
Abschätzung der N-Fixierungsleistung von Weißklee auf überjährigem Weißklee-Gras und Dauergrünland mittels ¹⁵N-Verdünnungs-Methode und nicht-isotopischer Methoden

D.U. Nannen¹, K. Dittert², R. Loges¹ und F. Taube¹

¹Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, - Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau - , Hermann-Rodewald-Str. 9, D-24118 Kiel

²Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Hermann-Rodewald-Str. 2, D-24118 Kiel

Einleitung

Weißklee nimmt als schnitt- und weidetolerante Leguminose eine dominante Stellung in futterbaulichen Produktionssystemen ein. Die Fixierungsleistung kann mittels Stabilisotopen oder nicht-isotopischen Ansätzen geschätzt werden, jedoch sind alle Methoden systematischen Fehlern unterworfen. Ziel der Arbeit war es daher, die Fixierungsleistung in Abhängigkeit der Methodik auf überjährigem Weißklee-Gras und Dauergrünland zu ermitteln. Es ist davon auszugehen, dass über nicht-isotopische Ansätze höhere Fixierungsleistungen geschätzt werden als über die angewandte ¹⁵N-Verdünnungs-Methode.

Material und Methoden

Die Feldversuche wurden 2000-2001 als Teilerperimente eines Dauergrünlandversuches (TROTTE *et al.*, 2004) und eines Fruchtfolgeversuches (VOLKERS, 2005) im Rahmen des „N-Projekt Karkendamm“ in Schleswig-Holstein/Deutschland durchgeführt (14 m N.N.; Jahresdurchschnittstemperatur 8.4°C; 823 mm Niederschlag). Das Dauergrünland wurde 1995 als Deutsch Weidelgras-Weißklee dominierte Ansaatmischung etabliert und als simulierte Weide genutzt. Es wurden die Faktoren Gülledüngung (0, 70 kg N ha⁻¹) und

mineralische N-Düngung (0, 100 kg N ha⁻¹) getestet, wobei die Gülledüngung im Frühjahr erfolgte, und die mineralische Düngung strategisch in 2 Teilgaben zum ersten (70 kg N ha⁻¹) und zweiten Aufwuchs (30 kg N ha⁻¹) appliziert wurde. Das überjährige Weißklee-Gras war eine reine Deutsch Weidel-Weißklee-Ansaat, welche in der Fruchtfolge vor Mais und nach Triticale stand und als Mähweide bewirtschaftet wurde (2 Schnitte, 2 Beweidungsperioden). Hier wurde ebenfalls im Frühjahr Gülle appliziert (0, 70 kg N ha⁻¹), jedoch wurde keine mineralische Düngung vorgenommen. Die ¹⁵N-Markierung des Bodens erfolgte im Frühjahr und nach jedem Erntetermin mit K¹⁵NO₃ auf 2 m². Als Referenzparzellen dienten im Dauergrünland reine Grasbestände der simulierten Weide, im Fruchtfolgeversuch wurden Areale durch entsprechende Herbizidbehandlungen klee frei gehalten.

Zu den Ernteterminen wurden in den Microplots 0.25 m² auf Stoppelhöhe beprobt. Da die Nutzungsfrequenz zwischen den Jahren differierte, ist die Vegetationszeit in Perioden unterteilt worden (Tab. 1). Das geerntete Pflanzenmaterial wurde in Klee und Gras fraktioniert, getrocknet und mit einer Kugelmühle homogenisiert (Fa. Retsch). Die ¹⁵N-Gehalte und Gesamt-N-Gehalte wurden mit einem Massenspektrometer (delta C, ThermoFinnigan, Bremen, Germany) ermittelt, welches mit einem Elemental Analyser gekoppelt war (Carlo Erba 1108, CE Instruments Milano/Italy; Conflo II).

Tab. 1: Erntetermine und Periodeneinteilung in 2000 und 2001 auf Dauergrünland und überjährigem Weißklee-Gras.

System	Jahr	mineral. N-Düngung	1. Nutzung		2. Nutzung		3. Nutzung		4. Nutzung		5. Nutzung	
			Datum	Periode								
Dauergrünland	2000	N0	12.05	1	17.06	2	16.08	3	29.09	4	.	.
		N100	10.05	1	15.06	2	31.07	3	08.09	4	10.10	4
	2001	N0	18.05	1	13.06	2	16.07	3	17.08	3	14.09	4
		N100	16.05	1	11.06	2	11.07	3	08.08	3	17.09	4
überjähr. Weißklee-Gras	2000	N0	12.05	1	20.06	2	17.07	3	13.09	4	.	.
	2001	N0	16.05	1	25.06	2	30.07	3	03.09	4	.	.

Die Berechnung der N-Fixierungsleistung des Weißklee über die ¹⁵N-Verdünnungsmethode erfolgte nach FRIED & MIDDELBOE (1977):

$$BNF [kgN \times ha^{-1}] = \left(1 - \frac{ape_{leg}}{ape_{ref}} \right) \times NY_{leg}$$

mit BNF = N-Fixierungsleistung [kg N ha⁻¹]; ape_{leg} = atom percent excess Weißklee; ape_{ref} = atom percent excess Gras; NY_{leg} = N-Ertrag Weißklee [kg N ha⁻¹].

Die Berechnung der Fixierungsleistung des Weißklee mit der nicht-isotopischen Methode erfolgte nach TROTT et al. (2004). Hierzu wurde zunächst die N-Fixierungseffizienz (N_{eff}) berechnet, indem die Differenz der N-Erträge von ungedüngten Klee-Gras-Beständen und ungedüngten Grasbeständen ins Verhältnis zum TM-Ertrag des Weisklee in der Kontrollvariante gesetzt wurde. Da davon ausgegangen wird, dass die Fixierungseffizienz über einen weiten N-Gradienten konstant bleibt, wurde zur Berechnung der N-Fixierungsleistung die N-Fixierungseffizienz mit dem Klee-TM-Ertrag der jeweiligen Parzelle multipliziert:

$$BNF [kgN * ha^{-1}] = N_{eff} * KleeTM$$

Da N_{eff} zwischen den Perioden schwankte, wird die Methode im Folgenden als flexible Quotienten Methode (FQM) bezeichnet.

Die Varianzanalyse erfolgte mit PROC MIXED in SAS. Da wiederholte Messungen innerhalb einer Vegetationsperiode vorlagen, wurde im repeated measurement eine autoregressive Kovarianzstruktur vorausgesetzt. Signifikante Interaktionen wurden mit Bonferoni-Holm-Korrektur korrigiert. Die gegebenen Werte sind LSmeans, die Irrtumswahrscheinlichkeit lag bei $\alpha=0.05$. Die multiple Regressionen wurden mit PROC REG in SAS durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Auf überjährigem Weißklee-Gras lagen die über die ^{15}N -Verdünnungsmethode berechneten jährlichen Fixierungsleistungen bei $79.76 \text{ kg N ha}^{-1}$. Sie wurden nicht durch die Güllegabe beeinflusst, sondern unterlagen nur jahreszeitlichen Schwankungen mit signifikant geringeren Fixierungsraten in der ersten und zweiten Periode im Vergleich zur dritten und vierten Periode.

Die im Dauergrünland berechneten jährlichen Fixierungsleistungen lagen für nicht mineralisch gedüngte Bestände bei $147.5 \text{ kg N ha}^{-1}$ und somit höher als auf überjährigem Weißklee-Gras. Für mineralisch gedüngte Bestände konnte mit $79.5 \text{ kg N ha}^{-1}$ eine ähnliche Fixierungsleistung wie auf überjährigem Weißklee-Gras berechnet werden.

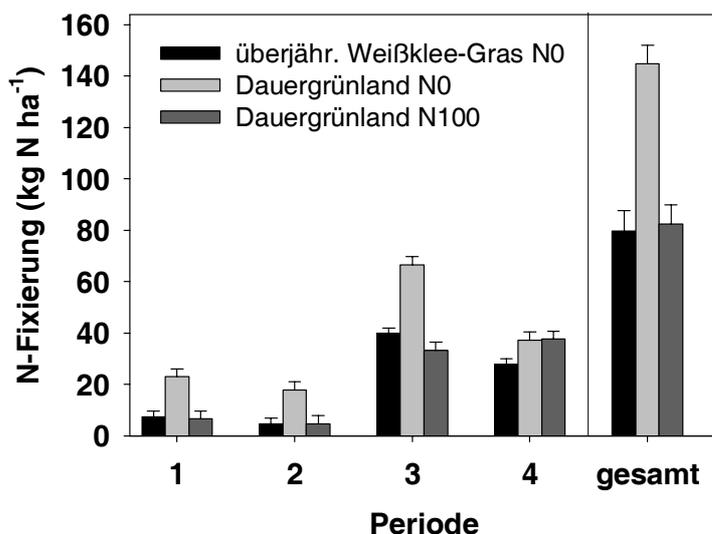


Abb. 1: Mittels ^{15}N -Stabilisotopen berechnete N-Fixierungsleistung (kg N ha^{-1}) auf überjährigem Weißklee-Gras und Dauergrünland in Abhängigkeit der Düngung. Fehlerbalken sind Standardfehler.

Pflanzenmaterial nicht zwischen den Düngungsstufen differierte, sondern nur jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen war. Er lag im Frühjahr mit 87% niedriger als in der zweiten Hälfte der Vegetationsperiode (91%). Somit sind unterschiedliche Fixierungsleistungen innerhalb eines Aufwuchses bei variierenden N-Düngungsregimen lediglich auf unterschiedliche Klee-Erträge zurückzuführen, nicht jedoch auf eine variierende Nitrogenaseaktivität.

Die jahreszeitlichen Schwankungen der Fixierungsleistung hingegen können zum einen durch eine schwach ausgeprägte Nitrogenaseaktivität hervorgerufen werden (BORDELEAU & PRÉVOST, 1994), zum anderen aber auch durch geringe Klee-Erträge, da der Graspartner im Frühjahr durch hohe N_{min} -Boden-Gehalte gefördert wurde, welche durch eine

Auch hier wurden innerhalb der Vegetationszeit in der ersten und zweiten Periode signifikant geringere Fixierungsraten verzeichnet als in der dritten und vierten Periode (Abb. 1). Weiterhin wurde die Fixierungsleistung in der ersten und dritten Periode negativ durch die mineralische N-Düngung beeinflusst ($p < 0.05$), jedoch nie durch die Gülledüngung. Bei Analyse

der Fixierungseffizienz ($N_{\text{dfa}}\% = a_{\text{pe}_{\text{leg}}} / a_{\text{pe}_{\text{ref}}} * 100$) als indirektem Parameter der Nitrogenaseaktivität zeigte sich, dass der prozentuale Anteil an fixiertem Stickstoff im

mineralische Düngung verstärkt wurden (BOLLER & NÖSBERGER, 1988; ELGERSMA & HASSINK, 1997).

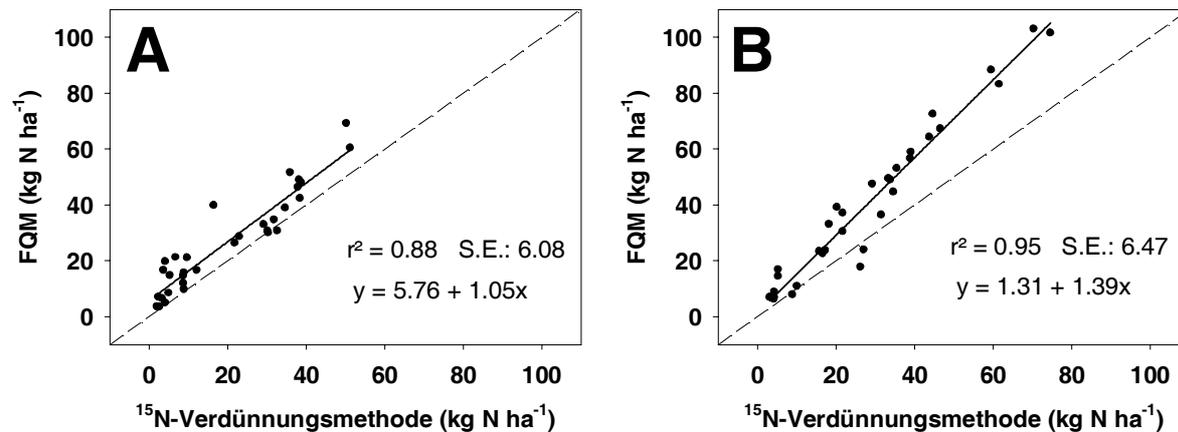


Abb. 2: Beziehung zwischen den Ergebnissen isotopischer und nicht-isotopischer Methoden zur Schätzung der N-Fixierungsleistung auf überjährigem Weißklee-Gras (A) und Dauergrünland (B).

Werden isotopische und nicht-isotopische Methoden verglichen, so lieferte die FQM in beiden Produktionssystemen ähnliche, aber systematisch höhere Ergebnisse als die ¹⁵N-Verdünnungsmethode (Abb. 2). Sie lagen für Dauergrünland um Faktor 1.39 und für überjähriges Weißklee-Gras um Faktor 1.05 höher. Die sehr gute Übereinstimmung der Methoden ist in dem analogen Formelaufbau begründet, bei dem eine Fixierungseffizienz (Ndfa%, N_{eff}) mit dem Klee-TM-Ertrag multipliziert wird. Bleibt Ndfa% innerhalb eines Aufwuchses konstant, liefern beide Methoden ähnliche Ergebnisse, wie es auf Dauergrünland der Fall war. Auf überjährigem Weißklee-Gras jedoch lag Ndfa% im zweiten Aufwuchs für die Kontrollvarianten deutlich höher als in den Güllebehandlungen, was zu Überschätzungen mittels FQM führte.

Um Fixierungsleistungen in einem Bestand abschätzen zu können, wurde eine multiple Regression mit den Faktoren Klee-TM-Ertrag und Klee-Ertragsanteil (%) durchgeführt (Daten nicht aufgeführt). Es zeigte sich, dass bei beiden Produktionssystemen die Variable Klee-TM-Ertrag als elementare Größe zur Ermittlung der Fixierungsleistung in die Gleichung einging. Auf dem überjährigem Weißklee-Gras wurde die N-Fixierungsleistung allein durch Multiplikation des Klee-TM-Ertrages mit 3.42 ausreichend erklärt ($r^2=0.85$). Auf Dauergrünland ging der Klee-Ertragsanteil mit 0.08, der Klee-TM-Ertrag mit 3.45, sowie ein Intercept von -3.25 in die Gleichung mit ein und führte so zu hohen Übereinstimmungen ($r^2=0.98$).

Schlussfolgerung

Die Ergebnisse zeigen, dass die legume N-Fixierungsleistung in etablierten Beständen höher liegt als in neu angelegten. Solange die Fixierungseffizienz konstant bleibt, werden mittels FQM ähnliche, aber systematisch höhere Fixierungsraten berechnet als über die Verdünnungsmethode. Weiterhin kann die Fixierungsleistung auf überjährigem Weißklee-Gras allein über den Klee-TM-Ertrag abgeschätzt werden, auf Dauergrünland hingegen muss der Klee-Ertragsanteil ebenfalls Berücksichtigung finden.

Literatur

- BOLLER B.C. & NÖSBERGER J. (1988) Influence of dissimilarities in temporal and spatial N-uptake patterns on ¹⁵N-based estimates of fixation and transfer of N in ryegrass-clover mixtures. *Plant and Soil*, 112, 167-175
- BORDELEAU L.M & PRÉVOST D. (1994) Nodulation and nitrogen fixation in extreme environments. *Plant and Soil*, 161, 115-125
- ELGERSMA A. & HASSINK J. (1997) Effects of white clover (*Trifolium repens* L.) on plant and soil nitrogen and soil organic matter in mixtures with perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Plant and Soil*, 197, 177-186
- FRIED M. & MIDDELBOE V. (1977) Measurement of amount of nitrogen fixed by a legume crop. *Plant and Soil*, 47, 713-715
- TROTT H.T., WACHENDORF M., INGWERSEN B., & TAUBE F. (2004) Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. I. Impact of defoliation system and nitrogen input on performance and N balance of grassland. *Grass and Forage Science*, 59, 41-55
- VOLKERS K. (2005) Auswirkungen einer variierten Stickstoff-Intensität auf Leistung und Stickstoff-Bilanz von Silomais in Monokultur sowie einer Ackerfutterbau-Fruchtfolge auf sandigen Böden Norddeutschlands. Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung.