

**Berechnung des Wasserhaushaltes, der  
Nitratkonzentration und der Nitratfrachten für den  
Versuchsstandort Thülsfelde  
- Auswaschungsperiode 2009/2010 -**



Henning Wallrabenstein

Dr. Walter Schäfer

LBEG

Stilleweg 2

D-30655 Hannover

Hannover, den 28.01.2011

## INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung .....	1
2	Versuchsbeschreibung .....	2
3	Auswaschungsperiode 2009/2010 .....	4
3.1	Witterungsverlauf .....	4
3.2	Wasserhaushaltsberechnungen .....	5
3.2.1	Wasserhaushaltsberechnungen nach DVWK (1996) .....	5
3.2.2	Abgegebene Wassermengen in den Lysimetern.....	7
3.3	Nitrat-N-Konzentrationen im Bodenwasser .....	9
3.3.1	Zeitlicher Verlauf der Nitrat-N-Konzentrationen in den Saugsonden und in den Lysimetern .....	9
3.3.2	Mittlere Nitrat-N-Konzentrationen im Bodenwasser der Saugsonden.....	11
3.4	N-Frachten .....	12
3.4.1	N-Frachten berechnet mit der Saugsondenmethode.....	12
3.5	Nmin-Werte im Vergleich zu den N-Frachten .....	14
4	Ergebnistransfer.....	16
5	Zusammenfassung .....	16
6	Ausblick.....	17
7	Literatur .....	18

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1:	Lage der Versuchsfläche Thülsfelde .....	2
Abb. 2:	Aufbau der Versuchsanlage Thülsfelde und Lage der Messeinrichtungen (nicht maßstabsgerecht).....	3
Abb. 3:	Kumulative Sickerwasserrate und Wasserhaushalt des Winterhalbjahres 2009/2010 (berechnet nach DVWK 1996).....	7
Abb. 4:	Abgegebene Wassermengen in den Lysimetern und berechnete Sickerwassermenge nach DVWK im Winterhalbjahr 2009/2010 .....	8
Abb. 5:	Verlauf der Nitrat-N-Konzentrationen im Bodenwasser in 6 dm Tiefe im Winterhalbjahr 2009/2010 (Saugsonden).....	9
Abb. 6:	Verlauf der Nitrat-N-Konzentrationen im Bodenwasser in 8 dm Tiefe im Winterhalbjahr 2009/2010 (Saugsonden).....	10

Abb. 7: Verlauf der Nitrat-N-Konzentrationen im Bodenwasser in 6 dm Tiefe der Variante ohne N-Düngung und Sollwert-Düngung vom Winterhalbjahr 95/96 bis 09/10 (Saugsonden) .....	10
Abb. 8: Verlauf der Nitrat-N-Konzentrationen im Bodenwasser in 8 dm Tiefe der Variante ohne N-Düngung und N-Düngung vom Winterhalbjahr 95/96 bis 09/10 (Saugsonden).....	11
Abb. 9: Winterroggenertrag und Nitrat-N-Auswaschung in 8 dm Tiefe im Winterhalbjahr 2009/2010.....	14
Abb. 10: Entwicklung der Nmin-Werte (0-90 cm) auf den 6 Varianten in 2009/2010.....	15
Abb. 11: Vergleich der Herbst-Nmin-Werte (15.10.2009) abzüglich der Frühjahrs-Nmin-Werte (3.03.2010) mit den Nitratfrachten (Saugsondenmethoden) in 6 und 8 dm Tiefe im Winterhalbjahr 2009/2010.....	16

## TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Witterungsdaten der Station Thülsfelde von Juli 2009 bis April 2010.....	5
Tab. 2: Korrigierter monatlicher Niederschlag (Pi), aktuelle Verdunstung (ETa), mittlerer Bodenwasservorrat (W) und Sickerwasserrate (SR) im Winterhalbjahr 2009/2010, berechnet nach DVWK (1996) bzw. WENDLING et al. (1984) .....	6
Tab. 3: Mittlere Nitrat-N-Konzentrationen [mg Nitrat-N/l] im Bodenwasser im Winterhalbjahr 2009/2010.....	11
Tab. 4: N-Frachten [kg N/ha] in 6 dm Bodentiefe (WHJ 2009/2010, Vorfrucht Winterroggen, Zwischenfrucht Winterrübsen) .....	13
Tab. 5: N-Frachten [kg N/ha] in 8 dm Bodentiefe (WHJ 2009/2010, Vorfrucht Winterroggen, Zwischenfrucht Winterrübsen).....	13
Tab. 6: Ernte- und Herbst-Nmin-Werte (0-90 cm) der Varianten im Jahr 2009.....	14

## 1 Einleitung

Im Rahmen des Projektes „Landwirtschaftliche Bodennutzung und Gewässerschutz in Wasserschutzgebieten“ führt die Landwirtschaftskammer Niedersachsen im Rahmen der landesweiten Tätigkeiten im kooperativen Trinkwasserschutz nach § 28 des Niedersächsischen Wassergesetzes Versuche zur grundwasserschutzorientierten Landwirtschaft durch. Dieses wird durch Mittel aus der Wasserentnahmegebühr finanziert.

Das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) untersucht dabei den Einfluss unterschiedlicher N-Düngungsintensitäten und Kulturarten auf die Sickerwasserqualität. Dazu wurden im Herbst 1995 eine Saugsondenanlage und eine Wetterstation installiert. Im Herbst 2000 ist eine Zweifach-Lysimeterstation, die die Qualität der Berechnungsergebnisse verbessern soll, hinzugekommen. In diesem Zwischenbericht sollen die am Standort Thülsfelde eingebauten Messeinrichtungen und die Ergebnisse der Auswaschungsperiode 2009/2010 vorgestellt werden.

Der vorliegende Bericht schließt dabei an folgende ältere Darstellungen an:

- 1. Bericht vom 18.01.1996 mit einer Standort- und Versuchsbeschreibung
- 2. Bericht vom 11.06.1997 mit den Ergebnissen der Jahre 1995 und 1996
- 3. Bericht vom August 1998 mit Ergebnissen vom Herbst 1995 bis Frühjahr 1998
- 4. Bericht vom 07.11.2000 mit Ergebnissen der Winterhalbjahre 1995/1996 bis 1999/2000
- 5. Bericht vom November 2001 mit Ergebnissen des Winterhalbjahres 2000/2001
- 6. Bericht vom Dezember 2002 mit Ergebnissen des Winterhalbjahres 2001/2002
- 7. Bericht vom April 2004 mit Ergebnissen des Winterhalbjahres 2002/2003
- 8. Bericht vom November 2004 mit Ergebnissen des Winterhalbjahres 2003/2004
- 9. Bericht vom Dezember 2005 mit Ergebnissen des Winterhalbjahres 2004/2005
- 10. Bericht vom November 2006 mit Ergebnissen des Winterhalbjahres 2005/2006
- 11. Bericht aus dem Dezember 2008 mit Ergebnissen des Winterhalbjahres 2006/2007
- 12. Bericht aus dem Dezember 2008 mit Ergebnissen des Winterhalbjahres 2007/2008
- Zusammenfassender Bericht der Versuchsergebnisse von 1998-2008  
„Stickstoffdüngung und Grundwasserschutz-Ergebnisse aus dem Feldversuch Thülsfelde“
- 13. Bericht aus dem Dezember 2009 mit Ergebnissen des Winterhalbjahres 2008/2009

## 2 Versuchsbeschreibung

Eine genaue Versuchsbeschreibung ist in den in der Einleitung genannten Zwischenberichten 1 und 2 zu finden. Daher soll der Versuch hier nur kurz umrissen werden. Die Versuchsfläche Thülsfelde befindet sich im westlichen Teil Niedersachsens im Landkreis Cloppenburg (siehe Abb.1). Die Jahresmitteltemperatur beträgt 8,7 °C (DWD 2008). Im Mittel fallen 756 mm Niederschlag jährlich, davon 482 mm von September bis April (langj. Mittel der DWD-Station Friesoythe-Edewechterdamm 1961-1990, DWD 2008). Der Bodentyp auf der Versuchsfläche ist ein Podsol mit Stauwassereinfluss aus schwach schluffigem bis schwach tonigem Sand. Die Feldkapazität im effektiven Durchwurzelungsraum ( $W_e = 5 \text{ dm}$ ) liegt lediglich bei 124 mm, der Permanente Welkepunkt bei 34 mm. Die mittlere Sickerwasserrate liegt nach RENGER und WESSOLEK (1990) bei 360 mm. Die mittlere Austauschhäufigkeit (Sickerwasserrate geteilt durch die Feldkapazität im effektiven Wurzelraum) gibt an, wie oft das Wasser im effektiven Durchwurzelungsraum im Jahr durch das zugeführte Niederschlagswasser ausgetauscht wird. Sie liegt bei 2,9; damit ist die Nitrat- auswaschungsgefährdung am Standort als extrem hoch einzustufen (MÜLLER 2004).

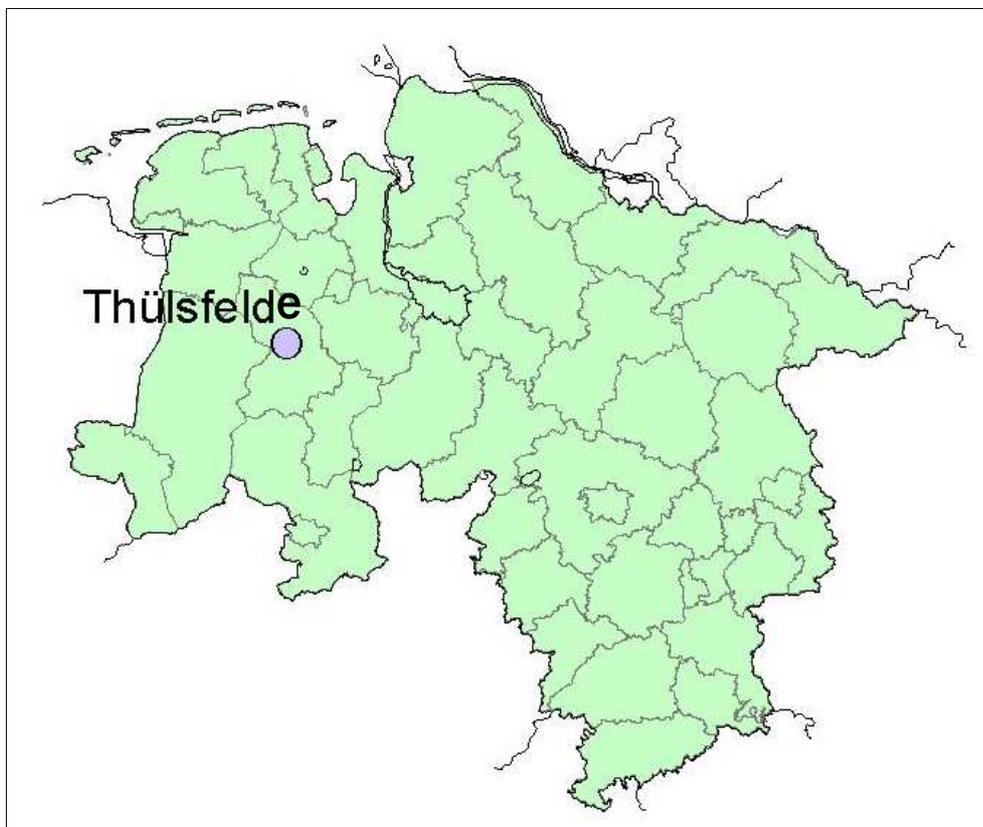


Abb. 1: Lage des Wasserschutzversuchs Thülsfelde

Die Gesamtversuchsanlage umfasst 3 Versuchsfelder mit jeweils 6 Düngungsvarianten in 4 Wiederholungen. Die Errichtung der Saugsondenanlage erfolgte auf der Versuchsfeld 1, die Lysimeterstation und die Wetterstation befinden sich zwischen den Versuchsfeldern 1 und 2 (Abb. 2).

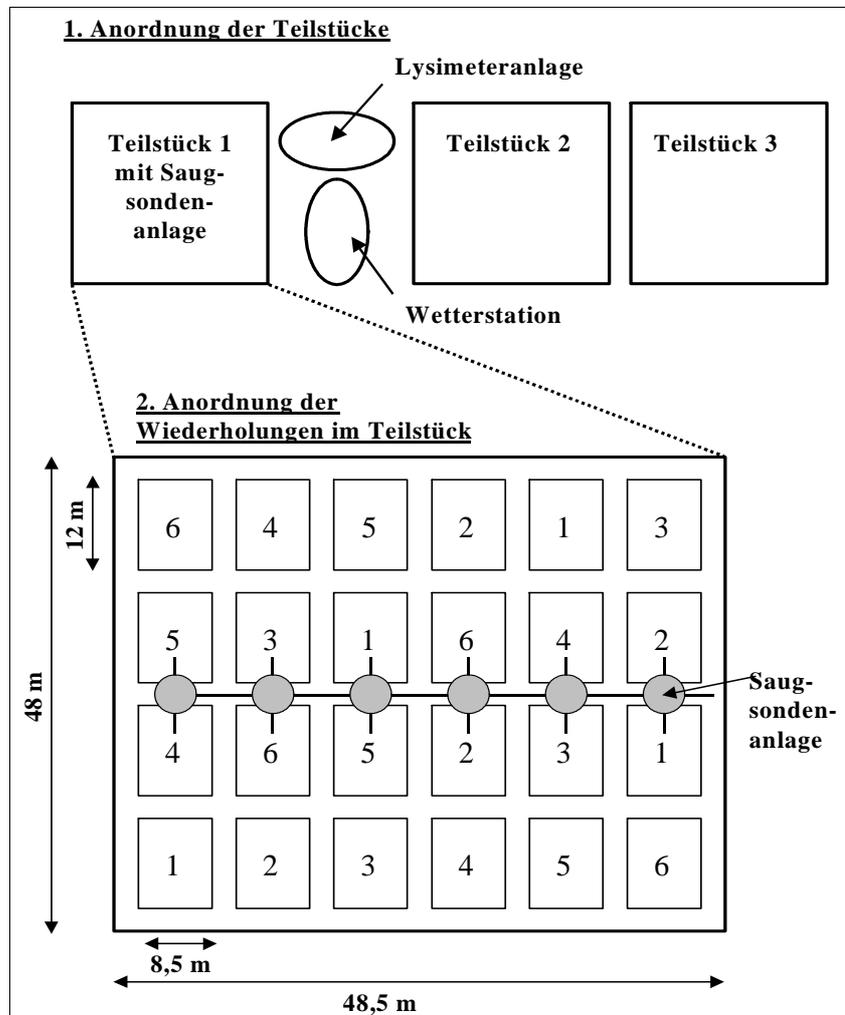


Abb.: 2: Aufbau der Versuchsanlage Thülsfelde und Lage der Messeinrichtungen (nicht maßstabsgerecht)

Die Saugsondenanlage umfasst insgesamt 48 Saugkerzen, 24 in 6 dm Tiefe und 24 in 8 dm Tiefe (jeweils 2 Kerzen in einer Wiederholung und Tiefe). Durch den Anschluss an eine Unterdruckanlage wird dem Boden Sickerwasser entzogen und in Auffanggefäßen gesammelt. Die Sickerwassermenge wird aus den Aufzeichnungen der Wetterstation errechnet. Die Lysimeterstation besteht aus zwei wägbaren Einzellysimetern, die jeweils einen ungestört entnommenen Bodenmonolithen von 2 m Höhe und 1 m<sup>2</sup> Fläche enthalten. Die Lysimeterstation misst und sammelt das im Boden gebildete Sickerwasser. Im Gegensatz zu den Versuchspartikeln können die Lysimeter nicht befahren werden und werden von Hand

bepflanzt und gedüngt. Das Bodenwasser der Lysimeter- und der Saugsondenanlage wird im Winterhalbjahr ca. 14-tägig diskontinuierlich gewonnen.

Im Herbst 2008 wurde auf der Versuchfläche 1 Winterroggen angebaut und am 06.08.2009 geerntet. Vom 15.10. bis zum 01.12.2009 erfolgte das erste Mal der Anbau einer Zwischenfrucht (Winterrüben). Danach wurde am 03.12.2009 Winterroggen ausgesät.

Der Winterroggen wurde nach folgendem Schema gedüngt:

- Variante 1: ohne N-Düngung
- Variante 2: 40 kg N/ha (mineralisch)
- Variante 3: 80 kg N/ha (mineralisch)
- Variante 4: 120 kg N/ha (mineralisch)
- Variante 5: 160 kg N/ha (mineralisch)
- Variante 6: Sollwert (75 kg Mineral-N + 93 kg org-N (gesamt))

Auf der Sollwert-Variante wurden im Jahr 2009 140 kg/ha anrechenbarer Stickstoff gegeben.

Die Landwirtschaftskammer Niedersachsen nimmt auf jeder Variante Frühjahrs-, Ernte- und Herbst-Nmin-Proben. Auf der Variante 6 werden in monatlichen Abständen Nmin-Proben gezogen.

### **3 Auswaschungsperiode 2009/2010**

#### **3.1 Witterungsverlauf**

Im Winterhalbjahr 2009/2010 (Juli 09 bis April 10) fielen insgesamt 545 mm Niederschlag (Tab. 1). Diese Menge liegt unterhalb des gemessenen langjährigen Mittels von 621 mm (DWD-Station Friesoythe-Edewechterdamm, DWD 2008).

Tab. 1: Witterungsdaten der Station Thülsfelde von Juli 2009 bis April 2010

Monat	Temperatur		Niederschlag			ET <sub>p</sub> <sup>Wendling</sup>	KWB
	Luft (2 m)	Boden (10 cm)	Sum- me	langj. Mittel	% d. langj. Mittels	(potentielle Verdunstung)	(Klimatische Wasserbilanz)
	°C	°C	mm	mm	%	mm	mm
Juli	17,3	19,1	97,0	69,9	139	66,3	30,6
August	18,2	18,6	14,5	68,8	21	63,8	-49,4
September	13,9	15,0	38,8	62,5	62	33,5	5,2
Oktober	8,2	10,0	77,2	60,8	127	19,9	57,2
November	8,4	8,6	90,5	68,7	132	9,8	80,7
Dezember	0,9	3,7	46,8	70,9	66	7,0	39,8
Januar	-2,8	1,0	21,2	66,9	32	6,2	15,0
Februar	-0,5	0,1	42,7	43,6	98	9,7	33,0
März	4,8	4,3	91,3	58,7	156	25,8	65,6
April	8,5	7,5	24,8	50,1	50	46,5	-21,7
<b>Juli-Apr.</b>	<b>Ø 7,7</b>	<b>Ø 8,8</b>	<b>544,8</b>	<b>620,9</b>	88	288,6	256,2

Die monatlichen Niederschlagsmengen weichen stark vom langjährigen Mittel ab. Die Monate Juli, November und März waren besonders niederschlagsreich, die Monate August und Januar hingegen lagen weit unter dem Durchschnitt. Die maximal mögliche Verdunstung (ET<sub>p</sub>) ist ebenfalls in Tabelle 1 aufgeführt und gibt die Verdunstung bei gegebenen meteorologischen Bedingungen und unbegrenzt verfügbarem Bodenwasser an. Sie wird nach WENDLING et al. (1991) berechnet und ist eine wichtige Eingangsgröße für die Wasserhaushaltsberechnung. Die klimatische Wasserbilanz (KWB) wird aus dem Niederschlag abzüglich der potentiellen Verdunstung ermittelt. Sie fällt für den August und den April negativ aus. In diesen Monaten ist voraussichtlich kein oder nur sehr wenig Sickerwasser gebildet worden.

## 3.2 Wasserhaushaltsberechnungen

### 3.2.1 Wasserhaushaltsberechnungen nach DVWK (1996)

Die Wasserhaushaltsberechnungen für das Winterhalbjahr 2009/2010 wurden – wie schon in den Jahren zuvor – mit einem DVWK-Modell (1996) nach WENDLING et al. (1984) durchgeführt. Als Startwert wird der Bodenwasservorrat der Wurzelzone (in Thülsfelde 5 dm) benötigt. Er wird aus den Trockenmassegehalten errechnet, die im Rahmen einer Nmin-Beprobung am 10.07.2009, ca. einen Monat vor Ernte des Winterroggens, ermittelt wurden. Zu diesem Anfangswassergehalt (W<sub>i</sub>) werden auf der Grundlage der täglichen Wetterdaten solange die Niederschläge addiert und die aktuellen/tatsächlichen Verdunstungen (ET<sub>a</sub>) abgezogen, bis der Wassergehalt des Bodens die Feldkapazität im effektiven Wurzelraum

erreicht hat. Zu diesem Zeitpunkt beginnt definitionsgemäß die Sickerwasserbildung in der entsprechenden Tiefe. Die täglichen Sickerwasserraten werden für das gesamte Winterhalbjahr aufsummiert und bilden die jährliche Sickerwasserrate des Standortes (Tab. 2, Abb. 3).

Tab. 2: Korrigierter monatlicher Niederschlag (Pi), aktuelle Verdunstung (ETa), mittlerer Bodenwasservorrat (W) und Sickerwasserrate (SR) im Winterhalbjahr 2009/2010, berechnet nach DVWK (1996) bzw. WENDLING et al. (1984)

Monat	Pi	ETa	W (Mittelw.)	SR
	mm	mm	mm	mm
Juli	107	/	/	/
August	16	34	69	0
Sept.	43	19	76	0
Okt.	88	16	117	35
Nov.	105	6	127	97
Dez.	56	5	125	51
Jan.	26	4	124	22
Febr.	53	6	125	46
März	110	22	126	86
Apr.	29	42	112	15
<b>Summe</b>	<b>632</b>	<b>154</b>		<b>353</b>

Bei den in Tabelle 2 aufgeführten und für die Berechnungen verwendeten Niederschlagsdaten (Pi) handelt es sich um korrigierte Werte. Die in Tabelle 1 aufgeführten gemessenen Niederschläge (N) wurden zum Ausgleich systematischer Messfehler mit Korrekturfaktoren nach RICHTER (1995) verrechnet. Die korrigierten Niederschläge sind daher höher als die gemessenen Niederschläge. Die tatsächliche Verdunstung (ETa) berücksichtigt den realen Wasservorrat im Boden und ist daher in der Regel niedriger als die potentielle Verdunstung (ETp).

In Abbildung 3 sind die Werte aus Tabelle 2 graphisch dargestellt. Zusätzlich sind die Feldkapazität im effektiven Durchwurzelungsraum (FK<sub>We</sub>) und der Wassergehalt des Bodens abgebildet. Übersteigt der Bodenwassergehalt die Feldkapazität, tritt Sickerwasser auf.

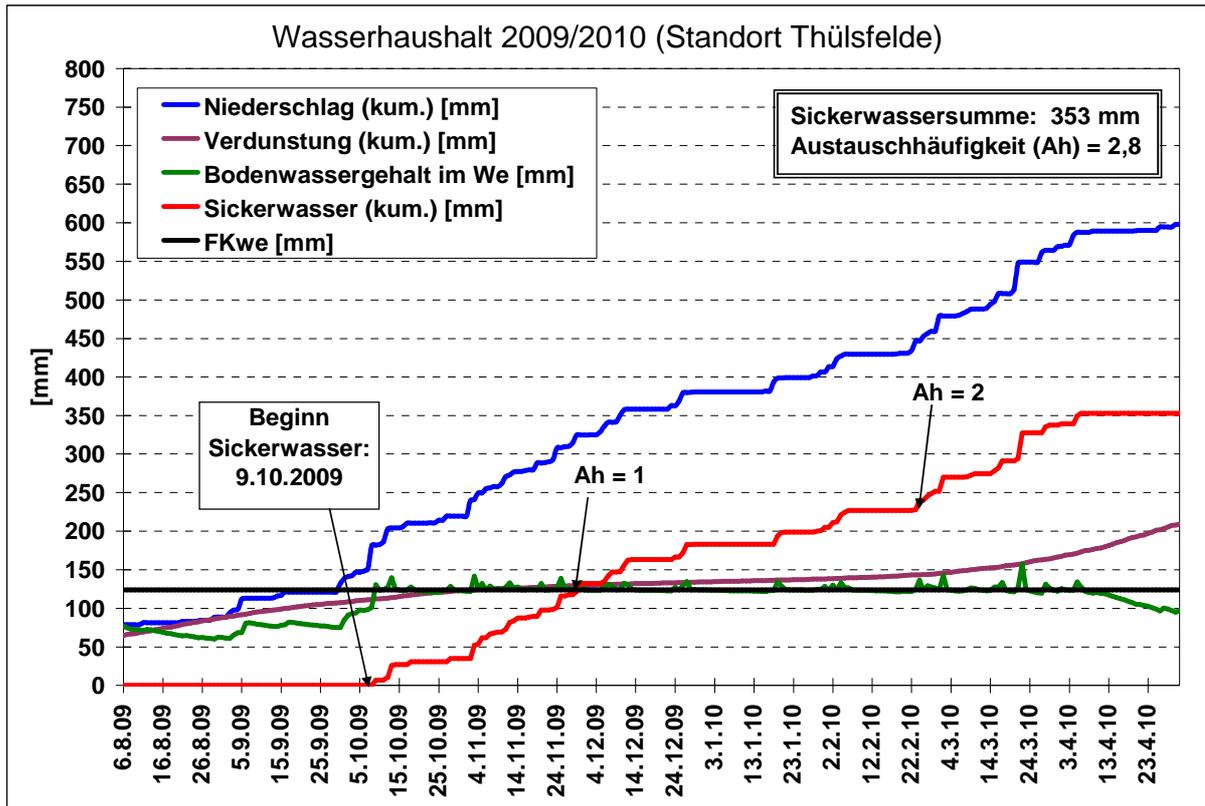


Abb. 3: Kumulative Sickerwasserrate und Wasserhaushalt des Winterhalbjahres 2009/2010 (berechnet nach DVWK 1996)

Die Sickerwasserrate liegt bei 353 mm und entspricht der mittleren Sickerwasserrate (= 354 mm) der letzten 10 beobachteten Winterhalbjahre. Die Austauschhäufigkeit liegt mit 2,8 leicht unterhalb des Mittelwertes der letzten 10 Jahre (= 2,9). Die Sickerwasserbildung setzte am 09. Oktober 2009 ein und war Anfang April 2010 weitestgehend beendet. Am 30.11.2009 wurde das Wasser im effektiven Durchwurzelungsraum das erste Mal und am 27.02.2010 zum zweiten Mal durch das zugeführte Niederschlagswasser ausgetauscht.

### 3.2.2 Abgegebene Wassermengen in den Lysimetern

Durch die beiden Lysimeter besteht die Möglichkeit, den Verlauf der berechneten Sickerwasserperiode und die Sickerwassermengen mit den gemessenen Lysimeterwerten zu vergleichen (Abb. 4).

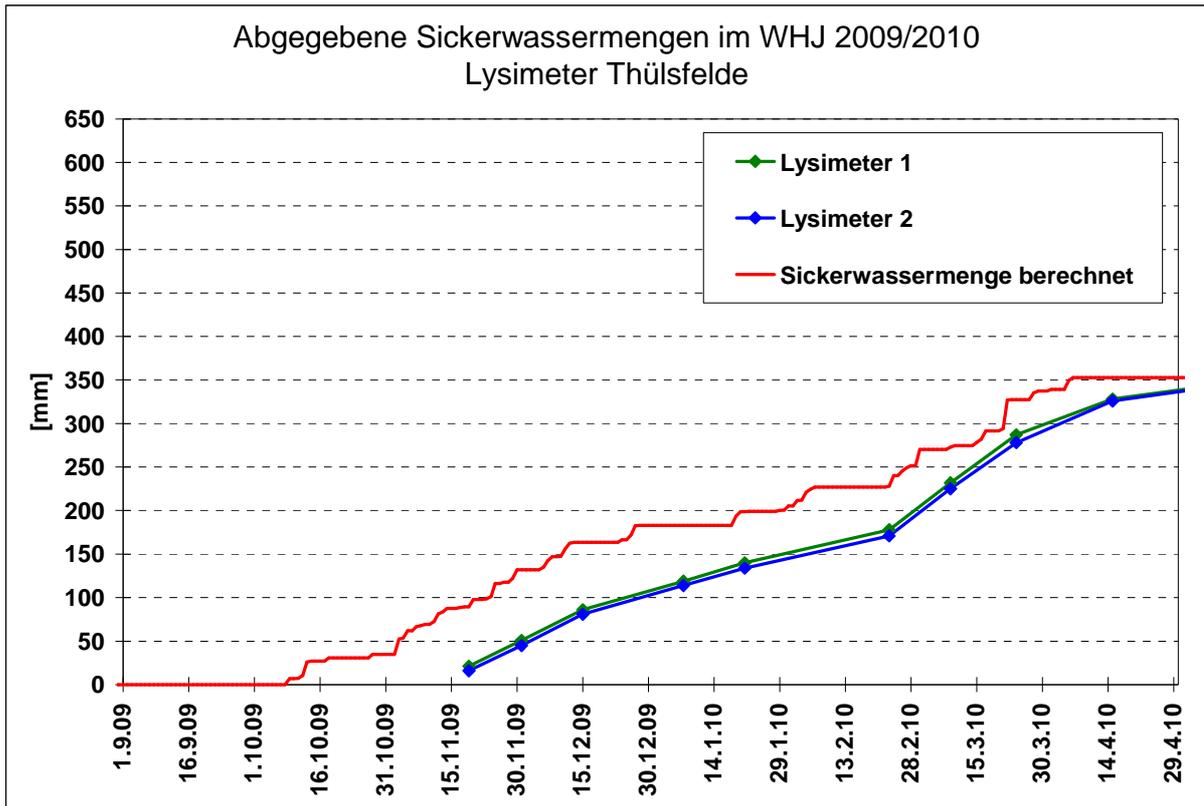


Abb. 4: Abgegebene Wassermengen in den Lysimetern und berechnete Sickerwassermenge nach DVWK im Winterhalbjahr 2009/2010

In den Lysimetern wurde das erste Sickerwasser am 19.11.2009 gemessen. Im Lysimeter I wurden bis zum 15.04.2010 328 mm Sickerwasser gebildet, im Lysimeter II 326 mm. Die berechnete Sickerwassermenge für eine Durchwurzelungstiefe von 5 dm und 124 mm Feldkapazität beträgt 353 mm vom 01.09.2009 bis zum 30.04.2009. Diese Abweichung kann auf die unterschiedlichen Betrachtungstiefen zurückgeführt werden. In den Lysimetern wird die Sickerwassermenge in 2 m Tiefe erfasst, wodurch sich ein zeitlicher Versatz ergibt. Die berechneten Mengen liegen etwas höher als die gemessenen Sickerwassermengen.

### 3.3 Nitrat-N-Konzentrationen im Bodenwasser

#### 3.3.1 Zeitlicher Verlauf der Nitrat-N-Konzentrationen in den Saugsonden und in den Lysimetern

Die Nitrat-N-Konzentrationen in den Saugsonden in 6 und 8 dm Tiefe sind in Abbildung 5 und 6 dargestellt. Sowohl in 6 dm als auch in 8 dm Tiefe bewegt sich die Nitratkonzentration auf einem relativ niedrigen Niveau. Die Nitrat-N-Konzentration liegt meist unterhalb des vorgeschriebenen Grenzwertes der Trinkwasserverordnung – TVO von 11,3 mg Nitrat-N/l (TRINKWV 2001). Der Zeitraum Mitte Dezember 2009 bis Februar 2010 war durch Frost geprägt. In dieser Zeit war keine Sickerwasserbeprobung möglich, was zu einer Unterschätzung der Konzentrationen führen kann. Ein Zusammenhang zwischen den verschiedenen Düngermengen und Nitratkonzentrationen im Bodenwasser wird im Winterhalbjahr 09/10 nicht deutlich. Bereits in den Vorjahren wurden nach Winterroggen vergleichsweise niedrige Nitrat-N-Konzentrationen gemessen (vgl. Abb.7 und 8). Auch wird die Zwischenfrucht und der nachfolgende Winterroggen zu einer Verminderung der Nitrat-N-Konzentration geführt haben.

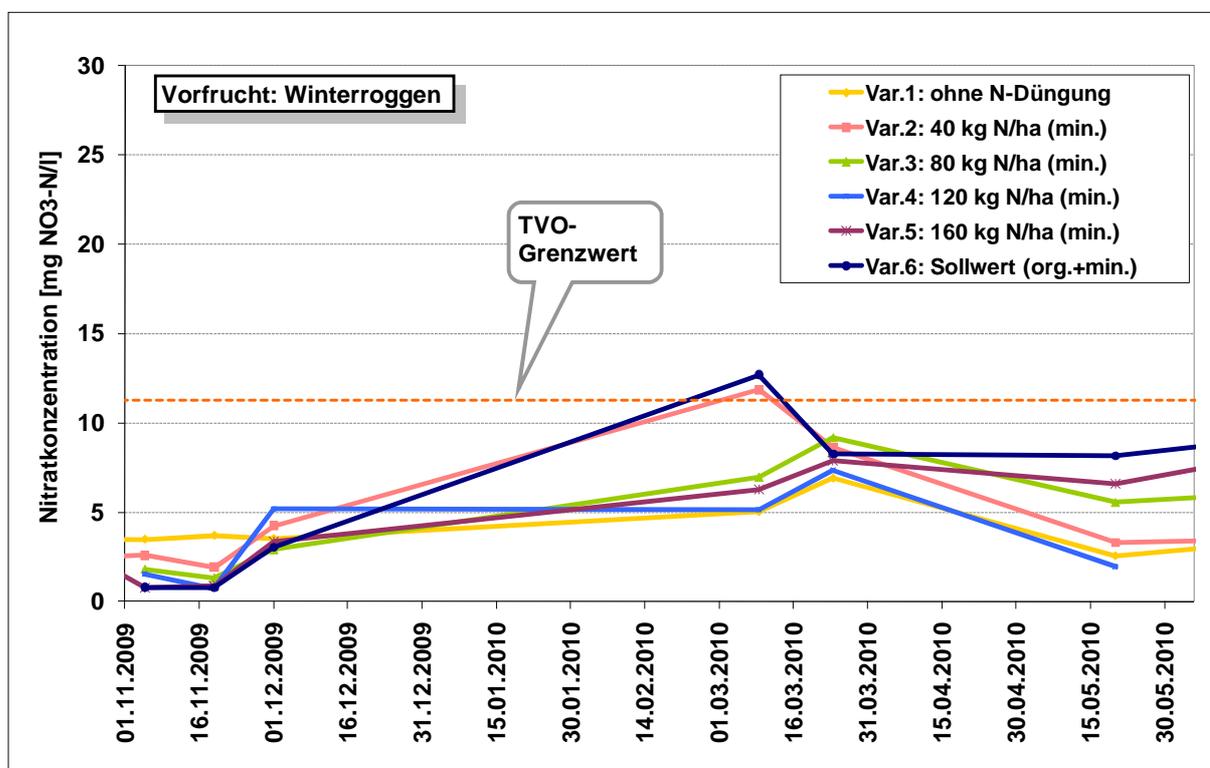


Abb. 5: Verlauf der Nitrat-N-Konzentrationen im Bodenwasser in 6 dm Tiefe im Winterhalbjahr 2009/2010 (Saugsonden)

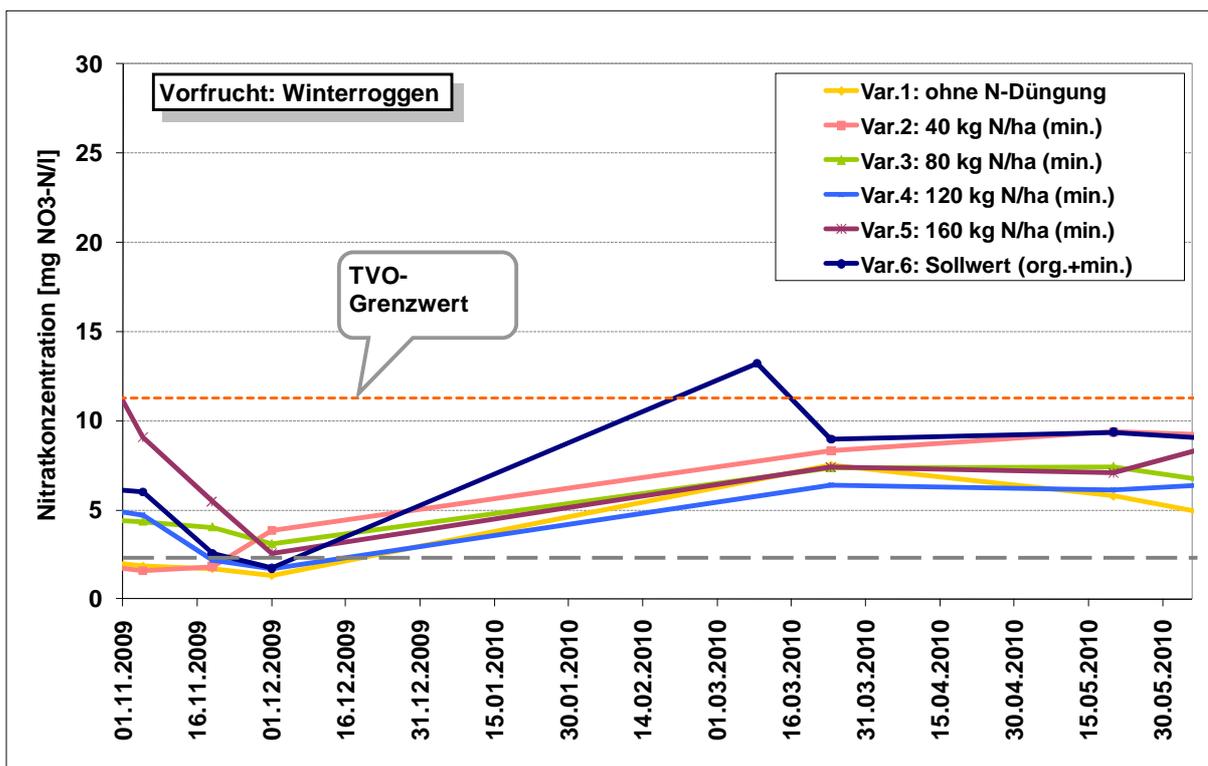


Abb.: 6: Verlauf der Nitrat-N-Konzentrationen im Bodenwasser in 8 dm Tiefe im Winterhalbjahr 2009/2010 (Saugsonden)

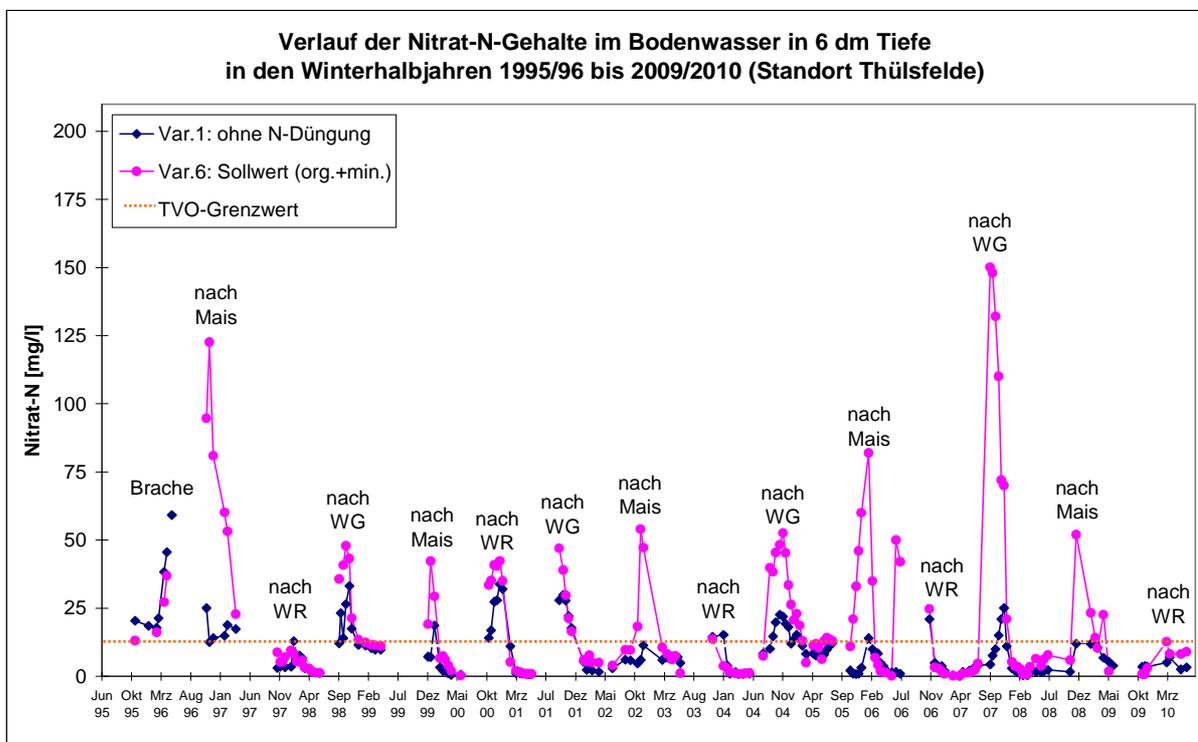


Abb.: 7: Verlauf der Nitrat-N-Konzentrationen im Bodenwasser in 6 dm Tiefe der Variante ohne N-Düngung und Sollwert-Düngung vom Winterhalbjahr 95/96 bis 09/10 (Saugsonden)

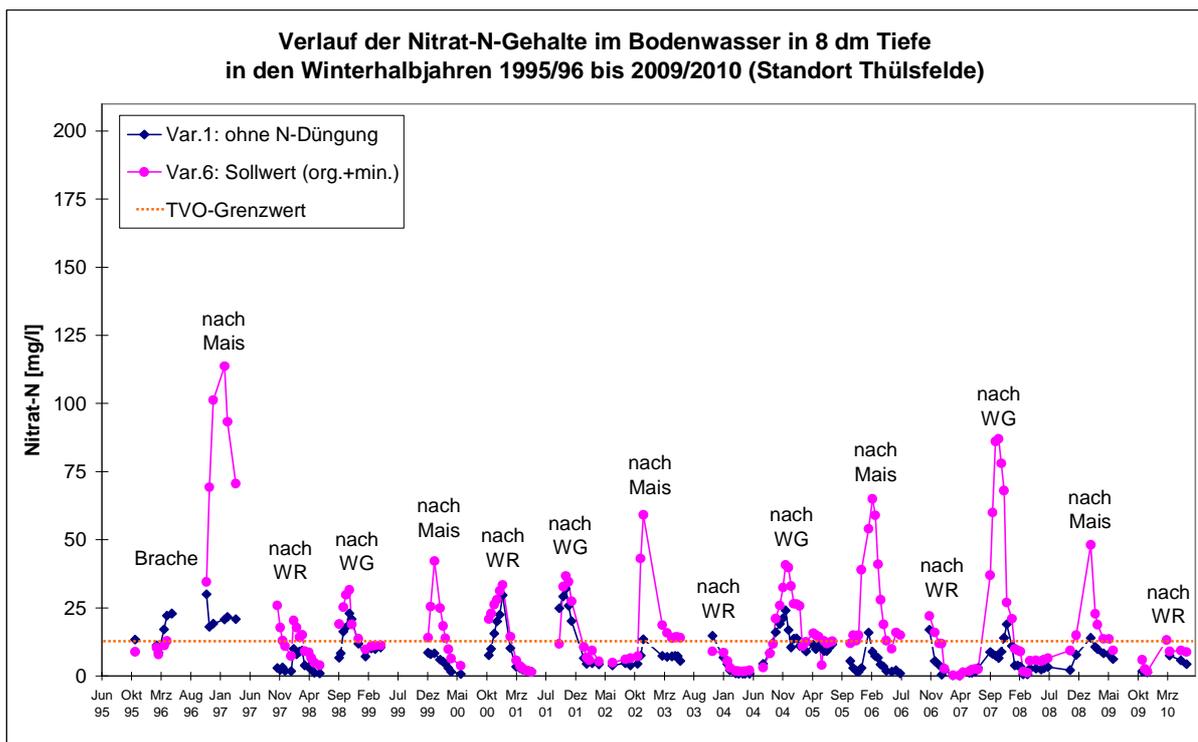


Abb.: 8: Verlauf der Nitrat-N-Konzentrationen im Bodenwasser in 8 dm Tiefe der Variante ohne N-Düngung und Sollwert-Düngung vom Winterhalbjahr 95/96 bis 09/10 (Saugsonden)

### 3.3.2 Mittlere Nitrat-N-Konzentrationen im Bodenwasser der Saugsonden

In Tabelle 3 sind die mittleren Nitrat-N-Konzentrationen im Bodenwasser der Saugsonden und der Lysimeter für das Winterhalbjahr 2009/2010 ab dem Beginn der Sickerwasserbildung dargestellt.

Tab. 3: Mittlere Nitrat-N-Konzentrationen [mg Nitrat-N/l] im Bodenwasser im Winterhalbjahr 2009/2010

	6 dm (Saugsonden)	8 dm (Saugsonden)	20 dm (Lysimeter)	Zeitraum
Var. 1: ohne N	4	4		9.10.09 – 30.04.10
Var. 2: 40 kg N/ha	7	6		9.10.09 – 30.04.10
Var. 3: 80 kg N/ha	5	5		9.10.09 – 30.04.10
Var. 4: 120 kg N/ha	4	4		9.10.09 – 30.04.10
Var. 5: 160 kg N/ha	5	7		9.10.09 – 30.04.10
Var. 6: Sollwert 140 kg N/ha	6	7		9.10.09 – 30.04.10
Lysimeter I			9	19.11.09 – 15.04.10
Lysimeter II			12	19.11.09 – 15.04.10

Die an den Probenahmeterminen gemessenen Nitratkonzentrationen in den Saugsonden wurden tageweise interpoliert. Daraus wurde der Mittelwert für den angegebenen Zeitraum gebildet. Ein deutlicher Anstieg der Konzentrationen mit steigender Düngungsintensität ist nicht festzustellen. Die Konzentrationen in 6 bzw. 8 dm Tiefe bewegen sich in vergleichbaren niedrigen Größenordnungen.

Die Lysimeter werden, wie die Variante 4, mit 120 kg N/ha gedüngt. Sie weisen unterschiedliche Werte hinsichtlich der Nitrat-N-Konzentration im Sickerwasser auf. In Lysimeter I wurden lediglich 9 mg Nitrat-N/l gemessen, in Lysimeter II hingegen 12 mg Nitrat-N/l. Die für Trinkwasser geforderte maximale Nitrat-N-Konzentration von 11,3 mg Nitrat-N/l (= 50 mg Nitrat/l) (TRINKWV 2001) wird im Lysimeter II überschritten. Im Vergleich zur Variante 4 liegt die mittlere Konzentration deutlich höher. Möglicherweise ist diese Differenz auf fehlende Messergebnisse (frostbedingt) der Saugsonden (Dezember-Februar) zurückzuführen.

### **3.4 N-Frachten**

#### **3.4.1 N-Frachten berechnet mit der Saugsondenmethode**

Zur Ermittlung der Nitrat-N-Frachten werden die täglich berechneten Sickerwasserraten im effektiven Wurzelraum von 5 dm und die Nitrat-N-Konzentrationen im Bodenwasser der Saugsonden benötigt. Da die Nitratkonzentrationen nur in ca. 2- bis 3-wöchigem Rhythmus gemessen wurden, muss zunächst zwischen den Messterminen linear interpoliert werden. Auf diese Weise werden Tageswerte ermittelt, die mit der täglichen Sickerwassermenge verrechnet werden können:

$$\text{N-Austrag [kg NO}_3\text{-N/l]} = \text{Sickerwasser [mm bzw. l/m}^2\text{]} * \text{NO}_3\text{-N [mg/l]} * 0,01$$

Zur Berechnung der monatlichen Nitrat-N-Frachten werden die täglichen Frachten pro Monat aufsummiert (Tab. 4 und 5).

Tab. 4: N-Frachten [kg N/ha] in 6 dm Bodentiefe (WHJ 2009/2010), Vorfrucht Winterroggen, Zwischenfrucht Winterrübsen

N-Düngung	Versuchsglied					
	ohne	40 kg N	80 kg N	120 kg N	160 kg N	Sollwert min. + org.
	1	2	3	4	5	6
<b>Okt. ab 9.10.09</b>	1,2	0,8	0,6	0,5	1,4	0,3
<b>Nov.</b>	3,5	2,7	1,9	2,1	1,4	1,3
<b>Dez.</b>	1,9	2,8	1,8	2,7	2,0	2,3
<b>Jan.</b>	1,0	1,8	1,1	1,1	1,1	1,8
<b>Feb.</b>	2,2	4,7	2,8	2,4	2,6	4,9
<b>März</b>	5,2	8,4	7,0	5,5	6,1	8,6
<b>April</b>	0,9	1,2	1,3	1,0	1,2	1,3
<b>Summe</b>	<b>16</b>	<b>22</b>	<b>17</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>20</b>

Tab. 5: N-Frachten [kg N/ha] in 8 dm Bodentiefe (WHJ 2009/2010), Vorfrucht Winterroggen, Zwischenfrucht Winterrübsen

N-Düngung	Versuchsglied					
	ohne	40 kg N	80 kg N	120 kg N	160 kg N	Sollwert min. + org.
	1	2	3	4	5	6
<b>Okt. ab 9.10.09</b>	0,9	0,8	1,6	2,0	7,0	2,3
<b>Nov.</b>	1,6	2,2	3,8	3,1	6,3	3,7
<b>Dez.</b>	1,1	2,3	1,9	1,2	1,6	1,8
<b>Jan.</b>	0,9	1,3	1,1	0,8	1,1	1,7
<b>Feb.</b>	2,6	3,2	2,8	2,3	2,7	5,0
<b>März</b>	6,1	6,9	6,0	5,2	6,1	9,1
<b>April</b>	1,1	1,3	1,1	1,0	1,1	1,4
<b>Summe</b>	<b>14</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>16</b>	<b>26</b>	<b>25</b>

Wie die Nitrat-N-Konzentrationen steigen auch die Frachten im Winterhalbjahr 2009/2010 nicht deutlich mit der applizierten Düngemenge an (vgl. Abb.9). Nur die Varianten 5 und 6 in 8 dm Tiefe weisen gegenüber den anderen Düngewarianten leicht erhöhte N-Frachten auf. In 8 dm Tiefe wurden die höchsten Nitrat-N-Frachten im Monat März erreicht. In 6 dm Tiefe ist dieser Peak nicht so deutlich ausgeprägt. Im April fand aufgrund der geringen Niederschläge nur ein geringer N-Austrag statt. Der höchste Ertrag wurde auf der 160 kg N Variante erzielt (Abb. 9) und geht bei reduzierter Düngung deutlich zurück.

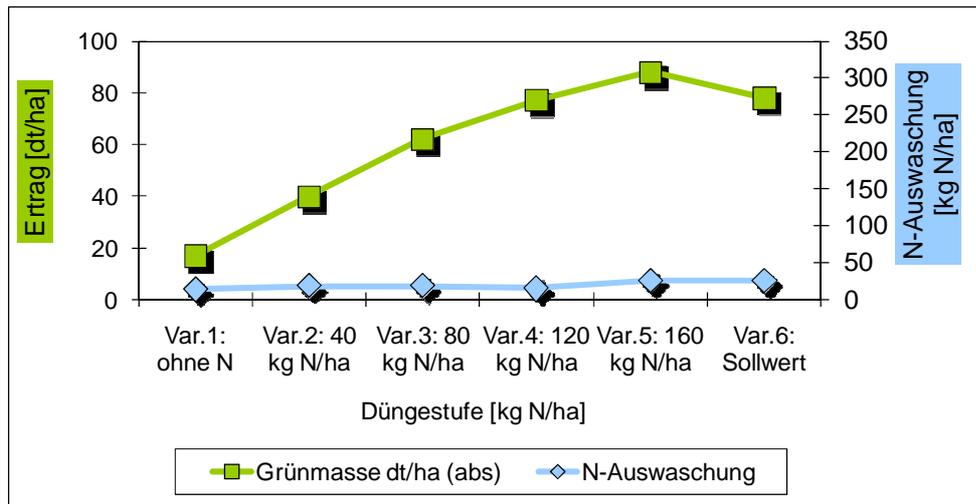


Abb.: 9: Winterroggenenertrag und Nitrat-N-Auswaschung in 8 dm Tiefe im Winterhalbjahr 2009/2010

### 3.5 Nmin-Werte im Vergleich zu den N-Frachten

Die Nmin-Werte, insbesondere die Herbst-Nmin-Werte, dienen der Wasserschutzberatung als Erfolgskontrolle. Über den Vergleich mit den Frachten der Saugsonden kann die Zuverlässigkeit dieser Methode geprüft werden. In Tabelle 6 sind zunächst die Nmin-Werte des Ernte- und des Herbst-Nmin in 90 cm Tiefe dargestellt. Der Ernte-Nmin ist ca. eine Woche nach der Ernte des Winterroggens gezogen worden. Die Differenz zwischen Ernte- und Herbst-Nmin fällt teilweise negativ aus, dieses kann eventuell auf Auswaschung (berechneter Sickerwasserbeginn 09.10.09) und sehr geringe Mineralisation zurückgeführt werden. Abbildung 10 zeigt alle Nmin-Ergebnisse des Winterhalbjahres 2009/2010 von 0-90 cm Tiefe.

Tab. 6: Ernte- und Herbst-Nmin-Werte (0-90 cm) der Varianten im Jahr 2009

	Ernte-Nmin 11.08.2009	Herbst-Nmin 15.10.2009	Differenz
	[kg N/ha]	[kg N/ha]	[kg N/ha]
Var.1: ohne N	14	14	0
Var.2: 40 kg N	15	15	0
Var.3: 80 kg N	21	13	-8
Var.4: 120 kg N	21	15	-6
Var.5: 160 kg N	23	13	-10
Var.6: Sollwert	23	13	-10

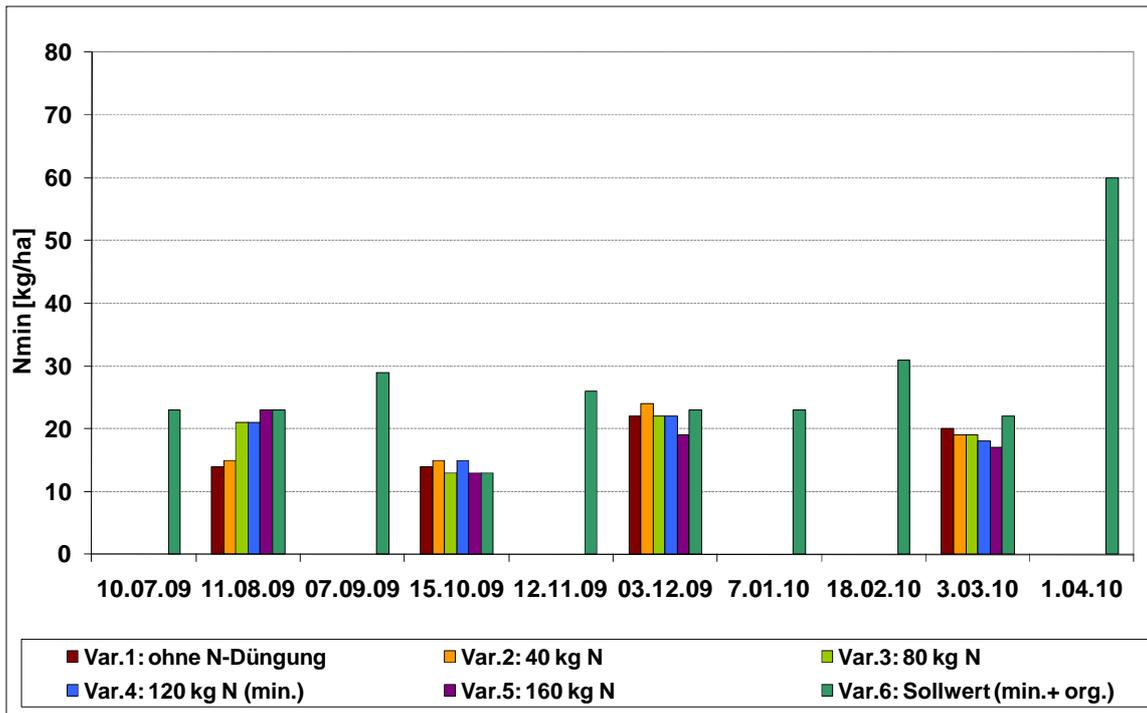


Abb.: 10: Entwicklung der Nmin-Werte (0-90 cm) auf den 6 Varianten in 2009/2010

Nur die Ernte-Nmin-Werte vom 11.08.2010 korrelieren mit der Düngungshöhe. An den späteren Nmin-Probenahmeterminen ist kein signifikanter Unterschied zwischen den Varianten erkennbar. Die Sollwertvariante 6 wird monatlich beprobt. Der höchste Nmin-Wert wurde am Ende des Beobachtungszeitraums am 01.04.2010 gemessen, wobei sich die Nitratmenge hauptsächlich auf dem Oberboden konzentriert und auf die Düngung der Folgefrucht Winterroggen im März zurückzuführen ist.

Im Winterhalbjahr 09/10 lagen die Herbst-Nmin-Werte auf einem sehr geringen Niveau, eine Abhängigkeit zur Höhe der N-Düngung ist nicht zu erkennen (vgl. Abb. 11). Die Zunahmen der Nmin-Werte vom 15.10. zum 3.12. (vgl. Abb. 10) weisen auf eine N-Mineralisation in diesem Zeitraum hin. Auf allen Varianten liegen die Herbst-Nmin-Werte geringfügig unter den berechneten N-Frachten. Da die Frühjahrs-Nmin-Werte geringfügig über den Herbst-Nmin-Werten liegen, dürften die berechneten N-Frachten in der Größenordnung von 15 – 20 kg N/ha auf die herbstliche und winterliche N-Mineralisation zurückzuführen sein.

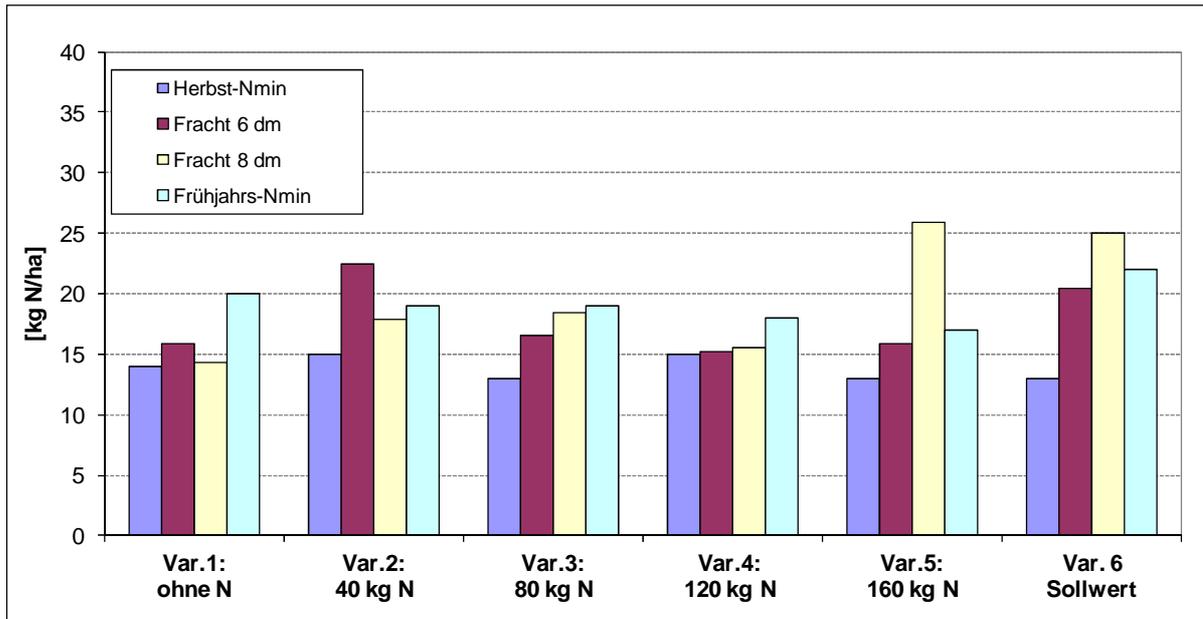


Abb.: 11: Vergleich der Herbst-Nmin-Werte (15.10.2009) mit den Nitratfrachten (Saugsondenmethode) in 6 und 8 dm Tiefe im Winterhalbjahr 2009/2010

## 4 Ergebnistransfer

In 2009/2010 wurde der Versuchsstandort Thülsfelde sowie die Versuchsergebnisse, wie in den Jahren davor, interessierten Gruppen vorgestellt:

- 02.06.2010: Feldbegehung des Feldversuchs Thülsfelde mit einer Studentengruppe der FH Osnabrück, Master-Studiengang Bodennutzung/Bodenschutz, Erläuterung der Versuchsergebnisse

## 5 Zusammenfassung

Im Wasserschutzgebiet Thülsfelde (Landkreis Cloppenburg) wird seit Herbst 1995 ein Feldversuch zur grundwasserschutzorientierten Landwirtschaft auf sechs abgestuft gedüngten Varianten in vierfacher Wiederholung durchgeführt. Zur Erfassung des Wasser- und Stickstoffhaushalts wurden 1995 eine bodenhydrologisch-meteorologische Messstation, eine Saugsondenanlage in 6 und 8 dm Bodentiefe und im Jahr 2000 eine Lysimeterstation, bestehend aus zwei Einzellysimetern, installiert. Im Sommer 2009 wurde auf der Versuchsfläche Winterroggen geerntet. Vom 15.10.09 bis zum 01.12.2009 erfolgte der Anbau einer Zwischenfrucht (Winterrübsen) zwischen zwei Winterungen. Die Winterrübsen standen

vom Aufwuchs her, aufgrund fehlender Feuchtigkeit und geringem N-Angebot (geringe Nmin-Gehalte im Boden), nicht optimal auf der Fläche.

Am 03.12.2009 wurde erneut Winterroggen ausgesät. Die Auswirkung auf den Stickstoffhaushalt im Winterhalbjahr 2009/2010 und die klimatischen Gegebenheiten stellen sich wie folgt dar:

- Der mittels Wasserhaushaltsberechnung bestimmte Beginn der Sickerwasserbildung nach der Ernte war Anfang Oktober (09.10.2009).
- Die Sickerwasserrate im Winterhalbjahr 2009/2010 betrug 353 mm im Zeitraum 09.10.2009 bis 30.04.2010. Das entspricht dem Durchschnitt der letzten 10 Jahre von 354 mm. In den Lysimetern wurde mit 327 mm (Mittelwert) ähnlich viel Sickerwasser in diesem Zeitraum gemessen.
- Die mittleren Nitrat-N-Konzentrationen in den Saugsonden lagen nah zusammen: In 6 dm Tiefe zwischen 4 (Var. 1 und 4) und 7 mg Nitrat-N/l (Var. 2), in 8 dm Tiefe zwischen 4 (Var. 1 u. 4) und 7 mg Nitrat-N/l (Var. 5 und 6) (vgl. Tab. 3).
- Die mittels Saugsondenmethode berechneten N-Frachten für das Winterhalbjahr 2009/2010 lagen zwischen 15 (Var. 4) und 22 kg N/ha (Var. 2) in 6 dm Tiefe und zwischen 14 (Var. 1) und 26 kg N/ha (Var. 5) in 8 dm Tiefe (vgl. Tab. 4 und 5). Ein deutlicher Zusammenhang zwischen Düngungshöhe und N-Frachten ist nicht zu erkennen.
- Der Ertrag des Winterroggens korreliert mit der Düngungshöhe.

Bereits in den Winterhalbjahren 97/98, 00/01, 03/04 und 06/07 konnte gezeigt werden, dass nach Winterroggenanbau die Nitrat-N-Konzentrationen geringer ausfielen als nach Mais und Wintergerste. Dieser Trend wird im Winterhalbjahr 2009/2010 bestätigt. Ob dies auch auf die Zwischenfrucht zurückzuführen ist, kann wegen des geringen Aufwuchses nicht entschieden werden.

## 6 Ausblick

Durch die Kombination der Saugsondenmethode, der Lysimetermethode und der Nmin-Beprobung konnte ein umfassendes Bild über den Wasser- und Stickstoffhaushalt des Bodens im Winterhalbjahr 2009/2010 gewonnen werden. Interessant wird sein, ob sich die Nitratfrachten langfristig durch den Zwischenfruchtanbau ändern werden.

## 7 Literatur

DWD (2008): Tabellarische Aufführung der mittleren Monatssummen der Niederschlagshöhen der Stationen für den Zeitraum 1961-1990 im Excel-Format. Link: <http://www.dwd.de>

DVWK (1996): Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. Merkblätter zur Wasserwirtschaft 238/1996. Kommissionsvertrieb Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.

RENGER, M. und G. WESSOLEK (1990): Auswirkungen von Grundwasserabsenkung und Nutzungsänderung auf die Grundwasserneubildung. Mitt. Inst. für Wasserwesen, Univ. der Bundeswehr München, Heft 386 (1990), 295-307.

MÜLLER, U (2004): Auswertungsmethoden im Bodenschutz – Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems NIBIS<sup>®</sup>. Arbeitshefte Boden 2004/2, 7. Auflage, Hannover.

RICHTER, D. (1995): Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Messfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers. Berichte des Deutschen Wetterdienstes 194, 93 S.

TRINKWASSERVERORDNUNG (TRINKWV) (2001): Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch vom 21. Mai 2001. BGBl I, S. 959ff.

WENDLING, U.; MÜLLER, J.; SCHWEDE, K. (1984): Ergebnisse von Verdunstungsmessungen über Gras mit einem Off-line-Datenerfassungssystem (2. Mitteilung). Z. Meteorol. 34, 190-202.

WENDLING, U.; SCHELLIN, H.-G.; THÖMÄ, M. (1991): Bereitstellung von täglichen Informationen zum Wasserhaushalt des Bodens für die Zwecke der agrarmeteorologischen Beratung. Z. Meteorol. 41, 468-475.