

Einfluss unterschiedlicher Nutzung und Düngung auf Sickerwassermenge und Nitratauswaschung

W. STAUFFER und E. SPIESS

Zusammenfassung

Mit Lysimetern (1 m² Oberfläche und 1,4 m nutzbare Tiefe) wurde der Einfluss von Bodenbedeckung (Schwarzbrache, Klee-gras, Rotklee und zwei Fruchtfolgen) und Düngung (Nulldüngung, mineralische Düngung, Rindergülle) auf die Sickerwassermenge und die Nitratauswaschung untersucht. Die Resultate aus sechs Jahren (1984-89) zeigen, dass unter Klee-gras mehr Sickerwasser gebildet wurde als bei den Fruchtfolgen, während der Nitratgehalt und die ausgewaschene Nitratmenge deutlich geringer waren. Gegenüber der Nulldüngung führte die mineralische Düngung zu einer stärkeren Reduktion der Sickerwassermenge als die Gülle und zu einem geringeren Anstieg in der Nitratkonzentration und -menge bei den Fruchtfolgen. Mit einer Gründüngung in der Fruchtfolge konnte der Nitratgehalt des Sickerwassers und somit auch die ausgewaschene Nitratmenge reduziert werden.

Abstract

The influence of land use (bare fallow, grass-clover ley, pure red clover stand and two crop rotations) and fertilization (no fertilization, mineral fertilization, cattle slurry) on drainage volume and nitrate leaching was investigated using lysimeters of 1 m² surface and 1.4 m usable depth. The results of a six-year period show more drainage water under grass-clover ley than for the crop rotations, but a substantially lower nitrate content and amount of nitrate leached. As compared to nil treatment mineral fertilization led to a stronger reduction in drainage volume than cattle slurry, and the increase in nitrate concentration and nitrate leaching turned out to be lower under the crop rotations. Nitrate content and with that the amount of nitrate leached could be reduced by green manuring in the crop rotation.

Einleitung

In der Schweiz stammt ein grosser Teil des Trinkwassers von Quell- und Grundwasserfassungen, die im bevölkerungsreichen Mittelland sowie in den angrenzenden Voralpen liegen. Die Nitratwerte des Trinkwassers übersteigen bei vielen dieser Fassungen den Anforderungswert der Gewässerschutzverordnung von 25 mg NO₃/l und bei einigen sogar den in der Fremd- und Inhaltsstoffverordnung festgelegten Toleranzwert von 40 mg NO₃/l (SPIESS, 2004). Dies ist meistens auf einen hohen Ackerlandanteil in den Einzugsgebieten dieser Fassungen zurückzuführen. Zur Abschätzung der Nitratauswaschung in Einzugsgebieten wird in der Schweiz häufig das Stoffflussmodell MODIFFUS (PRASUHN und MOHNI, 2003; PRASUHN und SPIESS, 2003) eingesetzt. Um die Interaktionen zwischen Düngung und Bodennutzung besser in diesem Modell abbilden zu können, wurde ein älterer Lysimeterversuch (STAUFFER, 1993) gezielt auf diese Frage hin ausgewertet.

Auf der Lysimeteranlage Bern-Liebefeld (Abbildung 1, FURRER und STAUFFER, 1980) wurde neben anderen Versuchsfaktoren auch der Einfluss der Bodenbedeckung und der Düngung auf die Sickerwassermenge, den Nitratgehalt des Sickerwassers und die ausgewaschene Nitratmenge untersucht. Nachfolgend wird über ausgewählte Verfahren dieses Versuchs berichtet.

Material und Methoden

Der Versuch wurde auf Lysimetern mit einer Oberfläche von 1 m² und einer nutzbaren Tiefe von 1,40 m durchgeführt. Die Gefässe wurden 1982 mit einem schwach humosen, lehmigen Sand (15% Ton, 26% Schluff, 3% Humus) aus einer benachbarten Parzelle volumengetreu, das heisst gemäss der im Feld gemessenen Lagerungsdichte, gefüllt. Der Bodentyp war eine gut durchlässige Parabraunerde, welche in der Schweiz weit verbreitet ist.

Mit dem Versuch wurde 1983 begonnen. Da die Versuchsergebnisse im ersten



Abbildung 1: Lysimeteranlage Bern-Liebefeld.

Autoren: Dr. Werner STAUFFER und Dipl.-Ing. Ernst SPIESS, Agroscope FAL Reckenholz, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Reckenholzstrasse 191, CH-8046 ZÜRICH

Tabelle 1: Anzahl Gefässe in den ausgewerteten Verfahren.

	Düngung		
	ohne	MD	Gülle
Schwarzbrache	1	---	---
Kleegras	1	2	2
Rotklee	---	2	---
Mais	1	2	2
Mais - Gerste (ohne GD)	---	1	1
Mais - Gerste (mit GD)	1	1	1

Versuchsjahr durch die im Vorjahr erfolgte Einfüllung des Bodens beeinflusst wurde, wurden nur die Jahre 1984-89 in die Auswertung einbezogen.

Der Versuch umfasste Verfahren mit Schwarzbrache, Kleegras, Rotklee sowie zwei Fruchtfolgen, die vor einigen Jahrzehnten in intensiven Rindviehmastbetrieben verbreitet waren (Silomais-Monokultur bzw. Silomais - Sommergerste; *Tabelle 1*). Bei der zweiten Fruchtfolge wurden Varianten mit und ohne Raps-Gründüngung (GD) einbezogen, da die Stoppelbrache besonders zwischen der Gerstenernte und der Maissaat im folgenden Jahr sehr lang war. Drei Düngungsverfahren wurden geprüft: ungedüngt, mineralische Düngung (MD) und Rindergülle (teilweise mit Ergänzung von geringen Mineraldüngergaben). Die beiden gedüngten Verfahren waren bei den Fruchtfolgen bezüglich der Menge an pflanzenverfügbarem Stickstoff gut miteinander vergleichbar (*Tabelle 2*), denn nur ein Teil des organischen Güllestickstoffs steht den Pflanzen kurz- bis mittelfristig zur Verfügung. Das Kleegras erhielt dagegen mit dem Mineraldünger fast doppelt soviel pflanzenverfügbaren

Stickstoff wie im Gülleverfahren. Insgesamt wurden 13 verschiedene Verfahren mit unterschiedlicher Nutzung und Düngung in die Auswertung einbezogen (*Tabelle 1*).

Dank jährlichen Niederschlägen von 762 bis 1235 mm in der Versuchsperiode (*Tabelle 3*) und einer guten zeitlichen Verteilung der Niederschläge mussten die Lysimeter selten berechnet werden. Für die Messung des Sickerwassers wurden Niederschlagsmesser (System Joss-Tognini) verwendet, bei denen die Impulse der einzelnen Kippungen von einer zentralen Zählleinheit registriert wurden. Bei der vorliegenden Lysimetergrösse können Abflussmengen von über 100 Liter pro Monat auftreten. Es wurde deshalb eine Einrichtung geschaffen, die eine abflussproportionale Entnahme einer kleinen Probe erlaubt (FURRER und STAUFFER, 1980). Die Ablesung der Sickerwassermenge und die Probenahme für die chemische Analyse erfolgten monatlich.

Resultate

Sickerwasserbildung

Die Sickerwassermenge war bis 1986 bei der Schwarzbrache am höchsten (Tab. 3), da in diesem Verfahren keine Transpiration stattfand. In den folgenden Jahren ging aber die Sickerwasserbildung stark zurück. Es wird angenommen, dass die auf den unbewachsenen Boden aufprallenden Regentropfen die Bodenstruktur zerstört haben, was zu einer Verlagerung von kleinen Bodenpartikeln

in den Unterboden und dort zu einer Verstopfung der Bodenporen führte. Wegen dieser Bodenverdichtung war die Tiefensickerung des Wassers verringert, so dass der Wassergehalt des Oberbodens höher war und die Evaporation zunahm. Die gegenüber den Ackerkulturen hohen Sickerwassermengen unter Kleegras (*Tabelle 2*) können mit der geringeren Wurzeltiefe der Gräser erklärt werden. Unter die maximale Wurzeltiefe eingedrungenes Sickerwasser kann von den Pflanzen nicht mehr aufgenommen werden. Zudem weist eine Wiese mehr Makroporen auf als ein Acker, wo die Makroporen durch die Bodenbearbeitung zerstört werden.

In den mineralisch gedüngten Verfahren fiel am wenigsten Sickerwasser an, da höhere Erträge mit einer höheren Transpiration verbunden sind (MEISSNER et al., 1995). Die Güllevarianten nahmen häufig bei Ertrag und N-Entzug wie auch bei der Sickerwasserbildung eine Mittelstellung zwischen den ungedüngten und den mineralisch gedüngten Verfahren ein. Auch EDER (1993) beobachtete bei Grasland, dass die Sickerwassermenge durch die Gülledüngung reduziert wird.

Ausgewaschene Nitratmenge

Unter Schwarzbrache wurden im Durchschnitt der sechs Versuchsjahre 244 kg N/ha ausgewaschen (*Tabelle 3*), wobei die Verluste in den ersten beiden Jahren nach Einfüllung des Bodens (d.h. bis 1984) infolge des starken Mineralisierungsschubs hoch waren. Gegen Versuchsende gingen sie markant zurück,

Tabelle 2: N-Düngung, N-Entzug der Pflanzen, Sickerwassermenge, Nitratgehalt des Sickerwassers und ausgewaschene Nitratmenge in den verschiedenen Verfahren (Mittelwerte von 6 Jahren).

Düngung: Bodenbedeckung:	ohne			MD			Gülle		
	Düngung (kg N _{tot} /ha)			Düngung (kg N _{min} /ha)			N-Entzug (kg N/ha)		
Schwarzbrache	0	---	---	0	---	---	0	---	---
Kleegras	0	256	219	0	256	116	148	329	237
Rotklee	---	13	---	---	13	---	---	258	---
Mais	0	141	218	0	141	113	119	198	178
Mais - Gerste (ohne GD)	---	151	228	---	151	124	---	159	151
Mais - Gerste (mit GD)	0	179	238	0	179	134	112	186	148
	Sickerwasser (mm)			Nitratgehalt (mg NO ₃ /l)			Nitratmenge (kg N/ha)		
Schwarzbrache	627	---	---	172	---	---	244	---	---
Kleegras	682	593	611	9	19	10	14	26	13
Rotklee	---	634	---	---	114	---	---	163	---
Mais	570	531	552	49	56	75	63	67	93
Mais - Gerste (ohne GD)	---	519	544	---	100	127	---	117	156
Mais - Gerste (mit GD)	569	511	554	38	68	89	49	78	112

N_{tot} = Gesamtstickstoff; N_{min} = Stickstoff in mineralischer Form (Ammonium-N bei Gülle)

Tabelle 3: Sickerwassermenge und ausgewaschene Nitratmenge in drei ausgewählten Verfahren sowie Niederschlagsmenge in den Jahren 1984-89.

Verfahren	1984	1985	1986	1987	1988	1989	Mittel
	985	988	1'131	1'235	1'136	762	1'039
	Niederschlag (mm)						
	985	988	1'131	1'235	1'136	762	1'039
	Sickerwasser (mm)						
Brache	766	740	945	804	375	133	627
Kleegras ungedüngt	682	570	791	894	824	330	682
Kleegras MD, Wh. 1	587	479	732	784	723	236	590
Kleegras MD, Wh. 2	599	483	740	801	743	212	596
	Nitratmenge (kg N/ha)						
Brache	530	264	288	255	95	31	244
Kleegras ungedüngt	29	31	5	6	10	1	14
Kleegras MD, Wh. 1	27	19	18	20	15	5	17
Kleegras MD, Wh. 2	26	14	14	44	84	20	34

Wh. = Wiederholung

weil die Sickerwassermenge stark abnahm. Zudem könnten auch eine sinkende N-Mineralisierung sowie höhere Denitrifikationsverluste wegen des höheren Wassergehalts im Oberboden zur geringeren Nitrat auswaschung beigetragen haben. Bei Rotklee waren die im Vergleich zu Kleegras hohen Nitratverluste auffallend (Tabelle 2). Diese könnten darauf zurückzuführen sein, dass die Pflanzen im Leguminosen-Reinbestanden aus Humus und absterbenden Pflanzenwurzeln mineralisierten Stickstoff nicht genügend schnell aufnehmen konnten, weil sie ihren N-Bedarf hauptsächlich über die biologische Fixierung von Luftstickstoff decken (CZERATZKI, 1973). Im weiteren ist Rotklee wenig ausdauernd. Im Versuch nahmen die Erträge nach wenigen Jahren stark ab, so dass 1985 eine Neuansaat und 1987 eine Einsaat durchgeführt werden mussten, welche mit höheren Nitratverlusten verbunden waren. In den Fruchtfolgen fielen die Verluste viel höher aus als unter Kleegras. Unter der Silomais-Monokultur wurde vor allem jeweils in der ersten Jahreshälfte viel Nitrat ausgewaschen, wobei die höchsten Werte nicht im Winter, sondern im Juni gemessen wurden, als die Maispflanzen noch klein waren und viel Niederschlag fiel. Hohe Sickerwassermengen und Nitratgehalte des Bodens verursachen bedeutende Auswaschungsverluste in diesem Monat (STAUFFER und ENGGIST, 1990). In der Fruchtfolge Silomais - Sommergerste führte insbesondere die lange Bracheperiode nach Gerste zu hohen Verlusten. Durch eine Gründüngung mit Raps konnten diese Verluste um etwa 40 kg N/ha bzw. um 30% reduziert werden.

Bei fehlender oder organischer Düngung von Kleegras wurde trotz unterschiedlicher Sickerwassermengen etwa gleich viel Nitrat ausgewaschen. Demgegenüber wurden unter mineralisch gedüngtem Kleegras höhere Nitratmengen gemessen. Die Werte der beiden Wiederholungen unterschieden sich aber in der zweiten Hälfte der Versuchsperiode beträchtlich (Tabelle 3). Die Resultate der zweiten Wiederholung stehen im Widerspruch zu anderen Graslandversuchen (FURRER und STAUFFER, 1982; BARRACLOUGH et al., 1992), in denen bei Düngungsmengen zwischen 0 und 250 kg N/ha ein geringer Einfluss der Düngung auf die Nitrat auswaschung beobachtet wurde. In den Fruchtfolgen führte die mineralische Düngung zu stark steigenden N-Entzügen, während die Nitrat auswaschung in einem geringeren Ausmass zunahm (Tabelle 2). Dagegen war die Gülledüngung mit wesentlich höheren Nitratverlusten verbunden, welche hauptsächlich eine Folge der schlechten Ausnutzung des organischen Stickstoffs sein dürften.

Nitratgehalt

Der durchschnittliche Nitratgehalt betrug unter Schwarzbrache, Rotklee und der Fruchtfolge mit Mais und Gerste (ohne Gründüngung) über 100 mg NO₃/l. Auch bei den anderen Fruchtfolgen wurde der Toleranzwert von 40 mg NO₃/l überschritten. Bei Kleegras lag dagegen die Nitratkonzentration deutlich unter dem Anforderungswert von 25 mg NO₃/l.

Bei den Fruchtfolgen war die mineralische und vor allem die Gülledüngung mit höheren Nitratgehalten verbunden. Dies

zeigt, dass eine dem Pflanzenbedarf in Menge und Form angepasste N-Düngung Bedingung für die gute landwirtschaftliche Praxis ist und dass eine zusätzliche Reduktion der Düngung im Ackerbau zu geringeren Nitratgehalten im Trinkwasser beiträgt. Letzteres wird auch durch die Resultate eines anderen Lysimeterversuchs bestätigt (NIEVERGELT, 2002).

Literatur

- BARRACLOUGH, D., S.C. JARVIS, G.P. DAVIES and J. WILLIAMS, 1992: The relation between fertilizer nitrogen applications and nitrate leaching from grazed grassland. *Soil Use Manag.* 8, 51-56.
- CZERATZKI, W., 1973: Die Stickstoffauswaschung in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion. *Landbauforschung Völklenrode* 23, 1-18.
- EDER, G., 1993: Auswaschung von Na, K, Ca und Mg im Grünland nach Düngung mit Rindergülle. Bericht über die 3. Gumpensteiner Lysimetertagung. BAL Gumpenstein, Irnding, 53-58.
- FURRER, O.J. und W. STAUFFER, 1980: Die neue Lysimeteranlage der Forschungsanstalt Liebefeld-Bern. *Jb. Schweiz. Naturforsch. Ges., Wiss. Teil Nr. 1*, 53-57.
- FURRER, O.J. und W. STAUFFER, 1982: Einfluss von Schweinegülle und Hühnermist auf Pflanzen, Boden und Sickerwasser in Lysimeterversuchen. Bericht über die 7. Arbeitstagung "Fragen der Güllerei". Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, Irnding, 659-675.
- MEISSNER, R., H. RUPP, J. SEEGER and P. SCHONERT, 1995: Influence of mineral fertilizers and different soil types on nutrient leaching: results of lysimeter studies in East Germany. *Land Degradation and Rehabilitation* 6, 163-170.
- NIEVERGELT, J., 2002: Nitrat und Fruchtfolgen 20 Jahre lang beobachtet. *Agrarforschung* 9, 28-33.
- PRASUHN, V. und R. MOHNI, 2003: GIS-gestützte Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in die Gewässer des Kantons Bern. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich-Reckenholz, 223 S.; www.reckenholz.ch/doc/de/forsch/umwelt/wasser/wasser.html.
- PRASUHN, V. und E. SPIESS, 2003: Regional differenzierte Abschätzung der Nitrat auswaschung über Betriebszählungsdaten. Bericht über die 10. Lysimetertagung. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, Irnding, 55-57.
- SPIESS, E., 2004: Ökomassnahmen und Nitratgehalt des Grundwassers. *Agrarforschung* 11, 246-251.
- STAUFFER, W., 1993: Einfluss von Bepflanzung, Gülleanwendung und Güllegrubengrösse auf die Nitrat auswaschung in einem Lysimeterversuch. *Schweiz. Landw. Fo.* 32, 229-234.
- STAUFFER, W. und A. ENGGIST, 1990: Einfluss von Gülleausbringtermin, Kultur und Wiesenumbruch auf die Nitrat auswaschung in einem Lysimeterversuch. *Landw. Schweiz* 3, 373-379.

