



LAND

OBERÖSTERREICH

## Forschungsprojekt Lysimeter

Technischer  
Endbericht  
2010

10

15

20

25

30

35

40

45

50



GTW



lebensministerium.at

# Forschungsprojekt Lysimeter

## Technischer Endbericht 2010

### 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, Juni 2011

DVR: 0069264

**Copyright:** Grund- und Trinkwasserwirtschaft



INHALTSVERZEICHNIS

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Zusammenfassung .....</b>   | <b>4</b>  |
| <b>2</b> | <b>Vorgeschichte und Fragestellung .....</b>   | <b>5</b>  |
| <b>3</b> | <b>Methoden .....</b>  | <b>7</b>  |
| 3.1      | Tracerausbringung .....  | 7         |
| 3.2      | Probenahme.....  | 7         |
| 3.3      | Analytik.....  | 8         |
| 3.4      | Bilanzierung .....   | 8         |
| 3.5      | Berechnung der Auswaschung .....   | 8         |
| <b>4</b> | <b>Bewirtschaftung .....</b>   | <b>9</b>  |
| <b>5</b> | <b>Ergebnisse .....</b>  | <b>11</b> |
| 5.1      | Wirtschaftsdünger und Ernteproben.....   | 11        |
| 5.2      | Stickstoffbilanzen .....   | 12        |
| 5.3      | N <sub>min</sub> Gehalte im Boden .....  | 13        |
| 5.4      | Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger .....                              | 15        |
| 5.4.1    | Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung .....   | 15        |
| 5.4.2    | Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser.....                         | 16        |
| 5.5      | Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort mit Mineraldünger.....                                   | 18        |
| 5.5.1    | Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung .....   | 18        |
| 5.5.2    | Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser.....                         | 19        |
| 5.6      | Nitratauswaschung am seichtgründigen Standort.....   | 21        |
| 5.6.1    | Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung .....   | 21        |
| 5.6.2    | Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser.....                         | 22        |
| 5.7      | Vergleich der Nitratauswaschung bzw. Nitratkonzentration im Sickerwasser zwischen den Standorten ... | 24        |
| 5.8      | Tracerversuch – Bromid .....   | 27        |
| 5.9      | Phosphorbilanzen .....   | 29        |
| 5.10     | Phosphatauswaschung .....  | 31        |
| <b>6</b> | <b>Schlussfolgerungen und Ausblick.....</b>  | <b>34</b> |
| <b>7</b> | <b>Literatur .....</b>   | <b>35</b> |

**ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

Abb. 2-1: Lage der Lysimeter..... 5

Abb. 3-1: Ausbringen der Bromidlösung ..... 7

Abb. 5-1:  $N_{min}$  Gehalte am tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger..... 13

Abb. 5-2:  $N_{min}$  Gehalte am tiefgründigen Standort mit Mineraldünger ..... 13

Abb. 5-3:  $N_{min}$  Gehalte am seichtgründigen Standort ..... 13

Abb. 5-4: Vergleich der  $N_{min}$  - Gehalte der Standorte seit Oktober 2001..... 14

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

Abb. 5-6: Niederschläge und Sickerwasser, gesamte Messreihe (tiefgr. Wirtschaftsdünger) ..... 15

Abb. 5-7: Monatliche Sickerwassermenge und Nitrat auswaschung (tiefgr. Wirtschaftsdünger) ..... 16

Abb. 5-8: Sickerwassermenge und Nitrat auswaschung (tiefgr. Wirtschaftsdünger)..... 16

Abb. 5-9: Nitratkonzentration und Nitrat auswaschung (tiefgr. Wirtschaftsdünger)..... 17

Abb. 5-10: Nitrat auswaschung und  $N_{min}$  – Gehalte des Bodens (tiefgr. Wirtschaftsdünger)..... 17

Abb. 5-11: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. Mineraldünger)..... 18

Abb. 5-12: Niederschläge und Sickerwasser, gesamte Messreihe (tiefgr. Mineraldünger)..... 18

Abb. 5-13: Monatliche Sickerwassermenge und Nitrat auswaschung (tiefgr. Mineraldünger) ..... 19

Abb. 5-14: Sickerwassermenge und Nitrat auswaschung (tiefgr. Mineraldünger) ..... 19

Abb. 5-15: Nitratkonzentration und Nitrat auswaschung (tiefgr. Mineraldünger) ..... 20

Abb. 5-16: Nitrat auswaschung und  $N_{min}$  – Gehalte des Bodens (tiefgr. Mineraldünger) ..... 20

Abb. 5-17: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (seichtgr.)..... 21

Abb. 5-18: Niederschläge und Sickerwasser, gesamte Messreihe (seichtgründig)..... 21

Abb. 5-19: Monatliche Sickerwassermenge und Nitrat auswaschung (seichtgründig) ..... 22

Abb. 5-20: Sickerwassermenge und Nitrat auswaschung (seichtgründig) ..... 22

Abb. 5-21: Nitratkonzentration und Nitrat auswaschung (seichtgründig) ..... 23

Abb. 5-22: Nitrat auswaschung und  $N_{min}$  – Gehalte des Bodens (seichtgründig) ..... 23

Abb. 5-23: Monatliche Niederschlagssummen an den drei Standorten ..... 24

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

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

Abb. 5-26: Monatliche Nitrat auswaschung an den drei Standorten..... 25

Abb. 5-27: Summe der als Nitrat ausgewaschenen Stickstoffmenge an den drei Standorten..... 26

Abb. 5-28: Bromid- und Nitrat auswaschung tiefgründiger Standort Wirtschaftsdünger..... 28

Abb. 5-29: Bromid- und Nitrat auswaschung tiefgründiger Standort Mineraldünger ..... 28

Abb. 5-30: Bromid- und Nitrat auswaschung seichtgründiger Standort ..... 28

Abb. 5-31: Bromidkonzentrationen an den drei Lysimetern..... 28

Abb. 5-32: Summenlinien der Bromid auswaschung an den drei Lysimetern ..... 29

Abb. 5-33: Monatliche Phosphat auswaschung an den drei Standorten ..... 31

Abb. 5-34: Phosphat auswaschung am tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger..... 31

Abb. 5-35: Phosphat auswaschung am tiefgründigen Standort mit Mineraldünger ..... 32

Abb. 5-36: Phosphat auswaschung am seichtgründigen Standort ..... 32

Abb. 5-37: Summe der als Phosphat ausgewaschenen P-Menge an den drei Standorten ..... 33

**TABELLENVERZEICHNIS**

|  |    |
|--|----|
| Tab. 3-1: Analysenprogramm .....   | 8  |
| Tab. 4-1: Bewirtschaftungsmaßnahmen 2009/2010 .....  | 10 |
| Tab. 5-1: Erntemengen und Analysenergebnisse der Ernteproben .....   | 11 |
| Tab. 5-2: Stickstoffbilanzen für das Erntejahr 2010 .....  | 12 |
| Tab. 5-3: Stickstoffauswaschung vom 1.11.09 bis 31.10.10 im Vergleich zur Düngung .....                                      | 24 |
| Tab. 5-4: Sickerwassermengen und durchschnittliche Nitratkonzentration vom 1.11.09 bis 31.10.10 .....                        | 25 |
| Tab. 5-5: Wiedergefundenes Bromid bis Dezember 2010 .....  | 27 |
| Tab. 5-6: Phosphorbilanzen für das Erntejahr 2010 .....  | 30 |
| Tab. 5-7: Sickerwasser, P-Verluste und mittlere PO <sub>4</sub> -Konzentration im Sickerwasser von 1.11.09 bis 31.10.10 .... | 33 |

## 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 2009/10 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. 2010 war auf beiden Mais angebaut, am seichtgründigen Standort Soja. Das Stickstoffdüngenniveau entsprach auf den tiefgründigen Standorten einer hohen Ertragslage, auf dem seichtgründigen wurde 2010 nicht gedüngt. Auf dem tiefgründigen Mineraldüngerstandort und auf dem seichtgründigen Standort wurden 2010 hohe Erträge erzielt, auf dem tiefgründigen Wirtschaftsdüngerstandort ein mittlerer.

Auf allen Standorten werden die N- und P-Zufuhr durch Düngung ermittelt, die N- und P Entzüge mit der Ernte sowie  $N_{\min}$  im Boden gemessen und die Auswaschung von Nitrat und Phosphat mit Lysimetern bestimmt. Zusätzlich wurde im Herbst 2008 ein Tracerversuch mit Kaliumbromid gestartet und die Br-Auswaschung und die Br-Entzüge gemessen.

Die wichtigsten Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen des Jahres 2010 sind:

2010 fand auf den **Maisflächen** der überwiegende Teil der Nitratauswaschung in den Monaten Mai-Juni/Juli statt. Ursachen sind der spät einsetzende Stickstoffentzug (ab Anfang Juli) verbunden mit Düngemaßnahmen, die teilweise bereits im April vorgenommen werden sowie das Auftreten von erheblichen Niederschlags- und Sickerwasserbildungsperi-

den in diesem Zeitraum. Ein Vergleich der Ergebnisse mit jenen der Vorjahre zeigt, dass es sich dabei um kein sporadisch auftretendes Phänomen handelt, sondern auf allen drei Standorten in so gut wie allen Jahren, in denen Mais angebaut wurde, zu beobachten war. Eine möglichst späte Düngung zu Mais könnte somit einen wesentlichen Beitrag zum Grundwasserschutz leisten. Demgegenüber spielt die Auswaschung nach Mais (bei angemessener Düngung) nur eine untergeordnete Rolle.

Am **seichtgründigen Standort** zeigt sich einmal mehr, dass trotz moderatem Düngeregime und teilweise (wie 2010) sogar hohen Erträgen auswaschungsgefährdete Böden ein besonderes Risiko für den Nitrataustrag darstellen. Für solche Standorte wären attraktive Maßnahmen zur Extensivierung sinnvoll. Anhand der Ergebnisse lässt sich auch zeigen, dass das Nitrataustragsrisiko unabhängig von den Ertragsmöglichkeiten zu bewerten ist, da bei günstiger Kulturartenwahl und guter Kulturführung auch auf solchen Böden mittlere bis hohe Erträge möglich sind.

Der Einfluss der bodenphysikalischen Eigenschaften auf die Auswaschung wird auch durch den **Tracerversuch** eindrucksvoll demonstriert. Während am seichtgründigen Standort mehr als 2/3 des Tracers nach einem halben Jahr ausgewaschen war, waren es auf den tiefgründigen Standorten in 2 Jahren ca. 1/4 bis 1/3 der ausgebrachten Tracermenge.

Auf den tiefgründigen Standorten konnte ein enger Zusammenhang des  $N_{\min}$  Gehalts im Boden mit der Nitratauswaschung beobachtet werden, gleichzeitig spiegelte der  $N_{\min}$  Gehalt auch die Bewirtschaftungsmaßnahmen gut wider. Am seichtgründigen Standort war dieser Zusammenhang weniger deutlich, was möglicherweise damit zusammenhängt, dass das 2-monatige Beprobungsintervall für diesen Boden eine zu geringe zeitliche Auflösung bietet.

## 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. Seit dem Herbst 2008 läuft ein Versuch mit Bromid als Tracer, mit dem Ziel, die Verlagerungsgeschwindigkeit von Anionen auf 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 auch im Jahr 2010 fortgeführt.



Abb. 3-1: Ausbringen der Bromidlösung

#### 3.2 Probenahme

Von Anfang September 2001 bis Ende Dezember 2010 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 m<sup>2</sup>. Korn und Stroh wurden nach der Ernte getrennt. Von den beiden Kontrollstandorten im Feld wurden für die chemische Analyse Mischproben gebildet.

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<br>Orthophosphat<br>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<br>N <sub>gesamt</sub><br>P <sub>gesamt</sub><br>Bromid | N: Kjeldahlaufschluss,<br>P: HNO <sub>3</sub> Aufschluss, photometrische Bestimmung mittels Ammonmolybdat nach Abtrennung der störenden Matrix. |
| Wirtschaftsdünger | Ammonium, N <sub>gesamt</sub> , P <sub>gesamt</sub>                  | Ammonium: gemäß ÖNORM ISO 5664, N <sub>gesamt</sub> , P <sub>gesamt</sub> S.O.  |

### 3.4 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 2010. 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 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, 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 einzelnen Bewirtschaftungsmaßnahmen sind in Tab. 4-1 angeführt. Die Summe der N-Düngung betrug am tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger demnach 145 kg N/ha (jahreswirksam), und am tiefgründigen Standort mit Mineraldünger 158 kg N/ha.

Die Phosphordüngermengen betragen (in derselben Reihenfolge der Standorte) 97 kg  $P_2O_5$ /ha und 78 kg  $P_2O_5$ /ha.

Am seichtgründigen Standort wurde im Jahr 2010 keine Düngung (weder Stickstoff noch Phosphor) durchgeführt.

Bezüglich der Stickstoffdüngung entspricht das Düngenniveau auf den tiefgründigen Standorten einer hohen Ertragslage (Baumgarten, 2006).

Tab. 4-1: Bewirtschaftungsmaßnahmen 2009/2010

| Datum      | Tiefgründiger Standort<br>Wirtschaftsdünger   | Tiefgründiger Standort<br>Mineraldünger  | Seichtgründiger Standort                 |
|------------|---|--|--|
| 13.07.2009 |   | Ernte Wintergerste   |  |
| 17.07.2009 |   | Grubber  |  |
| 22.07.2009 |   | Lysimeterring ausgebaut  |  |
| 29.07.2009 |   | Anbau ZF (Wassergüte früh:<br>Alexandrinerklee, Phacelia, MIRA,<br>MUNGO, ohne Kreuzblütler) |  |
| 13.08.2009 |   | Einsetzen Lysimeter-Ring   |  |
| 03.10.2009 |   |  | Ernte Körnermais                         |
| 06.10.2009 | Maisernte   |  |  |
| 09.10.2009 | Maisstroh eingeackert   |  |  |
| 15.10.2009 |   |  | Pflügen                                  |
| 10.04.2010 | 30 m <sup>3</sup> Schweinegülle<br>(74 kg N/ha; 19 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha)    |  |  |
| 19.04.2010 |   |  | Aussaat Soja<br>(Sorte Merlin 180 kg/ka) |
| 21.04.2010 |   | Düngung 260 kg NAC   |  |
| 22.04.2010 |   | Maissaat<br>Düngung 170 kg DAP   |  |
| 23.04.2010 | Maisanbau<br>Düngung 170 kg DAP   |  |  |
| 25.05.2010 |   | Düngung 210 kg NAC   |  |
| 27.05.2010 | Dünung 150 kg NAC   |  |  |
| 11.09.2010 |   |  | Soja Ernte                               |
| 27.09.2010 |   |  | Saat Winter Weizen<br>(Mulan 185 kg/ha)  |
| 11.10.2010 | Mais Ernte  |  |  |
| 13.10.2010 | Schweingülle 23 m <sup>3</sup> /ha<br>(43 kg N/ha; 15 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha) |  |  |
| 15.10.2010 | Anbau Winter Weizen   |  |  |
| 29.10.2010 |   | Maisernte  |  |

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Wirtschaftsdünger und Ernteproben

Die beprobte Schweinegülle im April 2010 hatte einen Ammoniumstickstoffgehalt von 1,95 kg/m<sup>3</sup>, der Gesamtstickstoffgehalt der im April 2010 ausgebrachten Gülle betrug 3,6 kg/m<sup>3</sup>. Umgerechnet auf jahreswirksamen Stickstoff ergibt das 2,5 kg/m<sup>3</sup>. Der P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Gehalt betrug 0,6 kg/m<sup>3</sup>.

Die im Oktober 2010 ausgebrachte Schweingülle hatte einen Ammoniumstickstoffgehalt von 2,2 kg/m<sup>3</sup>, der Gesamtstickstoffgehalt betrug 2,7 kg/m<sup>3</sup>. Umgerechnet auf jahreswirksamen Stickstoff ergibt das 1,9 kg/m<sup>3</sup>. Der P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Gehalt betrug 0,65 kg/m<sup>3</sup>.

Die Erntemengen und Analysenergebnisse der Ernteproben sind in Tab. 5-1 dargestellt. Umgerechnet auf Standardfeuchte wurden am tiefgründigen Standort

mit Wirtschaftsdünger 9 t Mais geerntet, am tiefgründigen Standort mit Mineraldünger 13 t (Mittelwerte der beprobten Teilflächen). Das entspricht einer mittleren bzw. hohen Ertragslage. Am seichtgründigen Standort waren es 2,9 t Soja (hohe Ertragslage).

Aus dem Vergleich der Ergebnisse der eigentlichen Lysimeterflächen mit den Mittelwerten von Lysimeterfläche + 2 Vergleichsflächen ist ersichtlich, dass die Erntemengen (sowohl hinsichtlich Korn als auch Stroh) auf dem tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger erheblich divergieren. 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 Vorgehenden liegt. Auf den anderen Standorten liegen die Abweichungen im Großen und Ganzen in einem tolerierbaren Bereich.

Tab. 5-1: Erntemengen und Analysenergebnisse der Ernteproben

| Probe                  | Erntemenge<br>(g TS/m <sup>2</sup> ) | Trockenmasse<br>(%) | N <sub>gesamt</sub><br>(g/kg TS) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>(g/kg TS) | Br<br>(g/kg TS) |
|------------------------|--------------------------------------|---------------------|----------------------------------|--|-----------------|
| Tiefgr. WD - Lys Korn  | 473                                  | 63%                 | 13,3                             | 8,5  |                 |
| Tiefgr. WD - MW Korn   | 787                                  | 64%                 | 13,7                             | 7,4  |                 |
| Tiefgr. WD - Lys Stroh | 469                                  | 32%                 | 9,5                              | 3,9  | 0,27            |
| Tiefgr. WD - MW Stroh  | 730                                  | 29%                 | 8,0                              | 2,3  |                 |
| Tiefgr. MD - Lys Korn  | 1360                                 | 62%                 | 14,9                             | 9,2  |                 |
| Tiefgr. MD - MW Korn   | 1139                                 | 63%                 | 13,2                             | 7,8  |                 |
| Tiefgr. MD - Lys Stroh | 1410                                 | 29%                 | 7,6                              | 3,0  | 0,21            |
| Tiefgr. MD - MW Stroh  | 1107                                 | 31%                 | 6,5                              | 2,2  |                 |
| Seichtgr. - Lys Korn   | 245                                  | 85%                 | 56,3                             | 19,2                                       |                 |
| Seichtgr. - MW Korn    | 270                                  | 85%                 | 61,3                             | 20,6                                       |                 |
| Seichtgr. - Lys Stroh  | 177                                  | 82%                 | 9,9                              | 2,5  | 0,1             |
| Seichtgr. - MW Stroh   | 216                                  | 82%                 | 8,5                              | 3,0  |                 |

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

## 5.2 Stickstoffbilanzen

Eine Gegenüberstellung der Stickstoffentzüge mit dem N-Düngeaufwand ergibt für den tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdüngung eine positive Bilanz, d.h. mehr Stickstoff wurde durch Düngung aufgebracht, als durch die Ernte entzogen wurde (Tab. 5-2). Für den tiefgründigen Standort mit Mineraldünger ergibt sich eine nahezu ausgeglichene N-Bilanz, wenn die Mittelwerte aus Lysimeter und Vergleichsflächen herangezogen werden. Betrachtet man nur die Lysimeterfläche, so ist die N-Bilanz negativ. Für den seichtgründigen Standort ist eine Bilanzierung auf dieser Basis nicht sinnvoll, da keine Düngung erfolgte. Es kann jedoch angenommen werden, dass die Sojabohne ihre Stickstoffbedarf, soweit die Versorgung nicht durch mineralisierten Bodenstickstoff erfolgte, durch symbiotische Luftstickstoffbindung abdeckte. Es kann daher vermutet werden, dass am seicht-

gründigen Standort die Stickstoffbilanz ausgeglichen war, da eine Luftstickstofffixierung in der erforderlichen Höhe stattgefunden hat.

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 tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger war der Ertrag über dem Lysimeter deutlich geringer als auf den Vergleichsflächen. Ebenso wurde auf dem seichtgründigen Standort am Lysimeter ein geringerer Ertrag als auf den Vergleichsflächen beobachtet. Auf dem tiefgründigen Standort mit Mineraldünger hingegen war der Ertrag über dem Lysimeter etwas höher als auf den Vergleichsflächen.

Tab. 5-2: Stickstoffbilanzen für das Erntejahr 2010

|                              | Tiefgründiger Standort mit Wirtschaftsdünger |            | Tiefgründiger Standort mit Mineraldünger |            | Seichtgründiger Standort |            |
|------------------------------|--|------------|--|------------|--------------------------|------------|
|                              | ----- kg N/ha -----                          |            |  |            |                          |            |
| Stickstoffzufuhr aus Düngung | 145  |            | 158                                      |            | -                        |            |
| Entzug durch die Pflanzen    | Lysimeter                                    | Mittelwert | Lysimeter                                | Mittelwert | Lysimeter                | Mittelwert |
| Entzug durch das Korn        | 63   | 109        | 203                                      | 152        | 138                      | 166        |
| Entzug durch das Stroh       | 45   | 56         | 107                                      | 74         | 18                       | 18,0       |
| Summe Entzug                 | 108  | 165        | 310                                      | 226        | 156                      | 184        |
| Abfuhr durch Ernte           | 63   | 109        | 203                                      | 152        | 138                      | 166        |
| Bilanz Korn                  | 82   | 36         | -45                                      | 6          | k.a.                     | k.a.       |
| Bilanz Korn + Stroh          | 37   | -20        | -152                                     | -68        | k.a.                     | k.a.       |
| Bilanz Ernteabfuhr           | 82   | 36         | -45                                      | 6          | k.a.                     | k.a.       |

### 5.3 N<sub>min</sub> Gehalte im Boden

Die N<sub>min</sub> Gehalte (Nitrat + Ammonium) im Boden zeigen auf den zwei tiefgründigen Standorten einen deutlichen Zusammenhang mit den Düngemaßnahmen und dem zeitlichen Verlauf der Stickstoffaufnahme des angebauten Mais. Auf dem seichtgründigen Standort hingegen lässt sich kein eindeutiger jahreszeitlicher Verlauf der N<sub>min</sub> Gehalte im Boden erkennen, die Werte sind nahezu konstant über das gesamte Jahr.

Am tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger sind die Werte im Februar und April zunächst durchaus niedrig (Abb. 5-1). Die im April (nach der Bodenprobenahme) und Mai ausgebrachten Düngemittel bewirken dann einen deutlichen Anstieg des N<sub>min</sub> Gehalts, bevor der Stickstoffentzug des angebauten Mais einsetzt. Dieser bewirkt dann (zusammen mit Auswaschungsverlusten, siehe Abb. 5-6) wieder einen Rückgang der Werte bis zum Ende des Jahres.

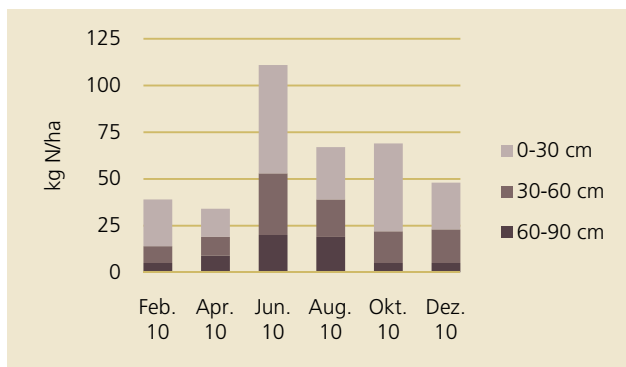


Abb. 5-1: N<sub>min</sub> Gehalte am tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger

Ähnlich verlaufen die N<sub>min</sub> Werte am tiefgründigen Standort mit Mineraldünger, wo ebenfalls Mais angebaut war (Abb. 5-2). Der signifikante Anstieg im Juni ist auf Düngemaßnahmen zurückzuführen, die alle zwischen den Bodenbeprobungen im April und Juni stattfanden sowie den Umstand, dass in dieser Zeit durch den Mais keine nennenswerten Entzüge zu erwarten sind.

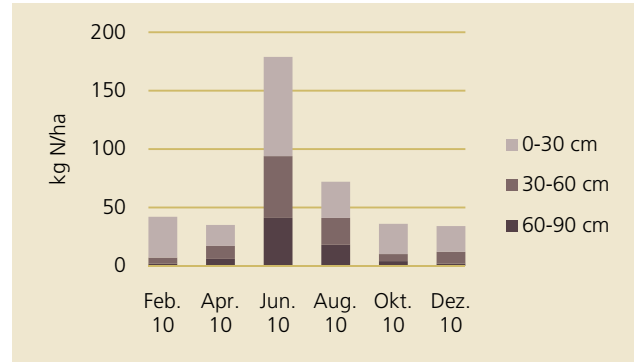


Abb. 5-2: N<sub>min</sub> Gehalte am tiefgründigen Standort mit Mineraldünger

Am seichtgründigen Standort wurden die höchsten Werte für N<sub>min</sub> Gehalte im Oktober verzeichnet, wobei allerdings die Unterschiede zwischen den einzelnen Monatsanalysen im Vergleich zu den tiefgründigen Standorten sehr gering sind und sich insgesamt auf einem niedrigen Niveau bewegen. Es ist ablesbar, dass am seichtgründigen Standort im Jahr 2010 keine Düngung erfolgte. Ein dabei allenfalls zu erwartender abnehmender Trend in den N<sub>min</sub> Gehalten konnte jedoch nicht beobachtet werden. Als mögliche Ursache für den leichten Anstieg des N<sub>min</sub> Gehalts im Oktober 2010 ist die Bodenbearbeitungsmaßnahme nach der Sojaernte und ein damit verbundener Mineralisierungsschub denkbar.

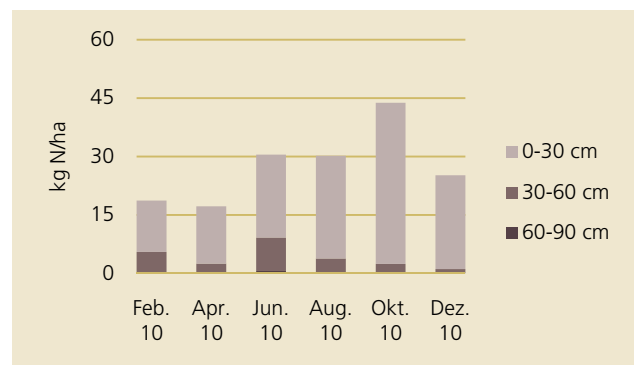


Abb. 5-3: N<sub>min</sub> Gehalte am seichtgründigen Standort

Im Vergleich der gesamten Messserie fällt auf, dass im Jahr 2010 am tiefgründigen Standort mit Mineraldünger der höchste aller gemessenen Gehalte auftrat (Abb. 5-4).

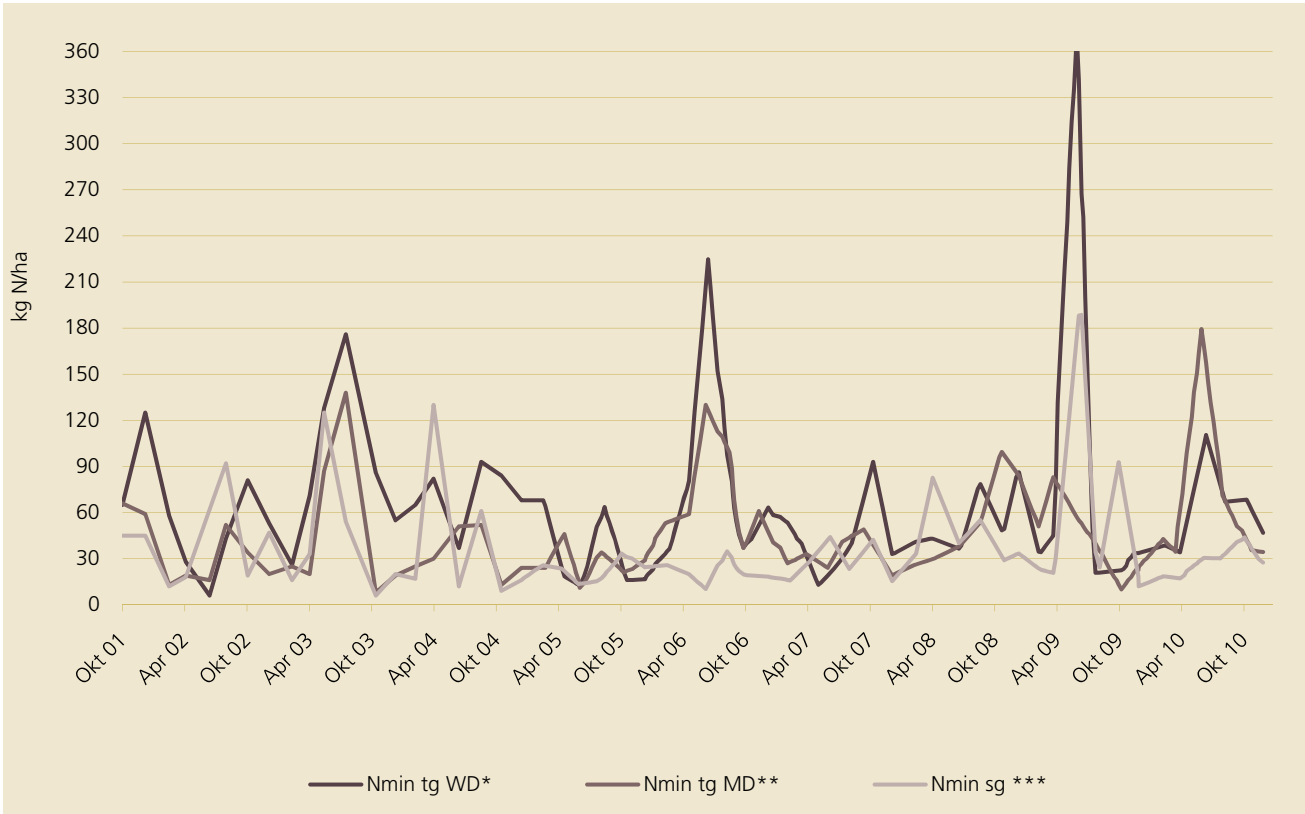


Abb. 5-4: Vergleich der N<sub>min</sub> - Gehalte der Standorte seit Oktober 2001

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



## 5.4 Nitratauswaschung am tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger

### 5.4.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

Im hydrologischen Jahr 2009/10 fielen 1186 mm Niederschlag. Die Sickerwassermenge in diesem Zeitraum betrug 279 mm, das sind 24% der Niederschlagsmenge. Auffallend ist die hohe Niederschlagssumme im Monat Juni (Abb. 5-5), die auf eine, im Vergleich der Jahre, extreme 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. Zusätzlich gab es eine deut-

liche Auswaschungsspitze in den Monaten Juni bis August in Folge der Starkregeneignisse.

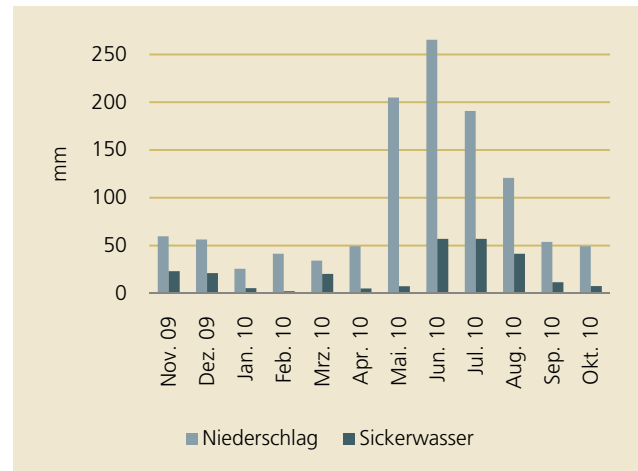


Abb. 5-5: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. Wirtschaftsdünger)

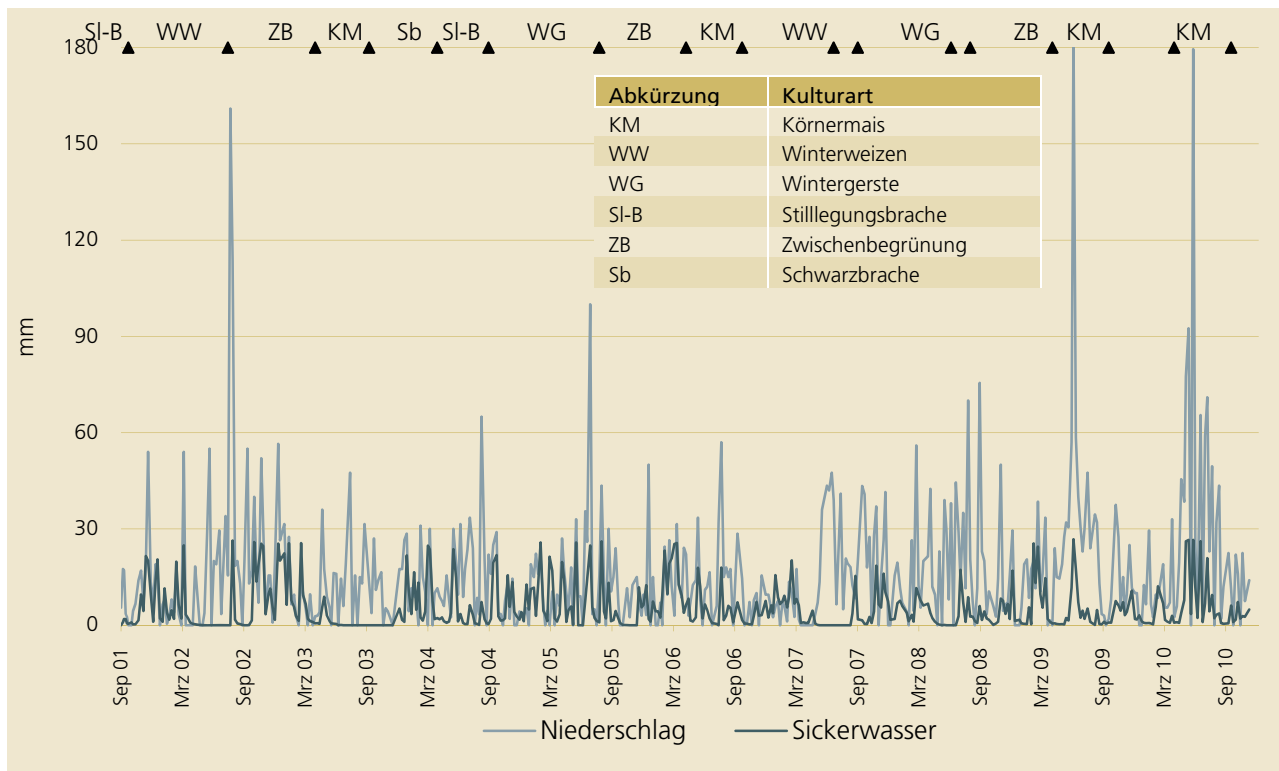


Abb. 5-6: Niederschläge und Sickerwasser, gesamte Messreihe (tiefgr. Wirtschaftsdünger)

### 5.4.2 Sickerwassermenge, Nitratauswaschung und –konzentration im Sickerwasser

Die monatliche Sickerwassermenge hatte zwei Maxima: gegen Ende des Winters als Folge der Winterniederschläge und im Zeitraum Juni bis August als Folge der erwähnten Starkregenereignisse (Abb. 5-7). Während die Nitratauswaschung im März mit dem Sickerwasseraustrag nur schwach anstieg, da in Folge der geringeren Düngemenge nur wenig Nitrat im Boden vorhanden war (vgl. Abb. 5-10), führten die Ereignisse im Juni zu einer beachtlichen Auswaschungsspitze, die zu den höchsten Werten in der gesamten Messserie an diesem Standort zählt (Abb. 5-8). Die Nitratkonzentrationsspitze liegt ebenfalls in diesem Zeitraum (Abb. 5-9). Die Summe der ausgewaschenen Stickstoffmenge betrug im hydrologischen Jahr 2009/10 35 kg N/ha. Gut erkennbar ist auch der Zusammen-

hang mit den Düngemaßnahmen und den hohen  $N_{min}$  Gehalten im Boden, die im Juni gemessen wurden (vgl. Abb. 5-10).

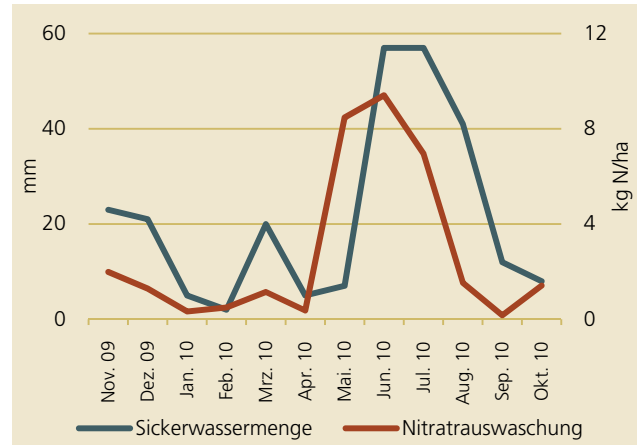


Abb. 5-7: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefr. Wirtschaftsdünger)

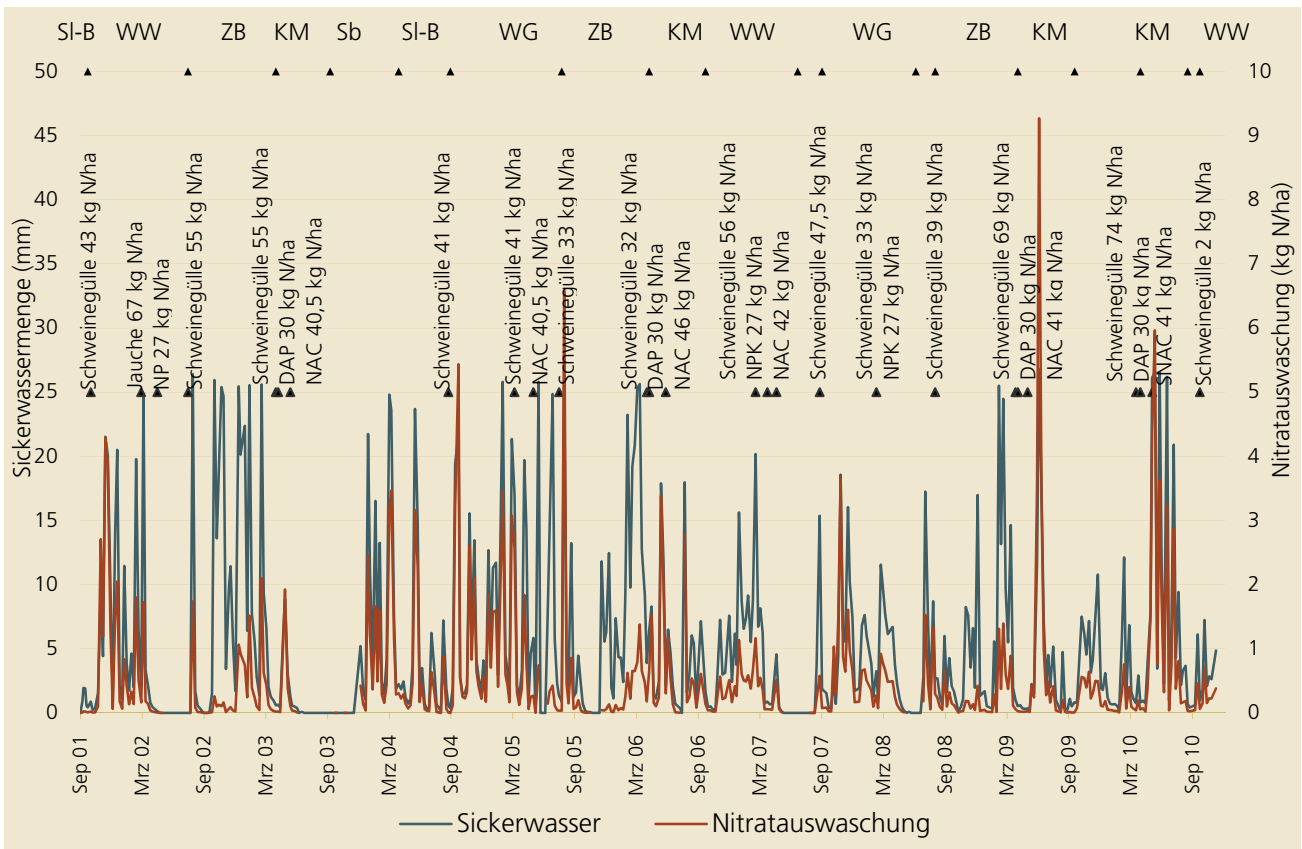


Abb. 5-8: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (tiefr. Wirtschaftsdünger)

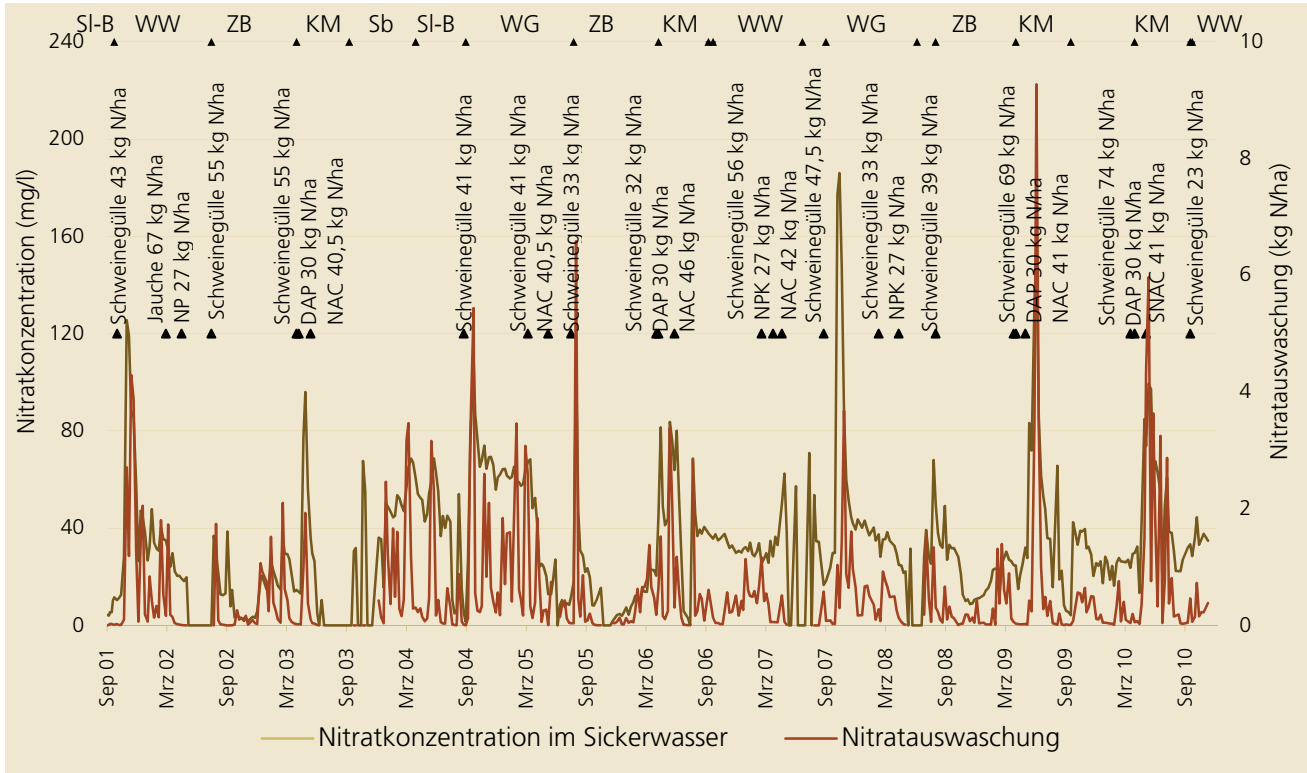


Abb. 5-9: Nitratkonzentration und Nitrat Auswaschung (tiefr. Wirtschaftsdünger)

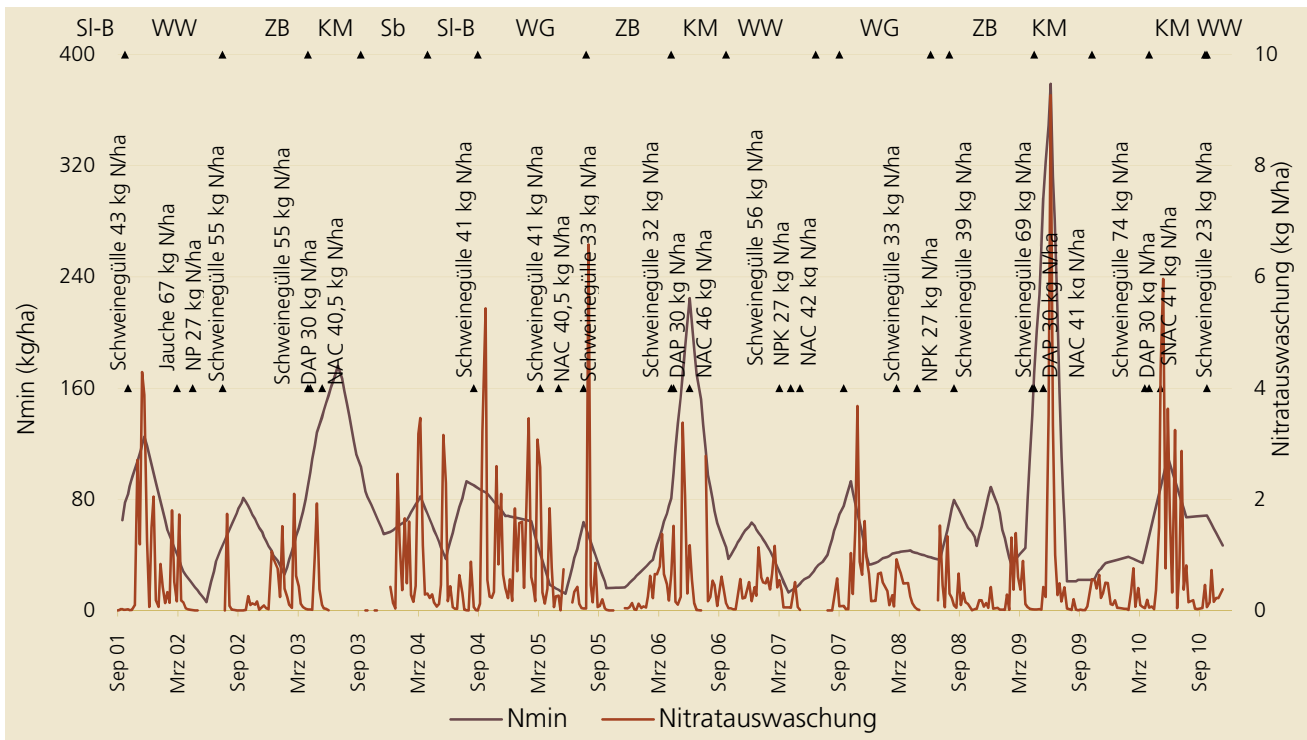


Abb. 5-10: Nitrat Auswaschung und  $N_{min}$  – Gehalte des Bodens (tiefr. Wirtschaftsdünger)

## 5.5 Nitrat auswaschung am tiefgründigen Standort mit Mineraldünger

### 5.5.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

Im hydrologischen Jahr 2009/2010 betrug die Niederschlagssumme am gegenständlichen Standort 916 mm. Die Sickerwassermenge im selben Zeitraum lag bei 353 mm, das entspricht knapp 40 % der Niederschlagsmenge. Hier waren Starkregenereignisse mit entsprechend hohen Niederschlagssummen in den Monaten zwischen April und Juli zu verzeichnen (Abb. 5-11). Die höchsten Sickerwassermengen wurden in den Monaten März und Juni 2010 beobachtet.

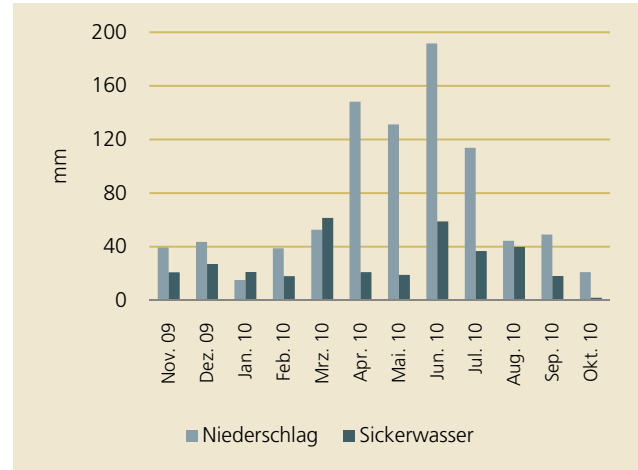


Abb. 5-11: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen (tiefgr. Mineraldünger)

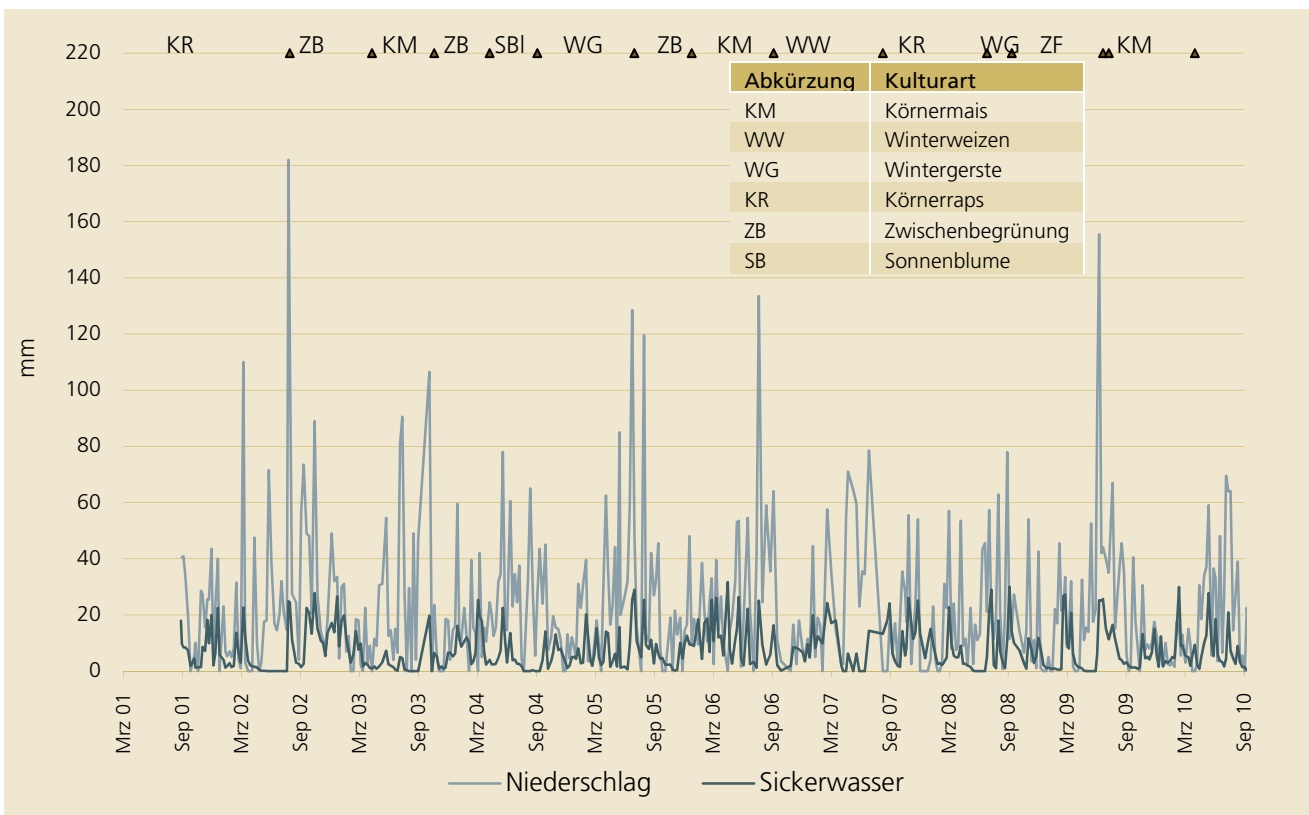


Abb. 5-12: Niederschläge und Sickerwasser, gesamte Messreihe (tiefgr. Mineraldünger)

### 5.5.2 Sickerwassermenge, Nitrat auswaschung und –konzentration im Sickerwasser

Die Nitrat auswaschung erreicht in den Monaten Mai und Juni ihr Maximum. Dies ist primär auf die Düngung im Zeitraum April und Mai sowie auf den erhöhten Sickerwasseranfall im Juni zurückzuführen. Die erhöhte Sickerwassermenge im März führte zu keinem signifikanten Anstieg in der ausgewaschenen Nitratmenge. Im Vergleich zu den bisherigen Resultaten (seit 2001) zählt die Nitrat auswaschung im hydrologischen Jahr 2009/10 zu den höchsten bisher beobachteten Werten (vgl. Abb. 5-14) und betrug insgesamt 30 kg N/ha. Die Nitratkonzentration im Sickerwasser erreichte im Mai ihr Maximum, wobei die gemessenen Konzentrationen zu den höchsten Werten in der gesamten Messserie an diesem Standort zählen (Abb. 5-15). Generell folgt der Verlauf der Nitratkonzentration

im Sickerwasser auch auf diesem Standort dem Verlauf der  $N_{min}$  Gehalte im Boden (siehe Abb. 5-16).

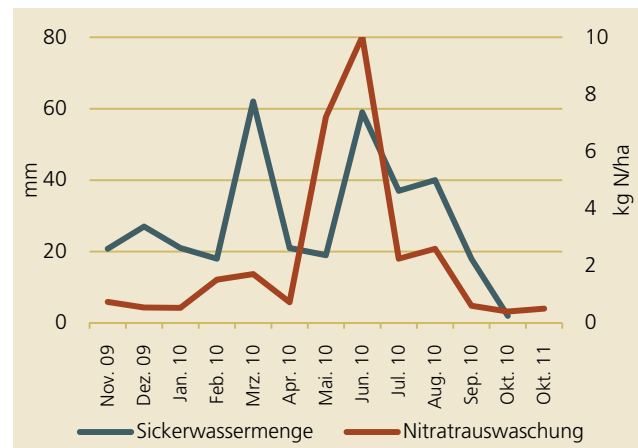


Abb. 5-13: Monatliche Sickerwassermenge und Nitrat auswaschung (tieflgr. Mineraldünger)

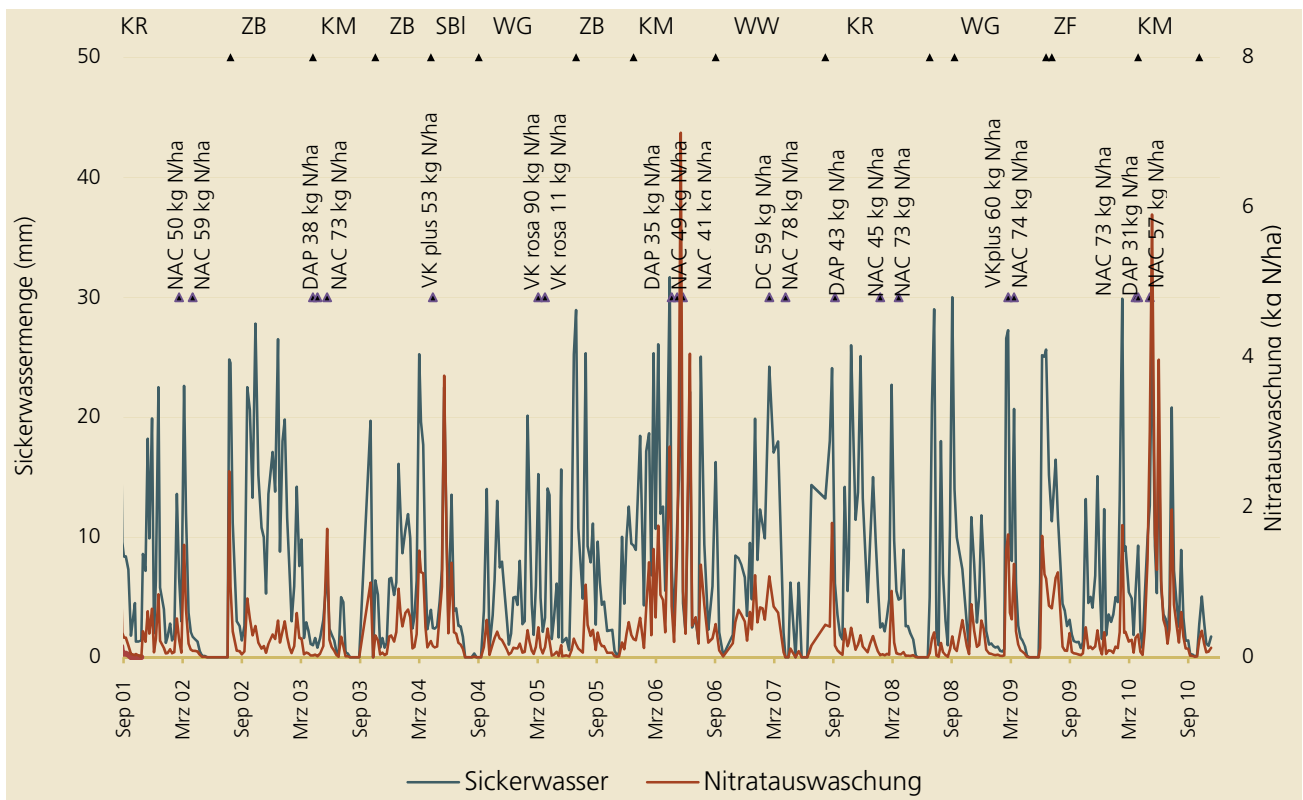


Abb. 5-14: Sickerwassermenge und Nitrat auswaschung (tieflgr. Mineraldünger)

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

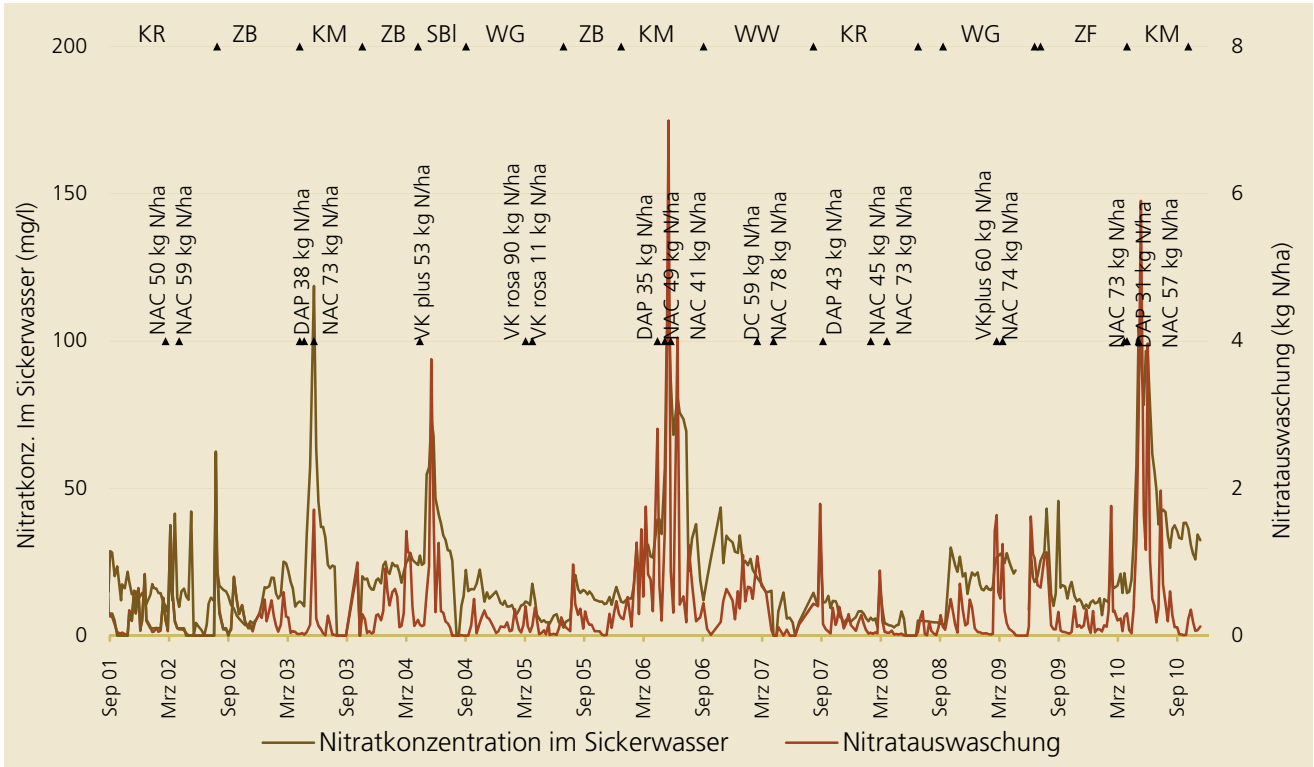


Abb. 5-15: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (tieffgr. Mineraldünger)

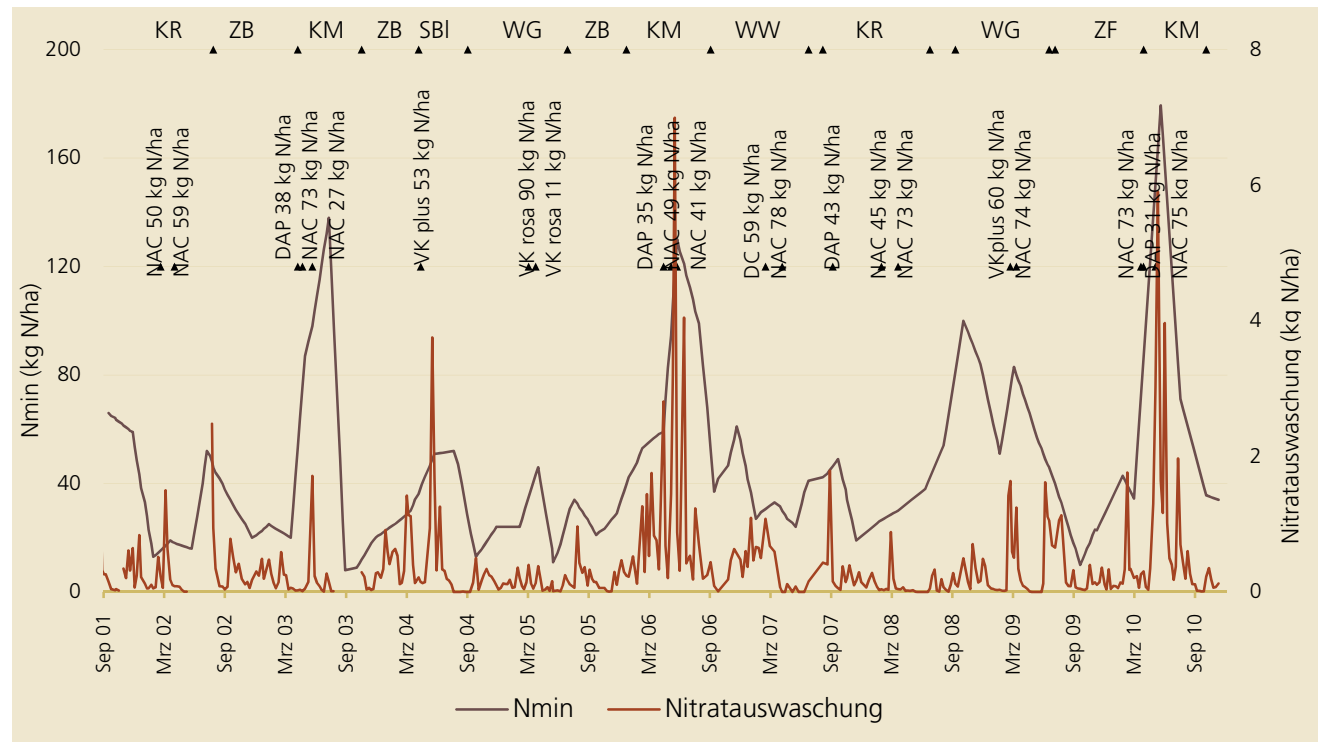


Abb. 5-16: Nitratauswaschung und N<sub>min</sub> – Gehalte des Bodens (tieffgr. Mineraldünger)

## 5.6 Nitratauswaschung am seichtgründigen Standort

### 5.6.1 Niederschlagsmenge und Sickerwasserbildung

Am seichtgründigen Standort trat im Mai eine markante Niederschlagsspitze auf, der zwei weitere im Juni und Juli folgten (vgl. Abb. 5-17 und Abb. 5-18). In Summe fielen im hydrologischen Jahr 2009/10 853 mm. Die Sickerwasserbildung fand einerseits im Winter statt, andererseits in Folge der Starkniederschläge im Mai und im Juni. In Summe betrug sie 287 mm. Das sind 34% der Niederschlagssumme.

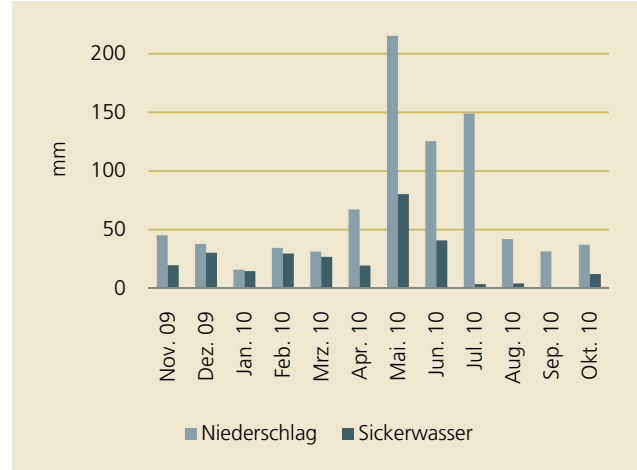


Abb. 5-17: Monatliche Niederschlags- und Sickerwasser-summen (seichtgr.)

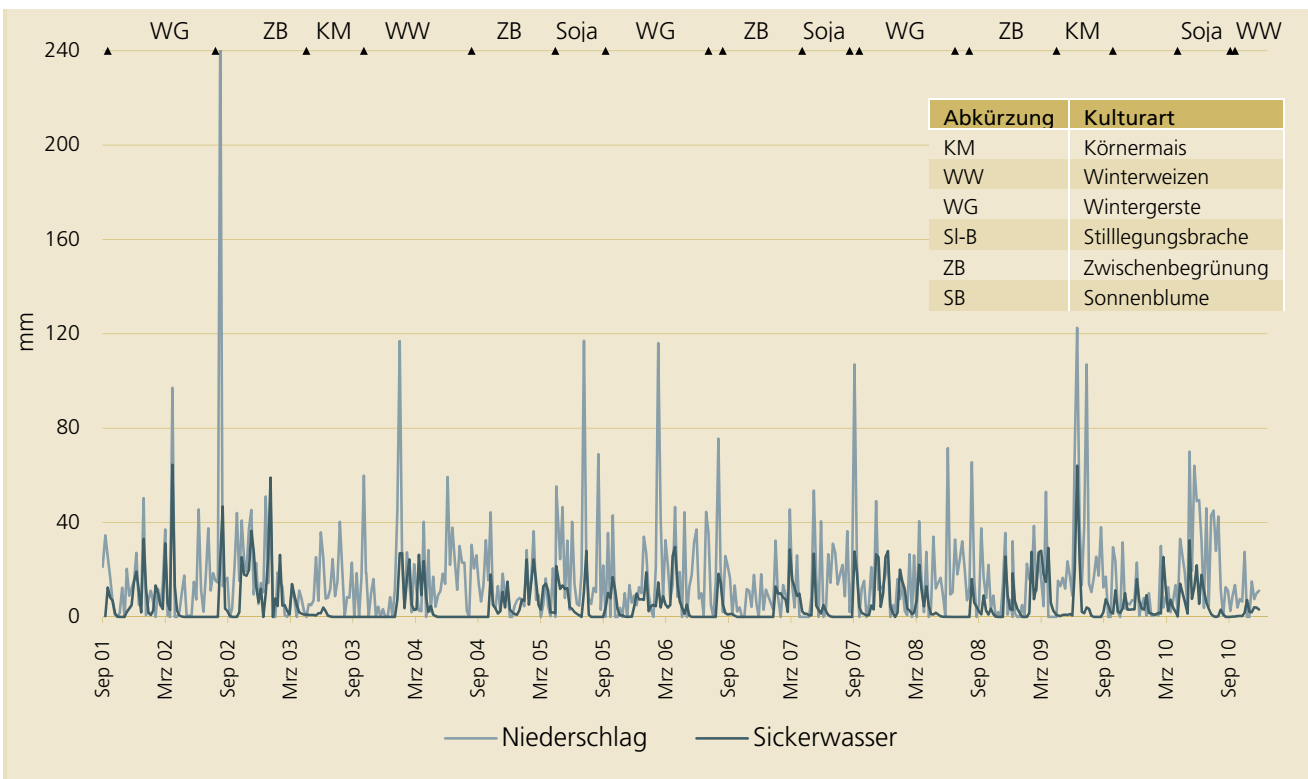


Abb. 5-18: Niederschläge und Sickerwasser, gesamte Messreihe (seichtgründig)

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

Die Nitratauswaschung folgt im hydrologischen Jahr 2009/10 weitgehend der Sickerwassermenge und hatte dementsprechend ein Maximum im Mai in Folge der Auswaschung durch die Starkregenereignisse (Abb. 5-19). Generell lag die Sickerwasserbildung im Durchschnitt der Werte aus der gesamten Messreihe. Ebenso verlief die Nitratauswaschung am Standort auf durchschnittlichem Niveau (vgl. Abb. 5-20) und betrug im gegenständlichen Zeitraum insgesamt 51 kg N/ha. Die beobachteten Nitratkonzentrationen waren über das Jahr nur geringen Schwankungen unterworfen und lagen im Bereich von 50 bis 100 mg/l (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  $N_{\min}$  aufgrund der Tatsache, dass keine

Düngung erfolgte, im unteren Bereich der im Rahmen der gesamten Messserie beobachteten Werte (Abb. 5-22) und variieren im Jahr 2010 vergleichsweise wenig.

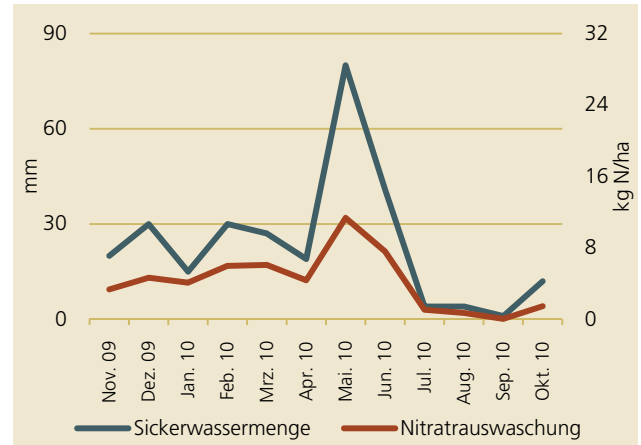


Abb. 5-19: Monatliche Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig)

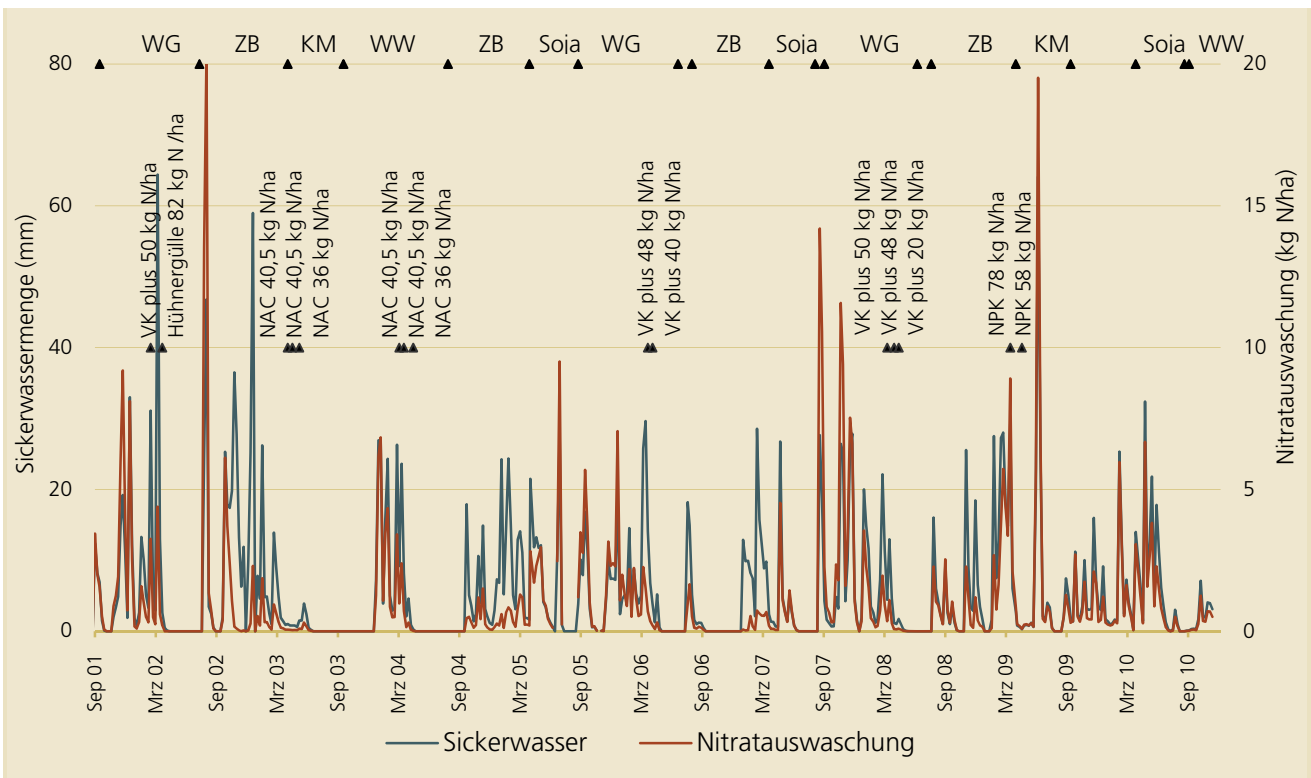


Abb. 5-20: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung (seichtgründig)



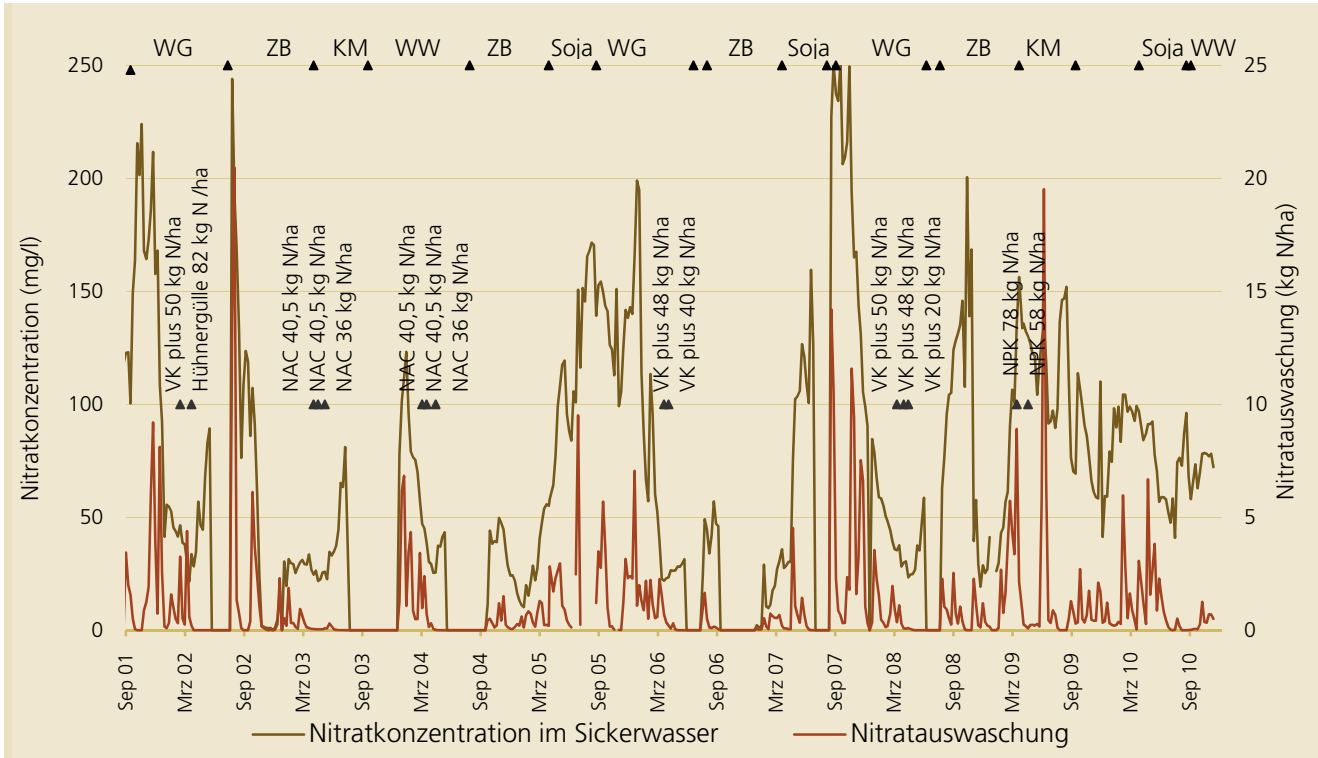


Abb. 5-21: Nitratkonzentration und Nitratauswaschung (seichtgründig)

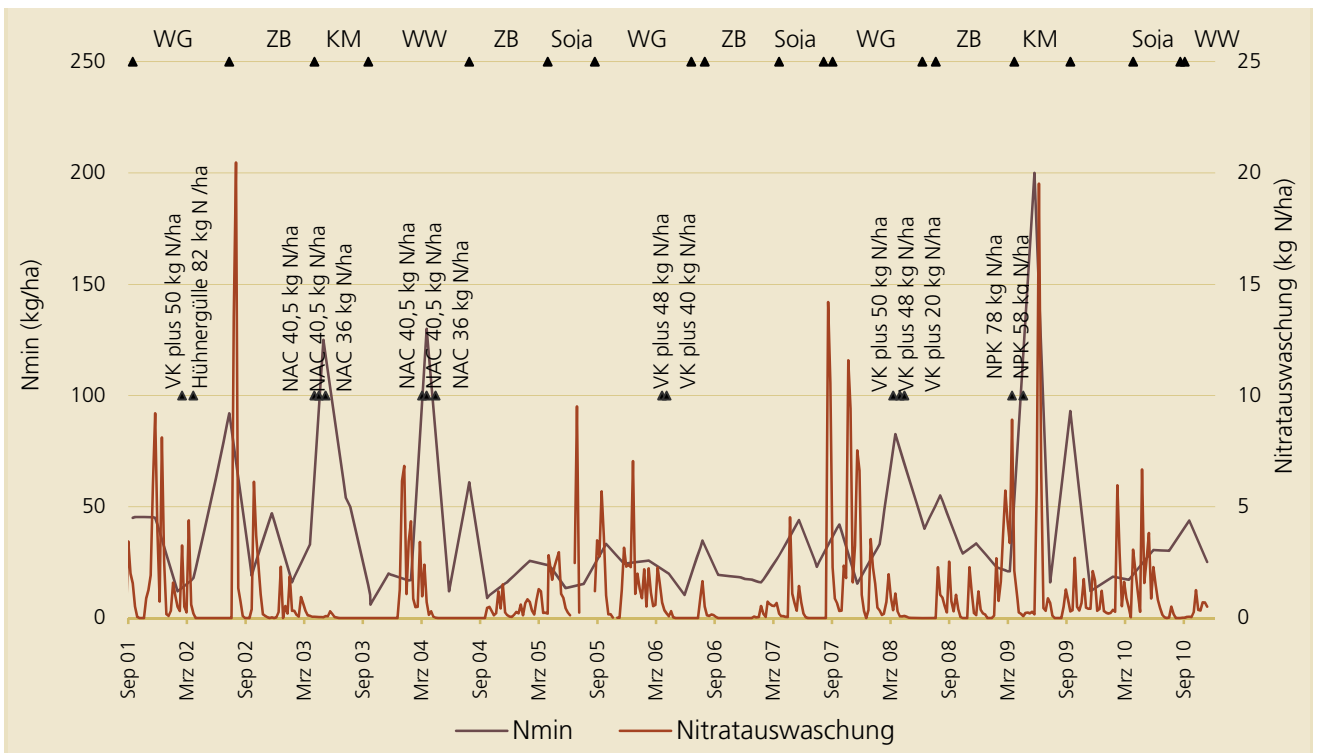


Abb. 5-22: Nitratauswaschung und N<sub>min</sub> – Gehalte des Bodens (seichtgründig)

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

Die größte Stickstoffmenge wurde am seichtgründigen Standort mit 51 kg N/ha ausgewaschen (Tab. 5-3), obwohl an diesem Standort keine Düngung im Jahr 2009/10 durchgeführt wurde. Am tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger wurden etwa 35 kg N/ha ausgewaschen. Dies entspricht rund 24% der durch Düngung zugeführten N-Menge (145 kg N/ha). Am tiefgründigen Standort mit Mineraldünger, an dem ebenfalls Mais angebaut war, wurden etwa 30 kg N/ha ins Grundwasser ausgewaschen. Diese entspricht 19 % der durch Düngung zugeführten N-Menge (158 kg N/ha).

Ein Vergleich der beiden tiefgründigen Standorte zeigt, dass der Anteil der ausgewaschenen N-Menge im Verhältnis zum Düngeraufwand an beiden Standorten beinahe gleich war (24% und 19%). Die ausgewaschene N-Menge folgt somit der Düngung. Auch die N-Bilanzen verhalten sich gleichsinnig (berechnet für Lysimeterfläche, Korn + Stroh, vgl. Tab. 5-2 in Kap. 5.2). Die hohe Auswaschung am seichtgründigen Standort dürfte demgegenüber auf den unterschiedlichen Bodenaufbau zurückzuführen sein.

Tab. 5-3: Stickstoffauswaschung vom 1.11.09 bis 31.10.10 im Vergleich zur Düngung

|            | Düngung<br>[kg N/ha] | Ausw.<br>[kg N/ha] | Anteil<br>[%] | Bilanz<br>[kg N/ha] |
|------------|----------------------|--------------------|---------------|---------------------|
| Tiefgr. WD | 145                  | 35                 | 24            | 37                  |
| Tiefgr. MD | 158                  | 30                 | 19            | -152                |
| Seichtgr.  | -                    | 51                 |               | k.a.                |

Der Verlauf des Niederschlags war an allen drei Standorten ähnlich, wobei am tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger etwas höhere Niederschlagsmengen fielen (Abb. 5-23).

Hinsichtlich des Sickerwasseranfalls zeigen die beiden tiefgründigen Standorte einen ähnlichen Verlauf (mit Maxima im Juni bzw. Juli), wohingegen am seichtgründigen Standort bereits im März und Mai die höchste Sickerwassermenge beobachtet wurde (Abb. 5-24).

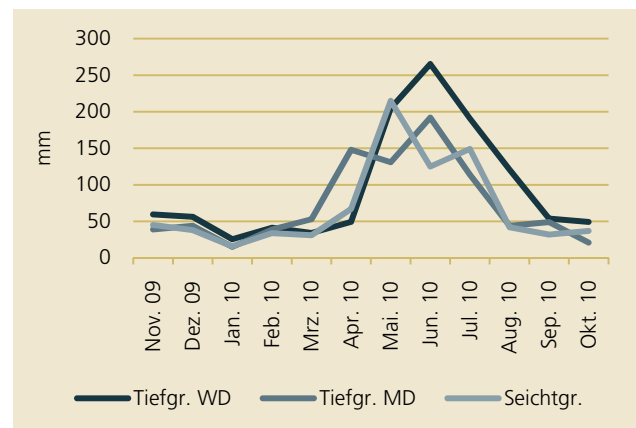


Abb. 5-23: Monatliche Niederschlagssummen an den drei Standorten

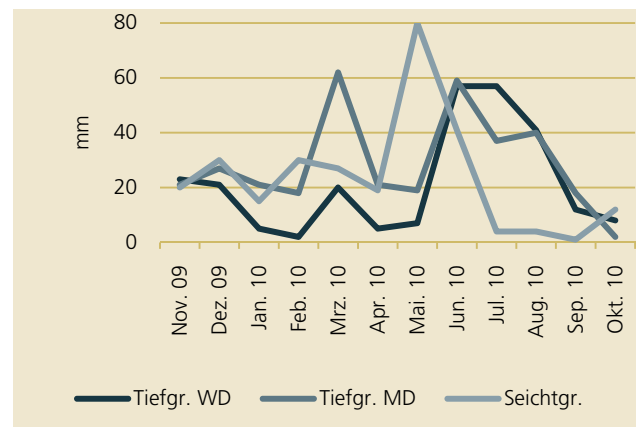


Abb. 5-24: Monatliche Sickerwassermengen an den drei Standorten

In Summe fiel am tiefgründigen Standort mit Mineraldünger das meiste Sickerwasser an. Die höchste durchschnittliche Nitratkonzentration wurde jedoch am seichtgründigen Standort mit 63 mg/l beobachtet (Tab. 5-4), obwohl an diesem Standort im Jahr 2009/10 keine Düngung erfolgte. Die mittleren Nitratkonzentrationen an den tiefgründigen Standorten waren nahezu identisch (37 bzw. 35 mg NO<sub>3</sub>/l).

Tab. 5-4: Sickerwassermengen und durchschnittliche Nitratkonzentration vom 1.11.09 bis 31.10.10

|            | SW [mm] | NO <sub>3</sub> -Kon. [mg/l] |
|------------|---------|------------------------------|
| Tiefgr. WD | 279     | 37                           |
| Tiefgr. MD | 353     | 35                           |
| Seichtgr.  | 287     | 63                           |

Ein monatlicher Vergleich der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser zeigt, dass diese am seichtgründigen Standort meist über 45 mg/l lagen, an den tiefgründigen Standorten lediglich im Zeitraum zwischen Mai und Juli (während der Auswaschung in Folge der Starkregenereignisse bzw. nach der Düngergabe).

Die monatliche N-Auswaschung 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).

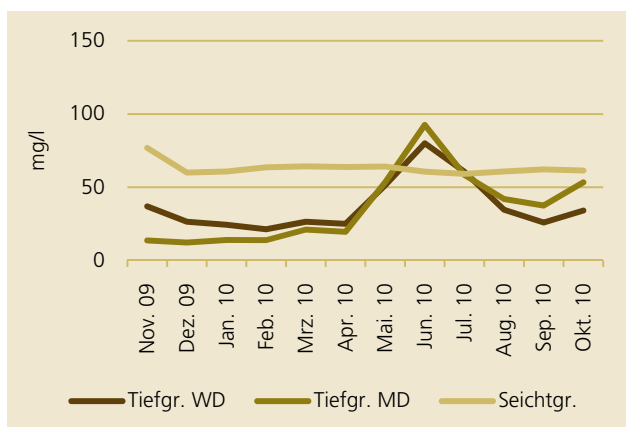


Abb. 5-25: Durchschnittliche monatliche Nitratkonzentrationen an den drei Standorten

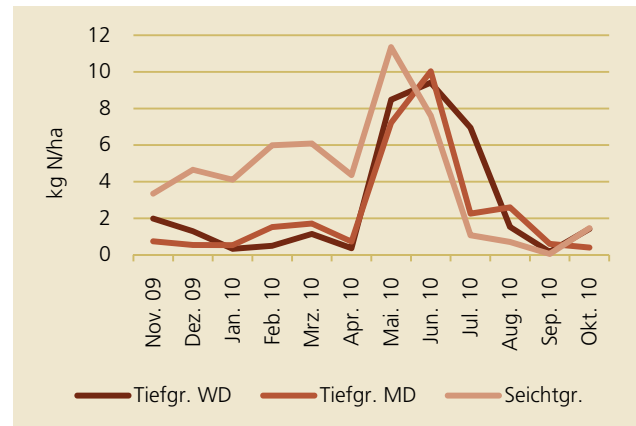


Abb. 5-26: Monatliche Nitratauswaschung an den drei Standorten

In Summe wurde während des Messzeitraums seit September 2001 bis Dezember 2010 am seichtgründigen Standort mit 490 kg N/ha am meisten Stickstoff in Form von Nitrat ausgewaschen (Abb. 5-27). Am tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger waren es mit 235 kg N/ha weniger als halb so viel, am tiefgründigen mit Mineraldünger mit 159 kg N/ha weniger als 1/3. Damit spiegelt das Jahr 2009/10 ungefähr den Gesamtverlauf wider, wenngleich der Unterschied 2009/10 zwischen den Standorten doch deutlich gering war. Neben Unterschieden zwischen den Standorten in der Gesamtmenge des ausgewaschenen Nitrats ist in Abb. 5-26 auch der unterschiedliche Verlauf ersichtlich. Während die Auswaschung an den tiefgründigen Standorten weitgehend kontinuierlich verläuft, sind am seichtgründigen Standort plötzliche Zunahmen der Auswaschung durch Einzelereignisse ablesbar.

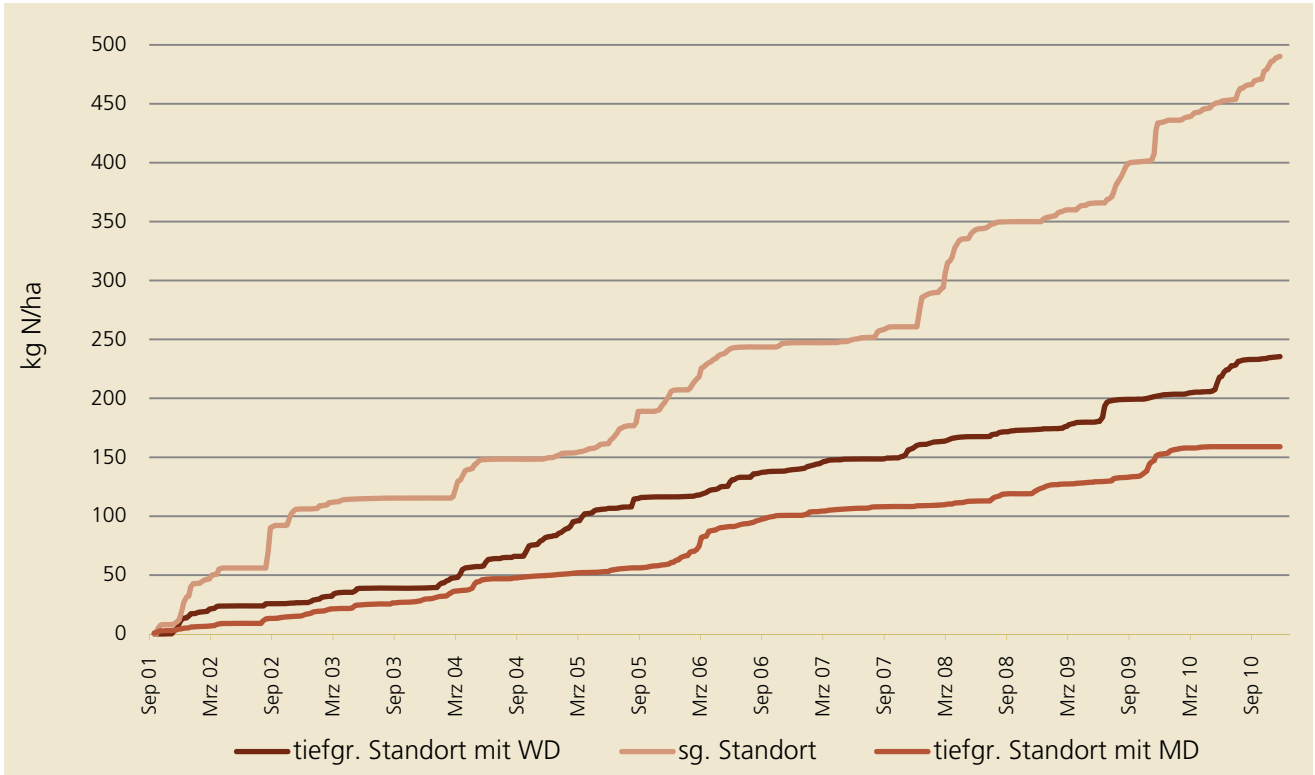


Abb. 5-27: Summe der als Nitrat ausgewaschenen Stickstoffmenge an den drei Standorten

## 5.8 Tracerversuch – Bromid

Mit dem Kaliumbromid waren auf die Lysimeterfläche 67,1 g Br ausgebracht worden. 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 wurden (Fank, 2004), das wären 47 bis 53 mg.

Bis Ende 2010 wurden am tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger 25% des Bromids wiedergefunden. Davon ca. 3x so viel im Sickerwasser wie im Aufwuchs (Tab. 5-5). Im Vergleich zum Austrag 2009 ging die wiedergefundene Bromidmenge im Jahr 2010 deutlich zurück (nahezu um den Faktor 3). Besonders auffällig ist der Rückgang in der Bromidmenge im Aufwuchs. Obwohl in beiden Jahren (2009 und 2010) Mais angebaut war, betrug die im Aufwuchs wiedergefundene Bromidmenge im Jahr 2010 weniger als 5% der im Jahr 2009 aufgenommenen Menge. Am tiefgründigen Standort mit Mineraldünger betrug die Wiederfindungsrate bisher 46%. Davon ca. 2x so viel im Sickerwasser wie im Aufwuchs. Die über das Sickerwasser ausgewaschene Bromidmenge nahm von 2009 auf 2010 um den Faktor 3 ab. Auch an diesem Standort wurde durch die Vegetation (Wintergerste) im Jahr 2009 deutlich mehr Bromid aufgenommen (9 g) als durch den angebauten Mais im Jahr 2010 (0,33 g). Für beide tiefgründigen Standorte gilt, dass mehr als 70% des wiedergefundene Bromids im Sickerwasser im Jahr 2009 detektiert wurde.

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

Mais statt. Es kann daher angenommen werden, dass deshalb auch kein Bromid im Aufwuchs festgestellt wurde.

Tab. 5-5: Wiedergefundenes Bromid bis Dezember 2010

| Standort          | Jahr | Masse (g)<br>im Sicker-<br>wasser | Masse (g)<br>im Auf-<br>wuchs | Wieder-<br>findungs-<br>rate |
|-------------------|------|-----------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| tiefgründig<br>WD | 2009 | 9,40                              | 3,40                          | 25%                          |
|                   | 2010 | 3,80                              | 0,14                          |                              |
| tiefgründig<br>MD | 2009 | 16,10                             | 9,00                          | 46%                          |
|                   | 2010 | 5,20                              | 0,33                          |                              |
| Seichtgr.         | 2009 | 45,40                             | -                             | 68%                          |
|                   | 2010 | 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 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 Bromid-auswaschung 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.

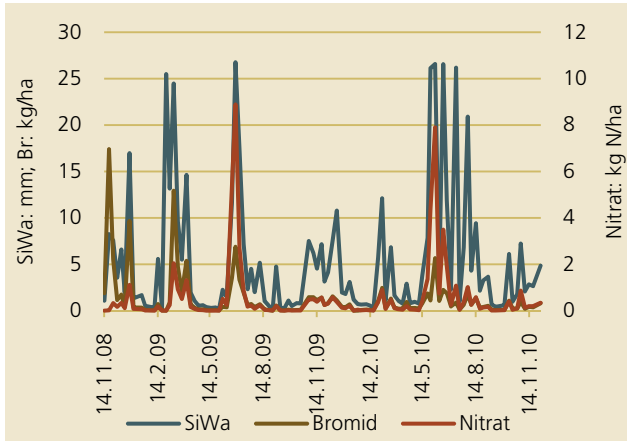


Abb. 5-28: Bromid- und Nitratauswaschung tiefgründiger Standort Wirtschaftsdünger

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.

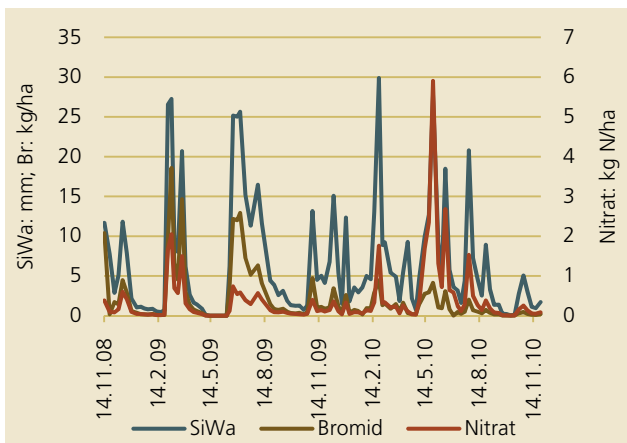


Abb. 5-29: Bromid- und Nitratauswaschung tiefgründiger Standort Mineraldünger

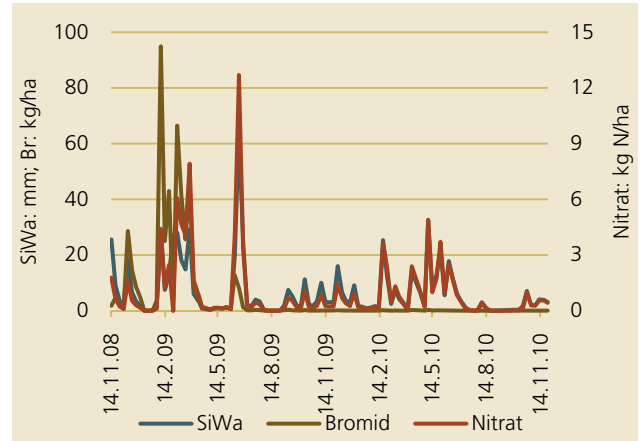


Abb. 5-30: Bromid- und Nitratauswaschung seichtgründiger Standort

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.

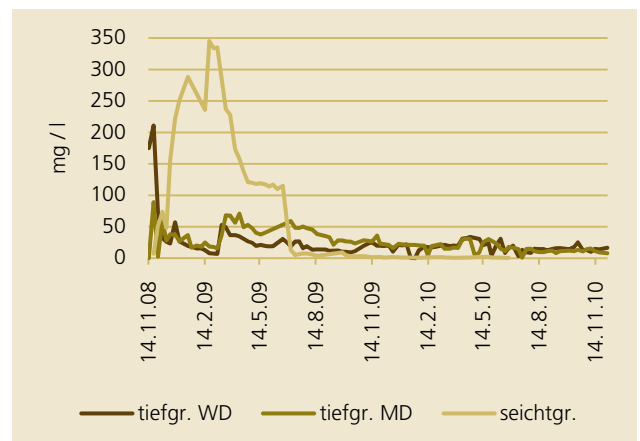


Abb. 5-31: Bromidkonzentrationen an den drei Lysimetern

Abb. 5-32 verdeutlicht den Unterschied zwischen den Standorten anhand der Summenlinien der ausgewaschenen Bromidmengen. Auf den tiefgründigen Stan-

dorten 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 Düngezeitpunktes entscheidend ist, um das Risiko einer Nitratauswaschung zu verringern.

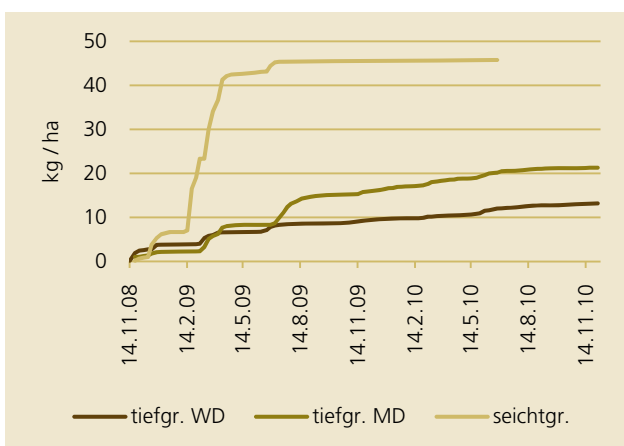


Abb. 5-32: Summenlinien der Bromidauswaschung an den drei Lysimetern

## 5.9 Phosphorbilanzen

Die Phosphorentzüge betragen auf dem tiefgründigen Maisstandort mit Wirtschaftsdünger ca. 25 kg P/ha, berechnet für die Abfuhr durch die Ernte (entspricht ca. 57 kg  $P_2O_5$ /ha). Auf dem tiefgründigen Maisstandort mit Mineraldünger betrug der Phosphorentzug etwa 39 kg P/ha, berechnet für die Abfuhr durch die Ernte (entspricht ca. 90 kg  $P_2O_5$ /ha).

Auf dem seichtgründigen Sojastandort errechnete sich ein Phosphorentzug von rund 24 kg P/ha, berechnet für die Abfuhr durch die Ernte (entspricht ca. 56 kg  $P_2O_5$ /ha).

Unterschiede zwischen den beiden Maisstandorten in der P-Bilanz sind somit sowohl auf die Entzüge als auch auf das verschiedene Düngenniveau zurückzuführen, wobei am Wirtschaftsdüngerstandort P sowohl über Mineraldünger als auch über eine Wirtschaftsdüngergabe zugeführt wurden und die P-Bilanz damit deutlich positiv 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 Wirtschaftsdünger sowie auf dem seichtgründigen Standort nahezu identisch. Auf dem tiefgründigen Standort mit Mineraldünger gibt es geringfügige Abweichungen, die darauf zurückzuführen sind, dass der Ertrag über dem Lysimeter höher war als auf den Vergleichsflächen.

Tab. 5-6: Phosphorbilanzen für das Erntejahr 2010

|                            | Tiefgründiger Standort mit Wirtschaftsdünger |            | Tiefgründiger Standort mit Mineraldünger |            | Seichtgründiger Standort |            |
|----------------------------|--|------------|--|------------|--------------------------|------------|
|                            | ----- kg P/ha -----                          |            |  |            |                          |            |
| Phosphorzufuhr aus Düngung | 42   |            | 34                                       |            | -                        |            |
| Entzug durch die Pflanzen  | Lysimeter                                    | Mittelwert | Lysimeter                                | Mittelwert | Lysimeter                | Mittelwert |
| Entzug durch das Korn      | 18   | 25         | 54                                       | 39         | 21                       | 24         |
| Entzug durch das Stroh     | 8  | 6          | 18                                       | 11         | 2                        | 3          |
| Summe Entzug               | 26   | 31         | 72                                       | 50         | 23                       | 27         |
| Abfuhr durch Ernte         | 18   | 25         | 54                                       | 39         | 21                       | 24         |
| Bilanz Korn                | 24   | 17         | -20                                      | -5         | -21                      | -24        |
| Bilanz Korn + Stroh        | 16   | 11         | -38                                      | -16        | -23                      | -27        |
| Bilanz Ernteabfuhr         | 24   | 17         | -20                                      | -5         | -21                      | -24        |



### 5.10 Phosphatauswaschung

Der jahreszeitliche Verlauf der Phosphatauswaschung im Jahr 2010 unterscheidet sich an den drei Standorten (Abb. 5-33).

Am tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger gab es eine Spitze der Phosphatauswaschung im Rahmen der Versickerung im Juni (Abb. 5-34).

Am tiefgründigen Standort mit Mineraldünger gab es drei kleinere Auswaschungsspitzen im März, Juni und August des Jahres 2010 (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 Dezember 2009) erkennbar (Abb. 5-36).

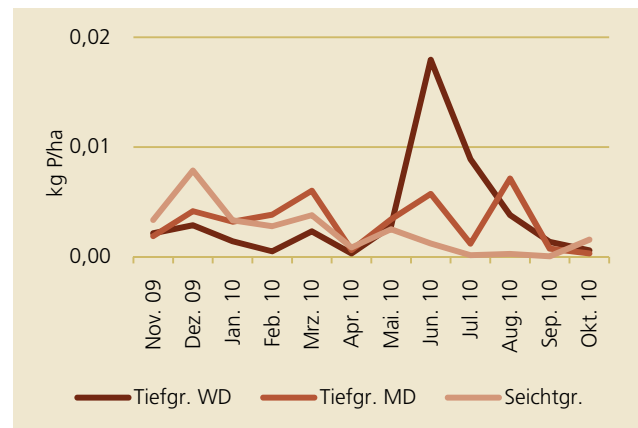


Abb. 5-33: Monatliche Phosphatauswaschung an den drei Standorten

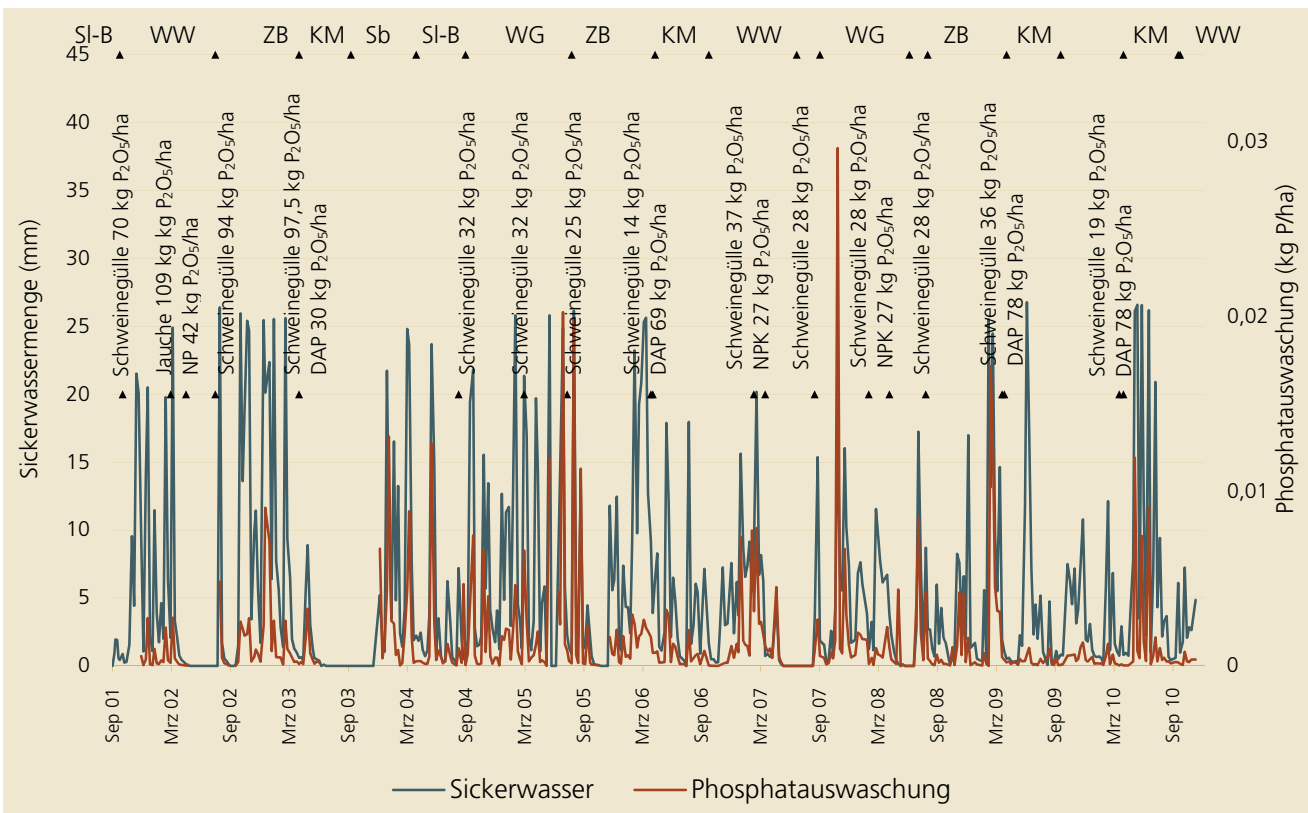


Abb. 5-34: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort mit Wirtschaftsdünger

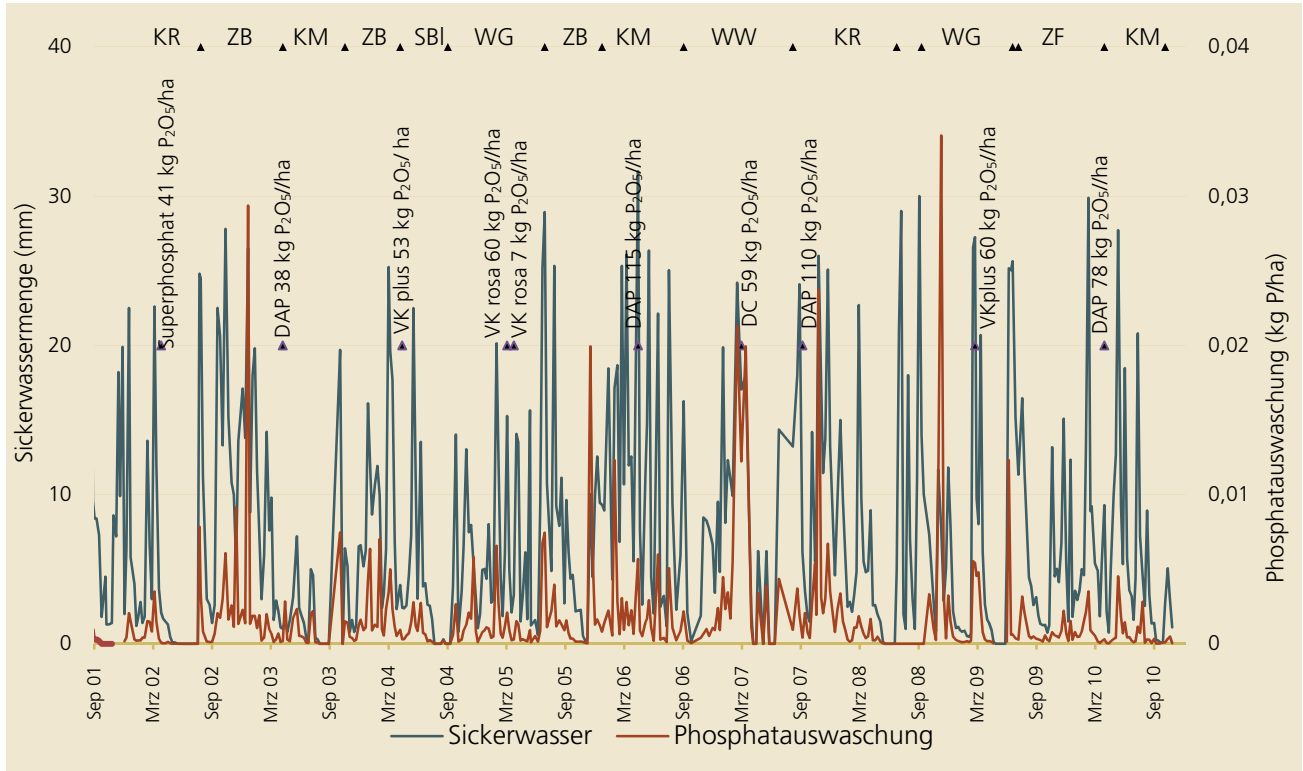


Abb. 5-35: Phosphatauswaschung am tiefgründigen Standort mit Mineraldünger

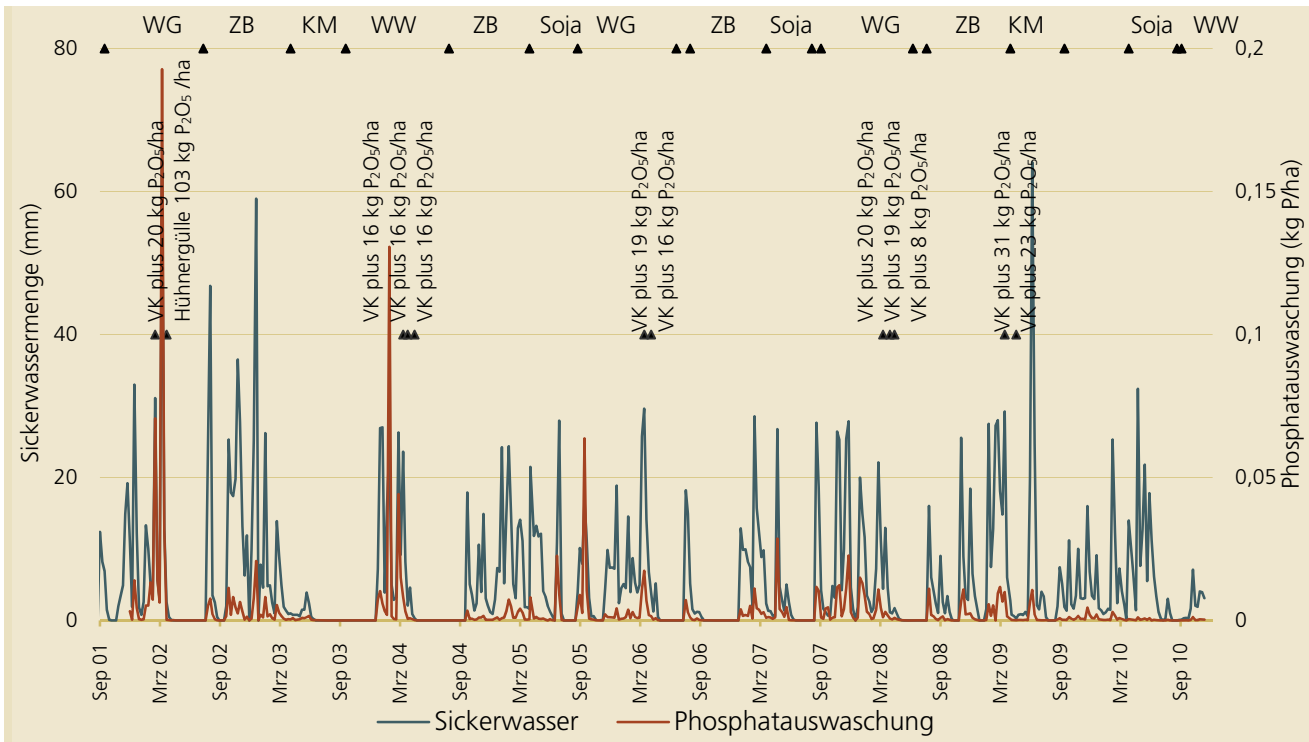


Abb. 5-36: Phosphatauswaschung am seichtgründigen Standort

In Summe waren die P-Verluste mit dem Sickerwasser im hydrologischen Jahr 2009/10 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 2010. Die durchschnittliche Phosphatkonzentration im Sickerwasser lag in diesem Jahr unter dem Grundwasserschwel­lenwert von 0,3 mg PO<sub>4</sub>/l.

In Summe wurden seit Beginn der Messreihe zwischen 0,67 und 1,39 kg P/ha als Phosphat ausgewaschen (Abb. 5-37). Die Auswaschungsspitzen am seichtgründigen Standort im hydrologischen Jahr 2009/10 sind aus den Summenkurven ablesbar, an allen drei Standorten zeigte der P-Verlust in diesem Zeitraum einen, im Vergleich zu den Vorjahren, sehr kontinuierlichen Verlauf.

Tab. 5-7: Sickerwasser, P-Verluste und mittlere PO<sub>4</sub>-Konzentration im Sickerwasser von 1.11.09 bis 31.10.10

|            | SW [mm] | P - Verlust [kg/ha] | PO <sub>4</sub> -Kon. [mg/l] |
|------------|---------|---------------------|------------------------------|
| Tiefgr. WD | 279     | 0,0022              | 0,044                        |
| Tiefgr. MD | 353     | 0,0019              | 0,041                        |
| Seichtgr.  | 287     | 0,0034              | 0,036                        |

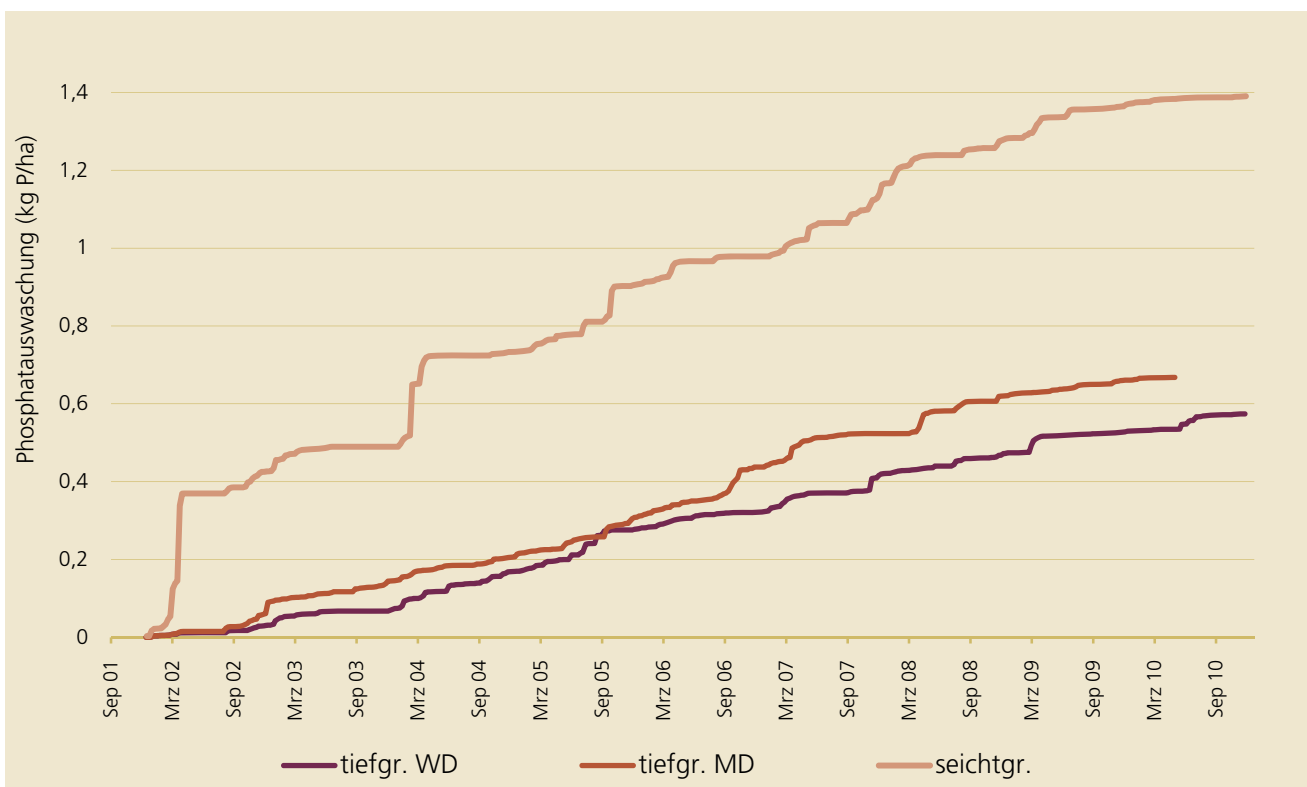


Abb. 5-37: Summe der als Phosphat ausgewaschenen P-Menge an den drei Standorten

## 6 Schlussfolgerungen und Ausblick

Aus den Ergebnissen der im Jahr 2010 durchgeführten Messungen und Untersuchungen lassen sich folgende Schlussfolgerungen hinsichtlich des Nährstoffauswaschungsrisikos ziehen:

**Mais** stellt ein **hohes Auswaschungsrisiko im Frühjahr** dar. Auf beiden tiefgründigen Standorten fand beinahe die gesamte Nitratauswaschung des Jahres 2010 in den Monaten Mai – Juni/Juli statt. Ursachen sind der spät einsetzende Stickstoffzug (ab Anfang Juli) verbunden mit Düngemaßnahmen, die teilweise bereits im April vorgenommen werden sowie das Auftreten von erheblichen Niederschlags- und Sickerwasserbildungsperioden in diesem Zeitraum. Ein Vergleich der Ergebnisse mit jenen der Vorjahre zeigt, dass es sich dabei um kein sporadisch auftretendes Phänomen handelt, sondern auf allen drei Standorten in so gut wie allen Jahren, in denen Mais angebaut wurde, zu beobachten war. Anzumerken ist, dass auf den Lysimeterflächen dabei noch eine relativ günstige Aufteilung der Stickstoffdüngegaben erfolgte und das Düngenniveau als angemessen bezeichnet werden muss. Es ist davon auszugehen, dass in der Praxis diese Belastungen im Frühjahr noch deutlich stärker auftreten, da Düngemaßnahmen zu Mais zum Teil noch zeitiger und auf einem höheren Niveau erfolgen als auf den Lysimeterflächen. Demgegenüber ist die Nitratauswaschung nach dem Mais (bei angemessenem Düngenniveau) niedrig, selbst wenn keine Begrünung angelegt wurde, was auf die starke Stickstoffaufnahme dieser Kultur ab Juli zurückzuführen sein dürfte. Für den Grundwasserschutz wird daher empfohlen, durch geeignete Maßnahmen darauf hinzuwirken, dass die Düngung zu Mais möglichst spät erfolgt und im Bereich viehhaltender Betriebe erforderlichenfalls geeignete Voraussetzungen geschaffen werden (Lagerraum, maschinelle Ausstattung).

Am **seichtgründigen Standort** zeigt sich einmal mehr, dass trotz moderatem Düngeregime und teil-

weise (wie 2010) sogar hohen Erträgen auswaschungsgefährdete Böden ein besonderes Risiko für den Nitrataustrag darstellen. Es wird daher empfohlen, darauf hinzuwirken, dass für solche Standorte attraktive Maßnahmen zur Extensivierung angeboten werden, da davon ein erheblicher Beitrag zum Grundwasserschutz zu erwarten ist. Die Lysimeterfläche zeigt darüber hinaus beispielhaft auf, dass das bodenbedingte Nitratauswaschungsrisiko unabhängig von den Ertragsmöglichkeiten oder der Bodenzahl solcher Standorte bewertet werden sollte, da bei günstiger Kulturlwahl und guter Kulturführung auch auf solchen Böden mittlere bis hohe Erträge möglich sind.

Der Einfluss der bodenphysikalischen Eigenschaften auf die Auswaschung wird auch durch den **Tracerversuch** eindrucksvoll demonstriert. Während am seichtgründigen Standort mehr als 2/3 des Tracers nach einem halben Jahr ausgewaschen war, waren es auf den tiefgründigen Standorten in 2 Jahren ca. 1/4 bis 1/3 der ausgebrachten Tracermenge.

Im Hinblick auf die **Grundwasserqualität** lässt sich ableiten, dass, je nach Bodeneigenschaften, sowohl kürzer als auch länger zurückliegende Ereignisse einen Einfluss haben. Es ist aber auch auf den tiefgründigen Standorten erkennbar, dass die Nachwirkung der Tracerausbringung abklingt. Ein weiterer (vorsichtiger) Rückschluss auf die Grundwasserqualität ist, dass 2009 und 2010 Jahre mit einer vergleichsweise starken Auswaschung waren, vergleichbar mit dem Zeitraum 2005/2006. Möglicherweise ist daher ein Anstieg des Nitratgehalts im Grundwasser zu erwarten.

Auf den tiefgründigen Standorten konnte ein enger Zusammenhang des  $N_{\min}$  Gehalts im Boden mit der Nitratauswaschung beobachtet werden, gleichzeitig spiegelte der  $N_{\min}$  Gehalt auch die Bewirtschaftungsmaßnahmen gut wider. Am seichtgründigen Standort war ein Zusammenhang weniger deutlich, was möglicherweise damit zusammenhängt, dass das 2-

monatige Beprobungsintervall für diesen Boden eine zu geringe zeitliche Auflösung bietet.

Die Phosphatauswaschung bewegte sich auf allen drei Standorten auf niedrigem Niveau – auf den tiefgründigen Standorten trotz eines erheblichen Düngeaufwands. Am seichtgründigen Standort wurde 2010 kein P-Dünger ausgebracht.

## 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](http://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.