

Stickstoffversorgung der Zweitfrüchte Feldgemüse und Mais nach Winterzwischenfrucht-Leguminosen

Nitrogen supply of vegetable and maize crops following winter green manure legumes

FKZ: 02OE318

Projektnehmer:

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
Institut für Organischen Landbau
Katzenburgweg 3, 53115 Bonn
Tel.: +49 228 73-5615
Fax: +49 228 73-5617
E-Mail: iol@uni-bonn.de
Internet: <http://www.uni-bonn.de>

Autoren:

Haas, Guido; Brand, Heike; Puente de la Vega; Mireia

Herausgeberin:

Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau
in der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE)
53168 Bonn
Tel.: +49 228 6845-3280 (Zentrale)
Fax: +49 228 6845-2907
E-Mail: geschaeftsstelle-oekolandbau@ble.de
Internet: www.bundesprogramm-oekolandbau.de

Finanziert vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau (BÖL)

Forschungsbericht
FKZ 514-43.10/02OE318
Bundesprogramm Ökologischer Landbau

Stickstoffversorgung
der Zweitfrüchte Feldgemüse und Mais nach
Winterzwischenfrucht-Leguminosen

Guido Haas, Heike Brand und Mireia Puente de la Vega
mit tatkräftiger Unterstützung durch die Labor- und Feldversuchstechniker
Thomas Gerhardt, Stefan Türk, Monica Tucholla-Haas, Dieter Zedow,
Martin Schochow, Johannes Siebigtheroth und Henning Riebeling
sowie Ulrich Köpke, Christoph Stumm, Christine Deittert,
Studentische Hilfskräfte und zwei Landwirte

30. August 2004

Institut für Organischen Landbau
Rheinisch Friedrich-Wilhelms-Universität
Katzenburgweg 3, D-53115 Bonn
www.iol.uni-bonn.de - Email: iol@uni-bonn.de



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Material und Methoden.....	3
	2.1 Standorte und Bewirtschaftung.....	3
	2.2 Versuchsanlagen und Varianten.....	6
	2.3 Felderhebung und Untersuchungsmethoden.....	9
	2.4 Witterung.....	11
3	Ergebnisse und Diskussion	14
	3.1 Winterzwischenfrucht	14
	3.1.1 Stickstoffakkumulation im Sproß und symbiotische N ₂ -Fixierung.....	14
	3.1.2 C/N-Verhältnis, Stickstoff- und Ligningehalt der Zwischenfrüchte	20
	3.1.3 N _{min} -Gehalte im Boden über Winter unter Zwischenfrucht	26
	3.2 Nachfrucht	31
	3.2.1 Stickstoffmineralisierung im Boden nach Umbruch der Zwischenfrucht	31
	3.2.2 Ertrag und Stickstoffaufnahme der Nachfrucht Weißkohl.....	41
	3.2.3 Ertrag und Stickstoffaufnahme der Nachfrucht Mais an zwei Standorten....	50
	3.3 Beziehungen zwischen den untersuchten Kernparametern.....	62
4	Nutzen und Verwertbarkeit – Umsetzung und Anwendung	67
	4.1 Handlungsempfehlungen.....	67
	4.2 Forschungs- und Entwicklungsbedarf.....	69
	4.3 Bisherige Aktivitäten zur Verbreitung der Projektergebnisse.....	71
5	Zusammenfassung	72
6	Literatur	75

1 Einleitung

Ziele und Aufgabenstellung

Der organisch wirtschaftende Landwirt ist systemkonform bestrebt, möglichst wenig Betriebsmittel von außen einzusetzen. Die Zufuhr von Stickstoff (N) wird über den Anbau von Leguminosen gewährleistet. Auf den Zukauf von stickstoffhaltigen Düngemittel wird weitgehend verzichtet. Eine bislang wenig untersuchte Form der N-Zufuhr in den organisch wirtschaftenden Betrieb stellt der Anbau von Leguminosen als Winterzwischenfrüchte dar. Der Anbau von Leguminosen als Winterzwischenfrucht stellt eine bislang wenig untersuchte Form der N-Zufuhr in den organisch wirtschaftenden Betrieb dar. Dabei wird alternativ zum Hauptfrucht-Futterbau oder Grünbrache-Leguminosenbau der Zeitraum Winter bis spätes Frühjahr für den Anbau von Leguminosen genutzt. Als Nachfrüchte sind spät gesäte oder gepflanzte sommerannuelle Kulturen wie Feldgemüse (u.a. Kohlarten) und Mais günstig.

Basierend auf faktoriellen Feldversuchen werden Planungsdaten und Strategien des Nährstoffmanagements für den Anbau von Winterzwischenfrucht-Leguminosen und deren Nachfrüchten erarbeitet.

Planung und Ablauf des Projektes

In den Jahren 2002 und 2003 wurden auf zwei ökologisch wirtschaftenden Praxisbetrieben im Rheinland und auf dem Versuchsbetrieb für Organischen Landbau Wiesengut/Hennef die N-Aufnahme im Sproß und die Vorfruchtwirkung von Winter-Zwischenfrucht-Leguminosen zu Weißkohl und Mais untersucht.



Foto: Feldversuch Winterzwischenfrucht - Standort Wiesengut 7. Mai 2002

Wissenschaftlicher Kenntnisstand an den angeknüpft wurde

Der Anbau von Leguminosen weist neben der N-Zufuhr infolge der symbiotischen N₂-Bindung auch ertrags- und qualitätssteigernde Effekte zur Nachfrucht auf (KÖPKE 1987, DREESMANN 1994, HEß 1993/95, FABBENDER 1998, RAUBER & SCHMIDTKE 1999). Weltweit werden vor allem Zottelwicken als Winterzwischenfruchtleguminose vor Gemüse (HAROON 1993, NESMITH & MCCRACKEN 1994, ABDUL-BAKI et al. 1996, MWAJA et al. 1996, MUELLER & THORUP-KRISTENSEN 2001) und Mais angebaut (UTOMO et al. 1990, BROWN et al. 1993, CURRAN et al. 1994).

Aus Sicht der Praxis ergeben sich folgende Anbaukonstellationen: **Viehlos** ökologisch wirtschaftende **Ackerbau-Feldgemüsebetriebe** reduzieren aus ökonomischen Gründen den Hauptfrucht-Leguminosenanbau bei gleichzeitig hohem Anteil humuszehrender und stickstoffbedürftiger Feldgemüse- und Hackfruchtkulturen. Stickstoff wird von diesen Betrieben teilweise in Form organischer Düngemittel teuer zugekauft. Der Anbau spät gepflanzter oder gesäeter Feldgemüsekulturen (Kohl, Zuckermais) ermöglicht den vorherigen Anbau von Leguminosen-Zwischenfrüchten über Winter bis Mai mit dem Vorteil der symbiotischen N₂-Bindung, hohen Mengen an Sproß- und Wurzelresten sowie positiver Vorfruchtwirkung.

In viehhaltenden ökologischen Betrieben können die Futterrationen von Hochleistungs-**Milchviehherden** Energiemangel aufweisen. Deshalb wird bevorzugt Silomais zugefüttert. Mais erlaubt aufgrund des späten Saattermins den vorherigen Anbau von Winterzwischenfrucht-Leguminosen, die selbst als Futter genutzt werden können, und stellt zusätzlich eine günstige Verwertungsmöglichkeit für Wirtschaftsdünger dar. Viehlose Marktfruchtbetriebe können mit Körnermais nach Winterzwischenfrucht-Leguminosen den steigenden Bedarf an Futtergetreide bedienen.

In eigenen Vorversuchen wurden seit dem Jahr 2001 Winterzwischenfrucht-Leguminosengemenge in unterschiedlicher Zusammensetzung geprüft. Geeignete Varianten wurden im Rahmen des nachfolgend beschriebenen Projektes zur Prüfung der Vorfruchtwirkung weitergeführt. In Deutschland wurden Zottelwicken früher im Gemenge zu Futterwerbungszwecken angebaut. Das Ziel, mit dem Anbau von Zottelwickengemengen im Organischen Landbau eine hohe N-Zufuhr zu erreichen, wird mit den bisherigen Ansaatempfehlungen jedoch kaum erreicht. Grünroggen im "Wickroggengemenge" und Welsches Weidelgras im "Landsberger Gemenge" stellen konkurrenzstarke Gemengepartner dar, welche die Ertrags- und damit symbiotische N₂-Fixierungsleistung sowie die Vorfruchtwirkung der Zottelwicken - und im Landsberger Gemenge zusätzlich des Inkarnatklees - stark beeinträchtigen können. Andererseits weisen Leguminosenreinsaaten eine geringe Durchwurzelung und damit eine potentiell geringere Nitrataufnahme vor Winter auf. Potentiell höhere Nitratausträge über Winter können resultieren (KÖNIG 1986). Das Ziel einer hohen N-Zufuhr bei gleichzeitig geringstmöglichen N-Verlusten bedarf eines abgestimmten N-Managements (KÖPKE 1994, HAAS 2001).

2 Material und Methoden

2.1 Standorte und Bewirtschaftung

Die Feldversuche wurden auf drei bereits langjährig organisch wirtschaftenden Betrieben durchgeführt. Aufgrund unterschiedlicher Produktionsausrichtung repräsentieren diese Betriebe verschiedene Optionen, Winterzwischenfrucht-Leguminosen in die Fruchtfolge integrieren und nutzen zu können. Regionalräumlich liegen alle drei Betriebe in der Niederrheinischen Bucht bzw. im nördlich angrenzenden Niederrheinischen Tiefland (65 bzw. 30 m NN). Die Standorte 'S' und 'W' werden nachfolgend bis auf das Wiesengut (WG) verschlüsselt (Tab. 2.1). Die Kernversuche mit der Nachfrucht Silomais wurden auf dem Versuchsbetrieb für Organischen Landbau Wiesengut/Hennef der Universität Bonn (www.iol.uni-bonn.de/wiesengut, HAAS 1995) angelegt. Auf dem Wiesengut mit Mutterkuhhaltung und Bullenmast werden bislang weder Winterzwischenfrucht-Leguminosen noch Mais im Rahmen der bislang üblichen Fruchtfolgegestaltung angebaut. Die Feldversuche wurden in die sechsfeldrige Fruchtfolge des Betriebes deshalb anstelle von Rotklee gras eingefügt (Tab. 2.1).

Tab. 2.1: Standortdaten Versuchsflächen

Standort / Jahr	WG '01	WG '02	WG '03	S '02	S '03	W '02	W '03
Bodenart	IS	sIU	sL	sL	sL	IS/SL	sL
Ackerzahl	57	65	73	50	65	50	60
pH (Ap-Horizont)	5,6	6,0	6,1	5,3	6,1	5,8	6,0
C _t [%] / N _t [%]	0,89/0,08	0,98/0,08	0,92/0,09	0,84/0,08	1,55/0,14	0,85/0,06	0,91/0,07
C/N-Verhältnis	11,1	11,7	10,5	10,7	11,0	15,1	13,8
Humusgehalt [%] (C _t x 1,724)	1,5	1,7	1,6	1,4	2,7	1,5	1,6
mg P /100 g Boden A _p -Horizont	6,4	4,5	4,9	2,5	3,5	5,7	5,7
" 30/35 - 60/65 cm	2,7	1,1	1,0	1,0	1,4	2,8	1,4
mg K /100 g Boden A _p -Horizont	12,8	12,4	9,5	7,7	14,0	6,0	12,6
" 30/35 - 60/65 cm	8,9	5,6	5,3	3,2	8,6	6,1	11,5
Vorfrucht	Winterroggen	Winterroggen	Sommerweizen	Winterweizen	Sommerweizen	Kartoffeln	Gemüse-erbsen
Vorvorfrucht	Sommerweizen	Sommerweizen	Ackerbohnen	Wintergerste	Rosenkohl	Blumenkohl	Feingemüse

Im Gegensatz dazu wurden auf den beiden organisch bewirtschafteten Praxisbetrieben bereits langjährig Wickroggen bzw. Zottelwicken vor Körnermais (Marktfruchtbau) bzw. Weißkohl (Industrieware für Sauerkrautherstellung) angebaut. Die Betriebe nehmen am Pro-

jekt "Leitbetriebe Ökologischer Landbau in Nordrhein-Westfalen" teil ([www. leitbetriebe.uni-bonn.de](http://www.leitbetriebe.uni-bonn.de)).

Die Feldversuche zu den Winterzwischenfrucht-Leguminosen wurden jeweils als Sommerblanksaat im Spätsommer/Herbst angelegt und im Mai bzw. Juni des Folgejahres beerntet bzw. gemulcht (Tab. 2.2). Da dem ersten Zwischenfruchtversuch auf dem Wiesengut im Jahr 2001 kein Nachfruchtversuch folgte, werden Ergebnisse aus diesem Jahr nur in Kapitel 3.1 'Winterzwischenfrucht' vorgestellt.



An den Praxisstandorten 'S' und 'W' wurde die Bewirtschaftung (bspw. Unkrautkontrolle, Saat bzw. Pflanzung, bei Weißkohl auch Beregnung) sowie die Saat- und Erntetermine von Zwischenfrucht und Nachfrucht betriebsüblich von den Betrieben durchgeführt oder in den Versuchen danach ausgerichtet (bspw. zeitgleiche Ernte) (Tab. 2.2). Die Feldversuche waren jeweils in einem gleichermaßen bewirtschafteten Feldschlag integriert.

Nach dem Umbruch der Zwischenfrucht wurden in kurzer zeitlicher Abfolge die Feldversuche zur Nachfrucht Mais an den Standorten Wiesengut und Betrieb 'S' mit Praxismaschinen ausgesät. Im zweiten Versuchsjahr 2003 wurden beide Feldversuche zu Mais mit gleichem Saatgut und gleichen Praxismaschinen entsprechend den Bodenbedingungen und der Bestandesentwicklung vollständig durch den Versuchsansteller durchgeführt. In beiden Jahren wurden am Standort Wiesengut in den ersten Wochen nach Feldaufgang die Versuchsfelder mit Netzen gegen Vogelfraß abgedeckt. Die Boden- und Pflanzbettbearbeitung sowie

die Pflanzung von Weißkohl am Standort 'W' erfolgte betriebsüblich durch den Praxisbetrieb selbst. Der Reihenabstand der Nachfrüchte betrug in allen Versuchen 75 cm. Die Saatbettbereitung wurde nach Pflugfurche mit einer Kreiselegge durchgeführt. Nur der Weißkohl wurde am Standort 'W' vor allem im Jahr 2003 mehrfach betriebsüblich beregnet.

Tab. 2.2: Bewirtschaftung der Feldversuchsflächen*

Standort - Jahr	WG '02	WG '03	S '02	S '03	W '02	W '03
Saattermin Zwischenfrucht	23.8.01	30.8.02	28.9.01	20.9.02	5.11.01	19.8.02
Ernte / Mulch Zwischenfrucht	14.5.02	13.5.03	8.5.02	29.5.03	4.6.02	12.6.03
Umbruch Zwischenfrucht	15.5. Pflug	15.5. Fräse 15.5. Pflug	10.5. Grubber 11.5. Pflug	29.5. Pflug	5.6. Fräse 8.6. Pflug	12.6. Pflug
Saat-/ Pflanztermin Nachfrucht	17.5. Mais	16.5. Mais	17.5. Mais	30.5. Mais	17.6. Weißkohl	13.6. Weißkohl
Sorte	Agadir	Agadir	Arsenal	Agadir	Carolina	Ramco
Pflanzen/m ² etabliert	11	11	9	10	2,22	2,22
Zwischenernten	9.07.	14.07.	30.07.	21.07.	5.8.&17.9.	22.07.
Endernte Silomais	19.09.	2.09.	24.09.	9.09.		
Körnermais	-	14.10.	29.10.	14.10.		
Weißkohl					29.10.	15.10.

* Standort Wiesengut (WG) im Jahr 2001 ohne Nachfruchtversuch: Saat- und Endnutzung Zwischenfrucht am 25.08.2000 und 14.05.2001



2.2 Versuchsanlagen und Varianten

Alle Feldversuche wurden als randomisierte Blockanlagen mit 4 Wiederholungen angelegt. Die Parzellen waren 3 m breit und 12,5 m lang. Nicht alle Varianten wurden an den drei Standorten in den beiden Untersuchungsjahren 2002 und 2003 geprüft. An den Praxisstandorten wurde im Versuchsjahr 2002 im Vorgriff auf den Förderbeginn des Projektes im März in bestehende Zwischenfruchtbestände die Brachevarianten angelegt.

Der Kernversuch auf dem Versuchsbetrieb Wiesengut war im Jahr 2002 bereits für die Untersuchung von Winterzwischenfrucht-Varianten vorhanden und wurde als zweifaktorielle Streifen-Blockanlage mit einer Parzellenlänge von 6 m weitergeführt und ausgewertet. Im Versuchsjahr 2003 wurden die Feldversuche an den drei Standorten mit deckungsgleichen Kernvarianten von Beginn an als Parzellenanlage mit einer Versuchssämaschine ausgesät (Fabrikat: Hege, Bewirtschaftungsdaten s. Tab. 2.2).

Varianten

Der Aufwuchs der Zwischenfrucht-Leguminosen **Zottelwicken** und **Inkarnatklee** in Reinsaat oder im Gemenge mit Welschem Weidelgras (**Landsberger Gemenge**) bzw. Grünroggen (**Wickroggen**) wurde entweder **gemulcht** oder **geerntet**. In den beernteten Varianten konnte die alleinige Wirkung der Stoppel- und Wurzelrückstände untersucht werden. Im Jahr 2002 wurde auf den Praxisstandorten als Zusatzvariante die Mulchmenge verdoppelt.



Um die fixierte N-Menge der Leguminosen zu bestimmen, wurden Nicht-Leguminosen (Welsches Weidelgras, Roggen) als **Referenzfrüchte** angebaut. Im ersten Versuchsjahr 2001/2002 konnten diese Varianten auf den Praxisbetrieben nicht untersucht werden. Als weitere Referenzfrucht für den Vergleich der Minderung an Nitrat im Boden vor Winter wurden im Jahr 2001/2002 auf dem Wiesengut Rüben mitgeprüft.

Am Versuchsbetrieb Wiesengut wurden alle zuvor beschriebenen Winterzwischenfrucht-Varianten verglichen. Auf den Praxisstandorten wurde im ersten Versuchsjahr der jeweils vorhandene praxisübliche Zwischenfruchtbestand untersucht (Wickroggen bzw. Wickenreinbestand). Im zweiten Versuchsjahr wurde die betriebsübliche Zwischenfrucht durch Referenzfrüchte (s.u.) ergänzt. Während im zweiten Versuchsjahr am Standort 'S' auch Inkarnatklee und Zottelwicken jeweils als Reinbestand untersucht wurden, waren am Standort 'N' Wickroggen und aufgrund von sehr starkem Mäusebefall Inkarnatklee nicht prüfbar.

Auf dem Praxisbetrieb 'W' wurde auf Wunsch des Betriebsleiters zusätzlich die betriebsüblich häufig eingesetzte Düngung mit '**Ackerbohenschrot**' als weitere Variante aufgenommen. Um dabei den Einfluß einer Zwischenfrucht auszuschalten, wurde das Schrot zur Nachfrucht nach vorheriger Brache angewendet.

Die in allen Feldversuchen untersuchte Variante **Brache** diene als Referenzvariante bei der Untersuchung der mineralischen N-Gehalte im Boden. Damit diese Variante über Winter bzw. im Frühjahr bis zur Zwischenfruchternte weitgehend ohne Aufwuchs blieb, wurde mehrmals ohne größeren Bodeneingriff die Selbstbegrünung abgeflammt, manuell Einzelpflanzen gehackt oder gezogen sowie im zeitigen Frühjahr die Parzellen flach (4 - 5 cm tief) gefräst. In einer zweiten Variante '**Brache plus Mulch**' wurde der Aufwuchs von Zottelwickenreinsaat bzw. am Standort 'S' im Jahr 2002 Wickroggen eingearbeitet, um die Wirkung der zugeführten gemulchten Sproßmasse ohne Wurzel- und Ernterückstände zu untersuchen. Der Zwischenfrucht-Sproßmasse wurde von den beernteten Varianten überführt.

Saatmengen und Saaddichten

Erst sehr spät wurde Anfang November der Zottelwicken-Reinbestand am Standort 'W' im ersten Versuchsjahr mit einer Aussaatmenge von 80 kg/ha ausgesät (Tab. 2.2). Bei geringem Feldaufgang sowie nur geringfügiger Entwicklung und Wachstum über Winter bei gleichzeitig geringem Unkrautdruck wurden am 26.3.2002 mit einem Fräsgang die Brachevarianten im Versuch angelegt (Einachsfräse, Fabrikat: Agria). Die Wickenpflanzen waren zu diesem Zeitpunkt nur 5 – 10 cm lang. Ebenfalls Ende März wurde in gleicher Vorgehensweise am Standort 'S' in einem im September gesäten Wickroggenbestand verfahren (70 kg/ha Wicken, 30 kg/ha Roggen, Sorte 'Amilo'). Am Standort Wiesengut wurden in beiden Versuchsjahren und auf den beiden Praxisstandorten im zweiten Versuchsjahr die in Tabelle 2.3 gelisteten Saatmengen und Sorten verwendet.

Für die Aussaat von Wickroggen werden nach Auswertung von Literaturangaben im Mittel etwa 55 kg/ha Zottelwicken und 100 kg/ha Roggen, für Landsberger Gemenge je Art etwa 20 kg/ha (Variation zwischen 10 - 40 kg/ha) empfohlen. In den eigenen Versuchen wurden demgegenüber 68 kg/ha Zottelwicken und 12 bzw. 24 kg Roggen sowie im "Landsberger Gemenge" nur 3 kg/ha Welsches Weidelgras sowie 12 kg/ha Inkarnatklee ausgesät, um für eine hohe N-Zufuhr hohe Anteile an Leguminosen im Gemenge zu erhalten.

Tab. 2.3: Saatmengen und Saatkichten in den Versuchsjahren 2001 und 2002 am Standort Wiesengut und im Versuchsjahr 2003 auf allen drei Standorten

Varianten "Sortenname"	Saatkichte [Körner/m ²]				Saatmenge [kg/ha]			
	Zottel- wicke	Roggen Rübsen Gras	Klee	Summe	Zottel- wicke	Roggen Rübsen Gras	Klee	Summe
Schwarzbrache	-	-	-	-	-	-	-	-
Rübsen "Buko" ²⁾	-	170	-	170	-	8	-	8
Inkarnatklee "Poppelsdorfer"	-	-	540	540	-	-	18	18
Landsberger Gemenge ¹⁾	170	85	340	595	68	3 ³⁾	12	83
Zottelwicken "Dr. Baumanns"	170	-	-	170	68	-	-	68
Wickroggen12	170	28	-	198	68	12	-	80
Wickroggen24 ²⁾	170	56	-	226	68	24	-	92
Grünroggen "Wiandi"	-	170	-	170	-	74	-	74
Welsches Weidelgras "Ligrande"	-	340	-	340	-	11 ³⁾	-	11

¹⁾ Landsberger Gemenge: Zottelwicke, Inkarnatklee und Welsches Weidelgras

²⁾ Untersuchungen zu diesen Varianten werden nur in Kap. 3.1.3 vorgestellt.

³⁾ Im Versuchsjahr 2001 16 kg/ha (510 Kö/m²) in Reinsaat und 7 kg/ha (340 Kö/ha) im Land.Gemenge.

Nachfrucht

Nach Umbruch der Winterzwischenfrucht wurden die Feldversuchsflächen eines Standorts jeweils einheitlich mit Weikohl oder Mais bestellt (Tab. 2.2) und jeweils für die Untersuchung der Nachfrucht wieder exakt eingemessen (Tachymeter).

2.3 Felderhebung und Untersuchungsmethoden

Erntebeprobung Winterzwischenfrucht

Quantifiziert wurden Sproßertrag und N-Menge im Sproß sowie in Bezug zu Referenzfrüchten (Gras-/Roggenreinsaat) die symbiotische N₂-Bindung. Für die Ertragshebung der Winterzwischenfrucht wurde eine für die Parzelle repräsentative Fläche von 0,5 m² ausgewählt und manuell mit einer elektrischen Schere bodennah beerntet. Das Probenmaterial wurde getrennt nach Gemengefraktionen aufbereitet. Der verbliebene Aufwuchs im Feld wurde mit Praxismaschinen gemäht und entfernt oder gemulcht.



Erntebeprobung Nachfrucht

Die Versuche wurden einmal im Sommer nach Abschluß der Bodenbeprobungen zur Erfassung der N-Mineralisierung und ein zweites Mal zum praxisüblichen Erntetermin beerntet. Dabei wurden die Versuche zur Nachfrucht Mais im ersten Jahr am Standort 'S' und im zweiten Versuchsjahr am Wiesengut und am Standort 'S' jeweils als Silomais im September und als Körnermais im Oktober beerntet. Dabei wurden 3 m (Wiesengut Jahr 2002) bzw. 4 m Mais je Parzelle entnommen. Bei den Feldversuchen zu Weißkohl wurden 5 (Jahr 2002) bzw. 8 Köpfe (Jahr 2003) je Parzelle und Erntetermin entnommen.

Aufbereitung Ernteproben

Zur Aufbereitung wurde das Probenmaterial direkt nach der Ernte in Kunststoffbeuteln auf unter 10°C gekühlt und über Nacht gelagert. Mit einem Laborhäcksler wurde das in Fraktionen getrennte Erntegut zerkleinert. Davon wurde ein Aliquot für die Trockenmassebestimmung bis zur Gewichtskonstanz bei 60°C und die nachfolgenden Laboranalysen entnommen. Das getrocknete Material wurde mit einer Ultrazentrifugalmühle (Fabrikat: Retsch) auf 1 mm (Ligninanalyse, Stärke) bzw. < 0,25 mm (CN-Bestimmung) vermahlen.

Laboranalysen Pflanzenproben

Die C/N-Analyse erfolgte mit einem GC-Elementaranalysator (Fabrikat: Carlo-Erba) in Doppelbestimmungen. Die Ligningehalte des Pflanzenmaterials wurden im benachbarten Institut für Pflanzenbau der Universität Bonn, nach einer abgeänderten VdLUFA-Vorschrift (Methodenbuch III, 2. Ergänzung 1988, 'Rohlignin', S. 6.5.3) nach SCHILLING et al. (1998) bestimmt. Der Stärkegehalt der Maisproben wurde vom Fachgebiet für Tierernährung und Tiergesundheit der Universität Kassel-Witzenhausen nach VdLUFA-Vorschrift analysiert (Methodenbuch III, 'Stärke', S. 7.2.1).

Entnahme und Analyse der Bodenproben

Die Entnahme von Bodenproben in Schichten von 30 cm bis zu einer Gesamttiefe von 90 cm erfolgte mittels Elektromotorhammer (Fabrikat: Hilti) und Pürckhauer-Bohrstöcken. Abweichend hiervon wurde am Standort W aufgrund der tieferen Pflugfurche in Schichten bis 35 cm, bis 65 cm und bis 95 cm beprobt. Für die Erfassung der N-Mineralisierung im Boden nach Umbruch der Zwischenfrucht wurde manuell in etwa 14-tägigen Abständen der A_p-Horizont (Krume) beprobt.



Die Bodenproben wurden bis zur Extraktion tiefgefroren. In zweifacher Extraktion wurden je 50 g Boden mit 200 ml einprozentiger Kaliumsulfat-Lösung versetzt und eine Stunde über Kopf geschüttelt. Die Bestimmung der Nitrat- und Ammoniumgehalte (N_{min}) erfolgte mit

einem automatischen Analysator (Fabrikat: Skalar) mit segmentiertem kontinuierlichen Durchfluß, naßchemisch und UV-photometrisch im Meßbereich 0,5 bis 3 bzw. 1 bis 5 ppm. Für die Berechnung der N_{\min} -Gehalte je Hektar wurde eine Lagerungsdichte des Bodens von 1,5 g/cm³ für die Standorte Wiesengut und 'S' und für den A_p -Horizont am Standort 'W' eine Lagerungsdichte von 1,3 g/cm³ zugrunde gelegt.

Biometrische Auswertung

Die Feldversuche wurden als vollständig randomisierte ein- bzw. auf dem Wiesengut als zweifaktorielle Blockanlagen mit vier Wiederholungen angelegt. Die Voraussetzungen Normalverteilung (Shapiro-Wilk-Test nach DJFNER et al. 1992, S. 204) und Varianzhomogenität (Varianzanalyse der quadrierten Residuen nach PIEPHO 1996) wurden im Zweifelsfall zusätzlich geprüft anhand der graphisch dargestellten studentisierten Residuen gegen den Schätzwert abgetragen bzw. sortiert. Nach Varianzanalyse und signifikantem F-Test (SAS: PROC GLM) wurde die Grenzdifferenz mit dem LSD-Test (Least Significant Difference) bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 0,05$ bestimmt. Die Signifikanz des Korrelationskoeffizienten (r) bzw. des Bestimmtheitsmaßes (r^2) wird bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,001, 0,01$ und $0,05$ mit ***, **, * bzw. als n.s. (nicht signifikant) gekennzeichnet.

2.4 Witterung

Nach Niederschlagsereignissen zu Beginn des Monats August im **Jahr 2001** konnte nach mehrwöchiger Trockenheit am 23.8.2001 der Feldversuch mit Winterzwischenfrucht-Leguminosen am Versuchsbetrieb Wiesengut bei günstigen Witterungs- und Bodenbedingungen angelegt werden. In den ersten beiden Dekaden im September fielen Niederschläge weit über dem langjährigen Mittel (Tab. 2.4). Aufgrund der trotzdem nach wie vor trockenen Bodenverhältnissen war der Feldaufgang noch lückig. Ein ungewöhnlich warmer Oktober ermöglichte eine flächendeckende Bestandesetablierung der Zwischenfrucht auf den beiden Standorten Wiesengut und 'S'. Auf dem Standort 'W' mit betriebsüblich spätem Saattermin wurde erst am 5.11.2001 ein Zottelwicken-Reinbestand ausgesät, der erst im Frühjahr mit einer sehr geringen Anzahl von Pflanzen lückig auflief.

Nach einem außergewöhnlich warmen und niederschlagsreichen Februar im **Jahr 2002** waren in der Hauptwachstumsphase der Winterzwischenfrucht-Leguminosen von März bis Mitte Mai durchschnittliche Witterungsbedingungen gegeben (Tab. 2.4). Nach Umbruch der Zwischenfrucht und Aussaat der Nachfrucht Mais auf den Standorten Wiesengut und 'S' Mitte Mai waren bis Ende Oktober außer einem wärmeren Juni durchschnittliche Monatsmitteltem-

peraturen bis zur Ernte der Nachfrüchte festzustellen. Die Niederschläge fielen ab Mitte Mai sowie im Juni und im September in deutlich geringeren Mengen. Am Standort 'W' mit der Hauptfrucht Weißkohl führte neben starkem Schädlingsbefall eventuell auch Wassermangel vor allem im September 2002 bei nicht hinreichender Beregnung zu gravierenden Mindererträgen.

Tab. 2.4: Witterungsdaten der Standorte und Versuchsjahre 1997 bis 1999

(Niederschlag in mm und Lufttemperatur in °C, langjähriges Mittel der Jahre 1983 bis 2003; Versuchsbetrieb Wiesengut und Standort 'S': Quelle: DWD-Station Köln-Wahn Flughafen (www.uni-koeln.de/math-nat-fak/geomet/meteo/Klimastatistik); Standort 'W': betriebseigene Niederschlagsaufzeichnung, Lufttemperatur DWD-Station Düsseldorf Flughafen)

Monat	Einheit	Köln-Wahn langjähr. Mittel	K-Wahn 2001	K-Wahn 2002	K-Wahn 2003	Betrieb W 2002	Betrieb W 2003
Jan.	mm	77	69	56	64	77	63
	°C	2,7	3,0	3,2	1,7	4,2	2,3
Feb.	mm	54	81	122	29	126	15
	°C	2,9	4,3	7,0	1,4	7,4	2,1
März	mm	66	82	59	44	58	41
	°C	6,2	6,2	7,3	8,1	7,5	8,3
April	mm	54	87	75	45	60	70
	°C	9,3	8,7	9,7	10,3	9,7	10,5
Mai	mm	73	23	45	55	66	47
	°C	14,0	15,4	14,3	14,6	14,5	14,7
Juni	mm	93	105	44	73	63	8
	°C	16,3	15,4	18,0	19,7	18,1	19,9
Juli	mm	92	48	89	53	82	56
	°C	18,5	19,2	17,9	19,8	18,4	20,1
Aug.	mm	64	44	97	55	126	60
	°C	18,1	19,6	18,8	20,8	19,3	21,2
Sep.	mm	80	142	29	51	20	51
	°C	14,2	12,7	13,9	14,9	14,6	15,6
Okt.	mm	95	51	90	71	56	90
	°C	10,6	14,1	10,0	7,6	10,2	7,7
Nov.	mm	63	109	94	46	72	36
	°C	5,9	5,2	8,3	8,6	8,6	8,9
Dez.	mm	76	51	90	54	121	80
	°C	3,7	1,9	3,8	3,8	3,7	4,3
Jahr	mm	887	892	890	640	924	617
	°C	10,2	10,5	11,0	11,0	11,4	11,3

Die Zwischenfrüchte im **zweiten Feldversuchsjahr** wurden Ende August bzw. im September 2002 ausgesät. Infolge eines sehr trockenen Septembers liefen die Zwischenfrucht-saaten anfangs nur verzögert und lückig auf, waren aber zu Winterbeginn auf dem Wiesengut flächendeckend und auf den Praxisstandorten mit hohem Unkrautanteil etabliert. Bei weitgehend durchschnittlichen Temperaturen im **Frühjahr 2003** wurden als Folge unterdurchschnittlicher Regenmengen ab Februar bis Mitte Mai in Summe nur 128 mm statt durchschnittlich 204 mm Niederschlag gemessen (Tab. 2.4). Die Zwischenfruchtbestände auf dem Standort Wiesengut wiesen dennoch hohe Massenerträge auf. Am Standort 'S' war infolge von Hangzugwasser der Boden bis Mitte Mai noch zu feucht. Erst Ende Mai konnte dort der Zwischenfruchtbestand umgebrochen und Mais gesät werden (Tab. 2.2).

Auch in den Sommermonaten **Juni bis August 2003** war mit 180 mm statt sonst 250 mm Niederschlag bei gleichzeitig deutlich über dem langjährigen Mittel liegenden Lufttemperaturen an den Standorten Wiesengut und 'S' erneut ein Wasserdefizit festzustellen (Tab. 2.4). Am Standort Wiesengut zeigte im Hochsommer der Maisbestand ab Ende Juli deutliche Wasserstreßsymptome. Am 1.8. waren die Blattspitzen leicht eingerollt und am 13.8. waren bereits die unteren Blattetagen zumeist vertrocknet und die oberen Blätter häufig gelb bis braun verfärbt. Insgesamt war das Längen- und Massenwachstum gehemmt. Im Gegensatz zu vielen anderen Standorten in Deutschland hatte dieser Ausnahmesommer aber in den eigenen Feldversuchen keinen gravierenden Ertragsausfall zur Folge. Am Standort 'S' waren sogar kaum Wasserstreßsymptome festzustellen, was vermutlich auf die durch Hangzugwasser auch im Sommer gewährleistete Wasserversorgung zurückzuführen war. Aufgrund der zeitweise extremen Temperaturen war die Silomaisreife auf beiden Maisstandorten aber bereits Anfang September erreicht. Am Standort 'W' wurde der Weißkohl über Sommer mehrfach intensiv beregnet. Zeitweiser Wassermangel kann aufgrund der extremen Niederschlagsdefizite (im Juni nur 8 mm Niederschlag) bei begrenzten Beregnungskapazitäten des Betriebes nicht ausgeschlossen werden. Mitte Oktober wurde ein betriebsüblicher Erntetermin realisiert.

Fazit Witterungseinfluß

Insgesamt sind im Versuchszeitraum witterungsbedingt außer eventuell im ersten Jahr 2002 beim Weißkohl und im zweiten Versuchsjahr 2003 auf dem Wiesengut bei Silomais keine Witterungseinflüsse aufgetreten, welche die Untersuchungsergebnisse wesentlich beeinträchtigten. Allerdings war im Jahr 2003 die Umsetzung und Mineralisierung der in den Boden eingearbeiteten Zwischenfrucht in den ersten Wochen nach Umbruch gehemmt.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Winterzwischenfrucht

3.1.1 Stickstoffakkumulation im Sproß und symbiotische N₂-Fixierung

Am Standort **Versuchsbetrieb Wiesengut** wurden in beiden Versuchsjahren bis zu 200 kg N/ha in der Sproßmasse der Zwischenfrüchte gebunden. Im Vergleich der Reinsaaten untereinander wies Inkarnatklee in beiden Jahren gegenüber Zottelwicken einen höheren Sproßertrag auf (im Jahr 2002 und 2003 jeweils 59 bzw. 62 dt TM/ha gegenüber 33 bzw. 28 dt TM/ha bei Wicke). Auch im hier nicht abgebildeten Versuchsjahr 2001 war am Standort Wiesengut der Ertrag bei Inkarnatklee doppelt so hoch wie bei Wicken (50 bzw. 26 dt TM/ha). Inkarnatklee hatte einen geringeren N-Gehalt (Kap. 3.1.2) und wies deshalb nicht gleichermaßen eine doppelte N-Menge im Sproß auf. Andererseits führte der höhere Unkraut- aufwuchs bei Wickenreinsaat im ersten Jahr zu einer im Vergleich zu Inkarnatklee in Reinsaat vergleichbar hohen Gesamt-N-Menge dieser Variante (Abb. 3.1.1 & 3.1.2). Dieser Sachverhalt indiziert für Inkarnatklee eine höhere Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern, welche bereits wie in den Vorjahren mit einem homogeneren zügigen Feldaufgang bei Inkarnatklee begründet wurde.

Im Landsberger Gemenge mit Wel-schem Weidelgras wiesen beide Legumi-nosenarten deutlich geringere N-Mengen im Sproß auf. Auch im Gemenge mit Rog-gen war die N-Menge von Zottelwicken gegenüber der Reinsaat geringer. Bei der im Versuchsjahr 2002 zusätzlich geprüf-ten höheren Roggenaussaatmenge von 24 gegenüber 12 kg/ha war eine weitere Reduzierung der N-Menge im Zottel-wickenaufwuchs festzustellen. Die Ergeb-nisse der nicht dargestellten Feldversuche am Wiesengut im Versuchsjahr 2001 bestätigen diese Abstufung der Varianten. Gleichwohl konnten teilweise die Geme-nge in Summe eine den Reinsaaten ver-gleichbar hohe N-Menge im Aufwuchs aufweisen



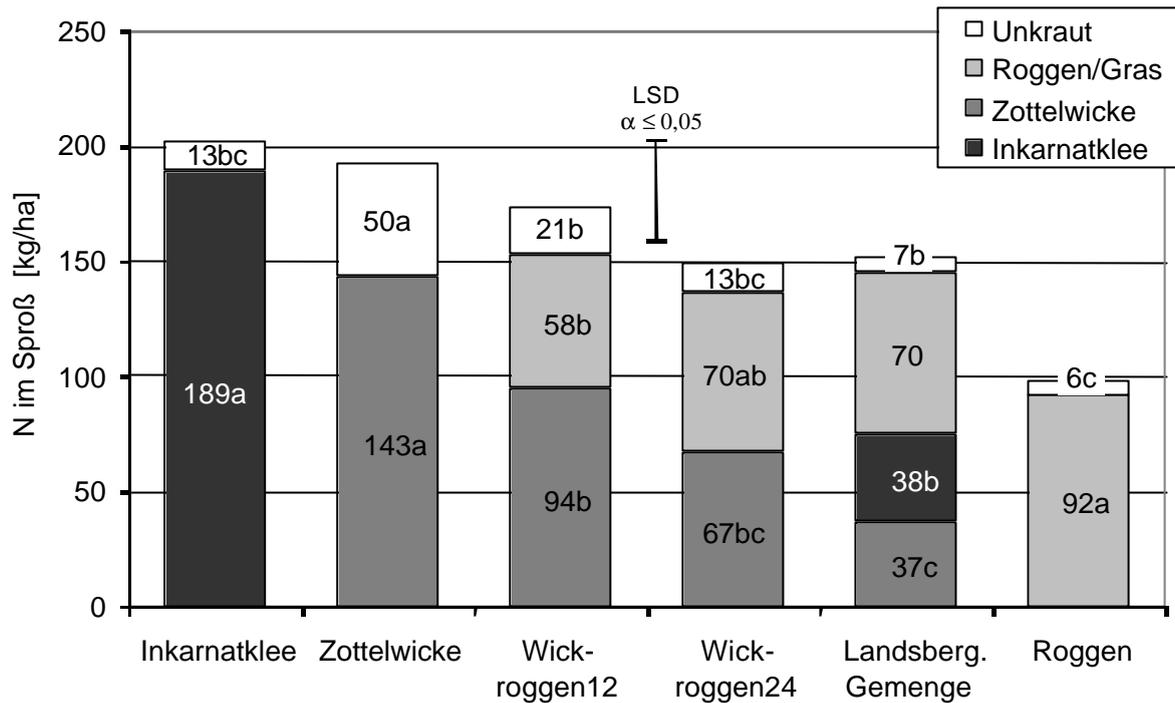


Abb. 3.1.1: Stickstoffmenge im Sproß zum Mulch- bzw. Erntetermin am 14. Mai 2002 Standort Wiesengut (Werte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant nach LSD $\alpha = 0,05$, dabei werden nur Werte der gleichen Gemengefraktion verglichen, Grenzdifferenzbalken für Sproß gesamt)

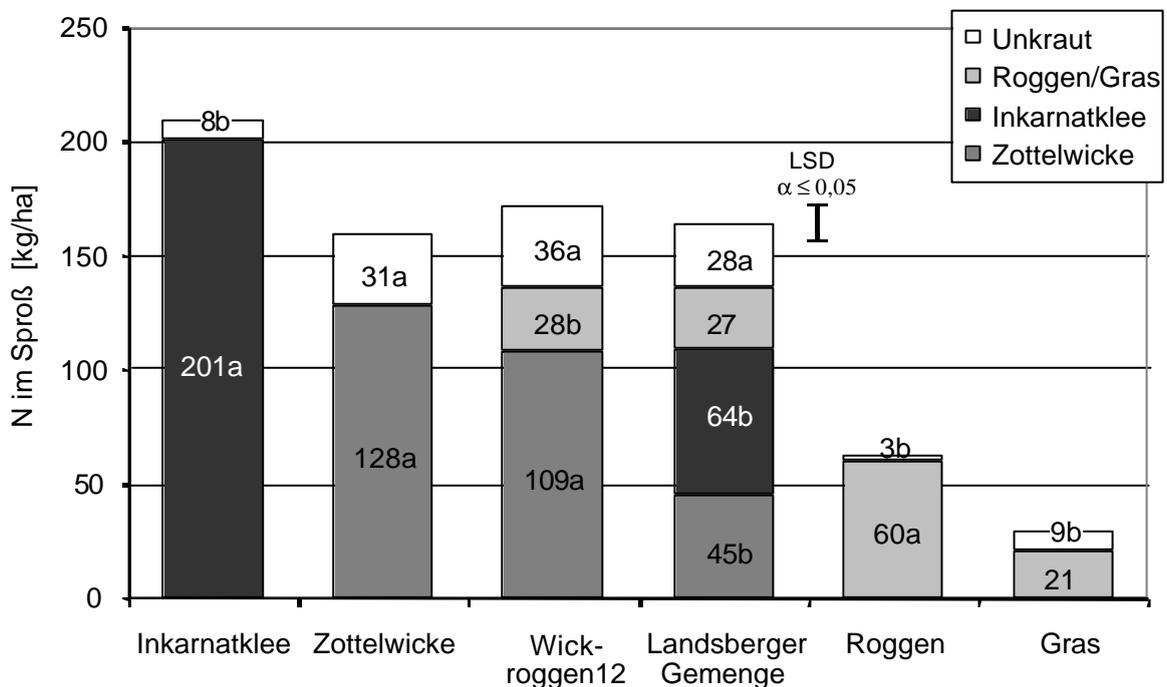


Abb. 3.1.2: Stickstoffmenge im Sproß zum Mulch- bzw. Erntetermin am 13. Mai 2003 am Standort Wiesengut (Werte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant nach LSD $\alpha = 0,05$, dabei werden nur Werte der gleichen Gemengefraktion verglichen, Gras n.s., Grenzdifferenzbalken für Sproß gesamt)

Am **Standort 'W'** wurden in beiden Versuchsjahren N-Mengen im Aufwuchs einschließlich Unkraut von insgesamt 136 und 178 kg N/ha festgestellt (Tab. 3.1). Im ersten Versuchsjahr erfolgte die Saat sehr spät am 5. Nov. 2001 - der Betrieb sät zumeist erst nach der Kartoffelernte im Oktober. Aufgrund des zu Weißkohl möglichen späten Mulchtermins war die Wachstumsdauer im Frühjahr lang. Es konnte deshalb noch eine vergleichsweise hohe N-Menge im Sproß erreicht werden. Im zweiten Versuchsjahr war bei günstigem frühen Saattermin am 19. Aug. 2002 ein bereits für die Vorwinteretablierung der Bestände langer Zeitraum gegeben. Der auf diesem Standort mit einseitig hohem Anteil an Sommerungen sehr hohe Unkrautdruck verhinderte aber eine gleichmäßige Bestandesetablierung vor Winter.

Dominierende Unkrautarten bei sehr hohen Frischmasseanteilen von 75 - 83% in der Wickenreinsaat waren im Herbst Zottiges Franzosenkraut (*Galinsóga ciliáta*), Gemeines Hirtentäschel (*Capsélla bursa-pastóris*) und Vogelmiere (*Stellária média*). Da ein Großteil des Unkrauts über Winter abfror, war im Frühjahr bis zum Mulchtermin der Unkrautanteil nur noch gering (Tab. 3.1). Zur Ernte war Vogelmiere dominierend, daneben fanden sich in geringem Umfang Weißer Gänsefuß (*Chenopodium album*), Echte Kamille (*Matricaria chamomilla*) und Knötericharten (*Fallópia convólulus*, *Polýgonum persicária*).

Tab. 3.1: Erntedaten Zwischenfrucht am Standort 'W' in den Versuchsjahren 2002 und 2003 sowie Standort 'S' im Jahr 2002

Standort / Jahr	W '02	W '03	S '02		
Art	Reinsaat Zottelwicke	Reinsaat Zottelwicke	Zottel- wicke	Roggen	Summe Wickroggen
Beprobungstermin	4.06.2002	3.06.2003		8.05.2002	
Ertrag [dt TM/ha]	37,9	47,2	10,1	10,1	21,2
Trockenmassegehalt [% TM]	9,6	12,8	13,0	16,0	-
TM-Ertragsanteil [%]	-	-	50	50	100
N im Sproß Zwischenfrucht [kg N/ha]	132	169	32,4	32,4	64,8
Unkrautmasse [dt TM/ha]	1,4	3,5			1,3
TM-Unkrautanteil [%]	3,8	7,0			6,0
N im Sproß Unkraut [kg N/ha]	3,9	8,7			4,0

Am **Standort 'S'** wurde der Wickroggen im ersten Versuchsjahr früher als die Zwischenfrucht am Standort 'W', aber immer noch vergleichsweise spät am 28. Sept. 2001 gesät. Bis zum Mulchtermin am 8. Mai 2002 konnte der schwach wüchsige Bestand nur 69 kg N/ha

aufnehmen (Tab. 3.1). Im zweiten Versuchsjahr wirkte sich an diesem Standort bei nur etwas früherer Saat am 20. Sep. 2002 der mangels Befahrbarkeit späte Mulchtermin zu Mais günstig auf die N-Aufnahme der Zwischenfrucht aus. Allerdings war zum Nutzungstermin am 13. Mai 2003 der Unkrautanteil mit bis zu 50% der N-Menge im Aufwuchs sehr hoch (Abb. 3.1.3). Dominierend waren Geruchlose Kamille (*Matricaria inodora*) und Vogelmiere (*Stellaria media*) neben Gemeinem Hirtentäschel (*Capsella bursa-pastoris*), Ackerhellerkraut (*Thlaspi arvense*), Ackerstiefmütterchen (*Viola arvensis*), Taubnessel (*Lamium purpureum*), Acker-Vergißmeinnicht (*Myosotis arvensis*) und Klettenlabkraut (*Galium aparine*).

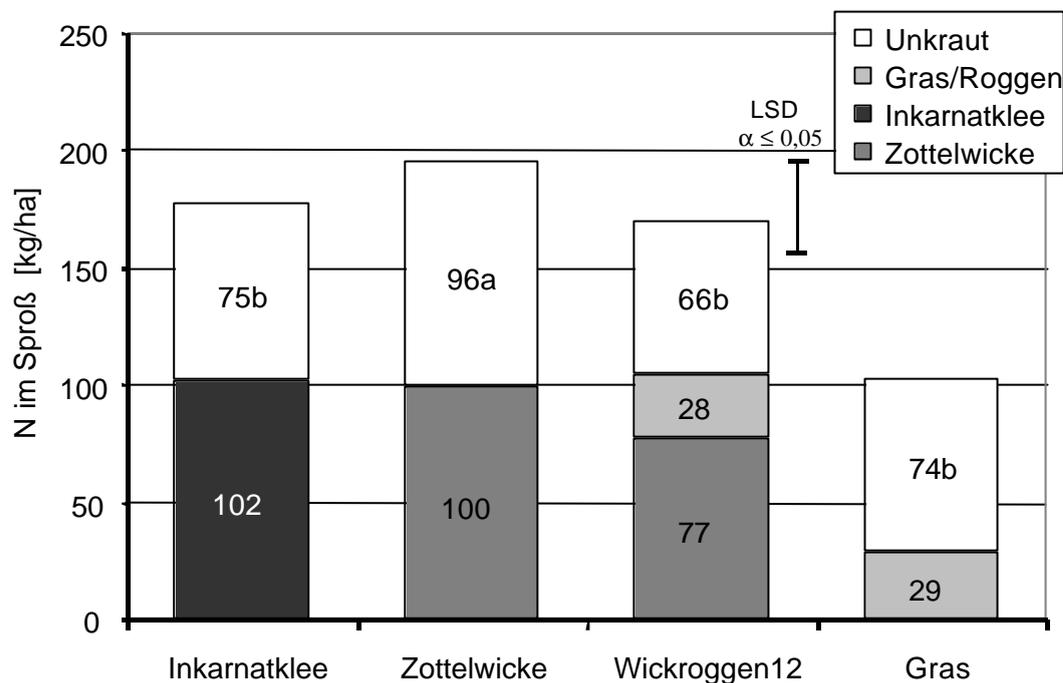


Abb. 3.1.3: Stickstoffmenge im Sproß zum Mulch- bzw. Erntetermin am 19. Mai 2003 Standort 'S' (Werte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant nach LSD $\alpha = 0,05$, dabei werden nur Werte der gleichen Gemengefraktion verglichen, für Inkarnatklee, Roggen und Gras keine Auswertung, Grenzdifferenzbalken für Sproß gesamt)

N-Aufnahmeraten

Am Standort Wiesengut wurden im Versuchsjahr 2002 in mehreren Zeiternten die Zuwachs- bzw. Aufnahmeraten bestimmt. Die hohen N-Mengen im Aufwuchs Inkarnatklee am 13. Mai 2002 sind auf die hohen Aufnahmeraten von 3 kg N/ha*Tag zwischen 11. März und 8. April sowie auf Raten von immer noch knapp 2 kg N/ha*Tag bis zur Ernte zurückzuführen (Abb. 3.1.4). Erst im letzten Wachstumsabschnitt wiesen Zottelwicken in Reinsaat

eine ähnlich hohe Aufnahme rate auf. Im Gemenge mit Roggen war die Aufnahme rate der Zottelwicken im letzten Zeitabschnitt geringer. Die in Abbildung 3.1.4 ebenfalls dargestellten Rübsen wurden als Referenzfrucht für den Vergleich der Bodennitratgehalte über Winter unter verschiedenen Zwischenfrüchte angebaut (Kap. 3.1.3).

Allgemein wurden im Frühjahr 2002 zwischen Mitte März und Mitte Mai bei täglichen Aufnahme rates zwischen 1 und 3 kg N/ha etwa bis 150 kg N/ha im Aufwuchs gebunden. In den Feldversuchen der Jahre 2001 und 2002 am Standort Wiesengut wiesen Inkarnatklee und Zottelwicken in Reinsaat mittlere tägliche Aufnahme rates von 2,5 bzw. 1,5 kg N/ha*Tag und im Gemenge mit Weidelgras jeweils deutlich reduzierte Rates von 1,3 bzw. 0,5 - 1,2 kg N/ha*Tag auf.

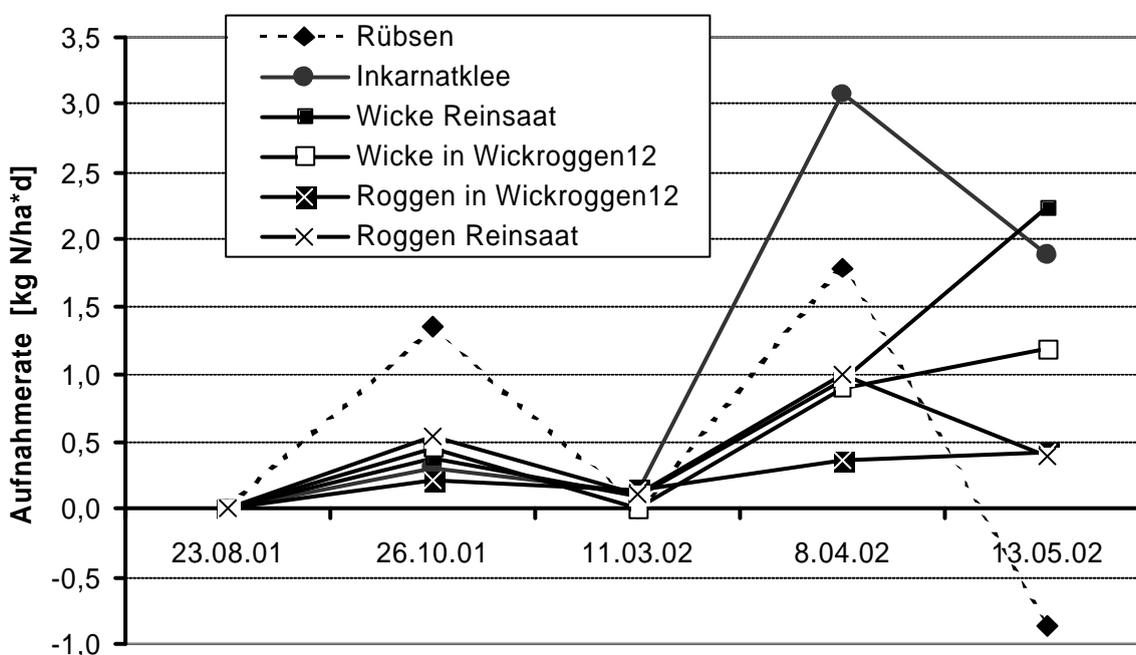


Abb. 3.1.4: Sproß-Stickstoff-Aufnahmerate ausgewählter Varianten bzw. Gemengefraktionen im Versuchsjahr 2001/2002 am Standort Wiesengut (Zeitspanne zwischen Beprobungsterminen ungleich!)

Je später demnach der Umbruch erfolgt, um so länger ist der für die N-Aufnahme günstige Frühjahrszeitraum nutzbar. Für die Maximierung der N-Gewinne durch Winterzwischenfrucht-Leguminosen sind deshalb Nachfrüchte, die einen späten Saat- oder Pflanztermin ermöglichen, primär geeignet.

Symbiotische Stickstofffixierung

Um den Anteil symbiotisch gebundenem Stickstoffs im Sproß abschätzen zu können, wurden in den Versuchen am Wiesengut und an den Praxisstandorten im 2. Versuchsjahr die Nichtleguminosen Roggen bzw. Welsches Weidelgras in Reinsaat als Referenz genutzt. Dabei wird davon ausgegangen, daß Roggen und Gras in Reinsaat in etwa gleicher Menge wie die Leguminosen in Reinsaat oder im Gemenge bodenbürtigen Stickstoff aufnehmen. Da Leguminosen als dikotyle (zweikeimblättrige) Arten im Vergleich mit den monokotylen Gramineen (Roggen, Gras) ein weniger gleichmäßig und fein verteiltes Wurzelsystem ausbilden, wird die symbiotische N₂-Fixierung dabei wahrscheinlich unterschätzt. Daß zumindest Roggen eine höhere Wurzelichte ausbildet, indiziert die größere Absenkung der N_{min}-Mengen im Boden vor Winter (Kap. 3.1.3: Abb. 3.1.5 & 3.1.7).



Tab. 3.2: Symbiotisch fixierte Stickstoffmenge von Zottelwicken in Reinsaat in den Versuchen am Standort Wiesengut (WG) in den Jahren 2001 - 2003 sowie an den Standorten 'S' und 'W' im Jahr 2003

Standort / Jahr	WG '01	WG '02	WG '03	S '03	W '03	Mittelwert
N im Aufwuchs Variante Zottelwicken [kg/ha]	124	193	159	196	178	170
N im Aufwuchs Variante Reinsaat Roggen [kg/ha]	39	98	63	-	-	67
N im Aufwuchs Variante Reinsaat Gras ¹⁾ [kg/ha]	35 ²⁾	88 ²⁾	30	104	64	64
Symbiotisch gebundene N-Menge [kg/ha]	85 - 89	95 - 105	96 - 129	92	114	101

Feldversuchsdaten Wiesengut (WG) Jahr 2001 in gleicher Versuchsanstellung wie Folgejahre.

¹⁾ Grasart: Welsches Weidelgras

²⁾ Wert Variante Gras unmittelbar benachbartem Zwischenfruchtversuch entnommen.

Anhand der Differenz zwischen der N-Menge im Sproß der Leguminosen bzw. Leguminosengemenge einerseits und dem Stickstoff im Sproß von Roggen bzw. Gras andererseits wurde die symbiotisch fixierte N-Menge berechnet. Dabei wurde die N-Menge im Unkrautwuchs mit berücksichtigt. Im Mittel der Variante Zottelwicken sowie Jahre und Standorte wurden etwa 100 kg N/ha netto fixiert (Tab. 3.2).

Fazit Stickstoffakkumulation im Sproß und symbiotische N₂-Fixierung

Winterzwischenfrucht-Leguminosen nahmen in Reinsaat oder im Gemenge im Mittel etwa 150 kg N/ha im Sproß auf (Spannweite 65 - 200 kg N/ha). Davon wurden durchschnittlich etwa 100 kg N/ha symbiotisch fixiert (Netto-N-Zufuhrmenge). Die restliche im Sproß festgestellte N-Menge stammte aus dem Boden-N-Vorrat (Humus). Nach der Etablierung der Bestände ist eine Wachstumsperiode bis mindestens in den Mai hinein für hohe N-Mengen im Aufwuchs erforderlich, da hohe tägliche N-Aufnahmeraten (1,5 - 2,5 kg N/ha) erst im Frühjahr ab etwa Mitte März auftreten. Hoher Unkrautdruck trat bei ungünstigen Saat- und Standortbedingungen auf (s. Kap. 4.1).

3.1.2 C/N-Verhältnis, Stickstoff- und Ligningehalt der Zwischenfrüchte

Nachdem der Zwischenfruchtaufwuchs gemulcht und durch die nachfolgende Grundboden- und Saatbettbearbeitung zur Nachfrucht in den Boden eingearbeitet ist, wird die organische Substanz zersetzt und Stickstoff mineralisiert. Für die Abschätzung der Zersetzung und Mineralisierbarkeit des in der Sproßmasse gebundenen Stickstoffs sind der N-Gehalt und das Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff (C/N) relevant. Der Gehalt an der höhermolekularen Gerüstsubstanz Lignin, welche im Zuge der Abreife gebildet wird, ist ein weiterer Parameter für die Abschätzung der Mineralisierbarkeit organischer Substanz (CADISCH & GILLER 1997), aber auch für die Humusersatzleistung (KLIMANEK 1988).

Der mikrobielle Ab- und Umbau sowie die **N-Mineralisierung** der Zwischenfrüchte nach deren Einarbeitung in den Boden verlaufen um so langsamer, je geringer der N-Gehalt, je weiter das C/N-Verhältnis und je höher der Ligningehalt ist. Für den Abbau von Pflanzensubstanz mit weitem C/N-Verhältnis wird im Boden freies Nitrat benötigt, ein Immobilisierungseffekt ('N-Sperre') für Nitrat tritt ein.

Bei der Darstellung der Parameter werden die Ergebnisse des Versuchsjahres 2000/2001 am Standort Wiesengut mit berücksichtigt, um eine breitere Datenbasis vorstellen zu können. Die höchsten **N-Gehalte** wiesen Zottelwicken gefolgt von Inkarnatklee auf, während die Nichtleguminosen Roggen und Welsches Weidelgras im Gemenge und vor allem in Reinsaat deutlich geringere N-Gehalte zeigten (Tab. 3.3).

Tab. 3.3: N-Gehalt [% i.d. TM] im Sproß von Winterzwischenfrüchten und Unkraut¹⁾

Standort Jahr	Wiesengut			Standort 'S'		Standort 'W'		Mittel- wert	
	2001 ²⁾	2002	2003	2002	2003	2002	2003		
Inkarnatklee (Reinbestand)	2,7	-	3,3	3,3	-	3,1	-	-	3,1
Zottelwicke (Reinbestand)	3,8	3,5	4,4	4,5	-	4,3	3,6	3,6	4,0
Wickroggen ¹² ³⁾ :	-	2,2	2,4	3,2	3,2	3,2	-	-	2,8
- Zottelwicke		3,5	4,2	4,4	4,2	4,3			4,1
- Roggen		1,3	1,4	1,8	2,1	2,0			1,7
Landsberger Gemenge ³⁾ :	1,6		2,4	2,9	-	-	-	-	2,3
- Inkarnatklee	2,8	-	3,2	3,1					3,0
- Zottelwicke	3,6		4,3	4,6					4,2
- Welsches Weidelgras	1,2		1,7	1,9					1,6
Roggen (Reinbestand)	-	1,1	1,3	1,3	-	-	-	-	1,2
Welsches Weidelgras (Reinbestand)	0,9	-	1,2 ⁴⁾	0,6	-	1,7	-	1,0	1,1
Unkraut	2,0	2,5	2,1	1,6	3,0	2,3	2,7	2,0	2,6
	- 2,9	- 3,0	- 2,8	- 3,2		- 3,1		-2,5	

¹⁾ N-Gehalt jeweils Mittelwert aus 4 Feldwiederholungen einer faktoriellen Feldversuchsanlage. Bei Unkraut ist die Spannweite aller Feldversuchsvarianten beziffert.

²⁾ Daten von zwei unmittelbar benachbarten faktoriellen Feldversuchen.

³⁾ N-Gehalt der Gemenge berücksichtigt Ertragsanteil. Im Jahr 2001 bei abweichend zu Folgejahren 7 statt 3 kg/ha Saatmenge Welches Weidelgras hoher Grasertragsanteil.

⁴⁾ Wert aus unmittelbar benachbartem faktoriellen Feldversuch.

Dementsprechend eng war im Mittel der Jahre und Standorte das **C/N-Verhältnis** (Tab. 3.4). Die vielfältige, zumeist junge Unkrautflora wies ebenfalls zumeist ein enges C/N-Verhältnis auf. Im Herbst gekeimte Unkrautpflanzen waren häufig über Winter oder im Frühjahr unter dichtem Zwischenfruchtbestand abgestorben.

Vergleichsweise leicht und schnell umsetzbar ist in der Regel die organische Substanz im Boden mit einem C/N-Verhältnis bis etwa 10. Die Bodenorganismen selbst weisen ein C/N-Verhältnis von 5 - 8 auf (PAUL & CLARK 1988, S. 135). Nach PAUL & CLARK (1988, S. 137) wird keine Netto-Mineralisierung von pflanzlichem Stickstoff stattfinden, wenn das **C/N-Verhältnis** weiter als 25 ist und der **N-Gehalt** weniger als 1,6% beträgt. PALM & ROWLAND (1997) zitieren nach JENSEN (1929) und COSTANTINIDES & FOWNES (1994) einen **Schwellenwert** von 1,7 - 2,0% N, oberhalb dessen eine Mineralisierung eintrete. Auch WHITMORE & HANDAYANTO (1997) definieren ein C/N-Verhältnis von 25 als kritischen Schwellenwert, während SCHULZ & KLIMANEK (1998) bereits 21 als kritisches C/N-Verhältnis angeben. Nach HEAL et al. (1997) wird Pflanzensubstanz mit einem C/N-Verhältnis von unter 20 schnell umgesetzt.

Tab. 3.4: C/N-Verhältnis im Sproß von Winterzwischenfrüchten und Unkraut¹⁾

Standort Jahr	Wiesengut			Standort 'S'		Standort 'W'		Mittel- wert	
	2001 ²⁾	2002	2003	2002	2003	2002	2003		
Inkarnatklee (Reinbestand)	15,9	-	13,2	13,5	-	14,6	-	-	14,3
Zottelwicke (Reinbestand)	11,9	12,8	10,0	10,0	-	10,6	12,2	16,0	11,9
Wickroggen12:									
- Zottelwicke	-	12,8	10,3	10,4	10,5	10,6	-	-	10,9
- Roggen		36,5	31,7	25,8	21,3	23,7			27,8
Landsberger Gemenge:									
- Inkarnatklee	15,6	-	13,7	14,6	-	-	-	-	14,6
- Zottelwicke	12,6		10,5	9,9					11,0
- Welsches Weidelgras	38,0		25,5	23,6					29,0
Roggen (Reinbestand)	-	42,0	35,8	36,0	-	-	-	-	37,9
Welsches Weidelgras (Reinbestand)	47,0	-	36,0 ³⁾	73,9	-	26,3	-	42,2	50,0
Unkraut	14,6 - 20,3	14,6 - 18,1	11,7 - 17,6	12,2 - 25,3	13,0	13,6 - 19,5	15,1	16,2 - 20,9	16,0

¹⁾ C/N-Verhältnis jeweils als Mittelwert aus vier Feldwiederholungen einer faktoriellen Feldversuchsanlage. Bei Unkraut ist die Spannweite aller Feldversuchsvarianten beziffert.

²⁾ Daten von zwei unmittelbar benachbarten faktoriellen Feldversuchen.

³⁾ Wert aus unmittelbar benachbartem faktoriellen Feldversuch.

Entsprechend diesen Literaturangaben wiesen die Leguminosen und das Unkraut mit einem mittleren C/N-Verhältnis unter 16 eine schnellere Umsetzbarkeit (Mineralisierungstendenz) auf als Roggen und Welsches Weidelgras mit C/N-Verhältnissen größer 28 (Immobilisierungstendenz) (Tab. 3.4).

Für die Abschätzung der Zersetzung- und Mineralisierbarkeit pflanzlicher Substanz im Boden nutzen PALM & ROWLAND (1997) wie auch GILLER & CADISCH (1997) ferner den **Ligningehalt** und übertragen einen Schwellenwert von 15% aus der Tierernährung. Oberhalb dieses Wertes werde die Zersetzung durch die Lignifizierung der Zellwände gehemmt. Die aus Kostengründen nur am Standort Wiesengut untersuchten Zwischenfrüchte wiesen alle einen Ligningehalt von unter 10% auf (Tab. 3.5.). Eine Hemmung der Mineralisierung der Sproßmasse ist deshalb nicht anzunehmen. Die geringen Ligningehalte erklären sich mit den jungen Entwicklungsstadien der Zwischenfrüchte, die zum Zeitpunkt der Ernte erst kurz vor oder in der Blüte standen.

Tab. 3.5: Ligningehalt [% i.d.TM] im Sproß von Winterzwischenfrüchten am Standort Wiesengut - Feldversuchsdaten der Jahre 2001 - 2003

Jahr	2001	2002	2003	Mittelwert
Inkarnatklee	7,2	7,2	6,8	7,1
Zottelwicken	10,7	9,6	8,3	9,6
Roggen (im Gemenge)	7,9	9,9	5,8	7,8
Welsches Weidelgras (im Gemenge)	3,0	4,5	3,6	3,7

In einer Literaturübersicht nennen PALM & ROWLAND (1997) das **Lignin/N-Verhältnis** neben N-Gehalt und C/N-Verhältnis als weiteren Parameter zur Charakterisierung der organischen Substanz. Je weiter das Lignin/N-Verhältnis, um so geringer sei die Abbaubarkeit der Pflanzenmasse. Das gemittelte Lignin/N-Verhältnis von Leguminosen und Welschem Weidelgras war am Standort Wiesengut im Mittel gering und nur für Roggen etwas höher (Tab. 3.6). Zum Vergleich hat HAAS (2002, S. 32) bei abreifendem Mais und Sonnenblumen als Untersaat in Kartoffeln Verhältnisse von 4,1 und 8,6 festgestellt.

Tab. 3.6: Kenndaten der Zerset- und Mineralisierbarkeit von Winterzwischenfrüchten am Standort Wiesengut - gemittelte Feldversuchsdaten der Jahre 2001 - 2003

Parameter	Inkarnatklee (Reinsaat)	Zottelwicke (Reinsaat)	Roggen (Gemenge)	Weidelgras (Gemenge)	Schwellenwert*)
N % i.d.TM	3,1	4,1	1,5	1,6	< 1,6 bzw. < 1,7 - 2,0
C/N	14,2	10,9	31,3	29,0	> 20 - 25
Lignin % i.d.TM	7,1	9,6	7,8	3,7	> 15
Lignin/N	2,3	2,4	5,4	2,4	-

*) entsprechend Ungleichheitszeichen gehemmter Abbau, für N% zwei Quellen, s. Text

Zwar werden erst in Kapitel 3.2.1 die Verläufe der N_{\min} -Mengen im Boden nach Mineralisierung der eingearbeiteten Zwischenfruchtmulchmengen und der organischen Substanz im Boden vorgestellt, aber an dieser Stelle soll bereits der Nachweis im Feld für die in diesem Kapitel bislang nur indirekt abgeschätzten Mineralisierungsraten erbracht werden.

In Abbildung 3.1.5 ist ein Ausschnitt (orthogonaler Kern) des Winterzwischenfruchtversuches am Standort Wiesengut im Jahr 2002 dargestellt (vgl. Kap. 3.2.1: Abb. 3.2.5 & 3.2.6). Nach Umbruch der Zwischenfrucht waren, wie bereits anhand der Mineralisierungsparameter abgeleitet werden kann, unter Wickenreinsaat die höchsten und unter Roggenreinsaat die geringsten N_{\min} -Mengen im Boden festzustellen. Unter den Wickroggengemengen wurden, wie zu erwarten war, dazwischenliegenden N_{\min} -Mengen in Abstufung der Roggensaattmenge gemessen.

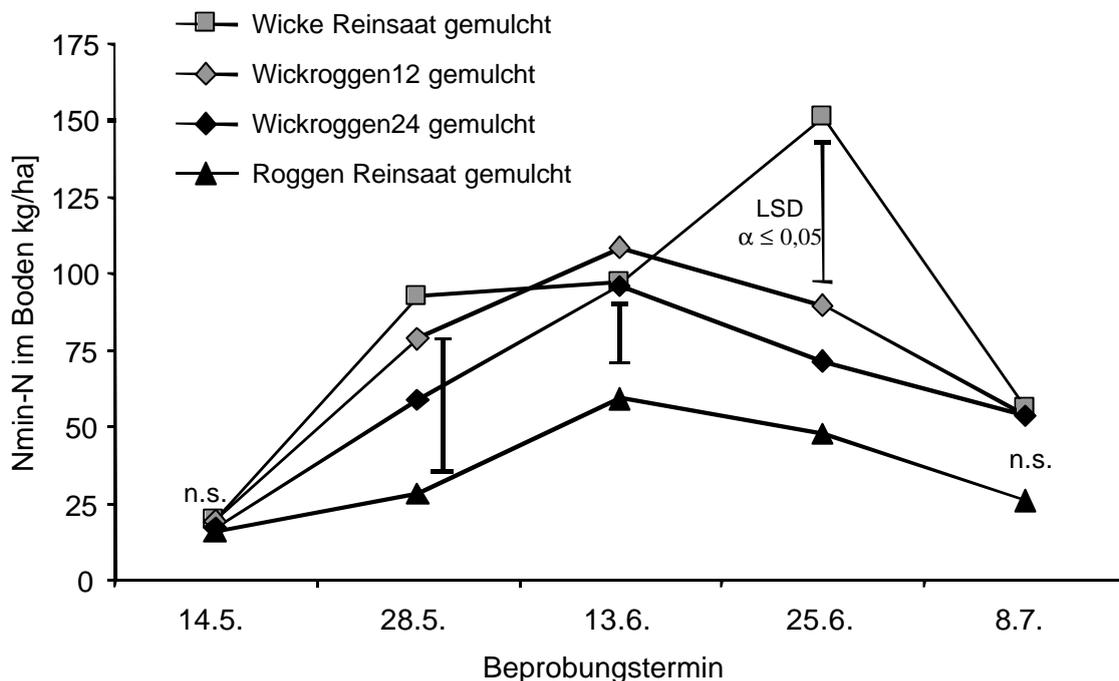


Abb. 3.1.5: N_{\min} im Boden (0-30 cm Tiefe) nach Zwischenfrucht Wicke und Roggen in Reinsaat oder im Gemenge unter Mais am Standort Wiesengut im Jahr 2002 (14.5 Zwischenfrucht gemulcht, 15.5. gepflügt, 17.5. Mais gesät)

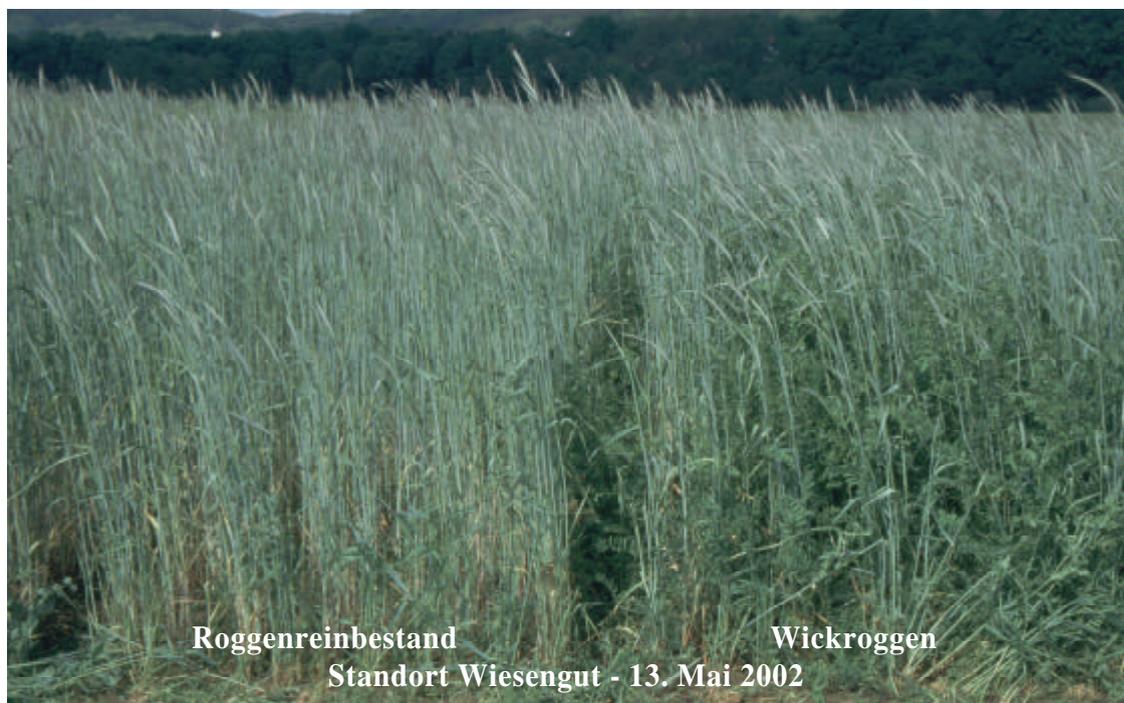
Komplementär hierzu werden im folgenden Kapitel 3.1.3 die N_{\min} -Gehalte im Boden unter Zwischenfrucht vor und nach Winter des gleichen Versuches vorgestellt. Dabei war im Jahr 2001/02 am Wiesengut eine deutliche Abstufung der vor Winter im Boden vorhandenen N_{\min} -Mengen festzustellen (Abb. 3.1.6). Je höher die Roggensaattmenge im Wickroggengemenge und in der Roggenreinsaat war, um so geringer waren die N_{\min} -Gehalte im Boden vor Winter. Die Anbauziele einer effizienten Nitrataustragsminderung über Winter unter Zwischenfrucht und maximaler N-Mineralisierung nach Umbruch der Zwischenfrucht können gegenläufig sein.

Fazit C/N-Verhältnis, Stickstoff- und Ligningehalt

Winterzwischenfrucht-Leguminosen wiesen, geschätzt anhand der untersuchten Inhaltsstoffe, eine sehr hohe Mineralisierbarkeit auf. Im Gegensatz zu den Leguminosen Inkarnatklee und Zottelwicke (3,1 bzw. 4,1 % N i.d.TM) kann die Mineralisierbarkeit von Roggen und Welschem Weidelgras bei am Schwellenwert liegenden N-Gehalten (1,6 % N i.d.TM) und oberhalb des Schwellenwertes (C/N = 20 - 25) liegenden C/N-Verhältnissen (C/N = 31 bzw. 29) zeitweise gehemmt sein (Inkarnatklee und Zottelwicken C/N = 14 bzw. 11).

Ob eine sehr rasche Mineralisierung hoher N-Mengen erwünscht ist, wird in Abhängigkeit vom mengenmäßigen und zeitlichen Bedarf der Nachfrucht zu entscheiden sein. Mit der Variation des Anteils an Nichtleguminosen im Gemenge sind abgestufte bis eher kontinuierlich mineralisierte Sproß-N-Mengen konzipierbar. Dies wurde exemplarisch anhand der N-Mineralisierungsraten nach Umbruch von Wickroggengemengen mit unterschiedlichem Roggenanteil gezeigt.

An Standorten mit potentiellen Nitratausträgen über Winter sind Gemenge mit Nichtleguminosen gegenüber Leguminosenreinsaaten zu bevorzugen. Dieser Vorteil kann aber nach Umbruch der Zwischenfrucht zu kurzfristig geringeren N_{\min} -Mengen im Boden führen.



3.1.3 N_{\min} -Gehalte im Boden über Winter unter Zwischenfrucht

Für die Vorfruchtwirkung der Winterzwischenfrüchte ist, neben der im Frühjahr in der Sproßmasse akkumulierten N-Menge und deren Zersetzbarkeit, auch die im Boden vorhandene Nitrat- und Ammoniummenge (N_{\min}) entscheidend. Um auch die N-Verluste über Winter unter den untersuchten Winterzwischenfrucht-Varianten beurteilen zu können, wurden vor und nach dem Winter die N_{\min} -Menge im Boden untersucht. Am **Standort Wiesengut** wurde der Zwischenfruchtversuch im ersten Jahr am **30. Okt. 2001** bis in 90 cm Bodentiefe beprobt (Abb. 3.1.6).

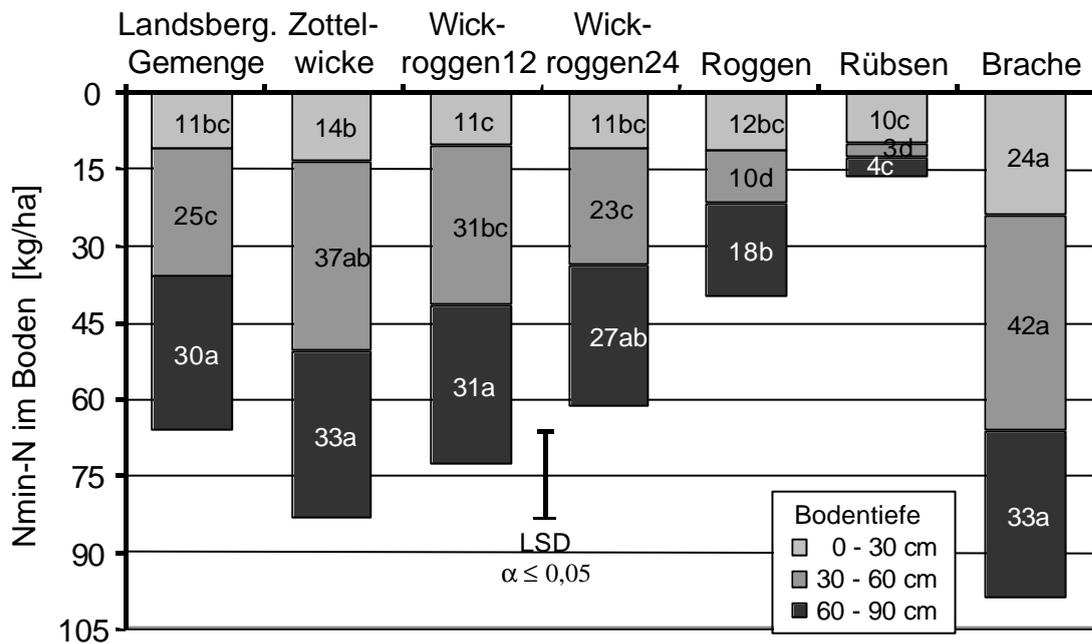


Abb. 3.1.6: N_{\min} -Mengen im Boden am 30. Okt. 2001 am Standort Wiesengut (Werte mit verschiedenen Buchstaben einer Bodentiefe unterscheiden sich signifikant nach LSD $\alpha = 0,05$, Grenzdifferenzbalken für 0 - 90 cm Tiefe gesamt)

Gegenüber der Variante 'Brache' ohne Bewuchs mit 99 kg N_{\min} -N/ha konnten Rübren die N_{\min} -Menge auf 17 kg N_{\min} -N/ha effizient reduzieren. Unter Wickenreinsaat war mit 84 kg N_{\min} -N/ha die Differenz zur Brache am geringsten. Mit zunehmendem Roggenanteil im Wick-roggengemenge war bis zum Roggenreinbestand eine Abnahme der N_{\min} -Mengen festzustellen. Die Differenz der Variante 'Brache' zu den Varianten 'Wicken', 'Wickroggen12', 'Wickroggen24' und 'Roggenreinsaat' betrug 15, 26, 38 bzw. 59 kg N_{\min} -N/ha. Die Unterschiede traten vor allem in der Bodenschicht von 30 bis 60 cm auf, was auf eine unterschiedliche Durchwurzelungsdichte und damit N-Aufnahme der Zwischenfrüchte schließen läßt.

Am 26. Oktober wurde nahezu zeitgleich die N-Menge im Aufwuchs bestimmt. Der Trockenmasseertrag betrug nur 10 - 14 dt/ha (außer 22 dt/ha bei Rübren), bei N-Gehalten

zwischen 3 und 5%. Die N-Menge im Sproß war bei Rübsen mit 89 kg N/ha am höchsten (Abb. 3.1.7), was auf die höhere Wachstums- und N-Aufnahmerate zurückzuführen ist (Abb. 3.1.4).

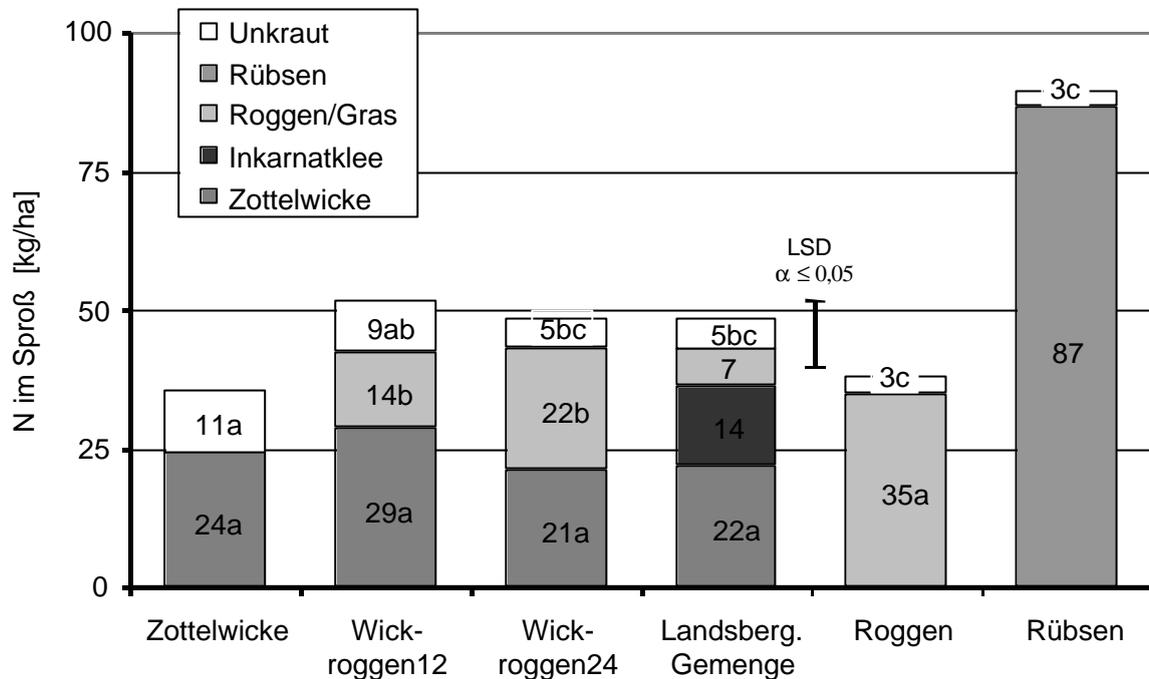


Abb. 3.1.7: Stickstoffmenge im Sproß zum Mulch- bzw. Erntetermin am 26. Okt. 2001 Standort Wiesengut (Werte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant nach LSD $\alpha = 0,05$, dabei werden nur Werte der gleichen Gemengefraktion verglichen, für Inkarnatklee, Gras und Rübsen keine Auswertung, Grenzdifferenzbalken für Sproß gesamt)

Die Gemenge aus Roggen und Wicken wiesen zu diesem Zeitpunkt gegenüber der Reinsaat von Wicken höhere N-Mengen im Sproß und geringere N_{\min} -Mengen im Boden auf. Allerdings korrespondierten die mit zunehmendem Roggenanteil abgestuften N_{\min} -Mengen im Boden nicht gleichermaßen mit den N-Mengen im Sproß. Im Vergleich zu 'Wickroggen12' wiesen das 'Wickroggen24' und die 'Roggenreinsaat' eine fast gleich hohe bzw. geringere N-Menge im Sproß auf.

Im Vergleich zur N_{\min} -Menge unter Brache von 99 kg N_{\min} -N/ha war die Summe aus N_{\min} im Boden und N im Sproß bei den Varianten mit Wicke höher (110 - 125 kg N/ha). Mit 106 kg N/ha kamen Rübsen der N_{\min} -Menge unter Brache nahe, während 'Roggen' mit 78 kg N/ha als einzige Variante weniger N in Summe im Vergleich zu 'Brache' aufwies. Eventuell wurde unter der Brache bereits geringfügig N_{\min} aus dem Boden ausgewaschen, was in den Varianten mit Wicken durch bereits aktive symbiotische N_2 -Fixierung maskiert wurde.

Wenige Wochen später, nach ergiebigen Niederschlägen im November, wurden am **10. Dez. 2001** geringere N_{\min} -Mengen im Boden gemessen (Abb. 3.1.8). Unter Roggenreinsaat,

Wickroggen24 und Brache waren 9, 23 und 23 kg N_{\min} -N/ha weniger in 0 - 90 cm Bodentiefe vorhanden. Unter Landsberger Gemenge, Wickenreinsaat und Wickroggen12 betrug die Differenz zwischen den beiden Beprobungsterminen 35, 40 und 40 kg N/ha.

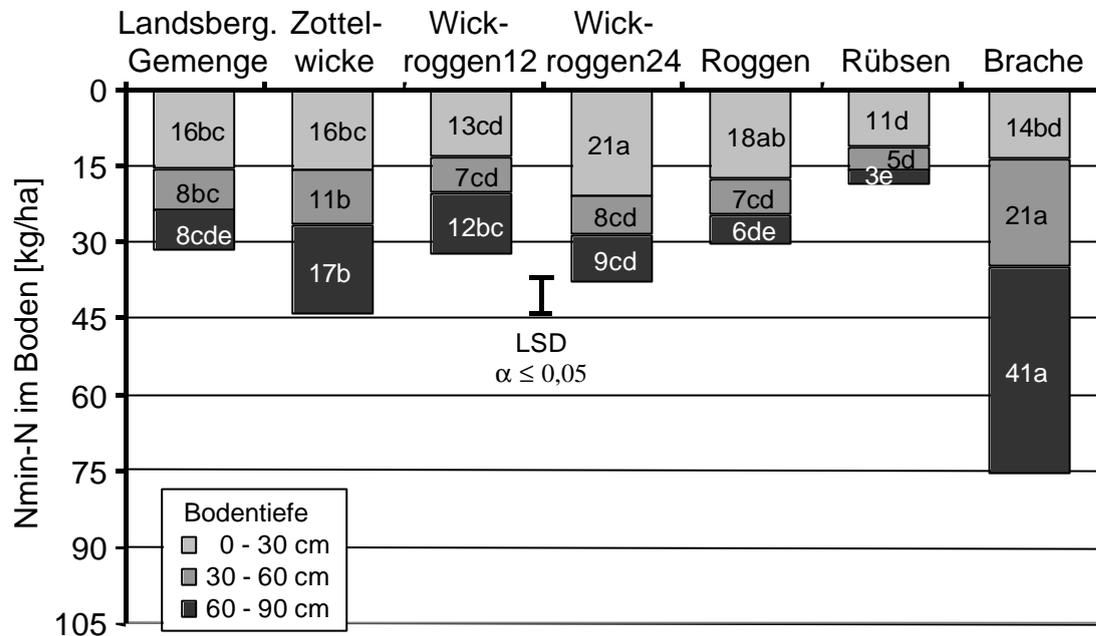


Abb. 3.1.8: N_{\min} -Mengen im Boden am 10. Dez. 2001 am Standort Wiesengut (Werte mit verschiedenen Buchstaben einer Bodentiefe unterscheiden sich signifikant nach LSD $\alpha = 0,05$, Grenzdifferenzbalken für 0 - 90 cm Tiefe gesamt)

Am **28. Feb. 2002**, vor Beginn der Vegetationsperiode, wurden unter allen Zwischenfrüchten bei geringer Abweichung im Mittel ohne Brache 14 kg N_{\min} -N/ha in der Bodentiefe bis 90 cm gemessen. Unter Rübsen, Wickroggen12 und Landsberger Gemenge waren nur 2, 7 bzw. 11 kg N_{\min} -N/ha weniger bezogen auf 10. Dez. 2001 festzustellen gegenüber 19, 21 und 23 kg N_{\min} -N/ha unter Roggen, Wickroggen24 und Wickenreinsaat. Unter Brache (39 kg N_{\min} -N/ha) waren 37 kg N_{\min} -N/ha weniger vorhanden.

Im zweiten Versuchsjahr wurde am **13. Nov. 2002** am **Standort Wiesengut** für die überwiegend gleichen Varianten eine ähnliche Abfolge der N_{\min} -Minderung im Boden festgestellt bei allerdings gegenüber dem Vorjahr geringen Mengen und Unterschieden (Abb. 3.1.9). Gegenüber Brache wurden unter Roggen um 65 kg N_{\min} -N/ha und unter Wicke in Reinsaat und im Gemenge um 46 bzw. 51 kg N_{\min} -N/ha geringere N_{\min} -Mengen in Summe bis 90 cm Tiefe gemessen. Auffällig war die vergleichsweise hohe N_{\min} -Menge unter Welschem Weidelgras in Reinsaat, vor allem in den beiden unteren Bodenschichten. Zu diesem Termin betrug die N-Menge im Sproß der untersuchten Varianten 'Wickenreinsaat' und 'Wick-

roggen12' 42 bzw. 44 kg N/ha, wobei der Roggen im Gemenge nur 2 kg N/ha aufgenommen hatte.

Nach dem Winter wurde am **12. Feb. 2003** bis auf die Varianten 'Gras' und 'Brache' (24 bzw. 45 kg N_{min} -N/ha weniger) keine wesentliche Änderung der N_{min} -Mengen im Boden gegenüber dem 13. Nov. 2002 festgestellt. Die N_{min} -Menge war am geringsten unter Roggenreinsaat (17 kg N_{min} -N/ha) und am höchsten unter Brache und Landsberger Gemenge (beide 37 kg N_{min} -N/ha). Unter den weiteren Varianten wurden 30 - 32 kg N_{min} -N/ha festgestellt.

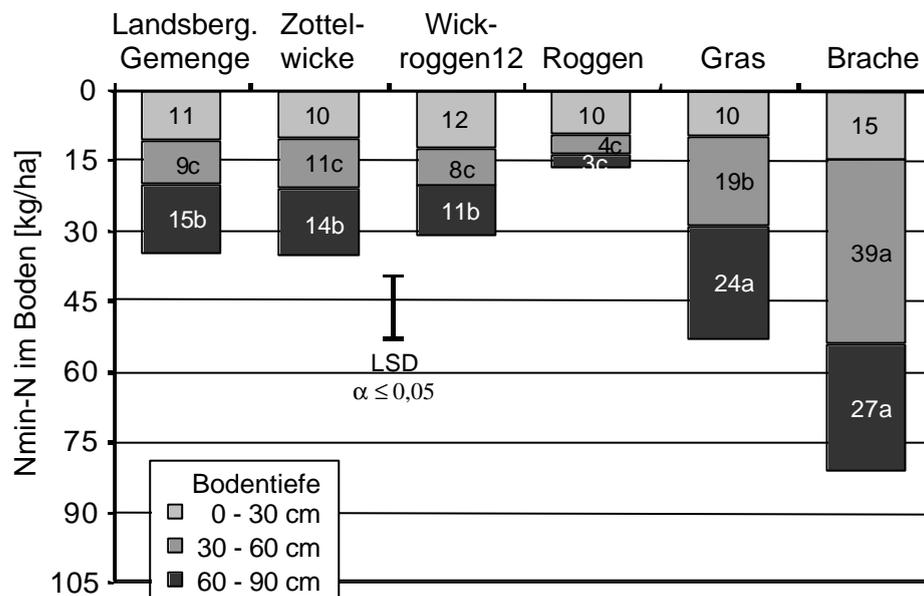


Abb. 3.1.9: N_{min} -Mengen im Boden am 13. Nov. 2002 am Standort Wiesengut (Werte mit verschiedenen Buchstaben einer Bodentiefe unterscheiden sich signifikant nach LSD $\alpha = 0,05$, Grenzdifferenzbalken für 0 - 90 cm Tiefe gesamt)

Auf dem **Standort 'S'** wurden am **13. Nov. 2002** bis 90 cm Bodentiefe eine N_{min} -Menge von durchschnittlich 123 kg N_{min} -N/ha ohne signifikante Differenzierung der Varianten gemessen. Die Spannweite zwischen den Varianten 'Gras' und 'Wickroggen12' reichte dabei von 114 bis 134 kg N_{min} -N/ha. Die spät gesäten Zwischenfruchtbestände (Kap. 2.1, Tab. 2.2) waren sehr schwach entwickelt. Die bereits vor Winter starke Verunkrautung, die auch noch zur Zwischenfruchternte festzustellen war (Kap. 3.1.1, Abb. 3.1.3), überdeckte den Einfluß der Zwischenfruchtart. Am **12. Feb. 2003** wurde im Mittel eine N_{min} -Menge von 59 kg N_{min} -N/ha bei einer Spannweite zwischen den Varianten 'Gras' und 'Brache' von 53 - 65 kg N_{min} -N/ha und ebenfalls ohne signifikante Differenzierung gemessen. Die Differenz zwischen den beiden Beprobungsterminen betrug im Mittel 64 kg N_{min} -N/ha.

Am **Standort 'W'** wurden am **29. Okt. 2002** unter den Varianten 'Gras', 'Wickenreinsaat' und 'Brache' in Summe bis 90 cm Bodentiefe geringe N_{\min} -Mengen von 15, 20 und 28 kg N_{\min} -N/ha gemessen. Dabei wurde Nitrat nur unter der Brache in 30 bis 90 cm Bodentiefe in Höhe von 19 kg N/ha festgestellt. Der Versuch war zu diesem Zeitpunkt stark verunkrautet, und vor allem Inkarnatklee in Reinsaat wies starken Mäusebefall auf, so daß der Versuch zunächst aufgegeben werden sollte. In der Variante 'Wickenreinsaat' waren Ertrag und N-Menge im Sproß des Unkrauts (16,8 dt TM/ha, 54,1 kg N/ha) wesentlich höher als bei Wicke (6,8 dt TM/ha, 34,7 kg N/ha). Die Unkräuter hatten größere Mengen an N aufgenommen. Am 13. Februar 2003 waren die N_{\min} -Mengen im Boden gegenüber dem Vorwintertermin unter allen Varianten höher (Gras 31, Wickenreinsaat 48 und Brache 50 kg N_{\min} -N/ha). Von den im Herbst dominierenden Unkrautarten Franzosenkraut, Hirtentäschel und Ackersenf war nur noch die Vogelmiere im Frühjahr vorhanden. Die im Frühjahr höheren N_{\min} -Mengen im Boden können deshalb auf abgestorbene und bereits mineralisierte Unkräuter zurückgeführt werden, wie dies HAAS et al. (1998, S. 87-88) ebenfalls im Rheinland bei milder Winterwitterung für abgestorbene Zwischenfrucht Senf nachweisen konnten.

Fazit N_{\min} im Boden unter Zwischenfrucht über Winter

Die Zwischenfruchtbestände konnten im Vergleich zu Brache die N_{\min} -Mengen im Boden bis 90 cm Tiefe vor Winter um bis zu 50 bis 80 kg N/ha reduzieren. Im Sproß aufgenommenen Stickstoff wurden vor Winter etwa 40 bis 90 kg N/ha gebunden. Der Minderungseffekt im Boden war im Gemenge gegenüber der Reinsaat Wicke höher und unter Rübsen und Roggenreinsaat am höchsten.



3.2 Nachfrucht

Der Verlauf von Umsetzung und Mineralisierung der gemulchten Sproßmasse und/oder der Ernte- und Wurzelreste wurde, beginnend jeweils mit einer Bodenbeprobung bis 90 cm Tiefe zum Mulch- bzw. Erntetermin, anhand der Nitrat- und Ammoniumgehalte (N_{\min}) im Oberboden (Pflughorizont) untersucht (Kap. 3.2.1). Die Bodenbeprobung wurde nach Saat bzw. Pflanzung der Nachfrucht zumeist in 14-tägigen Abständen bis etwa zum Bestandesschluß durchgeführt. Nachdem zunächst ein Anstieg bis zu einem maximalen N_{\min} -Wert im Boden gemessen wurde, waren abfallende N_{\min} -Mengen festzustellen. Zurückgehende N_{\min} -Mengen im Boden waren auf die N-Aufnahme der aufwachsenden Nachfrucht zurückzuführen. Die bis zum Abschluß der N_{\min} -Bodenuntersuchungen aufgenommenen N-Mengen im Sproß der Nachfrucht werden in den nachfolgenden Kapiteln 3.2.2 und 3.2.3 vorgestellt.

3.2.1 Stickstoffmineralisierung im Boden nach Umbruch der Zwischenfrucht

Die Ergebnisse der Bodenuntersuchungen ab dem Umbruch der Zwischenfrucht werden im Gegensatz zu Kapitel 3.1. nachfolgend in der Reihenfolge der Standorte 'W', 'S' und 'Wiesengut' dargestellt.

Standort 'W' - Nachfrucht Weißkohl

Der Wickenbestand am **Standort 'W'** wurde im ersten Versuchsjahr am 4. Juni **2002** gemulcht bzw. beerntet und beprobt. Zu diesem Termin wurden unter Brache und unter Wickenreinsaat 44 bzw. 33 kg N_{\min} -N/ha bis 95 cm Bodentiefe signifikant verschiedene Mengen gemessen, von diesen lagen 18 bzw. 16 kg N_{\min} -N/ha im A_p -Horizont vor.

Die N-Menge im Sproß von Wicken und Unkraut betrug zusammen 136 kg N/ha (Kap. 3.1.1: Tab. 3.1). Diese Menge verblieb in der Variante 'Wicke gemulcht' auf dem Feld. In der Variante 'Wicke geerntet' wurde der Aufwuchs abtransportiert und der Variante 'Brache plus Mulch' zugeführt. Eine zweifache Zufuhr von Wickensproßmasse (272 kg N/ha) erhielt die Variante 'Wicke - zweifach Mulch'.

Bereits zwei Wochen später, am 17. Juni, war in allen Varianten ein steiler Anstieg der N_{\min} -Menge im A_p -Horizont festzustellen (Abb. 3.2.1). Unter der Variante 'Brache' wurden 50 kg N_{\min} -N/ha gemessen. Abzüglich der 18 kg N_{\min} -N/ha, die am 4. Juni festgestellt wurden, wurden demnach 32 kg N_{\min} -N/ha aus dem Bodenvorrat mineralisiert. Die Ernte- und Wurzelrückstände der Variante 'Wicke geerntet' bewirkten, wie auch an den Folgeterminen, im Vergleich mit der Variante 'Brache' geringfügig höhere N_{\min} -Mengen im Boden.

Die wesentliche N-Wirkung der Zwischenfrucht resultierte aus der Sproßmasse. Bereits am 17. Juni war gegenüber 'Wicke geerntet' im Boden unter der Variante 'Wicke gemulcht' eine

maximale N_{\min} -Menge von 121 kg N_{\min} -N/ha erreicht. Die Differenz zwischen beiden Varianten in Höhe von 61 kg N_{\min} -N/ha entsprach etwa 45% der mit der Sproßmasse eingearbeiteten 136 kg N/ha.

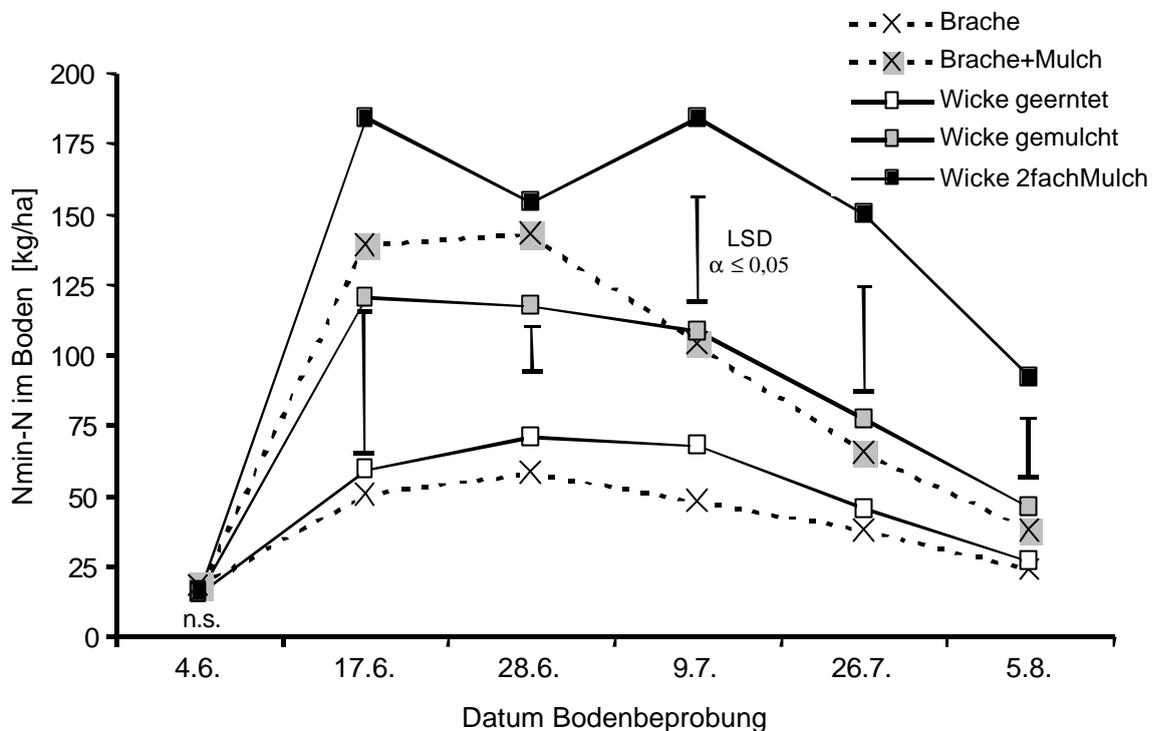


Abb. 3.2.1: Einfluß der Winterzwischenfrucht Zottelwicken und des Nutzungsverfahrens (Ernte/ Mulch) auf die N_{\min} -Menge im Boden (0-35 cm Tiefe) nach Umbruch unter Nachfrucht Weißkohl am Standort 'W' Jahr 2002 (am 5.6. Zwischenfrucht gemulcht & eingefräst, 8. 6. gepflügt, 17.6. Weißkohl gepflanzt)

Die Variante 'Brache plus Mulch' wies gegenüber 'Wicke gemulcht' zu Beginn höhere und zu den späteren Terminen leicht geringere N_{\min} -Mengen im Boden auf. Einen steilen Anstieg der N_{\min} -Gehalte im Boden wies die Variante 'Wicke - zweifach Mulch' auf. Abzüglich der N_{\min} -Menge der Variante 'Wicke geerntet' konnte auch bei dieser Variante 46% der mit der Sproßmasse zugeführten N-Menge rechnerisch wiedergefunden werden. Am 17. Juni traten unter der Variante 'Wicke - zweifach Mulch' auffallend hohe Ammoniummengen von 52 kg NH_4 -N/ha auf (bereits bei der Beprobung war ein unangenehmer Geruch des Bodens bemerkbar), während die weiteren Varianten 17 - 27 kg NH_4 -N/ha aufwiesen. Die hohen N-Mengen in der Sproßmasse konnten kurzzeitig nicht gleich zu Nitrat umgesetzt werden. Ab dem 28. Juni lag in allen Varianten die Ammoniummenge wieder unter 9 kg NH_4 -N/ha. Aufgrund der starken Schwankungen im Ammoniumgehalt des Bodens wurde trotz kontinuierlich ansteigender Nitratgehalte unter 'Wicke zweifach Mulch' am 28. Juni eine im Vergleich zum

vorhergehenden Beprobungstermin abgesunkene N_{\min} -Menge festgestellt, die nachfolgend bis zum 9. Juli erneut auf den maximalen Wert von 184 kg N_{\min} -N/ha anstieg.

Im zweiten Versuchsjahr **2003** am **Standort 'W'** war eine deutlich später ansteigende und nur max. 60 kg N_{\min} -N/ha erreichende mineralisierte Stickstoffmenge im Boden festzustellen (Abb. 3.2.2), obwohl mit 178 kg N/ha in der Sproßmasse der Wickenreinsaat gegenüber 136 kg N/ha im Vorjahr eine höhere N-Menge in den Boden eingearbeitet wurde.

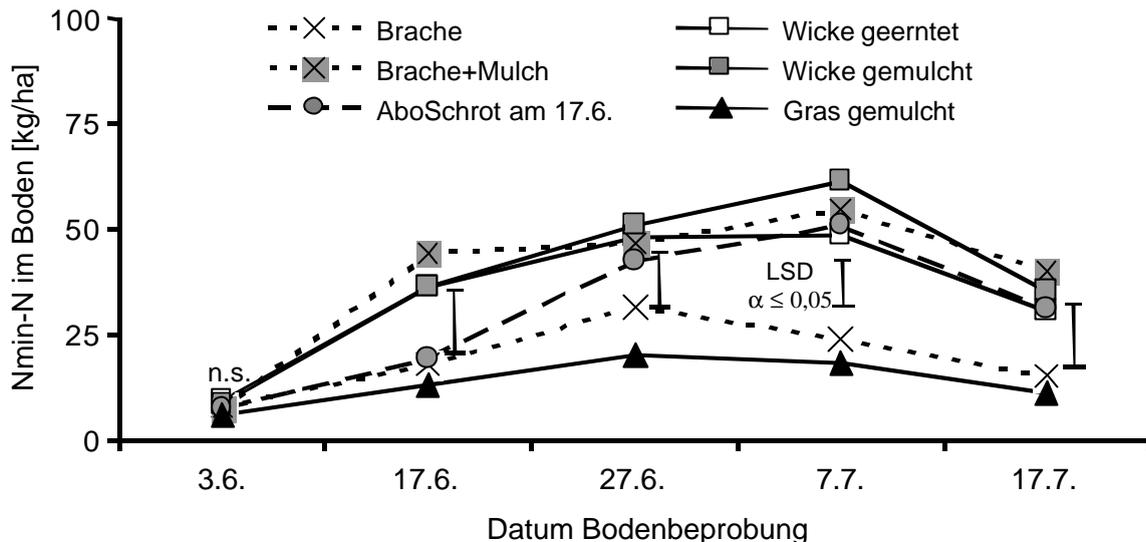


Abb. 3.2.2: Einfluß von Art und Nutzungsverfahren (Ernte/Mulch) der Winterzwischenfrucht auf die N_{\min} -Menge im Boden (0-35 cm Tiefe) nach Umbruch unter Nachfrucht Weißkohl im Jahr 2003 am Standort 'W' (am 12.6. Zwischenfrucht gemulcht und gepflügt, 13.6. Weißkohl gepflanzt)

Zwar lag der Mulch- und Pflugtermin am 12. Juni im Vergleich zum Vorjahr etwas später, dafür fand aber die Pflanzung am 13. Juni früher statt (vgl. Kap. 2.1: Tab. 2.2). Die N_{\min} -Mengen bis 95 cm Bodentiefe unterschieden sich am 3. Juni mit 34 kg N_{\min} -N/ha unter Brache zu 20 kg N_{\min} -N/ha unter Wicken und 15 kg N_{\min} -N/ha unter Grasreinsaat nur geringfügig. Davon lagen im A_p -Horizont unter Brache, Wicke und Gras 8, 9 bzw. 6 kg N_{\min} -N/ha vor.

Aufgrund der höheren N-Menge im Sproß der Zwischenfrucht Wicke wurde in diesem Jahr nicht wie im Vorjahr eine Variante mit zweifacher Mulchmenge untersucht. Stattdessen wurde als Referenz die Reinsaat von Welschem Weidelgras und, auf Wunsch des Betriebsleiters, die Variante 'Ackerbohenschrot nach Brache' untersucht. Am 17. Juni wurden entsprechend der N-Menge im Wickenaufwuchs 170 kg N/ha in Form von Ackerbohenschrot auf die Bodenoberfläche appliziert (N-Gehalt 4,85%). Im Zuge nachfolgender mechanischer Unkrautkontrolle (v.a. Hacken) wurde das Schrot in die obere Bodenschicht eingearbeitet. Bis

zum 27. Juni war nachfolgend ein Anstieg der N_{\min} -Werte festzustellen, der aber maximal die N_{\min} -Mengen der abgeernteten Wickenvariante erreichte (Abb. 3.2.2).

Die Variante 'Brache plus Mulch' wies, ähnlich wie im Vorjahr, vergleichbar hohe N_{\min} -Mengen im Boden auf wie die Variante 'Wicke gemulcht'. Auch die Varianten 'Wicke gemulcht' und 'Wicke geerntet' unterschieden sich im Jahr 2003 bis auf den 7. Juli (Differenz 10 kg N_{\min} -N/ha) nicht. Die N-Freisetzung aus der gemulchten Sproßmasse dürfte durch die trocken warme Witterung gehemmt gewesen sein. Der Juni war zeitweise heiß und niederschlagsarm (8 mm), nach bereits im Frühjahr defizitärer Wasserbilanz (vgl. Kap. 2.4). Am 21. Juni wurde der Bestand einmalig in diesem Monat mit nur 10 mm beregnet, da die Beregnungskapazitäten des Betriebes begrenzt waren und die jungen Kohlpflanzen erst tiefere Bodenschichten durchwurzeln sollten.

Die relative Bodenfeuchte im A_p -Horizont betrug, bezogen auf die abgeschätzte Feldkapazität (Bodenfeuchte 16,6 Massen-% = 100% am 13. Feb. 2003), in allen Varianten außer Gras mit sehr geringer Streuung zu den Terminen ab dem 3. Juni bis zum 17. Juli 76%, 69%, 69%, 78% und 57%. Im Vorjahr wurden demgegenüber ab dem Pflanztermin im Mittel über alle Termine 85% relative Bodenfeuchte (Spannweite 77 - 91%, bezogen auf die Bodenfeuchte am 29.10.2002 (13,9 Massen-%) gemessen.

Standort 'S' - Nachfrucht Mais

Am **Standort 'S'** war im **Jahr 2002** bei nur 71 kg N/ha im Wickroggenaufwuchs die N-Mineralisierung im Vergleich zu den Standorten 'W' (Abb. 3.2.1) und 'Wiesengut' (Abb. 3.2.5) im selben Jahr deutlich geringer (Abb. 3.2.3). Die mit 142 kg/ha Stickstoff aus der Sproßmasse versorgte Variante 'Wickroggen - zweifach Mulch' wies am 26. Juni erwartungsgemäß die höchsten N_{\min} -Mengen im Boden auf. Durchgehend am niedrigsten waren die N_{\min} -Mengen unter der Variante 'Wicken geerntet', wenngleich die Differenzierung der Varianten zumeist gering ausfiel. Dabei waren die N_{\min} -Mengen unter Brache gegenüber Wickroggen am 8. Mai bis 95 cm Bodentiefe deutlich höher (49 statt 18 kg N_{\min} -N/ha, im A_p -Horizont/Krume 21 statt 9 kg N_{\min} -N/ha).

Im Folgejahr **2003** wurde am **Standort 'S'** mit 170 bis fast 200 kg N/ha wesentlich mehr Stickstoff im Sproß gebunden, davon allerdings fast die Hälfte durch den Unkrautaufwuchs (Kap. 3.1.1: Abb. 3.1.3). Die mineralisierten N-Mengen im Boden erreichten trotzdem nur maximal 125 kg N_{\min} -N/ha am 24. Juni. Gleichwohl war dies immerhin doppelt so viel wie die Mengen, die im Jahr 2003 auf den anderen Standorten erreicht wurden. Beginnend mit dem 29. Mai war auch an diesem Standort zu den Beprobungsterminen ein kontinuierlicher Rückgang der Bodenfeuchtegehalte festzustellen, die relativ bezogen auf die abgeschätzte Feldkapazität (Bodenfeuchte 23,8 Massen-% = 100% am 12. Feb. 2003) von 86% auf 83%, 73%, 66%, 61% und schließlich 45% am 22. Juli absank.

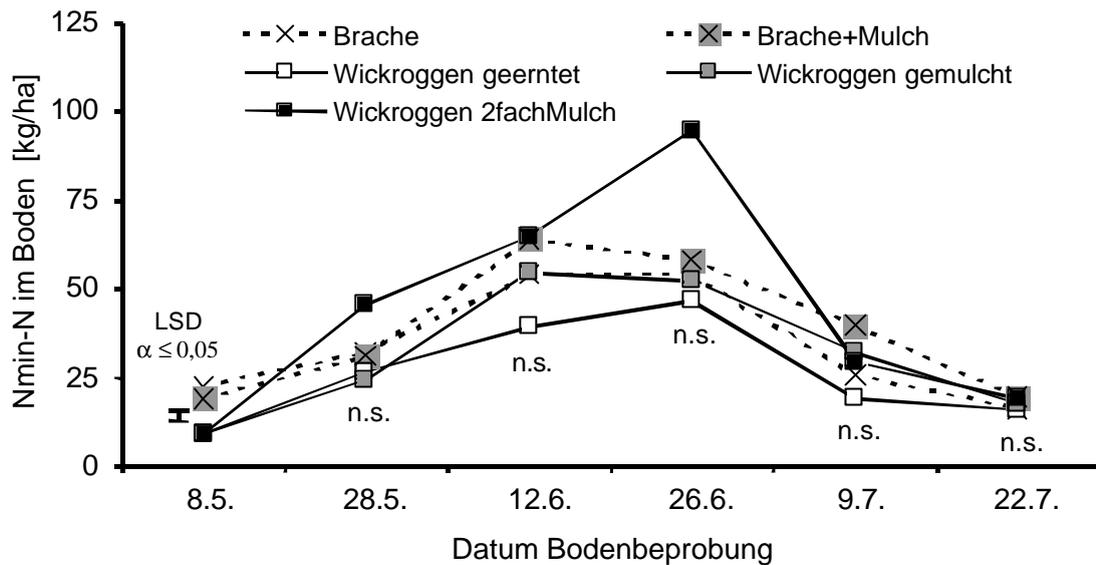


Abb. 3.2.3: Einfluß von Wickroggen und Nutzungsverfahren (Ernte/ Mulch) auf die N_{min} -Menge im Boden (0-30 cm Tiefe) nach Umbruch unter Nachfrucht Mais im Jahr 2002 am Standort 'S' (8.5. Zwischenfrucht gemulcht, 11.5. Pflug, 17.5. Maissaat)

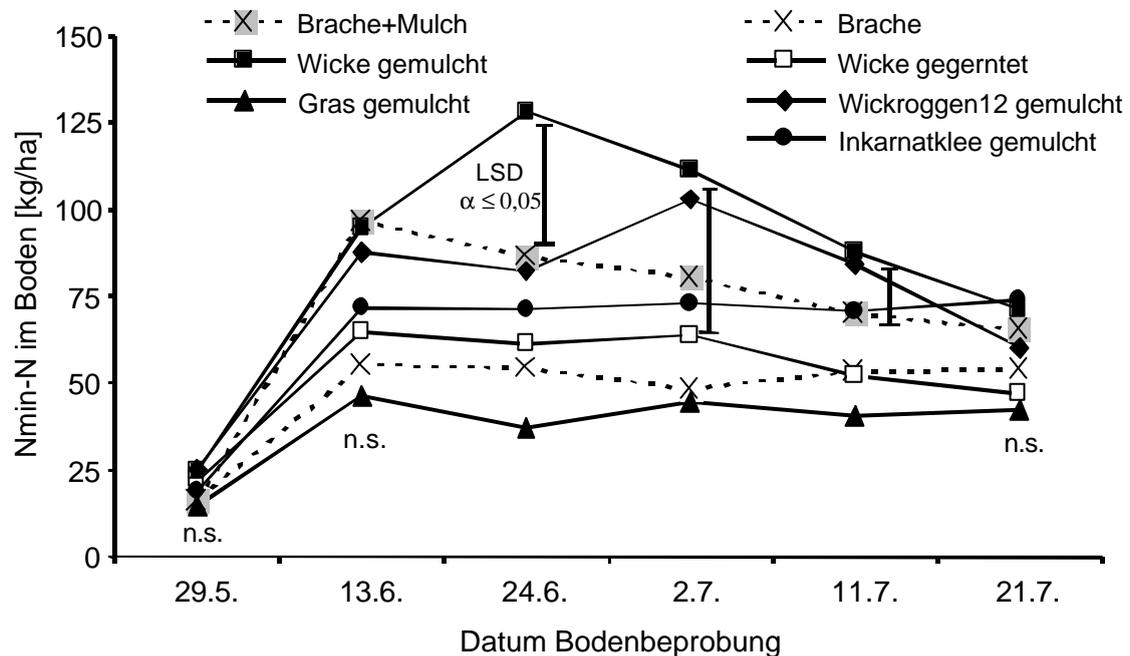


Abb. 3.2.4: Einfluß von Art und Nutzungsverfahren (Ernte/Mulch) der Winterzwischenfrucht auf die N_{min} -Menge im Boden (0-30 cm Tiefe) nach Umbruch unter Nachfrucht Mais im Jahr 2003 am Standort 'S' (am 13.5. Zwischenfrucht gemulcht und gepflügt, 16.5. Maissaat)

Zwischen gleichen Varianten wurden überwiegend ähnliche Abstufungen festgestellt wie am Standort 'W' im selben Jahr. 'Gras gemulcht' wies durchgehend die geringsten N_{\min} -Mengen auf. Nur geringfügig höher lagen die N_{\min} -Mengen unter 'Brache' und etwas höher unter 'Wicke geerntet'. Die höchsten N_{\min} -Werte wurden durchgehend unter 'Wicke gemulcht' gemessen. Die Differenz betrug dabei zeitweise 50 - 60 kg N_{\min} -N/ha. Auffällig sind demgegenüber die unter Inkarnatklee ab dem zweiten Beprobungstermin geringeren N_{\min} -Mengen, die auf durchgehend gleichem Niveau blieben und von 'Wickroggen' übertroffen wurden.

Anhand der Mineralisierungsparameter (Kap. 3.1.2) ist die geringere N_{\min} -Freisetzung unter Inkarnatklee nicht interpretierbar und wurde am Standort Wiesengut in beiden Jahren nicht bestätigt (Abb. 3.2.5 & 3.2.6). Die Tatsache, daß der maximale N_{\min} -Wert unter Wickroggen erst am 2. Juli, also später als bei der Variante 'Wicke gemulcht' erreicht wurde, kann aber auf den geringeren N-Gehalt und das weitere C/N-Verhältnis des Wickroggengemenges zurückgeführt werden.

Standort 'Wiesengut' - Nachfrucht Mais

Die Ergebnisse der Versuche am **Standort Wiesengut** wurden zweifaktoriell verrechnet und jeweils getrennt als Mittelwert der Zwischenfruchtart bzw. -gemenges und als Mittelwert aller gemulchten bzw. geernteten Varianten abgebildet. Im Mittel der gemulchten Varianten (ohne Reinsaat Roggen) war im **Jahr 2002** ein kontinuierlicher Anstieg der N_{\min} -Mengen im Boden bis auf 122 kg N_{\min} -N/ha am 25. Juni festzustellen (Abb. 3.2.5).

Die gemulchten Reinsaaten Inkarnatklee und Zottelwicken wiesen zu diesem Termin 165 bzw. 151 kg N_{\min} -N/ha gegenüber 104 bzw. 100 kg N_{\min} -N/ha unter 'Brache plus Wickenmulch' und 'Landsberger Gemenge gemulcht' auf. Der auch am Standort 'S' im gleichen Jahr 2002 festgestellte Unterschied zwischen den Varianten Mulch und Ernte war signifikant und betrug ohne Roggenreinsaat bis zu 53 kg N_{\min} -N/ha (Abb. 3.2.5). Die N_{\min} -Werte unter 'Roggenreinsaat' waren, unabhängig davon, ob der Roggenbestand gemulcht oder beerntet wurde, weitgehend gleich.

Im Mittel der Nutzungsverfahren Ernte und Mulch wurde am 25. Juni nach den Leguminosenreinsaaten mit 125 kg N_{\min} -N/ha die höchste N-Menge im Boden mineralisiert, während nach den Gemengen und der Brache um 50 kg N/ha signifikant geringere Mengen nachgewiesen wurden (Abb. 3.2.6).

Die Ausgangsmengen im Boden bis 90 cm Tiefe betragen unter Brache und im Mittel der Zwischenfruchtvarianten 51 und 28 kg N_{\min} -N/ha, davon 20 bzw. 17 kg N_{\min} -N/ha im A_p -Horizont/Krume. Die relative Bodenfeuchte betrug ab dem 14. Mai im Mittel 86% (Spannweite 79 - 95%, bezogen auf die Bodenfeuchte am 30. Okt. 2001 (19,4 Massen-%)).

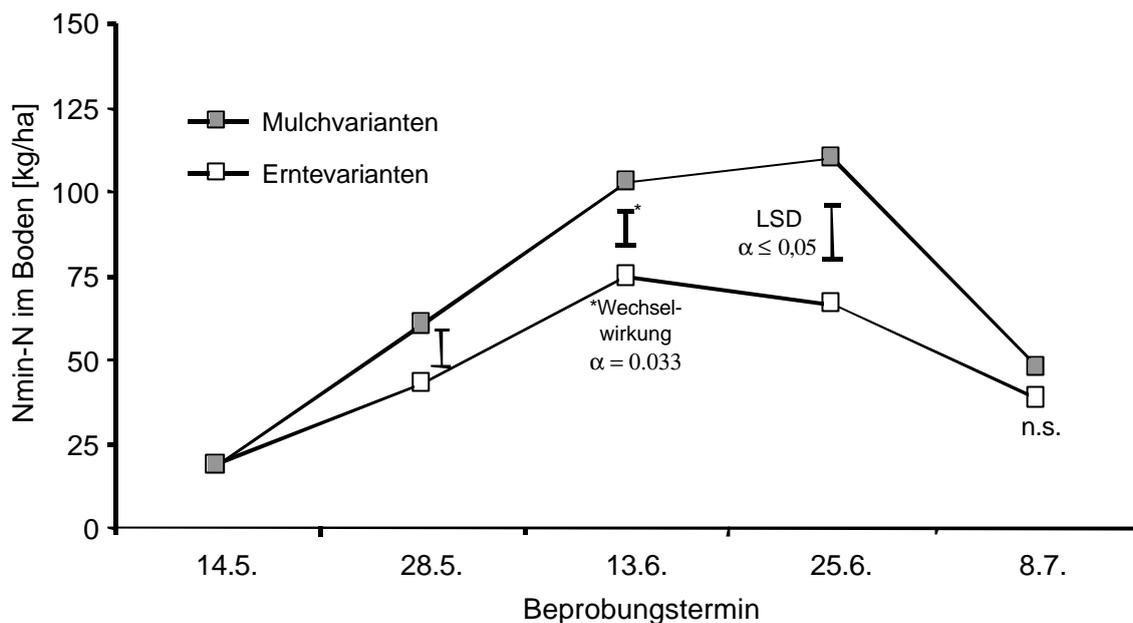


Abb. 3.2.5: Einfluß des Nutzungsverfahrens (Ernte/Mulch) der Winterzwischenfrucht auf die N_{\min} -Menge im Boden (0-30 cm Tiefe) nach Umbruch unter Nachfrucht Mais im Jahr 2002 am Standort Wiesengut (14.5. Zwischenfrucht gemulcht, 15.5. gepflügt, 17.5. Mais gesät)

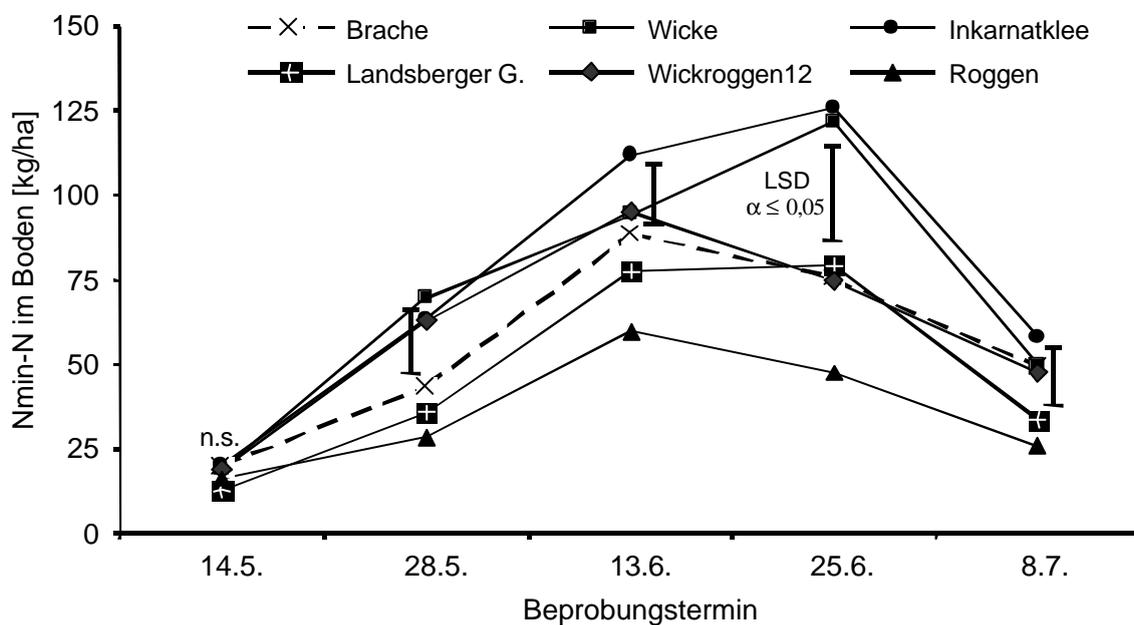


Abb. 3.2.6: Einfluß von Winterzwischenfruchtart auf die N_{\min} -Menge im Boden (0-30 cm Tiefe) nach Umbruch unter Nachfrucht Mais im Jahr 2002 am Standort Wiesengut (14.5. Zwischenfrucht gemulcht, 15.5. gepflügt, 17.5. Mais gesät)

Im Versuchsjahr 2003 war am **Wiesengut** wie auf den Praxisstandorten trotz hoher N -Mengen im Sproß der Zwischenfrüchte kein gleich hoher Anstieg der N_{\min} -Gehalte im Boden

wie im Vorjahr festzustellen (Abb. 3.2.7 & 3.2.8). Der Unterschied zwischen den Nutzungsverfahren 'gemulcht' und 'beerntet' war deutlich geringer als im Vorjahr (Abb. 3.2.7).

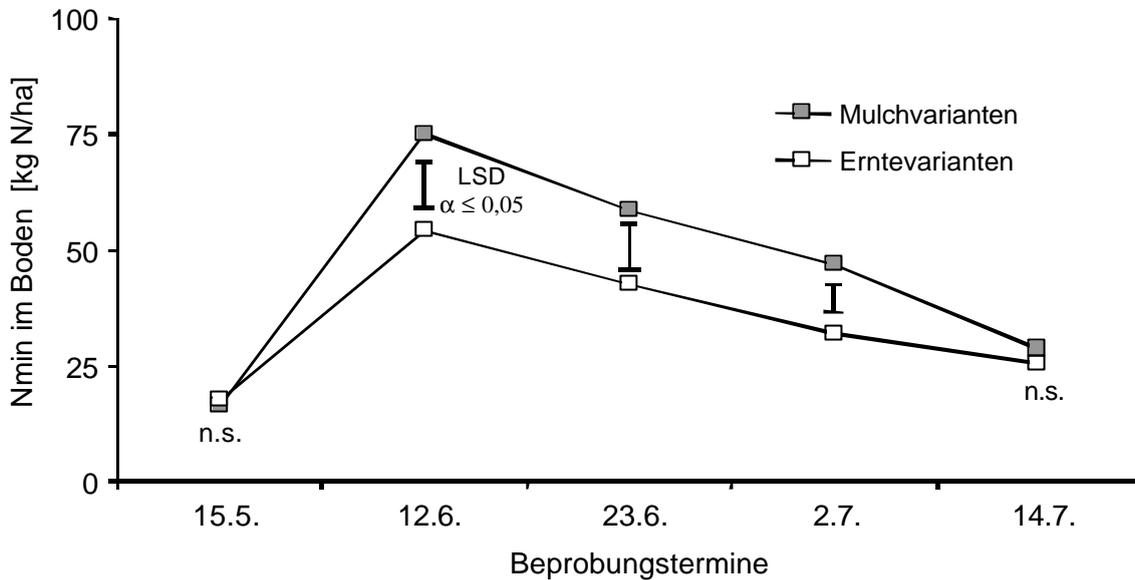


Abb. 3.2.7: Einfluß des Nutzungsverfahrens (Ernte/Mulch) der Winterzwischenfrucht auf die N_{min}-Menge im Boden (0-30 cm Tiefe) nach Umbruch unter Nachfrucht Mais im Jahr 2003 am Standort Wiesengut (15.5. Zwischenfrucht gemulcht, geerntet und gepflügt, 16.5. Mais gesät)

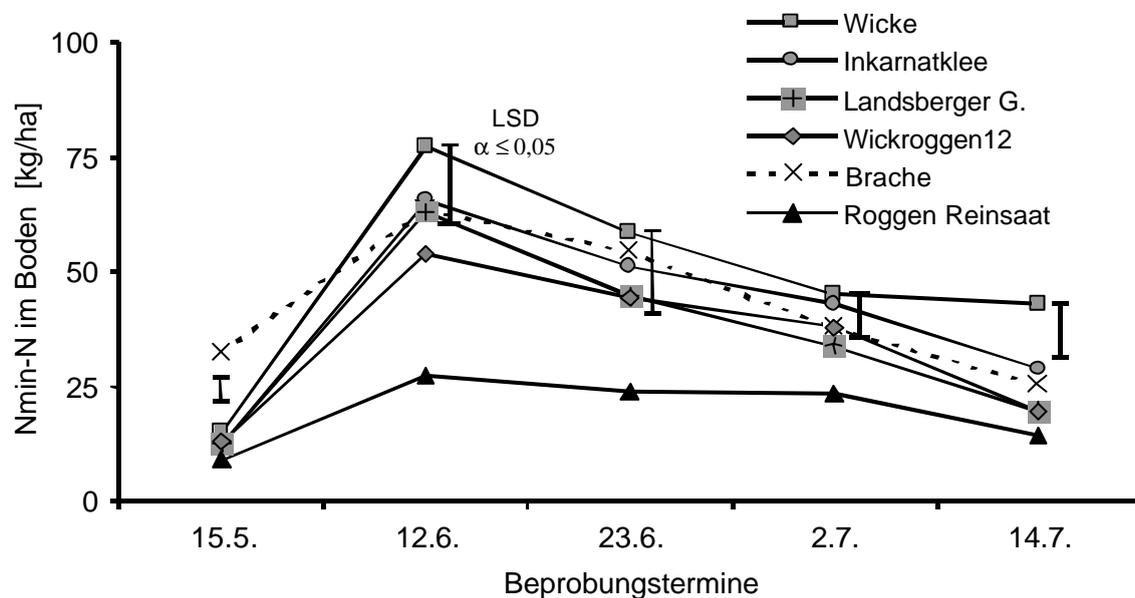


Abb. 3.2.8: Einfluß der Winterzwischenfruchtart auf die N_{min}-Menge im Boden (0-30 cm Tiefe) nach Umbruch unter Nachfrucht Mais im Jahr 2003 am Standort Wiesengut (15.5. Zwischenfrucht gemulcht, geerntet und gepflügt, 16.5. Mais gesät)

Auch die Unterschiede zwischen den Zwischenfruchtarten bzw. -gemengen waren mit maximal 23 kg N_{\min} -N/ha zwischen Wickenreinsaat und Wickroggen am 12. Juni und am 14. Juli gering (Abb. 3.2.8). Die N_{\min} -Mengen unter der nicht dargestellten Variante 'Reinsaat Gras gemulcht' waren gleich hoch wie unter 'Reinsaat Roggen'.

Am 15. Mai waren bis 90 cm Bodentiefe im Mittel unter Brache und Zwischenfrucht 60 und 27 kg N_{\min} -N/ha vorhanden, davon 32 bzw. 12 kg N_{\min} -N/ha im A_p -Horizont. Auch am Wiesengut ging, bezogen auf die abgeschätzte Feldkapazität (Bodenfeuchte 19,1 Massen-% = 100% am 12. Feb. 2003), die relative Bodenfeuchte von 74%, 81% nachfolgend auf 62%, 55% und 44% am 14. Juli deutlich zurück.



Fazit Stickstoffmineralisierung im Boden nach Umbruch

Nach dem Umbruch gemulchter Zwischenfruchtbestände wurden innerhalb weniger Tage bis Wochen N_{\min} -Mengen mehrfach über 100 kg N/ha im Oberboden mineralisiert (Spannweite 50 bis 180 kg N_{\min} -N). Nach gemulchter Zwischenfrucht wurden höhere N_{\min} -Mengen im Boden festgestellt als nach beernteter Zwischenfrucht oder Brache.

Im Vergleich zur Brache ohne Mulchzufuhr wiesen die beernteten Varianten zumeist nur geringfügig höhere N_{\min} -Mengen im Boden auf. Die in den Ernte- und Wurzelrückständen kurzfristig mineralisierbare N-Menge ist demnach gering. Wesentlich ist der im Sproß gebundene Stickstoff. Mulchnutzung ist mit dem Ziel hoher N_{\min} -Mengen im Boden nach Umbruch der Zwischenfrucht einer Beerntung vorzuziehen.

Nach Brache ohne Mulchzufuhr und nach den beernteten Varianten wurden im Boden N_{\min} -Mengen zwischen 50 und 75 kg N/ha mineralisiert. Der organische gebundene Stickstoff im Boden trug damit wesentlich zur N-Versorgung der Nachfrüchte bei.

Wie anhand der hohen N-Gehalte und des engen C/N-Verhältnisses abzuleiten war (vgl. Kap. 3.1.2), wurden nach Zottelwicken im Vergleich zu weiteren Zwischenfruchtarten bzw. -gemengen zumeist die höchsten N_{\min} -Mengen und der schnellste Anstieg der N_{\min} -Gehalte im Boden nach dem Umbruch festgestellt. Auch die höheren N_{\min} -Gehalte im Boden nach dem Umbruch von Leguminosenreinsaaten im Vergleich zu denen nach Gemengen können auf die geringeren N-Gehalten und weiteren C/N-Verhältnisse der Gemengefraktionen Roggen bzw. Welsches Weidelgras zurückgeführt werden.

Im ersten Versuchsjahr 2002 wurden am Standort 'S' aufgrund eines nur schwachen Zwischenfruchtaufwuchses und im zweiten Versuchsjahr 2003 an allen Standorten infolge des warm-heißen und nach teilweise extrem niederschlagsarmen Frühjahr nicht gleichermaßen deutlich differenzierte Versuchsergebnisse wie im ersten Jahr erzielt. Demnach werden die prinzipiellen Aussagen bestätigt.

3.2.2 Ertrag und Stickstoffaufnahme der Nachfrucht Weißkohl

Am 5. August 2002 wurde am Standort 'W' zum Abschluß der Bodenbeprobungen (Kap. 3.2.1) eine Teilflächenbeerntung des Weißkohls durchgeführt (Entwicklungsstadium 'Beginn der Kopfbildung'). Die N-Mengen im Sproß des Weißkohls (Abb. 3.2.9) differenzierten entsprechend der Rangfolge der N_{\min} -Mengen im Boden (Abb. 3.2.1). Auch die N-Gehalte, Trockenmasseerträge und Trockenmassegehalte wiesen signifikante Unterschiede bei Spannweiten (R) von : 4,0 - 4,8 % N, R: 13,2 - 26,3 dt TM/ha und R: 8,4 - 10,1 % TM auf.

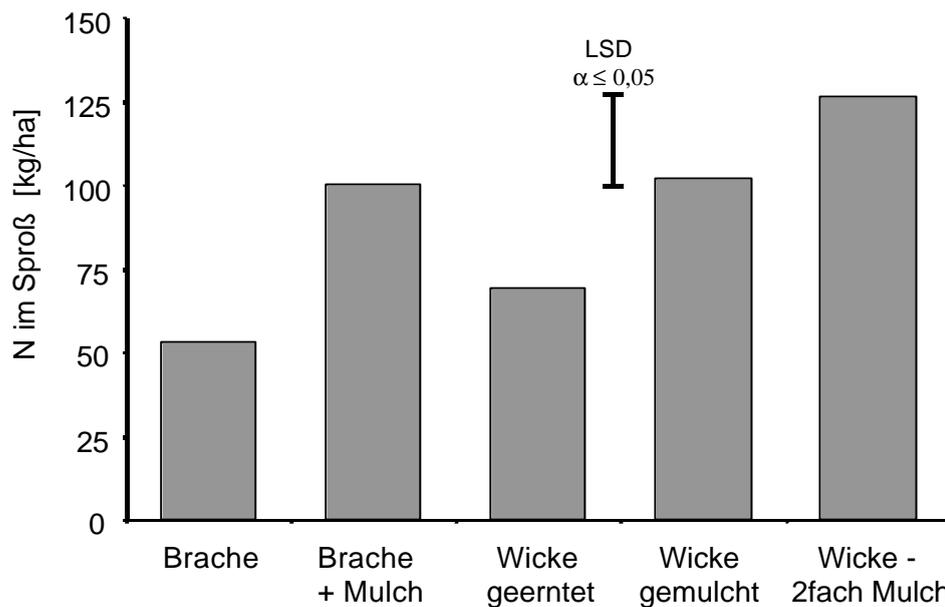


Abb. 3.2.9: Stickstoffmenge im Sproß der Nachfrucht Weißkohl: Einfluß der Winterzwischenfrucht Zottelwicken und des Nutzungsverfahrens (Ernte/ Mulch) am 5. Aug. 2002 am Standort 'W'

Gegenüber Variante 'Brache' wies Variante 'Wicke beerntet' um 17 kg/ha höhere N-Mengen in der Nachfrucht auf. Dieser Sachverhalt dürfte auf die Ernte- und Wurzelrückstände der Wicken zurückzuführen sein. Die Wirkung der mit dem gemulchten Wickenaufwuchs zugeführten N-Menge in Höhe von 136 kg/ha (vgl. Kap. 3.1.1) war nach 'Wicke gemulcht' und 'Brache plus Wickenmulch' fast gleich. Die Differenz dieser Varianten zu 'Brache' und 'Wicken beerntet' betrug 49 bzw. 32 kg N/ha. Die Verdopplung der Mulchmenge auf 272 kg N/ha hatte zwar am 9. Juli eine um etwa 80 kg N_{\min} -N/ha höhere N_{\min} -Menge im Boden gegenüber den mit einfacher Mulchmenge versorgten Varianten zur Folge, aber im Sproß der Nachfrucht Weißkohl wurde am 5. August gegenüber 'Wicke gemulcht' nur eine um 25 kg/ha höhere N-Menge festgestellt (Abb. 3.2.1 & 3.2.9). Allerdings waren zu diesem Termin im Boden bis 65 cm Tiefe noch 182 kg N_{\min} -N/ha unter 'Wicke - zweifach Mulch' gegenüber knapp 100 kg N_{\min} -N/ha unter den Varianten mit einfacher Mulchmenge vorhanden (Abb. 3.2.10).

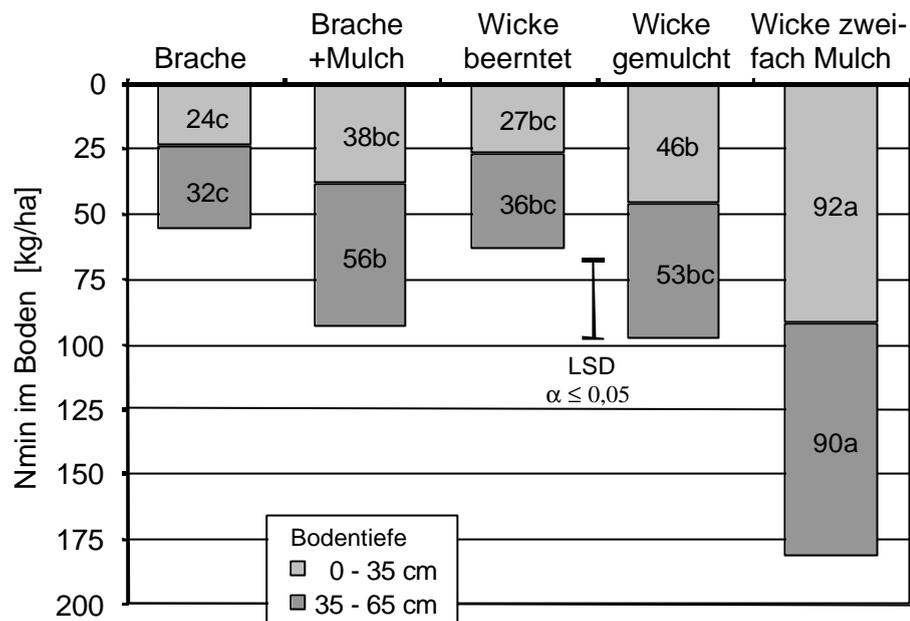


Abb. 3.2.10: N_{\min} -Menge im Boden unter der Nachfrucht Weißkohl: Einfluß der Winterzwischenfrucht Zottelwicken und des Nutzungsverfahrens (Ernte/ Mulch) am 5. Aug. 2002 am Standort 'W' (Werte mit verschiedenen Buchstaben einer Bodentiefe unterscheiden sich signifikant nach LSD $\alpha = 0,05$, Grenzdifferenzbalken für 0 - 60 cm Tiefe gesamt)



Anhand der deutlich abgestuften N-Zufuhr kann die Spannweite der im Boden mineralisierten N-Mengen verdeutlicht werden. In Tabelle 3.7 werden in einer Bilanz die im Boden am 4. Juni vorhandenen N_{\min} -Mengen bis 65 cm Tiefe und die mit dem Wickenaufwuchs gemulchten in den Boden eingearbeiteten N-Mengen den am 5. Aug. in den gleichen Bodentiefen gemessenen N_{\min} -Mengen (Abb. 3.2.10) und den von Weißkohl ebenfalls am 5. Aug. im Sproß akkumulierten N-Mengen gegenübergestellt. Das Saldo bzw. die Differenz zwischen N-Angebot/ Zufuhr und am 5. Aug. nachweisbarem Stickstoff wurde aus dem Humus im Boden gespeist. Dementsprechend betrug die Spannweite des Wiederfindungsanteils der Varianten ohne Mulchzufuhr 18 und 31%. Bei den Varianten mit Mulchzufuhr wurden demgegenüber rechnerisch ein Großteil des Stickstoffs wiedergefunden (80 - 96%). Die beiden Varianten ohne Zufuhr an Zwischenfruchtsproßmasse haben 75 bzw. 109 kg N/ha aufgenommen, der aus Humus mineralisiert wurde. In diesem kurzen Betrachtungszeitraum von 9 Wochen wurden bereits nach einem Koeffizient von LEITHOLD (1991) und LEITHOLD & HÜLSBERGEN (1997) in den Varianten ohne Mulchzufuhr etwa 1,5 bzw. 2 t Humus verbraucht.

Tab. 3.7: Quantifizierung des im Boden mineralisierten Stickstoffs in Abhängigkeit von der mit dem Zwischenfruchtmulch zugeführten Stickstoffmenge [in kg N/ha]

	Brache	Wicken geerntet	Brache + Mulch	Wicken gemulcht	Wicken Mulch zweifach
N_{\min} im Boden am 4.6. bis 65 cm Tiefe	34	24	34	24	24
N im Sproß Wicken	-	-	136	136	272
Summe am 4.6.	34	24	170	160	296
N im Sproß Weißkohl am 5.8.	53	70	101	102	127
N_{\min} im Boden am 5.8. bis 65 cm Tiefe	56	63	94	99	182
Summe am 5.8.	109	133	194	201	308
Differenz 5.8. und 4.6. = Humus-Mineralisierung	75	109	24	41	12
N-Wiederfindungsanteil (Anteil N am 4.6. zu N am 5.8.)	31%	18%	87%	80%	96%

Bereits am 5. August war eine größere Anzahl des Kleinen Kohlweißlings (*Pieris rapae*) im Feldversuch und im Gesamtschlag vorhanden. Ohne Kontrollmaßnahmen durch den Betrieb verstärkte sich der **Schädlingsdruck** zunehmend. In größerem Ausmaß verursachte vor allem die Kohleule (*Mamestra brassicae*) Fraßschäden.

Daraufhin wurde am **17. Sep.** eine zusätzliche Teilflächenbeerntung durchgeführt. Im Sproß wurden bis zu 179 kg N/ha ('Wicke gemulcht') festgestellt (Abb. 3.2.11). Die anhand der vorherigen Ergebnisse erwartete Differenzierung der Varianten trat mit Ausnahme Variante 'Wicke - zweifach Mulch' erneut auf. Gleichwohl war der Unterschied zwischen 'Wicke geerntet' und 'Wicke gemulcht' mit nur 40 kg N/ha gegenüber den ursprünglich mit dem gemulchten Wickenaufwuchs verbliebenen 136 kg N/ha nicht sehr groß. Die N-Nachlieferung aus dem Bodenvorrat war demnach beträchtlich, was auch anhand der von Kohl in den Varianten 'Brache' und 'Wicke geerntet' aufgenommenen N-Mengen von 129 bzw. 138 kg/ha abgeleitet wird.

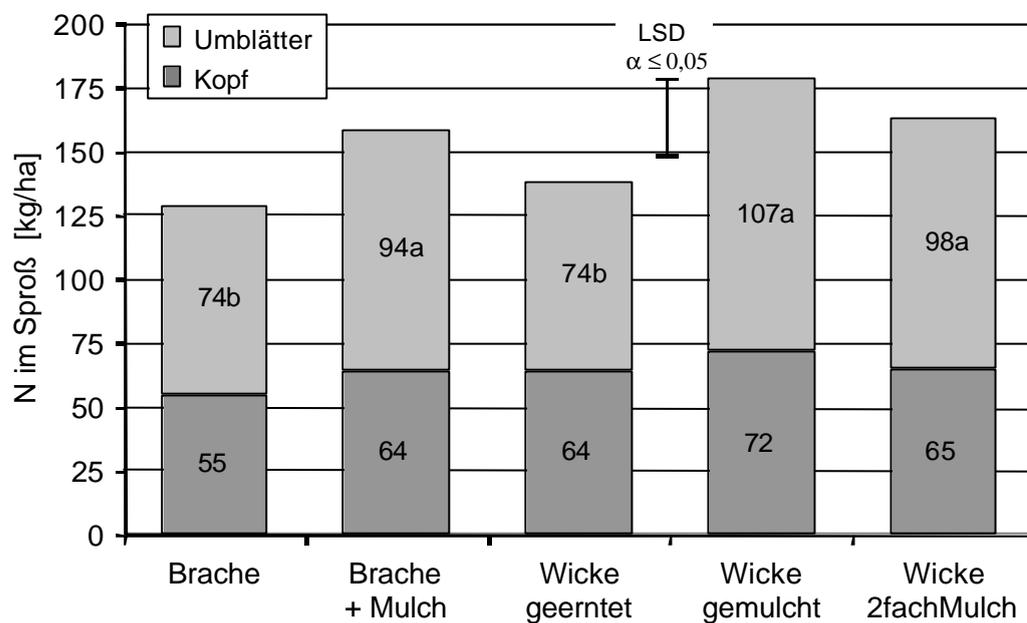


Abb. 3.2.11: Stickstoffmenge im Sproß der Nachfrucht Weißkohl: Einfluß der Winterzwischenfrucht Zottelwicken und des Nutzungsverfahrens (Ernte/ Mulch) am 17. Sep. 2002 am Standort 'W' (Werte mit verschiedenen Buchstaben einer Sproßfraktion unterscheiden sich signifikant nach LSD $\alpha = 0,05$, Grenzdifferenzbalken für Sproß gesamt)

Die Frischmassen in Summe von Kopf und Umblättern waren in zwei Gruppen teilbar: 'Brache' und 'Wicke beerntet' wiesen im Mittel 544 dt FM/ha gegenüber den gemulchten Varianten (638 dt FM/ha) auf (Abb. 3.2.12). Bei geringer Differenzierung der Kopffrischmassen resultierten die Unterschiede aus der unterschiedlichen Frischmasse der Fraktion der Umblätter. Der Trockenmasseertrag der Gesamtpflanze betrug im Mittel 44 dt TM/ha (Spannweiter (R): 38,9 - 51,4 dt TM/ha) und die Frischmasse je Kopf 1,2 kg (R: 1,1 - 1,3 kg FM/Kopf).

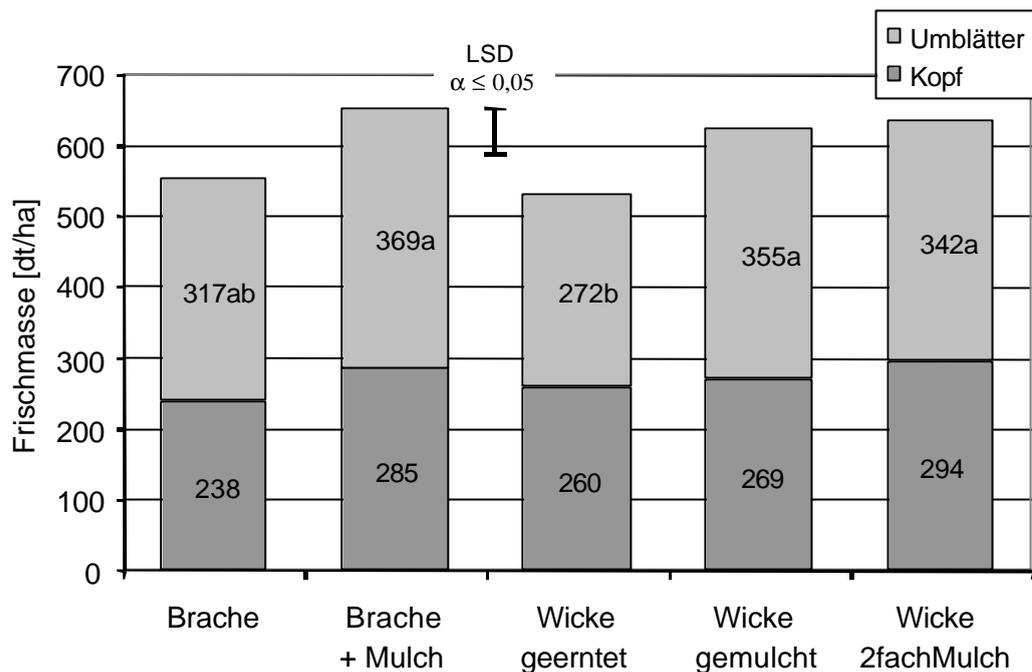


Abb. 3.2.12: Frischmasse der Nachfrucht Weißkohl: Einfluß der Winterzwischenfrucht Zottelwicken und des Nutzungsverfahrens (Ernte/ Mulch) am 17. Sep. 2002 am Standort 'W' (Werte mit verschiedenen Buchstaben einer Sproßfraktion unterscheiden sich signifikant nach LSD $\alpha = 0,05$, Grenzdifferenzbalken für Sproß gesamt)

Zum eigentlichen Erntetermin des Betriebes am **29. Okt.** wurden im Feldversuch inmitten eines insgesamt 10 ha großen Schlages deutliche Mindererträge festgestellt. Bei hoher Streuung wurden ein Ertrag verkaufsfähiger Weißkohlköpfe zwischen 301 und 533 dt FM/ha bzw. 19,0 - 34,4 dt TM/ha und eine N-Menge von 80 - 121 kg/ha bei einem N-Gehalt von 3,1 bis 4,4% (i.d.TM) gemessen. Die deutlich weniger beeinträchtigten Nachbarschläge des Betriebes wiesen Frischmasseerträge von 4,5 - 6,5 kg/Kopf gegenüber 1,5 bis 2,3 kg/Kopf im Versuch bzw. im Betriebsschlag auf. Produktionsziel war dabei Industriekohl für die Sauerkrautherstellung, bei dem gegenüber Frischware höhere Erträge realisiert werden.

Ein vom Landwirt vermuteter N-Mangel konnte für die Mindererträge kaum ursächlich sein. Der Boden wies in der untersuchten Variante 'Wicke - zweifach Mulch' am 5. Aug. (Abb. 3.2.10) und am 29. Okt. hohe N_{\min} -Mengen auf (29. Okt.: 141 kg N_{\min} -N/ha in 0 - 95 cm Bodentiefe, davon 74 kg N_{\min} -N/ha in Bodenschicht 35 - 65 cm). Daß neben dem hohen Schädlingsbefall eventuell zeitweise Wassermangel infolge unterschätztem Beregnungsbedarf Ursache der Mindererträge war, kann anhand der Niederschläge, die im August 2002 überdurchschnittlich hoch ausfielen, ebenfalls kaum abgeleitet werden (vgl. Kap. 2.4: Tab. 2.4).

Im Versuchsjahr **2003** wurden am **Standort 'W'** im Gegensatz zum Vorjahr allerdings zu einem aus Abstimmungsgründen früheren Zeitpunkt, am **22. Juli**, deutlich geringere N-Mengen im Sproß von Weißkohl bis maximal 68 kg/ha festgestellt (Abb. 3.2.13, Entwicklungsstadium 'Mitte - Ende Blattbildung').

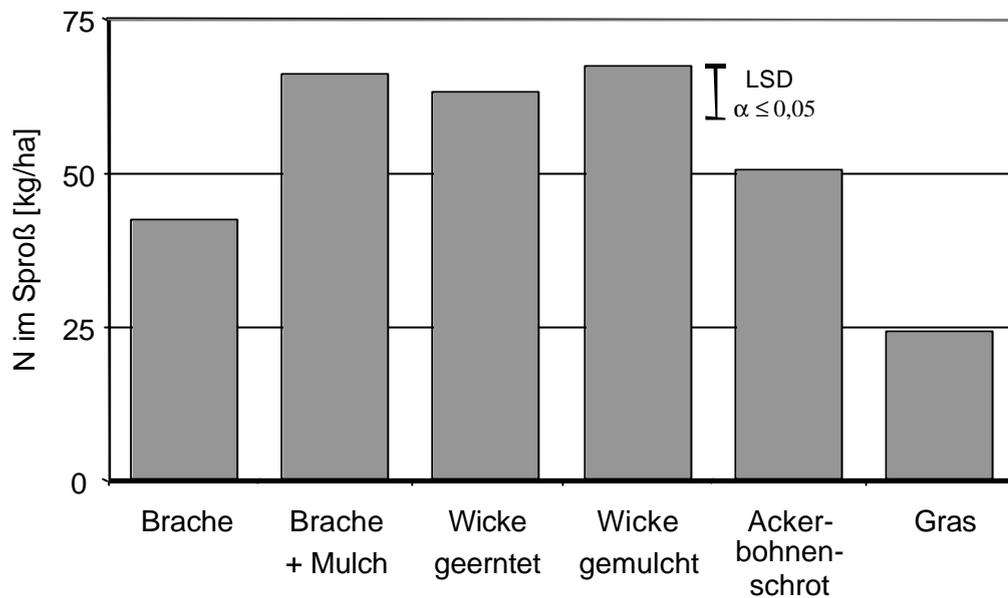


Abb. 3.2.13: Stickstoffmenge im Sproß der Nachfrucht Weißkohl: Einfluß von Zwischenfruchtart und Nutzungsverfahren (Ernte/Mulch) sowie Ackerbohenschrot am 22. Juli 2003 am Standort 'W'

Dieser Sachverhalt stimmt mit den ebenfalls vergleichsweise geringen N_{\min} -Mengen im Boden nach dem Umbruch der Zwischenfrucht überein (Kap. 3.2.1: Abb. 3.2.2). Auch die auffallend ähnliche N-Aufnahme der Variante 'Wicke geerntet' gegenüber den gemulchten Varianten kann auf die annähernd gleichen N_{\min} -Mengen im Boden nach dem Umbruch zurückgeführt werden. Das erst am 17. Juni aufgebrachte Ackerbohenschrot hatte einen im Vergleich zu den Wickenvarianten späteren Anstieg der N_{\min} -Mengen im Boden zur Folge (Abb. 3.2.2). Deshalb wurde in dieser Variante am 22. Juli eine im Vergleich zu den Wickenvarianten geringere N-Menge vom Weißkohl aufgenommen. Die an allen Standorten im zweiten Versuchsjahr geprüfte Referenzvariante 'Gras gemulcht' wies den erwarteten Effekt der geringsten N-Aufnahme auf. Die Trockenmassen der Varianten zeigten mit Werten zwischen 7,5 - 16,8 dt/ha eine den N-Mengen im Sproß entsprechende signifikante Abstufung auf. Bei Trockenmassegehalten von 8,9 - 10,2% wurden Sproßfrischmassen von 75 - 190 dt/ha gemessen (beide signifikant differenziert).

Zur Ernte am **15. Okt.** wiesen zwar die Varianten 'Gras' und 'Brache' im Kohlkopf erneut die signifikant geringsten N-Mengen auf. Gleichwohl waren im Kopf in diesen Varianten 136 bzw. 160 kg N/ha akkumuliert (Abb. 3.2.14). Der organisch im Boden gebundene Stickstoff wurde demnach in großen Mengen mineralisiert.

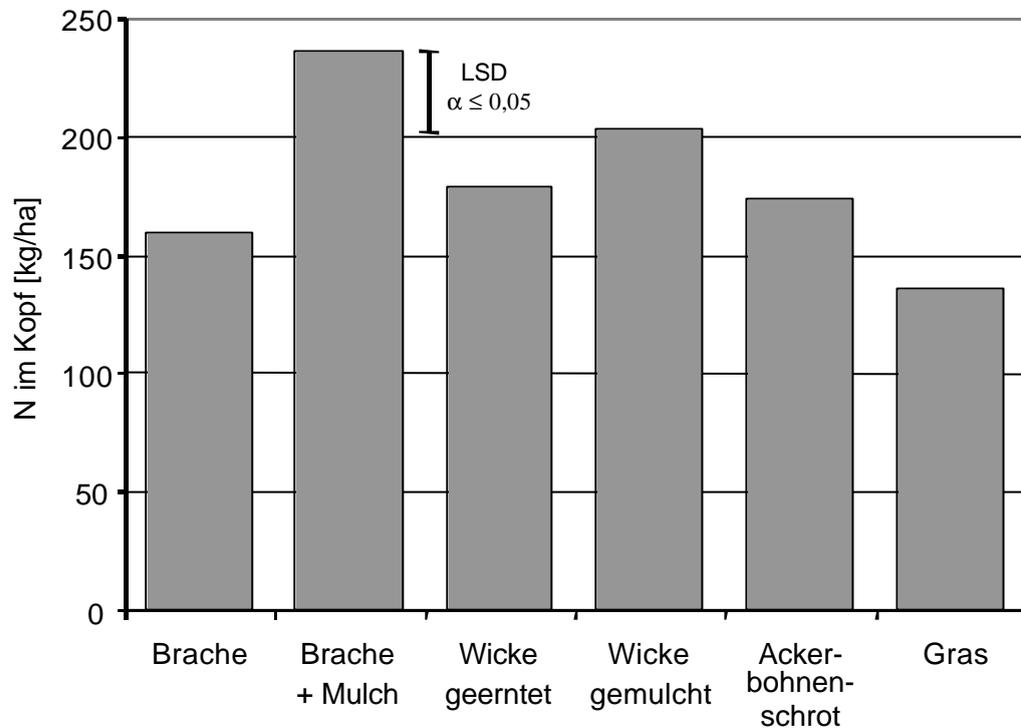


Abb. 3.2.14: Stickstoffmenge im Kopf der Nachfrucht Weißkohl: Einfluß von Zwischenfruchtart und Nutzungsverfahren (Ernte/Mulch) sowie Ackerbohnschrot am 15. Okt. 2003 am Standort 'W'

Die höchsten N-Mengen im Kopf wurden in den gemulchten Varianten 'Brache plus Mulch' und 'Wicke gemulcht' gemessen. Während die Differenz von 77 kg N/ha zwischen den Brachevarianten einen Anteil von 43% der mit dem Mulch zugeführten 178 kg N/ha entsprach, betrug der Unterschied zwischen beernteten und gemulchten Wicken nur 24 kg N/ha. Dies entsprach nur 13,5% der mit dem Mulch zugeführten N-Menge. Die Variante 'Wicke geerntet' fiel im Gegensatz zum Vorjahr



bereits mit ähnlich hoher N-Mineralisierung im Boden nach dem Umbruch wie 'Wicke gemulcht' auf (Kap. 3.2.1: Abb. 3.2.2). Die Kohlköpfe der Variante 'Ackerbohnschrot' wiesen nur eine N-Aufnahme auf, wie sie ähnlich nach 'Wicken geerntet' auftrat, obwohl das Ackerbohnschrot in gleichhoher N-Menge wie Mulch nach Brache appliziert wurden.

Die für den Landwirt wesentlichen Parameter Frischmasseertrag und Kopfgewicht waren im Gegensatz zu N-Aufnahme, Trockenmasseertrag (R: 46 - 75 dt TM/ha) und N-Gehalt (R: 2,8 - 3,6 % N) wie im Vorjahr bis auf 'Brache' und 'Gras' in allen Varianten bei einem Trockenmassegehalt zwischen 5,1 - 6,6% trotz jeweils signifikanter Unterschiede kaum verschieden (Abb. 3.2.15).

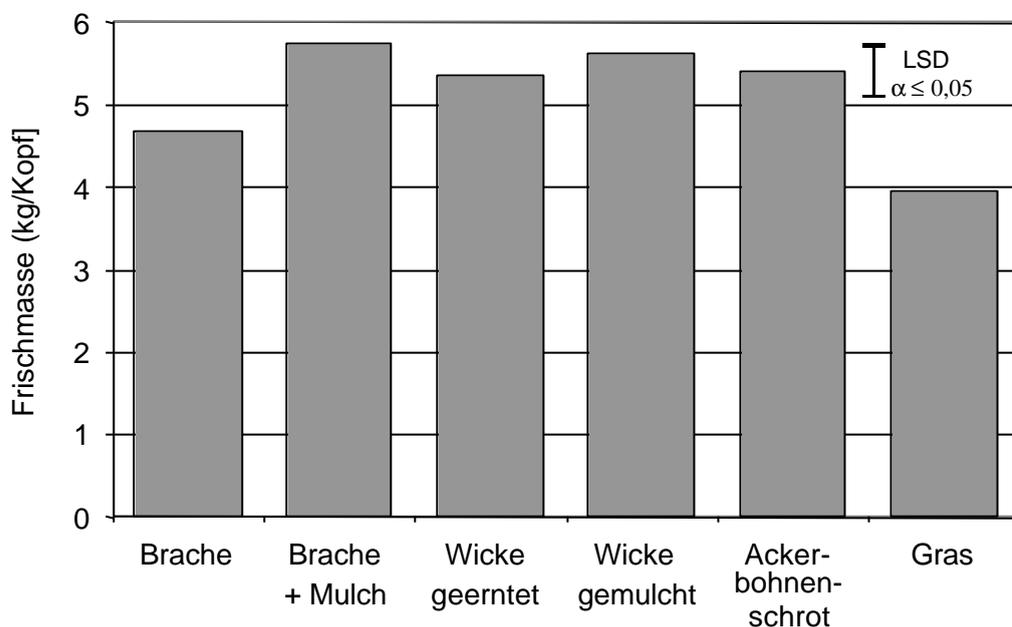


Abb. 3.2.15: Frischmasse je Kopf der Nachfrucht Weißkohl: Einfluß von Art und Nutzungsverfahren (Ernte/Mulch) der Winterzwischenfrucht und Ackerbohnschrot am 15. Okt. 2003 am Standort 'W'

Der Frischmasseertrag, in gleicher Abstufung wie die Kopfgewichte, war nach gemulchter Brache- bzw. gemulchten Wicken am höchsten (1.274 bzw. 1.251 dt/ha). Etwas geringer fiel er nach 'Ackerbohnschrot' und 'Wicke geerntet' (1.205 und 1.191 dt/ha) aus. Nach 'Brache' und 'Gras' (1.042 bzw. 877 dt/ha) war er signifikant niedriger.

Am 11. Nov. 2003 wurde unter allen Varianten 22 kg N_{min}-N/ha im Boden bis 90 cm Bodentiefe gemessen. Davon war nur im A_p-Horizont/Krume Nitrat mit einer Menge von weniger als 1 kg N/ha nachweisbar. Im Gegensatz zum Vorjahr waren zur Ernte kaum noch mineralische N-Formen im Boden festzustellen.

Fazit Nachfrucht Weißkohl

Die Nachfrucht Weißkohl wurde zweijährig am Standort 'W' angebaut. Die in der ersten Teilflächenbeerntung zum Abschluß der Bodenbeprobungen nach Umbruch der Zwischenfrucht gemessene N-Aufnahme des Weißkohls - zwischen 50 - 125 kg N/ha und 25 - 75 kg N/ha im ersten bzw. zweiten Untersuchungsjahr - spiegelten die Abstufung der Boden-N_{min}-Mengen wieder (vgl. Kap. 3.2.1). Bei den Ernten im Herbst wurden bei N-Gesamtaufnahmen von 125 - 230 kg N/ha in beiden Jahren weniger deutlich differenzierte Abstufungen zwischen den Varianten festgestellt.

Nach 'Wicke beerntet' wurden nur geringfügig höhere N-Mengen in der Nachfrucht im Vergleich zur Variante 'Brache' gemessen. Die N-Nachlieferung aus den Ernte- und Wurzelrückständen der Zwischenfrucht war demnach auch während des gesamten Vegetationszeitraums gering. Verblieb der Zwischenfruchtaufwuchs gemulcht auf der Fläche oder wurde nach Brache zugeführt, wurden höhere N-Aufnahmen der Nachfrucht Weißkohl festgestellt.

Gleichwohl war der Unterschied zwischen 'Wicke beerntet' und 'Wicke gemulcht' nicht gleichermaßen hoch, wie nach der verbliebenen N-Menge im Sproß der Zwischenfrucht anzunehmen war. Überdeckt wurde die Zwischenfruchtwirkung durch die N-Nachlieferung aus dem Bodenvorrat (Humus), wie anhand der hohen N-Akkumulation im Kohl nach den Zwischenfruchtvarianten 'Wicke geerntet', 'Gras' und 'Brache' abgeleitet werden kann.

Nach dem weitgehenden Ernteausfall im Jahr 2002 infolge gravierenden Schädlingsbefalls wurden im Jahr 2003 bei Weißkohl Trockenmasseerträge zwischen 46 und 75 dt TM/ha mit 2,8 bis 3,6 % N bzw. 5,1 - 6, 6% TM erreicht. Der Frischmasseertrag lag zwischen 877 und 1.274 dt/ha und je Kopf zwischen 3,9 und 5,7 kg. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die geringeren Erträge bei den Referenzvarianten 'Reinsaat Gras' und 'Brache' festgestellt wurden. Die Erträge der Hauptvarianten unterschieden sich im Gegensatz zu den N-Aufnahmen vergleichsweise wenig. Das Kompensationsvermögen bei der Ertragsbildung von Kohl hat, trotz noch zur Ernte nachweisbarer unterschiedlicher N-Akkumulation der verschiedenen Varianten, zu wenig bis nicht differenzierten Frischmasseerträgen und Kopfgewichten geführt.

3.2.3 Ertrag und Stickstoffaufnahme der Nachfrucht Mais an zwei Standorten

Am Standort 'S' wurde Mais mit dem betrieblichen Produktionsziel Körnermais angebaut. Im ersten Versuchsjahr 2002 wurde am 30. Juli nach Wickroggen (nur 69 kg N/ha im Zwischenfruchtaufwuchs, Kap. 3.1.1: Tab. 3.1) eine N-Aufnahme von durchschnittlich 99 kg N/ha im Mais festgestellt (Entwicklungsstadium 61 - Blühbeginn, Pflanzenlänge durchschnittlich 1,94 m). Im Mittel wurden 54 dt/ha Trockenmasseertrag, 14,5% Trockenmassegehalt und 1,8% N-Gehalt gemessen.

Die Differenz von 37 kg N/ha zwischen der geringsten N-Menge im Sproß in der Variante 'Wicke geerntet' (85 kg/ha) und der höchsten bei 'Wicke - zweifach Mulch' (122 kg/ha) war nicht signifikant (Abb. 3.2.16). Dennoch entsprach die Reihenfolge der Wickroggenvarianten in Bezug auf die N-Menge im Sproß der Nachfrucht bis auf die Variante 'Brache' der zu erwartenden Abstufung, als Folge von Beerntung bzw. Mulchnutzung des Wickroggenaufwuchses. Die im Sproß von Mais gemessenen N-Mengen spiegelten in ähnlicher Rangfolge auch die N_{\min} -Mengen im Boden nach Umbruch der Zwischenfrucht wieder (Kap. 3.2.1: Abb. 3.2.3).

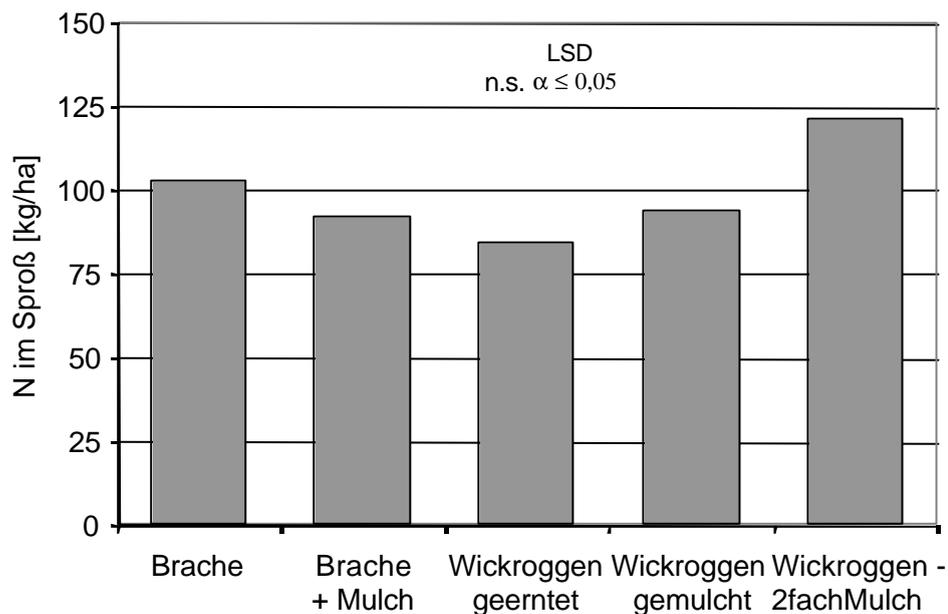


Abb. 3.2.16: Stickstoffmenge im Sproß der Nachfrucht Mais: Einfluß der Winterzwischenfrucht Wickroggen und des Nutzungsverfahrens (Ernte/ Mulch) am 30. Juli 2002 am Standort 'S'

Das Zwischenfruchtgemenge bestand zu 47% aus Roggen, der ein im Vergleich zu Zottelwicken wesentlich geringeren N-Gehalt und weiteres C/N-Verhältnis aufwies (Kap. 3.1.2). Der gemulchte Zwischenfruchtaufwuchs könnte deshalb im Boden anfänglich eine gehemmte

N-Mineralisierung bewirkt haben. Dabei ist auch zu berücksichtigen, daß am 8. Mai unter 'Brache' bis 90 cm Bodentiefe 49 kg N_{\min} -N/ha gegenüber 18 kg N_{\min} -N/ha unter 'Wickroggen' gemessen wurde. Davon waren im A_p -Horizont/Krume 21 bzw. 9 kg N_{\min} -N/ha vorhanden (Kap. 3.2.1: Abb. 3.2.3).

Generell war der Mais im Vergleich zum Standort Wiesengut im gleichen Jahr in der Entwicklung verzögert. Einzelne Feldversuchspartellen auf diesem Praxisstandort wiesen zudem eine hohe Heterogenität auf, die teilweise durch die Bewirtschaftung bedingt war (u.a. Wuchsdepressionen in Fahrspuren bereits in der Zwischenfrucht nach Stallmistausbringung im zeitigen Frühjahr, bei der die spätere Versuchsfläche "nur" überfahren wurde).

Zur Silomaisreife am **24. Sep. 2002** waren in der Summe von Kolben und Restpflanze 276 kg N/ha im Sproß der Varianten 'Brache plus Mulch' und 'Wicke - zweifach Mulch' vorhanden (Abb. 3.2.17). Wie bereits am Standort 'W' war auch in diesem Versuch im Sproß von Mais die Aufnahme hoher bodenbürtiger N-Mengen festzustellen. Gleichwohl wiesen die gemulchten gegenüber den nicht gemulchten Varianten höhere N-Mengen im Sproß auf. Durchschnittlich wurden 196 dt TM/ha (R: 178 - 217 dt/ha, LSD-GD bei $\alpha = 5\%$: 26,3 dt/ha, gleiche Rangfolge wie in Abb. 3.2.17) und bei geringer Streuung Gehalte an Trockenmasse und Stickstoff von 29,2% bzw. 1,2% festgestellt.

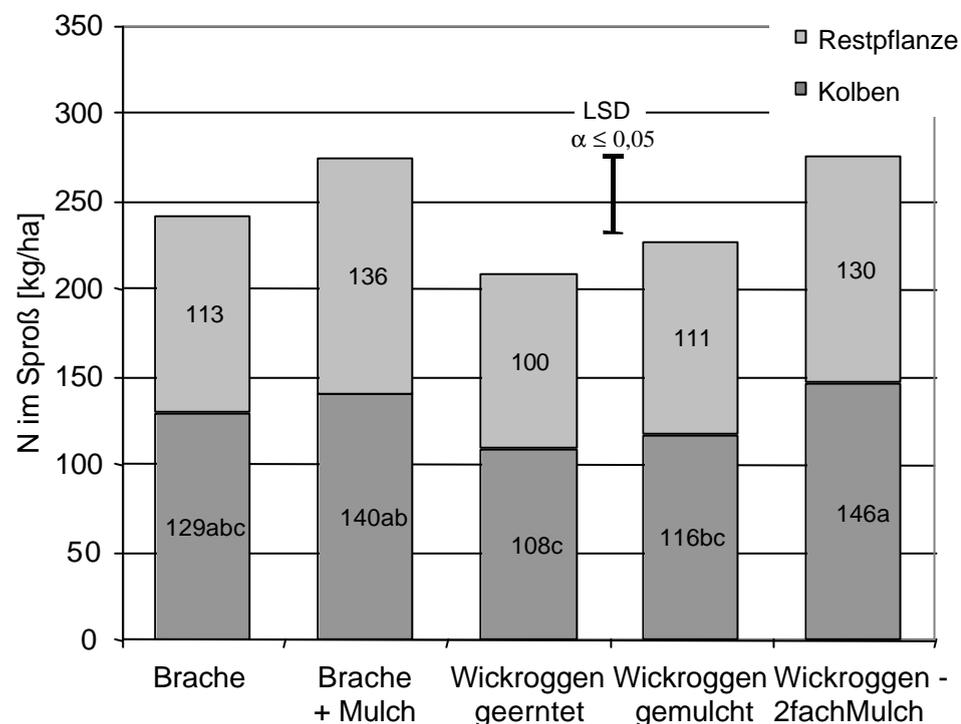


Abb. 3.2.17: Stickstoffmenge im Sproß der Nachfrucht Mais: Einfluß der Winterzwischenfrucht Wickroggen und des Nutzungsverfahrens (Ernte/ Mulch) am 24. Sep. 2002 am Standort 'S'

Die am **29. Okt.** in einer weiteren Teilfläche durchgeführte Körnermaisernte wies im Vergleich zur Ernte am 24. Sept. kaum veränderte Erträge auf. Gegenüber 80 dt TM/ha Kolbenertrag nach 'Wicke geerntet' war nach 'Wicke - zweifach Mulch' ein Ertragsvorteil von 16 dt TM/ha festzustellen (Abb. 3.2.18). Der Kornanteil am Kolbenertrag und Kolben-N-Ertrag (Mittelwert 135 kg N/ha) lag in allen Varianten nahezu konstant bei 89% bzw. 94%.

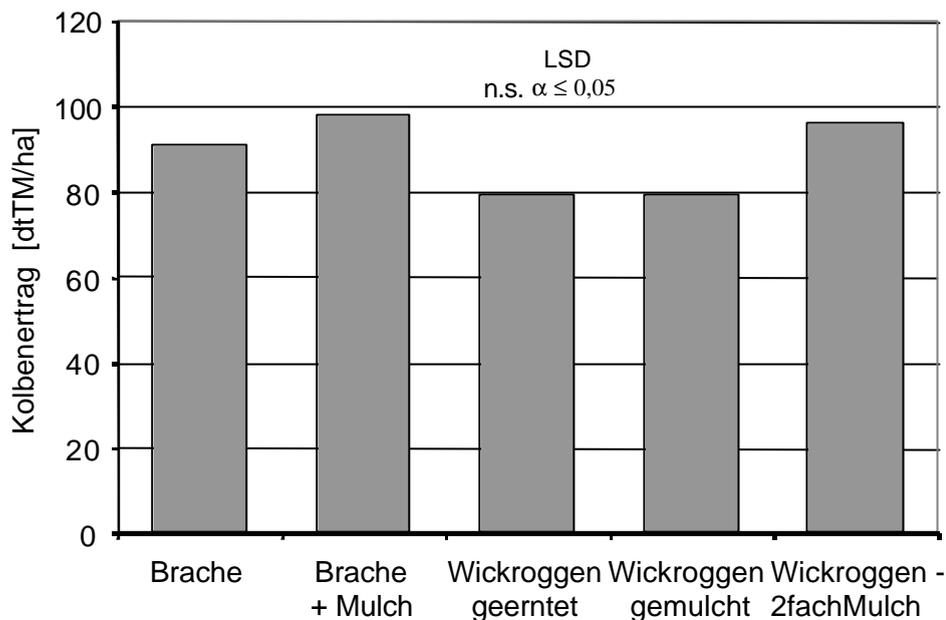


Abb. 3.2.18: Kolbenertrag [dt TM/ha] der Nachfrucht Mais: Einfluß der Winterzwischenfrucht Wickroggen und des Nutzungsverfahrens (Ernte/ Mulch) am 29. Okt. 2002 am Standort 'S'

Im zweiten **Versuchsjahr 2003** am **Standort 'S'** war die N-Aufnahme im Sproß von Mais am **21. Juli** bis auf die Brachevarianten mit einem Unterschied von 44 kg N/ha kaum differenziert (Abb. 3.2.19). Selbst der Mais der gemulchten Variante 'Gras' enthielt 119 kg N/ha . Nach dem Verlauf und der Höhe der N_{\min} -Mengen im Boden nach Umbruch wäre eine deutliche Differenzierung der Varianten zu erwarten gewesen (vgl. Kap. 3.2.1: Abb. 3.2.4). Im Mittel wurde ein Trockenmasseertrag von 56 dt/ha und ein N-Gehalt von 2,2% bei Entwicklungsstadium 55 - Mitte Rispenstadien und einer Wuchslänge von 2 m festgestellt.

Aufgrund des Ausnahmesommers und der dadurch früheren Abreife der Bestände wurde bereits am **9. Sep.** die Silomaisernte durchgeführt. Nach durchschnittlich etwa 125 kg N/ha am 21. Juli verdoppelte sich in einzelnen Varianten innerhalb von 7 Wochen die N-Menge im Sproß bis auf etwa 250 kg N/ha (Abb. 3.2.20). Dies entsprach einer durchschnittlichen täglichen Aufnahmerate von 2,5 kg N/ha.

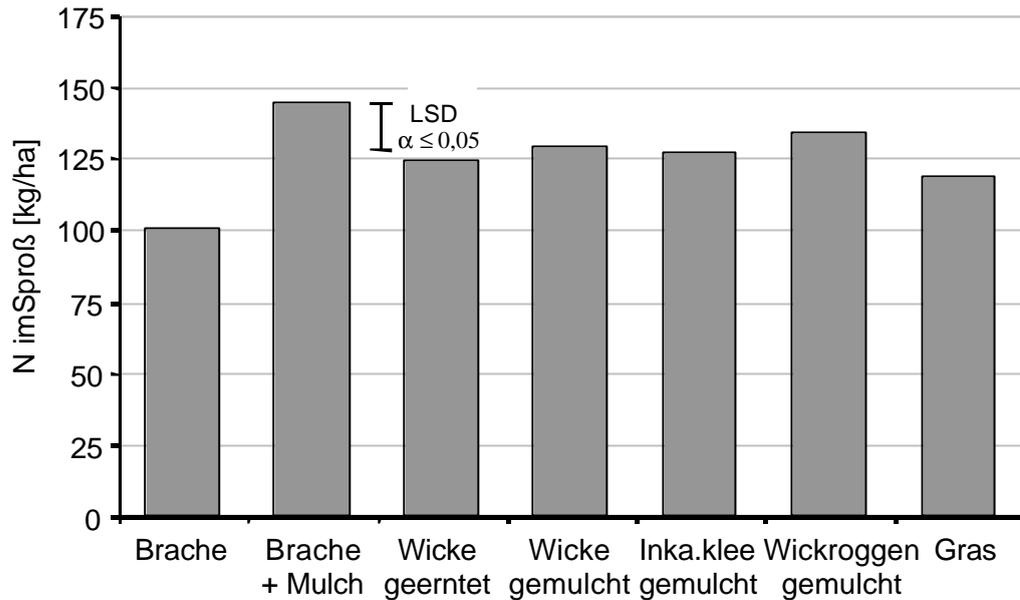


Abb. 3.2.19: Stickstoffmenge im Sproß der Nachfrucht Mais: Einfluß von Art und Nutzungsverfahren (Ernte/Mulch) der Winterzwischenfrucht am 21. Juli 2003 am Standort 'S'

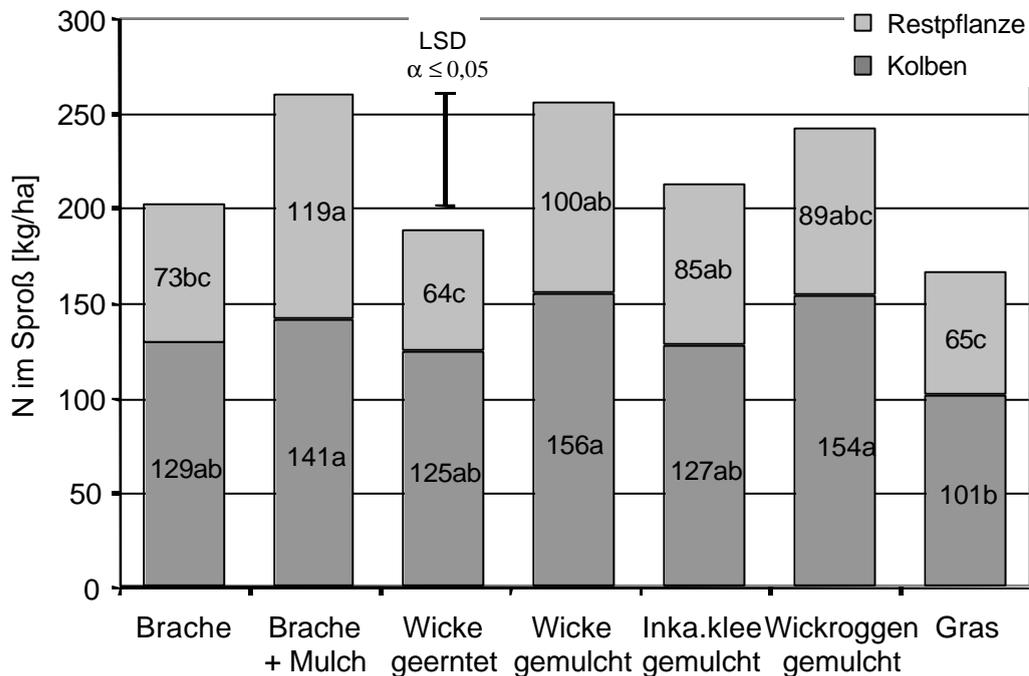


Abb. 3.2.20: Stickstoffmenge im Sproß der Nachfrucht Mais: Einfluß von Art und Nutzungsverfahren (Ernte/Mulch) der Winterzwischenfrucht am 9. Sep. 2003 am Standort 'S'



Die erwartete Differenzierung zwischen den beernteten und gemulchten Varianten war am 9. Sep. im Gegensatz zum 21. Juli festzustellen. Auffällig ist die gegenüber den gemulchten Varianten 'Wicken' und 'Wickroggen' geringere N-Aufnahme nach 'Inkarnatklee', obwohl die Zwischenfrucht inklusive Unkraut eine hohe N-Menge im Sproß gebunden hatte (Kap. 3.1.1, Abb. 3.1.3). Aber bereits nach dem Umbruch wurden im Boden geringere N_{\min} -Gehalte gemessen (Kap. 3.2.1: Abb. 3.2.4). Die Differenz von etwa 60 kg N/ha im Sproß von Mais zwischen den Brache- und Wickenreinsaat-Varianten ohne bzw. mit Mulch resultierte vor allem aus unterschiedlichen N-Mengen in der Restpflanze (Abb. 3.2.20). Die N-Mengen im Kolben waren in allen Varianten weniger differenziert. Die N-Gehalte der Varianten waren signifikant unterschiedlich (Kolben und Restpflanze im Mittel 1,3 bzw. 1,0% N bei Spannweiten von 0,86 - 1,36% N bzw. 1,15 - 1,42% N).

Die Trockenmassegehalte von 31,5% im Mittel (Kolben und Restpflanze 46,2 bzw. 22,5% TM) streuten nur zwischen 30,8 und 32,1%. Die Trockenmasseerträge von durchschnittlich 184 dt/ha (103 dt/ha Kolben, 81 dt/ha Restpflanze) wiesen eine Spannweite zwischen von 163 und 198 dt/ha der Varianten 'Grasreinsaat' und 'Wicken gemulcht' auf. Im Vergleich zum Vorjahr wäre aufgrund einer bis zu dreifach höheren N-Menge in der Zwischenfrucht ein noch höherer Ertrag möglich gewesen. Die extrem warm-heiße und trockene Witterung hat das Ertragspotential der hoch mit Stickstoff versorgten Varianten wahrscheinlich nicht realisieren lassen.

Der zur **Körnermaisernte** am **14. Okt. 2002** erneut beerntete Versuch am Standort 'S' wies keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten mehr auf. Der Kolbenertrag betrug 130 dt TM/ha bei einem Kornanteil von 82% und 93%. Es wurden 207 kg N/ha im Kolben gemessen.

Am Versuchsbetrieb Wiesengut

wurde nach Winterzwischenfrucht ebenfalls Mais angebaut. Im **Jahr 2002** wurde am **9. Juli** kurz vor Bestandesschluß im Stadium Blüte eine Beerntung vorgenommen (Halmlänge im Mittel 1,2 m). Der bereits anhand der N_{\min} -Mengen nach dem Umbruch zu erwartende Unterschied zwischen den beernteten und gemulchten Varianten war im Sproß von Mais wiederzufinden (Abb. 3.2.21). Auch die um 15 - 20 kg/ha geringeren N-Mengen im Sproß nach 'Landsberger Gemenge' und 'Brache' bildeten die Boden- N_{\min} -Abstufung ab (Kap. 3.2.1: Abb. 3.2.6). Obwohl kein Unterschied zwischen der Referenzvariante 'Roggenreinsaat' und den beernteten Varianten in Bezug auf die N_{\min} -Menge im Boden festzustellen war, war im Mais nach Roggen deutlich weniger N akkumuliert. Dieser Sachverhalt war aber aufgrund der geringen N-Mineralisierung im Boden nach Umbruch bereits zu erwarten (vgl. Kap. 3.2.1: Abb. 3.2.7). Mit den N-Mengen im Mais nach den Leguminosenreinsaaten vergleichbar hoch war die nicht aus den N_{\min} -Gehalt im Boden abzuleitende N-Akkumulation im Mais nach Wickroggen. Der N-Gehalt im Sproß von Mais lag im Mittel aller Varianten bei geringer Streuung bei 2,9% (i.d.TM), der Trockenmasseertrag bei 27,1 dt/ha.

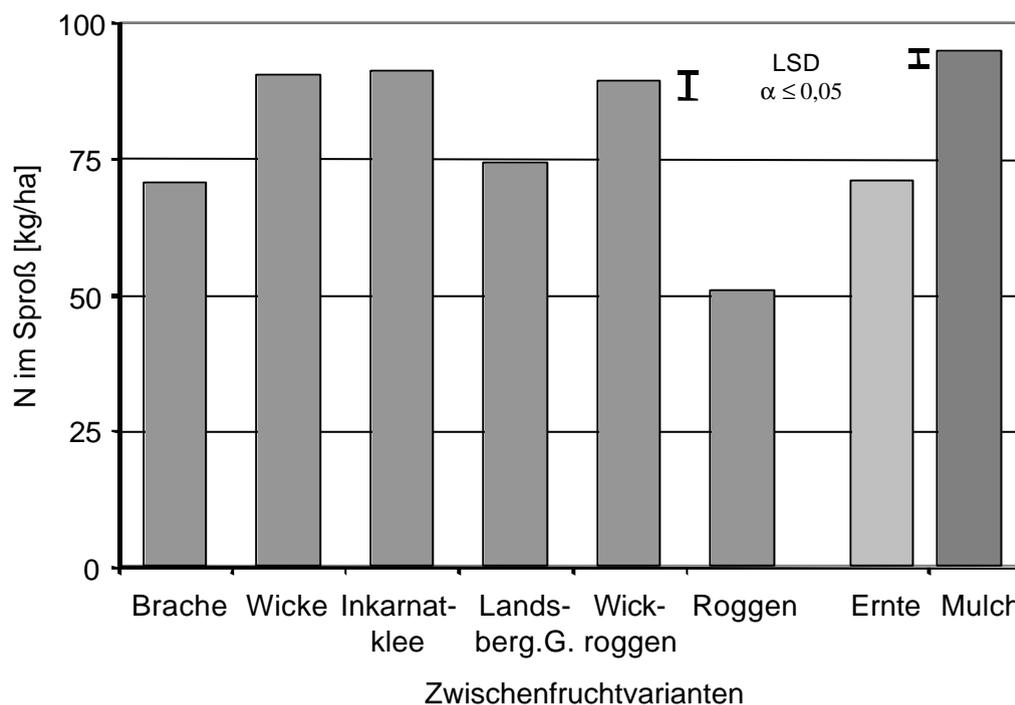


Abb. 3.2.21: Stickstoffmenge im Sproß der Nachfrucht Mais Einfluß von Art und Nutzungsverfahren (Ernte/Mulch) der Winterzwischenfrucht am 9. Juli 2002 am Standort Wiesengut

Am 19. Sep. 2002 zur Silomaisernt wurden bei einem durchschnittlichen Trockenmassegehalt von 33,4% im Mittel 235 kg N/ha im Sproß gemessen. Gegenüber 78 kg N/ha im Mittel am 9. Juli wurde eine Verdreifachung der N-Menge im Sproß und damit eine tägliche N-Aufnahme von 2,2 kg/ha festgestellt. Die gemulchten Varianten wiesen eine um 47 kg N/ha höhere N-Aufnahme auf (Abb. 3.2.22). Zwischen den Varianten 'Roggen' (181 kg N/ha) und 'Inkarnatklee' (274 kg N/ha) bestand eine Spannweite von 93 kg N/ha. Im Mittel wiesen die Leguminosenreinsaaten und Brache (258 kg N/ha) gegenüber den Landsberger und Wickroggen-Gemengen höhere N-Mengen im Sproß auf (228 kg N/ha). Im Kolben waren im Mittel aller Varianten 140 kg N/ha gegenüber 95 kg N/ha in der Restpflanze vorhanden.

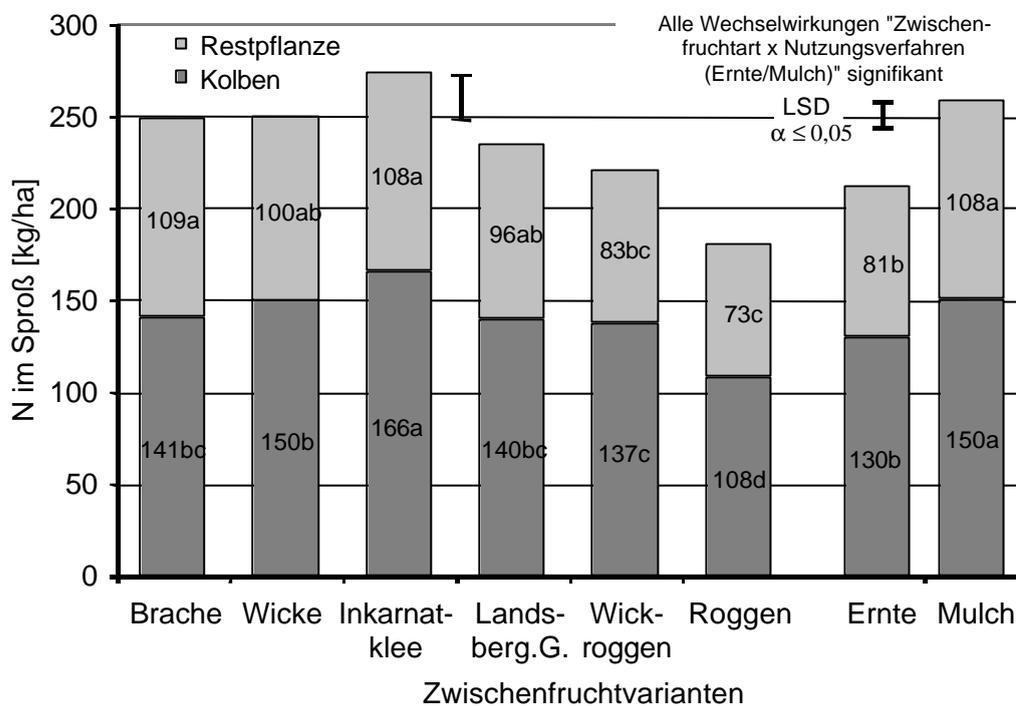


Abb. 3.2.22: Stickstoffmenge im Sproß der Nachfrucht Mais: Einfluß von Art und Nutzungsverfahren (Ernte/Mulch) der Winterzwischenfrucht am 19. Sep. 2002 am Standort Wiesengut

Der Trockenmasseertrag der Gesamtpflanze war mit durchschnittlich 191 dt/ha und einem Kolbenertrag von 109 dt TM/ha hoch. Im Gegensatz zu den N-Sproßmengen war der Massenertrag zwar signifikant aber vergleichsweise weniger deutlich differenziert. Die Rangfolge der Gesamtpflanzenerträge und Gesamt-N-Aufnahmen war annähernd gleich. Der Ertrag der Mulchvarianten war im Mittel um 17 dt TM/ha höher als der der Varianten mit beernteter Zwischenfrucht (Abb. 3.2.23). Deutlich größer fiel mit 50 dt TM/ha der Unterschied zwischen 'Roggen' und 'Inkarnatklee' (210 dt TM/ha) aus. Die Leguminosenreinsaaten waren bei einem

Gesamt- und Kolbenertrag von 208 bzw. 120 dt TM/ha den Gemengen und der Brache (im Mittel 191 bzw. 108 dt TM/ha) ertraglich überlegen.

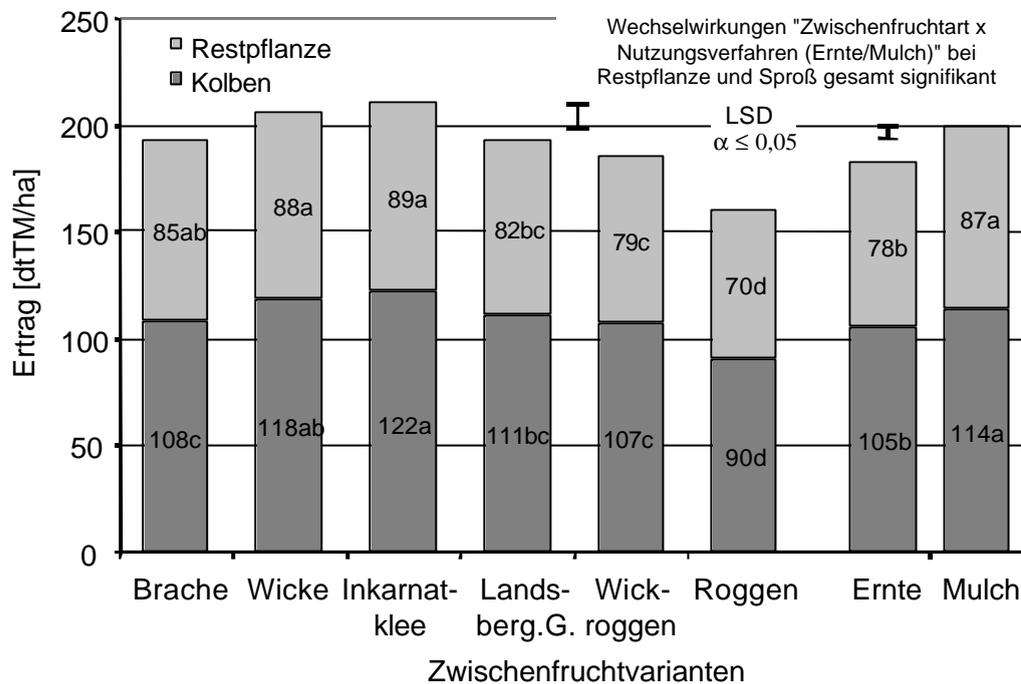


Abb. 3.2.23: Trockenmasseertrag der Nachfrucht Mais: Einfluß von Art und Nutzungsverfahren (Ernte/Mulch) der Winterzwischenfrucht am 19. Sep. 2002 am Standort Wiesengut

Im Jahr **2003** wurde am **Standort Wiesengut** der Mais am **14. Juli** kurz vor Bestandschluß zum ersten Mal beerntet (Entwicklungsstadium 51 - 55, Beginn - Mitte Rispschieben, Länge 165 cm). Entsprechend den Ergebnissen der N_{\min} -Bodenanalysen



nach Umbruch differenzierten die gemulchten und beernteten Prüfglieder (vgl. Kap. 3.2.1: Abb. 3.2.7). Mais nach Roggenreinsaat hatte nur 36 kg N/ha (1,2% N i.d.TM) gegenüber der fast dreifachen Menge nach Wickenreinsaat von 103 kg N/ha (1,8% N i.d.TM) im Sproß aufgenommen (Abb. 3.2.24).

Obwohl die N_{\min} -Mengen im Boden witterungsbedingt nur vergleichsweise geringe Unterschiede aufwiesen, war insbesondere der Unterschied zwischen den Varianten 'Wicke' und 'Inkarnatklee' auffällig, zumal Inkarnatklee mit 200 kg N/ha gegenüber Wicke mit 150 kg N/ha wesentlich mehr N gebunden hatte (vgl. Kap. 3.1.1). Bei einem Trockenmasseertrag des Mais von durchschnittlich 49,4 dt/ha, der in ähnlicher Rangfolge und Abstufung wie die N-Mengen im Sproß variierte, unterschieden sich die gemulchten von den beernteten Varianten zwar signifikant, aber nur geringfügig (52,7 bzw. 46,2 dt TM/ha).

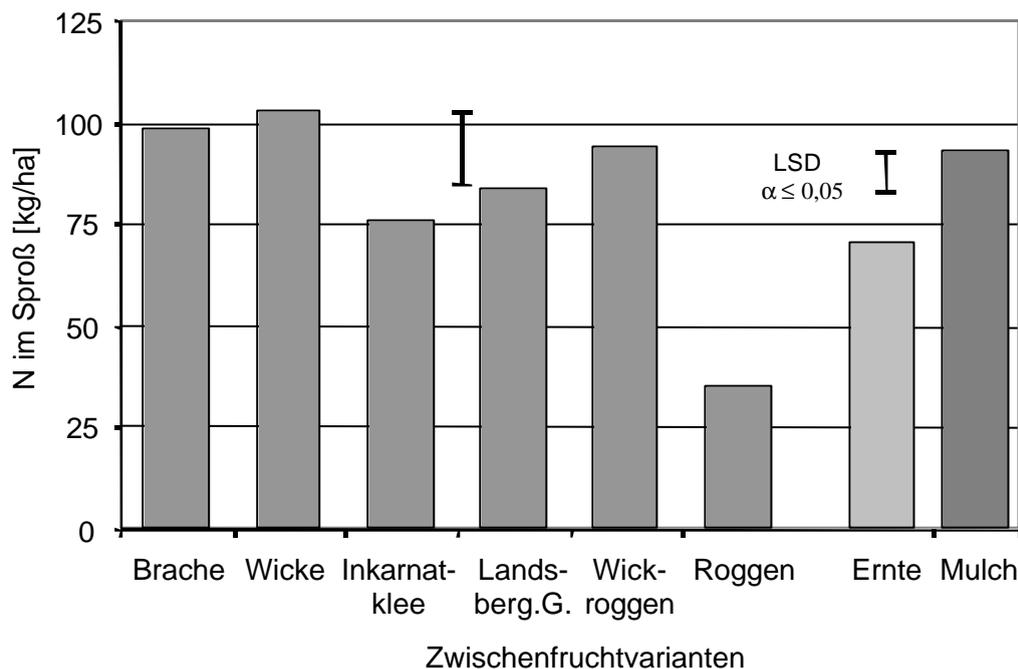


Abb. 3.2.24: Stickstoffmenge im Sproß der Nachfrucht Mais: Einfluß von Art und Nutzungsverfahren (Ernte/Mulch) der Winterzwischenfrucht am 14. Juli 2003 am Standort Wiesengut

Bereits am **2. Sep.** wurde bei einem Trockenmassegehalt von 36% die Silomaisenernte durchgeführt. Gegenüber der Teilflächenbeerntung am 9. Juli wurden witterungsbedingt (Kap. 2.4) maximal nur weitere 60 kg N/ha aufgenommen. Die N-Aufnahme im Sproß war bei den gemulchten gegenüber den beernteten Varianten um 37 kg/ha signifikant höher (Abb. 3.2.25). Nach Roggen war die N-Aufnahme am geringsten und nach Brache, im Gegensatz zum Vorjahr, am höchsten (94 bzw. 185 kg N/ha). Die Differenz betrug 91 kg N/ha. Ohne Berücksichtigung der Variante 'Roggen' waren die Unterschiede gering. Die Fraktion 'Kolben' wies mit 105 kg N/ha im Mittel (ohne 'Roggen') keine signifikanten Unterschiede auf.

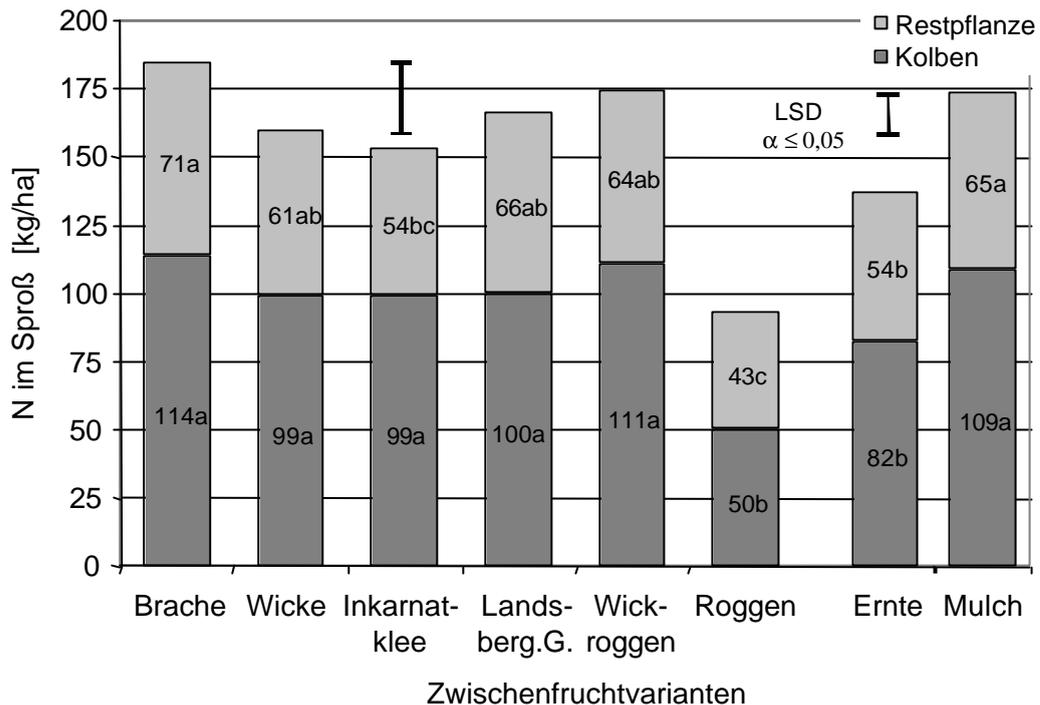


Abb. 3.2.25: Stickstoffmenge im Sproß der Nachfrucht Mais: Einfluß von Art und Nutzungsverfahren (Ernte/Mulch) der Winterzwischenfrucht am 2. Sep. 2003 am Standort Wiesengut

Verglichen mit dem Maisversuch am Standort 'S' im Jahr 2003 waren der Kolben-N- und Gesamtpflanzen-N-Ertrag wie auch der Trockenmasseertrag deutlich geringer. Die Trockenmasseerträge wiesen wie im Vorjahr eine der N-Aufnahme entsprechende Rangfolge auf (Abb. 3.2.26). Im Mittel wurden ein Gesamtpflanzen- und Kolbenertrag von 138 bzw. 76 dt TM/ha erreicht. Der Unterschied im Gesamtpflanzenertrag zwischen den Variantengruppen 'gemulcht' und 'beerntet' war signifikant (147 bzw. 129 dt TM/ha). Im Gegensatz zur N-Aufnahme war zwischen den Leguminosenvarianten der Gesamtpflanzenertrag der Varianten 'Brache' und 'Wickroggen' (159 bzw. 153 dt TM/ha) zu 'Inkarnat- klee' (132 dt TM/ha) signifikant unterschiedlich. Nach Roggen wurden nur 93 dt TM/ha gebildet. Der Kornanteil am Kolben betrug bei geringer Streuung im Mittel 92% der N-Aufnahme und 77% der Trockenmasse.



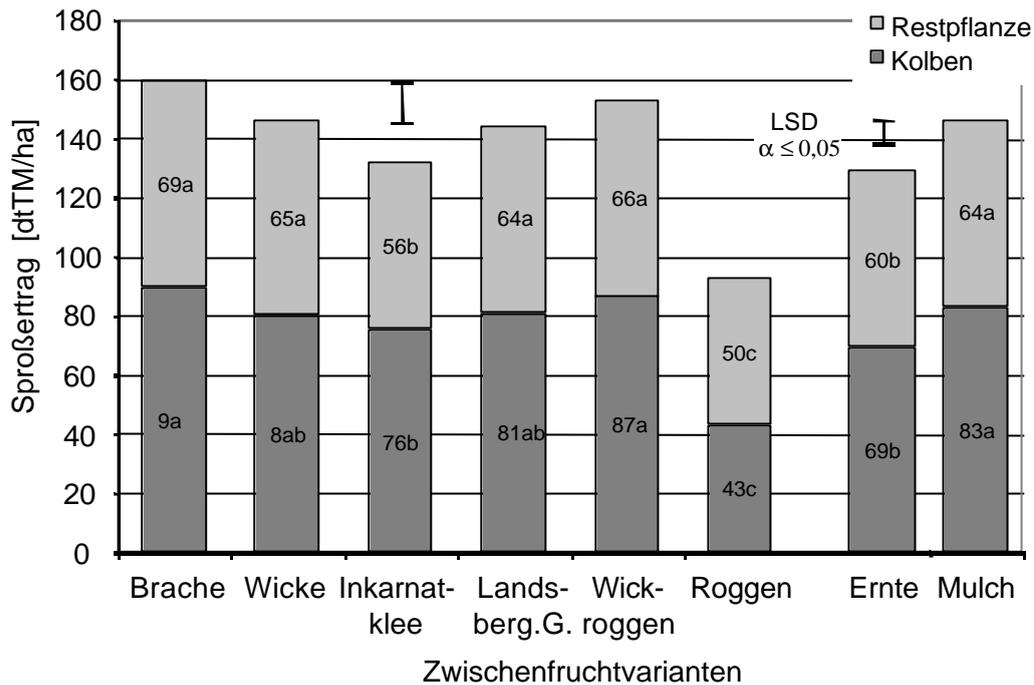


Abb. 3.2.26: Trockenmasseertrag der Nachfrucht Mais: Einfluß von Art und Nutzungsverfahren (Ernte/Mulch) der Winterzwischenfrucht auf den am 2. Sep. 2003 am Standort Wiesengut

Die Mittelwerte der Stärkegehalte im Kolben zur Silomaisernernte wiesen an den beiden Standorten und in beiden Jahren nur eine geringe Spannweite zwischen 46,7 und 50,5 % i.d.TM auf (Tab. 3.7). Die Stärkegehalte der Körner zur Körnermaisernte lagen ebenfalls kaum differenziert zwischen 69,2 und 72,1 % i.d.TM. Der durchschnittliche Stärkegehalt der Restpflanze lag bei nur 0,5%.

Tab. 3.7: Stärkegehalte [% i.d.TM] der Nachfrucht Mais nach Winterzwischenfrucht an den Standorten 'S' und 'Wiesengut' von Mais in den Jahren 2002 und 2003

(Mittelwert, darunter Spannweite, untere Zeile jeweils Anzahl untersuchter Varianten (n), analysiert wurden Mischproben aus 4 Feldwiederholungen)

	Standort 'S'		Standort Wiesengut	
	Kolben	Körner	Kolben	Körner
2002	50,5 49,3 - 52,6 ¹⁾ n = 4	69,2 68,4 - 69,6 ¹⁾ n = 4	50,5 46,3 - 55,8 n = 12	-
2003	47,9 45,7 - 50,6 n = 6	70,5 69,2 - 71,5 n = 6	46,7 40,0 - 51,0 n = 12	72,1 70,2 - 75,1 ²⁾ n = 4

¹⁾ Standort 'S' im Jahr 2002 ohne Variante 'Wickroggen Mulch zweifach'

²⁾ Nur Varianten 'Brache' und 'Zottelwickenreinsaat'

Die Stärkegehalte der Kolben am Standort Wiesengut wurden durch die Nutzungsverfahren (Ernte/Mulch) nicht signifikant beeinflusst. Zwischen den Zwischenfruchtarten waren in beiden Jahren zwar teilweise Unterschiede vorhanden, aber nicht schlüssig begründbar.

Fazit Nachfrucht Mais

An den Standorten 'S' und 'Wiesengut' wurde zweijährig Mais als Nachfrucht nach Winterzwischenfrucht angebaut. Zumeist entsprechend den im Boden nach Umbruch der Zwischenfruchtvarianten gemessenen N_{\min} -Mengen differenzierte die Rangfolge der N-Aufnahme der Nachfrucht Mais bei der ersten Teilflächenbeerntung im Juli (im Mittel der Standorte und Jahre 80 - 130 kg N/ha im Sproß von Mais). Bei der im September jeweils durchgeführten Silomaisernte bestätigte sich erneut weitgehend diese Rangfolge in der N-Aufnahme (im Mittel der Standorte und Jahre 150 - 280 kg N/ha im Sproß von Mais).

Die N-Aufnahmen der Nachfrucht waren überwiegend signifikant höher nach dem Verbleib des gemulchten Zwischenfruchtaufwuchses im Vergleich zu den beernteten Varianten. Gleichwohl war die mit dem Mulch zugeführte N-Menge nicht gleichermaßen als Differenz zwischen gemulchten und beernteten Varianten der Nachfrucht Mais wiederzufinden. Die N-Nachlieferung aus dem Boden (Humusmineralisierung) überdeckte teilweise die Wirkung des gemulchten Zwischenfruchtaufwuchses.

An den Standorten 'S' und 'Wiesengut' wurden im Jahr 2002 im Durchschnitt 196 und 191 dt TM/ha sowie im Jahr 2003 191 und witterungsbedingt nur 138 dt TM/ha Silomaisertrag gebildet. Die Kolbenenerträge zur Körnermaisernte in gleicher Reihung der Standorte 'S' und 'Wiesengut' 130 und 103 dt TM/ha (nur Silomaiserntetermin) im Jahr 2002 und im Folgejahr 109 und 76 dt TM/ha bei weitgehend konstanten Kornanteilen am Kolben von 89, keine Erhebung, 82 und 77%.

Wie schon bei den Untersuchungen zur Nachfrucht Weißkohl festgestellt (Kap. 3.2.2), war auch bei Mais trotz deutlich unterschiedlicher N-Akkumulation zwischen den Varianten, die Differenzierung der Trockenmasseerträge der Gesamtpflanze geringer. Noch geringer bis nicht mehr nachweisbar waren die Unterschiede der Kolben- bzw. Körnermaiserträge. Dieser Sachverhalt war auf die höhere Variabilität der N-Mengen wie auch der Trockenmasseerträge der Restpflanze (ohne Kolben) zurückzuführen. Auch bei Mais wirkte sich das Kompensationsvermögen bei der Ertragsbildung der Kolben nivellierend auf die Unterschiede in der N-Menge im Sproß aus.

Die Stärkegehalte der Kolben und Körner in den beiden Jahren waren kaum differenziert (knapp unter 50 bzw. etwa 70% Stärke i.d.TM) und lagen für die Restpflanze durchgehend unter 0,5%.

3.3 Beziehungen zwischen den untersuchten Kernparametern

In diesem Kapitel werden die bereits zuvor im Detail nach Kulturen bzw. Standorten und Untersuchungsjahren getrennt vorgestellten Untersuchungsergebnisse zusammengeführt. Es werden der Einfluß der mit dem Zwischenfruchtmulch zugeführten N-Mengen auf die N_{\min} -Mengen nach Umbruch in der Krume und auf die N-Akkumulation der Nachfrucht im Sommer und zur Ernte untersucht.

Aufgrund des ungünstigen Witterungsverlaufes im Jahr 2003, der die N-Umsetzung der zugeführten Mulchmenge im Boden hemmte, wird ausschließlich das Jahr 2002 betrachtet. Die Referenzvariante Gras- bzw. Roggenreinsaat sowie die am Standort Wiesengut im Jahr 2002 untersuchte Variante 'Wickroggen24' werden dabei nicht berücksichtigt. Es werden die Einzelparzellendaten zugrunde gelegt.

Dargestellt werden die Beziehungen zwischen dem quantifizierten Stickstoffangebot und dem im Boden nach Umbruch bis zur ersten Teilflächenernte mineralisiertem N_{\min} -Stickstoff (Kap. 3.2.1) sowie die von den Nachfrüchten zu den untersuchten Ernteterminen akkumulierten N-Mengen im Sproß (Kap. 3.2.2 & 3.2.3). Das Stickstoffangebot ist die Summe aus Stickstoff im Sproß der Zwischenfrucht (Kap. 3.1.1) und der zum Mulchtermin im Boden bis 90 bzw. 95 cm Tiefe vorhandenen N_{\min} -Menge. Die im Boden nach Umbruch gemessenen N_{\min} -Mengen im Ap-Horizont/Krume (Kap. 3.2.1: Abb. 3.2.1, 3.2.3, 3.2.5 & 3.2.6) werden als gewichtetes (Berücksichtigung der Anzahl Tage zwischen den Meßzeitpunkten) arithmetisches Mittel der N_{\min} -Mengen im Boden nach Umbruch dividiert durch die Anzahl Tage im Meßzeitraum.

Das N-Angebot zum Mulchtermin wurde fast ausschließlich von den mit dem Zwischenfruchtmulch zugeführten N-Mengen bestimmt, wie die sehr engen Beziehungen ($r = 0,95 - 0,99^{***}$, Tab. 3.8) und auch die sehr ähnlichen Korrelationskoeffizienten von N-Angebot zum Mulchtermin bzw. N-Menge im Sproß der Zwischenfrucht jeweils bezogen auf die weiteren Parameter indizieren (Tab. 3.8 & 3.9). Die zum Mulchtermin im Boden vorhandenen N_{\min} -Mengen waren demnach vernachlässigbar.

Die nach Umbruch und Saat bzw. Pflanzung der Nachfrucht im Boden mineralisierten N-Mengen wurden deutlich vom Zwischenfruchtmulch beeinflusst (mindestens $r = 0,68^{**}$). Die Beziehungen zwischen dem N-Angebot zum Mulchtermin und der N-Menge im Sproß der Nachfrucht am 30. Juli war demgegenüber am Standort 'S' auffällig weniger eng ($r = 0,34^{n.s.}$). Die Beziehung zwischen den N_{\min} -Mengen im Boden nach Umbruch zur N-Menge im Mais am 30. Juli war aber wieder vergleichsweise eng ($r = 0,64^{**}$). Die Ursachen hierfür wurden in Kapitel 3.2.3 beschrieben. Zur Silomaisernte am 24.9.2002 wurden am Standort 'S' erneut, wie auch an den beiden anderen Standorten, Beziehungen mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,55 - 0,65$ zwischen der N-Menge im Zwischenfruchtmulch und den von den Nachfrüchten aufgenommenen N-Mengen festgestellt. Die gleiche Beziehung über alle Stand-

orte betrachtet, war vergleichsweise schwach ($r = 0,27^*$). Auch die Beziehung zwischen den im Boden nach Umbruch mineralisierten N-Mengen und den zur Ernte im Herbst aufgenommenen N-Mengen der Nachfrucht war über alle Standorte im Gegensatz zu den einzelnen Standorte nicht vorhanden ($-0,05^{n.s.}$, Tab. 3.8).

Tab. 3.8: Korrelationskoeffizienten (Pearson) der Beziehungen zwischen dem zugeführten N im Mulch der Zwischenfrucht, der täglichen N_{min} -Menge in der Krume nach Umbruch, der N-Menge im Sproß der Nachfrucht im Sommer bzw. im Herbst und dem N-Angebot zum Mulchtermin im Jahr 2002 an drei Standorten

	Stand-ort	N im Mulch der Zwischenfrucht	N_{min} in Krume nach Umbruch	N im Sproß der Nachfrucht im Sommer ¹⁾	N im Sproß der Nachfrucht im Herbst ²⁾
N-Angebot zum Mulchtermin	Alle	0,99***	0,75*** [Abb. 3.3.1]	0,55*** [Abb. 3.3.2]	0,27*
	W	0,99***	0,94***	0,84**	0,55*
	S	0,95***	0,75***	0,34 ^{n.s.}	0,65**
	WG	0,99***	0,71***	0,69***	0,55*** [Abb. 3.3.3]
N_{min} in Krume nach Umbruch	Alle	0,74***			
	W	0,95***			
	S	0,68**			
	WG	0,72***			
N im Sproß der Nachfrucht im Sommer¹⁾	Alle	0,58***	0,43***		
	W	0,85***	0,86***		
	S	0,33 ^{n.s.}	0,64**		
	WG	0,73***	0,68***		
N im Sproß der Nachfrucht im Herbst²⁾	Alle	0,27*	$-0,05^{n.s.}$	0,30**	
	W	0,55*	$0,47^{p = 0,052}$	0,66**	
	S	0,53*	0,60**	$0,38^{p = 0,01}$	
	WG	0,55***	0,48**	0,53***	

Anzahl Werte je Standort: $n = 78$ alle Standorte, $n = 18, 20$ und 40 für Standorte W, S bzw. WG.

¹⁾ Erntetermine: 5.8., 30.7. und 9.7.2002 bzw.

²⁾ 17.9., 24.9. und 19.9.2002 an Standorten W, S und WG (Wiesengut).

Drei ausgewählte bereits in Tabelle 3.8 gelistete Beziehungen werden nachfolgend graphisch als Regression abgebildet. Je höher die zugeführten N-Mengen mit dem Zwischenfruchtmulch waren, desto höher waren die nachfolgend im Boden mineralisierten N-Mengen (Abb. 3.3.1). Die N_{\min} -Menge im Boden stieg dabei nicht gleichermaßen mit dem N-Angebot an, weil im Meßzeitraum der zugeführte Zwischenfruchtmulch wahrscheinlich noch nicht vollständig mineralisiert wurde und die Nachfrucht bereits Stickstoff aufgenommen hat.

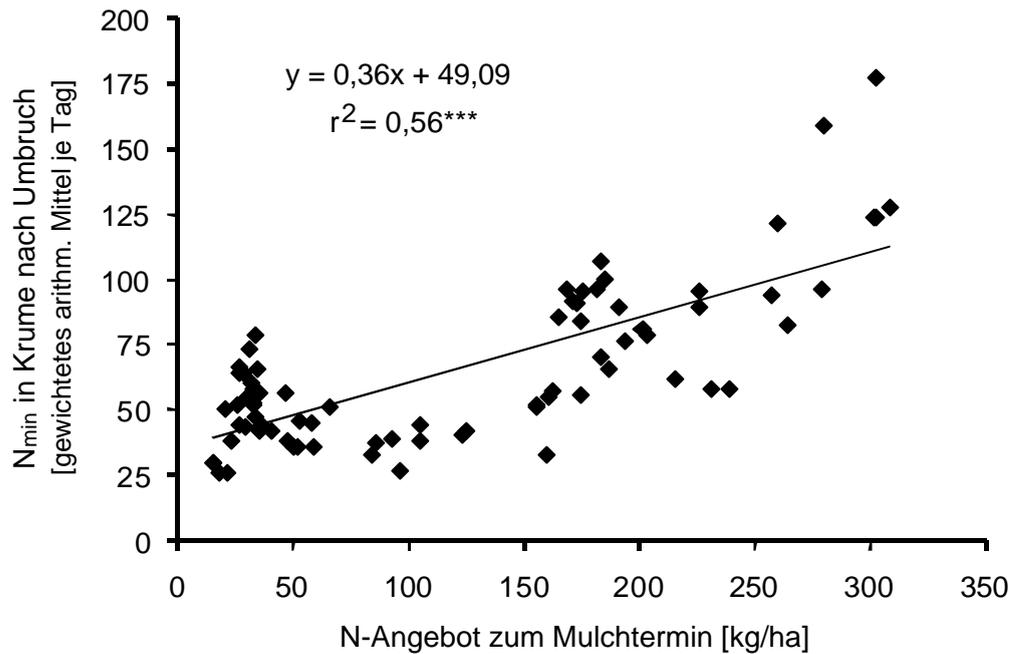


Abb. 3.3.1: Einfluß von N-Angebot (N_{\min} -Menge im Boden zum Mulchtermin plus N-Menge im Sproß der gemulchten bzw. zugeführten Zwischenfrucht) **auf die N_{\min} -Menge im Boden nach Umbruch an den drei Untersuchungsstandorten im Jahr 2002** (n = 78)



Im Vergleich dazu weniger eng beeinflusst waren in zeitlicher Abfolge die von der Nachfrucht bis Juli bzw. Aug. aufgenommenen N-Mengen (Abb. 3.3.2). Anhand der Abbildung 3.3.2 wird deutlich, daß je höher die mit dem Mulch zugeführten N-Mengen waren, ein zunehmend geringerer Anteil im Sproß der Nachfrucht zu diesem Zeitpunkt wiederzufinden war (vgl. Kap. 3.2.2: Tab. 3.7).

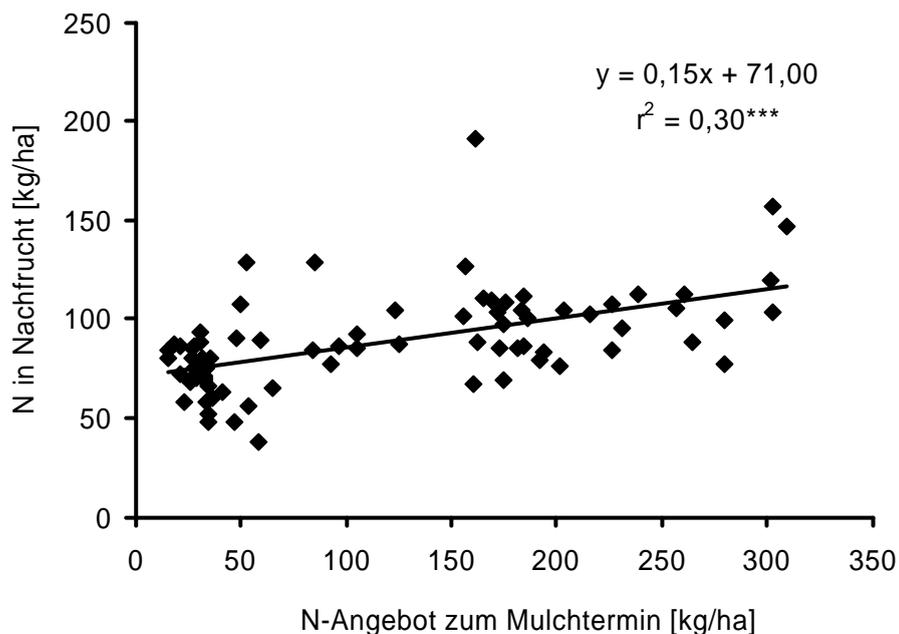


Abb. 3.3.2: Einfluß des N-Angebots zum Mulchtermin (N_{\min} im Boden und N im Mulch der Zwischenfrucht) auf die N-Menge im Sproß der Nachfrucht am 5.8., 30.7. und 9.7.2002 an den Standorten 'W', 'S' bzw. Wiesengut (n = 78)

Der Einfluß der mit dem Mulch zugeführten N-Mengen war an den Standorten auch noch auf die N-Aufnahme der Nachfrucht zum Erntetermin im Herbst nachweisbar. Am Standort Wiesengut waren die N-Mengen im Silomais bei zwar großer Streuung um so höher, je höher die mit dem Mulch der Zwischenfrüchte zugeführten N-Mengen waren (Abb. 3.3.3). Dabei konnten die Varianten ohne Zufuhr von Mulch (beerntete Zwischenfrüchte oder Brache) deutlich von der Gruppe der Varianten mit dem Verbleib des gemulchten Zwischenfruchtaufwuchses abgegrenzt werden. Innerhalb der Gruppen war jeweils keine Beziehung zwischen den abgebildeten Parametern vorhanden.

Wertepaare entlang der in Abbildung 3.3.3 dargestellten Winkelhalbierenden weisen N-Aufnahmen der Nachfrucht in Höhe des zum Mulchtermin vorhandenem N-Angebots auf. Unterhalb der Winkelhalbierenden liegende Wertpaare kennzeichnen Prüfparzellen, in denen mehr Stickstoff zugeführt als von der Nachfrucht aufgenommen wurde. Oberhalb der Winkel-

halbierenden wurde die von der Nachfrucht aufgenommene Stickstoffmenge zusätzlich aus dem Boden-N-Vorrat gespeist. Graphisch bilden Winkelhalbierende und Regressionsgerade eine geöffnete Schere. Je weiter die Wertepaare von der Winkelhalbierenden oberhalb entfernt liegen, um so größer war das N-Bilanzdefizit (Humuszehrung).

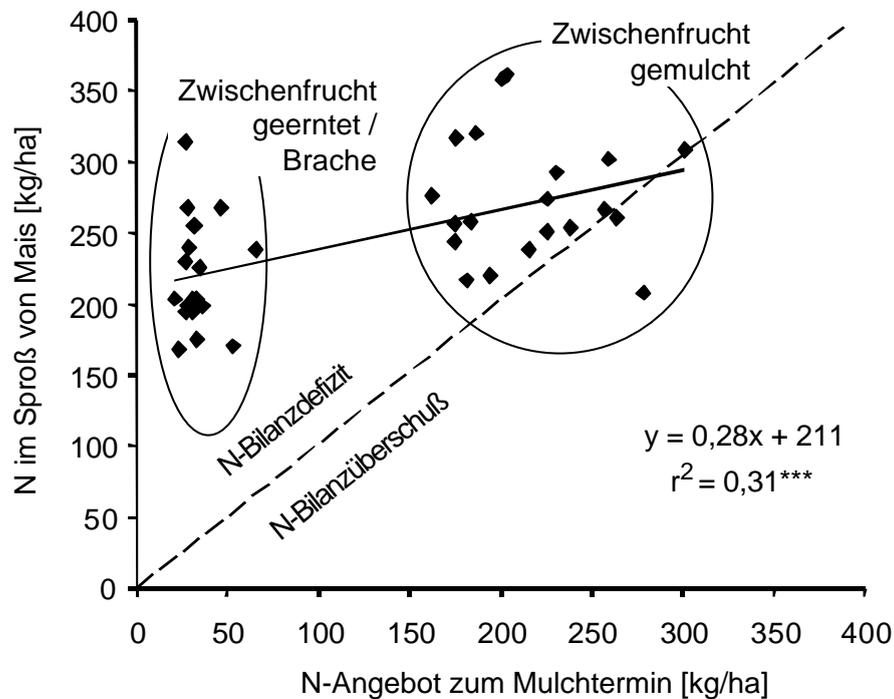


Abb. 3.3.3: Einfluß des N-Angebots zum Mulchtermin (N_{\min} im Boden und N im Mulch der Zwischenfrucht) auf die N-Menge im Sproß der Nachfrucht Mais am Standort Wiesengut am 19. Sep. 2002 im Jahr 2002 (n = 40)

Fazit Beziehungen zwischen den untersuchten Kernparametern

Mit Korrelations- und Regressionsberechnungen wurde der Einfluß des mit dem Verbleib der Zwischenfrucht zugeführten Stickstoffs auf die nach Umbruch mineralisierten N-Mengen im Boden und die von den Nachfrüchten zu zwei Zeitpunkten aufgenommenen N-Mengen an allen Standorten im Jahr 2002 nachgewiesen.

Bei Beerntung der Zwischenfrucht wird ein Großteil des für die Nachfrucht benötigten Stickstoffs aus dem Bodenvorrat gespeist, während mit dem Verbleib der Zwischenfrucht gemulcht auf der Fläche der Anteil der N-Versorgung aus dem Boden-N-Vorrat geringer ist und eine weitgehend ausgeglichene Stickstoff-Feldbilanz und damit Humusbilanz und gestaltet werden kann.

4 Nutzen und Verwertbarkeit – Umsetzung und Anwendung

4.1 Handlungsempfehlungen

Auf Basis der Versuchsergebnisse und der begleitenden Beobachtung von zum Teil nicht in dem vorliegenden Bericht beschriebenen weiteren Versuchs- und Praxisflächen werden folgende Empfehlungen abgeleitet:

- Die **Zufuhr an Stickstoff** ist in den organisch wirtschaftenden Betrieb durch den Anbau von Leguminosen innerbetrieblich sicherzustellen.
- Werden **spät gesäte oder gepflanzte Nachfrüchte** wie Mais oder Kohlarnten angebaut, können Winterzwischenfrucht-Leguminosen in Reinsaat oder im Gemenge eine interessante Option des Leguminosenbaus darstellen.
- Gegenüber üblichen **Aussaatempfehlungen** sind bei der Nutzung von Gemengen (Landsberger Gemenge, Wickroggen) vergleichsweise hohe Leguminosenanteile bzw. ein geringer Anteil an Nichtleguminosen (Welsches Weidelgras, Roggen) für eine hohe symbiotische N₂-Fixierung der Leguminosen günstig.
- Soll die Winterzwischenfrucht **gemulcht** werden, um die Stickstoffversorgung der Folgefrucht zu gewährleisten, können Reinsaaten oder Gemenge mit geringem Anteil an Nichtleguminosen angebaut werden.
- Einem **Austrag an Nitrat** unter Zwischenfrucht **über Winter** kann mit der Beimischung von Nichtleguminosen (v.a. Roggen) nach Kulturen mit höheren Nitrat-Restmengen im Boden und/oder an Standorten mit hoher Austragsgefährdung von Nitrat in tiefere Bodenschichten entgegengewirkt werden.
- Sollen Winterzwischenfrüchte verfüttert werden, ist für die **Frischverfütterung und Silierbarkeit** bei geeigneten Standortbedingungen die Beimischung von Welschem Weidelgras günstig (bspw. Landsberger Gemenge). Die Beimischung des Grases kann dann in der Saatmischung zwar höher als in den hier vorgestellten Versuchen sein, aber das Anbauziel hoher symbiotischer N₂-Fixierung ist nur mit hohen Ertragsleistungen der Leguminosen (Zottelwicke, Inkarnatklée) sicher zu stellen. Deshalb sind der Grasbeimischung Grenzen gesetzt.
- Wird von dem allgemein **empfohlenen Saatzeitraum Ende August** abgewichen, ist bei später Saat mit deutlich geringeren Aufwuchsmengen der Zwischenfrucht zu rechnen. Können sehr späte Nutzungstermine bis in den Juni realisiert werden, bspw. für den Anbau von Kohl, kann die Zwischenfrucht trotz spätem Saattermin einen Minderertrag eventuell kompensieren.
- Andererseits kann eine Saat Mitte-Ende August bei hohem **Unkrautdruck** zu lückig etablierten Zwischenfruchtbeständen führen. Dabei ist aber primär das Unkrautmanagement generell zu überprüfen (u.a. Fruchtfolge, Stoppelpflege) und gegebenen-

falls zu korrigieren, statt mit für einen geringen Unkrautdruck späten Saattermin Mindererträge der Zwischenfrucht zu provozieren.

- Für hohe Erträge und Stickstoffaufnahmen der Leguminosen und damit **N₂-Fixierungsleistungen** ist der Zeitraum **im Frühjahr** wesentlich. Gleichwohl ist die rechtzeitige Saat für eine gelungene Bestandesetablierung vor dem Winter essentiell. Vor- und über Winter sind die Zuwachsraten an Ertrag und die Stickstoff-Aufnahmeraten gering. In den eigenen Feldversuchen im Rheinland mit für Deutschland vergleichsweise hohen Jahresdurchschnittstemperaturen (langjähriges Mittel 11°C) wurden erst **ab Mitte März** tägliche Stickstoff-Aufnahmeraten von 1,5 - 2,5 kg N/ha festgestellt. **Je länger die Wachstumsdauer** der Zwischenfrucht ist, um so höher ist die im Sproß der Zwischenfrucht gebundene Stickstoffmenge. In den Versuchen mit der Nachfrucht Mais wurde die Zwischenfrucht Mitte Mai umgebrochen.
- Die untersuchten Winterzwischenfrucht-Leguminosen hatten in Reinsaat und im Gemenge im Mittel etwa **150 kg N/ha im Sproß** aufgenommen (Spannweite 65 - 200 kg N/ha). Davon wurden etwa **100 kg N/ha symbiotisch fixiert**. Die restliche im Sproß der Zwischenfrucht festgestellte Stickstoffmenge stammte aus dem Boden-Stickstoffvorrat (Humus).
- Die **Sproßmasse** von Leguminosen wird wesentlich schneller **mineralisiert** als jene von Roggen oder Welschem Weidelgras. Je nach Gemengeanteil der Nichtleguminosen, der durch die Saadmischung beeinflusst werden kann, können schneller oder langsamer mineralisierbare Zwischenfruchtbestände zusammengestellt werden.
- In den eigenen Versuchen wurden nach dem Verbleib des Zwischenfruchtaufwuchses als Mulch sowie **nach Umbruch und Saat der Nachfrucht** innerhalb weniger Tage bis Wochen N_{min}-Mengen von **über 100 kg N/ha in der Krume mineralisiert** (Spannweite 50 bis 180 kg N_{min}-N).
- Nach Brache ohne Mulchzufuhr und nach den beernteten Zwischenfrucht-Varianten wurden im Boden N_{min}-Mengen in einem Zeitraum von etwa 8 Wochen nach Umbruch zwischen 50 und 75 kg N/ha mineralisiert. Der organische gebundene **Stickstoff im Boden (Humus)** trug damit wesentlich zur Stickstoffversorgung der Nachfrüchte bei.
- Wird der Zwischenfruchtaufwuchs beerntet, führt die **Stickstoffmineralisierung der Ernte- und Wurzelrückstände** im Vergleich zu Brache nur zu geringfügig höheren N_{min}-Mengen im Boden. Für die vor allem kurzfristig höhere Bereitstellung von Stickstoff für die Nachfrucht ist demnach der **Verbleib der gemulchten Zwischenfrucht-Sproßmasse** wesentlich.
- Werden - wie in den eigenen Untersuchungen - **Nachfrüchte mit einem langen Anbauzeitraum** über Sommer bis in den Herbst hinein angebaut (Mais, Weißkohl), wird in höheren Mengen Stickstoff aus dem Boden nachgeliefert (**Humusmineralisierung**). Bei warmen Temperaturen und hinreichender Bodenfeuchte können die im Boden mineralisierten N-Mengen über einen langen Zeitraum aufgenommen werden.

- Trotz unterschiedlicher Stickstoffaufnahmen der Nachfrüchte entsprechend den verschiedenen Versuchsvarianten (gemulcht oder geerntet, Zwischenfruchtart) waren die **Unterschiede im Trockenmasseertrag der Nachfrucht** gering bis gar nicht nachweisbar. Ursache hierfür ist das Kompensationsvermögen der Pflanzen bei der Ertragsbildung: Unterschiedliche Stickstoffmengen in der Nachfrucht führen nicht gleichermaßen zu unterschiedlichen Massenerträgen. Der Anteil der Restpflanze bei Mais und Kohl kann stärker variieren als der Kolben- bzw. Kopfertrag und wirkt damit ausgleichend.
- Aus diesem Sachverhalt kann aber nicht abgeleitet werden, daß die hohen Stickstoffmengen in der Zwischenfrucht unwirksam waren. Mit dem Verbleib und der Einarbeitung des Zwischenfruchtaufwuchses gemulcht auf der Fläche ist im Vergleich zur Beerntung von einer **ausgeglichenen Stickstoffbilanz und damit auch Humusbilanz** auszugehen.
- Wird der Zwischenfruchtbestand beerntet und **verfüttert**, kann die damit potentiell höhere Humuszehrung innerbetrieblich durch die Rückführung der entstehenden **Wirtschaftsdünger** auf die Fläche wieder ausgeglichen werden.
- Es gibt die leider wenig belegte grundsätzliche Befürchtung von **Fruchtfolgekrankheiten** auch beim Anbau von Zwischenfrüchten. Problematisch könnte vor allem der gemeinsame Anbau von Zottelwicken und Körnererbsen in einer Fruchtfolge sein (u.a. *Aphanomyces*-Wurzelfäule - *Aphanomyces euteiches*, und *Ascochyta*-Fuß- und Brennfleckenkrankheit - *mehrere Arten*). Zottelwicken werden dabei im Gemenge gegenüber Zottelwicke in Reinsaat vorteilhafter sein.

4.2 Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Folgender Forschungs- und Entwicklungsbedarf ist identifiziert:

- Bei den Winterzwischenfrucht-Leguminosen gibt es kaum eine **Züchtung neuer Sorten**. Offensichtlich ist deren Anbaubedeutung für die Landwirtschaft insgesamt im Gegensatz zu früher gering. Die in den eigenen Feldversuchen verwendeten Sorten von Zottelwicken und Inkarnatklée wurden bereits vor über 50 Jahren zugelassen. Bei günstigen Wachstumsbedingungen war aber beispielsweise die Standfestigkeit dieser Leguminosen in Reinsaat beeinträchtigt. Hohe Niederschlagsintensitäten mit Windböen führten bspw. im Jahr 2002 zu vorzeitigem Lager. Zumindest in den USA werden für den Winterzwischenfruchtbau neue Zottelwickensorten entwickelt.
- Die Feldversuche wurden im **Rheinland** (Niederrheinische Bucht) mit für Winterzwischenfrüchte vergleichsweise günstigen Witterungsbedingungen durchgeführt. Die

Übertragbarkeit der Untersuchungsergebnisse sollte an anderen Standorten überprüft werden.

- Bei der Etablierung der Winterzwischenfrucht-Bestände gab es Probleme bei hohem **Unkrautdruck**. Dieser Umstand kann unter anderem Folge einseitiger Fruchtfolgegestaltung sein und bedarf dann der grundsätzlichen Problemlösung. Dennoch sind für den erfolgreichen Anbau von Winterzwischenfrucht-Leguminosen bei hohem Unkrautdruck angepasste Etablierungsstrategien zu entwickeln.
- Sollen Winterzwischenfrucht-Leguminosen geerntet und konserviert werden, sind Analysen der erforderlichen Gemengekomposition hinsichtlich **Futterqualität** (u.a. Energiedichte, Rohprotein- und Rohfasergehalt) sowie **Siliereignung** (u.a. Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten, Pufferkapazität) erforderlich, um Handlungsempfehlungen für die Bewirtschaftungspraxis ableiten zu können.
- Mulchnutzung von Leguminosenbeständen stellt für die Versorgung von stickstoffzehrenden Futterbau- und Marktfrüchten im Organischen Landbau eine wichtige Form der Stickstoffzufuhr dar. Ein effektiver und verlustarmer Stickstofftransfer ist dabei zu gewährleisten. Unter Feldbedingungen gibt es für die **Umsetzung und Freisetzung von leguminosenbürtigem Stickstoff im Boden** kaum allgemeingültige und verlässliche Planungsdaten für die Beratung und Praxis. Für die optimale Terminierung, Art und Intensität der Einarbeitung der Mulchmasse in den Boden in Abhängigkeit vom Ausgangsbestand (Zusammensetzung und Inhaltsstoffe des Gemenges bzw. der Reinsaat) fehlen weitgehend Handlungsempfehlungen für die Praxis.
- Der Verbleib des leguminosenbürtigen Stickstoffs als Teil des **Umsatzes organischer Substanz im Boden** bedarf der Klärung der Zusammenhänge, wie anhand der in den eigenen Versuchen aufgetretenen Überlagerungseffekte und Interaktionen deutlich wurde.
- Dabei ist auch die **Emission spuren- und klimarelevanter Spurengase** (u.a. NH_3 und N_2O) in Abhängigkeit von der N-Mineralisierungsrate und der akkumulierten N_{min} -Mengen im Boden - in den eigenen Versuchen waren diese hoch - zu quantifizieren.
- Das **Stickstoffmanagement im organisch wirtschaftenden Betrieb** hat langfristig die Beeinflussung und Lenkung der Umsetzungsprozesse und des Gehaltes an umsetzbarer organischer Substanz im Boden (Humus) zum Gegenstand. Vor diesem Hintergrund kann die Wirkung und der Verbleib leicht und damit schnell umsetzbarer Sproßmasse von Winterzwischenfrucht-Leguminosen ein wichtiges Element bei der Entwicklung von Betriebskonzepten nachhaltiger organischer Landbewirtschaftung sein.

4.3 Bisherige Aktivitäten zur Verbreitung der Projektergebnisse

Feldführungen, Vorträge und Poster

- HAAS, G. 2002: Stickstoffzufuhr im Ökologischen Landbau: Leguminosen als Zwischenfrucht über Winter. Poster, DLG-Feldtage, 18.-20. Juni 2002, Gut Hellkofen bei Regensburg.
- HAAS, G. 2002: Feldversuche zur "Stickstoffzufuhr und Vorfruchteffekt von Winterzwischenfruchtleguminosen" auf dem Versuchsbetrieb Wiesengut. Tagung der AG Agrar- und Produktionsökologie der Gesellschaft für Pflanzenbauw., 24. Juni 2002, Hennef.
- HAAS, G. 2002: Konkurrenz in Gemengen mit Zottelwicke (*Vicia villosa* Roth.). 45. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauw., 26.-28. Sep. 2002, Berlin.
- HAAS, G. 2002: Leistungsfähigkeit von Winter-Zwischenfrucht-Leguminosen. 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau. 24.-26. Feb. 2003, Wien (Posterbeitrag).
- HAAS, G. 2003: Winterzwischenfrucht-Leguminosengemenge: Anbaustrategien, Vorfruchteffekte und Stickstoffumsatz. Feldversuchsbegehung und Vortrag, Tagung der Landwirtschaftskammer-Berater für Ökologischen Landbau in Nordrhein-Westfalen, 15. Mai 2003, Versuchsbetrieb Wiesengut/Hennef.
- HAAS, G. 2003: Landsberger Gemenge: Artspezifische Konkurrenz und deren Beeinflussung. 47. Jahrestagung AG Grünland und Futterbau - Gesellschaft für Pflanzenbauw., 28.-30. Aug. 2003, FAL Braunschweig (Posterbeitrag).
- HAAS, G. 2004: Strategies and Approaches for Organic Agriculture Research at the University of Bonn, Germany. Keynote Presentation at the First Canadian Organic Agriculture Research Workshop, 22. Jan. 2004, University of Guelph, Canada (Projektergebnisse Teil des Vortrags).
- HAAS, G. 2004: Stickstoffversorgung von Mais und Weißkohl nach Winterzwischenfrucht-Leguminosen. Wintertagung der "Leitbetriebe Ökologischer Landbau NRW" mit Landwirten und Beratern, 11. Feb. 2004, Landwirtschaftszentrum Haus Düsse.
- HAAS, G. 2004: N-Bindung und N-Bereitstellung von Winterzwischenfrucht-Leguminosen zu Mais und Weißkohl. Seminar "Erhöhung der N-Effizienz in ökologisch wirtschaftenden Futterbaubetrieben" mit Landwirten und Beratern, Forschungs- und Studienzentrum für Veredelungswirtschaft Weser-Ems der Univ. Göttingen, 22. Juni 2004 in Großenkneten.

Tagungsbandbeiträge

- HAAS, G. 2002: Konkurrenz in Gemengen mit Zottelwicke (*Vicia villosa* Roth.). Mitt. Gesell. für Pflanzenbauw. 14, 82-83.
- HAAS, G. 2002: Leistungsfähigkeit von Winter-Zwischenfrucht-Leguminosen. In: FREYER, B. (Hrsg.): Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau. Wien, 24.-26. Feb. 2003, 515-516.
- HAAS, G. 2003: Landsberger Gemenge: Artspezifische Konkurrenz und deren Beeinflussung. 47. Jahrestagung AG Grünland und Futterbau - Gesellschaft für Pflanzenbauw., 28.-30. Aug. 2003, FAL Braunschweig, 87 - 90.

Publikationen in Praxiszeitschriften, Beratungsrundbriefen und begutachteten internationalen wissenschaftlichen Zeitschriften sind in Vorbereitung. Bei Interesse bitte Anfrage ab Frühjahr 2005 (g.haas@uni-bonn.de).

5 Zusammenfassung

Der organisch wirtschaftende Landwirt ist systemkonform bestrebt, möglichst wenig Betriebsmittel von außen einzusetzen. Die Zufuhr von Stickstoff (N) wird über den Anbau von Leguminosen gewährleistet. Auf den Zukauf von stickstoffhaltigen Düngemittel wird weitgehend verzichtet. Eine bislang wenig untersuchte Form der N-Zufuhr in den organisch wirtschaftenden Betrieb stellt der Anbau von Leguminosen als Winterzwischenfrüchte dar. Dabei wird alternativ zum Hauptfrucht-Futterbau oder Grünbrache-Leguminosenbau der Zeitraum Winter bis spätes Frühjahr für den Anbau von Leguminosen genutzt. Als Nachfrüchte sind spät gesäte oder gepflanzte sommerannuelle Kulturen günstig.

In den Jahren 2002 und 2003 wurden an drei organisch bewirtschafteten Standorten mit faktoriellen Feldversuchen die N-Bindung im Sproß und die Vorfruchtwirkung von Winter-Zwischenfrucht-Leguminosen (Zottelwicken, Inkarnatklée, Landsberger Gemenge, Wickroggen) teilweise gemulcht oder beerntet zu Weißkohl und Mais untersucht. Um die symbiotisch fixierte N-Menge der Leguminosen zu bestimmen, wurden Nicht-Leguminosen (Welsches Weidelgras, Roggen) als Referenzfrüchte angebaut. Die Standorte lagen in der Niederrheinischen Bucht (65 bzw. 30 m NN).

Die untersuchten **Winterzwischenfrucht-Leguminosen** hatten in Reinsaat oder Gemenge im Mittel etwa 150 kg N/ha im Sproß aufgenommen (Spannweite 65 - 200 kg N/ha). Davon wurden durchschnittlich etwa 100 kg N/ha symbiotisch fixiert. Die restliche im Sproß festgestellte N-Menge stammte aus dem Boden-N-Vorrat (Humus). Nach der Etablierung der Bestände war eine Wachstumsperiode bis mindestens in den Mai hinein für hohe N-Mengen im Zwischenfruchtaufwuchs erforderlich, da hohe tägliche N-Aufnahmeraten (1,5 - 2,5 kg N/ha) erst im Frühjahr ab Mitte März auftraten.

Die Zwischenfruchtbestände konnten im Vergleich zu Brache die N_{\min} -Mengen im Boden bis 90 cm Tiefe vor Winter um bis zu 50 bis 80 kg N/ha reduzieren. Im Sproß der Zwischenfrüchte wurden vor Winter 40 bis 90 kg N/ha gebunden. Der Nitratminderungseffekt im Boden war im Gemenge gegenüber der Reinsaat Wicke höher und unter Rübsen und Roggenreinsaat am höchsten.

Winterzwischenfrucht-Leguminosen wiesen, geschätzt anhand der untersuchten Inhaltsstoffe, eine sehr hohe Mineralisierbarkeit auf. Im Gegensatz zu den Leguminosen Inkarnatklée und Zottelwicke (3,1 bzw. 4,1 % N i.d.TM) kann die Mineralisierbarkeit von Roggen und Welschem Weidelgras als Gemengepartner bei am Schwellenwert liegenden N-Gehalten (1,6 % N i.d.TM) und oberhalb des Schwellenwertes ($C/N = 20 - 25$) liegenden C/N-Verhältnissen ($C/N = 31$ bzw. 29) zeitweise gehemmt sein (Inkarnatklée und Zottelwicken $C/N = 14$ bzw. 11).

Nach dem Umbruch gemulchter Zwischenfruchtbestände wurden innerhalb weniger Tage bis Wochen sehr hohe N_{\min} -Mengen mehrfach über 100 kg N/ha im Oberboden mineralisiert

(Spannweite 50 bis 180 kg N_{\min} -N). Nach gemulcheter Zwischenfrucht wurden höhere N_{\min} -Mengen im Boden festgestellt als nach beernteter Zwischenfrucht oder reiner Brache. Im Vergleich zur Brache ohne Mulchzufuhr wiesen die beernteten Varianten zumeist nur geringfügig höhere N_{\min} -Mengen im Boden auf. Demnach ist die in den Ernte- und Wurzelrückständen kurzfristig mineralisierbare N-Menge gering, weil die N-Freisetzung aus dem Bodenvorrat groß war. Für ein höheres N-Angebot zur Nachfrucht ist der im Sproß der Zwischenfrucht gebundene Stickstoff wesentlich. Mulchnutzung ist mit dem Ziel hoher N_{\min} -Mengen im Boden nach Umbruch der Zwischenfrucht einer Beerntung vorzuziehen. Nach Brache ohne Mulchzufuhr und nach den beernteten Varianten wurden im Boden N_{\min} -Mengen zwischen 50 und 75 kg N/ha nach Umbruch mineralisiert. Der organische gebundene Stickstoff im Boden trug damit wesentlich zur N-Versorgung der Nachfrüchte bei.

Am Standort 'W' wurde zweijährig die Nachfrucht **Weißkohl** untersucht. Die in der ersten Teilflächenbeerntung zum Abschluß der Bodenbeprobungen nach Umbruch der Zwischenfrucht gemessene N-Aufnahme des Weißkohls - zwischen 50 - 125 kg N/ha und 25 - 75 kg N/ha im ersten bzw. zweiten Untersuchungsjahr - spiegelten die Abstufung der N_{\min} -Mengen in der Krume nach Umbruch wieder. Bei den Ernten im Herbst wurden bei N-Gesamtaufnahmen von 125 - 230 kg N/ha in beiden Jahren weniger differenzierte Abstufungen zwischen den Varianten festgestellt. Nach 'Wicke beerntet' wurden im Vergleich zur Variante 'Brache' nur geringfügig höhere N-Mengen in der Nachfrucht gemessen. Die N-Nachlieferung aus den Ernte- und Wurzelrückständen der Zwischenfrucht war demnach auch während des gesamten Vegetationszeitraums gering. Verblieb der Zwischenfruchtaufwuchs gemulcht auf der Fläche oder wurde nach Brache zugeführt, wurden höhere N-Aufnahmen der Nachfrucht Weißkohl festgestellt.

Nach dem weitgehenden Ernteausfall im Jahr 2002 infolge gravierendem Schädlingsbefalls wurden im Jahr 2003 bei Weißkohl Trockenmasseerträge zwischen 46 und 75 dt TM/ha mit 2,8 bis 3,6 % N bzw. 5,1 - 6,6 % TM erreicht. Der Frischmasseertrag lag zwischen 877 und 1.274 dt/ha und je Kopf zwischen 3,9 und 5,7 kg. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die geringeren Erträge bei den Referenzvarianten 'Reinsaat Gras' und 'Brache' festgestellt wurden. Die Erträge der Hauptvarianten unterschieden sich im Gegensatz zu den N-Aufnahmen vergleichsweise wenig.

An den Standorten 'S' und 'Wiesengut' wurde zweijährig **Mais** als Nachfrucht der Winterzwischenfrucht angebaut. Entsprechend den im Boden nach Umbruch der Zwischenfruchtvarianten gemessenen N_{\min} -Mengen differenzierte die Rangfolge der N-Aufnahme der Nachfrucht Mais bei der ersten Teilflächenbeerntung im Juli zumeist erwartungsgemäß (im Mittel der Standorte und Jahre 80 - 130 kg N/ha im Sproß von Mais). Bei der im September jeweils durchgeführten Silomaisernte bestätigte sich erneut weitgehend diese Rangfolge in der N-Aufnahme (im Mittel der Standorte und Jahre 150 - 280 kg N/ha im Sproß von Mais).

An den Standorten 'S' und 'Wiesengut' wurden im Jahr 2002 im Durchschnitt 196 und 191 dt TM/ha sowie im Jahr 2003 191 und witterungsbedingt nur 138 dt TM/ha Silomaisertrag gebildet. Die Kolbenenerträge zur Körnermaisernte im Jahr 2002 an den Standorten 'S' und 'Wiesengut' betragen 130 bzw. 103 dt TM/ha (Wiesengut nur Silomaiserntermin). Im Folgejahr wurden 109 bzw. 76 dt TM/ha gemessen. Die Kornanteile am Kolben lagen in beiden Jahren bei 89 bzw. keine Erhebung sowie 82 bzw. 77%. Die Stärkegehalte der Kolben und Körner in den beiden Jahren waren kaum differenziert (knapp unter 50 bzw. etwa 70% Stärke i.d.TM) und lagen für die Restpflanze durchgehend unter 0,5%.

Wie schon bei den Untersuchungen zur Nachfrucht Weißkohl festgestellt (Kap. 3.2.2), war auch bei Mais trotz deutlich unterschiedlicher N-Akkumulation zwischen den Varianten, die Differenzierung der Trockenmasseerträge der Gesamtpflanze geringer. Noch geringer bis nicht mehr nachweisbar waren die Unterschiede der Kolben- bzw. Körnermaiserträge. Dieser Sachverhalt war auf die höhere Variabilität der N-Mengen wie auch der Trockenmasseerträge der Restpflanze (ohne Kolben) zurückzuführen. Auch bei Mais wirkte sich das Kompensationsvermögen bei der Ertragsbildung der Kolben nivellierend auf die Unterschiede in der N-Menge im Sproß aus.

Die N-Aufnahme der Nachfrüchte war nach dem Verbleib des gemulchten Zwischenfruchtaufwuchses im Vergleich zu den beernteten Varianten überwiegend signifikant höher. Gleichwohl war die mit dem Mulch zugeführte N-Menge nicht als Differenz zwischen gemulchten und beernteten Varianten wiederzufinden. Die N-Nachlieferung aus dem Boden (Humusmineralisierung) überdeckte teilweise die Wirkung des gemulchten Zwischenfruchtaufwuchses. Die Art der Zwischenfrucht mit Leguminosen in Reinsaat oder im Gemenge hat keine über die beiden Jahre und Standorte eindeutige Differenzierung erkennen lassen.

Mit Korrelations- und Regressionsberechnungen wurde der Einfluß des mit dem Verbleib der gemulchten Zwischenfrucht zugeführten Stickstoffs auf die nach Umbruch mineralisierten N-Mengen im Boden und die von den Nachfrüchten im Sommer bzw. im Herbst zur Ernte aufgenommenen N-Mengen an allen Standorten nachgewiesen. Bei Beerntung der Zwischenfrucht muß ein Großteil des für die Nachfrucht benötigten Stickstoffs aus dem Bodenvorrat gespeist werden, während mit dem Verbleib der Zwischenfrucht gemulcht auf der Fläche eine weitgehend ausgeglichene Stickstoff-Feldbilanz und damit Humusbilanz gestaltet werden kann.

Mit Winterzwischenfrucht-Leguminosen kann ein mengenmäßig bedeutsamer Beitrag für die innerbetrieblich erzeugte N-Zufuhr geleistet werden. Auf Basis der vorgestellten Feldversuchsergebnisse wurde in gesonderten Kapiteln eine umfangreiche Liste an Handlungsempfehlungen sowie der sich ergebende zukünftige Forschungs- und Entwicklungsbedarf ausgearbeitet.

6 Literatur

- ABDUL-BAKI, A.A., J.R. STOMMEL, A.E. WATADA, J.R. TEASDALE & R.D. MORSE 1996: HAIRY VETCH MULCH FAVORABLY IMPACTS YIELD OF PROCESSING TOMATOES. *HORT. SCIENCE* 31/3, 338-340.
- BROWN, R.E., G.E. VARVEL & C.A. SHAPIRO 1993: Residual effects of interseeded hairy vetch on soil nitrate-nitrogen levels. *Soil Science Society of America Journal* 57/1, 121-124.
- CADISCH, G., K.E. GILLER 1997: *Driven by Nature - Plant Litter Quality and Decomposition*. Wye College, University of London, CAB-International, Großbritannien.
- CONSTANTINIDES, M., J.H. FROWNES 1994: Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants: relationship to nitrogen, lignin and soluble polyphenol concentrations. *Soil Biology and Biochemistry* 26, 49-55.
- CURRAN, W.S., L.D. HOFFMAN & E.L. WERNER 1994: The influence of a hairy vetch (*Vicia villosa*) cover crop on weed control and corn growth and yield. *Weed Technology* 8/4, 777-784.
- DREESMANN, S. 1994: Pflanzenbauliche Untersuchungen zu Rotklee- und Luzernegras-Grünbrachen in der modifizierten Fruchtfolge Zuckerrüben - Winterweizen - Wintergerste. Diss. Univ. Bonn.
- DUFNER, J., U. JENSEN, E. SCHUMACHER 1992: *Statistik mit SAS*. Teubner, Stuttgart.
- FABBENDER, K. 1998: Strategien zur Reduzierung von Nitratverlagerungen auf ökologisch wirtschaftenden Betrieben im ersten und zweiten Jahr nach Kleeerasumbruch. Diss. agr., Univ. Bonn, Verlag M. Wehle, Witterschlick/Bonn.
- GILLER, K.E., G. CADISCH 1997: Driven by nature: a sense of arrival or departure? In: CADISCH, G. & K.E. GILLER 1997: *Driven by nature - plant litter quality and decomposition*. Wye College, University of London, CAB-International, Großbritannien.
- HAAS, G. 1995: Auswahl von Feldversuchsflächen auf heterogenem Auenboden: Bestandeskartierung - Uniformitätsernten - Luftbildaufnahmen - Exaktvermessung. Diss. agr., Verlag Dr. Köster, Berlin.
- HAAS, G. 2001: Organischer Landbau in Grundwasserschutzgebieten: Leistungsfähigkeit und Optimierung des pflanzenbaulichen Stickstoffmanagements. ISBN 3-89574-439-5, Verlag Dr. Köster, Berlin, 165 S.
- HAAS, G. 2002: Grundwasserschutz im Organischen Landbau: Untersaaten in Kartoffeln zur Minderung hoher Restnitratmengen im Boden. ISBN 3-89574-472-7, Verlag Dr. Köster, Berlin, 66 S.
- HAAS, G., M. BERG, U. KÖPKE 1998: Grundwasserschonende Landnutzung - Vergleich der Ackernutzungsformen Konventioneller, Integrierter und Organischer Landbau, Vergleich der Landnutzungsformen Ackerbau, Grünland (Wiese) und Forst (Aufforstung). Projekt Deutsche Bundesstiftung Umwelt, ISBN 3-89574-1, Verlag Dr. Köster, Berlin, 164 S.
- HAAS, G., A. SCHLONSKI, U. KÖPKE 2003: Rotkleeergras im Organischen Landbau: Einfluß von Arten- und Sortenwahl auf Ertrag und Futterqualität. Schriftenreihe Lehr- und Forschungsschwerpunkt Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft, Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn (download: www.usl.uni-bonn.de/Publikationen/), Band 109.
- HAROON, S.A. 1993: Effect of hairy vetch (*Vicia villosa*) and four different kinds of grasses as mulches [cover crops] in the production of tomatoes and control of *Meloidogyne incognita*. *J. of Agricultural Sciences* 24/4, 19-34.
- HEAL, O.W., J.M. ANDERSON, M.J. SWIFT 1997: Plant Litter Quality and Decomposition: An Historical Overview. In: CADISCH, G., K.E. GILLER (eds.), siehe dort, 3-32.
- HEß, J. 1989: Kleeergrasumbruch im Organischen Landbau - Stickstoffdynamik im Fruchtfolgeglied "Kleeergras - Kleeergras - Weizen - Roggen". Diss. agr., Univ. Bonn.
- HEß, J. 1993/95: Residualer Stickstoff aus mehrjährigem Feldfutterbau: Optimierung seiner Nutzung durch Fruchtfolge und Anbauverfahren unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus. Habilitationsschrift 1993, Landw. Fakultät, Univ. Bonn, Wissenschaftlicher Fachverlag 1995, Gießen.
- KLIMANEK, E.-M. 1988: Qualität und Umsetzungsverhalten von Ernte- und Wurzelrückständen landwirtschaftlich genutzter Pflanzenarten. Diss. (B), Berlin, Akademie der Landwirtschaftswissenschaften, Bereich Bad Lauchstädt.
- 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.

- KÖPKE, U. 1987: Symbiotische Stickstoff-Fixierung und Vorfruchtwirkung von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.). Habil.-Schrift, agr., Univ. Göttingen, Neuauflage 1996, Verlag Dr. Köster, Berlin.
- KÖPKE, U. 1994: Nährstoffmanagement durch acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen. Berichte über Landwirtschaft, Sonderheft 207, 181-203.
- KÖPKE, U. 1996: Fruchtfolge und Nährstoffmanagement im Organischen Landbau -Synopsis und Ausblick. In: Lehr- und Forschungsschwerpunkt "Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft", Univ. Bonn. (Hrsg.): Nährstoffkreisläufe und Prozeßgestaltung - Umweltforschung für die Zukunft. Tagung 23. Mai 1996, Forschungsbericht Nr. 34, 50-63.
- LEITHOLD, G. 1991: Über den Zusammenhang von Humus und Stickstoff im System Boden-Pflanze und Möglichkeiten einer quantitativen Beschreibung. Wiss. Z. Univ. Halle XXXX'91 M, H. 3, 67-75.
- LEITHOLD, G. & K. J. HÜLSBERGEN 1997. Grundlagen und Methoden zur Humusbilanzierung im ökologischen Landbau. In: Köpke, U., J.-A. Eisele (Hrsg.): Beiträge. 4. Wiss.-Tagung Ökologischer Landbau 3.-4. März 1997, Verlag Dr. Köster, Berlin, 56-62.
- MAGID, J., T. MUELLER, L.S. JENSEN, N.E. NIELSEN 1997: Modelling the measurable: Interpretation of field-scale CO₂ and N-mineralization, soil microbial biomass and light fractions as indicators of oilseed rape, maize and barley straw decomposition. CAB International, 349-362.
- MUELLER, T. & K. THORUP-KRISTENSEN 2001: N-fixation of selected green manure plants in an organic crop rotation. Biological Agriculture and Horticulture 18, 345-363.
- MWAJA, V.N., J.B. MASIUNAS & C.E. EASTMAN 1996: Rye (*Secale cereale* L.) and hairy vetch (*Vicia villosa* Roth) intercrop management in fresh-market vegetables. J. of the American Society for Horticultural Science 121/3, 586-591.
- NESMITH, D.S. & D.V. MCCRACKEN 1994 Influence of tillage and sidedress nitrogen on snap bean following a hairy vetch cover crop. Communications in Soil Science and Plant Analysis 25, 2959-2970.
- PALM, C.A., A.P. ROWLAND 1997: A Minimum Dataset for Characterization of Plant Quality for Decomposition. In: CADISCH, G., K.E. GILLER (eds.), siehe dort, 379-392.
- PAUL, E.A., F.E. CLARK 1988: Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press, San Diego, USA.
- PIEPHO, H.-P. 1996: Ein SAS-Macro für robuste Varianzhomogenitätstests in allgemeinen linearen Modellen. Z. f. Agrarinformatik 4, 66-69.
- RAUBER, R. & K. SCHMIDTKE 1999: Nutzung der symbiontischen Stickstoff-Fixierleistung bei Leguminosen. Mitt. d. Gesellschaft f. Pflanzenbauwissenschaften 12, 1-6.
- SCHILLING, B., F. PREITAUER, T. GEBBING & H. SCHNYDER 1998: Die Bestimmung pflanzlicher Gerüstsubstanzen bei geringen Einwaagemengen. Mitt. d. Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 11, 233-234.
- SCHMIDT, H. 1997: Viehlose Fruchtfolge im Ökologischen Landbau - Auswirkungen systemeigener und systemfremder Stickstoffquellen auf Prozesse im Boden und die Entwicklung der Feldfrüchte. Diss. agr., GH Univ. Kassel - Witzenhausen.
- SCHULZ, E., E.-M. KLIMANEK 1988: Transformation organisch gebundenen Stickstoffs beim Abbau organischer Primärsubstanz (OPS) im Boden unter Anwendung von ¹⁵N-Tracern im Inkubationsversuch sowie erste Ergebnisse zur C/N-Transformation beim OPS-Umsatz. Zentralbl. Mikrobiol. 143, (VEB Fischer Verlag, Jena) 435-439.
- STUMP, L.M., D. BINKLEY 1993: Relationship between litter quality and nitrogen availability in Rocky Mountains forests. Can. J. for Res. 23, 492-502.
- THORUP-KRISTENSEN, K. 1995: Optimal Strategies for Nitrogen Catch Crop Use. Diss. agr., Danish Institute of Plant and Soil Science, Dänemark.
- UTOMO, M., W.W. FRYE & R.L. BLEVINS 1990: Sustaining soil nitrogen for corn using hairy vetch cover crop. Agronomy Journal (USA), 82/5, 979-983.
- WHITMORE, A.P., E. HANDAYANTO 1997: Simulating the Mineralization of N from Crop Residues in Relation to Residue Quality. In: CADISCH, G., K.E. GILLER (eds.), siehe dort, 337-348.