

5. Bindung von Luftstickstoff

Das Vermögen der Leguminosen, den Luft-Stickstoff zu binden und ihn in das System Boden-Pflanzen einzubringen, hat entscheidende Bedeutung für die Proteinerzeugung für Mensch und Tier sowie für die Sicherung der N-Ernährung von Nichtleguminosen. Dies betrifft nicht nur den ökologischen Landbau oder finanzschwache Entwicklungsländer, sondern zukünftig – bei stetiger Verknappung fossiler Energieträger – die gesamte pflanzliche Produktion.

In Anbetracht explodierender Energiekosten und Preise für N-Dünger gilt es bereits heute, vorsorgend Erfahrungen zur maximalen N-Bindung durch Leguminosen im eigenen Betrieb zu sammeln. Nach jahrzehntelanger Fast-Ignoranz auf dem Energiesektor bedeutet das nicht nur einen Bewusstseinswandel für Energiesparen und Umweltschutz, sondern auch im Sinne von betriebswirtschaftlicher Verantwortung.

Stickstoffentzug durch Kulturpflanzen

Für die Erzeugung hoher Erträge oder guter Qualitäten benötigen die Hauptnahrungspflanzen der Erde (Weizen, Reis, Mais, Hirse, Zuckerrüben, Zuckerrohr, Kartoffeln und viele Gemüsearten) ein ausreichendes Stickstoffangebot. Dies kann kulturartenspezifisch und in Abhängigkeit der Intensität der Produktion z. T. sehr hoch ausfallen (Tab. 5.1).

Tab. 5.1: Stickstoffentzug durch den Marktertrag und die Ernterückstände bei verschiedenen Fruchtarten (nach Wehrmann u. Scharpf 1984, Spargeldaten n. Schweiger 1985)

Kulturarten	Marktertrag dt/ha	Ernterückstände dt/ha	N-Entzug kg/ha in		
			Marktertrag	Rückstände	Gesamt
Winterweizen 1	65	6,5	130	70	200
Winterweizen 2	100	10,0	200	100	300
Zuckerrüben	500	25	70	150	220
Kopfsalat	300	30	75	10	85
Porree	350	35	90	10	100
Erbsen	50	150	40	60	100
Spinat 1	230	50	110	25	135
Spinat 2	320	100	140	60	200
Blumenkohl	450	640	90	150	240
Weißkohl 1	630	210	100	40	140
Weißkohl 2	1700	420	250	130	380
Rosenkohl	160	500	140	190	330

Woher sollen die für das Pflanzenwachstum erforderlichen Mineralstoffe hergenommen werden?

Mögliche Nährstoffquellen für die Nachlieferung könnten sein:

- der Vorrat des Bodens, dieser ist aber nicht unendlich,
- durch Überflutung von Wiesen in Flussauen angeschwemmter Boden, das bedeutet Bodenerosion anderswo,
- aus Zukauf von Futtermitteln und organischem Dünger, deren Mineralstoffe in den Mist übergehen. Dies wiederum bedeutet Nährstoffverluste dort, wo die Futter- oder Düngemittel hergestellt werden,
- durch P-, K-, Mg-Mineraldüngerzukauf, das stellt eine Ausbeutung der Lagerstätten dar, deren Vorräte begrenzt sind,
- mit dem Anbau von Leguminosen: dieser bringt aber nur Stickstoff in den Boden; bei Tiefwurzlern findet eventuell ein Transport von P, K, Ca, Mg und Spurenelementen aus dem Unterboden in die Krume statt,

- durch Ausbringen von Müllkompost und Klärschlamm: das wäre zwar eine Kreislaufwirtschaft, birgt aber die Gefahr, Schwermetalle oder Giftstoffe als „Fremdbesatz“ mit einzubringen,
- durch betriebseigenen Mist, Gülle oder Jauche: das ist die „echte“ innerbetriebliche Kreislaufwirtschaft, setzt aber eine angemessene Tier-(Rinder-)Haltung voraus.

Im Gegensatz zu den übrigen Mineralstoffen (P, K, Ca, Mg usw.) kann beim Stickstoff der Ausgleich über einen innerbetrieblichen Kreislauf (Futter-Mist) auf „biologischem“ Wege erfolgen. Noch vor 100 Jahren galt die Wiese als „Mutter des Ackerlandes“, weil so die in Flussauen durch Überschwemmungen zugeführten Nährstoffe über Heu und Mist den Acker erreichten. Aber einen „geschlossenen Kreislauf“ kann es nur bei Elementen oder Verbindungen geben, die in der Natur einen gasförmigen Aggregatzustand erreichen und somit in dieser Form an jeden Ort der Erde zurückkehren können, also Wasser, Stickstoff, Sauerstoff und Kohlendioxid, nicht aber die o. g. „übrigen Mineralstoffe“ (Tab. 5.2).

Tab. 5.2: Darstellung verschiedener geschlossener Kreisläufe

Kreisläufe der „Elemente“ (Verbindungen)	andere „Kreisläufe“
Kohlenstoff-(CO ₂ -)Kreislauf	Planeten-Kreisläufe
Stickstoff-Kreislauf	Blut-Kreisläufe
Sauerstoff-Kreislauf	Geld-Kreisläufe
Wasser-Kreislauf	Gedanken-Kreisläufe

Selbstverträglichkeit

Der Flächenbedarf an einer Hauptfrucht-Leguminose (Tab. 5.3) als Anteil in der Fruchtfolge zur N-Assimilation würde sich durch hohe N-Fixierungsraten beachtlich vermindern, wenn nicht „Fruchtfolgeprobleme“ dies verhindern, denn für einen hohen N-Leguminosenertrag ist deren Selbstunverträglichkeit bzw. Selbstverträglichkeit zu berücksichtigen (siehe auch Kap. 9).

Tab. 5.3: Flächenbedarf an Leguminosen in der Fruchtfolge zur Deckung des N-Bedarfes von Nichtleguminosen bei unterschiedlicher N-Fixierung kg/ha und Jahr (Modellrechnung für Weizenträge von 75, 50 oder 25 dt/ha)

		N-Fixierung in kg/ha und Jahr		
N-Assimilation	in der Wurzel	40	80	120
	im Spross	100	200	300
	gesamt	140	280	420
Weizenertrag				
75 dt/ha	N-Bedarf	200	200	200
	Leguminosen Flächenanteil	142 %*	71 %	47 %
50 dt/ha	N-Bedarf	140	140	140
	Leguminosen Flächenanteil	50 %	33 %	25 %
25 dt/ha	N-Bedarf	70	70	70
	Leguminosen Flächenanteil	33 %	20 %	12,5 %
* = nur mit Leguminosen-Zwischenfruchtbau realisierbar				

Um den Flächenbedarf laut Tab. 5.11 für den Leguminosenanteil in der Fruchtfolge klein zu halten und damit Fläche für Marktfrüchte zu gewinnen, sollte die N-Bindung je Hektar und Jahr hoch sein. Dieser Flächenbedarf lässt sich z. B. anhand des N-Bedarfs für einen bestimmten Weizenertrag und einer bestimmten N-Assimilation pro Hektar errechnen. Wenn für einen Weizenertrag von 50 dt/ha 140 kg N erforderlich sind und eine Leguminose 420 oder 280 oder nur 140 kg N pro Hektar und Jahr bindet, dann sind hierfür 25, 33 oder 50 % Leguminosen in der Fruchtfolge erforderlich, vorausgesetzt aller Stickstoff der Leguminosen (Spross und Wurzel) steht dem Weizen zur Verfügung. Dieser Flächenanteil kann durch Leguminosen-Zwischenfrüchte oder N-Zukauf reduziert werden oder auch durch einen guten innerbetrieblichen N-Kreislauf über Verfütterung, Produktion und Wiederausbringung von Mist oder Gülle.

Leistungsfähigkeit der Leguminosen

Eine hohe N-Assimilationsleistung der Leguminosen ist demnach nicht allein das Resultat einer „gesunden Fruchtfolge“, also von einem Wechsel verschiedener Pflanzenarten oder einem großen zeitlichen Abstand der gleichen Art sowie der Anwesenheit der richtigen Bakterienstämme. Weitere gezielte Maßnahmen müssen zur Unterstützung der Leistungsfähigkeit der Leguminosen beachtet werden.

Voraussetzungen für die Stickstoff-Assimilation

Leguminosen können je nach Pflanzenart und Standort unterschiedliche N-Mengen je Hektar und Jahr aus der Luft binden. In den durchgeführten Versuchen wurden je nach Leguminosenart zwischen ca. 30 und 500 kg/ha und Jahr erreicht (Tab. 5.4).

Tab. 5.4: Von Leguminosen in der Grünmasse akkumulierte Stickstoffmengen an zwei Standorten in kg/ha und Jahr (Heinzmann 1981)

	Hohenheim (400 m ü. NN, 8 °C)	Schwäbische Alb (700 m ü. NN, 6 °C)
Alexandrinerklee	412	126
Luzerne (1. Jahr)	500	141
Rotklee (1. Jahr)	400	120
Weißklee (1. Jahr)	322	150
Gelbklee (1. Jahr)	346	215
Gelblupinen	212	32
Weißlupinen	448	109
Futtererbsen	290	288
So.-Wicken	238	39
Ackerbohnen (Hera)	320	450
Ackerbohnen (Freya)	157	392
Sojabohnen	178	0

Die unterschiedliche Geschwindigkeit, mit der Leguminosen in der Grünmasse ihres Aufwuchses N assimilieren können, veranschaulicht Abb. 5.1. Dies ist auch in Beziehung auf die Eignung von Leguminosenarten als Gründüngungs-Zwischenfrucht von Bedeutung (siehe auch Kap. 11).

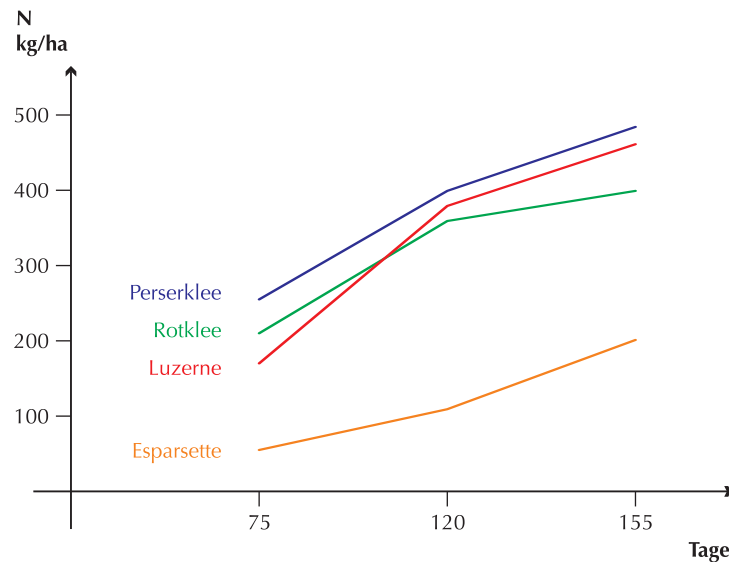


Abb. 5.1: N-Assimilation von verschiedenen Futterleguminosen in der Grünmasse nach 75, 120 und 155 Tagen Wachstum

Damit die Leguminosen ihre besondere Fähigkeit, N aus der Luft zu binden, für die Landwirtschaft nutzbringend einsetzen können, müssen wichtige Voraussetzungen erfüllt werden:

1) Wahl von Art und Sorte

Die erste Voraussetzung für maximale N-Assimilation ist die Wahl der für den Standort, also für Boden und Klima geeigneten Leguminosenart. Insbesondere müssen der Wärme-, aber auch der Kalkbedarf der Kulturpflanzenart berücksichtigt werden (s. Tab. 5.4).

Gute Erträge bei Soja sind zudem nur mit der Wahl der richtigen, an das Temperaturangebot des Standortes angepassten Sorte (Reifegruppe) zu erreichen (Tab. 5.5).

Sorte	Reifegruppe	Erträge dt/ha				Temperatur-Summenbedarf Mai - Sept. °C
		1982	1983	1984	Mittel	
a) Fiskeby	000	25,8	24,2	22,7	24,2	1900
b) Maple Arrow	00	39,4	32,5	24,3	32,0	2100
c) Argo	0	25,1	29,8	11,5	22,1	> 2450

a) Reifegruppe 000: sehr frühreif
 b) Reifegruppe 00: mittelfrüh
 c) Reifegruppe 0: mittelspät

Eine zu frühe Sorte (000) nutzte die Wachstumszeit am Standort Hohenheim nicht voll aus und erreichte im Mittel der drei Jahre nur 24,2 dt/ha. Die zu späte Sorte konnte in der vorgegebenen Wachstumszeit nicht ausreifen und ergab nur 22 dt/ha.

Die standortangepasste Sorte Maple Arrow (00) erbrachte deshalb, im Mittel von drei Jahren mit sehr unterschiedlichen Erträgen, mit 32 dt/ha auch den höchsten Kornertrag.

2) Vorhandensein spezifischer Knöllchenbakterien-Stämme

Nicht weniger wichtig ist das Vorhandensein der artspezifischen Knöllchenbakterien im Boden oder eine Impfung von Saatgut oder Boden mit diesen. Weltweit sind ca. 650 Gattungen mit 1800 Spezies von Leguminosen bekannt (Tab. 5.6).

Versuche im Sudan mit Ackerbohnen zeigten interessanterweise, dass ca. jede 500ste Pflanze Knöllchen und damit ein üppigeres Wachstum aufwies, obwohl auf dem Feld noch nie Ackerbohnen angebaut wurden. Diese Rhizobien stammten wahrscheinlich von verwandten Wildleguminosen, die vor dem intensiven Einsatz von Herbiziden stark verbreitet waren, wie Bonituren auf noch unbehandelten Flächen ergaben. Mit einem Zwischenfruchtanbau könnten solche Restbestände an Knöllchenbakterien vor dem Hauptfruchtanbau vorvermehrt werden, wenn kein Impfstoff zur Verfügung steht.

In Deutschland sind viele Wildleguminosen durch den Einsatz von Herbiziden ausgestorben. Die Knöllchen sind dadurch auch hier stark reduziert und es muss Impfstoff eingesetzt werden.

Gruppennummer	Leguminosen-Arten
1. Erbsengruppe	Pisum-Arten (Erbsen) Vicia-Arten (Wicken, Ackerbohnen) Lens-Arten (Linse)
2. Klee-Gruppe	Trifolium-Arten (Rot-, Weiß-, Gelb-, Schweden-, Perser-, Alexandrinerklee)
3. Lupinengruppe	Lupinus-Arten (Gelbe, Weiße, Blaue Süß- oder Bitterlupinen)
4. Medicago-Gruppe	Medicago-Arten (Blaue, Gelbe, Bastard-Luzerne) Melilotus-Arten (Weißer, Gelber Steinklee)
5. Phaseolus-Gruppe	Phaseolus-Arten (Busch-, Stangenbohnen)
6. Soja-Gruppe	Sojasorten der verschiedenen Reifegruppen und Kornfarben
7. Lathyrus-Gruppe	Platterbsen
8. Onobrychis-Gruppe	Espartette
9. Arachis-Gruppe	Erdnuss

3) Angebot an P und K

Für eine hohe Knöllchenaktivität ist ein ausreichend hohes Angebot an P und K im Boden notwendig. In einem Versuch mit Rotklee führten schon 10 mg statt 5 mg P/100 g Boden zu einer verdoppelten N-Menge im angebauten Rotklee (Tab. 5.7). Den gleichen Effekt erzielte eine Stallmistgabe von 200 dt/ha zur Vorfrucht (bei 5 mg P pro 100 g Boden). Die Stallmistgabe bei 10 mg P/100 g Boden erhöhte den N-Ertrag um weitere 15 % auf 329 kg/ha.

Lactatwerte P ₂ O ₅	(mg/100 g Boden) K ₂ O	Mistdüngung (200 dt/ha)	N-Menge im Erntegut (kg/ha)
5	19	-	152
10	32	-	287
5	19	+	285
10	32	+	329

In einem anderen Versuch mit sehr geringen P- und K-Gehalten im Boden erhöhte sich die N-Menge in der Grün- und Wurzelmasse eines Klee-Grases durch eine Stallmistgabe von etwa 200 dt/ha sogar von 228 auf 435 kg/ha (Tab. 5.8).

	Doppel-Lactat-Wert mg/100 g Boden		TM-Ertrag dt/ha	N kg/ha		
	P ₂ O ₅	K ₂ O		im Erntegut	Wurzeln	gesamt
ohne Mistdüngung	5	19	65	163	65	228
mit Mistdüngung	5	19	122	305	130	435

4) Kalk / pH-Wert

Weitere Voraussetzung für eine N-Assimilation ist ein ausreichendes Kalkangebot. Dies gilt vor allem für Luzerne, die für Höchsterträge bis zu 400 kg/ha Kalk aufnimmt, aber auch für Sojabohnen. Versuche in Portugal auf einem Sandboden (pH 5,1) ergaben bei Phaseolus-Bohnen, dass eine Impfung allein zu keinem Mehrertrag führte. Erst in Verbindung mit einer Kalkung wurde dadurch der Samenertrag mehr als verdoppelt, wie bereits besprochen (siehe Tab. 4.2).

Versuche mit Ackerbohnen, Erbsen, Weißer und Gelber Lupine (Jost 2003) zeigten eine unterschiedliche N-Assimilation der Arten an vier Versuchstandorten an, die von 121–319 kg/ha reichte (Tab. 5.9). Die Unterschiede zwischen den Standorten, dem Sandboden (Uelzen) mit nur 567 mm Niederschlag und dem schluffigem Lehm (Diepholz) mit 713 mm Regen/Jahr, fielen viel stärker aus als zwischen den Arten, z. B. zwischen Erbsen und Weißer Lupine. Da in diesem Versuch der pH-Wert und der Kalkgehalt nur in der Krume, nicht aber im Unterboden gemessen wurde, weisen nicht bei allen Arten die Böden mit pH 7 die höchste N-Assimilation auf.



Abb. 5.2: Ackerbohnen sind mit ihrer großen Wurzelmasse und reichem Knöllchenbesatz eine gute Vorfrucht für Wintergerste und -Weizen.