

Erfassung, Prognose und Bewertung nutzungsbedingter
Veränderungen in Agrarökosystemen und deren Umwelt

Tagungsband des Statusseminars 27. – 29. November 2002

FAM-Bericht 55

Herausgeber:

P. Schröder, B. Huber, J.C. Munch (GSF)

GSF-Forschungszentrum
für Umwelt und Gesundheit

Technische Universität
München/Weihenstephan

November 2002

Variabilität der symbiotischen N₂-Fixierung: Methoden zur Abschätzung und Ursachen der Variation

Hauke Heuwinkel, Felix Locher, Reinhold Gutser, Urs Schmidhalter

Technische Universität München, Lehrstuhl für Pflanzenernährung, Department für
Pflanzenwissenschaften, Am Hochanger 2, D-85350 Freising

1. Zusammenfassung

Die Kenntnis der Raum-Zeit Variation der symbiotischen N₂-Bindung ist die Basis sowohl für verbesserte Angaben zum N-Gewinn im Betrieb, als auch zum Verständnis des N-Kreislaufes im Ökologischen Landbau (OL). Für Klee-Luzerne-Gras (KLG) wurde eine Methode entwickelt den Leguminosenanteil mit Nah-Infrarot-Reflektions Spektroskopie (NIRS) vereinfacht zu bestimmen, um daraus erstmalig die flächige Darstellung der Variation der N₂-Bindung abzuleiten. Diese stand im KLG, analog zu Punktmessungen bei Weißer Lupine, im Bezug zur N-Nachlieferung des Bodens. Allerdings war dieser Einfluss nur signifikant, wenn die Unterschiedlichkeit der betrachteten Standorte ausreichend war.

2. Einleitung

Die symbiotische N₂-Bindung berechnet sich aus der N-Aufnahme der Leguminosen und dem Anteil gebundenen Stickstoffs (N_{fix}) oder, allgemein formuliert, $N_2\text{-Bindung} = TM\text{-Ertrag}_{\text{bestand}} * \text{Leguminosenanteil} * N\text{-Gehalt}_{\text{Leguminoase}} * N_{fix}$ (1). Nicht nur der N-Ertrag sondern auch N_{fix} sind sehr variabel (Stevenson et al. 1995, Walley et al. 2001, Hansen & Vinther 2001). Alle Feldmethoden zur Erfassung der N₂-Bindung benötigen eine nicht-fixierende Pflanze, die die Aufnahme von Boden-N durch die Leguminoase beschreibt (s.a. Heuwinkel 1999). Die Aktivität der Symbiose wird von Wachstumsbedingungen stark beeinflusst. Werte von < 30 bis > 90% N_{fix} in Reinbeständen (Heuwinkel 1999, Walley et al. 2001), stehen Werten um 90 % bei N-limittierten Futtergemengen gegenüber (Bolter 1988, Hansen & Vinther 2001). Die symbiotische Aktivität wird stark von der Verfügbarkeit an mineralischem N im Boden beeinflusst (Hansen & Vinther 2001). In Reinbeständen wirkt diese direkt auf % N_{fix}, während in Gemengen i.d.R. der Beitrag der Leguminosen zur Ertragsbildung verändert wird. Die Bestimmung der N₂-Bindung im Feld ist so aufwendig, dass dies die räumliche Auflösung der Messung stark einschränkt. Vereinfachte Ansätze schätzen für Körnelleguminosen die N₂-Bindung über den N im Korn, während für Gemenge der N-Ertrag insgesamt betrachtet wird. Diese Ansätze werden zur Verbesserung der Aussage erweitert, so nahmen z.B. Evans et al. (1989) den Saatzeitpunkt und N_{min} zum Korn-N dazu. Für Gemenge hat Bolter (1988) den Leguminosenanteil am N-Ertrag als entscheidende Größe zur Beschreibung der N₂-Bindung belegt. Im FAM wurden einerseits zuverlässige Daten zum N-Gewinn durch N₂-Bindung für den Betrieb benötigt. Andererseits galt es Angaben zur RaumZeit-Variation dieser Größe zu machen, um die Basis für eine Ursachenanalyse zu schaffen. Dazu wurden Methoden entwickelt die Daten flächig effizient zu erheben.

3. Ergebnisse und Diskussion

Körnerleguminosen im Reinbestand:

Die vereinfachte Abschätzung der N_2 -Bindung über den N-Ertrag des Kornes war nicht geeignet, um die Variation innerhalb eines Feldes abzubilden. In Parzellenversuchen mit Erbsen, Ackerbohne und Weißer Lupine fand sich ein enger Bezug der N_2 -Bindung zur N-Aufnahme des Sprosses aber nicht zum N im Korn (Abb. 1). Da der N-Harvest-Index (NHI) der drei Arten deutlich verschieden war, kam es bei Erbsen zu einem Netto N-Entzug, während die anderen etwas N-Gewinn im Feld zurück ließen. Der NHI wird jedoch nicht nur von der Art, sondern auch von den Wachstumsbedingungen und der Gesundheit der Pflanze beeinflusst und ist bei Leguminosen besonders variabel (Beck et al. 1991). Dies erklärt warum Korn-N bei einem begrenzten Datensatz keine gute Schätzgröße für die N_2 -Bindung ist, sich dagegen bei einer Vielfalt an Daten im Mittel bewährt.

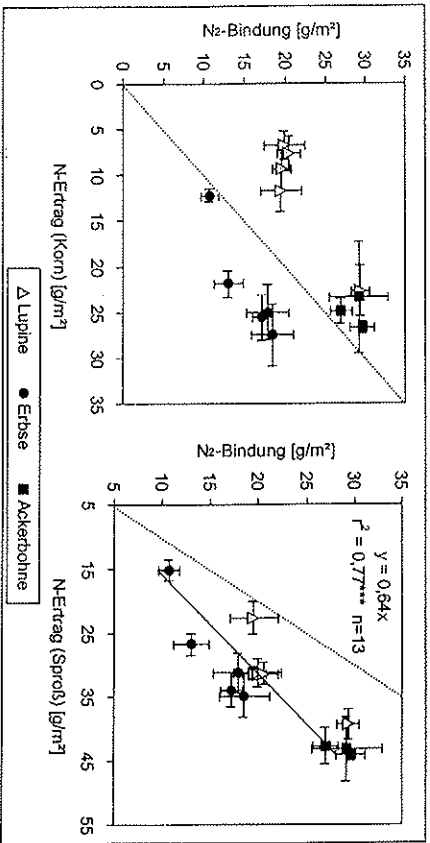


Abb. 1: Vergleich des N-Ertrages im Korn (links) bzw. Spross (rechts) von drei Körnerleguminosen mit ihrer N_2 -Bindung (nach STR). Jeder Datenpunkt entspricht einem Parzellenversuch im Jahr 1996. Dargestellt sind Mittelwert mit Standardabweichung ($n=4$, s.a. Heuwinkel 1999).

Wechselwirkungen zwischen Referenzpflanze und Standort verursachen bei der ¹⁵N-Verdünnungsmethode (isotope Dilution, ID) Fehler in der Darstellung der räumlichen Variabilität von N_{fix} . Durch eine Modifikation wurde der Fehler zwar vermindert (Heuwinkel 1999, Heuwinkel et al. in Vorbereitung), aber die räumlich differenzierte Messung im Feld blieb auch mit dieser STR (soil-N tracer-N relationship) genannten Methode zu aufwendig. Punktmessungen mit Weißer Lupine im A12 und A03 belegten eine starke Differenzierung von N_{fix} (Tab. 1). Als Erklärung bieten sich Unterschiede in der N-Verfügbarkeit, die jedoch relativ gering waren (gemessen am N_{min}), und Substratflüsse an.

Tab. 1: Verteilung des N in Pflanze und Boden zur Ernte von Weißer Lupine an drei Rasterpunkten des A03 und A12 im Jahr 1994 (Mittelwerte ($n = 6$), N_2 -Bindung nach STR).

| Rasterpunkt (Bodenart) | Korn | Stroh | Wurzel (0-30 cm) | Belkraut | N_{min} (0-90 cm) | N_2 -Bindung | im Feld verbleibender N | N-Bilanz = N_2 - Korn |
|------------------------|-----------------------|-------|------------------|----------|---------------------|----------------|-------------------------|-------------------------|
| | [g N/m ²] | | | | | | | |
| 130.180 (S) | 22,6 | 3,5 | 0,7 | 1,0 | 3,3 | 19,7 | 8,5 | -2,9 |
| 336.240 (Ls) | 15,9 | 3,0 | 0,5 | 1,9 | 4,5 | 17,6 | 9,9 | 1,7 |
| 340.220 (Lu) | 14,9 | 2,5 | 0,5 | 1,4 | 5,3 | 11,2 | 9,7 | -3,7 |

Klee-Luzerne-Gras (KLG) als Beispiel für Gemenge

Messungen im KLG in Schoeyern bestätigten, dass % N_{fix} in diesen Beständen meist über 90% liegt. Der N-Ertrag der Leguminosen im Gemenge ist damit die bestimmende Variable der N_2 -Bindung und hängt direkt vom Leguminosenanteil ab (Gleichung (1)). Deshalb wurde eine Methodik entwickelt, schnell und einfach den Leguminosenanteil in gemahlten Gemengeproben mit NIRS zu bestimmen (s.a. Posterbeitrag von Locher et al., Locher et al. eingereicht). Die Validierung zeigte, dass der Leguminosenanteil auf weniger als fünf Prozentpunkte genau bestimmt werden kann. Mit dieser Methode war es erstmals möglich die Variabilität der Gemengezusammensetzung und der N_2 -Bindung im Feld darzustellen (Locher et al. FAM Jahresbericht 2000 & 2001). Auf allen untersuchten Flächen zeigte sich eine Zunahme des Leguminosenanteiles über die Nutzungsdauer. Die relative Differenzierung dieser Größe in der Fläche veränderte sich dadurch aber nicht (Abb. 2). Dagegen schwankte der Ertrag infolge der Witterung und der Wuchsdauer stärker. Die errechnete N_2 -Bindung variierte innerhalb der Schläge (cv bis zu 50%) und zwischen den Terminen sehr deutlich, zeigte jedoch trotzdem stabile Verteilungsmuster innerhalb eines Schlages.

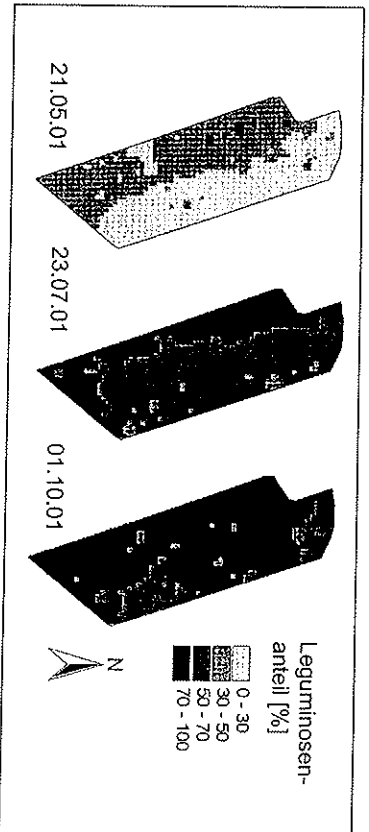


Abb. 2: Veränderung des Leguminosenanteiles über die Nutzungsdauer von Klee-Luzerne-Gras im A12 (3,37 ha) im Jahr 2001. Geostatistisch interpolierte Daten (DW, 50 m, ArcView) von Messparzellen ($n \geq 100$) mit 12 m² Probenfläche (Methodik s.a. Locher et al. FAM-Bericht 2001)

Der Leguminosenanteil stand hoch signifikant in Bezug zur Aufnahme von Boden-N des KL_G, wenn die Spannweite der Standorte in einem Schlag ausreichend groß war (Abb. 3). In der Gesamtheit eines Schlages bekommen vermutlich andere Faktoren der Gleichung (1), sowie weitere Einflüsse bis hin zur Bewirtschaftung, für die Erklärung der lokalen Variation ein größeres Gewicht. Damit verlor die Korrelation auf Schlagenebene ihre Signifikanz, ohne das sich aber die Koeffizienten der Korrelation änderten (Abb. 3). Stevenson et al. (1995) folgern, dass die Ursache der Korrelation hohen Variation der N₂-Bindung im Bereich von wenigen Metern zu suchen wäre, was Walley et al. (2001) mit ihrer Analyse auf 3,2 m eingrenzen. Nach unseren Daten ist diese Aussage zu modifizieren, da es letztlich auf die relative Wirksamkeit eines Faktors am Standort ankommt, ob er räumlich ausgedehnt oder eng begrenzt wirkt. Das heißt aber auch, dass die Spannweite der standörtlichen Heterogenität bestimmt, ob Wirkungszusammenhänge deutlich werden können.

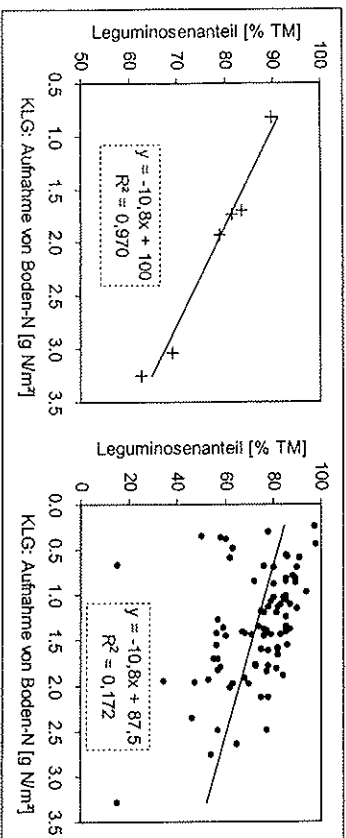


Abb. 3: Korrelation zwischen der Aufnahme von N aus dem Boden durch Klee-Luzerne-Gras (KL_G) und dem Leguminosenanteil am Gemengeertrag in ausgewählten Messparzellen (n = 6, links) bzw. auf Schlagenebene (n = 88, rechts) im A09 (2,25 ha) im Jahr 1999.

4. Schlussfolgerung

Die entwickelten Methoden eröffnen die Möglichkeit über die Analyse leguminosenhaltiger Bestände von N-Düngung unbeeinflusste Angaben zur Differenzierung der N-Nachlieferung eines Schlages zu bekommen. Dies ist unerlässliche Basis eines nachhaltigen N-Düngesystems. Gerade im N-Potential zeigt aber auch wie schwierig die Abgrenzung von Teilschlägen ist. Die Automatisierung der Ertragsfassung über ein Durchsatzmähwerk in Kombination mit NIRS eröffnet Möglichkeiten den N-Gewinn von landwirtschaftlichen Betrieben zukünftig zuverlässiger abschätzen zu können.

5. Literatur

- Beck, D.P., J. Wery, M.C. Saxena und A. Ayadi (1991). Dinitrogen fixation and nitrogen balance in cool-season food legumes. *Agronomy Journal*, 83 334-341.
- Boller, B.C. (1988): Biologische Stickstoff-Fixierung von Weiß- und Rotklee unter Feldbedingungen. *Landwirtschaft. Schweiz*, 1 (4), 251-253
- Evans, J., G.E. O'Connor, G.L. Turner, D.R. Coventry, N. Fettel, J. Mahoney, E.L. Armstrong und D.N. Walscott (1989). N₂ fixation and its value to soil N increase in lupin, field pea and other legumes in South-Eastern Australia. *Australian Journal of Agricultural Research* 40, 791-805.
- Hansen, J.P. und F.P. Vinther (2001): Spatial variability of symbiotic N₂ fixation in grass-white clover pastures estimated by the ¹⁵N isotope dilution method and the natural ¹⁵N abundance method. *Plant and Soil*, 230, 257-266.
- Hewinkkel, H. (1999). N₂-Fixierung von Körnerleguminosen: Aussagekraft und Weiterentwicklung vorhandener Meissmethoden am Beispiel *Lupinus albus* L.. Dissertation TU München, FAW-Bericht 34, 224 S.
- Hewinkkel, H., R. Güter, N. Claassen und U. Schmidhalter (in Vorbereitung). Determination of N₂-fixation of grain legumes by ¹⁵N isotope dilution is improved by using the soil-N tracer-N relationship (STR).
- Locher, F., H. Hewinkkel, R. Güter und U. Schmidhalter (eingereicht): The Legume Content in Multispecies Mixtures as estimated with Near Infrared Reflectance Spectroscopy: Method Development. *Agronomy Journal*
- Stevenson, F.C., J.D. Knight und C. Van Kessel (1995). Dinitrogen fixation in pea - controls at the landscape-scale and microscale. *Soil Science Society of America Journal*, 59 (6), 1601-1611.
- Walley, F., G. Fu, J.W. van Groenigen und C. van Kessel (2001). Short-range spatial variability of nitrogen fixation by field-grown chickpea. *Soil Science Society of America Journal*, 65 (6), 1717-1722.