

Erträge, Stickstoffverluste und Stickstoffeffizienz im Grünland bei unterschiedlich gedüngter Schnittnutzung und simulierten Harnflecken

¹M. SEELEN, ¹M. KAYSER, ²M. BENKE UND ¹J. ISSELSTEIN

¹Georg-August-Universität Göttingen, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Abteilung Graslandwissenschaften, Von-Siebold-Str. 8, 37075 Göttingen

²Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Mars-la-Tour-Straße 1-13, 26121 Oldenburg

mseelen@agr.uni-goettingen.de

Einleitung und Problemstellung

In der Milchviehhaltung stellen Stickstoffverluste (N) ein Umweltproblem dar. Die Verluste entstehen aufgrund eines Ungleichgewichts zwischen einem geringen N-Rückfluss in Milch und Fleisch und einem erheblichen N-Input in Form von zugekauftem Kraftfutter und mineralischem N-Dünger. Während der Beweidung werden bis zu 80% der N-Aufnahme über die Ausscheidung von Exkrementen auf die Weide zurückgeführt. Der Großteil des Harnstoffs auf der Weide wird im Zeitraum einiger Tage zu Ammonium hydrolysiert und anschließend zu Nitrat umgewandelt (Whitehead, 1995). Der mineralische Stickstoffgehalt des Bodens (N_{\min}) im Spätherbst ist ein Indikator für das Nitratauswaschungsrisiko (Homm, 1994). Je mehr N_{\min} im Boden vorliegt, desto größer ist die Gefahr der Nitratauswaschung und somit der Grundwasserbelastung (Moir et al., 2011). Im Rahmen des Verbundprojektes Systemanalyse Milch untersuchen wir in einem Feldversuch die N-Dynamik auf mehrjährigem Grünland. Neben einem reinen Schnittversuch sollen Erhebungen auf Parzellen mit einer zeitlich gestaffelten Ausbringung von künstlichem Harn zur Modellierung von Weidesystemen beitragen. Untersucht werden unter anderem die Einflüsse unterschiedlicher Düngeintensität im Schnittversuch bzw. der verschiedenen Harnausbringungs-termine im Harnversuch auf den Ertrag, die Stickstoffeffizienz sowie die potentielle N Auswaschung.

Es sollen folgende Hypothesen geprüft werden:

- Bei reiner Schnittnutzung weist eine gemäßigte Düngung aus Gülle und mineralischem Dünger die höchste Stickstoffeffizienz auf.
- Bei der Ausbringung von künstlichen Harnflecken spielt der Ausbringungstermin eine große Rolle für potentielle Stickstoffverluste.

Material und Methoden

Das Versuchsfeld liegt im Landkreis Cloppenburg in Niedersachsen im Nordwesten Deutschlands (52°56'44" N, 7°50'17" E) auf sechs Meter über NN. Das dreijährige Grünland auf sandigem Boden ist dominiert von Deutschem Weidelgras (*Lolium perenne* L.) ohne Klee. Der Parzellenversuch besteht aus einem reinen Schnittversuch mit fünf Varianten (a.) und einem Harnversuch (b.) mit sechs Varianten in vierfacher Wiederholung. Im Schnittversuch sind die Varianten nach Düngegraden (0–360 kg N/ha) für die N Gaben mit Rindergülle und KAS gestaffelt (Tabelle 1a). Die Bestände werden viermal geschnitten. Die Parzellen des Harnversuchs erhalten eine Grunddüngung von 120 kg N/ha aus Gülle wonach dann künstliche Harnflecken (600 kg N/ha) an sechs Terminen von Mai bis Oktober in Parzellengröße ausgebracht werden; diese Parzellen werden sechs Mal geschnitten. Zum Vergleich werden im Harnversuch die Varianten Kontrolle und SLR120 des Schnittversuchs hinzugenommen (Tabelle 1b). Nach jedem Schnitt wurden Grasproben bei 60 °C getrocknet, auf 1 mm gemahlen und daraus mittels Elementaranalyse der N-Gehalt bestimmt. Die Trockenmasse wurde bei 105 °C bestimmt und damit der Trockenmasseertrag (TM) sowie der N-Ertrag errechnet. Für eine Bestimmung der N

Effizienz wurden mit den Daten von N Düngung, TM-Ertrag und N-Ertrag verschiedene Parameter berechnet: "N use efficiency" (NUE) und "apparent N recovery" (ANR) (Tabelle 2). Um potentielle Stickstoffverluste zu bestimmen, wurden im Oktober 2016 sowie im März 2017 mit einem Bohrstock vier Einstiche pro Parzelle mit einer Tiefe von 90 cm genommen, und daraus jeweils eine Mischprobe für die Tiefen 0-30, 30-60 und 60-90 cm gewonnen. Für die Bestimmung des N_{\min} wurde mit einer $CaCl_2$ -Lösung extrahiert und nach der Filtration die NO^3-N und NH^4-N Gehalte mittels Fließinjektionsanalyse (HLS System FIA compact) bestimmt. Für die statistische Analyse wurde eine ANOVA mit post-hoc Test zum Vergleich der Mittelwerte angewandt (Genstat).

Tab. 1: Bezeichnungen der Varianten der beiden Versuche mit einer Aufschlüsselung der Zusammensetzung des N-Input [kg/ha]. Abkürzungen (KAS = Kalkammonsalpeter, SLR = Rindergülle, SLM = Rindergülle + KAS).

a. Schnittversuch				
Variante	N-Input [kg/ha]			Gesamt N-Input [kg/ha]
	Gülle	KAS	Harn	
1 Kontrolle				0
2 SLR120	120			120
3 SLM240	120	120		240
4 SLR240	240			240
5 SLM360	240	120		360

b. Harnversuch				
Variante	N-Input [kg/ha]			Gesamt N-Input [kg/ha]
	Gülle	KAS	Harn	
1 Kontrolle				0
2 SLR120	120			120
6 UMai	120		600	720
7 UJun	120		600	720
8 UJul	120		600	720
9 UAug	120		600	720
10 USept	120		600	720
11 UOkt	120		600	720

Ergebnisse und Diskussion

Die Trockenmasseerträge der Schnittparzellen lagen zwischen 5.666 kg/ha für die Kontrolle und 10.925 kg/ha für die Variante SLM360 (Tabelle 2a). Sowohl beim TM-Ertrag als auch beim N-Ertrag zeigte sich eine signifikante Steigerung in den Düngestufen von 0 kg N/ha zu 120 kg N/ha und zu 240 kg N/ha mit 120 kg N aus Gülle und 120 kg aus KAS. Eine Düngung von 360 kg N/ha führte hingegen zu keiner weiteren signifikanten Ertragsteigerung. Die Stickstoffeffizienz war von der Düngevariante deutlich beeinflusst: Die mittlere Düngung mit 240 kg N/ha aus Gülle und mineralischen Dünger (SLM240) zeigt mit 90 % eine deutliche höhere „nitrogen use efficiency“ (NUE) sowie eine höhere „apparent nitrogen recovery“ (ANR) (52 %) im Vergleich zu der Düngevariante mit 360 kg N/ha (SLM360; Tabelle 2a). Dies spiegelt sich auch in der N-Bilanz wider, welche bei SLM240 bei +25 kg/ha und bei SLM360 bei +129 kg/ha lag. ANR um 50% wurden auch von Williams und Haynes (2000) gefunden. Lantinga et al. (1987) fanden ähnlich wie in unseren Untersuchungen keine weitere Ertragssteigerung bei einer N Düngung von mehr als 240 kg/ha.

In dem Harnversuch stellt der Ertrag eine bedeutende N-Senke dar, die anders als im Schnittversuch nicht unmittelbar mit der Nutzung gekoppelt ist. Der Termin der Harnausbringung ist eine entscheidende Größe: Je früher der Ausbringtermin (Mai bis Oktober), desto größer der TM und N-Ertrag. Der höchste Ertrag wurde bei einer

Ausbringung im Mai mit 14.000 kg/ha erzielt (Tabelle 2b). Grundsätzlich zeigen die Ausbringungstermine der ersten Hälfte der Vegetationsperiode signifikant höhere Erträge als die in der zweiten Hälfte ab August. Harn-N konnte also umso besser umgesetzt werden, je früher im Jahr die Harnausbringung erfolgte. Die TM-Erträge der späten Varianten UAug bis UOkt sind entsprechend nicht signifikant höher sind als die der Kontrollparzellen (Tabelle 2b). Dies spiegelt sich dementsprechend in den Werten von NUE und ANR und der N-Bilanz wider, welche mit späteren Ausbringterminen stark abnehmen (Tabelle 2b). Ähnliche Effekte wurden auf einem vergleichbaren Standort von Landwehr (2000) gezeigt. Verstärkt wurde dieser Effekt durch ein im Vergleich zum langjährigem Mittel sehr warmes und trockenes Wetter (Juli 71 mm Niederschlag / Ø 22° C im Tagesmittel; August 34 mm / Ø 21° C; September 14 mm / Ø 23° C; Oktober 28 mm / Ø 12°C). Die niedrige N Effizienz der späten Harnausbringung stehen häufig in einem Zusammenhang mit der Höhe des residualen N im Herbst (N_{\min}) und damit zu möglichen N Verlusten mit dem Sickerwasser über Winter. Diese sind in Tabelle 3 dargestellt.

Für die reine Schnittnutzung lassen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen N_{\min} Werten der unterschiedlichen Düngestufen von 0–360 kg N/ha im Oktober und März feststellen. Für den gesamten Bereich von 0-90 cm bewegten sich die Werte im Oktober zwischen 17- 21 kg N/ha. In der oberen Bodenschicht 0-30 cm wurde im Oktober 2016 signifikant mehr N_{\min} gefunden als in den tieferen Schichten. Für die Parzellen der reinen Schnittnutzung fanden wir nur eine geringe Tiefenverlagerung.

Tab. 2: Trockenmasseertrag (TM), N-Ertrag, N-Bilanz sowie zwei Parameter für die N Effektivität der 11 verschiedenen Varianten beider Versuche: „N use efficiency“ (NUE) $[(N\text{-Ertrag} / N\text{-input}) \cdot 100]$ und die „apparent N recovery“ (ANR) $[(N\text{-Ertrag}_x - N\text{-Ertrag}_0) / N\text{-Input} \cdot 100]$; alle Werte aus einem Mittelwert von n=4. Werte mit unterschiedlichen Buchstaben in einer Spalte unterscheiden sich signifikant.

a. Schnittversuch

Variante	N [kg/ha]	TM-Ertrag [kg/ha]	N-Ertrag [kg/ha]	NUE [%]	ANR [%]	N-Bilanz [kg/ha]
1 Kontrolle	0	5.666 ^a	90 ^a			-90
2 SLR240	120	6.640 ^{ab}	123 ^{ab}	102	27	-3
3 SLM240	240	10.699 ^c	215 ^{cd}	90	52	25
4 SLR240	240	9.169 ^{bc}	164 ^{bc}	68	31	76
5 SLM360	360	10.925 ^c	231 ^d	64	39	129

b. Harnversuch

Variante	N [kg/ha]	TM-Ertrag [kg/ha]	N-Ertrag [kg/ha]	NUE [%]	ANR [%]	N-Bilanz [kg/ha]
1 Kontrolle	0	5.666 ^a	90 ^a			-90
2 SLR240	120	6.640 ^a	123 ^a	102	27	-3
6 UMai	720	14.021 ^b	436 ^b	61	48	284
7 UJun	720	13.159 ^b	451 ^b	63	50	269
8 UJul	720	11.957 ^b	366 ^b	51	38	354
9 UAug	720	6.036 ^a	156 ^a	22	9	564
10 USept	720	6.788 ^a	138 ^a	19	7	582
11 UOkt	720	6.738 ^a	129 ^a	18	5	591

Tabelle 3: N_{\min} in kg N/ha im Oktober 2016 und im März 2017 des Harnversuchs der Tiefen 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm sowie über den gesamten Tiefenbereich 0-90 cm; zusätzlich die N_{\min} Bilanz über den gesamten Winter 2016/2017. Alle Werte aus einem Mittelwert von $n=4$. Statistische Auswertung mit dem Logarithmus naturalis. Werte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant (signifikante Interaktion zwischen Messtermin und Variante).

Variante	N [kg/ha]	Okt 16: N_{\min} [kg N/ha]				Mrz 17: N_{\min} [kg N/ha]				N_{\min} Bilanz
		Tiefe				Tiefe				
		0-30	30-60	60-90	0-90	0-30	30-60	60-90	0-90	
1 Kontrolle	0	12	3	3	18 ^a	10	4	6	20 ^{ab}	2
2 SLR240	120	12	4	4	19 ^a	8	4	4	16 ^a	-3
6 UMai	720	15	4	12	31 ^{ab}	10	4	5	19 ^{ab}	-12
7 UJun	720	12	17	15	44 ^{abc}	11	6	8	24 ^{ab}	-20
8 UJul	720	23	7	5	35 ^{ab}	9	6	6	21 ^{ab}	-13
9 UAug	720	91	9	5	105 ^{cde}	11	7	12	29 ^{ab}	-75
10 USept	720	166	9	5	180 ^e	11	9	21	40 ^{abc}	-139
11 UOkt	720	144	3	4	151 ^{de}	10	13	31	54 ^{bcd}	-98

Die Parzellen mit künstlichen Harnflecken (UMai - UOkt) hatten N_{\min} Werte bei Beprobung im Herbst zwischen 30 und 180 kg N/ha, wobei UAug - UOkt signifikant höhere Werte aufwiesen als bei früherer Harnausbringung (Tabelle 3). Im März 2017 lagen die N_{\min} -Werte zwischen 14 bis 54 kg N/ha über dem gesamten Tiefenbereich (Tabelle 3). Im Vergleich zu früheren Studien (Landwehr 2002) sind die N_{\min} Werte im Oktober für die Ausbringungstermine September und Oktober relativ niedrig. In unserem Untersuchungsjahr war es zu den späteren Ausbringterminen von Harn deutlich wärmer und trockener als bei Landwehr (2000) und auch gegenüber dem langjährigen Mittel. Dies kann zu nachhaltig erhöhten NH_3 -Verlusten geführt haben. In der Literatur werden mit starker Abhängigkeit von Temperatur, Niederschlag und Bodendichte NH_3 -N Verluste von 1,7 bis 56 % nach Harnapplikation genannt (Laubach et al. 2013); die Möglichkeit von gasförmigen Verlusten um 50 % wird durch eigene Untersuchungen bestätigt. Die Kombination aus NH_3 -Verlusten nach Gülleausbringung, nach Harnausbringung und einer längeren Umsetzungsphase des Harnstoffs können zur Erklärung der hohen Bilanzüberschüsse für die späten Harnausbringungstermine herangezogen werden.

Die Tiefenverteilung des N_{\min} im Boden wird vom Zeitpunkt der Beprobung (Oktober und März) und vom Ausbringtermin des künstlichen Harns deutlich beeinflusst. Für die Tiefen 0-30 und 60-90 cm ist an beiden Terminen zu erkennen: In der Tiefe 0-30 cm lassen sich im Oktober 2016 signifikant höhere N_{\min} Werte bei den späten Ausbringungsterminen UAug - UOkt finden (Tabelle 3), die sich im März 2017 angeglichen hatten, die Unterschiede sind dann nicht mehr signifikant. Bei der Tiefe 60-90 cm hingegen ist es genau umgekehrt: Hier sind im Oktober bei den frühen Ausbringungsterminen UMai und UJun die Werte signifikant höher. Im März wiesen wiederum die späten Ausbringungstermine UAug - UOkt signifikant höhere N_{\min} Werte im Bereich 60-90 cm auf. Hieraus lässt sich auf eine deutliche Tiefenverlagerung über Winter nach später Harnausbringung schließen. Bei früher Harnausbringung UMai und UJun lässt sich bereits bei Beprobung im Oktober eine deutliche Verlagerung von N in tiefere Bodenschichten erkennen. Offensichtlich ist N schon während der Vegetationsperiode verlagert worden. Anhand der N_{\min} Werte der Tiefen 0-30 und 60-90 cm im März lässt sich erkennen, dass bei den frühen Harnausbringungsterminen keine weitere Tiefenverlagerung stattgefunden hat, wohingegen bei den späten Terminen mehr als 50% des gesamten N_{\min} in den tieferen Schichten gefunden wurde (Tabelle 3). Aus der beobachteten Tiefenverlagerung und den N_{\min} Bilanzen lässt sich schließen: Je später die Ausbringtermine von Harn-N im Jahr, desto höher die potentiellen Verluste von Stickstoff durch Sickerung im Boden. Dieses Ergebnis deckt sich mit denen früherer Studien (Landwehr 2002).

Schlussfolgerungen

Für die reine Schnittnutzung konnte gezeigt werden, dass Stickstoffeffizienz und Ertrag bei einer Düngung von 360 kg N/ha (240 kg N/ha aus Gülle, 120 kg N/ha über KAS) nicht signifikant höher sind als bei einer mittleren Düngung von 240kg N/ha aus mineralischem Dünger und Gülle (jeweils 120 kg N/ha). Für eine effiziente Nutzung, also einem optimalen Verhältnis von N-Ertrag zu N-Input (NUE) empfiehlt sich bei den hier gezeigten Umständen eine mittlere Düngung mit einer Kombination aus Gülle und mineralischem Dünger. Stickstoff aus einer intensiveren Düngung mit Gülle kann nicht ausreichend umgesetzt werden.

Aus den Erträgen der simulierten Harnflecken kann man schließen, dass bei einer Harnausbringung in der zweiten Hälfte der Vegetationsperiode eine sehr niedrige N Effizienz zu erwarten ist. Dieser Aspekt der N Dynamik ist bei einer Weidehaltung nicht zu vernachlässigen. Die geringe Effizienz resultiert dann in einem erhöhten Risiko von N Verlusten im Winter: Je später die Ausbringtermine von Harn-N im Jahr, desto höher die potentiellen Verluste durch Auswaschung. Eine mögliche Managementoption wäre eine Reduzierung des Tierbesatzes zum Ende der Vegetationsperiode.

Literatur

HOMM, A. (1994): Zur Variabilität der Nitratmengen unter Weidenarben. *Dissertation*. Justus-Liebig-Universität Gießen.

LANDWEHR, B. (2002): Untersuchungen zur Nitratauswaschung unter Mähweiden in Abhängigkeit von der Stickstoffversorgung und dem Weidenutzungsanteil mit gesonderter Betrachtung der N-Dynamik an Harneintragstellen. *Dissertation*. Georg-August-Universität Göttingen.

LANTINGA, E.A., KEUNING, J.A., GROENWOLD, J. & DEENEN, P.J.A.G. (1987): Distribution of excreted nitrogen by grazing cattle and its effects on sward quality, herbage production and utilization. In: Van Der Meer, H.G., Unwin, R.J., Van Dijk, T.A. and Ennik, G.C. (eds) (1987): *Animal Manure on Grassland and Fodder Crops. Fertilizer or Waste? Developments in Plant and Soil Sciences*, vol 30. Springer, Dordrecht.

LAUBACH, J., TAGHIZADEH-TOOSI, A., GIBBS, S. J., SHERLOCK, R. R., KELLIHER, F. M., & GROVER, S. P. P. (2013): Ammonia emissions from cattle urine and dung excreted on pasture, *Biogeosciences*, 10, 327-338

MOIR, J. L., K.C. CAMERON, H.J. DI & FERTSAK, U. (2010): The spatial coverage of dairy cattle urine patches in an intensively grazed pasture system. *Journal of Agricultural Science* 149, 473-485

WHITEHEAD, D. C. (1995): *Grassland Nitrogen*. CAB International, Wallingford, GB.

WILLIAMS, P.H. & HAYNES, R.J. (2000): Transformations and plant uptake of urine N and S in long and short-term pastures. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 56, 109-116.