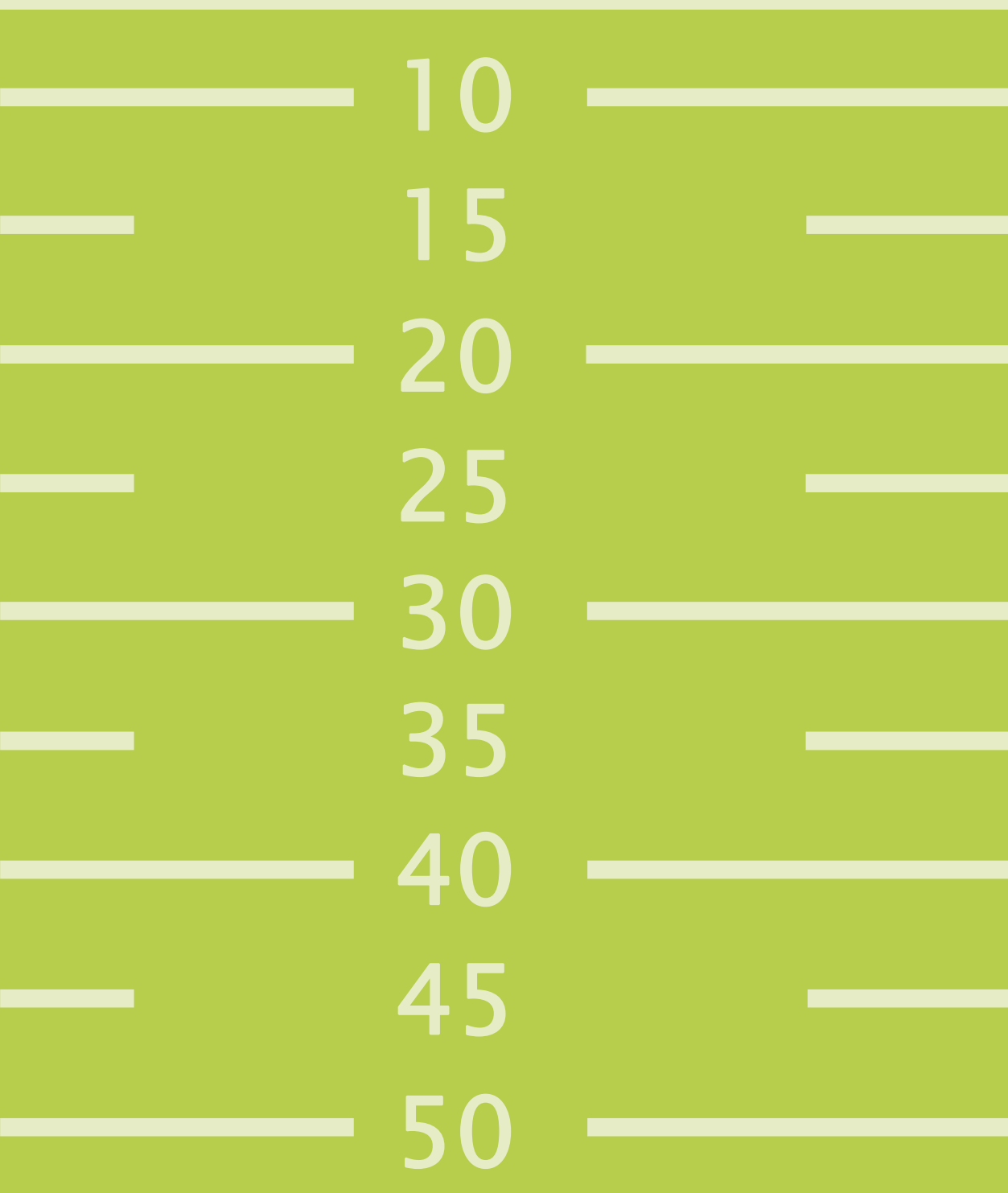






Forschungsprojekt Lysimeter

Technischer
Endbericht
2022



 Bundesamt
für Wasserwirtschaft

 Bundesministerium
Landwirtschaft, Regionen
und Tourismus



Forschungsprojekt Lysimeter

Technischer Endbericht 2022

Impressum

Medieninhaber: Land Oberösterreich

Herausgeber:

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

Projektleiter: Dipl.-Ing. Sebastian Friedl-Haubner
Abteilung Wasserwirtschaft

Autoren:

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

Dipl.-Ing. Gabriele Fuchs
BMNT, Abteilung I-4, 1030 Wien

Dipl.-Ing. Thomas Weninger
Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt
Bundesamt für Wasserwirtschaft
3252 Petzenkirchen

Grafik (Umschlag)

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

1. Auflage, Dezember 2022

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

Copyright: Wasserwirtschaft

INHALTSVERZEICHNIS

1 Zusammenfassung5

2 Vorgeschichte und Fragestellung6

3 Methoden8

3.1 Probenahme.....8

3.2 Analytik.....9

3.3 Bilanzierung10

3.4 Berechnung der Auswaschung10

4 Bewirtschaftung11

5 Ergebnisse13

5.1 Wirtschaftsdünger und Ernteproben.....13

5.2 Stickstoffsalden14

5.3 Nachlieferbarer Stickstoff17

5.4 N_{min}-Gehalte im Boden17

5.5 Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstalzell.....20

5.5.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung20

5.5.2 Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und -konzentration im Sickerwasser21

5.6 Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach23

5.6.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung23

5.6.2 Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und -konzentration im Sickerwasser24

5.7 Nitratauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking.....26

5.7.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung26

5.7.2 Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und -konzentration im Sickerwasser27

5.8 Nitratauswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg29

5.8.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung29

5.8.2 Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und -konzentration im Sickerwasser29

5.9 Vergleich der Nitratauswaschung bzw. Nitratkonzentration im Sickerwasser zwischen den Standorten ...32

5.10 Einfluss des Stickstoffsaldos auf die Nitratverlagerung35

5.11 Phosphorbilanzen36

5.12 Phosphatauswaschung37

6 Hydrographische Auswertung der UZ-Messstelle Pettenbach.....42

6.1 Allgemeines42

6.2 Hydrographische Messergebnisse42

6.3 Grundwasserneubildung43

6.4 Bodenwasserverhältnisse46

7 Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen50

8 Literatur52

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 2-1: Lage der Lysimeter.....6

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

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

Abb. 5-3: N_{min} -Gehalte am tiefgründigen Standort in Pettenbach - Variante 1 bis 4 im Vergleich 18

Abb. 5-4: N_{min} -Gehalte am seichtgr. Standort in Pucking 18

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

Abb. 5-6: Vergleich der N_{min} -Gehalte der Standorte seit Jänner 2015 19

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

Abb. 5-8: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Jänner 2015 (tiefgr. EB) *Juli 2016 nicht gesamtes SW erfasst.....20

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

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

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

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

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

Abb. 5-14: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Juni 2015 (tiefgr. PE) *von Mai bis Sept. 2016 und August 2017 nicht gesamtes Sickerwasser erfasst.....23

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

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

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

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

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

Abb. 5-20: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Jänner 2015 (seichtgründig)26

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

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

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

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

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

Abb. 5-26: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (mittelgründig) mgSBg29

Abb. 5-27: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (mittelgründig) mgSBu29

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

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

Abb. 5-30: N_{min} -Gehalt des Bodens (ab April 2017) und Nitratauswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) mgSBg31

Abb. 5-31: N_{min} -Gehalt des Bodens (ab April 2017) und Nitratauswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) mgSBu31

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

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

Abb. 5-34: Durchschnittliche monatliche Nitratkonzentrationen.....	33
Abb. 5-35: Monatliche Nitratauswaschung	34
Abb. 5-36: Summe der als Nitrat ausgewaschenen Stickstoffmenge an den vier Standorten	34
Abb. 5-37: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Eberstalzell.....	35
Abb. 5-38: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Pettenbach.....	35
Abb. 5-39: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Pucking	35
Abb. 5-40: Monatliche Phosphatauswaschung.....	37
Abb. 5-41: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstalzell	37
Abb. 5-42: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach.....	38
Abb. 5-43: Phosphatauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking	38
Abb. 5-44: Phosphatauswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg (gestörter Bodenaufbau)	39
Abb. 5-45: Phosphatauswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg (ungest. Bodenaufbau).....	39
Abb. 5-46: Summe der ausgewaschenen P_2O_5 Menge.	41
Abb. 6-1: Niederschlags-Jahres- und Monatssummenlinien 2021 (blau) und 2022 (rot) in Pettenbach.....	42
Abb. 6-2: Niederschlags-Jahres- und Monatssummenlinien 2021 (blau) und 2022 (rot) in Vorchdorf	42
Abb. 6-3: Lufttemperatur-Jahres- und Monatssummenlinie und Monatsmittel 2021 (blau) und 2022 (rot) in Pettenbach	43
Abb. 6-4: Globalstrahlungs-Jahressummenlinie und Wochenmittel 2021 (blau) und 2022 (rot) der Station Pettenbach	43
Abb. 6-5: Luftfeuchte- (oben) und Windgeschwindigkeits- (unten) Wochenmittel 2021 (blau) und 2022 (rot).....	43
Abb. 6-6: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pucking 2021 (blau) und 2022 (rot)....	43
Abb. 6-7: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Eberstalzell 2021 (blau) und 2022 (rot)	44
Abb. 6-8: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pettenbach 2021 (blau) und 2022 (rot)	44
Abb. 6-9: berechnete Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pettenbach 2021 (blau) und 2022 (rot).....	44
Abb. 6-10: Bilanzierte Verdunstungs-Monatssummen 2021 (blau) und 2022 (rot).....	44
Abb. 6-11: Jahressummen der Versickerungen, bilanzierten Verdunstungen und des Niederschlages der Messstellen Pettenbach (oben), Eberstalzell (Mitte) und Pucking (unten)	45
Abb. 6-12: Monatsmittel der Gesamtprofilwassermengen (grün, rechts skaliert) und Wassermenge des durchwurzelten Profilbereichs (0-40cm) (schwarz) in Pettenbach im Freiland seit 2013	46
Abb. 6-13: Monatsmittel der Gesamtprofilwassermengen (grün, rechts skaliert) und Wassermenge des durchwurzelten Profilbereichs (0-40cm) (schwarz) in Pettenbach im Lysimeter seit 2013	46
Abb. 6-14: Oberboden- und Unterbodentemperaturen 2021 (blau) und 2022 (rot) im Freiland.....	47
Abb. 6-15: Oberboden- und Unterbodentemperaturen 2021 (blau) und 2022 (rot) im Lysimeter	47
Abb. 6-16: Oberboden- und Unterbodensaugspannungen 2021 (blau) und 2022 (rot) im Freiland	47
Abb. 6-17: Oberboden- und Unterbodensaugspannungen 2021 (blau) und 2022 (rot) im Lysimeter	47
Abb. 6-18: SWI des durchwurzelten Bereiches (oben) und unterhalb der Durchwurzelungstiefe (unten) im Freilandprofil, 2021 (blau) und 2022 (rot)	48
Abb. 6-19: SWI des durchwurzelten Bereiches (oben) und unterhalb der Durchwurzelungstiefe (unten) im Lysimeter, 2021 (blau) und 2022 (rot).....	48

Abb. 6-20: Mehrjährige SWI Charts von 2017-2022 (dargestellte Wassergehalte: rot: <10%, orange: 10-20%, gelb: 20-40%, grün: 40-60%, hellblau: 60-80%, mittelblau: 80-100%, dunkelblau: >=100%) im Freilandprofil (oben) und im Lysimeter (unten)49

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 3-1: Tätigkeiten BAW (IKT)8
Tab. 3-2: Analysenprogramm9
Tab. 4-1: Bewirtschaftungsmaßnahmen 2021/2022 (nach Angaben der Bewirtschafter) 11
Tab. 5-1: Erntemengen und Analysenergebnisse der Ernteproben 13
Tab. 5-2: Stickstoffsalden auf den Varianten in Pettenbach 15
Tab. 5-3: Stickstoffsalden (jahreswirksam) für das Erntejahr 2022 16
Tab. 5-4: Stickstoffsaldo (feldfallend) für das Erntejahr 2022 16
Tab. 5-5: Sickerwassermengen und durchschnittliche Nitratkonzentration vom 01.11.21 bis 31.10.2232
Tab. 5-6: Phosphorbilanzen für das Erntejahr 2022 (P₂O₅)36
Tab. 5-7: Sickerwasser, P₂O₅-Verluste und mittlere PO₄-Konzentration im Sickerwasser vom 01.11.21 bis 31.10.2240

1 Zusammenfassung

Seit 1995 werden an drei Standorten in Oberösterreich Freilandlysimeter betrieben, nämlich in Pettenbach (tgPE), Eberstalzell (tgEB) und Pucking (sgPU). In Schwertberg werden seit 2002 zwei weitere Lysimeter betrieben (mgSBg und mgSBu) und ab 2017 im Forschungsprojekt Lysimeter mitbetrachtet. Das Lysimeter in Pettenbach ist seit 2013 zu einer UZ-Messstelle ausgebaut. Eine Wetterstation und die in unterschiedlichen Tiefen angebrachten Saugspannungs-, Wassergehalts- und Temperatursensoren liefern regelmäßig Messwerte. Alle 5 Lysimeter sind in Ackerböden eingebaut, die unter Praxisbedingungen von Landwirten bewirtschaftet werden. Der vorliegende Bericht stellt die Ergebnisse des hydrologischen Jahres 2021/22 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. 2022 war in Pettenbach Winterweizen und in Schwertberg Sojabohne sowie auf den beiden anderen Standorten Körnermais angebaut. In Pettenbach wurde ein Düngeversuch in 4 Varianten durchgeführt, um die unterschiedliche Wirkungsweise von Düngezeitpunkten und der Düngerart zu evaluieren.

Auf allen Standorten wird die N- und P-Zufuhr durch die Düngung ermittelt, die N- und P-Entzüge mit der Ernte sowie die N_{\min} Gehalte im Boden gemessen und die Auswaschung von Nitrat und Phosphat mit Lysimetern bestimmt. Die wichtigsten Ergebnisse und Schlussfolgerungen des Jahres 2021/22 sind folgend zusammengefasst:

In Eberstalzell und Pucking wurde ein für Körnermais typischer Nitratauswaschungsverlauf mit einem ausgeprägten Maximum im Juni beobachtet. Die zusätzlichen Anstiege in Pucking nach der Ernte sind für diesen Standort ebenfalls typisch und ist ein Resultat aus hohen Nitratkonzentrationen während der Maisreife und der hohen Niederschläge nach der Ernte. Eine rasche Begrünung nach der Ernte kann hier teilweise Abhilfe schaffen.

Ein Düngeversuch in Pettenbach zu Winterweizen zeigte, dass die Variation von Biogasgülle und Mineraldünger nicht unbedingt einen direkten Einfluss auf die Erntemenge und den N_{\min} Verlauf hat. Es ist zu vermuten, dass erst über die Jahre Unterschiede erkennbar sind, wenn der organisch gebundene Stickstoff verfügbar wird. Eindeutig zu erkennen war jedoch, dass die Abwesenheit von Düngung zu einem deutlich niedrigen Weizenertrag führt. Trotzdem wurde eine mittlere Ertragslage erreicht, was zeigt, dass das Stickstoffnachlieferungspotential eines Bodens nicht zu vernachlässigen ist. Bei den gedüngten Varianten wurde eine hohe Ertragslage (hoch 2) erzielt.

In Schwertberg konnte gezeigt werden, dass durch Gründüngung beachtliche Mengen an Stickstoff zur Verfügung stehen, da bereits vor dem Anbau der (ungedüngten) Sojabohne 125 kg N/ha bis in eine Tiefe von 90 cm gemessen wurden. Der Nitrataustrag blieb in Schwertberg stets gering und lieferte die geringsten Werte des heurigen Jahres.

Bei der Phosphatauswaschung wurde beobachtet, dass die geringsten Verluste unter den beiden mittelgründigen Standorte in Schwertberg (mgSGg und mgSBu) gemessen wurden, gefolgt von Eberstalzell. Beim tiefgründigen Standort in Pettenbach und beim seichtgründigen Standort in Pucking wurden die höchsten Phosphatauswaschungen beobachtet. Im Verhältnis zu der bei der Düngung eingebrachten Phosphormenge war der ausgewaschene Anteil allerdings sehr gering.

2 Vorgeschichte und Fragestellung

Im Rahmen des Pilotprojekts zur Grundwassersanierung in der Oberen Pettenbachrinne und im Gebiet von Pucking / Weisskirchen (1994 – 2000; Auftraggeber: BMFLUW und Amt der OÖ Landesregierung) wurden vom Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt des Bundesamts für Wasserwirtschaft (BAW) vier Lysimeteranlagen mit dem Ziel errichtet, die Nitratauswaschung ins Grundwasser im Projektgebiet unter den Vorgaben des Pilotprojekts zu untersuchen. Nach Abschluss des Pilotprojekts im Jahr 2000 beauftragte das Amt der Oberösterreichischen Landesregierung die wpa Beratende Ingenieure GmbH, jene drei Lysimeteranlagen, die sich auf Ackerstandorten befinden, in Zusammenarbeit mit dem BAW ab September 2001 weiter zu betreiben.

Zwei der Lysimeter befinden sich auf Standorten mit schweren tiefgründigen Böden in der Oberen Pettenbachrinne (tgEB und tgPE, vgl. Abb. 2-1).

Sie liegen im Bereich der Grundwasserkörper der Traun-Enns-Platte, welche ab 13. September 2007 aufgrund der Nitratgehalte als Beobachtungsgebiet ausgewiesen wurde (LGBl Nr. 80/2007). Das dritte Lysimeter in Pucking / Weisskirchen befindet sich auf einem sehr sensiblen Standort am Rande der Traun-Enns-Platte (sgPU). Dieser Standort ist durch einen sehr leichten, skelettreichen Boden gekennzeichnet, der darüber hinaus seichtgründig ist. Eine genaue Beschreibung der Lysimeteranlage und der Charakteristik der Böden an den Lysimeterstandorten enthalten die Berichte des IKT (Klaghofer und Murer, 2001) und der wpa - Beratende Ingenieure (Kuderna et al., 2007).



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

Abb. 2-1: Lage der Lysimeter

Im Rahmen des Projektes wurden zwei Fragenkomplexe zur Nitrat- und Phosphat-Auswaschung untersucht:

- Einfluss der Standortverhältnisse auf die Nährstoffauswaschung: zwei tiefgründige Böden wurden einem seichtgründigen Boden gegenübergestellt
- Unterschiede in der Nährstoffauswaschung aufgrund unterschiedlicher Bewirtschaftung: auf den tiefgründigen Böden wurde ein Standort mit Schweinegülle und ein Standort mit Pferde- und Putenmist bewirtschaftet.

Für eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse wird eine – soweit unter Praxisbedingungen möglich – gleiche Bewirtschaftungsweise der Standorte angestrebt, wobei auf allen Standorten Maßnahmen zum Grundwasserschutz gesetzt werden (zielgerichtete Düngung, Zwischenbegrünung). Auf allen Standorten ist es das Ziel, zu zeigen, dass unter Praxisbedingungen die Nitratkonzentration unter dem Grundwasserschwellenwert von 45 mg/l gehalten werden kann.

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

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

3 Methoden

3.1 Probenahme

Von Anfang September 2001 bis Ende Oktober 2022 erfolgte auf den Lysimeterstandorten eine Beprobung des Sickerwassers, das mittels Feldlysimeter mit Freiauslauf und zwei Saugkerzen (Kontrollstellen) gewonnen wurde. Die Einbautiefe der Lysimeter und der Kontrollstellen war 1,5 m. Die Proben wurden, sofern Sickerwasser anfiel, wöchentlich gewonnen und bis zur Analyse tiefgefroren. Die technische Betreuung der Lysimeteranlagen in Eberstalzell, Pettenbach und Pucking während des Berichtszeitraums erfolgte durch Mitarbeiter des Instituts für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt der Bundesanstalt für Wasserwirtschaft (Tab. 3-1). Die Analysen des Sickerwassers wurden vom Landeslabor OÖ durchgeführt.

Tab. 3-1: Tätigkeiten BAW (IKT)

Datum	Tätigkeit
15.03.2022	Bei Lysimeter1 wurde der Aufsatzring gezogen. Bei Lysimeter 1 und 4 wurden und die Freiauslaufwippen ausgelesen.
04.05.2022	Bei Lysimeter 4 wurde der Aufsatzring aufgesetzt. (Mais ca. 5 cm hoch) Bei Lysimeter 4 wurden und die Freiauslaufwippen ausgelesen.
16.05.2022	Bei Lysimeter1 wurde der Aufsatzring aufgesetzt. Bei Lysimeter 1 und 4 wurden und die Freiauslaufwippen ausgelesen. Bei Lysimeter 1, 3, 4 und der Wetterstation wurde gemäht.
07.07.2022	Bei Lysimeter 3 wurde der Aufsatzring gezogen. Bei Lysimeter 1 und 4 wurden und die Freiauslaufwippen ausgelesen.

Datum	Tätigkeit
30.08.2022	Bei Lysimeter 3 wurde der Aufsatzring aufgesetzt. (Zwischenfrucht ca. 5 cm hoch) und die Messfühler auf und neben dem Lysimeter eingebaut. Bei Lysimeter 1, 3, 4 und der Wetterstation wurde gemäht.
22.09.2022	Bei Lysimeter 1 wurde der Aufsatzring gezogen. Bei Lysimeter 1 und 4 wurden und die Freiauslaufwippendaten ausgelesen.
11.10.2022	Bei Lysimeter 4 wurde der Aufsatzring aufgesetzt (Winterweizen leicht angekeimt).
27.10.2022	Bei Lysimeter 1 wurde der Aufsatzring aufgesetzt. Bei Lysimeter 4 wurden die Freiauslaufwippendaten ausgelesen. Bei Lysimeter 1 Versuch Freiauslaufwippendaten auszulesen, nicht möglich, Datenlogger defekt, neuen Datenlogger installiert

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 m². Korn und Stroh wurden nach der Ernte getrennt. Von den beiden Kontrollstandorten im Feld wurden für die chemische Analyse Mischproben gebildet.

3.2 Analytik

Die Sickerwasseranalysen wurden vom Landeslabor OÖ durchgeführt, die restlichen Analysen von Chemcon - Technisches Büro für Technische Chemie GmbH. In Tabelle Tab. 3-2 werden die angewandten Methodenvorschriften aufgelistet.

Tab. 3-2: Analysenprogramm

Substanz	Parameter	Methoden
Sickerwasser	Nitrat Orthophosphat	ÖNORMEN ISO 10304-1, -2
Boden	Nitrat in 0-30, 30-60 und 60-90cm Bodentiefe, Ammonium in 0-30cm Nachlieferbarer Stickstoff im anaeroben Brutversuch	ÖNORM L1091 ÖNORM L 1204
Pflanzenproben	Trockenmasse N _{gesamt} P _{gesamt}	N: Kjeldahlaufschluss, P: HNO ₃ Aufschluss, photometrische Bestimmung mittels Ammonmolybdat nach Abtrennung der störenden Matrix
Wirtschaftsdünger	Ammonium, N _{gesamt} , P _{gesamt}	Ammonium: gemäß ÖNORM ISO 5664, N _{gesamt} , P _{gesamt} 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 2022. 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 2022 war auf dem Standort in Pettenbach Winterweizen, in Schwertberg Sojabohne und auf den beiden anderen Standorten Körnermais angebaut. Die einzelnen Bewirtschaftungsmaßnahmen sind in Tab. 4-1 angeführt. Die Summe der N-Düngung betrug am tiefgründigen Standort in Eberstallzell demnach 185 kg N/ha (jahreswirksam), wovon 43 kg N/ha im September zur Zwischenfrucht gedüngt wurden. Am seichtgründigen Standort in Pucking wurden 156 kg N/ha gedüngt und am Standort in Schwertberg erfolgte keine Düngung zur Sojabohne.

Am tiefgründigen Standort in Pettenbach wurde ein Düngeversuch in 4 Varianten durchgeführt. Bei den Varianten 1 und 4 erfolgte keine Stickstoffdüngung, es handelt sich somit um Nullvarianten. Die Varianten

2 und 3 wurden beide sowohl mit Biogasgülle als auch mit NAC gedüngt, wobei bei der Variante 2 der NAC-Anteil und bei der Variante 3 der Biogasgülleanteil überwog. Die gesamte Stickstoffmenge war auf den beiden Varianten mit 145 kg N/ha bzw. 147 kg N/ha praktisch ident.

Die Phosphordüngermengen betragen in Eberstallzell 104 kg P₂O₅/ha, in Pettenbach bei Variante 2 35 kg P₂O₅/ha und bei Variante 3 71 kg P₂O₅/ha. In Pucking wurden mittels Volldünger 35 kg P₂O₅/ha ausgebracht und in Schwertberg erfolgte keine Phosphordüngung.

Bezüglich der Stickstoffdüngung entspricht das Düngenniveau zu Körnermais in Eberstallzell einer hohen Ertragslage (hoch 2) und in Pucking einer mittleren Ertragslage. Die beiden gedüngten Varianten in Pettenbach bei Winterweizen entsprechen ebenfalls einer mittleren Ertragslage (gem. NAPV 2018).

Tab. 4-1: Bewirtschaftungsmaßnahmen 2021/2022 (nach Angaben der Bewirtschafter)

Datum	Tiefgr. Eberstallzell tgEB	Tiefgr. Pettenbach tgPE	Seichtgr. Pucking sgSB	Mittelgr. Schwertberg
17.07.2021				Grubbern
11.08.2021			Aussaat Zwischenfrucht Wassergüte fein	
14.08.2021				Aussaat Zwischenfrucht Wassergüte fein
20.08.2021	Aussaat Zwischenfrucht			
20.09.2021	Düngung Schweinegülle 12 m ³ /ha			
09.10.2021		Häckseln und pflügen		
30.10.2021		Aussaat Winterweizen		
23.12.2021				Häckseln/Mulchen
14.03.2022		V 2: Düngung Biogasgülle 17 m ³ /ha V 3: Düngung Biogasgülle 34 m ³ /ha		
12.04.2022			Düngung	

Datum	Tiefgr. Eberstalzell tgEB	Tiefgr. Pettenbach tgPE	Seichtgr. Pucking sgSB	Mittelgr. Schwertberg
			Linzer Pro 332 kg/ha	
14.04.2022			Aussaat Mais	
20.04.2022	Düngung Schweinegülle 28 m³/ha			
20.04.2022	Grubbern und kreiseln			
23.04.2022		V 2: Düngung NAC 370 kg/ha V 3: Düngung NAC 210 kg/ha		
30.04.2022				Aussaat SJBbohne
01.05.2022	Aussaat Mais			
16.05.2022			Düngung ASS 221 kg/ha	
23.05.2022			Düngung ASS 200 kg/ha	
21.05.2022	Düngung NAC 200 kg/ha			
18.07.2022		Ernte: Winterweizen V1: 5.623 kg/ha, 11,9°F V2: 7.751 kg/ha, 11,6°F V3: 7.951 kg/ha, 11,5°F V4: 5.743 kg/ha, 11,8°F		
05.08.2022		Düngung Putenmist 26 m³/ha		
10.08.2022		Aussaat Zwischenfrucht Wassergüte fein		
03.09.2022				Ernte: SJBbohne (3.713 kg/ha)
08.09.2022			Ernte: Mais (11.889 kg/ha)	
06.10.2022	Ernte: Mais (15.000 kg/ha, 29°F)			
07.10.2022			Aussaat Winterweizen	
13.10.2022				Aussaat Triticale
22.10.2022	Aussaat Winterweizen			

5 Ergebnisse

5.1 Wirtschaftsdünger und Ernteproben

Am Betrieb in Eberstalzell wurde im April 2022 Schweinegülle ausgebracht. Der Gesamtstickstoffgehalt betrug $4,5 \text{ kg/m}^3$. Umgerechnet auf jahreswirksamen Stickstoff ergibt das $3,1 \text{ kg/m}^3$. Der P_2O_5 - Gehalt betrug $3,7 \text{ kg/m}^3$.

In Pettenbach wurde bei den Varianten 2 und 3 zum Anbau Biogasgülle ausgebracht. Diese hatte einen Gesamtstickstoffgehalt von $3,8 \text{ kg/m}^3$. Umgerechnet auf jahreswirksamen Stickstoff ergibt das $2,7 \text{ kg/m}^3$. Der P_2O_5 - Gehalt betrug $2,1 \text{ kg/m}^3$.

Die Erntemengen und Analysenergebnisse der Ernteproben sind in Tab. 5-1 dargestellt. Aus dem Vergleich der Ergebnisse der eigentlichen Lysimeterflächen mit den Mittelwerten von Lysimeterfläche plus 2 Vergleichsflächen mit jeweils 1 m^2 Fläche ist ersichtlich, dass der Kornertrag auf der Lysimeterfläche in Eberstalzell etwas niedriger als der Durchschnitt aus Lysimeterfläche und Kontrollstellen und in Pucking etwas höher war. In Pettenbach (V2) war der Ertrag auf der Lysimeterfläche, wenngleich gedüngt nach Variante 2, etwa gleich niedrig wie auf den beiden ungedüngten Vergleichsparzellen V1 und V4. In Schwertberg war kein Lysimeterring und somit keine klare Abgrenzung vorhanden. Deshalb wurden nur 2 Mischproben entnommen.

Umgerechnet auf Standardfeuchte wurden im Durchschnitt aller beprobten Stellen eines Standorts am tiefgründigen Standort in Eberstalzell ca. $11,7 \text{ t/ha}$ Mais geerntet und am seichtgründigen Standort in Pucking ca. 12 t/ha Mais. Am tiefgründigen Standort in Pettenbach wurde bei der Variante 2 (=Standort des Lysimeters) hochgerechnet $5,5 \text{ t/ha}$ Winterweizen geerntet. Da die Ernte aus dem Lysimeterring nach Variante 2 gedüngt wurde, die Variante 2 jedoch einen Ertrag von $7,5 \text{ t/ha}$ aufweist, lässt sich der gravierende Unterschied durch die Schwierigkeiten und Bodenstörungen erklären, die im Zuge des Ring-Ein- und Ausbaus erfolgen können. In Schwertberg wurden annähernd $3,8 \text{ t/ha}$ Sojabohne geerntet.

Die Angaben der Landwirte stimmen sehr gut mit der Erntemengenbestimmung aus der Analytik überein. Nur in Pucking liegt die Messung des Landwirts unterhalb der vom Labor bestimmten Messung. Dort lag die Messung des Landwirts mit $11,9 \text{ t/ha}$ Mais unter der Messung von $16,9 \text{ t/ha}$, was daran liegen mag, dass erstens die Ertragsmessung des Landwirts sich über das gesamte (inhomogene) Feldstück erstreckt und zweitens es zu Unschärfen bei der m^2 -weisen Beprobung kommen kann. Die Messung des Landwirts erscheint in diesem Fall realistischer.

In Eberstalzell, Pucking und in Pettenbach wurde demnach eine hohe Ertragslage (hoch 2, gem. NAPV 2018) erreicht. Auch in Schwertberg wurde eine hohe Ertragslage (hoch 1) erreicht.

Tab. 5-1: Erntemengen und Analysenergebnisse der Ernteproben

Probe	Erntemenge (g TS/m ²)	Trockenmasse (%)	N _{gesamt} (g/kg TS)	P ₂ O ₅ (g/kg TS)
tgEB - Lys Korn	812	69%	10,3	7,2
tgEB - MW Korn	1.008	69%	10,6	6,6
tgEB - Lys Stroh	688	37%	6,7	7,4
tgEB - MW Stroh	962	35%	5,7	4,1
tgPE - Lys Korn	500	87%	12,1	6,8

Probe	Erntemenge (g TS/m ²)	Trockenmasse (%)	N _{gesamt} (g/kg TS)	P ₂ O ₅ (g/kg TS)
tgPE – V1 Korn	496	88%	12,9	7,8
tgPE – V2 Korn	686	89%	16,4	8,1
tgPE – V3 Korn	705	89%	17,6	8,2
tgPE – V4 Korn	508	88%	15,3	7,3
tgPE - MW Korn	579	88%	14,9	7,6
tgPE - Lys Stroh	699	92%	3,9	1,8
tgPE – V1 Stroh	322	95%	2,2	2,1
tgPE – V2 Stroh	501	98%	3,0	1,5
tgPE – V3 Stroh	496	97%	3,6	1,8
tgPE – V4 Stroh	323	96%	2,5	1,6
tgPE - MW Stroh	468	96%	3,0	1,8
sgPU - Lys Korn	1749	80%	13,6	7,1
sgPU - MW Korn	1454	80%	13,6	7,3
sgPU - Lys Stroh	1408	62%	6,3	1,8
sgPU - MW Stroh	1134	73%	5,1	2,2
mgSB - Korn	325	88%	60,1	15,9
mgSB - Stroh	145	90%	4,3	1,7

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

5.2 Stickstoffsalden

Eine Gegenüberstellung der Stickstoffentzüge mit dem N-Düngeaufwand (jahreswirksam) ergibt für die Standorte unterschiedliche Stickstoffsalden. In Eberstolz ist der Saldo mit 58 kg N/ha am Lysimeter am höchsten. Der Mittelwert am Feld liegt hier bei 34 kg N/ha. Die Berücksichtigung des feldfallenden Stickstoffs ergibt einen Saldo von 80 kg N/ha am Lysimeter bzw. 56 kg N/ha im Durchschnitt, womit die Differenzen der Salden vom Lysimeter und Durchschnittswert gleich hoch sind. In Pucking zeigen sich gravierende Unterschiede zwischen dem Lysimeter und dem Mittelwert. Hier werden Salden von -82 bzw. -42 kg N/ha erreicht. Dieser Unterschied lässt sich anhand der inhomogenen Bodenbeschaffenheit des Feldstücks erklären. Zudem trägt generell der, wenn auch sehr

umsichtig durchgeführte, Ein- und Ausbau der Lysimeterringe für die erforderliche Bodenbearbeitung zur Vergleichunschärfe bei. In Schwertberg erfolgte zur Sojabohne keine N-Düngung, woraus sich ein N-Saldo von -196 kg N/ha ergibt, wenn die symbiontische Fixierung von Luftstickstoff unberücksichtigt bleibt.

In Pettenbach, wo auf der Weizenfläche ein Feldversuch mit 4 Düngevarianten durchgeführt wurde, ergeben sich höchst unterschiedliche Salden (Tab. 5-2). Auf beiden Nullvarianten sind die Salden mit -71 kg N/ha (Var.1) und -86 kg N/ha (Var.4) beinahe ident. Während Variante 2 mit 18 kg N/ha (jw) beziehungsweise 29 kg N/ha (ff) einen positiven Saldo aufweist, zeigt Variante 3 mit 2 kg N/ha (jw) einen ausgeglichenen Saldo und mit 27 kg N/ha (ff) einen leicht positiven. Der mit Variante 2 gedüngte Lysimeterring zeigt einen

Saldo von 58 kg N/ha Wert (jahreswirksam) und 69 kg N/ha (feldfallend). Der niedrigste Entzug aller Düngevarianten hat im Lysimeterring seinen Grund in der niedrigen Erntemenge. Die erreichte Ertragslage der beiden Nullvarianten 1 und 4 entspricht gem. NAPV 2018 einer hohen (h1) und die der beiden gedüngten Varianten ebenfalls einer hohen (h2), obwohl die Düngemenge beider Varianten einer h1-Ertragslage entsprach und ein (knapper) h2-Ertrag erzielt wurde.

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

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 auf den Varianten in Pettenbach

	tgPE V1	tgPE V2	tgPE V3	tgPE V4
N-Zufuhr jahreswirksam	0	145	147	0
Entzug Korn	64	112	124	78
Entzug Stroh	7	15	18	8
Summe Entzug	71	127	142	86
Abfuhr Ernte	71	127	142	86
Saldo Korn+Stroh	-71	18	2	-86
Saldo Ernte	-71	18	2	-86
N-Zufuhr feldfallend	0	156	169	0
Entzug Korn	64	112	124	78
Entzug Stroh	7	15	18	8
Summe Entzug	71	127	142	86
Abfuhr Ernte	71	127	142	86
Saldo Korn+Stroh	-71	29	27	-86
Saldo Ernte	-71	29	27	-86

Tab. 5-3: Stickstoffsalden (jahreswirksam) für das Erntejahr 2022

	Tiefgr. Standort in Eberstalzell tgEB		Tiefgr. Standort in Pettenbach tgPE		Seichtgr. Standort in Pucking sgPU		Mittelgr. Standort in Schwertberg	
	----- kg N/ha -----							
Stickstoffzufuhr aus Düngung jahreswirksam	142		145 (Variante 2)		156		0	
Entzug durch Pflanzen	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW	MW	
Entzug durch Korn	84	108	60	88	238	198	196	
Entzug durch Stroh	46	53	27	59	88	59	6	
Summe Entzug	130	161	87	147	326	257	202	
Abfuhr durch Ernte	84	108	87	147	238	198	196	
Saldo Korn	58	34	85	57	-82	-42	-196	
Saldo Korn + Stroh	12	-19	58	-2	-170	-101	-202	
Saldo Ernte	58	34	58	-2	-82	-42	-196	

Tab. 5-4: Stickstoffsaldo (feldfallend) für das Erntejahr 2022

	Tiefgr. Standort in Eberstalzell tgEB		Tiefgr. Standort in Pettenbach tgPE		Seichtgr. Standort in Pucking sgPU		Mittelgr. Standort in Schwertberg	
	----- kg N/ha -----							
Stickstoffzufuhr aus Düngung feldfallend	164		156 (Variante 2)		156		0	
Entzug durch Pflanzen	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW	MW	
Entzug durch Korn	84	108	60	88	238	198	196	
Entzug durch das Stroh	46	53	27	59	88	59	6	
Summe Entzug	130	161	87	147	326	257	202	
Abfuhr durch Ernte	84	108	87	147	238	198	196	
Saldo Korn	80	56	96	68	-82	-42	-196	
Saldo Korn + Stroh	34	3	69	9	-170	-101	-202	
Saldo Ernte	80	56	69	9	-82	-42	-196	

5.3 Nachlieferbarer Stickstoff

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

5.4 N_{min} -Gehalte im Boden

Die N_{min} Gehalte (Nitrat + Ammonium) im Boden zeigen auf den fünf Standorten (vgl. Abb. 5-1-bis Abb. 5-5) einen Zusammenhang mit den Düngemaßnahmen, dem zeitlichen Verlauf der Stickstoffaufnahme der Kulturen sowie der Temperaturentwicklung (Abb. 6-14 und Abb. 6-15), die sich auf die Stickstoffmineralisierung im Boden auswirkt. Auf den Standorten wurden verschiedene Kulturen angebaut, wodurch sich Unterschiede beim N_{min} Gehalt im Boden ergeben.

Am tiefgründigen Standort in Eberstalzell wurde 2022 Mais geerntet. Nach dem Anbau der Zwischenfrucht (20.08.2021) erfolgte ein Monat später eine Düngung mit 12 m³ Schweinegülle, dies entspricht 54 kg N/ha (jw), bzw. 60 kg N/ha (ff). Die N_{min} -Messung im Oktober zeigte jedoch einen recht geringen Wert von nur 19 kg N/ha. Erst im Dezember steigt der N_{min} Gehalt auf über 50 kg N/ha an. Im März vor der Düngung geht der Wert wieder stark zurück, steigt jedoch nach der ersten Düngung im März besonders in den oberen Schichten wieder deutlich an und erreicht eine Summe von 144 kg N/ha (Abb. 5-1). Im weiteren Jahresverlauf geht der gesamte N_{min} Gehalt aufgrund des Entzugs durch die Vegetation und teilweise auch aufgrund der Nitratauswaschung zurück (vgl. Abb. 5-9), obwohl im Mai noch eine weitere Düngung erfolgte. Schlussendlich liegt der N_{min} Gehalt im Oktober nach der Ernte wieder unter 20 kg N/ha.

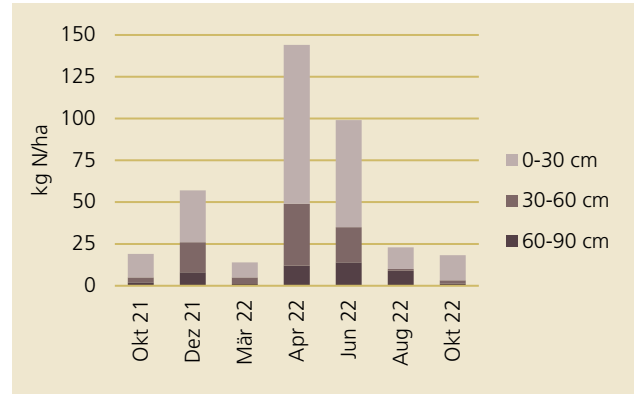


Abb. 5-1: N_{min} -Gehalte am tiefgründigen Standort in Eberstalzell

Am tiefgründigen Standort in Pettenbach wurde nach Körnermais im Vorjahr Winterweizen angebaut. Bereits im Oktober nach der Maisernte lag der N_{min} Gehalt bei 70 kg N/ha und blieb auch bis in den Dezember in dieser Höhe (Abb. 5-2). Nach einem Rückgang im März stieg er jedoch aufgrund der Düngung und der wärmeren Temperaturen im April wieder an und erreichte den Höchstwert des Jahres von 150 kg N/ha. Dieser Stickstoff dürfte in weiterer Folge vom Winterweizen gut aufgenommen worden sein, da in den darauffolgenden Messungen der N_{min} Gehalt stets niedrig blieb, besonders in den unteren Schichten (30-60 cm), wo fast kein N_{min} gemessen wurde. Auch die Nitratauswaschung war in diesen Monaten sehr niedrig (vgl. Abb. 5-15).

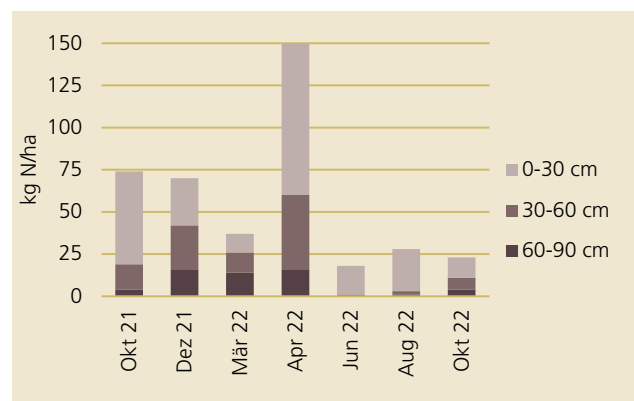


Abb. 5-2: N_{min} -Gehalte am tiefgründigen Standort in Pettenbach - Variante 2

Bei den Messungen im Juni und Anfang August 2022 wurden die 4 Düngevarianten (siehe Kap. 4) einzeln beprobt und analysiert. In der Darstellung in Abb. 5-3 werden die Ergebnisse dieser Varianten gegenübergestellt. Es ist zu erkennen, dass der Unterschied zwischen den Varianten sehr gering ist. Lediglich die Variante 1 weist im August einen um 10 kg N/ha höheren Wert auf, obwohl diese Variante nicht gedüngt wurde (wie auch Variante 4).

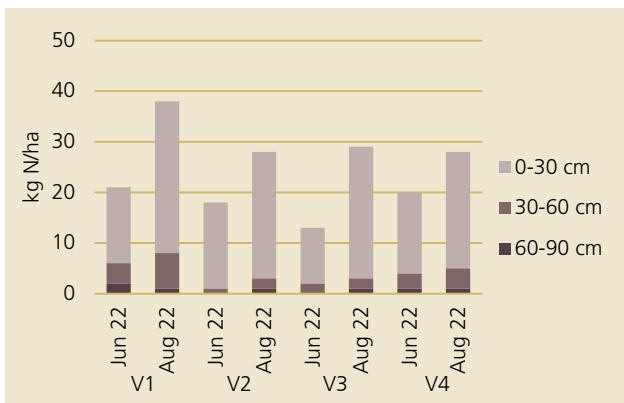


Abb. 5-3: N_{min}-Gehalte am tiefgründigen Standort in Pettenbach - Variante 1 bis 4 im Vergleich

Am seichtgründigen Standort in Pucking waren die N_{min} Gehalte bei der Beprobung unter der Zwischenfrucht im Herbst mit 24 kg N/ha sehr niedrig und bleiben dies auch bis zum Frühjahr. Erst nach der Düngung mit mineralischem Volldünger vor dem Anbau von Körnermais war ein Anstieg auf über 200 kg N/ha zu sehen. Nach weiteren Düngungen im Mai blieb der Wert noch mit ca. 140 kg N/ha recht hoch, ging aber im Jahresverlauf aufgrund des Pflanzenentzugs und der gemessenen Nitratauswaschung (vgl. Abb. 5-21) sukzessive zurück. Nach dem Anbau von Winterweizen blieb der N_{min} Gehalt wieder auf niedrigem Niveau (Abb. 5-4).

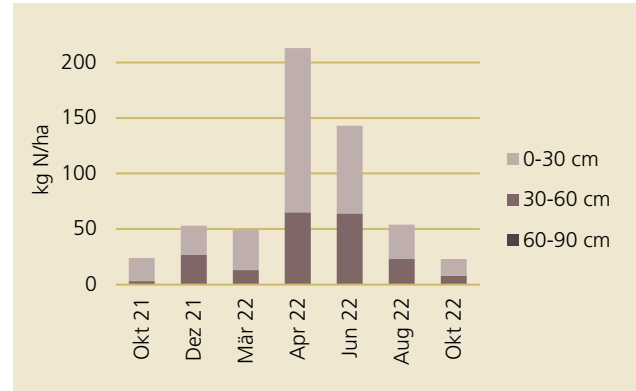


Abb. 5-4: N_{min}-Gehalte am seichtgr. Standort in Pucking

In Schwertberg wurden auf den beiden Lysimetern (mgSBg = gestörter Bodenaufbau; mgSBu= ungestörter Bodenaufbau) nach der Winterzwischenfrucht, die im Dezember gemulcht wurde, Sojabohne angebaut. Im gesamten Jahr wurde keine Düngung durchgeführt, da Sojabohne den Stickstoff aus der Luft binden kann. Doch bereits im April, noch vor dem Anbau der Sojabohne, war bereits eine beachtliche Menge N_{min} im Boden vorhanden. Während des Sommers gingen die Werte wieder zurück und lagen bei 20 kg N/ha im August. Nach der Ernte der Sojabohne und dem Einarbeiten der Pflanzenreste ist wieder ein leichter Anstieg zu erkennen (Abb. 5-5).

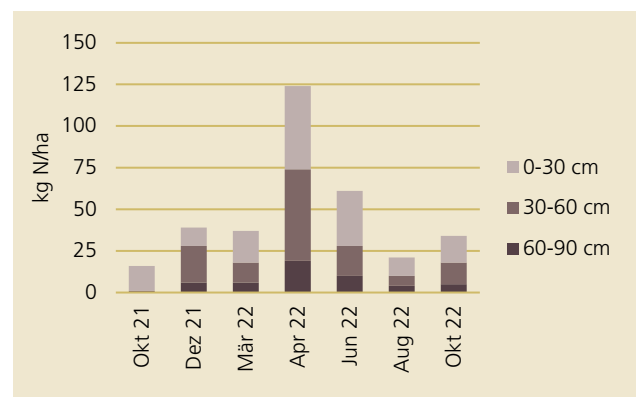


Abb. 5-5: N_{min}-Gehalte am mittelgr. Standort in Schwertberg, mgSBg, mgSBu

Der Verlauf der N_{\min} Gehalte des Jahres 2022 ist bei den allen Standorten relativ ähnlich. Die höchsten Werte wurden jeweils im April erzielt, egal ob durch Düngung oder Stickstoffbindung (Sojabohne). Lediglich während des Winters 2021/22 sind die Unterschiede größer, wo beim Winterweizen im Vergleich

zu den Zwischenfrüchten vor den Sommerkulturen ein höherer N_{\min} Gehalt beobachtet wurde. Im langjährigen Vergleich liegen die Werte des Jahres 2022 insgesamt in einem durchschnittlichen Bereich (Abb. 5-6).

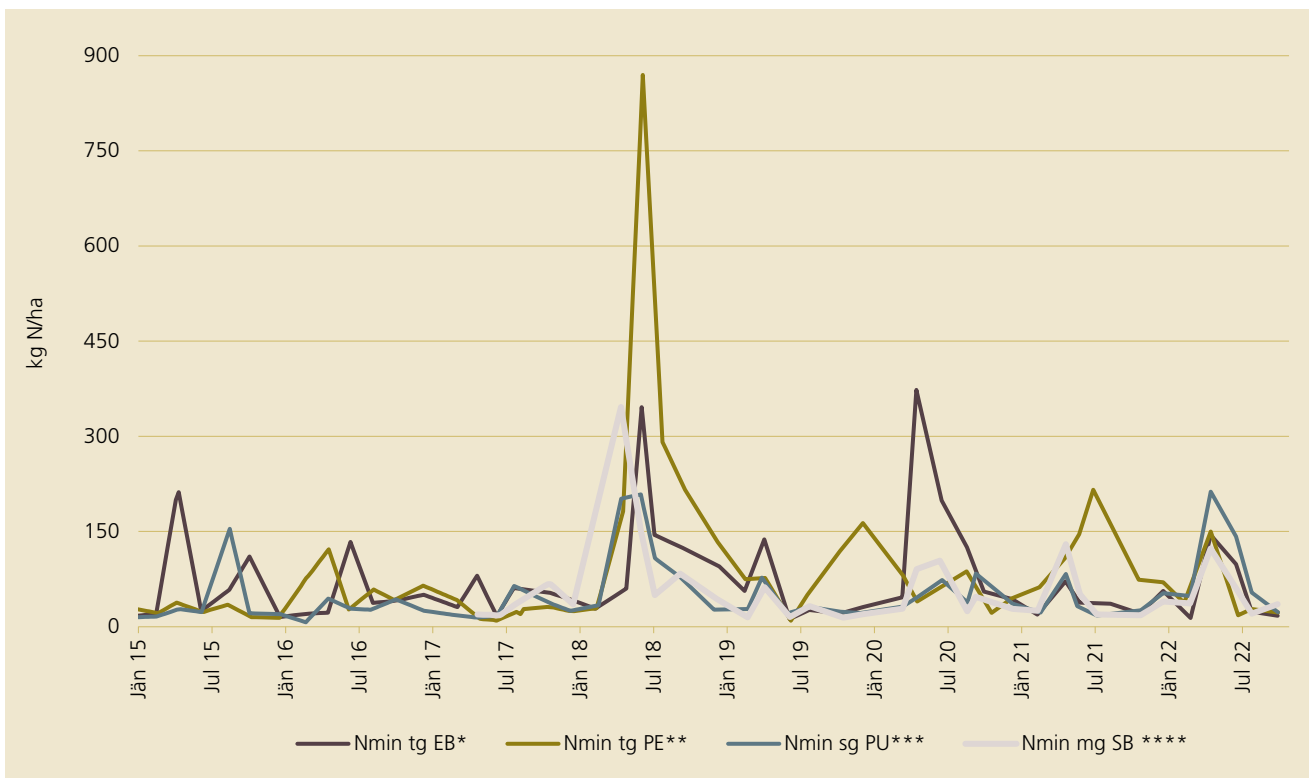


Abb. 5-6: Vergleich der N_{\min} -Gehalte der Standorte seit Jänner 2015

* tiefgründiger Standort in Eberstalzell

** 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 2021/22 fielen 997 mm Niederschlag. Die Sickerwassermenge in diesem Zeitraum betrug 270 mm, was 27% der Niederschlagsmenge entspricht. Der gesamte Sommer war sehr niederschlagsreich, so fiel von Mai bis September ein Niederschlag von insgesamt 612 mm. Die höchste Niederschlagssumme wurde im Juni mit 174 mm gemessen (Abb. 5-7, Abb. 5-8).

Das Sickerwasser bildete sich mit einem Jahresanteil von 62% hauptsächlich im Dezember, Februar und Juni, wo auch die stärksten Niederschläge auftraten.

Die höchste Sickerwassermenge wurde im Dezember mit 58 mm ausgetragen.

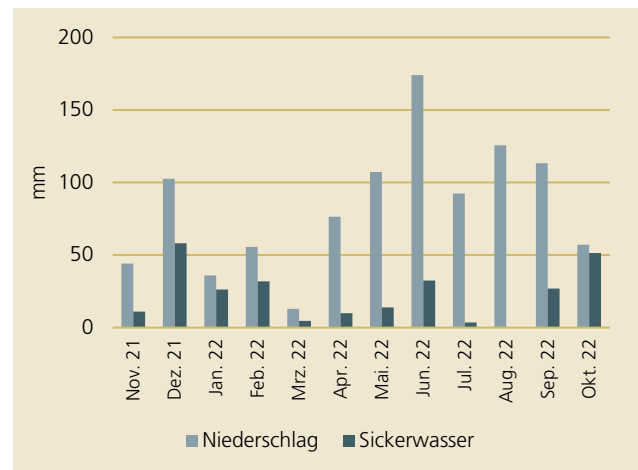


Abb. 5-7: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. EB)

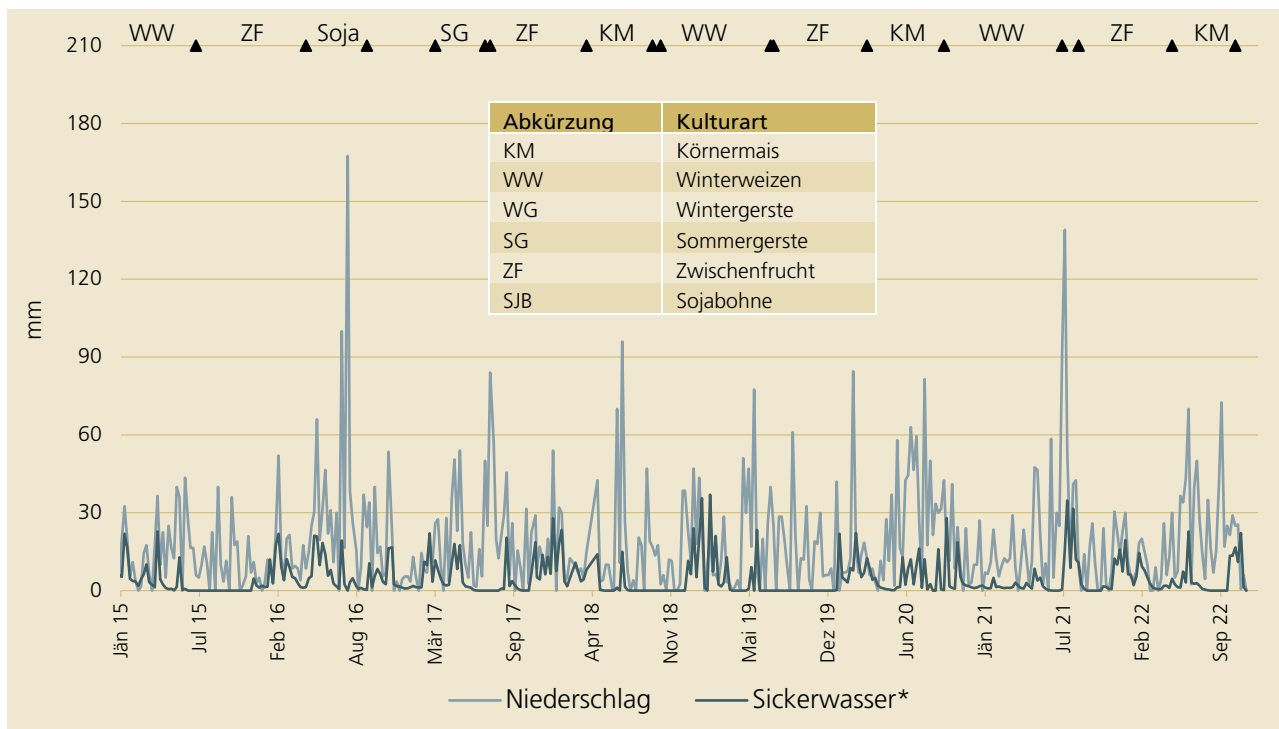


Abb. 5-8: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Jänner 2015 (tiefgr. EB) *Juli 2016 nicht gesamtes SW erfasst

5.5.2 Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und -konzentration im Sickerwasser

Der Verlauf der Nitratauswaschung korreliert, abgeschwächt, mit dem Verlauf des Sickerwasseranfalls. Die höchste monatliche Nitratmenge wurde im Juni mit 4,4 kg N/ha ausgewaschen, gefolgt von Dezember und Mai mit jeweils um die 3 kg N/ha. In den restlichen Monaten blieben die Werte unter 2 kg N/ha (Abb. 5-9).

Insgesamt wurden im gesamten Jahr 2021/22 18,4 kg N/ha ausgewaschen, was geringfügig unterhalb des langjährigen Durchschnitts für Körnermais auf diesem Standort liegt. Der Großteil davon erfolgte während des Sommers aufgrund der starken Niederschläge und des hohen Sickerwasseranfalls.

Die Nitratkonzentration im Sickerwasser ist im Mai und Juni am höchsten (Abb. 5-10 bis Abb. 5-12).

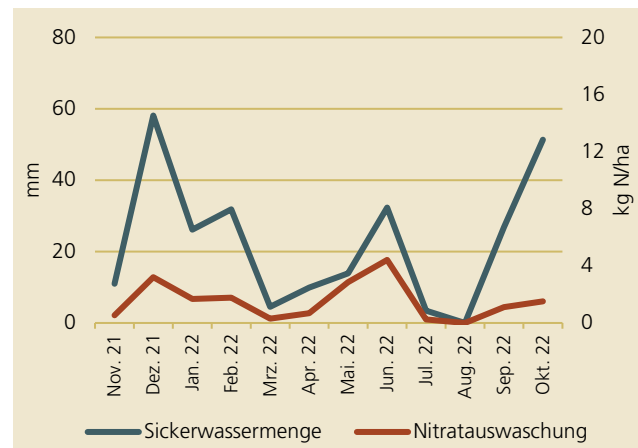


Abb. 5-9: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefr. EB)

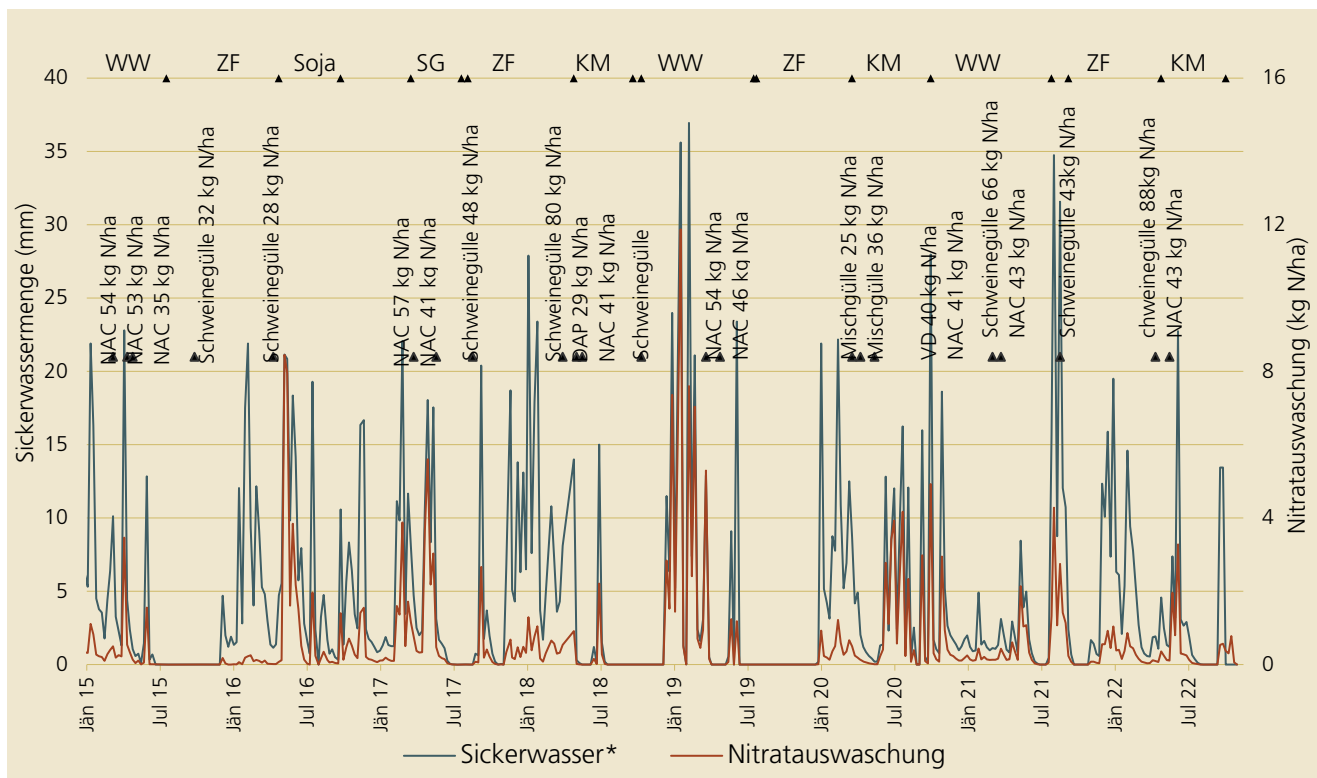


Abb. 5-10: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefr. EB); *Juli 2016 nicht gesamtes SW erfasst

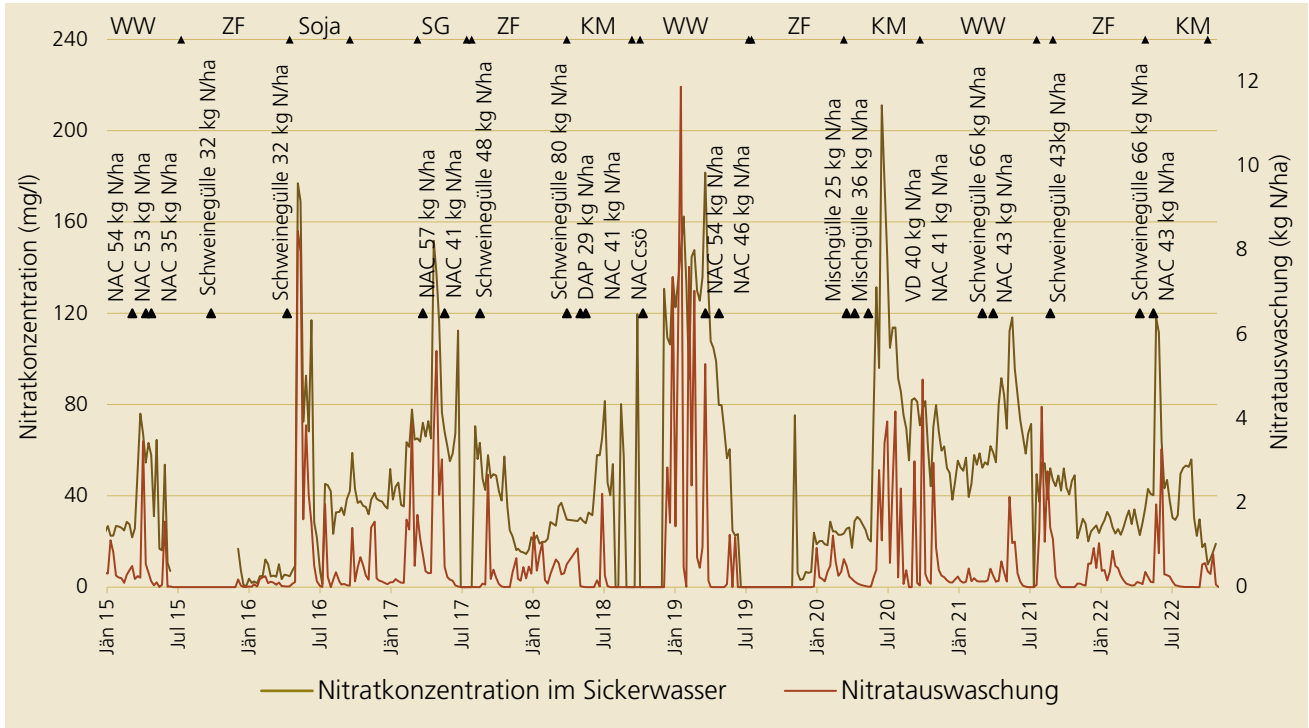


Abb. 5-11: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (tiefr. EB)

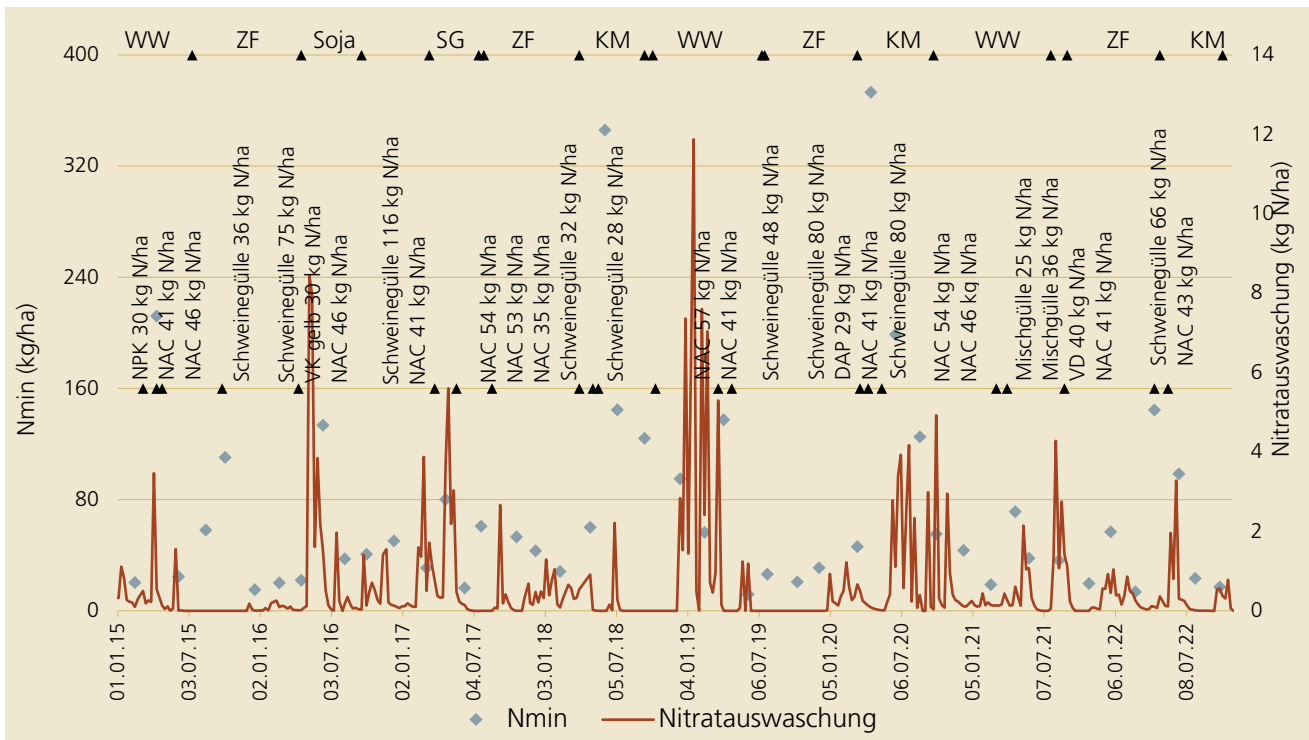


Abb. 5-12: Nitratauswaschung und N_{min}-Gehalte des Bodens (tiefr. EB)

5.6 Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach

5.6.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

Im hydrologischen Jahr 2021/22 betrug die Niederschlagssumme beinahe ident zum Vorjahr 1.064 mm, die gemessene Sickerwassermenge im selben Zeitraum 357 mm. Betrug im Vorjahr das Verhältnis der Sickerwassermenge etwa 54% der Niederschlagsmenge (Abb. 5-13), so waren dies im abgelaufenen Jahr lediglich 34%. Die höchsten Niederschlagssummen traten wie in Eberstalzell im Juni auf und betrugen mehr als 180 mm. Ebenfalls vergleichbar mit dem anderen tiefgründigen Standort war die Sickerwassermenge im

Dezember und Jänner am höchsten, wo insgesamt um die 130 mm in den Untergrund versickerten.

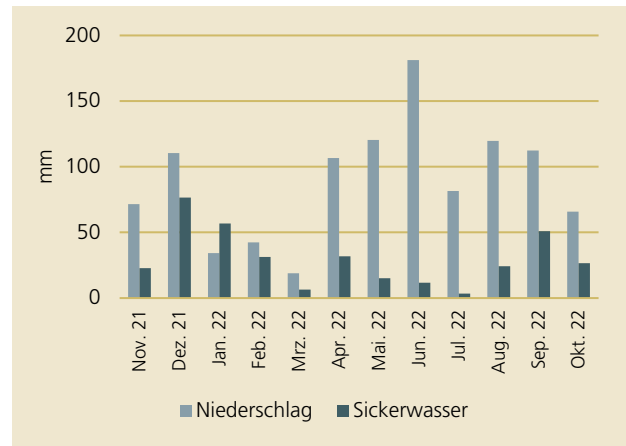


Abb. 5-13: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. PE)

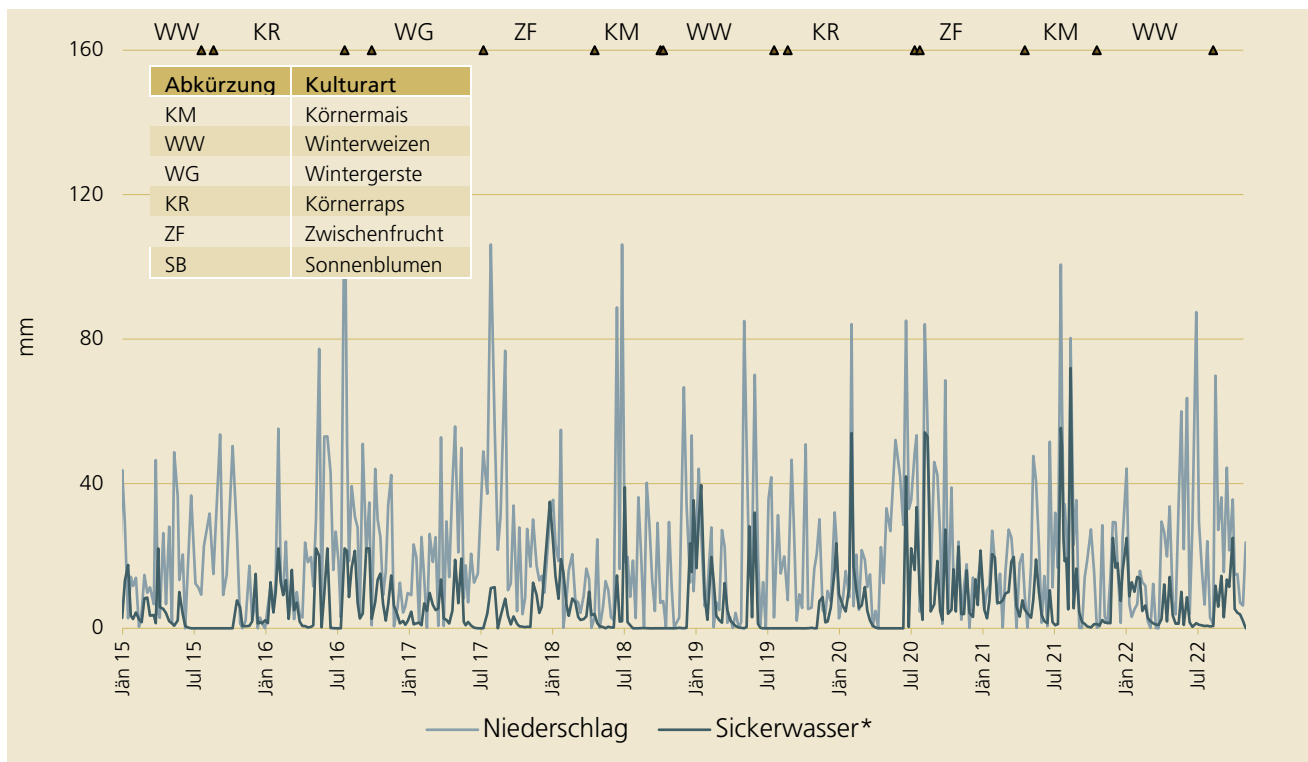


Abb. 5-14: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Juni 2015 (tiefgr. PE) *von Mai bis Sept. 2016 und August 2017 nicht gesamtes Sickerwasser erfasst

5.6.2 Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und -konzentration im Sickerwasser

Die meiste Nitratauswaschung fand während des Winters 2021/22 und im Spätsommer/Herbst 2022 statt. Von der insgesamt ausgewaschenen Menge von 36 kg N/ha wurden 44% bereits im Zeitraum November 2021 bis Februar 2022 in den Untergrund verlagert. Von August bis Oktober 2022 wurde dann etwa ein Drittel der Gesamtjahresmenge ausgewaschen.

Der höchste Peak an Nitratkonzentration im Sickerwasser ist bei einer Messung mit 123 mg/l im Lysimeter im August zu finden. Die durchschnittliche Nitratkonzentration im Jahresverlauf liegt bei 45 mg/l, was dem Grundwasserswellenwert entspricht.

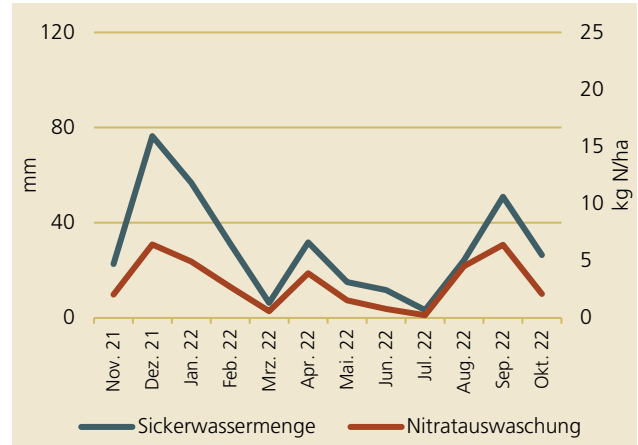


Abb. 5-15: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. PE)

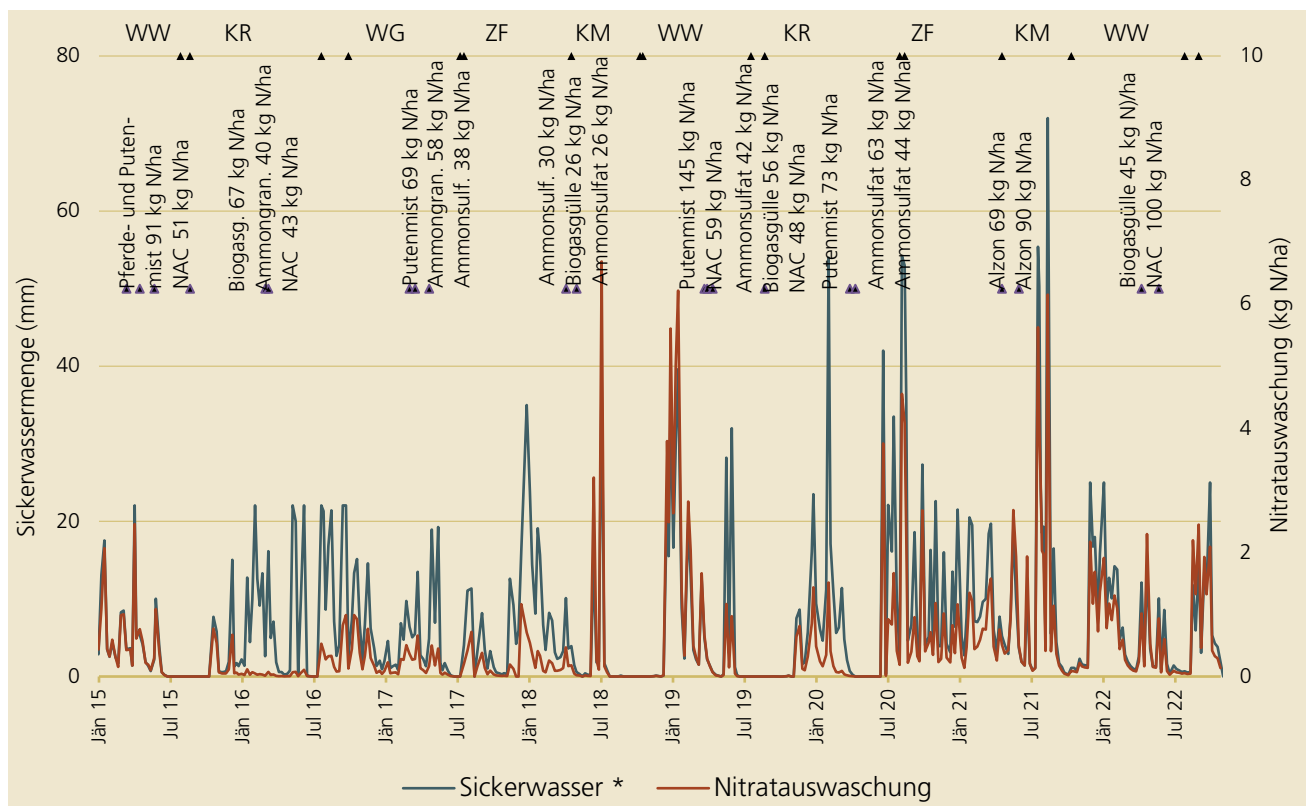


Abb. 5-16: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. PE) von Mai bis Sept. 2016 und August 2017 nicht gesamtes Sickerwasser erfasst

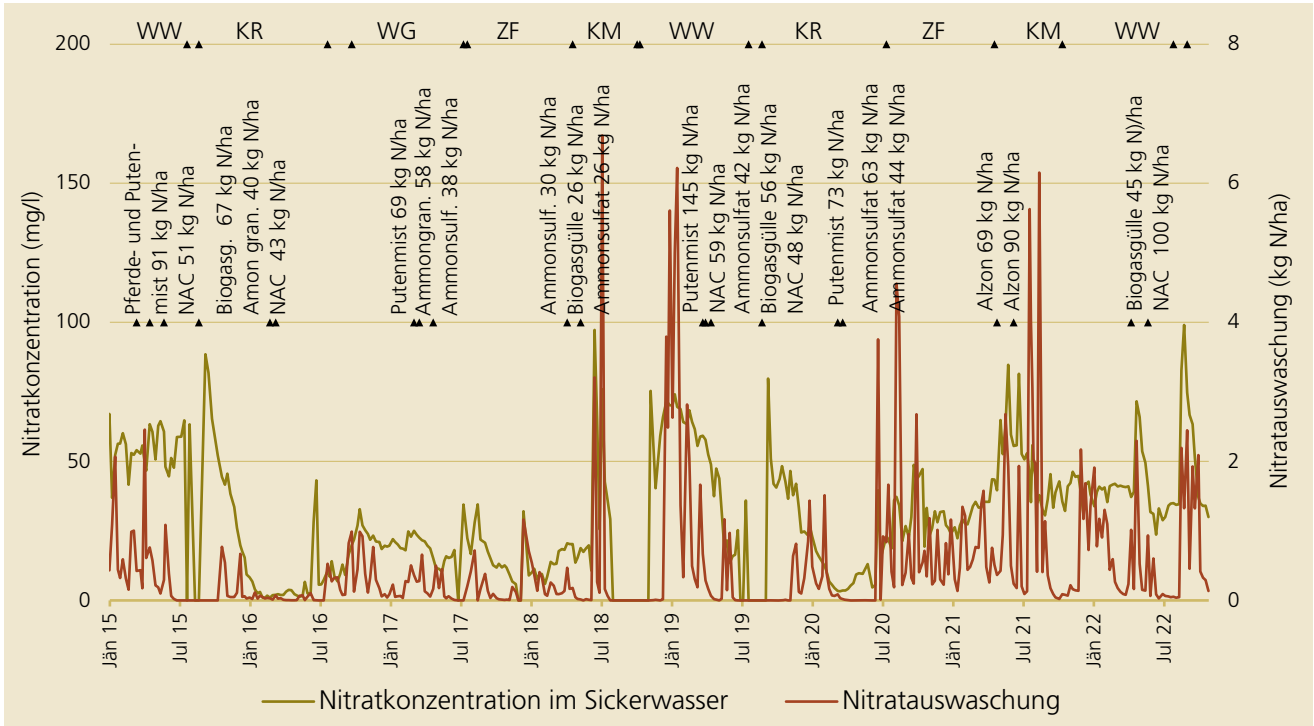


Abb. 5-17: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (tiefgr. PE)

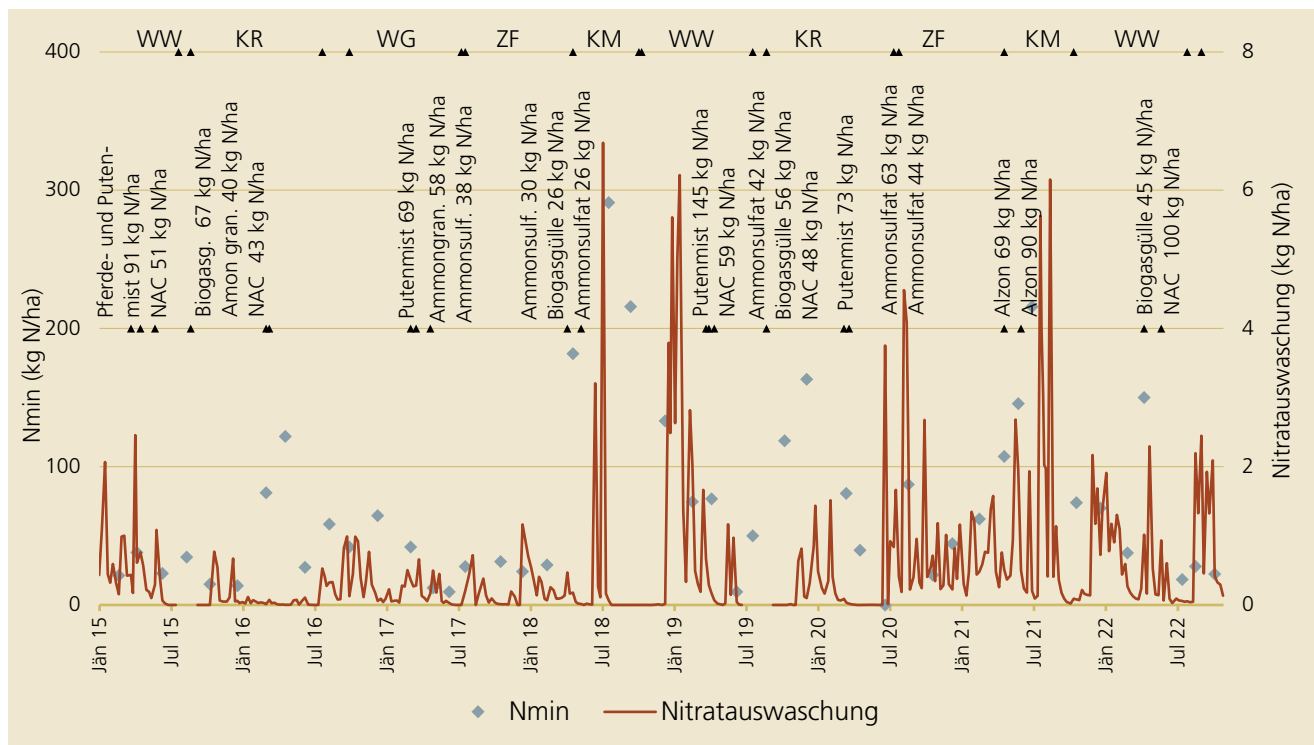


Abb. 5-18: Nitratauswaschung und N_{min}-Gehalte des Bodens (tiefgr. PE)

5.7 Nitrat auswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking

5.7.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

Am seichtgründigen Standort fielen im hydrologischen Jahr 2021/22 in Summe 930 mm Niederschlag (Abb. 5-19). Die höchsten Niederschlagsmengen traten ähnlich wie auch bei den anderen Standorten im Juni und Juli mit 177 bzw. 179 mm pro Monat auf.

Die Sickerwasserbildung erfolgte größtenteils im Dezember und Februar. Hier fiel insgesamt 44% der Jahressumme an. Die Monate November, August und fast der gesamte März waren sickerwasserfrei. Die gesamte angefallene Sickerwassermenge entspricht rund 26% der Niederschlagssumme.

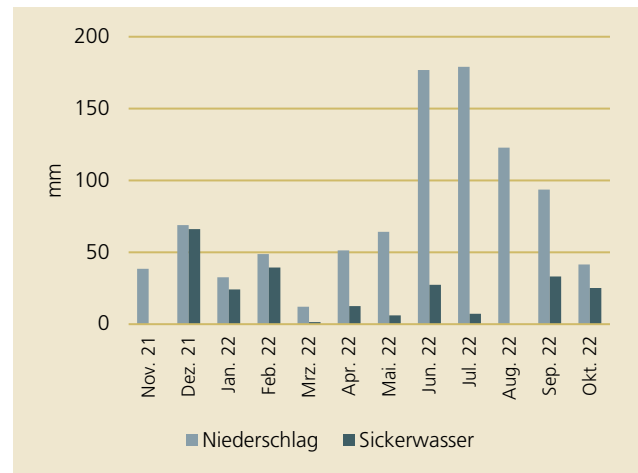


Abb. 5-19: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (seichtgr.)

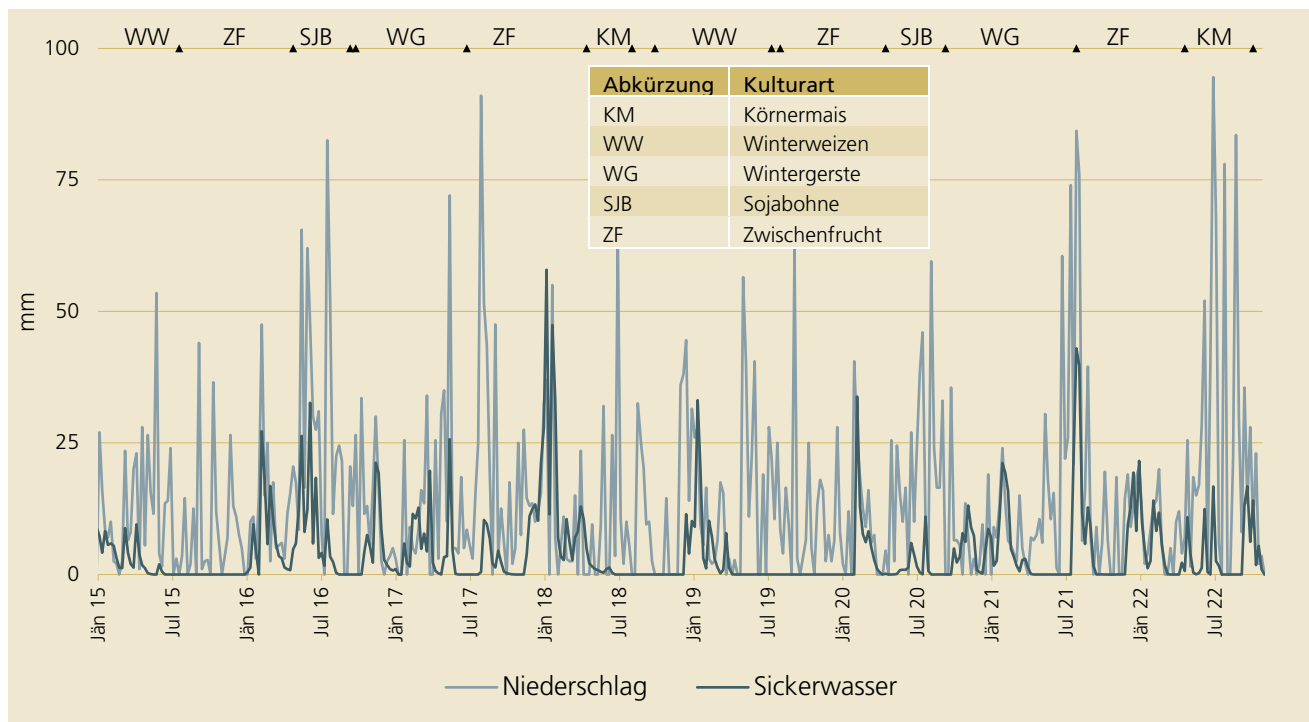


Abb. 5-20: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Jänner 2015 (seichtgründig)

5.7.2 Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und -konzentration im Sickerwasser

Die durchschnittliche monatliche Nitratkonzentration bewegte sich im Zeitraum von Juli bis September zwischen 150 und 220 mg/l, weshalb in diesem Zeitraum auch mehr als die Hälfte der insgesamt 38,8 kg N/ha ausgewaschen wurden (Abb. 5-21). Der Großteil davon erfolgte im September mit 12 kg N/ha. Das Sickerwasser blieb im August meistens aus, weshalb in diesem Monat trotz beachtlicher Nitratkonzentrationen nur sehr wenig Nitrat ausgewaschen wurde (Abb. 5-23). Die Auswaschungen im Dezember und Juni sind auf die große Sickerwassermenge in diesem Monaten zurückzuführen.

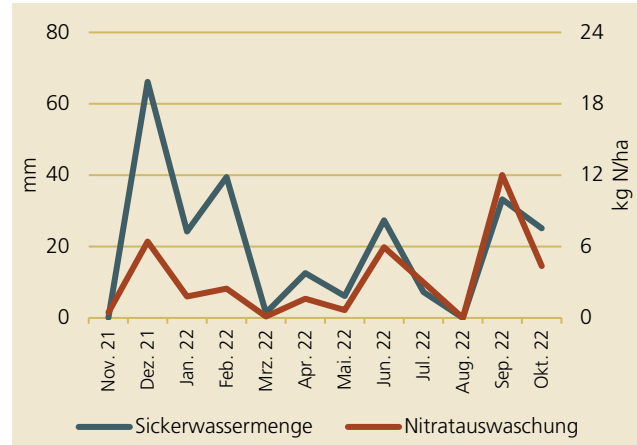


Abb. 5-21: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig)

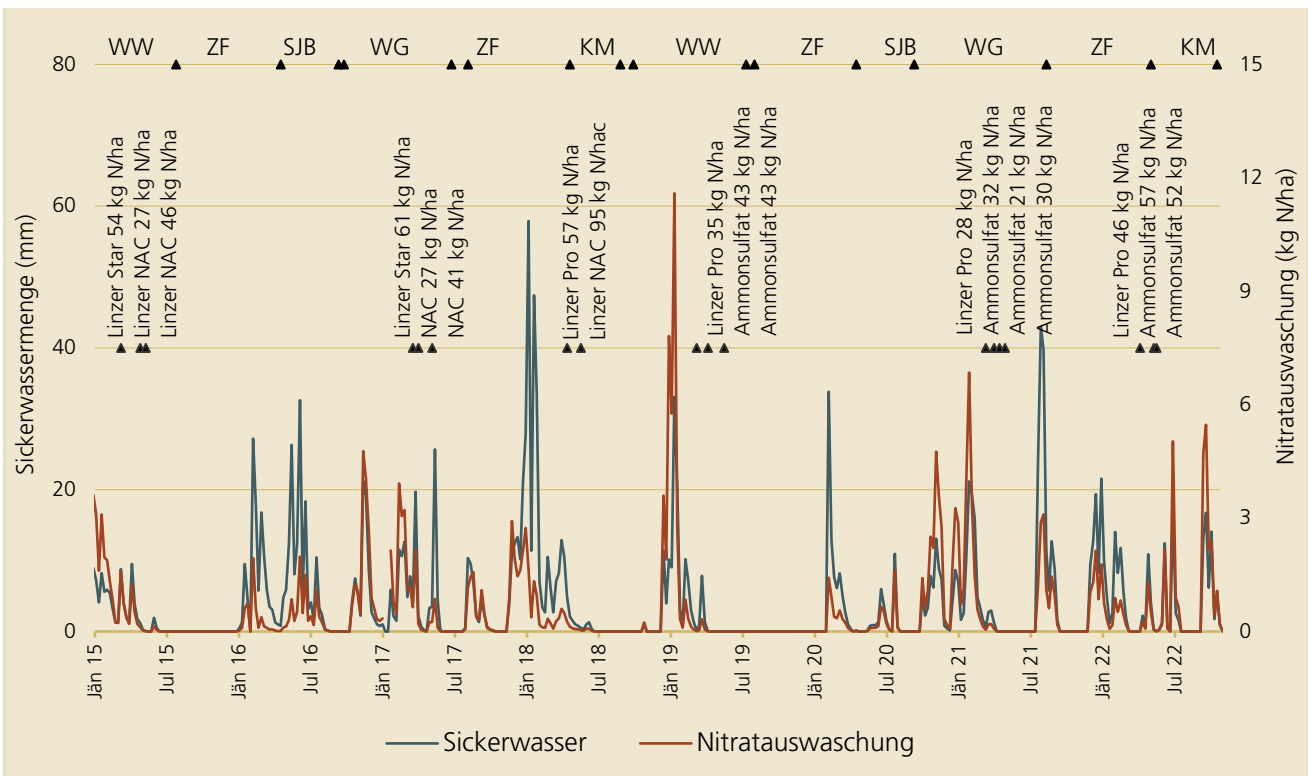


Abb. 5-22: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig)

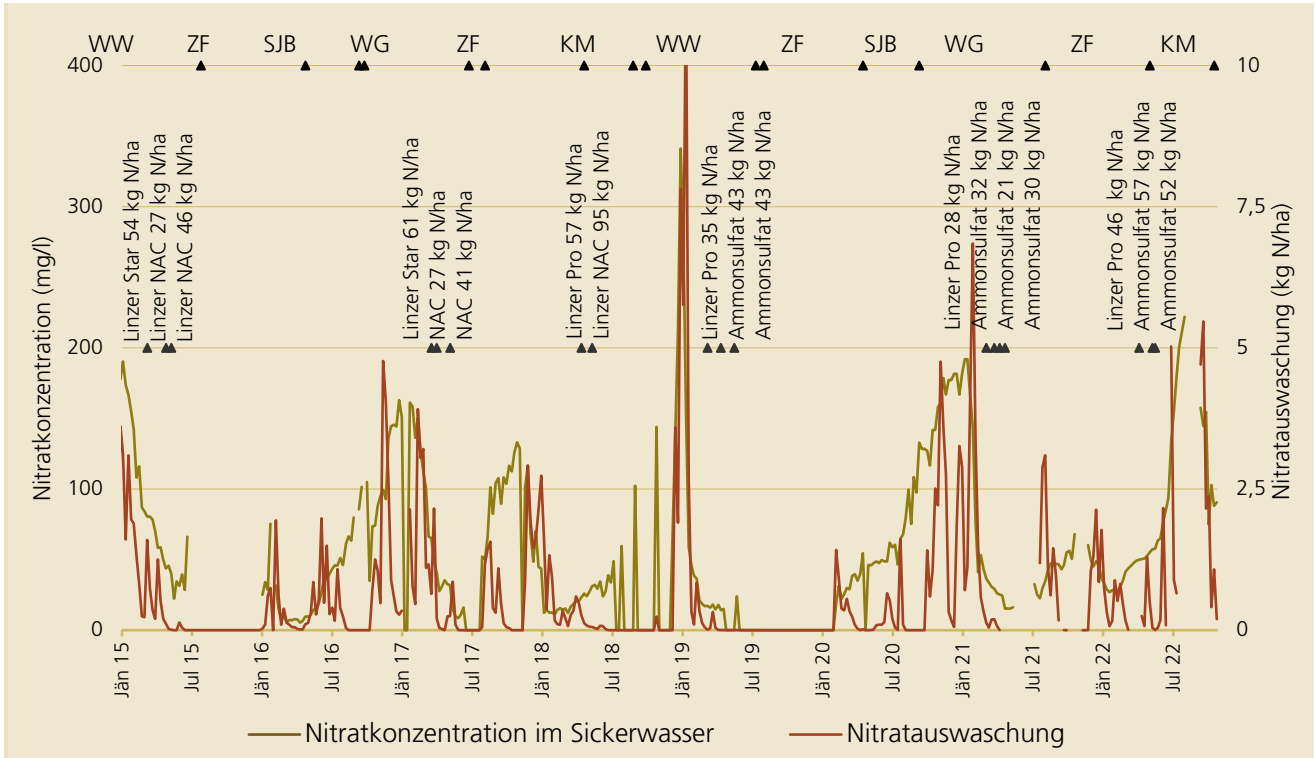


Abb. 5-23: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (seichtgründig)

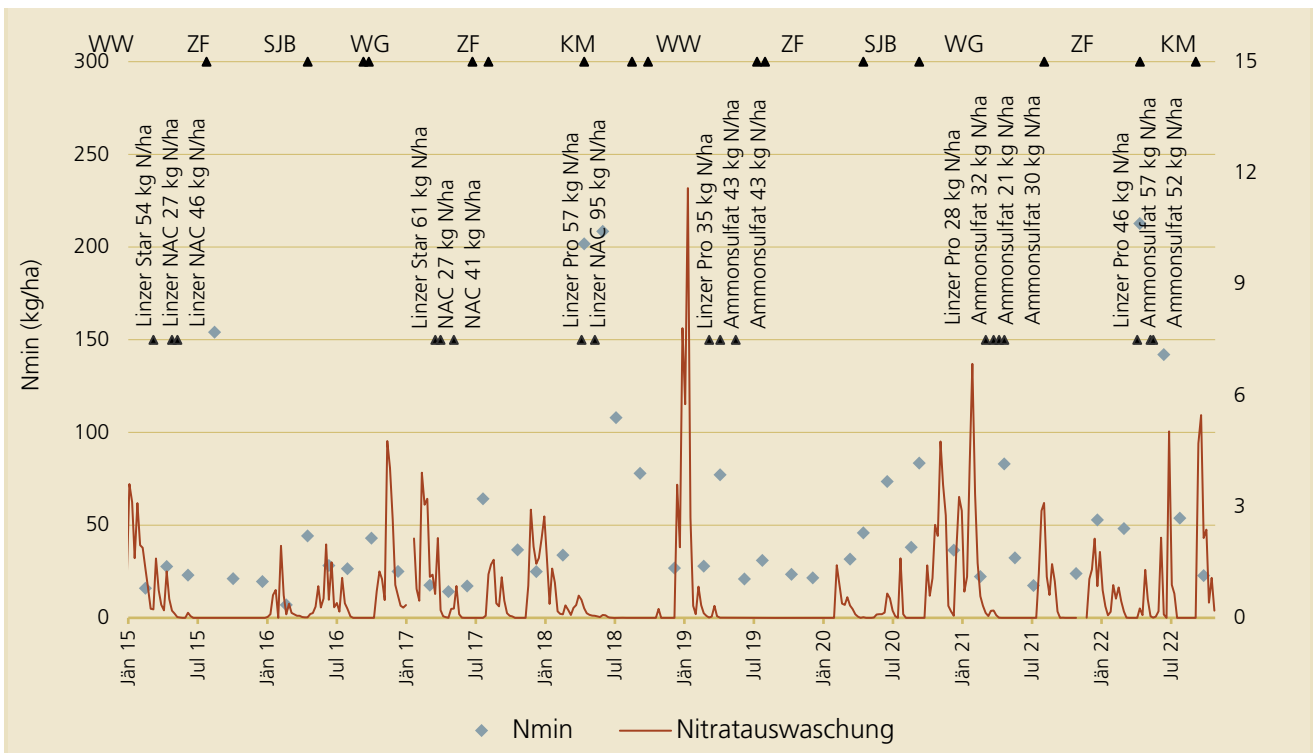


Abb. 5-24: Nitratauswaschung und N_{min}-Gehalte des Bodens (seichtgründig)

5.8 Nitrat auswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg

5.8.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

In Schwertberg fielen im hydrologischen Jahr 2021/22 in Summe 878 mm Niederschlag (Abb. 5-25). Vergleichbar mit den anderen Standorten fielen die größten Niederschlagsmengen im Juni und September, sowie auch im August an.

Die Sickerwasserbildung erfolgte bei beiden Lysimetern hauptsächlich im Dezember und Februar, gefolgt von September und Oktober. Während der Sommermonate von Juni bis September fiel mehr als die Hälfte der Jahresniederschlagsmenge, wobei vergleichsweise wenig und bisweilen gar kein Sickerwasser anfiel. Grund dafür dürfte der hohe Verbrauch der Sojabohne sein, sodass kaum Sickerwasser gebildet wurde. Im Vergleich der beiden Lysimeter in Schwertberg ist die Sickerwassermenge bei mgSBg mit gestörtem Bodenaufbau mit 237 mm um 87 mm höher als beim Lysimeter mit ungestörtem Bodenaufbau (150 mm). Die gemessene Sickerwassermenge entspricht bei mgSBg gestörtem Bodenaufbau rund 27%, und bei mgSBu (ungestört) 17% der Niederschlagssumme.

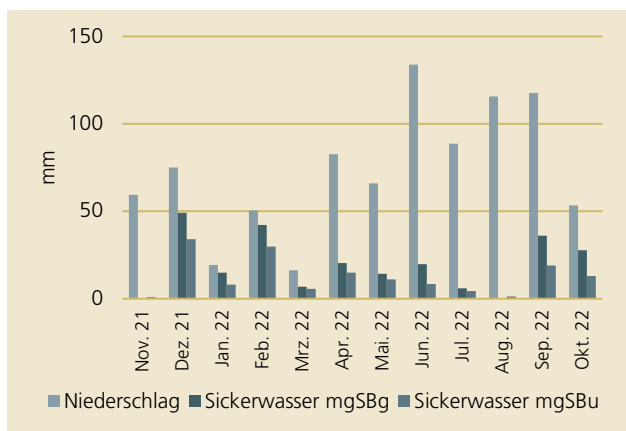


Abb. 5-25: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (mittelgründig) mgSBg=gestört, mgSBu=ungestört

5.8.2 Sickerwassermenge, Nitrat auswaschung und -konzentration im Sickerwasser

Die ausgewaschene Nitratmenge ist beim Lysimeter mgSBg mit gestörtem Bodenaufbau mit 11,3 kgN/ha fast doppelt so hoch wie diejenige des Lysimeters mgSBu (ungestört) mit 6,8 kgN/ha. (vgl. Abb. 5-26 und Abb. 5-27). Als Begründung für die höhere Auswaschung sind einerseits die etwas höheren Nitratkonzentrationen bei mgSBg, aber auch die höheren Sickerwassermengen in diesem Zeitraum als bei mgSBu zu nennen. Im Durchschnitt war die Nitratkonzentration über das hydrologische Jahr 2021/22 aber bei beiden Lysimetern mit 21 bzw. 20 mg NO₃/l praktisch gleich (Abb. 5-28, Abb. 5-29).

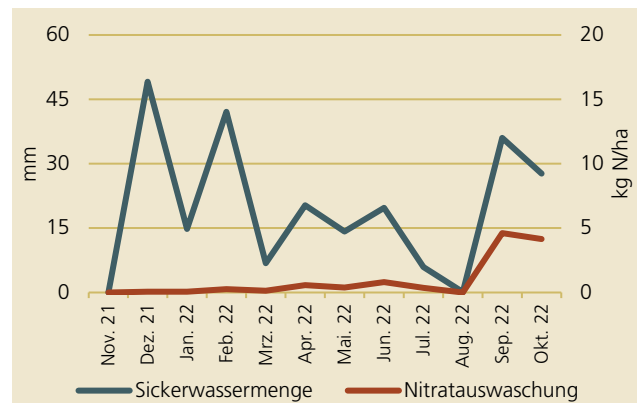


Abb. 5-26: Monatliche Sickerwassermenge und Nitrat auswaschung (mittelgründig) mgSBg

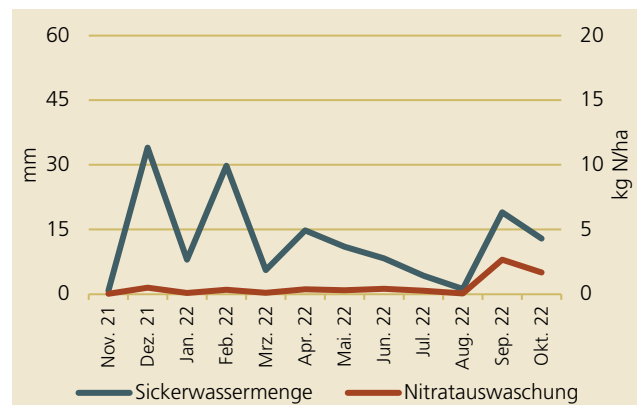


Abb. 5-27: Monatliche Sickerwassermenge und Nitrat auswaschung (mittelgründig) mgSBu

Die Werte beim Lysimeter mgSBg liegen somit im Durchschnitt der Beobachtungen der letzten Jahre, beim Lysimeter mgSBu bleibt der Wert im

Beobachtungszeitraum unterdurchschnittlich (vgl. Abb. 5-28 und Abb. 5-29).

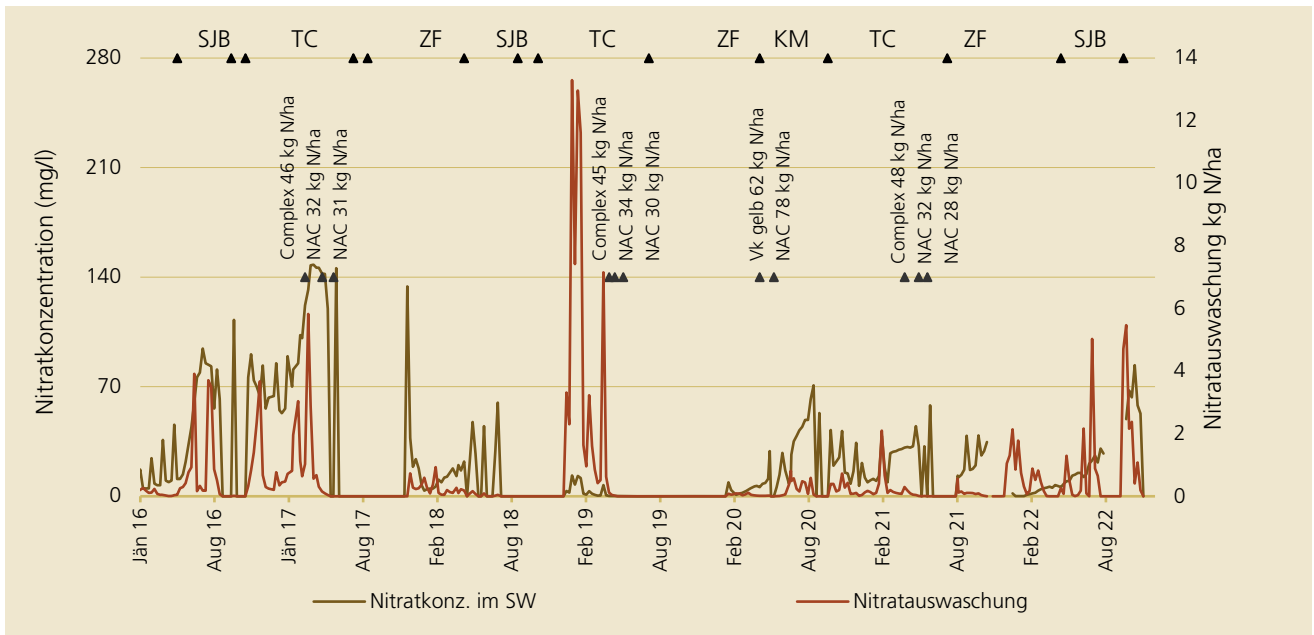


Abb. 5-28: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) mgSBg

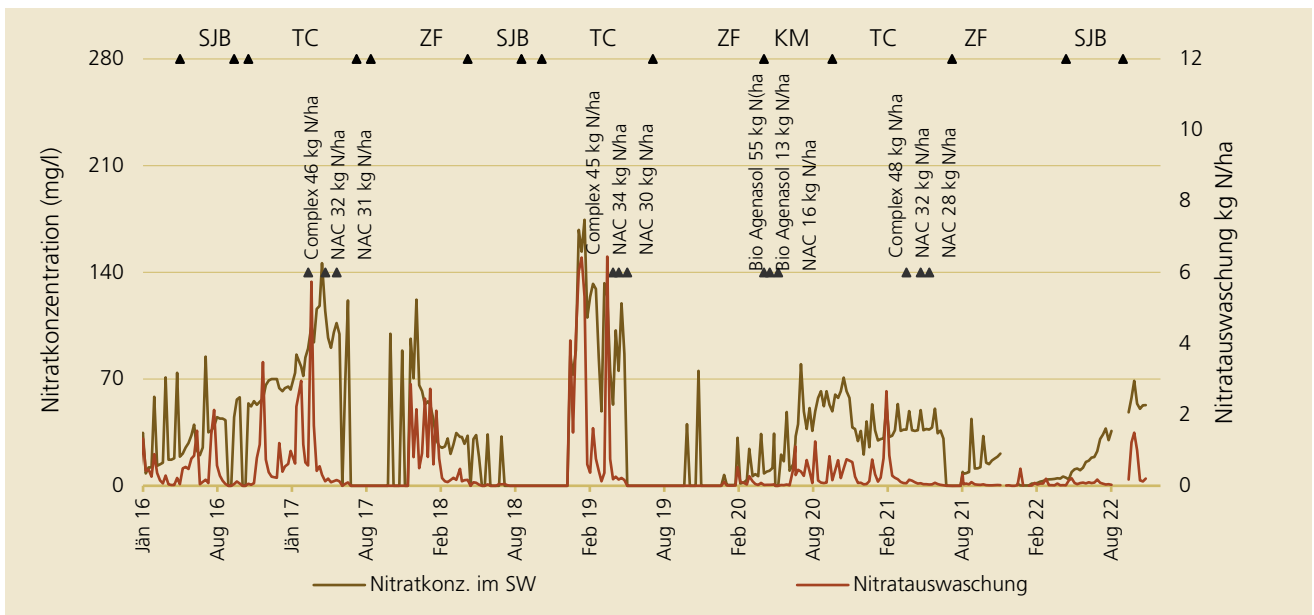


Abb. 5-29: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) mgSBu

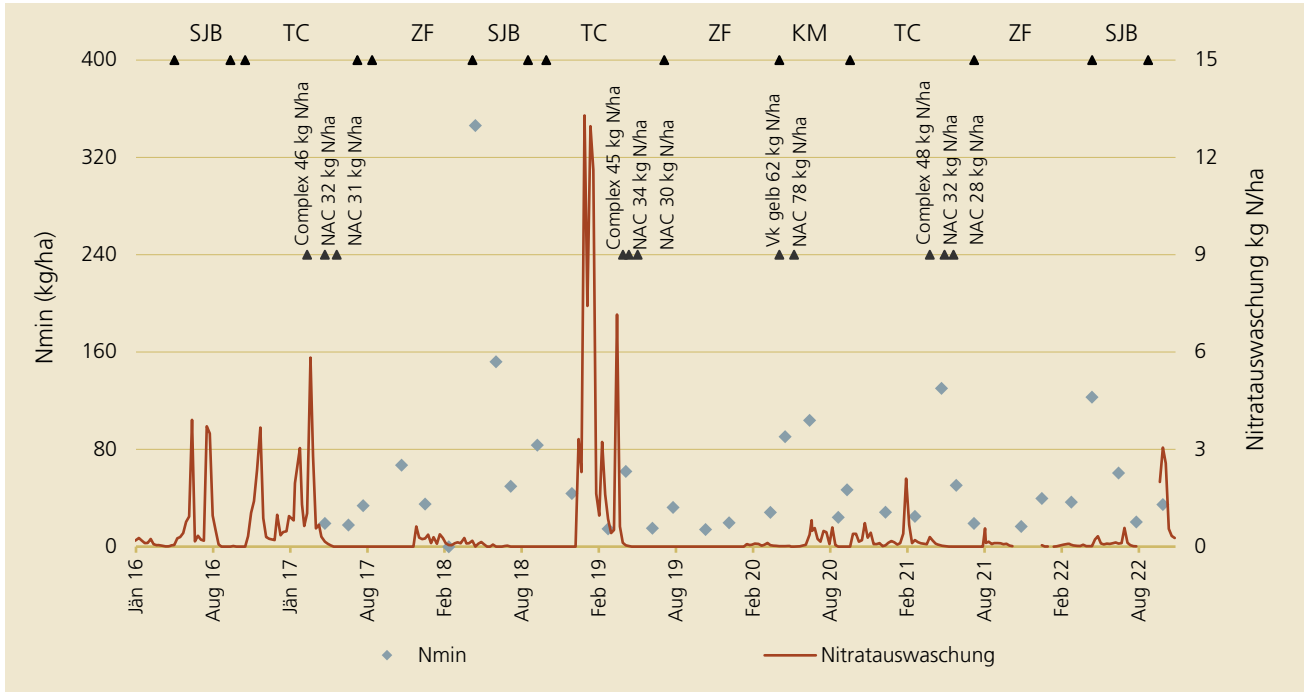


Abb. 5-30: N_{min}-Gehalt des Bodens (ab April 2017) und Nitrat auswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) mgSBg

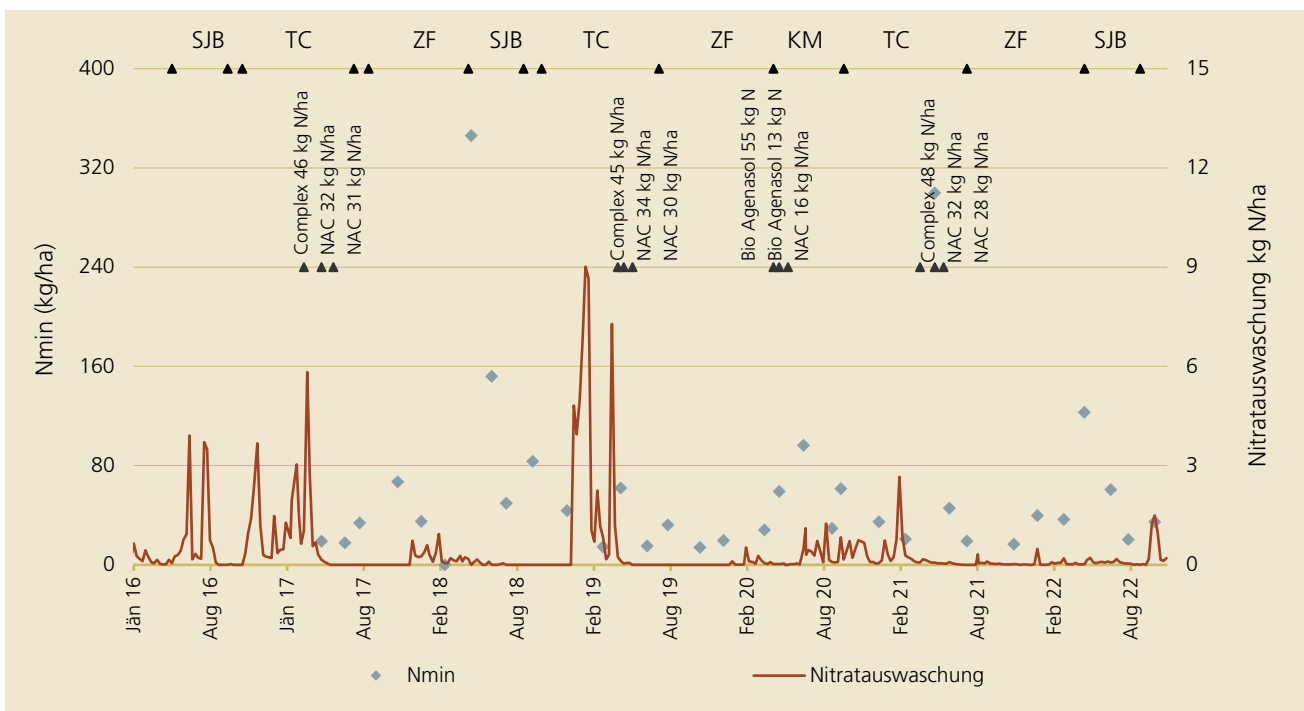


Abb. 5-31: N_{min}-Gehalt des Bodens (ab April 2017) und Nitrat auswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) mgSBu

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

Die monatlichen Niederschlagssummen verlaufen auf allen 4 Standorten ziemlich parallel. Die Jahresniederschlagssumme ist in Eberstalzell, Pettenbach und Pucking mit Werten zwischen 930 und 1.064 mm recht ähnlich. In Schwertberg jedoch sind die Niederschlagsspitzen generell weniger stark ausgeprägt, wodurch sich eine um 120 mm niedrigere Niederschlagssumme ergibt (Abb. 5-32).

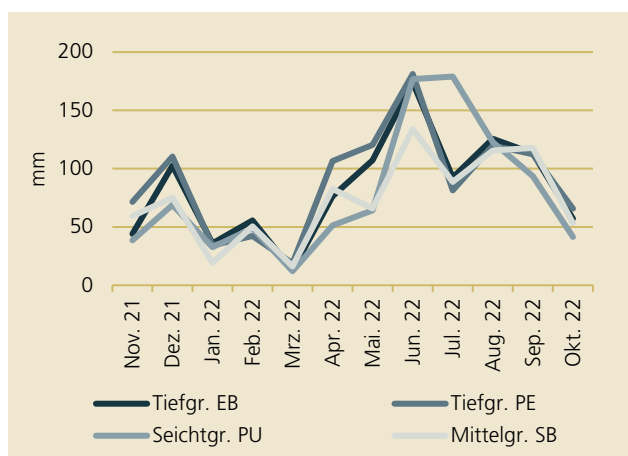


Abb. 5-32: Monatliche Niederschlagssummen

Tab. 5-5: Sickerwassermengen und durchschnittliche Nitratkonzentration vom 01.11.21 bis 31.10.22

	SW [mm]	NO ₃ -Kon. [mg/l]
Tiefgr. EB	270	30
Tiefgr. PE	357	45
Seichtgr. PU	243	71
Mittelgr. SB gestört	237	21
Mittelgr. SB ungestört	150	20

Die höchste jährliche Sickerwassermenge wurde in Pettenbach mit 357 mm gemessen, an zweiter Stelle lag Eberstalzell mit 270 mm. Danach folgte Pucking mit 243 mm und damit fast gleichauf mit dem Lysimeter (gestörter Boden) in Schwertberg mit 237 mm und zum Schluss das Lysimeter in Schwertberg mit ungestörtem Boden mit 150 mm. (Tab. 5-5).

Der Verlauf der Sickerwassermengen verläuft zum Teil zeitverzögert auf allen Standorten sehr ähnlich. So ist überall die größte Spitze im Dezember 2021 zu finden, wo auch die höchsten Niederschläge des Winters stattfanden. Mit Ausnahme von Pettenbach geht der Sickerwasseraustrag im Jänner zurück und steigt im Februar nochmals an. Im Weiteren Jahresverlauf sind die Unterschiede zwischen den Standorten aufgrund der unterschiedlichen Feldfrüchte größer. Auffallend ist, dass die starken Niederschläge im Juni auf den mittel- und seichtgründigen Böden keine sehr großen Sickerwassermengen zur Folge hatten, auf den beiden tiefgründigen im Vergleich dazu schon. Im Juli und August geht die Sickerwassermenge mit Ausnahme von Pettenbach, wo größere Niederschläge stattfanden, bis auf null zurück (Abb. 5-33).

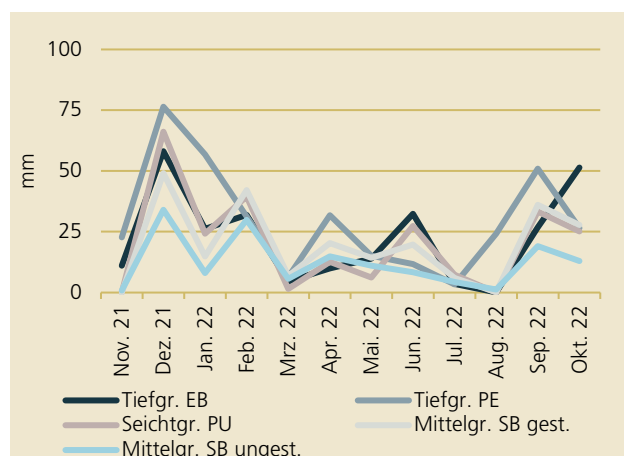


Abb. 5-33: Monatliche Sickerwassermengen

Die höchste durchschnittliche Nitratkonzentration wurde am seichtgründigen Standort in Pucking mit 71 mg NO₃/l beobachtet, gefolgt von den beiden

tiefgründigen Standorten in Eberstanzell und Pettenbach mit 30 mg NO₃/l sowie 45 mg NO₃/l (Tab. 5-5). Das Schlusslicht bilden die beiden Lysimeter in Schwertberg mit 21 bzw. 20 mg NO₃/l. Pucking überschreitet mit 71 mg NO₃/l im Durchschnitt den Grundwasserswellenwert von 45 mg NO₃/l, Pettenbach liegt genau am Schwellenwert. Die niedrigste Konzentration findet sich heuer in Schwertberg beim Lysimeter mit ungestörtem Bodenaufbau.

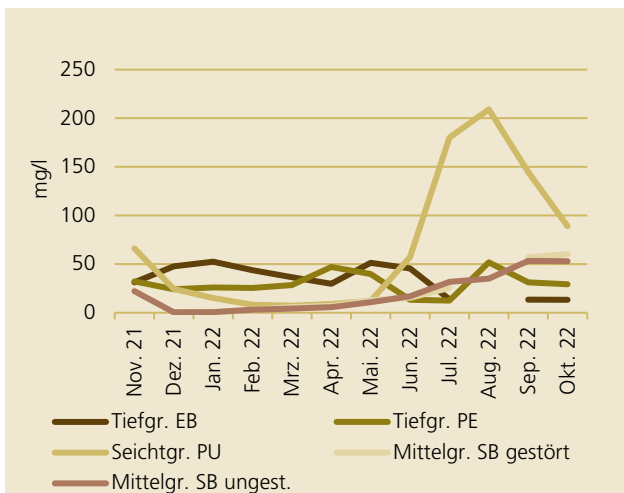


Abb. 5-34: Durchschnittliche monatliche Nitratkonzentrationen

Im Jahresverlauf sind zwischen den vier Standorten Unterschiede zu beobachten, die sowohl mit den Bodeneigenschaften als auch der Bewirtschaftung und der angebauten Kultur zusammenhängen. Am seichtgründigen Lysimeter ist die Nitratkonzentration trotz der starken Sommer Niederschläge hoch. Aufgrund der geringen Sickerwassermenge wird im August der Höchstwert von 209 mg NO₃/l erreicht. Nach der Maisernte sinken die Werte wieder. Am tiefgründigen Standort in Eberstanzell pendelt die Konzentration von November bis Juni zwischen 30 und 50 mg NO₃/l und nimmt danach wieder ab. Der Höchstwert wird im Mai mit 51 mg NO₃/l erreicht. Am tiefgründigen Standort in Pettenbach bleiben die Sickerwasserkonzentrationen von November bis März relativ konstant bei ca. 30 mg NO₃/l. Im April und Mai allerdings erreichen sie um die 40 bis knapp 50 mg NO₃/l und nehmen danach

wieder ab. Dieser Verlauf zeigt ein für Körnermais typisches Bild, das so auch in den vergangenen Jahren auf den tiefgründigen Standorten beobachtet werden konnte. Was jedoch eher untypisch ist, ist eine Zunahme der Konzentration im August, wie sie heuer in Pettenbach beobachtet wurde und den Maximalwert von 52 mg NO₃/l für diesen Standort bildet. In Schwertberg nimmt die monatliche Nitratkonzentration bei beiden Lysimetern von Dezember 2021 bis Oktober laufend zu, mit einer Ausnahme am gestörten Lysimeter, wo im August kein Sickerwasser auftrat. Ab September wird der Grundwasserswellenwert von 45 mg NO₃/l überschritten und liegt zwischen 50 und 60 mg NO₃/l (vgl. Abb. 5-34).

Die geringste Nitratauswaschung erfolgte in Schwertberg beim Lysimeter mit gestörtem Bodenaufbau (7 kg N/ha), dicht gefolgt vom Lysimeter mit ungestörtem Bodenaufbau (11 kg N/ha). Eberstanzell liegt mit 18 kg N/ha im Mittelfeld. Die größten Auswaschungen wurden in Pettenbach (36 kg N/ha) und Pucking (39 kg N/ha) gemessen (vgl. Abb. 5-35).

Was bei fast allen Standorten ähnlich ist, ist mit geringen Verschiebungen der Zeitpunkt der größten Nitratauswaschung. Diese erfolgte hauptsächlich im Dezember, Juni und September, mit Ausnahme von Pettenbach, wo die Austragsspitzen statt im Juni bereits im April stattfanden, was auch darauf zurückzuführen ist, dass ausschließlich in Pettenbach heuer eine Winterfrucht angebaut war und auf allen anderen Standorten eine Zwischenfrucht mit anschließender Sommerfrucht. Der Verlauf der Nitratauswaschung ist für die beiden Mais-Standorte Eberstanzell und Pucking sehr typisch und entspricht den Beobachtungen aus den vergangenen Jahren. So wurde - neben der Austragsspitze im Juni auf beiden Standorten - in Pucking am seichtgründigen Standort wieder ein erhöhter Nitrataustrag im September zum Zeitpunkt der Maisernte beobachtet, was einerseits auf die hohen Konzentrationen als auch auf die große Sickerwassermenge zurückzuführen ist. Der Verlauf der Nitratauswaschung

in Pettenbach ist für Wintergetreide eher untypisch und resultierte in einem vergleichsweise hohen Gesamtaustrag von 36 kg N/ha, was 10 kg N/ha über dem Durchschnitt der letzten Jahre auf diesem Standort bei Winterweizen liegt. Verantwortlich dafür sind vorwiegend die hohen Austragsmengen im April und September, wo ein vergleichsweise hoher Sickerwasseranfall beobachtet wurde. In Schwertberg fiel generell sehr wenig Sickerwasser an und von Juli bis August nur in geringem Ausmaß, wodurch in diesem Zeitraum auch keine nennenswerte Nitratauswaschung stattfand. Erst im September nach der Sojabohnenernte und zum Anbau des nachfolgenden Wintergetreides steigen die Werte sichtbar an.

In Summe wurde während des Messzeitraums seit September 2001 bis November 2022 am seichtgründigen Standort mit 870 kg N/ha am meisten Stickstoff in Form von Nitrat ausgewaschen (Abb. 5-36). Am tiefgründigen Standort in Eberstallzell waren es mit 577 kg N/ha etwa ein Drittel weniger, am

tiefgründigen Standort in Pettenbach mit 458 kg N/ha etwas weniger als die Hälfte. Am neu hinzugekommenen Standort in Schwertberg wurden von Jänner 2016 bis November 2022 in Summe 152 kg N/ha (gestört) bzw. 130 kg N/ha (ungestört) ausgewaschen.

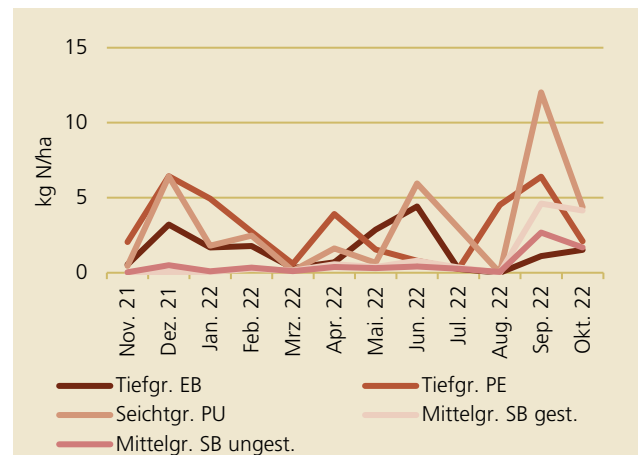


Abb. 5-35: Monatliche Nitratauswaschung

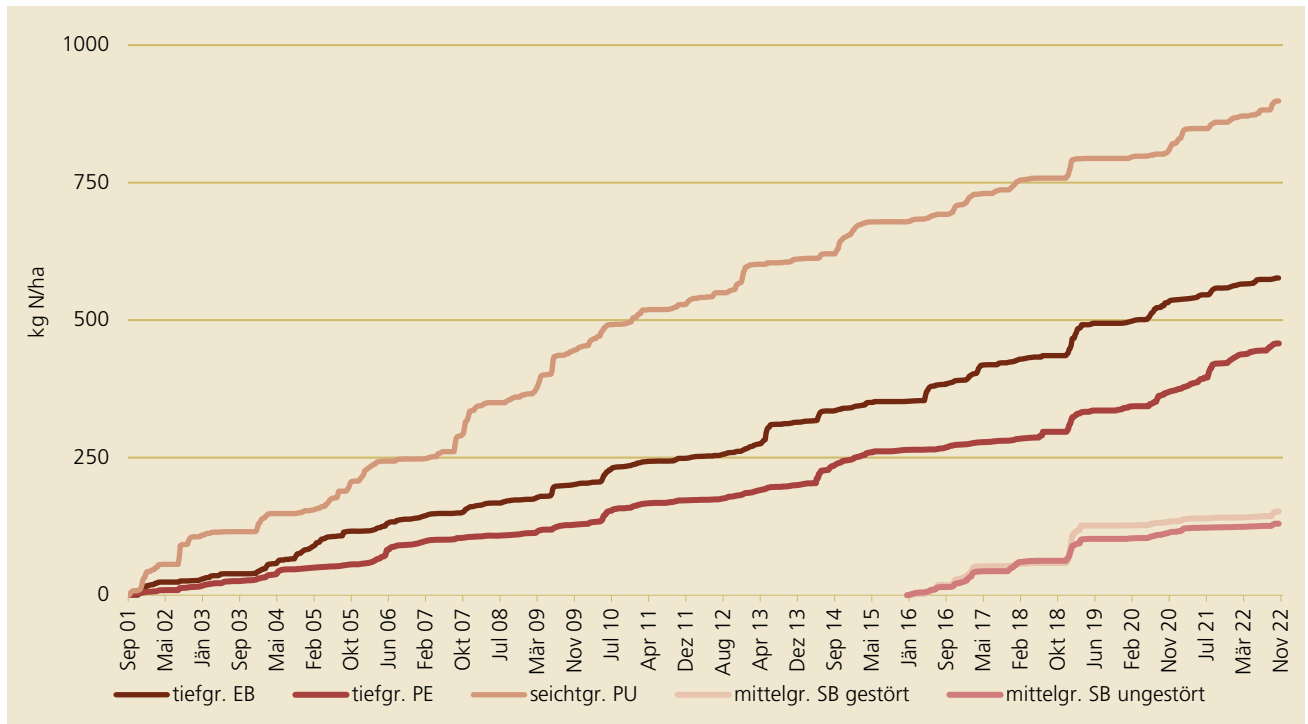


Abb. 5-36: Summe der als Nitrat ausgewaschenen Stickstoffmenge an den vier Standorten

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

Ein Vergleich des Stickstoffsaldos mit der Nitratauswaschung seit Beginn der Beobachtungen 1994/95 zeigt langfristig auf den tiefgründigen Standorten eine gute Übereinstimmung, auch wenn bei der Betrachtung einzelner Jahre Abweichungen auftreten (Abb. 5-37 und Abb. 5-38), 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. 5-4). Obwohl seit 2000 der N-Saldo weitgehend ausgeglichen oder nur schwach positiv ist, findet dennoch eine laufende Stickstoffauswaschung statt (Abb. 5-39). In diesem Fall ist die Mineralisierung von ausreichend vorhandenem nachlieferbarem Stickstoff des Bodens als Ursache zu sehen, der auf dem seichtgründigen Boden in Zeiten geringer Pflanzenaufnahme sehr rasch ausgewaschen werden kann.

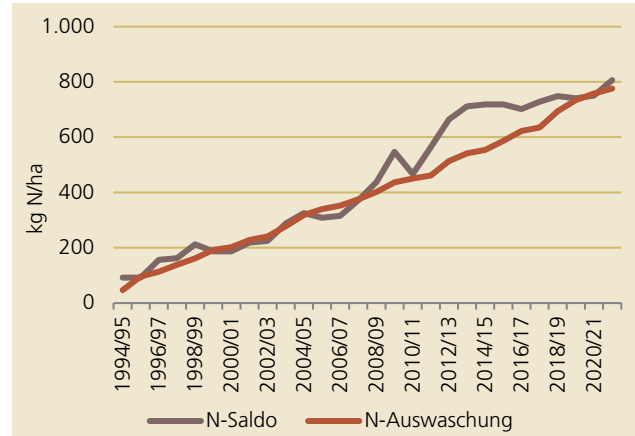


Abb. 5-37: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Eberstalzell

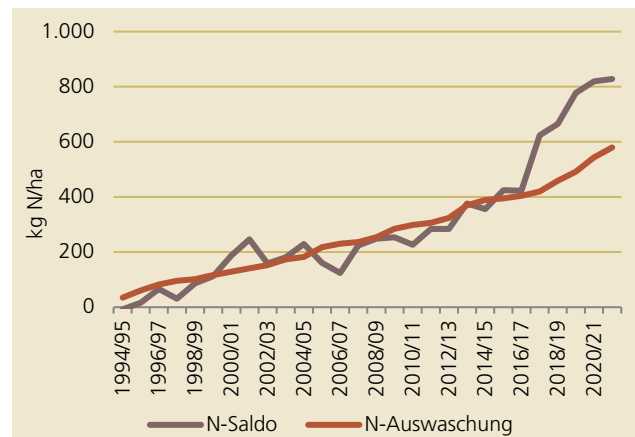


Abb. 5-38: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Pettenbach

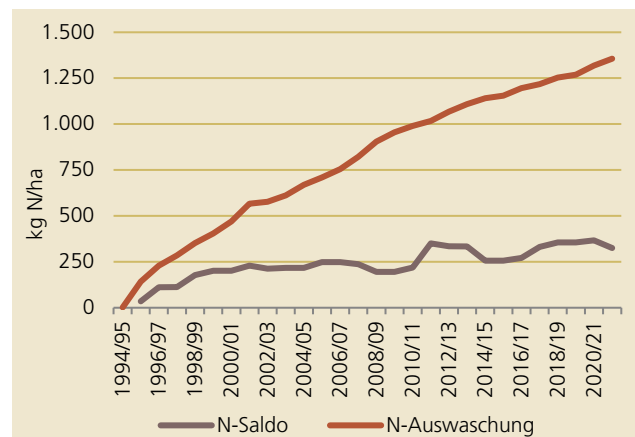


Abb. 5-39: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Pucking

5.11 Phosphorbilanzen

In Eberstanzell erfolgte die Phosphorzufuhr in Form von Schweinegülle am 20.04.2022 mit 104 kg P₂O₅/ha. In Pucking erfolgte eine mineralische Phosphordüngung am 12.04.2022 mit 33 kg P₂O₅/ha. In Pettenbach wurde am 14.03.2022 auf Variante 2 (= Lysimeterstandort) 35 kg P₂O₅/ha zugeführt und auf Variante 3 35 kg P₂O₅/ha. Auf den anderen beiden Varianten in Pettenbach sowie auch in Schwertberg wurde kein Phosphor gedüngt.

Die Phosphorbilanzen sind in Pucking und Schwertberg stark negativ. Auch in Pettenbach liegt die Phosphorbilanz unter Null. Nur in Eberstanzell ist die Phosphorbilanz mit im Durchschnitt ca. 38 kg P₂O₅/ha positiv (Tab. 5-6)

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

Tab. 5-6: Phosphorbilanzen für das Erntejahr 2022 (P₂O₅)

	Tiefgr. Standort in Eberstanzell tgEB		Tiefgr. Standort in Pettenbach tgPE (V 2)		Seichtgr. Standort in Pucking sgPU		Mittelgr. Standort in Schwertberg	
	----- kg P ₂ O ₅ /ha -----							
Phosphorzufuhr aus Düngung	104		35		33		0	
Entzug durch die Pflanzen	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW	MW	-
Entzug durch das Korn	58	66	56	45	125	106	52	-
Entzug durch das Stroh	51	35	7	8	25	24	2	-
Summe Entzug	109	101	63	53	150	130	54	-
Abfuhr durch Ernte	46	38	-28	-18	-92	-73	-52	-
Bilanz Korn	46	38	-21	-10	-92	-73	-52	-
Bilanz Korn + Stroh	-5	3	-28	-18	-117	-97	-54	-
Bilanz Ernte	46	38	-28	-18	-92	-73	-52	-

5.12 Phosphatauswaschung

Der jahreszeitliche Verlauf der Phosphatauswaschung im Jahr 2021/22 folgt im Wesentlichen dem Sickerwasseranfall (Abb. 5-40). So ist in Eberstalzell und Pettenbach die Phosphatauswaschung im Dezember am höchsten. In Pucking sind 3 Jahresauswaschungsspitzen erkennbar, nämlich im Dezember, im Juni und die höchste im September mit 0,025 kg P₂O₅/ha. Diese Werte korrelieren punktgenau mit der Intensität der Niederschläge, die auf diesem Feldstück mit sehr hohem Grobanteil sofort Wirkung zeigten. In Schwertberg sind auf beiden Lysimetern die Auswaschungsspitzen mit rd. 0,01 kg P₂O₅/ha im Jänner/Februar sowie im August zu finden.

Die Auswaschungsspitzen können zeitlich mit den Niederschlagsereignissen und dem daraus folgendem Sickerwasseraustritt in Zusammenhang gebracht werden

(Abb. 5-41 bis Abb. 5-43). Ein Messwert aus Oktober 2022 mit 1,577 kg P₂O₅/ha beim Standort Eberstalzell wurde als unplausibel ausgeschieden.

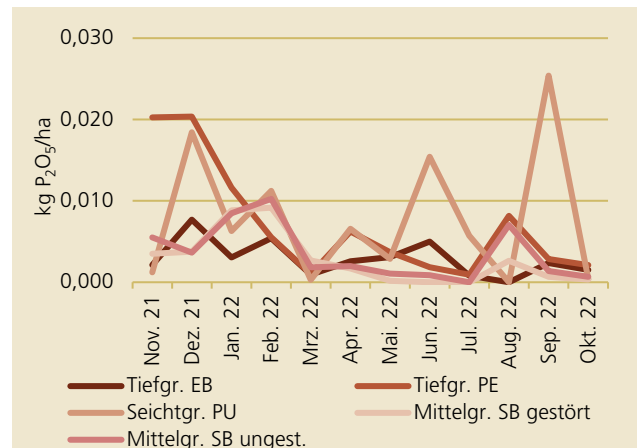


Abb. 5-40: Monatliche Phosphatauswaschung

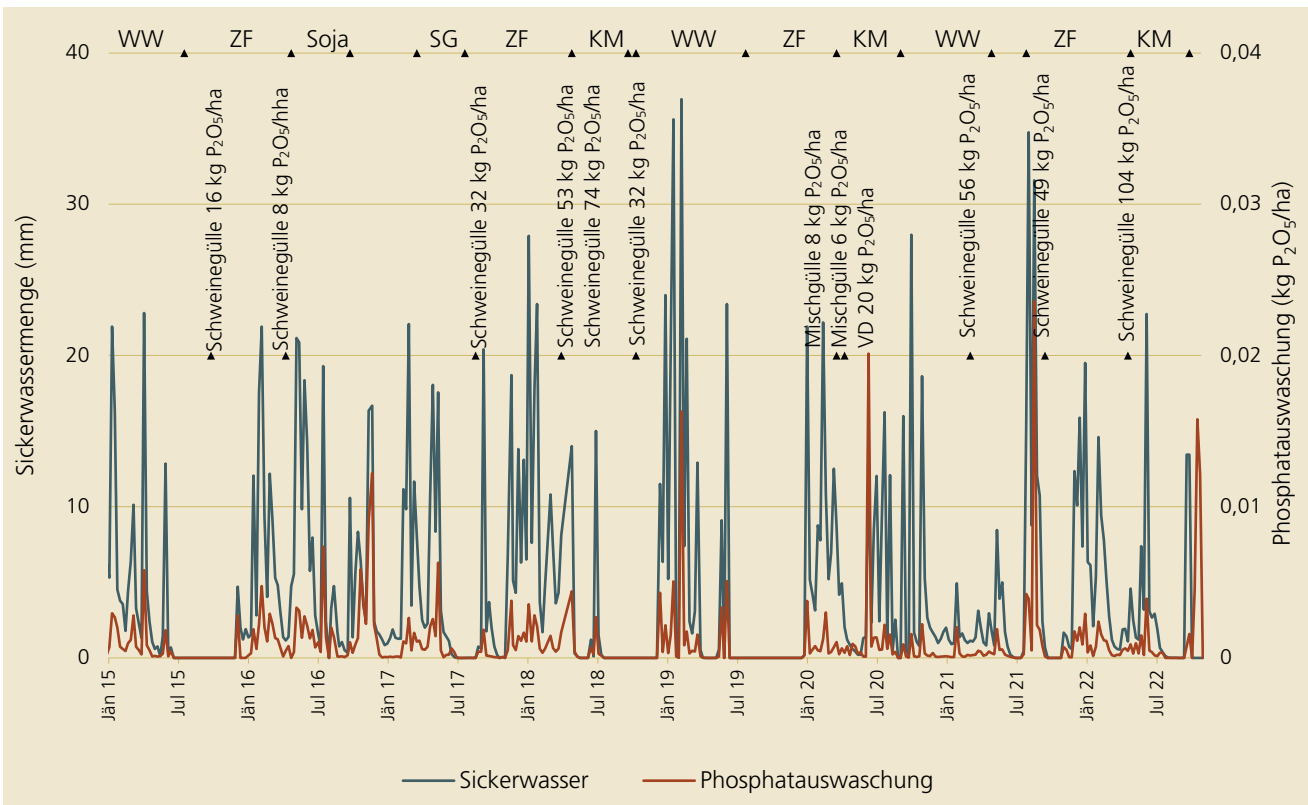


Abb. 5-41: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstalzell

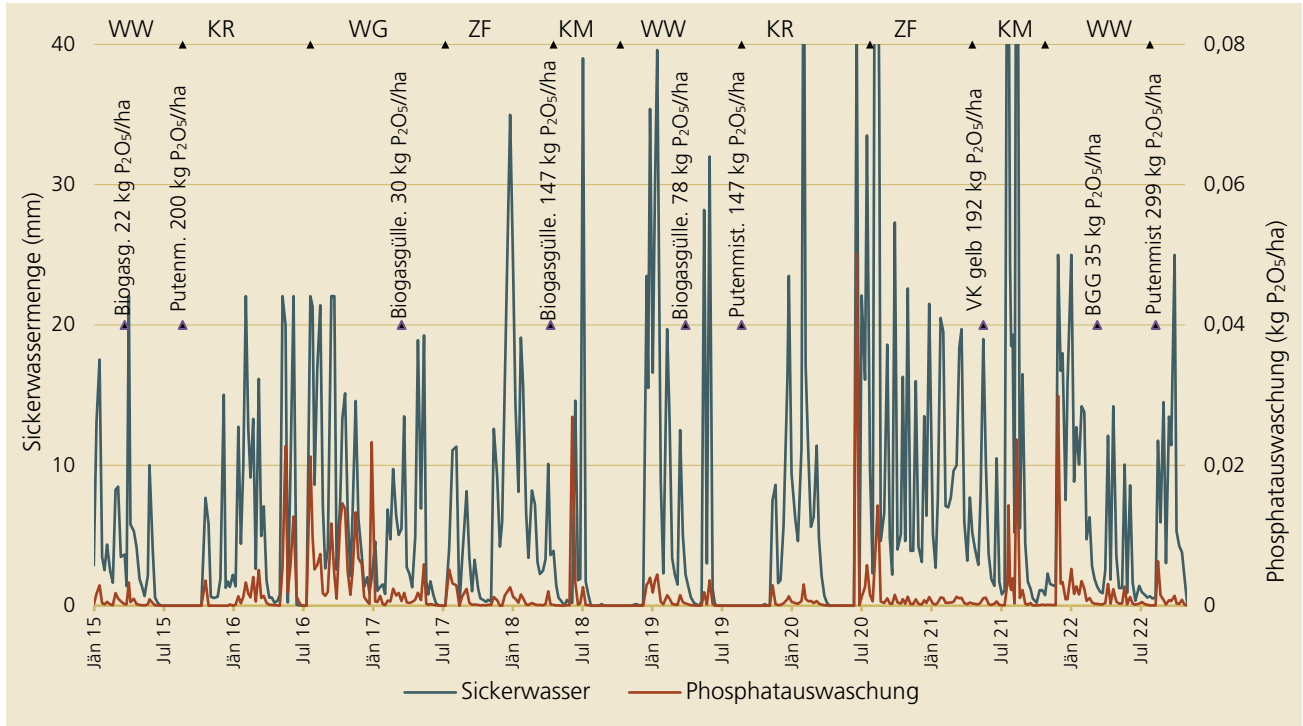


Abb. 5-42: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach

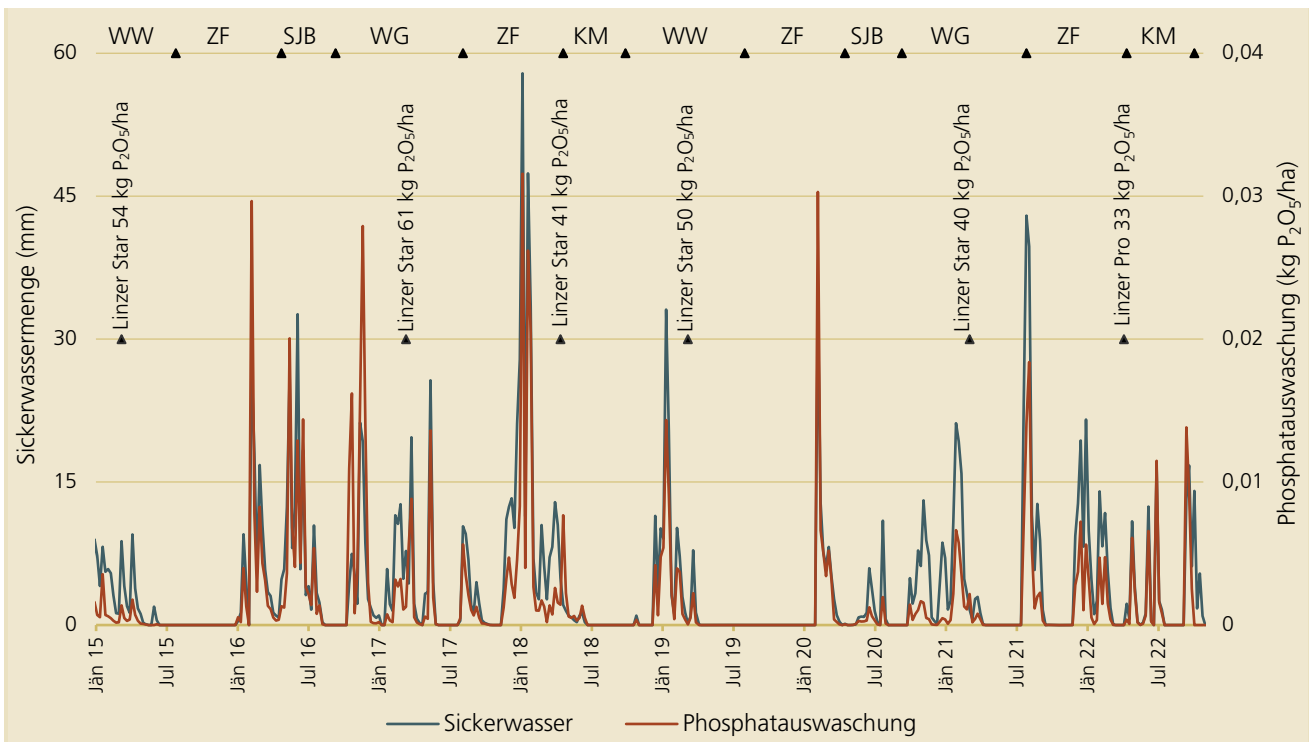


Abb. 5-43: Phosphatauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking

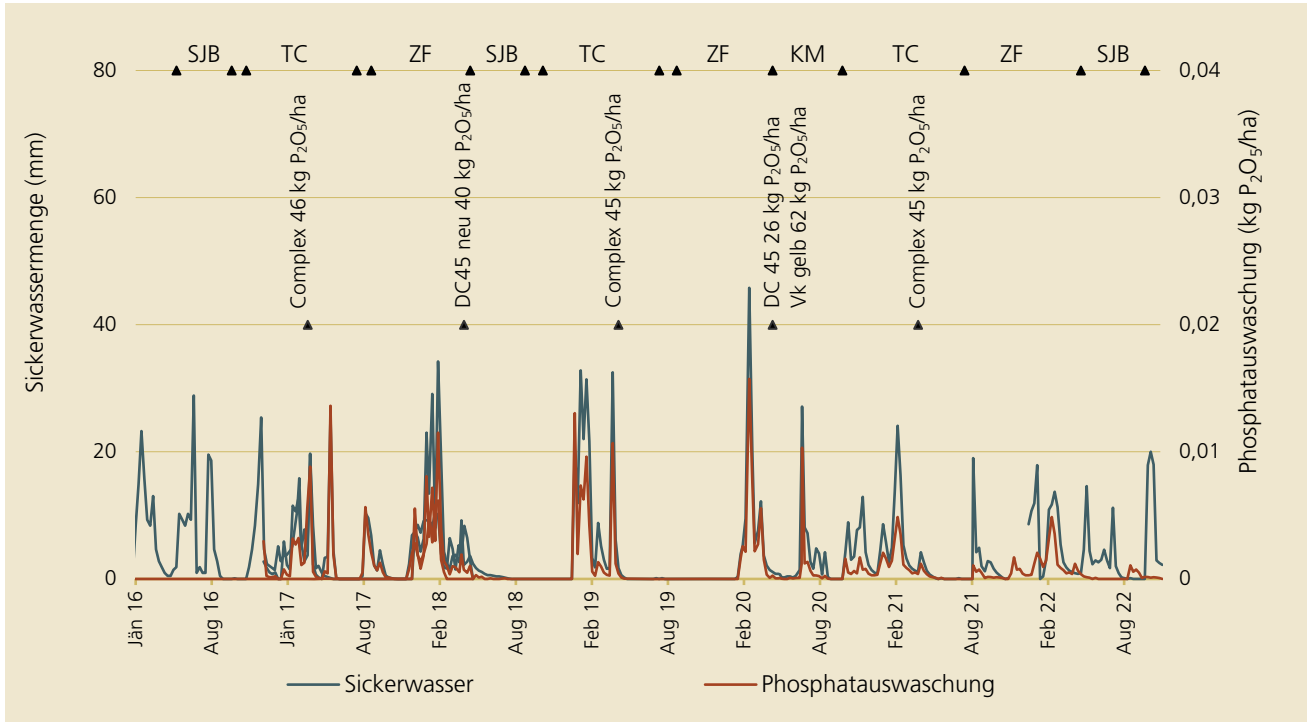


Abb. 5-44: Phosphatauswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg (gestörter Bodenaufbau)

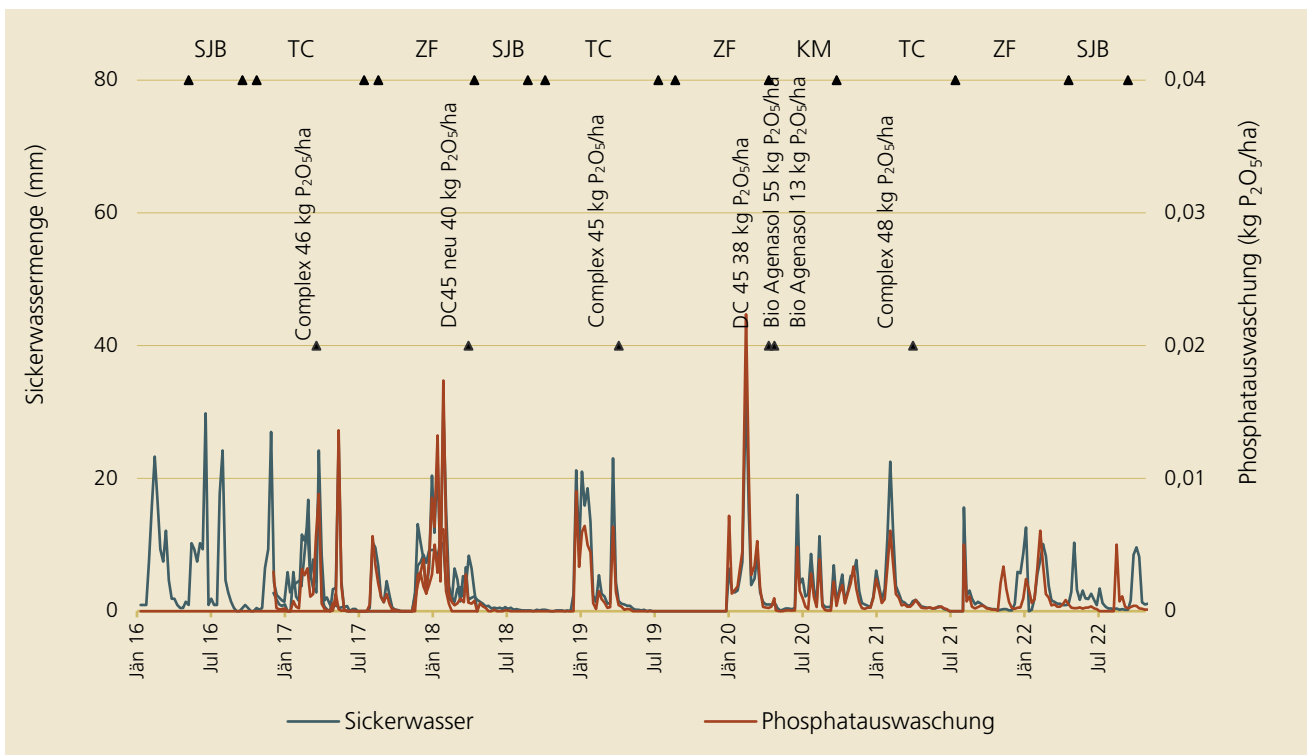


Abb. 5-45: Phosphatauswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg (ungest. Bodenaufbau)

In Summe waren die P-Verluste mit dem Sickerwasser im hydrologischen Jahr 2021/22 höher als im Vergleichszeitraum des vorigen Jahres. Im Verhältnis zu den bei der Düngung eingesetzten P-Mengen blieb sie allerdings klein (Tab. 5-7). Die durchschnittliche Phosphatkonzentration im Sickerwasser lag in diesem Jahr auf allen 4 Standorten weit unter dem Grundwasserswellenwert von 0,3 mg PO₄/l.

Seit Beginn der Messreihe wurden am tiefgründigen Standort in Eberstanzell insgesamt 1,34 kg P₂O₅/ha ausgewaschen und am tiefgründigen Standort in Pettenbach 1,7 kg P₂O₅/ha. Am seichtgründigen Standort in Pucking wurde seither mit 2,47 kg P₂O₅/ha annähernd die doppelte Menge von Eberstanzell ausgewaschen. (Abb. 5-46). Am Standort in Schwertberg wurde seit Jänner 2016 0,25 kg P₂O₅/ha beim Lysimeter mit gestörtem Bodenaufbau und 0,31 kg P₂O₅/ha beim Lysimeter mit ungestörtem Bodenaufbau ausgewaschen.

Im Vergleich zu vorhergehenden Jahren liegt die P-Auswaschung im hydrologischen Jahr 2021/22 in Eberstanzell um 33%, in Pettenbach und Pucking um 16% bzw. 19% und in Schwertberg um rd. 7% höher als die Vergleichswerte des Vorjahres, wobei am letztgenannten Standort dazu noch die langjährigen Beobachtungen fehlen. Im Vergleich zum Vorjahr wurde

2021/22 um durchschnittlich 16% mehr Phosphor in die Tiefe verlagert.

Die mittlere PO₄-Konzentration im Sickerwasser ist in Pucking am höchsten, in Pettenbach und Eberstanzell ist sie gleich hoch. In Schwertberg liegt die PO₄-Konzentration am ungestörten Lysimeter im Bereich der beiden tiefgründigen Standorte Eberstanzell und Pettenbach. Am gestörten Lysimeter wurden die geringsten Konzentrationen gemessen.

Tab. 5-7: Sickerwasser, P₂O₅-Verluste und mittlere PO₄-Konzentration im Sickerwasser vom 01.11.21 bis 31.10.22

	SW [mm]	P ₂ O ₅ - Verlust [kg/ha]	PO ₄ -Kon. [mg/l]
Tiefgr. EB	270	0,065*	0,032
Tiefgr. PE	357	0,085	0,032
Seichtgr. PU	243	0,094	0,052
Mittelgr. SB gestört	237	0,033	0,019
Mittelgr. SB ungestört	150	0,043	0,038

*unplausibler Wert im Oktober 2022 blieb unberücksichtigt.

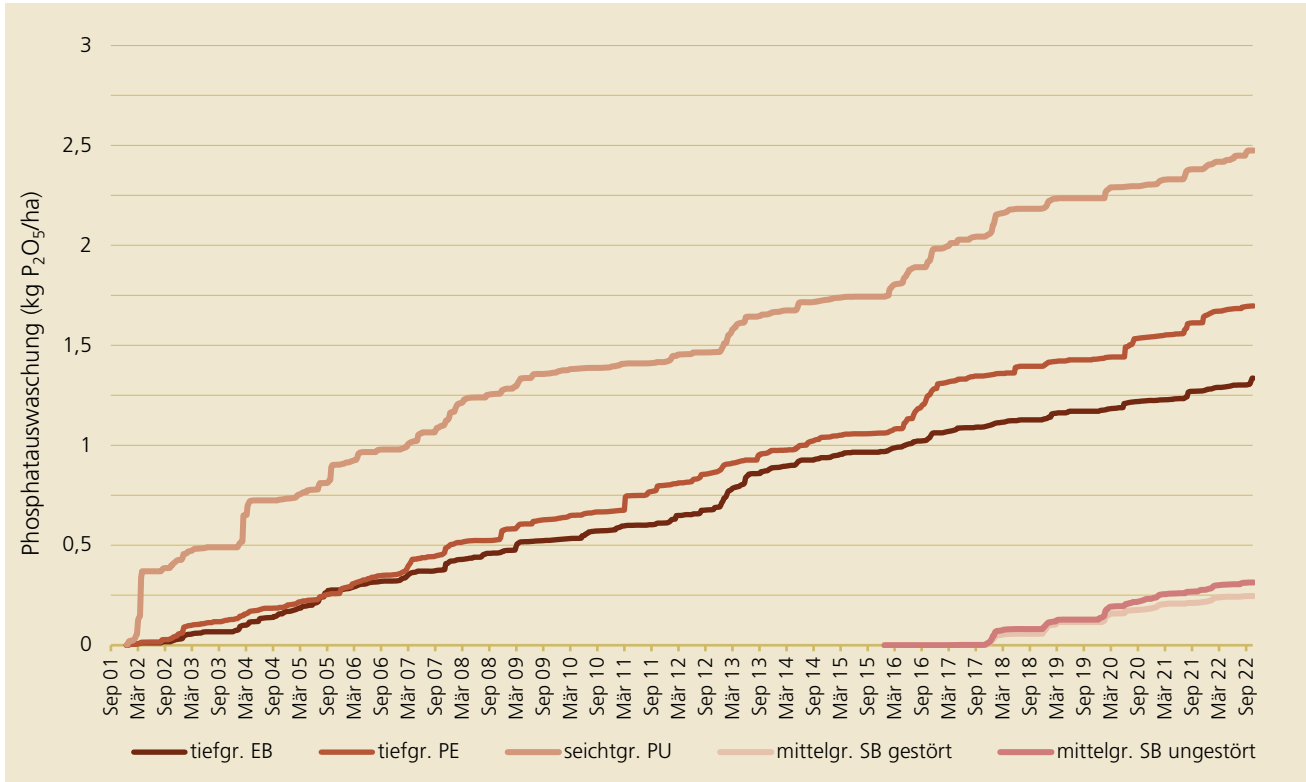


Abb. 5-46: Summe der ausgewaschenen P₂O₅ Menge.

6 Hydrographische Auswertung der UZ-Messstelle Pettenbach

6.1 Allgemeines

Seit 2013 ist die hydrographische Messstelle der Unge-sättigten Zone (UZ-Messstelle) Pettenbach in Betrieb. Sie besteht aus einem mit Gipsblöcken, Tensiometern (für die Saugspannungsmessung), Temperatursensoren und Wassergehaltssensoren in der Tiefen 10, 35, 60, 90, 120 und 140 cm unter GOK bestücktem Freilandprofil sowie aus einem Schwerkraftlysimeter, welches seit 1995 im Zuge des Forschungsprojektes betrieben wird. Auch dieses Lysimeter wurde mit Saugspannungs- und Wassergehaltssensoren bestückt. Die seit 2001/2 betriebene Klimastation liefert kontinuierliche Niederschlags-, Temperatur-, Globalstrahlungs-, Luftfeuchte- und Windgeschwindigkeitswerte.

6.2 Hydrographische Messergebnisse

Die (mindestens) 10-jährige Laufzeit der verschiedenen Geber erlaubt eine vergleichende Gegenüberstellung des Jahres 2022 mit den bisherigen Messergebnissen. Dies erfolgt in den in der Hydrographie üblichen Darstellungen, in welchen die Bandbreite der bisherigen Messergebnisse als Hintergrund fungiert und das Vergleichsjahr (2021, blau) und das Bearbeitungsjahr (2022, rot) farblich auseinandergelassen werden können.

In Abb. 6-1 bis Abb. 6-3 werden solcherart die **Niederschlags- und Temperaturverhältnisse**, teilweise inkl. der Vergleichsmessstelle in Vorchdorf, dargestellt. 2021 war ein insgesamt mitteltrockenes Jahr mit niederschlagsfreiem März und sehr nassem Juni. Ende März wurde in Pettenbach und Vorchdorf die bis dahin geringste Niederschlagssumme seit Messbeginn erreicht. Der Trend zum sehr trockenen Frühjahr hält somit an.

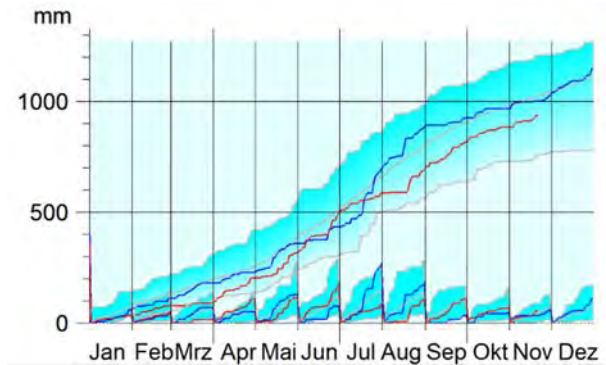


Abb. 6-1: Niederschlags-Jahres- und Monatssummenlinien 2021 (blau) und 2022 (rot) in Pettenbach

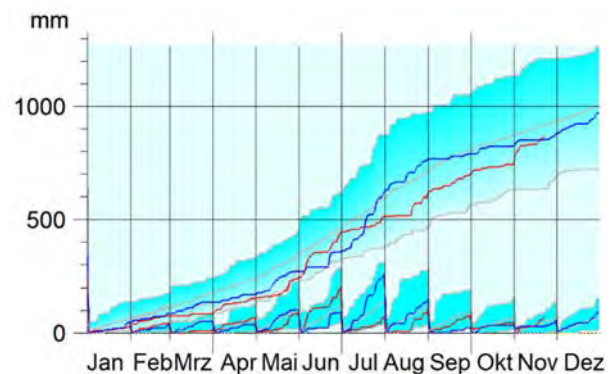


Abb. 6-2: Niederschlags-Jahres- und Monatssummenlinien 2021 (blau) und 2022 (rot) in Vorchdorf

Die Lufttemperaturen (Abb. 6-3) zeigen eine deutlich höhere Jahressumme (besonders im November) als 2021, wobei das 1. Quartal leicht überdurchschnittliche Temperaturen aufwies, der April aber noch kühler als der April 2021 und somit der kälteste seit Beobachtungsbeginn war. Der Sommer lag im Mittel, September war maximal kalt und Oktober maximal warm in der Reihe, was vor allem in Vorchdorf zu Jahressummen nahe dem Maximum der Beobachtung führen dürfte.

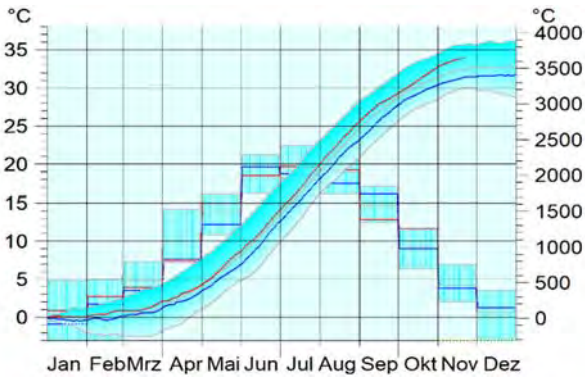


Abb. 6-3: Lufttemperatur-Jahres- und Monatssummenlinie und Monatsmittel 2021 (blau) und 2022 (rot) in Pettenbach

Globalstrahlung und **Wind** sind neben der Temperatur die maßgeblichen Einflussfaktoren dafür, wieviel Niederschlagswasser verdunstet und wieviel versickert. Am besten lassen sich diese Größen mit Wochenmittelwerten vergleichen. 2022 war das Frühjahr hell, von trockener Luft und im Jänner und Februar von viel Wind gekennzeichnet. Der nasse April ist strahlungsärmer und hebt mit kräftigem Wind die Luftfeuchtigkeit in den saisonalen Mittelbereich. Die Luftfeuchte und Globalstrahlung liegen von Mai bis August mit starken Schwankungen im Mittelbereich, der Wind aber liegt auch noch im September im saisonalen Spitzenfeld, ehe er im Oktober in das Minimum wechselt.

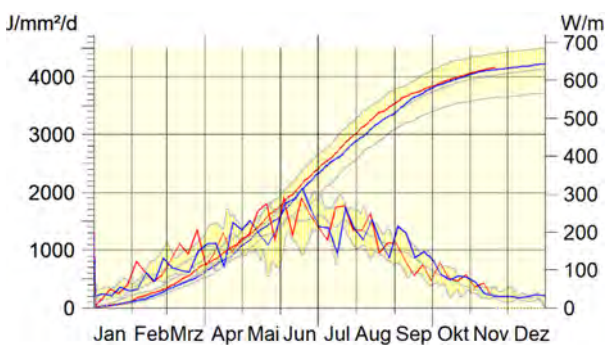


Abb. 6-4: Globalstrahlungs-Jahressummenlinie und Wochenmittel 2021 (blau) und 2022 (rot) der Station Pettenbach

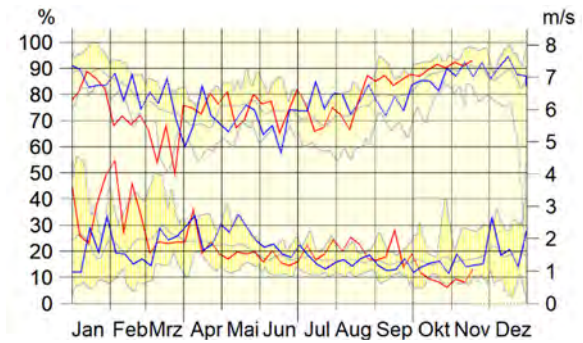


Abb. 6-5: Luftfeuchte- (oben) und Windgeschwindigkeits- (unten) Wochenmittel 2021 (blau) und 2022 (rot)

6.3 Grundwasserneubildung

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

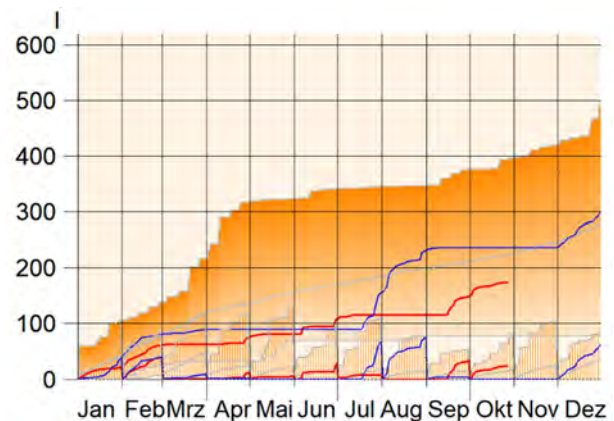


Abb. 6-6: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pucking 2021 (blau) und 2022 (rot)

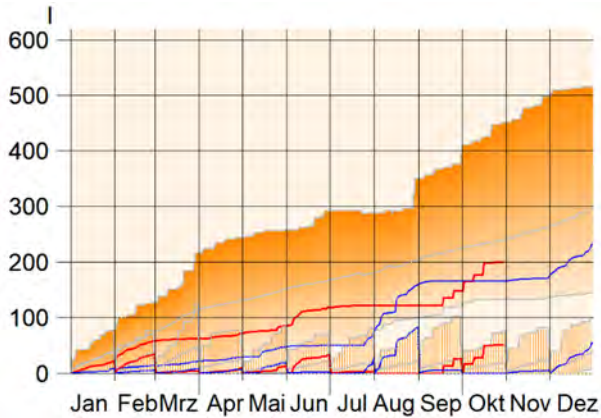


Abb. 6-7: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Eberstalzell 2021 (blau) und 2022 (rot)

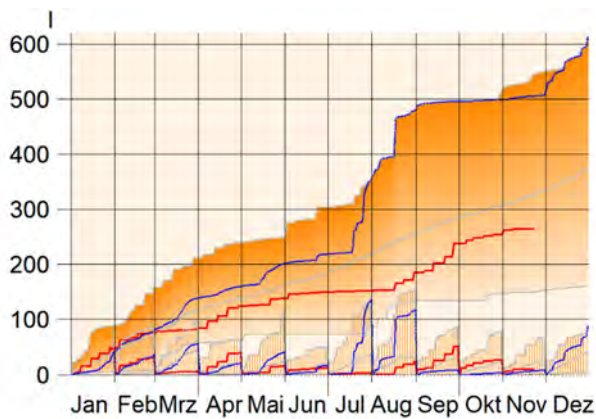


Abb. 6-8: Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pettenbach 2021 (blau) und 2022 (rot)

Mithilfe der k_u -Funktion (Wasserleitfähigkeit im ungesättigten Zustand) lassen sich aus den Saugspannungsgradienten die Grundwasserneubildungen berechnen. Abb. 6-9 stellt die berechnete Grundwasserneubildung in Pettenbach als Jahressummenlinie dar. Die k_u -Funktion wird aus den Messdaten gewonnen. Sie kann entweder mit einem tiefen Matrixpotential (Tiefe 5 oder 6) oder dem Wassergehalt skaliert werden. Der Verlauf der Grundwasserneubildung 2022 in Abb. 6-8 und Abb. 6-9 passt recht gut mit größeren Versickerungssummen im Jänner, Februar, April und Mai. Die Relation der Jahre 2021 und 2022 unterscheidet sich. Die Versickerung im Juli und August 2021 wurde vom

Lysimeter wegen bevorzugter Wegigkeiten wohl überschätzt).

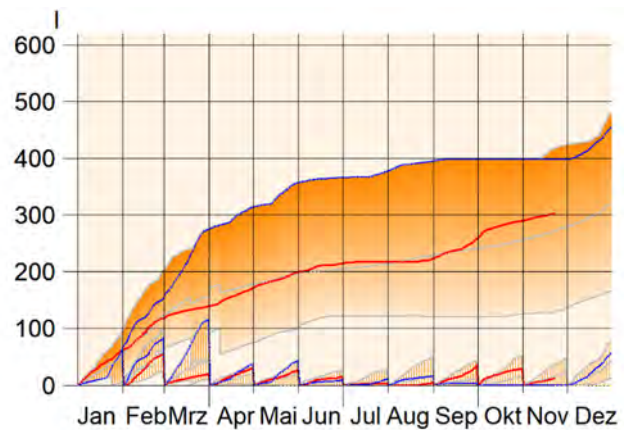


Abb. 6-9: berechnete Grundwasserneubildungs-Jahres- und Monatssummenlinien in Pettenbach 2021 (blau) und 2022 (rot)

Aus der Differenz von Niederschlag und Versickerung – zuzüglich einer Winterkorrektur, da der Schnee erst verzögert im Frühjahr versickern kann – ergibt sich rechnerisch die Verdunstung, die in Abb. 6-10 dargestellt ist. Sie liegt deutlich höher als 2021 erklärbar durch das ausreichende nach dem Frühjahr stetige Niederschlagswasserdargebot, welches sich auch in größerer Bodenfeuchte zeigte, sowie den stärkeren Wind und die größere Globalstrahlung während der Sommermonate.

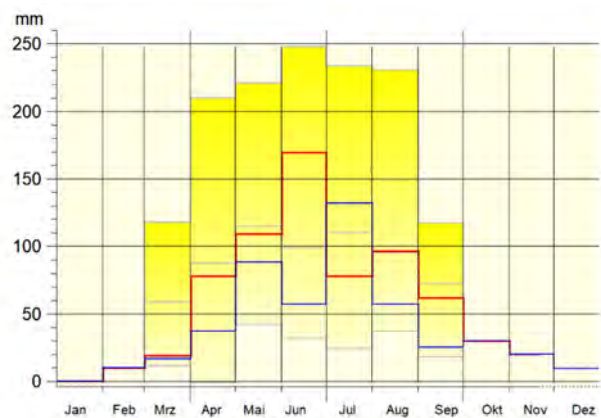


Abb. 6-10: Bilanzierte Verdunstungs-Monatssummen 2021 (blau) und 2022 (rot)

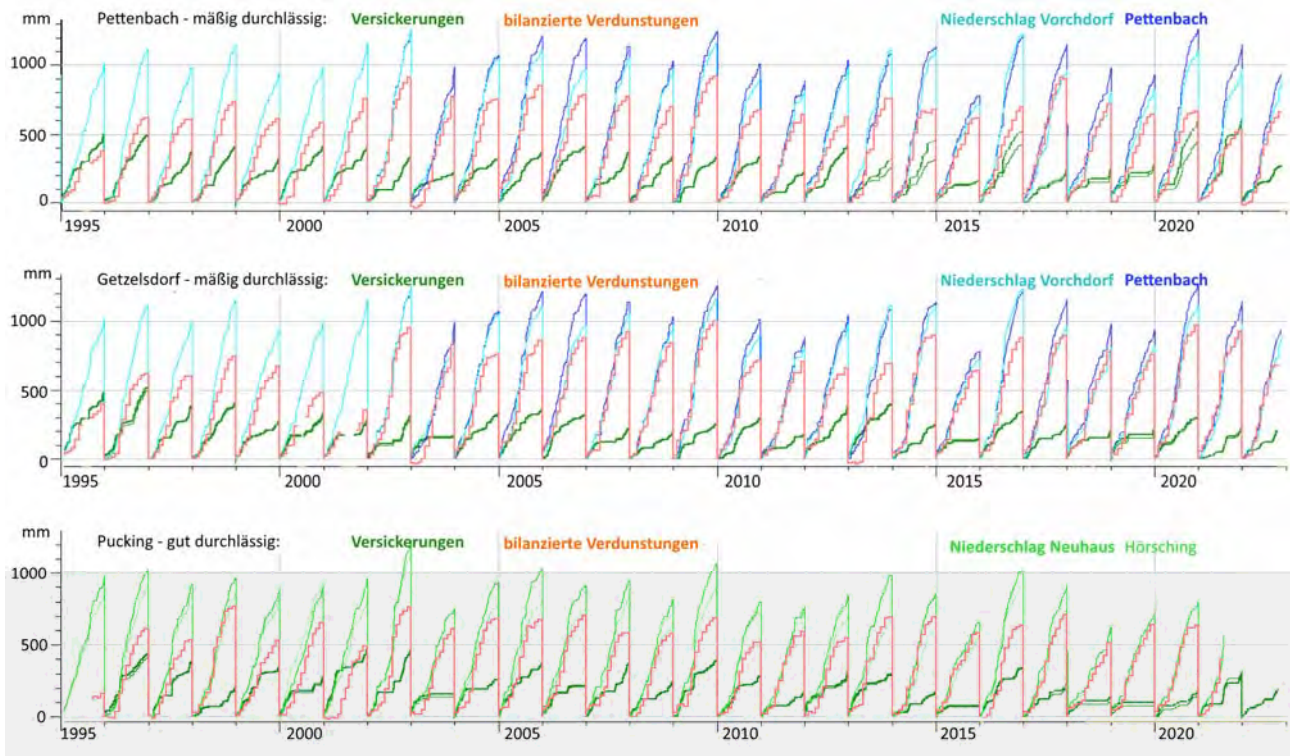


Abb. 6-11: Jahressummen der Versickerungen, bilanzierten Verdunstungen und des Niederschlages der Messstellen Pettenbach (oben), Eberstalzell (Mitte) und Pucking (unten)

Abb. 6-11 zeigt Verdunstungsbilanzierungen seit 1995. Ungeachtet etwaiger Lysimeterfehler lässt sich die Aussage treffen, dass in der Messstellenregion Versickerungen tendenziell abnehmen, die Verdunstungen hingegen bei ausreichendem Niederschlagsangebot zunehmen und daher in dieser Region in trockenen Jahren die Versickerung mit 20-30% des Niederschlags anzusetzen ist, in feuchten mit 30-35%.

Vernachlässigt wurde bei diesen Bilanzierungen die Änderung des Wasservolumens im Boden. Abbildungen Abb. 6-12 und Abb. 6-13 zeigen den generellen Abwärtstrend im Bodenwasservolumen, da die extremen Sommeraustrocknungen ab 2016 den Boden scheinbar nachhaltig veränderten. Naheliegend ist, dass dieser permanente Bodenwasserverlust mehr im Boden unterhalb der Durchwurzelungstiefe stattfindet als im Oberboden. Im Lysimeter aber wird dieses

Phänomen durch etwaige Staunässe im Unterboden kompensiert.

Die Differenzen zwischen den Gesamtprofilwassermengen im Freiland (Abb. 6-12) und im Lysimeter (Abb. 6-13) erklären sich aus den unterschiedlichen rechnerischen Gesamprofiltiefen, welche jeweils 10 cm unter den untersten Wassergehaltssensor reichen. Das ist im Freiland 160 cm und im Lysimeter 130 cm unter Gelände, da der unterste Wassergehaltssensor defekt ist.

Erfreulich ist der Gleichklang der Zeitreihen der Bodenwassermengen im durchwurzelten Bereich (den obersten 40 cm) im Lysimeter und im Freiland, wenngleich er kein Garant gegen bevorzugte Wegigkeiten im Lysimeter (Überschätzung der Versickerung) oder Probleme der Ausleitung und Messung des Versickerungswassers (Unterschätzung der Versickerung) ist.

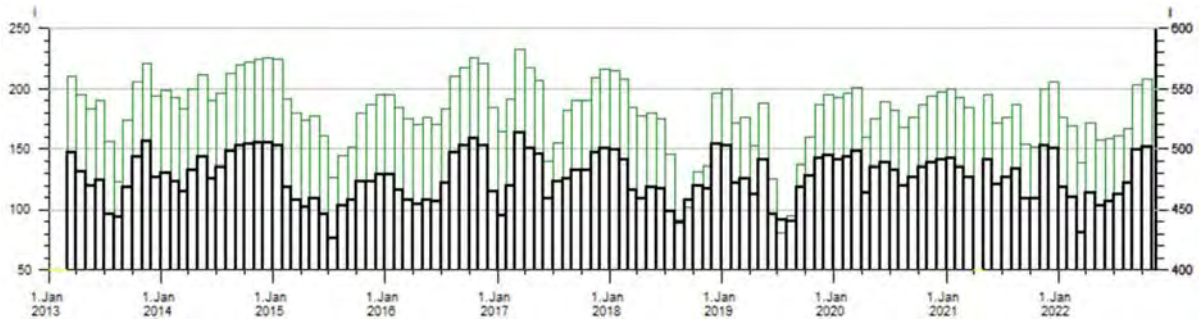


Abb. 6-12: Monatsmittel der Gesamtprofilwassermengen (grün, rechts skaliert) und Wassermenge des durchwurzelten Profilbereichs (0-40cm) (schwarz) in Pettenbach im Freiland seit 2013

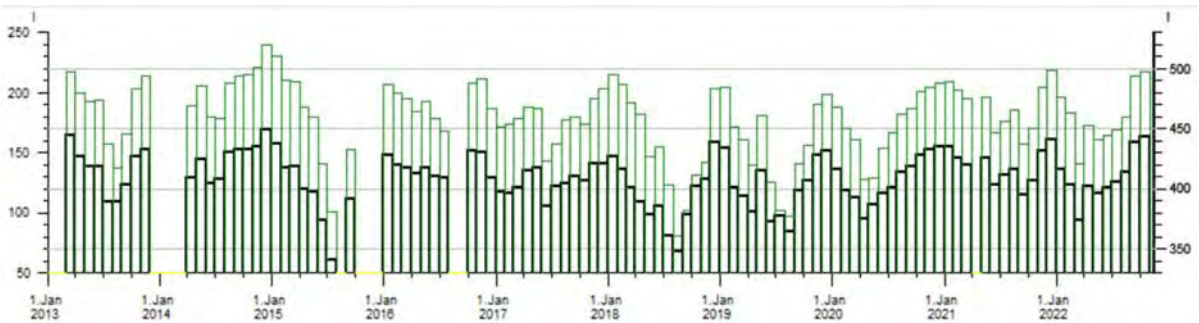


Abb. 6-13: Monatsmittel der Gesamtprofilwassermengen (grün, rechts skaliert) und Wassermenge des durchwurzelten Profilbereichs (0-40cm) (schwarz) in Pettenbach im Lysimeter seit 2013

6.4 Bodenwasserverhältnisse

Für die Beobachtung der Bodenwasserverhältnisse im Jahr 2022 wurden die Messungen der Temperatur, der Saugspannung und des Wassergehaltes in den 6 Messebenen des Freilandes und den 5 Ebenen im Lysimeter zu Oberboden (0-40 cm; entspricht dem Hauptdurchwurzelungsbereich) und Gesamtprofil bzw. Unterbodenzeitreihen zusammengefasst und wiederum dem Jahr 2021 gegenübergestellt. Auch wird das Lysimeter mit dem Freiland verglichen und im Falle signifikanter Unterschiede eigens dargestellt. Die Ober/Unterbodenunterscheidung ist sinnvoll für Temperatur- und Saugspannungsauswertungen, die SWI-Auswertungen unterscheiden zwischen durchwurzeltem Bereich und darunter, da die verfügbare Wassermenge direkt in Bezug zu den Pflanzenaktivitäten steht.

Die Lücken in den blauen und roten Jahresganglinien sind entweder auf Entnahmen der obersten

Messfühler zu Zeiten der Ackerbearbeitung oder durch Sensor- bzw. Loggerausfälle zu erklären. Wo möglich, werden Messlücken aber durch Interpolationswerte (gedämpfte Phasen-verschobene Werte einer höheren Tiefe oder in Parallelaufzeiten gewonnene Wertepaarverbindungen zweier Sensoren) geschlossen.

Die gewichtet gemittelten 4 Tages-Temperaturen (Abb. 6-14 und Abb. 6-15) im durchwurzelten Bereich des Profils (0-40 cm) zeigen im Juli und Oktober 2022 saisonale Maxima der Reihe ab 2013. Zum Jahresbeginn gibt es ein Maximum im Oberboden, welches aber rasch abkühlt. In der 2. Märzhälfte gibt es ein saisonales Minimum. Die Oktoberwärme führt im Unterboden zu saisonalem Maximum bis zum Novemberbeginn. Die Übereinstimmung der Temperaturen im Freiland und im Lysimeter ist auffallend und ein Qualitätszeichen für das Lysimeter.

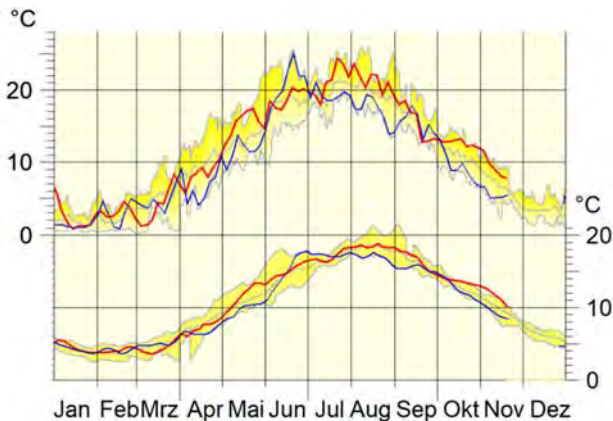


Abb. 6-14: Oberboden- und Unterbodentemperaturen 2021 (blau) und 2022 (rot) im Freiland

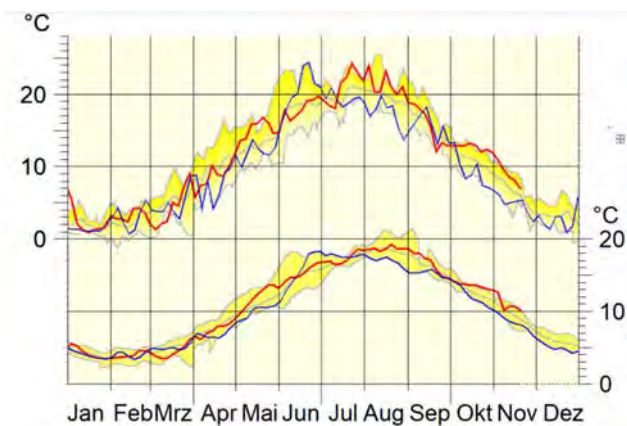


Abb. 6-15: Oberboden- und Unterbodentemperaturen 2021 (blau) und 2022 (rot) im Lysimeter

Die **Saugspannungen** in Abb. 6-16 bis Abb. 6-17 wurden aus der Kombination von Gipsblock- und Tensiometermessdaten erstellt, wodurch der Nutzen der Gipsblöcke offenbar wird. Die oberste Messebene wurde wegen ihrer Bodenbearbeitungsbedingten Lücken (im Sommer in Zeiten des maximalen Trockenstresses) weggelassen. In den Wasserspannungen zeigt sich (immer) ein übersteigertes Stressverhalten im Lysimeter im Vergleich zum Freiland, denn bereits die Frostspitzen im Jänner und Februar und vor allem der Trockenstress im März (beginnende Vegetationsperiode bei komplettem Niederschlagsdefizit) zeigen sich im Lysimeter-Oberboden viel deutlicher als im Freiland-Oberboden. Auf den wechselhaften Mai reagieren die Wasserspannungen analog wechselhaft. Die erste

längere Schönwetterepoche in der ersten Junihälfte führt zu einer saisonal üblichen mittleren Wasserspannung von 2.000 hPa im Oberboden. Ähnlich gemäßigter Trockenheitsverlauf im Juli bis Mitte August, wo die Wasserspannung durch ausreichende und konstante Niederschläge abreißt. Es ist in diesem Jahr sehr gut zu erkennen, dass der Unterboden ohne Zeitverzug in gedämpfter Form das gleiche zeitliche Spannungsverhalten zeigt. Die geringeren Wasserspannungen im Lysimeter lassen temporäre Staunässe vermuten.

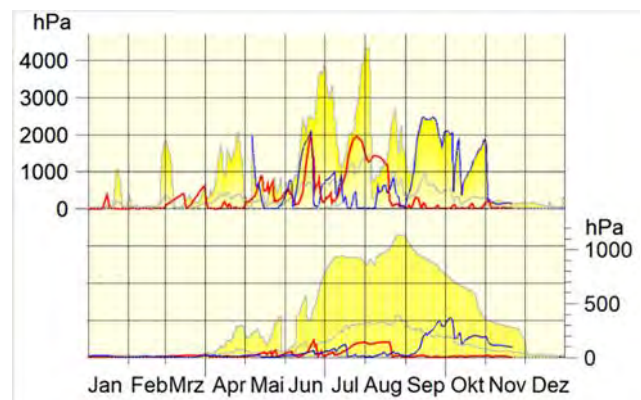


Abb. 6-16: Oberboden- und Unterbodensaugspannungen 2021 (blau) und 2022 (rot) im Freiland

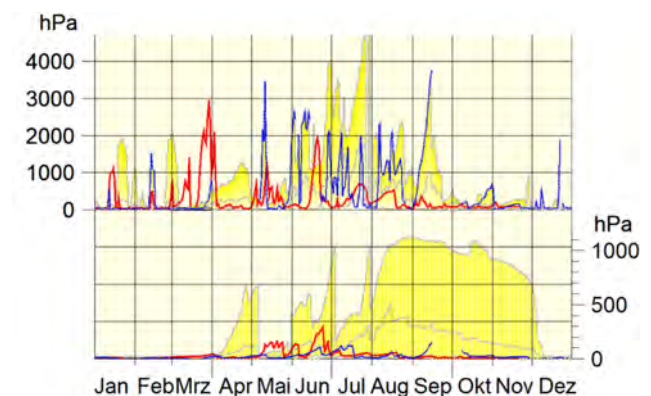


Abb. 6-17: Oberboden- und Unterbodensaugspannungen 2021 (blau) und 2022 (rot) im Lysimeter

In Abb. 6-17 bis Abb. 6-18 werden die Wassergehaltsverläufe über die Tiefe und die Zeit in SWI-Diagrammen im Lysimeter und im Freiland dargestellt. Der Boden-Wasser-Index (SWI) repräsentiert den relativen

Feuchtigkeitsgehalt eines Bodens zwischen Welkepunkt (0%) und Feldkapazität (100%). Maßgeblich sind die für die einzelnen Bodenschichten angenommenen Welkepunkte und Feldkapazitäten. Diese wurden in einer Kombination aus Literaturangaben, Messergebnissen und Laborauswertungen angesetzt.

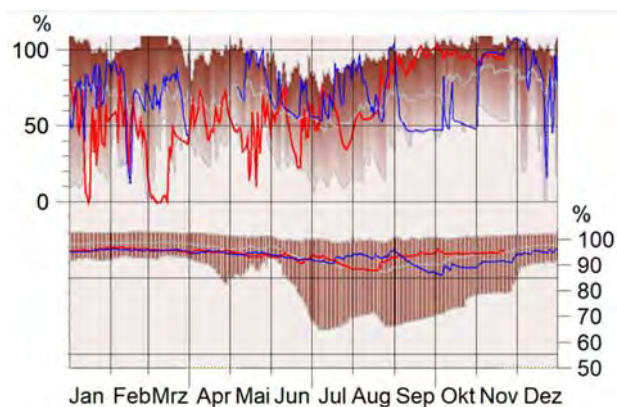


Abb. 6-18: SWI des durchwurzelten Bereiches (oben) und unterhalb der Durchwurzelungstiefe (unten) im Freilandprofil, 2021 (blau) und 2022 (rot)

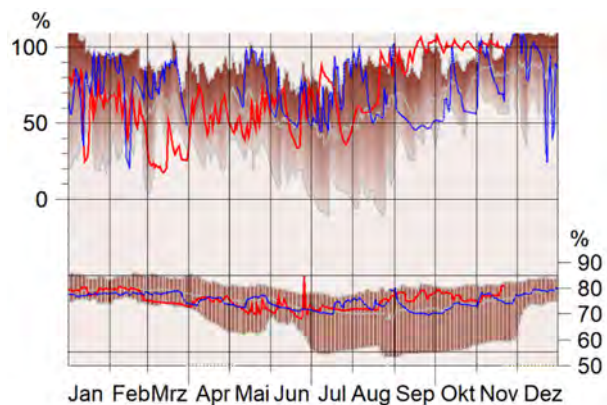


Abb. 6-19: SWI des durchwurzelten Bereiches (oben) und unterhalb der Durchwurzelungstiefe (unten) im Lysimeter, 2021 (blau) und 2022 (rot)

Abb. 6-18 bis Abb. 6-19 zeigen die SWI-Verläufe im Freiland und im Lysimeter oberhalb und unterhalb der

Durchwurzelungstiefe. Sowohl im Freiland als auch im Lysimeter wurden im Oberboden in der ersten Jahreshälfte saisonale Minima erreicht, wobei sich Frostspitzen, März-Austrocknung, wechselhafter Mai, moderatere Juni- und zunehmend abnehmende Juli- und August-Austrocknung mit feuchter zweiter Jahreshälfte im Freiland generell trockener als im Lysimeter darstellt. Der Unterboden-SWI-Bereich des Lysimeters ist deswegen um rund 15% niedriger als im Freiland, weil im Lysimeter die 6. Messebene mit ihrem sich zu $\frac{3}{4}$ der Gesamtreihe nur zwischen 90-100% bewegenden SWI fehlt, somit ist auch die Unterbodendynamik in dieser Darstellung nicht direkt vergleichbar, sehr wohl aber in den SWI Charts in Abb. 6-20.

Mehrjährige SWI-Charts zeigen den Zeit-Tiefe-Verlauf des soil-water-Index und erlauben somit den Vergleich der Jahre 2017-2022 untereinander (Abb. 6-20). Die Jahre 2020 bis 2022 zeigen im Freiland eine Trockenbeeinflussung (grün-türkise Farbe, soil-water-Index 60-80) bis in eine Tiefe von 60 cm unter Gelände, im Lysimeter reicht diese Beeinflussung 15-20 cm tiefer.

Die Dezemberriederschläge haben das Profil nachhaltig bewässert, sodass sich im Freiland an der Profilunterkante 2022 nach 4 Jahren erstmals wieder Feldkapazität einstellt (dunkelblaue Farbe). Im Lysimeter signalisieren die dunkelblauen Bereiche temporäre Staunässe.

2022 entfällt die Herbsttrockenheit – das erste Mal in dieser 6-Jahresepoche. Zu erkennen ist dies an der durchgängig dunkelblauen Farbe der Feldkapazität in den obersten 30 cm.

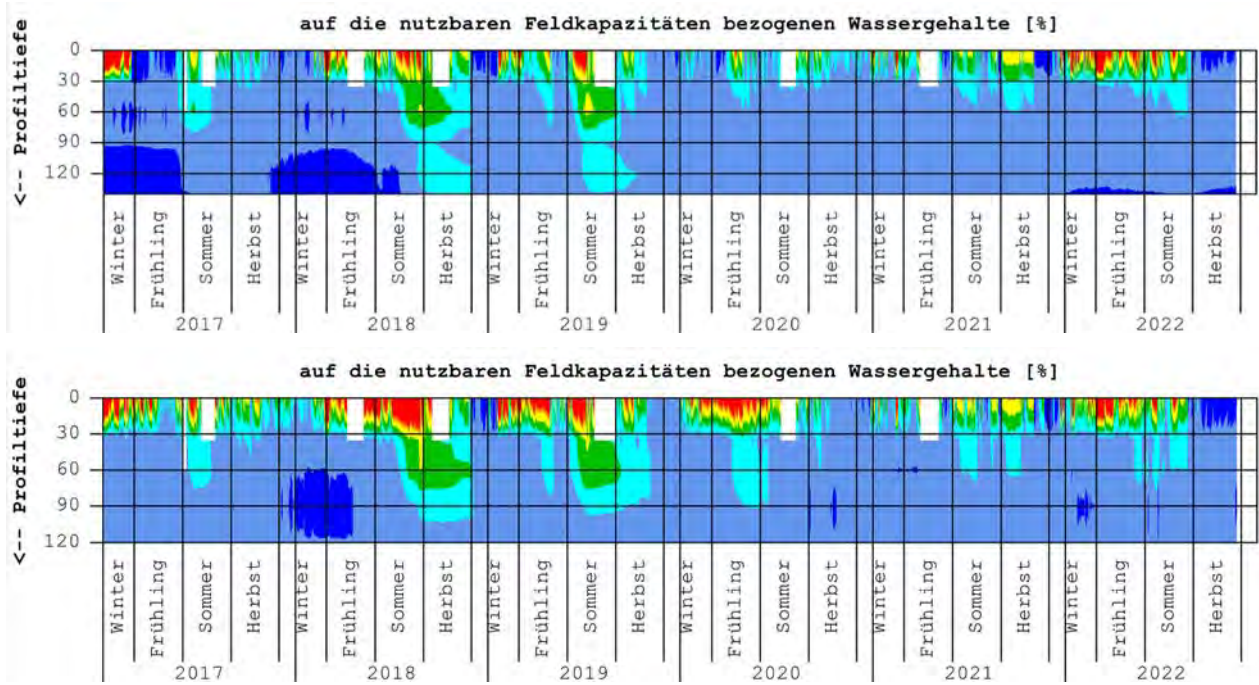


Abb. 6-20: Mehrjährige SWI Charts von 2017-2022 (dargestellte Wassergehalte: rot: <10%, orange: 10-20%, gelb: 20-40%, grün: 40-60%, hellblau: 60-80%, mittelblau: 80-100%, dunkelblau: >=100%) im Freilandprofil (oben) und im Lysimeter (unten)

7 Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Das hydrologische Jahr 2021/22 war ein insgesamt mitteltrockenes Jahr mit niederschlagsfreiem März und sehr nassem Juni. Die Lufttemperaturen lagen insgesamt im durchschnittlichen Bereich, wenn auch der April und der September vergleichsweise kühl waren. Die klimatischen Verhältnisse hatten unterschiedliche Auswirkungen auf die verschiedenen Kulturen und das Auswaschungsgeschehen.

In Eberstanzel konnte wie auch bereits in mehreren Jahren zuvor beobachtet werden, dass die größten Nitratauswaschungen bei Körnermais im Juni auftreten. Also zu einem Zeitpunkt, wo im Boden viel Stickstoff nach den Düngungen vorhanden ist und gleichzeitig die Niederschläge hoch sind, die Vegetation aber noch nicht ausreichend entwickelt ist, um das Wasser und den Stickstoff vollständig aufzunehmen. Insgesamt lag die Nitratauswaschung aber unter dem Durchschnitt der letzten Jahre.

In Pettenbach wurde ein Düngerversuch bei Winterweizen durchgeführt. In zwei Varianten wurde in Summe die gleiche Stickstoffmenge ausgebracht, jedoch in einem Fall hauptsächlich durch Biogasgülle und in dem anderen Fall hauptsächlich durch Mineraldünger. Es wurden aber in beiden Fällen beide Düngerarten ausgebracht. In zwei Kontrollvarianten wurde kein Dünger ausgebracht. Erwartungsgemäß war der Ertrag bei den Nullvarianten um etwa 2 t/ha niedriger als bei den gedüngten. Der Ertrag der gedüngten Varianten unterschied sich nur minimal. Auch bei den N_{\min} Messungen im Boden war kein Unterschied feststellbar. Es ist davon auszugehen, dass erst bei mehrmaliger Anwendung über die Jahre Unterschiede erkennbar sind, da ein Teil des Stickstoffs in der Biogasgülle organisch gebunden ist und erst zu einem späteren Zeitpunkt wirksam wird. So scheint die Nitratauswaschung zuletzt etwas stärker anzusteigen, was eine Folge der Umstellung auf Wirtschaftsdünger vor einigen Jahren sein

könnte.

Die Austragsverluste sind in diesem Jahr mit 36 kg N/ha bei Winterweizen vergleichsweise hoch. Verantwortlich dafür sind vorwiegend die hohen Austragsmengen im April und September, wo ein vergleichsweise hoher Sickerwasseranfall beobachtet wurde.

In Pucking ist der Verlauf der Nitratauswaschung typisch für Jahre mit Körnermais und entspricht weitgehend den Beobachtungen der letzten Jahre auf diesem Standort. Der höchste Austrag erfolgte im Juni, wenn die starken Niederschläge den zur Verfügung stehenden Stickstoff auswaschen, was besonders auf leichten Böden schnell zum Problem werden kann. Ebenfalls beobachtet werden konnte, dass kurz vor der Ernte, die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser nochmals stark ansteigen. So lange der Mais oder auch eine andere (Sommer-)kultur noch am Acker steht, wird das Niederschlagswasser verwertet und die Sickerwassermenge bleibt gering. Zur und nach der Ernte findet jedoch keine Wasseraufnahme mehr statt. Die Sickerwassermenge steigt und damit auch der Nitrataustrag ins Grundwasser. Dieser Umstand konnte bereits des Öfteren in der Vergangenheit insbesondere bei Sommerkulturen wie Mais oder Soja beobachtet werden und weist darauf hin, dass eine rasche Begrünung nach der Ernte sinnvoll ist.

In Schwertberg wurde die niedrigste Auswaschung aller Standorte in diesem Jahr gemessen, was auch darauf zurückzuführen ist, dass Sojabohne ohne Düngemaßnahmen angebaut wurde. Trotzdem ist in den N_{\min} Messungen ersichtlich, dass im April bereits 125 kg N/ha im Boden vorhanden sind, obwohl der Anbau erst Ende April nach dem Einarbeiten der vorhergehenden Zwischenfrucht erfolgte. Der N_{\min} Gehalt im Boden ist daher das Ergebnis einer erfolgreichen Gründüngung. Die Düngewirkung eingearbeiteter Zwischenbegrünungen ist somit messbar und daher auch bei anderen Kulturen unbedingt zu berücksichtigen.

Bei der Phosphatauswaschung wurde beobachtet, dass die geringsten Verluste unter den beiden mittelgründigen Standorte in Schwertberg (mgSGg und mgSBu) gemessen wurden, gefolgt von Eberstälzell. Beim tiefgründigen Standort in Pettenbach und beim seichtgründigen Standort in Pucking wurden die höchsten Phosphatauswaschungen beobachtet. Im Verhältnis zu der bei der Düngung eingebrachten Phosphormenge war der ausgewaschene Anteil allerdings sehr gering.

8 Literatur

- BMLFUW (2017). Richtlinie für die Sachgerechte Düngung im Ackerbau und Grünland, 7. Auflage. BMLFUW Wien.
- Fank, J. (2004). Erfassung von Wasserbewegung und Stofftransport in der ungesättigten Zone durch tracer- und isopenhydrologische Untersuchungen. www.lysimeter.at 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.