

Erweiterung der Lysimeteranlage Buttstedt für die Bestimmung von standortabhängigen Schwellenwerten für N-Salden

S. KNOBLAUCH und T. SWATON

Abstract

Lysimeter measurements are carried out to determine soil dependent threshold values for N balances to realise the requirements of the EU-Water Framework Directive. The N-balance is the most significant indicator to estimate the risk of N-leaching to ground water from agricultural use. Threshold values are required to control this potential hazard. These values depend on soil hydraulic parameters and meteorological conditions basically. Therefore the rate of unavoidable N leaching is determined for two soils with different water regime type on condition that fertilisation is optimised. The lysimeter experiment is accompanied by field tests to measure the quantity of mineral N in soil for fertilisation of the lysimeters. First results about leaching rates, nitrate concentration in the seepage water and N-leaching losses indicate different N-leaching risk of the two soils. Due to optimized fertilization there were no N surpluses. This is an important premise to reduce N leaching to water. For the identification of the unavoidable N leaching rates the experiments are to be continued over a period of two crop rotations.

Veranlassung und Zielstellung

Im Jahr 2000 trat die europäische Wasserrahmenrichtlinie in Kraft mit dem Ziel, bis zum Jahr 2015 den guten Zustand der Grund- und Oberflächengewässer zu erreichen. In Thüringen sind 50 der 114 Oberflächengewässer aus diffusen Quellen mit N und P belastet. Das entspricht 49,5 % der Landesfläche. Ein Oberflächengewässer gilt als signifikant diffus belastet, wenn die Gesamtfläche des Wasserkörpers zu mehr als 40 % als Ackerland oder zu mehr als

15 % als Siedlungsfläche genutzt wird bei gleichzeitiger Überschreitung von 6 mg/l Nitrat-N und/oder 0,2 mg/l Phosphat-P. Von den Grundwasserkörpern verfehlen 36 aufgrund diffuser Belastungen den guten chemischen Zustand. Das sind 59 % der Landesfläche mit überwiegend landwirtschaftlicher Nutzung. Signifikanzkriterium ist das aus der Nitrat-Richtlinie übernommene Qualitätsziel 50 mg/l.

Für die Abschätzung der N-Befruchtung der Gewässer aus landwirtschaftlicher Bodennutzung gilt der N-Saldo als aussagefähigster Indikator. Maßnahmen der Bewirtschaftung sind dafür kaum geeignet, weil ihr Einfluss auf die N-Verlagerung von einer Vielzahl von Faktoren wie Standort, Fruchtart, Produktqualität etc. abhängt und deshalb nicht kalkulierbar ist.

Der N-Saldo ermittelt sich über die gesamtbetriebliche Bilanz (Hoftorbilanz). Durch Abzug tierhaltungsbedingter NH_3 -Verluste ergibt sich der Flächen-N-Saldo, der den N-Überschuss auf der Fläche kennzeichnet und in einem engen Zusammenhang zur Höhe der N-Auswaschung aus der belebten Bodenzone steht.

Mit der Vorgabe eines Zieles in Form des N-Saldos ist das Management des Landwirts gefragt. Er muss dafür sorgen, die Bewirtschaftung so zu gestalten, dass der Ziel-N-Saldo erreicht wird. Der Landwirt selbst verfügt mit seinen praktischen Erfahrungen am Standort und seinem Fachwissen über die besten Voraussetzungen dafür. Erreicht er den Ziel-N-Saldo nicht, wird ihm signalisiert, dass er die für den Schutz der Gewässer optimale Kombination von Bewirtschaftungsmaßnahmen noch nicht gefunden hat und er aufgefordert ist, Beratung in Anspruch zu nehmen. Das Management

der N-Düngung spielt dabei eine entscheidende Rolle. Mit der Vorgabe von Zielen an Stelle von Maßnahmen hat der Landwirt auch die Möglichkeit, die für ihn kostengünstigste Lösung zu suchen. Die Prüfung der landwirtschaftlichen Bodennutzung auf Gewässerverträglichkeit mit dem Indikator N-Saldo ist deshalb nicht nur ökologisch wirksamer, sondern auch ökonomisch effizienter als die Vorgabe von Maßnahmen. Das entspricht den Anforderungen nachhaltiger Wirtschaftsweisen.

Um den N-Saldo im Hinblick auf Gewässerverträglichkeit bewerten zu können, werden Schwellenwerte benötigt. Wo diese Werte liegen, ist im Wesentlichen von den Standortverhältnissen abhängig.

Die Höhe der N-Auswaschung, die unter der Bedingung eines optimierten Bewirtschaftungsregimes entsteht, ist als nicht weiter absenkbar zu sehen und stellt einen Verlust dar, der durch Düngung ersetzt werden muss, wenn es nicht zu einer Abnahme der Bodenfruchtbarkeit kommen soll. Die Höhe dieses unvermeidbaren N-Austrages entspricht deshalb der Höhe des unvermeidbaren N-Flächen-Saldos. In Abhängigkeit von den bodenhydrologischen Eigenschaften, den meteorologischen Verhältnissen und dem Bewirtschaftungsregime kann dieser Wert in einem weiten Bereich schwanken.

Da der Landwirt unter Praxisbedingungen nicht alle ertragsbestimmenden Faktoren beeinflussen kann und der unvermeidbare N-Flächen-Saldo deshalb nur in einem bestimmten Toleranzbereich eingehalten werden kann, addiert sich dazu noch eine tolerierbare Menge von bis zu +/- 30 kg/ha (ECKERT, 1997).

Mit diesen standortabhängigen Schwellenwerten kann der Landwirt überprüfen,

Autoren: Dr. agr. Steffi KNOBLAUCH und DI agr. Thomas SWATON, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Naumburger Straße 98, D-07743 JENA, s.knoblauch@lysimeter.tll.de

ob er ein für seinen Standort optimales Bewirtschaftungsregime gefunden hat oder nicht.

Die Höhe des unvermeidbaren N-Austrages gibt auch die aus landwirtschaftlicher Sicht erreichbare Größe der N-Befruchtung der Gewässer vor. Wenn diese Werte nicht kompatibel sind mit den Anforderungen des Gewässerschutzes, ist nach zusätzlichen Maßnahmen zu suchen, die dann über das optimierte Bewirtschaftungsregime hinausgehen und eine weitere Absenkung der N-Verlagerung erreichen können. Dazu zählt bspw. der Anbau von Winterzwischenfrüchten. In der Regel bedeuten solche Maßnahmen zusätzliche Kosten, die dann von der Gesellschaft getragen werden müssten.

Über die Höhe des unvermeidbaren N-Austrages gibt es bislang nur empirische Annahmen, aber keine experimentell begründeten Werte. Da sie in Abhängigkeit von den Standortverhältnissen in einem weiten Bereich schwanken können ist ihre exakte Bestimmung dringend notwendig.

Deshalb ist es Ziel der vorliegenden Untersuchungen, für zwei Böden, die sich deutlich im Abflussregime und Ertragspotential unterscheiden, die Höhe dieses unvermeidbaren N-Austrages zu bestimmen und bodenhydrologische Parameter der Verlagerungsdisposition für die Übertragung auf andere Böden abzuleiten. Die Bestimmung des unvermeidbaren N-Austrages gelingt nur mit Modellgefäßen, mit denen Pflanzenbestände unter Feldbedingungen etabliert, der N-Input kontrolliert, die ausgewaschene N-Menge in situ erfasst und N-Bilanzierungen vorgenommen werden

können. Diese Anforderungen erfüllen Lysimeter.

Seit 2005 wird in Thüringen über die Neufassung von Agrarumweltmaßnahmen in Form des Programms zur Förderung umweltgerechter Landwirtschaft, Erhaltung der Kulturlandschaft, Naturschutz und Landschaftspflege (KULAP) für den Zeitraum 2007 bis 2013 diskutiert. Für die Umsetzung der EG-WRRL ist u. a. die Fördermaßnahme W1 "Reduzierung des Stickstoff-Austrages" entwickelt worden (TMLNU, 2006). Es ist eine zielorientierte Maßnahme, die speziell auf den Gewässerschutz ausgerichtet ist und die Erreichung oder Beibehaltung eines N-Saldos auf der Nettoackerfläche des Betriebes fördert. Ziel-N-Saldo 1 stellt darin die Basisanforderung dar, Ziel-N-Saldo 2 eine besonders gewässerschonende Bewirtschaftung. Die Ergebnisse zur Höhe von standortabhängigen Schwellenwerten für N-Salden werden in dieser Fördermaßnahme ihre agrarpolitische Umsetzung finden.

Versuchsanlage, Untersuchungsstandorte und -varianten

Versuchsanlage

Die Versuchsanlage setzt sich zusammen aus dem Lysimeterversuch und zwei Feldversuchen. Die Lysimeter weisen eine Oberfläche von 2 m² und eine Tiefe von 2,0 bzw. 2,5 m auf, sind monolithisch befüllt und befinden sich zur Vermeidung von Oaseneffekten inmitten eines Feldschlages. Für die neue Versuchsfrage wurde die Lysimeteranlage Buttletstedt mit 4 Lysimetern (ROTH et al., 1994) um 12 neue erweitert (Abbil-

dung 1). Die monolithische Befüllung erfolgte durch UGT Müncheberg. Für die Aufstellung der neuen Lysimeter war es notwendig, die beiden alten Lysimeterkeller um zwei neue zu erweitern. Das Sickerwasser wird über eine inerte Kies-schüttung aus Quarzschluff und -sand abgeführt, um die Sickerwasserqualität nicht zu beeinträchtigen. Bei den wägbaren mit Löss angefüllten "alten" Lysimetern wird das Sickerwasser mit keramischen Saugkerzen unter Einwirkung eines Unterdrucks abgeleitet, um unnatürlich hohen kapillaren Aufstieg zu vermeiden. Für die wägbaren, mit Keuper-substraten angefüllten "neuen" Lysimeter ist deshalb zusätzlich zur gravitativen Entwässerung auch der Einbau eines Unterdrucksystems, allerdings mit Saugkerzen aus Glas, vorgesehen. Die Lysimeter bestehen aus Edelstahl. Zwei Speziallysimeter sind mit einem PE-Inliner ausgekleidet. Damit können eine Vielzahl von Qualitätsparametern, darunter die für den ökologischen und chemischen Zustand der Gewässer relevanten Kriterien bestimmt werden.

Es werden zwei Böden und zwei Düngungsregime mit drei bzw. vier Wiederholungen geprüft (Abbildung 1).

Begleitend zu den Lysimetermessungen werden auf den Herkunftsflächen der Versuchsböden Feldversuche, die ebenso wie die Lysimeter bewirtschaftet werden, angelegt, um die Bodengehalte, insbes. den Nmin-Gehalt des Bodens, für die Präzisierung der N-Düngung der Lysimetergefäße zu bestimmen und mit der Prüfung zweier zusätzlicher Varianten mit einer höheren N-Düngermenge sicherzustellen, dass im Lysimeterversuch der Zielertrag erreicht wird. Außerdem

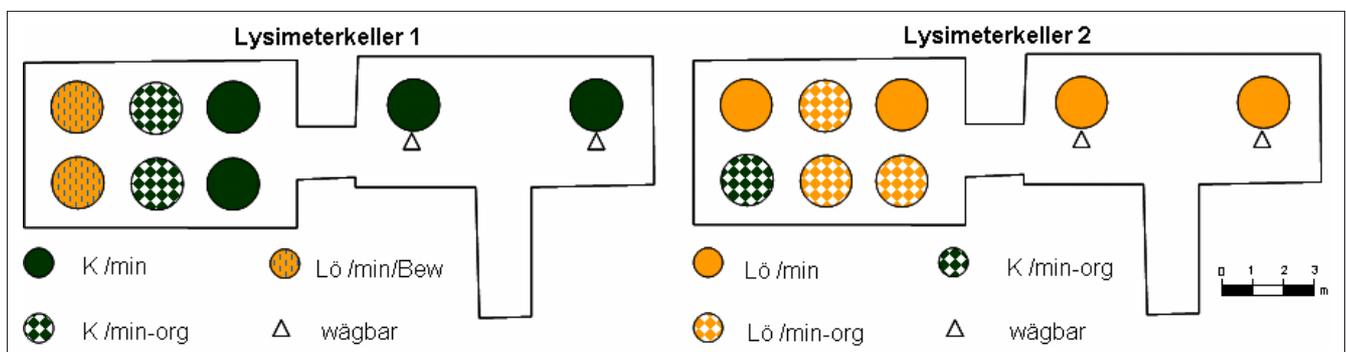


Abbildung 1: Anordnung der Varianten (Boden/ Düngung) im Lysimeterversuch (Lysimeterkeller 1 und 2); Lö...Braunerde-Tschernosem aus Löss, K...Para-Rendzina aus Keuper, min...mineralische Düngung, min-org...mineralisch-organische Düngung, Bew...Bewässerung

Tabelle 1: Bodenchemische und -physikalische Eigenschaften des Braunerde-Tschernosem aus Löss

Horiz. uT cm	Horiz.	C _{org} %	N _{ges} %	Ca-CO ₃ %	pH -	Korngrößenverteilung < 2 mm			Skelett G.%	Bodenart n. KA5	geol. Herkunft	TRD g/cm ³	kf-Wert cm/d	Grob-PV Vol.%
						S %	U %	T %						
30	Axp	1,57	0,17	0,0	6,3	6,3	62,4	31,5	0,0	Tu3	Lo	1,54	0,4	9,7
42	Axh	1,32	0,13	0,0	6,5	5,9	62,2	32,0	0,0	Tu3	Lo	1,59	53,5	6,9
58	Bv-Axh	0,83	0,09	0,0	6,8	8,4	54,0	37,6	0,0	Tu3	Lo	1,49	387,6	10,7
63	Axh-Bv	0,63	0,07	1,6	7,5	9,7	54,9	35,4	0,0	Tu3	Lo	1,40	465,0	13,0
93	II eICc1	0,13	0,02	17,3	7,7	15,0	60,9	24,1	0,0	Lu	Lo	1,57	16,2	13,3
117/149	eICc2	0,34	0,02	13,0	7,8	15,0	57,3	27,7	0,0	Lu	Lo	1,55	46,1	14,2
168/190	III pal eBvhc	0,21	0,03	13,6	7,7	10,5	57,5	31,9	0,0	Tu3	Lo	1,63	1,0	8,1
210	eSd-eBt	0,32	0,03	4,5	7,7	7,3	53,4	39,3	0,0	Tu3	Lo	1,61	0,1	3,1
250	eSw-eICc	0,18	0,03	19,3	7,8	13,1	51,4	35,5	0,0	Tu3	Lo	1,64	0,2	5,8

Tabelle 2: Bodenchemische und -physikalische Eigenschaften der Para-Rendzina aus unterem Keuper

Horiz. uT cm	Horiz.	C _{org} %	N _{ges} %	Ca-CO ₃ %	pH -	Korngrößenverteilung < 2 mm			Skelett G.-%	Bodenart n. KA5	geol. Herkunft	TRD g/cm ³	kf-Wert cm/d	Grob-PV Vol%
						S %	U %	T %						
20	eAp1	1,53	0,16	7,4	7,5	15,3	45,4	39,3	34,4	Lt3	^d ^s	1,53	1,2	4,9
26/30	eAp2	1,58	0,17	7,1	7,5	17,5	44,2	38,3	33,5	Lt3		1,45	10,3	8,4
52/65	II eICv	0,3	0,03	16,8	7,6	25,7	49,6	24,7	16,4	Ls2	Lo ^sk ^s	1,62	12,2	11,0
66/72	III eICv	0,36	0,04	1,1	7,6	31,3	41,4	27,3	11,1	Lt2	^mk,t ^s ^sk	1,72	0,7	5,1
86/90	IV eICv	0,03	0,02	13,0	7,7	24,3	55,1	20,6	12,0	Lu	Lo	1,65	3,0	10,1
88/100	V eICv	0,22	0,03	1,1	7,6	37,9	41,7	20,4	15,3	Ls2	^mk,t ^s	1,69	10,2	8,6
99/110	VI eICv	0,19	0,03	5,4	7,6	39,5	38,3	22,1	17,5	Ls3	^mk,u ^sk ^s	1,72	6,9	6,2
134/140	VII Cv	0,23	0,03	0,0	7,5	28,1	47,4	24,5	15,9	Ls2	^mk,t	1,75	0,4	4,2
200	VIII Cv	0,25	0,03	0,0	7,4	39,0	41,9	19,1	30,9	Ls2	^mk,u ^mk,t ^s	1,75	0,3	5,4
200	IX Cv	0,2	0,03	0,0	7,3	47,3	35,0	17,6	17,7	Ls3	^mk,t ^s	1,69	2,00	9,8
150/200	X Cv	0,27	0,03	0,0	7,4	21,6	53,7	24,7	18,1	Lu	^t ^mk,u	1,73	1,10	5,2
170/200	XI Cv	0,17	0,04	0,0	7,5	5,6	59,5	34,9	30,4	Tu3	^t	1,71	6,30	3,0
140	XII Cv	0,07	0,03	0,0	7,5	19,8	47,6	32,6	32,2	Lt2	^t			4,9

sind auf den Feldparzellen Tracerversuche für die Visualisierung und Charakterisierung von Fließpfaden für die Ableitung bodenhydrologischer Parameter der Verlagerungsdisposition vorgesehen.

Untersuchungsstandorte

Auswahl der Untersuchungsstandorte

Bei der Auswahl der beiden Untersuchungsstandorte waren folgende Kriterien zu beachten:

- deutlich voneinander abweichende Abflussregime (Matrix-, präferentieller Fluss), Unterschiede in der Bodenwasserbereitstellung und in den Sorptionsverhältnissen
- Bodenform mit einer ausreichenden Flächenrepräsentanz für eine landwirtschaftlich genutzte Region
- Bodenform in einem Gewässerraum mit geringer bis mittlerer Schutzwirkung der Deckschichten und bedeuten-

der Nährstoffbefruchtung aus diffusen Quellen

- geeignet für Lysimetermessungen, d.h. Durchgängigkeit des Wasserflusses bis in 2,5 m Tiefe
- aufgrund der aus finanziellen und arbeitsorganisatorischen Gründen notwendigen Aufstellung beider Böden an einem Standort vergleichbare meteorologische Verhältnisse der beiden Herkunftsflächen und des Standortes der Lysimeteranlage

Untersuchungsböden sind ein tiefgründiger Braunerde-Tschernosem aus Löss und eine Para-Rendzina aus Verwitterungssubstraten des unteren Keupers. Sie befinden sich im Thüringer Keuperbecken, das überwiegend landwirtschaftlich genutzt wird und gleichzeitig im Gewässerraum Unstrut mit hoher N-Belastung aus diffusen Quellen liegt. Das Thüringer Becken umfasst 33,6 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) Thüringens. Die Untersuchungsböden

vertreten darin 25,3 (Para-Rendzina) und 41,1 % (Braunerde-Tschernosem) der LN. Der vorherrschend aus Letten bestehende Untere Keuper gilt mit seinen wasseraufnahmefähigen Sandsteinen, Kalksteinen und Dolomiten als mittel bis gut durchlässig. Durch den Wechsel wasseraufnahmefähiger und wasserstauer Schichten kommt es zum Entstehen von Schichtwasser. Von dem für eine Schwarzerde aus unterem Keuper berechneten Gebietsabfluss (Wasserhaushaltsmodell GEOFEM) wird angenommen, dass 147 mm als Schichtwasser in die Vorfluter und 47 mm in das Grundwasser gelangen (GABRIEL & ZIEGLER, 1997).

Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt im 30-jährigen Mittel 8,2 °C (1951-80) und die Jahres-Niederschlagssumme beläuft sich im 30-jährigen Mittel auf 552 mm.

Der Braunerde-Tschernosem zeichnet sich durch einen mehr als 40 cm mächtigen

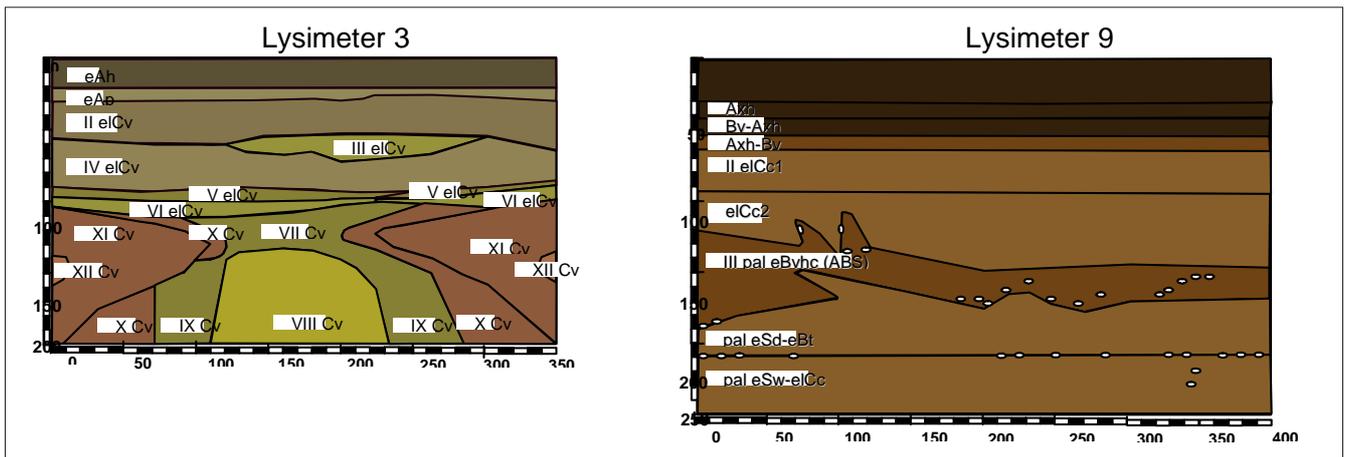


Abbildung 2: Darstellung der Horizontabfolge der Lysimeterprofile 3 (Para-Rendzina aus unterem Keuper) und 9 (Braunerde-Tschernosem aus Löss)

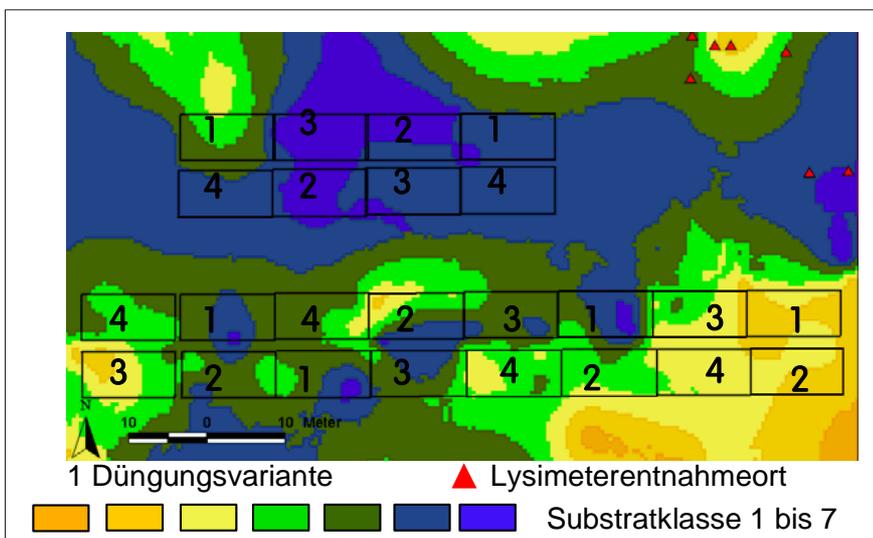


Abbildung 3: Darstellung der räumlichen Heterogenität der Ausgangssubstrate des unteren Keupers sowie Lage der Feldparzellen und der Lysimeter-Entnahmestellen

gen schwarzen Axh-Horizont auf und ist bis in 70 cm Tiefe entkalkt (Tabelle 1). Die Bodenart liegt in der Klasse zwischen Schluff und Ton, wobei im Tiefenverlauf gleichförmig hohe Schluff- und Tongehalte zu verzeichnen sind. Der Steingehalt liegt nahe Null. Dafür treten in einer Tiefe ab 100 cm Lösskindel auf, die z.T. perlschnurenartig über das gesamte Profil verteilt sind. Die bis zum Ah-Bv ablaufenden Verwitterungsprozesse äußern sich in einem um mehr als 10 % höheren Tongehalt und 0,7 Einheiten geringeren pH-Wert im Vergleich zum darauffolgenden IielCc. Auffällig ist die sehr hohe und hohe Wasserdurchlässigkeit in den Ah-Bv- und IielCc-Horizonten. Dies korrespondiert im Ah-Bv mit einer geringen Lagerungsdichte, einem Krümel-/Subpolyedergefüge und

hohen Grobporen-Gehalten in Form von Nadelstichporen in den Aggregaten, Regenwurm- und Wurzelgängen. Sehr gering wasserdurchlässig zeigen sich der Ap, vermutlich aufgrund des dort ausgebildeten Grobpolyedergefüges und die unterhalb 117/150 cm anstehenden paläontologischen Lösslagen mit hohen Bodendichten und geringen Grobporengehalten.

Die Definition Para-Rendzina ergibt sich aus dem carbonathaltigen lockeren oder festen Mergelgestein (Tabelle 2). Der Ah-Horizont ist gering mächtiger als 40 cm und der Bodenart Ton zuzuordnen. Darauf folgen lehmige, schluffige und tonige Verwitterungssubstrate des unteren Keupers mit im Tiefenverlauf stark wechselnden Korngrößenanteilen, Skelett- und Carbonatgehalten. Die Korngrö-

ßenverteilung zeichnet sich im Vergleich zum Löss durch deutlich höhere Sandanteile aus. Die C-Horizonte zeigen durchgängig hohe Bodendichten. Die kf-Werte weisen auf eine stark wechselnde mittlere bis sehr geringe vertikale Wasserdurchlässigkeit der einzelnen Horizonte. Das Grobporenvolumen kann als gering bis mittel eingestuft werden.

Das Abflussregime wird in diesem Boden nicht nur durch die gesättigte Wasserleitfähigkeit sondern auch durch Form und Lage der Horizontgrenzen und den starken Wechsel in der vertikalen Substratabfolge bestimmt (Abbildung 2).

Auf dem Standort Keuper zeigte sich bei der Ausgrenzung der Entnahmestellen für die Lysimeter nicht nur ein starker Wechsel in der vertikalen Abfolge der Substrate, sondern auch in der Fläche - eine für Böden aus unterem Keuper charakteristische Ausgangssituation. Einheitlich über die Fläche konnte der Bodentyp "Para-Rendzina" angesprochen werden. Darauf folgen in der Tiefe engräumig sehr stark wechselnd die lehmigen und tonigen Substrate des unteren Keupers, die von zentimeterdicken Lagen aus schluffigem Löss unterbrochen werden. Die Bodenprofile der sieben Keuper-Lysimeter können drei verschiedenen Klassen dieser Substratabfolge zugeordnet werden:

- Dolomitzersatz und Löss über Tonmergel-, Sandsteinfließerden Lys 1, 2, 3
- Tonmergel- und Schluffmergelfließerden mit Dolomitzersatz und Lösslagen über Tonmergel-, Schluffmergel- und Sandsteinfließerden Lys 4, 5

Tabelle 3: Varianten der N-Düngung im Lysimeterversuch

	Mineralisch Variante 1		Mineralisch/ Gülle-Gesamt-N Variante 4	
Silomais	N-Sollwert minus Nmin		N-Sollwert minus Nmin minus 100 kg/ha Gülle-N, zur Aussaat	
Braugerste	N-Sollwert minus Nmin	Stroh ¹ plus 25 kg/ha Mineral-N	N-Sollwert minus Nmin	Stroh ¹ plus 50 kg/ha Gülle-N
Winterraps	N-Sollwert minus Nmin	Stroh ¹	N-Sollwert minus Nmin minus 50 kg/ha Gülle-N, Kopfdüngung	Stroh ¹
Eliteweizen	N-Sollwert minus Nmin (1. N-Gabe), 2. u. 3. N-Gabe nach Pflanzenanalyse	Stroh ¹	N-Sollwert minus Nmin (1. N-Gabe), 2. und 3. N-Gabe nach Pflanzenanalyse	Stroh ¹

¹ Stroh bleibt auf dem Feld

Tabelle 4: Sickerwassermengen der Lysimeter mit Para-Rendzina

Lysimeter	Sickerwassermenge (mm/a)						
	Lys1	Lys2	Lys3	Lys4	Lys5	Lys6	Lys7
1.11.2004 bis 31.10.2005	43,3	25,4	43,5	13,9	12,0	61,5	42,9
1.11.2005 bis 31.10.2006	0	0	0	0	4,6	43,5	36,4

- Tonfließerde mit Dolomitzersatz über Tonmergel-, Sandstein-Fließerden und unverwittertem Ton- und Sandstein Lys 6, 7

Auswahl der Flächen für die Feldversuche

Die Parzellen für den Feldversuch waren so auszuwählen, dass der Bodentyp Pararendzina und die drei Substratklassen sich adäquat in den Feldparzellen wieder finden. Dafür erfolgte im Bereich der Entnahmeorte der Lysimeter eine Rasterkartierung bis auf 1m Tiefe in einem Umfang von 200 Bohrungen. Nach Auswahl der Fläche, die gleichartige Bodenverhältnisse wie die Lysimeter aufweist, erfolgte eine Detailkartierung der einzelnen Parzellen und eine Zuordnung zu einer Substratklasse. Dabei zeigte sich die Notwendigkeit, eine weitere Abstufung der Substratklassen vorzunehmen, in der bestimmte Merkmale, wie z.B. die Mächtigkeit der lössbeeinflussten Horizonte etwas stärker ausgeprägt sind als in den drei Substratklassen der Lysimeterböden, aber in der Substratabfolge jeweils einer dieser drei Substratklassen zuordenbar sind. Insgesamt wurden für die Verbreitung der Keuper-substrate im Feldversuch 7 Substratklassen gebildet, wobei in der Reihenfolge von 1 bis 7 der Löss- und Dolomiteinfluss abnimmt und die Tonfließerden an Bedeutung zunehmen (Abbildung 3).

Beide Feldversuche sind mit 4 Bewirtschaftungsvarianten und 6 Wiederholungen angelegt.

Untersuchungsvarianten

In der Fruchtfolge werden Winterraps, Eliteweizen, Silomais und Braugerste angebaut, eine typische Ackerfruchtfolge im Thüringer Becken. Mit Eliteweizen und Winterraps sind zwei aus Sicht der Wasserwirtschaft kritische Fruchtarten mit hoher N-Hinterlassenschaft enthalten. Im Lysimeterversuch werden zwei Düngungsvarianten geprüft, eine mineralische und eine mineralisch-organische (Tabelle 3).

Der N-Sollwert ist die N-Menge, die vom Stickstoff-Bedarfs-Analyse-System der TLL vorgegeben wird und eine ausreichende N-Versorgung der Pflanze, insbesondere zu Vegetationsbeginn gewährleistet und von der die pflanzenverfügbare Boden-Nmin-Menge abzuziehen ist (Variante 1). Der N-Sollwert soll in der Praxis durch Pflanzenanalyse für die 2. und 3. N-Gabe (z.B. Eliteweizen) spezifiziert werden.

Die N-Zufuhr über Gülle zur wachsenden Frucht wird in der Variante 4 als Gesamt-N vom N-Sollwert abgezogen. Die N-Zufuhr über Gülle im Herbst bzw. die N-Nachlieferung aus der Mineralisierung des organisch gebundenen Gülle-N kann über einen höheren Nmin-Wert im Frühjahr, der vom N-Sollwert

abgezogen wird und bei Winterweizen durch einen höheren N-Gehalt der Pflanze bei der Präzisierung der 2. N-Gabe Eingang finden. Die dritte N-Gabe zu Winterweizen wird beiden Varianten in gleicher Höhe verabreicht, entsprechend der jeweils schlechter mit N versorgten Variante.

Im Feldversuch werden zwei weitere Varianten mit einer höheren N-Düngermenge geprüft. In der Variante 3 wird der korrigierte N-Sollwert um 30 % erhöht und davon die pflanzenverfügbare Nmin-Menge abgezogen. Die Höhe der 2. N-Gabe ergibt sich aus der für Variante 1 ermittelten N-Düngermenge plus 30 %. Die 3. N-Gabe zu Winterweizen fällt bei allen Varianten gleich aus, in Abhängigkeit von der am schlechtesten mit N versorgten Variante. In der Variante 2 wird der Gülle-N als Mineral-Dünger-Äquivalent angerechnet entsprechend den Empfehlungen in den TLL-Leitlinien. Für Silomais mit Ausbringungszeitraum "zur Aussaat" bedeutet das Anrechnung von 65 % des Gesamt-Gülle-N und damit eine höhere Mineral-N-Dünger-Menge im Vergleich zur Variante 4 "Gülle-Gesamt-N" im Lysimeterversuch.

Das Stroh von Braugerste, Winterraps und Winterweizen bleibt auf dem Feld. Für die Unterstützung der Strohhotte des Braugerste-Stroh werden in den beiden mineralischen Varianten einheitlich 25 kg/ha Mineral-N und den mineralisch/organischen Varianten 50 kg/ha Gülle-N appliziert.

Die Ausbringung der Rinder-Gülle erfolgt für eine präzise Mengen-Zuteilung mit der Gießkanne in 1 bis 3 cm tiefe

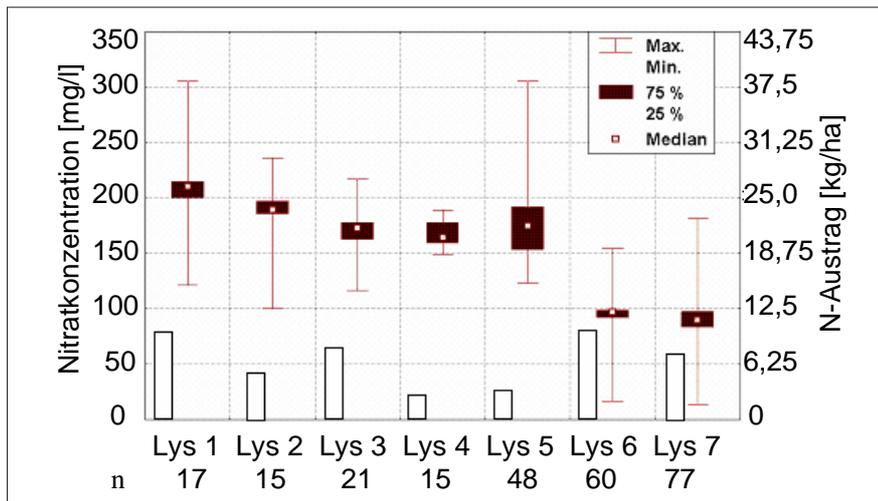


Abbildung 4: Variationsbreite der Nitratkonzentration des Sickerwassers und mittlere N-Austräge im Zeitraum 1.11.2004 bis 31.10.2006

Rillen. Um N-Verluste durch NH_3 -Verflüchtigung zu minimieren wird die Gülle unmittelbar danach mit Bodenmaterial bedeckt. Für die Bemessung der Gülle-Menge wird die N_t -Konzentration jeweils vor der Ausbringung im Labor analysiert.

Erste Ergebnisse im Zeitraum 1.11.2004 bis 31.10.2006

Sickerwassermenge, Nitratkonzentration des Sickerwassers, N-Austrag

Die mit dem Braunerde-Tschernosem angefüllten Löss-Lysimeter bildeten in keinem der beiden Jahre Sickerwasser. Die Niederschläge im Winterhalbjahr waren unternormal, so dass es keine vollständige Auffüllung des im Jahr zuvor durch Winterweizen und Silomais ausgeschöpften Bodenwasservorrates geben konnte.

Die Sickerwassermengen der Lysimeter mit der Para-Rendzina (Keuper-Lysimeter) bewegten sich im Jahr 2005 zwischen 12 und 62 mm. Im Jahr 2006 blieb auch auf 4 der 7 Keuper-Lysimeter eine Sickerwasserbildung aus. Die Keuper-

Lysimeter 6 und 7 erbrachten im Jahr 2006 44 und 36 mm, das Lysimeter 5 wies 5 mm Sickerwasser auf.

Die Nitratkonzentrationen des Sickerwassers der Keuper-Lysimeter lagen im Mittel der Jahre 2005 und 2006 zwischen 95 und 202 mg/l (Abbildung 4). Es deutet sich eine Gruppierung entsprechend der Zuordnung zu den Substratklassen an. Besonders hohe Werte wiesen die Lysimeter 1, 2 und 3 der Substratgruppe 1 mit Dolomit- und Lößlagen über Schluffmergel-/ Sandsteinzersatz auf. Die niedrigsten Werte zeigten Lysimeter 6 und 7 mit Tonmergel-/Tonfließerden unter dem Ap-Horizont. Diese Differenzierung fällt bei den N-Austrägen geringer aus. Im Jahr 2005 wurden 5 bis 21 kg/ha N ausgewaschen. Im Mittel der beiden Jahre waren es 3 bis 12 kg/ha.

Nmin-Gehalte der Böden der Lysimeter

Nach der Gewinnung der Bodenmonolithen wurden die einzelnen Horizonte der freigelegten Profilwand beprobt und auf ihren Nmin-Gehalt untersucht (Tabelle 5).

Die Ackerkrume beider Bodengruppen zeichnete sich durch hohe bis sehr hohe

Nmin-Gehalte aus (Tabelle 5). Das ist in beiden Fällen im Zusammenhang mit der Bewirtschaftung im vorangegangenen Jahr zu sehen. Auf dem Feldschlag Keuper wurden im Jahr 2004 Erbsen angebaut, auf dem Feldschlag Löss im Sommer 30 m³/ha Gülle ausgebracht.

Die Nmin-Gehalte im Unterboden der Löss-Lysimeter sind bis in 90 cm Tiefe und darunter bis in 200 cm Tiefe als niedrig einzustufen. Sie spiegeln den leicht negativen N-Saldo von -9,2 kg/ha im Zeitraum 1996 bis 2004 wider, der für diesen Feldschlag auf einer Bodendauerbeobachtungsfläche ermittelt wurde. Deutlich höhere Werte sind im Unterboden der Keuper-Lysimeter zu verzeichnen. Erhebungen über den N-Saldo vergangener Jahre liegen für den Feldschlag Keuper nicht vor. Die höheren Nmin-Gehalte im Unterboden der Keuper-Lysimeter sind möglicherweise ein Indiz auf das höhere N-Verlagerungsrisiko dieser Bodenform. Zukünftige Untersuchungen unter kontrollierten Anbaubedingungen des Feldversuches werden darüber Auskunft geben. Innerhalb der Gruppe der Keuper-Lysimeter deutet sich ein Zusammenhang zwischen dem Nmin-Gehalt des Bodens und der Nitratkonzentration des Sickerwassers an. Die geringsten Nitratkonzentrationen zeigen die Lysimeter 6 und 7, die auch die geringeren Nmin-Gehalte aufweisen. Da die Lysimeter 6 und 7 gleichzeitig die höheren Sickerwassermengen bilden ist der Zusammenhang zwischen Nmin-Gehalt und N-Austrag nicht mehr so eng.

Erträge und N-Salden im Jahr 2005

Eine N-Düngung in Höhe von 110 bzw. 118 kg/ha mineralischer N zu Silomais erzielte einen Trockenmasseertrag von 179 dt/ha auf der Para-Rendzina bzw. 210 dt/ha auf dem Braunerde-Tschernosem (Tabelle 6). Die mineralisch/ organische N-Düngung mit 10 kg/ha mineralischem N plus 100 kg/ha Gülle-N

Tabelle 5: Nmin-Gehalte der Böden der Lysimeter (kg/ha/Bodenschicht) zum Zeitpunkt der Profilaufnahme im Dezember 2004

Horiz./ Tiefe(cm)	Keuper							Löss				
	Lys1	Lys2	Lys3	Lys4	Lys5	Lys6	Lys7	Lys8	Lys9	Lys10	Lys11	Lys12
Ap/Ah	87	98	68	36	53	25	58	112	193	98	119	83
...90	43	61	47	38	74	36	16	34	23	34	19	23
...200	120	143	96	88	121	48	38	49	69	65	50	21
0...200	250	302	211	162	248	109	112	165	281	197	188	127

Tabelle 6: Erträge, N-Düngung und N-Salden im Lysimeter- und Feldversuch mit Silomais im Jahr 2005

Variante	Trockenmasseertrag dt/ha	N-Düngung Min-N/ Gülle-N kg/ha	N-Saldo kg/ha
Lysimeterversuch			
K/min 1	178,8	110/ 0	-94
K/min-org 4	189,3	10/ 100	-100
Lö/min 1	209,9	118/ 0	-146
Lö/min-org 4	191,0	18/ 100	-130
GD _{Tukey, 5%}	68,3		87
Feldversuch Löss			
Lö/min 1	172,7	118/0	-70
Lö/min-org 2	152,3	53/100	-22
Lö/min 3	158,5	154/0	-23
Lö/min-org 4	171,6	18/100	-67
GD _{Tukey, 5%}	33,2		37,3

führte zu gleich hohen Erträgen von 190 kg/ha auf der Para-Rendzina und 191 kg/ha auf dem Braunerde-Tschernosem. Eine um 30 % höhere mineralische N-Düngung hatte keinen signifikanten Ertragszuwachs zur Folge, ebenso wenig wie die geringere Anrechnung des Gülle-Stickstoff durch das MDÄ und damit höhere Gesamt-N-Menge. Die N-Salden aller Düngungsvarianten und Böden sind stark negativ und zeigen das N-Nachlieferungspotential der Lysimeterböden.

Zusammenfassung

Für die Bestimmung standortabhängiger Schwellenwerte für N-Salden werden zwei Böden mit deutlich unterschiedlichem Abflussregime und zwei Bewirtschaftungsregime geprüft. Dafür wurde ein Lysimeterversuch angelegt, der von zwei Feldversuchen auf den Herkunftsflächen der Lysimeterböden begleitet wird. Die N-Düngung ist optimiert. Sie bemisst sich nach den Vorgaben des

Düngeberatungssystems der TLL. Im Ergebnis der ersten beiden Versuchsjahre zeigt sich das differenzierte N-Verlagerungsrisiko an unterschiedlich hohen Sickerwassermengen, Nitratkonzentrationen des Sickerwassers und N-Austrägen. Optimierte Düngung auf der Grundlage eines Beratungssystems hatte keine N-Überschuss-Salden zur Folge - eine wesentliche Voraussetzung für geringe N-Befruchtung der Gewässer. Für die Bestimmung des unvermeidbaren Austrages der beiden Böden ist der Ablauf von mindestens zwei Fruchtfolgen notwendig.

Literatur

- ECKERT, H., 1997: Stoff- und Energiebilanzen im Landwirtschaftsbetrieb. VDLUFA-Kongressband 1997, S. 51-71.
- GABRIEL, B. und G. ZIEGLER, 1997: GEOFEM Light 98. Informationssystem zur Wasserhaushaltsberechnung in Thüringen.
- TMLNU, 2006: Förderinitiative Ländliche Entwicklung in Thüringen 2007-2013. Entwurf Stand 6.11.2006.
- ROTH, D., R. GÜNTHER und S. KNOBLAUCH, 1994: Technische Anforderungen an Lysimeteranlagen für die Übertragbarkeit auf landwirtschaftliche Nutzflächen. Bericht über die 4. Gumpensteiner Lysimetertagung. S. 9 -21.