



LAND

OBERÖSTERREICH

Forschungsprojekt Lysimeter

Technischer
Endbericht
2018

10

15

20

25

30

35

40

45

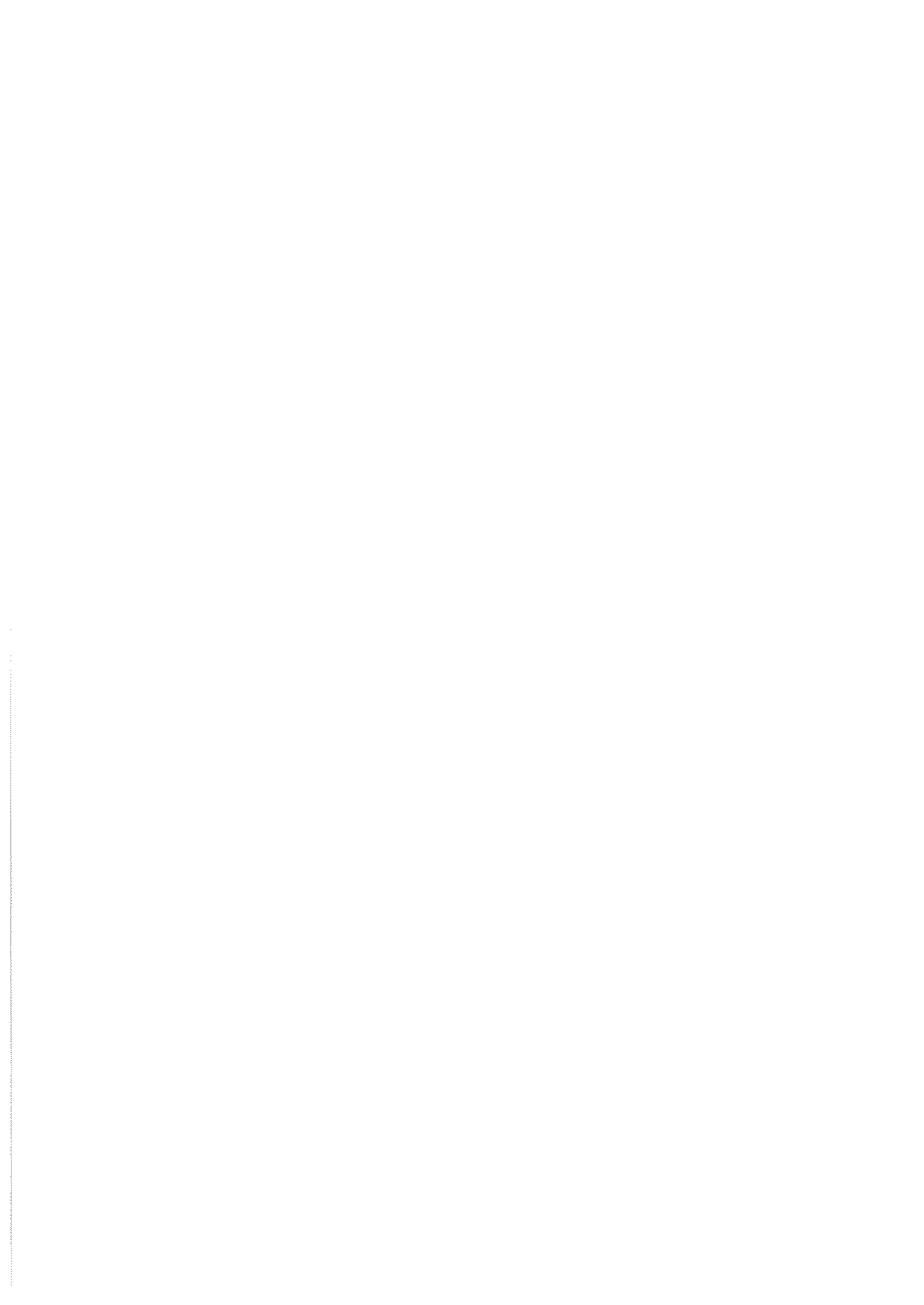
50



WW

Bundesamt
für Wasserwirtschaft

Bundesministerium
Nachhaltigkeit und Tourismus



Forschungsprojekt Lysimeter

Technischer Endbericht 2018

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: HR Dipl.-Ing. Karl Seltenhammer
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. Erwin Murer
Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt
Bundesamt für Wasserwirtschaft
3252 Petzenkirchen

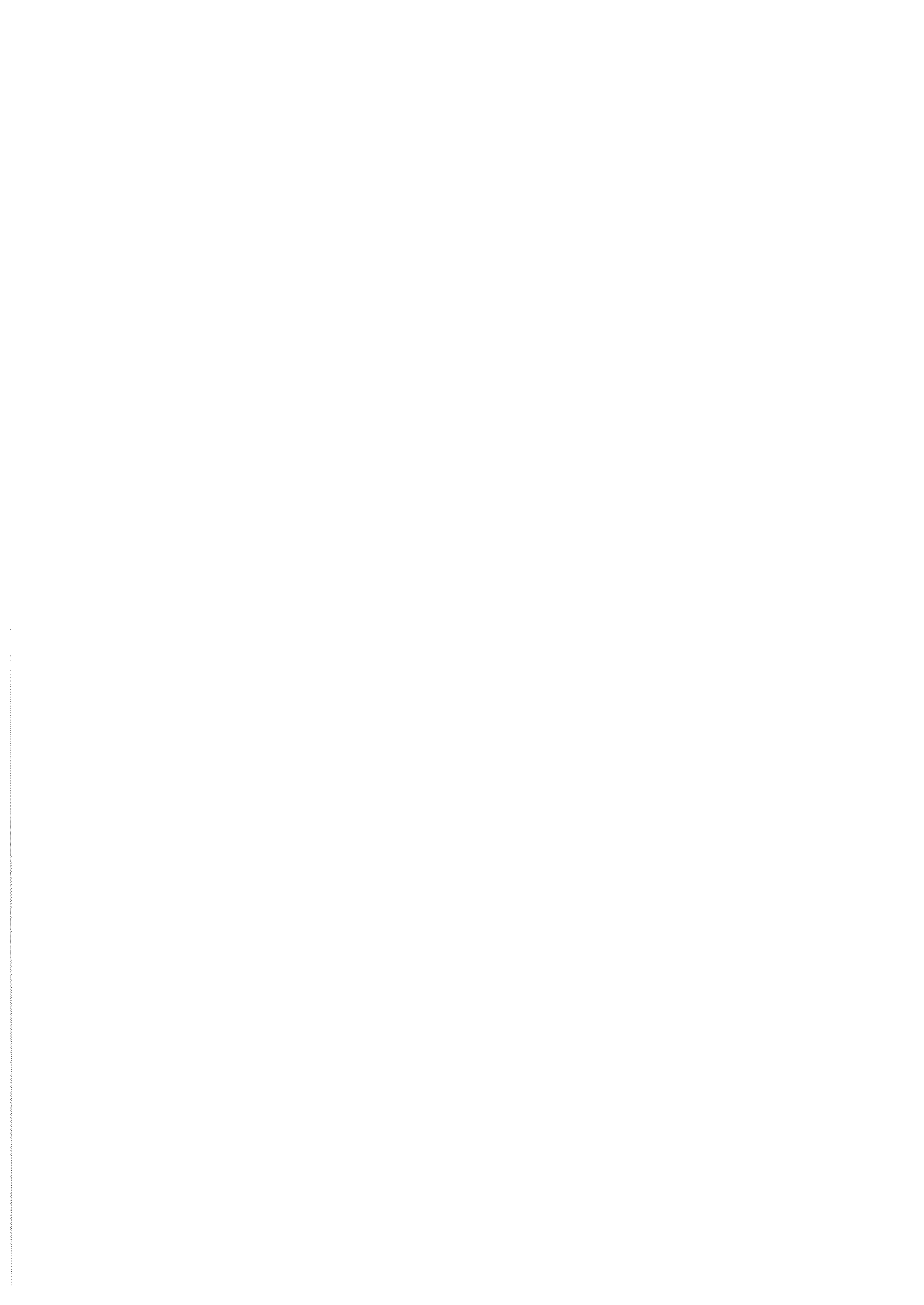
Grafik (Umschlag)

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

1. Auflage, März 2019

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

Copyright: Wasserwirtschaft



INHALTSVERZEICHNIS

1	Zusammenfassung	5
2	Vorgeschichte und Fragestellung	7
3	Methoden	9
3.1	Probenahme.....	9
3.2	Analytik.....	10
3.3	Bilanzierung	11
3.4	Berechnung der Auswaschung	11
4	Bewirtschaftung	12
5	Ergebnisse.....	14
5.1	Wirtschaftsdünger und Ernteproben.....	14
5.2	Stickstoffsalden	16
5.3	N _{min} -Gehalte im Boden	18
5.4	Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstalzell.....	21
5.4.1	Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung	21
5.4.2	Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser.....	22
5.5	Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach	24
5.5.1	Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung	24
5.5.2	Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser.....	25
5.6	Nitratauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking.....	27
5.6.1	Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung	27
5.6.2	Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser.....	28
5.7	Nitratauswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg	30
5.7.1	Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung	30
5.7.2	Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser.....	30
5.8	Vergleich der Nitratauswaschung bzw. Nitratkonzentration im Sickerwasser zwischen den Standorten ...	33
5.9	Einfluss des Stickstoffsaldos auf die Nitratverlagerung	36
5.10	Phosphorbilanzen.....	37
5.11	Phosphatauswaschung.....	38
6	Hydrographische Auswertung der UZ-Messstelle Pettenbach.....	42
6.1	Allgemeines	42
6.2	Hydrographische Messergebnisse	42
6.3	Grundwasserneubildung	43
6.4	Bodenwasserverhältnisse	45
7	Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen	48
8	Literatur	49

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

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

Abb. 1-1: N_{min} -Gehalte am tiefgründigen Standort in Eberstalzell 18

Abb. 1-2: N_{min} -Gehalte am tiefgründigen Standort in Pettenbach - Variante 1 (=Lysimeter) 18

Abb. 1-3: N_{min} -Gehalte am tiefgründigen Standort in Pettenbach - Variante 2 19

Abb. 1-4: N_{min} -Gehalte am tiefgründigen Standort in Pettenbach - Variante 3 19

Abb. 1-5: N_{min} -Gehalte am seichtgr. Standort in Pucking 19

Abb. 1-6: N_{min} -Gehalte am mittelgr. Standort in Schwertberg 19

Abb. 1-7: Bodentemperaturen am Standort Schwertberg 20

Abb. 1-8: Vergleich der N_{min} -Gehalte der Standorte seit September 2010 20

Abb. 1-9: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. EB) 21

Abb. 1-10: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2010 (tiefgr. EB) *Juli 2016 nicht gesamtes SW erfasst 21

Abb. 1-11: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. EB) 22

Abb. 1-12: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. EB); *Juli 2016 nicht gesamtes SW erfasst 22

Abb. 1-13: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (tiefgr. EB) 23

Abb. 1-14: Nitratauswaschung und N_{min} -Gehalte des Bodens (tiefgr. EB) 23

Abb. 1-15: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. PE) 24

Abb. 1-16: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2010 (tiefgr. PE) *von Mai – Okt. 2014, Mai bis Sept. 2016 und August 2017 nicht gesamtes Sickerwasser erfasst 24

Abb. 1-17: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. PE) 25

Abb. 1-18: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. PE) *von Mai – Okt. 2014, Mai bis Sept. 2016 und August 2017 nicht gesamtes Sickerwasser erfasst 25

Abb. 1-19: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (tiefgr. PE) 26

Abb. 1-20: Nitratauswaschung und N_{min} -Gehalte des Bodens (tiefgr. PE) 26

Abb. 1-21: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (seichtgr.) 27

Abb. 1-22: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2010 (seichtgründig) 27

Abb. 1-23: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig) 28

Abb. 1-24: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig) 28

Abb. 1-25: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (seichtgründig) 29

Abb. 1-26: Nitratauswaschung und N_{min} -Gehalte des Bodens (seichtgründig) 29

Abb. 1-27: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (mittelgründig) L5=gestört, L6=ungestört 30

Abb. 1-28: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (mittelgründig) L5=gestört 31

Abb. 1-29: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (mittelgründig) L6=ungestört 31

Abb. 1-30: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) L5=gestört 31

Abb. 1-31: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) L6=ungestört 31

Abb. 1-32: N_{min} -Gehalt des Bodens (ab April 2017) und Nitratauswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) L5=gestört 32

Abb. 1-33: N_{min} -Gehalt des Bodens (ab April 2017) und Nitratauswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) L6=ungestört 32

Abb. 1-34: Monatliche Niederschlagssummen 33

Abb. 1-35: Monatliche Sickerwassermengen	33
Abb. 1-36: Durchschnittliche monatliche Nitratkonzentrationen.....	34
Abb. 1-37: Monatliche Nitrat Auswaschung	35
Abb. 1-38: Summe der als Nitrat ausgewaschenen Stickstoffmenge an den vier Standorten	35
Abb. 1-39: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Eberstalzell	36
Abb. 1-40: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Pettenbach.....	36
Abb. 1-41: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Pucking	36
Abb. 1-42: Monatliche Phosphatauswaschung.....	38
Abb. 1-43: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstalzell	38
Abb. 1-44: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach.....	39
Abb. 1-45: Phosphatauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking	39
Abb. 1-46: Phosphatauswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg (gestörter Bodenaufbau)	40
Abb. 1-47: Phosphatauswaschung mittelgründigen Standort in Schwertberg (ungestörter Bodenaufbau).....	40
Abb. 1-48: Summe der ausgewaschenen P_2O_5 Menge	41
Abb. 6-1: Niederschlags-Jahressummenlinien 2017 (blau) und 2018 (rot) in Pettenbach.....	42
Abb. 6-2: Niederschlags-Jahressummenlinien 2017 (blau) und 2018 (rot) in Vorchdorf	42
Abb. 6-3: Niederschlags-Monatssummenlinien 2017 (blau) und 2018 (rot) in Pettenbach	43
Abb. 6-4: Lufttemperatur-Jahressummenlinie 2017 (blau) und 2018 (rot) in Pettenbach	43
Abb. 6-5: Lufttemperatur-Monatsmittel 2017 (blau) und 2018 (rot) in Pettenbach.....	43
Abb. 6-6: Globalstrahlungs-Wochenmittel 2017 (blau) und 2018 (rot) der Station Pettenbach.....	43
Abb. 6-7: Luftfeuchte-Wochenmittel 2017 (blau) und 2018 (rot)	43
Abb. 6-8: Grundwasserneubildungs-Jahressummenlinien in Pucking 2017 (blau) und 2018 (rot).....	44
Abb. 6-9: Grundwasserneubildungs-Jahressummenlinien in Eberstalzell 2017 (blau) und 2018 (rot).....	44
Abb. 6-10: Grundwasserneubildungs-Jahressummenlinien in Pettenbach 2017 (blau) und 2018 (rot)	44
Abb. 6-11: berechnete Grundwasserneubildungs-Jahressummenlinien in Pettenbach 2017 (blau) und 2018 (rot)	44
Abb. 6-12: Bilanzierte Verdunstungs-Monatssummen 2017 (blau) und 2018 (rot).....	45
Abb. 6-13: Oberboden-Temperaturen 2017 (blau) und 2018 (rot).....	45
Abb. 6-14: Unterboden-Temperaturen 2017 (blau) und 2018 (rot).....	45
Abb. 6-15: Oberbodensaugspannungen 2013 (grün), 2017 (blau) und 2018 (rot).....	46
Abb. 6-16: Unterbodensaugspannungen 2013 (grün), 2017 (blau) und 2018 (rot).....	46
Abb. 6-17: SWI des durchwurzelten Bereiches im Freilandprofil (0-40cm) 2013 (grün), 2017 (blau) und 2018 (rot).....	46
Abb. 6-18: SWI unterhalb der Durchwurzelungstiefe im Freilandprofil (40-150cm) 2013 (grün), 2017 (blau) und 2018 (rot)	46
Abb. 6-19: SWI unterhalb der Durchwurzelungstiefe im Freilandprofil (40-130cm) 2013 (grün), 2017 (blau) und 2018 (rot)	46
Abb. 6-20: SWI des durchwurzelten Bereiches im Lysimeter (0-40cm) 2013 (grün), 2017 (blau) und 2018 (rot) ...	47
Abb. 6-21: SWI unterhalb der Durchwurzelungstiefe im Lysimeter (40-130cm) 2013 (grün), 2017 (blau) und 2018 (rot)	47

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 3-1: Tätigkeiten BAW (IKT)	9
Tab. 3-2: Analysenprogramm	10
Tab. 4-1: Bewirtschaftungsmaßnahmen 2017/2018 (nach Angaben der Bewirtschafter)	12
Tab. 5-1: Erntemengen und Analysenergebnisse der Ernteproben	15
Tab. 5-2: Stickstoffsalden (jahreswirksam) für das Erntejahr 2018	17
Tab. 5-3: Stickstoffsaldo (feldfallend) für das Erntejahr 2018	17
Tab. 5-4: Sickerwassermengen und durchschnittliche Nitratkonzentration vom 01.11.17 bis 31.10.18	33
Tab. 5-5: Phosphorbilanzen für das Erntejahr 2018	37
Tab. 5-6: Sickerwasser, P ₂ O ₅ -Verluste und mittlere PO ₄ -Konzentration im Sickerwasser vom 01.11.17 bis 31.10.18	41

1 Zusammenfassung

Seit 1995 werden an drei Standorten in Oberösterreich (Pettenbach, Eberstalzell und Pucking) Freiland-lysimeter betrieben. In Schwertberg werden seit 2002 zwei weitere Lysimeter betrieben 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 2017/18 dar und vergleicht diese mit den Messreihen der Vorjahre.

Zwei der Lysimeter befinden sich an tiefgründigen Standorten, einer an einem seichtgründigen Standort und einer an einem mittelgründigen Standort. Einer der tiefgründigen Standorte wird seit 2014 nicht mehr (wie zuvor) ausschließlich mit Mineraldünger, sondern auch mit Puten- und Pferdemist oder Biogasgülle gedüngt, der andere wie auch bereits in den vergangenen Jahren mit Schweinegülle. 2018 war auf allen Standorten mit Ausnahme von Schwertberg Körnermais angebaut. In Schwertberg war es ebenfalls eine Sommerkultur, nämlich Sojabohne.

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 2017/18 sind folgend zusammengefasst:

In Jahren, in denen nach Umbruch einer Begrünung Sommerungen angebaut werden, kommt es regelmäßig zu einem Anstieg des mineralischen Stickstoffs im Boden während des Frühjahrs. So auch im Jahr 2018,

wo am seicht- und mittelgründigen Standort bereits im April hohe Werte feststellbar waren, an den tiefgründigen Standorten im Juni. Die Werte des Jahres 2018 zählen zu den höchsten in der mehrjährigen Messreihe. Die hohen N_{\min} Gehalte führten zwar zu einem merklichen Anstieg der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser, allerdings blieb die ausgewaschene Stickstoffmenge im Jahr 2018 vergleichsweise gering, da nur wenig Sickerwasser anfiel.

Lediglich an den tiefgründigen Standorten, und hier insbesondere am südlicher gelegenen in Pettenbach, traten zum Zeitpunkt der hohen N_{\min} Gehalte nennenswerte Sickerwassermengen auf, da dort im Juni höhere Niederschläge als auf den anderen Standorten zu verzeichnen waren. Nur in Pettenbach war daher das für Jahre mit Sommerungen typische Maximum der Nitratauswaschung im Juni und Juli deutlich ausgeprägt. Ein Maximum war auch in Eberstalzell feststellbar, aber in schwächerer Form.

Die Körnermaiserträge entsprachen an den tiefgründigen Standorten einer hohen Ertragslage (hoch 2 und hoch 3). Die besonders warmen, trockenen Bedingungen des Jahres 2018 stellten auf diesen Standorten somit keinen Nachteil für die Ertragsbildung dar, da im Unterboden über die gesamte Vegetationsdauer ausreichend Wasser zur Verfügung stand. Anders am seichtgründigen Standort. Der dort erzielte Maisertrag entsprach auf Grund der Trockenheit im Jahr 2018 nur einer niedrigen Ertragslage. Am mittelgründigen Standort wurde mit Soja ein Ertrag auf dem Niveau einer mittleren Ertragslage erzielt. Die Stickstoffsalden der Maisfelder waren dementsprechend an den tiefgründigen Standorten für den jahreswirksamen Stickstoff weitgehend ausgeglichen, am seichtgründigen Standort deutlich positiv. Für einen langjährigen Vergleich von Stickstoffsaldo und Auswaschung ist allerdings der feldfallende Stickstoff zur Berechnung heranzuziehen.

Die Reihung der Standorte entsprechend ihrer Phosphatauswaschung hängen mit der Gründigkeit der Böden zusammen. So treten die geringsten Phosphorverluste auf den tiefgründigen Standorten in Eberstalzell und Pettenbach auf, gefolgt von Schwertberg (mittelgründig) und Pucking (seichtgründig). Im Verhältnis zu der bei der Düngung eingebrachten Phosphormenge war der ausgewaschene Anteil sehr gering.

2 Vorgeschichte und Fragestellung

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



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

Abb. 2-1: Lage der Lysimeter

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

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

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

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

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

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

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

3 Methoden

3.1 Probenahme

Von Anfang September 2001 bis Ende Dezember 2018 erfolgte auf den Lysimeterstandorten eine Be-
probung des Sickerwassers, das mittels Feldlysimeter
mit Freiauslauf und zwei Saugkerzen (Kontrollstellen)
gewonnen wurde. Die Einbautiefe der Lysimeter und
der Kontrollstellen war 1,5 m. Die Proben wurden,
sofern Sickerwasser anfiel, wöchentlich gewonnen
und bis zur Analyse tiefgefroren. Die technische Be-
treuung der Lysimeteranlagen in Eberstalzell, Petten-
bach und Pucking während des Berichtszeitraums
erfolgte durch Mitarbeiter des Instituts für Kulturtech-
nik und Bodenwasserhaushalt der Bundesanstalt für
Wasserwirtschaft (Tab. 3-1). Die Analysen des Sicker-
wassers wurden vom Landeslabor OÖ durchgeführt.

Tab. 3-1: Tätigkeiten BAW (IKT)

Datum	Tätigkeit
07.02.2018	Bei L1 und L4 wurden die Daten von den Freiauslaufwippen ausgelesen. Salzzugabe bei L3 Pluvio um ca. 10:50 alle Messstellen (L1, L3 und L4) und Wetterstation wurden kontrolliert
09.04.2018	Bei L1 und L3 wurde der Aufsatzring gezogen und die Messfühler ausgebaut und im Rohr versenkt Bei L1 und L4 wurden die Daten der Freiauslaufwippen ausgelesen alle Messstellen (L1, L3 und L4) und Wetterstation wurden kontrolliert
09.05.2018	Bei L1 und L3 wurde der Aufsatzring eingebaut (Mais ca. 10 cm hoch) Bei L3 wurden die obersten Messfühler eingebaut L1, L3 und Wetterstation wurden kontrolliert
17.05.2018	Bei L4 wurde der Aufsatzring eingebaut (Mais ca. 15 cm hoch)

Datum	Tätigkeit
	bei L4 wurden neue Regale montiert (alte Regale waren bereits morsch) bei allen Lysimetern inkl. Wetterstation wurde gemäht, sowie kontrolliert
19.06.2018	Bei L1 und L4 wurden die Sickerwasserwippen ausgelesen bei allen Lysimetern inkl. Wetterstation wurde gemäht Bei L3 wurde ein neuer Gipsblockfühler in 10 cm eingebaut alle Messstellen (L1, L3 und L4) und Wetterstation wurden kontrolliert
17.09.2018	Bei L1 und L3 wurde der Aufsatzring gezogen bei allen Lysimetern inkl. Wetterstation wurde gemäht alle Messstellen (L1, L3 und L4) und Wetterstation wurden kontrolliert
19.10.2018	Bei L1 und L3 wurde der Aufsatzring eingebaut (Winterweizen angekeimt, aber noch nicht an Oberfläche sichtbar)
23.10.2018	Bei Lysimeter 4 wurde der Aufsatzring eingebaut (Winterweizen ca. 5 cm hoch)
08.11.2018	Bei L1 und L4 wurden die Sickerwasserwippen ausgelesen L1 wurde mit einem neuen Vorhangschloss versehen Um die L1 und 3 wurden Winterweizenpflanzen nachgesetzt alle Messstellen (L1, L3 und L4) und Wetterstation wurden kontrolliert (Pluvio Salzzugabe)

Am Lysimeterstandort in Schwertberg erfolgt die Probenahme des Sickerwassers ebenfalls im Wochenrhythmus. Zusätzlich werden Niederschlag, Temperatur und der Witterungsverlauf dokumentiert. Die Wartung der Anlagen übernimmt der Landwirt selbst.

Sechsmal pro Jahr wurden von wpa Bodenproben aus den Tiefenstufen 0-30, 30-60 und 60-90 cm der beiden tiefgründigen Standorte entnommen. Vom seichtgründigen Boden konnten ab 40 cm Tiefe keine Bodenproben mehr genommen werden, da ab dieser Tiefe der Grobanteil dominiert. Am mittelgründigen Standort wurden zeitgleich Proben ab April 2017 genommen. Unmittelbar anschließend an die Probenahme wurden die Proben gekühlt ins Labor transportiert.

An jedem Lysimeterstandort wurde jeweils der gesamte Aufwuchs direkt über dem Lysimeter und an zwei weiteren zufällig ausgewählten Stellen (Kontrollstandorten) am Feld geerntet. Jede Probenahmestelle hatte eine Fläche von 1 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	ÖNORM L1091
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 2018. Zur Berechnung der N- und P-Entzüge wurden die Korn- und Strohgewichte auf 1 ha hochgerechnet und mit den analysierten N- und P-Gehalten multipliziert. Die Berechnung wurde sowohl für die Mittelwerte der beprobten Teilflächen (Lysimeter- und Kontrollflächen) als auch nur für die Lysimeterflächen durchgeführt.

Für N-Einträge durch Wirtschaftsdünger wurde rechnerisch ein Abschlag für gasförmige Verluste aufgrund der Ausbringung bei Gülle und Jauche im Ausmaß von 13% und bei Stallmist 9% berücksichtigt. Zusätzlich wurde eine Jahreswirksamkeit von 80% bei Schweinegülle und 50% bei Stallmist veranschlagt (Richtlinien für die sachgerechte Düngung 7. Aufl., Baumgarten, 2006). Die atmosphärische Deposition und Stickstoffverluste durch Denitrifikation blieben unberücksichtigt.

3.4 Berechnung der Auswaschung

In die Berechnung der Nitratauswaschung und der Sickerwasserkonzentration ging jeweils der Mittelwert der Konzentrationen vom Lysimeter und den Kontrollmessstellen ein. Phosphat wurde nur an den Proben aus den Lysimetern analysiert.

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

war eine solche Überbrückung Anfang des Jahres 2018 am Lysimeter in Pettenbach erforderlich.

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

4 Bewirtschaftung

Auf allen vier Standorten wird eine konventionelle Bewirtschaftungsweise durchgeführt. Die Hauptkultur des Jahres 2018 war auf den Standorten in Pettenbach, Pucking und Eberstanzell Körnermais, in Schwertberg Sojabohne. Die einzelnen Bewirtschaftungsmaßnahmen sind in Tab. 4-1 angeführt. Die Summe der N-Düngung betrug am tiefgründigen Standort in Eberstanzell demnach 196 kg N/ha (jahreswirksam) und am seichtgründigen Standort in Pucking 152 kg N/ha. Am tiefgründigen Standort in Pettenbach wurde vom Landwirt ein Düngeversuch mit 3 Varianten angelegt. Die Planung des Versuchs erfolgte auf Basis einer Berechnung der N-Gehalte im Putenmist gem. Richtlinien für die sachgerechte Düngung. Die nachträglich vorgenommene Analyse des Wirtschaftsdüngers ergab jedoch höhere N-Gehalte. Bei Variante 1 wurde daher in Summe 204 kg N/ha (jah-

reswirksam) ausgebracht, bei Variante 2 insgesamt 172 kg N/ha (jahreswirksam) und bei Variante 3 287 kg N/ha (jahreswirksam). Die Lysimeteranlage befand sich innerhalb der Variante 1. Am Standort in Schwertberg wurde kein N-Dünger ausgebracht. Die Phosphordüngermengen betragen in Eberstanzell 190 kg P₂O₅/ha, in Pettenbach 147 kg P₂O₅/ha bei Variante 1 und 2 bzw. 290 kg P₂O₅/ha bei Variante 3, in Pucking 61 kg P₂O₅/ha und in Schwertberg 40 kg P₂O₅/ha.

Bezüglich der Stickstoffdüngung entspricht das Düngenniveau in Eberstanzell und in Pettenbach (Variante 1) einer sehr hohen Ertragslage (hoch 3) und in Pucking einer hohen Ertragslage (hoch 1). In Schwertberg wurde aufgrund des Sojaanbaus kein Dünger ausgebracht (RL für die sachgerechte Düngung, 7. Aufl., Baumgarten, 2017).

Tab. 4-1: Bewirtschaftungsmaßnahmen 2017/2018 (nach Angaben der Bewirtschafter)

Datum	Tiefgr. Eberstanzell	Tiefgr. Pettenbach	Seichtgr. Pucking	Mittelgr. Schwertberg
27.06.2017			Ernte Wintergerste	
06.07.2017		Ernte Wintergerste		
09.07.2017				Ernte Triticale
20.07.2017	Ernte Sommergerste	Anbau Zwischenfrucht (Wassergüte fein)		
06.08.2017	Anbau Zwischenfrucht; Grubbern		Anbau Zwischenfrucht	
15.08.2017				Anbau Zwischenfrucht; gestört: 80% Senfanteil ungestört: 80% Kleeanteil
16.08.2017	Düngung 15 m ³ Schweinegülle			
25.02.2018				Häckseln Zwischenfrucht
26.03.2018				Düngung 335 kg DC 45 neu

Datum	Tiefgr. Eberstalzell	Tiefgr. Pettenbach	Seichtgr. Pucking	Mittelgr. Schwertberg
08.04.2018				Anbau Sojabohne
09.04.2018		Düngung Putenmist Variante 1: 40 m ³ Variante 2: 40 m ³ Variante 3: 79 m ³		
12.04.2018			Umbruch Zwischenfrucht	
16.04.2018			Düngung 410 kg Linzer Pro	
18.04.2018	Düngung 35 m ³ Schweinegülle			
20.04.2018		Anbau Körnermais	Anbau Körnermais	
22.04.2018	Anbau Körnermais; Düngung 160 kg DAP			
08.05.2018		Düngung Variante 1: 219 kg NAC Variante 2: 100 kg NAC Variante 3: keine		
12.05.2018	Düngung 150 kg NAC			
15.05.2018			Düngung 350 kg NAC	
17.08.2018				Ernte Sojabohne (2,5 t bei 11,8%)
22.08.2018			Ernte Körnermais (5 t bei 14%)	
21.09.2018	Ernte Körnermais (15 t bei 22,5%)			
30.09.2018			Aussaat Winterweizen	
08.10.2018		Ernte Körnermais (13,7 t bei 23,4%)		
12.10.2018	Düngung 21 m ³ Schweinegülle	Aussaat Winterweizen		
13.10.2018	Anbau Winterweizen			

5 Ergebnisse

5.1 Wirtschaftsdünger und Ernteproben

Am Betrieb in Eberstalzell wurde im August 2017 auf die angebaute Begrünung sowie im April 2018 vor dem Anbau Schweinegülle ausgebracht. Der Ammoniumstickstoffgehalt im August 2017 betrug $4,0 \text{ kg/m}^3$ und der Gesamtstickstoffgehalt $4,6 \text{ kg/m}^3$. Umgerechnet auf jahreswirksamen Stickstoff ergibt das $3,2 \text{ kg/m}^3$. Der P_2O_5 - Gehalt betrug $2,1 \text{ kg/m}^3$. Im April 2018 hatte die Schweinegülle einen Ammoniumstickstoffgehalt von $3,1 \text{ kg/m}^3$ und einen Gesamtstickstoffgehalt von $3,3 \text{ kg/m}^3$. Umgerechnet auf jahreswirksamen Stickstoff ergibt das $2,2 \text{ kg/m}^3$. Der P_2O_5 - Gehalt betrug $1,5 \text{ kg/m}^3$.

Der im April 2018 ausgebrachte Putenmist in Pettenbach hatte einen Ammoniumstickstoffgehalt von $0,8 \text{ kg/m}^3$ und einen Gesamtstickstoffgehalt von $7,7 \text{ kg/m}^3$. Umgerechnet auf jahreswirksamen Stickstoff ergibt das $3,6 \text{ kg/m}^3$. Der P_2O_5 - Gehalt betrug $7,0 \text{ kg/m}^3$.

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 bei allen Standorten etwas höher als der Durchschnitt aus Lysimeterfläche und Kontrollstellen war.

Umgerechnet auf Standardfeuchte wurden im Durchschnitt aller beprobten Stellen eines Standorts am tiefgründigen Standort in Eberstalzell $17,6 \text{ t/ha}$ Körnermais geerntet, am tiefgründigen Standort in Pettenbach $19,2 \text{ t/ha}$ und am seichtgründigen Standort $9,0 \text{ t}$. Insbesondere auf den beiden tiefgründigen Standorten erscheint eine Erntemenge von über 17 t im Vergleich zu den Angaben der Landwirte nicht repräsentativ zu sein. Entsprechend deren Angaben wurden nach Umrechnung auf Standardfeuchte $13,6 \text{ t/ha}$ Körnermais am Standort in Eberstalzell geerntet, dies entspricht einer hohen Ertragslage (hoch 3; gem. den RL für die sachgerechte Düngung, 7. Auflage). In Pettenbach wurden $12,0 \text{ t/ha}$ geerntet, dies entspricht der Ertragslage hoch 2. In Pucking belief sich die Erntemenge auf $5,0 \text{ t/ha}$ (niedrige Ertragslage). In Schwertberg konnte aufgrund des unerwartet frühen Erntetermins keine Probenahme des Ernteguts organisiert werden, weshalb nur die Kornmengenangabe des Landwirts ($2,5 \text{ t/ha}$ Sojabohne, mittlere Ertragslage) zur Verfügung steht. Vom Stroh konnten keine Proben entnommen und analysiert werden. Zur Berechnung der Stickstoffsalden (Kap. 5.2) wurden die Durchschnittserträge der beprobten Stellen auf die von den Landwirten ermittelten Erntemengen korrigiert und der Ertrag am Lysimeter um denselben Differenzbetrag korrigiert.

Tab. 5-1: Erntemengen und Analysenergebnisse der Ernteproben

Probe	Erntemenge (g TS/m ²)	Trockenmasse (%)	N _{gesamt} (g/kg TS)	P ₂ O ₅ (g/kg TS)
Tiefgr. EB- Lys Korn	1979	88%	19,6	8,2
Tiefgr. EB- MW Korn	1542	89%	17,3	7,9
Tiefgr. EB- Lys Stroh	3412	91%	8,8	3,7
Tiefgr. EB- MW Stroh	2636	91%	6,0	2,4
Tiefgr. PE - Lys Korn	1872	87%	16,8	3,5
Tiefgr. PE - MW Korn V1	1520	90%	15,7	9,2
Tiefgr. PE - MW Korn V2	1558	90%	14,6	8,9
Tiefgr. PE - MW Korn V3	1786	90%	15,6	9,2
Tiefgr. PE - Lys Stroh	1970	48%	10,8	1,5
Tiefgr. PE - MW Stroh V1	1557	91%	3,2	1,1
Tiefgr. PE - MW Stroh V2	1569	91%	3,1	1,1
Tiefgr. PE - MW Stroh V3	1796	91%	3,2	0,9
Seichtgr. - Lys Korn	843	88%	18,2	3,1
Seichtgr. - MW Korn	790	90%	22,4	3,2
Seichtgr. - Lys Stroh	753	92%	10,0	2,0
Seichtgr. - MW Stroh	828	94%	9,2	1,7
Mittelgr. SB - Lys Korn	192	76%	18,2	3,1
Mittelgr. SB - MW Korn	64	25%	n.a	n.a
Mittelgr. SB - Lys Stroh	Keine Probe	Keine Probe	Keine Probe	Keine Probe
Mittelgr. SB - MW Stroh	Keine Probe	Keine Probe	Keine Probe	Keine Probe

Probenbezeichnung: Lys = Probe über Lysimeter, MW = Mittelwert aller Ernteproben am Feld, n.a. = nicht analysiert

5.2 Stickstoffsalden

Eine Gegenüberstellung der Stickstoffentzüge mit dem N-Düngeaufwand (jahreswirksam) ergibt für alle Standorte mit Ausnahme von Pucking einen weitgehend ausgeglichenen Stickstoffsaldo. In Eberstanzell treten aufgrund der außergewöhnlich hohen Entzüge negative Salden von -91 (Lysimeter) bzw. -5 kg N/ha (Mittelwert) auf, während in Pettenbach der Saldo mit 9 bzw. 3 kg N/ha praktisch ausgeglichen ist. In Pucking sind positive Salden im Bereich von 60-72 kg N/ha zu verzeichnen. In Schwertberg liegt der Saldo unter null, da zur Sojabohne keine Düngung ausgebracht wurde und rechnerisch kein Betrag für die Stickstofffixierung angesetzt wurde. Die Stickstoffsalden bezogen auf jahreswirksamen Stickstoff und die einzelnen Bilanzglieder werden in Tab. 5-2 aufgelistet.

Da davon ausgegangen werden kann, dass der organische Anteil im Wirtschaftsdünger im Laufe der Jahre wirksam wird, werden in Tab. 5-3 zusätzlich die feldfallenden N-Düngemengen den Ernteentzügen gegenübergestellt. In Eberstanzell bleibt der Saldo am Lysimeter noch im negativen Bereich (-57 kg N/ha), im

Mittelwert ist der Saldo jedoch positiv (27 kg N/ha). Am Standort in Pettenbach ergibt sich durch die relativ große Menge Wirtschaftsdünger eine starke Erhöhung des Saldos auf ca. 200 kg N/ha. Auf den anderen Standorten wurde kein Wirtschaftsdünger ausgebracht, weshalb die Bilanzsalden für jahreswirksamen und feldfallenden Stickstoff ident sind.

Die Bilanzsalden für die Ernteabfuhr variieren zwischen den Lysimeterflächen und Vergleichsflächen bzw. den daraus gebildeten Mittelwerten auf allen Standorten vor allem auf Grund der Ertragsunterschiede. Der Unterschied bewegt sich bis auf den Standort Eberstanzell in einem geringen Bereich. Der Unterschied von knapp 90 kg N/ha auf diesem Standort ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass nach dem Einbau des Lysimeter-rings in diesem Bereich Maispflanzen nachgepflanzt wurden und dadurch ein vergleichsweise höherer Ertrag erzielt wurde. 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 gleich gerichtet ist. Kleinräumige Schwankungen der Ertragshöhe dürften daher eine größere Rolle spielen als systematische Abweichungen.

Tab. 5-2: Stickstoffsalden (jahreswirksam) für das Erntejahr 2018

	Tiefgr. Standort in Eberstanzell		Tiefgr. Standort in Pettenbach (Variante 1)		Seichtgr. Standort in Pucking		Mittelgr. Standort in Schwertberg	
	----- kg N/ha -----							
Stickstoffzufuhr aus Düngung jahreswirksam	196		204		152		0	
Entzug durch Pflanzen	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW
Entzug durch Korn	287	201	195	201	80	92	35	12
Entzug durch Stroh	222	124	132	57	39	40	-	-
Summe Entzug	509	325	327	258	119	132	unbek.	unbek.
Abfuhr durch Ernte	287	201	195	201	80	92	35	12
Saldo Korn	-91	-5	9	3	72	60	-35	-12
Saldo Korn + Stroh	-313	-130	-123	-54	33	20	unbek.	unbek.
Saldo Ernte	-91	-5	9	3	72	60	-35	-12

Tab. 5-3: Stickstoffsaldo (feldfallend) für das Erntejahr 2018

	Tiefgr. Standort in Eberstanzell		Tiefgr. Standort in Pettenbach (Variante1)		Seichtgr. Standort in Pucking		Mittelgr. Standort in Schwertberg	
	----- kg N/ha -----							
Stickstoffzufuhr aus Düngung feldfallend	228		337		152		0	
Entzug durch Pflanzen	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW
Entzug durch Korn	287	201	195	201	80	92	35	12
Entzug durch das Stroh	222	124	132	57	39	40	-	-
Summe Entzug	509	325	327	258	119	132	unbek.	unbek.
Abfuhr durch Ernte	287	201	195	201	80	92	35	12
Saldo Korn	-59	27	142	136	72	60	-35	-12
Saldo Korn + Stroh	-281	-97	10	79	33	20	unbek.	unbek.
Saldo Ernte	-59	27	195	201	72	60	-35	-12

5.3 N_{min}-Gehalte im Boden

Die N_{min}-Gehalte (Nitrat + Ammonium) im Boden zeigen auf den fünf Standorten einen Zusammenhang mit den Düngemaßnahmen (Tab. 4-1), dem zeitlichen Verlauf der Stickstoffaufnahme der Kulturen sowie der Temperaturentwicklung (Abb. 6-13, Abb. 6-14), die sich auf die Stickstoffmineralisierung im Boden auswirkt. Auf allen Standorten wurden Sommerkulturen (Körnermais und Sojabohne) angebaut, welche unterschiedlich hoch gedüngt wurden, weshalb zwar Ähnlichkeiten zwischen den Standorten erkennbar sind, die Höhe der Messwerte sich jedoch unterscheidet.

Am tiefgründigen Standort in Eberstalzell waren die N_{min} Gehalte während des Winters 2017/18 eher moderat und lagen jeweils unter 60 kg N/ha. Die im August 2017 ausgebrachte Schweinegülledüngung zum Zwischenfruchtanbau beeinflusste den N_{min} Gehalt kaum. Nach der Messung im April und kurz vor dem Maisanbau erfolgte eine weitere Düngung mit Schweingülle. Der folgende Anstieg auf 346 kg N/ha im Juni aber auch auf die Stickstoffmineralisierung bei überdurchschnittlichen Bodentemperaturen ohne nennenswerte Entzüge bis zu diesem Zeitpunkt zurückzuführen. Im weiteren Jahresverlauf ist durch die Nährstoffaufnahme der Pflanzen ein kontinuierlicher Rückgang zu beobachten. Der N_{min} Gehalt bleibt aber bis Dezember auf über 80 kgN/ha (Abb. 5-1).

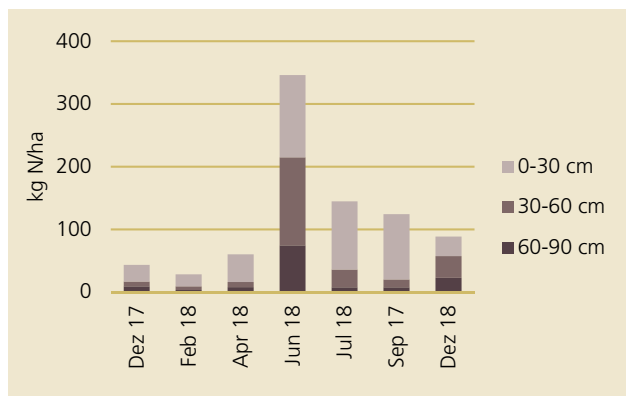


Abb. 5-1: N_{min}-Gehalte am tiefgründigen Standort in Eberstalzell

Am tiefgründigen Standort in Pettenbach wurde nach Wintergerste im Vorjahr und einer darauffolgenden Winterbegrünung ebenfalls Körnermais angebaut. Der Landwirt legte auf der Schlagfläche des Lysimeters einen Düngerversuch mit 3 Varianten an, wobei die Düngemenge und die Anzahl der Düngegaben variierten. Bis zur N_{min} Messung im April wurde die Bewirtschaftung auf allen 3 Varianten gleich geführt und die Messergebnisse sind vergleichbar mit jenen in Eberstalzell. Danach erfolgten eine Putenmistgabe und der Maisanbau sowie bei den Varianten 1 und 2 eine weitere Düngung mit Mineraldünger im Mai. Daraufhin stiegen die N_{min} Gehalte im Juni aufgrund der starken Mineralisierung bei überdurchschnittlich Bodentemperaturen und noch fehlender N-Aufnahme durch die Pflanzen in die Höhe und erreichten je nach Variante bei 870 bis 1.043 kg N/ha (Abb. 5-2 bis Abb. 5-4). Bis zum Juni ist bei allen Varianten zwar ein starker Rückgang zu verzeichnen, der N_{min} Gehalt blieb jedoch trotzdem bei ca. 250 kg N/ha. Es folgte eine weitere Abnahme bis Dezember mit Ausnahme der Variante 3, wo die Düngung ausschließlich durch Wirtschaftsdünger erfolgte. Dort ist ein weiterer Anstieg im September zu beobachten. Im Dezember lag der N_{min} Gehalt zwar am niedrigsten seit April, die Werte sind mit 124 kg N/ha aber noch immer sehr hoch.

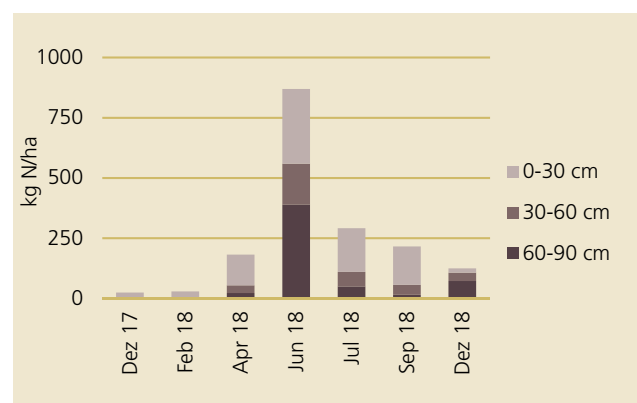


Abb. 5-2: N_{min}-Gehalte am tiefgründigen Standort in Pettenbach - Variante 1 (=Lysimeter)

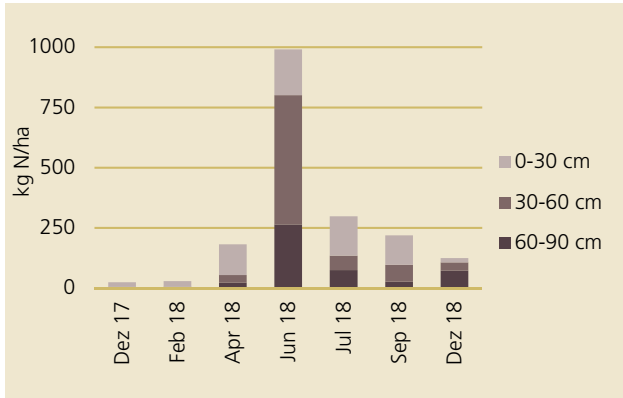


Abb. 5-3: N_{min} -Gehalte am tiefgründigen Standort in Pettenbach - Variante 2

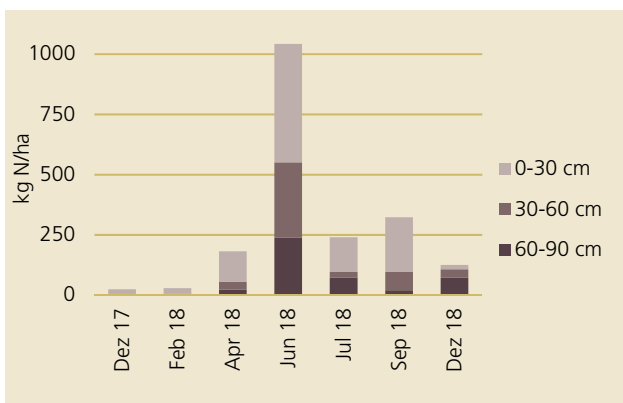


Abb. 5-4: N_{min} -Gehalte am tiefgründigen Standort in Pettenbach - Variante 3

Am seichtgründigen Standort in Pucking erfolgte ebenfalls nach der Wintergerste im Vorjahr und einer nachfolgenden (leguminosenhaltigen) Winterbegrünung der Anbau von Körnermais. Der N_{min} -Gehalt während des Winters ist vergleichbar mit den anderen Standorten. Nach dem Umbruch der Zwischenfrucht erfolgte eine Mineraldüngergabe und der Körnermaisbau. Der folgende Anstieg des N_{min} Gehalts auf ca. 200 kg N/ha ist wahrscheinlich auch hier auf überdurchschnittliche Bodentemperaturen zurückzuführen, die Erwärmung und die Stickstoffmineralisierung dürfte aber auf diesem Standort auf Grund seiner Lage und des leichten, seichtgründigen Bodens früher eingesetzt haben, als an den Standorten Eberstolz und Pettenbach (Abb. 5-5).

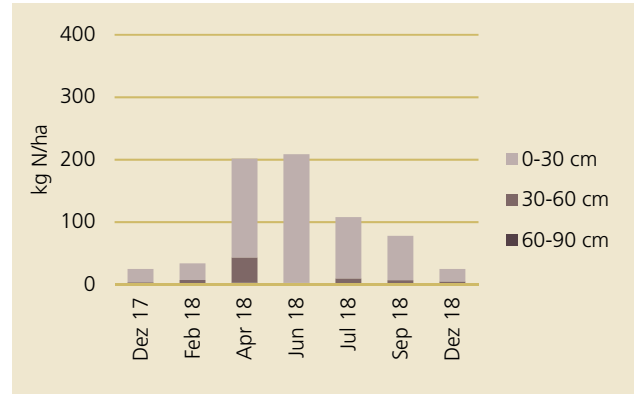


Abb. 5-5: N_{min} -Gehalte am seichtgr. Standort in Pucking

Am mittelgründigen Standort in Schwertberg wurde nach Triticale im Vorjahr und einer Begrünung über den Winter mit teilweise relativ hohem Kleeanteil Sojabohne angebaut. Diese erhielt keine N-Düngung, trotzdem reichen die N_{min} Gehalte nach dem Häckseln der Zwischenfrucht und dem Anbau der Sojabohne auf über 300 kg N/ha (Abb. 5-6).

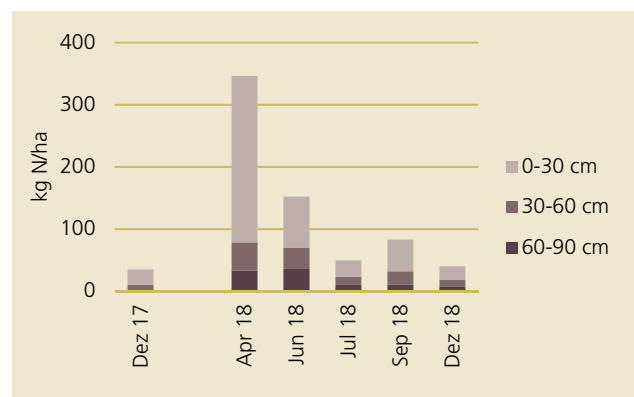
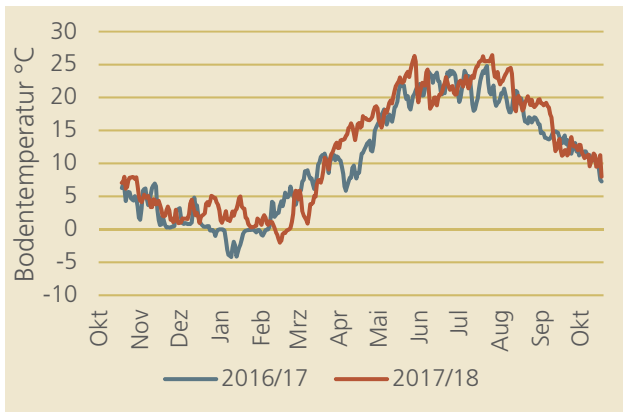


Abb. 5-6: N_{min} -Gehalte am mittelgr. Standort in Schwertberg

Auch an diesem Standort dürfte das Ansteigen der Bodentemperatur zu einer überdurchschnittlichen Stickstoffmineralisierung geführt haben. Abb. 5-7 zeigt, dass im Jahr 2018 die Bodentemperaturen bereits Mitte März vorübergehend und ab Ende März dauerhaft auf über 5° C ansteigen und damit die Bodentemperaturen für eine Stickstoffmineralisierung und Nitrifikation ausreichen. Im April 2018 steigen dann die Bodentemperaturen deutlich über die Werte

des Jahres 2017 an. Eine Analyse des nachlieferbaren Stickstoffs im Juni lieferte hingegen keine Erklärung.



Im langjährigen Vergleich zeigt sich, dass im Frühjahr 2018 generell sehr hohe N_{min} Gehalte auftraten. Ähnlich hohe Werte wurden bisher an allen Standorten erst einmal, nämlich im Frühjahr 2014 gemessen (Abb. 5-8), ein Jahr mit hohen Bodentemperaturen im Frühjahr, in dem somit günstige Bedingungen für die Stickstoffmineralisierung vorlagen und Körnermais angebaut wurde. Außergewöhnlich sind die Werte 2018 am Standort Pettenbach in Folge einer sehr hohen Wirtschaftsdüngergabe mit Putenmist.

Abb. 5-7: Bodentemperaturen am Standort Schwertberg

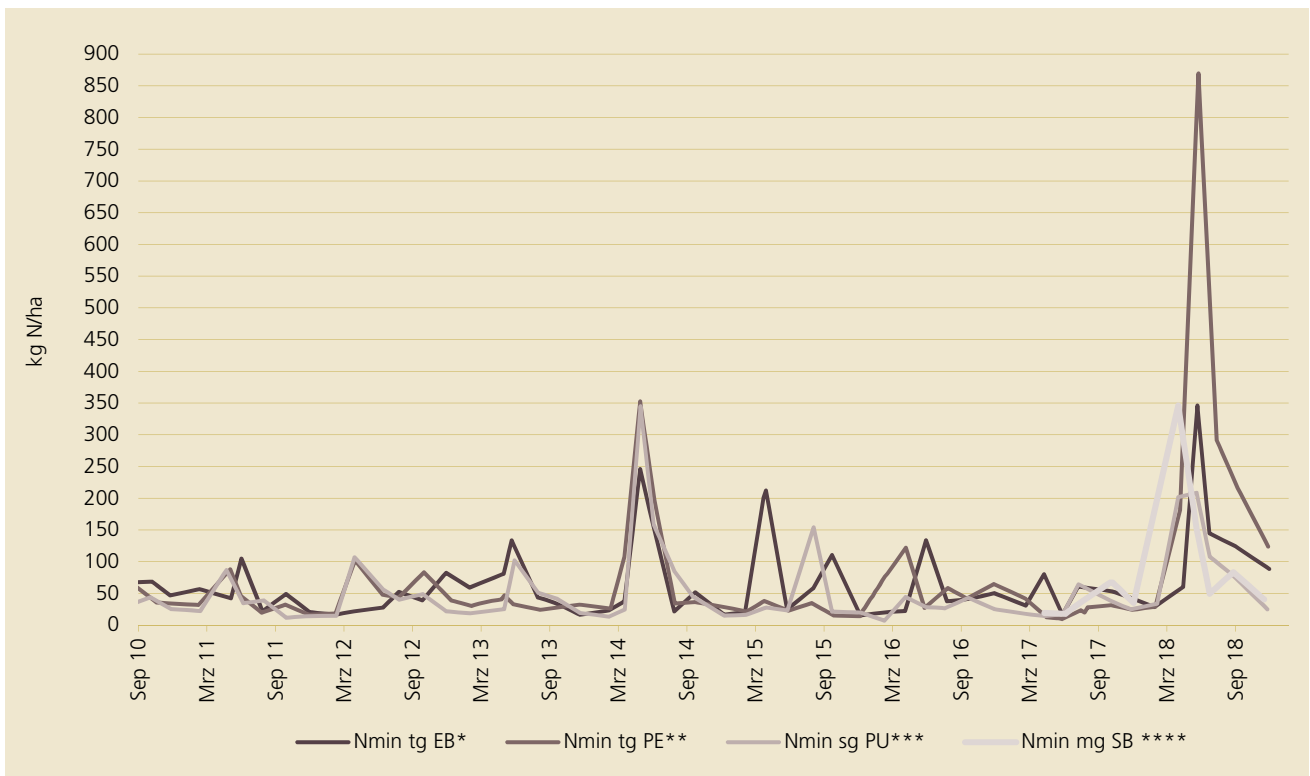


Abb. 5-8: Vergleich der N_{min} -Gehalte der Standorte seit September 2010

- * tiefgründiger Standort in Eberstanzell
- ** tiefgründiger Standort in Pettenbach
- *** seichtgründiger Standort in Pucking
- **** mittelgründiger Standort in Schwertberg

5.4 Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstalzell

5.4.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

Im hydrologischen Jahr 2017/18 fielen 774 mm Niederschlag. Die Sickerwassermenge in diesem Zeitraum betrug 228 mm, was 29% der Niederschlagsmenge entspricht. Im Juni fiel mit 181 mm der meiste Niederschlag. Die Monate Februar, Mai und Juli hingegen waren eher trockene Monate (Abb. 5-9, Abb. 5-10).

Das Sickerwasser bildete sich größtenteils im Zeitraum November bis Jänner und ging dann zurück. Ab Mai fiel dann kein Sickerwasser an, abgesehen von einer Periode im Juni in Folge der hohen Niederschläge. Die

anschließenden Niederschläge wurden von der Vegetation verwertet oder im Boden gespeichert.

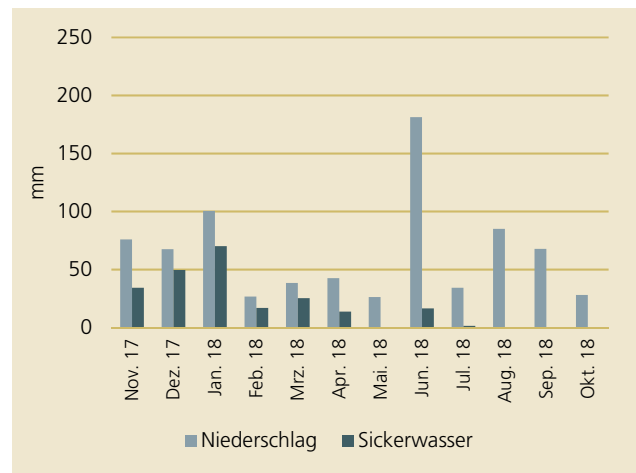


Abb. 5-9: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. EB)

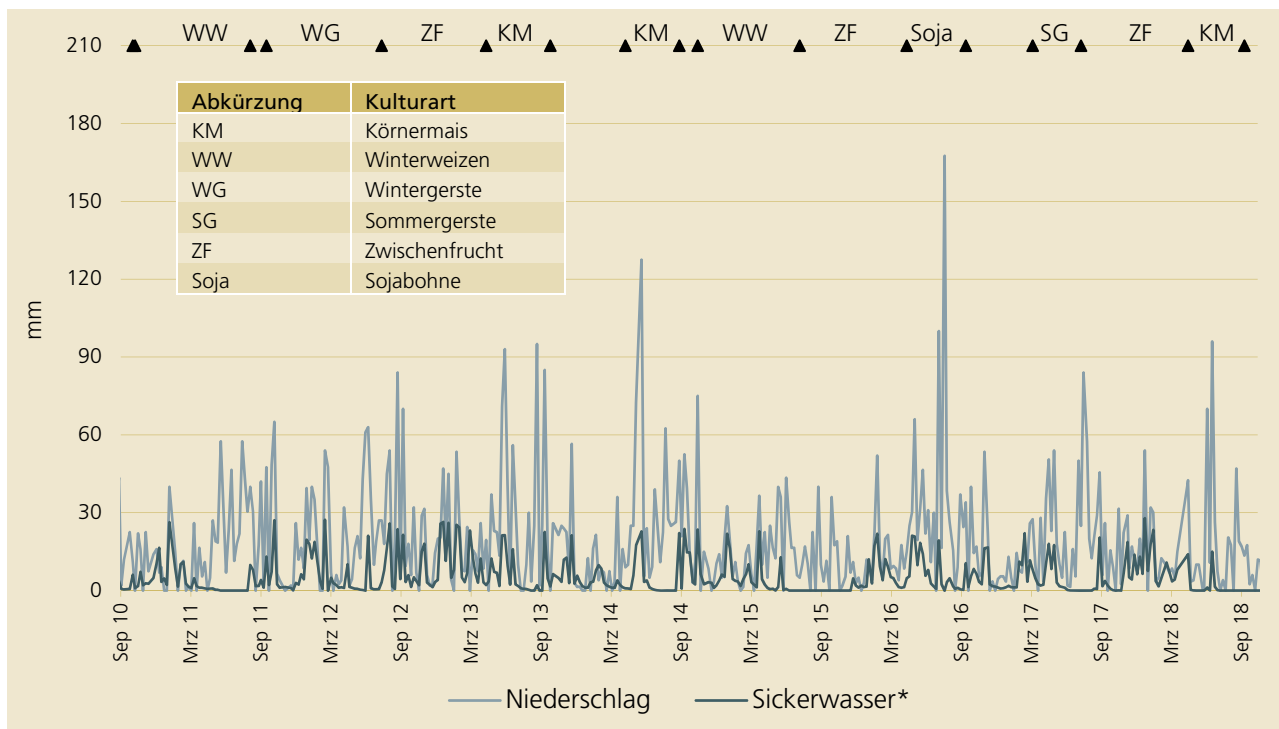


Abb. 5-10: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2010 (tiefgr. EB) *Juli 2016 nicht gesamtes SW erfasst

5.4.2 Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser

Die hohen N_{min} Gehalte im Juni (Abb. 5-14) verursachten im hydrologischen Jahr 2017/18 die höchsten gemessenen Nitratkonzentrationen (Abb. 5-13). Die Nitratauswaschung nahm zwar ebenfalls deutlich zu (Abb. 5-12 bis Abb. 5-14), allerdings war die im Monat Juni insgesamt ausgewaschene Nitratmenge auf Grund des geringen Sickerwasseranfalls nur klein (Abb. 5-11). Der Rest der Auswaschung erfolgte von November bis April zu Zeiten niedriger N_{min} Gehalte im Boden und niedriger Nitratkonzentrationen. Die Jahresgesamtsomme der ausgewaschenen Stickstoffmenge betrug 13 kg N/ha, was im Vergleich zu vorhergehenden Jahren unter Körnermais sehr gering ist.

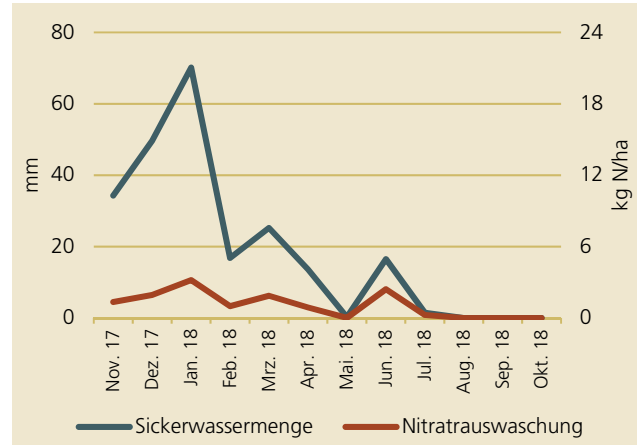


Abb. 5-11: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. EB)

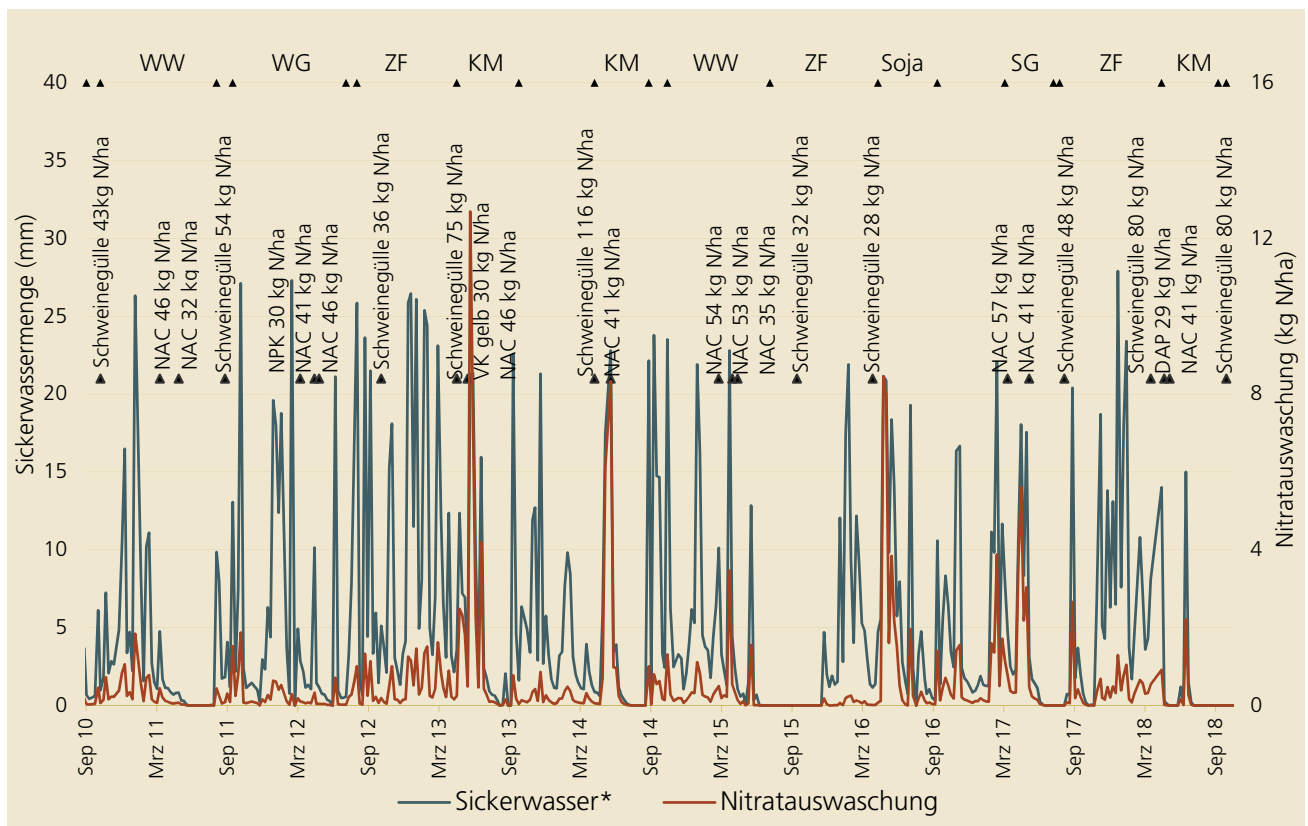


Abb. 5-12: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. EB); *Juli 2016 nicht gesamtes SW erfasst

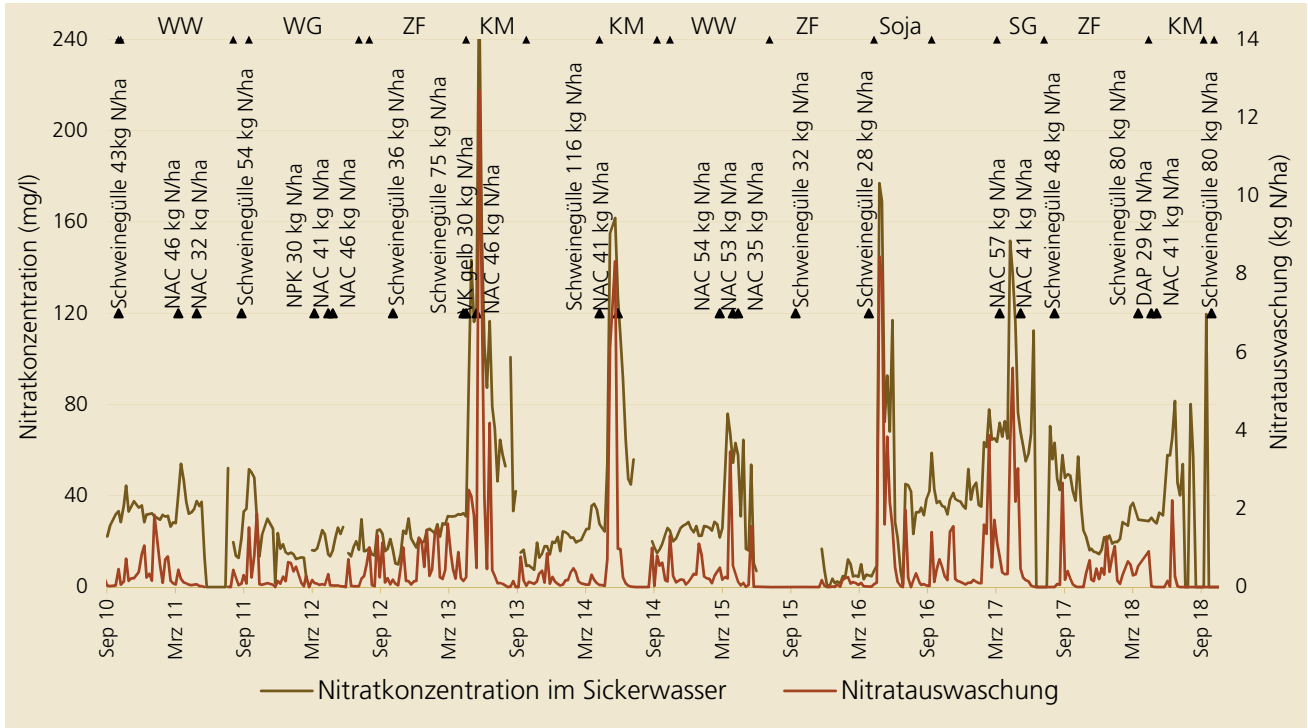


Abb. 5-13: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (tiefr. EB)

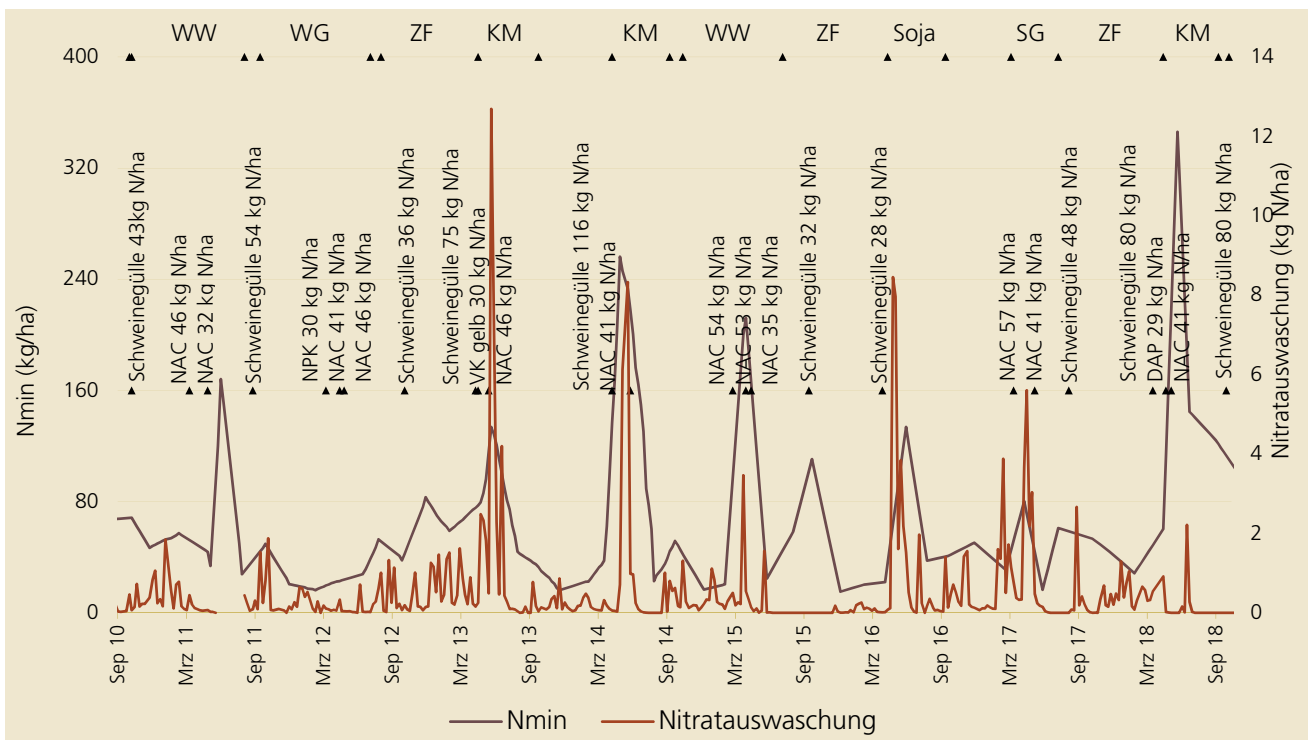


Abb. 5-14: Nitratauswaschung und N_{min}-Gehalte des Bodens (tiefr. EB)

5.5 Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach

5.5.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

Im hydrologischen Jahr 2017/18 betrug die Niederschlagssumme 935 mm, die gemessene Sickerwassermenge im selben Zeitraum 281 mm, das entspricht etwa 30% der Niederschlagsmenge (Abb. 5-15).

Die höchsten Niederschläge traten wie in Eberstallzell im Juli auf und betragen 227 mm. In den Monaten März, April und Mai blieb der Niederschlag jeweils unter 50 mm. Im Mai, August, September und Oktober wurde kein Sickerwasser gemessen. Die höchsten Sickerwassermengen traten wie in Eberstallzell während des Winters 2017/18 auf.

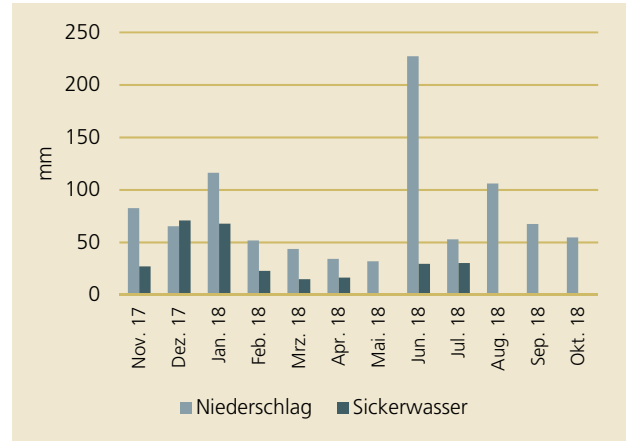


Abb. 5-15: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. PE)

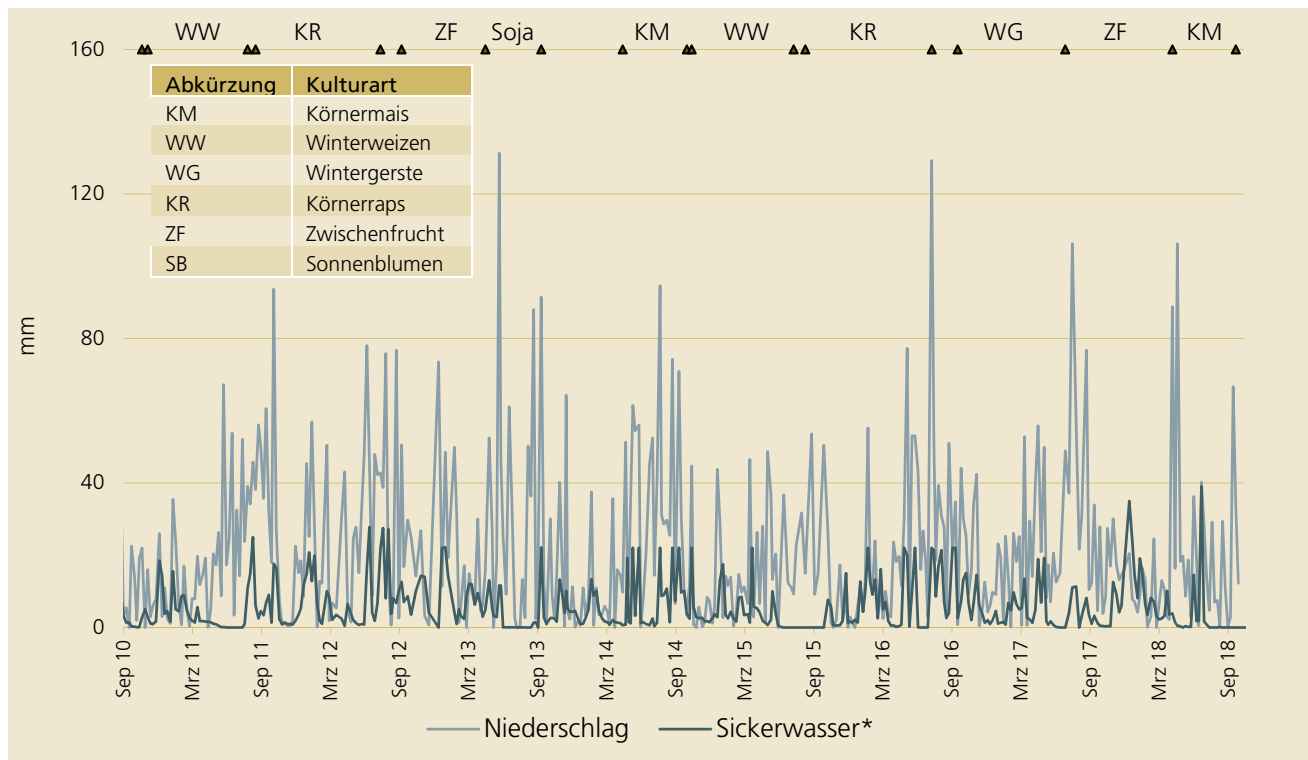


Abb. 5-16: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2010 (tiefgr. PE) *von Mai – Okt. 2014, Mai bis Sept. 2016 und August 2017 nicht gesamtes Sickerwasser erfasst

5.5.2 Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser

Die hohen N_{min} Gehalte im Juni hatten Nitratkonzentrationen zur Folge, die zu den höchsten an diesem Standort gemessenen zählen (vgl. Abb. 5-20 und Abb. 5-19). Da im Juni und Juli auch Sickerwasser gebildet wurde, nahm auch die Nitratauswaschung in diesem Zeitraum stark zu (Abb. 5-18). Die gesamte im Jahr 2017/18 ausgewaschene Stickstoffmenge war mit 16 kg N/ha dennoch nicht sehr hoch, da der Großteil des Sickerwassers über die Wintermonate anfiel und die N_{min} Gehalte im Boden und die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser in diesem Zeitraum niedrig waren (Abb. 5-17).

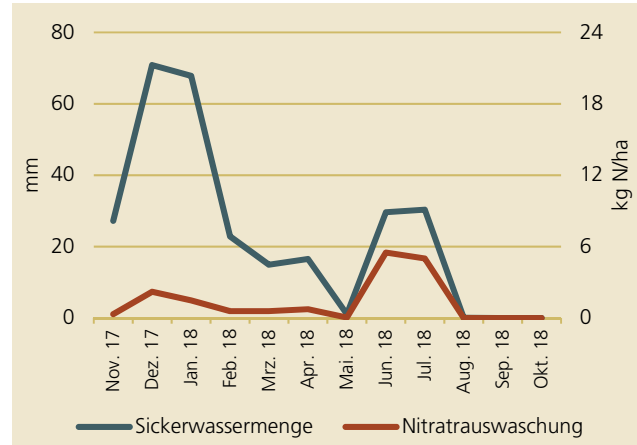


Abb. 5-17: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefg. PE)

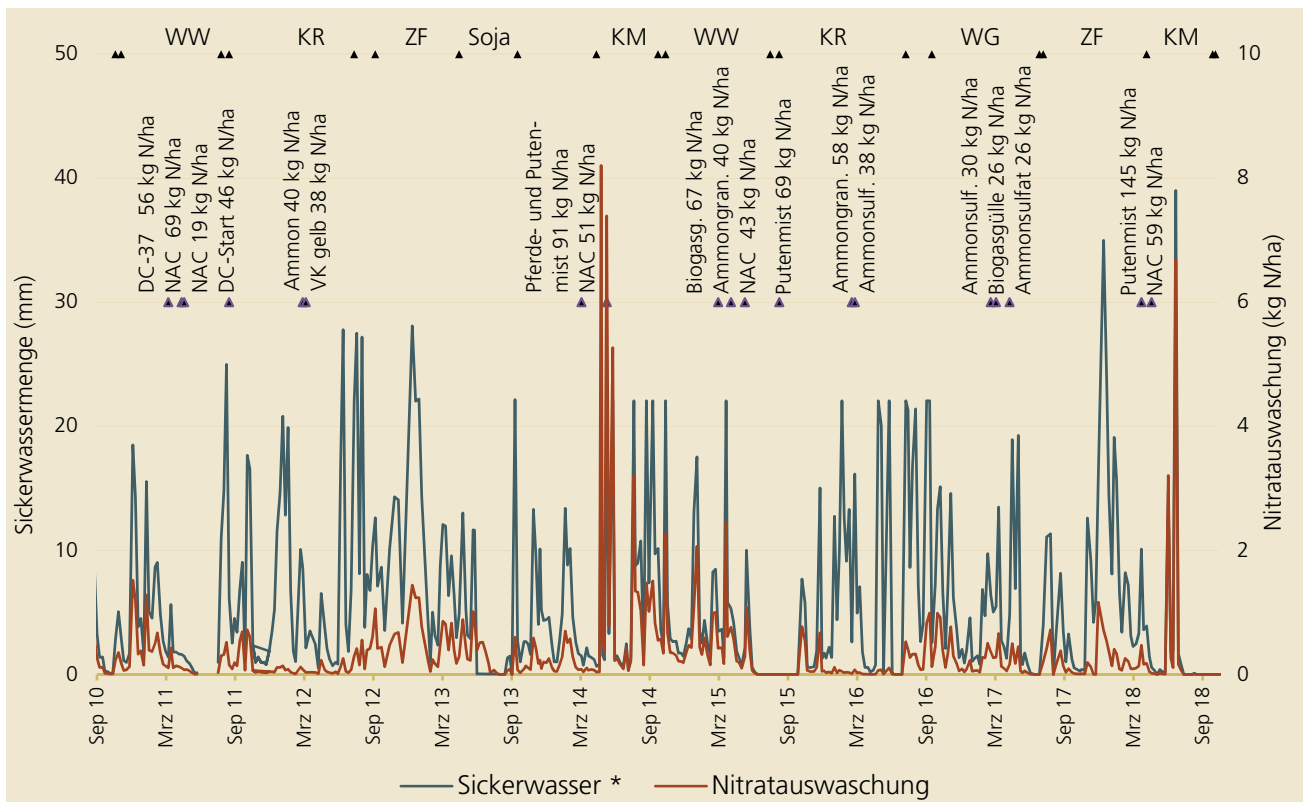


Abb. 5-18: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefg. PE) *von Mai – Okt. 2014, Mai bis Sept. 2016 und August 2017 nicht gesamtes Sickerwasser erfasst

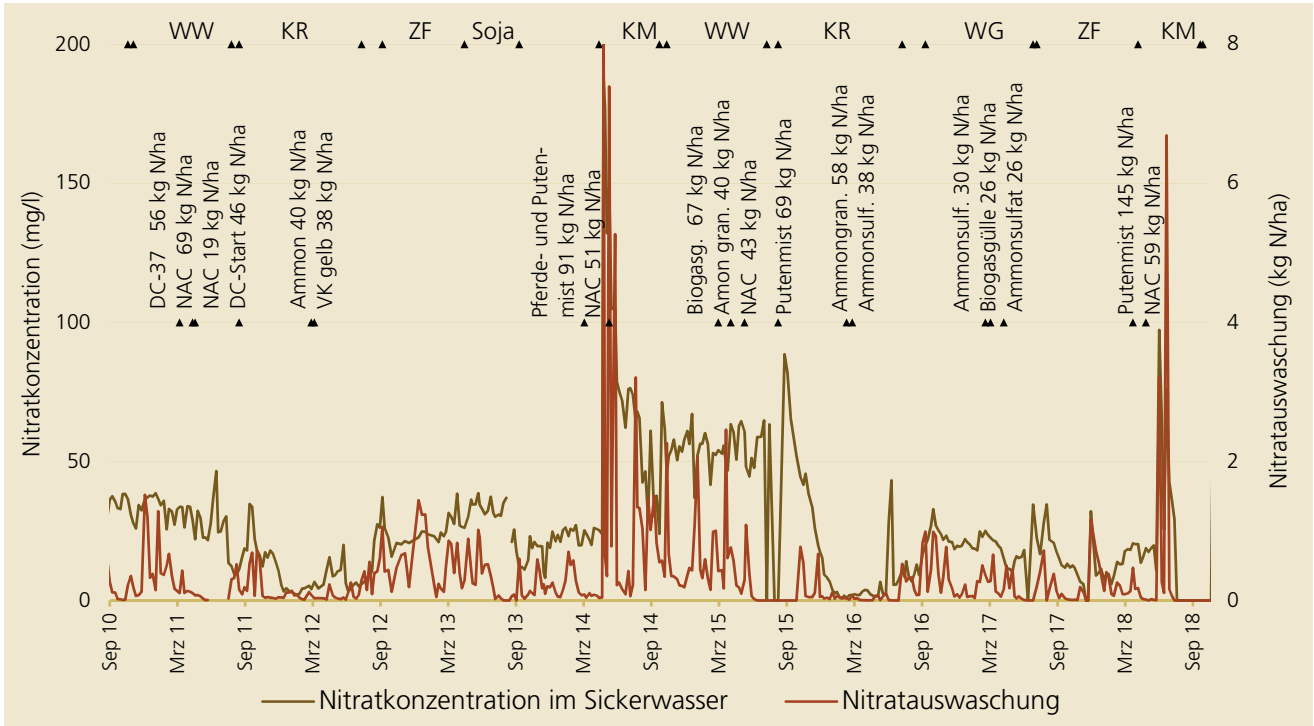


Abb. 5-19: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (tiefr. PE)

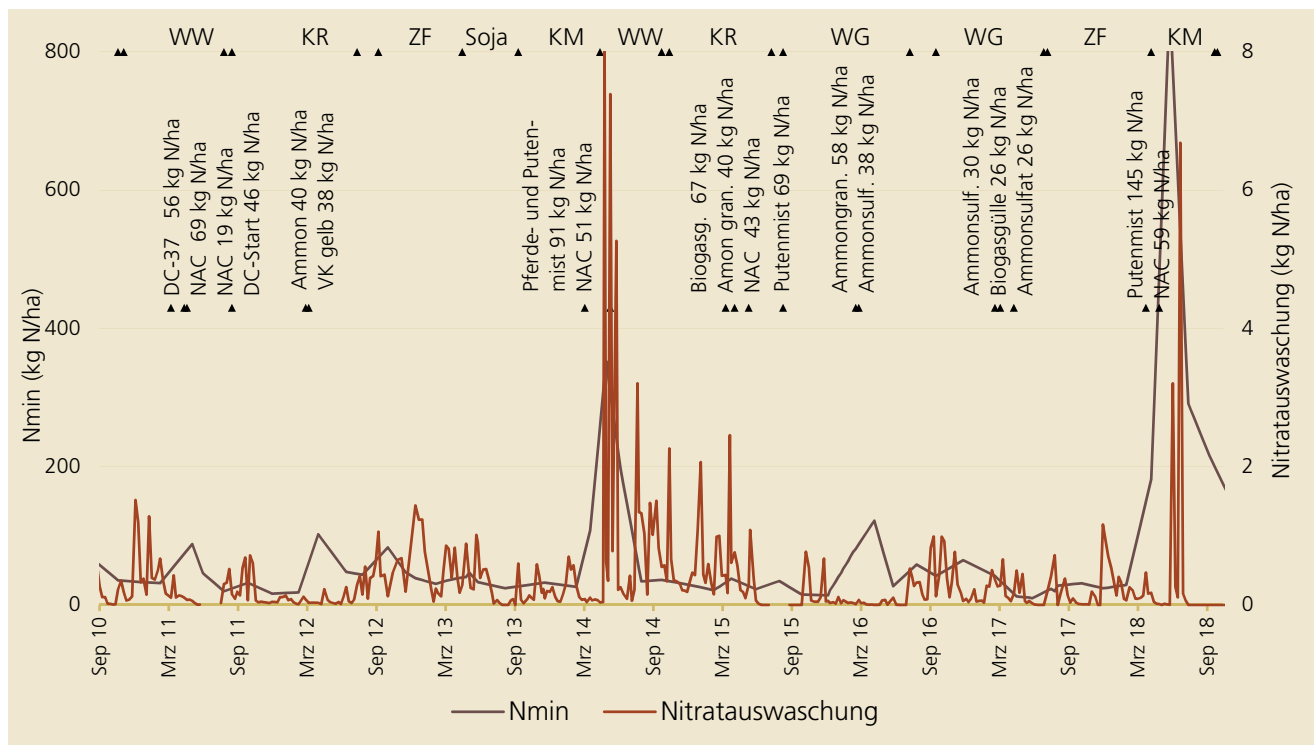


Abb. 5-20: Nitratauswaschung und N_{min}-Gehalte des Bodens (tiefr. PE)

5.6 Nitratauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking

5.6.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

Am seichtgründigen Standort fielen im hydrologischen Jahr 2017/18 in Summe 593 mm Niederschlag (Abb. 5-21). Die höchsten Niederschlagsmengen traten während des Winters 2017/18 und im Juni auf. Starkregenereignisse im Sommer, wie sie auf den anderen Standorten beobachtet wurden, konnten in Pucking nicht beobachtet werden.

Die Sickerwasserbildung erfolgte hauptsächlich im Winter 2017/18 in den Monaten Dezember und Jänner. Ab Mai 2018 trat praktisch kein Sickerwasser auf.

In Summe lag die Sickerwasserbildung bei 336 mm, was rund 56% der Niederschlagssumme entspricht.

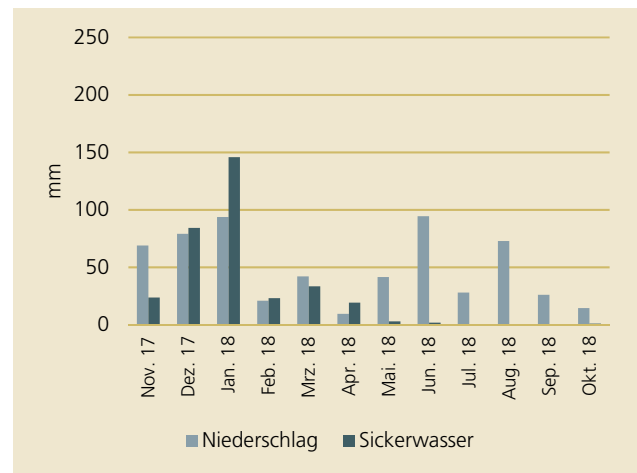


Abb. 5-21: Monatliche Niederschlags- und Sickerwasser-summen (seichtgr.)

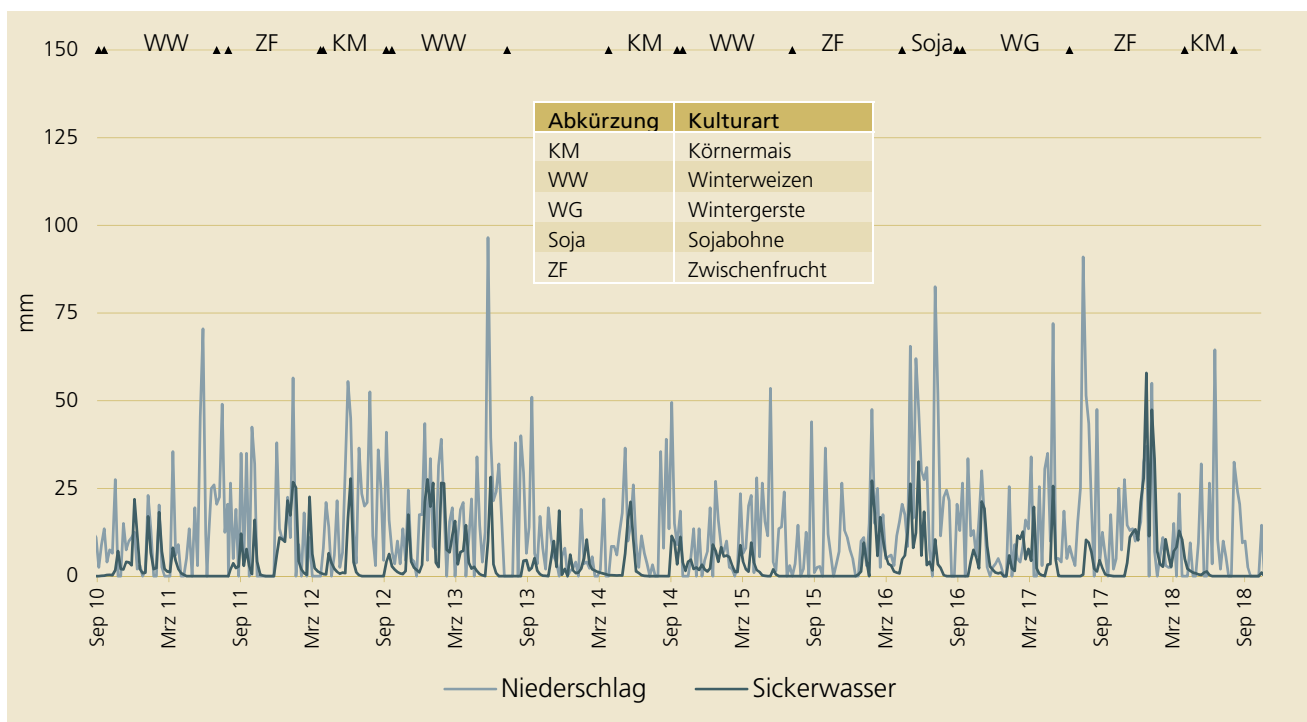


Abb. 5-22: Niederschläge und Sickerwasser, Messreihe seit Sept. 2010 (seichtgründig)

5.6.2 Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser

Die hohen N_{\min} Gehalte im April und Juni führten an diesem Standort zu keiner nennenswerten Nitratauswaschung, da ab Mitte April kaum mehr Sickerwasser gebildet wurde (vgl. Abb. 5-26 Abb. 5-25). Der Großteil der Auswaschung erfolgte über die Wintermonate als Folge eines starken Sickerwasseranfalls (Abb. 5-23, Abb. 5-24). Allerdings waren zu dieser Zeit die N_{\min} Gehalte und teilweise auch die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser niedrig. Insgesamt wurden im hydrologischen Jahr 2017/18 rund 22 kg N/ha ausgewaschen.

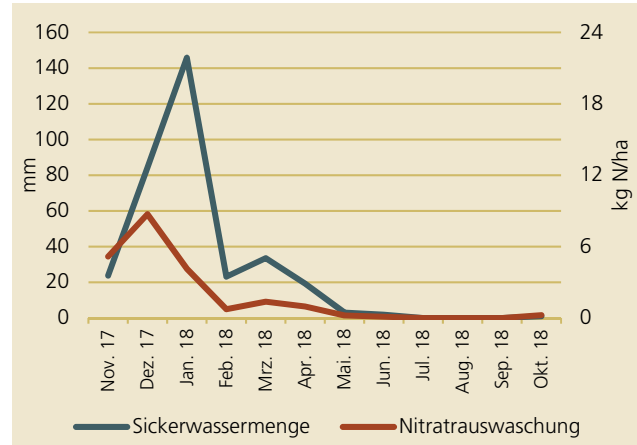


Abb. 5-23: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig)

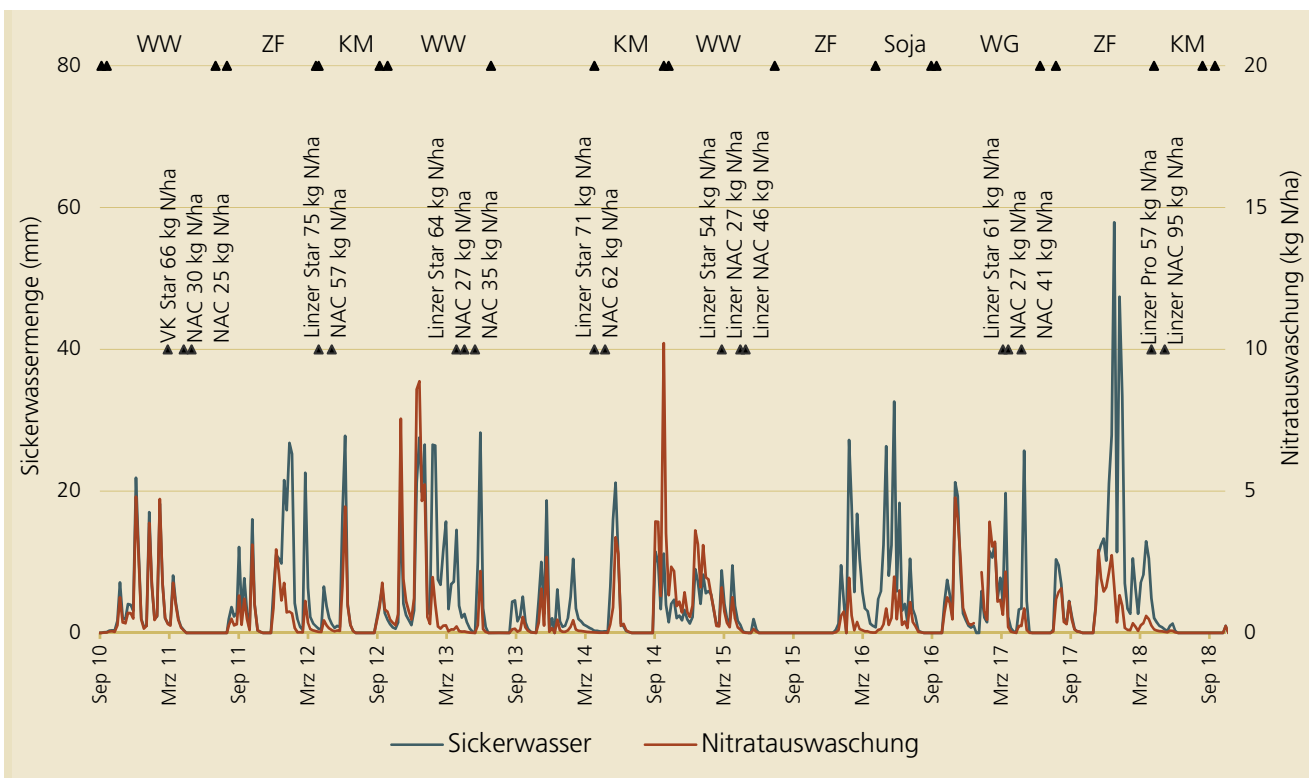


Abb. 5-24: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig)

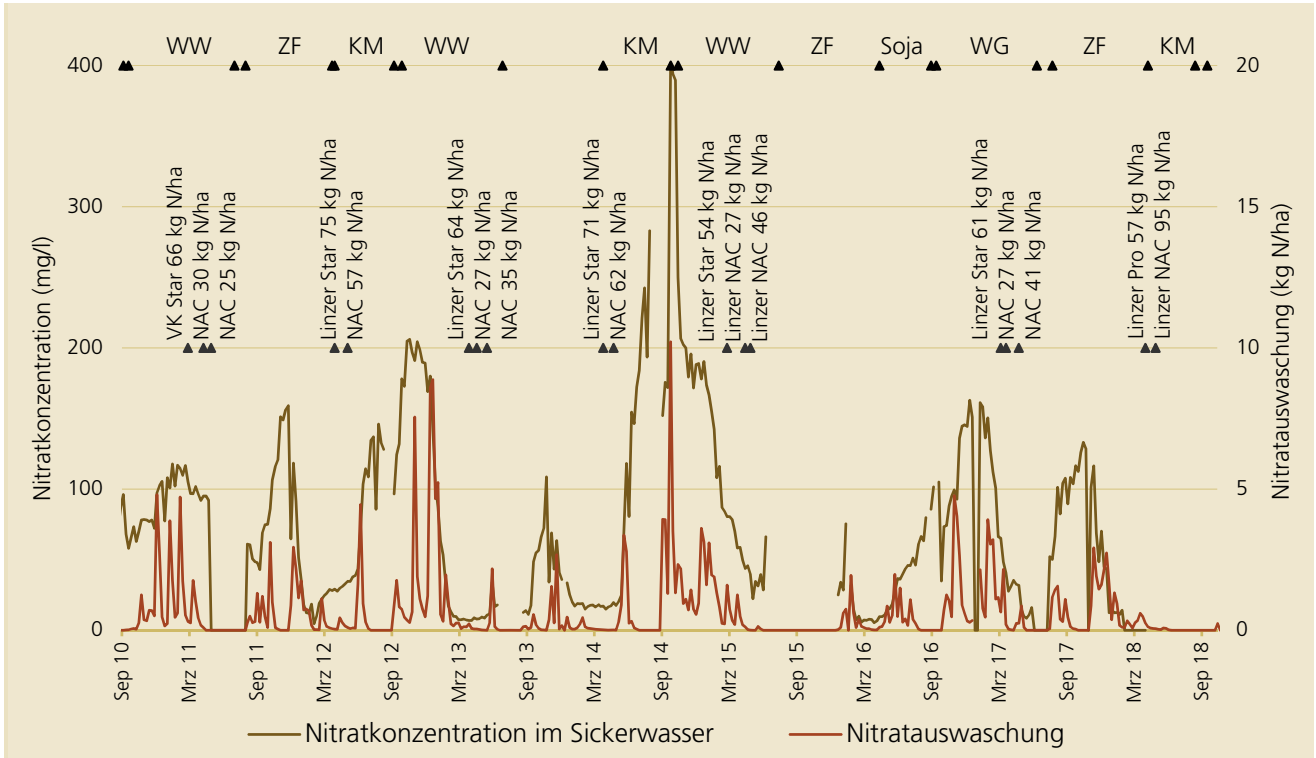


Abb. 5-25: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (seichtgründig)

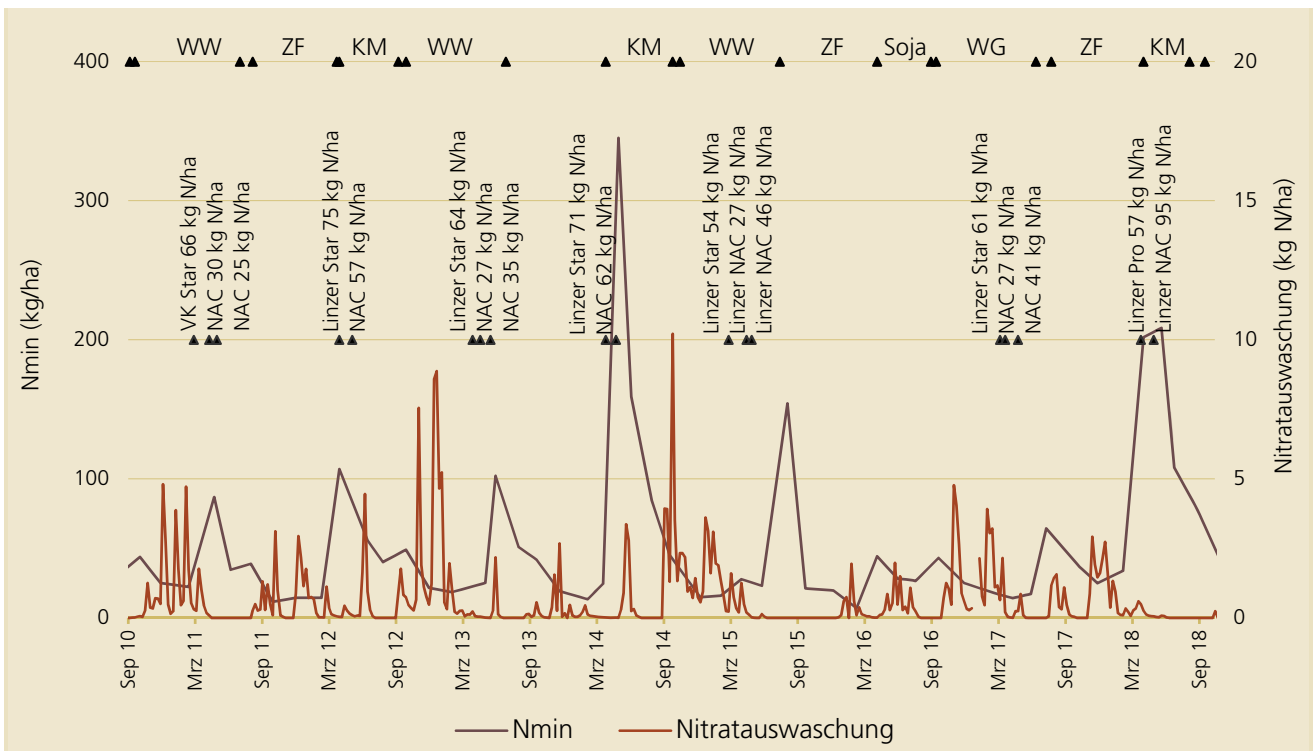


Abb. 5-26: Nitratauswaschung und N_{min} -Gehalte des Bodens (seichtgründig)

5.7 Nitrat- auswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg

5.7.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

In Schwertberg fielen im hydrologischen Jahr 2017/18 in Summe 705 mm Niederschlag (Abb. 5-27). Ähnlich wie in Eberstallzell und Pettenbach fielen die größten Niederschlagsmengen im Juli.

Die Sickerwasserbildung erfolgte bei beiden Lysimetern hauptsächlich in den Monaten Dezember und Jänner. Nach April fand keine nennenswerte Sickerwasserbildung mehr statt. Die Sickerwassermenge war beim Lysimeter mit gestörtem Bodenaufbau etwas höher als beim Lysimeter mit ungestörtem Bodenaufbau, allerdings unterscheiden sich die Mengen mit 198 mm bzw. 191 mm nur wenig. Die gemessene Sickerwassermenge entspricht rund 28% der Niederschlagssumme.

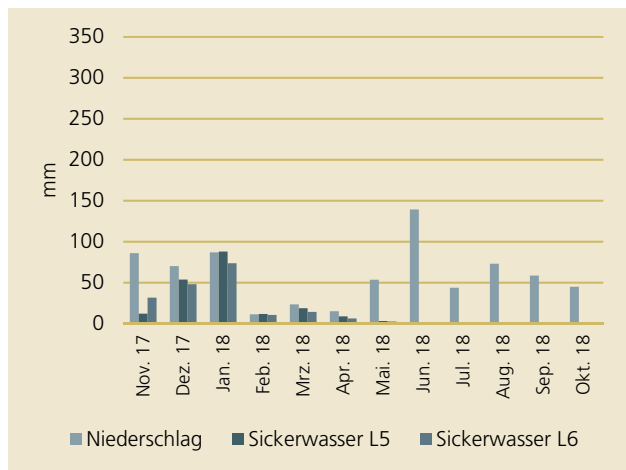


Abb. 5-27: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (mittelgründig)
L5=gestört, L6=ungestört

5.7.2 Sickerwassermenge, Nitrat- auswaschung und –konzentration im Sickerwasser

Die Nitrat- auswaschung war beim Lysimeter L6 (mit ungestörtem Bodenaufbau) etwas höher als bei Lysimeter L5 (mit gestörtem Bodenaufbau). Im Jahr zuvor war es umgekehrt, so dass es sich zumindest teilweise um eine zeitliche Verschiebung handeln dürfte, zumal die Unterschiede vor allem zu Beginn des hydrologischen Jahres 2017/18 auftraten. Hinzu kommt der unterschiedlich hohe Kleeanteil in der Begrü- nungsmischung auf den beiden Lysimetern. Während beim Lysimeter mit gestörtem Bodenaufbau eine Begrü- nungsmischung mit 80% Senfanteil und nur einem untergeordneten Kleeanteil angebaut wurde, betrug der Kleeanteil beim Lysimeter mit ungestörtem Bodenaufbau 80% (vgl. Abb. 5-28 und Abb. 5-29).

Die hohen N_{min} Gehalte im April führten jedenfalls zu keiner nennenswerten Nitrat- auswaschung mehr (Abb. 5-32, Abb. 5-33), da ab diesem Zeitpunkt keine nennenswerte Sickerwasserbildung mehr stattfand. Die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser stiegen jedoch merklich an (Abb. 5-30, Abb. 5-31).

Insgesamt wurden im hydrologischen Jahr 2017/18 rund 6 kg N/ha beim L5 und 19 kg N/ha beim L6 ausgewaschen. Der Großteil der Auswaschung erfolgte zu Zeiten niedriger N_{min} Gehalte und niedriger Nitratkonzentrationen im Winter.

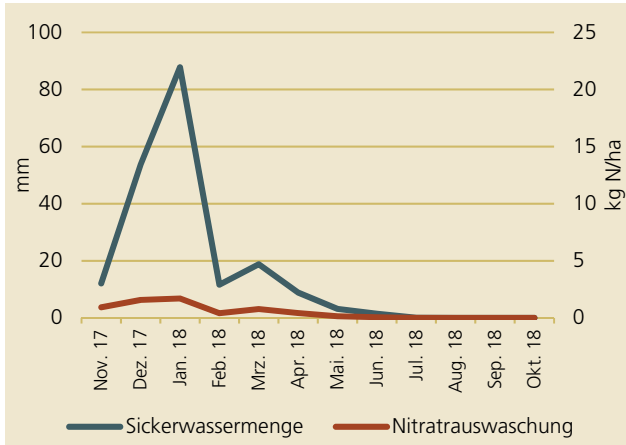


Abb. 5-28: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratrauswaschung (mittelgründig) L5=gestört

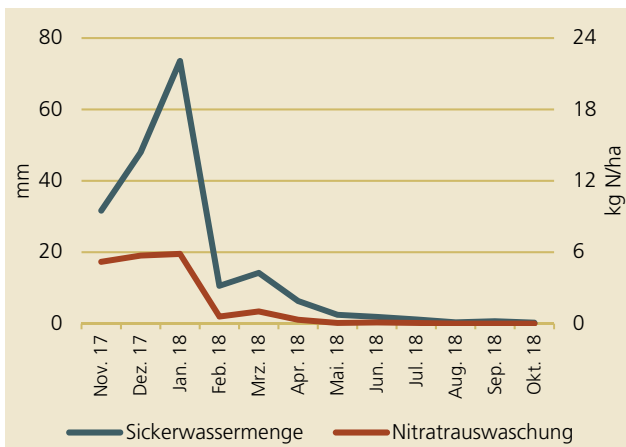


Abb. 5-29: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratrauswaschung (mittelgründig) L6=ungestört

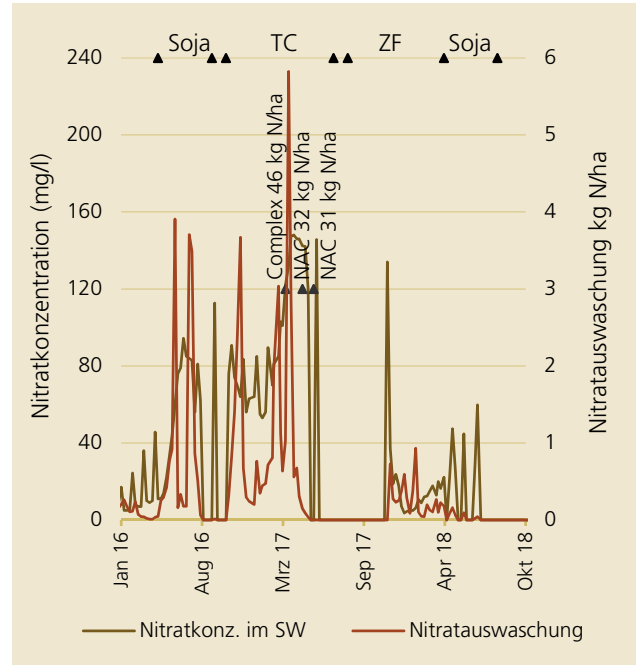


Abb. 5-30: Nitratkonzentration und Nitratrauswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) L5=gestört

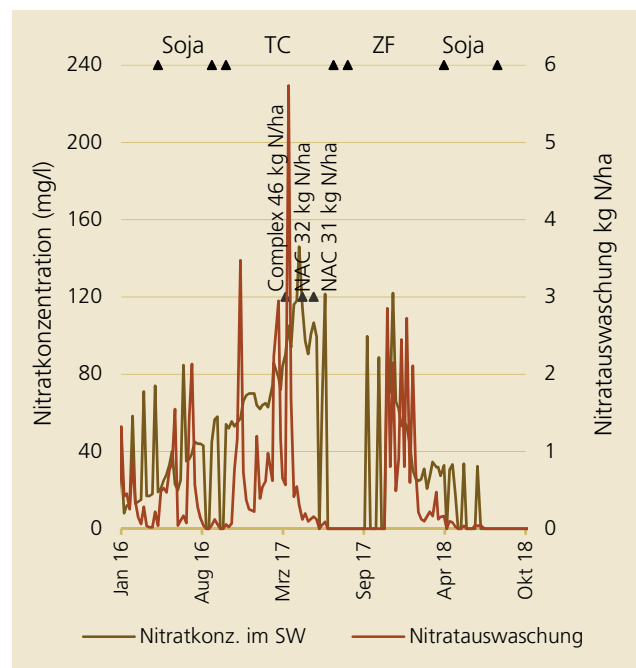


Abb. 5-31: Nitratkonzentration und Nitratrauswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) L6=ungestört

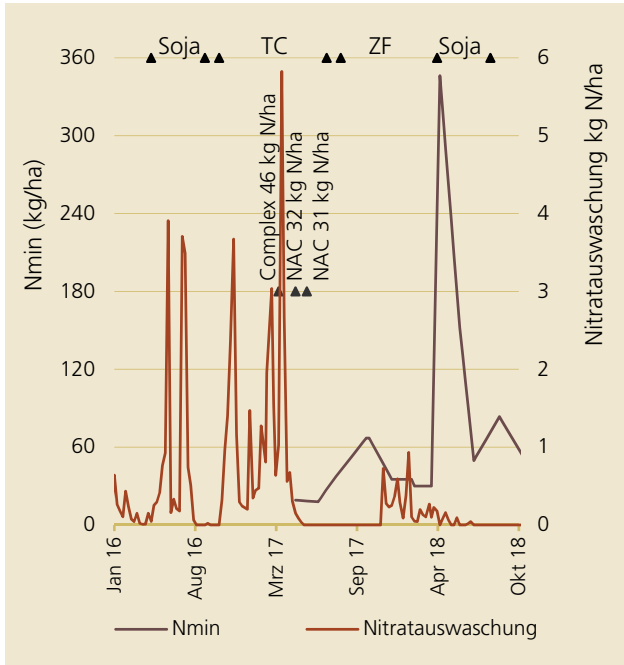


Abb. 5-32: N_{min} -Gehalt des Bodens (ab April 2017) und Nitrat auswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) L5=gestört

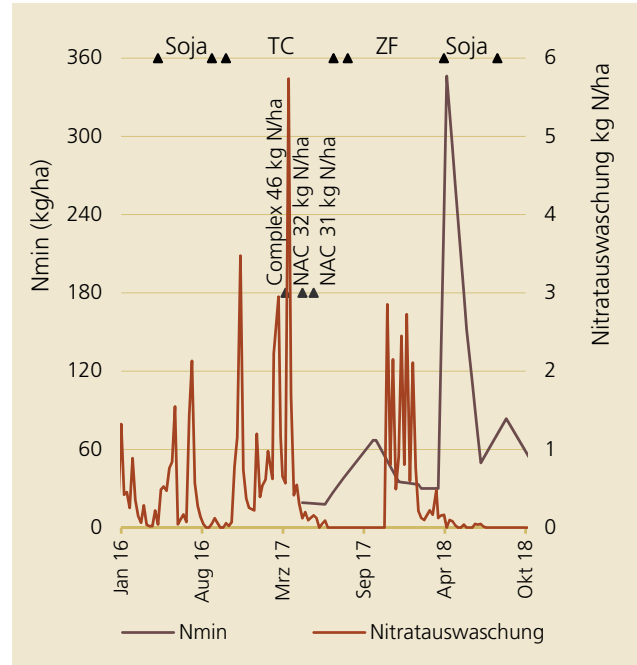


Abb. 5-33: N_{min} -Gehalt des Bodens (ab April 2017) und Nitrat auswaschung ab Jänner 2016 (mittelgründig) L6=ungestört

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

Die monatlichen Niederschlagssummen verlaufen auf allen 4 Standorten ziemlich parallel. In Pucking sind die Niederschlagsspitzen generell weniger stark ausgeprägt als an den anderen Standorten weshalb hier mit 593 mm der geringste Niederschlag anfiel (Abb. 5-34). In Pettenbach wurde der höchste Gesamtniederschlag gemessen, nämlich 935 mm, gefolgt von Eberstalzell mit 774 mm.

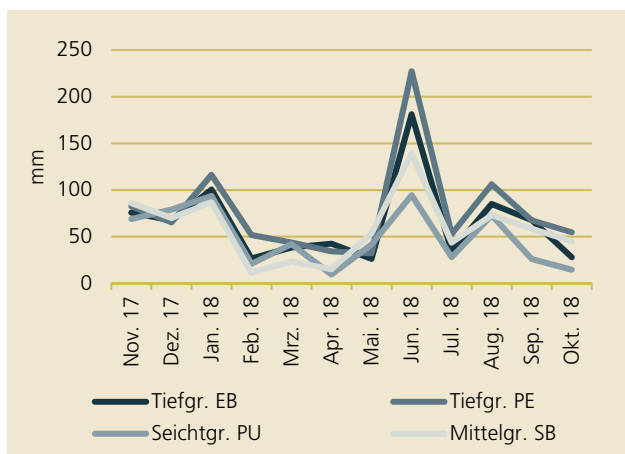


Abb. 5-34: Monatliche Niederschlagssummen

Tab. 5-4: Sickerwassermengen und durchschnittliche Nitratkonzentration vom 01.11.17 bis 31.10.18

	SW [mm]	NO ₃ -Kon. [mg/l]
Tiefgr. EB	228	25
Tiefgr. PE	281	26
Seichtgr. PU	336	28
Mittelgr. SB gestört	198	13
Mittelgr. SB ungestört	191	44

Die höchste jährliche Sickerwassermenge wurde in Pucking gemessen, an zweiter Stelle steht Pettenbach und dann folgt Eberstalzell. In Schwertberg erfolgte der geringste Sickerwasseranfall, welcher ca. 60% der Menge in Pucking entspricht. direkt gefolgt von Pucking und Pettenbach (Tab. 5-4).

Der Verlauf der Sickerwassermengen ist auf allen Standorten recht ähnlich, jedoch sind die Spitzen unterschiedlich stark ausgeprägt (Abb. 5-35). Mit Abstand die größten Sickerwassermengen treten im Jänner in Pucking auf, wo knapp die Hälfte des jährlichen Sickerwassers auf diesem Standort in tiefere Bodenschichten verlagert wurde. Auf den anderen Standorten verläuft die Sickerwasserbildung bis Mai fast ident. Lediglich in Pettenbach steigt im Juni und Juli aufgrund der starken Regenfälle die Sickerwasserbildung nochmal stark an, in geringem Ausmaß auch in Eberstalzell, während auf den anderen Standorten ab Mai (fast) kein Sickerwasser mehr anfällt.

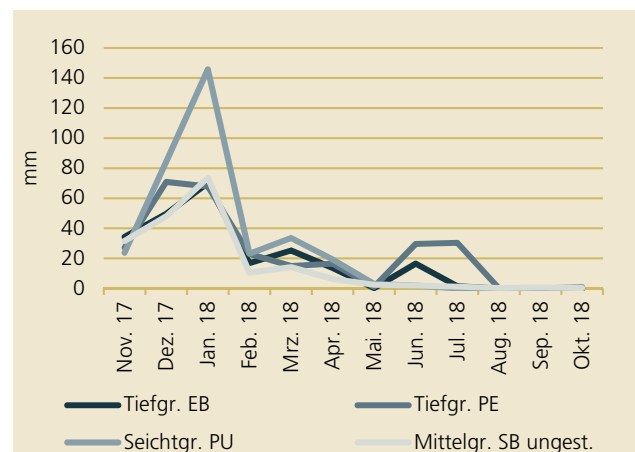


Abb. 5-35: Monatliche Sickerwassermengen

Die höchste durchschnittliche Nitratkonzentration wurde am mittelgründigen Standort beim Lysimeter mit ungestörtem Bodenaufbau in Schwertberg mit 44 mg NO₃/l beobachtet (Tab. 5-4). Die 3 Lysimeter in Pucking, Pettenbach und Eberstalzell lagen alle im Bereich zwischen 25-28 mg NO₃/l und daher sehr dicht beisammen. Die geringste durchschnittliche Nitratkon-

zentration wurde mit 13 mg NO₃/l in Schwertberg beim Lysimeter mit gestörtem Bodenaufbau und geringem Kleeanteil in der Begrüpfungsmischung beobachtet. An allen Standorten wurde im Durchschnitt der Grundwasserswellenwert von 45 mg NO₃/l unterschritten, wenn teilweise auch nur knapp.

Im Jahresverlauf verhalten sich die vier Standorte im Betrachtungszeitraum völlig unterschiedlich. Auf den tiefgründigen Standorten in Eberstalzell und Pettenbach verlaufen die Konzentrationen im Monatsmittel zunächst auf niedrigem Niveau und steigen dann mit der Sickerwasserbildung im Sommer auf über 50 mg NO₃/l bzw. über 70 mg NO₃/l. Am seichtgründigen und mittelgründigen Standort startet die N-Konzentration bereits auf hohem Niveau und sinkt dann stark ab. Über die Frühjahrsmonate und während des Sommers bleibt diese stets unter 30 mg NO₃/l. In Schwertberg ist der Konzentrationsverlauf beim Lysimeter mit gestörtem Bodenaufbau sehr ähnlich wie in Pucking. Beim Lysimeter mit ungestörtem Bodenaufbau bleiben die Konzentrationen während des Winters und Frühjahrs auf höherem Niveau, wodurch hier die größte durchschnittliche Nitratkonzentration im Jahr 2017/18 entsteht (vgl. Abb. 5-36 und Abb. 5-37).

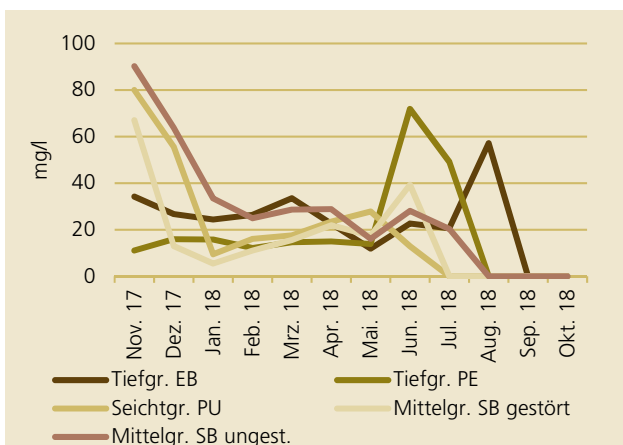


Abb. 5-36: Durchschnittliche monatliche Nitratkonzentrationen

Die geringste Auswaschung konnte am Standort mit gestörtem Bodenaufbau in Schwertberg beobachtet werden (6 kg N/ha). An zweiter Stelle liegt mit 13 kg N/ha der Standort in Eberstalzell. Auf allen anderen Standorten liegt die Auswaschungssumme jeweils über 15 kg N/ha. Die größte Stickstoffmenge wurde am seichtgründigen Standort in Pucking mit 22 kg N/ha ausgewaschen.

Nur auf den tiefgründigen Standorten findet ein erheblicher (Eberstalzell) oder der überwiegende (Pettenbach) Teil der Auswaschung im Sommer statt, da nur dort zu dieser Zeit auf Grund höherer Niederschläge eine Sickerwasserbildung stattfand. Das Düngegeschehen und die hohen N_{min} Gehalte im Betrachtungszeitraum dürften sich vorerst also nur auf den beiden tiefgründigen Standorten bei den Nitratkonzentrationen und der Auswaschung abbilden.

In Summe wurde während des Messzeitraums seit September 2001 bis November 2018 am seichtgründigen Standort mit 758 kg N/ha am meisten Stickstoff in Form von Nitrat ausgewaschen (Abb. 5-38). Am tiefgründigen Standort in Eberstalzell waren es mit 435 kg N/ha etwa halb so viel, am tiefgründigen Standort in Pettenbach mit 297 kg N/ha ca. 1/3. Am neu hinzugekommenen Standort in Schwertberg wurden von Jänner 2017 bis November 2018 in Summe 58 kg N/ha (gestört) bzw. 62 kg N/ha (ungestört) ausgewaschen.

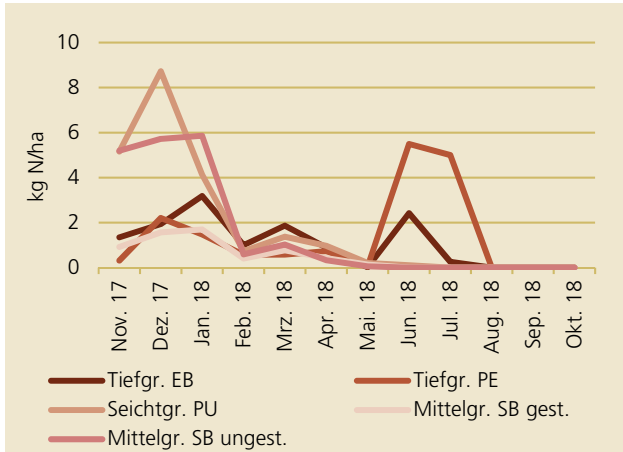


Abb. 5-37: Monatliche Nitratauswaschung

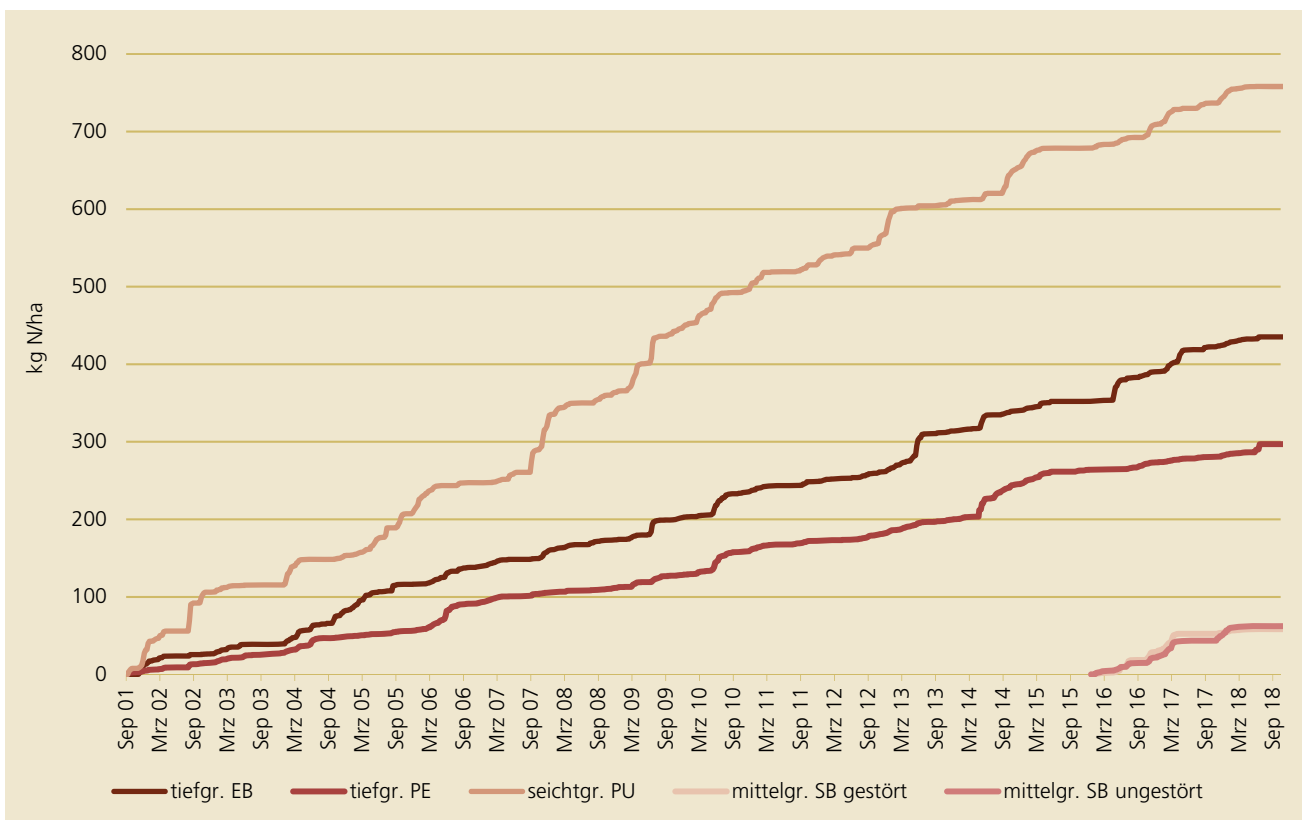


Abb. 5-38: Summe der als Nitrat ausgewaschenen Stickstoffmenge an den vier Standorten

5.9 Einfluss des Stickstoffsaldos auf die Nitratverlagerung

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

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

Ein Vergleich des Stickstoffsaldos mit der Nitrat- auswaschung 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. 5-39 und Abb. 5-40). Am seichtgründigen Standort in Pucking lässt sich die Höhe der Auswaschung nicht mit dem Stickstoffsaldo erklären. Obwohl seit 2000 der N-Saldo weitgehend ausgeglichen ist, findet dennoch eine laufende Stickstoffauswaschung statt (Abb. 5-41). 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.

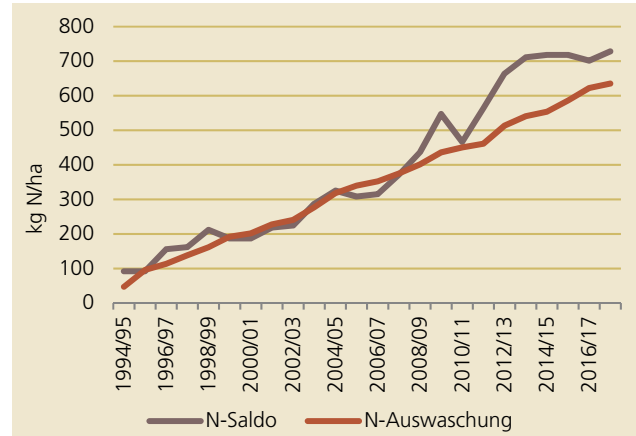


Abb. 5-39: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Eberstalzell

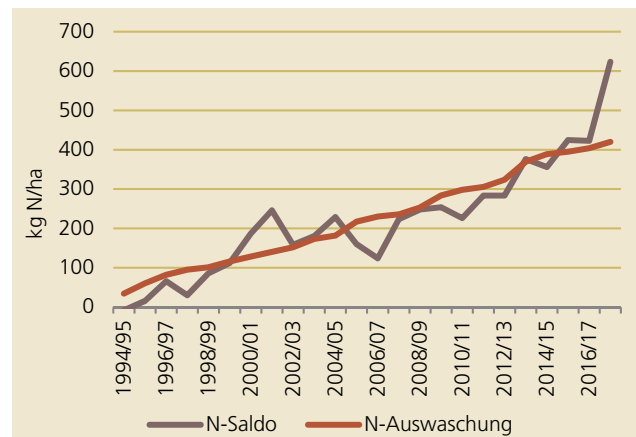


Abb. 5-40: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Pettenbach

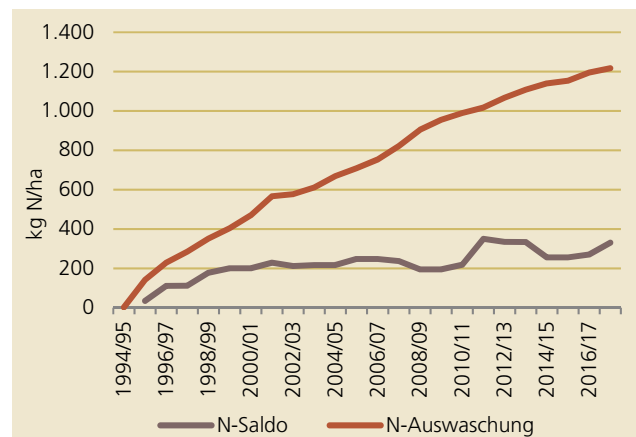


Abb. 5-41: Summenlinien von Stickstoffsaldo und Stickstoffauswaschung am Standort in Pucking

5.10 Phosphorbilanzen

In Pettenbach erfolgte die Phosphorzufuhr in Form von Putenmist am 09.04.2018 (Variante 1 und 2: 147 kg P₂O₅/ha; Variante 3: 290 kg P₂O₅/ha). In Eberstalzell erfolgten eine Phosphordüngung mit Schweinegülle am 16.08.2017 (32 kg P₂O₅/ha) sowie am 18.04.2018 (53 kg P₂O₅/ha) und eine mineralische Phosphordüngung am 22.4.2018 (74 kg P₂O₅/ha). In Pucking wurde eine mineralische Düngung am 16.04.2018 mit 41 kg P₂O₅/ha durchgeführt. In Schwertberg erfolgte die Düngung mit DC45neu, wodurch 40 kg P₂O₅/ha aufgebracht wurden.

Die Phosphorbilanz ist in Pucking ziemlich ausgeglichen. In Schwertberg und besonders in Pettenbach ist die Bilanz stark positiv (Tab. 5-5). In Eberstalzell wurde beim Lysimeter aufgrund des hohen Entzugs insbe-

sondere im Stroh eine leicht negative P-Bilanz erreicht, hingegen im Mittelwert ist die P-Bilanz stark positiv.

Die Ergebnisse der Bilanzen für die Ernteabfuhr zwischen den Lysimeterflächen und den Mittelwerten sind am seichtgründigen Standort in Pucking sowie am mittelgründigen Standort in Schwertberg nahezu identisch. In Eberstalzell wurde eine Abweichung von über 40 kg P₂O₅/ha gemessen und in Pettenbach von über 60 kg P₂O₅/ha. Die Differenz ist auf die unterschiedlichen P₂O₅-Gehalte bei den Proben am Lysimeter und im Mittelwert mit zwei weiteren Beprobungsstellen zurückzuführen. In Eberstalzell befindet sich ein höherer P₂O₅-Gehalt sowohl im Stroh als auch im Korn am Lysimeter. In Pettenbach hingegen wurde beim Lysimeter ein außergewöhnlich niedriger P₂O₅-Gehalt gemessen.

Tab. 5-5: Phosphorbilanzen für das Erntejahr 2018

	Tiefgründiger Standort in Eberstalzell		Tiefgründiger Standort in Pettenbach (Variante 1)		Seichtgründiger Standort in Pucking		Mittelgründiger Standort in Schwertberg	
	----- kg P ₂ O ₅ /ha -----							
Phosphorzufuhr aus Düngung	158		147		41		40	
Entzug durch die Pflanzen	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW	Lysimeter	MW
Entzug durch das Korn	163	122	65	127	26	26	6	2
Entzug durch das Stroh	125	69	29	20	15	14	Unbek.	Unbek.
Summe Entzug	288	191	94	147	41	40	Unbek.	Unbek.
Abfuhr durch Ernte	163	122	65	127	26	26	6	2
Bilanz Korn	-5	36	82	20	15	15	34	38
Bilanz Korn + Stroh	-130	-33	53	0	0	1	Unbek.	Unbek.
Bilanz Ernte	-5	36	82	20	15	15	34	38

5.11 Phosphatauswaschung

Der jahreszeitliche Verlauf der Phosphatauswaschung im Jahr 2017/18 folgt im Wesentlichen dem Sickerwasseranfall (Abb. 5-42). So ist in Schwertberg und Pucking die Auswaschungsspitze im Jänner zu finden, die am seichtgründigen Standort besonders stark ausgeprägt war. Ab Februar bleibt der Phosphat-Austrag in Schwertberg unter 0,01 kg P₂O₅/ha und Monat. Am seicht-gründigen Standort ereignete sich noch eine verstärkte Auswaschung im April. In Eberstallzell bleibt die Phosphatauswaschung stets unter 0,01 kg P₂O₅/ha und Monat und fällt im Laufe des Jahres ab. In Pettenbach ist im Gegensatz zu den meisten anderen Standorten keine nennenswerte Auswaschung während des Winters zu beobachten. Im Juni allerdings wird ein Maximum von 0,017 kg P₂O₅/ha und Monat erreicht (Abb. 5-42).

Die Auswaschungsspitzen können zeitlich mit den Niederschlagsereignissen und dem daraus folgendem Sickerwasseraustritt in Zusammenhang gebracht werden (Abb. 5-43 bis Abb. 5-45).

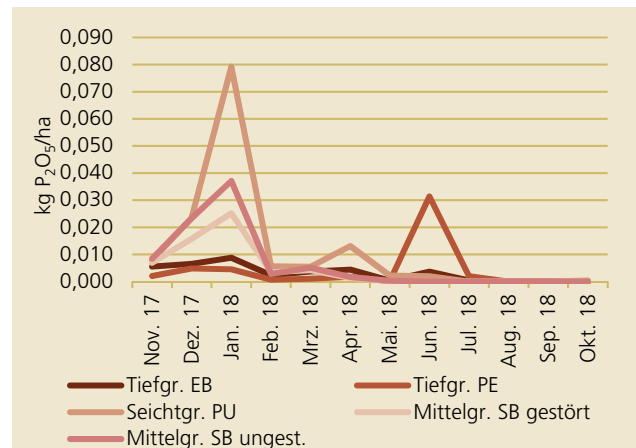


Abb. 5-42: Monatliche Phosphatauswaschung

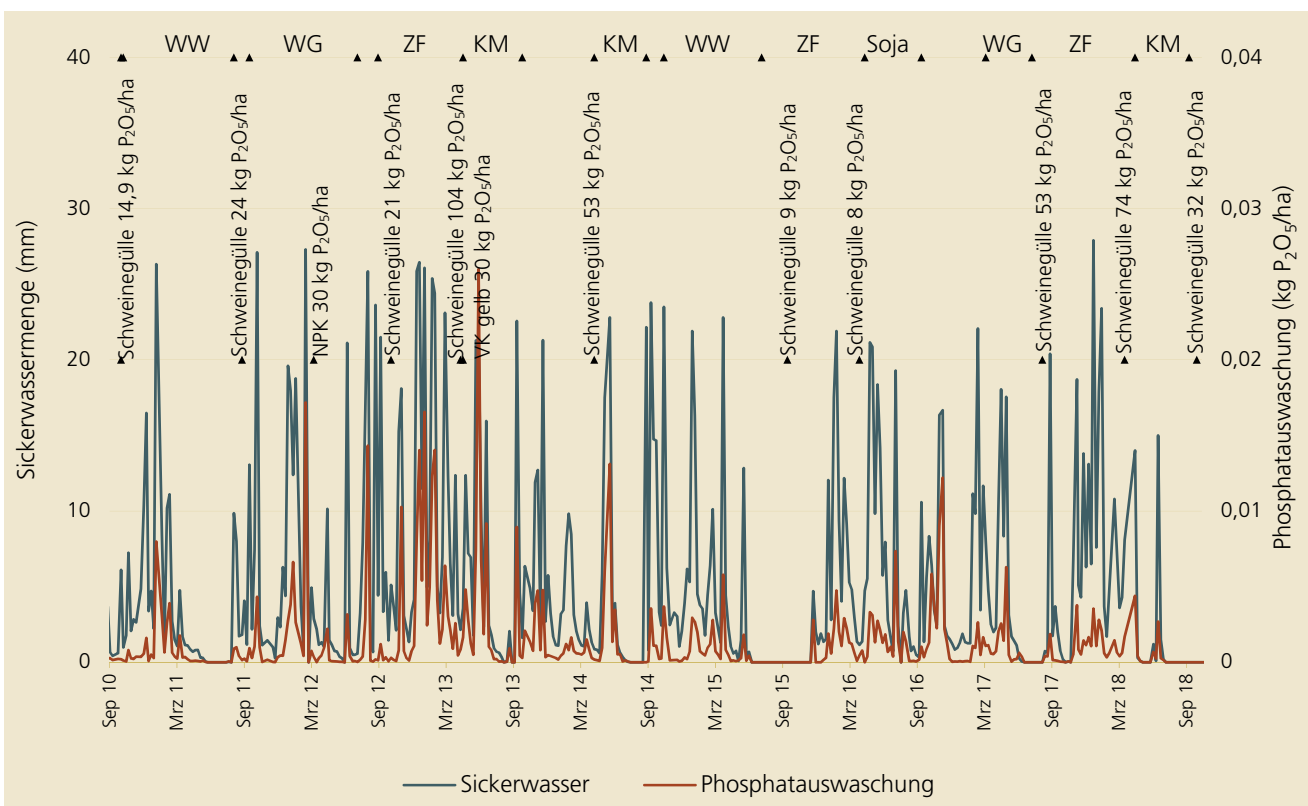


Abb. 5-43: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Eberstallzell

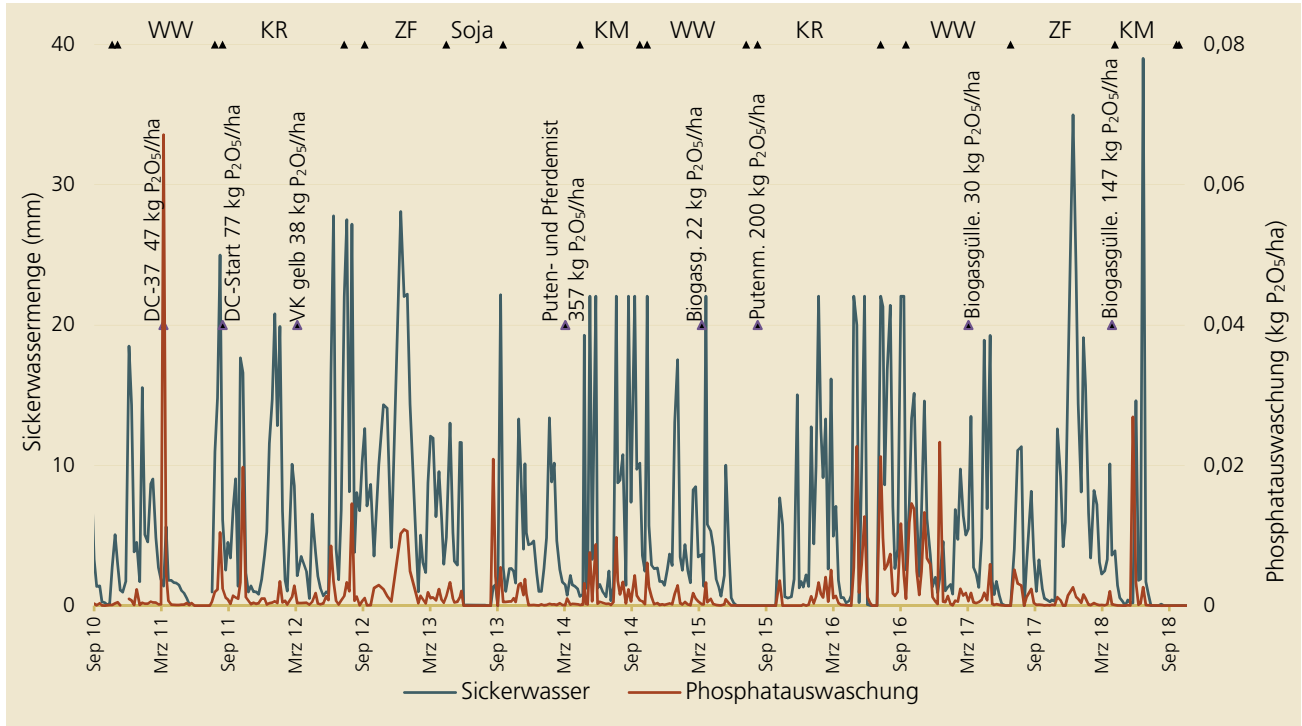


Abb. 5-44: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort in Pettenbach

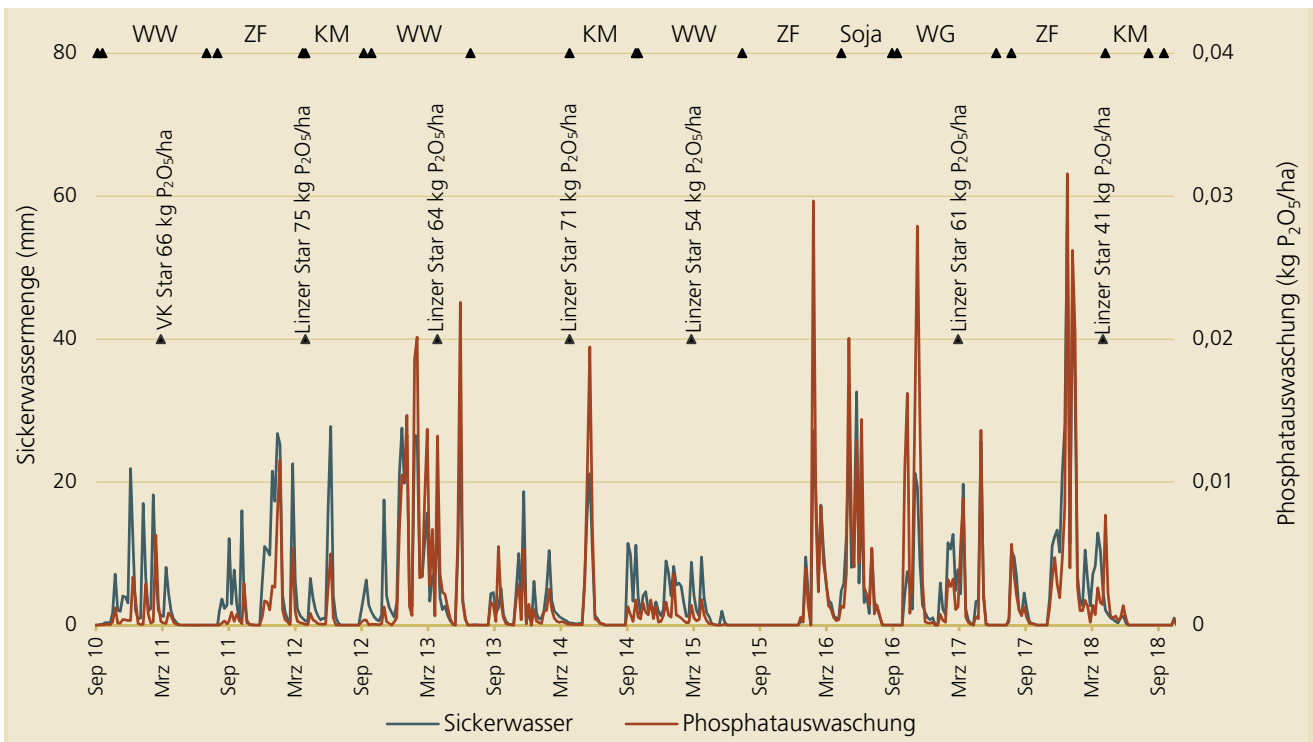


Abb. 5-45: Phosphatauswaschung am seichtgründigen Standort in Pucking

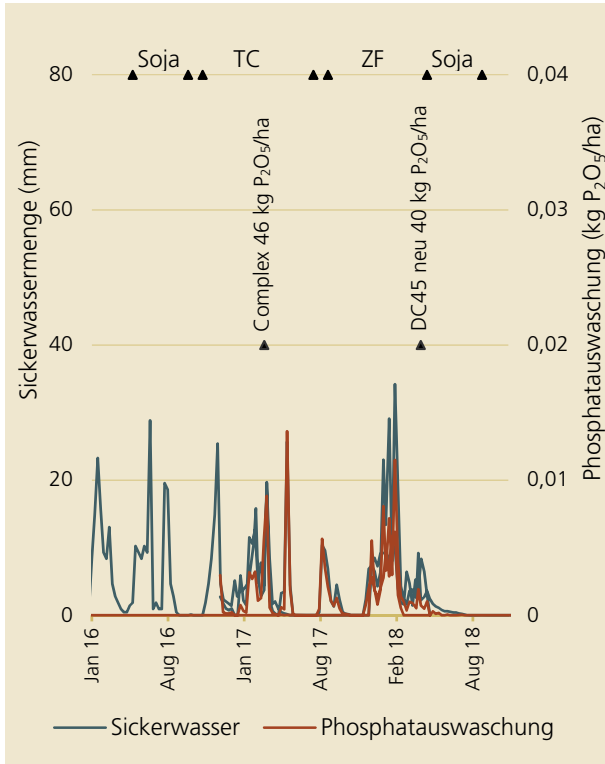


Abb. 5-46: Phosphatauswaschung am mittelgründigen Standort in Schwertberg (gestörter Bodenaufbau)

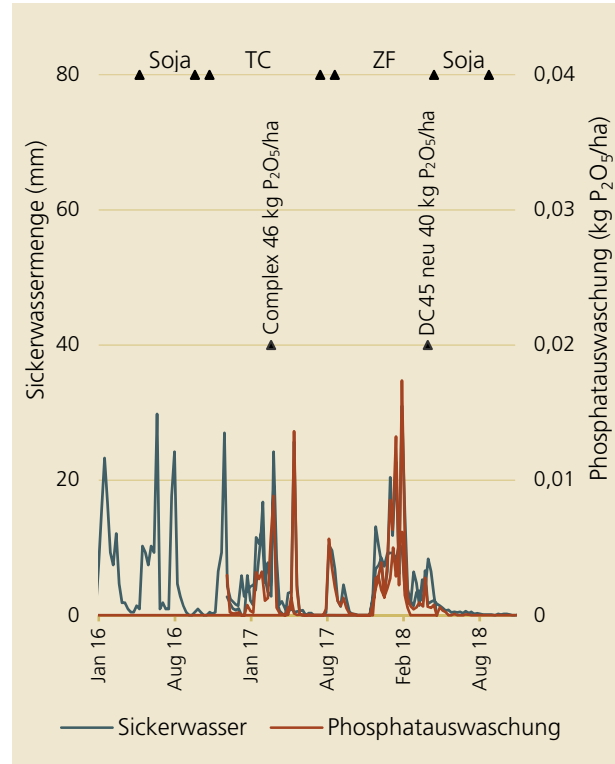


Abb. 5-47: Phosphatauswaschung mittelgründigen Standort in Schwertberg (ungestörter Bodenaufbau)

In Summe waren die P-Verluste mit dem Sickerwasser im hydrologischen Jahr 2017/18 im Verhältnis zu den bei der Düngung eingesetzten P-Mengen verschwindend klein (Tab. 5-6). Die durchschnittliche Phosphatkonzentration im Sickerwasser lag in diesem Jahr auf allen 3 Standorten weit unter dem Grundwasserschwel­lenwert von 0,3 mg PO₄/l.

Seit Beginn der Messreihe wurden am tiefgründigen Standort in Eberstolz insgesamt 1,13 kg P₂O₅/ha ausgewaschen und am tiefgründigen Standort in Pettenbach 1,40 kg P₂O₅/ha. Am seichtgründigen Standort wurde seither in etwa die doppelte Menge, nämlich 2,18 kg P₂O₅/ha ausgewaschen (Abb. 5-48). Am Standort in Schwertberg wurde seit Jänner 2016 0,06 kg P₂O₅/ha beim Lysimeter mit gestörtem Bodenaufbau und 0,08 kg P₂O₅/ha beim Lysimeter mit ungestörtem Bodenaufbau ausgewaschen.

Im Vergleich zu vorhergehenden Jahren verläuft die P-Auswaschung in Eberstälzell und Pettenbach im hydrologischen Jahr 2017/18 auf eher geringem Niveau. In Pucking und Schwertberg hingegen wurde vergleichsweise viel Phosphor ausgewaschen

Tab. 5-6: Sickerwasser, P₂O₅-Verluste und mittlere PO₄-Konzentration im Sickerwasser vom 01.11.17 bis 31.10.18

	SW [mm]	P ₂ O ₅ - Verlust [kg/ha]	PO ₄ -Kon. [mg/l]
Tiefgr. EB	228	0,0357	0,021
Tiefgr. PE	281	0,0484	0,023
Seichtgr. PU	336	0,1395	0,056
Mittelgr. SB	198	0,0570	0,039
Mittelgr. SB	191	0,0789	0,055

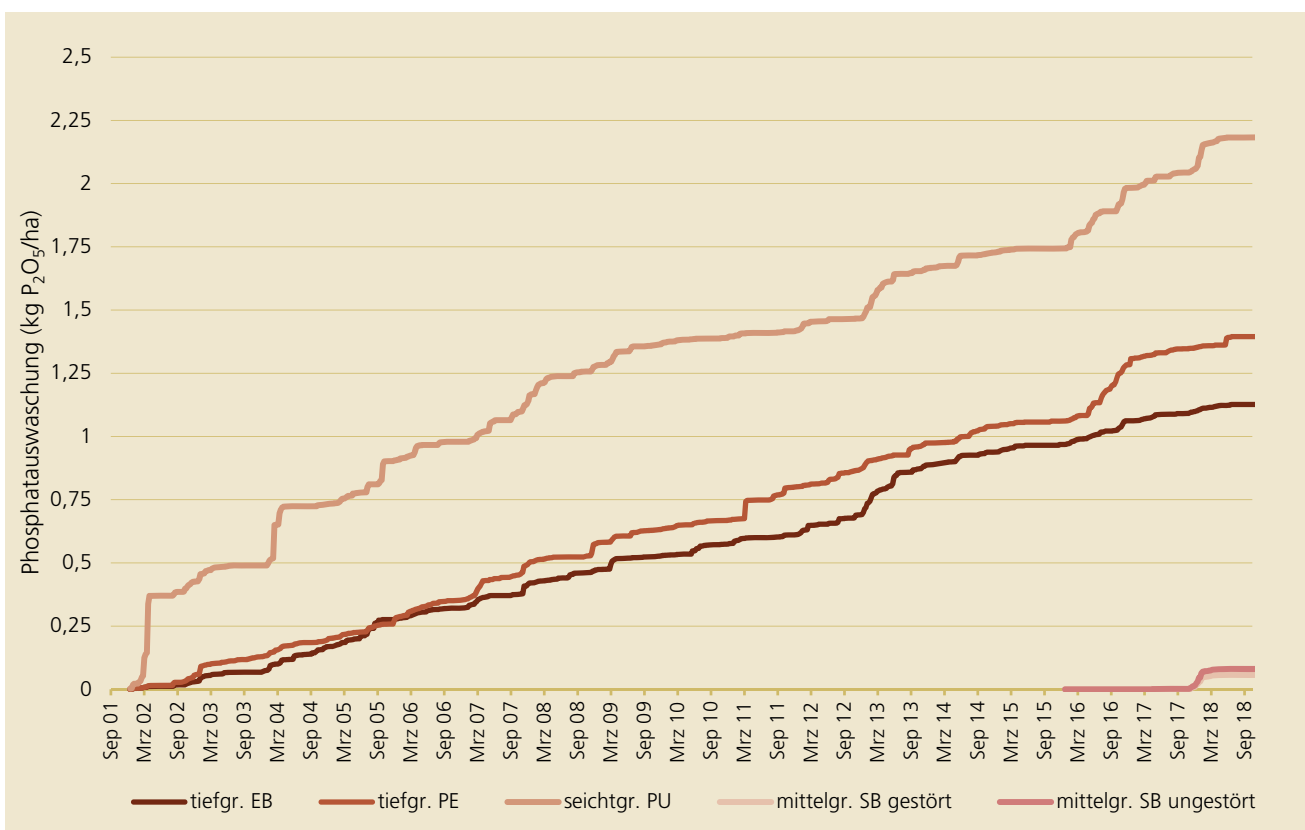


Abb. 5-48: Summe der ausgewaschenen P₂O₅ Menge

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 den Tiefen 10, 35, 60, 90, 120 und 140 cm unter GOK bestücktem Freilandprofil sowie aus einem Schwerkraftlysimeter, welches seit 1995 im Zuge des Forschungsprojektes betrieben wird. Auch dieses Lysimeter wurde mit Saugspannungs- und Wassergehaltssensoren bestückt. Die seit 2001/2 betriebene Klimastation liefert kontinuierliche Niederschlags-, Temperatur-, Globalstrahlungs-, Luftfeuchte- und Windgeschwindigkeitswerte.

6.2 Hydrographische Messergebnisse

Die (mindestens) 6-jährige Laufzeit der verschiedenen Geber erlaubt eine vergleichende Gegenüberstellung des Jahres 2018 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 (2017, blau) und das Bearbeitungsjahr (2018, rot) farblich auseinandergehalten werden können.

In Abb. 6-1 bis Abb. 6-5 werden solcherart die **Niederschlags- und Temperaturverhältnisse**, teilweise inkl. der Vergleichsmessstelle in Vorchdorf, dargestellt. 2018 war ein insgesamt sehr trockenes Jahr, in Vorchdorf sogar wegen des trockenen Frühlings und Herbstes mit der niedrigsten Niederschlagssumme Mitte Juni und im Herbst seit Beobachtungsbeginn 1961. Extrem lange niederschlagsfreie Zeiträume gab es im Oktober und November. Die Lufttemperaturen (Abb. 6-4 und Abb. 6-5) zeigen eine Rekordjahressumme, wobei generell eine „zeitliche Rechtsverschiebung“ zu be-

merken ist. Das bedeutet, die Temperaturzunahmen fallen deutlicher aus, je später im Jahr man sich befindet. Während zu Jahresbeginn bis Ende März die Temperatursumme in Abb. 6-4 im Mittel liegt, zeigt Abb. 6-5 im Frühling und Sommer diese Rechtsverschiebung der Monatsmittelkurve, gekrönt durch einen wärmeren August als Juli. Der sehr warme Oktober führt zu einer in der 2. Jahreshälfte durchwegs konvexen Temperatursummenlinie, bei der die Herbst-Abplattung fehlt. Die meteorologischen Parameter wurden soweit möglich mit den Messstellen Vorchdorf (Niederschlag) und Kremsmünster (Wind, Globalstrahlung) verglichen und teilweise ergänzt.

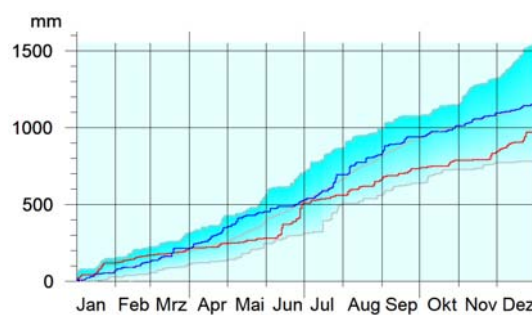


Abb. 6-1: Niederschlags-Jahressummenlinien 2017 (blau) und 2018 (rot) in Pettenbach

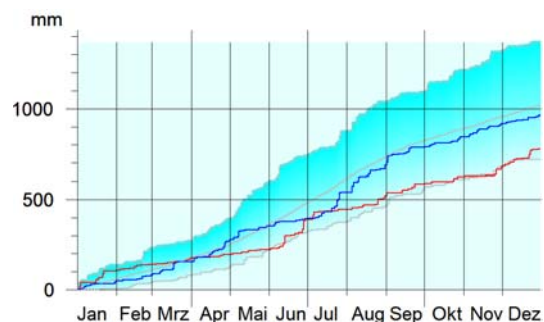


Abb. 6-2: Niederschlags-Jahressummenlinien 2017 (blau) und 2018 (rot) in Vorchdorf

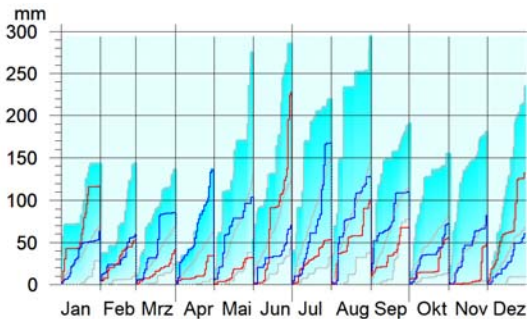


Abb. 6-3: Niederschlags-Monatssummenlinien 2017 (blau) und 2018 (rot) in Pettenbach

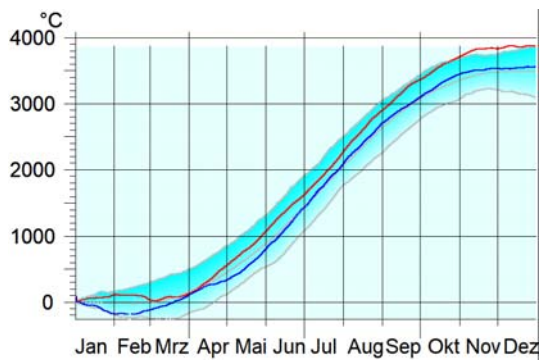


Abb. 6-4: Lufttemperatur-Jahressummenlinie 2017 (blau) und 2018 (rot) in Pettenbach

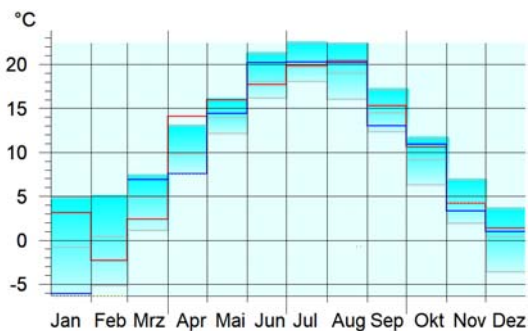


Abb. 6-5: Lufttemperatur-Monatsmittel 2017 (blau) und 2018 (rot) in Pettenbach

Globalstrahlung und **Wind** sind neben der Temperatur die maßgeblichen Einflussfaktoren dafür, wieviel Niederschlagswasser verdunstet und wieviel versickert. 2018 war vor allem im April, Mai und in der 2. Jahreshälfte extrem hell (Abb. 6-6). Es war bis auf den Jänner, März, Oktober und Dezember nicht sehr windreich. Die Luftfeuchtigkeit war ab April trockener als je

zuvor zum vergleichbaren Zeitpunkt der 2013 startenden Beobachtungsreihe (Abb. 6-7). Auffälliger Weise hingegen fiel der November maximal feucht aus und im Dezember fehlte der übliche Abwärtstrend gegen Jahresende, da der Frost fehlte.

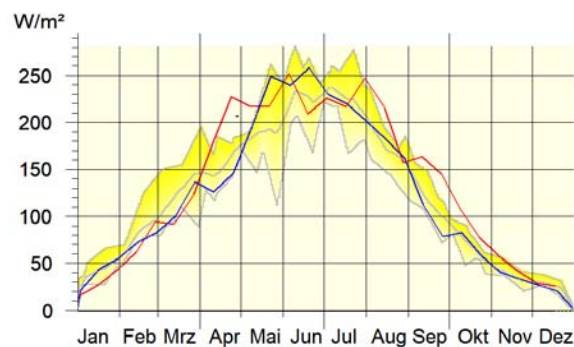


Abb. 6-6: Globalstrahlungs-Wochenmittel 2017 (blau) und 2018 (rot) der Station Pettenbach

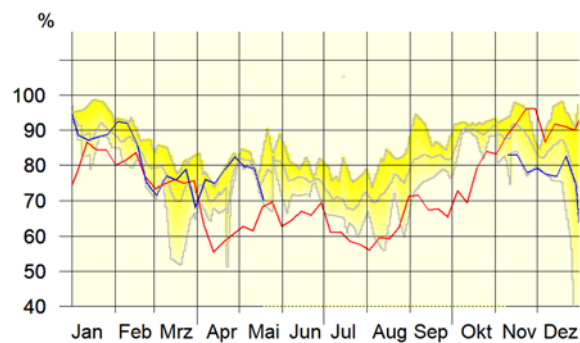


Abb. 6-7: Luftfeuchte-Wochenmittel 2017 (blau) und 2018 (rot)

6.3 Grundwasserneubildung

Die Auswirkungen der klimatischen Verhältnisse auf die Grundwasserneubildungen der Lysimeterstandorte in Pucking, Eberstalzell und Pettenbach werden in den Abb. 6-8 bis Abb. 6-10 dargestellt. Der Vergleichszeitraum startet jeweils 1995. In den 3 Lysimetern des Forschungsprojektes traten ähnliche Versickerungsverläufe auf. Die leichten Unterschiede sind den unterschiedlichen Böden und wahrscheinlich auch dem unterschiedlich stark ausgefallenen Juni-Niederschlagsereignis geschuldet. In Pettenbach kam im Juni rund 80 l Versickerung zustande, in Getzelsdorf 20 l und in Pucking 0 l.

Unterschiedlich stark wirkten sich die Jänner-Niederschläge aus: am stärksten in Getzelsdorf mit Reihenmaxima, mittelhoch in Pettenbach und mäßig in Pucking. Nach einer Versickerungspause von 5-7 Monaten brachte erst wieder der Dezember eine Versickerung von rund 80 l, ganz ähnlich wie der Dezember im Jahr davor. 2018 war das 2. versickerungsarme Jahr in Folge.

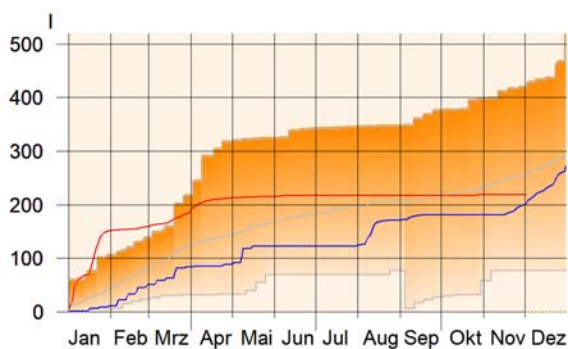


Abb. 6-8: Grundwasserneubildungs-Jahressummenlinien in Pucking 2017 (blau) und 2018 (rot)

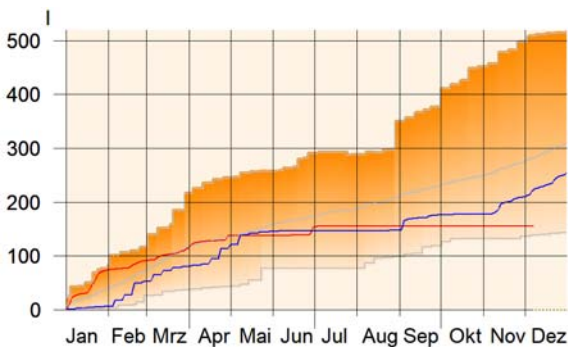


Abb. 6-9: Grundwasserneubildungs-Jahressummenlinien in Eberstälzell 2017 (blau) und 2018 (rot)

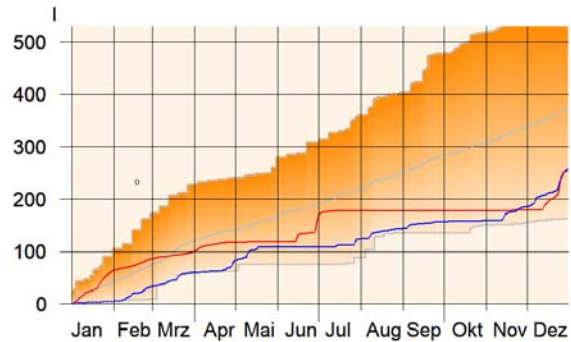


Abb. 6-10: Grundwasserneubildungs-Jahressummenlinien in Pettenbach 2017 (blau) und 2018 (rot)

Mithilfe der k_u -Funktion (Wasserleitfähigkeit im ungesättigten Zustand) lassen sich aus den Saugspannungsgradienten die Grundwasserneubildungen berechnen. Abb. 6-11 stellt die berechnete Grundwasserneubildung in Pettenbach als Jahressummenlinie dar und bestätigt im Großen und Ganzen die Versickerungsmessungen des Lysimeters.

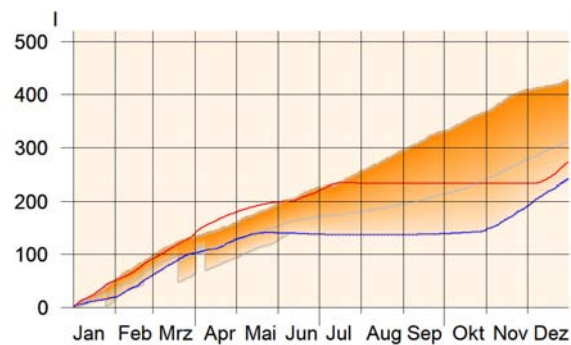


Abb. 6-11: berechnete Grundwasserneubildungs-Jahressummenlinien in Pettenbach 2017 (blau) und 2018 (rot)

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. 6-12 dargestellt ist. Mangels Niederschlags lagen auch alle Verdunstungsmonatssummen außer im Juni im untersten Bereich der Reihe ab 1995 und somit auch die Jahressumme von knapp 500 mm. Vernachlässigt wurde bei diesen Bilanzierungen die Änderung des Wasservolumens im Boden.

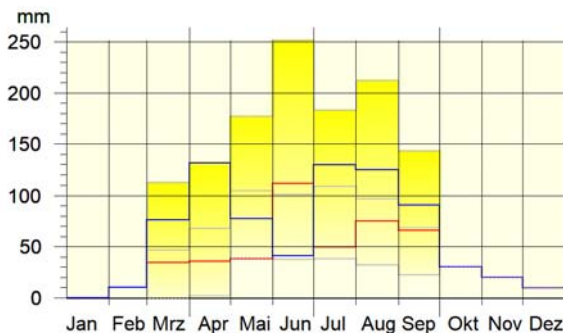


Abb. 6-12: Bilanzierte Verdunstungs-Monatssummen 2017 (blau) und 2018 (rot)

6.4 Bodenwasserverhältnisse

Für die Beobachtung der Bodenwasserverhältnisse im Jahr 2018 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 2017 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.

Erwartungsgemäß zeigen die gewichtet gemittelten **Temperaturen** sowohl im Ober- (Abb. 6-13) als auch im Unterboden (Abb. 6-14) 2018 vor allem im Juni und in der 2. Jahreshälfte höhere Werte als 2017.

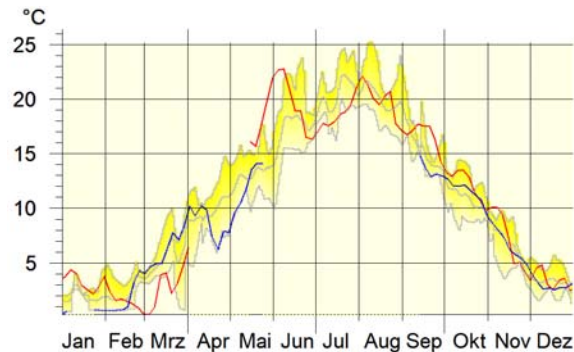


Abb. 6-13: Oberboden-Temperaturen 2017 (blau) und 2018 (rot)

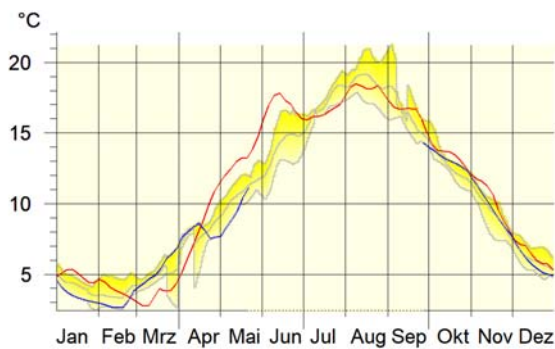


Abb. 6-14: Unterboden-Temperaturen 2017 (blau) und 2018 (rot)

Die **Saugspannungen** in Abb. 6-15 bis Abb. 6-16 wurden aus der Kombination von Gipsblock- und Tensiometermessdaten erstellt, wodurch der Nutzen der Gipsblöcke offenbar wird. Sie zeigen ab Juni – davor konnte die Winterfeuchte noch helfen – Trockenstress, der sich aber bis Ende August unaufhörlich steigert. Es gibt praktisch keine Zeitverschiebung zwischen dem Oberboden- und dem Unterbodenmatrixpotentialmaximum. Es wird das Trockenjahr 2013 (grün dargestellt) bei weitem geschlagen, sowohl was Höhe als auch Dauer der hohen Matrixpotentiale im Ober- aber vor allem im Unterboden anlangt. Die Matrixpotentialmessung zeigt im letzten Juli- und im ersten Augustdrittel Trockenheit über dem permanenten Welkepunkt (Abb. 6-15).

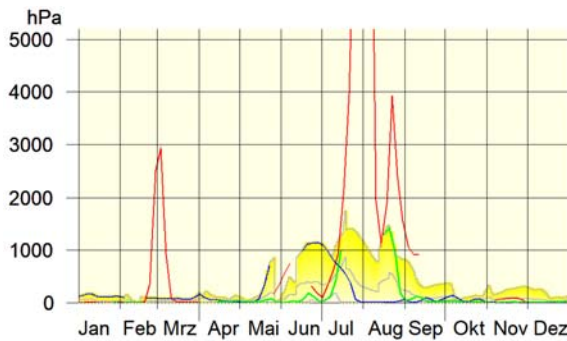


Abb. 6-15: Oberbodensaugspannungen 2013 (grün), 2017 (blau) und 2018 (rot)

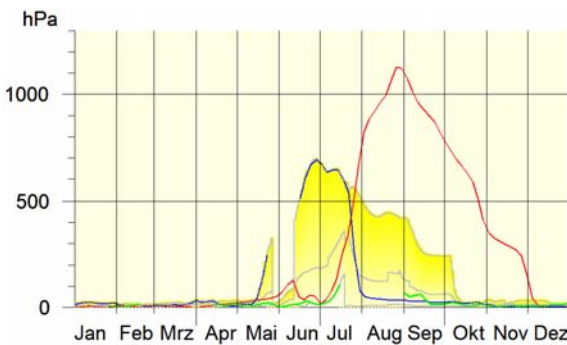


Abb. 6-16: Unterbodensaugspannungen 2013 (grün), 2017 (blau) und 2018 (rot)

In Abb. 6-17 bis Abb. 6-21 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.

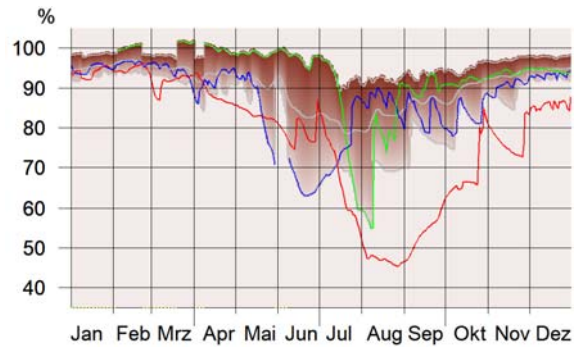


Abb. 6-17: SWI des durchwurzelten Bereiches im Freilandprofil (0-40cm) 2013 (grün), 2017 (blau) und 2018 (rot)

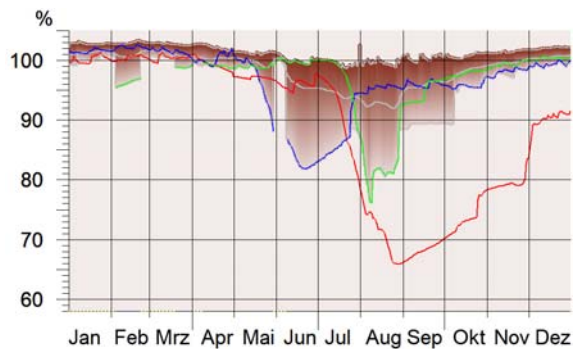


Abb. 6-18: SWI unterhalb der Durchwurzelungstiefe im Freilandprofil (40-150cm) 2013 (grün), 2017 (blau) und 2018 (rot)

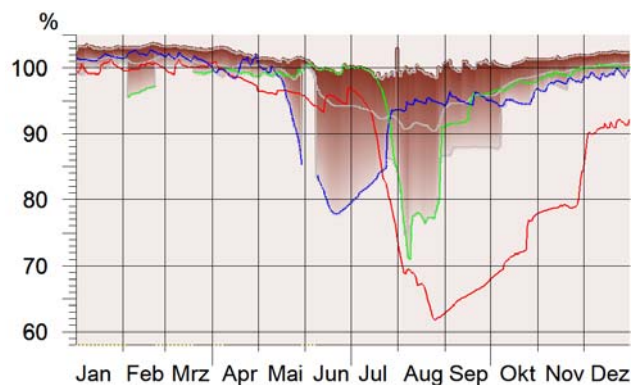


Abb. 6-19: SWI unterhalb der Durchwurzelungstiefe im Freilandprofil (40-130cm) 2013 (grün), 2017 (blau) und 2018 (rot)

Abb. 6-17 bis Abb. 6-21 zeigen die SWI-Verläufe im Freiland und im Lysimeter oberhalb und unterhalb der Durchwurzelungstiefe. Sowohl im Ober- als auch im Unterboden ist die Juni-Austrocknung im Freiland größer als es die Sommertrockenheit 2013 war. Im Lysimeter hingegen verhält es sich umgekehrt. Hingegen tritt im Lysimeter die Oktobertrockenheit viel deutlicher auf als im Freiland. Die Ähnlichkeit der Verläufe generell zeigt die volle Funktionstüchtigkeit des Lysimeters, welches weder Staunässe noch offensichtlich präferentiellen Großporenfluss aufweisen dürfte. Erwartungsgemäß trocknet der Lysimeter im Oberboden etwas stärker aus als das Freiland, im Unterboden aber nur, wenn die letzte Messtiefe von 140 cm berücksichtigt wird (Abb. 6-18). Wird sie hingegen der Vergleichbarkeit mit dem Lysimeter wegen ausgeblendet (Abb. 6-19), scheint der nicht durch einen Betonring „geschützte“ Freiland-Unterboden noch stärker auszutrocknen als das Lysimeter.

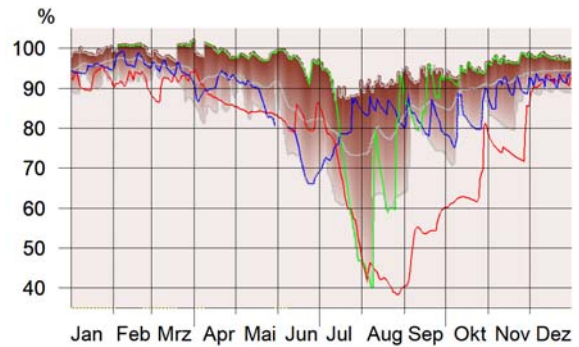


Abb. 6-20: SWI des durchwurzelten Bereiches im Lysimeter (0-40cm) 2013 (grün), 2017 (blau) und 2018 (rot)

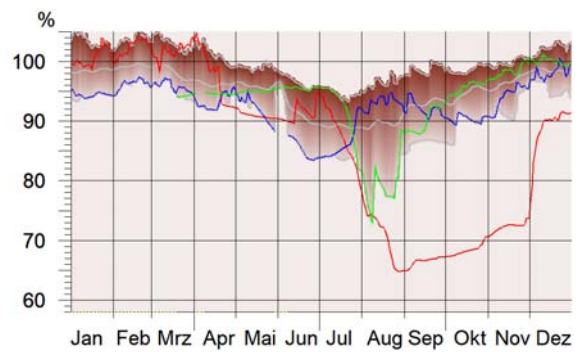


Abb. 6-21: SWI unterhalb der Durchwurzelungstiefe im Lysimeter (40-130cm) 2013 (grün), 2017 (blau) und 2018 (rot)

7 Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Das Auswaschungsgeschehen im berichteten Zeitraum lässt im Vergleich mit den Vorjahren in vielen Punkten Ähnlichkeiten erkennen, weist aber auch Besonderheiten auf. Typisch ist ein Anstieg der N_{\min} -Gehalte nach Umbruch von Zwischenfrüchten, am Beginn der Kulturentwicklung der darauffolgenden Sommerfrüchte. Stickstoff wird mineralisiert, eine stärkere Aufnahme durch die Pflanzen beginnt aber erst mehrere Wochen später. Die Mineralisierung setzte auf Grund der rascheren Bodenerwärmung an den beiden trockeneren Standorten mit leichteren, seicht- und mittelgründigen Böden früher ein, als an den tiefgründigen, feuchteren Standorten und war 2018 im Jahresvergleich aufgrund überdurchschnittlicher Bodentemperaturen im Frühjahr an allen vier Standorten besonders deutlich ausgeprägt. In Verbindung mit hohen Gaben von Putenmist an einem der tiefgründigen Standorte führte dies im Jahr 2018 zu den höchsten bisher gemessenen N_{\min} Gehalten im Boden. An den anderen Standorten zählten die N_{\min} Gehalte ebenfalls zu den Höchsten der langjährigen Messreihe. Ähnlich hohe traten bei einer vergleichbaren Konstellation 2014 bereits einmal auf.

Die hohen N_{\min} Gehalte führten zwar zu einem merklichen Anstieg der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser, allerdings blieb die ausgewaschene Stickstoffmenge im Jahr 2018 mit 40% des langjährigen Durchschnitts aller „Maisjahre“ vergleichsweise gering, da 2018 nur wenig Sickerwasser anfiel. Im Vergleich zum Durchschnitt vorhergehender Maisjahre wurde ab diesem Zeitpunkt in Pettenbach um die Hälfte weniger Sickerwasser gesammelt. In Eberstallzell und Pucking lag die Sickerwassermenge von April bis Oktober sogar unter 30% des Durchschnitts.

Lediglich an den tiefgründigen Standorten, und hier insbesondere am südlicher gelegenen in Pettenbach, traten zum Zeitpunkt der hohen N_{\min} Gehalte nennenswerte Sickerwassermengen auf, da dort im Juni

höhere Niederschläge als auf den anderen Standorten zu verzeichnen waren. Nur in Pettenbach war daher das für Jahre mit Sommerungen typische Maximum der Nitratauswaschung im Juni und Juli deutlich ausgeprägt und bewirkte dort 2/3 der Nitratauswaschung des hydrologischen Jahres 2017/18. Ein Maximum war auch in Eberstallzell feststellbar, aber in schwächerer Form.

Die Körnermaiserträge entsprachen an den tiefgründigen Standorten einer hohen Ertragslage (hoch 2 und hoch 3). Die warmen, trockenen Bedingungen stellten auf diesen Standorten somit keinen Nachteil für die Ertragsbildung dar, da im Unterboden über die gesamte Vegetationsdauer ausreichend Wasser zur Verfügung stand. Anders am seichtgründigen Standort. Der dort erzielte Maisertrag entsprach aufgrund der Trockenheit im Jahr 2018 nur einer niedrigen Ertragslage. Am mittelgründigen Standort wurde mit Soja ein Ertrag auf dem Niveau einer mittleren Ertragslage erzielt. Die Stickstoffsalden der Maisfelder waren dementsprechend an den tiefgründigen Standorten für den jahreswirksamen Stickstoff weitgehend ausgeglichen, am seichtgründigen Standort deutlich positiv (60 kg N/ha). Für einen langjährigen Vergleich von Stickstoffsaldo und Auswaschung ist allerdings der feldfallende Stickstoff zur Berechnung heranzuziehen.

Die standardzahlen der Richtlinien für die sachgerechte Düngung für den N-Gehalt in Geflügelwirtschaftsdünger sollten überprüft werden.

Die Reihung der Standorte entsprechend ihrer Phosphatauswaschung hängen mit der Gründigkeit der Böden zusammen. So treten die geringsten Phosphorverluste auf den tiefgründigen Standorten in Eberstallzell und Pettenbach auf. Danach folgen die beiden Lysimeter in Schwertberg. Der meiste Phosphor wurde wie auch bereits in den Vorjahren, am seichtgründigen Standort in Pucking ausgewaschen. Im Verhältnis zu der bei der Düngung eingebrachten Phosphormenge war der ausgewaschene Anteil sehr gering.

8 Literatur

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