

Lysimeterergebnisse zum Wasserfluss und Stickstoffaustrag aus einigen grundwasserbeeinflussten Böden

L. MÜLLER, J. AUGUSTIN, F. EULENSTEIN, J. SEEGER, R. MEISSNER, A. BEHRENDT und U. SCHINDLER

Zusammenfassung

Auf typischen Böden grundwasserbeeinflusster Niederungen Nordostdeutschlands wurden Verdunstungsraten und Effektivität der Nutzung von Wasser und Stickstoff durch Weidelgras, Mais und Sommergerste geprüft. Darüberhinaus wurde die Verlagerung im Herbst applizierter Tracer, Chlorid, Nitrat und markierter Stickstoff, vergleichsweise untersucht. Ziele waren die Präzisierung von Modellannahmen für den Wasser- und Stofftransport unter grundwassernahen Bedingungen sowie die Prüfung der Tracereignung.

Die Verdunstungsraten erreichten im Mittel der geprüften Fruchtarten bei Grundwasserflurabständen von 55-70 cm (Gras) und 90-100 cm (Mais, Sommergerste) je nach Boden etwa 60-90 % der potentiellen Gras-Referenzverdunstung in der Vegetationsperiode. Fruchtarten auf tiefgründigem Ton zeigten die höchste Effizienz der Nutzung von Wasser und Stickstoff. Die geprüften Bodenvarianten kommen auf grundwassernahen Standorten teilweise eng vergesellschaftet vor, zeigen teilweise extrem unterschiedliches Verhalten hinsichtlich Wasserbewegung und Stoffaustrag. Das Risiko wassergebundener Stoffausträge ist bei Tonböden sehr gering. Sandgleye wiesen bei hohem Bedarf an Zusatzwasser ein sehr niedriges Ertragsniveau, eine schnelle Auswaschung von Dünger aus dem Wurzelbereich sowie eine uneffektive Ausnutzung von Wasser und Stickstoff auf. Das Verhalten von Düngerstickstoff kann aufgrund intensiver N-Transformationen nicht durch Chlorid-Tracer, sondern nur durch N-Messungen unter Einsatz von markiertem Stickstoff erfasst werden.

Abstract

Evapotranspiration and ability of ryegrass, corn and spring barley to use water and nitrogen efficiently were studied by comparing different ground water influenced soils. Additionally, the leaching of different tracers as chloride, nitrate and ¹⁵N-labelled nitrate applied in autumn was analyzed. The objective of this study was testing and tuning of model assumptions of water and solute movement in the case of shallow groundwater and checking the suitability of tracers.

Depending from the substrate of soils, mean evapotranspiration rates during the vegetation period were about 60-90 % of the potential grass reference evapotranspiration at water tables of 55-70 cm (grass) and 90-100 cm (corn, spring barley). Crops grown on deep clay soil had highest efficiency of water and nitrogen use. The soils tested are closely associated in real fields. However, they showed extremely different behaviour of water movement and solute leaching. At clay soils, the leaching risk is very low. Sand gley soils had a relatively high demand of ground water supply but a low yield level, a fast leaching of nutrients out of the main rootzone and low efficiency of water and nitrogen use. Due to intensive N-transformation processes, the behaviour of fertilizer-N cannot be characterized by chloride. Measurements using labelled N are required.

1. Einleitung

Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit der landwirtschaftlichen Bodennutzung sind Schlüsselprobleme der Nutzungsstrategie grundwasserbeeinflusster Böden.

Die dafür genutzten Modellansätze liefern bisher oftmals nur grobe Lösungen. So werden in großgebietlichen Ansätzen zur Quantifizierung der Abflussbildung und der potentiellen Stoffausträge für diese Standorte relativ einheitliche Verdunstungs- und Abflussbedingungen unterstellt. Es wird davon ausgegangen, dass die Verdunstung nahezu potentiell erfolgt und kaum Abfluss auftritt. Aufgrund hoher Wasserspeicherung des Bodens und hoher Stoffzüge durch leistungsfähige Pflanzenbestände werden relativ geringe Gefährdungspotentiale für wassergebundene Stoffausträge angenommen (WENDLAND u. a. 1993, DANNOWSKI u. a. 1994, FREDE und DABBERT 1998).

In der Feldskala sind jedoch deutliche Bodenheterogenitäten erkennbar. In den Flussauen Nordostdeutschlands sind zumeist Ton- und Sandgleye vergesellschaftet und in den großen Niedermoorgebieten sind es flachgründige Niedermoores und Sandgleye. In dieser Studie waren Unterschiede dieser Böden hinsichtlich Wasserbilanz und Stoffverlagerung unter den trockenen Klimabedingungen Nordostdeutschlands zu prüfen.

2. Material und Methode

Die Grundwasserlysimeter am Standort Seelow im Oderbruch haben eine Oberfläche von 2,25 m², eine Tiefe von 1,5 m und ermöglichen einen ganzjährigen Betrieb (MÜLLER u. a. 2001). Die Grundwasserregulierung der Lysimeter erfolgt ähnlich wie in der von BEHRENDT u. a. 1999 beschriebenen Anlage in Paulinenaue. Die Komponenten der Wasserbilanz wurden kontinuierlich mit einer Auflösung von einem Tag (Niederschlag) bis zu einer Woche (Boden-

Autoren: Dr. Lothar MÜLLER, J. AUGUSTIN, F. EULENSTEIN, Dr. Axel BEHRENDT und Dr. Uwe SCHINDLER, Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF) e.V., Eberswalder Str. 84, D-15374 MÜNCHENBERG, Dr. Juliane SEEGER und Univ. Prof. Dr. Ralph MEISSNER, UFZ-Leipzig-Halle GmbH, Lysimeterstation, D-39615 FALKENBERG

speicheränderung) erfasst. Die eingestellten Grundwasser-Flurabstände betragen 90-100 cm bei Ackerkulturen und 55-70 cm bei Gras. Neben den Zuflüssen konnten auch die Abflüsse in hoher zeitlicher Auflösung quantitativ und qualitativ gemessen werden.

Die Fruchtfolge war für alle Lysimeter einheitlich: 1993, 1994, 1995: Ausdauerndes Weidelgras, 1996: Sommergerste, 1997, 1998: Silomais, 1999: Sommergerste. Die Lysimeter wurden praxisüblich bewirtschaftet und gedüngt. Um zu klären, wie die Bodenvarianten auf hohe N-Überschüsse reagieren, wurde darüber hinaus im Herbst 1994 ein Tracerversuch mit dem stabilen Isotop ^{15}N vorgenommen. Dazu wurden modellmäßig eine einmalige hohe N-Gabe sowie ein Chloridtracer appliziert. Es wurden die Verlagerungsgeschwindigkeiten geprüft sowie ermittelt, welche Anteile dieser N-Menge in den Folgejahren von den Pflanzen verwertet werden konnte oder austragen wurde. Zum Zeitpunkt der Tracerapplikation befand sich der Boden aufgrund vorheriger überdurchschnittlicher Niederschläge in einem hohen Sättigungszustand.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1. Verdunstungsregime unterschiedlicher Böden

Die Verdunstungsraten nach *Tabelle 1* zeigen, dass im niederschlagsarmen Ostbrandenburg ($P = 470 \text{ mm/a}$) bei den eingestellten Grundwasserständen von 90-100 cm (Ackerfrüchte) bzw. 55-70 cm (Gras) bei den geprüften Fruchtarten keine potentiellen Verdunstungsbedingungen bestanden. Die realen Verdunstungsraten (ETr) betragen je nach Boden im Mittel der Vegetationsperiode nur

ca. 60-90 % der FAO Penman-Monteith-Referenzverdunstung für Gras (ETo, WENDLING 2001). Sehr deutlich waren die Unterschiede im Verdunstungsverhalten der Böden.

Auf Niedermoor deckten die Pflanzen den Wasserbedarf etwa je zur Hälfte aus dem Grundwasser und aus den Niederschlägen, der Bodenspeicher wurde nicht in Anspruch genommen. Bei den Sandgleyen waren Biomasseproduktion und Verdunstung stark eingeschränkt. Der Bodenspeicher wurde ebenfalls nicht beansprucht und etwa ein Drittel des Wasserverbrauches entstammte dem Grundwasser. Bei den Tonböden sank die Zusatzwasserversorgung aus dem Grundwasser stark ab. Diese Unterschiede zwischen den Bodenvarianten sind aus dem Verhalten der Substrate im Bereich der kapillaren Aufstiegszone erklärbar (SCHINDLER 1982). Ertrag und WUE-Koeffizient zeigen jedoch, dass die Nachteile hinsichtlich kapillarer Nachlieferung beim tiefgründigen Tonboden durch intensivere Durchwurzelung und Ausschöpfung des Bodenspeichers im Mittel der Fruchtfolge mehr als kompensiert werden konnten. Entscheidenden Anteil daran hatte der Mais, der sehr hohe Erträge lieferte, während das flachwurzelnde Weidelgras auch bei hohen Grundwasserständen auf allen Böden Trockenstress zeigte. Der WUE verdeutlicht diese pflanzenspezifischen Unterschiede. Während Mais das Wasser effektiv nutzte (WUE 3-4,5) wiesen Gras (WUE $< 1,5$) und Sommergerste (WUE $< 2,4$) eine hinsichtlich des Wasserbedarfes relativ unproduktive Biomassebildung auf.

3.2. Stickstoffteilbilanzen

Tabelle 2 enthält zwei durch Schrägstrich getrennte Teilbilanzen. Die linksstehenden Zahlen kennzeichnen die mit kon-

ventionellen Methoden ermittelbare Bilanz. Mineralisation, Immobilisation und gasförmige Verluste sind nicht berücksichtigt.

Die Bilanzgrößen zeigen, dass Biomassebildung und damit einhergehende Verdunstung die Wasser- und Stoffbilanz grundwasserbeeinflusster Standorte nachhaltig beeinflussen. Folglich ist der Pflanzenentzug unter den Bedingungen einer ordnungsgemäßen Landwirtschaft die maßgebliche Austragskomponente der N-Bilanz. Die Entzüge durch Abfluss („Sickerwasser“) waren vergleichsweise gering und lagen etwa nur in der Größenordnung der geschätzten Deposition. Negative Salden beim Niedermoor und auch beim tiefgründigen Ton deuten auf Mineralisierung, positive Salden beim Sandgley und sandunterlagerten Ton deuten auf Immobilisation und/oder gasförmige Verluste hin.

Die Zahlen rechts vom Schrägstrich sind eine Untermenge dieser Bilanz, denn zwei Drittel der Düngergabe waren modellmäßig als markierte, einmalige hohe Gabe verabreicht worden. Nur etwa die Hälfte dieses Stickstoffs war beim Niedermoor und beim tiefgründigen Ton-gley in den ermittelten Abfuhrkomponenten wiederzufinden. Beim Sandgley war es sogar nur etwa ein Achtel. Beide Salden gemeinsam betrachtet, verdeutlichen, dass sowohl Mineralisierung einerseits als auch Immobilisierung und/oder Denitrifikation andererseits, in beträchtlichem Ausmaß stattgefunden haben.

Im Vergleich zu Sickerwasserstandorten, bei denen ein deutlicher Zusammenhang zwischen N-Saldo der Düngung und wassergebundenem Stoffauftrag besteht (KNAPPE u. a. 1994, WATSON und ATKINSON 1999), ist auf Grundwasserstandorten nach diesen Daten kein Zusammenhang erkennbar, da neben den

Tabelle 1: Mittlere Verdunstung (ETr) in der Vegetationsperiode und Effektivität der Wassernutzung durch die Fruchtfolge¹⁾ bei verschiedenen Böden

Boden	ETr (mm/a)		ETr zu ETo (%)	Oberird. Biomasse (dt/ha TrS)	WUE (gTrS/kg H ₂ O)
	Gesamt	Davon aus dem GW			
Flachgründiges, vermulmtes Niedermoor (Lys. 1)	494	257	89	119	2,4
Sand-Gley (Lys. 3/8)	353	109	64	57	1,6
Ton-Gley, sandunterlagert (Lys. 9/10)	408	69	74	83	2,0
Ton-Gley, tiefgründig (Lys. 11/12)	409	33	74	106	2,6

¹⁾ Fruchtfolge: 1993-95 Weidelgras, 1996 Sommergerste, 1997-98 Mais, 1999 Sommergerste, Mittel April-Oktober 1993-1999

Verdunstung (ETr) = (Niederschlag-Abfluss+Bodenspeicheränderung)+Zufluss Grundwasser (GW)

ETo = FAO Gras-Referenzverdunstung (in: WENDLING 2001)

WUE = Water Use Efficiency

Tabelle 2: N-Teilbilanz im Mittel der Jahre 1995-1999

Boden	N-Zufuhr (kg/ha*a)		N-Abfuhr (kg/ha*a)		N-Saldo (kg/ha*a)
	Düngung	Deposition +Zufluss	Pflanzenentzug	Abfluss	
Flachgründiges, vermulmtes Niedermoor (Lys. 1)	150/100	16/0	210/54	12/1	-56/+45
Sand-Gley (Lys. 8)	150/100	15/0	67/5	19/9	+79/+86
Ton-Gley, sandunterlagert (Lys. 10)	150/100	15/0	118/36	4/1	+43/+63
Ton-Gley, tiefgründig (Lys. 12)	150/100	15/0	165/45	4/2	-4/+53

bereits diskutierten N-Transformationen aufgrund des gebremsten Austragsverhaltens eine temporäre oder permanente N-Akkumulation im oberflächennahen Bodenwasser stattfinden kann. Dieser N-Pool grundwassernaher Standorte kann jedoch auch zumindestens teilweise wieder von den Pflanzen ausgeschöpft werden. Er sollte jedoch künftig kontrolliert und ggf. bei der Bemessung der Düngung berücksichtigt werden. Bei sandigen Böden, zu tief abgesenktem Grundwasser oder sub-optimaler Wasserversorgung flachwurzelter Gräser kann dieser Stickstoff jedoch nur sehr begrenzt von den Pflanzen genutzt werden.

Das Risiko wassergebundener N-Austräge ist auf grundwassernahen Böden, mit Ausnahme der Sandgleye und evtl. der flachgründigen Niedermoore, gering. Darüberhinaus ist zu berücksichtigen, dass die Niederungen Nordostdeutschlands wie das Rhin-Havelluch oder das Oderbruch mit ihren relativ guten Managementmöglichkeiten des Wasserregimes (DIETRICH u. a. 1996) sehr günstige Bedingungen für die Verhinderung von off-site-Schäden durch wassergebundene Stoffausträge besitzen.

3.3. Verlagerung von Chlorid und Stickstoff

Die Verlagerung von Chlorid erfolgte in Abhängigkeit von Speicherfähigkeit und Durchlässigkeit des Substrates in unterschiedlicher Geschwindigkeit und Intensität.

Im auf die Tracerapplikation folgenden Frühjahr trat zwischen dem 70. und 120. Tag ein erster deutlicher Austrags-Peak

auf. Er charakterisierte die bei allen Lysimetern zu beobachtende schnelle Fließkomponente. Die Verlagerungsgeschwindigkeiten waren hoch und zwischen den Substratvarianten nicht signifikant unterschiedlich. Die entsprechenden Austragsraten des Tracers durch diese schnelle Fließkomponente waren relativ gering und betragen zwischen 0,1 und 8 % der Applikationsmenge.

Danach verlangsamten sich die Verlagerungsgeschwindigkeiten des Chloridtracers deutlich. Bei maximaler Tracerkonzentration oder bei ca. 50 % Traceraustrag betragen die Verlagerungsgeschwindigkeiten ca. 1-1,6 mm je mm Abfluss (Sickerwasser). Deutlich höhere Verlagerungsgeschwindigkeiten hatte nur der mittelsandige Feinsand (Lys. 8).

Zur Beurteilung dieser Verlagerungsgeschwindigkeiten kann ein Vergleich mit grundwasserfernen Standorten unter Annahme eines „piston-flow“ (DBG 1992) dienen. Unter homogenen Fließbedingungen, bei Annahme einer in allen Poren einheitlichen Fließgeschwindigkeit, ergibt sich die Sickerwasserverlagerungsgeschwindigkeit als Quotient von Sickerwassermenge und Feldkapazität des Bodens (DBG 1992). Für Sande und lehmige Sande konnte die Gültigkeit dieser Beziehungen in Feldversuchen und Versickerungs-Lysimetern bestätigt werden (SEEGER u. a. 1999). Sie trifft nach *Tabelle 3* auch etwa für den grundwasserbeeinflussten Sand zu, nicht aber für die übrigen Böden.

Chlorid und Stickstoff verhielten sich unterschiedlich im Austrag. Von Beginn an drifteten die Austragskurven ausein-

ander, nach der ersten Entwässerungsperiode dann deutlich. Es wurde viel weniger Stickstoff ausgetragen, selbst bei hoher Einzelgabe. Die geringeren N-Austräge weisen auf permanente Transformationsprozesse im Boden bzw. in der Wurzelzone des Graslandes hin, die bereits während des ersten Winters einsetzten. Unter grundwassernahen Bedingungen kann das Verhalten von Düngerstickstoff aufgrund intensiver N-Transformationen nicht durch Chlorid-Tracer, sondern nur durch N-Messungen mit markiertem Stickstoff abgebildet werden.

4. Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen bestätigen die gute agrarische Nutzungseignung der Auenton-Gleye. Sie liefern akzeptable Erträge und nutzen Zusatzwasser effektiv. Sandige Begleitböden bereiten jedoch Probleme. Bei diesen Böden sind sowohl das niedrige Ertragsniveau, die geringe Effizienz der Wassernutzung als auch die Verlagerung von Agrochemikalien als kritisch anzusehen.

Zur Quantifizierung der Stoffbilanzen unter grundwassernahen Bedingungen sind Lysimeterversuche erforderlich, die auch weitere Stoffe und Transformationsprozesse im Boden und oberflächennahen Grundwasser berücksichtigen.

Literatur

BEHRENDT, A., G. MUNDEL, G. SCHALITZ und D. HÖLZEL, 1999: 30 Jahre Lysimeterforschung in Paulinenaue - wertvolle Ergebnisse auch für die landwirtschaftliche Praxis, 8. Gumpensteiner Lysimetertagung „Stoffflüsse und ihre regionale Bedeutung für die Landwirtschaft“, BAL Gumpenstein, 137 - 138

Tabelle 3: Verlagerungsgeschwindigkeiten eines Chloridtracers an einigen Punkten der Austragskurve

Lysimeter	Boden	Verlagerungsgeschwindigkeit [mm / mm Sickerwasser]		
		Am ersten Peak (schnelle Fließkomponente)	Bei maximaler Konzentration	Bei ca. 50 % Traceraustrag
1	Flachgründiges, vermulmtes Niedermoor	8,4	1,7	1,0
8	Sand-Gley	7,0	5,0	2,7
10	Tongley, sandunterlagert	8,2	1,2	1,5
11	Tongley, tiefgründig	7,4	1,4	1,6

- DANNOWSKI, R., L. MÜLLER, H. BALLA, J. QUAIST and J. THIÈRE, 1994: Hydrologic assessment of soils concerning the capabilities and risks for agricultural use in the Northeast German Lowlands. Proc. of the ISTRO Conference 1994, Aalborg, Denmark, 911-916
- DBG, 1992: Strategien zur Reduzierung standort- und nutzungsbedingter Belastungen des Grundwassers mit Nitrat. Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft, Arbeitsgruppe Bodennutzung in Wasserschutz- und -schongebieten, Okt. 1992, 42 S.
- DIETRICH, O., R. DANNOWSKI, J. QUAIST und R. TAUSCHKE, 1996: Untersuchungen zum Wasserhaushalt nordostdeutscher Niedermoore am Beispiel der Friedländer Großen Wiese und des Oberen Rhinluchs, ZALF-Bericht Nr. 25, 59 S.
- FREDE, H.-G. und S. DABBERT (Hrsg), 1998: Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft, ecomed Verlagsgesellschaft, 1. Aufl. 1998, 451 S.
- KNAPPE, S., Ch. MORITZ und U. KEESE, 1994: Grundwasserneubildung und N-Austrag über Sickerwasser bei intensiver Landnutzung, Lysimeteruntersuchungen in acht Bodenformen in der Anlage Brandis, Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd. 38, 393-403
- MÜLLER, L., J. AUGUSTIN, F. EULENSTEIN, J. SEEGER, R. MEISSNER, A. BEHRENDT und U. SCHINDLER, 2001: Einfluss unterschiedlicher Böden auf die Ausnutzung von Wasser und Stickstoff durch Weidelgras, Sommergerste und Mais auf einigen Grundwassers-tandorten, Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd. 45, eingereicht
- SEEGER, J., R. MEISSNER, H. RUPP, L. MÜLLER und F. EULENSTEIN, 1998: Erfahrungen beim Einsatz von konservativen Tracern als Hilfsmittel zur Übertragung von Lysimeterergebnissen auf Freilandflächen. In: D. Klotz und K.-P. Seiler (Hrsg), Bestimmung der Sickerwassergeschwindigkeit in Lysimetern, GSF-Bericht 01/99, 37-42
- SCHINDLER, U., 1982: Untersuchungen zum kapillaren Wasseraufstieg aus dem Grundwasser, 3. Mitteilung: Ergebnisse zum kapillaren Wasseraufstieg von Auenböden der DDR, Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd., Berlin 26, 11, 689-694
- WATSON, C.A. and D. ATKINSON, 1999: Using nitrogen budgets to indicate nitrogen use efficiency and losses from whole farm systems: a comparison of three methodological approaches. Nutrient Cycling in Agroecosystems 53(3): 259-267, March 1999
- WENDLAND, F., H. ALBERT, M. BACH und R. SCHMIDT (Hrsg.), 1993: Atlas zum Nitratstrom in der Bundesrepublik Deutschland, Rasterkarten zu geowissenschaftlichen Grundlagen, Stickstoffbilanzgrößen und Modellergebnissen, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, XI + 96 S.
- WENDLING, U., 2001: Verdunstung in Bezug zu Landnutzung, Bewuchs und Boden, KA-Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall 48, Nr. 1, 96-101

Danksagung

Die Autoren danken allen beteiligten MitarbeiterInnen sehr herzlich: Der Versuchsbetrieb der Lysimeter erfolgte durch die Forschungsstation Müncheberg. Das Labor der UFZ-Lysimeterstation Falkenberg, das Zentrallabor Müncheberg und das Isotopenlabor Müncheberg übernahmen die Probenanalytik. Frau Dipl.-Ing. (FH) U. MORITZ besorgte die Datenerfassung und -aufbereitung.