



LAND

OBERÖSTERREICH

Forschungsprojekt Lysimeter

Technischer
Endbericht
2011

10

15

20

25

30

35

40

45

50



GTW



lebensministerium.at

Forschungsprojekt Lysimeter

Technischer Endbericht 2011

Impressum

Medieninhaber: Land Oberösterreich

Herausgeber:

Amt der Oö. Landesregierung
Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft
Abteilung Grund- und Trinkwasserwirtschaft
Kärntnerstraße 12, 4021 Linz
Tel.: (0732) 77 20 - 12478
Fax.: (0732) 77 20 - 212662
E-Mail: gtw.post@ooe.gv.at

Projektleiter: Dipl.-Ing. Karl Seltenhammer
Grund- und Trinkwasserwirtschaft

Autoren:

Dipl.-Ing. Dr. Max Kuderna
Dipl.-Ing. Dr. Sahar Haridy
wpa Beratende Ingenieure GmbH
1090 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, April 2012

DVR: 0069264

Copyright: Grund- und Trinkwasserwirtschaft



INHALTSVERZEICHNIS

1	Zusammenfassung	4
2	Vorgeschichte und Fragestellung	6
3	Methoden	8
3.1	Tracerausbringung	8
3.2	Probenahme.....	8
3.3	Analytik.....	9
3.4	Bilanzierung	9
3.5	Berechnung der Auswaschung	9
4	Bewirtschaftung	10
5	Ergebnisse	12
5.1	Wirtschaftsdünger und Ernteproben.....	12
5.2	Stickstoffbilanzen	14
5.3	N _{min} Gehalte im Boden	15
5.4	Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger	17
5.4.1	Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung	17
5.4.2	Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser.....	18
5.5	Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort mit Mineraldünger.....	20
5.5.1	Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung	20
5.5.2	Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser.....	21
5.6	Nitratauswaschung am seichtgründigen Standort.....	24
5.6.1	Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung	24
5.6.2	Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser.....	25
5.7	Vergleich der Nitratauswaschung bzw. Nitratkonzentration im Sickerwasser zwischen den Standorten ...	27
5.8	Tracerversuch– Bromid	30
5.9	Phosphorbilanzen	33
5.10	Phosphatauswaschung	34
6	Schlussfolgerungen und Ausblick.....	37
7	Literatur	38

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

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

Abb. 3-1: Ausbringen der Bromidlösung 8

Abb. 5-1: N_{min} Gehalte am tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger 15

Abb. 5-2: N_{min} Gehalte am tiefgründigen Standort mit Mineraldünger 15

Abb. 5-3: N_{min} Gehalte am seichtgründigen Standort 15

Abb. 5-4: Vergleich der N_{min} - Gehalte der Standorte seit Oktober 2001 16

Abb. 5-5: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. Wirtschaftsdünger) 17

Abb. 5-6: Niederschläge und Sickerwasser, gesamte Messreihe (tiefgr. Wirtschaftsdünger) 17

Abb. 5-7: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. Wirtschaftsdünger) 18

Abb. 5-8: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. Wirtschaftsdünger) 18

Abb. 5-9: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (tiefgr. Wirtschaftsdünger) 19

Abb. 5-10: Nitratauswaschung und N_{min} – Gehalte des Bodens (tiefgr. Wirtschaftsdünger) 19

Abb. 5-11: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. Mineraldünger) 20

Abb. 5-12: Niederschläge und Sickerwasser, gesamte Messreihe (tiefgr. Mineraldünger) 20

Abb. 5-13: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. Mineraldünger) 21

Abb. 5-14: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. Mineraldünger) 22

Abb. 5-15: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (tiefgr. Mineraldünger) 23

Abb. 5-16: Nitratauswaschung und N_{min} – Gehalte des Bodens (tiefgr. Mineraldünger) 23

Abb. 5-17: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (seichtgr.) 24

Abb. 5-18: Niederschläge und Sickerwasser, gesamte Messreihe (seichtgründig) 24

Abb. 5-19: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig) 25

Abb. 5-20: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig) 25

Abb. 5-21: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (seichtgründig) 26

Abb. 5-22: Nitratauswaschung und N_{min} – Gehalte des Bodens (seichtgründig) 26

Abb. 5-23: Monatliche Niederschlagssummen an den drei Standorten 27

Abb. 5-24: Monatliche Sickerwassermengen an den drei Standorten 28

Abb. 5-25: Durchschnittliche monatliche Nitratkonzentrationen an den drei Standorten 28

Abb. 5-26: Monatliche Nitratauswaschung an den drei Standorten 28

Abb. 5-27: Summe der als Nitrat ausgewaschenen Stickstoffmenge an den drei Standorten 29

Abb. 5-28: Bromid- und Nitratauswaschung - tiefgründiger Standort mit Wirtschaftsdünger 31

Abb. 5-29: Bromid- und Nitratauswaschung - tiefgründiger Standort mit Mineraldünger 31

Abb. 5-30: Bromid- und Nitratauswaschung - seichtgründiger Standort 31

Abb. 5-31: Bromidkonzentrationen an den drei Lysimetern 32

Abb. 5-32: Summenlinien der Bromidauswaschung an den drei Lysimetern 32

Abb. 5-33: Monatliche Phosphatauswaschung an den drei Standorten 34

Abb. 5-34: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger 34

Abb. 5-35: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort mit Mineraldünger 35

Abb. 5-36: Phosphatauswaschung am seichtgründigen Standort 35

Abb. 5-37: Summe der als Phosphat ausgewaschenen P-Menge an den drei Standorten 36

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 3-1: Analysenprogramm 9

Tab. 4-1: Bewirtschaftungsmaßnahmen 2010/2011 11

Tab. 5-1: Erntemengen und Analysenergebnisse der Ernteproben 13

Tab. 5-2: Stickstoffbilanzen für das Erntejahr 2011 14

Tab. 5-3: Stickstoffauswaschung vom 1.11.10 bis 31.10.11 im Vergleich zur Düngung 27

Tab. 5-4: Sickerwassermengen und durchschnittliche Nitratkonzentration vom 1.11.10 bis 31.10.11 28

Tab. 5-5: Wiedergefundenes Bromid bis Dezember 2011 30

Tab. 5-6: Phosphorbilanzen für das Erntejahr 2011 33

Tab. 5-7: Sickerwasser, P-Verluste und mittlere PO₄-Konzentration im Sickerwasser von 1.11.10 bis 31.10.11 36

1 Zusammenfassung

An drei Standorten in Oberösterreich (Pettenbach, Eberstalzell und Pucking) werden seit 1994 Freiland-lysimeter betrieben. Sie sind in Ackerböden eingebaut, die unter Praxisbedingungen von Landwirten bewirtschaftet werden. Der vorliegende Bericht stellt die Ergebnisse des hydrologischen Jahres 2010/11 dar und vergleicht diese mit den Messreihen der Vorjahre.

Zwei der Lysimeter befinden sich an tiefgründigen Standorten, einer an einem seichtgründigen Standort. Einer der tiefgründigen Standorte wird unter Einsatz von Wirtschaftsdünger bewirtschaftet, der andere rein mineralisch gedüngt. 2011 war auf allen drei Standorten Winterweizen angebaut. Das Stickstoffdüngeneiveau entsprach auf dem mineralisch gedüngten, tiefgründigen Standort einer hohen Ertragslage, auf den anderen Standorten einer mittleren Ertragslage. Auf den tiefgründigen Standorten wurden 2011 hohe Erträge erzielt und auf dem seichtgründigen ein mittlerer.

Auf allen Standorten werden die N- und P-Zufuhr durch Düngung ermittelt, die N- und P-Entzüge mit der Ernte, sowie N_{\min} Gehalte im Boden gemessen und die Auswaschung von Nitrat und Phosphat mit Lysimetern bestimmt. Zusätzlich war im Herbst 2008 ein Tracerversuch mit Kaliumbromid gestartet worden. Auf den tiefgründigen Standorten wurde die Br-Auswaschung noch bis Ende Juli/Anfang August 2011 gemessen.

Die wichtigsten Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen des Jahres 2011 sind:

Unterschiede in der Nitratauswaschung zwischen den Standorten wurden vor allem durch Bodenunterschiede hervorgerufen, wobei die Wasserspeicherfähigkeit die entscheidende Eigenschaft ist. Hervorzuheben ist, dass auf den tiefgründigen Standorten auch in Perioden mit stärkeren Niederschlägen eine Sickerwasser-

bildung nach der Hauptwachstumsphase der Kultur erst mit mehrwöchiger Verzögerung auftrat. Damit wurde die Nitratauswaschung deutlich verlangsamt und die Vegetation hatte vergleichsweise lange Zeit, Nitrat aus dem Boden aufzunehmen. Eine Berücksichtigung der Wasserspeicherfähigkeit des Bodens bei der Planung von Maßnahmen zum Grundwasserschutz in Gebieten mit Nitratproblemen wäre daher zielführend.

Am Wirtschaftsdüngerstandort wurde offensichtlich organischer Stickstoff aus dem Wirtschaftsdünger mobilisiert, wobei dieser sowohl aus Düngemaßnahmen des Jahres 2011 als auch aus den Vorjahren stammen könnte. Eine Erfassung dieser Nachlieferung, zum Beispiel durch eine Anpassung der Düngung durch Anwendung der N_{\min} Sollwertmethode ist daher insbesondere auf Standorten mit langjähriger Wirtschaftsdüngeranwendung sinnvoll.

2011 lieferte wieder ein Beispiel zur P-Auswaschung, die überwiegend als Folge eines Makroporenflusses stattfindet. Am tiefgründigen Standort mit Mineraldünger fand eine extreme Auswaschungsspitze unmittelbar nach einer Düngemaßnahme statt. Der Grundwasserschutz vor einer P-Auswaschung müsste daher in erster Linie auf einen geeigneten Düngungszeitpunkt abstellen.

Die Auswaschungsdynamik folgte 2011 einem klassischen Muster mit dem Hauptteil der Sickerwasserbildung über die Periode von Spätherbst über den Winter zum zeitigen Frühjahr. Im Hinblick auf den Grundwasserschutz lässt sich daraus ableiten, dass im Boden vorhandenes Nitrat zum Beginn dieser Periode ein überproportionales Risiko darstellt. Auf Böden mit einem hohen Auswaschungsrisiko stellen Winterungen oder Zwischenbegrünungen diesbezüglich nur einen relativen Schutz dar. Jedenfalls kann abgeleitet werden, dass Bewirtschaftungsmaßnahmen, die zu einer Erhöhung des Nitratgehalts im Spätherbst führen können, für das Grundwasser ein hohes Risiko darstellen.

Eine Düngung im Herbst ist daher aus der Sicht des Grundwasserschutzes zu vermeiden.

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 errichtet, mit dem Ziel, 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 (vgl. Abb. 2-1). Sie liegen im Grundwasserkörper der Traun-Enns Platte, welcher ab 13. September 2007 aufgrund der hohen Nitratgehalte als Beobachtungsgebiet ausgewiesen wurde (LGBl Nr. 80/2007). Der dritte Lysimeter in Pucking / Weisskirchen befindet sich auf einem sehr sensiblen Standort am Rande der Traun-Enns Platte. Dieser Standort ist durch einen sehr leichten, skelettreichen Boden gekennzeichnet, der darüber hinaus sehr 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).

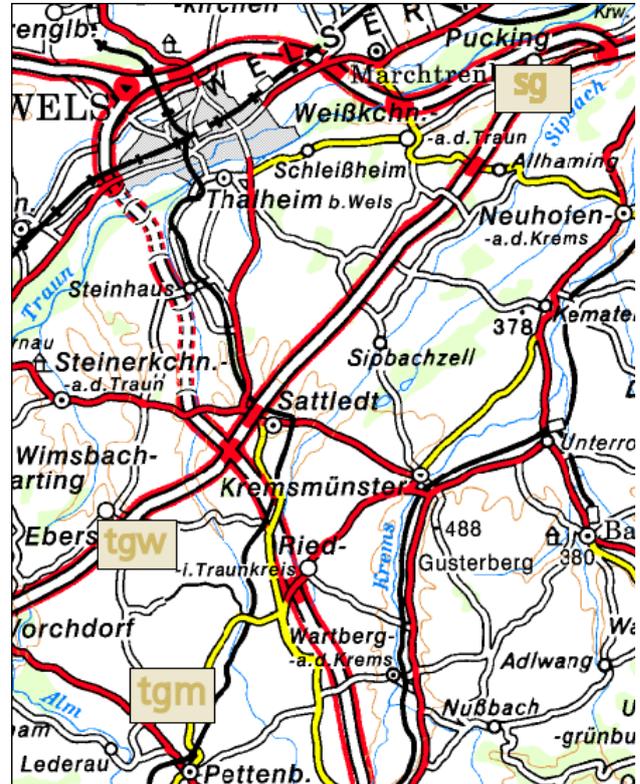


Abb. 2-1: Lage der Lysimeter

Sg seichtgründig; tgw tiefgründig Wirtschaftsdünger;
tgm tiefgründig Mineraldünger

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 Wirtschaftsdünger und ein Standort mit Mineraldünger bewirtschaftet.

Für eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse wird eine – soweit unter Praxisbedingungen möglich – gleiche Bewirtschaftungsweise der Standorte angestrebt, wo-

bei 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.

Neben den bereits erwähnten Fragestellungen, die während der gesamten Laufzeit einer langfristigen Betrachtung unterzogen wurden, können die Lysimeter und die Standorte, auf denen sie sich befinden, auch zur Behandlung spezieller Themen in einem gewissen Umfang eingesetzt werden. So wurde im Herbst 2008 ein Versuch mit Bromid als Tracer mit dem Ziel gestartet, die Verlagerungsgeschwindigkeit von Anionen in Böden im Bereich der Traun-Enns-Platte zu untersuchen. Bromid weist diesbezüglich ähnliche Eigenschaften wie Nitrat auf, kommt jedoch im Gegensatz dazu in den untersuchten Ackerböden nur in sehr geringen Mengen vor. Konzentrationsänderungen im Sickerwasser können daher einer bestimmten (in diesem Fall einzigen) Ausbringung des Tracers zugeordnet werden, während Stickstoff regelmäßig als Dünger ausgebracht wird und als Nitrat verlagert wird.

3 Methoden

3.1 Tracerausbringung

Als Tracer wurde Kaliumbromid verwendet. Das Anion (Bromid) ist in Wasser gut löslich und verhält sich im Untergrund konservativ, d.h. wird weder abgebaut noch adsorbiert, sondern mit dem Sickerwasser transportiert. Unvermeidlich ist jedoch eine teilweise Aufnahme durch Pflanzen und vermutlich auch durch Bodenorganismen.

Je Standort wurden am 13. November 2008 einmalig 100 g Kaliumbromid gelöst in 5 Liter Wasser gleichmäßig über den drei Lysimetern ausgebracht. Die Bromidkonzentrationen wurden bzw. werden im nachfolgend anfallenden Sickerwasser analysiert. An den ebenfalls auf den Versuchsstandorten eingebauten Kontrollmessstellen (Saugkerzen) wurde kein Tracer ausgebracht.

Aufgrund der Tatsache, dass am seichtgründigen Standort der Tracer sehr rasch nahezu vollständig ausgewaschen wurde, wurden an diesem Standort die Bromidanalysen mit November 2009 beendet. An den anderen beiden Standorten wurden die Bromidanalysen bis Ende Juli/Anfang August 2011 fortgeführt.



Abb. 3-1: Ausbringen der Bromidlösung

3.2 Probenahme

Von Anfang September 2001 bis Ende Dezember 2011 erfolgte eine regelmäßige 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. Die technische Betreuung der Lysimeteranlagen während des Berichtszeitraums erfolgte durch Mitarbeiter des Instituts für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt der Bundesanstalt für Wasserwirtschaft.

Im 2-Monatsrhythmus wurden Bodenproben aus den Tiefenstufen 0-30, 30-60 und 60-90 cm der beiden tiefgründigen Standorte entnommen. Am seichtgründigen Boden konnten ab 40 cm Tiefe keine Bodenproben mehr genommen werden, da ab dieser Tiefe der Grobanteil dominiert. 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 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.

Vom Betrieb, der Wirtschaftsdünger auf der Lysimeterfläche ausbringt, wurde die Schweinegülle zum Zeitpunkt der Ausbringung beprobt.

3.3 Analytik

Die Analysen wurden von Chemcon - Technisches Büro für Technische Chemie GmbH nach folgenden Methodenvorschriften durchgeführt (Tab. 3-1):

Tab. 3-1: Analysenprogramm

Substanz	Parameter	Methoden
Sickerwasser	Nitrat Orthophosphat Bromid	ÖNORMEN ISO 10304-1, -2
Boden	Nitrat in 0-30, 30-60 und 60-90 cm Bodentiefe, Ammonium in 0-30 cm	ÖNORM L1091
Pflanzenproben	Trockenmasse N _{gesamt} P _{gesamt} Bromid	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.

3.4 Bilanzierung

Zur Bilanzierung der N- P- und Br 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 2011. Zur Berechnung der N- P- und Br-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 für die Lysimeterflächen alleine durchgeführt (Br nur auf den Lysimeterflächen).

Für N-Einträge durch Wirtschaftsdünger wurde rechnerisch ein Abschlag für gasförmige Verluste aufgrund der Ausbringung bei Gülle und Jauche im Ausmaß von 13 % berücksichtigt und dann mit der Jahreswirksamkeit (80 %) multipliziert (Richtlinien für die sachgerechte Düngung 6. Aufl., Baumgarten, 2006). Die atmosphärische Deposition und Stickstoffverluste durch Denitrifikation blieben unberücksichtigt.

3.5 Berechnung der Auswaschung

In die Berechnung der Nitratauswaschung und der Sickerwasserkonzentration ging jeweils der Mittelwert der Messwerte beim Lysimeter- und den Kontrollmessstellen ein. Phosphat und Bromid wurde nur bei den Lysimetern analysiert, sodass die jeweiligen Messwerte ausgewertet wurden. Die Sickerwassermenge wurde ebenso nur für das Lysimeter ausgewertet.

4 Bewirtschaftung

Auf allen drei Standorten wird eine konventionelle Bewirtschaftungsweise mit wendender Bodenbearbeitung durchgeführt. Die Hauptkultur des Jahres 2011 war Winterweizen. Die einzelnen Bewirtschaftungsmaßnahmen sind in Tab. 4-1 angeführt. Die Summe der N-Düngung betrug am tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger demnach 121 kg N/ha (jahreswirksam), am tiefgründigen Standort mit Mineraldünger 145 kg N/ha und am seichtgründigen Standort mit Mineraldünger 121 kg N/ha.

Die Phosphordüngermengen betragen (in derselben Reihenfolge der Standorte) 15 kg P₂O₅/ha, 47 kg P₂O₅/ha und 66 kg P₂O₅/ha.

Bezüglich der Stickstoffdüngung entspricht das Düngenniveau am tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger einer mittleren, am tiefgründigen Standort mit Mineraldünger einer hohen Ertragslage (Baumgarten, 2006).

Tab. 4-1: Bewirtschaftungsmaßnahmen 2010/2011

Datum	Tiefgründiger Standort Wirtschaftsdünger	Tiefgründiger Standort Mineraldünger	Seichtgründiger Standort
27.09.2010			Saat Winterweizen (Mulan 185 kg/ha)
13.10.2010	Schweingülle 23m ³ /ha		
15.10.2010	Anbau Winterweizen		
30.10.2011		Anbau Winterweizen	
9.03.2011			443 kg/ha VK Star (15:15:15)
15.03.2010		470kg DC-37 (12-10-15)	
19.03.2011	170kg NAC (27%)		
18.04.2011			111 kg/ha NAC
22.04.2011		260 kg NAC/ha	
29.04.2011		70 kg NAC/ha	
07.05.2011	120kg NAC (27%)		92 kg/ha NAC
12.07.2011			Ernte 6640 kg/ha
12.07.2011			Stroh eingehäckselt
14.07.2011			Grubber
03.08.2011		Ernte 8070 kg/ha	
04.08.2011	Ernte 8900 kg/ha	Stroh abgeführt	
09.08.2011		Lysimeterring ausgebaut	
11.08.2011		Regenmesser ausgebaut	Zwischenfruchtbau (Wassergüte Früh 12kg/ha)
13.08.2011	Stroh eingehäckselt	gepflügt	
21.08.2011		Raps Anbau	
22.08.2011		770 kg/ha DC. (6-10-16)	
25.08.2011		Regenmesser eingebaut	
06.09.2011		Lysimeterring eingesetzt	
02.09.2011:	Gülle 20 m ³ / ha		
02.09.2011	gepflügt		
24.09.2011	WG gesät 200 kg/ha		

5 Ergebnisse

5.1 Wirtschaftsdünger und Ernteproben

Die im Oktober 2010 beprobte Schweinegülle hatte einen Ammoniumstickstoffgehalt von $2,24 \text{ kg/m}^3$, der Gesamtstickstoffgehalt der im Oktober 2010 ausgebrachten Gülle betrug $2,7 \text{ kg/m}^3$. Umgerechnet auf jahreswirksamen Stickstoff ergibt das $1,9 \text{ kg/m}^3$. Der P_2O_5 Gehalt betrug $0,65 \text{ kg/m}^3$.

Die (nach der Ernte des Winterweizens) im September 2011 ausgebrachte Schweinegülle hatte einen Ammoniumstickstoffgehalt von $2,8 \text{ kg/m}^3$, der Gesamtstickstoffgehalt betrug $3,9 \text{ kg/m}^3$. Umgerechnet auf jahreswirksamen Stickstoff ergibt das $2,7 \text{ kg/m}^3$. Der P_2O_5 Gehalt betrug $1,21 \text{ kg/m}^3$. Diese Düngung wurde nach der Ernte des Winterweizens durchgeführt.

Die Erntemengen und Analysenergebnisse der Ernteproben sind in Tab. 5-1 dargestellt. Umgerechnet auf Standardfeuchte wurden am tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger $8,9 \text{ t}$ Winterweizen geerntet, am tiefgründigen Standort mit Mineraldünger $8,8 \text{ t}$ (Mittelwert der beprobten Teilflächen). Das entspricht einer hohen Ertragslage. Am seichtgründigen Standort lag die Erntemenge bei $4,5 \text{ t}$ Winterweizen pro ha (mittlere Ertragslage).

Aus dem Vergleich der Ergebnisse der eigentlichen Lysimeterflächen mit den Mittelwerten von Lysimeterfläche + 2 Vergleichsflächen ist ersichtlich, dass die Erntemenge am Lysimeterring vor allem am seichtgründigen Standort erheblich vom Durchschnittsertrag abwichen. Am Lysimeterring wurde ca. $1/3$ mehr (sowohl Korn als auch Stroh) als im Felddurchschnitt geerntet. Eine denkbare Ursache könnte darin liegen, dass die Versickerung in diesem leichten und skelettreichen Boden im Lysimeter langsamer erfolgt als am Rest des Feldes bzw. am Unterrand des Sickerwassersammlers das Wasser erst nach und nach Austritt und daher von der Kulturpflanze noch teilweise genutzt werden kann.

Eine ebenfalls anzumerkende Abweichung gab es am tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger. Hier wurde am Lysimeter weniger Korn geerntet (-20%) als im Felddurchschnitt. Dieser Unterschied wurde auch in vergangenen Jahren immer wieder beobachtet und dürfte darauf zurückzuführen sein, dass dieser Lysimeter (je nach Bewirtschaftung im Einzeljahr) gerade noch im Randbereich des Vorgewendes liegt.

In allen anderen Fällen waren die Abweichungen geringer (max. 11%).

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)	Br (g/kg TS)
Tiefgr. WD- Lys Korn	625	88%	19,2	7,4	0,0
Tiefgr. WD- MW Korn	777	89%	17,4	7,6	
Tiefgr. WD- Lys Stroh	624	87%	7,1	1,9	0,0
Tiefgr. WD- MW Stroh	669	88%	5,6	1,4	
Tiefgr. MD - Lys Korn	762	97%	18,0	6,9	0,0
Tiefgr. MD - MW Korn	768	99%	18,6	7,2	
Tiefgr. MD - Lys Stroh	754	84%	5,5	1,6	0,0
Tiefgr. MD - MW Stroh	678	88%	6,2	1,6	
Seichtgr. - Lys Korn	544	92%	22,3	7,2	0,0
Seichtgr. - MW Korn	396	92%	20,4	7,9	
Seichtgr. - Lys Stroh	473	90%	6,7	1,4	0,0
Seichtgr. - MW Stroh	355	89%	6,4	1,7	

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

5.2 Stickstoffbilanzen

Eine Gegenüberstellung der Stickstoffentzüge mit dem N-Düneaufwand ergibt für den tiefgründigen Stand-

Tab. 5-2). Betrachtet man nur die Lysimeterfläche, so ist die N-Bilanz nahezu ausgeglichen.

Für den tiefgründigen Standort mit Mineraldünger ergibt sich eine stark negative N-Bilanz, sowohl für die Mittelwerte aus Lysimeter und Vergleichsflächen, als auch für die Lysimeterwerte. Dies begründet sich primär damit, dass am gegenständlichen Standort auch das Stroh abgeführt wurde.

Für den seichtgründigen Standort ergibt sich eine nahezu ausgeglichene N-Bilanz, wenn die Werte aus der Lysimeterfläche herangezogen werden. Betrachtet man hingegen die Mittelwerte, so ist die N-Bilanz positiv, d.h. mehr Stickstoff wurde durch Düngung aufgebracht, als durch die Ernte (Korn) entzogen wurde.

ort mit Wirtschaftsdüngung eine negativ Bilanz der Bewirtschaftung, d.h. mehr Stickstoff wurde durch die Ernte (Korn) entzogen, als durch Düngung aufgebracht wurde (

Die teils erheblichen Unterschiede in den Bilanzen für die Lysimeterflächen und die Vergleichsflächen bzw. den daraus gebildeten Mittelwerten auf den drei Standorten resultieren aus den unterschiedlichen Erntemengen auf den Lysimeterflächen und den Vergleichsflächen (siehe Tab. 5-1.). Vor allem auf dem seichtgründigen Standort war der Ertrag auf den Vergleichsflächen deutlich geringer als über dem Lysimeter. Auf dem tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdüngung hingegen wurde am Lysimeter ein geringerer Ertrag als auf den Vergleichsflächen beobachtet. Auf dem tiefgründigen Standort mit Mineraldünger ergeben sich kaum Unterschiede hinsichtlich der Erntemenge über dem Lysimeter und den Vergleichsflächen.

Tab. 5-2: Stickstoffbilanzen für das Erntejahr 2011

	Tiefgründiger Standort mit Wirtschaftsdünger		Tiefgründiger Standort mit Mineraldünger		Seichtgründiger Standort	
	----- kg N/ha -----					
Stickstoffzufuhr aus Düngung	121		145		121	
Entzug durch die Pflanzen	Lysimeter	Mittelwert	Lysimeter	Mittelwert	Lysimeter	Mittelwert
Entzug durch das Korn	120	134	137,4	143,0	121,5	82,3
Entzug durch das Stroh	44,4	36,8	41,6	41,8	31,4	23,0
Summe Entzug	164,4	170,8	179	184,8	152,9	105,3
Abfuhr durch Ernte	120	134	179	184,8	121,5	82,3
Bilanz Korn	1	-13	7,6	2,0	-0,5	38,7
Bilanz Korn + Stroh	-43,4	-49,8	-34	-38,8	-31,9	15,7
Bilanz Ernteabfuhr	1	-13	-34*	-38,8*	-0,5	38,7

* Ernte beinhaltet Korn und abgeführtes Stroh

5.3 N_{min} Gehalte im Boden

Die N_{min} Gehalte (Nitrat + Ammonium) im Boden zeigen auf den drei Standorten einen deutlichen Zusammenhang mit den Düngemaßnahmen und dem zeitlichen Verlauf der Stickstoffaufnahme des angebauten Winterweizens.

Am tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger ist die Auswirkung von der im Oktober 2010 ausgebrachten Schweingülle in den entnommenen Bodenproben im Februar 2011 bemerkbar. Obwohl im März und Anfang Mai jeweils eine Düngung mit Mineraldünger durchgeführt wurde, waren die danach (Mitte Mai) gemessenen Werte an N_{min} im Boden deutlich geringer als im Februar. Ein deutlicher Anstieg der N_{min} Gehalte wurde an den im Juni entnommenen Bodenproben festgestellt. Dies lässt sich einerseits damit erklären, dass der erst kurz zuvor ausgebrachte Mineraldünger in der Bodenprobe nicht erfasst wurde, aber auch eine Mineralisierung von organischem Stickstoff aus dem Wirtschaftsdünger oder dem Boden könnte stattgefunden haben. An den im August entnommenen Bodenproben ist wiederum ein deutlicher Rückgang der gemessenen N_{min} Gehalte beobachtbar. Dies begründet sich damit, dass in der Zeit davor die höchsten N-Entzüge durch den Winterweizen zu erwarten sind. Die im September 2011 (nach der Ernte des Winterweizens) ausgebrachten Düngemittel bewirken dann einen deutlichen Anstieg des N_{min} Gehalts.

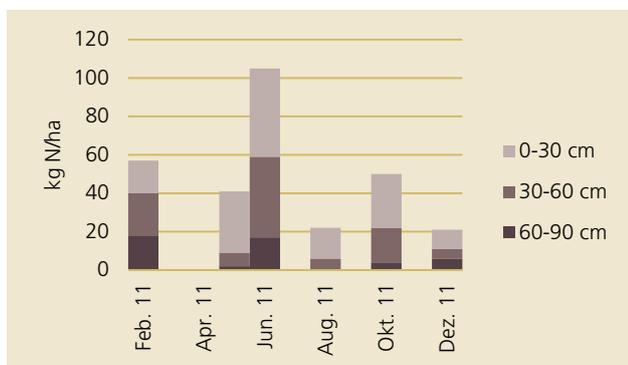


Abb. 5-1: N_{min} Gehalte am tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger

Weitgehend ähnlich zur Situation am tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger verhält sich der zeitliche Verlauf der N_{min} Gehalte im Boden am tiefgründigen Standort mit Mineraldünger (Abb. 5-2). Der signifikante Anstieg im Mai ist auf Düngemaßnahmen zurückzuführen, die alle in den Monaten März und April erfolgten. Danach (August) ist ein Rückgang der gemessenen Gehalte an N_{min} erkennbar, der sich wiederum durch den N-Entzug durch den Winterweizen erklären lässt.

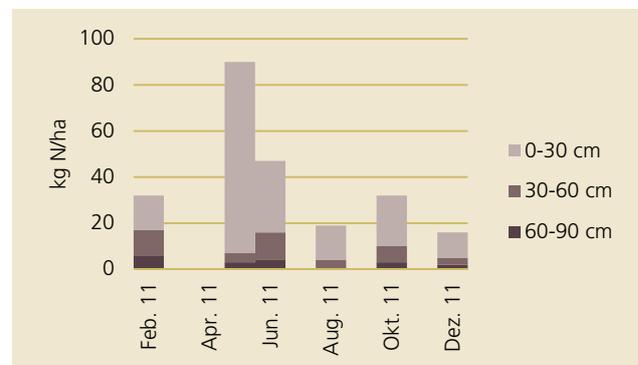


Abb. 5-2: N_{min} Gehalte am tiefgründigen Standort mit Mineraldünger

Am seichtgründigen Standort wurden im Mai die höchsten Werte für N_{min} im Boden beobachtet. Diese Werte sind auf die im März, im April und Anfang Mai durchgeführten Düngungen zurückzuführen. Im Vergleich zu den beiden tiefgründigen Standorten wurden am seichtgründigen Standort im August relativ hohe N_{min} Werte beobachtet.

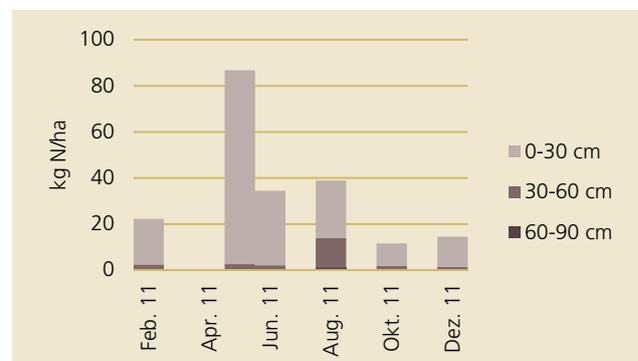


Abb. 5-3: N_{min} Gehalte am seichtgründigen Standort

Vergleicht man alle 3 Standorte, so zeigt sich, dass im Jahr 2011 am tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger der mit Abstand höchste Wert an N_{min} gemessen wurde (Abb. 5-4).

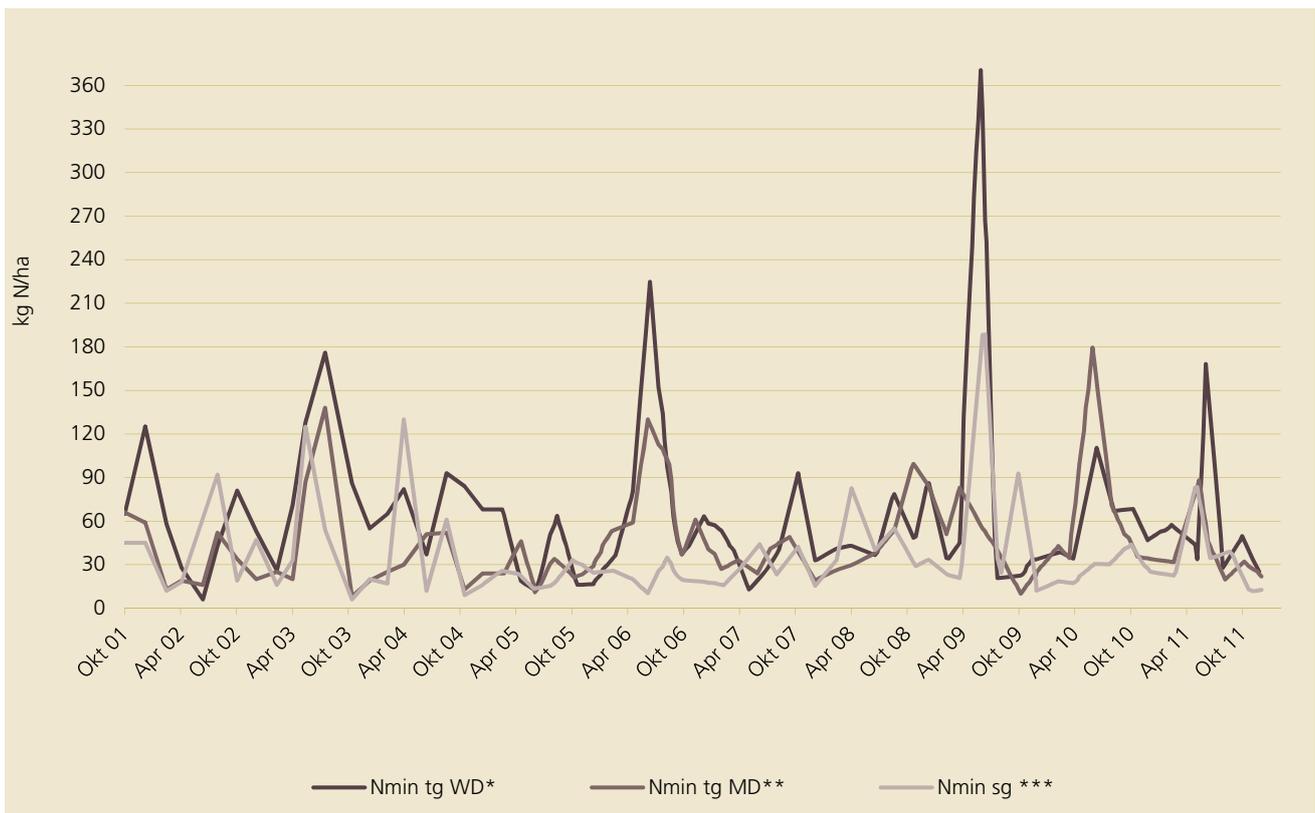


Abb. 5-4: Vergleich der N_{min} - Gehalte der Standorte seit Oktober 2001

- * tiefgründiger Standort mit Wirtschaftsdünger
- ** tiefgründiger Standort mit Mineraldünger
- *** seichtgründiger Standort

5.4 Nitrat auswaschung am tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger

5.4.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

Im hydrologischen Jahr 2010/11 fielen 980 mm Niederschlag. Die Sickerwassermenge in diesem Zeitraum betrug 234 mm, das sind 24% der Niederschlagsmenge. Auffallend ist die hohe Niederschlagssumme im Monat Juli (Abb. 5-5), die auf eine, im Vergleich der Jahre, markante Starkregenperiode zurückzuführen ist (vgl. Abb. 5-6).

Zum Verlauf der Sickerwasserbildung ist anzumerken, dass diese wie in den meisten Jahren über die Wintermonate etwas anstieg. Starkregenereignisse in den Monaten Jänner und Oktober führten zu sehr deutlichen Auswaschungsspitzen. Obwohl in der Periode

zwischen Mai und Juli erhebliche Niederschlagsmengen verzeichnet wurden, gab es fast keine Sickerwasserbildung, vielmehr dürften diese das von der Vegetation verbrauchte Bodenwasser aufgefüllt haben.



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

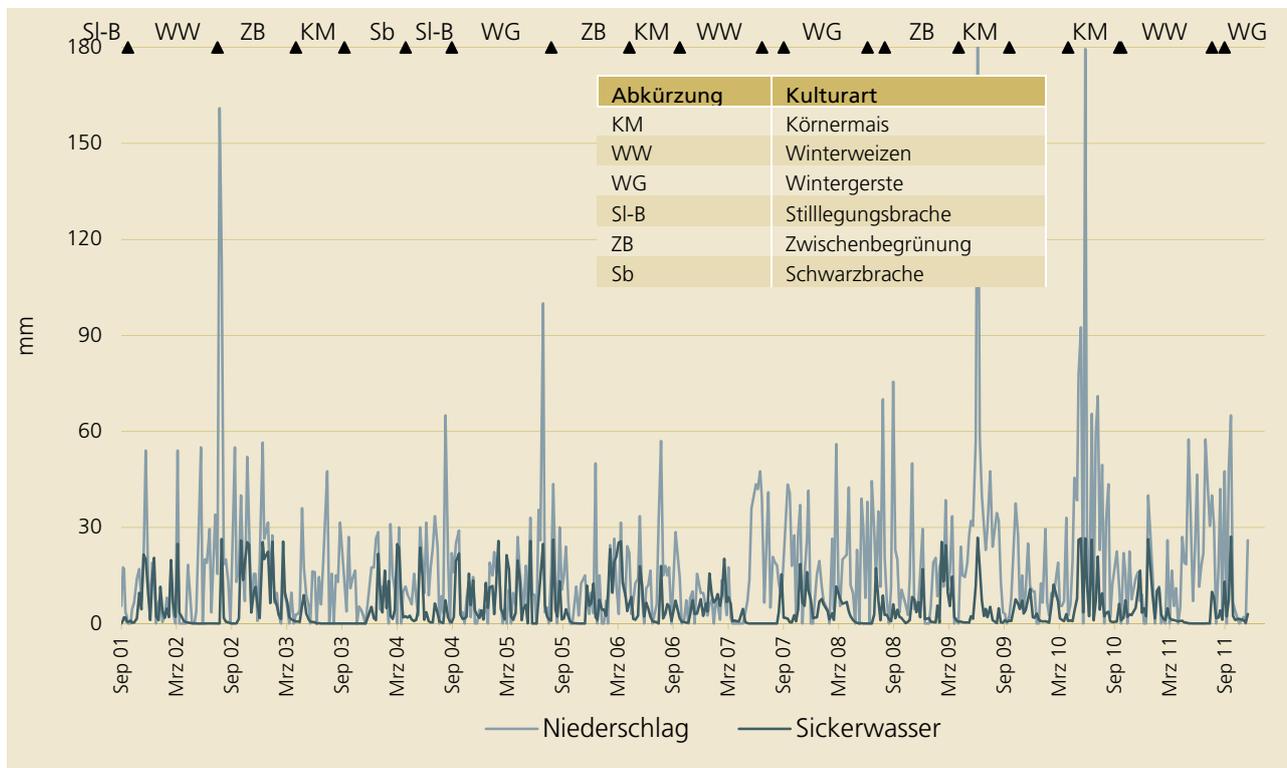


Abb. 5-6: Niederschläge und Sickerwasser, gesamte Messreihe (tiefgr. Wirtschaftsdünger)

5.4.2 Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser

Die monatliche Sickerwassermenge hatte zwei Maxima: im Jänner 2011 als Folge der Winterniederschläge und im Oktober 2011 als Folge der erwähnten Starkregenereignisse (Abb. 5-7). Die Nitratauswaschung im Jänner und im Oktober stieg mit dem Sickerwasseraus-
trag stark an. D.h. in diesen beiden Monaten wurden auch die höchsten Nitratauswaschungen im hydrologischen Jahr 2010/11 beobachtet (Abb. 5-8), wobei diese Werte deutlich unter jenen aus dem Vorjahr lagen. Generell ist am Standort im Beobachtungszeitraum eine Nitratauswaschung direkt proportional zur Sickerwassermenge feststellbar, was sich durch eine nahezu konstante Nitratkonzentration im Sickerwasser erklären lässt (siehe Abb. 5-9). Der höchste N_{\min} -Gehalt im Boden war im Juni in Folge der Düngegabe im

Mai beobachtbar (vgl. Abb. 5-10). Die Summe der ausgewaschenen Stickstoffmenge betrug im hydrologischen Jahr 2010/11 16,7 kg N/ha.

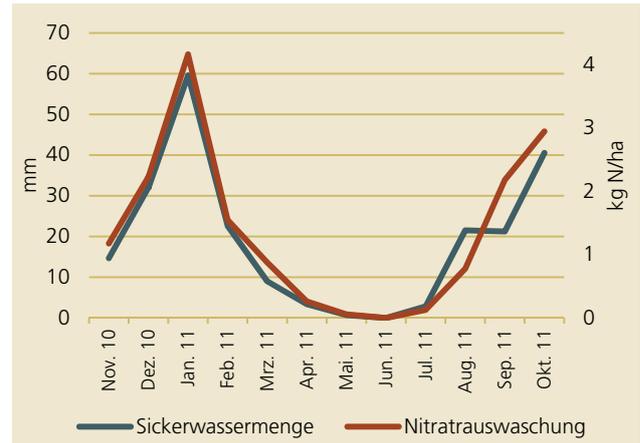


Abb. 5-7: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tieflgr. Wirtschaftsdünger)

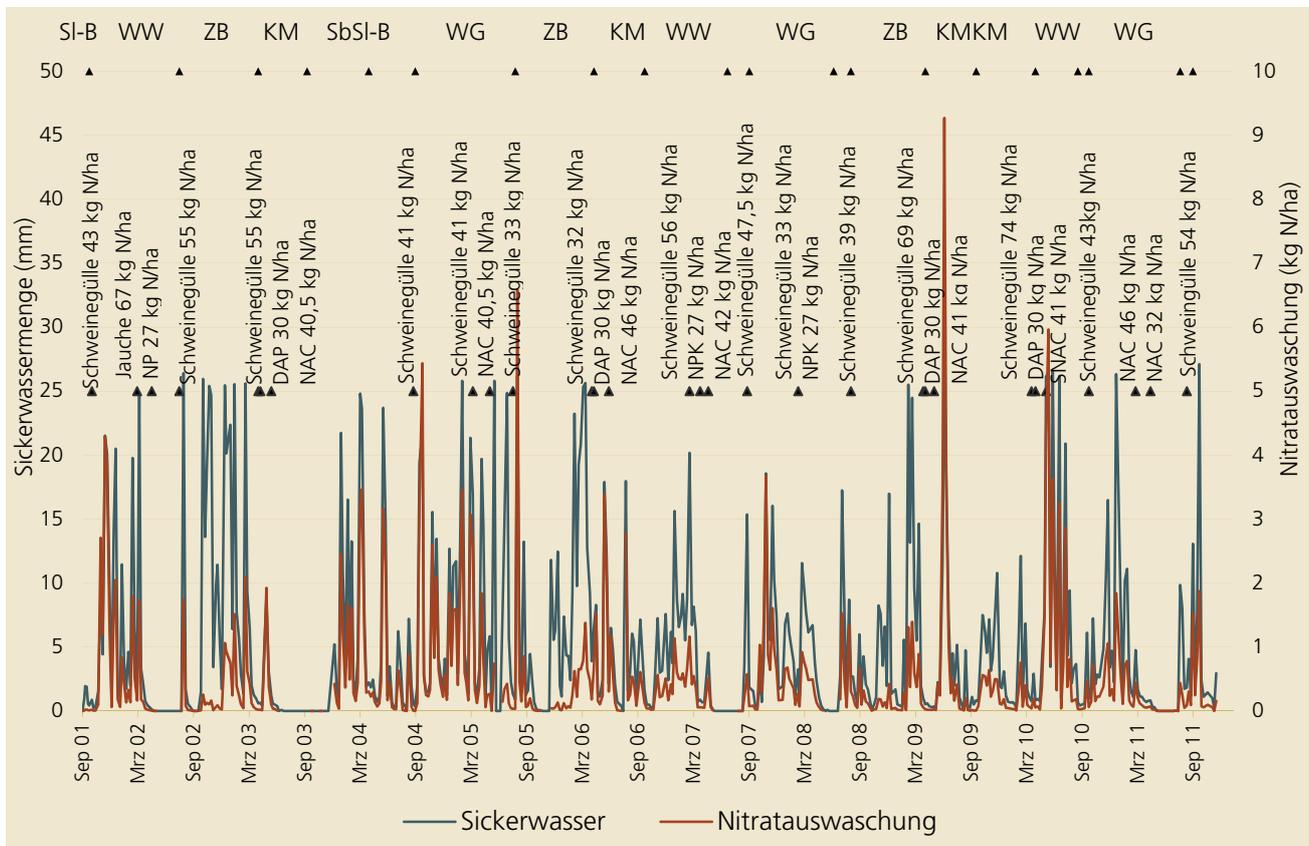


Abb. 5-8: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tieflgr. Wirtschaftsdünger)

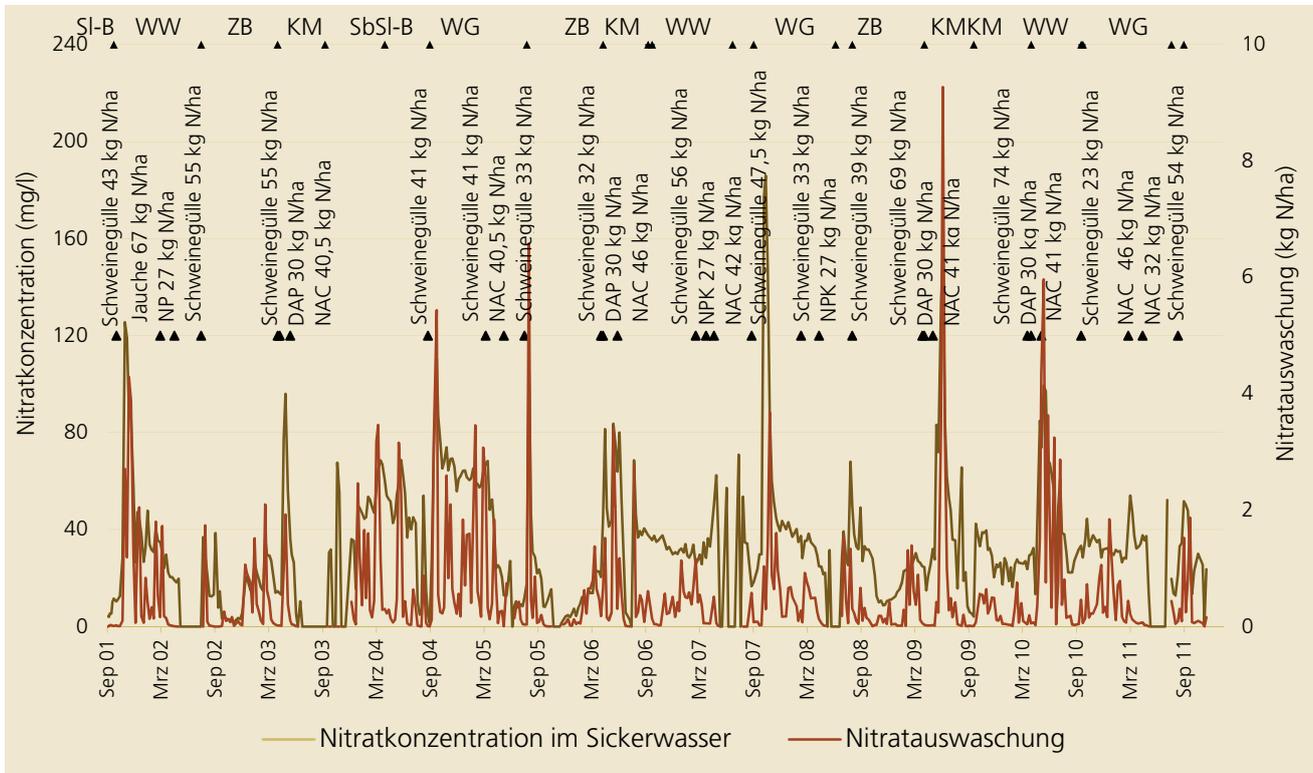


Abb. 5-9: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (tiefr. Wirtschaftsdünger)

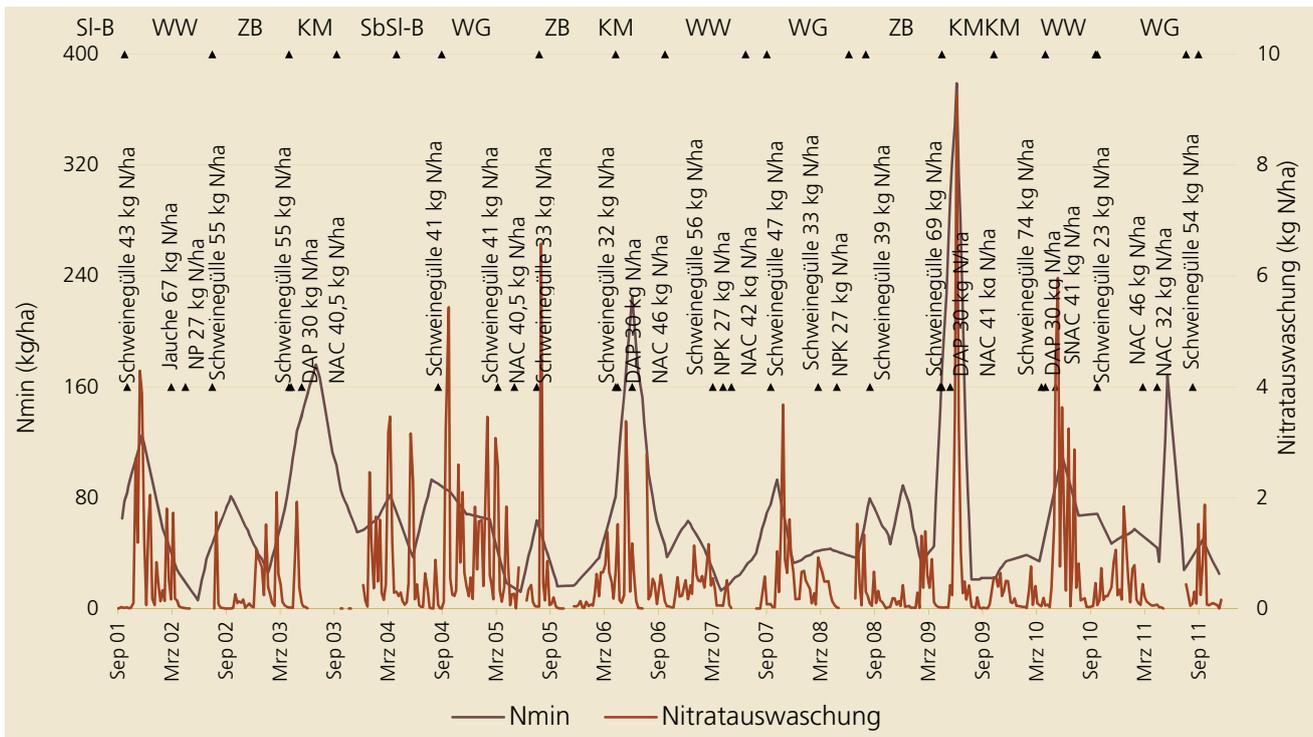


Abb. 5-10: Nitratauswaschung und N_{min} – Gehalte des Bodens (tiefr. Wirtschaftsdünger)

5.5 Nitrat auswaschung am tiefgründigen Standort mit Mineraldünger

5.5.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

Im hydrologischen Jahr 2010/2011 betrug die Niederschlagssumme am gegenständlichen Standort 1141 mm. Die Sickerwassermenge im selben Zeitraum lag bei 261 mm, das entspricht etwa 23 % der Niederschlagssumme.

Deutliche Starkregenereignisse mit entsprechend hohen Niederschlagssummen waren in den Monaten Mai bis Oktober zu beobachten (Abb. 5-11). Die höchsten Sickerwassermengen traten in den Monaten August und Oktober 2011 auf. In diesen beiden Monaten fiel über 40% der jährlichen Sickerwassermenge an. Im

Juni 2011 war der Sickerwasseranfall hingegen faktisch Null.

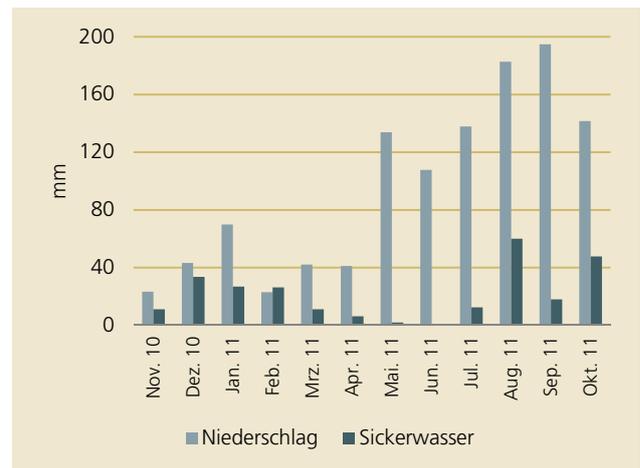


Abb. 5-11: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. Mineraldünger)

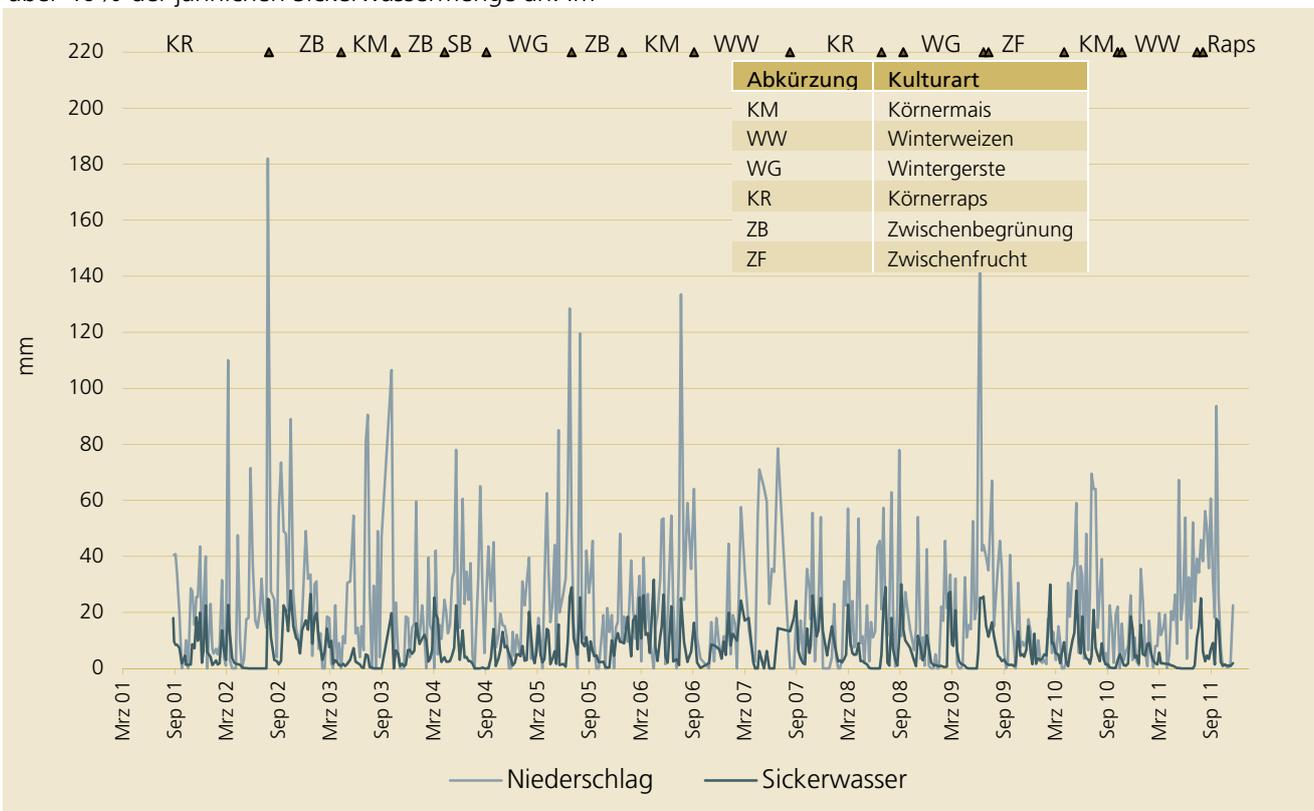


Abb. 5-12: Niederschläge und Sickerwasser, gesamte Messreihe (tiefgr. Mineraldünger)

5.5.2 Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser

Die Nitratauswaschung erreicht in den Monaten Dezember 2010 und Oktober 2011 ihr Maximum. Diese beiden Auswaschungsspitzen sind mit der Sickerwassermenge korreliert, einzig im August 2011 treten hohe Sickerwassermenge auf, die nur zu einem sehr geringen Anstieg der Nitratauswaschung führen. Unmittelbare Anstiege in der Nitratauswaschung infolge von Düngegaben konnten nicht beobachtet werden. Im Vergleich zu den Ergebnissen der langjährigen Messungen verlief die Nitratauswaschung an diesem Standort auf durchschnittlichem Niveau (vgl. Abb. 5-14) und betrug im gegenständlichen Zeitraum insgesamt 13,6 kg N/ha.

Die gemessene Nitratkonzentration im Sickerwasser war im betrachteten Zeitraum weitgehend konstant (zumeist im Bereich von 30 bis 40 mg/l) und lag damit generell über dem langjährigen Durchschnitt. Die Ma-

ximalkonzentration wurde im Juni mit 46,5 mg/l gemessen. Auffällig ist auch, dass es trotz erhöhter N_{\min} Gehalte im Boden im Mai 2011 zu keiner erhöhten Austragsfracht an Nitrat gekommen ist (siehe Abb. 5-15 und Abb. 5-16)

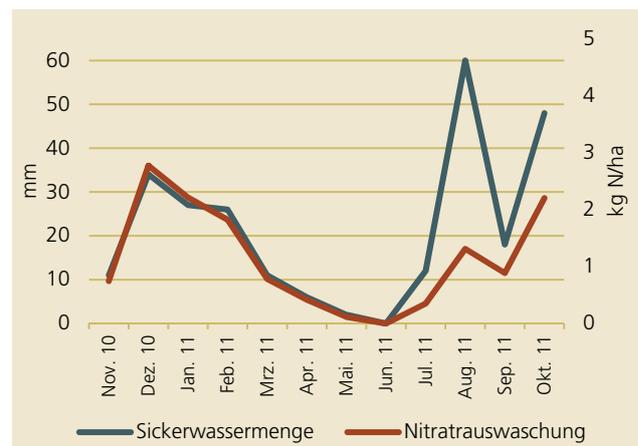


Abb. 5-13: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefgr. Mineraldünger)

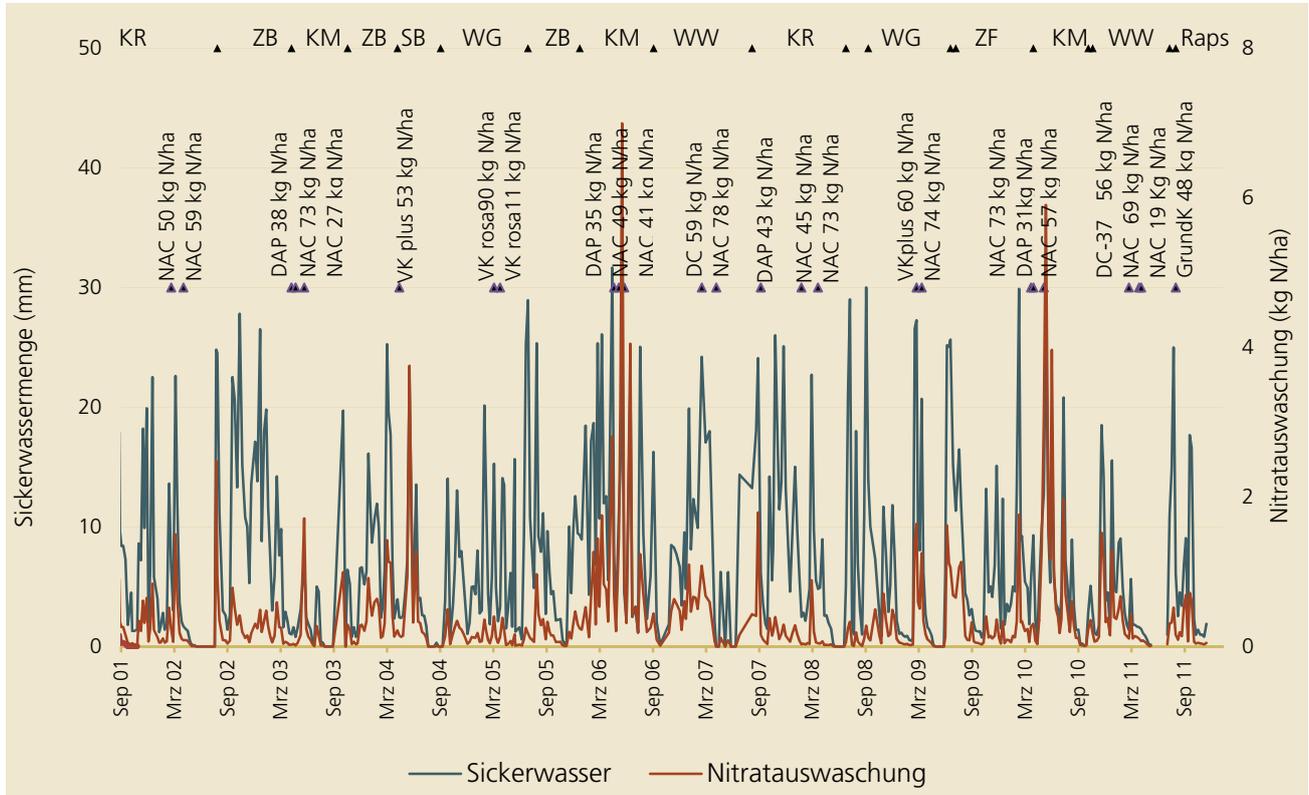


Abb. 5-14: Sickerwassermenge und Nitrat auswaschung (tieflgr. Mineraldünger)

Von Mitte Juli bis Mitte Oktober 2008 wurde keine Probenahme durchgeführt. Die Werte wurden im Modell STOTRASIM berechnet

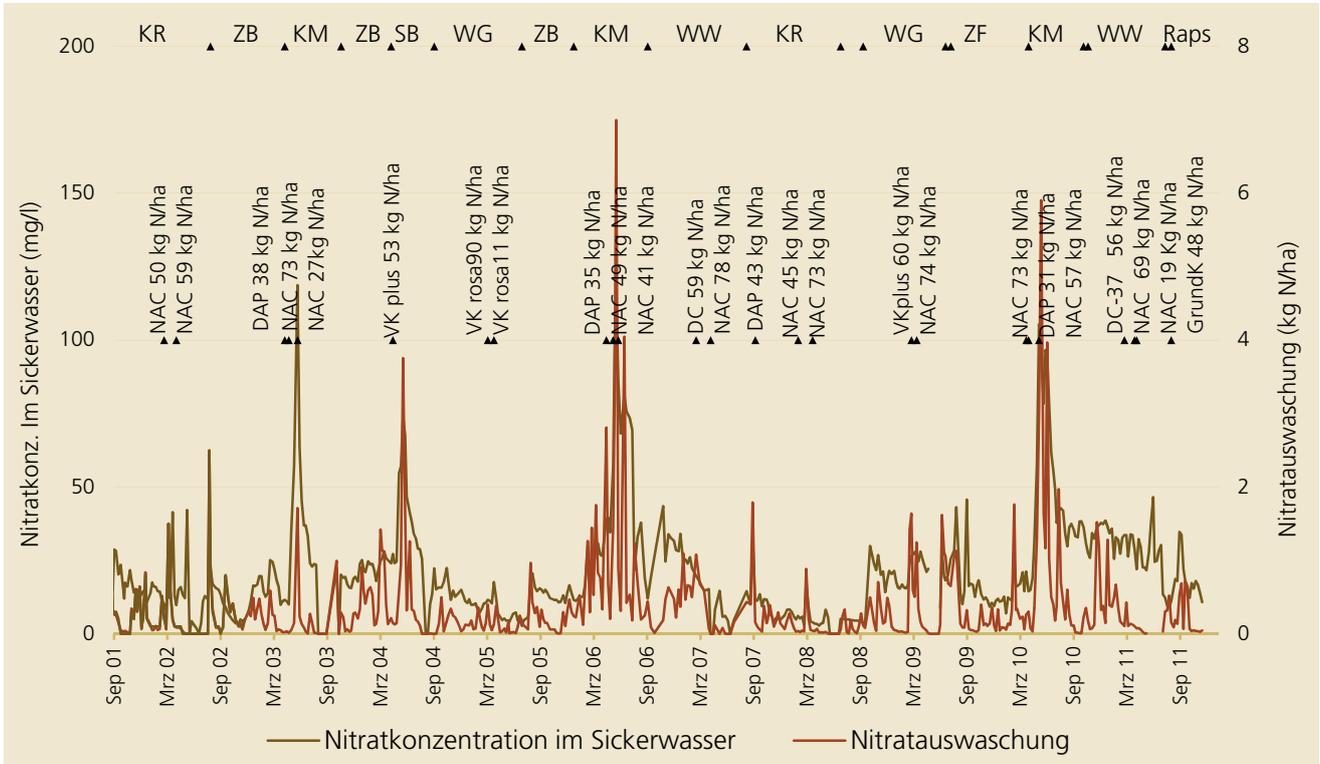


Abb. 5-15: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (tieffgr. Mineraldünger)

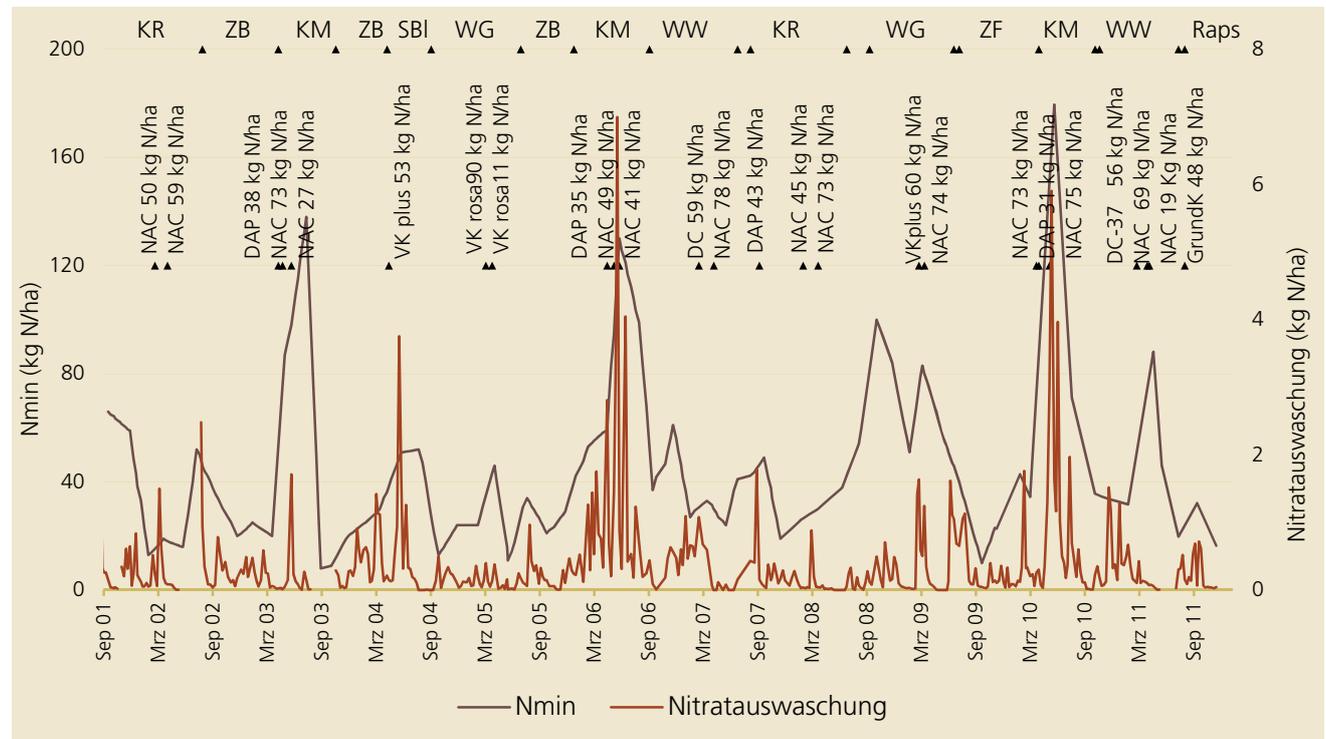


Abb. 5-16: Nitratauswaschung und N_{min} – Gehalte des Bodens (tieffgr. Mineraldünger)

5.6 Nitrat auswaschung am seichtgründigen Standort

5.6.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

Am seichtgründigen Standort fielen im hydrologischen Jahr 2010/11 in Summe 747 mm Niederschlag. Die größten Niederschlagsmengen wurden analog zu den anderen Standorten in den Monaten Mai bis Juli beobachtet. Zusätzlich fielen auch im Oktober 2011 erhebliche Regenmengen (vgl. Abb. 5-17 und Abb. 5-18). Die Sickerwasserbildung erfolgte primär in den Wintermonaten 2010/11. Aufgrund der hohen Niederschlagsmenge wurde allerdings auch im Herbst 2011 Sickerwasser generiert. In Summe lag die Sickerwasserbildung bei 182 mm. Das sind rund 24% der Niederschlagssumme.



Abb. 5-17: Monatliche Niederschlags- und Sickerwasser-summen (seichtgr.)

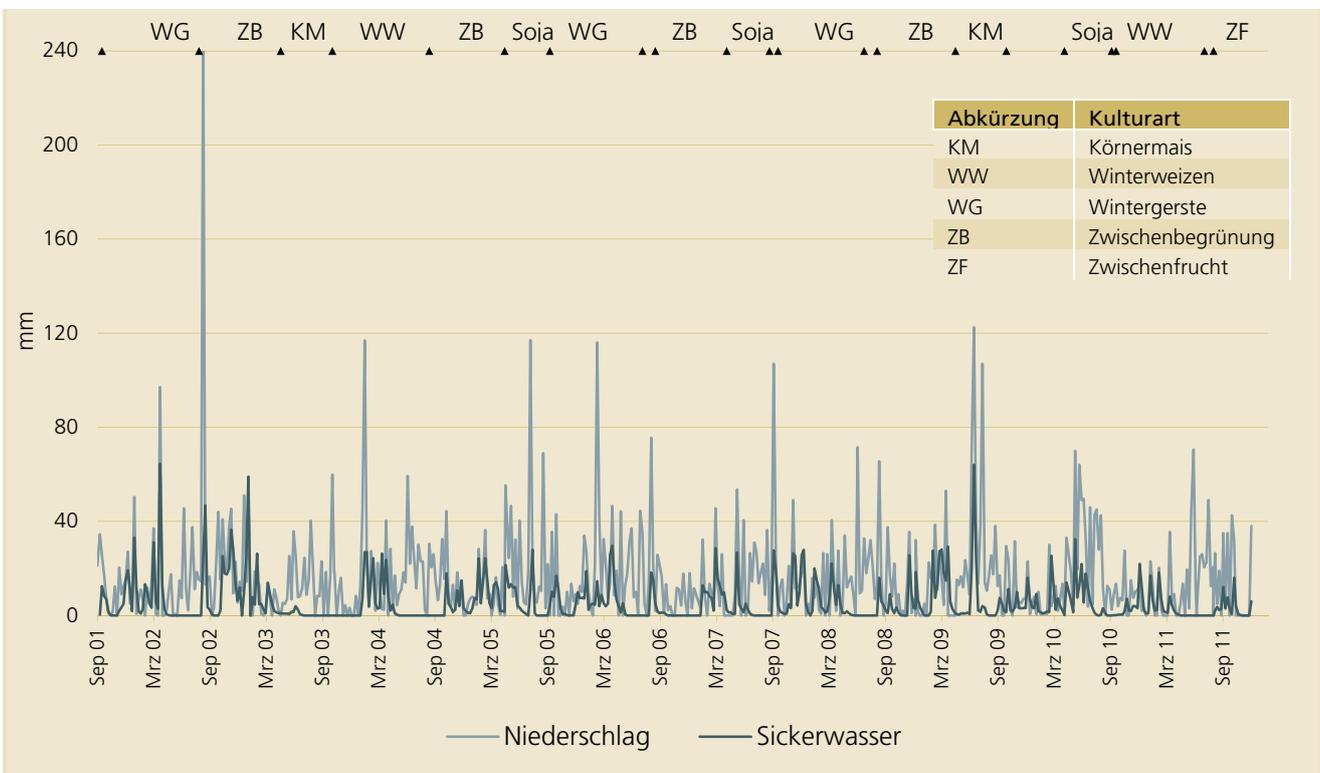


Abb. 5-18: Niederschläge und Sickerwasser, gesamte Messreihe (seichtgründig)

5.6.2 Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser

Insgesamt wurden im hydrologischen Jahr 2010/2011 rund 36,9 kg N/ha ausgewaschen. Der Verlauf der Nitratauswaschung folgt im Wesentlichen der Sickerwasserbildung. Auffallender Weise lag die maximale Nitratauswaschung in den Monaten Dezember und Februar; in einem Zeitraum wo keine Düngung durchgeführt wurde und auch keine starken Niederschläge gefallen sind. Der Anstieg in der Nitratauswaschung im Oktober kann auf die starken Niederschläge im Oktober zurückgeführt werden. Die beobachteten Nitratkonzentrationen lagen im Bereich von 50 bis 160 mg/l, wobei die höchsten Konzentrationen gegen Ende des hydrologischen Jahres beobachtet wurden (Abb. 5-21).

Zwischen dem N_{min} Gehalt im Boden und der Nitratauswaschung ist im gegenständlichen Jahr kein

direkter Zusammenhang erkennbar. Generell liegen die Werte für N_{min} im unteren Bereich der im Rahmen der gesamten Messserie beobachteten Werte mit Ausnahme der N_{min} . Werte im Zeitraum April/Mai (Abb. 5-22).

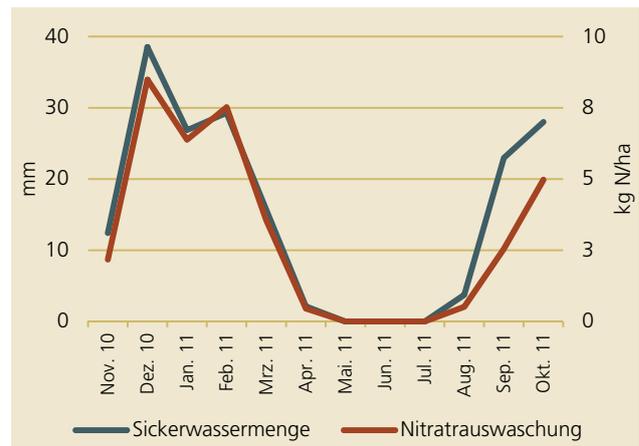


Abb. 5-19: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig)

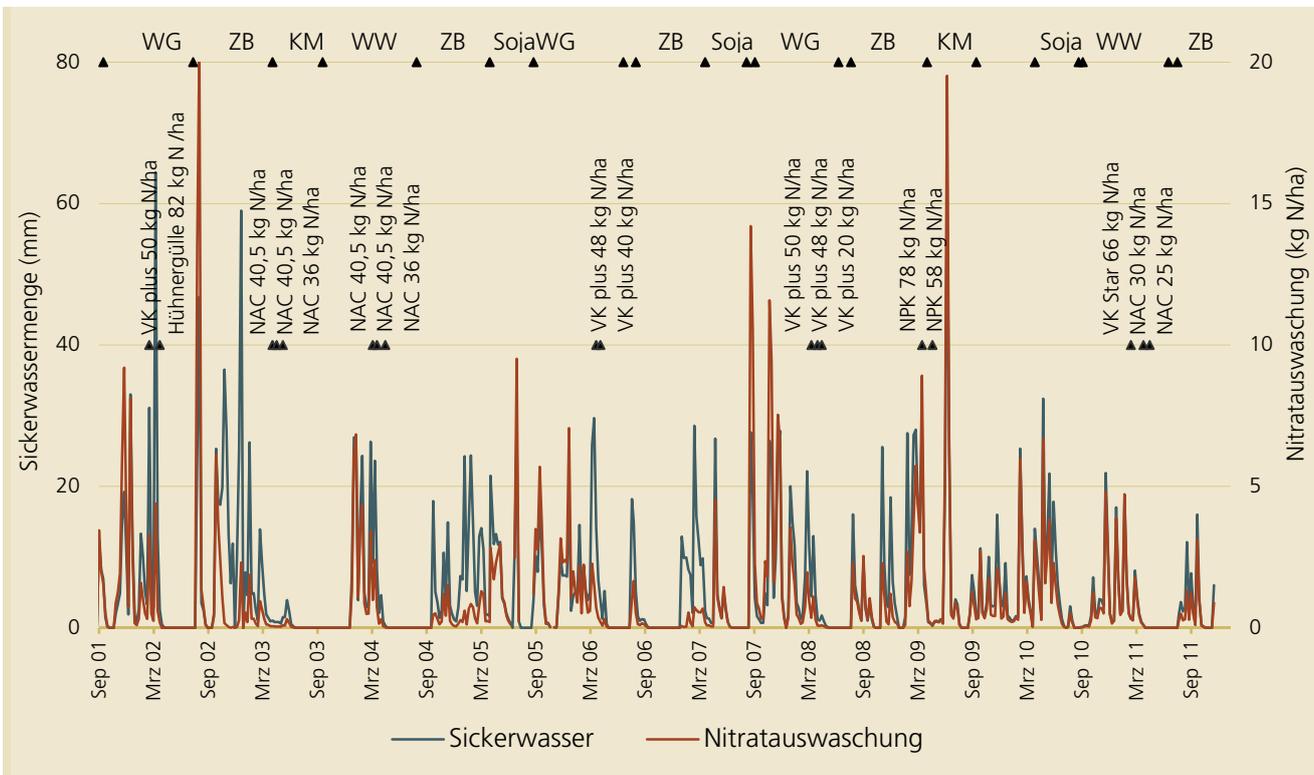


Abb. 5-20: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig)

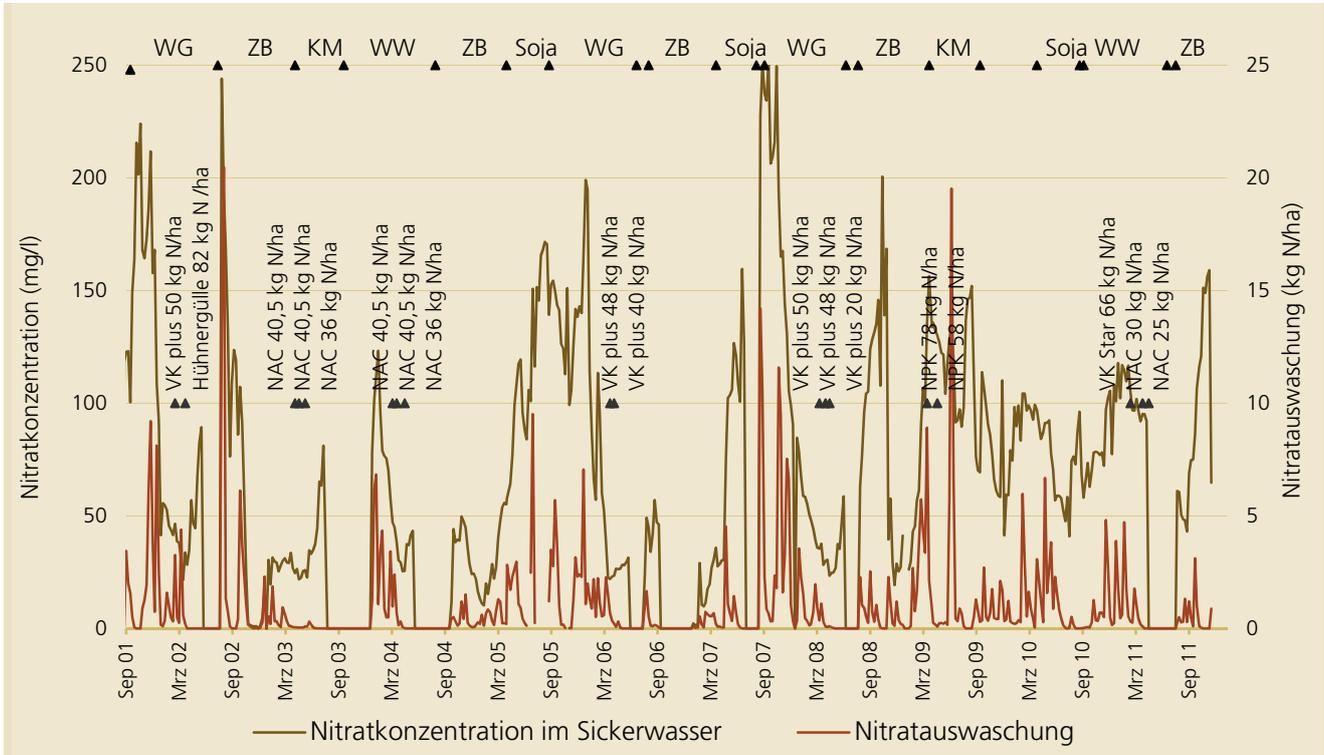


Abb. 5-21: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (seichtgründig)

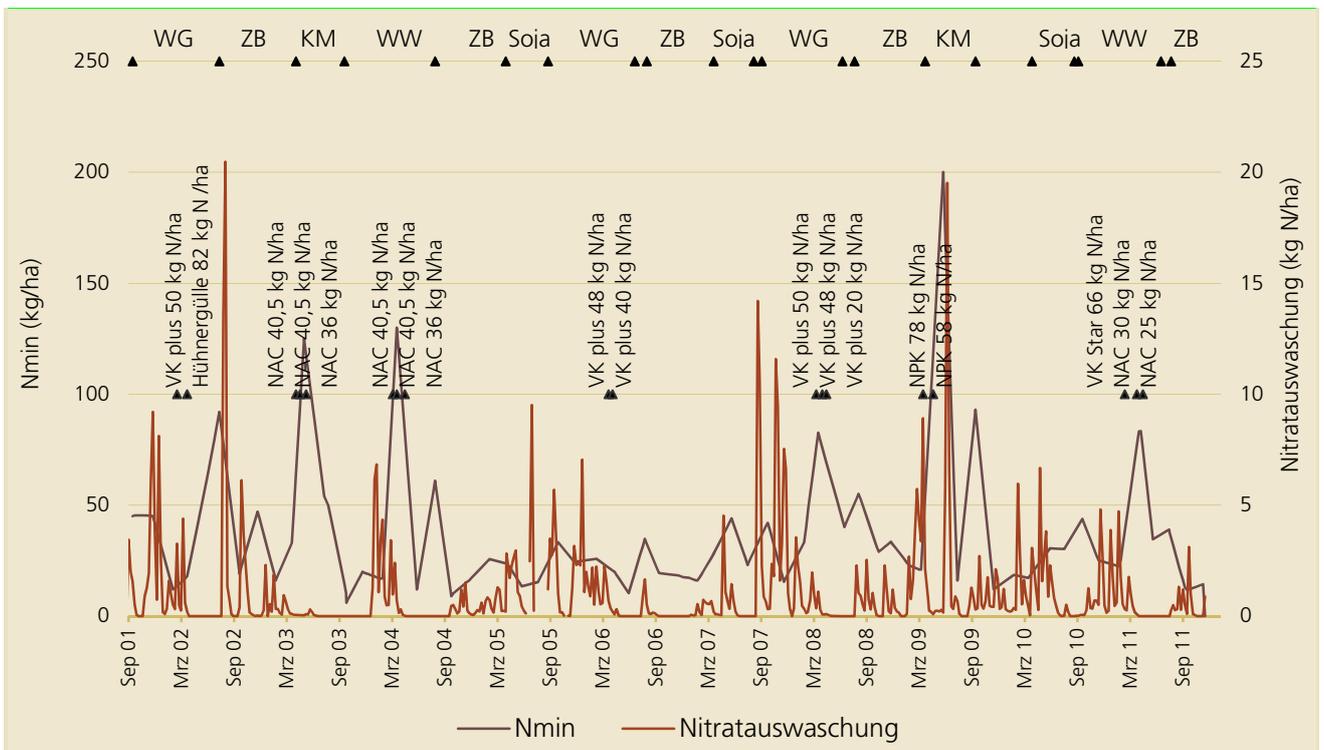


Abb. 5-22: Nitratauswaschung und N_{min} – Gehalte des Bodens (seichtgründig)

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

Die größte Stickstoffmenge wurde am seichtgründigen Standort mit 36,9 kg N/ha ausgewaschen (Tab. 5-3). Diese entspricht ca. 31 % der durch Düngung zugeführten N-Menge (121 kg N/ha). Am tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger wurden etwa 16,7 kg N/ha ausgewaschen. Dies entspricht rund 14% der durch Düngung zugeführten N-Menge (121 kg N/ha). Am tiefgründigen Standort mit Mine-

Tab. 5-2 in Kap. 5.2) für die beiden tiefgründigen Standorte zeigen hingegen ein umgekehrtes Bild, hier ist die N Bilanz am Standort mit Wirtschaftsdünger am negativsten. D.h. obwohl dem Boden (mit Wirtschaftsdünger) durch die Vegetation eine deutlich höhere N Menge entzogen als zugegeben wurde, war die ausgewaschene N-Menge höher als am Standort mit Mineraldünger. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass auch ein Teil des organischen Stickstoffs im Dünger wirksam wurde, dieser jedoch bei der Bemessung der Düngung nicht berücksichtigt werden muss und auch in der hier berechneten Bilanz nicht aufscheint.

Die hohe Auswaschung am seichtgründigen Standort ist demgegenüber auf den unterschiedlichen Bodenaufbau (geringere Mächtigkeit und damit geringeres Rückhaltevermögen für Wasser und das darin enthaltene Nitrat) zurückzuführen.

Tab. 5-3: Stickstoffauswaschung vom 1.11.10 bis 31.10.11 im Vergleich zur Düngung

	Düngung [kg N/ha]	Ausw. [kg N/ha]	Anteil [%]	Bilanz [kg N/ha]
Tiefgr. WD	121	16,7	14	-43,4
Tiefgr. MD	145	13,6	9	-34
Seichtgr.	121	36,9	31	-31,9

raldünger lag die Auswaschung ins Grundwasser bei 13,6 kg N/ha. Dies entspricht 9 % der durch Düngung am Standort zugeführten N-Menge (145 kg N/ha).

Ein Vergleich der beiden tiefgründigen Standorte zeigt, dass der Anteil der ausgewaschenen N-Menge im Verhältnis zum Düngeraufwand am Standort mit Mineraldüngung deutlich geringer ist (9%) als am Standort mit Wirtschaftsdünger (14%), obwohl die absolute Düngemenge am Standort mit Mineraldünger höher war. Die N-Bilanzen (berechnet für die Lysimeterfläche, Korn + Stroh, vgl.

Der Verlauf der monatlichen Niederschlagsmengen war an allen drei Standorten ähnlich, wobei am tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger etwas höhere Gesamtregensmengen beobachtbar waren (Abb. 5-23).

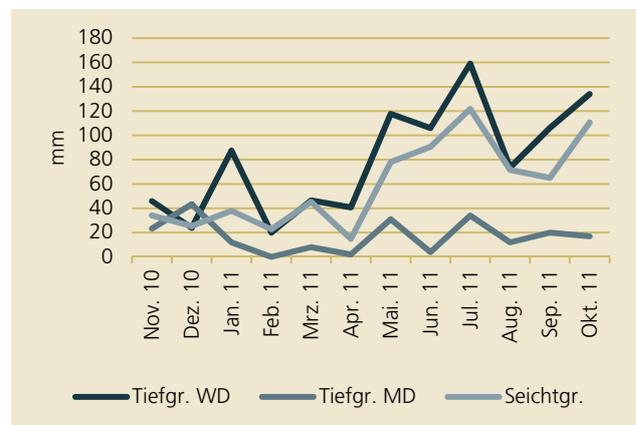


Abb. 5-23: Monatliche Niederschlagssummen an den drei Standorten

Hinsichtlich des Sickerwasseranfalls gab es an den Standorten ebenfalls einen ähnlichen Verlauf (Sickerwasseranfall primär in den Winter- und Herbstmonaten). Am tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger wurde im Jänner 2011 die höchste Sickerwassermenge beobachtet, während am tiefgründigen Standort mit Mineraldünger dies im August 2011 der Fall war. In Summe fiel am tiefgründigen Standort mit Mineraldünger das meiste Sickerwasser an.

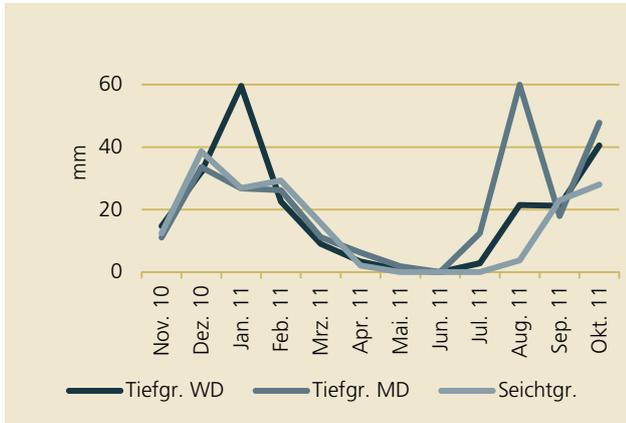


Abb. 5-24: Monatliche Sickerwassermengen an den drei Standorten

Die mit Abstand höchste durchschnittliche Nitratkonzentration wurde am seichtgründigen Standort mit 79 mg/l beobachtet (Tab. 5-4), obwohl im Vergleich zu den anderen beiden Standorten eine ähnliche bzw. geringere N-Düngermenge aufgebracht wurde. Auf dem tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger lag die mittlere Nitratkonzentration bei 28 mg/l und war damit deutlich höher als auf dem tiefgründigen Standort mit Mineraldünger (15 mg NO₃/l). Dies ist bemerkenswert, da die N-Düngermenge auf dem Standort mit Mineraldünger (145 kg N/ha) höher war als auf jenem mit Wirtschaftsdünger (121 kg N/ha). Dies liefert einen Hinweis darauf, dass organische Stickstoffanteile im Wirtschaftsdünger wirksam werden können, auch wenn sie bei der Bemessung der Düngemenge unberücksichtigt bleiben.

Tab. 5-4: Sickerwassermengen und durchschnittliche Nitratkonzentration vom 1.11.10 bis 31.10.11

	SW [mm]	NO ₃ -Kon. [mg/l]
Tiefgr. WD	234	28
Tiefgr. MD	261	15
Seichtgr.	182	79

Ein monatlicher Vergleich der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser zeigt, dass diese am seichtgründigen

Standort meist deutlich über 50 mg/l lagen. An den beiden tiefgründigen Standorten wurden zumeist Konzentrationen zwischen 15 und 30 mg/l beobachtet.

Die monatliche Nitratauswaschung hatte an allen drei Standorten, entsprechend dem Sickerwasseranfall, zu ähnlichen Zeitpunkten ihr Maximum, verlief aber so wie die Sickerwassermenge und die Nitratkonzentration auf dem seichtgründigen und den tiefgründigen Standorten auf unterschiedlichem Niveau (Abb. 5-26).

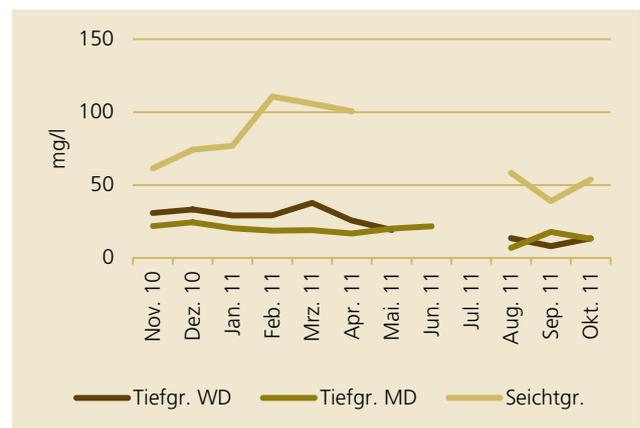


Abb. 5-25: Durchschnittliche monatliche Nitratkonzentrationen an den drei Standorten

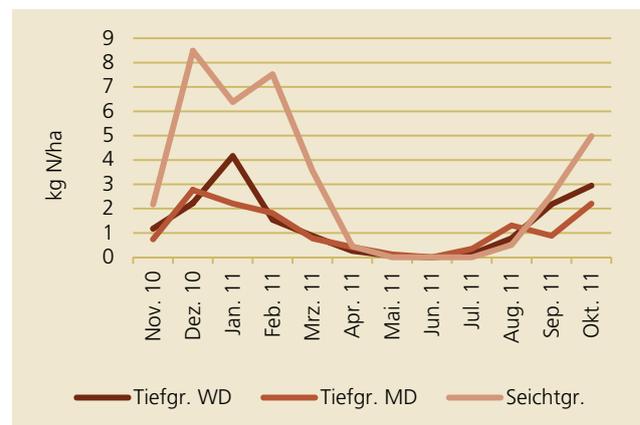


Abb. 5-26: Monatliche Nitratauswaschung an den drei Standorten

In Summe wurde während des Messzeitraums seit September 2001 bis November 2011 am seichtgründigen Standort mit 523 kg N/ha am meisten Stickstoff in Form von Nitrat ausgewaschen (Abb. 5-27). Am tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger waren es mit ca. 250 kg N/ha halb so viel, am tiefgründigen mit Mineraldünger mit 172,3 kg N/ha weniger als 1/3. Damit spiegelt das Jahr 2010/11 ungefähr den Gesamtverlauf wider, wenngleich der Unterschied 2010/11 zwischen den Standorten (vor allem zwischen den tiefgründigen Standorten) gering war. Neben Unterschieden zwischen den Standorten in der Gesamtmenge des ausgewaschenen Nitrats ist in Abb. 5-26 auch der unterschiedliche Verlauf ersichtlich. Die Schwankungen in den Auswaschungsmengen sind am seichtgründigen Standort deutlich ausgeprägter als an den tiefgründigen Standorten.

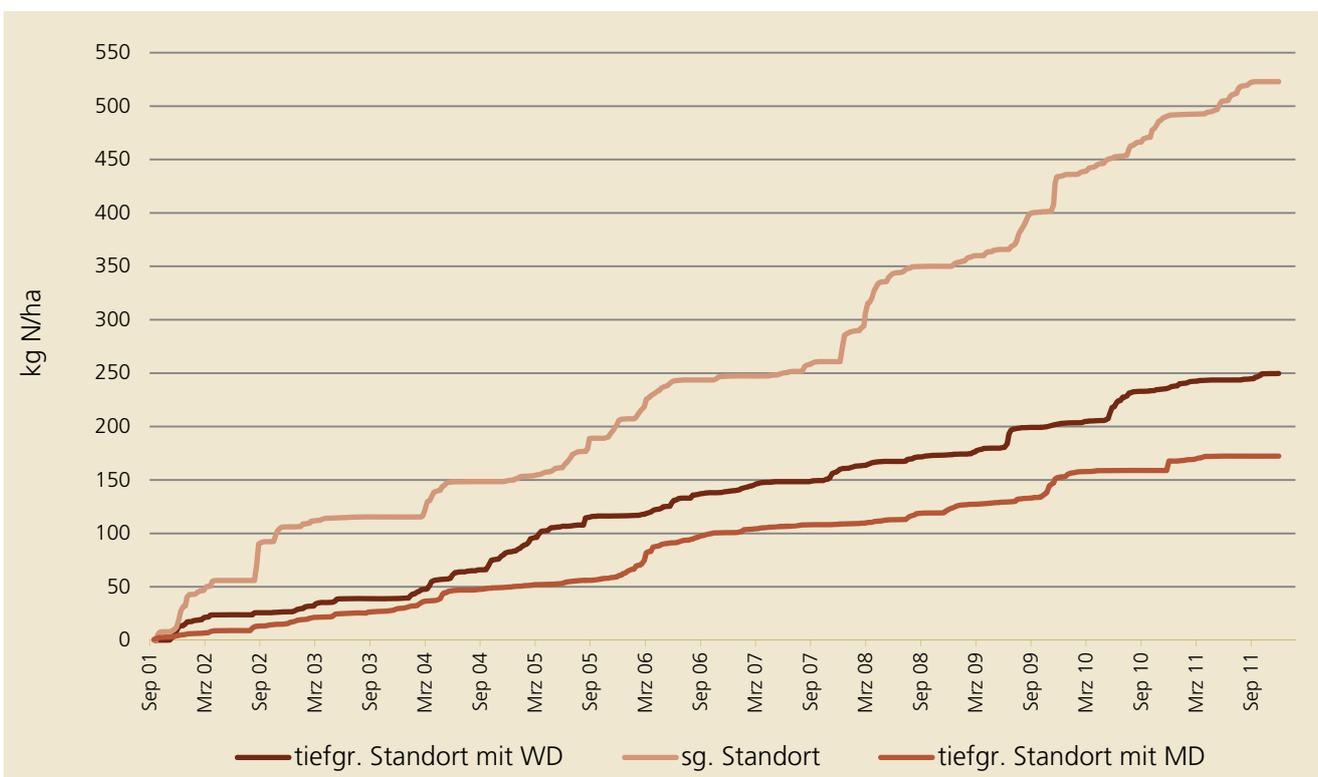


Abb. 5-27: Summe der als Nitrat ausgewaschenen Stickstoffmenge an den drei Standorten

5.8 Tracerversuch– Bromid

Durch die Aufbringung von Kaliumbromid im Rahmen des Tracerversuchs wurden auf der Lysimeterfläche 67,1 g Br ausgebracht. Da nur das austretende Sickerwasser sowie der Pflanzenaufwuchs gewonnen und analysiert werden kann, wird das im Boden sowie das durch die im Boden vorhandene Biomasse gebundene Bromid nicht erfasst. Ein Tracerversuch mit einem Aufbau wie im vorliegenden Fall kann daher als abgeschlossen bezeichnet werden, wenn ca. 70% bis 80% der Tracersubstanz wiedergefunden wurde (Fank, 2004), das wäre etwa 47 bis 53 g Bromid.

Am seichtgründigen Standort wurden bereits beinahe 70% des ausgebrachten Bromids im Jahr 2009 wiedergefunden, und zwar ausschließlich im Sickerwasser. Wie in Abb. 5-30 und Abb. 5-32 zu erkennen ist, fand diese Auswaschung innerhalb von 6 Monaten und damit zur Gänze vor der Hauptwachstumsphase des damals gepflanzten Mais statt. Es kann daher angenommen werden, dass deshalb auch kein Bromid im Aufwuchs festgestellt wurde. Aufgrund der Tatsache, dass im Jahr 2009 nahezu 70% des aufgebrauchten Bromids wiedergefunden wurde und damit der Tracerversuch als abgeschlossen angesehen werden kann, wurden die Messungen auf diesem Standort bereits 2010 abgebrochen.

Auf den tiefgründigen Standorten nahm die Br-Auswaschung während der Versuchsdauer von Jahr zu Jahr deutlich ab, die Br-Aufnahme durch den Aufwuchs ging bereits in den Vorjahren rapide zurück. Da durch eine Fortführung der Messreihen keine zusätzlichen Erkenntnisse zu erwarten waren, wurde an den Ernteproben 2011 keine Br-Analysen durchgeführt und in den Sickerwasserproben Br nur bis Ende Juli/Anfang August 2011 analysiert.

Bis dahin wurden am tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger 27% des aufgebrauchten Bromids wiedergefunden. Generell sind davon ca. 3x so viel im

Sickerwasser wie im Aufwuchs (Tab. 5-5). Im Vergleich zum Austrag 2009 und 2010 ging die wiedergefundene Bromidmenge im Jahr 2011 deutlich zurück (nahezu um den Faktor 3). Besonders ausgeprägt ist der Rückgang der Bromidmenge im Aufwuchs.

Am tiefgründigen Standort mit Mineraldünger betrug die Wiederfindungsrate 47%. Davon wurde etwa doppelt so viel im Sickerwasser wie im Aufwuchs wiedergefunden. Die über das Sickerwasser ausgewaschene Bromidmenge nahm von 2010 auf 2011 deutlich ab. Auch an diesem Standort wurde durch die Vegetation (Winterweizen) im Jahr 2011 kein Bromid aufgenommen. Für beide tiefgründigen Standorte gilt, dass mehr als 70% des bisher wiedergefundenen Bromids im Sickerwasser des Jahres 2009 detektiert wurde.

Tab. 5-5: Wiedergefundenes Bromid bis Dezember 2011

Standort	Jahr	Masse (g) im Sickerwasser	Masse (g) im Aufwuchs	Wiederfindungsrate
tiefgründig WD	2009	9,40	3,40	27 %
	2010	3,80	0,14	
	2011	1,36	n.b.	
tiefgründig MD	2009	16,10	9,00	47%
	2010	5,20	0,33	
	2011	1,0	n.b.	
Seichtgr.	2009	45,40	0,0	68%
	2010	n.b.	n.b.	
	2011	n.b.	n.b.	

Der in Abb. 5-28 dargestellte Verlauf der Bromid-auswaschung auf dem tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger zeigt, dass die größte Auswaschungsspitze gleich zu Beginn nach der Ausbringung auftrat. Es lässt sich somit erkennen, dass auch auf schweren Böden der Makroporenfluss bei der Stoffverlagerung eine wesentliche Rolle spielt und

daher auch zu einer Nitratauswaschung, insbesondere nach einer Düngung, führen kann.

Im Weiteren nimmt die Bromidauswaschung im Verhältnis zur Sickerwassermenge aber auch im Verhältnis zur Nitratauswaschung langsam und kontinuierlich ab. Eine kleine Auswaschungsspitze im Jahr 2010 fällt in die Periode mit starker Sickerwasserbildung im Mai/Juni, in der auch das Maximum der Nitratauswaschung stattfand. Im Jahr 2011 wurden keine Bromidauswaschungsspitzen beobachtet, die gemessenen Bromidkonzentrationen lagen immer im Bereich von 5 mg/l bis 18 mg/l.

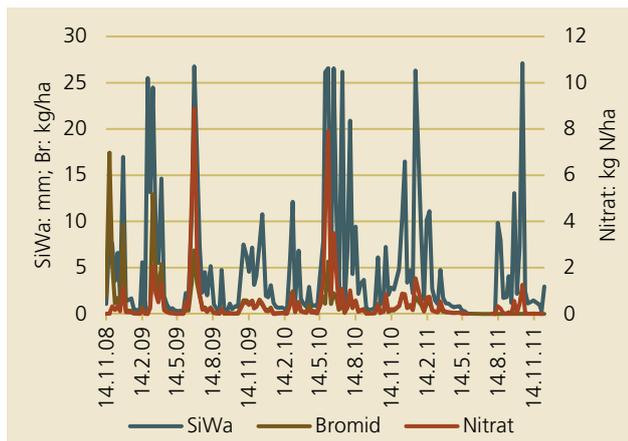


Abb. 5-28: Bromid- und Nitratauswaschung - tiefgründiger Standort mit Wirtschaftsdünger

Am tiefgründigen Standort mit Mineraldünger trat ebenfalls bereits gleich nach der Ausbringung eine Auswaschungsspitze auf. Das stärkste Auswaschungsereignis für Bromid fand aber erst im Frühjahr 2009 zusammen mit einer Sickerwasserabflussspitze statt (Abb. 5-29). Auch hier geht die Bromidauswaschung im Verhältnis zur Sickerwassermenge und zur Nitratauswaschung langsam und stetig zurück. Im Jahr 2011 wurde im Vergleich zu 2009 und 2010 kaum mehr Bromid ausgewaschen.

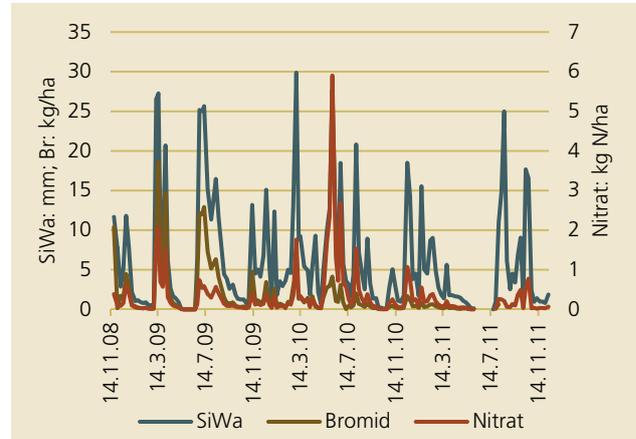


Abb. 5-29: Bromid- und Nitratauswaschung - tiefgründiger Standort mit Mineraldünger

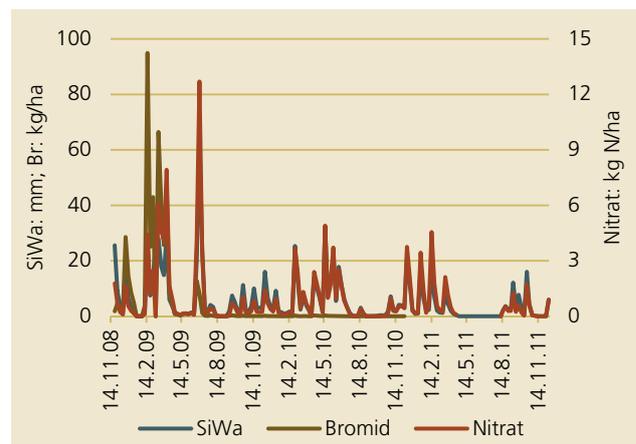


Abb. 5-30: Bromid- und Nitratauswaschung - seichtgründiger Standort

Die Unterschiede der Böden an den drei Lysimeterstandorten wirken sich auch sehr deutlich auf den Verlauf der Bromidkonzentrationen aus (Abb. 5-31). An den tiefgründigen Standorten lässt sich nach einer anfänglichen Spitze sowie einem weiteren Anstieg im März 2009 ein kontinuierlicher Rückgang der Bromidkonzentration beobachten. Am seichtgründigen Standort steigt die Konzentration stark an, erreicht nach 3 Monaten ihr Maximum und fällt dann sehr rasch ab.

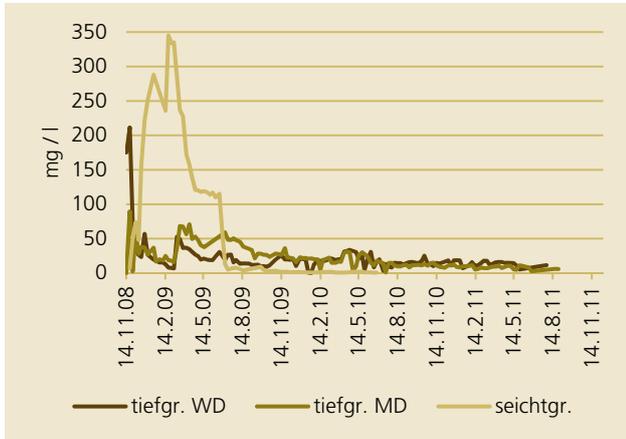


Abb. 5-31: Bromidkonzentrationen an den drei Lysimetern

Abb. 5-32 verdeutlicht den Unterschied zwischen den Standorten anhand der Summenlinien der ausgewaschenen Bromidmengen. Auf den tiefgründigen Standorten steigt diese kontinuierlich bzw. in kleinen Stufen an, wobei der Anstieg am Mineraldüngerstandort auf Grund der höheren Sickerwassermenge etwas rascher erfolgt. Am seichtgründigen Standort erfolgt die gesamte Auswaschung innerhalb weniger Wochen. Daraus lässt sich ableiten, dass auf solchen Böden die Wahl des Düngzeitpunktes entscheidend ist, um das Risiko einer Nitratauswaschung zu verringern.

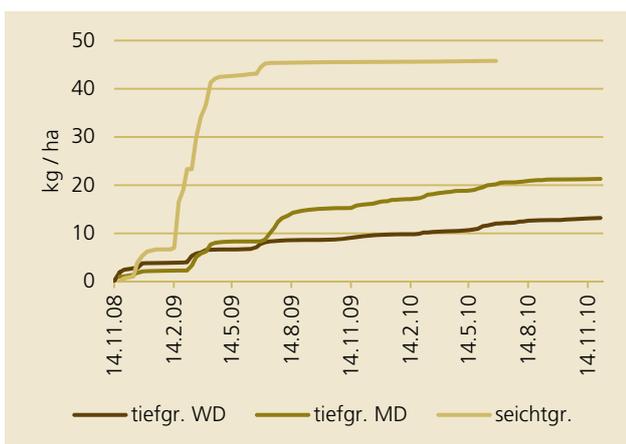


Abb. 5-32: Summenlinien der Bromidauswaschung an den drei Lysimetern

5.9 Phosphorbilanzen

Die Phosphorentzüge betragen im Betrachtungszeitraum auf dem tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger ca. 26 kg P/ha, berechnet für die Abfuhr durch die Ernte (entspricht ca. 59 kg P₂O₅/ha). Auf dem tiefgründigen Standort mit Mineraldünger betrug der Phosphorentzug etwa 24 kg P/ha, berechnet für die Abfuhr durch die Ernte (entspricht ca. 55 kg P₂O₅/ha).

Auf dem seichtgründigen Standort errechnete sich ein Phosphorentzug von rund 13 kg P/ha, berechnet für die Abfuhr durch die Ernte (entspricht ca. 30,7 kg P₂O₅/ha).

Unterschiede zwischen den drei Standorten in der P-Bilanz sind somit sowohl auf die Entzüge als auch auf das verschiedene Düngenniveau zurückzuführen, wobei am Wirtschaftsdüngerstandort P nur über eine Wirt-

schaftsdüngergabe mit 15 kg P/ha zugeführt wurde und die P-Bilanz damit deutlich negativ ausfällt (Tab. 5-6).

Die Bilanzen für die Ernteabfuhr sind zwischen den Lysimeterflächen und Vergleichsflächen bzw. den daraus gebildeten Mittelwerten auf dem tiefgründigen Standort mit Mineraldünger nahezu identisch. Auf dem Standort mit Wirtschaftsdünger sowie auf dem seichtgründigen Standort gibt es geringfügige Abweichungen, die darauf zurückzuführen sind, dass der Ertrag über dem Lysimeter sich deutlich von jenem auf den Vergleichsflächen unterschieden hat (im Fall des seichtgründigen Standorts war der Ertrag auf der Lysimeterfläche höher als auf den Vergleichsflächen, während der Ertrag auf der Lysimeterfläche des tiefgründigen Standorts mit Wirtschaftsdünger geringer war als auf den Vergleichsflächen).

Tab. 5-6: Phosphorbilanzen für das Erntejahr 2011

	Tiefgründiger Standort mit Wirtschaftsdünger		Tiefgründiger Standort mit Mineraldünger		Seichtgründiger Standort	
	----- kg P/ha -----					
Phosphorzufuhr aus Düngung	15		47		66	
Entzug durch die Pflanzen	Lysimeter	Mittelwert	Lysimeter	Mittelwert	Lysimeter	Mittelwert
Entzug durch das Korn	20	26	23	24	17	13
Entzug durch das Stroh	5	4	5	5	3	3
Summe Entzug	25	30	28	29	20	16
Abfuhr durch Ernte	20	26	23	24	17	13
Bilanz Korn	-5,0	-11,0	24	23	49	53
Bilanz Korn + Stroh	-10,0	-15,0	19	18	46	50
Bilanz Ernteabfuhr	-5,0	-11,0	24	23	49	53

5.10 Phosphatauswaschung

Der jahreszeitliche Verlauf der Phosphatauswaschung im Jahr 2011 unterscheidet sich an den drei Standorten (Abb. 5-33). Am tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger wurde eine Spitze der Phosphatauswaschung im Jänner 2011 beobachtet, sowie ein Anstieg gegen Ende des Beobachtungszeitraums (Abb. 5-34). Am tiefgründigen Standort mit Mineraldünger gab es unmittelbar nach einer Düngung eine größere Auswaschung im März 2011 (rund 0,15 kg P/ha) gefolgt von zwei kleineren Auswaschungsspitzen im August und Oktober 2011 (vgl. Abb. 5-35).

Am seichtgründigen Standort war die Auswaschung an Phosphat im Vergleich zu den Vorjahren unterdurchschnittlich und im Jahresverlauf waren kaum

Auswaschungsspitzen (mit Ausnahme von Februar 2011) erkennbar (Abb. 5-36).

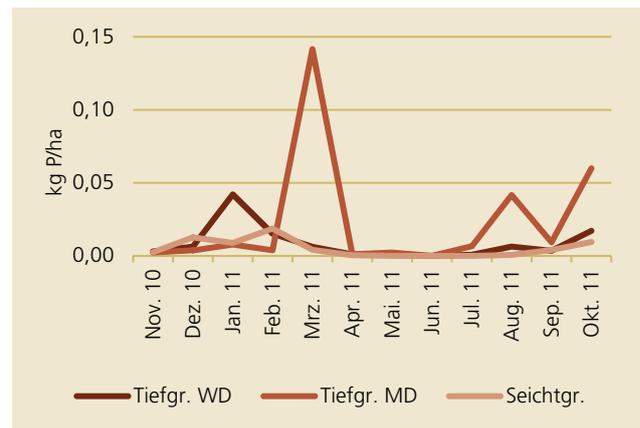


Abb. 5-33: Monatliche Phosphatauswaschung an den drei Standorten

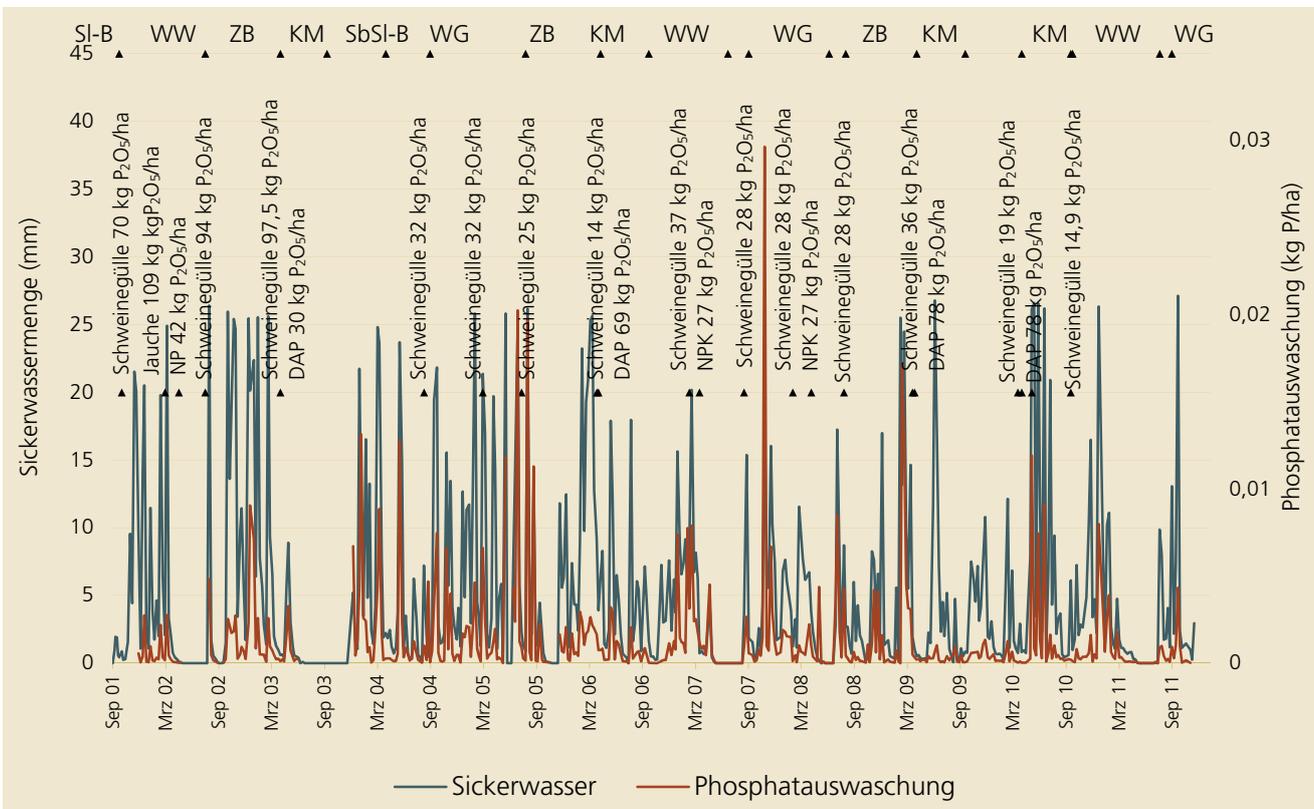


Abb. 5-34: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger

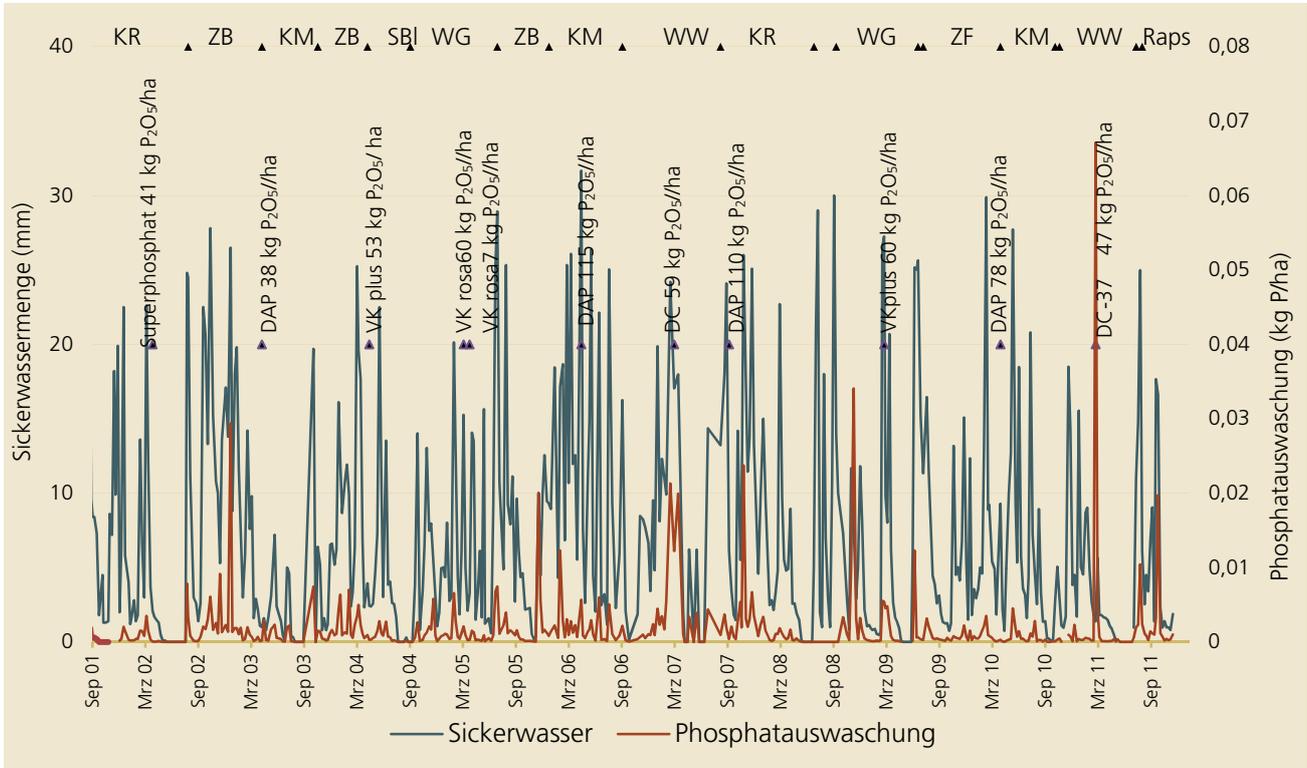


Abb. 5-35: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort mit Mineraldünger

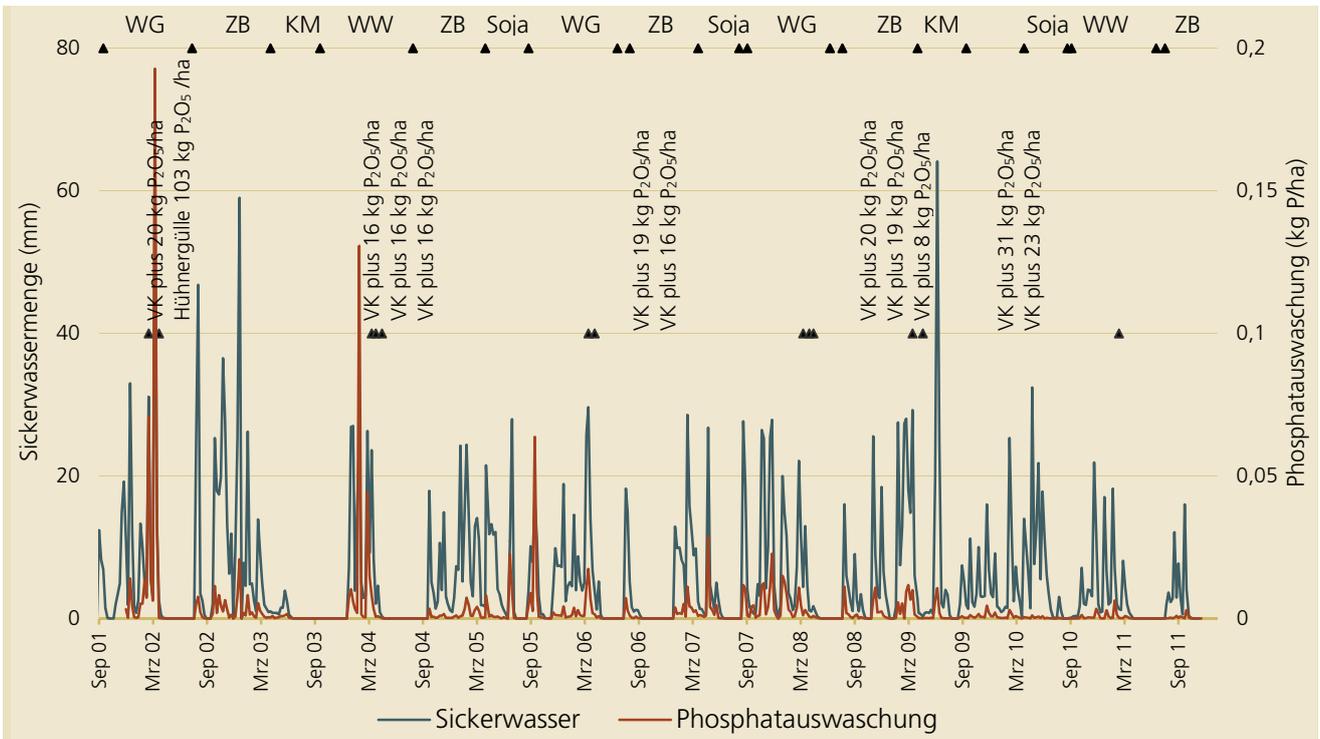


Abb. 5-36: Phosphatauswaschung am seichtgründigen Standort

In Summe waren die P-Verluste mit dem Sickerwasser im hydrologischen Jahr 2010/11 im Verhältnis zu den bei der Düngung eingesetzten P-Mengen verschwindend klein (Tab. 5-7) und zeigten keinen Zusammenhang mit der P-Bilanz im Erntejahr 2011. Die durchschnittliche Phosphatkonzentration im Sickerwasser lag in diesem Jahr auf dem tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger sowie auf dem seichtgründigen Standort unter dem Grundwasserswellenwert von 0,3 mg PO₄/l. Auf dem tiefgründigen Standort mit Mineraldünger war die durchschnittliche Phosphatkonzentration im Sickerwasser hingegen höher als der Grundwasserswellenwert. Die Ergebnisse demonstrieren, dass für die P-Auswaschung vor allem Makroporenfluss von Bedeutung ist, wobei dieser auch auf tiefgründigen Böden stattfinden kann, wenn unmittelbar nach einer Düngung Niederschlag fällt und zu

einer Sickerwasserbildung führt, bevor der P mit der Bodenmatrix reagiert hat.

In Summe wurden seit Beginn der Messreihe an den drei Standorten zwischen 0,61 und 1,42 kg P/ha als Phosphat ausgewaschen (Abb. 5-37).

Tab. 5-7: Sickerwasser, P-Verluste und mittlere PO₄-Konzentration im Sickerwasser von 1.11.10 bis 31.10.11

	SW [mm]	P - Verlust [kg/ha]	PO ₄ -Kon. [mg/l]
Tiefgr. WD	234	0,1038	0,068
Tiefgr. MD	261	0,2819	0,481
Seichtgr.	182	0,0619	0,034

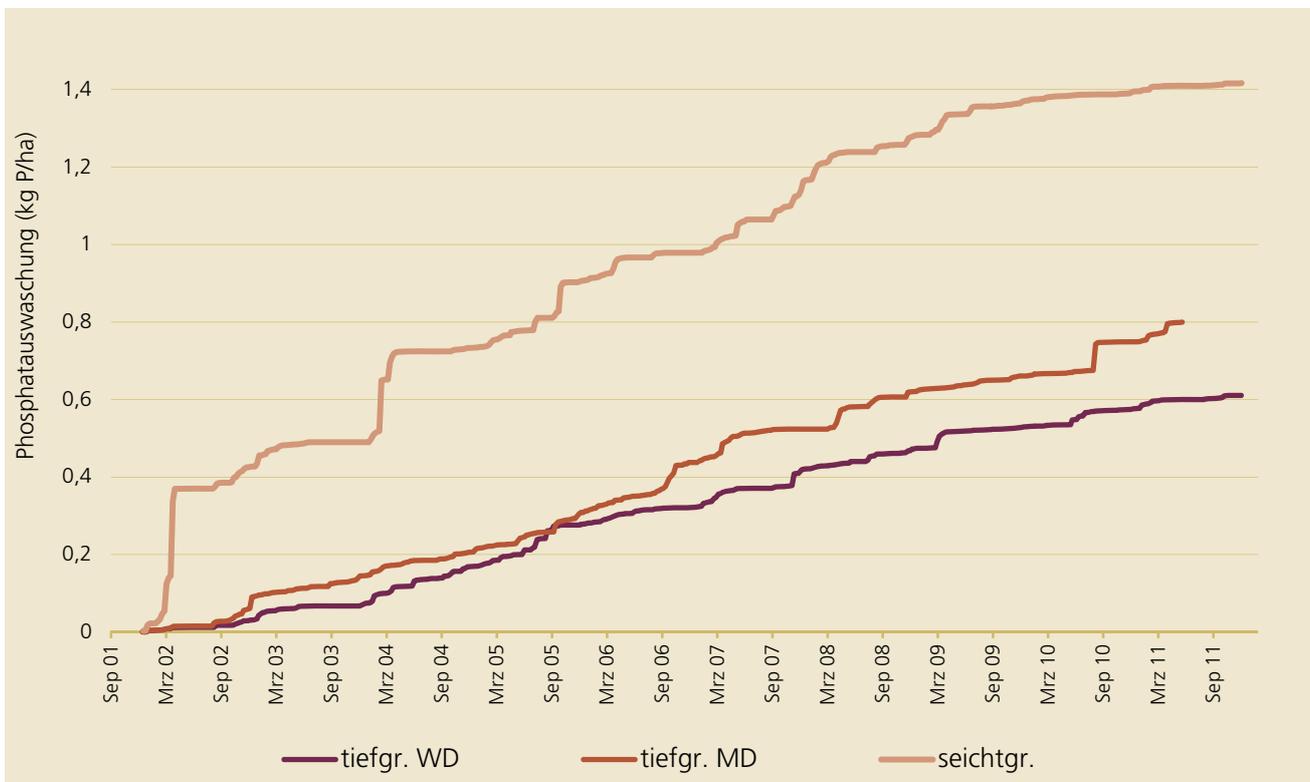


Abb. 5-37: Summe der als Phosphat ausgewaschenen P-Menge an den drei Standorten

6 Schlussfolgerungen und Ausblick

Aus den Ergebnissen der im Jahr 2011 durchgeführten Messungen und Untersuchungen lassen sich folgende Schlussfolgerungen hinsichtlich des Nährstoffauswaschungsrisikos ziehen:

Im Zusammenspiel von Bodeneigenschaften, Düngungsmaßnahmen und Witterungsverlauf treten in diesem Jahr vor allem Bodenunterschiede als bestimmender Faktor hervor, wobei jedoch einschränkend festzuhalten ist, dass die beiden tiefgründigen Böden und der seichtgründige Boden jeweils Extreme darstellen, die sich sehr stark unterscheiden. Ein Großteil der Böden und der daher rührende Einfluss auf die Nitratauswaschung dürfte sich wohl dazwischen bewegen. Bei einer Bewertung des Risikos, das von den Bodeneigenschaften ausgeht, ist jedenfalls eine differenzierte Betrachtungsweise erforderlich. Eine einfache Interpolation zwischen den beiden Extremen reicht dazu nicht aus.

Gut erkennbar ist im Hinblick auf die Nitratauswaschung, dass das Wasserspeichervermögen die bestimmende Bodeneigenschaft ist. Trotz Perioden mit starken Niederschlägen trat eine Sickerwasserbildung (im untersuchten Fall in 1,5 m Tiefe) erst mit ein- bis mehrwöchiger Verzögerung auf, wenn davor eine längere Periode mit geringeren Niederschlägen und gleichzeitig erheblicher Evapotranspiration stattgefunden hat. Damit wird die Nitratauswaschung deutlich verlangsamt und die Vegetation hat vergleichsweise lange Zeit, Nitrat aus dem Boden aufzunehmen. **Eine Berücksichtigung der Wasserspeicherfähigkeit des Bodens bei der Planung von Maßnahmen zum Grundwasserschutz in Gebieten mit Nitratproblemen wäre daher zielführend.**

Ein Vergleich der Bewirtschaftungsformen ergibt, dass sowohl die Auswaschung als auch das Ertragsniveau und das damit verbundene Niveau der Stickstoffentzüge am Wirtschaftsdüngerstandort im Vergleich zum

Mineraldüngerstandort nicht der ausgebrachten Stickstoffdüngermenge entspricht, falls davon (wie in den entsprechenden Regelwerken vorgesehen) nur der jahreswirksame (das ist der schnell wirksame) Anteil berücksichtigt wird. Am Wirtschaftsdüngerstandort wurde offensichtlich organischer Stickstoff aus dem Wirtschaftsdünger mobilisiert, wobei dieser sowohl aus Düngemaßnahmen des Jahres 2011 als auch aus den Vorjahren stammen könnte. **Eine Erfassung dieser Nachlieferung, zum Beispiel durch eine Anpassung der Düngung durch Anwendung der Nmin Sollwertmethode ist daher insbesondere auf Standorten mit langjähriger Wirtschaftsdüngeranwendung sinnvoll.**

2011 lieferte wieder ein Beispiel zur P-Auswaschung, die überwiegend als Folge eines Makroporenflusses stattfindet. Am tiefgründigen Standort mit Mineraldünger fand eine extreme Auswaschungsspitze unmittelbar nach einer Düngemaßnahme statt. Umgekehrt ist über die Jahre kein Zusammenhang mit einer kurzfristigen P-Bilanz ersichtlich.

Der Grundwasserschutz vor einer P-Auswaschung müsste daher in erster Linie auf einen geeigneten Düngungszeitpunkt abstellen. Ungeeignet ist eine Ausbringung nach langen Trockenperioden (Schrumpfrisse) und Perioden mit stoßweisem Sickerwasseranfall, also wenn der Boden bereits einen hohen Wassergehalt hat und zusätzliche Niederschläge zu einer raschen Auswaschung führen können. Günstig sind demgegenüber schwach feuchte Bodenverhältnisse, die eine Auflösung des Düngers und ein Reagieren des P mit der Bodenmatrix erlauben.

Die Auswaschungsdynamik folgte 2011 einem klassischen Muster mit dem Hauptteil der Sickerwasserbildung über die Periode vom Spätherbst über den Winter zum zeitigen Frühjahr.

Im Hinblick auf den Grundwasserschutz lässt sich daraus ableiten, dass im Boden vorhandenes Nitrat zum

Beginn dieser Periode ein überproportionales Risiko darstellt. Die N_{\min} Gehalte im Boden waren, wie die Untersuchungsergebnisse zeigen, zu anderen Zeiten im Jahr um ein Vielfaches höher, ohne zu einer erheblichen Nitratauswaschung zu führen. Nicht zum ersten Mal musste beobachtet werden, dass am seichtgründigen Standort eine Winterung oder eine Zwischenbegrünung nur einen relativen Schutz darstellt, so dass in Bereichen, wo besondere Beiträge zum Grundwasserschutz gefordert sind, darüberhinausgehende Maßnahmen erforderlich sind, die möglichst niedrige N_{\min} Gehalte im Spätherbst zur Folge haben. **In jedem Fall ist eine Ausbringung von Wirtschaftsdüngern im Herbst vor diesem Hintergrund kritisch zu bewerten und sollte daher unterbleiben.**

Aus dem Tracerversuch mit Br^- konnten wesentliche Erkenntnisse zum Auswaschungsverhalten von einwertigen Anionen gewonnen werden, die sich auf Nitrat übertragen lassen. Während am seichtgründigen Standort das gesamte Bromid innerhalb von 6 Monaten ausgewaschen wurde, fand auf den tiefgründigen Standorten ein stetiger, mit der Zeit langsam abnehmender Fluss statt. **Daraus lässt sich schließen, dass Beiträge zur Nitratbelastung des Grundwassers sehr unterschiedlichen Alters sein müssen, je nach den Eigenschaften der an der Oberfläche bewirtschafteten Böden. Diese können von unterjährig bis aus vielen Jahren stammend sein.**

Da im Hinblick auf die Auswaschungsdynamik aus dem Tracerversuch keine weiteren Erkenntnisse mehr zu erwarten sind, wurde dieser im Jahr 2011 beendet.

7 Literatur

- Baumgarten (2006). Richtlinien für die Sachgerechte Düngung, 6. 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 „OberePettenbachrinne, 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.