

Stickstoffmanagement im ökologisch wirtschaftenden Betrieb: Minderung von Stickstoffverlusten

Martin Berg, Guido Haas, Edmund Leisen & Holger Schenke

Stickstoff stellt in der landwirtschaftlichen Flächennutzung das zentrale Element für die Ertrags- und Qualitätsbildung dar, ist aber auch der Nährstoff mit den größten Umweltwirkungen. Ziel des ökologisch wirtschaftenden Betriebs muss daher sein, die Stickstoffzufuhr über Zwischenfrucht- und Hauptfruchtleguminosen zu optimieren und gleichzeitig die Stickstoffverluste zu minimieren. Hinsichtlich der Stickstoffzufuhr wurden im Leitbetriebs-Projekt die Fragen der Düngung mit stickstoffhaltigen Zukaufdüngern im Vergleich zu selbst erzeugtem Körnerleguminosenschrot, die Stickstoffnachlieferung von Futterleguminosengemengen sowie von Winterzwischenfrüchten untersucht. Die Ergebnisse werden in den jeweiligen Kapiteln Feldgemüse, Kartoffeln und Futterbau abgehandelt. Schwerpunkt der folgenden Darstellung ist die Minimierung von Stickstoffverlusten.

Verringerung gasförmiger Stickstoff-Verluste

Gasförmige Stickstoffverluste treten im landwirtschaftlichen Betrieb im Wesentlichen in Form von Ammoniak im Stall bzw. bei der Dunglagerung bzw. -aufbereitung auf. Ihre Quantifizierung ist messtechnisch aufwändig und auf Praxisbetrieben nicht durchzuführen. Die Untersuchungen beschränkten sich daher auf die Effizienz des Einsatzes von Wirtschaftsdüngern. Für Praxisbetriebe ist die Frage der optimalen Applikationstechnik von besonderem Interesse.

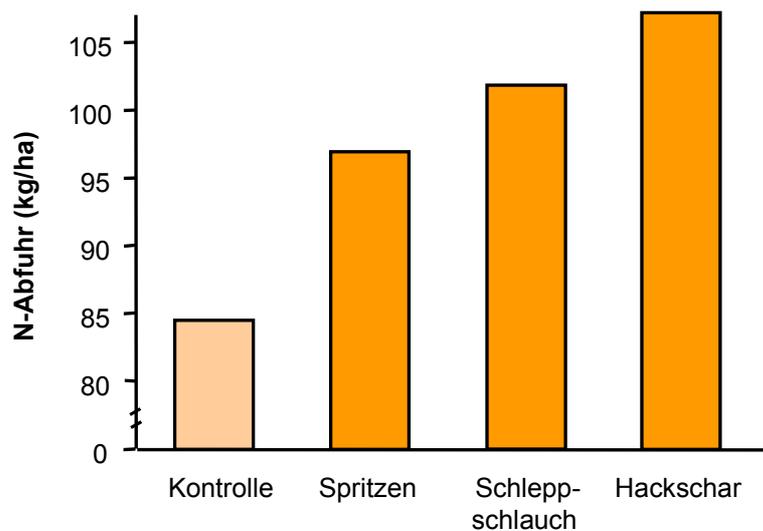


Abb. 1: Einfluss einer Jauchedüngung zu Sommerweizen (EC 32, 44 kg/ha NH₄-N) mittels verschiedener Applikationstechniken auf die N-Abfuhr mit dem Korn im Vergleich zur ungedüngten Kontrolle

In Untersuchungen zur Ausbringung von Jauche in Getreide zeigte sich, dass die effizienteste Verwertung des Düngerstickstoffs bei der Injektion der Jauche mit Hackscharen erzielt wurde (Abb. 1). Neben der Minimierung der gasförmigen Verluste ist davon auszugehen, dass durch die zusätzliche Unkrautkontrolle in dieser Variante die Konkurrenz der Unkräuter verringerte. Die geringste Effizienz ergab sich bei der üblichen Ausbringung mit Prallflächen. Wurden der Jauche sorptionsaktive Substanzen wie bspw. die Tonminerale Bentonit und Zeolith zugesetzt, konnte die Düngerausnutzung zusätzlich gesteigert werden.



Entwicklung im Feldversuch (links) – Umsetzung in der Praxis (rechts)
(Fotos G. Haas)

Eine Steigerung der Stickstoffverwertung aus wirtschaftseigenen Düngern durch wurzelnahe Einarbeitung zeigte sich auch bei der Unterfußdüngung mit Gülle zu Mais. Während die Ausbringung mit Schleppschräufen nicht ertragswirksam war, führte die Einarbeitung mit dem Gülledrill in mehrjährigen Untersuchungen zu Mehrerträgen zwischen 10 % und 18 %.

Verringerung flüssiger Stickstoff-Verluste

Der Ökologische Landbau weist in zahlreichen Vergleichsuntersuchungen geringere Nitratausträge als bei konventioneller Bewirtschaftung auf. Aber es gibt Schwachpunkte, die mit gezielten Strategien auszuräumen sind. Auf Leitbetrieben werden seit Beginn des Projekts 1994 auf Dauerbeobachtungsflächen (sog. Referenzflächen) Ernteerhebungen und Bodenbeprobungen durchgeführt. Aus den N_{\min} -Herbstbeprobungen konnten das Nitrataustragspotential abgeschätzt und Schwachstellen identifiziert werden. Die untersuchten Betriebe wiesen ein vergleichsweise niedriges Nitrataustragspotential auf. Problembereiche wie der Nitrataustrag nach dem Anbau von Leguminosen und Hackfrüchten, insbesondere nach Kartoffeln, sind erkennbar. Die Nitratgehalte des Bodens können dann deutlich und im Mittel der Fruchtfolgen tendenziell über dem aus Sicht der Trinkwassergewinnung anzustrebenden Wert von 50 kg Nitrat-N/ha liegen.

Praktikerkommentar:

„Die Nährstoffdynamik ist für jeden Betrieb wichtig und interessant. Besonders Verlustquellen müssen geortet und minimiert werden. Gerade in vieharmen Betrieben gibt es weiter Forschungsbedarf zur Nährstoff- und Humusversorgung.“

Bodenbearbeitung im Herbst - Zwischenfrüchte

Die Minderung von Nitratausträgen kann auf das Ziel geringer Stickstoffmineralisierung bzw. geringer Bodennitratgehalte im Herbst eingegrenzt werden. Grundbodenbearbeitung oder Rodung im August/September können auf austragsgefährdeten Standorten problematisch sein. Die durch die Bodenbewegung verursachte Anregung des Bodenlebens kann hohe Mengen an Nitrat freisetzen, welches durch nachfolgende Herbstsaaten nur begrenzt aufgenommen wird. Aus diesem Grund sind bspw. Futterleguminosenbestände, die aus einer Untersaat hervorgehen, aus Sicht des Nitrataustrags günstiger einzuschätzen als Sommerblanksaaten nach vorheriger Bodenbearbeitung. Vor einer Sommerung kann der Nitratgehalt des Bodens über rechtzeitig gesäte Zwischenfrüchte gesenkt und der Stickstoff in organischer Form konserviert werden. Die beiden Bewirtschaftungsmaßnahmen ‚Terminierung der Bodenbearbeitung‘ und ‚Zwischenfruchtbau‘ werden nachfolgend am Beispiel der Leguminosen erläutert.

Körnerleguminosen: Ackerbohnen

Für Ackerbohnen wurden die in Übersicht 1 dargestellten Strategien zur Minderung von Nitratausträgen nach der Ernte entwickelt. Bereits während der Abreife werden unter Körnerleguminosen ansteigende Nitratgehalte im Boden festgestellt. Als besonders vorteilhaft erwiesen sich Untersaaten zur letzten Unkrautkontrollmaßnahme, die sich bereits während der Abreife der Deckfrucht entwickeln und frei werdendes Nitrat aus dem Boden aufnehmen. Für die Umsetzung in die Praxis stellte sich die Frage, wie sicher die Etablierung solcher Untersaaten gelingt und wie hoch die stickstoffkonservierende Wirkung ist.

Übersicht 1: Minderung des Nitrataustrags nach Ackerbohnen

- Gleichmäßige Wurzelverteilung durch engen Reihenabstand.
- Erhöhung von Wurzelichte und Wurzeltiefgang durch Gemengeanbau mit Sommergetreide, damit auch langsamere Nitratfreisetzung nach Ernte.
- Untersaaten oder Stoppelsaaten (u.a. Ölrettich, Senf, Gras).



Untersaat Gelbsenf mit dem letzten Hackgang; Pneumatische Sämaschine mit kleinen Häufelscharen (Fotos G. Haas)

Die Untersuchungen auf den Praxisbetrieben bestätigten, dass hohe Nitratgehalte nach dem Anbau von Ackerbohnen auftreten können. Selbst auf schweren Böden ist mit einer Verlagerung des Stickstoffs in tiefere Bodenschichten zu rechnen, wenn im Herbst Kulturen mit einer geringen Stickstoffaufnahme folgen (Abb. 2). Eine Reduzierung der Bodenbearbeitungsintensität durch einen Verzicht auf den Pflug ergab nur eine geringfügig niedrigere Stickstoff-Freisetzung im Herbst.

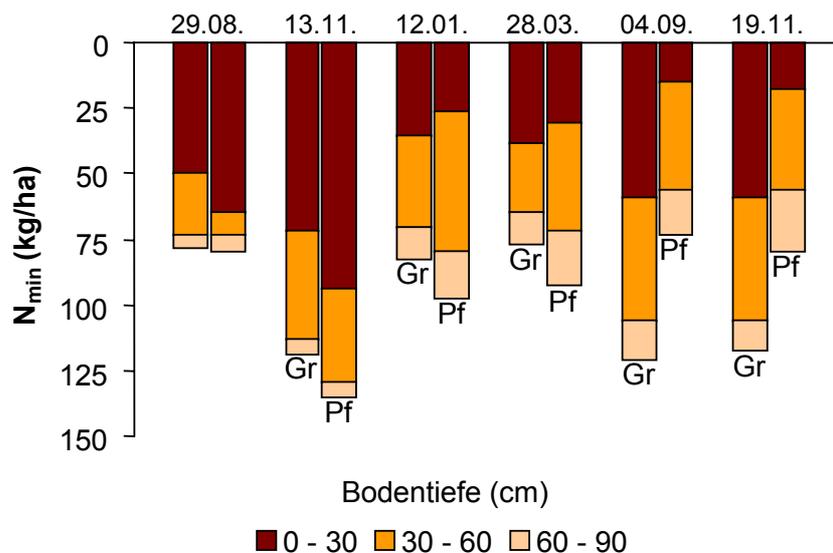


Abb. 2: N_{\min} -Gehalt des Bodens unter Winterweizen nach Ackerbohnen nach flacher, nicht wendender Bodenbearbeitung (Gr) bzw. Umbruch mit dem Pflug (Pf) (Coesfeld, tL, 1996)

Auf austragsgefährdeten Böden sollten daher möglichst Zwischenfrüchte aus Unter- oder Blanksaat folgen. Gelingt es, Brassicaceen wie Ölrettich unter Ackerbohnenbeständen zu etablieren, können diese im Gegensatz zu Gräsern in kurzer Zeit hohe Stickstoffmengen im Aufwuchs binden (Abb. 3). Einer Stickstoffmenge von 105 kg/ha im Spross des Ölrettichs standen nur etwa 40 kg/ha im Welschen Weidelgras bzw. Klee gras gegenüber. Auch wenn der Unkraut aufwuchs Stickstoff bindet (Abb. 3), ist der Stickstoffkonservierung durch gezielte Untersaaten der Vorzug zu geben, um eine Zunahme des Unkrautsamenpotentials im Boden und damit des Unkrautdrucks in den Nachfrüchten zu vermeiden.

Praktikerkommentar:

„Ackerbohnen müssen so dicht stehen und so viel Wuchs haben, dass sich keine Unkräuter oder Untersaaten entwickeln können. Die Untersaat ist mir zu unsicher. Falls nach Ackerbohnen eine Sommerung steht, säe ich lieber Senf als Blanksaat.“

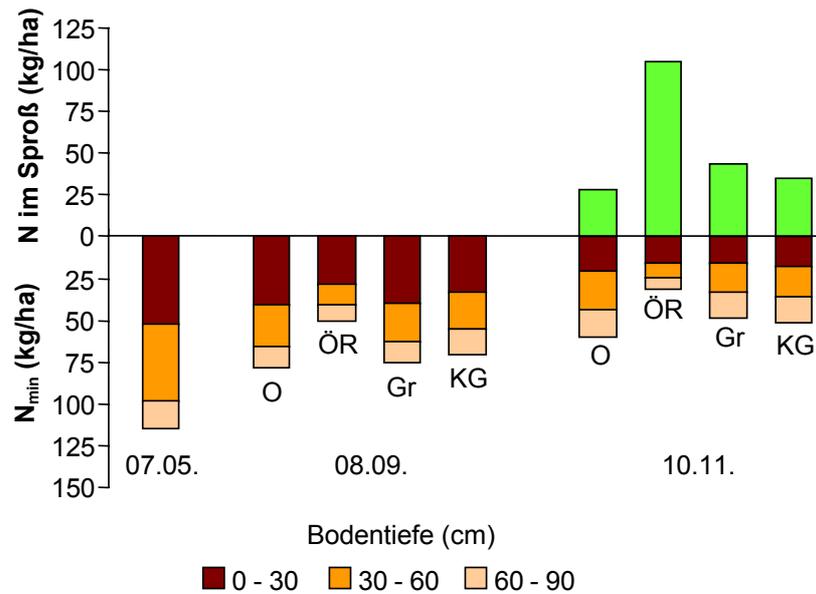


Abb. 3: N_{min}-Gehalt des Bodens unter bzw. nach Ackerbohnen und Stickstoff im Aufwuchs der Untersaaten bzw. des Unkrauts (o: ohne Untersaat, ÖR: Ölrettich; Gr: Welsches Weidelgras, KG: Rotklee; Kreis Viersen sL 1998)

Die Erfahrungen aus den mehrjährigen Untersuchungen zeigen allerdings, dass die Untersaat von Ölrettich nur in einem von sechs Versuchen gelang, während Grasuntersaaten wesentlich sicherer in der Ansaat waren und bis zum Vegetationsende nahezu immer geschlossene Bestände bildeten (Tab. 1). Die Beimischung von Rotklee zur zusätzlichen N₂-Fixierung bewährte sich nicht, da selbst bei gutem Feldaufgang nach der Ernte der Ackerbohnen nur noch wenige Pflanzen vorhanden waren. Der Kornertrag der Ackerbohnen und damit auch die N₂-Fixierungsleistung wurde in keinem Fall durch die Untersaat beeinflusst.

Durch Senf als Blanksaat nach der Ernte der Ackerbohnen konnten bis zum Winter 35 bis 50 kg N/ha im Spross akkumuliert und der N_{min}-Gehalt des Bodens auf etwa das Niveau einer Gras-Untersaat gesenkt werden.

Praktikerkommentar:

„Entwickelt sich die Ölrettichuntersaat wie gewünscht, sind die Pflanzen im Herbst so stark verholzt, dass sie kaum zu zerkleinern sind. Bei einer gelungenen Grasuntersaat lässt sich die Narbe im Frühjahr kaum zerstören. Zudem wird der Stickstoff zu langsam freigesetzt, so dass die nachfolgende Kultur unter N-Mangel leidet.“

Tab. 1: N_{min}-Gehalt des Bodens zu Vegetationsende nach Ackerbohnen und Stickstoff im Aufwuchs der Zwischenfrucht

		Standort 1 Kreis Coesfeld, tL				Standort 2, Kreis Viersen, sL	
		1995	1996	1997	1998	1997	1998
Ohne Untersaat	N im Spross	– ¹⁾	–	–		22 ²⁾	28 ²⁾
	N _{min} - Gehalt	79	59	97	–	37	61
Untersaat Ölrettich	N im Spross		Untersaat abgestorben			abgest.	105
	N _{min} - Gehalt					38	32
Untersaat Gras	N im Spross	abgest.	79	64		40	40
	N _{min} - Gehalt		18	43	abgest.	22	49
Blanksaat Senf	N im Spross	–	35	50	nicht möglich ³⁾	–	–
	N _{min} - Gehalt		27	40			

1) nicht untersucht 2) Unkrautaufwuchs 3) witterungsbedingt nicht möglich

Praxisempfehlungen

- Nach dem Anbau von Ackerbohnen traten an zwei Standorten hohe Nitratgehalte des Bodens auf, die standortangepasste Strategien zur Vermeidung von Verlusten notwendig machten. Auf austragsgefährdeten Standorten ist der Anbau von Wintergetreide aufgrund der durch die Bodenbearbeitung im Herbst angeregten Stickstoffmineralisierung kritisch.
- Die Untersaat von Ölrettich in dichte Ackerbohnenbestände ist sehr unsicher und nicht empfehlenswert.
- Grasuntersaaten sind vglw. sicher in der Ansaat und nehmen nennenswerte Stickstoffmengen aus dem Boden auf. Sie sollten dort eingesetzt werden, wo die Blanksaat von Zwischenfrüchten unsicher oder nicht effizient genug ist (Sommertrockenheit bzw. späte Ernte der Ackerbohnen).
- Die Blanksaat von Senf wird empfohlen, wenn Untersaaten nicht ansaatwürdig sind oder nicht etabliert werden können.

Futterleguminosen: Rotklee gras

Der Bodennitratgehalt unter Futterleguminosenbeständen ist etwa so hoch wie unter ungedüngten Wiesen (weniger als 20 kg Nitrat-N/ha). Kritisch kann der Bestandesumbruch im Herbst sein, wenn die Nachfrucht das im Boden freigesetzte Nitrat über Winter nicht genügend aufnehmen kann. Auf leichten oder mittleren Standorten mit hohen Winterniederschlägen ist der Umbruch deshalb erst im Frühjahr zu einer Sommerkultur anzuraten. Abbildung 4 zeigt die deutlich erhöhten Nitratgehalte des Bodens nach Herbstfurche zu Winterweizen im Vergleich zum intakten Klee gras vor Sommerweizen. Durch einen so genannten heilen Umbruch, d.h. Umbruch des Klee grasses ohne vorherige Zerstörung der Narbe, konnte die Stickstoff-Freisetzung nicht wie erwartet verlangsamt werden. Die Stickstoffeffizienz der untersuchten Systeme war etwa gleich, wobei der Winterweizen aufgrund des höheren Ertrags tendenziell mehr Stickstoff über Korn und Stroh entzog als der Sommerweizen.

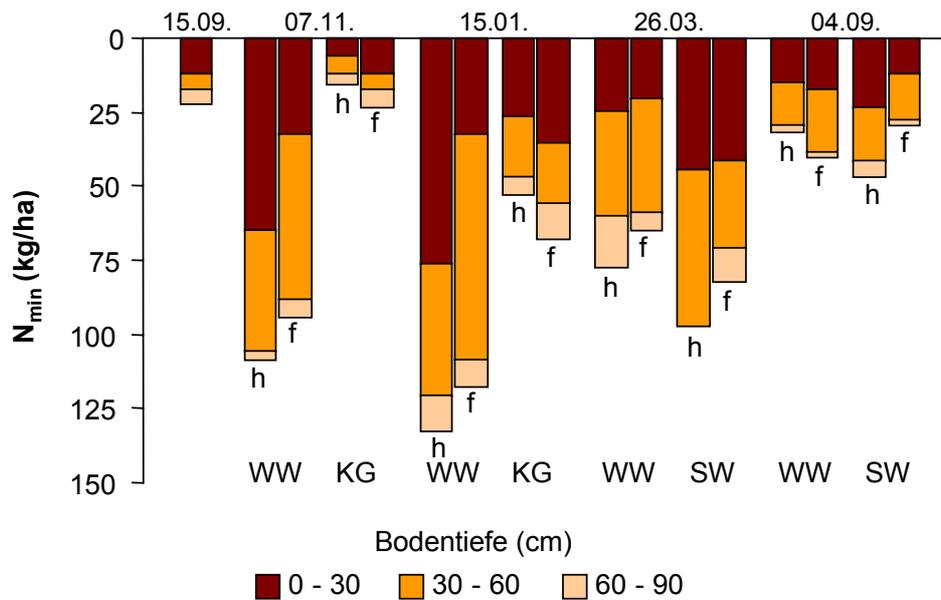


Abb. 4: N_{min}-Gehalt des Bodens unter Winter- (WW) und Sommerweizen (SW) nach Rotklee gras (KG) und differenzierter Bodenbearbeitung; h: Pflug (heiler Umbruch) f: flache Bodenbearbeitung + Pflug (Standort Lippe, uL, 1996/97)

Auf leichten Böden wird in der Regel neben der Verringerung des Stickstoffaustrags über Winter durch Verschieben des Umbruchtermins ins Frühjahr auch gleichzeitig der Ertrag erhöht. (Abb. 5). Die bereits im Kapitel Getreidebau gezeigten vglw. hohen Rohprotein-gehalte des Kornes bei Sommerweizen bedeuten zusammen mit dem höheren Kornertrag eine gesteigerte Stickstoffeffizienz dieses Systems auf leichten Standorten. Die Minderung von Stickstoffverlusten entlastet somit den Naturhaushalt und gewährleistet gleichzeitig den Betriebserfolg.

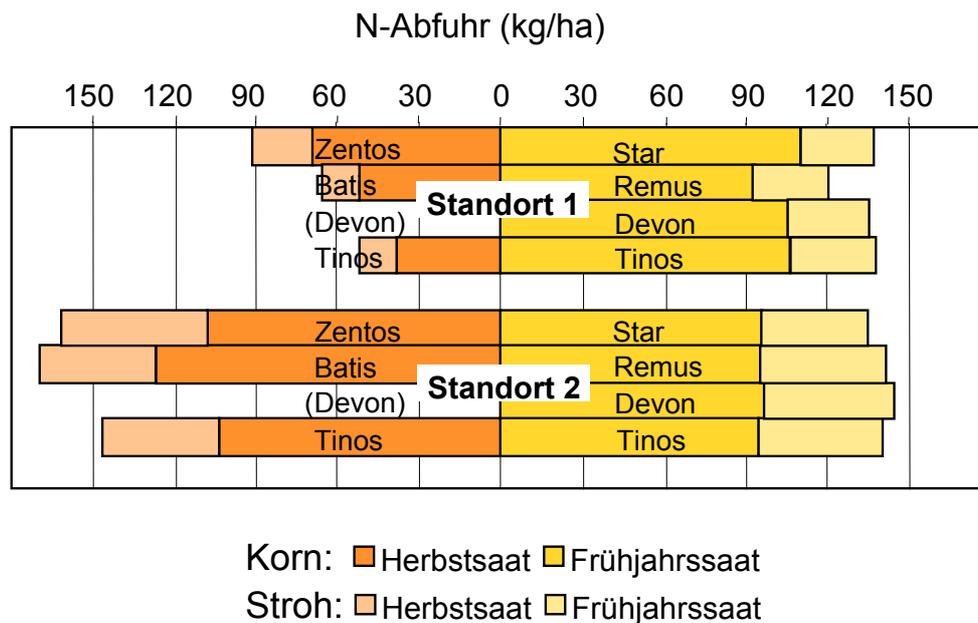


Abb. 5: N-Abfuhr mit Korn und Stroh von Winter- bzw. Sommerweizen nach Rotklee-gras, Umbruch jeweils kurz vor der Aussaat (Standort 1: Gütersloh, IS; Standort 2: Lippe, uL; 1997)

Praxisempfehlungen

- Auf leichten oder mittleren Standorten mit ergiebigen Winterniederschlägen sollte Klee-gras erst im Frühjahr zu einer Sommerkultur umgebrochen werden.
- Ist kein Frühjahrsumbruch möglich, sollte eine späte Herbstfurche mit 'heilem Umbruch' durchgeführt werden.
- Auf tiefgründigen Böden mit hoher Wasserspeicherfähigkeit oder Standorten mit geringen Winterniederschlägen ist die Gefahr des Nitrataustrages bei Herbstumbruch gering. Die Bodenbearbeitung im Herbst ist deshalb nicht generell nachteilig.

Zwischenfrüchte über Winter

Auf leichten Standorten mit ausreichenden Niederschlägen wie im maritim geprägten Klima des Rheinlandes können bis Ende August gesäte wüchsige Zwischenfruchtbestände hohe Bodennitratgehalte senken. In Regionen mit im Winter wechselweisen Frost- und Wärmeperioden (z.B. im Rheinland) sind allerdings winterharte Zwischenfrüchte zu bevorzugen, um frei werdendes Nitrat aufnehmen zu können. Werden nicht winterharte Zwischenfrüchte eingesetzt, sollte auf leichten Böden der Aufwuchs abgefahren werden. Untersuchungen auf einem Sandstandort zeigten beispielsweise, dass durch die Abfuhr von 110 kg N/ha über eine Ölrettich-Zwischenfrucht der N_{\min} -Gehalt des Bodens ausgangs des Winters gesenkt

werden kann, ohne den Ertrag der Nachfrucht Kartoffeln negativ zu beeinflussen (Tab. 2). Der Einfluss auf den N_{\min} -Gehalt des Bodens nach der Ernte der Kartoffeln war allerdings gering.

Tab. 2: N_{\min} -Gehalt des Bodens unter Ölrettich-Zwischenfrucht nach Sommerweizen (1996) und nachfolgenden Kartoffeln (1997) (Standort: Kleve, IS)

Ölrettich	28.01.1997	14.03.1997	16.05.1997	28.10.1997	26.11.1997
belassen	79	162	244	116	140
abgeräumt	82	124	215	107	130

Wird die Nachfrucht aber vglw. spät geerntet, können sich Zwischenfrüchte oft nicht ausreichend entwickeln, um nennenswerte Mengen an Stickstoff aus dem Boden aufzunehmen. Untersuchungen in Westfalen-Lippe zur Eignung von Zwischenfrüchten nach dem Anbau von Kartoffeln zeigten, dass bei einer Aussaat Ende August Winterroggen und Ölrettich den N_{\min} -Gehalt des Bodens deutlich senken und 92 bzw. 83 kg N/ha im Aufwuchs binden konnten (Abb. 6). Phacelia und die Leguminosen Sommer- und Winterwicke waren weniger effizient. An den niedrigen N_{\min} -gehalten des Bodens unter Grünroggen im Frühjahr zeigt sich die relative Vorzüglichkeit der winterharten Zwischenfrucht gegenüber Ölrettich, wo erhöhte N_{\min} -Gehalte insbesondere in der untersten Beprobungsschicht auf Nitratausträge hindeuten.

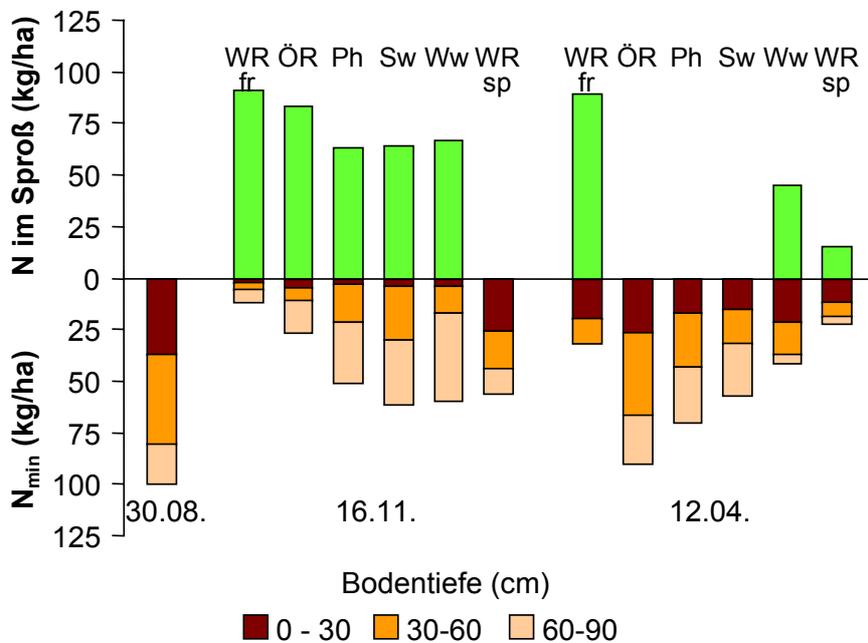


Abb. 6: N_{\min} -Gehalt des Bodens nach dem Anbau von Kartoffeln unter verschiedenen Zwischenfrüchten und Stickstoff in der Sprossmasse (WR fr/sp: Winterroggen früh/spät; ÖR: Ölrettich; Ph: Phacelia, Sw: Sommerwicke, Ww: Winterwicke; Aussaat Zwischenfrucht: 31.08.2000; WR spät: 25.10.2000)

Praxisempfehlungen:

- Auf leichten Böden: Anbau von Leguminosen-Zwischenfrüchten nur im Gemenge mit Nichtleguminosen.
- Bei überwinternden Zwischenfrucht-Gemengen: Beimischung mindestens einer winterharten Art.
- Umbruch erst im Frühjahr. Herbstumbruch nur nach vorhergehender Schnittnutzung.

Als eine Lösungsmöglichkeit zur Reduzierung des Stickstoffaustrags nach spät geernteten Kartoffeln wurde das Verfahren der Untersaat in Kartoffeln entwickelt, welches im Kapitel 'Untersaaten in Kartoffeln' ausführlich dargestellt wird.



Landsberger Gemenge in der Blüte (Foto: G. Haas)

Fazit

Die auf Leitbetrieben durchgeführten Untersuchungen zur Minderung von Stickstoffverlusten dienten dazu, die Ergebnisse wissenschaftlicher Primärarbeiten (s. Literatur) im Sinne des Wissenstransfers auf Praxisbetrieben zu erproben und zu demonstrieren. Die gezeigten Ergebnisse stehen weitgehend im Einklang mit diesen Primärarbeiten. Es zeigte sich, dass unmittelbar ertrags- oder qualitätssteigernde Maßnahmen wie der Frühjahrsumbruch von Klee gras auf

leichten Böden oder die Gülleausbringung mit Schleppschläuchen einfacher in die Praxis umzusetzen sind als Maßnahmen, bei denen eine Verringerung von Stickstoffverlusten erst längerfristig zu einer Steigerung der Produktivität führt. Vielfach erschweren Zielkonflikte wie der zwischen dem Anbau von Zwischenfrüchten zur Stickstoffkonservierung und der zeitgerechten Bestellung der Nachfrucht oder wiederholter Stoppelbearbeitung zur Unkrautkontrolle zusätzlich die Umsetzung dieser Maßnahmen. Da die ökologische Bewirtschaftung – wie die Untersuchungen auf Praxisschlägen ergaben - nicht *per se* verlustarm ist, erscheint es notwendig, auch weiterhin Strategien zur Verlustminderung an den Einzelbetrieb anzupassen und die Beratung gezielt darauf abzustimmen.

Literatur

- BERG, M. 2003: Nitrataustrag bei unterschiedlicher Bodennutzung: Organischer, Integrierter und Konventioneller Landbau im Vergleich (vorläufiger Arbeitstitel). Diss. agr., Institut für Organischen Landbau, Univ. Bonn, in Vorbereitung.
- FABBENDER, K. 1998: Strategien zur Reduzierung von Nitratverlagerungen auf ökologisch wirtschaftenden Betrieben im ersten und zweiten Jahr nach Klee grasumbruch. Verlag M. Wehle, Witterschlick/Bonn.
- HAAS, G., M. BERG, U. KÖPKE 1998: Grundwasserschonende Landnutzung – Vergleich der Acker nutzungsformen Konventioneller, Integrierter und Organischer Landbau, Vergleich der Land nutzungsformen Ackerbau, Grünland (Wiese) und Forst (Aufforstung). Projekt Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau, Verlag Dr. Köster, Berlin.
- HAAS, G. 2001: Organischer Landbau in Grundwasserschutzgebieten: Leistungsfähigkeit und Optimierung des pflanzenbaulichen Stickstoffmanagements. Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau, Verlag Dr. Köster, Berlin.
- HEß, J. 1989: Klee grasumbruch im Organischen Landbau – Stickstoffdynamik im Fruchtfolgeglied "Klee gras – Klee gras – Weizen – Roggen". Diss. agr., Univ. Bonn.
- HEß, J. 1995: Residualer Stickstoff aus mehrjährigem Feldfutterbau: Optimierung seiner Nutzung durch Fruchtfolge und Anbauverfahren unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus. Habilitationsschrift Univ. Bonn, Wissenschaftlicher Fachverlag, Gießen.
- JUSTUS, M. 1996: Optimierung des Anbaues von Ackerbohnen: Reduzierung von Nitratverlusten und Steigerung der Vorfruchtwirkung zu Sommergetreide. Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau, Verlag Dr. Köster, Berlin.
- KÖNIG, U. 1996: Zwischenfruchtanbau von Leguminosen – Verfahren zur Minimierung der Nitratausträge und Optimierung des N-Transfers in die Folgefrüchte. Schriftenreihe Institut für biologisch-dynamische Forschung, Band 6, Darmstadt.