

## Positive Mischungseffekte auf Ertrag und Stickstoffversorgung in Klee-Gras-Mischungen

Huquenin-Elie, O.<sup>1</sup>, Nyfeler, D.<sup>1,2</sup>, Suter, M.<sup>1,3</sup>, Frossard, E.<sup>2</sup>, und Lüscher, A.<sup>1</sup>

Keywords: grass-clover mixtures, overyielding, clover proportion, symbiotic N fixation

### Abstract

High plant species richness has been shown to positively influence grassland biomass production. In mixtures containing two forage grass and two forage legume species we quantified the diversity-productivity effect and the nitrogen economy of the swards across a broad range of species proportions. Positive diversity-productivity effects resulted in higher yield (up to +35%) of the four-species grass-clover-mixtures than the highest yielding monoculture (transgressive overyielding). The diversity-productivity effect depended on the species proportion in the mixture and was maximal in well balanced mixtures with a clover proportion of 40 – 60%. Transgressive overyielding was significant over a fairly wide range of clover proportions. Well balanced grass-clover-mixtures allowed obtaining up to 320 kg N ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> deriving from symbiotic N<sub>2</sub> fixation and allowed an optimal transformation of fixed N into dry matter yield. These mixtures allowed benefiting from maximal fixation activity of the legumes without reducing the uptake of N from soil and fertiliser by the grasses in the sward.

### Einleitung und Zielsetzung

Die zwischen Leguminosen und Knöllchenbakterien ablaufende symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierung ist im biologischen Landbau meistens die wichtigste externe Stickstoffquelle. Neben der Grundfutterproduktion steht der im Grasland fixierte Stickstoff (N) auch in Form von Hofdüngern und Pflanzenresten dem Ackerbau zur Verfügung. Biodiversitätsexperimente im Grasland, bei denen die Anzahl der Pflanzenarten experimentell variiert wird, haben häufig bei steigender Artenzahl eine steigende Biomasseproduktion gezeigt (Balvanera et al. 2006). Klee-Gras-Mischungen können deshalb möglicherweise zwei, für den biologischen Landbau wichtige Vorteile vereinen: Den Input von N aus der Luft und die Diversitätseffekte, die zu einer effizienteren Ressourcennutzung führen. Das Ziel dieser Studie ist es den Einfluss der Artenzahl und der Artenanteile auf den Ertrag und die N-Versorgung von Ansaatwiesen zu bestimmen, um eine hoch produktive und N-effiziente botanische Zusammensetzung für Klee-Gras-Mischungen zu definieren.

### Methoden

In einem Feldversuch wurden 50 unterschiedliche Pflanzenbestände (Tab. 1) als Reinkulturen oder Mischungen aus *Lolium perenne*, *Dactylis glomerata*, *Trifolium pratense* und *Trifolium repens* (gemäss einem Simplex Design; Cornell 2002) angesät. Der Kleeanteil in den Saatmischungen deckte den Bereich von 0 bis 100% ab. Der Ertrag und die Entwicklung der botanischen Zusammensetzung wurden während drei Jahren gemessen. Die Parzellen wurden mit 50 oder 150 kg N ha<sup>-1</sup> J<sup>-1</sup>

<sup>1</sup> Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Reckenholzstrasse 191, 8046, Zürich, Schweiz, [olivier.huquenin@art.admin.ch](mailto:olivier.huquenin@art.admin.ch), [www.art.admin.ch](http://www.art.admin.ch)

<sup>2</sup> Institut für Pflanzenwissenschaften, ETH Zürich, Eschikon 33, 8315, Lindau, Schweiz, [emmanuel.frossard@ipw.agr.ethz.ch](mailto:emmanuel.frossard@ipw.agr.ethz.ch), [www.pe.ipw.agr.ethz.ch](http://www.pe.ipw.agr.ethz.ch)

<sup>3</sup> Institut für Integrative Biologie, ETH Zürich, Universitätsstrasse 16, 8092 Zürich, Schweiz, [matthias.suter@env.ethz.ch](mailto:matthias.suter@env.ethz.ch), [www.plantecology.ethz.ch](http://www.plantecology.ethz.ch)

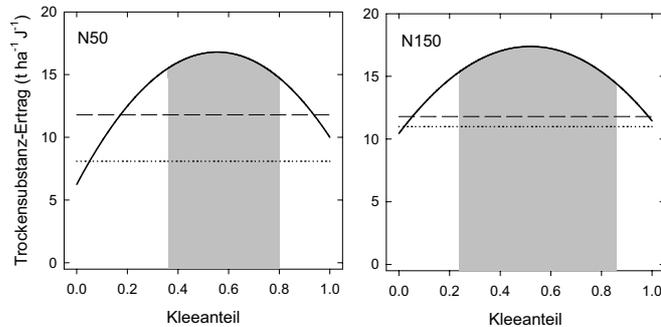
(als N50 bzw. N150 bezeichnet) gedüngt. Die Mengen an geerntetem N, symbiotisch fixiertem N und Dünger-N wurden im 1. und 2. Jahr mit Hilfe der  $^{15}\text{N}$ -Isotopen-Anreicherungsmethode gemessen, was eine mineralische Düngung bedingte.

**Tab. 1: Relative Anteile (in %) der vier Arten in den Saatmischungen. Lp: *Lolium perenne*, Dg: *Dactylis glomerata*, Tp: *Trifolium pratense*, Tr: *Trifolium repens*. Jede dieser Saatmischungen wurde in zwei Saaddichten (100% und 60%) angelegt. Fett: Mischungen bei 50 und 150 kg N ha<sup>-1</sup> J<sup>-1</sup>. Nicht fett: zusätzliche Mischungen bei 150 kg N ha<sup>-1</sup> J<sup>-1</sup>.**

Reinkulturen	Zusammensetzung der Saatmischungen (%Lp/%Dg/%Tp/%Tr)			
	(100/0/0/0)	(0/100/0/0)	(0/0/100/0)	(0/0/0/100)
Zwei Arten, ausgeglichen	(50/50/0/0) (0/50/50/0)	(50/0/50/0) (0/50/0/50)	(50/0/0/50) (0/0/50/50)	
Vier Arten, extrem dominiert	(90/3/3/3)	(3/90/3/3)	(3/3/90/3)	(3/3/3/90)
Vier Arten, dominiert	<b>(70/10/10/10)</b>	<b>(10/70/10/10)</b>	<b>(10/10/70/10)</b>	<b>(10/10/10/70)</b>
Vier Arten, co-dominiert	(40/40/10/10) (10/40/40/10)	(40/10/40/10) (10/40/10/40)	(40/10/10/40) (10/10/40/40)	
Vier Arten, ausgeglichen	<b>(25/25/25/25)</b>			

## Ergebnisse und Diskussion

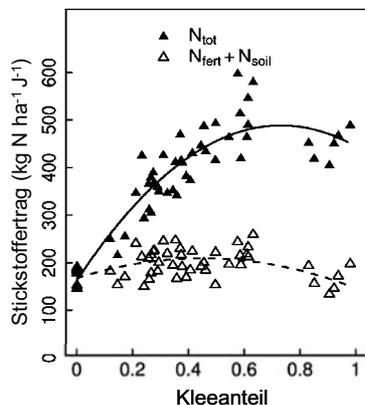
Der Ertrag der Mischungen war bei beiden N-Verfahren und in allen drei Versuchsjahren nicht nur deutlich höher als der Durchschnittsertrag der vier Reinkulturen, sondern sogar als der Ertrag der besten Reinkultur (Abb. 1). Über die drei Jahre erzielte die ausgeglichene Vier-Arten-Mischung einen Mehrertrag von 62% (N50) respektive 55% (N150) über dem Durchschnitt der vier Reinkulturen. Die Mischungen mit dem höchsten Ertrag erzielten sogar einen Mehrertrag von bis zu 35% über der besten Reinkultur. Die Regressionsanalyse zeigte, dass Mischungen mit einem Kleeanteil von 60 – 70% (N50) respektive 50 – 60% (N150) in der Saatmischung über die drei Jahre den höchsten Ertrag erzielten. Wegen der ausgeprägten Diversitätseffekte der getesteten Vier-Arten-Mischungen waren die Vorteile der Mischungen, trotz der Bedeutung der Artanteile, über einen weiten Bereich des Kleeanteils signifikant (Kleeanteil von 35 – 80% bei N50 und von 25 – 85% bei N150; Abb. 1). Es zeigte sich also, dass die Ansaat einer Mischung im Vergleich zur besten Reinkultur fast immer ein Vorteil war, selbst wenn die optimale Mischungszusammensetzung nicht erreicht wurde. Die Diversitätseffekte auf den Ertrag zeigen, dass mit Klee-Gras-Mischungen schon bei einer relativ tiefen Artenzahl sehr grosse Vorteile erzielt werden können. Der starke Einfluss des Kleeanteils auf die Diversitätseffekte lässt vermuten, dass die symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierung eine zentrale Rolle spielte. Deshalb quantifizierten wir auch den N-Haushalt der Bestände (Abb. 2). Detaillierte Analysen der Diversitätseffekte haben jedoch ergeben, dass auch andere Mechanismen als die N<sub>2</sub>-Fixierung von Bedeutung waren. Die Erschliessung unterschiedlicher Wurzelhorizonte, sich ergänzende Wachstumsrhythmen innerhalb der Vegetationsperiode und die Ablösung der Arten über die Jahre scheinen Faktoren zu sein, die eine effizientere Nutzung der Ressourcen ermöglichen.



**Abbildung 1: Einfluss des Kleeanteils auf den Ertrag der Mischungen bei 50 und 150 kg N-Düngung  $\text{ha}^{-1} \text{J}^{-1}$  im zweiten Jahr (gefittete Linie der Regressionsanalyse durch die Messpunkte gemäss Tab. 1). Dargestellt sind die Erträge der Mischungen, die gleiche Anteile der beiden Grasarten *L. perenne* und *D. glomerata* und der beiden Leguminosenarten *T. pratense* und *T. repens* enthielten (—). Zum Vergleich sind ebenfalls die Erträge der Reinkulturen mit dem höchsten Ertrag (— — —) und dem durchschnittlichen Ertrag (·····) dargestellt. Grau eingefärbt ist der Bereich mit signifikant grösseren Mischungserträgen als die ertragreichste Reinkultur.**

Der N-Gehalt in den Gräsern ist mit dem Anstieg des Kleeanteils im Bestand linear angestiegen (Daten nicht gezeigt). Zwischen den Gras-Reinkulturen und den Mischungen mit 80% Klee betrug dieser Anstieg zirka  $10 \text{ g N kg}^{-1} \text{ TM}$ . Die N-Limitierung der Gräser wurde also mit steigendem Kleeanteil reduziert. In beiden Kleearten war der Anteil an N aus der symbiotischen  $\text{N}_2$ -Fixierung (%Nsym) bis zu einem Kleeanteil von 50 – 60% sehr hoch: Er betrug 80 – 90% (Daten nicht gezeigt). Diese Fixierungsleistung entspricht genau den Werten, die auch im langjährigen Systemvergleich in allen Bewirtschaftungsverfahren (biologisch-dynamisch, organisch-biologisch, konventionell, mineralisch gedüngt) gemessen wurden (Oberson et al. 2009). Stieg der Kleeanteil in den Mischungen jedoch über 60% sank die Fixierungsleistung der beiden Kleearten bis auf 50 – 60% ab. Die Gräser schienen in diesen klee-dominierten Beständen nicht mehr in der Lage gewesen zu sein den verfügbaren N im Boden vollständig auszuräumen (Hartwig 1998).

Der Ertrag an Gesamt-N war bei ausgeglichenen Mischungen bis zu viermal (N50) respektive 2,5-mal (N150) höher als in den Gras-Reinkulturen (Abb. 2). Die geerntete N-Menge aus der Luft (Symbiose-N und Transfer-N) stieg nur bis zu einem Kleeanteil im Bestand von 50 – 60% an (Abb. 2). Mit weniger als etwa 40 – 50% Gräser fixierte der Klee zwar viel N, was sich aber nicht in einem entsprechenden Mehrertrag ausdrückte. Die geerntete N-Menge aus dem Boden (aus den beiden Quellen Dünger-N und verfügbarem Boden-N) war bei den ausgeglichenen Mischungen gleich gross oder leicht grösser als bei den Gras- und Klee-Reinkulturen (Abb. 2). Der Effekt des Kleeanteils auf den N-Ertrag und die N-Quellen war im 1. und im 2. Jahr sehr ähnlich. In den ausgeglichenen Mischungen ergänzten sich die Gras- und Kleearten also in idealer Weise: Während die Kleearten grosse Mengen an  $\text{N}_2$  fixierten (bis zu  $320 \text{ kg ha}^{-1} \text{ J}^{-1}$ ), förderten die Gräser die Aufnahme an Boden-N und die %Nsym im Klee.



**Abbildung 2:** Ertrag an Gesamt-N (—;  $N_{\text{tot}}$ ) und an N aus dem Boden (---;  $N_{\text{fert}} + N_{\text{soil}}$ ) in Abhängigkeit des Kleeanteils im Bestand im ersten Jahr nach der Ansaat bei einer N-Düngung von  $150 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ J}^{-1}$ . Die Differenz zwischen Gesamt-N und N aus dem Boden stellt den Ertrag an symbiotisch fixiertem Luftstickstoff dar.

### Schlussfolgerungen

Mit Mischungen mit relativ wenigen, jedoch gut aufeinander abgestimmten Arten können grosse Ertragsvorteile gegenüber Reinkulturen erzielt werden. Neben der symbiotischen  $\text{N}_2$ -Fixierung sind auch andere Mechanismen für die effizientere Nutzung der Ressourcen in den Mischbeständen verantwortlich.

Klee-Gras-Mischungen mit einem ausgeglichenen Klee zu Gras Verhältnis im Bestand zeigen eine optimale Ertragswirkung der symbiotischen  $\text{N}_2$ -Fixierung. Diese Mischungen erlauben es, die volle Fixierungsleistung des Klees zu nutzen, ohne die Effizienz in der Aufnahme von verfügbarem N im Boden zu reduzieren.

### Literatur

- Balvanera P., Pfisterer A.B., Buchmann N., He J.-S., Nakashizuka T., Raffaelli D., Schmid B. (2006): Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. *Ecology Letters* 9:1146-1156.
- Cornell J.A. (2002): Experiments with mixtures: designs, models, and the analysis of mixture data, 3<sup>rd</sup> edn. Wiley, New York, 680 S.
- Hartwig U.A. (1998): The regulation of symbiotic  $\text{N}_2$  fixation: a conceptual model of N feedback from the ecosystem to the gene expression level. *Perspect Plant Ecol Evol Syst* 1:92-120.
- Oberson, A., Frossard, E., Mayer, J., Flura, T., Mäder, P., Lüscher, A. (2009): Symbiotische Stickstofffixierung in biologisch und konventionell bewirtschafteten Wiesen. Dieser Tagungsband.