
| 5.5.1    | Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung .....                                                     | 20        |
| 5.5.2    | Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und -konzentration im Sickerwasser .....                        | 21        |
| 5.6      | Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach .....                                      | 23        |
| 5.6.1    | Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung .....                                                     | 23        |
| 5.6.2    | Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und -konzentration im Sickerwasser .....                        | 24        |
| 5.7      | Nitratauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking.....                                        | 26        |
| 5.7.1    | Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung .....                                                     | 26        |
| 5.7.2    | Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und -konzentration im Sickerwasser .....                        | 27        |
| 5.8      | Nitratauswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg .....                                   | 29        |
| 5.8.1    | Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung .....                                                     | 29        |
| 5.8.2    | Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und -konzentration im Sickerwasser .....                        | 29        |
| 5.9      | Vergleich der Nitratauswaschung bzw. Nitratkonzentration im Sickerwasser zwischen den Standorten ... | 32        |
| 5.10     | Einfluss des Stickstoffsaldos auf die Nitratverlagerung .....                                        | 36        |
| 5.11     | Phosphorbilanzen .....                                                                               | 37        |
| 5.12     | Phosphatauswaschung .....                                                                            | 38        |
| <b>6</b> | <b>Hydrographische Auswertung der UZ-Messstelle Pettenbach.....</b>                                  | <b>43</b> |
| 6.1      | Allgemeines .....                                                                                    | 43        |
| 6.2      | Hydrographische Messergebnisse .....                                                                 | 43        |
| 6.3      | Grundwasserneubildung .....                                                                          | 45        |
| 6.4      | Bodenwasserverhältnisse .....                                                                        | 50        |
| 6.4.1    | Bodenwassertemperatur.....                                                                           | 50        |
| 6.4.2    | Matrixpotential.....                                                                                 | 50        |
| 6.4.3    | Bodenwassermenge: Wassergehalt und SoilWaterIndex .....                                              | 51        |

|          |                                                               |           |
|----------|---------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>7</b> | <b>Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen .....</b> | <b>54</b> |
| <b>8</b> | <b>Literatur .....</b>                                        | <b>55</b> |

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

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

|                                                                                                                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abb. 5-30: $N_{\min}$ -Gehalt des Bodens (ab April 2017) und Nitratauswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) mgSBu                                                                                                       | 31 |
| Abb. 5-31: Monatliche Niederschlagssummen                                                                                                                                                                                 | 32 |
| Abb. 5-32: Monatliche Sickerwassermengen                                                                                                                                                                                  | 32 |
| Abb. 5-33: Durchschnittliche monatliche Nitratkonzentrationen                                                                                                                                                             | 33 |
| Abb. 5-34: Monatliche Nitratauswaschung                                                                                                                                                                                   | 34 |
| Abb. 5-35: Summe der als Nitrat ausgewaschenen Stickstoffmenge an den vier Standorten                                                                                                                                     | 35 |
| Abb. 5-36: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Eberstolz                                                                                                                            | 36 |
| Abb. 5-37: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Pettenbach                                                                                                                           | 36 |
| Abb. 5-38: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Pucking                                                                                                                              | 36 |
| Abb. 5-39: Monatliche Phosphatauswaschung                                                                                                                                                                                 | 38 |
| Abb. 5-40: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstolz                                                                                                                                                     | 38 |
| Abb. 5-41: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach                                                                                                                                                    | 39 |
| Abb. 5-42: Phosphatauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking                                                                                                                                                     | 39 |
| Abb. 5-43: Phosphatauswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg (gestörter Bodenaufbau)                                                                                                                         | 40 |
| Abb. 5-44: Phosphatauswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg (ungest. Bodenaufbau)                                                                                                                           | 40 |
| Abb. 5-45: Summe der ausgewaschenen $P_2O_5$ Menge.                                                                                                                                                                       | 42 |
| Abb. 6-1: Niederschlags-Jahres- und Monatssummenlinien 2024 (blau) und 2025 (rot) in Pettenbach interpoliert                                                                                                              | 44 |
| Abb. 6-2: Lufttemperatur-Jahres- und Monatssummenlinie und Monatsmittel 2024 (blau) und 2025 (rot) in Pettenbach interpoliert                                                                                             | 44 |
| Abb. 6-3: Globalstrahlungs-Jahressummenlinie und Wochenmittel 2024 (blau) und 2025 (rot) der Station Pettenbach                                                                                                           | 44 |
| Abb. 6-4: Luftfeuchte- (oben) und Windgeschwindigkeits- (unten) Wochenmittel 2024 (blau) und 2025 (rot)                                                                                                                   | 45 |
| Abb. 6-5: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pucking 2024 (blau) und 2025 (rot)                                                                                                                     | 45 |
| Abb. 6-6: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Eberstolz 2024 (blau) und 2025 (rot)                                                                                                                   | 45 |
| Abb. 6-7: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pettenbach 2024 (blau) und 2025 (rot)                                                                                                                  | 45 |
| Abb. 6-8: Bilanzierte Verdunstungs-Monatssummen 2024 (blau) und 2025 (rot)                                                                                                                                                | 46 |
| Abb. 6-9: Profilwassermengen (4Tagesmittel) im Bodenprofil Pettenbach 2024 (blau) 2025 (rot)                                                                                                                              | 46 |
| Abb. 6-10: Monatsbilanzierungen                                                                                                                                                                                           | 47 |
| Abb. 6-11: Jahressummen der Versickerungen, bilanzierten Verdunstungen und des Niederschlages der Messstellen Pettenbach (oben), Eberstolz (Mitte) und Pucking (unten)                                                    | 48 |
| Abb. 6-12: Monatsmittel der Gesamtprofilwassermengen (grün, rechts skaliert) und Wassermenge des durchwurzelten Profilbereichs (0-40 cm; schwarz, links skaliert) in Pettenbach seit 2013: oben Freiland, unten Lysimeter | 49 |
| Abb. 6-13: Profil- und Lufttemperaturen                                                                                                                                                                                   | 50 |
| Abb. 6-14: gemittelte Profil-Matrixpotentiale (Daten bis Juni fehlend)                                                                                                                                                    | 51 |
| Abb. 6-15: gemittelte Profil-SWI-Zeitreihen                                                                                                                                                                               | 52 |
| Abb. 6-16: SWI-3(4) Jahres Diagramme                                                                                                                                                                                      | 53 |

## TABELLENVERZEICHNIS

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tab. 3-1: Tätigkeiten BAW (IKT) .....                                                                                         | 8  |
| Tab. 3-2: Analysenprogramm .....                                                                                              | 9  |
| Tab. 4-1: Bewirtschaftungsmaßnahmen 2024/2025 (nach Angaben der Bewirtschafter) .....                                         | 11 |
| Tab. 5-1: Erntemengen und Analysenergebnisse der Ernteproben .....                                                            | 14 |
| Tab. 5-2: Stickstoffsalden (jahreswirksam) für das Erntejahr 2025 .....                                                       | 16 |
| Tab. 5-3: Stickstoffsaldo (feldfallend) für das Erntejahr 2025 .....                                                          | 16 |
| Tab. 5-4: Sickerwassermengen und durchschnittliche Nitratkonzentration vom 01.11.24 bis 31.10.25 .....                        | 32 |
| Tab. 5-5: Phosphorbilanzen für das Erntejahr 2025 ( $P_2O_5$ ) .....                                                          | 37 |
| Tab. 5-6: Sickerwasser, $P_2O_5$ -Verluste und mittlere $PO_4$ -Konzentration im Sickerwasser vom 01.11.24 bis 31.10.25 ..... | 41 |
| Tab. 6-1: SWI-Grenzwerte .....                                                                                                | 51 |

## 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. Der 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 2024/25 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.

Im hydrologischen Jahr 2024/25 wurde in Pettenbach Sojabohne angebaut. Auf den anderen Standorten erfolgte der Anbau einer Winterfrucht, nachdem im Vorjahr bereits Sojabohne kultiviert wurde. In Eberstalzell und Pucking wurde demnach Winterweizen und in Schwertberg Wintertriticale angebaut.

Bei der Sojabohne in Pettenbach erfolgte keine Stickstoffdüngung. Der Winterweizen in Eberstalzell wurde entsprechend einer mittleren Ertragslage gedüngt, in Pucking gemäß einer hohen Ertragslage (hoch 1). Die Wintertriticale in Schwertberg wurde entsprechend einer niedrigen Ertragslage gedüngt.

Am tiefgründigen Standort in Pettenbach konnten die bisherigen Beobachtungen zur Nitratauswaschung bei Sommerungen bestätigt werden. So fand ein Großteil der Auswaschung im Sommer statt, was auf die höheren Niederschläge in diesem Zeitraum zurückzuführen ist. Während des Winters und Frühjahrs bleibt die Nitratverlagerungen mit Ausnahme vom März auf niedrigem Niveau. Vermutlich konnte die Zwischenbegrünung das im Boden noch verbleibende Nitrat gut binden. Anders ist der Verlauf auf den anderen Standorten mit Winterungen. Hier sind die größten Auswaschungen während des Winters zu beobachten, besonders im Dezember aufgrund der höheren Niederschläge und im März bis April, nachdem der Jänner und Februar eher trocken und daher Sickerwasserarm verliefen. Im Sommer tritt trotz teilweise starker Niederschläge kaum Sickerwasser auf, was zu einem sehr geringen Nitrataustrag führt. Auch dieses Phänomen konnte in der Vergangenheit bereits öfters unter Winterungen mithilfe der Lysimeter beobachtet werden und ist daher typisch.

Das hydrologische Jahr 2024/25 war an allen Standorten geprägt von wenig Niederschlag. Immer häufiger auftretende Trockenperioden und eine allgemeine Verringerung des Niederschlags im Jahresverlauf werden zur immer größeren Herausforderung in der Landwirtschaft. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass sowohl auf den tiefgründigen, als auch auf seichtgründigen Böden gute Erträge von Winterungen eingefahren werden können, und das obwohl die gesetzlichen Düngeobergrenzen bei Weitem nicht ausgereizt wurde.

## 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 im Sickerwasser 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 Messereinrichtung 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 2025 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 Eberstälzell, 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                                                                                                                                                                |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 13.11.2024 | Bei Lysimeter 1 wurde der Lysimeterring aufgesetzt (Winterweizen wurde vor ca. 5 Tagen angebaut) und die Freiauslaufwippendaten von L1 und L4 ausgelesen.                |
| 21.03.2025 | Bei Lysimeter 1 und 4 wurden die Freiauslaufwippendaten ausgelesen und die Anlagen kontrolliert.                                                                         |
| 16.04.2025 | Bei Lysimeter 3 wurde der Aufsatzring gezogen und alle oberen Fühler ausgebaut und im Boden „versenkt“.                                                                  |
| 14.05.2025 | Bei Lysimeter 3 wurde der Lysimeterring aufgesetzt und die Freiauslaufwippendaten von L1 und L4 ausgelesen.<br>Bei Lysimeter 1, 3, 4 und der Wetterstation wurde gemäht. |
| 03.07.2025 | Bei Lysimeter 1 wurde der Lysimeterring gezogen und die Freiauslaufwippendaten von L1 und L4 ausgelesen.                                                                 |

| Datum      | Tätigkeit                                                                                                                                                                                                                                     |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|            | Bei Lysimeter 1, 3, 4 und der Wetterstation wurde gemäht.                                                                                                                                                                                     |
| 16.07.2025 | Bei Lysimeter 1 wurde der alte Em50 Datenlogger und die Sickerwasserwippe ausgebaut und durch einen neuen ZL6 Datenlogger (Batteriebetrieb) inkl. Wippe (4ml/Wippung) ersetzt.<br>Die Messstelle wurde gereinigt.                             |
| 29.08.2025 | Bei Lysimeter 1, 3, 4 und der Wetterstation wurde gemäht.<br>Bei Lysimeter 1 und 4 wurden die Freiauslaufwippendaten ausgelesen und alle Anlagen kontrolliert.                                                                                |
| 17.09.2025 | Bei Lysimeter 3 wurde der Lysimeterring gezogen und auf allen 3 Standorten die oberen Fühler ausgebaut und versenkt.<br>Sojaernteproben wurden kurz vorher von wpa genommen.<br>Die Freiauslaufwippendaten von L1 und L4 wurden ausgelesen.   |
| 01.10.2025 | Bei Lysimeter 3 wurde der Aufsatzring aufgesetzt und an allen 3 Stellen die oberen Messfühler eingebaut. Wintergerste wurde nachgesät.                                                                                                        |
| 13.10.2025 | Bei Lysimeter 1 wurde der Aufsatzring eingebaut und Wintergerste nachgesät.<br>Bei Lysimeter 1, 3, 4 und der Wetterstation wurde gemäht.<br>Bei Lysimeter 1 und 4 wurden die Freiauslaufwippendaten ausgelesen und alle Anlagen kontrolliert. |
| 15.10.2025 | Bei Lysimeter 4 wurde der Aufsatzring eingebaut und Wintergerste nachgesät.<br>Alte Kühltruhe bei K4A wurde ausgebaut und durch neue Kühltruhe ersetzt.                                                                                       |
| 25.11.2025 | Bei Lysimeter 1 und 4 wurden die Freiauslaufwippendaten ausgelesen und alle Anlagen kontrolliert.                                                                                                                                             |

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, 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, 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 2025. 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 Freiauslauf aus den Lysimetern über eine Wippe geführt. Zur Kontrolle und um einen eventuellen Ausfall der Wippe überbrücken zu können, werden parallel dazu im Zuge der wöchentlichen Sickerwasserprobenahme Kübelmessungen durchgeführt.

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

#### 4 Bewirtschaftung

Auf allen vier Standorten wird eine konventionelle Bewirtschaftungsweise durchgeführt. Als Hauptkulturen des Jahres 2025 waren auf den Standorten in Eberstälzell und Pucking Winterweizen, in Pettenbach Sojabohne und in Schwertberg Wintertriticale angebaut. Die einzelnen Bewirtschaftungsmaßnahmen sind in Tab. 4-1 angeführt.

Die Summe der N-Düngung betrug am tiefgründigen Standort in Eberstälzell 104 kg N/ha (jahreswirksam), wovon 71 kg N/ha als Schweinegülle ausgebracht wurden. Am tiefgründigen Standort in Pettenbach erfolgte keine Stickstoffdüngung. Am seichtgründigen Standort in Pucking wurden 140 kg N/ha ausgebracht und am mittelgründigen Standort in Schwertberg 70 kg N/ha (jeweils rein mineralisch).

Die Phosphordüngermengen betrugen in Eberstälzell 115 kg  $P_2O_5$ /ha. In Pettenbach und Schwertberg erfolgte keine Phosphordüngung. In Pucking wurden 25 kg  $P_2O_5$ /ha ausgebracht.

Die Stickstoffdüngung zu Winterweizen in Eberstälzell entsprach einer mittleren Ertragslage; (gem. NAPV, Fassung vom 01.12.2025, Anlage 3, Tab.2, für Gebiete mit verstärkten Aktionen). In Pucking wird die Düngemenge der Ertragslage hoch 1 zugeordnet. Die Düngemenge zur Sojabohne wird keiner Ertragslage zugeordnet, liegt jedoch unter der empfohlenen Düngemenge von max. 50 bzw. 60 kg N/ha. Die Stickstoffdüngung in Schwertberg zu Triticale ist einer niedrigen Ertragslage zugeordnet.

Tab. 4-1: Bewirtschaftungsmaßnahmen 2024/2025 (nach Angaben der Bewirtschafter)

| Datum      | Tiefgr. Eberstälzell<br>tgEB                   | Tiefgr. Pettenbach<br>tgPE | Seichtgr. Pucking<br>sgPU       | Mittelgr. Schwertberg<br>mgSB |
|------------|------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| 07.10.2024 |                                                |                            | Anbau WW                        |                               |
| 17.10.2024 |                                                |                            |                                 | Grubbern                      |
| 18.10.2024 |                                                |                            |                                 | Anbau WT                      |
| 07.11.2024 | Pflug, Anbau WW                                |                            |                                 |                               |
| 28.02.2025 |                                                |                            | Düngung<br>Linzer Pro 250 kg/ha |                               |
| 01.03.2025 |                                                |                            | Düngung<br>ASS 90 kg/ha         |                               |
| 08.03.2025 | Düngung<br>15-15-15: 220 kg/ha                 |                            |                                 |                               |
| 22.03.2025 | Düngung<br>Schweinegülle 22 m <sup>3</sup> /ha |                            |                                 |                               |
| 25.03.2025 |                                                |                            | Düngung<br>ASS 105 kg/ha        |                               |
| 16.04.2025 |                                                |                            |                                 | Düngung<br>NAC 136 kg/ha      |

| Datum      | Tiefgr. Eberstolz<br>tgEB                               | Tiefgr. Pettenbach<br>tgPE | Seichtgr. Pucking<br>sgPU | Mittelgr. Schwertberg<br>mgSB |
|------------|---------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| 29.04.2025 |                                                         | Anbau Soja                 |                           |                               |
| 02.05.2025 |                                                         |                            | Düngung<br>ASS 210 kg/ha  | Düngung<br>NAC 123 kg/ha      |
| 13.07.2025 |                                                         |                            | Ernte WW<br>7.398 kg/ha   | Ernte WT<br>8.872 kg/ha       |
| 22.07.2025 | Ernte 8,5 t/ha (F17%),<br>Stroh eingearbeitet,          |                            |                           |                               |
| 23.07.2025 |                                                         |                            | Anbau ZF                  |                               |
| 07.08.2025 | Grubber                                                 |                            |                           |                               |
| 18.09.2025 |                                                         | Ernte Soja<br>4.920 kg/ha  |                           |                               |
| 20.09.2025 | Düngung<br>Schweinegülle 30 m <sup>3</sup> /ha<br>Pflug |                            |                           |                               |
| 21.09.2025 |                                                         | Pflug                      |                           |                               |
| 28.09.2025 |                                                         | Anbau WG                   |                           |                               |
| 01.10.2025 | Anbau WG                                                |                            |                           |                               |
| 04.10.2025 |                                                         |                            | Anbau WG 150 kg/ha        |                               |

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Wirtschaftsdünger und Ernteproben

Am Betrieb in Eberstolz wurde im März 2025 Schweinegülle ausgebracht. Der Gesamtstickstoffgehalt betrug  $4,6 \text{ kg/m}^3$ . Umgerechnet auf jahreswirksamen Stickstoff ergibt das  $3,2 \text{ kg/m}^3$ . Der  $\text{P}_2\text{O}_5$  - Gehalt betrug  $3,7 \text{ kg/m}^3$ .

Auf den weiteren Standorten wurde kein Wirtschaftsdünger ausgebracht.

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 Eberstolz im hydrologischen Jahr 2024/25 etwas höher als der Durchschnitt aus Lysimeterfläche und Kontrollstellen war. Auch in Pettenbach war die Erntemenge am Lysimeter höher. In Pucking dagegen fiel die Erntemenge am Lysimeter im Vergleich zu den Kontrollstellen geringer aus (Tab. 5-1). In Schwertberg wurde im Jahr 2025 nur eine Ernteprobe genommen, weshalb kein Vergleich mit der Lysimeterfläche vorliegt.

Umgerechnet auf Standardfeuchte wurden im Durchschnitt aller beprobten Stellen eines Standorts am tiefgründigen Standort in Eberstolz (inkl. Lysimeter) ca.  $4,9 \text{ t/ha}$  Winterweizen geerntet, was deutlich unter

dem vom Landwirt ermittelten Felddurchschnitt von  $8,5 \text{ t/ha}$  liegt.

Am tiefgründigen Standort in Pettenbach wurde hochgerechnet  $4,4 \text{ t/ha}$  Sojabohne geerntet, was mit den Angaben des Landwirts mit  $4,9 \text{ t/ha}$  gut übereinstimmt.

Am seichtgründigen Standort in Pucking wurden an den Probenahmestellen ca.  $5,7 \text{ t/ha}$  Winterweizen geerntet. Der vom Landwirt ermittelte Felddurchschnitt betrug  $7,4 \text{ t/ha}$ . Dieser Unterschied kann damit erklärt werden kann, dass der Bereich, wo der Lysimeter eingebaut ist, seichtgründiger ist, als der Felddurchschnitt.

In Schwertberg ermittelte der Landwirt einen Felddurchschnitt von  $8,9 \text{ t/ha}$  Triticale.

Entsprechend der Angaben der Landwirte wurde in Eberstolz gem. NAPV eine hohe Ertragslage (hoch 2 für Weizen  $<14\%$  RP) erreicht. Auf dem Standort in Pettenbach wurde Sojabohne angebaut, welche in der NAPV keiner Ertragslage zugeordnet werden kann. Gemäß der Richtlinien für die sachgerechte Düngung (8. Auflage) erreichte die Sojabohne in Eberstolz eine hohe Ertragslage (hoch 1). In Pucking fällt der Winterweizenertrag in die Kategorie hoch 2. Der Ertrag der Triticale in Schwertberg wird ebenfalls der Kategorie hoch 2 zugeordnet.

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  | 488                                  | 81%                 | 23,8                             | 9,7                                        |
| tgEB - MW Korn   | 422                                  | 82%                 | 23,0                             | 9,9                                        |
| tgEB - Lys Stroh | 929                                  | 81%                 | 6,3                              | 3,6                                        |
| tgEB - MW Stroh  | 618                                  | 81%                 | 5,0                              | 2,5                                        |
| tgPE - Lys Korn  | 518                                  | 70%                 | 59,5                             | 16,0                                       |
| tgPE - MW Korn   | 377                                  | 70%                 | 59,5                             | 16,0                                       |
| tgPE - Lys Stroh | 452                                  | 64%                 | 5,3                              | 2,0                                        |
| tgPE - MW Stroh  | 288                                  | 64%                 | 5,3                              | 2,0                                        |
| sgPU - Lys Korn  | 368                                  | 88%                 | 19,1                             | 8,8                                        |
| sgPU - MW Korn   | 493                                  | 88%                 | 21,1                             | 9,4                                        |
| sgPU - Lys Stroh | 458                                  | 91%                 | 4,6                              | 1,7                                        |
| sgPU - MW Stroh  | 491                                  | 92%                 | 3,7                              | 1,7                                        |
| mgSB – MW Korn   | 1027                                 | 86%                 | 18,9                             | 9,8                                        |
| mgSB – MW Stroh  | 1147                                 | 91%                 | 3,8                              | 3,9                                        |

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 Eberstallzell erfolgte eine Stickstoffdüngung mit 104 kg N/ha. Nach Berücksichtigung des Entzuges durch Korn und Stroh ergibt sich ein Saldo von 6 kg N/ha im Mittelwert und -12 kg N/ha am Lysimeter. Bei Beachtung des feldfallenden Stickstoffs ergibt sich ein höherer Saldo (23 kg N/ha im Mittelwert und 5 kg N/ha am Lysimeter), da eine Wirtschaftsdüngergabe von 88 kg N/ha ff erfolgte.

Auf dem Standort in Pettenbach mit Sojaanbau liegt der Saldo mehr oder weniger stark unter null, sofern die symbiontische Fixierung von Luftstickstoff unberücksichtigt bleibt. Der Saldo betrug -224 kg N/ha im Feldmittel. Am Lysimeter selbst war der Ertrag höher, weshalb auch der Entzug höher war und der Saldo mit -308 kg N/ha entsprechend niedriger liegt.

In Pucking erfolgte eine Stickstoffdüngung ohne Wirtschaftsdünger, weshalb kein Unterschied zwischen der Bilanzierung mit und ohne Jahreswirksamkeit besteht. Der Saldo auf der Lysimeterfläche liegt mit 70 kg N/ha im positiven Bereich. Im Mittel liegt dieser bei 35 kg N/ha.

Nachdem in Schwertberg kein Lysimeterring vorhanden ist, konnte nur eine Mischprobe genommen. Es sind daher keine Informationen zu Werten auf der Lysimeterfläche vorhanden. Der berechnete Stickstoffsaldo liegt im negativen Bereich bei -124 kg N/ha. Da kein Wirtschaftsdünger ausgebracht wurde, gilt dieser Wert auch ohne Berücksichtigung der Jahreswirksamkeit.

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 Pettenbach kein Dünger 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 2025

|                                                  | Tiefgr. Standort in<br>Eberstalzell tgEB |     | Tiefgr. Standort in<br>Pettenbach tgPE |      | Seichtgr. Standort in<br>Pucking sgPU |     | Mittelgr. Standort in<br>Schwertberg |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------|-----|----------------------------------------|------|---------------------------------------|-----|--------------------------------------|
|                                                  | ----- kg N/ha -----                      |     |                                        |      |                                       |     |                                      |
| Stickstoffzufuhr aus<br>Düngung<br>jahreswirksam | 104                                      |     | 0                                      |      | 140                                   |     | 70                                   |
| Entzug durch Pflan-<br>zen                       | Lysimeter                                | MW  | Lysimeter                              | MW   | Lysimeter                             | MW  | MW                                   |
| Entzug durch Korn                                | 116                                      | 98  | 308                                    | 224  | 70                                    | 105 | 194                                  |
| Entzug durch Stroh                               | 59                                       | 33  | 24                                     | 15   | 21                                    | 18  | 43                                   |
| Summe Entzug                                     | 175                                      | 131 | 332                                    | 239  | 91                                    | 124 | 238                                  |
| Abfuhr durch Ernte                               | 116                                      | 98  | 308                                    | 224  | 70                                    | 105 | 194                                  |
| Saldo Korn                                       | -12                                      | 6   | -308                                   | -224 | 70                                    | 35  | -124                                 |
| Saldo Korn + Stroh                               | -71                                      | -27 | -332                                   | -239 | 49                                    | 16  | -168                                 |
| Saldo Ernte                                      | -12                                      | 6   | -308                                   | -224 | 70                                    | 35  | -124                                 |

Tab. 5-3: Stickstoffsaldo (feldfallend) für das Erntejahr 2025

|                                                | Tiefgr. Standort in<br>Eberstälzell tgEB |     | Tiefgr. Standort in Pet-<br>tenbach tgPE |      | Seichtgr. Standort in<br>Pucking sgPU |     | Mittelgr. Standort in<br>Schwertberg |
|------------------------------------------------|------------------------------------------|-----|------------------------------------------|------|---------------------------------------|-----|--------------------------------------|
|                                                | ----- kg N/ha -----                      |     |                                          |      |                                       |     |                                      |
| Stickstoffzufuhr aus<br>Düngung<br>feldfallend | 121                                      |     | 0                                        |      | 140                                   |     | 70                                   |
| Entzug durch Pflan-<br>zen                     | Lysimeter                                | MW  | Lysimeter                                | MW   | Lysimeter                             | MW  | MW                                   |
| Entzug durch Korn                              | 116                                      | 98  | 308                                      | 224  | 70                                    | 105 | 194                                  |
| Entzug durch Stroh                             | 59                                       | 33  | 24                                       | 15   | 21                                    | 18  | 43                                   |
| Summe Entzug                                   | 175                                      | 131 | 332                                      | 239  | 91                                    | 124 | 238                                  |
| Abfuhr durch Ernte                             | 116                                      | 98  | 308                                      | 224  | 70                                    | 105 | 194                                  |
| Saldo Korn                                     | 5                                        | 23  | -308                                     | -224 | 70                                    | 35  | -124                                 |
| Saldo Korn + Stroh                             | -54                                      | -10 | -332                                     | -239 | 49                                    | 16  | -168                                 |
| Saldo Ernte                                    | 5                                        | 23  | -308                                     | -224 | 70                                    | 35  | -124                                 |

### 5.3 Nachlieferbarer Stickstoff

Der nachlieferbare Stickstoff wurde im April 2025 an allen Standorten analysiert.

Die Werte für den nachlieferbaren Stickstoff lagen am tiefgründigen Standort in Eberstolz bei  $12 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ 7d}^{-1}$  und am seichtgründigen Standort in Pucking bei  $27 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ 7d}^{-1}$ . Am tiefgründigen Standort in Pettenbach wurden  $26 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ 7d}^{-1}$  und am mittelgründigen Standort in Schwertberg  $38 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ 7d}^{-1}$  gemessen. Nach den Richtlinien für die Sachgerechte Düngung im Ackerbau und Grünland wird das Mineralisierungspotenzial nach den gemessenen Werten in Eberstolz, Pucking und Pettenbach als niedrig ( $< 35 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ 7d}^{-1}$ ) eingestuft. In Schwertberg wird dieser Wert als „mittel“ ( $35\text{--}75 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ 7d}^{-1}$ ) eingeordnet.

### 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) einen Zusammenhang mit den Düngemaßnahmen, dem zeitlichen Verlauf der Stickstoffaufnahme der Kulturen sowie Vorbewirtschaftung. Auf den Standorten wurden verschiedene Kulturen angebaut, wodurch sich Unterschiede beim  $N_{\min}$  Gehalt im Boden ergeben.

Am tiefgründigen Standort in Eberstolz wurde im Jahr 2025 Winterweizen angebaut. Die  $N_{\min}$  Gehalte steigen bis April deutlich an (gesamt  $108 \text{ kg N/ha}$ ), was auf zwei Düngungen im März ( $33 \text{ kg N/ha}$  mit Mineraldünger und  $71 \text{ kg N/ha}$  jw mit Schweinegülle) zurückzuführen ist. Mit der Entwicklung der Hauptfrucht fällt der Gesamtwert im Juni auf  $20 \text{ kg N/ha}$ . Nach der Ernte und der Einarbeitung des Stroh, sowie einer erneuten Düngung mit Schweinegülle im September steigt der Gesamtwert auf  $130 \text{ kg N/ha}$  (Abb. 5-1).

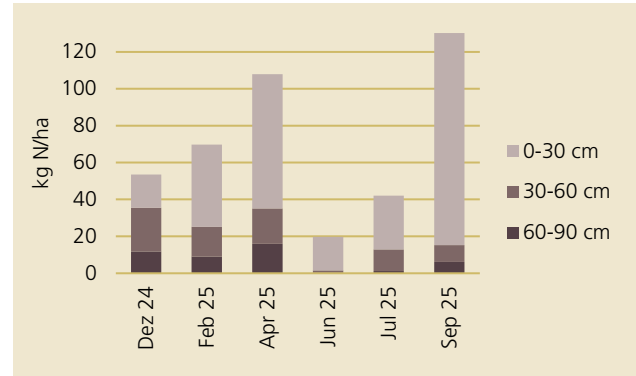


Abb. 5-1:  $N_{\min}$ -Gehalte am tiefgründigen Standort in Eberstolz

Am tiefgründigen Standort in Pettenbach wurde Sojabohne angebaut. Zum Sojaanbau werden grundsätzlich keine Düngemaßnahmen empfohlen, welche im Jahr 2025 daher nicht durchgeführt wurden. Der  $N_{\min}$  Gehalt bleibt im Winter unter  $30 \text{ kg N/ha}$ . Nach dem Anbau der Sojabohne Ende April steigt der  $N_{\min}$  Gesamtwert bis Juni auf  $62 \text{ kg N/ha}$  und sinkt bis September 2025 auf  $22 \text{ kg N/ha}$  (Abb. 5-2).

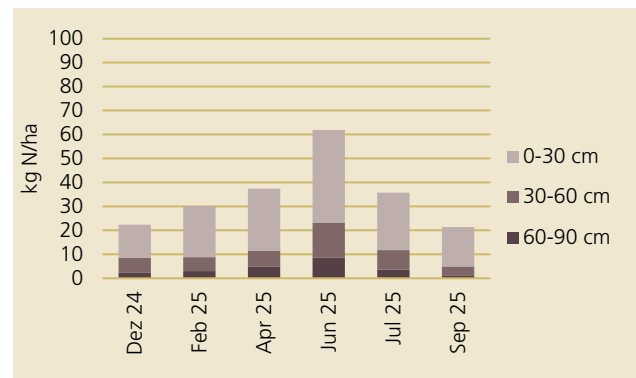


Abb. 5-2:  $N_{\min}$ -Gehalte am tiefgründigen Standort in Pettenbach

Am seichtgründigen Standort in Pucking wurde 2025 Winterweizen angebaut. Die  $N_{\min}$ -Messungen im Winter lagen um die  $20 \text{ kg N/ha}$ . Die rein mineralische Düngung für das hydrologische Jahr 2024/25 erfolgte Ende Februar ( $35 \text{ kg N/ha}$ ), sowie Anfang und Ende März ( $23 \text{ kg N/ha}$  und  $27 \text{ kg N/ha}$ ), was sich in einem Anstieg der  $N_{\min}$ -Messung auf  $56 \text{ kg N/ha}$  im April widerspiegelt (Abb. 5-3). Weiters wurde Anfang Mai

eine Qualitätsdüngung durchgeführt (55 kg N/ha) wobei der  $N_{min}$ -Gehalt aufgrund des Pflanzenwachstums auf 14 kg N/ha zurückgeht und schließlich im Juli nach der Ernte wieder auf 34 kg N/ha ansteigt. Der Wert im September 2025 liegt wieder auf dem Niveau vom Winter 2024/25 (20 kg N/ha).

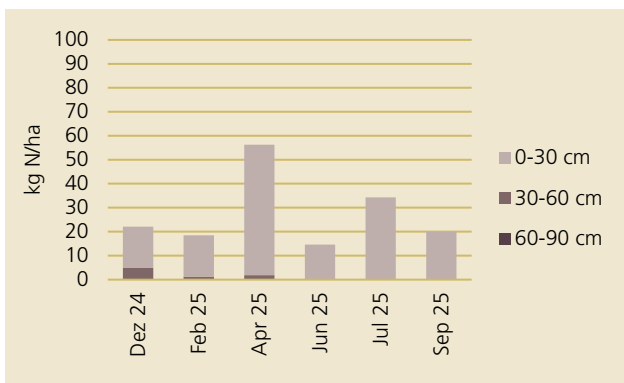


Abb. 5-3:  $N_{min}$ -Gehalte am seichtgr. Standort in Pucking

In Schwertberg wurde auf den beiden Lysimetern (mgSBg = gestörter Bodenaufbau; mgSBu= ungestörter Bodenaufbau) im Jahr 2025 als Hauptfrucht Triticale angebaut, nachdem im Jahr davor Sojabohne kultiviert wurde. Es erfolgten zwei mineralische N-Düngungen; Mitte April mit 37 kg N/ha und Anfang Mai mit 33 kg N/ha.

Die  $N_{min}$ -Gehalte in Schwertberg im Winter 2024/25 liegen bei 70 kg N/ha im Dezember und 50 kg N/ha im Februar. Mit dem Reifen der Hauptkultur sinkt der  $N_{min}$ -Gehalt bis zum Juni auf 17 kg N/ha. Nach der Ernte im Juli und der Einarbeitung der Erntereste steigt dieser auf 37 kg N/ha. Im September verblieben 51 kg N/ha im Boden (Abb. 5-4).

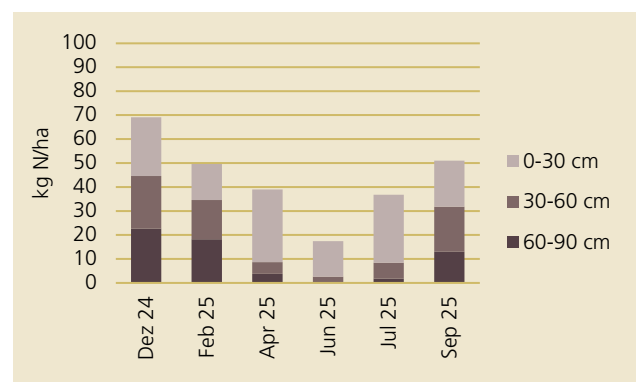


Abb. 5-4:  $N_{min}$ -Gehalte am mittelgr. Standort in Schwertberg, mgSBg, mgSBu

Der Verlauf der  $N_{min}$  Gehalte des Jahres 2025 unterscheidet sich zwischen den Standorten entsprechend der angebauten Kultur. Im langjährigen Vergleich liegen die Werte des Jahres 2025 insgesamt in einem niedrigen bis mittleren Bereich (Abb. 5-5).

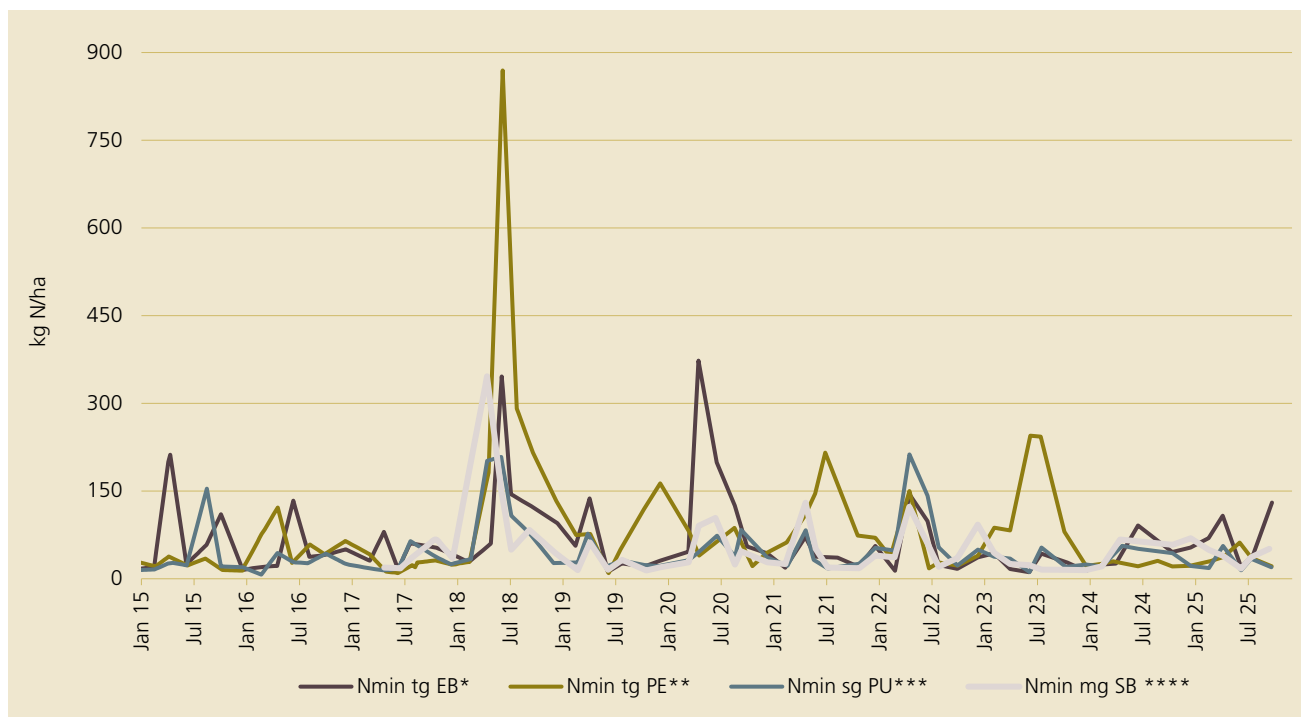


Abb. 5-5: Vergleich der N<sub>min</sub>-Gehalte der Standorte seit Jänner 2015

- |     |                                         |      |                                                   |
|-----|-----------------------------------------|------|---------------------------------------------------|
| *   | 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 2024/25 fielen 910 mm Niederschlag. Die Sickerwassermenge in diesem Zeitraum betrug 116 mm, was 13% der Niederschlagsmenge entspricht. Die höchsten Niederschlagswerte wurden im Juli (239 mm) und August (94 mm) gemessen. Die beiden trockensten Monate waren Februar (15 mm) und Januar (26 mm) (Abb. 5-6, Abb. 5-7).

Die höchste Menge an Sickerwasser bildete sich in Eberstalzell im Dezember 2024 (41 mm). Die geringsten Mengen an Sickerwasser wurden von Mai bis Juli

sowie im September gemessen, wo jeweils fast kein Sickerwasser angefallen ist.

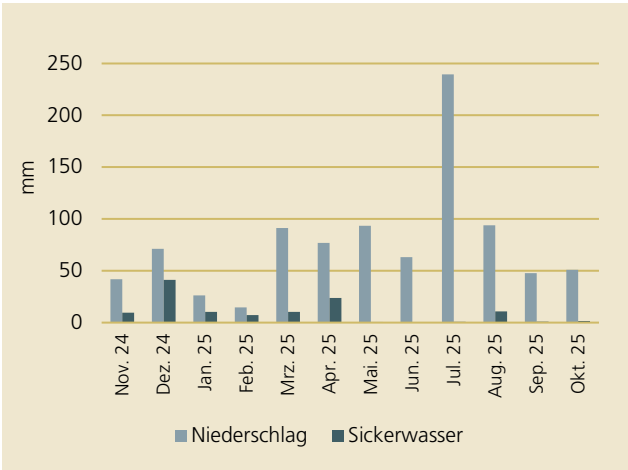


Abb. 5-6: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. EB)

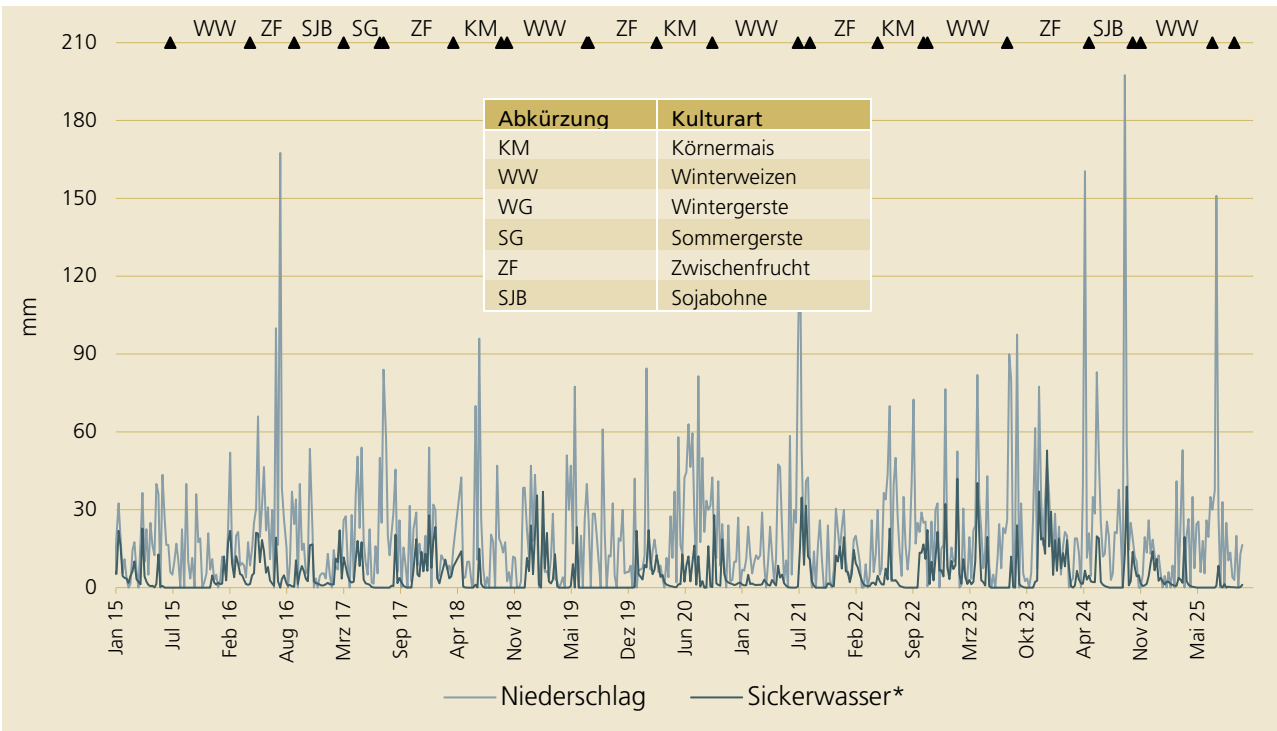


Abb. 5-7: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Jänner 2015 (tiefgr. EB) \*Juli 2016 nicht gesamtes SW erfasst

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

Der Verlauf der NitratAuswaschung korreliert im hydrologischen Jahr 2024/25 mit dem Verlauf des Sickerwasseranfalls. Die höchste monatliche Nitratmenge wurde im April 2025 mit 2,7 kg N/ha ausgewaschen, gefolgt von Dezember 2024 mit 2,4 kg N/ha, August mit 1,5 kg N/ha und März mit 1,4 kg N/ha. In den restlichen Monaten blieben die Werte unter 0,9 kg N/ha (Abb. 5-8).

Insgesamt wurden im gesamten Jahr 2024/25 10,5 kg N/ha ausgewaschen. Von diesen wurden 49% aufgrund der starken Niederschläge und des hohen Sickerwasseranfalls in den Monaten Dezember 2024 und April 2025 ausgetragen.

Die Nitratkonzentration im Sickerwasser betrug im hydrologischen Jahr durchschnittlich 40 mg/l (Abb. 5-9 bis Abb. 5-11).

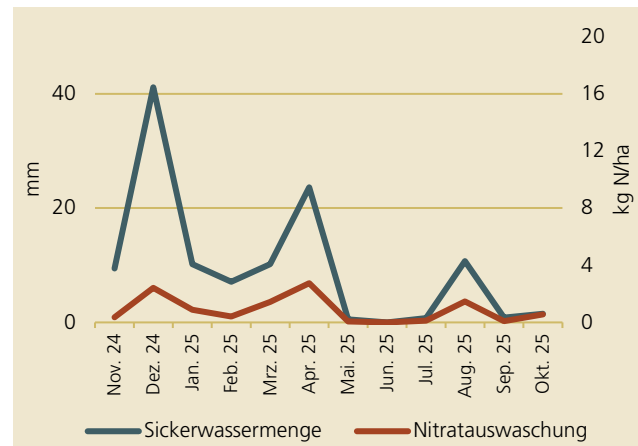


Abb. 5-8: Monatliche Sickerwassermenge und NitratAuswaschung (tiefgr. EB)

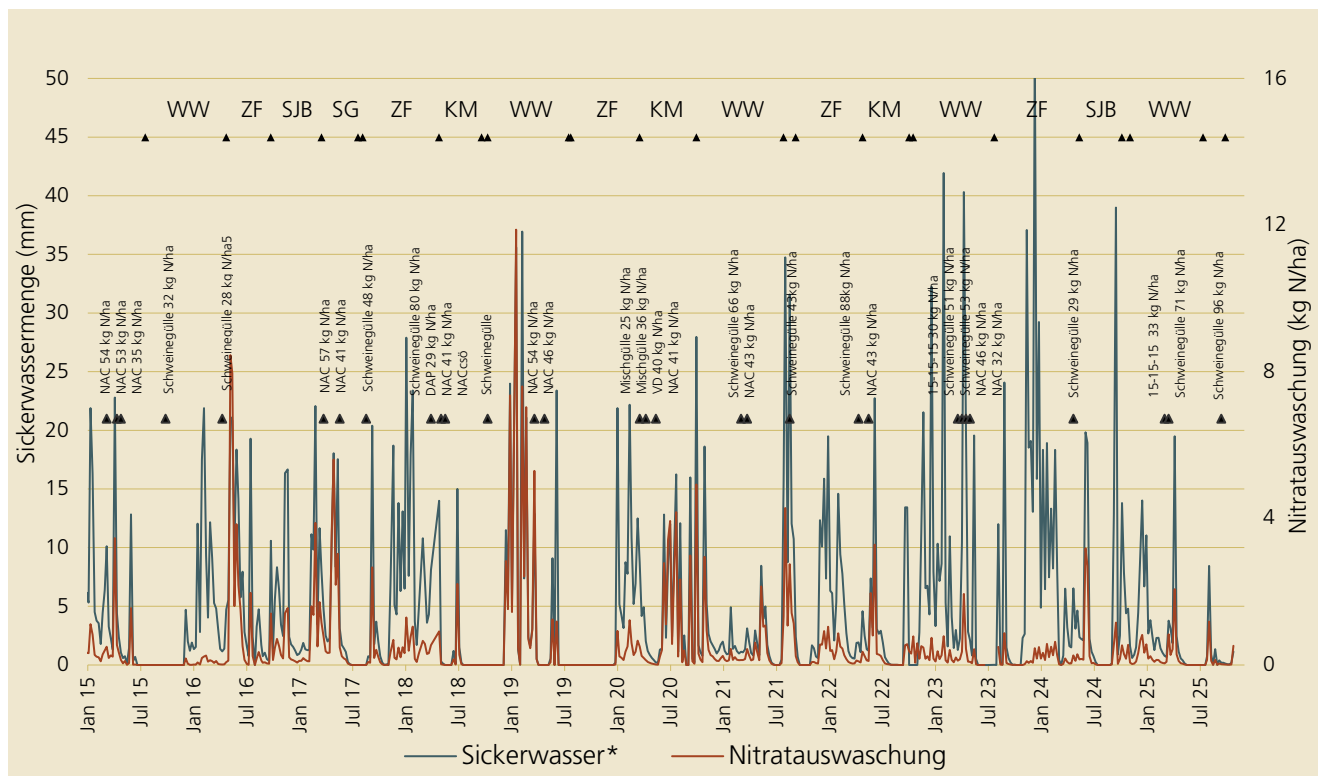


Abb. 5-9: Sickerwassermenge und NitratAuswaschung (tiefgr. EB); \*Juli 2016 nicht gesamtes SW erfasst

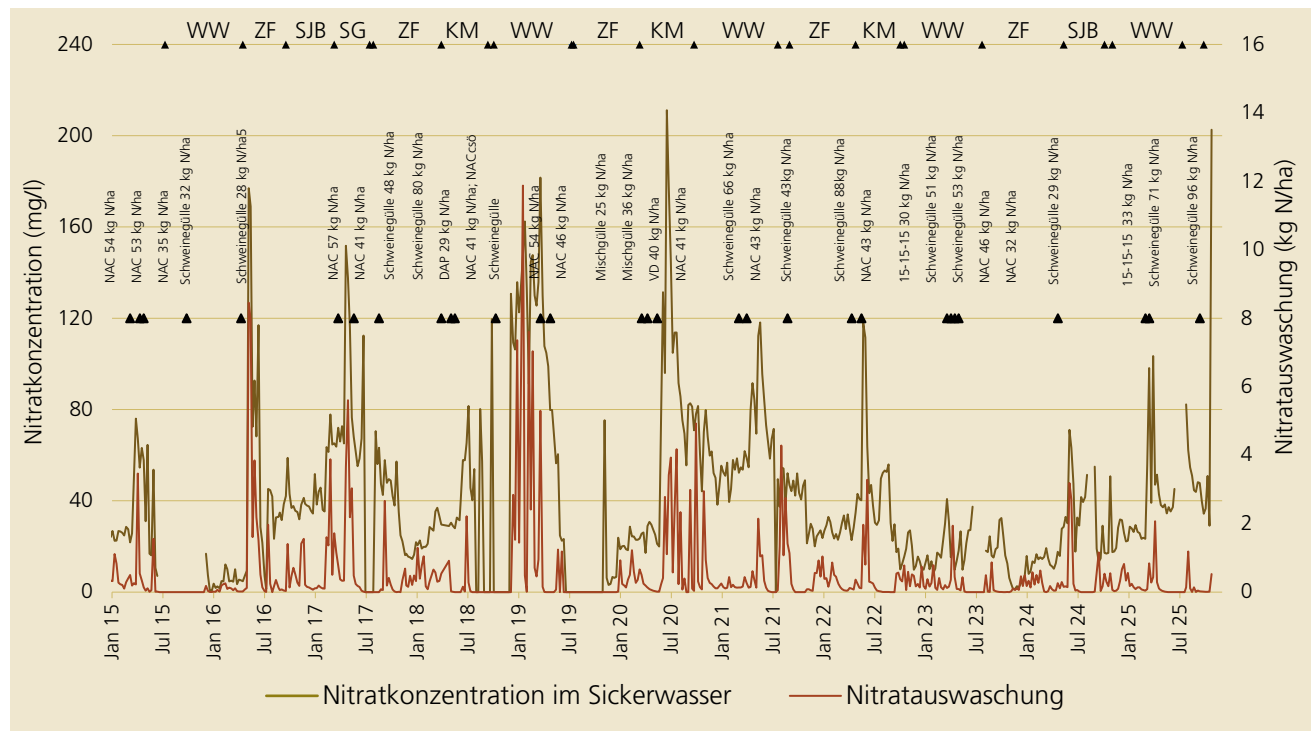


Abb. 5-10: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (tiefer EB)

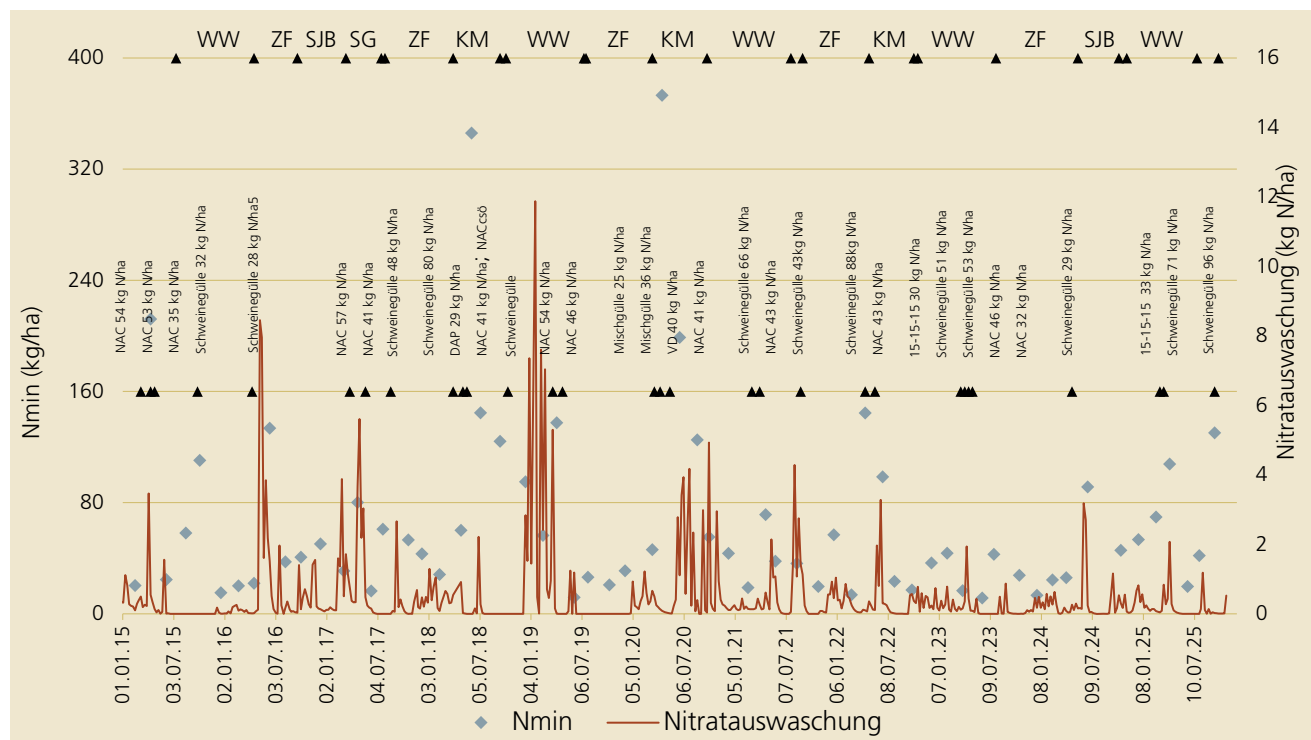


Abb. 5-11: Nitratauswaschung und  $N_{min}$ -Gehalte des Bodens (tiefer. EB)



5.6 Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach

5.6.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

Im hydrologischen Jahr 2024/25 wurden mehrere Ausfälle der Wippendaten verzeichnet. Es wurden daher zur Gänze die händischen Kübelmessungen herangezogen. Es wurde eine Niederschlagssumme von 853 mm und eine Sickerwassermenge von 215 mm gemessen. Der Anteil der Sickerwassermenge an der Niederschlagsmenge (Abb. 5-12) betrug 25%. Die höchsten Niederschlagssummen traten in den Monaten Juli (246 mm) und März (91 mm) auf.

Die geringsten Mengen an Sickerwasser wurden in Pettenbach im Juni und von September bis Oktober gemessen, wobei praktisch kein Sickerwasser anfiel.

Die höchsten Sickerwasserwerte konnten im Dezember 2024 (45 mm), sowie im März (41 mm) und Juli 2024 (50 mm) und verzeichnet werden, was mit den höchsten Jahresniederschlagswerten übereinstimmt.

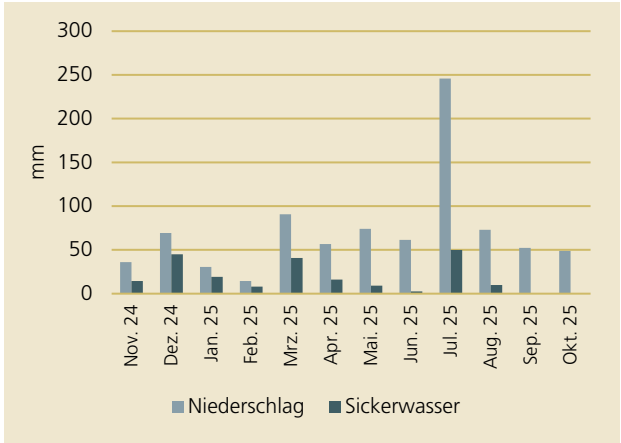


Abb. 5-12: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. PE)

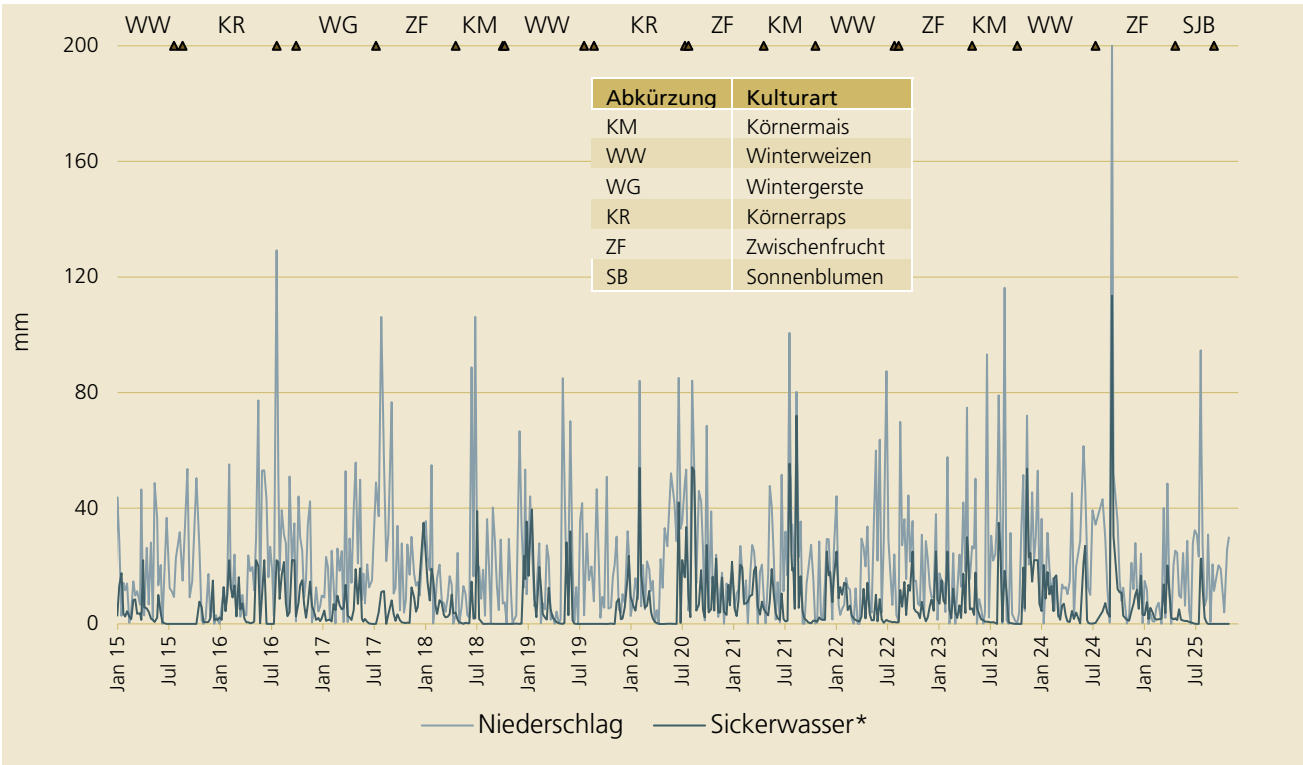


Abb. 5-13: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Juni 2015 (tiefgr. PE) \*von Mai bis Sept. 2016 und August 2017 nicht gesamtes Sickerwasser erfasst

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

Der Verlauf der Nitratauswaschung korreliert mit dem Verlauf des Sickerwasseranfalls. Die höchsten Nitratauswaschungswerte wurden im Juli und März 2025 registriert. Von der insgesamt ausgewaschenen Menge von 6,6 kg N/ha wurden 34% im Juli und 23% im März in den Untergrund verlagert. Die hohe Sickerwassermenge im Dezember verursachte hingegen kaum eine Auswaschung.

Die höchste monatliche Nitratkonzentration im Sickerwasser wurde im Mai aufgezeichnet (15,9 mg/l). Die durchschnittliche Nitratkonzentration im Jahresverlauf lag bei 13,6 mg/l.

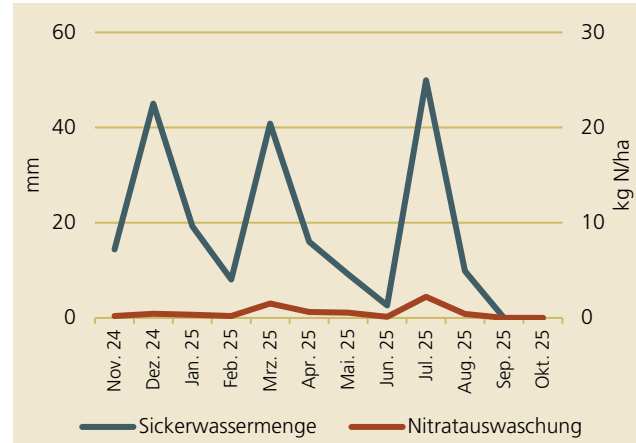


Abb. 5-14: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. PE)

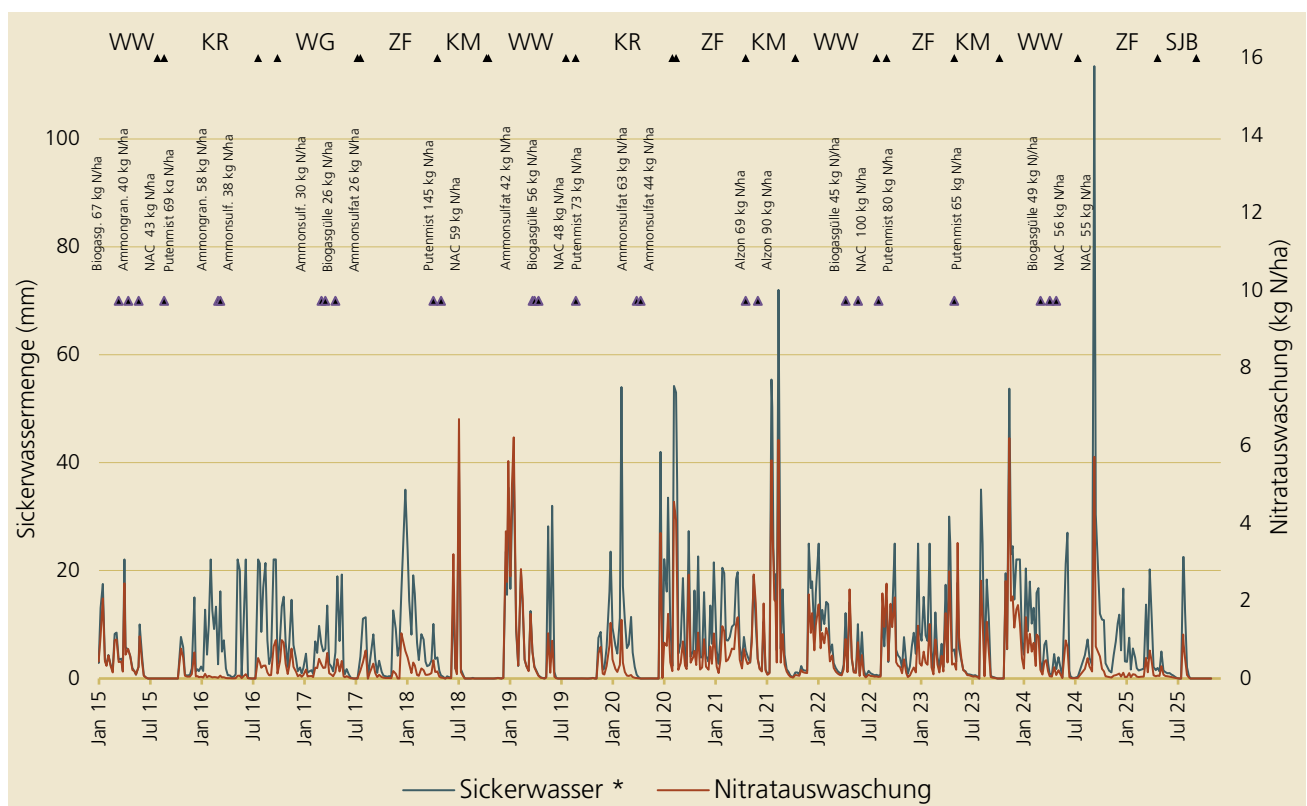


Abb. 5-15: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. PE) von Mai bis Sept. 2016 und August 2017 nicht gesamtes Sickerwasser erfasst

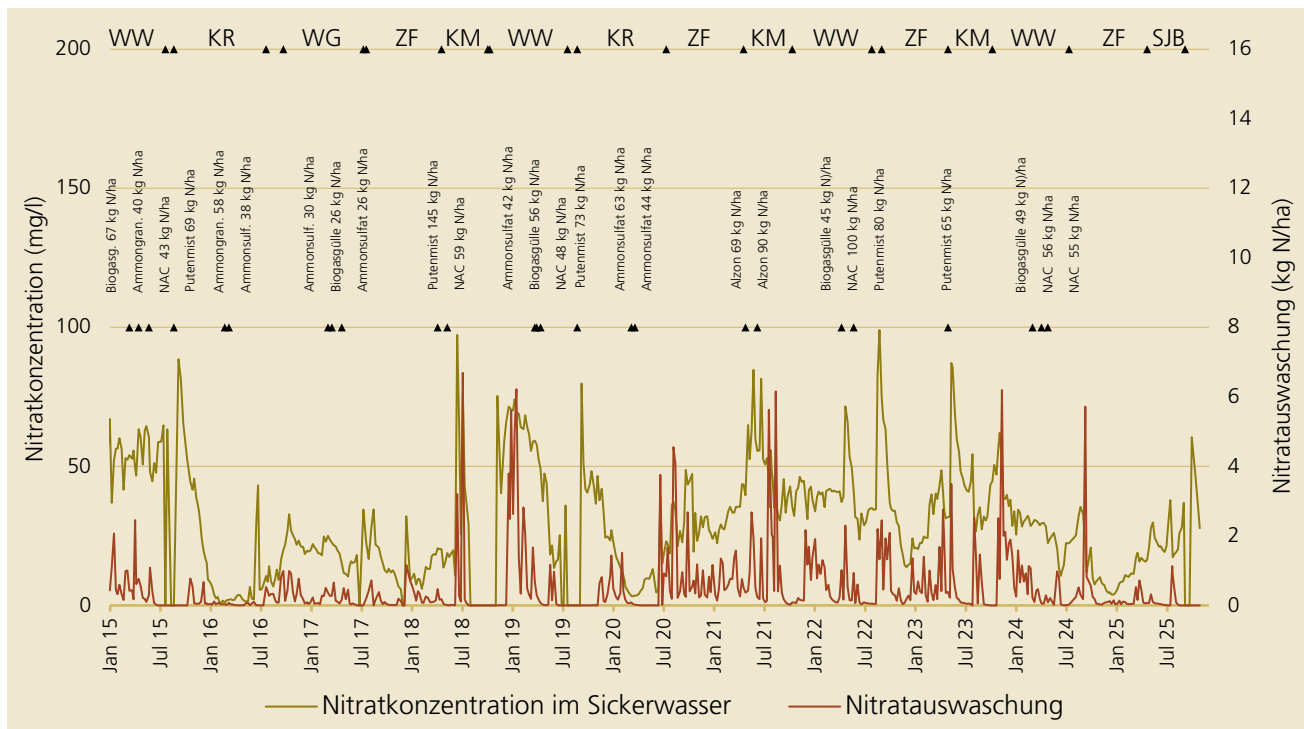
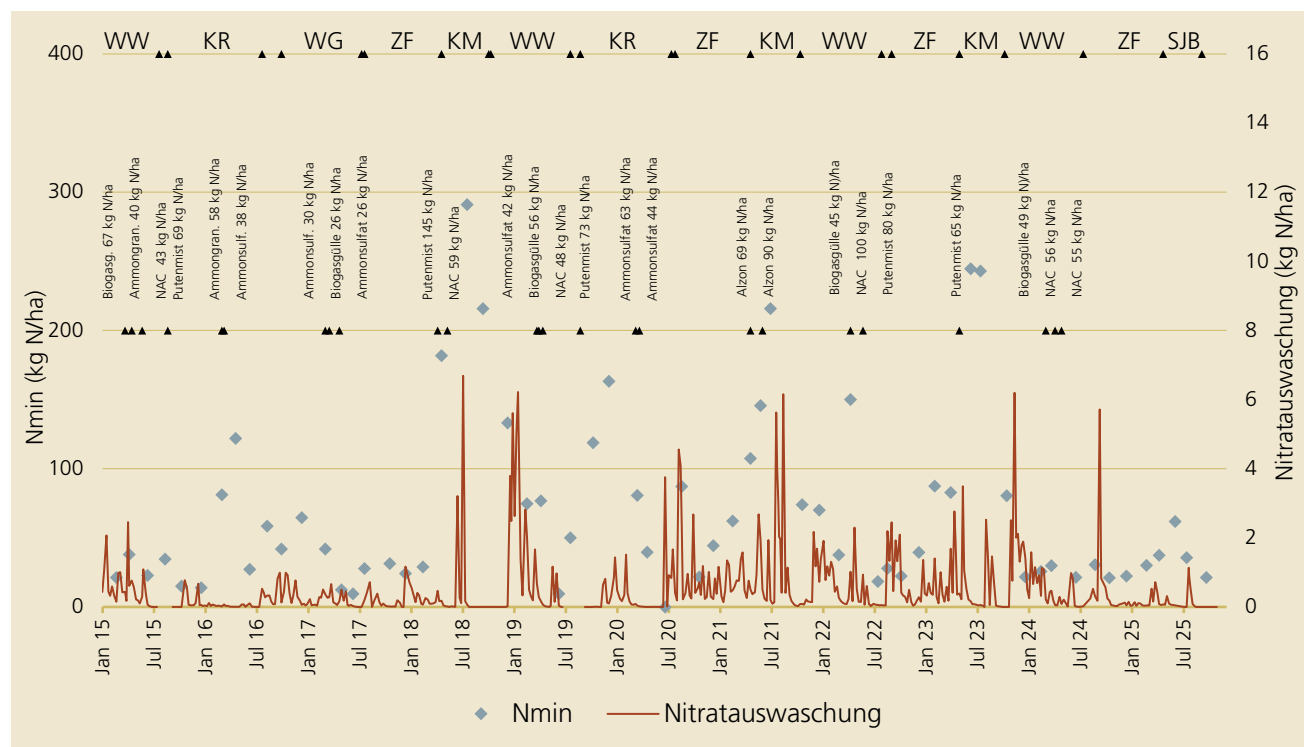


Abb. 5-16: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (tiefr. PE)

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

5.7 Nitratauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking

5.7.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

Am seichtgründigen Standort fielen im hydrologischen Jahr 2024/25 in Summe 709 mm Niederschlag (Abb. 5-18). Die niederschlagreichsten Monate waren, wie auch bei den beiden tiefgründigen Standorten, Juli (150 mm) und März (100 mm).

Die Gesamtmenge an Sickerwasser betrug 55 mm wobei die höchste Sickerwasserbildung im Dezember 2024 (25 mm) und März 2025 (12 mm) erfolgte. In diesen beiden Monaten versickerten insgesamt 66% der Jahressumme. Die Monate Mai bis Oktober 2025 waren sickerwasserfrei.

Die gesamte Sickerwassermenge entspricht rund 8% der jährlichen Niederschlagssumme, was im Vergleich zu den Vorjahren als auch zu den anderen Standorten sehr niedrig ist.

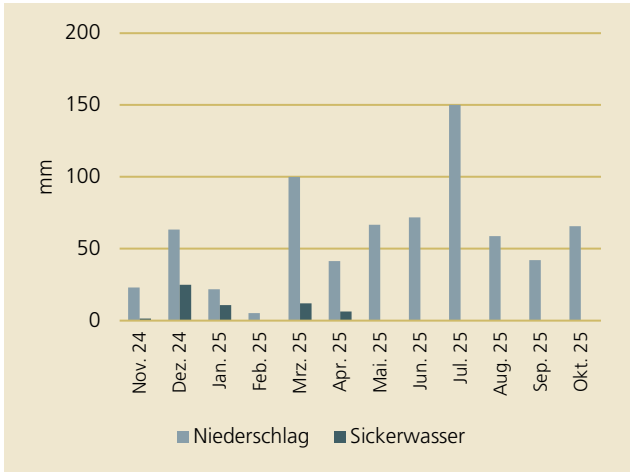


Abb. 5-18: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (seichtgr.)

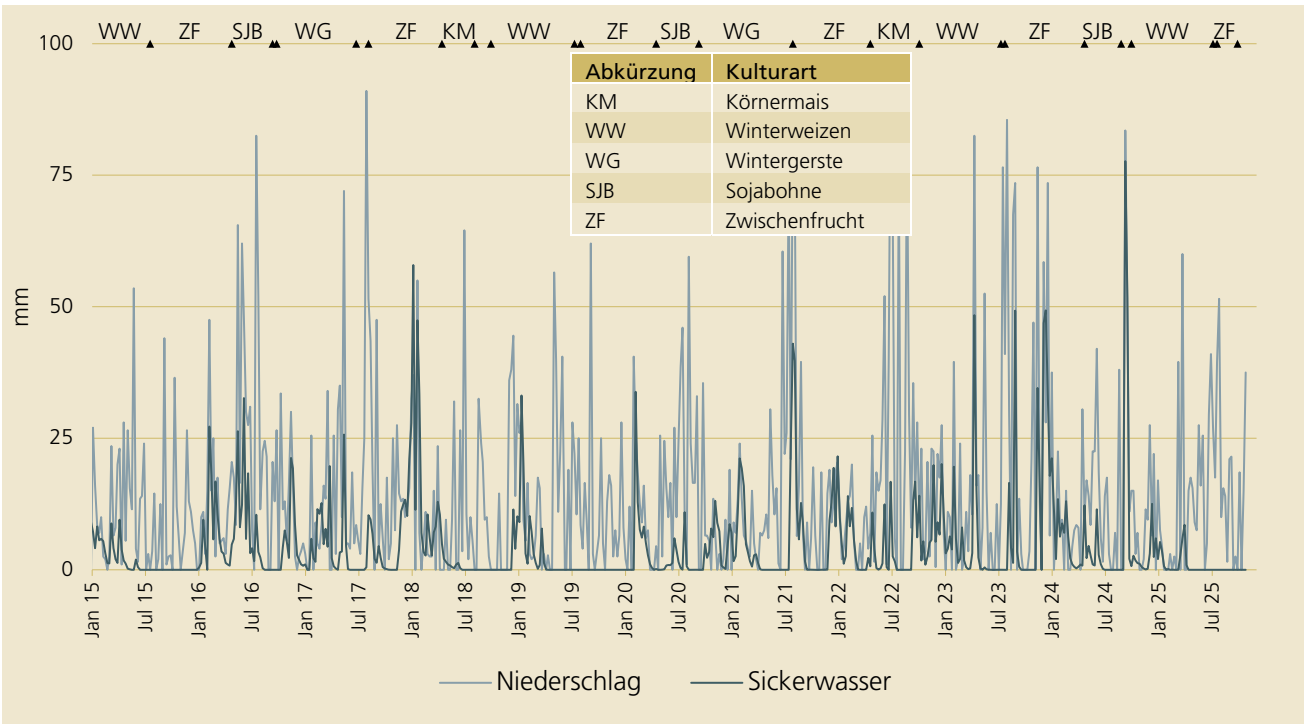


Abb. 5-19: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Jänner 2015 (seichtgründig)

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

Die gesamt ausgewaschene Nitratmenge betrug im hydrologischen Jahr 2024/25 12,9 kg N/ha. Im Jahresverlauf korreliert die Nitratauswaschung mit der Sickerwassermenge. Die höchste Nitratauswaschung entsprach mit 7,1 kg N/ha etwa 55% der Jahresmenge und wurde im Dezember 2024 gemessen. Im Jänner und März lag die Nitratauswaschung jeweils bei etwa 2 kg N/ha (Abb. 5-20). Nachdem seit Mai kein Sickerwasser angefallen ist, wurde auch kein Nitrat in den Untergrund verlagert.

Im Sickerwasser wurden die höchsten Nitratkonzentrationen im November und Dezember 2024 registriert.

Die durchschnittliche Nitratkonzentration im hydrologischen Jahr lag bei 104 mg/l (Abb. 5-22).

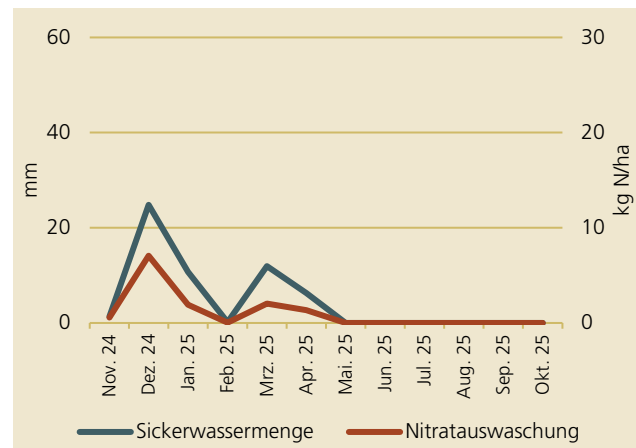


Abb. 5-20: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig)

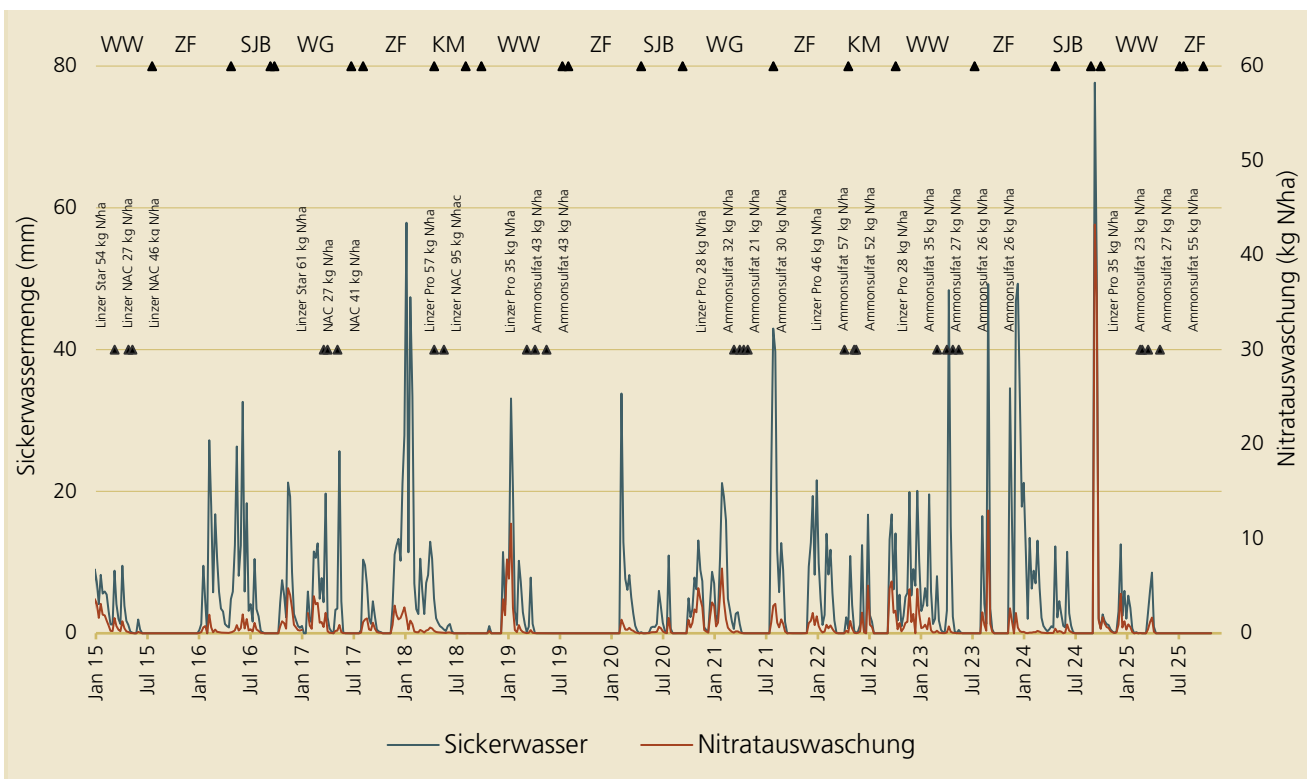


Abb. 5-21: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig)

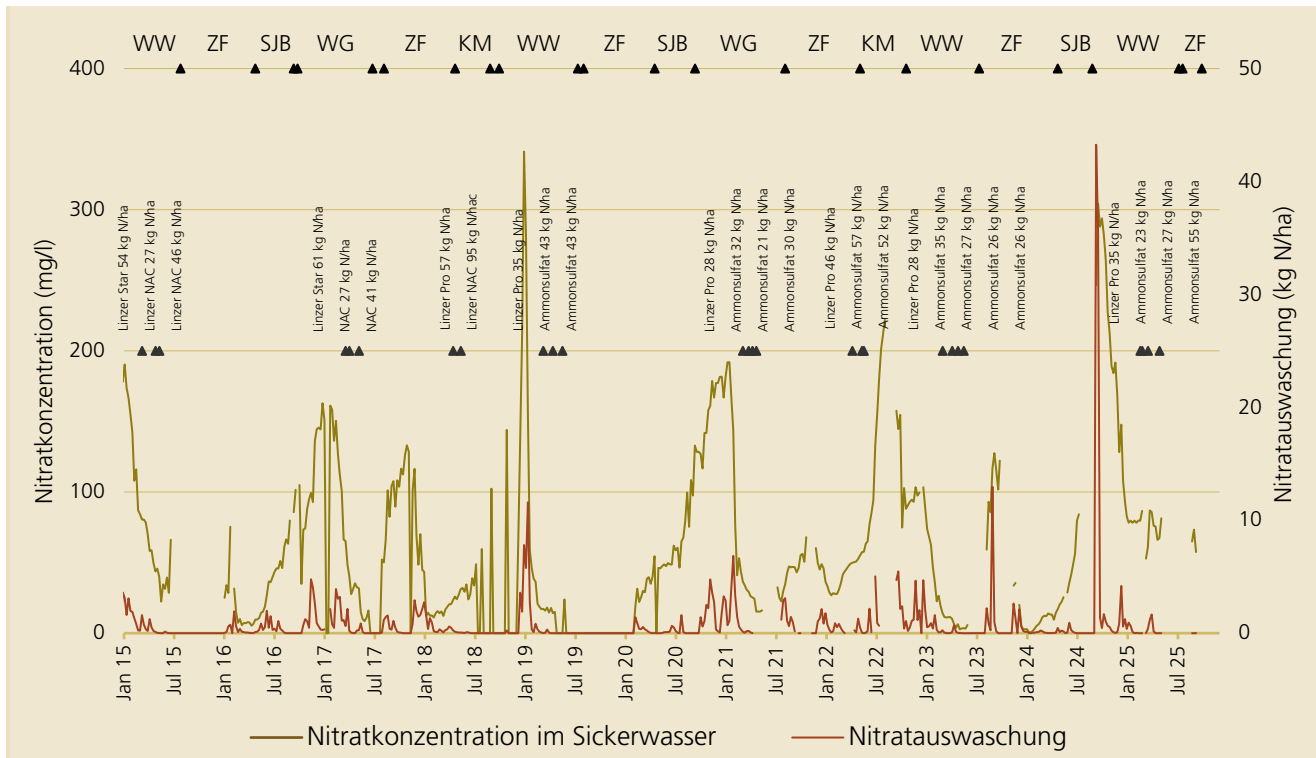


Abb. 5-22: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (seichtgründig)

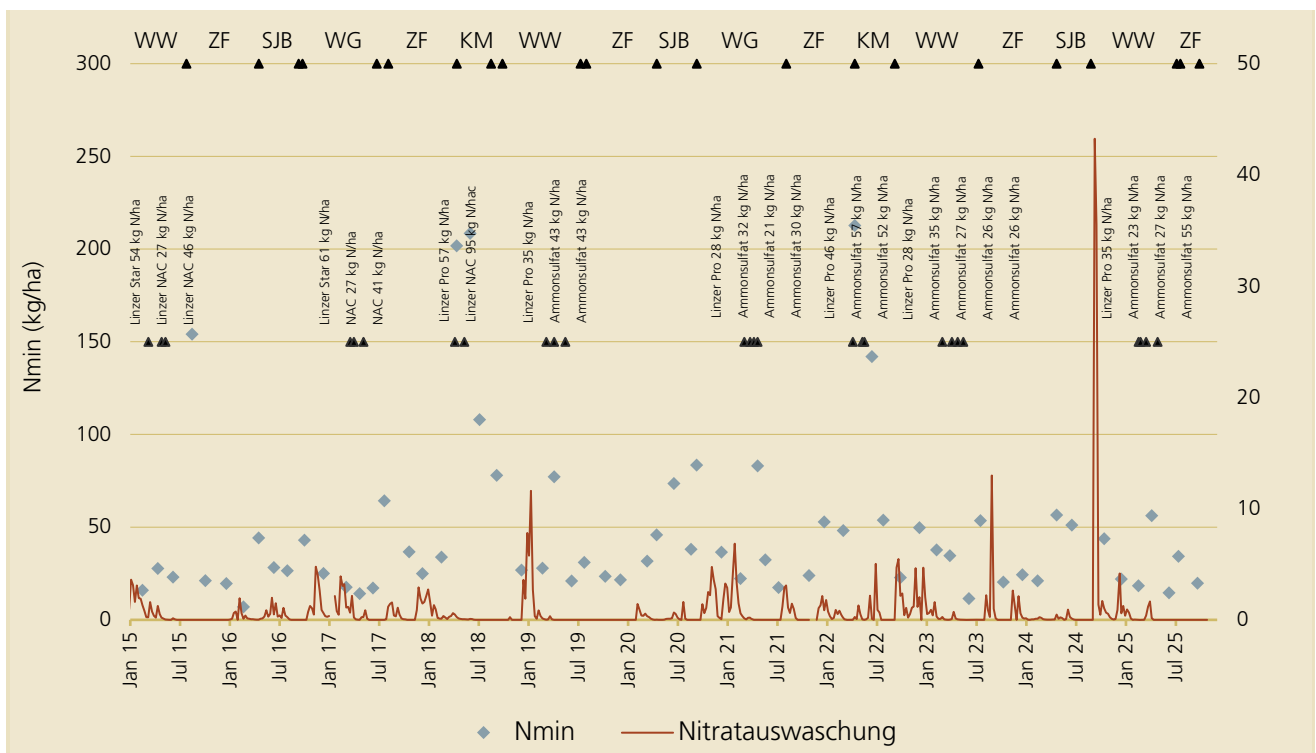


Abb. 5-23: Nitratauswaschung und  $N_{min}$ -Gehalte des Bodens (seichtgründig)

## 5.8 NitratAuswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg

### 5.8.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

In Schwertberg fielen im hydrologischen Jahr 2024/25 in Summe 794 mm Niederschlag (Abb. 5-24). Die größten Niederschlagsmengen wurden im Juli (204 mm), sowie im Mai (108 mm) und März (104 mm) verzeichnet. In diesen drei Monaten fielen 52% des Jahresniederschlages. Die Sickerwasserbildung erfolgte beim gestörten Lysimeter (mgSBg) hauptsächlich im Dezember 2024 (47 mm), sowie im März (31 mm), Jänner (22 mm) und April (20 mm). Beim ungestörten Lysimeter (mgSBu) fand die Sickerwasserbildung in den gleichen Monaten und mit ähnlichen Werten statt. Im Vergleich der beiden Lysimeter in Schwertberg ist die Sickerwassermenge bei mgSBg mit gestörtem Bodenaufbau mit 131 mm um 10 mm niedriger als beim Lysimeter mit ungestörtem Bodenaufbau (141 mm). Die gemessene Sickerwassermenge entspricht bei mgSBg rund 17%, und bei mgSBu 18% der Niederschlagssumme.

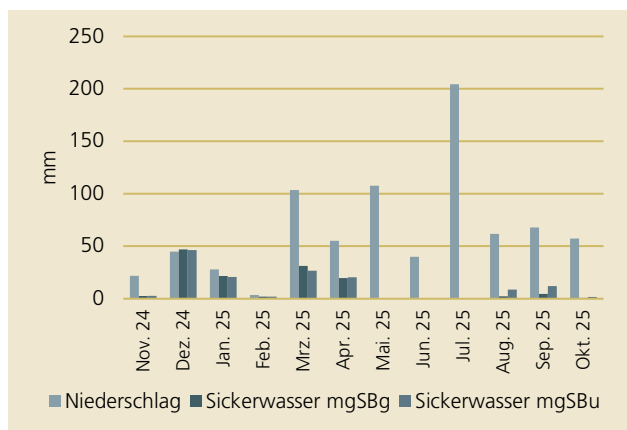


Abb. 5-24: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (mittelgründig)  
mgSBg=gestört, mgSBu=ungestört

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

Die ausgewaschene Nitratmenge im hydrologischen Jahr 2024/25 beim Lysimeter mit gestörtem Bodenaufbau war mit 29 kgN/ha 7% geringer als jene des ungestörten Lysimeters (31 kgN/ha) (vgl. Abb. 5-25 und Abb. 5-26). Die Monatsmittelwerte liegen im gestörten Lysimeter mit Ausnahme von November, Dezember und März leicht unter jenen des ungestörten Lysimeters. (Abb. 5-27, Abb. 5-28).

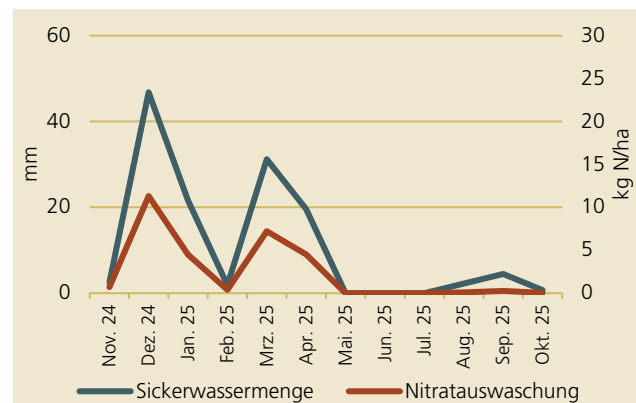


Abb. 5-25: Monatliche Sickerwassermenge und NitratAuswaschung (mittelgründig, gestört) mgSBg

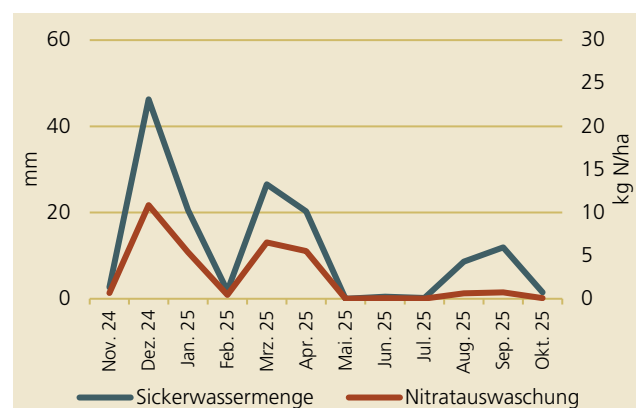


Abb. 5-26: Monatliche Sickerwassermenge und NitratAuswaschung (mittelgründig, ungestört) mgSBu

Die durchschnittliche, monatliche Nitratkonzentration im Sickerwasser liegt beim gestörten Lysimeter bei 97,9 mg/l und daher auf einem ähnlichen Niveau wie

beim ungestörten Standort (97,3mg/l). Bei beiden Lysimetern lagen die Werte im Beobachtungszeitraum des hydrologischen Jahres 2024/25 im Vergleich zum Jahr zuvor deutlich höher. Ursache dafür ist, dass im Jahr 2023/24 keine N-Düngung vorgenommen wurde, da

in diesem Zeitraum Soja angebaut wurde (vgl. Abb. 5-27 und Abb. 5-28). Beide Lysimeter zeigten einen ähnlichen Verlauf der Nitratkonzentration im hydrologischen Jahr 2024/25.

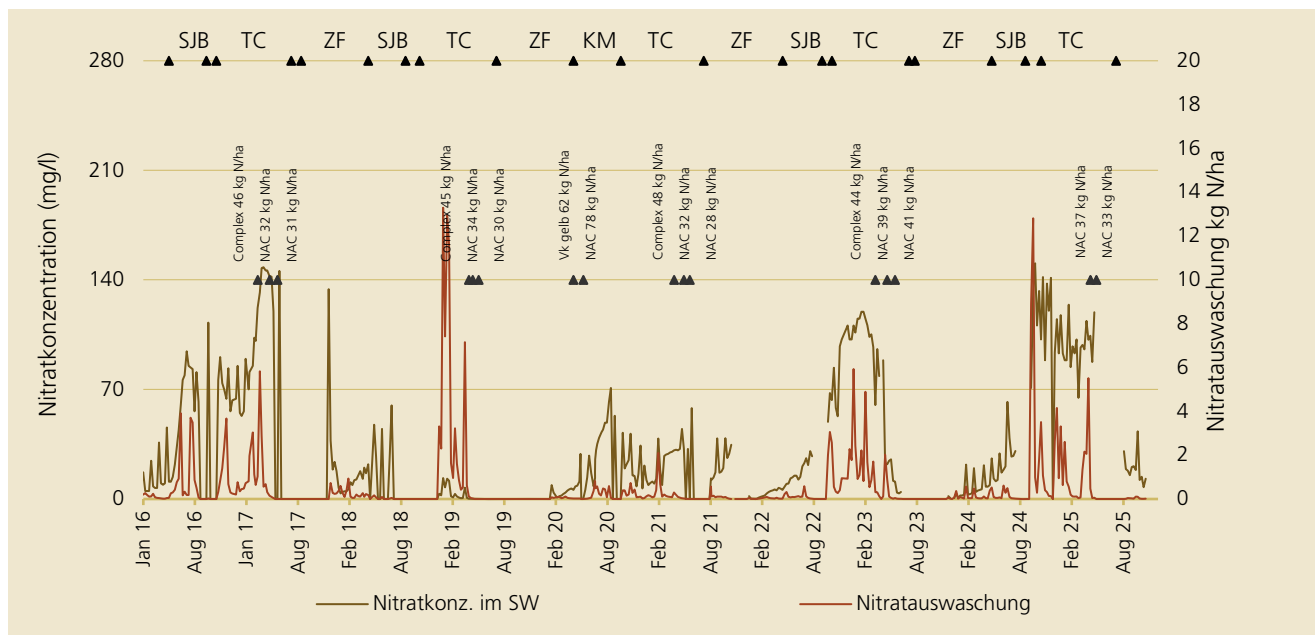


Abb. 5-27: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) mgSBg

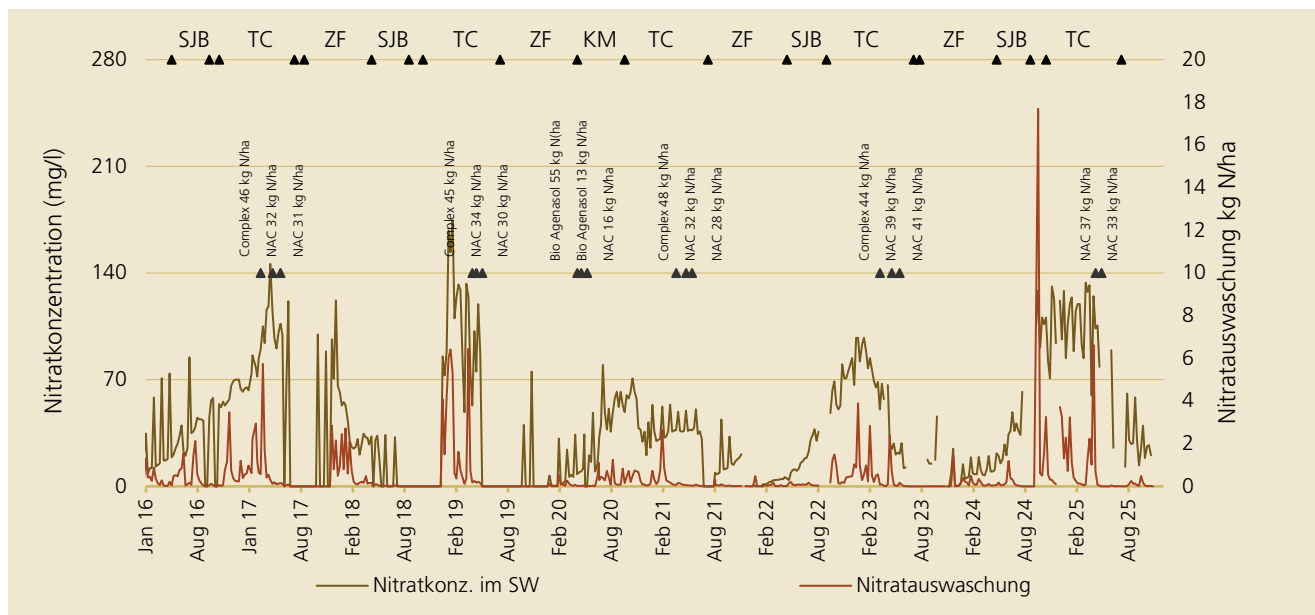


Abb. 5-28: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) mgSBu



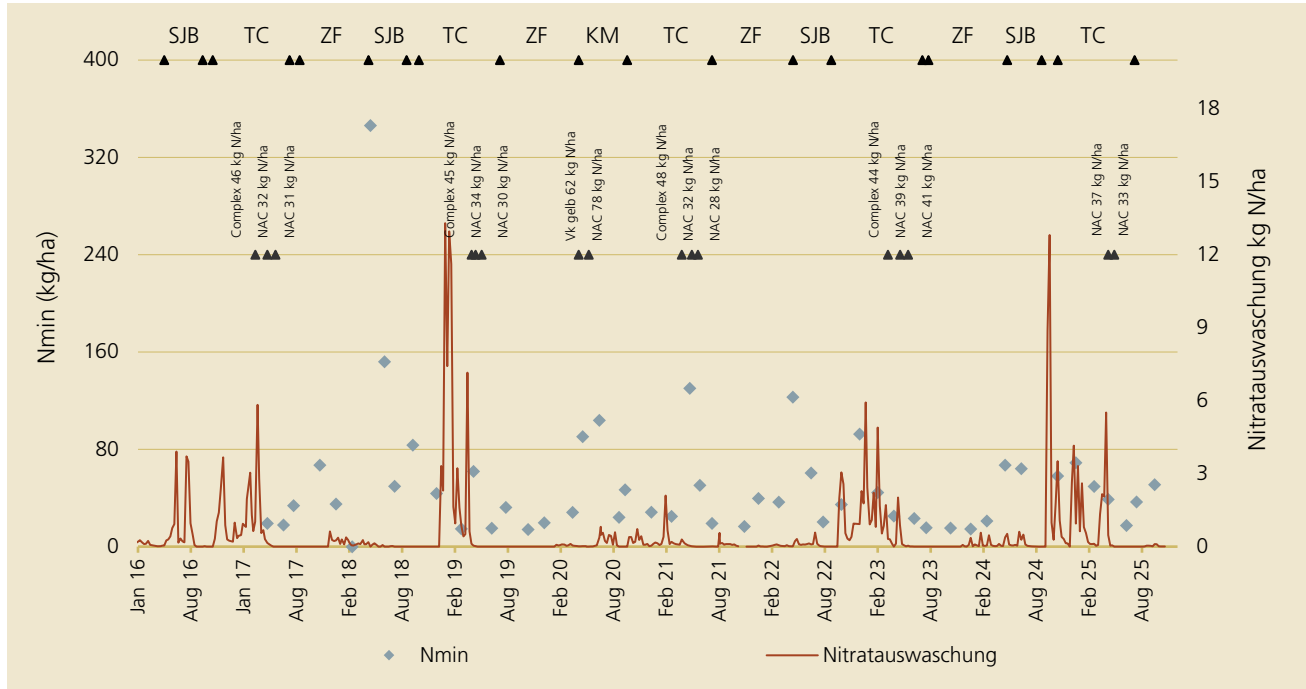


Abb. 5-29:  $N_{min}$ -Gehalt des Bodens (ab April 2017) und Nitratauswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) mgSBg

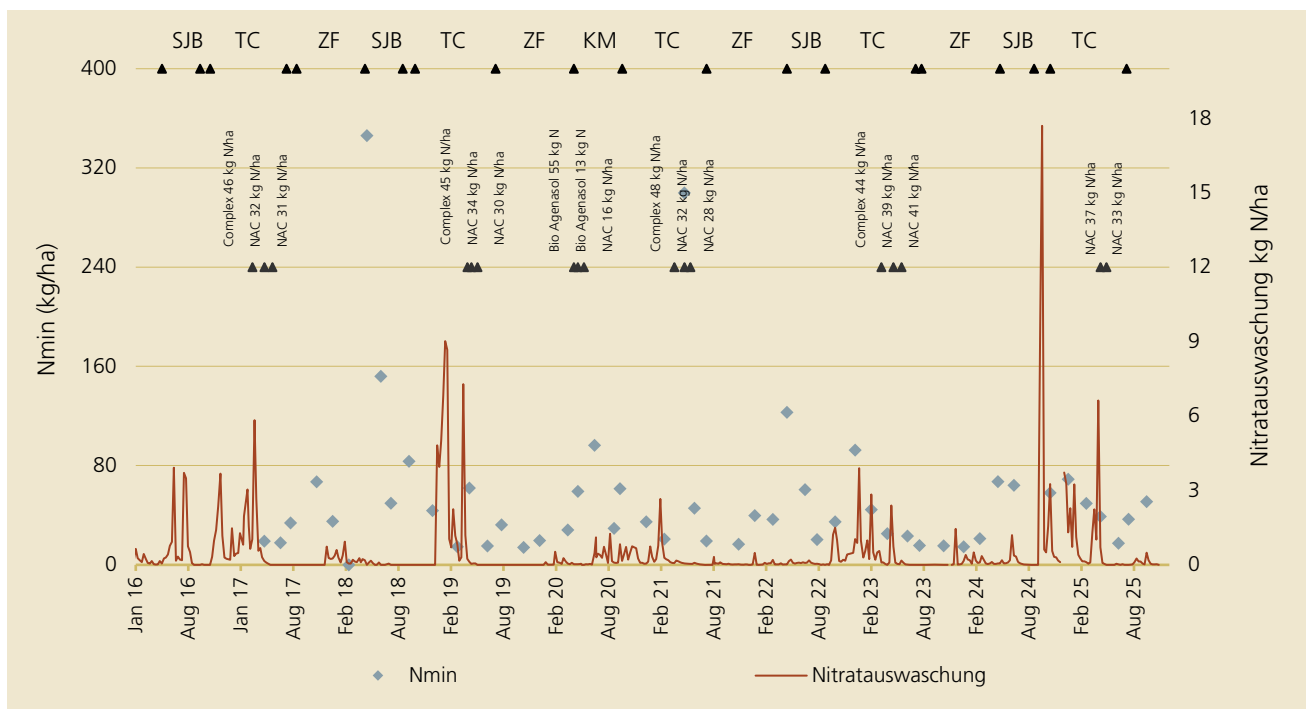


Abb. 5-30:  $N_{min}$ -Gehalt des Bodens (ab April 2017) und Nitratauswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) mgSBu

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

Die monatlichen Niederschlagssummen verlaufen im hydrologischen Jahr 2024/25 an den 4 Standorten ähnlich. Im Juli wurden an allen Orten die höchsten Summen gemessen, im Februar die niedrigsten. Die Wintermonate waren generell von wenig Niederschlag gekennzeichnet. Die höchste Jahresniederschlagssumme wurde in Eberstälzell mit 910 mm registriert, gefolgt von Pettenbach (853 mm) und Schwertberg (794 mm). In Pucking war die Niederschlagsmenge wie im Vorjahr am geringsten und erreichte eine Jahressumme von 709 mm (Abb. 5-31).

Im Vergleich zum hydrologischen Jahr 2023/24 fiel die Niederschlagssumme 2024/25 deutlich geringer aus. In Eberstälzell wurde ein Minus von 38% verzeichnet, in Pettenbach -33,4%, in Schwertberg -26,8% und in Pucking -18,4%.

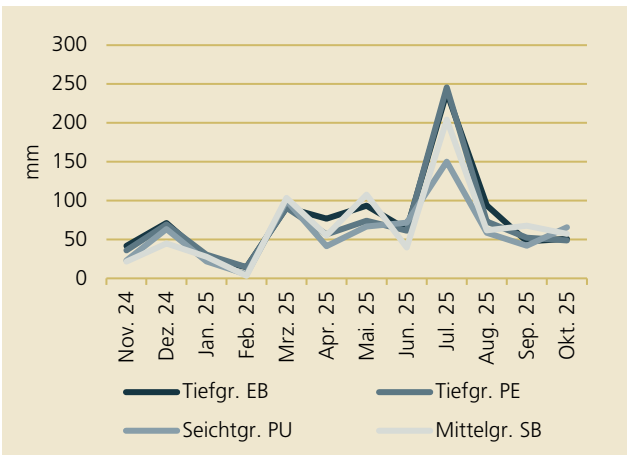


Abb. 5-31: Monatliche Niederschlagssummen

Die Sickerwassermengen folgen nur zum Teil den Niederschlägen. In Pettenbach wurde die höchste Menge an Sickerwasser registriert, gefolgt von Schwertberg und Eberstälzell. Die niedrigsten Sickerwassermengen wurden in Pucking verzeichnet, wo auch die niedrigste Niederschlagssumme gemessen wurde (Tab. 5-4).

Der Verlauf der Sickerwassermengen zeigt an allen Standorten zwei Spitzen im Dezember und März bzw. April. Im späten Frühjahr und Sommer geht die Sickerwassermenge an allen Standorten zurück, mit Ausnahme von Pettenbach, wo im Juli der höchste Wert im Jahresverlauf gemessen wurde. Im Februar, Mai und Juni 2025 sind die Sickerwassermengen an allen Standorten gering oder nicht vorhanden. Auch im Juli liegen die Werte für die Sickerwassermenge in Eberstälzell, Pucking und Schwertberg bei 0. (Abb. 5-32).

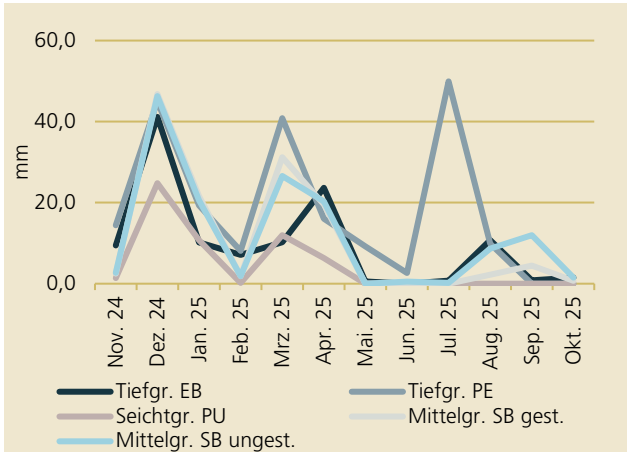


Abb. 5-32: Monatliche Sickerwassermengen

Tab. 5-4: Sickerwassermengen und durchschnittliche Nitratkonzentration vom 01.11.24 bis 31.10.25

|                        | SW [mm] | NO <sub>3</sub> -Kon. [mg/l] |
|------------------------|---------|------------------------------|
| Tiefgr. EB             | 116     | 40,0                         |
| Tiefgr. PE             | 215     | 13,6                         |
| Seichtgr. PU           | 55      | 103,5                        |
| Mittelgr. SB gestört   | 131     | 97,9                         |
| Mittelgr. SB ungestört | 141     | 97,3                         |

Die höchste durchschnittliche Nitratkonzentration wurde am seichtgründigen Standort in Pucking beobachtet, gefolgt vom mittelgründigen, ungestörten und gestörten Standort in Schwertberg. Die beiden

tiefgründigen Standorte Pettenbach und Eberstälzell verzeichneten die geringsten Werte (Tab. 5-4).

Die Nitratkonzentrationen zeigen Unterschiede im Jahresgang je nach Anbau und Bodenverhältnissen. Die niedrigsten N-Konzentrationen im Sickerwasser wurden im hydrologischen Jahr 2024/25 am tiefgründigen Standort in Pettenbach registriert, wo im gesamten Jahresverlauf keine Düngung erfolgte, da nach einer Zwischenbegrünung Sojabohne als Hauptfrucht angebaut wurde.

Auf den Standorten Pucking und Schwertberg wurden zu Beginn des hydrologischen Jahres 2024/25 im Vergleich die höchsten Nitratkonzentrationen (bis 140 mg NO<sub>3</sub>/l) gemessen, was vermutlich auf die seichte bis mittlere Gründigkeit der Böden zurückzuführen ist. Die gemessene Nitratkonzentration in Pucking verringerte sich im Verlauf des Jahres bis April 2025 kontinuierlich. Da zwischen Mai und Oktober kein Sickerwasser anfiel wurden zu dieser Zeit keine N-Konzentrationen bestimmt.

Der Standort in Schwertberg (Hauptkultur Wintertriticale) verzeichnete einen ähnlichen Verlauf der N-Konzentration wie jener in Pucking. Die Konzentration im gestörten Lysimeter verringerte sich bis April 2025. Von Mai bis Juli fiel kein Sickerwasser an. Ab August stieg mit der Ernte die Nitratkonzentration im Sickerwasser wieder an. Am ungestörten Lysimeter fielen dagegen auch im Juni und Juli geringe Mengen von Sickerwasser mit einer N-Konzentration von 69 mg NO<sub>3</sub>/l und 18 mg NO<sub>3</sub>/l an.

Der Konzentrationsverlauf am tiefgründigen Standort in Eberstälzell (Winterweizen) zeigte zwei Spitzen im Frühjahr und Sommer 2025, wobei die erste vermutlich mit der Düngung durch Schweinegülle, und die zweite mit dem Niederschlag in Verbindung stehen.

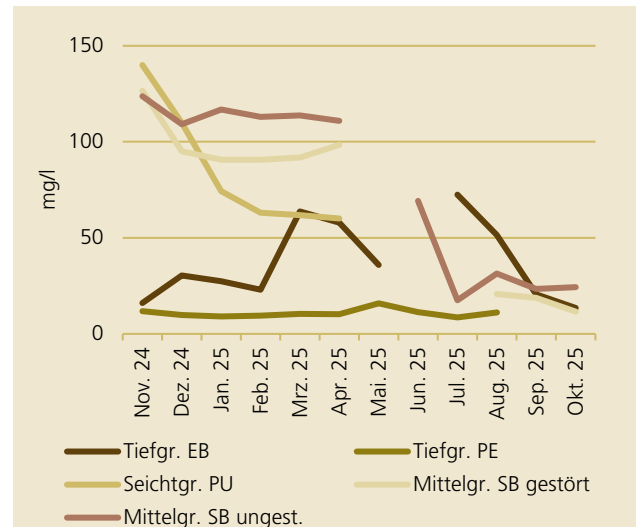


Abb. 5-33: Durchschnittliche monatliche Nitratkonzentrationen

Die geringste Nitratauswaschung erfolgte am tiefgründigen Standort in Pettenbach (6,6 kg N/ha), gefolgt vom Lysimeter in Eberstälzell (10,5 kg N/ha). Am seichtgründigen Standort in Pucking wurden 13 kg N/ha ausgewaschen. In Schwertberg wurden am gestörten Lysimeter 29 kg N/ha und am ungestörten Lysimeter 31 kg N/ha ausgewaschen (vgl. Abb. 5-34). Im Vergleich zum Vorjahr wurde an allen Standorten auch aufgrund der geringeren Niederschläge und Sickerwasserbildung weniger N ausgewaschen: in Eberstälzell reduzierte sich die Auswaschung um 30%, in Pettenbach um 83% und in Pucking um 86%. Die Nitratauswaschung in Schwertberg verringerte sich um 16% beim gestörten und um 23% beim ungestörten Lysimeter.

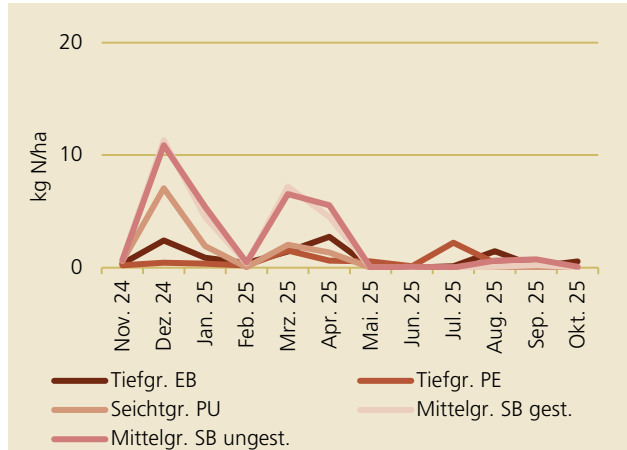


Abb. 5-34: Monatliche Nitratauswaschung

Am tiefgründigen Standort in Eberstolz ist der Großteil der Nitratauswaschung auf die Niederschlagsmengen im Dezember 2024, sowie im März und April 2025 zurückzuführen. In diesen Monaten wurden 63% des Nitrats ausgewaschen. Dieser Standort zeigt die für die Hauptfrucht Winterweizen typische höhere Auswaschung zu Beginn des hydrologischen Jahres.

Am seichtgründigen Standort in Pucking, wo ebenfalls Winterweizen angebaut war, wurde in den Monaten Dezember 2024, sowie im Jänner, März und April 2025 85% der Jahresmenge an Nitrat ausgewaschen. Ein ähnliches Szenario zeichnete sich am mittelgründigen Standort in Schwertberg ab (Hauptkultur: Wintertriticale), wo im Dezember 2024, sowie im Jänner, März und April 2025 insgesamt 95% beim gestörten Lysimeter und 92% beim ungestörten Lysimeter der gesamten Menge an Nitrat ausgewaschen wurden.

In Pettenbach konnte die Zwischenbegrünung über den Winter das Nitrat ausreichend binden, wodurch die Nitratauswaschung zu Beginn des hydrologischen Jahres geringer war. Im März und Juli 2025 wurden insgesamt 56% der Gesamtmenge an Stickstoff ausgewaschen.

Während des Messzeitraums seit September 2001 bis November 2025 wurde in Summe am seichtgründigen Standort in Pucking mit 1.047 kg N/ha am meisten Stickstoff in Form von Nitrat ausgewaschen (Abb. 5-35). Am tiefgründigen Standort in Eberstolz waren es mit 614 kg N/ha etwa 41% weniger, am tiefgründigen Standort in Pettenbach mit 534 kg N/ha knapp die Hälfte. Am neu hinzugekommenen Standort in Schwertberg wurden von Jänner 2016 bis November 2025 in Summe 249 kg N/ha (gestört) bzw. 220 kg N/ha (ungestört) ausgewaschen.

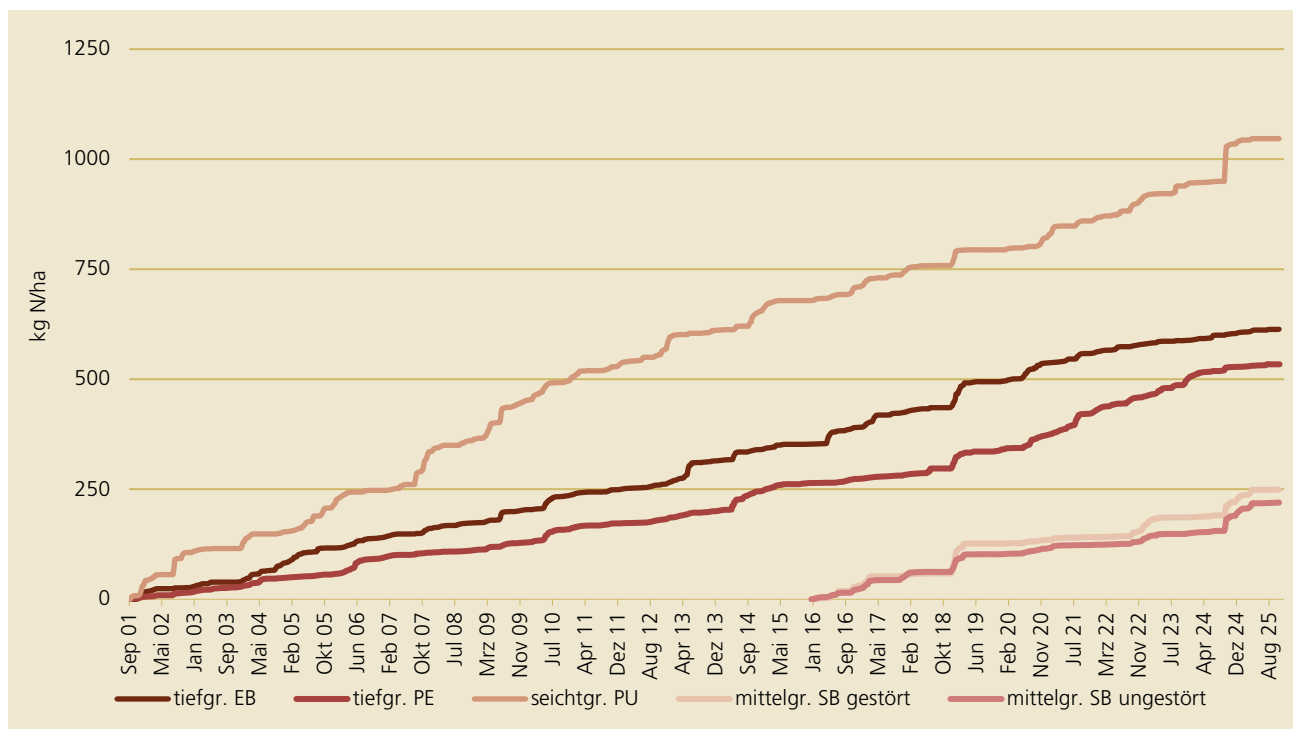


Abb. 5-35: Summe der als Nitrat ausgewaschenen Stickstoffmenge an den vier Standorten

## 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.

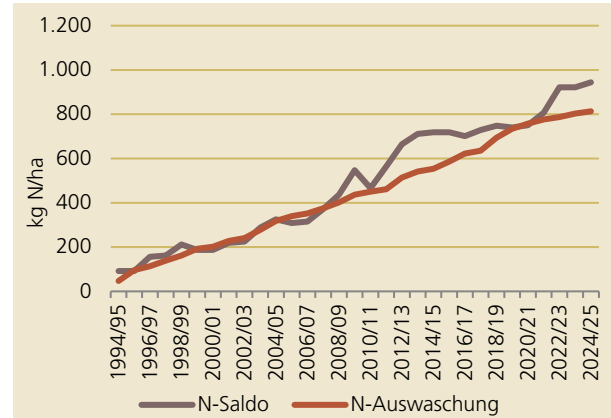


Abb. 5-36: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Eberstallzell

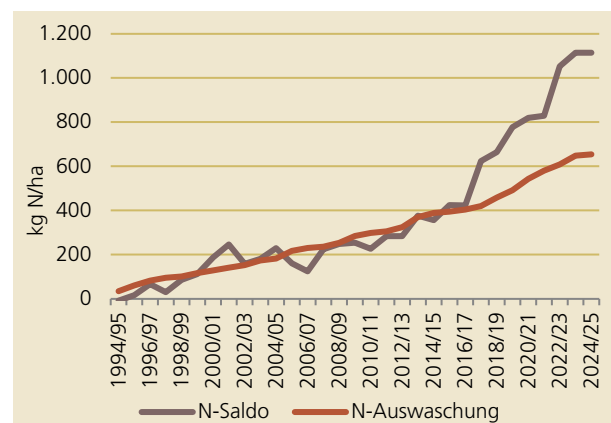


Abb. 5-37: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Pettenbach

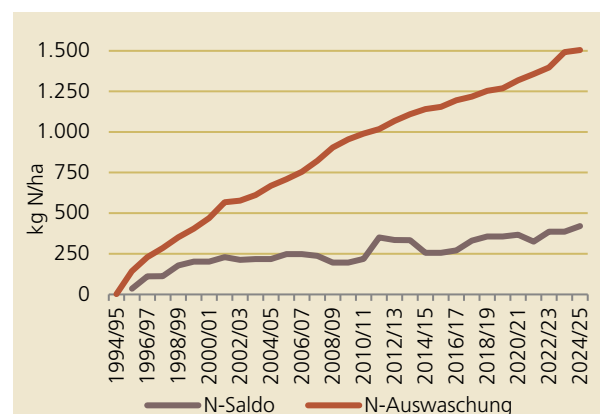


Abb. 5-38: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Pucking

### 5.11 Phosphorbilanzen

In Eberstolz erfolgte die Phosphorzufuhr in Form einer Mineraldüngung am 8.3.2025 (33 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha) und am 22.3.2025 in Form von Schweinegülle (82 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha). Auf dem Standort in Pucking erfolgte am 28.2.2025 eine Mineraldüngung mit 25 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. In Pettenbach und Schwertberg erfolgte keine Phosphordüngung.

Die Standorte Pettenbach, Pucking und Schwertberg weisen nach der Ernte eine negative Phosphorbilanz auf. In Eberstolz wurde aufgrund der geringen Erntemenge weniger Phosphor abgeführt als aufgebracht und liegt daher im Positiven. (Tab. 5-5).

Die Ergebnisse der Bilanzen für die Ernteabfuhr zwischen den Lysimeterflächen und den Mittelwerten sind auf den Standorten Eberstolz, Pettenbach und Pucking ähnlich.

Tab. 5-5: Phosphorbilanzen für das Erntejahr 2025 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)

|                            | Tiefgr. Standort in Eberstalzell 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 | 115                                              |    | 0                                   |     | 25                                 |     | 0                                 |
| Entzug durch die Pflanzen  | Lysimeter                                        | MW | Lysimeter                           | MW  | Lysimeter                          | MW  | MW                                |
| Entzug durch das Korn      | 47                                               | 42 | 83                                  | 60  | 33                                 | 47  | 100                               |
| Entzug durch das Stroh     | 34                                               | 17 | 9                                   | 6   | 8                                  | 8   | 44                                |
| Summe Entzug               | 81                                               | 59 | 92                                  | 66  | 41                                 | 55  | 144                               |
| Abfuhr durch Ernte         | 47                                               | 42 | 83                                  | 60  | 33                                 | 47  | 100                               |
| Bilanz Korn                | 68                                               | 73 | -83                                 | -60 | -8                                 | -22 | -100                              |
| Bilanz Korn + Stroh        | 34                                               | 56 | -29                                 | -66 | -16                                | -30 | -144                              |
| Bilanz Ernte               | 68                                               | 73 | -83                                 | -60 | -8                                 | -22 | -100                              |

5.12 Phosphatauswaschung

Der jahreszeitliche Verlauf der Phosphatauswaschung im Jahr 2024/25 folgt im Wesentlichen dem Sickerwasseranfall (Abb. 5-39) und fällt aufgrund der geringen Sickerwassermenge heuer besonders niedrig aus. Die höchste Auswaschungssumme wurde in Eberstalzell erzielt mit 0,040 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha.

Es folgen Pucking mit 0,037 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, Schwertberg (ungestört) mit 0,032 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha und Pettenbach mit 0,025 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. In Schwertberg (gestört) wurde die geringste Summe mit insgesamt 0,022 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha ausgewaschen. Die Auswaschungsspitzen erfolgten im Dezember 2024, sowie im März bzw. April während der größeren Regenereignissen. In Pettenbach zeigt sich eine dritte Spitze im Juli 2025, wo auch die höchste Sickerwassermenge gemessen und somit

vermehrt Phosphor ausgetragen wurde. Insgesamt sind die Werte der Phosphatauswaschung auf allen Standorten sehr gering.

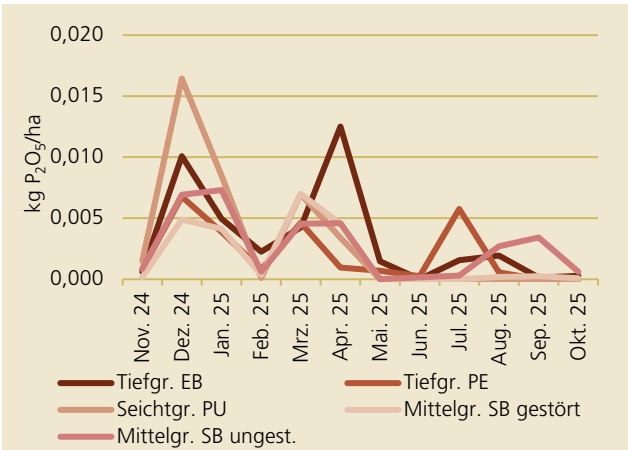


Abb. 5-39: Monatliche Phosphatauswaschung

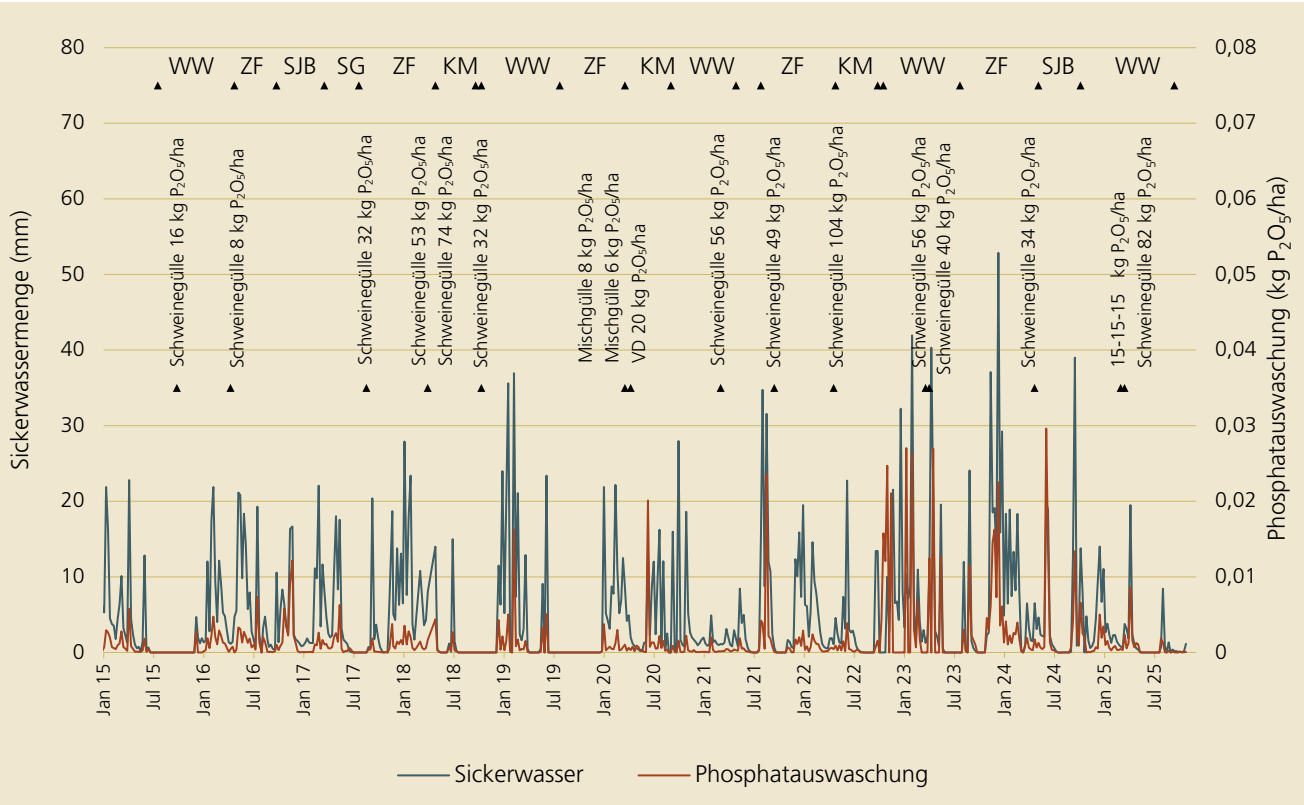


Abb. 5-40: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstalzell



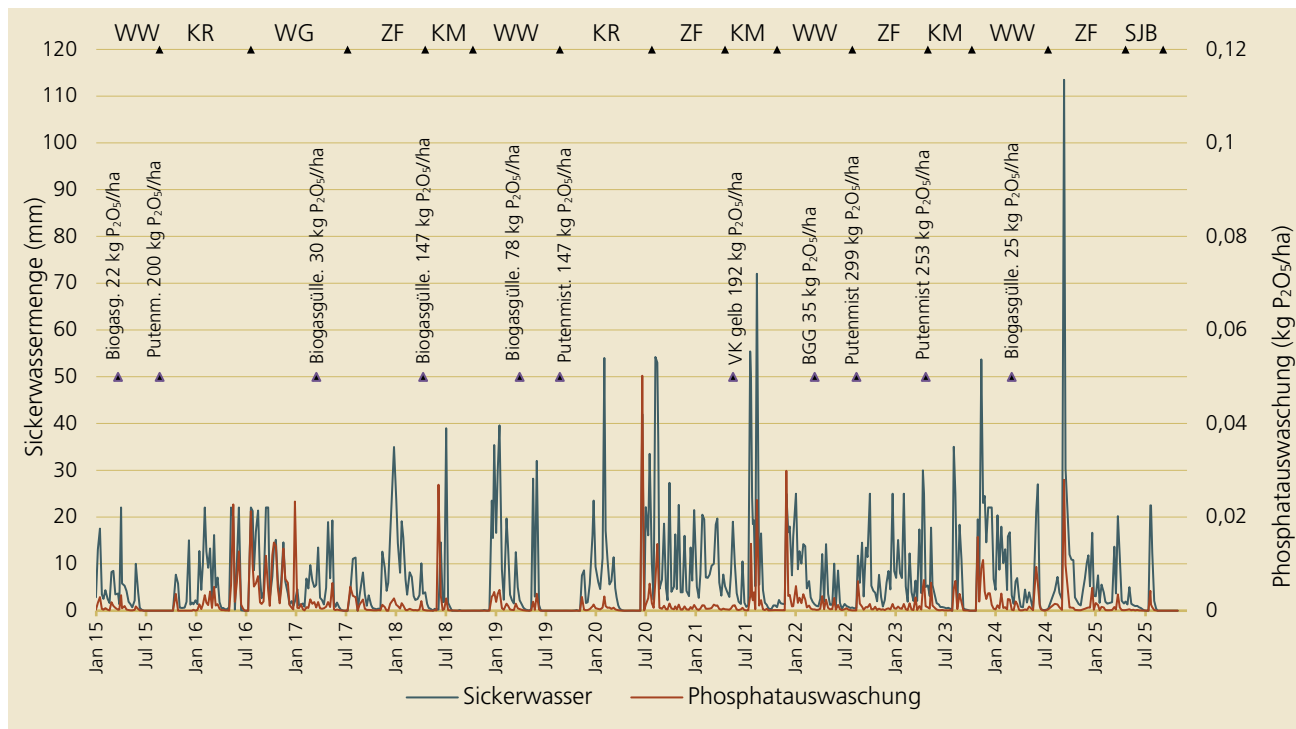


Abb. 5-41: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach

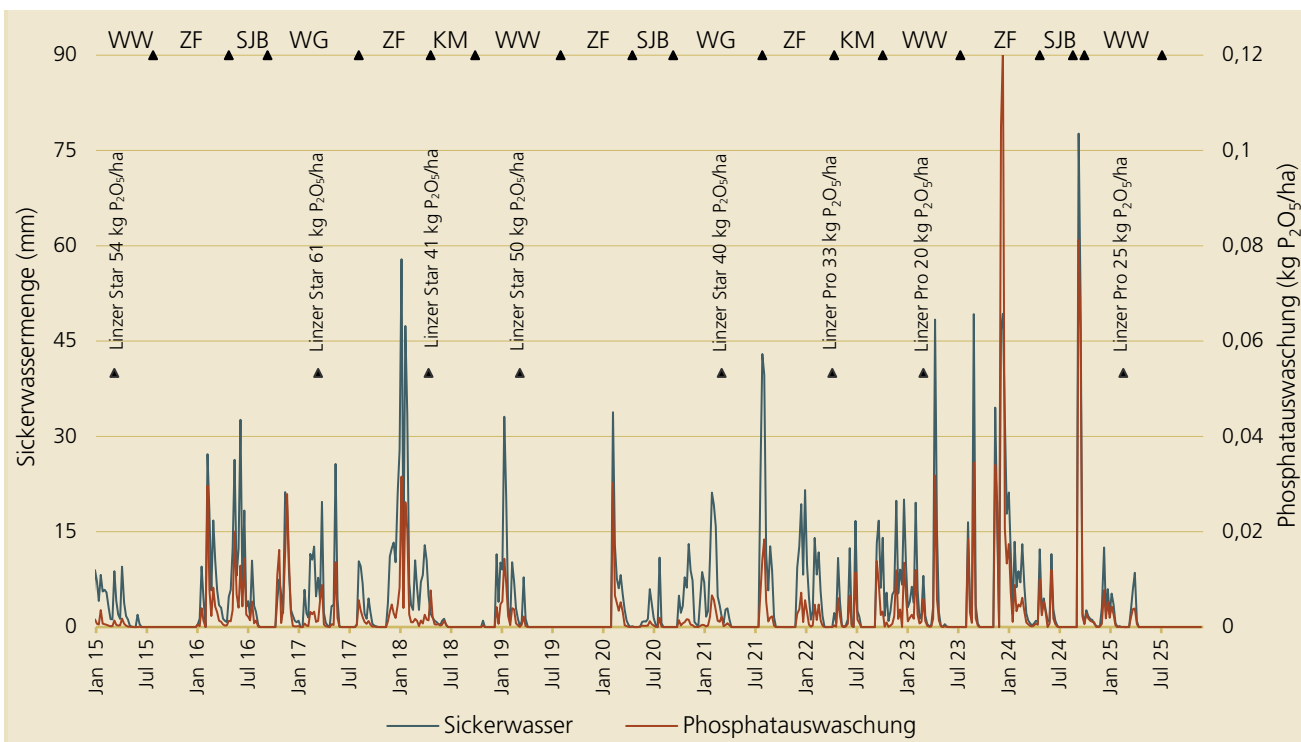


Abb. 5-42: Phosphatauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking

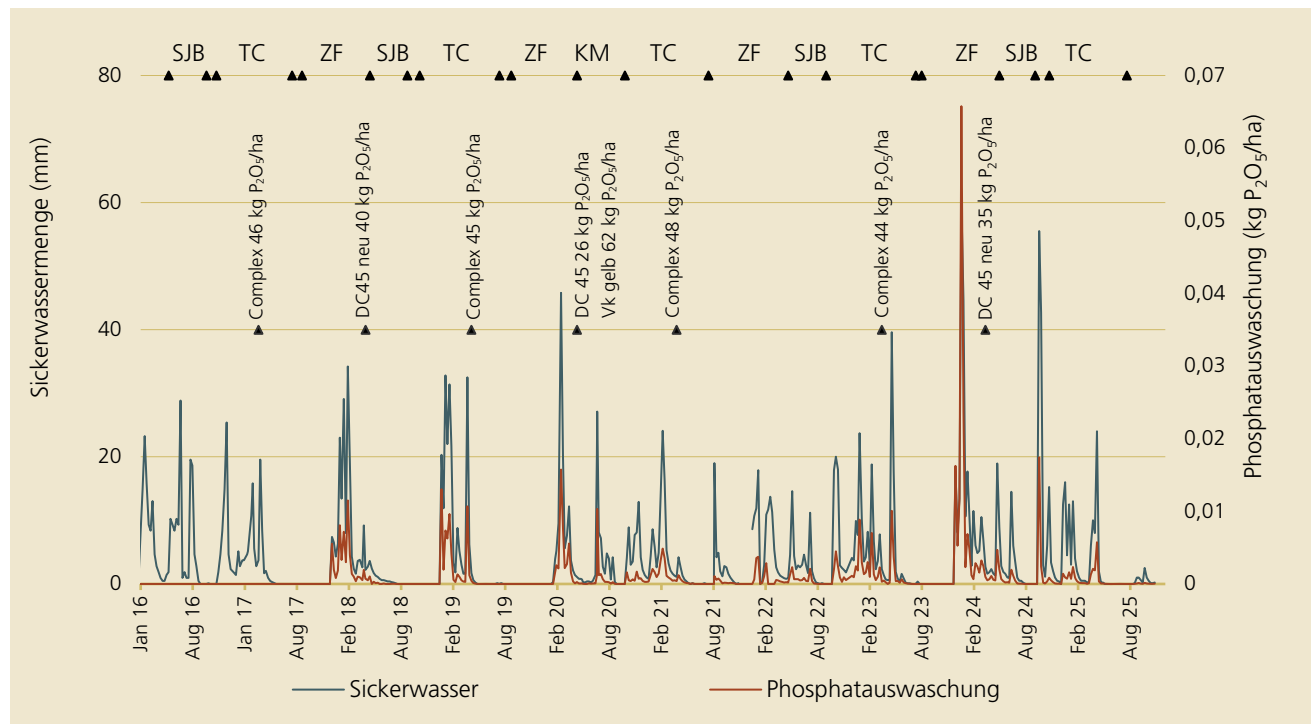


Abb. 5-43: Phosphatauswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg (gestörter Bodenaufbau)

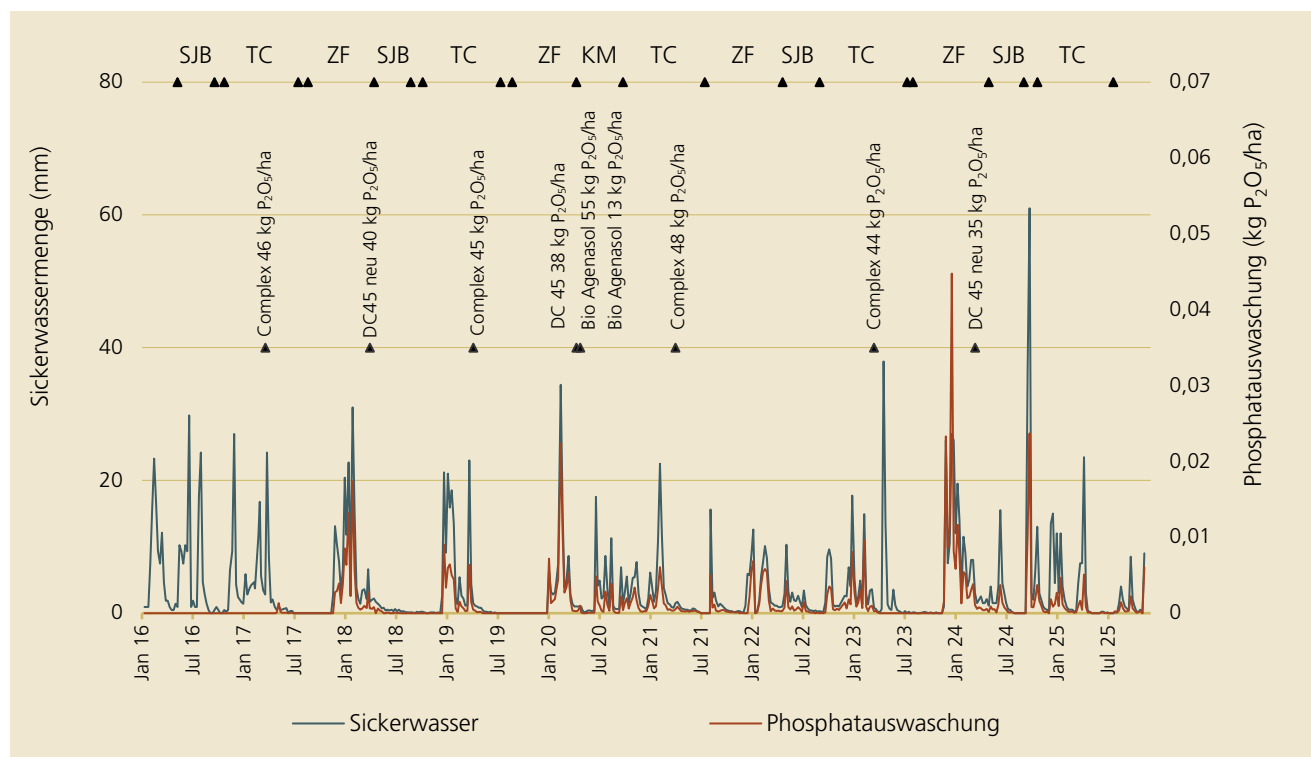


Abb. 5-44: Phosphatauswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg (ungest. Bodenaufbau)

Seit Beginn der Messreihe wurden am tiefgründigen Standort in Eberstolz insgesamt 1,75 kg  $P_2O_5$ /ha ausgewaschen und am tiefgründigen Standort in Pettenbach 1,90 kg  $P_2O_5$ /ha. Am seichtgründigen Standort in Pucking wurde seither mit 3,26 kg  $P_2O_5$ /ha annähernd die doppelte Menge von Eberstolz ausgewaschen. (Abb. 5-45). Am Standort in Schwertberg wurde seit Jänner 2016 0,51 kg  $P_2O_5$ /ha beim Lysimeter mit gestörtem Bodenaufbau und 0,60 kg  $P_2O_5$ /ha beim Lysimeter mit ungestörtem Bodenaufbau ausgewaschen.

Im hydrologischen Jahr 2024/25 beträgt die P-Auswaschung maximal nur ein Viertel der Vorjahreswerte. In Eberstolz und Pettenbach wurden um 79% niedrigere Werte erreicht, in Schwertberg um 84% bzw. 89%. Besonders in Pucking reduzierte sich die P-Auswaschung immens, nämlich um 94%. In Summe waren die P-Verluste mit dem Sickerwasser im hydrologischen Jahr 2024/25 um etwa 85% niedriger als im Vergleichszeitraum des vorigen Jahres. Auch die Sickerwasserkonzentration lag um 72% niedriger als im Vorjahr.

Die durchschnittliche Phosphatkonzentration im Sickerwasser lag in diesem Jahr auf allen 4 Standorten deutlich unter dem Grundwasserswellenwert von 0,30 mg  $PO_4$ /l.

Die mittlere  $PO_4$ -Konzentration im Sickerwasser war in Pucking am höchsten, gefolgt von Eberstolz und Schwertberg (ungestört). In Schwertberg (gestört) und Pettenbach wurden die geringsten  $PO_4$ -Konzentration bestimmt (Tab. 5-6).

Tab. 5-6: Sickerwasser,  $P_2O_5$ -Verluste und mittlere  $PO_4$ -Konzentration im Sickerwasser vom 01.11.24 bis 31.10.25

|                        | SW [mm] | $P_2O_5$ - Verlust [kg/ha] | $PO_4$ -Kon. [mg/l] |
|------------------------|---------|----------------------------|---------------------|
| Tiefgr. EB             | 116     | 0,040                      | 0,046               |
| Tiefgr. PE             | 215     | 0,025                      | 0,016               |
| Seichtgr. PU           | 55      | 0,037                      | 0,089               |
| Mittelgr. SB gestört   | 131     | 0,022                      | 0,022               |
| Mittelgr. SB ungestört | 141     | 0,032                      | 0,030               |

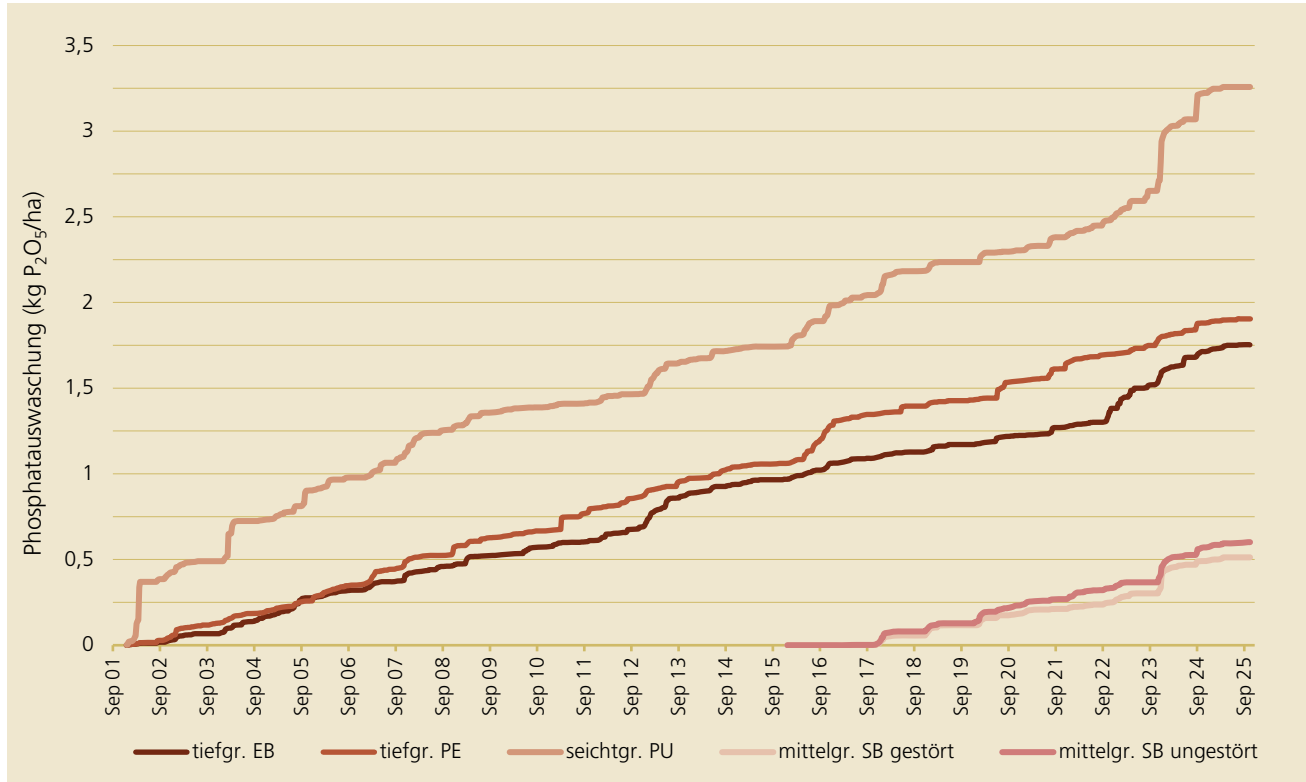


Abb. 5-45: Summe der ausgewaschenen P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Menge.

## 6 Hydrographische Auswertung der UZ-Messstelle Pettenbach

### 6.1 Allgemeines

Seit 2013 läuft die hydrographische Bodenwassermessstelle der Ungesättigten Zone Pettenbach. Sie besteht aus einem mit Gipsblöcken, Tensiometern (für die Matrixpotentialmessung), Temperatursensoren und Wassergehaltssensoren in den Tiefen 10, 35, 60, 90, 120, und 140 cm unter Grund bestückten Freilandprofil sowie aus einem Schwerkraftlysimeter, welches seit 1995 im Zuge des Forschungsprojektes betrieben wird. Auch dieses Lysimeter wurde in den gleichen Tiefen mit Matrixpotential- und Wassergehaltssensoren bestückt. Die seit 2001/2 betriebene Klimastation liefert kontinuierliche Niederschlags-, Temperatur-, Globalstrahlungs-, Luftfeuchte- und Windgeschwindigkeitswerte.

Die Messstelle wurde ab Sommer 2024 umgebaut: einige der Sensoren wurden außer Betrieb gesetzt, in unmittelbarer Nähe ein neues Bodenprofil ausgehoben und in den obersten 5 Tiefen mit Sensoren für Wassergehalt, -spannung und -temperatur bestückt. Die Messdaten der neuen Messstelle weisen Sensor- und Boden-bedingt Unterschiede zu den alten Zeitreihen in gleicher Tiefe auf und wurden daher mittels Lineartransformationen den alten Daten angepasst, um Vergleiche mit den Vorjahren zu ermöglichen.

Lineartransformation Wassergehalt:

- WG1: ident
- WG2: (0,0), (37,33.9), (39,35), (39.5,37), (40,39),
- WG3: -2.7
- WG4: ident
- WG5: -1.9
- WG6: neue Meßstelle misst nicht in Tiefe 6, daher WG5=>WG6: (0,0), (30,37), (33.4,40.3), (35,42.3), (36.5,43), (38,44) – 24st Rechtsverschiebung

Lineartransformation Temperatur:

- T1: aus Lufttemperatur (symmetrische Dämpfung (0.5), Minimum -2.5) in Zeiträumen mit ausgebauter oberster Meßebe und asymmetrische Dämpfung zur neuen Meßstelle (oben 0.7, unten 0.85)
- T2: symmetrische Dämpfung (0.3), -1,
- T3: -0.7
- T4: ident
- T5: -0.9
- T6: aus T5: (0,0), (2.7,3.3), (11,11), (19.4,18.7), (20.3,19.1) 10st Rechtsverschiebung,
- T7: ident T6

Lineartransformation Wasserspannung:

- Gips1 (0,0), (13000,8000)
- Gips2 (0,0), (5000,2600)
- Gips3 (0,0), (2300,2050)
- Gips4 und 5 ident
- Gips5 => Gips6 kopieren (für Matrixpotential6)

Der hydrographische Dienst Oberösterreich hat dankenswerterweise die Neuerrichtung der Niederschlagsmessstelle Pettenbach übernommen, wodurch der Messstandort aufgewertet wurde.

### 6.2 Hydrographische Messergebnisse

Die (mindestens) 10-jährige Laufzeit der verschiedenen Geber erlaubt eine vergleichende Gegenüberstellung des Jahres 2025 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 incl. 2024 als Hintergrund fungiert, das Vergleichsjahr (2024, blau) und das Bearbeitungsjahr (2025, rot) farblich unterschieden werden.

In Abb. 6-1 bis Abb. 6-2 werden solcherart die Niederschlags- und Lufttemperaturverhältnisse, teilweise inkl. der Vergleichsmessstelle in Vorchdorf, dargestellt. 2025 war ein sehr trockenes und eher kühles Jahr. Extrem niederschlagsarm der Jänner, Februar, April-Juni,

sodass vor den beträchtlichen Niederschlägen Ende Juli die Niederschlagssumme ein absolutes Minimum der Reihe ab 2013 zeigte. Wegen mangelnder August- bis Oktober-Niederschläge erreicht die Summenlinie Mitte Oktober wieder ein absolutes Minimum der Reihe.

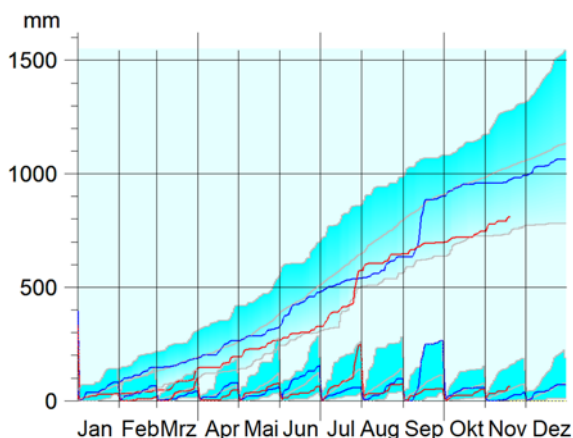


Abb. 6-1: Niederschlags-Jahres- und Monatssummenlinien 2024 (blau) und 2025 (rot) in Pettenbach interpoliert

Die Lufttemperaturen (Abb. 6-2) sind als Jahressummenlinie sowie als links skalierte Monatsmittel dargestellt. Die Temperatursummenlinie liegt bis Ende Juli im Mittel der Reihe ab 2013, der extrem kühle Juli drückt sie merkbar darunter, sodass man von einem kühlen Jahr sprechen kann.

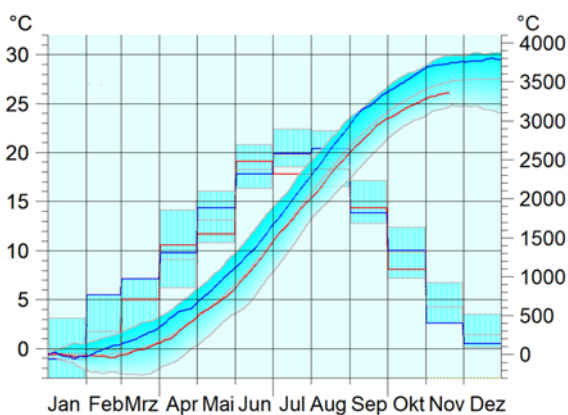


Abb. 6-2: Lufttemperatur-Jahres- und Monatssummenlinie und Monatsmittel 2024 (blau) und 2025 (rot) in Pettenbach interpoliert

Globalstrahlung (Abb. 6-3) und Wind (Abb. 6-4) sind die maßgeblichen Treiber der Verdunstung und Versickerung. Am besten lassen sich diese Größen über Wochenmittelwerte vergleichen. 2025 war ein helles Jahr, bereits das Frühjahr zeigt im April und Mai saisonale Strahlungsspitzenwerte. Juni und September stellen absolute Strahlungsrekorde auf und verschieben die Summenlinie in einen deutlich höheren Bereich als das Mittel der bisherigen Messungen ab 2013.

Der kalte und trockene Jahresbeginn war bis auf ein mäßiges Jänner-Ereignis ausgesprochen windarm, April bis August liegen im Vergleich zur Reihe im oberen Windstärkebereich (der ist an diesem Standort aber mit 2 m/s gering). Der August verläuft gleichförmig mäßig windig, September und Oktober liegen wieder im oberen Bereich. Die Luftfeuchte startet hoch, sackt aber bis Anfang März in eine saisonale Negativspitze, im April und Juni werden wieder saisonale Minima erreicht. Auch das Juli-Niederschlagsereignis kann sie nicht langfristig anheben, bereits im September und Oktober kommt es wieder zu saisonalen Minima.

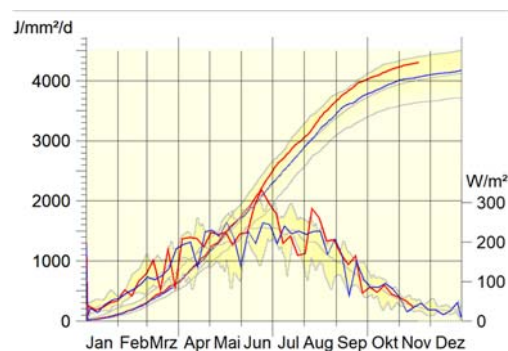


Abb. 6-3: Globalstrahlungs-Jahressummenlinie und Wochenmittel 2024 (blau) und 2025 (rot) der Station Pettenbach

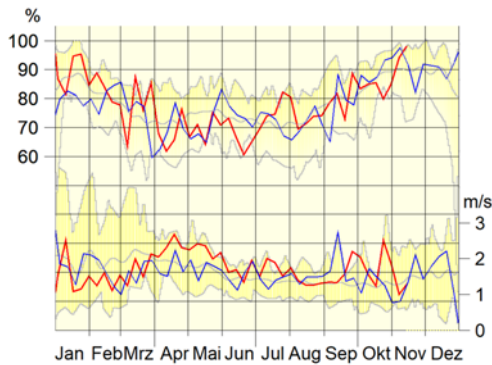


Abb. 6-4: Luftfeuchte- (oben) und Windgeschwindigkeits- (unten) Wochenmittel 2024 (blau) und 2025 (rot)

### 6.3 Grundwasserneubildung

Die Auswirkungen der klimatischen Verhältnisse auf die Grundwasserneubildungen der Lysimeterstandorte in Pucking, Eberstallzell und Pettenbach werden in den Abb. 6-5 bis Abb. 6-7 dargestellt. Der Vergleichszeitraum startet jeweils 1995. Die Unterschiede sind den unterschiedlichen Böden, im Fall Pucking, den stark unterschiedlichen Niederschlagsdargeboten sowie etwaigen Lysimeterimmanenten Messunsicherheiten geschuldet. Jedenfalls betätigen die 3 Lysimeter einander in den wichtigsten Versickerungsphasen.

Die Wippen Pucking und Eberstallzell zeigen keine Datenlücken, dafür ist die Wippe Pettenbach 2025 ein Totalausfall. Glücklicherweise gibt es wöchentliche manuelle Ausliterungen auf allen 3 Standorten. Da die Ausliterungen Pucking und Eberstallzell beste Übereinstimmung zu den Wippenwerten aufweisen, kann auch in Pettenbach eine realistische Summenlinie aus den Ausliterungen gebildet werden.

Alle 3 Lysimeter zeigen geringe Versickerungen, welche bei Pucking und Eberstallzell ab Mai bzw. Juli Reiheminima der Summenlinie ab 1995 darstellen. Bei Pettenbach heben die Versickerungen vom Mai und Juli die Summenlinie in den unteren Bereich der Schwankungsbreite ab 2013, nur im Juli tritt ein saisonales Minimum der Versickerungssumme auf.

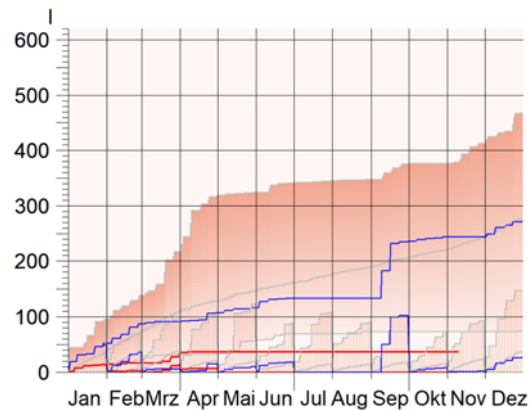


Abb. 6-5: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pucking 2024 (blau) und 2025 (rot)

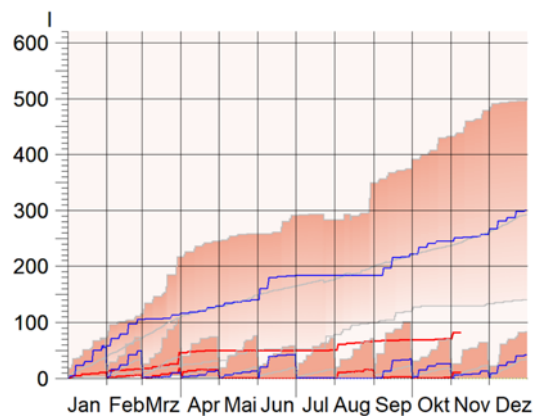


Abb. 6-6: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Eberstallzell 2024 (blau) und 2025 (rot)

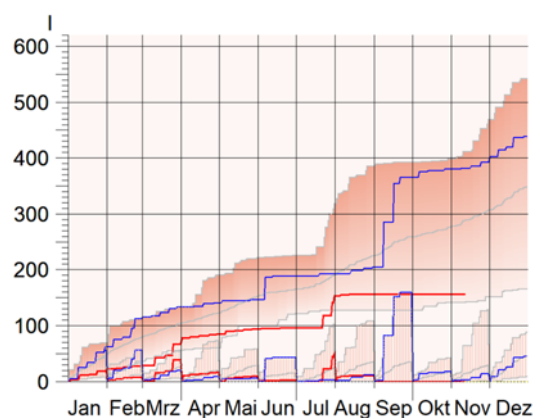


Abb. 6-7: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pettenbach 2024 (blau) und 2025 (rot)

Aus der Differenz von Niederschlag und Versickerung – zuzüglich einer Winterkorrektur, da der Schnee erst verzögert im Frühjahr versickern kann - ergibt sich rechnerisch die Verdunstung. Abb. 6-8 zeigt Monatssummen der bilanzierten Verdunstung. Ihre Jahressumme liegt 2025 mit rund 600 mm um gut 100 mm tiefer als in den Jahren davor, was auf mangelnden Niederschlag zurückzuführen ist. Da das Juli-Regenerereignis von rd. 250 mm nur zu 40 mm Versickerung führte, ergibt sich die rechnerische Verdunstung von 200 mm als saisonales Maximum. Allerdings ist davon  $\geq 40$  mm Profilwassermengenzuwachs des Bodens abzuziehen. Dieser Wert ist kleiner als erwartet: das liegt einerseits an der unsicheren Datenqualität der linear transformierten Messwerte, andererseits daran, dass der ausgetrocknete Boden den Regen vermutlich nicht aufnehmen konnte und Wasser seitlich weggeronnen ist.

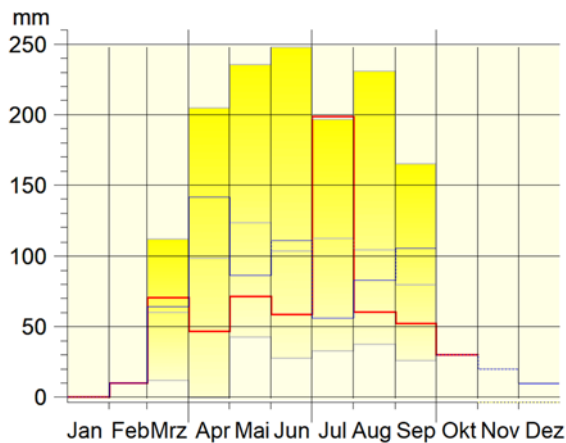


Abb. 6-8: Bilanzierter Verdunstungs-Monatssummen 2024 (blau) und 2025 (rot)

Abb. 6-9 zeigt 4-Tagesmittel der Wassermenge im Gesamtprofil von 0-160 cm. In der 1. Jahreshälfte liegt die Profilwassermenge fast durchwegs unterhalb der bisherigen saisonalen Reihenminima, was auch zu den geringen Versickerungsmengen passt. Allerdings sind die linear transformierten Messwerte mit einer gewissen Datenunsicherheit behaftet.

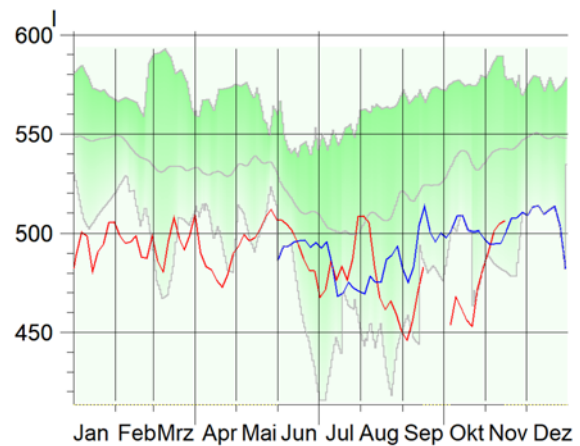


Abb. 6-9: Profilwassermengen (4Tagesmittel) im Bodenprofil Pettenbach 2024 (blau) 2025 (rot)

Abb. 6-10 zeigt auf Basis von Monatssummen und Monatsmitteln die Größenordnung des bei der Bilanzierung vernachlässigten Beitrags des Bodenwasservolumens. Da der Niederschlag und die Versickerung Messgrößen sind, bedeutet ansteigendes Bodenwasservolumen eine Überschätzung, eine negative Monatsdifferenz eine Unterschätzung der Verdunstung. Naturgemäß gleichen sich diese Beträge über das Jahr aus, bedeuten also lediglich eine weitere (zusätzlich zur Winterkorrektur) Verschiebung der Verdunstungssummen.



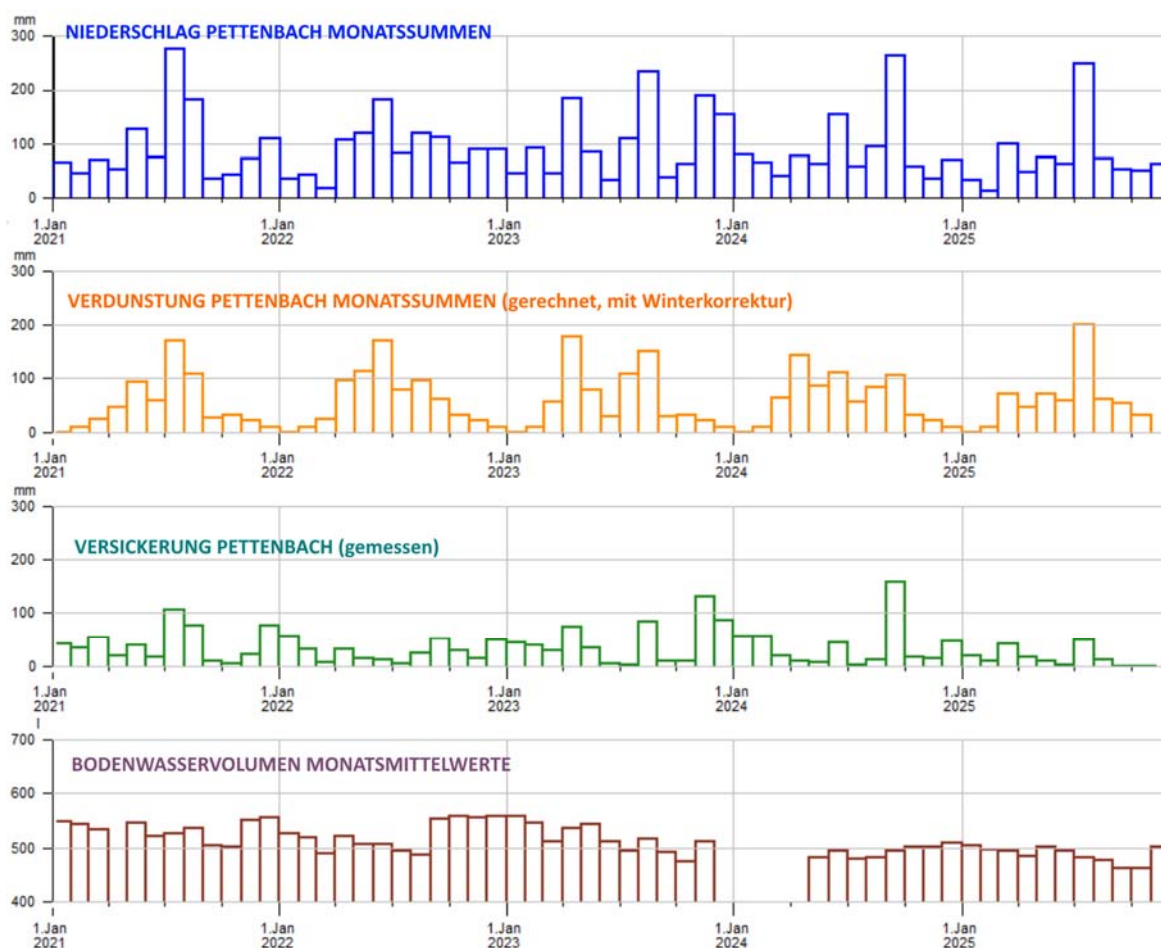


Abb. 6-10: Monatsbilanzierungen

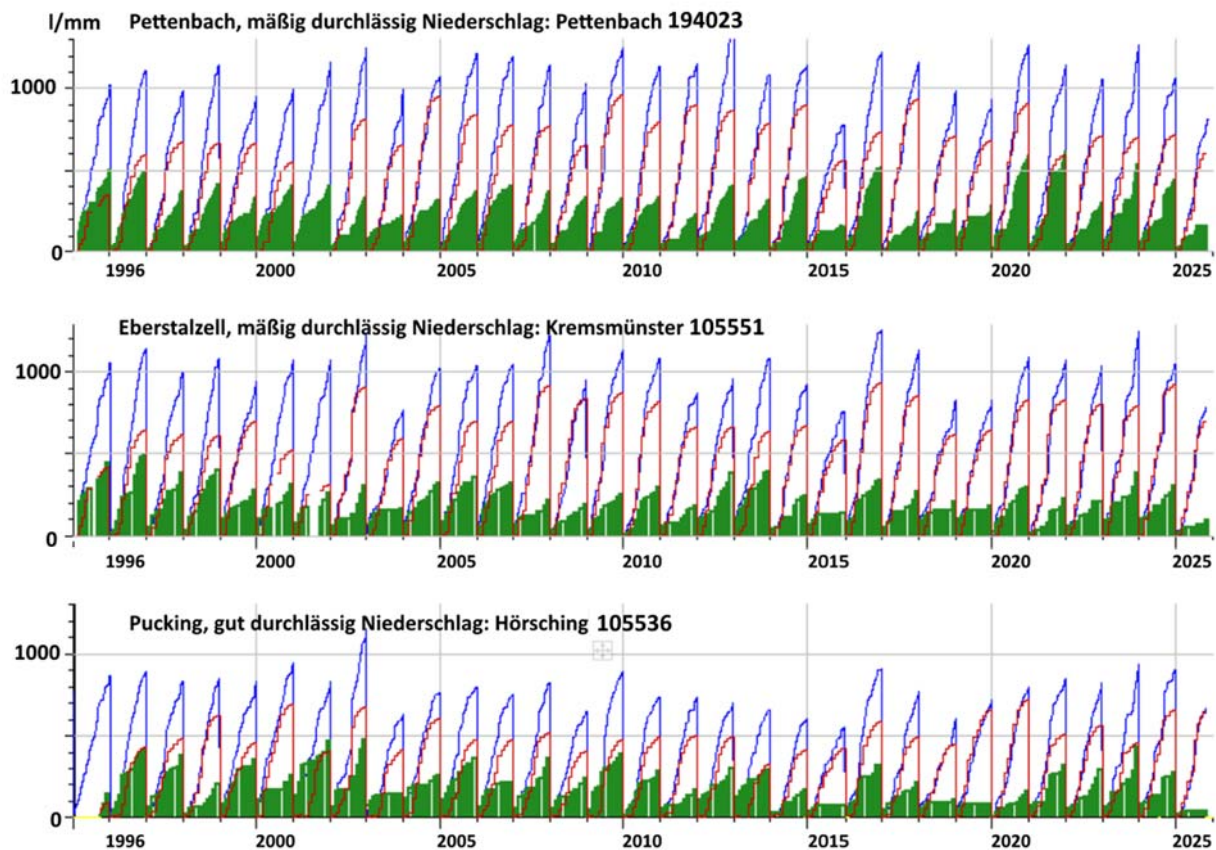


Abb. 6-11: Jahressummen der Versickerungen, bilanzierten Verdunstungen und des Niederschlages der Messstellen Pettenbach (oben), Eberstallzell (Mitte) und Pucking (unten)

Die langjährige Entwicklung der Versickerungen und Verdunstungen wird durch Abb. 6-11 wiedergegeben, in welcher die gemessenen Versickerungen grün, die mit Winterkorrektur bilanzierten Verdunstungen rot und der Niederschlag blau dargestellt sind. 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 rund 1/3 mehr

Jahresniederschlag rechnen als Pucking in der Raumeinheit „Unteres Trauntal“.

Dennoch ist allen 3 Standorten gemeinsam, dass die Relation Verdunstung/Versickerung sich ab 1996 von  $>1$  in Pettenbach und Eberstallzell bzw. 1 in Pucking nach 2-3 in den jüngeren Jahren verschiebt. Während in Eberstallzell 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 augenscheinlich zugenommen,

wobei sich dieses Phänomen auch in Pucking und abgeschwächt in Eberstallzell zeigt.

Ungeachtet etwaiger Lysimeterfehler lässt sich die Aussage treffen, dass in der Messregion Versickerungen tendenziell abnehmen, Verdunstungen bei ausreichendem Niederschlagsdargebot zunehmen und daher aktuell in diesem Gebiet in trockenen Jahren die Versickerung mit 15-30% des Niederschlags, in feuchten mit 30-35 % anzusetzen ist. Begünstigen einzelne Starkregenereignisse die Grundwasserneubildung wie zum Beispiel 2020, 2021 oder 2024, kann die Versickerung bis auf über 40% des Niederschlags steigen.

Abb. 6-12 zeigt die langjährigen Verläufe der Bodenwassermengen: linksskaliert ist die Wassermenge des

Gesamtprofils von 0-160 cm rot und jene unter der Durchwurzelungstiefe braun, rechts skaliert die Wassermenge im Durchwurzelungsbereich grün von 0-40 cm. Ab 2016 gibt es einen generellen leichten Abwärtstrend im Bodenwasservolumen. Das Juli-Regenerereignis 2025 konnte die Bodentrockenheit nicht kompensieren, erst der November weist nach einem Zuwachs von 50 l endlich eine Größenordnung wie Ende 2023 auf, wobei die Aussagen 2025 mit großer Unsicherheit behaftet sind.

Gemäß Abb. 6-12 findet dieser permanente Bodenwasserverlust deutlich mehr im Boden unterhalb der Durchwurzelungstiefe (grün) statt als im Oberboden.

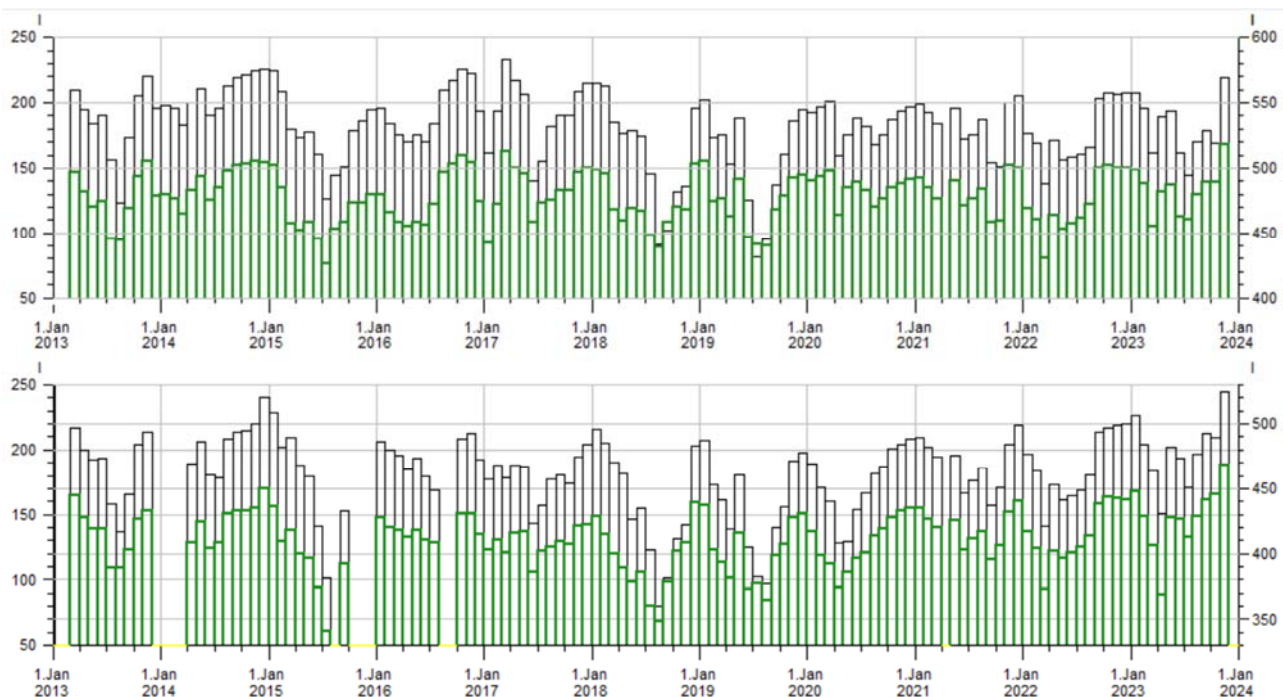


Abb. 6-12: Monatsmittel der Gesamtprofilwassermengen (grün, rechts skaliert) und Wassermenge des durchwurzelten Profilsbereichs (0-40 cm; schwarz, links skaliert) in Pettenbach seit 2013: oben Freiland, unten Lysimeter

## 6.4 Bodenwasserverhältnisse

Die Messungen der Temperatur, der Saugspannung und des Wassergehaltes in den 6 bis 7 Messebenen des Freilandes werden zu Oberboden (0-25cm; entspricht der AB-Horizontgrenze), Unterboden (25-160cm, das bedeutet 20cm unter den tiefsten Sensor extrapoliert) bzw. durchwurzelter Bereich (0-40cm) und Boden unterhalb des durchwurzelten Bereiches (40-160cm) zusammengefasst, rot dargestellt und wiederum dem Jahr 2024 (blau) gegenübergestellt. Die Ober/Unterbodenunterscheidung ist sinnvoll für die 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-/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.

### 6.4.1 Bodenwassertemperatur

Abb. 6-13 zeigt im oberen, links skalierten Diagrammteil die Temperaturen des durchwurzelten Bereiches von 0-40 cm mit den Lufttemperaturen und im unteren, rechts skalierten Diagrammteil die Temperaturen des Bodens im Bereich unter der Durchwurzelung von 40-160 cm.

Diese 4-Tagesmittel der gewichtet gemittelten Temperaturen des Profils zeigen 2025 im durchwurzelten Bereich nach sehr kaltem Jänner und Februar ein mittelwarmes Frühjahr trotz kühler Lufttemperaturen. Anfang Juli tritt sogar ein saisonales Maximum auf, ehe mit dem Juli-Niederschlag die kühle Lufttemperatur

auch zu unterdurchschnittlichen Bodentemperaturen führt.

Die Temperatur im unteren Boden verläuft im 1. Halbjahr im mittleren Bereich, erreicht ca. 1 Woche nach dem durchwurzelten Bereich ein saisonales Maximum und kühlt im August gleich zeitverschoben auf ein saisonales Minimum ab, um danach im untersten Bereich der Reihe zu bleiben.

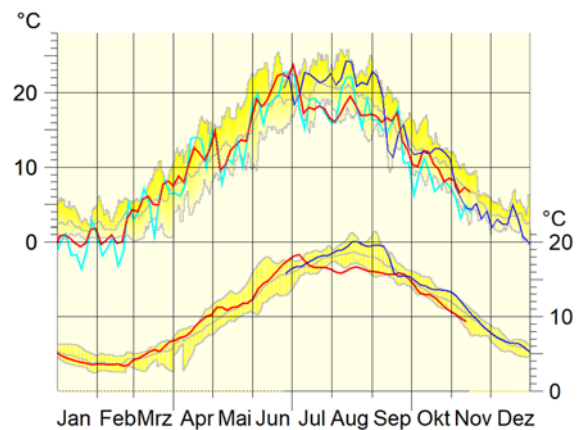


Abb. 6-13: Profil- und Lufttemperaturen

### 6.4.2 Matrixpotential

Das Matrixpotential ist eine unattraktive Größe mit chaotischem Aussehen. Das liegt daran, dass 2 Messsysteme überlagert werden müssen: Tensiometer für den feuchten Bereich mit Obergrenzen von SOLL-800, IST oft 300-400 hPa, und Gipssensoren (Watermark) mit Messbereich bis 4000 hPa für die Quantifizierung von Austrocknungen.

Abb. 6-14 zeigt gewichtet gemittelte Profil-Matrixpotentiale: im oberen Diagrammteil wird der durchwurzelte Boden von 0-40 cm links skaliert dargestellt, im unteren Diagrammteil der Boden unter der Durchwurzelungstiefe von 40-160 cm rechts skaliert.

Ein erster Trockenstress macht sich im durchwurzelten Bereich im April bemerkbar, gefolgt von massivem Stress im Juni, wo ein saisonales Reihenmaximum seit

2013 erreicht wird, der erst durch den Juli-Regen gemindert wird. August- und September-Wasserspannungen liegen im Normbereich.

Im Boden unterhalb der Durchwurzelungstiefe übersteigt die Juni-Wasserspannung das Reihennittel, bricht gleichzeitig mit dem Oberboden Anfang Juli ein, um im September zu einer deutlich über dem saisonalen Mittelwert gelegenen Spitze anzusteigen, und erst wieder im November abzureißen

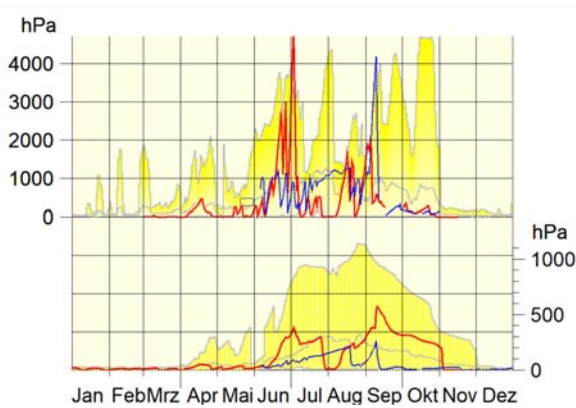


Abb. 6-14: gemittelte Profil-Matrixpotentiale (Daten bis Juni fehlend)

6.4.3 Bodenwassermenge: Wassergehalt und SoilWaterIndex

Der SWI (soil-water-index) wird als auf die nutzbare Feldkapazität (Feldkapazität – Welkepunkt) bezogener volumetrischer Wassergehalt definiert. Maßgeblich sind die für die einzelnen Bodenschichten angenommenen Wassergehalte bei Welkepunkt und Feldkapazität. Diese wurden in einer Kombination aus Literaturangaben, Messergebnissen und Laborauswertungen wie in Tab. 6-1 gezeigt angenommen.

Tab. 6-1: SWI-Grenzwerte

| Tiefe (cm) | Feldkapazität | Welkepunkt |
|------------|---------------|------------|
| 10         | 39            | 15         |
| 35         | 38            | 16         |
| 60         | 36            | 18,7       |
| 90         | 39            | 15,8       |
| 120        | 35            | 15         |
| 140        | 24,5          | 15,8       |

Abb. 6-15 zeigt den gewichtet gemittelten SWI-Verlauf des durchwurzelten Bereiches von 35-40 cm im oberen Diagrammteil links skaliert und jenen des Bereichs unterhalb der Durchwurzelung von 40-160 cm im unteren Diagrammteil rechts skaliert.

Zunächst zum **durchwurzelten Bereich**: die unmittelbar neben den Messfühlern gelegene Grube zur Errichtung der neuen Messstelle ab 1.10.24 sowie der Ausbau des obersten Wassergehaltssensors zu den Bearbeitungszeiten 16.4.–14.5.25 und 17.9.-1.10.25 mit seinen rekonstruierten Werten relativieren die extrem tiefen SWI-Werte (10-40%) des Jahresendes 2024 sowie des ersten Halbjahrs 2025 mit saisonalen Reihenninima im April und Mai, wenngleich der Boden sicher extrem trocken war. Auch im 2. Halbjahr zeigen die Oktober-Werte eine Nähe zum Welkepunkt an, die möglicherweise auf nicht optimal angepasste Lineartransformationen der Sensoren der neuen Messstelle



zurückzuführen ist. Dass der SWI des durchwuzelten Bodens das ganze Jahr unter den Reihenmittelwerten lag, ist plausibel; dass er nie die 50%-Marke knackte, vielleicht fraglich.

Der SWI-Verlauf des Bodens **unter der Durchwurzelung** (unteres Diagramm von Abb. 6-15) hingegen befindet sich im ersten Halbjahr ziemlich genau im Mittel der Reihe, ein Hinweis, dass der extrem trockene Boden darüber vermutlich mangels kraftvoller Pflanzendecke nicht in der Lage war, die tiefen Wasservorräte anzuzapfen. Im 2. Halbjahr beschert ihm das Juli-Regenereignis eine flache August-Spitze (im Bereich der Bandbreite), wobei er im August bereits unter den Mittelbereich der Reihe absinkt und bis Anfang November dort bleibt. Der November endet im Mittelbereich.

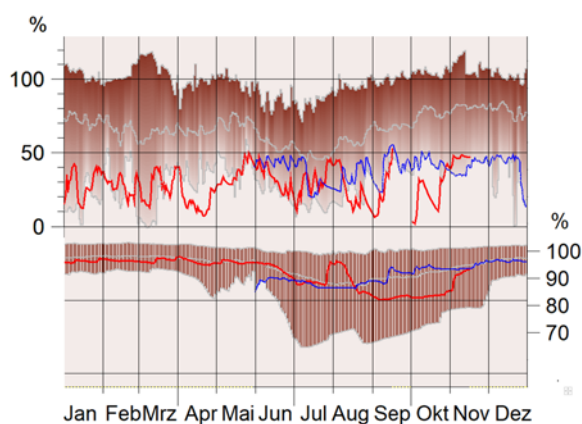


Abb. 6-15: gemittelte Profil-SWI-Zeitreihen

Mehrjährige **SWI-Diagramme** zeigen den Zeit-Tiefe-Verlauf des Soil-water-Indizes im Messprofil und

erlauben somit den Vergleich der Jahre untereinander. Dunkelblau bedeutet Feldkapazität und mögliche Versickerung, rot bedeutet Trockenstreß in unmittelbarer Nähe zum Welkepunkt.

Das Zeit-Tiefen-Diagramm 2013-2025, welches exakt bis zum tiefsten Wassergehaltssensor in 140 cm Tiefe reicht, wurde der besseren Sichtbarkeit wegen unterteilt in ein 4-Jahresdiagramm und drei untereinander gestaffelte 3-Jahresdiagramme.

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 und erst wieder Ende 2024 bis zum Sommer 2025 auftritt. Die besondere Trockenheit der obersten 20 cm des Bodens ab Mitte 2024 ohne Unterbrechung das ganze Jahr 2025 sowie die mangelnde Weitergabe dieser Trockenheit in tiefere Bodenschichten – die grün-türkise Bodenaustrocknung reicht ab Herbst 2024 bis Ende Frühling 2025 nicht tiefer als 30 cm – sind die bodenhydrologischen Besonderheiten dieser Jahre.

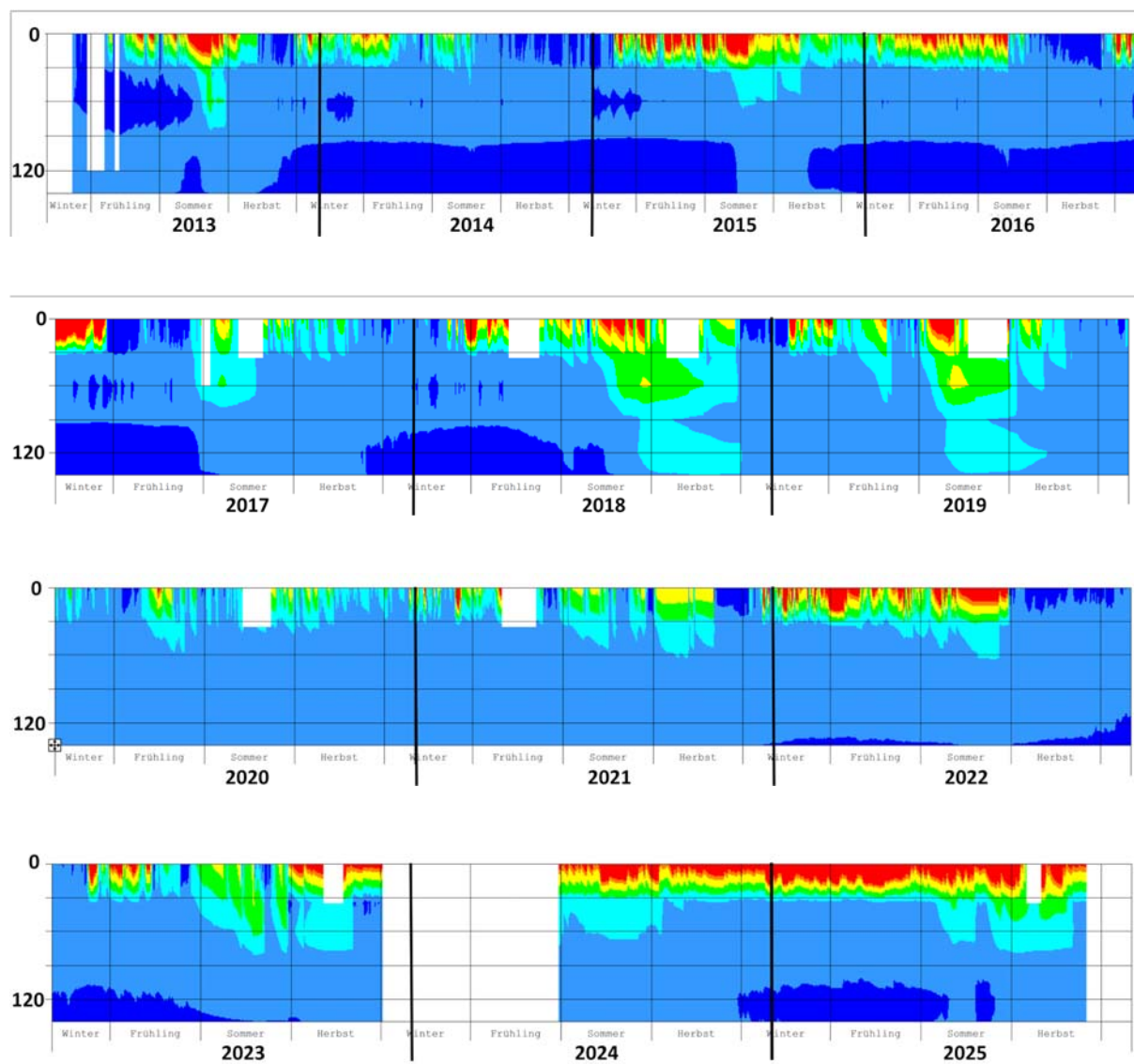


Abb. 6-16: SWI-3(4) Jahres Diagramme

## **7 Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen**

Im hydrologischen Jahr 2024/25 konnten die bisher typische Auswaschungsverläufe beobachtet werden, wenn auch der Witterungsverlauf gegenüber früheren Jahren immer extremer wird.

Das hydrologische Jahr 2024/25 startete zunächst „normal“ mit November- und Dezember-Niederschlägen, die zu einer entsprechenden Sickerwasserbildung in diesem Zeitraum führten. So wie bereits in der Vergangenheit zeigte sich auch diesmal, dass Zwischenbegrünungen einen wirksameren Schutz vor einer Nitratverlagerung über den Winter darstellen als Winterweizen. Die Nitratkonzentration und die NitratAuswaschung unter der Zwischenbegrünung verlief am mittelgründigen Standort zunächst auf niedrigerem Niveau als auf allen anderen Standorten mit Wintergetreide. Im Herbst 2024 fand auf keinem der Standorte eine Düngung statt.

Bereits im Jänner und Februar 2025 blieben die ersten Niederschläge aus, was den Start in ein insgesamt recht trockenes Jahr einläutete. Niederschlagsmaxima gab es im März, vereinzelt im Mai und auf allen Standorten recht ausgeprägt im Juli. Interessant ist, dass die hohen Niederschläge im Juli nur unter Sojabohne einen beachtlichen Sickerwasseraustrag verursachten, jedoch bei den Wintergetreidestandorten nicht, obwohl das Getreide zu diesem Zeitpunkt im Reifestadium war bzw. bereits abgeerntet wurde. Am seichtgründigen Standort blieb das Sickerwasser ab Mitte Mai bis zum Ende des Beobachtungszeitraums sogar zur Gänze aus.

Auf allen Wintergetreide-Standorten ist zu beobachten, dass sich nach der Ernte und aufgrund der geringen bis nicht vorhandenen Sickerwassermengen seit dem Sommer der  $N_{\min}$  Gehalt kontinuierlich aufbaut und daher für eine nachfolgende Frucht zur Verfügung steht; oder aber bei entsprechenden

Niederschlägen ausgewaschen werden kann, falls die Fläche für eine längere Zeit brach liegen würde. Es ist daher essentiell, dass so früh wie möglich nach der Ernte eine Folgefrucht angelegt wird.

Immer häufiger auftretende Trockenperioden und eine allgemeine Verringerung des Niederschlags im Jahresverlauf werden zur immer größeren Herausforderung in der Landwirtschaft. Mithilfe der Lysimetermessungen in diesem Jahr konnte jedoch gezeigt werden, dass sowohl auf den tiefgründigen als auch auf seichtgründigen Böden gute Erträge von Winterungen eingefahren werden können, und das obwohl die gesetzlichen Düngeobergrenzen bei Weitem nicht ausgereizt wurde.



## 8 Literatur

- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (2023). Richtlinien für die Sachgerechte Düngung im Ackerbau und Grünland, 8. Auflage. BML 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.

Kuderna, M., Weinberger, C. (2023). Forschungsprojekt Lysimeter. Technischer Endbericht 2023. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz.

Kuderna, M., Weinberger, C., Maxwald, M. (2024). Forschungsprojekt Lysimeter. Technischer Endbericht 2024. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz.