Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie

Landwirtschaftskammer Niedersachsen

GRUNDWASSERSCHUTZORIENTIERTE DAUERVERSUCHE

Berechnung des Wasserhaushaltes, der Nitratkonzentrationen und der Nitratfrachten am Standort Hamerstorf

Feldversuch Hamerstorf, Winterroggen am 19.03.2015

- Auswaschungsperiode 2014/2015 und 2015/2016 -

Annegret Fier, Walter Schäfer

LBEG
Stilleweg 2
D-30655 Hannover

Hannover, den 31.12.2016

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1
2 Versuchsbeschreibung 1
3 Auswaschungsperiode 2014/2015 und 2015/2016 9
3.1 Witterungsverlauf 9
3.2 Wasserhaushaltsberechnungen 11
3.2.1 Wasserhaushaltsberechnungen nach DVWK (1996) 11
3.3 Nitrat-N-Konzentrationen im Bodenwasser 19
3.3.1 Zeitlicher Verlauf der Nitrat-N-Konzentrationen 19
3.3.2 Mittlere Nitrat-N-Konzentrationen im Bodenwasser 20
3.4 Nitrat-N-Frachten und N-Bilanzen 22
3.5 Nmin-Werte im Vergleich zu den N-Frachten 26
4 Ergebnistransfer 27
5 Zusammenfassung 28
6 Literatur 30

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Lage des Wasserschutzversuchs 643 Hamerstorf 2
Abb. 2: Versuchsaufbau des Wasserschutzversuchs 643 Hamerstorf, nicht maßstabsgerecht 2
Abb. 3: Bodenprofil S5-8 der Variante 5, konventionell bewirtschaftet; Braunerde-Pseudogley 5
Abb. 4: Wasserhaushalt der grundwasserschutzorientiert bewirtschafteten Varianten 4 und 5 von Juli 2014 bis Juni 2015 (berechnet nach DVWK 1996) sowie Austauschhäufigkeit (Ah) 15
Abb. 5: Wasserhaushalt der konventionell bewirtschafteten Variante 1 von Juli 2014 bis Juni 2015 (berechnet nach DVWK 1996) sowie Austauschhäufigkeit (Ah) 15
Abb. 6: Wasserhaushalt der konventionell bewirtschafteten Varianten 3, 4 und 5 von Juli 2014 bis Juni 2015 (berechnet nach DVWK 1996) sowie Austauschhäufigkeit (Ah) 16
Abb. 7: Wasserhaushalt der grundwasserschutzorientiert bewirtschafteten Varianten 4 und 5 von Juli 2015 bis Juni 2016 (berechnet nach DVWK 1996) sowie Austauschhäufigkeit (Ah) 16
Abb. 8: Wasserhaushalt der konventionell bewirtschafteten Variante 1 von Juli 2015 bis Juni 2016 (berechnet nach DVWK 1996) sowie Austauschhäufigkeit (Ah) 17

Abb. 9: Wasserhaushalt der konventionell bewirtschafteten Varianten 3, 4 und 5 von Juli 2015 bis Juni 2016 (berechnet nach DVWK 1996) sowie Austauschhäufigkeit (Ah).. 17
Abb. 10: Verlauf der Nitrat-N-Konzentrationen im Bodenwasser (Saugsonden) in 8 dm Tiefe von September 2014 bis Juni 2016 19
Abb. 11: Verlauf der Nitrat-N-Konzentrationen im Bodenwasser (Saugsonden) in der Auswaschungsperiode 2014/2015, stufenweise interpoliert 21

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Fruchtfolge Feldversuch Hamerstorf 3
Tab. 2: Beregnungstermine 2014 bis 2016 4
Tab. 3: Chemische und physikalische Bodeneigenschaften des Bodenprofils S5-8 6
Tab. 4: Bodenphysikalische Kennwerte – Mittelwert aller sechs Böden 7
Tab. 5: Wassergehalte [mm] bzw. [l/m²] der Frühjahrs-Nmin-Proben 2014 bis 2016..... 8
Tab. 6: Unkorrigierte Witterungsdaten der Wetterstation Hamerstorf von Juli 2014 bis Juni 2015 und von Juli 2015 bis Juni 2016 (ohne Beregnung)..... 9
Tab. 7: Ausgewählte kc-Werte zur Anpassung der potenziellen Verdunstung ETp an die aktuelle Verdunstung ETa 13
Tab. 8: Korrigierter monatlicher Niederschlag (P) inklusive Beregnung, aktuelle Verdunstung (ETa), mittlerer Bodenwasservorrat (W) und Sickerwasserrate (SR) in der Auswaschungsperiode 2014/2015 und 2015/2016..... 14
Tab. 9: Mittlere Nitrat-N-Konzentrationen [mg/l] im Bodenwasser im Winterhalbjahr 2014/2015 (01.07.2014 bis 30.04.2015) und im Winterhalbjahr 2015/2016 (01.07.2015 bis 30.04.2016)..... 22
Tab. 10: Nitrat-N-Frachten [kg/ha] (Winterhalbjahr 2014/2015), Hauptfrucht Kartoffeln 23
Tab. 11: Nitrat-N-Frachten [kg/ha] (Winterhalbjahr 2015/2016), Hauptfrucht Winterroggen (konv) bzw. Winterroggen und Grasuntersaat (gws) 23
Tab. 12: N-Zufuhr (ausschließlich mineralisch), Erträge, N-Abfuhr und N-Bilanz in 2014 und 2015, sowie die Nitrat-N-Frachten in [kg/ha] im Winterhalbjahr 2014/2015 und 2015/2016..... 25
Tab. 13: Nmin-Werte (0 - 90 cm) nach der Ernte, Spätherbst-Nmin, Frühjahrs-Nmin und Nitrat-N-Frachten im Winterhalbjahr 2014/2015 und im Winterhalbjahr 2015/2016.. 26

Abkürzungsverzeichnis

Ah	Austauschhäufigkeit des Bodenwassers
ETa	aktuelle Verdunstung
ETp	potenzielle Verdunstung
FÄ	Feuchtigkeitsäquivalent
FK_{We}	Feldkapazität im effektiven Wurzelraum [l/m²]
GPS	Ganzpflanzensilage
gws	grundwasserschutzorientiert bewirtschaftet
konv	konventionell bewirtschaftet
Lg	effektive Lagerungsdichte
m	Meter
N	Stickstoff
NO_3	Nitrat
NO_3-N	Nitrat-Stickstoff
Nmin	mineralischer Stickstoff
pF	Wasserspannung (dekadischer Logarithmus der in cm Wassersäule ausgedrückten Wasserspannung in Böden)
P	korrigierter Niederschlag
PWP	permanenter Welkepunkt
R_G	Globalstrahlung
SR	Sickerwasserrate
T	Lufttemperatur
TDR	Trockenrohdichte [g/cm³]
TM	Trockenmasse
TVO	Trinkwasserverordnung
W	Bodenwasservorrat
We	effektive Durchwurzelungstiefe

1 Einleitung

Im Rahmen des Projektes „Landwirtschaftliche Bodennutzung und Gewässerschutz in Wasserschutzgebieten“ führt die Landwirtschaftskammer Niedersachsen nach § 28 des Niedersächsischen Wassergesetzes Versuche zur grundwasserschutzorientierten Landwirtschaft durch. Diese Versuche werden mit Mitteln aus der Wasserentnahmegebühr finanziert. Das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) ist innerhalb dieses Projektes für die Messung und Modellierung der Sickerwasserzusammensetzung zuständig.

Am Standort Hamerstorf werden seit Herbst 2014 die Auswirkungen grundwasserschutzorientierter Fruchtfolgegestaltung und langjährig unterschiedlich hoher Stickstoffdüngung (N-Düngung) auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser untersucht. Es sollen belastbare Daten über die Auswirkung reduzierter und überhöhter N-Düngung gewonnen werden. Zudem wird der Frage nachgegangen, welche Auswirkungen diese Parameter auf die Stickstoffdynamik im Boden, die Erträge und Qualitätsparameter haben. Ziel des Versuches ist es, aus den gewonnenen Erkenntnissen Handlungsempfehlungen zur Verbesserung der Sickerwasserqualität abzuleiten. Um die Nitratkonzentrationen am Standort messen zu können, wurde im Herbst 2013 eine Saugsondenanlage zur Sickerwassergewinnung installiert. Der Feldversuch wurde im Jahr 2014 angelegt. In diesem Bericht werden der Versuchsaufbau und die Ergebnisse der Auswaschungsperioden 2014/2015 und 2015/2016 vorgestellt.

2 Versuchsbeschreibung

Der Wasserschutzversuch Hamerstorf (Versuch 643) ist auf einer Fläche der Versuchsstation Hamerstorf der Landwirtschaftskammer Niedersachsen angelegt. Die Versuchsstation befindet sich im östlichen Teil Niedersachsens im Landkreis Uelzen, ca. 10 km südwestlich der Stadt Uelzen (Abb. 1), 65 m über Normalnull. Die Ackerzahl im Bereich der Saugsondenanlage beträgt 47 (LBEGa 2016). Die langjährige Jahresmitteltemperatur liegt bei 8,5 °C (Mittelwert der DWD-Station Uelzen im Zeitraum 1961 - 1990, DWD 2016). An dieser Station fallen im langjährigen Mittel 622 mm [mm = l/m²] Niederschlag jährlich (Mittelwert der DWD-Station Uelzen im Zeitraum 1961 - 1990, DWD 2016). Die DWD-Station Uelzen liegt in der Nähe des Stadtteils Veerßen. An der nur wenige Kilometer entfernten DWD-Station Suderburg wurden in der Referenzperiode 1961 - 1990 bereits 723 mm Niederschlag gemessen (Mittelwert der DWD-Station Suderburg im Zeitraum 1961 - 1990, DWD 2016).

Diese Station liegt deutlich näher an der Versuchsfläche Hamerstorf als die Station Uelzen und wird daher für Vergleiche herangezogen, es liegen jedoch keine langjährigen Temperaturdaten vor.

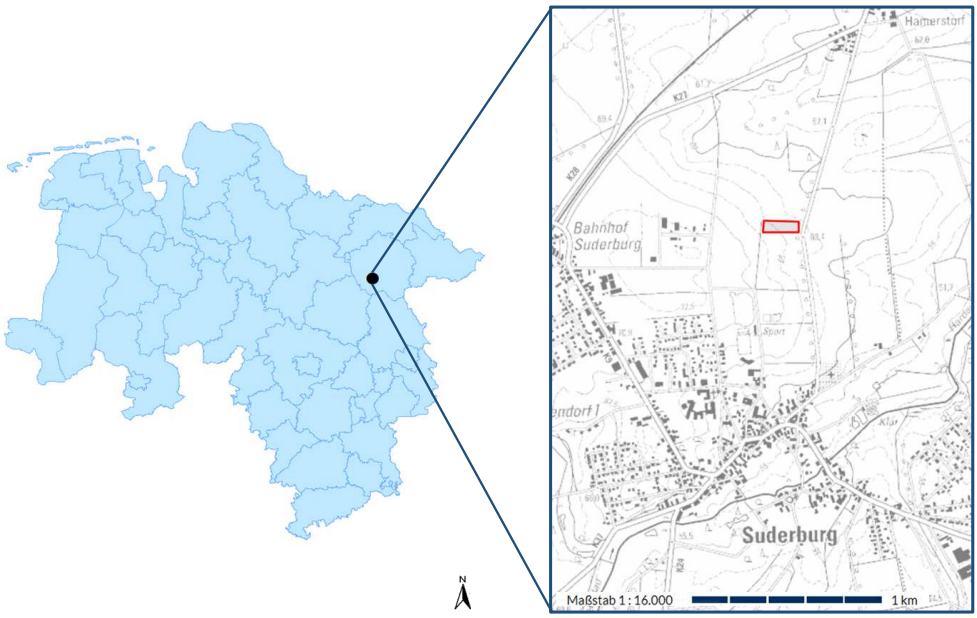

Abb. 1: Lage des Wasserschutzversuchs 643 Hamerstorf

Der Versuch ist als zweifaktorielle Spaltanlage angelegt (Faktor 1: Fruchtfolge, Faktor 2: N-Düngung). Die Fruchtfolge teilt sich auf in eine konventionelle Fruchtfolge (konv) und eine grundwasserschutzorientierte Bioenergiefruchtfolge (gws). Abbildung 2 zeigt die Verteilung der zwei Fruchtfolgevarianten und der 10 Düngungsvarianten (Angaben in kg N/ha) innerhalb der Versuchsanlage.

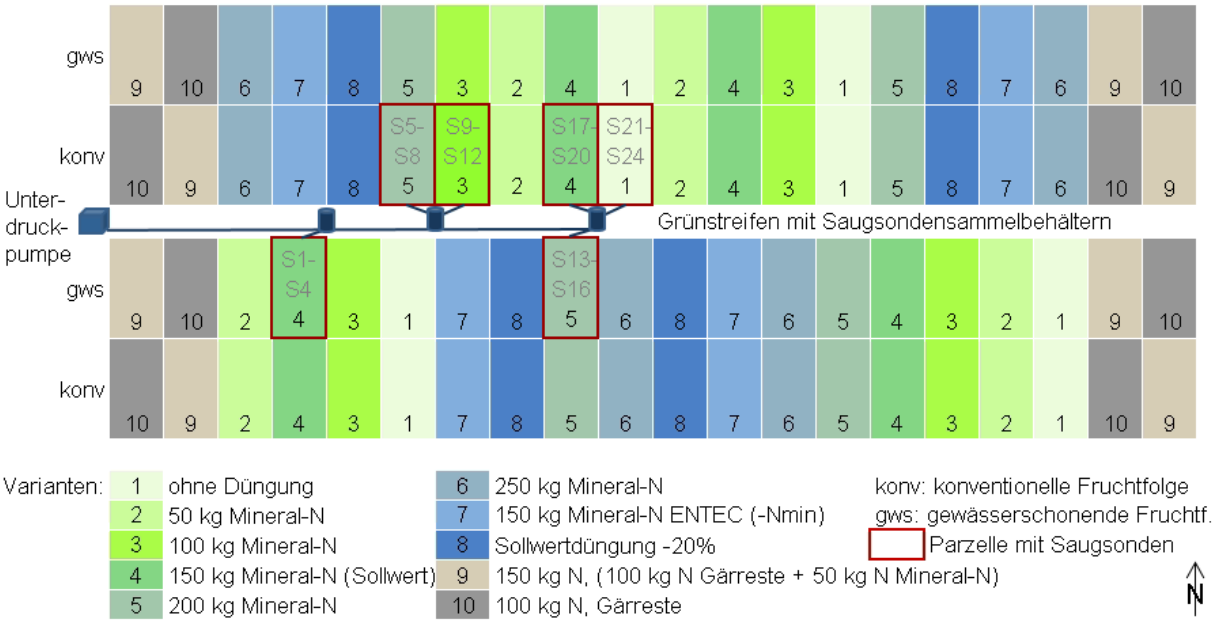

Abb. 2: Versuchsaufbau des Wasserschutzversuchs 643 Hamerstorf, nicht maßstabsgerecht

Die Düngungsvarianten 1 bis 6 werden rein mineralisch mit 0 kg N bis 250 kg N/ha gedüngt. In der konventionellen Fruchtfolge ist je eine Parzelle der Düngungsstufen 1, 3, 4 und 5 (0, 100, 150 und 200 kg N/ha) mit Saugsonden ausgestattet, in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge je eine Parzelle der Düngungsstufen 4 (150 kg N/ha) und 5 (200 kg N/ha). Jede der sechs Parzellen mit Saugsonden birgt zwei P80-Keramiksaugkerzen(-sonden) und zwei Borosilikatsaugkerzen mit 1 m Schaftlänge. Der Einbau erfolgte auf 8 dm Tiefe, leicht schräg, mit einem Winkel von 10° zur Waagerechten, um einem Abfließen des Sickerwassers in den Kerzenschaft vorzubeugen. Die Spitze der Saugsonden ist von ungestörtem Boden umgeben. Durch den unterirdischen Einbau kann die Parzelle problemlos bewirtschaftet werden, lediglich auf eine Nmin-Probenahme muss im Bereich der Saugsonden verzichtet werden. Die Saugkerzen werden mittels einer Vakuumhauptleitung an eine zeitgesteuerte Unterdruck-anlage der Firma UGT mit einem 20 Liter-Ausgleichsbehälter angeschlossen. Während des Betriebs liegt permanent ein Unterdruck von 0,2 bar (untere Schwelle) bis 0,3 bar (obere Schwelle) an. Durch den Ausgleichsbehälter ist die Vakuumversorgung der Anlage über lange Phasen konstant. Das gewonnene Sickerwasser wird in Flaschen aus Borosilikat gesammelt, die sich in drei Sammelbehältern befinden. Die Auffanggefäße werden während der Sickerwasserperiode ca. alle 14 Tage ausgetauscht und zur Nitratanalyse in ein Labor gebracht. Bei strengem Frost wird die Anlage ausgeschaltet, um eine Zerstörung der Auffanggefäße durch Frostsprengung zu verhindern. Außerdem würden die Unterdruckkabel an den Übergängen durch die Kälte undicht werden.

Die Fruchtfolge des Feldversuchs sowie Saat- und Erntetermine sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tab. 1: Fruchtfolge Feldversuch Hamerstorf

Jahr	**konventionell (konv)**	**Termine**	**grundwasserschutz-orientiert (gws)**	**Termine**
2014	Kartoffeln	Saat: 24.04.14 Ernte: 24.09.14	Kartoffeln	Saat: 24.04.14 Ernte: 24.09.14
2015	Winterroggen	Saat: 07.10.14 Ernte: 13.08.15	Winterroggen (GPS), reduzierte Aussaatstärke und Grasuntersaat	Saat: 07.10.14 Ernte GPS: 21.06.15 1. Schnitt: 31.07.15 2. Schnitt: 17.09.15 3. Schnitt: 08.05.16
2016	Silomais	Saat: 10.05.16 Ernte: 30.09.16	Silomais mit Grasuntersaat	Saat: 10.05.16 Ernte: 30.09.16
2017	Braugerste und Zwischenfrucht		Braugerste mit Untersaat	

Die Versuchsfläche wurde bis 2013 einheitlich bewirtschaftet, zuletzt wurden Zuckerrüben angebaut. Im Jahr 2014 standen auf beiden Fruchtfolgevarianten Kartoffeln der Sorte Belana. Die Düngestaffel weicht bei den Kartoffeln vom oben genannten Schema ab und beträgt 0, 80, 120, 160 und 200 kg N/ha auf den Varianten 1 bis 5. Im Herbst wurde Winterroggen gedrillt. Auf den grundwasserschutzorientiert (gws) bewirtschafteten Varianten wurde gleichzeitig Grassamen (Welsches Weidelgras) mit ausgesät, bei reduzierter Aussaatstärke des Roggens. Der Winterrogen auf den gws-Varianen wurde am 21.06.2015 als Ganzpflanzensilage (GPS) geerntet. Am 29.06.2015 wurde die Grasuntersaat mit 60 kg N/ha in Form von Kalkammonsalpeter angedüngt. Die Grasuntersaat entwickelte sich sehr gut, so dass bereits am 31.07.15 der erste Schnitt geerntet werden konnte. Am 04.08.2015 wurden für einen zweiten Grasschnitt erneut 60 kg N/ha aus Kalkammonsalpeter mineralisch gedüngt. Der zweite Schnitt erfolgte dann am 17.09.2015. Eine weitere Grasernte im Herbst war nicht vorgesehen, so dass auf eine weitere N-Düngung verzichtet wurde. Das Gras sollte bis zum Beginn der Sickerwasserperiode möglichst viel Stickstoff aus dem Boden aufnehmen und in der Pflanzenmasse speichern. Erst im Frühjahr 2016 war eine letztmalige Schnittnutzung vorgesehen. Dazu wurden im März 2016 75 kg N/ha in mineralischer Form gegeben. Der dritte und damit letzte Schnitt erfolgte am 8.05.2016.

Auf den konventionell bewirtschafteten Varianten wurde der Winterroggen am 13.08.2015 geerntet. Um den Unterschied zur gws-bewirtschafteten Fruchtfolge zu demonstrieren, lagen die Varianten über Winter brach. Eine weitere Stickstoffgabe wie in den grundwasserschutzorientiert bewirtschafteten Varianten erfolgte nicht. Am 10.05.2016 wurden beide Fruchtfolgevarianten mit Mais bestellt. Auf den gws-Varianten wurde zeitgleich eine Grasuntersaat etabliert.

In der Region Uelzen ist die Feldberegnung gängige Praxis. Um aus dem Feldversuch Handlungsempfehlungen für die landwirtschaftliche Praxis vor Ort ableiten zu können, wird dieser ebenfalls beregnet. Zudem garantiert die Beregnung die Etablierung der Untersaaten und Zwischenfrüchte und damit eine hohe Stickstoffaufnahme in die Pflanzen.

Tab. 2: Beregnungstermine 2014 bis 2016

Jahr	Datum	Menge [mm]
2014	04.06.2014, 19.06.2014, 25.06.2014	30
2015	23.05.2015, 03.06.2015, 17.06.2015, 03.07.2015	30
2016	15.07.2016, 26.07.2016, 17.08.2016	30

Die Landwirtschaftskammer Niedersachsen nimmt in jeder Variante Frühjahrs-, Ernte- und Herbst-Nmin-Proben. In der Variante 4 (entspricht annähernd dem N-Sollwert) werden in monatlichen Abständen Nmin-Proben gezogen (2014 in der Variante 5).

Die Berechnung der am Standort anfallenden Sickerwassermenge erfordert detaillierte Kenntnisse der bodenphysikalischen Eigenschaften. Bei der Installation der Saugsonden im November 2013 wurden die Böden der sechs Parzellen intensiv beprobt (Beutelproben und Stechzylinder) und untersucht. Bei allen sechs Böden handelt es sich um Braunerde-Pseudogleye aus schwach schluffigem Sand (weichselzeitlicher Geschiebedecksand) über schwach bis stark lehmigem Sand (saalezeitlicher Geschiebelehm). In Abbildung 3 ist beispielhaft das Bodenprofil S5-8 der konventionell bewirtschafteten Variante 5 dargestellt.

Tiefe [cm]	Hori-zont	Beschreibung
0-30	Ap	schwach schluffiger Sand, sehr schwach kiesig, schwach humos, carbonatfrei
30-50	Bv	schwach schluffiger Sand, mittel kiesig, sehr schwach humos, carbonatfrei
50-65	Sw	schwach schluffiger Sand, schwach kiesig, sehr schwach humos, carbonatfrei
65-100	IISd	stark lehmiger Sand, schwach kiesig, sehr schwach humos, carbonatfrei

Abb. 3: Bodenprofil S5-8 der Variante 5, konventionell bewirtschaftet; Braunerde-Pseudogley

Der Schichtwechsel von schwach schluffigem Sand zu stark lehmigen Sand in 65 cm Tiefe bewirkt bei Nässe einen Wasserstau, wodurch der Boden die für einen Pseudogley typische grau/rötliche Marmorierung entwickelt. Saisonal wechseln sich in diesem Boden Phasen der Vernässung mit Phasen der Trockenheit ab. In Tabelle 3 sind weitere Bodendaten des in Abbildung 3 dargestellten Bodens aufgeführt.

Tab. 3: Chemische und physikalische Bodeneigenschaften des Bodenprofils S5-8

3a)

Tiefe	Horizont	Steine	TRD	B.-art	Ton	Schluff	Sand	pH $CaCl_2$	Mg $CaCl_2$	K[b] CAL	P[b] CAL	Nt	C_{org}	C/N
[cm]		[Vol. %]	[g/cm³]		[%][a]	[%][a]	[%][a]		mg/100g	mg/100g	mg/100g	[%]	[%]	
0-30	Ap	2	1,57	Su2	3	13	84	5,4	4,7	8,4	7,3	0,07	0,85	12
30-50	Bv	2	1,57	Su2	3	17	80	5,8	4,6	2,3	4,3	0,02	0,37	19
50-65	Sw	5	1,61	Su2	4	20	77	6,0	5,0	4,4	4,1	0,02	0,21	11
65-100	IISd	2	1,66	Sl4	14	26	60	6,0	9,1	4,9	1,3	0,02	0,12	6

[a] in % der silikatischen Feinerde [b] Calcium-Acetat-Lactat-Auszug

3b)

Tiefe	Horizont	LG Renger	LG Stufe Renger	pF 1,8	pF 2	pF 2,1	pF 2,5	pF 3	pF 4,2	We	FK_{We} pF 1,8	FK_{We} pF 2,0	FK_{We} FÄ	FK_{We} PWP
[cm]		[g/cm³]		[Vol. %] H_2O abzüglich Steine						[dm]	[mm] bzw. [l/m²]			
0-30	Ap	1,59	Ld3	17,8	14,7	14,2	12,3	10,1	1,9					
30-50	Bv	1,61	Ld3	21,1	17,5	16,6	13,1	11,1	1,5	**8**	**154**	131	126	**21**
50-65	Sw	1,64	Ld3	17,9	15,2	14,5	11,4	9,1	2,3					
65-100	IISd	1,76	Ld4	21,1	19,7	19,1	16,9	14,6	5,8					

Die Gehalte an Phosphor, Kalium, Magnesium und der pH-Wert liegen im Oberboden in der Gehaltsklasse C (Erhaltungsdüngung) nach LUFA (2015). Der C_{org}-Gehalt des Oberbodens fällt in die Humusstufe 2 und entspricht ca. 1,5 % Humus (MÜLLER & WALDECK 2011). Eine wichtige Größe zur Berechnung der Sickerwassermenge ist die Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (FK_{We}). Dafür muss zunächst die effektive Durchwurzelungstiefe (We) bestimmt werden. Sie gibt die Tiefe an, bis zu der einjährige Nutzpflanzen die nutzbare Feldkapazität (pflanzenverfügbarer Anteil des Bodenwassers) theoretisch vollständig ausschöpfen können und wird anhand der Bodenart und der effektiven Lagerungsdichte (Ld) aus Tabellenwerten ermittelt (RENGER et al. 2009). Die effektive Lagerungsdichte ihrerseits wird aus der Trockenrohdichte (TRD) und dem Ton- und Schluffgehalt nach einer Formel von RENGER et al. (2009) berechnet. Alle untersuchten Bodenprofile sind geschichtet, daher unterscheidet sich die We der oberen Schicht von der We der unteren Schicht. Die Ableitung einer einheitlichen We für das Bodenprofil erfolgt nach Verknüpfungsregel 6.1.6 (MÜLLER & WALDECK 2011).

Die für die Sickerwassermenge entscheidende Frage lautet: Wieviel Liter Wasser kann der Boden innerhalb der effektiven Durchwurzelungstiefe maximal speichern, ohne das Sickerwasser auftritt, bzw. wann ist die Feldkapazität erreicht? Die Feldkapazität ist ein Maß für die Wassermenge, die ein Boden gegen die Schwerkraft zu halten vermag (AG BODEN 2005). Im

Idealfall wird dieser Wert direkt im Feld bestimmt, allerdings ist diese Messung sehr aufwendig. Die Bodenkundliche Kartieranleitung hat daher festgelegt, dass die Feldkapazität bei einer Wasserspannung von pF 1,8 (60 hPa) erreicht ist (AG BODEN 2005). Je nach Bodenart bzw. Feldbodenbedingungen führt diese Methode jedoch leicht zu Über- oder Unterschätzungen der Feldkapazität. Daher wird auch eine andere Methode geprüft. RENGER et al. (2009) orientieren sich an dem sogenannten Feuchtigkeitsäquivalent (FÄ), bodenarten-abhängigen pF-Werten, die anhand von Wassergehaltsmessungen im Gelände zu Beginn der Vegetationsperiode bestimmt wurden. Für den Boden S5-8 liegt das Feuchtigkeitsäquivalent bei 2,1. In Tabelle 3b sind die Wassergehalte der Bodenhorizonte bei unterschiedlichen pF-Stufen zwischen 1,8 und 4,2 (dem permanenten Welkepunkt PWP) dargestellt. Die Werte wurden an im Feld genommenen Stechzylindern ermittelt und um den Steinanteil korrigiert. Der pF-Wert beim Feuchtigkeitsäquivalent von 2,1 wurde linear interpoliert. Die Wassergehalte werden für die effektive Durchwurzelungstiefe aufsummiert (FK_{We}). In Tabelle 4 sind die Mittelwerte der Feldkapazität im effektiven Wurzelraum aller Böden der sechs Parzellen bei pF 1,8, pF 2,0, pF 2,1 (dem Feuchtigkeitsäquivalent) und pF 4,2 (PWP) aufgeführt.

Tab. 4: Bodenphysikalische Kennwerte – Mittelwert aller sechs Böden

	We	FK_{We} pF 1,8	FK_{We} pF 2,0	FK_{We} FÄ	FK_{We} PWP
	[dm]	[mm] bzw. [l/m²]			
Mittelwert	**8,1**	**154**	129	123	**22**
Min	7,5	129	107	102	13
Max	9,0	165	139	134	39

Tiefe	Mittelwert TRD
[cm]	[g/cm³]
0-30	1,57
30-60	1,62
60-90	1,69

Die sechs untersuchten Böden unterscheiden sich nur wenig voneinander. Daher werden zur Berechnung der Sickerwassermengen die Mittelwerte über alle sechs Böden verwendet.

Aus den Trockenmassen der im Frühjahr 2014 bis 2016 gezogenen Nmin-Proben können mit Hilfe der auf jeweils 30 cm umgerechneten Trockenrohdichten (Tab. 4) der untersuchten Böden die Wassergehalte in Volumenprozent berechnet werden (Tab. 5).

Tab. 5: Wassergehalte [mm] bzw. [l/m²] der Frühjahrs-Nmin-Proben 2014 bis 2016

Jahr	Frucht	konv oder gws	Nmin-Probe-nahmedatum	Vari-ante	Trocken-masse 0-30 cm	Trocken-masse 30-60 cm	Trocken-masse 60-90 cm	Wasserge-halt [mm] 0-81 cm
2014	Kartoffel	konv	07.03.2014	5	91,5	91,7	89,7	128
		gws	07.03.2014	5	91,5	91,7	89,7	128
2015	Winter-roggen	konv	20.02.2015	1	88,8	90,3	90,1	151
				3	89	90,8	89	151
				4	88,6	90,6	89,4	153
				5	89	91,8	91,2	136
	Roggen mit Untersaat	gws	20.02.2015	4	90,1	91,4	91,1	132
				5	90,6	92,3	91,5	122
2016	Schwarz-brache, Hauptfrucht Mais	konv	23.03.2016	1	90,7	91,7	91,1	127
				3	90,6	91,7	91,1	127
				4	91,3	92,0	91,7	119
				5	91,9	92,7	93,0	106
	Gras, Hauptfrucht Mais	gws	23.03.2016	1	91,9	92,5	91,9	112
				3	91,4	91,9	90,7	123
				4	91,9	92,3	92,2	112
				5	92,1	92,9	92,4	107

Die Ergebnisse in Tabelle 5 zeigen, dass die Böden im Frühjahr Wassergehalte aufweisen, die insbesondere im Frühjahr 2015 nah an der FK_{We} bei pF 1,8 von 154 l/m² liegen. Daher wird für das Wasserhaushaltsmodel die FK_{We} bei pF 1,8 herangezogen. Da die Nmin-Werte über alle 4 Parzellen einer Variante genommen werden, ist die Vergleichbarkeit mit den Saug-sondenparzellen eingeschränkt. Insbesondere da im östlichen Teil der Versuchsfläche der unterlagernde Geschiebelehm fehlt, der Oberboden ist etwas sandiger. Dies würde den Wassergehalt der Nmin-Proben im Frühjahr verringern. Da die Werte teilweise dennoch bis zu 153 l/m² erreichen, spricht das für die FK_{We} bei pF 1,8. Zurzeit steht keine bessere Methode zur Überprüfung der FK_{We} zur Verfügung. Die Ostfalia Hochschule Suderburg betreibt seit kurzem eine Lysimeteranlage neben dem Feldversuch. Möglicherweise können diese Daten in Zukunft zur Validierung hergezogen werden.

Die Sicherwassermenge ist großen jährlichen Schwankungen unterworfen. Mit Hilfe des Programm MeMaS Lite des LBEG Kartenservers lässt sich eine mittlere jährliche Sicker-wasserrate abschätzen (LBEGb 2016). Die Grundlage hierfür bilden die Bodenübersichtskarte 1:50 000, die potenzielle Verdunstung (FAO-Grasreferenzverdunstung) und mittlere Klimadaten des Zeitraums 1961-1990. Die berechnete mittlere Sickerwassermenge beträgt 246 mm pro Jahr. Bei einer Feldkapazität (FK) in der effektiven Durchwurzelungstiefe von 154 mm ergibt sich eine mittlere Austauschhäufigkeit (Sickerwasserrate geteilt durch die Feldkapazität im effektiven Wurzelraum, kurz: Ah) von 1,6. Diese Zahl gibt an, wie oft das Wasser im effektiven Wurzelraum im Jahr durch das zugeführte Niederschlagswasser

ausgetauscht wird. Die Nitratauswaschungsgefährdung am Standort ist noch als hoch (1 bis 1,5 wäre mittel) einzustufen (MÜLLER & WALDECK 2011).

3 Auswaschungsperiode 2014/2015 und 2015/2016

3.1 Witterungsverlauf

Die Landwirtschaftskammer Niedersachsen betreibt an der Versuchsstation Hamerstorf eine Wetterstation. Es werden die Lufttemperatur in 2 m Höhe und der Niederschlag erfasst. In der Auswaschungsperiode 2014/2015 fielen vom 01.07.2014 bis 30.06.2015 insgesamt 614 mm Niederschlag, in der Auswaschungsperiode 2015/2016 betrugen die Niederschläge 868 mm (Tab. 6). Die Beregnungsmengen sind in Tabelle 6 nicht berücksichtigt.

Tab. 6: Unkorrigierte Witterungsdaten der Wetterstation Hamerstorf von Juli 2014 bis Juni 2015 und von Juli 2015 bis Juni 2016 (ohne Beregnung)

6a)

Monat	**Temperatur**	**Niederschlag**			**ETp$_{Wendling}$**	**KWB**
	Luft (2 m)	Sum-me	langjähriges Mittel*	% des langj. Mittels	potenzielle Verdunstung	klimatische Wasserbilanz
	[°C]	[mm]	[mm]	[%]	[mm	[mm]
Juli 2014	20,2	109,0	64,8	168	107,5	1,5
August	16,3	40,8	65,6	62	80,6	-39,8
September	15,3	29,2	55,6	53	56,3	-27,1
Oktober	12,3	49,7	49,6	100	31,0	18,7
November	6,8	9,4	66,4	14	16,8	-7,4
Dezember	3,0	98,5	70,4	140	9,0	89,5
Januar	2,9	89,2	64,7	138	11,3	77,9
Februar	1,7	25,7	43,3	59	18,4	7,3
März	5,6	73,7	55,0	134	43,2	30,5
April	8,5	31,6	54,3	58	78,5	-46,9
Mai	12,0	33,0	60,6	54	88,8	-55,8
Juni 2015	15,6	24,2	73,0	33	108,0	-83,8
Juli-April	**∅ 9,3**	**Σ 557**	**Σ 590**	**94**	**Σ 453**	**Σ 104**
Juli-Juni	∅ 10,1	Σ 614	Σ 723	85	Σ 649	Σ -35

* (Mittelwerte 1961 - 1990 der Station Suderburg, DWD 2016)

6b)

Monat	**Temperatur**	**Niederschlag**			**ETp$_{Wendling}$**	**KWB**
	Luft (2 m)	Sum-me	langjähriges Mittel*	% des langj. Mittels	potenzielle Verdunstung	klimatische Wasserbilanz
	[°C]	[mm]	[mm]	[%]	[mm]	[mm]
Juli 2015	18,1	107,5	64,8	166	108,1	-0,6
August	19,0	136,5	65,6	208	94,6	41,9
September	12,9	54,5	55,6	98	53,9	0,6
Oktober	8,3	64,0	49,6	129	29,9	34,1
November	7,8	102,8	66,4	155	16,4	86,4
Dezember	7,9	48,6	70,4	69	12,6	36,0
Januar	0,6	46,4	64,7	72	10,9	35,5
Februar	3,4	72,8	43,3	168	19,5	53,3
März	4,6	29,1	55,0	53	36,9	-7,8
April	8,1	39,3	54,3	72	68,4	-29,1
Mai	14,8	50,3	60,6	83	107,8	-57,5
Juni 2016	17,8	116,2	73,0	159	113,6	2,6
Juli-April	**∅ 9,1**	**Σ 702**	**Σ 590**	**119**	**Σ 451**	**Σ 250**
Juli-Juni	∅ 10,3	Σ 868	Σ 723	120	Σ 672	Σ 196

* (Mittelwerte 1961 - 1990 der Station Suderburg, DWD 2016)

Für die Beurteilung der Nitratkonzentrationen ist besonders der Zeitraum vom 01.07. bis 30.04. eines Jahres (Winterhalbjahr) relevant. Im Winterhalbjahr 2014/2015 wurden 557 mm Niederschlag ermittelt (Tab. 6a), im Winterhalbjahr 2015/2016 702 mm (Tab. 6b). Diese Mengen liegen im Winterhalbjahr 2014/2015 geringfügig unterhalb des gemessenen langjährigen Mittels (1961 - 1990) von 590 mm für diesen Zeitraum (DWD-Station Suderburg, DWD 2008), im Winterhalbjahr 2015/2016 oberhalb des langjährigen Mittels. Der November 2014 war mit gerade mal 9,4 mm besonders niederschlagsarm (14 % des langjährigen Durchschnitts), der August 2015 mit 137 mm und 208 % des langjährigen Mittels besonders niederschlagsreich. Die mittlere Temperatur in beiden Winterhalbjahren liegt mit 9,3 °C und 9,1 °C deutlich oberhalb des langjährigen Mittels von 7,4 °C für Juli bis April der Jahre 1961 bis 1990 der Station Uelzen (DWD 2016).

Die potenzielle Evapotranspiration (ETp) ist ebenfalls in Tabelle 6 aufgeführt und gibt die Verdunstung bei unbegrenzt verfügbarem Bodenwasser unter Grünland und den gegebenen meteorologischen Bedingungen an. Sie wird nach WENDLING et al. (1991) berechnet und ist eine wichtige Eingangsgröße für die Wasserhaushaltsberechnung:

$$ETp = \frac{(R_G + 93 \times f_k)(T + 22)}{150 \times (T + 123)}$$

f_k: Küstenfaktor, hier 1

T: Lufttemperatur, Tagesmittelwert [°C]

R_G: Globalstrahlung, Tagessumme [J/cm²]

Zur Berechnung der ETp werden das Tagesmittel der Lufttemperatur und die Tagessumme der Globalstrahlung benötigt. Letzteres wird vom 01.03.2014 bis zum 22.03.2016 von den LBEG-Station Barum (ca. 17 km nord-nordöstlich von Hamerstorf) übernommen. Ab dem 22.03.2016 stellt die Ostfalia Hochschule freundlicherweise die Globalstrahlungsdaten ihrer direkt neben dem Feldversuch gelegenen Kompaktwetterstation zur Verfügung.

Die klimatische Wasserbilanz (KWB) wird aus dem Niederschlag abzüglich der potenziellen Verdunstung ermittelt. Fällt sie negativ aus, ist in diesen Monaten voraussichtlich kein oder nur wenig Sickerwasser gebildet worden.

3.2 Wasserhaushaltsberechnungen

3.2.1 Wasserhaushaltsberechnungen nach DVWK (1996)

Die Wasserhaushaltsberechnungen für das Winterhalbjahr 2014/2015 und 2015/2016 werden mit einem DVWK-Modell (1996) nach WENDLING et al. (1984) und WENDLING et al. (1991) durchgeführt. Als Startwert wird der Bodenwasservorrat (W_i) in der effektiven Durchwurzelungstiefe benötigt. Es wird angenommen, dass der Bodenwassergehalt am 01.03.2014 Feldkapazität erreicht hatte (alternativ kann der Startwert aus den Trockenmassegehalten errechnet werden, die im Rahmen der Nmin-Beprobungen ermittelt wurden). Im Normalfall wird die Wasserhaushaltsberechnung kontinuierlich über mehrere Jahre fortgeführt, so dass ein Startwert nur einmalig zu Beginn benötigt wird. Zum Startwert W_i wird am Morgen des (i+1)-ten Tages der Niederschlag P_i addiert und die aktuellen/tatsächlichen Verdunstungen (ETa_i), sowie die Sickerwassermenge (SW_i) abgezogen (WENDLING et al. 1984):

$$W_{i+1} = W_i + P_i - ETa_i - SW_i + KR$$

Randbedingungen:

$SW_i = 0$ bei $W_{i+1} \leq FK_{We} \times k_0$

$SW_i = W_{i+1} - FK_{We} \times k_0$ bei $W_{i+1} \geq FK_{We} \times k_0$

W_{i+1}: Bodenwasservorrat in der effektiven Durchwurzelungstiefe am Tag i+1 [mm]

P_i: Niederschlag nach Korrektur systematischer Messfehler am Tag i [mm/d]
ETa_i: aktuelle Verdunstungshöhe am Tag i [mm]
SW_i: Sickerwassermenge am Tag i [mm]
KR: kapillare Aufstiegsrate aus dem Grundwasser (in Hamerstorf nicht gegeben)
k_0: Faktor möglicher Übersättigung über Feldkapazität; für Sand gilt $k_0 = 1$, schwere Böden k_0 maximal 1,2 (hier wird $k_0 = 1$ angenommen)

Übersteigt der Wassergehalt W_{i+1} des Bodens die Feldkapazität in der effektiven Durchwurzelungstiefe (FK_{We}), tritt Sickerwasser auf.

Zur Berechnung der korrigierten Niederschläge (P_i) werden die in Tabelle 6 aufgeführten gemessenen Niederschläge zum Ausgleich systematischer Messfehler (Verdunstung, Überwehung des Trichters etc.) mit Korrekturfaktoren nach RICHTER (1995) verrechnet. Die korrigierten Niederschläge sind daher höher als die gemessenen Niederschläge. Zusätzlich wird die beregnete Wassermenge (Tab. 2) addiert. Die aktuelle/tatsächliche Verdunstung (ETa) berücksichtigt den realen Wasservorrat im Boden und ist daher in der Regel niedriger als die potenzielle Verdunstung (ETp). Die ETa einer bewachsenen Fläche an aufeinanderfolgenden Einzeltagen ergibt sich nach WENDLING et al. (1984) aus:

$$ETa_i = P_i - (P_i - ETp_i) \times R_i$$

ETp_i: ETp x kc (Bestandskoeffizienten) in [mm/d]
R_i: Reduktionsfunktion

Dabei ist R_i:

$$R_i = \frac{1 - \frac{PWP_{We}}{W_i}}{1 - \frac{PWP_{We}}{FK_{We}}} + 0{,}1 \times \frac{\overline{ETp}}{ETp_i}$$

Randbedingungen für R_i:
$R_i = 1$ bei $P_i > ETp_i$
$R_i = 1$ bei $R_i > 1{,}0$
$R_i = 0$ bei $R_i < 0{,}0$

FK_{We}: Feldkapazität in der effektiven Durchwurzelungstiefe [mm]
PWP_{We}: Permanenter Welkepunkt in der effektiven Durchwurzelungstiefe [mm]
$\overline{ETp}$: langjähriges Mittel der ETp in der Vegetationsperiode [mm/d]
W_i: Bodenwasservorrat in der effektiven Durchwurzelungstiefe zu Beginn des Tages i [mm]

Die Feldkapazität FK_{We} und der permanente Welkepunkt in der effektiven Durchwurzelungstiefe PWP_{We} werden Tabelle 4 entnommen. Das langjährige Mittel der ETp in der

Vegetationsperiode (April bis September) wird mit Hilfe der Wetterdaten der LBEG-Station Barum ermittelt, da für Hamerstorf noch keine ausreichenden Daten vorliegen und beträgt 2,71 mm/d im Mittel der Jahre 2001 bis 2015. Der Bestandskoeffizient kc ist notwendig, um die potenzielle Evapotranspiration (ETp) von Grünland in Werte für andere Feldfrüchte umzurechnen. Ein kc-Wert unter 1 bedeutet, dass der Bestand den Boden nicht vollständig bedeckt. Ein voll entwickelter Bestand kann einen kc-Wert bis ca. 1,5 aufweisen (DVWK 1996). Die hier verwendeten kc-Werte sind Monatsmittelwerte und gehen auf DOMMERMUTH & TRAMPF (1991), DVWK (1996) und auch auf Erfahrungswerte aus Beregnungsversuchen zurück (Tab. 7). Sie können sich innerhalb eines Monats ändern, sofern eine neue Fruchtart eingesät oder geerntet wird. Bei extremen Wetterlagen, z.B. sehr warmes oder kaltes Frühjahr ist eine manuelle Anpassung der kc-Werte erforderlich. Auf der Variante 1 entwickeln sich die Pflanzen durch den Stickstoffmangel deutlich schlechter, das führt zu einer geringeren Transpiration. Um das im Wasserhaushalt abbilden zu können, wird der relative Ertrag der Variante 1 zur Variante 4 ermittelt und der kc-Wert jeweils um diesen Prozentsatz angepasst (die Bezugsgröße ist Schwarzbrache mit einem kc von 0,65).

Tab. 7: Ausgewählte kc-Werte zur Anpassung der potenziellen Verdunstung ETp an die aktuelle Verdunstung ETa

	Monat											
Fruchtart	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Mais	0,65	0,65	0,60	0,45	0,60	0,90	1,15	1,05	1,05	0,80	0,65	0,65
Ackergras (inkl. Mischungen)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Senf	0,65	0,65	0,85	1,00	1,35	1,35	1,10	0,60	0,85	1,00	1,00	0,65
Senf, im Winter abgefroren	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,60	0,85	1,00	1,00	0,65
Phacelia	0,65	0,65	0,85	1,00	1,35	1,35	1,10	0,60	0,85	0,90	0,65	0,65
Ölrettich (Zwischenfrucht)	0,65	0,65	0,85	1,00	1,35	1,35	1,10	0,60	0,85	1,00	1,00	0,65
Ölrettich (Zwischenfr.), abgefroren	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,60	0,85	1,00	1,00	0,65
Wintergerste	0,65	0,65	0,85	0,95	1,30	1,35	1,25	0,60	0,65	0,90	0,65	0,65
Grünbrache	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Gras (Grünland)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Sommergerste	0,65	0,65	0,80	0,90	1,20	1,35	1,20	0,60	0,65	0,60	0,65	0,65
Winterroggen	0,65	0,65	0,85	0,90	1,20	1,30	1,25	0,65	0,65	0,70	0,65	0,65
Sommerroggen	0,65	0,65	0,80	0,90	1,20	1,35	1,20	0,60	0,65	0,60	0,65	0,65
Kartoffel Reifegruppe I	0,65	0,65	0,65	0,60	0,90	1,40	1,10	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Kartoffel Reifegruppe II	0,65	0,65	0,65	0,60	0,80	1,30	1,30	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Kartoffel Reifegruppe III	0,65	0,65	0,65	0,60	0,70	1,20	1,40	0,80	0,65	0,65	0,65	0,65
Kartoffel Reifegruppe IV	0,65	0,65	0,65	0,60	0,70	1,10	1,40	1,20	0,80	0,65	0,65	0,65
Schwarzbrache	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65

Die täglichen Sickerwasserraten werden für die Auswaschungsperiode bzw. das Winterhalbjahr aufsummiert und bilden die jährliche Sickerwasserrate (SR) des Standortes (Tab. 8). Ein Winterhalbjahr beginnt am 1. Juni und endet am 30. April des Folgejahres, da

danach die Sickerwasserkonzentrationen nicht mehr durch die Vorfrucht, sondern bereits durch Düngung und Mineralisation der neuen Frucht beeinflusst sein können. Zur Berechnung von mehrjährigen Bilanzen werden zudem Sickerwassermengen, Nitratkonzentrationen und Frachten der gesamten Auswaschungsperiode vom 1. Juli bis 30. Juni des Folgejahres berücksichtigt.

Tab. 8: Korrigierter monatlicher Niederschlag (P) inklusive Beregnung, aktuelle Verdunstung (ETa), mittlerer Bodenwasservorrat (W) und Sickerwasserrate (SR) in der Auswaschungsperiode 2014/2015 und 2015/2016

Monat	**P**	**ETa** gws Var. 4-5	**ETa** konv Var. 1	**ETa** konv Var. 3-5	**W** gws Var. 4-5	**W** konv. Var. 1	**W** konv. Var. 3-5	**SR** gws Var. 4-5	**SR** konv. Var. 1	**SR** konv. Var. 3-5
	[mm] bzw. [l/m²]									
Juli 2014	120,4	139,5	128,6	139,5	132,5	135,3	132,5	30,0	34,6	30,0
August	45,0	52,4	52,4	52,4	111,3	117,9	111,3	0,0	0,0	0,0
September	32,6	36,6	36,6	36,6	110,4	117,0	110,4	0,0	0,0	0,0
Oktober	56,5	21,2	20,7	21,2	122,2	129,0	122,2	0,0	0,0	0,0
November	10,9	10,9	10,9	10,9	137,3	144,5	137,3	0,0	0,0	0,0
Dezember	117,1	5,9	5,9	5,9	152,3	155,1	152,3	96,3	103,4	96,3
Januar	109,5	7,4	7,4	7,4	156,9	156,9	156,9	100,9	100,9	100,9
Februar	31,8	11,9	11,9	11,9	154,0	154,0	154,0	21,8	21,8	21,8
März	88,4	36,7	32,2	36,7	146,9	148,6	146,9	32,4	36,8	32,4
April	36,7	70,6	60,4	70,6	130,3	134,6	130,3	25,8	26,3	25,8
Mai	70,6	103,8	81,0	103,8	96,2	117,6	96,2	0,0	0,0	0,0
Juni 2015	92,9	115,5	103,1	122,1	69,1	111,7	68,3	0,0	0,0	0,0
Juli-April	**Σ 649**	**Σ 393**	**Σ 367**	**Σ 393**	**∅ 135**	**∅ 139**	**∅ 135**	**Σ 307**	**Σ 324**	**Σ 307**
Juli-Juni	Σ 812	Σ 612	Σ 551	Σ 619	∅ 127	∅ 135	∅ 126	Σ 307	Σ 324	Σ 307

Monat	**P**	**ETa** gws Var. 4-5	**ETa** konv Var. 1	**ETa** konv Var. 3-5	**W** gws Var. 4-5	**W** konv. Var. 1	**W** konv. Var. 3-5	**SR** gws Var. 4-5	**SR** konv. Var. 1	**SR** konv. Var. 3-5
	[mm] bzw. [l/m²]									
Juli 2015	151,9	103,8	101,0	123,8	89,2	133,5	72,4	0,0	4,2	0,0
August	150,6	92,4	61,5	59,1	113,2	148,2	104,8	12,5	86,0	18,0
September	60,8	53,9	35,0	35,0	150,5	152,9	152,9	20,1	34,0	34,0
Oktober	72,7	29,9	19,5	19,5	145,5	151,0	151,0	35,0	48,5	48,5
November	119,5	16,4	10,6	10,6	154,0	155,4	155,4	82,0	90,8	90,8
Dezember	57,8	12,6	8,2	8,2	155,1	155,5	155,5	52,0	56,3	56,3
Januar	57,0	10,9	7,1	7,1	155,1	155,4	155,4	50,8	54,7	54,7
Februar	90,0	19,5	12,7	12,7	155,8	156,3	156,3	77,3	82,1	82,1
März	34,9	36,9	24,0	24,0	144,0	149,7	149,7	0,0	8,2	8,2
April	45,6	68,4	44,4	44,4	132,6	149,2	149,2	0,0	3,7	3,7
Mai	56,3	78,5	68,6	66,5	95,2	131,7	132,4	0,0	0,0	0,0
Juni 2016	128,2	102,2	90,9	102,2	120,2	139,3	135,1	0,0	27,2	27,8
Juli-April	**Σ 841**	**Σ 445**	**Σ 324**	**Σ 334**	**∅ 139**	**∅ 151**	**∅ 140**	**Σ 330**	**Σ 468**	**Σ 396**
Juli-Juni	Σ 1025	Σ 625	Σ 483	Σ 513	∅ 134	∅ 148	∅ 139	Σ 330	Σ 496	Σ 424

In den Abbildung 4 bis 9 sind die Werte aus Tabelle 8 grafisch dargestellt. Zusätzlich ist die Feldkapazität in der effektiven Durchwurzelungstiefe (FK_{We}) abgebildet.

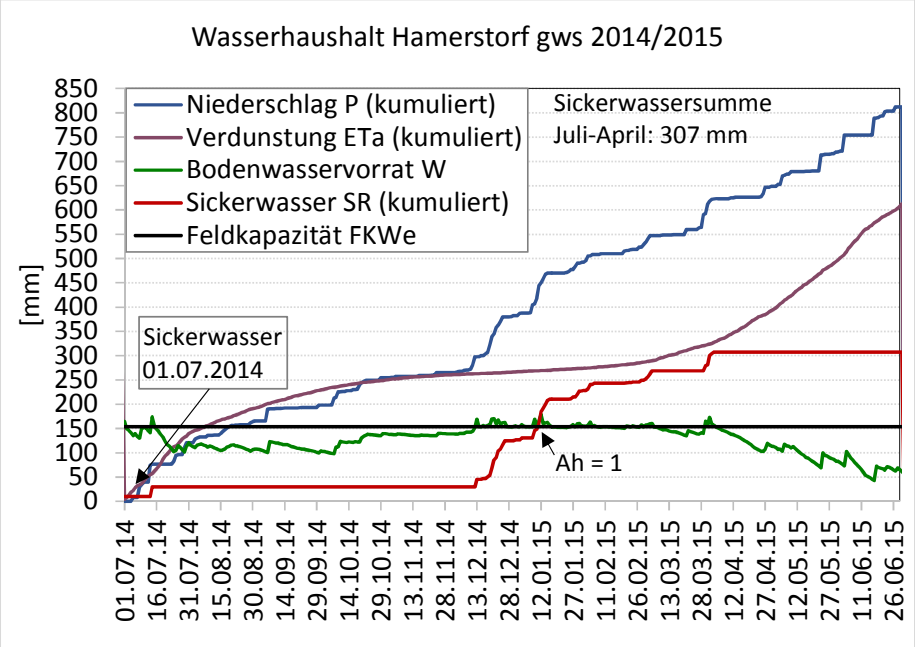

Abb. 4: Wasserhaushalt der grundwasserschutzorientiert bewirtschafteten Varianten 4 und 5 von Juli 2014 bis Juni 2015 (berechnet nach DVWK 1996) sowie Austauschhäufigkeit (Ah)

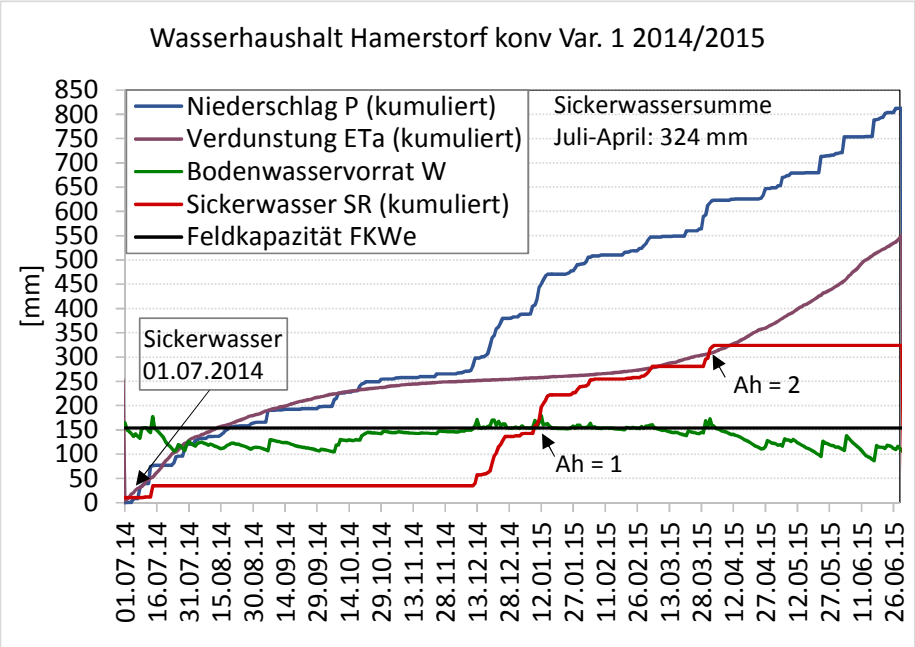

Abb. 5: Wasserhaushalt der konventionell bewirtschafteten Variante 1 von Juli 2014 bis Juni 2015 (berechnet nach DVWK 1996) sowie Austauschhäufigkeit (Ah)

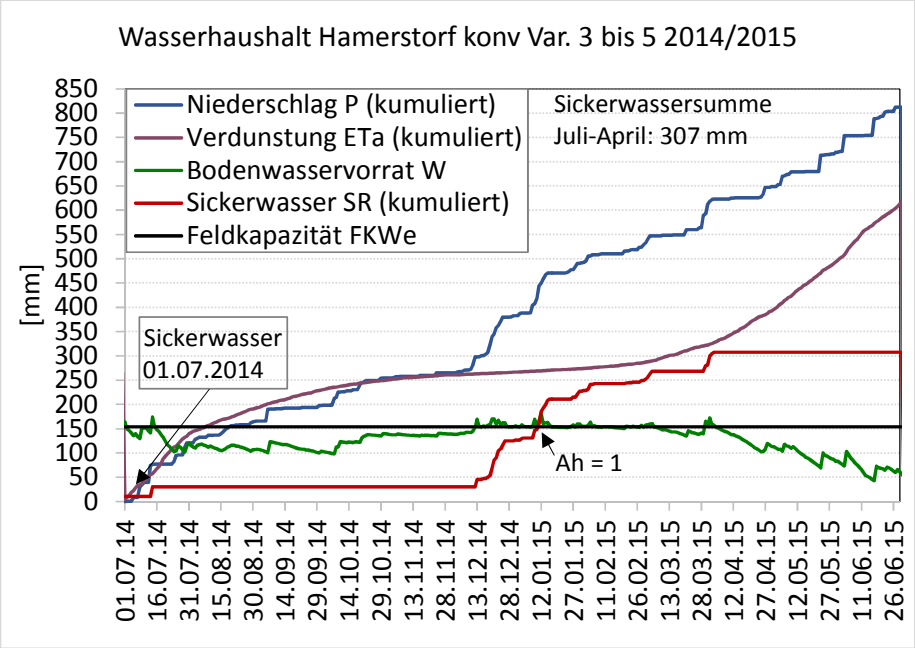

Abb. 6: Wasserhaushalt der konventionell bewirtschafteten Varianten 3, 4 und 5 von Juli 2014 bis Juni 2015 (berechnet nach DVWK 1996) sowie Austauschhäufigkeit (Ah)

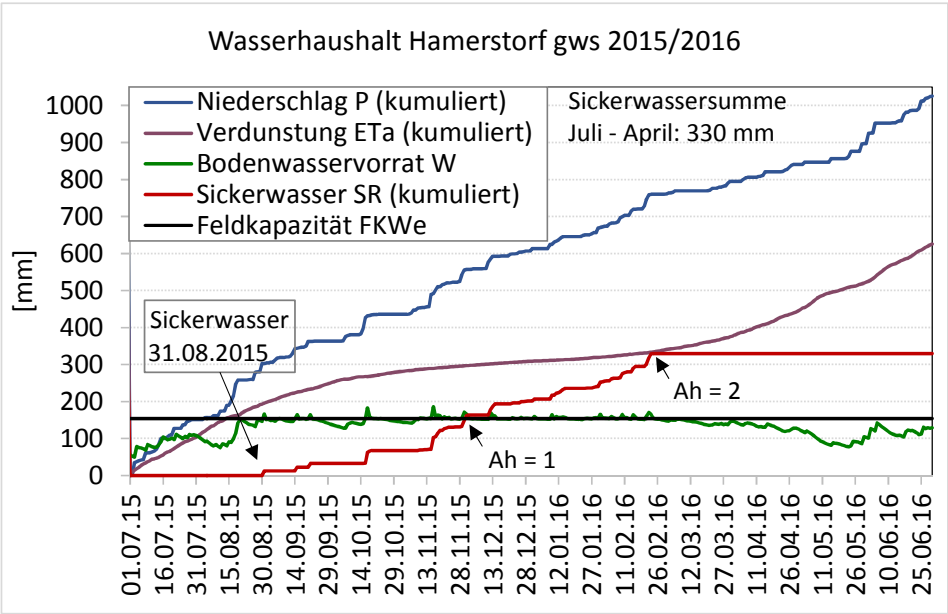

Abb. 7: Wasserhaushalt der grundwasserschutzorientiert bewirtschafteten Varianten 4 und 5 von Juli 2015 bis Juni 2016 (berechnet nach DVWK 1996) sowie Austauschhäufigkeit (Ah)

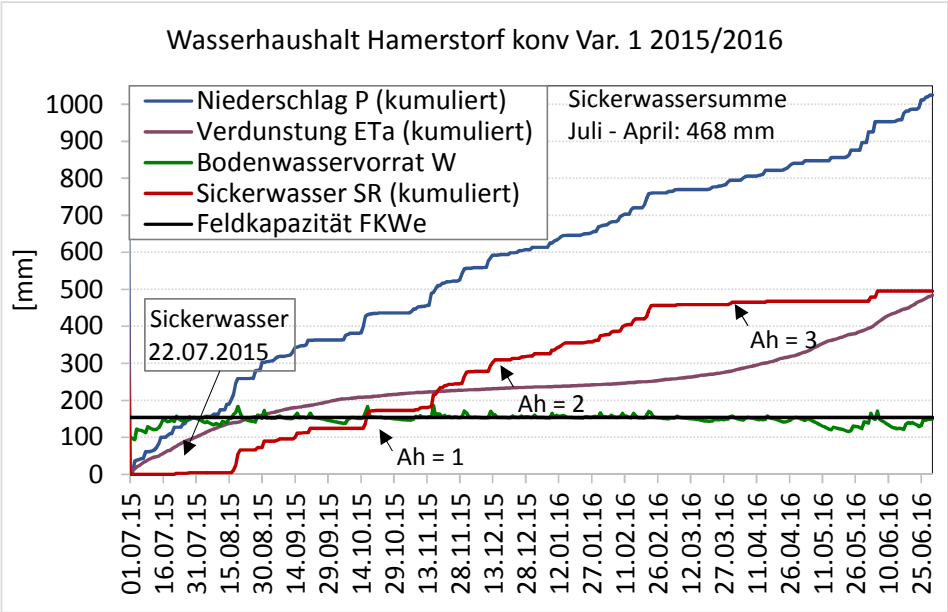

Abb. 8: Wasserhaushalt der konventionell bewirtschafteten Variante 1 von Juli 2015 bis Juni 2016 (berechnet nach DVWK 1996) sowie Austauschhäufigkeit (Ah)

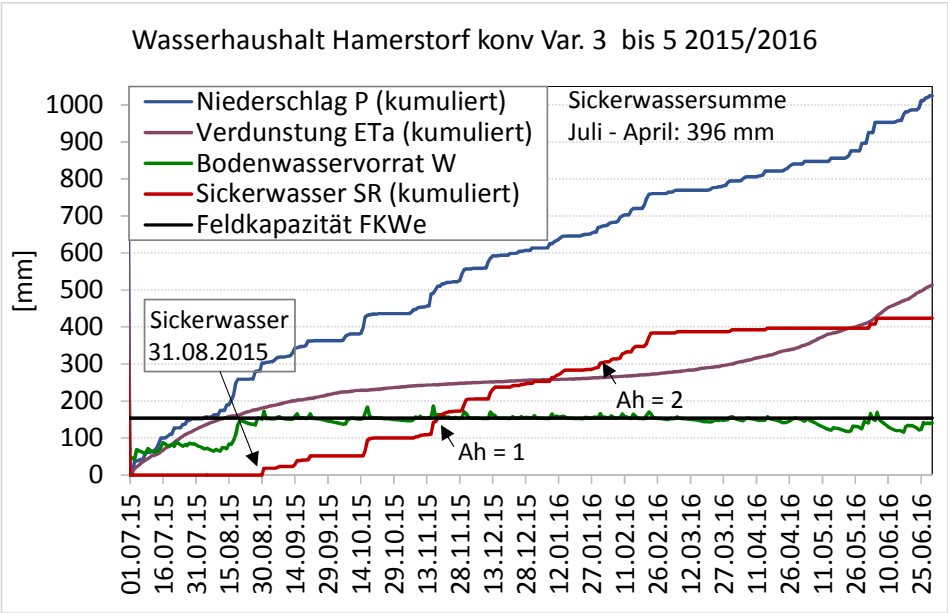

Abb. 9: Wasserhaushalt der konventionell bewirtschafteten Varianten 3, 4 und 5 von Juli 2015 bis Juni 2016 (berechnet nach DVWK 1996) sowie Austauschhäufigkeit (Ah)

Hohe Niederschläge gegen Ende Juni 2014 führen dazu, dass bereits zu Beginn des Winterhalbjahres 2014/2015 auf allen Varianten kurzfristig Sickerwasser gebildet wird. Die eigentliche winterliche Sickerwasserperiode setzt erst Mitte Dezember ein und ist Anfang April beendet. Da die Fruchtfolge bis zur Ernte des GPS-Winterroggens am 21.06.2015 auf allen Varianten sehr ähnlich ist, gibt es zwischen den grundwasserschutzorientiert bewirtschafteten Varianten und den konventionell bewirtschafteten Varianten 3 bis 5 bis zu

diesem Termin keine Unterschiede im Bodenwasservorrat oder der Sickerwasserrate von 307 mm. Die Variante 1 (konv) weist aufgrund des geringeren Bedeckungsgrades mit 324 mm eine etwas höhere Sickerwassermenge auf. Auch die Austauschhäufigkeiten (Ah) auf der Variante 1 ist durch den geringeren Bedeckungsgrad mit 2,10 etwas höher als auf den anderen Varianten mit 1,99.

Leider stehen zurzeit keine Lysimeterdaten zur Validierung des Wasserhaushalts zur Verfügung. Ein Vergleich mit dem Feldversuch Thülsfelde (Lysimeter zur Validierung vorhanden) zeigt, dass 307 mm Sickerwasser realistisch sind. Der Feldversuch Thülsfelde (Podsol aus schwach schluffigem bis schwach tonigem Sand) war im Winter 2014/2015 ebenfalls mit Winterroggen bestellt, die Hauptfrucht im Jahr 2014 war allerdings Mais. Es wurden 357 mm Sickerwasser ermittelt, bei um 83 mm höheren korrigierten Niederschlägen von 732 mm (FIER & SCHÄFER 2016).

Das Winterhalbjahr 2015/2016 ist mit 841 mm korrigiertem Niederschlag (30 mm Beregnung) deutlich feuchter als das Winterhalbjahr 2014/2015 mit 649 mm Niederschlag (0 mm Beregnung). Das spiegelt sich auch in der Sickerwassermenge wieder, die durchweg höher ist als im Winterhalbjahr 2014/2015. Die grundwasserschutzorientiert bewirtschafteten Varianten 4 und 5 sind im Winterhalbjahr 2015/2016 mit Gras bewachsen. Durch die höhere Evapotranspiration ist die Sickerwassermenge mit 330 mm deutlich niedriger als auf den konventionell bewirtschafteten Varianten mit 468 mm (Var. 1) und 396 mm (Var. 3 bis 5), die ab Mitte August 2015 den ganzen Winter über brach lagen. Das Wasser im effektiven Wurzelraum wird auf den grundwasserschutzorientiert bewirtschafteten Varianten von Juli 2015 bis Ende April 2016 2,1 mal durch das zugeführte Niederschlagswasser ausgetauscht. Auf der konventionell bewirtschafteten Variante 1 liegt die Austauschhäufigkeit bei 3,0 und auf den übrigen Varianten bei 2,6.

Der modellierte Wasserhaushalt bzw. die berechnete Sickerwassermenge eines Winterhalbjahres ist keine feststehende Größe. Im Versuchsverlauf kann es immer wieder zu einer Anpassung der Eingangsparameter kommen, um die reellen Sickwassermengen möglichst exakt zu modellieren. Daher können sich die hier errechneten Sickerwassermengen ändern, sollte es in einigen Jahren zu einer jahresübergreifenden Auswertung kommen.

3.3 Nitrat-N-Konzentrationen im Bodenwasser

3.3.1 Zeitlicher Verlauf der Nitrat-N-Konzentrationen

Die im Sickerwasser der Saugsonden gemessenen Nitrat-N-Konzentrationen (Nitrat-N bzw. NO_3-N = Menge an Stickstoff, die im Nitrat enthalten ist) aller Varianten sind in Abbildung 10 dargestellt.

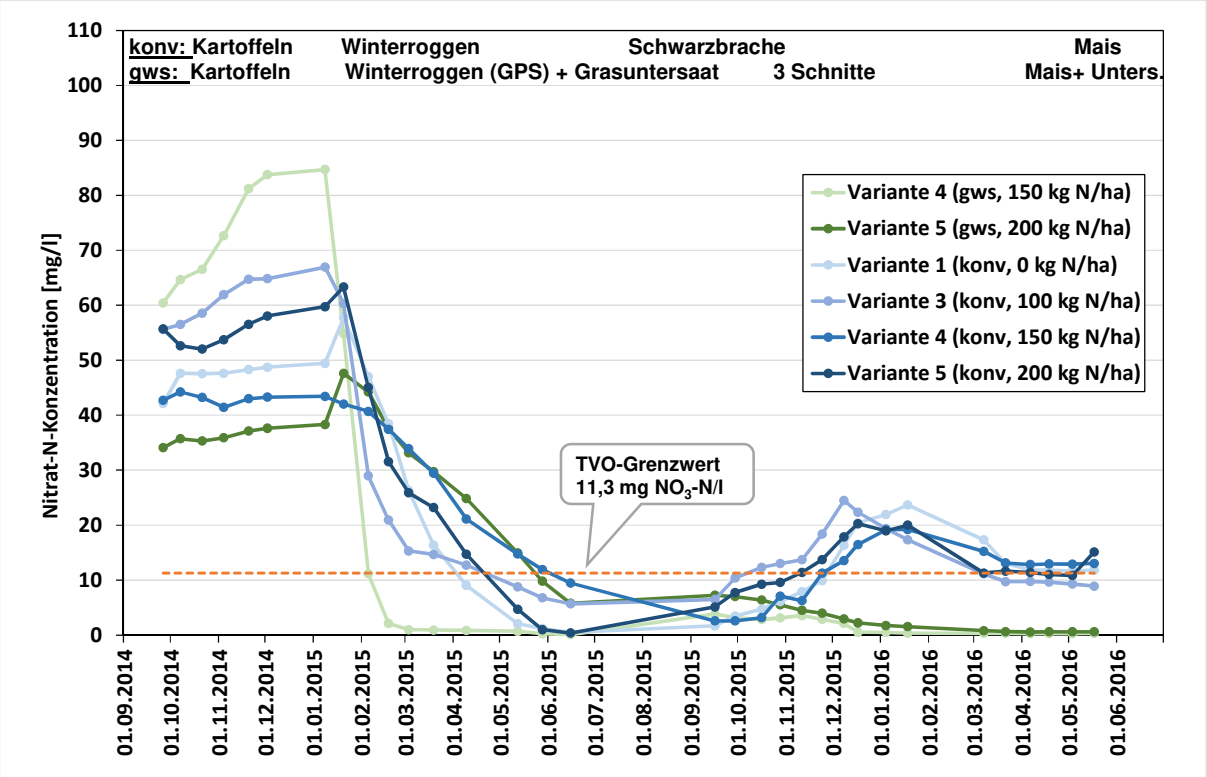

Abb. 10: Verlauf der Nitrat-N-Konzentrationen im Bodenwasser (Saugsonden) in 8 dm Tiefe von September 2014 bis Juni 2016

Die erste Sickerwasser-Probenahme am Standort Hamerstorf wird am 26.09.2014 durchgeführt. Die Kartoffeln sind 3 Tage zuvor geerntet worden. Bis Ende Januar 2015 steigen die Nitratkonzentrationen auf allen Varianten leicht an. Die Streuung zwischen den Kurven ist verhältnismäßig groß. Obwohl die Kartoffeln unterschiedlich gedüngt wurden, spiegeln sich die unterschiedlichen Düngeniveaus nicht in den Konzentrationen wieder. Der Grenzwert der Trinkwasserverordnung (TVO) von 11,3 mg NO_3-N/l (entspricht 50 mg NO_3/l) (TRINKWV 2001) wird um ein Mehrfaches überschritten (der Grenzwert findet bei Sickerwasser keine Anwendung und dient hier zur Orientierung). Anfang Februar 2015 gehen die Konzentrationen auf allen Varianten bedingt durch die Stickstoffauswaschung deutlich zurück. Ab Oktober 2015 sind zum ersten Mal deutliche Unterschiede zwischen

konventioneller und grundwasserschutzorientierter Bewirtschaftung zu erkennen. Auf den grundwasserschutzorientiert bewirtschafteten Varianten gehen die Konzentrationen kontinuierlich zurück und liegen ab Februar 2016 unter 1 mg NO_3-N/l. Die konventionell bewirtschafteten Varianten bewegen sich von Dezember 2015 bis Februar 2016 oberhalb des Grenzwertes der Trinkwasserverordnung.

3.3.2 Mittlere Nitrat-N-Konzentrationen im Bodenwasser

Die Sickerwassersammelflaschen der Saugsondenanlage werden in ca. 14-tägigem Rhythmus entleert und analysiert. Da an den Saugsonden permanent Unterdruck anliegt, ist das in den zwei Wochen gesammelte Sickerwasser häufig eine Mischprobe über den gesamten Zeitraum. Daher kann zwischen zwei Messterminen nicht einfach linear interpoliert werden. Besonders wenn die Nitratkonzentrationen sprunghaft wieder zurückgehen, würde eine lineare Interpolation zu einer Überschätzung der Nitratkonzentrationen führen. Daher wird ein stufenweises Interpolationsverfahren angewendet. Die am Probenahmetermin gemessene Nitratkonzentration wird an allen Tagen der zurückliegenden zwei Wochen angenommen. Nur wenn das Probenahmeintervall zwei Wochen deutlich überschreitet und die Anlage aufgrund von Dauerfrost oder Trockenheit abgestellt werden musste, wird im verbleibenden Zeitraum linear interpoliert. Treten Datenlücken von mehr als vier Wochen insbesondere zu Beginn der Sickerwasserbildung auf, wird fallbezogen entschieden, ob für diesen Zeitraum eine Auswertung der Frachten vorgenommen werden kann. Abbildung 11 stellt das gestufte Interpolationsverfahren beispielhaft grafisch dar.

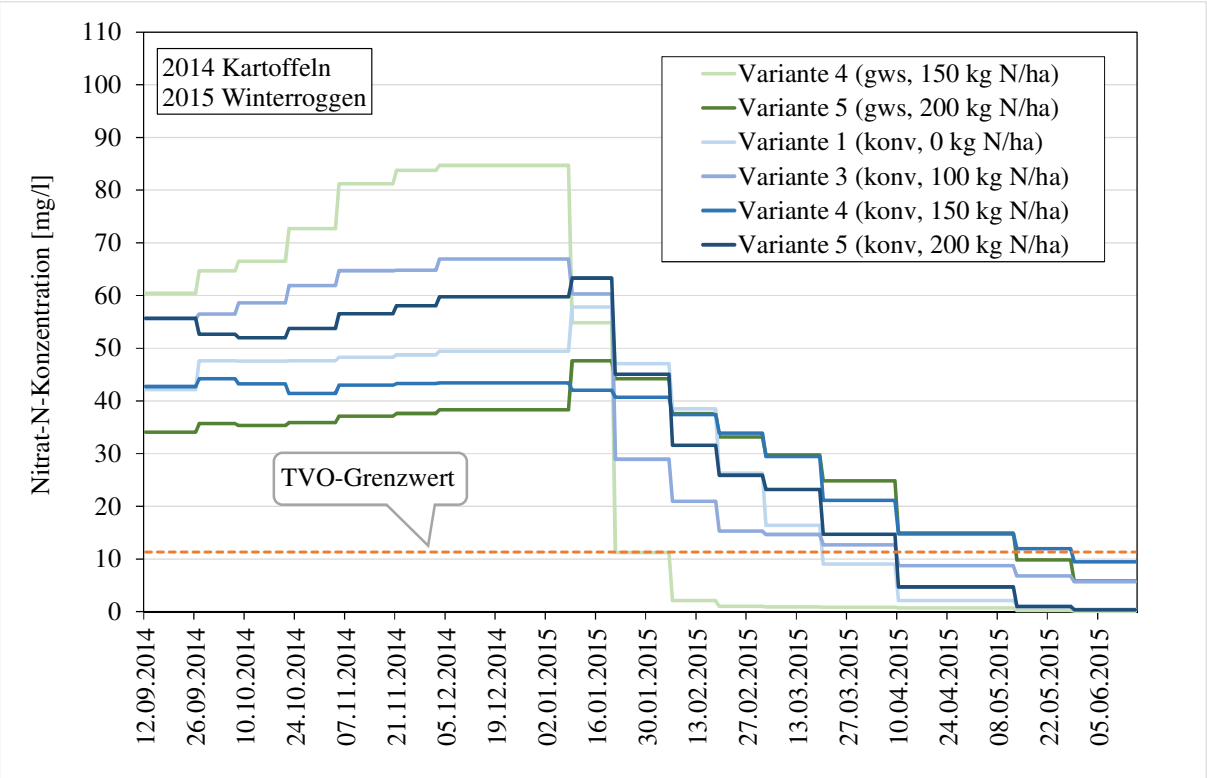

Abb. 11: Verlauf der Nitrat-N-Konzentrationen im Bodenwasser (Saugsonden) in der Auswaschungsperiode 2014/2015, stufenweise interpoliert

Die stufenweise interpolierten Nitrat-N-Konzentrationen werden zur Berechnung der Nitrat-N-Frachten und zur Berechnung der mittleren Nitrat-N-Konzentrationen herangezogen.

In Tabelle 9 sind die mittleren Nitrat-N-Konzentrationen im Bodenwasser der Saugsonden für das Winterhalbjahr 2014/2015 und 2015/2016 dargestellt. Damit die Mittelwerte unabhängig von der Verteilung der gemessenen Nitratkonzentrationen sind, werden sie nicht direkt aus den interpolierten Tageswerten gebildet. Stattdessen wird die mittlere Nitrat-N-Konzentration aus der innerhalb eines Winterhalbjahres gebildeten Fracht (01.07. bis 30.04. des Folgejahres) dividiert durch die in diesem Zeitraum gebildete Sickerwassermenge errechnet:

NO_3-N [mg/l] = NO_3-N-Fracht [kg/ha] / (0,01 × Sickerwasser [l/m²])

Tab. 9: Mittlere Nitrat-N-Konzentrationen [mg/l] im Bodenwasser im Winterhalbjahr 2014/2015 (01.07.2014 bis 30.04.2015) und im Winterhalbjahr 2015/2016 (01.07.2015 bis 30.04.2016)

	mittlere Nitrat-N-Konzentration [mg/l]	
grundwasserschutzorientiert	2014/2015	2015/2016
Var. 4: 160 bzw. 150 kg N/ha	43	2
Var. 5: 200 kg N/ha	35	3
konventionell	2014/2015	2015/2016
Var. 1: ohne N	38	11
Var. 3: 120 bzw. 100 kg N/ha	43	15
Var. 4: 160 bzw. 150 kg N/ha	35	12
Var. 5: 200 kg N/ha	45	13

Weder im Winterhalbjahr 2014/2015 noch im Winterhalbjahr 2015/2016 ist ein eindeutiger Anstieg der Konzentrationen mit steigender Düngungsintensität festzustellen. Die mittleren Nitrat-N-Konzentrationen sind 2015/2016 jedoch insgesamt deutlich niedriger. Das hängt mit großer Wahrscheinlichkeit mit der Art der Feldfrucht zusammen. Vom ehemaligen Feldversuch Hohenzethen ist bekannt, dass im Herbst nach Winterroggen in der Regel weniger Nitrat ausgewaschen wird als nach Kartoffeln. Die grundwasserschutzorientiert bewirtschaftete Varianten 4 und 5 weisen 2015/2016 mit 2 mg NO_3-N/l und 3 mg NO_3-N/l wesentlich niedrigere Konzentrationen als die konventionell bewirtschafteten Varianten mit im Minimum 11 mg NO_3-N/l (Var. 1) auf. Der Grenzwert von 11,3 mg NO_3-N/l der Trinkwasserverordnung (TRINKWV 2001) wird auf den gws-Varianten deutlich unterschritten. Und das, obwohl die Grasuntersaat bis März 2016 zusätzlich 195 kg mineralischen Stickstoff erhalten hat (davon 120 kg N/ha im Sommer 2015). Das Gras hat den gedüngten und im Boden freigesetzten Stickstoff offensichtlich fast vollständig aufgenommen.

3.4 Nitrat-N-Frachten und N-Bilanzen

Zur Ermittlung der Nitrat-N-Frachten, die der Auswaschung unterliegen, werden die täglich berechneten Sickerwassermengen und die tageweise interpolierten Nitrat-N-Konzentrationen im Bodenwasser der Saugsonden miteinander verrechnet:

NO_3-N-Fracht [kg/ha] = Sickerwasser [l/m²] × NO_3-N [mg/l] × 0,01

Die täglichen Nitrat-N-Frachten eines Winterhalbjahres werden aufsummiert. Die Summe bildet die N-Fracht eines Winterhalbjahres und ist in den Tabellen 10 und 11 dargestellt.

Tab. 10: Nitrat-N-Frachten [kg/ha] (Winterhalbjahr 2014/2015), Hauptfrucht Kartoffeln

	gws		**konv**			
Monat	**Var. 4** 160 kg N	**Var. 5** 200 kg N	**Var. 1** 0 kg N	**Var. 3** 120 kg N	**Var. 4** 160 kg N	**Var. 5** 200 kg N
Juli 2014	-	-	-	-	-	-
Aug.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sep.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Okt.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nov.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Dez.	81,6	36,9	51,1	64,5	41,9	57,6
Jan.	49,4	47,1	56,2	55,9	42,3	60,7
Feb.	1,6	8,8	8,8	5,3	8,4	8,4
März	0,3	9,3	5,5	4,6	8,8	6,6
April	0,2	6,4	2,4	3,3	5,4	3,8
Mai	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Juni 2015	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe (Juli - April)	**133**	**108**	**124**	**134**	**107**	**137**
Summe (Juli - Juni)	133	108	124	134	107	137

Tab. 11: Nitrat-N-Frachten [kg/ha] (Winterhalbjahr 2015/2016), Hauptfrucht Winterroggen (konv) bzw. Winterroggen und Grasuntersaat (gws)

	gws		**konv**			
Monat	**Var. 4** 150 kg N	**Var. 5** 200 kg N	**Var. 1** 0 kg N	**Var. 3** 100 kg N	**Var. 4** 150 kg N	**Var. 5** 200 kg N
Juli 2015	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Aug.	0,5	0,9	1,3	1,2	0,5	0,9
Sep.	0,7	1,4	0,8	2,7	0,9	2,1
Okt.	1,1	1,9	2,8	6,2	2,9	4,6
Nov.	2,2	3,1	10,1	17,6	10,3	13,1
Dez.	0,5	1,2	11,1	12,6	9,1	10,9
Jan.	0,2	0,7	11,6	8,4	9,7	9,2
Feb.	0,3	0,6	14,2	9,1	12,5	9,3
März	0,0	0,0	1,1	0,8	1,1	0,9
April	0,0	0,0	0,4	0,4	0,5	0,4
Mai	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Juni 2016	0,0	0,0	3,2	2,5	2,8	2,0
Summe (Juli - April)	**5**	**10**	**54**	**59**	**48**	**51**
Summe (Juli - Juni)	5	10	57	61	50	54

Im Winterhalbjahr 2014/2015 wird der größte Teil der Fracht in den Monaten Dezember und Januar gebildet, da in diesen Monaten hohe Sickerwasserraten und hohe Nitratkonzentration zusammentreffen. Im Februar gehen die Nitrat-N-Frachten bereits deutlich zurück. Am 03.04.2015 tritt das letzte Mal in der Auswaschungsperiode 2014/2015 Sickerwasser auf. In

der Summe erreichen die Frachten im Winterhalbjahr 2014/2015 Werte zwischen 107 kg N/ha (konv, Var. 4) und 137 kg N/ha (konv, Var. 5). Laut Wasserhaushaltsmodell ist bereits Anfang Juli ca. 30 mm Sickerwasser gebildet worden. Da zu diesem Zeitpunkt die Saugsondenanlage noch nicht in Betrieb war, kann keine Fracht berechnet werden.

Im Winterhalbjahr 2015/2016 wird auf den konventionell bewirtschafteten Varianten von August bis April und wieder im Juni Sickerwasser gebildet, so dass N-Fracht entstehen kann. Auf den gws-Varianten endet die Sickerwasserspende im Februar. Parallel zu den mittleren Nitrat-N-Konzentrationen sind auch die Nitrat-N-Frachten auf den grundwasserschutzorientiert bewirtschafteten Varianten mit 5 kg N (Var. 4) und 10 kg N (Var. 5) deutlich niedriger als auf den konventionell bewirtschafteten Varianten mit 48 kg N (Var. 4) bis 59 kg N (Var. 3). Ob es sich nur um einen kurzfristen Effekt handelt oder ob sich über die gesamte vierjährige Fruchtfolge in den grundwasserschutzorientiert bewirtschafteten Varianten niedrigere Frachten erzielen lassen, werden die nächsten Versuchsjahre zeigen. Auf den konventionell bewirtschafteten Varianten kann 2015/2016 kein Anstieg der Fracht mit steigender Düngungsstufe festgestellt werden.

In Tabelle 12 ist dargestellt, wieviel mineralischer Stickstoff den Saugsondenparzellen in den Versuchsjahren 2014 und 2015 zugeführt wurde. Weiterhin sind die Erträge (jeweils der Mittelwert aus den vier Parzellen einer Variante) aufgeführt und die daraus resultierenden N-Entzüge und die N-Bilanz aus Zufuhr abzüglich Abfuhr. Das Stroh des Winterroggens der konventionell bewirtschafteten Varianten verblieb auf der Fläche. Die Erträge fallen relativ hoch aus, da die Kulturen durch die Beregnung optimal mit Wasser versorgt wurden und es sich um Exaktversuche handelt. In die letzte Spalte ist die Nitrat-N-Fracht der Winterhalbjahre 2014/2015 und 2015/2016 eingetragen.

Tab. 12: N-Zufuhr (ausschließlich mineralisch), Erträge, N-Abfuhr und N-Bilanz in 2014 und 2015, sowie die Nitrat-N-Frachten in [kg/ha] im Winterhalbjahr 2014/2015 und 2015/2016

	N-Düngungs-variante	N-Zufuhr Haupt-frucht[a]	N-Zu-fuhr Gras	Ertrag Haupt-frucht	N-Ab-fuhr Haupt-frucht	Ertrag Gras 1. Schnitt	N-Abfuhr 1. Schnitt	Ertrag Gras 2. Schnitt	N-Abfuhr 2. Schnitt	N-Bilanz Zufuhr-Abfuhr	N-Fracht
	[kg/ ha]	[kg/ ha]	[kg/ ha]	[dt FM/ha]	[kg/ ha]	[dt TM/ha]	[kg/ ha]	[dt TM/ha]	[kg/ ha]	[kg/ ha]	[kg/ ha]
gws 2014	Var. 4: 160	160		624	218					-58	133
	Var. 5: 200	200		640	224					-24	108
konv 2014	Var. 1: 0	0		479	168					-168	124
	Var. 3: 120	120		547	191					-71	134
	Var. 4: 160	160		570	200					-40	107
	Var. 5: 200	200		558	195					5	137
gws 2015	Var. 4: 150	150	120	134[b]	127	27	32	29	52	58	5
	Var. 5: 200	200	120	130 [b]	155	31	38	28	47	79	10
konv 2015	Var. 1: 0	0		52	77					-77	54
	Var. 3: 100	100		100	127					-27	59
	Var. 4: 150	150		108	157					-7	48
	Var. 5: 200	200		113	185					15	51

[a] Hauptfrucht 2014 Kartoffel, 2015 Winterroggen (in der gws-Variante mit Grasuntersaat)
[b] dt TM/ha

Es fällt auf, dass die meisten N-Bilanzen negativ sind, es wurde folglich mehr Stickstoff entzogen als zugeführt, besonders auf den nicht und wenig gedüngten Varianten. Die dazugehörigen N-Frachten sind jedoch ähnlich hoch wie die der hoch gedüngten Varianten. Diese Diskrepanzen kommen zustande, da bei der einfachen Bilanzrechnung der Faktor Boden nicht berücksichtigt wird. Bei Kartoffeln wird über die Ernte der Knolle zwar viel Stickstoff abgefahren, gleichzeitig führt die intensive Belüftung des Bodens während der Ernte und der darauffolgenden Bodenbearbeitung leicht zu Mineralisationsschüben mit hoher Stickstofffreisetzung. Auch nach der Ernte des Winterroggens ist auf den konventionell bewirtschafteten Varianten im Winterhalbjahr 2015/2016 noch Stickstoff mineralisiert worden, ohne dass ein Pflanzenbestand diesen aufnehmen konnte. Auf den gws-Varianten im Jahr 2015 sind die N-Bilanzen mit 58 kg N/ha und 79 kg N/ha deutlich positiv, dennoch sind die N-Frachten die niedrigsten der zwei Winterhalbjahre. Es muss daher Stickstoff in den Graswurzeln und der organischen Substanz zwischengespeichert worden sein. Wie dauerhaft dieser Stickstoff festgelegt ist, werden die nächsten Versuchsjahre zeigen. Möglicherweise werden langjährige N-Bilanzsummen und N-Frachten eine deutlich bessere Übereinstimmung zeigen.

3.5 Nmin-Werte im Vergleich zu den N-Frachten

Die Nmin-Werte, insbesondere die Herbst-Nmin-Werte, dienen der Wasserschutzberatung als Erfolgskontrolle. Der Wasserschutzversuch bietet die Möglichkeit, die per Saugsonden ermittelten Frachten mit der Nmin-Methode zu vergleichen. In Tabelle 13 sind die Nmin-Werte des Ernte-, Spätherbst- und Frühjahrs-Nmin in 0 bis 90 cm Tiefe, sowie die N-Frachten dargestellt.

Tab. 13: Nmin-Werte (0 - 90 cm) nach der Ernte, Spätherbst-Nmin, Frühjahrs-Nmin und Nitrat-N-Frachten im Winterhalbjahr 2014/2015 und im Winterhalbjahr 2015/2016

	Kartoffeln	Ernte-Nmin 01.10.2014	Spätherbst-Nmin 17.10.2014	Differenz	Frühjahrs-Nmin 20.02.2015	N-Fracht
		[kg N/ha]	[kg N/ha]	[kg N/ha]	[kg N/ha]	[kg N/ha]
gws	Var. 4: 160 kg N	74	88	14	10	133
	Var. 5: 200 kg N	87	106	19	9	108
konv	Var. 1: 0 kg N	63	74	11	9	124
	Var. 3: 120 kg N	62	68	6	9	134
	Var. 4: 160 kg N	95	85	-10	9	107
	Var. 5: 200 kg N	91	101	10	9	137

	Winterroggen(GPS) und Gras (gws) bzw. Winterroggen (konv)	Ernte-Nmin 14.08.2015*	Spätherbst-Nmin 22.09.2015	Differenz	Frühjahrs-Nmin 23.03.2016	N-Fracht
		[kg N/ha]	[kg N/ha]	[kg N/ha]	[kg N/ha]	[kg N/ha]
gws	Var. 4: 150 kg N	17	15	-2	35	5
	Var. 5: 200 kg N	15	16	1	34	10
konv	Var. 1: 0 kg N	25	39	14	22	54
	Var. 3: 100 kg N	23	39	16	22	59
	Var. 4: 150 kg N	28	38	10	23	48
	Var. 5: 200 kg N	34	42	8	22	51

* gws am 01.08.2015, kurz nach dem 1. Schnitt

Im Winterhalbjahr 2014/2015 sind sowohl die Ernte- als auch die Spätherbst-Nmin-Werte mindestens doppelt so hoch wie im Winterhalbjahr 2015/2016. Die Nitrat-N-Frachten bestätigen diese Entwicklung.

Auf den gws-Varianten 4 und 5 fallen die Ernte-Nmin-Werte nach dem ersten Schnitt des Welschen Weidelgrases am 01.08.2015 mit 17 kg N/ha und 15 kg N/ha etwas niedriger aus als die Ernte-Nmin-Werte der konventionell bewirtschafteten Varianten vom 14.08.2015 mit 23 kg N/ha bis 34 kg N/ha. Zwischen den Spätherbst-Nmin-Werten am 22.09.2015 ist der

Unterschied mit 15 kg N/ha und 16 kg N/ha auf den gws-Varianten zu 38 kg N/ha bis 42 kg N/ha auf den konventionell bewirtschafteten Varianten noch größer. Die Nitrat-N-Frachten sind auf den gws-Varianten ebenfalls deutlich niedriger und bestätigen die Nmin-Ergebnisse.

Zwischen Ernte- und Spätherbst-Nmin wurden in beiden Winterhalbjahren auf fast allen Varianten noch größere Mengen Stickstoff mineralisiert. Der Frühjahrs-Nmin ist auf allen Varianten niedriger als der Spätherbst-Nmin, da mehr Stickstoff verlagert als mineralisiert wurde. Sowohl Ernte-, als auch Spätherbst-Nmin weisen keinen eindeutigen Trend zu ansteigenden Nmin-Werten mit zunehmender Düngung auf. Die Fruchtart hat in den beiden betrachteten Winterhalbjahren einen größeren Einfluss auf die Höhe der Nmin-Wert als die Höhe der Düngung. Es zeigt sich, dass anhand der Herbst-Nmin-Werte keine Aussage über die genaue Höhe der Nitrat-N-Frachten getroffen werden kann, da ein Nmin-Wert nur eine Momentaufnahme darstellt und nachträglich noch stattfindende N-Mineralisation nicht erfasst wird. Dennoch sind insbesondere die Spätherbst-Nmin-Werte gut geeignet die Unterschiede zwischen den Varianten darzustellen und die Richtung aufzuzeigen, in die sich die Frachten entwickeln werden.

4 Ergebnistransfer

In den Jahren 2014 bis 2016 wurden der Versuchsstandort Hamerstorf sowie die langjährigen Wasserschutzversuchsergebnisse mehrfach vorgestellt. Alle Vorträge und Auswertungen sind als Beratungsgrundlagen im Internet der LWK Niedersachsen veröffentlicht (www.lwk-niedersachsen.de).

06.03.2014	Feldbesichtigung Wehnen, EU-Kommission
26.06.2014	Feldtag Hamerstorf (Versuchsergebnisse 643)
23.09.2014	Feldtag Wehnen (für Kooperationslandwirte inklusive Kooperation Dümmer Landwirte) Zwischenfruchtversuch
24.09.2014	Feldtag Wehnen Kooperationslandwirte (Zwischenfruchtversuch)
03.12.2014	Beratertagung Verden (Beratungsträger Wasserschutz) Zwischenfruchtversuch
19.05.2015	AK Wasserschutz (Vorstellung Zwischenfruchtversuch war geplant, wurde aber wegen Gewitter abgebrochen – Ergebnisse wurden schriftlich mit dem Protokoll versandt)

15.06.2015 Feldtag Borwede (Ergebnisse Sickerwasseruntersuchungen)
05.11.2015 Arbeitskreis Wasserschutz (Ergebnisse Zwischenfruchtversuch)

15.06.2016 Feldtag Wehnen (Wasserkreis, Gewässerschutzberatung in der Zielkulisse der EG-Wasserrahmenrichtlinie)
16.06.2016 Feldtag Thülsfelde (Wasserkreis, Gewässerschutzberatung in der Zielkulisse der EG-Wasserrahmenrichtlinie)
21.06.2016 Feldtag Hamerstorf für Kooperationslandwirte, Beratungsträger Wasserschutz

5 Zusammenfassung

Am Standort Hamerstorf werden seit Herbst 2014 die Auswirkungen grundwasserschutzorientierter Fruchtfolgegestaltung und langjährig unterschiedlich hoher Stickstoffdüngung auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser untersucht. Ziel des Versuches ist es, aus den gewonnenen Erkenntnissen Handlungsempfehlungen zur Verbesserung der Sickerwasserqualität abzuleiten. Um die Nitratkonzentrationen am Standort messen zu können, wurden auf sechs Parzellen Saugsonden zur Sickerwassergewinnung installiert. In der konventionell bewirtschafteten Fruchtfolge (konv) wurden je eine Parzelle der rein mineralisch gedüngten Varianten 1, 3, 4 und 5 mit 0 kg N/ha, 100 kg N/ha, 150 kg N/ha und 200 kg N/ha mit Saugsonden ausgestattet, in der grundwasserschutzorientierten Bioenergiefruchtfolge (gws) je eine Parzelle der mineralisch gedüngten Varianten 4 und 5 mit 150 kg N/ha und 200 kg N/ha. Mit Hilfe eines DVWK-Modells (1996) werden die Sickerwassermengen und nachfolgend die Nitrat-N-Frachten im Sickerwasser berechnet.

Die zuvor einheitlich bewirtschaftete Versuchsfläche (2013 Zuckerrüben) wurde im Jahr 2014 auf beiden Fruchtfolgevarianten mit Kartoffeln bestellt. Die Düngestaffel wich 2014 vom oben genannten Schema ab und betrug 0 kg N/ha, 120 kg N/ha, 160 kg N/ha und 200 kg N/ha auf den Varianten 1, 3, 4 und 5. Im Herbst wurde Winterroggen gedrillt. Auf den grundwasserschutzorientiert bewirtschafteten Varianten wurde gleichzeitig Grassamen mit ausgesät und der Winterroggen am 21.06.2015 als Ganzpflanzensilage (GPS) geerntet. Mit der Grasuntersaat sollen möglichst hohe N-Abfuhren von der Fläche erzielt werden. Um einen guten Aufwuchs des Grases zu gewährleisten, wurde die Grasuntersaat zu jedem Schnitt (1. Schnitt: 31.07.15, 2. Schnitt: 17.09.15, 3. Schnitt: 08.05.16) rein mineralisch angedüngt. Nach der Ernte des GPS-Roggens sowie nach Ernte des ersten Schnittes wurden jeweils 60 kg N/ha gegeben, im März 2016 nochmals 75 kg N/ha. Auf den konventionell

bewirtschafteten Varianten wurde der Winterroggen am 13.08.2015 geerntet, danach lagen die Varianten über Winter brach. Am 10.05.2016 wurden beide Fruchtfolgevarianten mit Mais bestellt, auf den gws-Varianten wurde zeitgleich eine Grasuntersaat etabliert. Die klimatischen Gegebenheiten der Winterhalbjahre 2014/2015 und 2015/2016 und die Auswirkung auf den Stickstoffhaushalt stellen sich wie folgt dar:

- Im Winterhalbjahr 2014/2015 fallen vom 01.07.2014 bis 30.04.2015 557 mm Niederschlag. Die berechnete Sickerwassermenge beträgt 307 mm. Auf der konventionell bewirtschafteten Variante 1 fällt die Sickerwassermenge aufgrund des geringeren Bedeckungsgrades mit 324 mm etwas höher aus.
- Im Winterhalbjahr 2015/2016 fallen vom 01.07.2015 bis 30.04.2016 702 mm Niederschlag, zusätzlich werden 30 mm beregnet. Die Sickerwassermenge beträgt 330 mm auf den grundwasserschutzorientierten Varianten 4 und 5, 468 mm auf der konventionell bewirtschafteten Variante 1 und 396 mm auf den konventionell bewirtschafteten Varianten 3, 4 und 5.
- Die mittleren Nitrat-N-Konzentrationen in den Saugsonden liegen im Winterhalbjahr 2014/2015 (Hauptfrucht Kartoffel) zwischen 35 mg NO_3-N/l (Var. 5 gws, Var. 4 konv) und 45 mg NO_3-N/l (Var. 5 konv) (vgl. Tab. 9). Es ist kein deutlicher Anstieg der Konzentrationen mit steigender Düngungsintensität festzustellen.
- Im Winterhalbjahr 2015/2016 (Hauptfrucht Winterroggen) liegen die mittleren Nitrat-N-Konzentrationen auf den konventionell bewirtschafteten Varianten zwischen 11 mg NO_3-N/l (Var. 1) und 15 mg NO_3-N/l (Var. 3) (vgl. Tab. 9). Es ist kein deutlicher Anstieg der Konzentrationen mit steigender Düngungsintensität festzustellen. Auf den grundwasserschutzorientiert bewirtschafteten Varianten (Hauptfrucht Winterroggen mit Grasuntersaat) sind die Konzentrationen mit 2 mg NO_3-N/l (Var. 4) und 3 mg NO_3-N/l (Var. 5) deutlich niedriger.
- Die berechneten Nitrat-N-Frachten liegen im Winterhalbjahr 2014/2015 zwischen 107 kg N/ha (Var. 4 konv) und 137 kg N/ha (Var. 5 konv) (vgl. Tab. 10 und 11).
- Im Winterhalbjahr 2015/2016 liegen die berechneten Nitrat-N-Frachten bei 5 kg N/ha (Var. 4) und 10 kg N/ha (Var. 5) auf den grundwasserschutzorientiert bewirtschafteten Varianten und zwischen 48 kg N/ha (Var. 4) und 59 kg N/ha (Var. 3) auf den konventionell bewirtschafteten Varianten (vgl. Tab. 10 und 11).

Nach den Kartoffeln wurde im Winterhalbjahr 2014/2015 deutlich mehr Stickstoff ausgewaschen als nach Winterroggen im Winterhalbjahr 2015/2016. Das hängt mit großer

Wahrscheinlichkeit mit der Art der Feldfrucht bzw. der Beerntung der Feldfrucht (hohe Belüftung und Bodenbewegung mit nachfolgender Stickstoffmineralisierung) zusammen. Aus früheren Feldversuchen ist bekannt, dass im Herbst nach Kartoffeln in der Regel mehr Nitrat ausgewaschen wird als nach Winterroggen. Die Grasuntersaat mit dreimaliger Schnittnutzung nach Winterroggen hat sich trotz der zusätzlichen Düngergabe von insgesamt 195 kg N/ha (verteilt auf drei Gaben) sehr positiv auf die Nitratauswaschung ausgewirkt und ist der Schwarzbrache nach Winterroggen deutlich überlegen. Ob es sich nur um einen kurzfristen Effekt handelt oder ob sich über die gesamte vierjährige Fruchtfolge in den grundwasserschutzorientiert bewirtschafteten Varianten niedrigere Frachten erzielen lassen, werden die nächsten Versuchsjahre zeigen.

6 Literatur

AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Aufl., Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden der Geologischen Landesämter und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe der Bundesregierung Deutschland. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, Hannover, 438 S.

DWD (2016): Langjährige Mittelwerte des Stationsmessnetzes. Mittelwerte der Temperatur (in 2 m über dem Erdboden in Grad C) und des Niederschlags (Mittlere Monatssumme der Niederschlagshöhe in mm) für den Bezugsstandort am Ende der Referenzperiode 1961-1990. Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main.
Link: https://rcccm.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/langj_mittelwerte.html am 9.11.2016

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

Fier, A. und Schäfer, W. (2016): Grundwasserschutzorientierte Dauerversuche, Berechnung des Wasserhaushaltes, der Nitratkonzentrationen und der Nitratfrachten am Standort Thülsfelde - Auswaschungsperiode 2014/2015. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover und Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Oldenburg.
Link: https://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/77/nav/1667/article/29940.html am 13.12.2016

LBEGa (2016): Bodenschätzungskarte im Maßstab 1:5000. NIBIS Kartenserver. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover. Link: http://nibis.lbeg.de/cardomap3/# am 9.11.2016

LBEGb (2016): Karten und Daten des Niedersächsischen Bodeninformationssystems NIBIS®. Fachanwendung MeMaS Lite. Berechnung der Sickerwasserrate. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover. Link: http://nibis.lbeg.de/cardomap3/# am 11.11.2016

LUFA (2015): Richtwerte für die Düngung in Niedersachsen. Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Hannover.
Link: http://www.lufa-nord-west.de/index.cfm/action/downloadcenter.html am 23.11.2016

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

RENGER, M.; BOHNE, M.; FACKLAM, M.; HARRACH, T.; RIEK, W.; SCHÄFER, W.; WESSOLEK, G.; ZACHARIAS, S. (2009): Ergebnisse und Vorschläge der DBG-Arbeitsgruppe „Kennwerte des Bodengefüges“ zur Schätzung bodenphysikalischer Kennwerte. In: WESSOLEK, G.; KAUPENJOHANN, M.; RENGER, M. (HRSG.) (2009): Bodenphysikalische Kennwerte und Berechnungsverfahren für die Praxis. Bodenökologie und Bodengenese, (Selbstverlag) TU Berlin, Band 40, S. 5-51.

MÜLLER, U. und WALDECK, A. (2011): Auswertungsmethoden im Bodenschutz – Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems NIBIS®. Geoberichte 19, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover, 415 S.

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.