

# Beziehungen zwischen N-Saldo, $N_{\min}$ im Boden, Nitratgehalt im Sickerwasser und N-Austrag bei unterschiedlichen Ackerstandorten Thüringens

S. KNOBLAUCH, D. ROTH und I. PFLEGER

## Abstract

Long term experimental results about nitrate leaching from three arable soils of Thuringia are presented. It is showed, that the long term relation between N-balance and nitrate leaching depends on soil and climate conditions especially. A relation between nitrate content in the soil in autumn and nitrate concentration in seepage water was only found for one of the three soils.

## 1. Einleitung und Zielstellung

In Thüringen werden seit mehreren Jahren Bodenwassermeßstellen auf repräsentativen Agrarstandorten betrieben, um langfristig den Einfluß der praxisüblichen Bewirtschaftung auf den Stoffaustrag zu ermitteln und Beziehungen zwischen Bewirtschaftung, Standorteigenschaften und Stoffaustrag aufzuklären.

Im folgenden wird am Beispiel drei unterschiedlicher Ackerstandorte über den Zusammenhang zwischen N-Saldo,  $N_{\min}$  im Boden, Nitratgehalt im Sickerwasser und N-Austrag berichtet.

## 2. Material und Methoden

Bei den Untersuchungsstandorten handelt es sich um einen tiefgründigen Braunerde-Tschernosem im Thüringer Becken, eine Kalkschutttrendzina in der Ilm-Saale-Muschelkalkplatte und einen Fahlerde-Pseudogley im Ostthüringer Schiefergebirge. Sie unterscheiden sich wesentlich im Niederschlagsdargebot, im Substrat, im Wasserhaltevermögen, im pflanzenverfügbaren Wasserdargebot sowie in der Zusammensetzung des Bodenwasserabflusses aus Matrix- und Makroporenwasser (Tabelle 1).

Die Bewirtschaftung der Untersuchungsstandorte erfolgte ackerbaulich nach praxisüblichen Gesichtspunkten.

Für die Gewinnung von Sickerwasser dienten Lysimeter, Saugsonden und Dränausflüsse. Die Sickerwasserqualität ließ sich damit hinreichend genau erfassen. Die Sickerwassermenge und damit die N-Fracht konnte nur mit den Lysimetern der Lysimeteranlage Großbringen (ROTH et al., 1994) aufgrund eindeutiger Zuordnung des Abflusses zum Einzugsgebiet exakt gemessen werden. Bei den übrigen Standorten wurde die Sickerwassermenge mit einem Wasserhaushaltsmodell nach KOITZSCH/GÜNTHER berechnet. Eine zuvor durchgeführte Testung des Modells am Braunerde-Tschernosem erbrachte eine gute Übereinstimmung der berechneten Sickerwasserrate mit dem Lysimeterabfluß.

## 3. Beziehungen zwischen N-Saldo, $N_{\min}$ im Boden, Nitratgehalt im Sickerwasser und N-Austrag

### 3.1 Vergleich langjähriger Werte

Beim Braunerde-Tschernosem im Thüringer Becken stehen einem elfjährigen Ackerbau-N-Saldo von +6 kg/ha\*a (1984...94) ein mittlerer Nitratgehalt von

68 mg/l (1984...97) und ein mittlerer N-Austrag von 5 kg/ha\*a gegenüber (Tabelle 2).

Da bei ackerbaulicher Nutzung im Mittel des elfjährigen Untersuchungszeitraumes von 1984...94 nur 11mm/a Sickerwasser austraten, ist bei Unterstellung eines vorwiegenden Matrixwasserflusses davon auszugehen, dass jährlich nur 2% des Bodenwassers in der Wurzelzone durch neu hinzukommendes Niederschlagswasser verdrängt werden. Drei-jähriger Gemüseanbau mit Beregnung von 1995...97 hatte aufgrund niedrigeren Wurzeltiefgangs und kürzerer Vegetationszeit deutlich höhere Sickerwasserraten zur Folge, wodurch der Austauschprozeß und damit auch die Nitratverlagerung beschleunigt worden ist. Trotzdem sind unter der idealisierten Vorstellung eines Matrixflusses nach dem Verdrängungsprinzip während des vierzehnjährigen Untersuchungszeitraumes erst 79% des Bodenwassers der 2 m mächtigen Wurzelzone ausgetauscht worden. Ein eindeutiger Bezug des N-Saldos zum N-Austrag ist bei diesem Standort offenbar erst nach sehr langen Meßreihen möglich. Der anhaltend positive Trend der Nitratgehalte im Sicker-

Tabelle 1: Charakteristik der Untersuchungsstandorte

Bodentyp	Braunerde-Tschernosem Thüringer Becken	Kalkschutttrendzina Ilm-Saale-Muschelkalkplatte	Fahlerde-Pseudogley Ostthüringer Schiefergebirge
langj. Niederschlag (mm/a)	551	624	623
langj. Temperatur (°C)	8,2	8,0	8,0
überw. Substrat in der Wurzelzone	Lu	Tu2	Ut4
Weff (cm)	160	60	70
nFKwe (mm)	220	60	129
FKwe (mm)	504	236	230
Skelettgehalt in der Wurzelzone (M.-%)	1	28	11
Untersuchungsmethode für die Gewinnung von Sickerwasser	Lysimeteranlage Großbringen	Saugsondenanlage mit permanentem Unterdruck	Dränausfluß mit Mengenmeßeinrichtung

**Autoren:** Dr. Susanne KNOBLAUCH, Prof. Dr. habil. Dieter ROTH, I. PFLEGER, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Naumburger Str. 98, D-07743 JENA

**Tabelle 2: Sickerwasserraten, N-Saldo,  $N_{\min}$  im Boden, Nitratgehalt im Sickerwasser und N-Austrag im Mittel des Untersuchungszeitraumes**

Standort	Braunerde-Tschernosem		Kalkschutt-Rendzina		Fahlerde-Pseudogley	
	1984-94	1995-97	1994-97		1993-97	
Nutzung	Ackerbau Gemüse m. Beregnung		Ackerbau		Ackerbau	
Sickerwasserrate (mm/a)	11	97	174		144	
Austauschhäufigkeit des Bodenwassers (%)	2	19	74		63	
N-Düngung (kg/ha*a)	org	min	Leg	min	org	min
Praxis SBA <sup>1)</sup>	75	129	89	129	40	112
	-	-	-	-	144	131
N-Saldo <sup>2)</sup> (kg/ha*a)	+6	+56	+30		-21	
$N_{\min}$ im Boden (kg/ha*a)	1993-97					
vor Winter	156		80		145	
Frühjahr	119		68		96	
NO <sub>3</sub> -Gehalt im Sickerwasser (mg/l)	1984-97		38		127	
	68					
N-Austrag (kg/ha*a)						
Jahr	5		15		44/62 <sup>3)</sup>	
Sommer			8		/12	

org...organischer Dünger-N, min...mineralischer Dünger-N, Leg...Leguminosen-N, <sup>1)</sup> SBA...N-Düngeempfehlung nach Stickstoffbedarfsanalyse-System der TLL, <sup>2)</sup> N-Zufuhr-Abfuhr-Saldo nach Düngeverordnung, <sup>3)</sup> 44=gemessener NO<sub>3</sub>-Gehalt im Dränwasser + modellierte Sickerwasserrate, 62=gemessener NO<sub>3</sub>-Gehalt im Dränwasser + gemessenem Dränabfluß. Die Differenz zwischen beiden Werten ist der Sommerabfluß, den das Modell nicht ausgewiesen hat.

wasser (Abbildung 1) und die im Versuchsjahr 1996 auf dem benachbarten, ebenso bewirtschafteten Feld nachgewiesene Boden- $N_{\min}$ -Anreicherung bis in 2,5 m Tiefe (KNOBLAUCH et al., 1996) läßt aber vermuten, dass der mittlere Nitratgehalt des Sickerwassers nicht mehr unter 68 mg/l abfallen wird. Der langjährige N-Austrag von 5 kg/ha\*a ist mit das Ergebnis der überdurchschnittlichen Sickerwasserraten nach Gemüseanbau mit Beregnung in drei von vierzehn Jahren (Tabelle 2). Bei ausschließlichen Ackerbau ist er niedriger anzusetzen, weil die Nitrat-Tiefenverlagerung aufgrund niedrigerer Sickerwasserrate deutlich langsamer vonstatten geht und N-Überschußsalen, empfehlungskonforme N-Düngung vorausgesetzt, intensiver abgeschöpft werden können.

Die Ergebnisse deuten daraufhin, dass aufgrund der extrem langsamen Verlagerungsgeschwindigkeit des Bodenwassers jährlich schon niedrige N-Überschußsalen ausreichen, um über eine  $N_{\min}$ -Anreicherung von Bodenzonen hohe Nitratgehalte im Sickerwasser unterhalb der Wurzelzone hervorzurufen. Auch wenn der Saldo aus Düngung einschließlich legumer N-Bindung und Saatgut-N minus pflanzlicher N-Abfuhr vom Feld ausgeglichen ist, verbleibt aus

dem N-Input „sonstige Quellen“ minus N-Output Denitrifikation mit hoher Wahrscheinlichkeit ein positiver N-Saldo, der dann an der N-Anreicherung von Bodenzonen mitwirkt. Gleichzeitig ergibt sich aber aus der sehr niedrigen Verlagerungsgeschwindigkeit des Bodenwassers und der hohen nFKwe auch die Möglichkeit, den durch N-Überschußsalen im Boden akkumulierten Stickstoff durch empfehlungskonforme N-Düngung in den Folgejahren wieder abschöpfen zu lassen und damit der N-Verlagerung aus der Wurzelzone entgegenzuwirken.

Bei der Kalkschuttrendzina verblieb im Untersuchungszeitraum 1994...97 nach empfehlungskonformer N-Düngung ein mittlerer N-Saldo von +30 kg/ha\*a. Das Sickerwasser enthielt im Mittel der Jahre nur 38 mg/l Nitrat und der mittlere N-Austrag erreichte 15 kg/ha\*a (Tabelle 2). Im Jahresverlauf zeigte sich in zwei von vier Jahren eine starke Dynamik der Nitratgehalte im Sickerwasser: Im Winterabfluß lagen die Nitratgehalte sehr niedrig, während das nach länger anhaltenden Niederschlägen in der Vegetationszeit gebildete Sickerwasser zeitweise hohe Nitratgehalte aufwies (KNOBLAUCH et al., 1998).

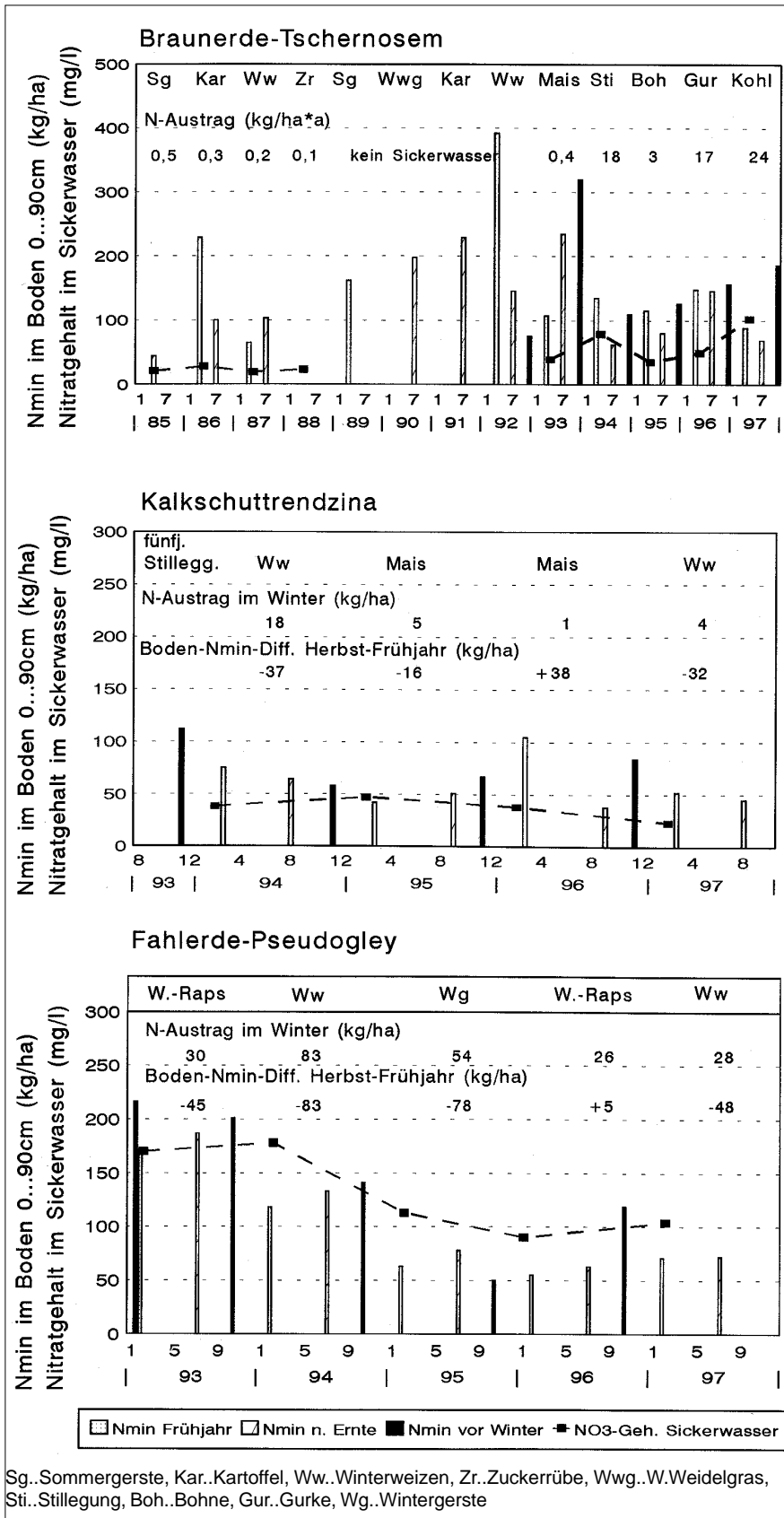
Die berechnete Austauschhäufigkeit von 74% deutet daraufhin, dass es in Ein-

zeljahren zu einem vollständigen Verdrängungsprozeß des Bodenwassers kommen kann. Der Bodenwasserabfluß vollzieht sich aber auf diesem Standort sowohl in der tonhaltigen Matrix als auch in Schrumpfrissen und skelettbedingten Klüften. Offenbar kommt es über letzterem Austragspfad im Winterhalbjahr zu einer starken Verdünnung des Matrixwasserabflusses, weil das an der tonhaltigen Bodenmatrix vorbeigeleitete Niederschlagswasser im Winter durch oberflächlich abgelagerten Stickstoff kaum befrachtet wird. Im Sommerhalbjahr kann es über diese Austragspfade dagegen zu erhöhten N-Austrägen kommen, wenn Niederschlagswasser zuvor den mit der Düngung abgelagerten Stickstoff mitgerissen hat. Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass die Mineralisierung organischer Substanz in stark tonhaltigen Böden aufgrund häufiger auftretender anaerober Verhältnisse weniger intensiv abläuft und auch deshalb weniger Nitrat aus der Wurzelzone verfrachtet wird.

Beim Fahlerde-Pseudogley im Ostthüringer Schiefergebirge verblieb nach empfehlungskonformer N-Düngung im fünfjährigen Mittel ein N-Saldo von -21 kg/ha\*a. Der mittlere Nitratgehalt im Sickerwasser betrug trotzdem 127 mg/l und der N-Austrag belief sich bei einer mittleren Sickerwasserrate von 144 mm/a auf 44 kg/ha\*a.

Die Gegenüberstellung der langjährigen Mittelwerte zeigt, dass der fünfjährige Untersuchungszeitraum noch zu kurz ist, um Rückschlüsse vom N-Saldo auf den N-Austrag zu ziehen.

Ursachen dafür sind im standörtlichen N-Verlagerungsrisiko, offenbar aber auch in einer hohen Nettomineralisation zu suchen. Das Bodenwasser wird vorwiegend oberflächennah über eine in 70...90 cm Tiefe ausgebildete schluffig-tonige Basisfließerde durch Dränagen abgeleitet. Nach HEATHWAITE (1997) sind Dränagen in ihrer Wirkung ähnlich wie große Makroporen einzustufen, nur dass sie vorwiegend den gesättigten, mit Nähr- und Schadstoffen angereicherten Matrixfluß und weniger vorauseilendes Niederschlagswasser ableiten. Der aus N-Düngung minus pflanzliche N-Abfuhr und sickerwassergebundener N-Austrag berechnete negative N-Saldo von -65 kg/ha\*a läßt sich nicht allein aus dem N-



Sg.. Sommergerste, Kar..Kartoffel, Ww..Winterweizen, Zr..Zuckerrübe, Wwg..W.Weidelgras, Sti..Stilllegung, Boh..Bohne, Gur..Gurke, Wg..Wintergerste

Abbildung 1: Zeitlicher Verlauf der Boden- $N_{min}$ -Gehalte im Vergleich zu den jährlichen Nitratgehalten im Sickerwasser und N-Austrägen

Saldo „sonstige Quellen“ minus N-Out- put gasförmige N-Verluste erklären. Of- fenbar haben sich in den Jahren vor Un- tersuchungsbeginn N-Überschußsal- den

in der Wurzelzone akkumuliert, was durch die niedrige Austauschhäufigkeit des Bodenwassers von 63% begünstigt worden ist. Die niedrige Austauschrate ermöglicht auf diesem Standort aber auch, N-Saldo-Überhänge im Folgejahr durch empfehlungskonforme N-Düngung wieder abzubauen und trägt damit zur Minderung des N-Verlagerungsrisikos bei.

### 3.2 Zeitlicher Verlauf der Jahreswerte

In *Abbildung 1* sind die Boden- $N_{min}$ -Gehalte den jährlichen Nitratgehalten im Sickerwasser und N-Austrägen gegenübergestellt.

Es lassen sich folgende Tendenzen erkennen:

- Zwischen jährlichem Boden- $N_{min}$ -Gehalt vor Winter und Nitratgehalt im Sickerwasser zeichnete sich nur beim Fahlerde-Pseudogley ein positiver Zusammenhang ab, bei den übrigen beiden Standorten dagegen nicht. Wesentliche Ursachen dafür sind beim tiefgründigen Braunerde-Tschernosem die bereits beschriebene extrem niedrige Austauschhäufigkeit des Bodenwassers und bei der Kalkschuttrendzina die Verdünnung des Matrixabflusses durch Makroporenwasser im Winterhalbjahr.
- Aus der Differenz Boden- $N_{min}$ -Gehalt vor Winter und Frühjahr ließ sich nur beim Fahlerde-Pseudogley in Einzeljahren und im Mittel des Untersuchungszeitraumes der N-Austrag in diesem Zeitraum ableiten. Beim tiefgründigen Braunerde-Tschernosem gibt es keinen plausiblen Zusammenhang zwischen der Boden- $N_{min}$ -Gehalts-Differenz 0...90 cm und dem N-Austrag aus der Wurzelzone in 2,3 m Tiefe, weil mit der 0...90 cm-Zone bei diesem Standort nicht der gesamte Wurzelraum erfaßt wird.

Eine enge jährliche Beziehung zwischen Boden- $N_{min}$ -Gehalt und Nitratgehalt im Sickerwasser kann nur dann zustande kommen, wenn sich das Bodenwasser vorwiegend nach dem Verdrängungsprinzip durch die Wurzelzone bewegt und vorauseilender Wasserfluß über Makroporen wenig von Bedeutung ist, N-Mineralisierung, Immobilisierung und Denitrifikation im Winterhalbjahr ver-

nachlässigbar oder im Gleichgewicht sind und der in der 0...90 cm-Bodenschicht enthaltene mineralische Stickstoff zum überwiegenden oder repräsentativen Teil im darauffolgenden Winterhalbjahr aus der Wurzelzone verlagert wird. So kann es, muß es aber keinen Zusammenhang geben. Ebenso kann die Boden-N<sub>min</sub>-Differenz Herbst-Frühjahr den N-Austrag im mehrjährigen Mittel widerspiegeln, muß sie aber nicht.

#### 4. Zusammenfassung

- Der langjährige Zusammenhang zwischen N-Saldo, Nitratgehalt im Sickerwasser und N-Austrag ist stark stand-

ortabhängig und nur über mehr- und langjährige Meßreihen eindeutig erkennbar. Ursachen dafür sind die Langfristigkeit des N-Umsatzes und das unterschiedliche N-Verlagerungsrisiko, das im wesentlichen durch die Austauschhäufigkeit des Bodenwassers, das Substrat, die Art der Abflußbildung und das standörtliche Wasserbereitstellungsvermögen bestimmt wird.

- Ein jährlicher Zusammenhang zwischen Herbst-N<sub>min</sub>-Gehalt im Boden und Nitratgehalt war nur bei einem von drei Ackerstandorten festzustellen.

#### Literatur

- HEATHWAITE, A.L., 1997: Sources and Pathways of Phosphorus Loss from Agriculture. In: Phosphorus Loss from Soil to Water. S. 205-223.
- KNOBLAUCH, S., D. ROTH und R. GÜNTHER, 1996: N-Austrag aus einer tiefgründigen Braunerde-Schwarzerde (Löß) im Thüringer Becken. In: BAL-Bericht über die 6. Gumpensteiner Lysimetertagung, S.19-22.
- KNOBLAUCH, S., I. PFLEGER, L. HEROLD und D. ROTH, 1998: Nitratgehalte im Sickerwasser und N-Austrag aus unterschiedlichen Agrarstandorten Thüringens. Forschungsbericht der TLL 98S.
- ROTH, D., R. GÜNTHER und S. KNOBLAUCH, 1994: Technische Anforderungen an Lysimeteranlagen als Voraussetzung für die Übertragbarkeit von Lysimeterergebnissen auf landwirtschaftliche Nutzflächen. In: BAL-Bericht der 4. Gumpensteiner Lysimetertagung, S.9-21.