

Stickstoffdüngung und Grundwasserschutz – Ergebnisse aus dem Feldversuch Thülsfelde

Annegret Fier, Walter Schäfer, Jutta Uhlmann, Tim Eiler

1 Einführung

Landwirtschaftlich genutzte Flächen besitzen gegenüber Wald eine deutlich höhere Grundwasserneubildungsrate. Das macht die große Verantwortung deutlich, die der Landwirtschaft zur Erhaltung einer guten Trinkwasserqualität besonders in Hinblick auf die Nitratbelastung zufällt. Zudem führen erhöhte Nitratmengen im Sicker- und Grundwasser zu einer Eutrophierung der Oberflächengewässer.

Welche ackerbaulichen Maßnahmen und Strategien sind geeignet den Nitrataustrag langfristig zu verringern? Seit 1996 betreibt die Landwirtschaftskammer Niedersachsen in Kooperation mit dem Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie einen Feldversuch in Thülsfelde. Es wird der Einfluss steigender Mineralstickstoffgaben (N) auf die Pflanzenerträge, die Pflanzenqualitäten, die N-Salden, die N_{min} -Werte, die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser und die Nitratfrachten untersucht. Finanziert wird der Versuch durch Mittel aus der Wasserentnahmegebühr.

Im Folgenden werden die Versuchsergebnisse der Jahre 1998 bis 2008 vorgestellt.

2 Der Standort

Das Versuchsfeld „Thülsfelde“ liegt in der Gemeinde Markhausen westlich von Cloppenburg. Die Fläche ist schwach (2-3%) geneigt und befindet sich 35 m über NN. Der Grundwasserspiegel liegt 8 bis 10 m unter Geländeoberfläche.

Der Bodentyp ist ein Podsol mit Stauwassereinfluss im Untergrund aus schwach schluffigem bis schwach tonigem Sand. Die effektive Durchwurzelungstiefe beträgt 5 dm, die Ackerzahl ist 26.



Abb. 1: Lage Feldversuch

3 Versuchsaufbau und Varianten

Der Versuch ist als Blockanlage mit vier Wiederholungen pro Düngungsstufe angelegt (Abb. 2). Getestet werden 6 Düngestufen (Tab. 1):

Tab. 1: Düngestufen Feldversuch Thülsfelde

kg Stickstoff (N)/ha	Var. 1	Var. 2	Var. 3	Var. 4	Var. 5	Var. 6
Mais/ Wintergerste	0	50	100	150	200	Sollwert (min.+org.)
Winterroggen	0	40	80	120	160	Sollwert (min.+org.)

Gedüngt wird mineralisch, nur Variante 6 wird nach der N_{min} -Methode (Sollwert-Frühjahrs- N_{min}) organisch und mineralisch gedüngt. Die Fruchtfolge besteht aus Silomais, Winterroggen und Wintergerste ohne Zwischenfruchtanbau. Es wird eine Fruchtart pro Jahr angebaut, das Stroh wird eingearbeitet.

Um die Stickstoffkonzentration im Boden zu erfassen, wurden 24 Saugsonden in 8 dm Tiefe installiert. Sie entziehen auf je zwei der vier Wiederholungen Sickerwasser. Das Wasser wird in Auffanggefäßen gesammelt und regelmäßig auf Stickstoff untersucht.

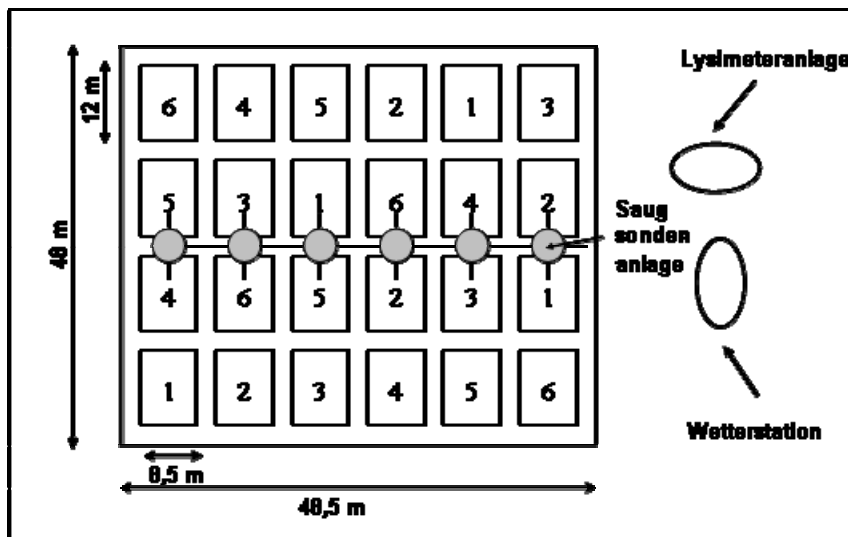


Abb. 2: Aufteilung der Versuchsfläche und Lage der Saugsondenanlage und der Wetterstation

Die Daten der Wetterstation werden zur Berechnung der täglichen Sickerwassermenge nach WENDLING et al. (1984) herangezogen. Multipliziert mit der Stickstoffkonzentration ergibt sich daraus die Stickstoffauswaschung. Betrachtet wird jeweils das Winterhalbjahr ab Beginn der ersten Sickerwasserbildung nach der Ernte bis zum 30. April des Folgejahres.

4 Ergebnisse

4.1 Einfluss der N-Düngung auf die Erträge

In Abbildung 3 sind die mittleren relativen Erträge von Mais, Winterroggen und Wintergerste dargestellt.

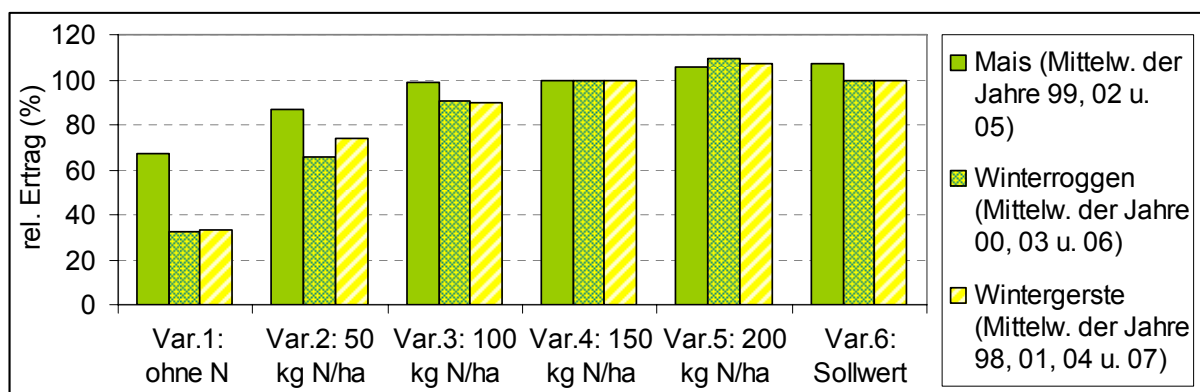


Abb. 3: Einfluss der N-Düngung auf den relativen Ertrag (Var. 4 = 100%)

Mit steigender N-Düngung steigen auch die Erträge signifikant ($\alpha=5\%$) an. Wobei der Mais den geringsten Ertragszuwachs mit steigender N-Gabe aufweist. Die absoluten mittleren Erträge der Variante 4 betragen für Mais 518 dt Frischmasse/ha, für Winterroggen 75 dt Korn/ha und für Wintergerste 55 dt Korn/ha.

4.2 Einfluss der N-Düngung auf die Herbst-Nmin-Werte

Die Herbst-Nmin-Werte (Abb. 4) von Mais zeigen höchst signifikante Unterschiede zwischen den Varianten. Interessant ist, dass Mais bei stark reduzierter Düngung deutlich niedrigere Nmin-Gehalte als Roggen und Gerste aufweist. Ab der Variante 4 mit 150 kg N/ha steigt der Nmin hingegen sehr deutlich an.

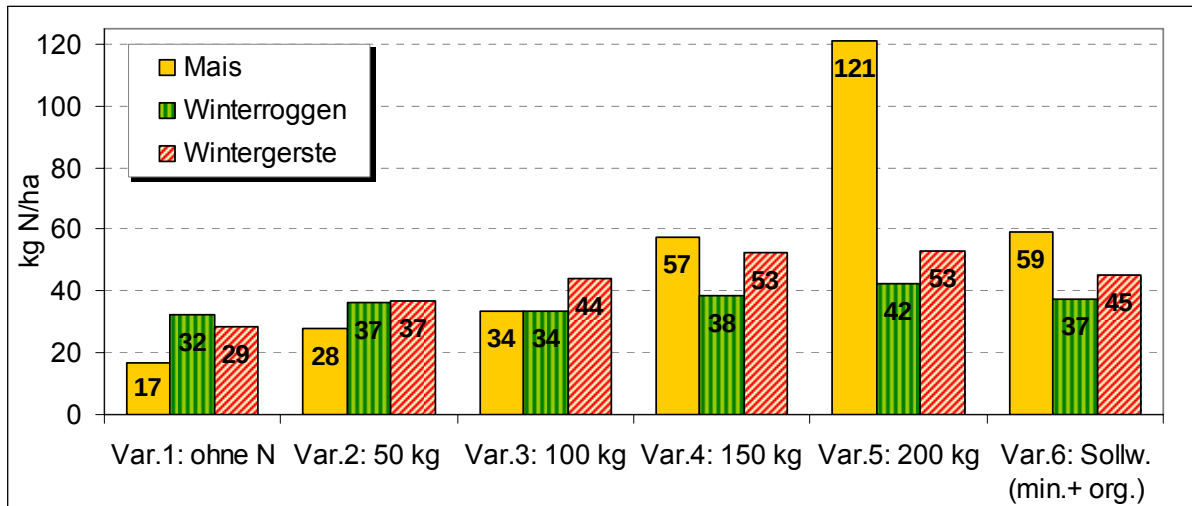


Abb. 4: Einfluss von N-Düngung und Fruchtart auf den mittleren Herbst-Nmin-Wert (Versuchsergebnisse der Jahre 1998 - 2007, 0-90 cm Tiefe)

Wintergerste und Winterroggen besitzen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Düngestufen. Bei Wintergerste ist lediglich eine Tendenz zu höheren Nmin-Werten bei steigender N-Düngung erkennbar. Allerdings muss beachtet werden, dass ein großer Teil der Varianz innerhalb einer Düngungsvariante durch die jährlichen klimatischen Schwankungen und deren Auswirkung auf das Pflanzenwachstum zustande kommt und nicht durch Messfehler.

4.3 Einfluss der N-Düngung auf die Nitratkonzentrationen

Die in 8 dm Tiefe gemessenen mittleren Nitratkonzentrationen (Abb. 5) weisen einen ähnlichen Verlauf wie die Herbst-Nmin-Werte auf.

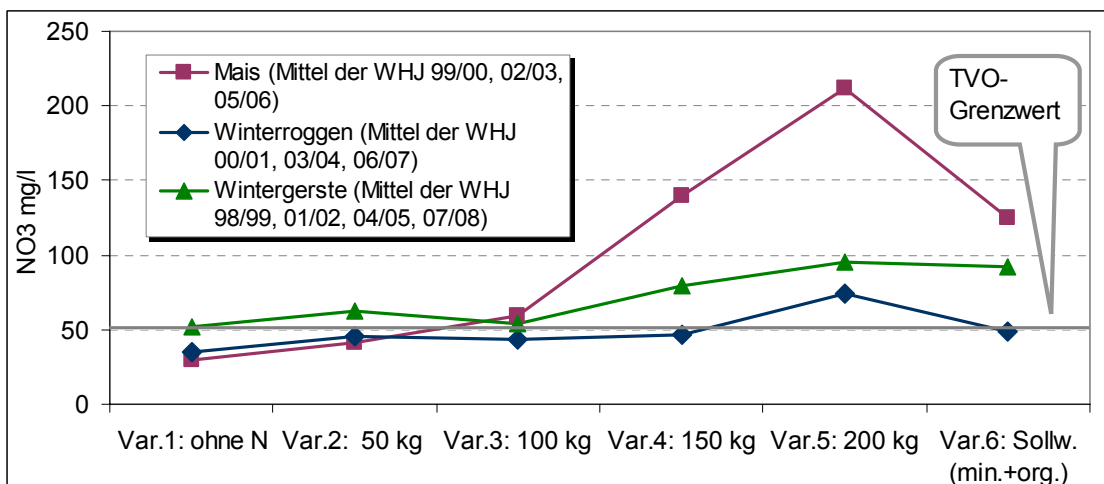


Abb. 5: Einfluss von N-Düngung und Fruchtart auf die mittleren Nitratkonzentrationen im Sickerwasser in 8 dm Tiefe

Mais zeigt einen signifikanten Anstieg der N-Konzentrationen ab 150 kg N/ha. Auf den niedrig gedüngten Varianten gehen die N-Konzentrationen dagegen stark zurück. Wintergerste und Winterroggen zeigen eine Tendenz zu stärkeren N-Austrägen, sie sind jedoch nicht signifikant.

Der Grenzwert der Trinkwasserverordnung von 50 mg Nitrat/l bzw. 11,3 mg Nitrat-N/l wird besonders bei Maisanbau ab einer Düngung von 150 kg N deutlich überschritten.

4.4 Sickerwasserraten der letzten 10 Jahre

Mit Hilfe der Daten der Wetterstation wird die Sickerwasserrate eines jeden Winterhalbjahres berechnet (Tab. 2). Es zeigt sich, dass der Beginn der Sickerwasserbildung und die Sickerwassermenge starken jährlichen Schwankungen unterworfen sind. Die mittlere Austauschhäufigkeit (Sickerwasserrate geteilt durch Feldkapazität im effektiven Wurzelraum) gibt an, wie oft das Wasser im effektiven Durchwurzelungsraum im Jahr durch das zugeführte Niederschlagswasser ausgetauscht wird. Sie liegt im Durchschnitt bei 3,1 und ist als extrem hoch einzustufen (MÜLLER 2004). Der Standort ist somit stark auswaschungsgefährdet.

Tab. 2: Sickerwasserraten und Austauschhäufigkeiten am Standort Thülsfelde

Winterhalb-jahr	Sickerwasser -beginn	Sickerwasser -menge [mm]	Austausch- häufigkeit	Austauschhäufigkeit von 1 wurde erreicht am:
1998/1999	15.09.1998	582	4,7	24.10.1998
1999/2000	07.12.1999	270	2,2	30.01.2000
2000/2001	28.10.2000	277	2,2	25.01.2001
2001/2002	10.09.2001	486	3,9	10.11.2001
2002/2003	24.10.2002	268	2,2	24.12.2002
2003/2004	26.11.2003	299	2,4	16.01.2004
2004/2005	22.07.2004	391	3,2	09.11.2004
2005/2006	26.10.2005	255	2,1	20.12.2005
2006/2007	26.08.2006	422	3,4	06.12.2006
2007/2008	31.07.2007	599	4,8	08.11.2007
Mittelwert		385	3,1	

4.5 Einfluss der N-Düngung auf die Nitratauswaschung

Die sich aus der Sickerwassermenge und der Nitratkonzentration ergebende Menge an Nitratauswaschung ist für die Jahre 1998 bis 2008 im Überblick in Abbildung 6 dargestellt.

Insbesondere beim Mais ist eine deutliche Zunahme der Stickstofffracht mit steigender Düngung zu erkennen. Zur übersichtlicheren Darstellung und für Vergleiche mit den Erträgen werden diese Ergebnisse für jede Fruchtart gemittelt (Kapitel 4.6).

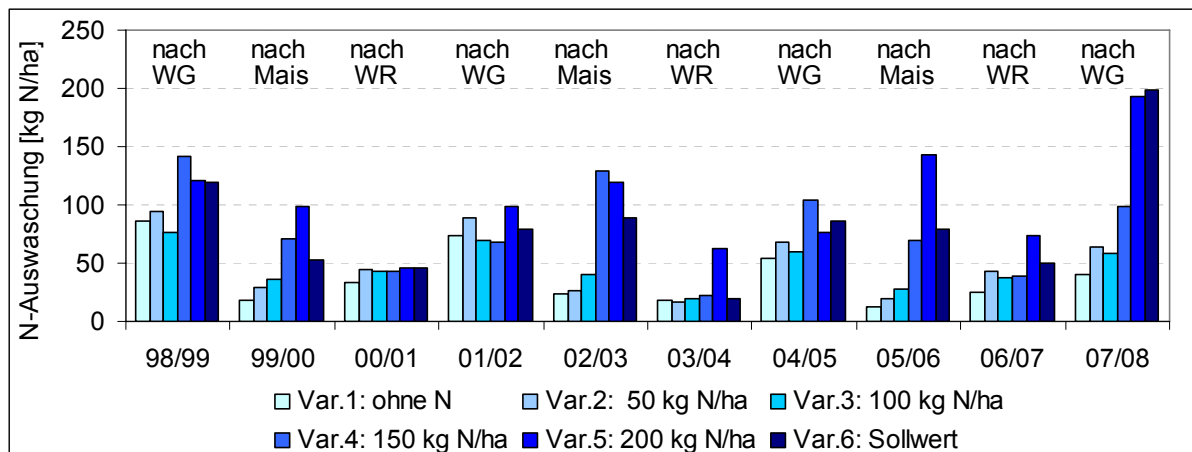


Abb. 6: Einfluss von N-Düngung und Fruchtart auf die N-Auswaschung

4.6 Zusammenhänge zwischen Ertrag und N-Auswaschung

4.6.1 Betrachtung der Nullvariante

Zunächst soll nur die Nullvariante (Abb. 7) betrachtet werden. Auf ihr verzeichnen allen Fruchtarten mit den Jahren einen leichten Ertragsrückgang. Wird die N-Auswaschung betrachtet, verzeichnet lediglich die Wintergerste, die eine große Zeitspanne abdeckt, einen Rückgang. Im Vergleich zu den anderen beiden Fruchtarten ist der N-Austrag insgesamt höher (Gründe vgl. Kapitel 4.6.2).

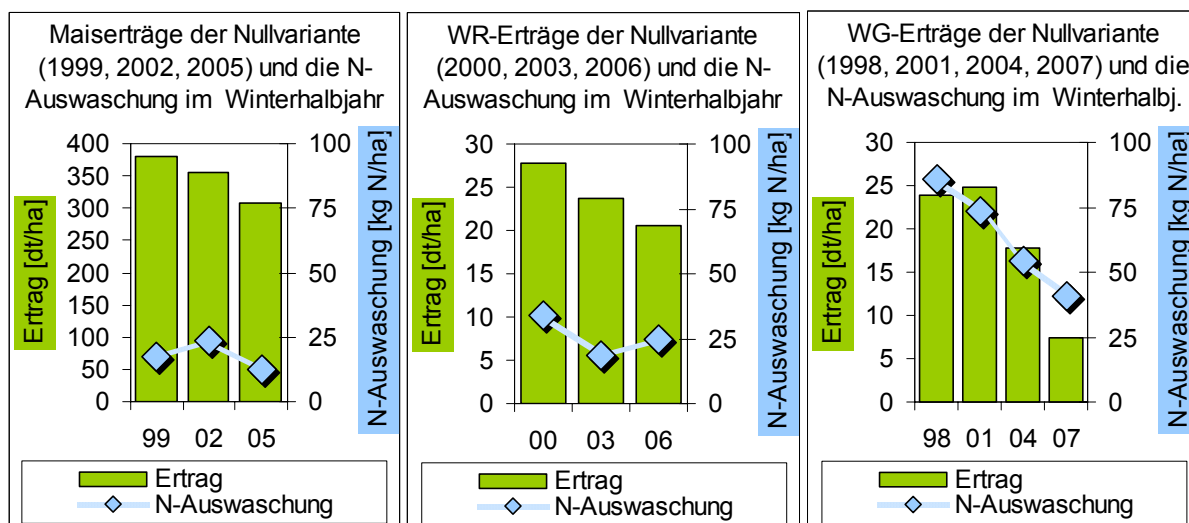


Abb. 7: Ertrag und N-Auswaschung auf der Nullvariante

Auf der Nullvariante werden die Pflanzen nur aus der Mineralisationsleistung des Bodens versorgt. Da durch die Ernte ein ständiger Nährstoffentzug stattfindet, wird sich der Humusgehalt bzw. der C_{org} -Gehalt langfristig auf einem niedrigeren Niveau als zu Versuchsbeginn einpendeln. Ergebnisse einer Bodenuntersuchung aus 2005 zeigen bereits eine leichte Abnahme des C_{org} -Gehaltes. Für gesicherte Aussagen sind allerdings längere Zeitreihen notwendig.

4.6.2 Einfluss steigender N-Düngung auf Ertrag und N-Auswaschung

In den Abbildungen 8 bis 10 sind für jede Fruchtart die mittleren Erträge und die N-Auswaschung dargestellt. Um die Daten zwischen den Fruchtarten besser vergleichen zu können, werden der mittlere Ertrag und die mittlere N-Auswaschung relativ zur jeweiligen Sollwertvariante angegeben (Tab. 3 bis 5). Statistisch ist die N-Auswaschung nur beim Mais signifikant unterschiedlich.

Wie sich bereits bei der N-Konzentration abgezeichnet hat, steigt nach Mais die N-Auswaschung rapide an, wenn 150 kg N und mehr gedüngt werden. Beim Ertrag hingegen ist ab 100 kg N/ha nur noch ein relativ geringer Ertragszuwachs zu verzeichnen.

Tab. 3: Erträge und N-Auswaschung von Mais relativ zum Sollwert

Düngungsvariante [kg N/ha]	1	2	3	4	5	6
	0	50	100	150	200	Sollw.
relativer Ertrag	63	81	92	93	99	100
relative N-Auswaschung	24	34	47	122	163	100

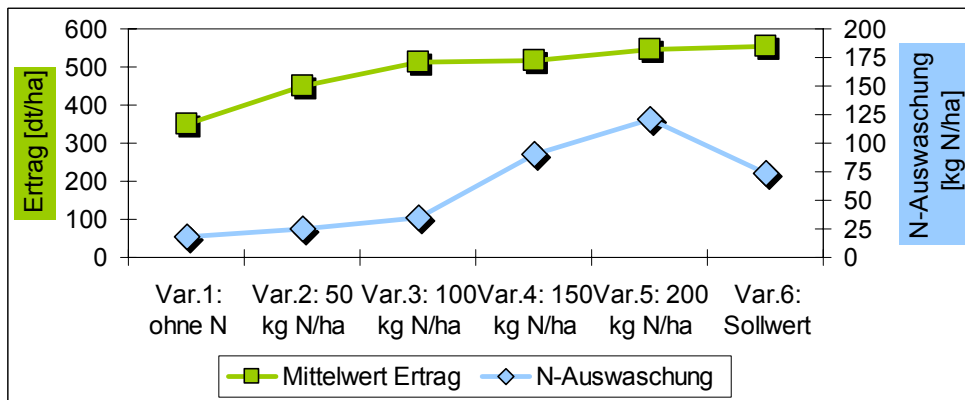


Abb. 8: Mittlere Maiserträge (1999, 2002 u. 2005), sowie die mittlere N-Auswaschung in 8 dm Tiefe im Winterhalbjahr

Tab. 4: Erträge und N-Auswaschung von Winterroggen relativ zum Sollwert

Düngungsvariante [kg N/ha]	1	2	3	4	5	6
	0	40	80	120	160	Sollw.
relativer Ertrag	32	66	91	101	110	100
relative N-Auswaschung	66	91	86	91	157	100

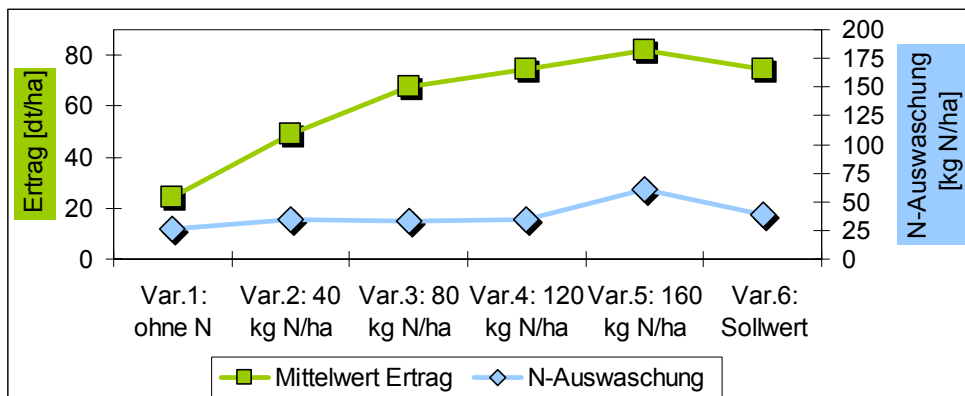


Abb. 9: Mittlere Winterroggen-erträge (2000, 2003 u. 2006), sowie die mittlere N-Auswaschung in 8 dm Tiefe im Winterhalbjahr

Tab. 5: Erträge und N-Auswaschung von Wintergerste relativ zum Sollwert

Düngungsvariante [kg N/ha]	1	2	3	4	5	6
	0	50	100	150	200	Sollw.
relativer Ertrag	34	74	90	100	108	100
relative N-Auswaschung	53	65	55	85	101	100

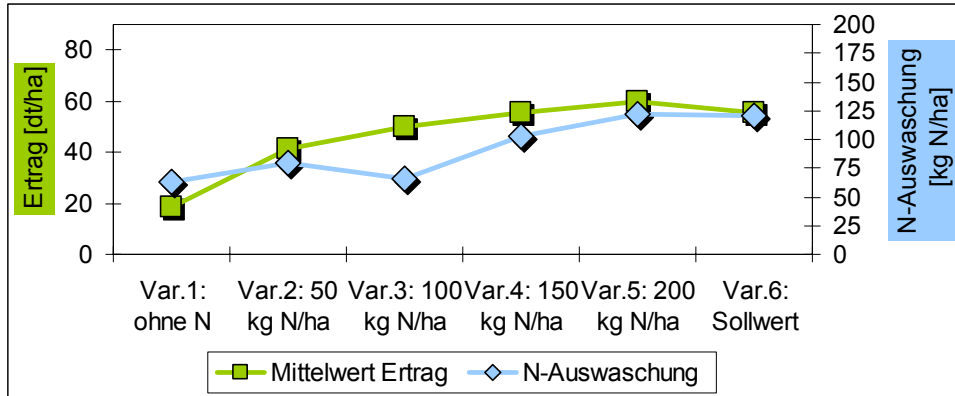


Abb. 10: Mittlere Wintergersterträge (1998, 2001, 2004 u. 2007), sowie die mittlere N-Auswaschung in 8 dm Tiefe im Winterhalbjahr

Die N-Auswaschung unter Winterroggen steigt nur schwach mit steigender Düngung an und ist insgesamt niedriger als unter Wintergerste. Der Ertrag geht bei einer Düngung von weniger als 80 kg N/ha stark zurück.

Auch Wintergerste zeigt einen starken Ertragsrückgang ab 100 kg/N und weniger. Die N-Auswaschung ist aber insgesamt höher und steigt mit den Düngungsstufen an. Das hat mehrere Gründe:

- Die vier Winterhalbjahre mit Wintergerste als Vorfrucht waren zufällig sehr niederschlagsintensiv (Tab. 2). Das hat die N-Auswaschung begünstigt.
- Auf Wintergerste folgt Mais mit dazwischen geschalteter Schwarzbrache. Eine Frucht, die im Herbst einen Teil des Stickstoffs aufnehmen kann und so vor der Auswaschung schützt, fehlt (im Mittel werden 20 kg N aufgenommen).
- Wintergerste besitzt ein vergleichsweise schwaches Wurzelsystem und reift früher ab als Winterroggen. Wird nach dem Abreife noch viel Stickstoff im Boden mineralisiert (wird begünstigt durch hohe Temperaturen bei ausreichend Bodenfeuchte), kann er nicht mehr aufgenommen werden und unterliegt der Auswaschung.
- Die Wintergerste wird insgesamt etwas höher gedüngt als der Winterroggen.

Folgendes Beispiel zeigt, dass mit 100 kg N gedüngter Mais (Variante 3, Tab. 3, gelb unterlegt) die Stickstoffauswaschung stark verringert werden kann, ohne dass große finanzielle Einbußen entstehen. Diese könnten z.B. durch Ausgleichszahlungen aufgefangen werden:

- ➔ Auf der Sollwertvariante wurden im Mittel der Jahre 1999, 2002 und 2005 556 dt Silomais (Feuchtmasse) erzielt. Durchschnittlich wurden 157 kg N/ha gedüngt.
- ➔ Wird die Düngung auf 100 kg N/ha reduziert, ergibt sich ein Ertragsrückgang von 7 bis 9 %. Die N-Auswaschung wird um mehr als die Hälfte reduziert.
- ➔ Bei einem Preis von 2,7 € für die Dezitonne Silomais ist das ein Verlust von 116 € pro Hektar, gleichzeitig spart der Landwirt 60 € an Düngekosten (1 kg Stickstoff kostet derzeit 1,05 €)

4.7 Mineralisationsleistung des Bodens

Was unterscheidet den Mais von Gerste und Roggen? In Abbildung 11 ist für jede Variante und Frucht dargestellt, wie viel Stickstoff aus der Mineralisation der organischen Substanz stammt und wie viel Stickstoff durch Düngung zugeführt wurde. Die Mineralisation berechnet sich aus: N-Entzug (durch Korn und Stroh bzw. Maispflanze) + Herbst-Nmin-Düngung + Frühjahrs-Nmin. Zusätzlich ist der N-Entzug dargestellt.

Mais gewinnt einen großen Teil seines Stickstoffs relativ unabhängig von der Höhe der Mineraldüngung aus der Mineralisationsleistung des Bodens. Da sich die Vegetationsphase bis in den September/Okttober hinein erstreckt, kann Mais noch Stickstoff aufnehmen, während Wintergetreide schon längst das Feld geräumt hat. Zudem ist in den warmen Sommermonaten die Mineralisationsrate des Bodens besonders hoch, sofern ausreichend Niederschläge auftreten. Das erklärt den geringeren Ertragsrückgang auf der Nullvariante gegenüber den anderen beiden Getreidesorten. Wird mehr als 150 kg N gedüngt, geht die N-Zufuhr deutlich über den Entzug hinaus, die Folge ist eine erhöhte N-Auswaschung.

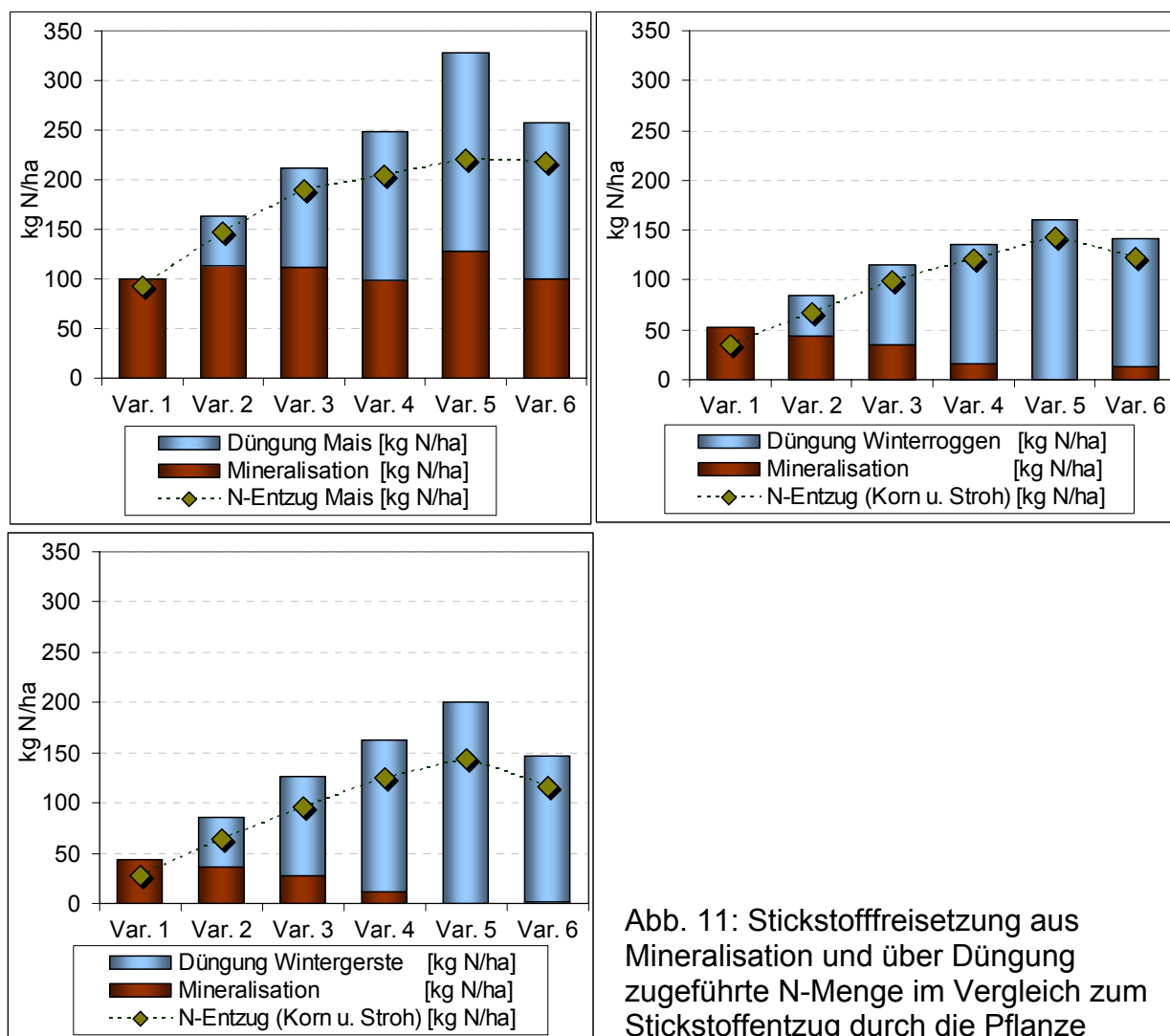


Abb. 11: Stickstofffreisetzung aus Mineralisation und über Düngung zugeführte N-Menge im Vergleich zum Stickstoffentzug durch die Pflanze

Wird das N-Saldo (Düngung minus N-Entzug Korn bzw. Maispflanze) betrachtet, zeigt Mais auf allen Düngevarianten einen negativen N-Saldo. Bei einem hohen Maisanteil in der Fruchtfolge ist daher zur Erhaltung des Humusgehaltes die Ergänzung der organischen Substanz durch Zwischenfrüchte, Stroh oder Gülle erforderlich. Wintergerste und -roggen zeigen schon ab der Variante 3 bzw. 4 einen positiven N-Saldo.

5 Fazit

Eine verringerte N-Düngung von 100 kg N ist besonders im Maisanbau auf stark stickstoffnachliefernden Standorten eine effektive Strategie zur Senkung von N-Austrägen ins Grundwasser. Die zu erwartenden Ertragsrückgänge gegenüber Wintergerste und -roggen sind eher gering und könnten durch Agrarförderprogramme ausgeglichen werden. Die Stickstoffausträge gehen dagegen stark zurück.

Der bislang „schlechte Ruf“ von Mais beruht auf dem Effekt, dass die N-Auswaschung durch Gaben von ≥ 150 kg N/ha auf Standorten mit einem hohen N-Nachlieferungspotential stärker als bei anderen Getreidearten ansteigt.

Nach Wintergerste verzeichnen alle Varianten erhöhte N-Austräge, die teilweise klimatisch bedingt sind, aber auch auf eine fehlende Zwischenfrucht und physiologische Nachteile zurückgeführt werden können.

Literatur

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

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