

Witterungs-, boden- und nutzungsbedingte N-Auswaschungspotentiale von typischen Pedohydrotopen des Mitteldeutschen Trockengebietes (Partheinzugsgebiet)

S. KNAPPE und U. HAFERKORN

Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Untersuchungen war es, langjährige Lysimeteruntersuchungen zum Stickstoffkreislauf zunehmend tiefgründiger Bodenformen zur Abschätzung des Gefährdungspotentials unterschiedlicher ackerbaulicher Nutzungen in Hinblick auf N-Einträge ins Grundwasser zu bewerten. Die Untersuchungen wurden an 3 m tiefen und 1 m² großen, monolithischen Lysimetern in Brandis bei Leipzig (Land Sachsen, Deutschland) durchgeführt. Bei den Böden handelt es sich um vier Bodenformen, die durch zunehmende Tiefgründigkeit, Wasserhaltefähigkeit (nFK) und Sorptionskapazität gekennzeichnet sind. Für die hier betrachtete Periode intensiver landwirtschaftlicher Nutzung konnten im Mittel N-Austräge von 5-44 kg/ha und Jahr und Nitratgehalte im Sickerwasser, die zwischen ca. 80 und 200 mg/l liegen gemessen werden. Durch Berechnungen zur jährlichen Austauschhäufigkeit von Bodenwasser im effektiven Wurzelraum und zur Verlagerungsgeschwindigkeit in der Dränwasserzone konnte gezeigt werden, dass witterungs- und bodenbedingte Effekte gegenüber dem nutzungsbedingten Verlagerungsrisiko bei jährlicher Betrachtungsweise überwiegen. Mit den Maßnahmen des ökologischen Landbaues werden N-Austrag und N-Gehalt im Sickerwasser in der Regel unter die Grenzwerte abgesenkt. Der im Herbst für eine bessere Nährstoffversorgung im ökologischen (biologisch-dynamischen) Landbau übliche Umbruch von Klee gras, von Leguminosenbeständen, aber auch die Ausbringung von Stalldung bedingen aber in Kombination mit winterlicher Schwarzbrache eine deutliche Erhöhung der Nitratgehalte im Sickerwasser über die Grenzwerte.

Abstract

The goal of these studies was to evaluate lysimeter experiments performed over a number of years on the nitrogen cycle of various soil types to estimate the potential hazard of various types of farming usage resulting from N-leaching losses into the groundwater. The studies were carried out in monolithic lysimeters measuring 1 m² with a depth of 3 m located in Brandis (near Leipzig, Saxony, Germany). Four soil types were studied which are characterized by increasing depth of soil layer, water retention capacity (nFK) and sorption capacity. Mean annual N-leaching losses of 5-44 kg/ha were measured for the period of intensive agricultural usage considered. The interplay of intensive mineral fertilization and a high yield for the location along with continuously positive N-balances of on average 65 kg/ha N resulted in leachate nitrate concentration of between approx. 80 and 200 mg/l in the intensive period. Ecological farming measures generally reduce N-leaching losses and the N-concentration in leachate below the threshold values. The ploughing-down of clover grass and leguminous formation and the distribution of farmyard manure all usually performed in ecological (biological-dynamic) farming in autumn to boost nutrient supply also cause in combination with winter bare soil fallow a significant rise in the leachate nitrate above the threshold values.

1. Einleitung

Landwirtschaftliche Nutzungsformen (z.B. Intensivlandwirtschaft, Ökologischer Landbau, Umweltgerechte Landwirtschaft, Brache, Flächenstilllegung) haben in Abhängigkeit von standortsty-

pischen Einflussfaktoren, von denen insbesondere pedohydrologische Bodenmerkmale sowie Wechselwirkungen zwischen Niederschlägen und Auffüllung bzw. Verbrauch des Bodenwasservorrates zählen nach HAFERKORN (2000) sowie HAFERKORN und KNAPPE (2001) unterschiedliche Wirkungen auf den N-Austrag in das Grundwasser.

Nach KNOBLAUCH und ROTH (1995), KNAPPE u.a. (1994), KNAPPE und KEESE (1995) und KÖRSCHENS u.a. (1994) können schwere, sorptionsstarke Böden mit hoher Speicherkapazität für Wasser Nährstoffüberhänge abpuffern. Während auf den leichteren Bodenarten erhöhte N-Auswaschungsverluste zu erwarten sind (u.a.: LATUS u.a. 1995, MIETKOWSKI und HORST 1995, BOUWER u.a. 1995). Nach HAAS u.a. (1998) erwies sich vor allem der Organische Landbau als grundwasserschonende Art der Landnutzung.

Ziel der vorliegenden Untersuchungen ist es, zwanzigjährige Lysimeteruntersuchungen zum Stickstoffkreislauf zunehmend tiefgründiger Bodenformen aus Sand, lehmigen Sand, sandigen Lehm und Löß zur Abschätzung des Gefährdungspotentials von unterschiedlichen landwirtschaftlichen Nutzungsformen in Hinblick auf N-Einträge ins Grundwasser und auf die Nitratgehalte im Sickerwasser in Abhängigkeit von pedohydrologischen Faktoren zu bewerten.

2. Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden an 3 m tiefen und 1 m² großen, monolithischen und wägbaren Lysimetern in der Anlage in Brandis bei Leipzig durchgeführt. Bei den ausgewählten Lysimetergruppen handelt es sich um Bodenformen

Autoren: Dr. Siegfried KNAPPE, UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle, Sektion Bodenforschung, Permoserstraße 15, D-04318 LEIPZIG, Dr. Ulrike HAFERKORN, Staatliche Umweltbetriebsgesellschaft, Lysimeterstation Brandis, Kleinsteinbergerstraße 3, D-04821 BRANDIS

Tabelle 1: Feldkapazitäten in der durchwurzelten Zone und in der Dränzone der untersuchten Bodenformen als Maßstab für Wasser- und Stoffretention und zur Bewertung des standörtlichen Verlagerungsrisikos

Lys Gr.	Bodenform	Sickerwasser (mm/Jahr)	nFK _{We} ¹ (mm)	FK _{We} ² (mm)	Austausch-Faktor (Anzahl/Jahr)	FK _{Drän} ³ (mm)	Verweilzeit in Dränzone (Jahre)	standörtliches Verlagerungsrisiko ⁴
5	Braunerde	175	64	67	2,6	351	2,0	hoch
8	Parabraunerde-Braunerde	146	101	111	1,3	566	3,9	mittel
1	Lessivierter Braunerde Pseudogley	113	117	196	0,6	251	2,2	gering
9	Parabraunerde	57	257	412	0,1	481	8,3	äußerst gering

¹ gemessene mittlere jährliche Bodenwasserentnahme² aus den Bodenkennwerten berechnet³ aus Bodenkennwerten der Schichten der Dränzone berechnet⁴ Bewertung nach DVWK (1994)

(KNAPPE u.a. 1997) aus der Parthe-Niederung am Rande des Mitteldeutschen Trockengebietes und des Mittelsächsischen Lößhügellandes, die nach HAFERKORN (2000) durch zunehmende Feldkapazitäten in der durchwurzelten Zone und in der Dränzone und einem damit verbundenen zunehmenden standörtlichen Verlagerungsrisikos in der Reihenfolge Lys.Gr.5<8<1<9 gekennzeichnet sind (Tabelle 1).

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 N-Austrag über Sickerwasser

Für die Periode intensiver landwirtschaftlicher Nutzung wurden im Mittel N-Austräge (Tabelle 2) von 48 kg/ha für den flachgründigen, kiesunterlagerten, nur 35 cm tiefen Sandlöß (Lys.Gr.5), 31 bzw. 37 kg/ha für die mit sandigen Lehm bzw. mit Geschiebelehm unterlagerten

50-70 cm tiefen Sandlößböden (Lys.Gr.8 und 1) und 7 kg/ha für den tiefgründigen Lößboden (Lys.Gr.9) ermittelt.

Mit dem Wechsel zu Flächenstilllegungen und Brachen wurde auf den sandigen und lehmigen Böden etwa das Niveau des N-Austrages der Intensivperiode beibehalten. Im Jahr 1994 traten bei den Lysimetergruppen 5 und 8, 1995 auch bei der Lysimetergruppe 1 erstmals nach dem Übergang zur Brache vermin-

Tabelle 2: N-Eintrag über Stickstoffdüngung und nasse Deposition, N-Austrag über Sickerwasser

Jahr	Fruchtart	Periode	N-Düngung	N-Eintrag	N-Austrag	N-Austrag	N-Austrag	N-Austrag
			(Mineraldüngung)	(nasse Deposition)	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
			kg/ha	kg/ha	Stickstoff	Stickstoff	Stickstoff	Stickstoff
			Stickstoff	Stickstoff	Lys.Gr.5	Lys.Gr.8	Lys.Gr.1	Lys.Gr.9
1980	Mais		140	44	122	50	131	3
1981	Zuckerrüben		160	53	106	92	99	37
1982	Winterweizen		120	28	33	24	27	3
1983	Wintergerste		120	33	47	33	28	0
1984	Weidelgras	Intensive	175	42	14	10	14	1
1985	Kartoffeln	Mineral-	100	69	18	11	12	12
1986	Winterweizen	düngung	120	35	62	24	17	8
1987	Kartoffeln		100	37	104	81	80	8
1988	Winterweizen		140	46	62	42	65	15
1989	Wintergerste		120	46	28	17	22	0
1990	Zuckerrüben		140	44	20	11	7	0
1991	Winterweizen		140	37	19	11	8	0
1992	Wintergerste ¹		120	29	37	17	12	0
Mittel	Intensivperiode		121	39	48	31	37	7
1993	Weidelgras ²	Flächenstill-	0	26	38	24	24	0
1994	Weidelgras ³	legung	0	32	14	20	25	3
1995	Rotklee ⁴	Brachen	0	18	16	13	5	2
1996	Kartoffeln ⁵	Ökologi-	0	19	16	5	1	0
1997	Winterweizen	scher	60 ⁶	22	105	11	6	0
1998	Winterroggen	Landbau		35	99	58	37	0
1999	Wintergerste	UL	nach BEFU ⁷	24	37	35	47	3

¹ Stoppelumbruch, Selbstbegrünung² Saatbettbereitung und Weidelgrasansaat im März, im September Ernte mit Abfuhr³ einmalige Ernte mit Abfuhr, Herbstfurche⁴ Kleeansaat im März, einmalige Ernte mit Abfuhr im Juli, Kalkung, Herbstfurche (N-Eintrag durch Klee 178 kg/ha)⁵ Kartoffel gelegt im April, Ernte August, November 200 dt/ha Stallmist mit Herbstfurche⁶ Stallmist 2 t/ha⁷ Lys.Gr.1 = 145 kg/ha, Lys.Gr.5 = 165 kg/ha, Lys.Gr.8 = 125 kg/ha, Lys.Gr.9 = 125 kg/ha

derte N-Frachten auf. Als Grund dieser als positiv einzuschätzenden Wirkung der nunmehr mit einem ausgebildeten Weidelgrasbestand bewachsenen Grünbrache, wird die Festlegung des freien und durch Mineralisation bzw. durch Deposition zugeführten mineralischen Stickstoffs im Pflanzenbestand gesehen („Sanierung durch Pflanzenbestände“).

Der Umbruch des Weidelgrases bzw. des Rotklees sowie die im Herbst 1996 verabreichte Stallunggabe (Übergangsperiode zum Organischen Landbau) führt zur Remineralisierung der eingebrachten organischen Substanz und bei nicht vorhandenen Pflanzenbewuchs erneut zu hohen N-Auswaschungspotentialen. Diese manifestieren sich in deutlich steigenden N-Austrägen, die in Abhängigkeit von der Feldkapazität und dem Niederschlagsgeschehen bodentypisch sind und zeitlich verzögert je nach standörtlichem Verlagerungsrisiko (KNOBLAUCH u.a. 1999, HAFERKORN 2000) auftreten.

Die Einstellung der mineralischen Stickstoffdüngung und der Wechsel auf die im Ökologischen (Organischen) Landbau übliche Versorgung der Pflanzen über Stallung- und Leguminosenstickstoff bewirkt insbesondere auf den leicht-

ten Böden einen erneuten, deutlichen Anstieg der N-Austräge. Es muss festgestellt werden, dass Leguminosenanbau, Einsatz von Stallung sowie ein niedriges Ertragsniveau auch im Ökologischen Landbau zu einer Belastung des Grundwassers mit Stickstoff führen können.

3.2 N-Bilanzen

Wie aus *Abbildung 1* zu erkennen ist, besteht für die einzelnen Jahre kein unmittelbar korrelativer Zusammenhang zwischen N-Saldo und Höhe der N-Austräge über Sickerwasser. Analog zu Ergebnissen von KNOBLAUCH u.a. (1999) konnte von HAFERKORN (2000) durch Berechnungen zur jährlichen Austauschhäufigkeit von Bodenwasser im effektiven Wurzelraum und zur Verlagerungsgeschwindigkeit in der Dränwasserzone gezeigt werden, dass witterungs- und bodenbedingte Effekte gegenüber dem nutzungsbedingten Verlagerungsrisiko bei jährlicher Betrachtungsweise überwiegen. In Abhängigkeit von der nFK_{WE} und deren witterungsbedingt unterschiedlichen Wiederauffüllung wurde eine relativ lange Verweilzeit der Bodenlösung in der den Wurzeln zugänglichen Bodenzone und dar-

über hinaus in der Dränzone festgestellt. Damit wird erklärbar, dass für die einzelnen Jahre kein unmittelbarer Zusammenhang zwischen N-Saldo und Höhe der N-Austräge über Sickerwasser bestehen kann. Werden langjährige Mittelwerte von N-Salden und N-Austrag über das Sickerwasser gegenübergestellt, treten wieder nutzungsbedingte Effekte in den Vordergrund.

Die ermittelten N-Salden korrelieren dagegen erwartungsgemäß eng mit den entsprechenden Erträgen bzw. N-Entzügen. Grundwasserschonende Landwirtschaft sollte deshalb alle Maßnahmen beinhalten, die zu hohen und stabilen Erträgen (N-Entzügen) führen.

3.3 Nitratgehalte im Sickerwasser

In *Abbildung 2* ist die Dynamik der Nitratgehalte für die vier untersuchten Bodenformen dargestellt. Verbunden mit der geringen Feldkapazität der geprüften leichten, kiesunterlagerten, flachgründigen Böden ergeben sich im Wechselspiel zwischen intensiver Mineraldüngung und bei einem für den Standort hohem Ertragsniveau (KNAPPE u.a., 1994), verbunden mit ständig positiven N-Bilanzen von durchschnittlich 65 kg/ha N (*Abbildung 1*), Nitratgehalte im Sicker-

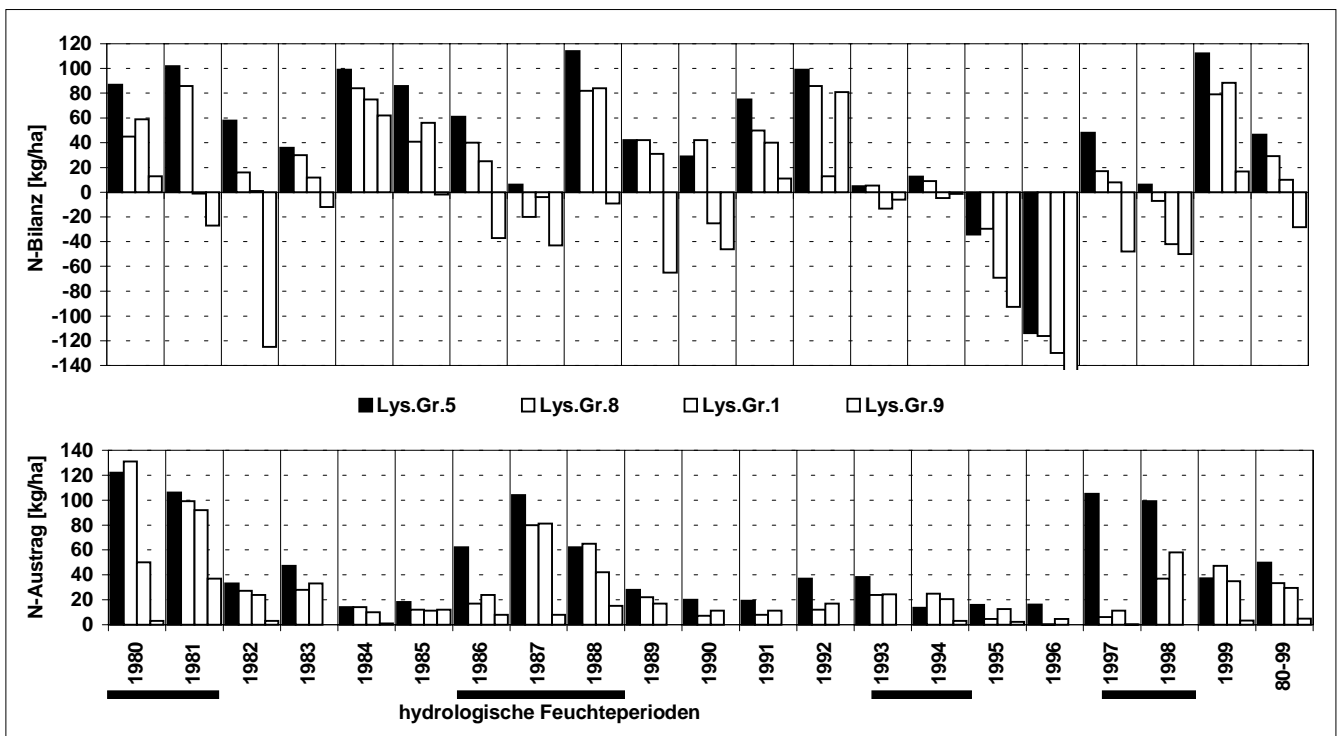


Abbildung 1: Gegenüberstellung von N-Bilanzen (N-Eintrag durch Düngung und nasser Deposition minus N-Entzug Pflanze) und N-Austrag über Sickerwasser für die Intensivperiode (1985-92) und die Periode der Landnutzungsänderungen (1993-99)

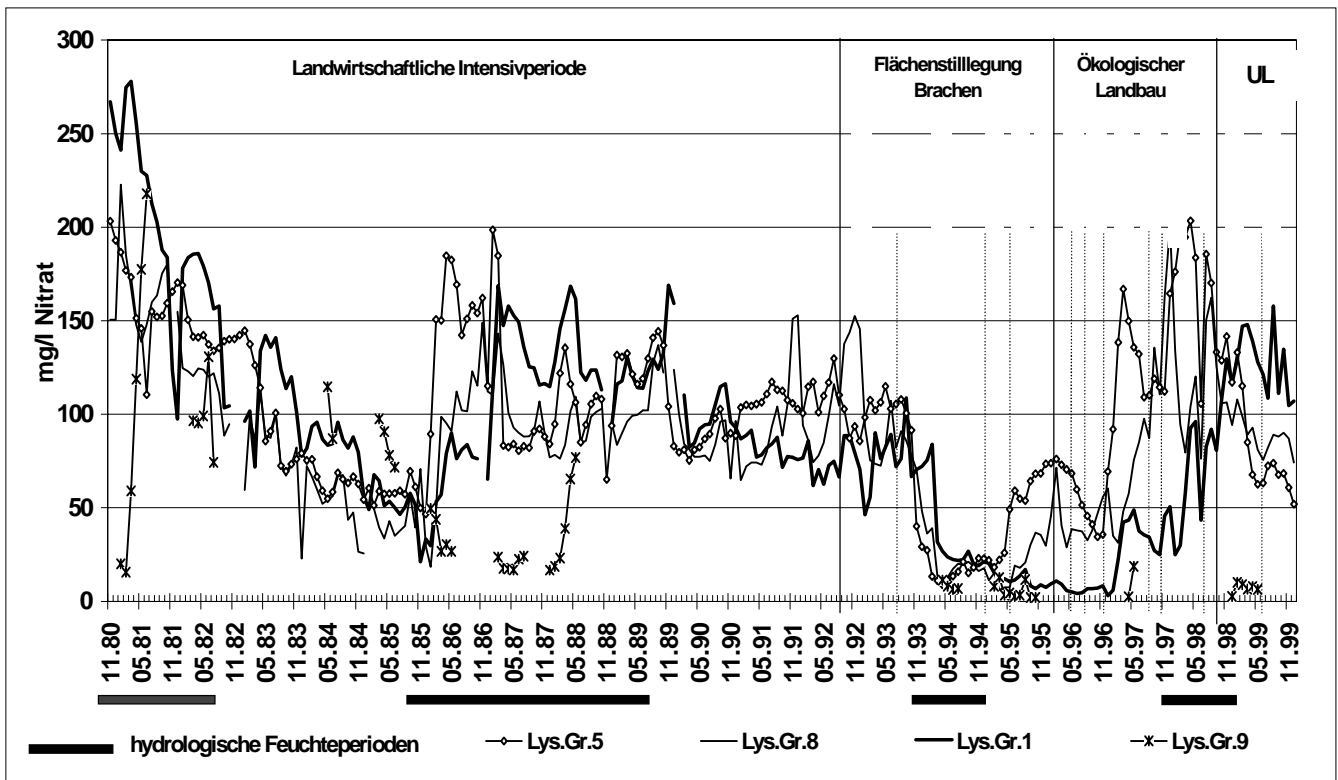


Abbildung 2: Nitrat im Sickerwasser von vier Bodenformen in drei Meter tiefen, monolithischen Lysimetern bei landwirtschaftlich intensiver Nutzung mit anschließenden Flächenstilllegungsmaßnahmen und Übergang zum ökologischen Landbau

kerwasser, die zwischen ca. 80 und 200 mg/l liegen. Die Grenzwerte für Grundwasser werden damit permanent überschritten.

Analog zum Einfluss der im August 1992 begonnenen Brache auf den N-Austrag, bleiben die Nitratgehalte zunächst noch auf einem der Intensivperiode entsprechenden Niveau. Erst im Winterhalbjahr 93/94 sinken die Nitratgehalte als Folge der N-Verwertung durch die etablierten Weidelgrasbestände (ausgeglichene bis negative N-Bilanzen) auf Werte unter 10-20 mg/l Nitrat ab.

Als weiterer Vorgang sei der Wiederanstieg der Nitratgehalte im Sickerwasser (bei den leichteren Böden beginnend im Frühjahr 1995) genannt. Bei insgesamt noch niedrigen N-Frachten wird dieser Anstieg neben dem Anfall von sehr niedrigen Sickerwassermengen als Folge des Grasumbruches im Herbst 1994 mit anschließender Schwarzbrache über Winter erklärt.

Der Anbau von Rotklee und dessen Umbruch im Herbst 1995 bewirkt auch unter den Bedingungen des Organischen Landbaues auf den sandigen, gut durchlässigen Böden mit niedriger Feldkapa-

zität einen verstärkten Anstieg der Nitratgehalte. Auf Grund ihrer hohen Pufferkapazität liegt das Niveau der Nitratgehalte auf Böden mit höherer Wasserkapazität niedriger. Bei geringerem Sickerwasseranfall scheint sich die Reaktion auf Bewirtschaftungsmaßnahmen leicht zu verzögern und kann wie am Beispiel des Lößbodens ersichtlich, auch gänzlich abgepuffert werden.

Die Anwendung von Stalldung kann, wie unsere Untersuchungen ergaben, unter bestimmten acker- und pflanzenbaulichen Bedingungen (Stallungsausbringung im Herbst, geringe N-Aufnahme über Winter und niedrige N-Entzüge in der folgenden Vegetationsperiode) ebenfalls zu zeitweiligen Spitzen im Nitratgehalt des Sickerwassers führen.

Ein engerer Zusammenhang tritt zwischen mittlerer jährlicher Nitrat-Konzentration und Sickerwassermenge, die wesentlich von den aktuellen hydrologischen Bedingungen beeinflusst wird, auf (HAFERKORN 2000). Von den Pflanzen nicht genutzte N-Mengen werden in Abhängigkeit von der nFK_{WE} bei unvollständigem Austausch der Bodenlösung im Wurzelraum und/oder stagnierendem

Transport in der Dränwasserzone akkumuliert. So ist zu erklären, dass mit abnehmender nFK_{WE} und der damit verbundenen steigenden Sickerwasserbildung die Nitrat-N-Konzentrationen zunehmen. Für jeden Bodentyp bildete sich so im Mittel über die Jahre ein von der Fruchtbarkeit und Landnutzungsform abhängiges Niveau der Nitratgehalte im Sickerwasser heraus. Dieser Effekt ist in erster Linie standortabhängig (Sickerwassermenge und Austauschhäufigkeit der Bodenlösung) und wird in seiner absoluten Höhe von der Landnutzung bestimmt.

Nach HAFERKORN (2000) sind Trockenjahre Jahre der N-Akkumulation im Boden, Feuchthjahre führen zu vermehrten N-Austrägen mit erhöhten Sickerwassermengen und steigenden Nitratgehalten (Abbildung 1 und 2). Bei hohen Sickerwasserraten kommt es dadurch nicht zu einem Verdünnungseffekt, sondern zu einem verstärkten Austrag von akkumuliertem Stickstoff aus der Wurzelzone.

Sind den sehr feuchten Perioden (wie z.B. im Jahr 1994) trockene Jahre mit deutlich negativen N-Salden vorgelagert,

wird letzterer Effekt durch nutzungsbedingte Einflüsse jedoch aufgehoben.

In Übereinstimmung mit KNOBLAUCH (1999) muss noch festgestellt werden, dass sorptionsstarke Lößböden mit hoher Speicherkapazität für Wasser zeitweilige erhöhte N-Einträge aus Düngung und Mineralisation abpuffern und bei nur sporadischem Sickerwasseranfall durch niedrigere N-Gehalte und N-Frachten gekennzeichnet sind.

4. Literatur

- BOUWER, W., S. GÄTH und H.-G.FREDE, 1995: Konzepte zur Quantifizierung der Nitratauswaschung auf Standorten mit großem Verlagerungsrisiko - ein kritischer Vergleich. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 76, S. 1243-1246
- HAAS, G., M. BERG und U. KÖPKE, 1998: Grundwasserschonende Landnutzung. Vergleich der Ackernutzungsformen Konventioneller, Integrierter und Organischer Landbau. In: Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau; 10 S. 68-105 (ISBN 3-89574-315-1)
- HAFERKORN, U., 2000: Größen des Wasserhaushaltes verschiedener Böden unter landwirtschaftlicher Nutzung im klimatischen Grenzraum des Mitteldeutschen Trockengebietes - Ergebnisse der Lysimeterstation Brandis. Dissertation, Fachbereich Agrarwissenschaften der Georg-August-Universität Göttingen
- HAFERKORN, U. und S. KNAPPE, 2001: Einfluss von Witterung und Bewirtschaftung auf den Wasserhaushalt verschiedener Böden im Grenzraum des Mitteldeutschen Trockengebietes. Bericht über die 9. Lysimetertagung, BAL Gumpenstein, in Druck
- KNAPPE, S. und U. KEESE, 1995: Einfluss der Bodennutzung auf den Wasser- und Stoffhaushalt von Löß-Schwarzerde und Löß-Parabraunerde - Lysimeteruntersuchungen in der Anlage Brandis. Mittlg. Dtsch. Bodenkdl. Gesell. 76, S. 835-838
- KNAPPE, S., U. KEESE und K. KALBITZ, 1997: Lysimeteruntersuchungen zur Wirkung von Flächenstilllegungsmaßnahmen auf den Stickstoffaustrag und den Nitratgehalt von Sickerwasser von vier Bodenformen. Bericht über die 7. Lysimetertagung „Lysimeter und nachhaltige Landnutzung“ BAL Gumpenstein, S. 105-110
- KNAPPE, S., CH. MORITZ und U. KEESE, 1994: Grundwasserneubildung und N-Austrag über Sickerwasser bei intensiver Landnutzung - Lysimeteruntersuchungen an acht Bodenformen in der Anlage Brandis. Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd. 38, S. 393-403
- KNOBLAUCH, S. und D. ROTH, 1995: N-Austrag aus einer Braunschwarzerde (Löß) im Thüringer Becken - Ergebnisse aus dem Bodenwassermonitoring. Mittlg. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 76, S. 839-842
- KNOBLAUCH, S., D. ROTH und I. PFLEGER, 1999: Beziehungen zwischen N-Saldo, N_{min} im Boden, Nitratgehalt im Sickerwasser und N-Austrag bei unterschiedlichen Ackerstandorten Thüringens, Bericht über die 8. Lysimetertagung „Stoffflüsse und ihre regionale Bedeutung für die Landwirtschaft“ BAL Gumpenstein, S. 73-76
- KÖRSCHENS, M., E. SCHULZ und S. KNAPPE, 1994: Einfluss von Dauerbrache und Fruchtfolge auf die N-Bilanzen einer Löß-Schwarzerde unter Berücksichtigung extremer Düngungsvarianten. Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd. 38, S. 393-403
- LATUS, C., D. HÖLZEL, G. SCHALITZ und J. PICKERT, 1995: Pflanzen-N-Aufnahme und N-Austrag über mehrere Vegetationsperioden aus leichten Böden des norddeutschen Tieflandes in Abhängigkeit von der Landnutzung - Lysimeterstudien unter Einsatz von ^{15}N . Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 76, S. 867-870
- MIETKOWSKI, C. und W.J. HORST, 1995: Steuerung der Boden-Stickstoffdynamik nach Rotationsbrache. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 76, S. 891-894

