Das Lebensministerium

N-Freisetzung aus Kleegras

Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft
Heft 19/2007

Freistaat Sachsen

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Abschätzung der N-Freisetzung aus unterschiedlich bewirtschafteten Klee-, Kleegras und Luzernebeständen im Verlauf nachfolgender Weißkohlkulturen und im zweiten Jahr nach Umbruch

Dr. Hermann Laber

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung und Problemstellung ... 1
2 Literaturübersicht ... 3
2.1 N-Menge in ein- bis mehrjährigen Klee(gras)- und Luzerne(gras)-Beständen ... 3
2.2 Ertragswirksamkeit von Klee(gras)- und Luzerne(gras) als Vorkultur ... 4
2.3 N-Freisetzung aus Klee(gras)- und Luzerne(gras)-Beständen ... 6
3 Material und Methoden ... 8
3.1 Versuchsstandort ... 8
3.2 Versuchsprogramm ... 8
3.3 Versuchsaufbau und -durchführung ... 9
3.3.1 Weißkohl-Versuch 2004/Rote Bete-Nachbau 2005 ... 13
3.3.2 Weißkohl-Versuch 2005/Rote Bete Nachbau 2006 ... 14
3.3.3 Weißkohl-Versuch 2006 ... 17
3.4 Datenerfassung und Analytik ... 20
3.5 Kalkulationsschema zur Abschätzung des N-Angebots ... 21
3.6 Verrechnung und statistische Auswertung ... 23
4 Ergebnisse ... 23
4.1 Weißkohlversuch 2004 ... 23
4.2 Weißkohlversuch 2005 ... 29
4.3 Weißkohlversuch 2006 ... 34
4.4 Rote Bete-Nachbau 2005 ... 39
4.5 Rote Bete-Nachbau 2006 ... 42
4.6 Weißkohlversuche am Standort Ruthe ... 44
4.6.1 Weißkohl-Versuch Ruthe 2005 ... 45
4.6.2 Weißkohl-Versuch Ruthe 2006 ... 47
4.7 Zusammenfassung der Ergebnisse ... 49
4.7.1 N-Angebot der verschiedenen Varianten ... 49
4.7.2 Kalkuliertes und gemessenes N-Angebot ... 52
4.7.3 N-Nachlieferung im 2. Nachbaujahr (Versuche in Dresden-Pillnitz) ... 55
5 Diskussion und Schlussfolgerungen ... 60
5.1 N-Angebot aus Klee(gras)- bzw. Luzerne-Vorkulturen ... 60
5.2 Kalkulation des N-Angebots ... 62
Literaturverzeichnis ... 64
Anhang ... 68

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

Ab	Abfuhr des Grünaufwuchses (nur Stoppel- und Wurzelmaterial verbleibt)
ER	Ernterückstände
FM	Frischmasse [dt/ha]
FN	Futternutzung (regelmäßige Abfuhr des Grüngutes)
Frü	Frühjahrsumbruch (Einarbeitung der Bestände im Mai)
GB	Grünbrache (regelmäßiges Mulchen der Bestände, Verbleib des Grüngutes)
Ha	Hafer (*Avena sativa*)
Her	Herbstumbruch (Einarbeitung der Bestände zu Vegetationsende)
KG (-1)	Kleegras (Gemenge aus ggf. verschiedenen Kleearten und Gräsern); -1: einjährig, -1½: überjährig, -2: zweijährig
KL	Klee (ggf. verschiedenen Kleearten), ohne Gräseranteil
Ko	Kontrolle (Getreide-Vorfrüchte, z. T. Phacelia als Herbst-Zwischenfrucht, weitestgehende Abfuhr des jeweiligen Aufwuchses)
Lu	Luzerne (*Medicago sativa*)
LG	Luzernegras (Gemenge aus Luzerne und ggf. verschiedenen Gräsern)
$N_{Aufwuchs}$	N-Menge im oberirdischen Aufwuchs eines Kulturpflanzen-Bestandes [kg N/ha]
$N_{Ernterückstände}$	N-Menge in den oberirdischen Ernterückständen [kg N/ha]
N-Freisetzung	(scheinbare) Wiederfindung ausgebrachter/eingearbeiteter N-Mengen in Form von N in der nachgebauten Kultur und N_{min}-Resten [kg N/ha bzw. Prozent der ausgebrachten/eingearbeiteten Menge]
$N_{Marktware}$	N-Menge im Marktertrag [kg N/ha]
$N_{Gründüngung}$	N-Menge im oberirdischen Aufwuchs eines Gründüngungs-Bestandes [kg N/ha]
Pha	Phacelia (*Phacelia tanacetifolia*)
RK	Rotklee (*Trifolium pratense*)
SG	Sommergerste (*Hordeum vulgare*)
SK	Schwedenklee (*Trifolium hybridum*)
SW	Sommerweizen (*Triticum aestivum*)
TM	Trockenmasse [dt/ha]
TS	Trockensubstanz
V	Verbleib des (letzten) Grünaufwuchses bei sonst üblicher Abfuhr wegen FN
WG	Wintergerste (*Hordeum vulgare*)
Wgr	Deutsches bzw. Welsches Weidelgras (*Lolium perenne* bzw. *L. italicum*)
WK	Weißklee (*Trifolium repens*)
WW	Winterweizen (*Triticum aestivum*)
WWick	Winterwicke (*Vicia villosa*)
ZwF	Zwischenfrucht
ZR	Zuckerrübe (*Beta vulgaris*)

1 Einleitung und Problemstellung

Über- und mehrjährige Leguminosen(gras)-Bestände sind ein wesentliches Fruchtfolgeglied im ökologischen Landbau. Sie sind 'klassische' Vorfrüchte vor Weizen (Back- und Futterqualität) und anderen N-bedürftigen Kulturen (vgl. KOLBE 2006). Aber auch im (Feld)Gemüsebau nutzt man den Vorfruchtwert dieser Bestände, wobei hier insbesondere die Lagerkohlarten (Weiß-, Rot- und Wirsingkohl), Rosenkohl sowie z. T. Blumenkohl und Brokkoli nachgebaut werden. Diese Kulturen weisen mit Werten von 250 (Blumenkohl/Brokkoli) bis 420 kg N/ha (Rosenkohl) die höchste N-Aufnahme unter den Gemüsekulturen auf (FINK et al. 2007a, konventionelles Ertragsniveau). Für die N-Menge in ökologisch angebauten Kopfkohl-Beständen liegen Daten von WEIER (2000 - 2003) vor, die unter Praxisbedingungen ('normale' Bestände) N-Aufnahmen zwischen 194 und 343 kg N/ha belegen (Mittelwert 254 kg N/ha). HAAS (2004) ermittelte bei Industrieweißkohl eine N-Menge von rund 200 kg N/ha allein in der Marktware.

Ein derartig hoher N-Bedarf kann nur bedingt durch die aus einer Gründüngung freigesetzten N-Menge, dem N_{min}-Vorrat und der N-Nachlieferung aus den Humusvorräten abgedeckt werden. So erzielte LINDNER (2000) nach ein- bzw. zweijährigem Kleegras (Grasanteil "dominierte") bei Weißkohl nur 400 bzw. 250 dt Ertrag/ha, während andere Varianten (Kompost + 80 kg N/ha als Rizinusschrot) über 800 dt/ha erreichten. Bei einem Versuch mit Brokkoli (vgl. LABER 2000) konnte nach einem ebenfalls grasdominierten Landsberger Gemenge (117 kg $N_{Gründüngung}$/ha, C/N-Verhältnis 18,5) ein Ertrag von nur 66 dt/ha realisiert werden. Eine Zusatzdüngung von 85 bzw. 170 kg N/ha in Form von Rizinusschrot führte zu einem Ertrag von 88 bzw. 116 dt/ha. Dem gegenüber ermittelte HAAS (2004) bei einem Praxisversuch nach Winterwicken (178 kg $N_{Gründüngung}$/ha, C/N-Verhältnis: ca. 16) sehr hohe Weißkohlerträge (Industrieware) von rund 1.250 dt/ha, ohne dass eine Zusatzdüngung erfolgte. (Allerdings lieferte hier auch eine Brache-Variante Erträge von knapp 1 050 dt/ha.)

WILLUMSEN und THORUP-KRISTENSEN (2001) ermittelten nach einer relativ feuchten Winterperiode in allen Legumiosen-Zwischenfrucht-Varianten höhere Weißkohlerträge als in der Brache-Variante. In einem weiteren Versuch nach einem relativ trockenen Winter (geringe N-Auswaschung) zeigten nahezu alle Legumiosen-Zwischenfrucht-Varianten ein vergleichbares, tendenziell sogar geringeres Ertragsniveau als die Brache-Variante. Eine Winterroggen-Vorkultur führte in beiden Versuchsjahren zum jeweils geringsten Ertragsniveau.

Wie diese Ergebnisse belegen, kann die Vorfruchtwirkung von Gründüngungen sehr unterschiedlich ausfallen (vgl. auch Tabelle 1, S. 5). So konstatierte LINDNER (2000) nach dem Weißkohlanbau nach 1- bzw. 2-jährigem Kleegras, dass "ein geeignetes Fruchtfolge- und Düngemodell" gesucht wird. Ein entsprechendes Modell müsste, auch zur Bemessung einer notwendigen Zusatzdüngung, die N-Freisetzung aus Gründüngungs-Vorkulturen möglichst genau abschätzen.

Für Zwischenfrüchte wurde 1997 ein entsprechendes Kalkulationsschema vorgelegt (LABER 1997), das sich mit einer angenommenen N-Freisetzung (= [scheinbare] Netto-Mineralisation) von 80 Prozent der eingearbeiteten oberirdischen N-Menge direkt an den Ansätzen des 'KNS-Systems' (LORENZ et al. 1989) anlehnte. Bei Umbruch von mehrjährigen Kleegras- bzw. Luzerne-Beständen wurde darüber hinaus ('rein intuitiv') eine zusätzliche N-Freisetzung aus der während der Bodenruhe akkumulierten organischen Bodensubstanz und den Wurzelrückständen etc. von pauschal 80 kg N/ha angenommen.

Auf Grund einer Auswertung von Brut- und Gefäßversuchsergebnissen aus der Literatur (vgl. LABER 2002a), wurde bei der Weiterentwicklung des Kalkulationsschemas das C/N-Verhältnis der eingearbeiteten Grünmasse bei der Abschätzung mit einbezogen: Bei einem C/N-Verhältnis von ≤ 10 wurde mit einer N-Freisetzung von 70 Prozent gerechnet. (Dieser Wert wurde auch in dem weiterentwickelten KNS-System [FINK et al. 2001] für Gemüse-Ernterückstände verwendet.) Mit ansteigendem C/N-Verhältnis wurde eine linear abnehmende N-Freisetzung unterstellt, wobei ab einem C/N-Verhältnis von 20 keine N-Freisetzung mehr erwartet wurde.

Dieser Kalkulationsansatz wurde in den Jahren 2001 bis 2004 in Versuchen mit verschiedenen Gründüngungs-Zwischenfrüchten vor der Folgekultur Spinat (LABER 2004) sowie Kopfsalat und Knollenfenchel (LABER 2002b) evaluiert. Dabei zeigte sich, dass die N-Freisetzung mit diesem Ansatz in nahezu allen Fällen überschätzt wurde. Daraufhin wurde die maximale N-Freisetzung (C/N ≤ 10) auf 50 Prozent herabgesetzt, ein Wert, der auch in der aktuellen Version des KNS-Systems (FINK et al. 2007b) für Gemüse-Ernterückstände und Gründüngungen Anwendung findet. Für die Rückstände abgefrorener Gründüngungen wurde, unabhängig von deren C/N-Verhältnis, generell keine N-Freisetzung mehr angenommen. Gleiches gilt für Gründüngungen, die bereits im Herbst eingearbeitet wurden (aktuelle Modellansätze s. Tabelle 6, S. 22).

Für die N-Freisetzung aus mehrjährigen Klee(gras)- und Luzerne(gras)-Beständen lagen, trotz umfangreicher neuerer Arbeiten auf diesem Gebiet, bis dato kaum Daten vor (vgl. 2.2, S. 4), so dass hier 2004 ein entsprechendes dreijähriges Versuchsprogramm begonnen wurde. **Hauptziel der Versuche** war es, die N-Freisetzung aus unterschiedlich gepflegten (Futter- bzw. Grünbrachenutzung) ein- bzw. zweijährigen Klee(gras)- und Luzerne-Beständen anhand der Nachkultur Weißkohl zu ermitteln und so die Kalkulationsansätze zu überprüfen und ggf. zu korrigieren. Gleichzeitig bot es sich an, auch die 'Nachwirkung' der Gründüngungen im zweiten Jahr nach Umbruch zu erfassen. Hierzu wurde Rote Bete nach dem Weißkohl angebaut.

2 Literaturübersicht

2.1 N-Menge in ein- bis mehrjährigen Klee(gras)- und Luzerne(gras)-Beständen

Zur N-Menge in Klee(gras)- und Luzerne(gras)-Beständen liegt umfangreiches Datenmaterial vor (s. Tabelle 26, Anhang). Vereinfacht lässt sich daraus ableiten, dass ein 'typischer' Kleegras-Bestand ca. 50 bis 90 kg N/ha in den **Wurzeln** gebunden hat. Dabei gilt der untere Wert für einjährige, der obere Wert für zweijährige Bestände. Höhere N-Mengen mit bis zu 125 kg N/ha finden sich bei mehrjähriger Luzerne. Das C/N-Verhältnis liegt in Abhängigkeit vom Grasanteil im Bereich von 25 bis 30.

FRANKENBERGER und ABDELMAGID (1985) verwendeten bei ihren Brutversuchen Luzernewurzeln (C/N: 34), bei denen allerdings zuvor die Wurzelknöllchen entfernt wurden. Die von KLIMANEK (1988) bebrüteten Luzernewurzeln wiesen ein C/N-Verhältnis von rund 22, die Rotkleewurzeln von rund 18 auf.

In den insbesondere nach einem Futterschnitt verbleibenden **Stoppeln** finden sich zumeist N-Mengen von 10 bis 50 kg N/ha, wobei dieser Wert sicherlich auch durch die jeweils realisierte Schnitthöhe beeinflusst sein dürfte. Das C/N-Verhältnis liegt (soweit erfasst) etwa im Bereich von 20, z. T. wurde auch ein deutlich engeres Verhältnis gefunden. KLIMANEK (1988) ermittelte bei Luzerne einen Wert von 32, bei Rotklee von 19.

Die N-Menge in **Wurzeln und Stoppeln**, häufig (zusammen mit dem Altmulch) auch als 'Residuen' bezeichnet, beläuft sich zumeist auf 50 bis 150 kg N/ha. Von auffallend hohen N-Mengen mit z. T. über 200 kg N/ha bei zweijährigem Kleegras berichten HEß (1989) und PIORR (1992).

Altmulch findet sich in erster Linie bei Grünbrachenutzung. Hier fand DREESMANN (1993) bei überjährigem Kleegras N-Mengen von rund 80 bzw. 120 kg N/ha mit einem C/N-Verhältnis von 24 bzw. 18 vor. Bei Luzernegras wurden mit 38 bzw. 76 kg N/ha geringere N-Mengen und ein C/N-Verhältnis von 29 bzw. 23 gefunden. SCHMIDTKE et al. (1998) ermittelten für entsprechend genutztes Kleegras eine N-Menge von nur rund 15 kg N/ha mit einem C/N-Verhältnis von rund 40. LOGES (1998) fand bei überjährigem Kleegras 34 bzw. 29 kg N/ha im Altmulch.

Die N-Menge im **Grünauswuchs** wird naturgemäß stark vom Schnittzeitpunkt (und der Schnitthöhe) beeinflusst. Sie liegt für den in Tabelle 26 (Anhang) wiedergegebenen letzten Schnitt (vor Vegetationsende) zumeist im Bereich von 50 bis 100 kg N/ha. Insbesondere beim ersten Schnitt nach der Vegetationsruhe können die N-Mengen im Grünaufwuchs auch bis zu 200 kg N/ha betragen. Das C/N-Verhältnis liegt zumeist zwischen 12 und 18.

2.2 Ertragswirksamkeit von Klee(gras)- und Luzerne(gras) als Vorkultur

Die Vorfruchtwirkung verschiedener bzw. verschieden gepflegter Klee(gras)- und Luzerne(gras)-Bestände wurde in den meisten der vorliegenden Arbeiten nur im Vergleich untereinander untersucht. Daher sind Aussagen über die Vorfruchtwirkung im Vergleich zu einem Anbau ohne derartige Vorfrüchte (= Kontrolle) hieraus nicht ableitbar[*].

PÄTZOLD (1958) fand nach zweijährigem Rotklee (im Herbst beweidet) nach Juni-Umbruch 14 Prozent höhere Kohlrüben-Erträge als nach einer **Brache** (nach WR, der bei den anderen Varianten als Deckfrucht diente). Rotkleegras zeigte keine Ertragsvorteile. Im zweiten Nachbaujahr mit Sommergerste zeigten beide Gründüngungs-Varianten nochmals einen leichten Ertragsvorteil (Tabelle 1). Eine sehr hohe Ertragswirksamkeit zeigte eine Luzerne-Vorkultur in den Versuchen von HAGMEIER (1986), bei denen gegenüber einer Brache (Bewirtschaftung nicht näher beschrieben) Weizen-Mehrerträge von 105 bis 187 Prozent gemessen wurden.

Im Vergleich zu einer **Getreidefruchtfolge mit Korn- und Strohabfuhr** als Kontrolle stellte PIORR (1992) nach ein- bzw. zweijährigem Kleegras Weizen-Mehrerträge von 62 bzw. 39 Prozent fest. Im zweiten Nachbaujahr mit Winterroggen wurden nochmals Mehrerträge von gut 20 Prozent ermittelt. Mit maximal 16 Prozent Mehrertrag fiel die Klee- bzw. Luzernegras-Vorfruchtwirkung in dem Versuch von DRESSMANN (1993) geringer aus. PAFFRATH (2004) erzielte im Mittel von vier Versuchsjahren Kartoffel-Mehrerträge von 13 Prozent nach einer einjährigen Kleegras-Grünbrache, wobei in einem Versuchjahr mit einem reinen Grasbestand (Klee nicht aufgelaufen) auch Mindererträge von 7 Prozent zu verzeichnen waren.

LOGES (1998) stellte im Vergleich zu reinen **Grasbeständen** als Kontrolle Mehrerträge bei Rotklee-Reinsaat von bis zu 96 Prozent fest. Kleereiches Kleegras lieferte bis zu 64 Prozent höhere Erträge, während kleeärmeres Kleegras max. 52 Prozent Ertragszuwachs zeigte. Zweijährige Bestände (FN) ergaben etwas höhere Erträge als überjährige. Eine Grünbrachenutzung (1 ½) zeigte Vorteile gegenüber einer Futternutzung. Bei den Versuchen von DREYMANN (2005) wurden mit den Grasbeständen 115 kg N/ha mit einem weiten C/N-Verhältnis von 37 eingearbeitet, so dass hier kaum noch von einer ’Kontrolle’ im o. g. Sinne ausgegangen werden kann.

[*] Generell stellt sich hier die Frage, was als eine ’Kontrollvariante’ angesehen werden kann. Beispielsweise wäre eine der Wachstumszeit der Kleebestände entsprechende Brachezeit möglich, was allerdings relativ ’praxisferne’ Ergebnisse liefern würde. Nach Ansicht des Verfassers erscheinen Fruchtfolgen mit (weitgehender) Abfuhr des Aufwuchses (z. B. Getreidevorfrüchte mit Korn- und Strohabfuhr) am geeignetsten, weil hier keine wesentlichen Mengen an N bzw. C (N-Immobilisierung) eingebracht werden.

Tabelle 1: Ertragswirksamkeit von Klee(gras)- und Luzerne(gras) als Vorkultur

Vorkultur	N-Menge[1] [kg N/ha]	Nachkultur	Ertrag [dt/ha]	Ertrag rel. [%]	Quelle
Brache als Kontrolle					
WR ⇒ Brache		Kohlrübe	46,7 (TM)	**100**	PÄTZOLD 1958
RK-2 (beweidet)				114	
KG-2 (beweidet)				100	
Brache ⇒ Kohlrüb.		SG (+ 40 kg N/ha) (2. Nachkultur)	27,9	**100**	
RK-2 ⇒ Kohlrübe				109	
KG-2 ⇒ Kohlrübe				106	
Brache		WW	18,5	**100**	HAGMEIER 1986
Lu-2-GB-Her	45-146		48-53	261-287	
Lu-2-FN-Her	(o. Wurzeln)		38-40	205-217	
Getreide mit Korn- und Strohabfuhr als Kontrolle					
Ha ⇒ WR	38	WW	38,7	**100**	PIORR 1992
Ha ⇒ KG-1-FN-Her	132		62,8	162	
KG-2-FN-Her	216		53,7	139	
Ha⇒WR⇒WW/SW		WR (2. Nachkultur)	47,6[2]	**100**	
Ha⇒KG1⇒WW/SW			57,0[2]	120	
KG-2 ⇒ WW/SW			59,4[2]	125	
WG		Senf (ZwF)	18,0 (TM)	**100**	DRESSMANN 1993
KG-1½-GB			17,9 (TM)	99	
LG-1½-GB			20,7 (TM)	115	
WG ⇒ Senf (ZwF)	56	ZR	552	**100**	
KG-1½-GB ⇒ Senf			547	99	
LG-1½-GB ⇒ Senf			640	116	
SW ⇒ Pha (ZwF)		Kartoffeln	207-323[3]	**100**	PAFFRATH 2004
KG-1-GB			242-389[3]	93-131	
Getreide nur mit Kornabfuhr als Kontrolle					
WW (N-Düngung)	105	WW	35,4[4]	**100**	KUMAR u. GOH 2002
WK (Saatguternte)	305		65,7[4]	186	
WW ⇒ WW		WW (2. Nachkultur)	27,5[4]	**100**	
WK⇒ WW			34,8[4]	127	
Grasbestände als Kontrolle					
Wgr-1½-GB	57[5]	WW	27,9[5]	**100**	LOGES 1998
33 % RK-1½-GB-Her	153[5]		42,2[5]	152	
67 % RK-1½-GB-Her	170[5]		45,6[5]	164	
RK-1½-GB-Her	248[5]		53,5[5]	196	
Wgr-1½-FN-Her	60[5]	WW	28,9[5]	**100**	
33 RK-1½-FN-Her	143[5]		37,5[5]	132	
67 % RK-1½-FN-Her	149[5]		42,1[5]	148	
RK-1½--FN-Her	149[5]		49,7[5]	172	
Wgr-2-FN-Her	55[5]	WW	31,1[5]	**100**	
33 % RK-2-FN-Her	170[5]		45,7[5]	148	
67 % RK-2-FN-Her	167[5]		47,8[5]	156	
RK-2-FN-Her	169[5]		50,8[5]	163	
Wgr-1½-Her	115[6, 7]	WW	26,6[7]	**100**	DREYMANN 2005
33 % RK-1½-Her	166[7]		35,3[7]	133	
67 % RK-1½-Her	158[7]		38,1[7]	143	
RK-1½-Her	136[7]		39,8[7]	150	

1: N-Menge in den Rückständen der (letzten) angegebenen Kultur (soweit nicht anders angegeben inklusive Wurzel-N);
2: Mittelwerte aus zwei Umbruchsystemen: a) Herbstumbruch ⇒ WW, b) Herbstumbruch mit ZwF Senf ⇒ SW;
3: Werte aus vier Versuchsjahren;
4: Mittelwerte aus vier Umbruchsystemen;
5: Mittelwerte aus zwei Herbstumbruch-Terminen und Deutsches/Welsches Weidelgras;
6: C/N-Verhältnis: 37,3;
7: Mittelwerte über zwei Versuchsjahre, FN-/GB-Nutzung und 0/50 kg N-Düngung (Gülle) zum WW

2.3 N-Freisetzung aus Klee(gras)- und Luzerne(gras)-Beständen

Wie bereits unter 2.2 in Bezug auf die Ertragswirksamkeit einer Vorkultur angesprochen, kann auch die N-Freisetzung aus einer N-Quelle nur durch den Vergleich mit einer Variante ohne die entsprechende N-Quelle ermittelt werden.

HAGMEIER (1986) untersuchte die "N-Verwertung" aus zweijährigen Luzerne-Beständen im Vergleich zu einer **'Brache'** (Bewirtschaftung nicht näher beschrieben). Aus der Differenz der N-Aufnahme des nachgebauten Winterweizens ergibt sich ein Plus im N-Angebot (N-Freisetzung auf Grund fehlender N_{min}-Angaben nicht berechenbar) von 87 (GB) bzw. 52 kg N/ha (FN). Im zweiten Nachbaujahr mit Roggen errechnet sich (unter Annahme nur geringer N_{min}-Unterschiede zwischen den Varianten) eine N-Freisetzung 49 bzw. 20 kg N/ha (Tabelle 2). SCHARPF und SCHRAGE (1988) arbeiteten Luzerne-Material (vermutlich Grünmasse, C/N-Verhältnis 11,8 bzw. 10,1) in den Boden ein und fanden neun Wochen später nahezu 100 Prozent der ausgebrachten N-Menge im nachgebauten Ölrettich (inkl. N_{min}-Resten) wieder.

Aus den Daten von PIORR (1992) mit einer **Getreidefruchtfolge mit Korn- und Strohabfuhr** als Kontrolle errechnet sich eine N-Freisetzung über die gesamte Kulturzeit des Weizens von nur rund 50 kg N/ha (N_{min}-Vorräte bzw. -Reste in allen Varianten vergleichbar niedrig), obgleich in den Wurzel- und Stoppelrückständen des Kleegrases N-Mengen von 132 (KG-1) bzw. 216 kg N/ha (KG-2) gebunden waren. Nach dem Winterweizen wurde auch hier Winterroggen nachgebaut. Dieser nahm in der Kontrolle 59, nach dem ehemaligen ein- bzw. zweijährigen Kleegras 82 bzw. 88 kg N/ha auf. In Verbindung mit den N_{min}-Resten (und vergleichbar niedriger N_{min}-Vorräte) ergibt sich so eine N-Freisetzung während der 2. Nachfrucht von 28 bzw. 39 kg N/ha.
DRESSMANN (1993) baute nach Umbruch (22.8.) von überjährigem Klee- bzw. Luzernegras (GB) zunächst eine Senf-Zwischenfrucht an. Anhand der vorliegenden Daten errechnet sich hier eine N-Freisetzung von 32 (Klee-) bzw. 54 kg N/ha (Luzernegras). In den über Winter abgefrorenen Senf erfolgte eine Saat von Zuckerrüben. In diesen wurde zu Vegetationsende ein Plus bei der N-Aufnahme gegenüber der Kontrolle von 42 bzw. 73 kg N/ha ermittelt. Zusammen mit den N_{min}-Resten zu Vegetationsende ergibt sich so eine weitere N-Freisetzung von 64 bzw. 94 kg N/ha. Nach den Zuckerrüben erfolgte im 2. Nachbau Winterweizen, für den sich nochmals eine N-Freisetzung aus dem ehemaligen Klee- bzw. Luzernegras von rund 40 kg N/ha errechnet.
PAFFRATH (2004) baute in vierjährigen Versuchen Kartoffeln u. a. nach einer einjährigen Kleegras-Grünbrache an. Unter der Annahme relativ ähnlicher N_{min}-Reste in den Varianten kann hier im Mittel nur eine N-Freisetzung von 11 kg N/ha aus der Kleegras-Grünbrache angenommen werden.

Aus den Daten von LOGES (1998), bei denen reine **Grasbestände** mit N-Mengen von rund 60 kg N/ha als Kontrollvariante herangezogen werden können, ergeben sich N-Freisetzungen von 6 bis 68 kg N/ha, wobei die niedrigsten Werte bei kleearmen Gemengen, die höchsten Werte bei Rotklee-Reinsaaten zu verzeichnen sind.

Tabelle 2: N-Freisetzung aus Klee(gras)- und Luzerne(gras)-Beständen und Mehrangebot an N gegenüber der Kontrolle (berechnet aus Literaturdaten)

Vorkultur	N-Menge[1] [kg N/ha]	Nachkultur	N-Aufnahme	N_{min}-Vorrat[2] [kg N/ha]	N_{min}-Rest[3] [kg N/ha]	N-Freisetzung[4]	+ N-Angebot[5]	Quelle
Brache als Kontrolle								
Brache			**53**	?	vermutlich gering			HAGMEIER 1986
Lu-2-GB-Her	45-146	WW	140	?			(87)	
Lu-2-FN-Her	(o. Wurz.)		105	?			(52)	
Brache ⇒ WW		WR (2. Nachkultur)	**39**	vermutlich gering				
Lu-2-GB-Her ⇒WW			88			(49)	(49)	
Lu-2-FN-Her ⇒WW			59			(20)	(20)	
Brache								SCHARPF u. SCHRAGE 1988
Lu-Material	198	Ölrettich		nicht angegeben, aber eingerechnet		98 Prozent		
Lu-Material	125					96 Prozent		
Getreide mit Korn- und Strohabfuhr als Kontrolle								
Ha ⇒ WR	38	WW	65	12	vernachlässig-bar			PIORR 1992
Ha ⇒ KG-1-FN-Her	132		110	4		53	45	
KG-2-FN-Her	216		110	7		50	45	
Ha⇒WR⇒WW/SW		WR (2. Nachkultur)	59	vernachlässig-bar	21[6]			
Ha⇒KG1⇒WW/SW			82		26	28	28	
KG-2 ⇒ WW/SW			88		31	39	39	
WG		Senf (ZwF)	56	43	22			DRESSMANN 1993
KG-1½-GB-Her			65	15	17	32	4	
LG-1½-GB-Her			80	14	23	54	25	
WG ⇒ Senf (ZwF)	56	ZR	x	22	35			
KG-1½-GB ⇒ Senf			x+42	17	52	64	59	
LG-1½-GB ⇒ Senf			x+73	23	57	94	95	
WG ⇒ Senf ⇒ ZR		WW (2. Nachkultur)	y	35	23			
KG ⇒ Senf ⇒ ZR			y+55	52	28	43	60	
LG ⇒ Senf⇒ ZR			y+57	57	26	38	60	
SW ⇒ Pha (ZwF)		Kartoffeln	x	45[7]	?			PAFFRATH 2004
KG-1-GB-Frü			x+15[7]	49	?	(11)	(15)	
Grasbestände als Kontrolle								
Wgr-1½-GB-Her	63[8]	WW	45[8]	19[8]	21[8]			LOGES 1998
33 % RK-1½-GB-Her	195		83	21	18	34	37	
67 % RK-1½-GB-Her	206		96	24	26	51	56	
RK-1½-GB-Her	248		119	29	24	68	78	
Wgr-1½-FN-Her	59[8]	WW	49[8]	19[8]	17[8]			
33 % RK-1½-FN-Her	158		59	20	14	6	6	
67 % RK-1½-FN-Her	155		67	23	23	19	23	
RK-1½-FN-Her	149		89	32	30	39	52	

1: N-Menge in den Rückständen der (letzten) angegebenen Kultur (soweit nicht anders angegeben inklusive Wurzel-N);
2: zum Umbruchtermin;
3: zu Kulturende;
4: (N-Aufnahme + N_{min}-Rest – N_{min}-Vorrat) der Gründüngungs-Variante minus (N-Aufnahme + N_{min}-Rest - N_{min}-Vorrat) der Kontrolle (vgl. Kap. 3.4, S. 20);
5: Mehrangebot an N gegenüber der Kontrolle (N-Aufnahme + N_{min}-Rest) der Gründüngungs-Variante minus (N-Aufnahme + N_{min}-Rest) der Kontrolle);
6: Mittelwerte aus zwei Umbruchsystemen: a) Herbstumbruch ⇒ WW, b) Herbstumbruch mit ZwF Senf ⇒ SW;
7: Mittelwerte aus vier Versuchsjahren;
8: Mittelwerte über zwei Herbstumbruch-Termine (nur Deutsches Weidelgras)

3 Material und Methoden

3.1 Versuchsstandort

Das Versuchsfeld Dresden-Pillnitz befindet sich in südöstlicher Randlage von Dresden 120 m über NN. Der alluviale Boden (Elbe) ist als Parabraunerde anzusprechen. Mit 45 Prozent Sand, 39 Prozent Schluff und 16 Prozent Ton handelt es sich entsprechend der Einteilung der AG BODEN (1996) um einen stark lehmigen Sand (Sl4). Nach der Reichsbodenschätzung ist der Boden als L 3 Al mit einer Bodenzahl von 73 klassifiziert. Die mittlere Jahrestemperatur am Standort beträgt 9,1°C, die mittleren Jahresniederschläge liegen bei 668 mm.

Die Versuchsflächen waren nach vorheriger obstbaulicher Nutzung langjährig mit Gras bewachsen und extensiv gepflegt worden. Im Sommer 1997 wurden die Flächen umgebrochen. Seither werden sie analog den Richtlinien der EU-Öko-Verordnung 2092/91 bewirtschaftet. Der P-Gehalt des Oberbodens liegt bei 8,5-12,5 mg P/100 g Boden (CAL-Methode) und damit in der Versorgungsstufe D-E, der K-Gehalt je nach Parzelle bei 9,4 bis 17,8 mg K/100 g Boden (C-D). Der pH-Wert beträgt 6,1 bis 7,2, der Gesamtkohlenstoff-Gehalt liegt bei 1,1 bis 1,5 Prozent.

3.2 Versuchsprogramm

Um die N-Freisetzung aus unterschiedlich gepflegten ein- bzw. zweijährigen Klee(gras)- und Luzerne-Beständen in der Folgekultur Weißkohl zu untersuchen, wurden in den Jahren 2002 bis 2005 entsprechende Bestände für den Kohlnachbau der Jahre 2004 bis 2006 angelegt. Für den Kohlversuch 2006 sollte darüber hinaus alternativ auch die N-Freisetzung aus der Zwischenfrucht Winterwicken untersucht werden, was allerdings durch das Auswintern des Bestandes misslang. Als Kontrolle dienten Parzellen, die mehrjährig nur mit Getreide und ggf. Zwischenfrüchten bestellt waren und bei denen der Aufwuchs jeweils weitestgehend entfernt wurde.

Eine Variation des N-Angebots zum Kohl ergab sich durch unterschiedliche

<u>Gründüngungs-Bestände:</u>

- Klee-Reinbestand (Rot-, Weiß-, Schwedenklee)
- Kleegras (dito + Dt. Weidelgras)
- Luzerne-Reinbestand
- Kontrolle: Getreide-Fruchtfolge mit Herbst-Zwischenfrüchten (weitestgehende Abfuhr)

<u>Nutzung:</u>

- Futternutzung (bis zu 4 Schnitte/a)
- Grünbrache (bis zu 4 Mulchgänge/a)

<u>Nutzungsdauer:</u>

- meist zweijährig
- 2006 auch einjähriger Klee(gras)

Umbruchtermine:

- Herbstumbruch (Vegetationsende)
- Frühjahrsumbruch (Anfang Mai)

Mengen an eingearbeitetem Aufwuchs:

- nochmalige Abfuhr vor Umbruch (z. T. auch bei Grünbrache)
- Verbleib des Aufwuchses (z. T. auch bei Futternutzung)

Außerdem erfolgte in entsprechenden Varianten eine Zusatzdüngung zum Kohl von 150 kg N/ha in Form eines Rizinusschrot-Düngers.

3.3 Versuchsaufbau und -durchführung

Anbau und Pflege der Gründüngungs-Varianten

Als Kleegras wurde in allen Versuchsjahren eine Mischung aus 4 kg/ha Rotklee ('Start'), 4 kg/ha Schwedenklee ('Odenwälder'), 3 kg/ha Weißklee ('Lipera') und 15 kg/ha Deutsches Weidelgras, spät ('Parcour') angesät. Bei Klee-Reinsaat betrug die Aussaatmenge 5,5 bei Rot- und Schwedenklee und 4 kg/ha bei Weißklee. Luzerne ('Fee') wurde mit 20 kg/ha ausgesät.

Zur Simulation einer Futternutzung wurden die Bestände zu praxisüblichen Terminen mit einem Feldhäcksler mit Schlegelmähwerk beerntet. Zeitgleich erfolgten auf den Grünbracheparzellen Mulchgänge mit einem Schlegelmulchgerät, welches eine sehr gleichmäßige Ablage des Mulchgutes gewährleistete. Auch die Ernte des Getreides in den Kontrollvarianten erfolgte mit dem Feldhäcksler, wobei es zuweilen zu großen Kornverlusten kam. In diesen Fällen wurde auf die sonst übliche Ansaat einer Phacelia-Zwischenfrucht verzichtet und zu Vegetationsende statt des Phacelia-Aufwuchses der Aufwuchs des Ausfallgetreides wiederum mit dem Feldhäcksler weitestgehend von den Parzellen abgefahren. Die Gründüngungen wurden, auch im sehr trockenen Sommer 2003, im Allgemeinen nicht beregnet.

Umbruch und Kohlnachbau

Bei Futternutzung wurde im Normalfall direkt vor dem Herbstumbruch ein weiterer Futterschnitt durchgeführt, so dass hier nur Stoppel- und Wurzelmaterial eingearbeitet wurde. Im Weißkohlversuch 2005 und 2006 wurden allerdings bei Kleegras und Luzerne (nur 2005) auch Varianten angelegt, bei denen dieser letzte Aufwuchs auf dem Feld (im Falle der Luzerne mit Frühjahrsumbruch als Mulch) verblieb. Bei Frühjahrsumbruch wurde normalerweise im Frühjahr kein Futterschnitt mehr durchgeführt. Im Versuchsjahr 2004 gab es aber sowohl bei Futternutzung als auch bei der Grünbrache Varianten, bei denen eine (nochmalige) Abfuhr des Grünaufwuchses zum Frühjahrsumbruch-Termin durchgeführt wurde.

Bei Varianten mit Herbstumbruch erfolgte im Oktober zunächst ein flaches Fräsen. Ende Oktober/Anfang November wurde dann mit der Spatenmaschine eine Winterfurche hergestellt. Der Frühjahrsumbruch erfolgte analog im Mai, wobei hierbei auch die Herbstumbruch-Parzellen noch-

mals gespatet wurden. Vor der Pflanzbettbereitung durch tiefes Fräsen erfolgte im Weißkohl-Versuch 2005 und 2006 in den entsprechenden Parzellen die Ausbringung des Rizinus-Düngers, 2004 wurde er bei der 1. Maschinenhacke oberflächlich in den Boden eingearbeitet.

Durch eine Abdeckung mit einem Kulturschutznetz konnten zunächst alle tierischen Schaderreger in den Kohlbeständen erfolgreich bekämpft werden. Nach der Abnahme der Netze erfolgten Behandlungen gegen die Mehlige Kohlblattlaus und verschiedene Schadschmetterlinge. Die Unkrautregulation erfolgte durch Hacken und späteres Anhäufeln der Kultur. Restunkräuter wurden manuell gehackt. Der Kohl wurde bei Bedarf regelmäßig beregnet.

Nachbau von Roter Bete

Um die N-Freisetzung aus den ehemaligen Gründüngungs-Beständen im zweiten Jahr nach Umbruch ohne 'Verfälschung' durch unterschiedliche Mengen an Kohl-Ernterückständen ermitteln zu können, wurden nach der Weißkohlernte alle oberirdischen Ernterückstände entfernt. In speziellen Varianten wurden die Ernterückstände allerdings auch belassen, um so auch Aussagen über deren Nachwirkung treffen zu können. Hier wurden die Ernterückstände mit dem Schlegelmulcher zerkleinert und anschließend, wie die gesamte Versuchsfläche auch, flach (ein)gefräst. Anfang November erfolgte dann eine Bearbeitung mit der Spatenmaschine. Nach einer Saatbettbereitung erfolgte Anfang Mai die Aussaat der Roten Bete. Die Unkrautbekämpfung erfolgte durch Abflamm- und Hackmaßnahmen, Restunkräuter wurden manuell gehackt bzw. gejätet. Pflanzenschutzmaßnahmen waren nicht notwendig, bei Bedarf wurde beregnet.

Versuchsaufbau

Die in vierfacher Wiederholung (Blockanlage) angelegten -B- bzw. Kontroll-Parzellen hatten eine Größe von 8 × 5 m (40 m²), wobei Pflege- und später Bodenbearbeitungsmaßnahmen längs der 8 m-Ausdehnung durchgeführt wurden (vgl. Abbildung 1). Weil es hier, insbesondere bei den Bodenbearbeitungsmaßnahmen zu Verschleppungen von Gründüngungs- und Bodenmaterial kam, wurden später jeweils 1,5 m (2006: 1,2 m) nicht in die Auswertung einbezogen (Länge der Kernparzelle somit 5,0 bzw. 5,6 m))

Bei den Kohlversuchen 2004 und 2005 wurden die Parzellen beginnend mit dem Herbstumbruch-Termin nochmals geteilt (Spaltanlage), wobei auf eine der Untereinheiten entweder eine Abfuhr des Grünaufwuchses oder die N-Düngung mit dem Rizinusschrot erfolgte bzw. später die Kohl-Ernterückstände nicht wie sonst üblich entfernt wurden. Die nunmehr 2,5 m breiten Parzellen wurden mit 4 Reihen Kohl (Reihenabstand 60 cm) bepflanzt. Bei zwei Randreihen betrug damit die Größe der Kernparzelle 6,0 m² (1,2 m × 5,0 m) bzw. 20 Pflanzen. Im Versuch 2006 war diese Teilung auf Grund eines veränderten Pflanzsystems des Kohls (Abstand 75 × 40 cm) nicht mehr möglich. Hier wurden von den bereits angelegten vier Wiederholungen Block 1 und 2 sowie 3 und 4 zusammengefasst und jeweils eine komplette Parzelle (8 × 5 m) einheitlich weiter bewirtschaftet. Damit vergrößerte sich die Kernparzelle auf 14,4 m² (3,0 m × 4,8 m) bzw. 48 Pflanzen. Allerdings

waren damit nur noch zwei Wiederholungen (Blöcke) vorhanden, was angesichts der größeren Kernparzellengröße (bessere Erfassung der kleinräumigen Variabilität) allerdings vertretbar erschien.

Der Anbau der Roten Bete erfolgte auf den Kernparzellen (1,2 m × 5,0 m) der ehemaligen Kohlparzellen. Dabei wurden 2005 (nach Kohlversuch 2004) vier Reihen à 30 cm angebaut, von denen die beiden zentralen Reihen zur Auswertung kamen. Damit betrug hier die Größe der Kernparzelle 3,0 m² (0,6 m × 5,0 m). 2006 (nach Kohlversuch 2005) wurden nur drei Reihen a 45 cm bestellt, von der wiederum die zentrale Reihe ausgewertet wurde. Damit betrug hier die Größe der Kernparzelle 2,25 m² (0,45 m × 5,0 m).

Abbildung 1: **Versuchsfläche Ende Juni 2004 in Vorbereitung des Weißkohl-Versuchs 2005** (im Vordergrund Winterweizen der Kontroll-Variante, Mitte-links: Luzerne, dazwischen Klee bzw. Kleegras)

Abbildung 2: Versuchsfläche Ende September 2004 nach Abfuhr der Kohl-Ernterückstände in Vorbereitung des Rote-Bete-Nachbaus 2005 (Mitte-rechts und hinten verbliebene Ernterückstände in den entsprechenden Parzellen vor dem Häckseln und Einarbeiten)

3.3.1 Weißkohl-Versuch 2004/Rote Bete-Nachbau 2005

Bei Anlage des Versuches im Jahre 2003 konnte auf eine Fläche zurückgegriffen werden, die bereits im April des Vorjahres mit der Kleegrasmischung in Blanksaat eingesät wurde. Im Laufe des Jahres 2002 wurden mehrere Futterschnitte durchgeführt. Somit stand vor der Weißkohlkultur 2004 ein zweijähriges Kleegras zur Verfügung, das 2002 allerdings noch einheitlich einer Futternutzung unterlag. Im Frühjahr 2003 erfolgte in den späteren Kontrollparzellen ein Umbruch mittels Fräse und Ansaat von Hafer. Auf den anderen Parzellen erfolgte eine Differenzierung nach Grünbrache- bzw. Futternutzung (Abbildung 3). Im Laufe des Jahres 2003 wurden drei Futter- bzw. Mulchschnitte durchgeführt, wobei aber der 2. und insbesondere der 3. Schnitt auf Grund der Sommertrockenheit kaum Material lieferte.

Bei der mittels eines Feldhäckslers simulierten Haferernte (inklusive Stroh) kam es zu sehr starken Kornverlusten, so dass sich die Kontrollparzellen anschließend durch das Ausfallgetreide auch ohne Ansaat einer Herbst-Zwischenfrucht vollständig begrünten. Dieser Aufwuchs wurde zum Herbstumbruch-Termin wiederum weitestgehend abgefahren. Bei den Futternutzungs-Varianten erfolgte der letzte Futterschnitt unmittelbar vor dem Herbstumbruch (Tabelle 3).

<table>
<tr><th></th><th colspan="2">2002</th><th colspan="2">2003</th><th colspan="2">2004</th></tr>
<tr><th>Variante</th><th>Sommer</th><th>Herbst</th><th>Sommer</th><th>Herbst</th><th>Frühjahr</th><th>Düngung</th></tr>
<tr><td>KG-2-FN-Her-0</td><td rowspan="12" colspan="2">Kleegras (Futternutzung)</td><td rowspan="4" colspan="2">Kleegras (Futternutzung)</td><td rowspan="2">Umbruch</td><td rowspan="2">Brache</td><td>0</td></tr>
<tr><td>KG-2-FN-Her-150</td><td>150[2]</td></tr>
<tr><td>KG-2-FN-Frü-Ab-0</td><td>Abfuhr[1]</td><td>0</td></tr>
<tr><td>KG-2-FN-Frü-0</td><td>Verbleib[1]</td><td>0</td></tr>
<tr><td>KG-2-GB-Her-0</td><td rowspan="4" colspan="2">Kleegras (Grünbrache)</td><td rowspan="2">Umbruch</td><td rowspan="2">Brache</td><td>0</td></tr>
<tr><td>KG-2-GB-Her-ER</td><td>0 (ER[3])</td></tr>
<tr><td>KG-2-GB-Frü-Ab-0</td><td rowspan="2">Abfuhr[1]</td><td>0</td></tr>
<tr><td>KG-2-GB-Frü-Ab-ER</td><td>0 (ER[3])</td></tr>
<tr><td>KG-2-GB-Frü-0</td><td rowspan="2">Umbruch</td><td>0</td></tr>
<tr><td>KG-2-GB-Frü-150</td><td>150[2]</td></tr>
<tr><td>Ko-0</td><td rowspan="2">Hafer</td><td rowspan="2">Aufwuchs (Abfuhr)</td><td rowspan="2">Brache</td><td>0</td></tr>
<tr><td>Ko-150</td><td>150[2]</td></tr>
</table>

1: des Grünaufwuchses vor Umbruch;
2: N-Düngung zu Weißkohl in Form von 'Rizi-Plus' [kg N/ha];
3: Kohl-Ernterückstände nach der Ernte nicht entfernt

Abbildung 3: Schematische Darstellung der Varianten beim Versuch 2004 (grau: Umbruch)

Die Pflanzung des Weißkohls erfolgte Ende Mai rund drei Wochen nach dem Einfräsen des überwinterten Kleegrases. Aus versuchstechnischen Gründen erfolgte die Zusatzdüngung mit dem Rizinusdünger in den entsprechenden Parzellen erst zwei Wochen nach der Pflanzung zum ersten Hacktermin, so dass der Dünger dabei flach eingearbeitet wurde. Bis Ende August verblieb der Kohl unter der Netzabdeckung, so dass keine weitere Schädlingsbekämpfung notwendig wurde. Bereits Mitte September (110 Tage nach der Pflanzung) war der Kohl-Bestand erntereif.

Tabelle 3: Zeittafel Weißkohl-Versuch 2004/Rote Bete-Nachbau 2005

Apr. ‘02	Ansaat Kleegrasmischung als Blanksaat
Sommer ‘02	mehrmaliger Schnitt und Abfuhr
März ‘03	Kleegras in Kontroll-Parzellen flach eingefräst, Einsaat von Hafer
Mai. ‘03	1. Mulch- bzw. Futterschnitt auf Grünbrache- bzw. Futternutzungsparzellen
Juni/Juli ‘03	2. Mulch- bzw. Futterschnitt, ’Ernte’ des Hafers mit Feldhäcksler
Aug. ‘03	3. Mulchschnitt auf Grünbracheparzellen; Ausfallhafer in Kontrolle bildet geschlossenen Bestand
Sept. ‘03	40 dt Kreidekalk/ha
13.-15. Okt. ‘03	3. Futterschnitt, Abfuhr des Hafer-Aufwuchses in den Kontroll-Parzellen, anschließend Aufwuchsbestimmung (4 × 0,25 m²), N_{min}-Proben, Herbstumbruch-Varianten und Kontrolle (Haferreste) flach gefräst
30. Okt. ‘03	Herbstumbruch der entsprechenden Parzellen mit Spatenmaschine
3./4 Mai ‘04	N_{min}-Proben (sechs Einstiche je Variante, 0-90 cm), Abfuhr des Grüngutes in den entsprechenden Varianten, anschließend Aufwuchsbestimmung (4 × 0,25 m²), Frühjahrsumbruch-Varianten flach eingefräst
12. Mai ‘04	Frühjahrsumbruch der entsprechenden Parzellen mit Spatenmaschine, Herbst-umbruch-Varianten ebenfalls gespatet
27. Mai ‘04	Pflanzbettbereitung mit Fräse, Pflanzung des Weißkohls 60 × 50 cm (3,3 Pfl./m²), Sorte ’Lennox’ F_1, Netzauflage (bis Ende Aug.)
15. Jun. ‘04	Düngerausbringung (’Rizi-Korn’, 5,23 Prozent N, 46,1 Prozent C), 1. Hacke
14.-17. Sept. ‘04	Ernte, N_{min}-Proben
17.-23. Sept. ‘04	Abfuhr der Kohl-Ernterückstände (außer in den Varianten mit Verbleib der Kohl-Ernterückstände), Häckseln der Ernterückstände, Fräsen aller Parzellen
1. Nov. ‘04	Winterfurche mit Spatenmaschine
25. Apr. ‘05	N_{min}-Proben, Saatbettbereitung mit Kreiselegge und Prismenwalze
3. Mai ‘05	Aussaat Rote Bete, 30 cm Reihenabstand, 6 cm Kornablageabstand = 55,6 Korn/m², Sorte ’Boro’ F_1
7.-9. Sept. ‘05	Ernte, N_{min}-Proben

3.3.2 Weißkohl-Versuch 2005/Rote Bete Nachbau 2006

In Vorbereitung des Weißkohlversuches 2005 wurde im Frühjahr 2003 auf der gesamten Versuchsfläche Hafer angesät. In einem direkt nachfolgenden Arbeitsgang wurden auf den Klee-, Kleegras- und Luzerneparzellen die Leguminosen(gemenge) ausgesät (Abbildung 4). Anfang Juni wurde der Hafer auf den Leguminosen-Parzellen abgefahren. Auf Grund der ausgeprägten Trockenheit entwickelten sich die Leguminosen-Bestände nur sehr langsam, so dass zur Unkrautbekämpfung mehrere Schröpfschnitte mit Abfuhr durchgeführt werden mussten. Erst im September konnte je nach Variante ein regulärer Mulch- bzw. Futterschnitt durchgeführt werden.

Anfang Juli wurde auf den Kontroll-Parzellen der Hafer 'geerntet'. Der sich aus dem Ausfallgetreide entwickelnde Bestand wurde im Oktober nochmals abgefahren und anschließend Winterweizen angesät. Im Jahr 2004 wurde dieser Weizen zur Verhinderung größerer Kornverluste bereits zur Teigreife abgefahren. Anschließend wurde eine Phacelia-Zwischenfrucht angesät, die Anfang Oktober zum Herbstumbruch-Termin wiederum weitestgehend abgefahren wurde.

In den Klee(gras)- und Luzerneparzellen konnten in der Vegetationsperiode 2004 drei Mulch- bzw. Futterschnitte durchgeführt werden. Ein 4. Futterschnitt erfolgte unmittelbar vor dem Herbstumbruch. Allerdings wurde dieser letzte Futterschnitt vor Winter nicht in allen Kleegras- bzw. Luzerne-Parzellen durchgeführt, so dass in der entsprechenden Kleegras-Variante (Herbstumbruch) eine Einarbeitung des kompletten Aufwuchses erfolgte. Bei der entsprechenden Luzerne-Variante (Frühjahrsumbruch) wurde der Aufwuchs (wie sonst bei Grünbrache-Nutzung praktiziert) gemulcht.

<table>
<tr><th rowspan="2">Variante</th><th colspan="2">2003</th><th colspan="2">2004</th><th colspan="2">2005</th></tr>
<tr><th>Sommer</th><th>Herbst</th><th>Sommer</th><th>Herbst</th><th>Frühjahr</th><th>Düngung</th></tr>
<tr><td>KG-2-FN-Her-0</td><td colspan="3" rowspan="2">Kleegras (Futternutzung)[1]</td><td></td><td rowspan="2">Brache</td><td>0</td></tr>
<tr><td>KG-2-FN-Her-V</td><td>Verbleib[2]</td><td>0</td></tr>
<tr><td>KG-2-GB-Her-0</td><td colspan="3" rowspan="4">Kleegras (Grünbrache)[1]</td><td rowspan="2">Umbruch</td><td rowspan="2">Brache</td><td>0</td></tr>
<tr><td>KG-2-GB-Her-ER</td><td>0 (ER[5])</td></tr>
<tr><td>KG-2-GB-Frü-0</td><td rowspan="2">Umbruch</td><td>0</td></tr>
<tr><td>KG-2-GB-Frü-150</td><td>150[4]</td></tr>
<tr><td>KL-2-GB-Frü-0</td><td colspan="3" rowspan="2">Klee (Grünbrache)[1]</td><td rowspan="2">Umbruch</td><td>0</td></tr>
<tr><td>KL-2-GB-Frü-ER</td><td>0 (ER[5])</td></tr>
<tr><td>LU-2-FN-Frü-0</td><td colspan="3" rowspan="2">Luzerne (Futternutzung)[1]</td><td></td><td rowspan="2">Umbruch</td><td>0</td></tr>
<tr><td>LU-2-FN-Frü-V</td><td>Verbleib[3]</td><td>0</td></tr>
<tr><td>Ko-0</td><td rowspan="2">Hafer</td><td colspan="2" rowspan="2">Winterweizen</td><td rowspan="2">Phacelia (Abfuhr)</td><td rowspan="2">Brache</td><td>0</td></tr>
<tr><td>Ko-150</td><td>150[4]</td></tr>
</table>

1: in Deckfrucht Hafer;
2: des Grünaufwuchses vor Umbruch;
3: des letzten Schnittes (gemulcht);
4: N-Düngung zu Weißkohl in Form von 'Rizi-Plus' [kg N/ha];
5: Kohl-Ernterückstände nach der Ernte nicht entfernt

Abbildung 4: Schematische Darstellung der Varianten beim Versuch 2005 (grau: Umbruch)

Die Pflanzung des Weißkohls erfolgte Anfang Juni wiederum rund drei Wochen nach dem Einfräsen der überwinterten Klee-, Kleegras- oder Luzerne-Bestände. Obwohl der Kohl bis Mitte August gegen Schädlinge mit einem Kulturschutznetz abgedeckt war, trat im Juli (vermutlich wegen mehrerer Tage ohne Abdeckung auf Grund von Hackarbeiten) ein Befall durch die Mehlige Kohlblattlaus auf, die mit zwei Behandlungen mit einem Kaliseifen-Präparat ausreichend bekämpft werden konnte. Nach der Netzabnahme wurden noch zwei Behandlungen mit einem BT-Präparat gegen Schadschmetterlinge durchgeführt. 117 Tage nach der Pflanzung erfolgte Mitte September die Ernte des Kohls.

Tabelle 4: Zeittafel Weißkohl-Versuch 2005/Rote Bete-Nachbau 2006

Apr. ’03	Aussaat von Hafer als Deckfrucht auf der gesamten Versuchsfläche, in den entsprechenden Parzellen zusätzlich Saat von Klee, Kleegras bzw. Luzerne
Anfang Jun. ’03	Abfuhr des Hafers in den Klee-, Kleegras- bzw. Luzerneparzellen, dabei gleichzeitig Schröpfschnitt (mit Abfuhr) der Bestände
Anfang Jul. ’03	Nochmaliger Schröpfschnitt mit Abfuhr auf Grund stärkerer Verunkrautung, Abfuhr des Hafer-Aufwuchses in den Kontrollparzellen (aus dem großen Mengen an Ausfallgetreide entwickelt sich im Laufe des Spätsommers ein entsprechender Bestand
Sept. ’03	Mulch- bzw. Futterschnitt (nach langer Sommertrockenheit)
Okt. ’03	Abfuhr des Ausfallgetreides in den Kontrollparzellen, Einsaat von Winterweizen
Mai ’04	1. Mulch- bzw. Futterschnitt
Jun ’04	2. Mulch- bzw. Futterschnitt, Abfuhr des Weizen-Aufwuchses (Teigreife) in den Kontroll-Parzellen
Ende Jul. ’04	3. Mulch- bzw. Futterschnitt
Anfang Aug ’04	Aussaat von Phacelia in den Kontroll-Parzellen
4.-6. Okt ’04	4. Futterschnitt (Mulchen in den entsprechenden Parzellen mit ’Verbleib’ des letzten Aufwuchses vor Winter), Abfuhr des Phacelia-Aufwuchses in den Kontroll-Parzellen, anschließend Aufwuchsbestimmung (4 × 0,25 m²), N_{min}-Proben, Herbstumbruch-Varianten und Kontrolle (Phaceliareste) flach gefräst
1. Nov. ’04	Herbstumbruch der entsprechenden Parzellen mit Spatenmaschine
9.-13. Mai ’05	Aufwuchsbestimmung (4 × 0,25 m²), N_{min}-Proben, Frühjahrsumbruch-Varianten flach gefräst
26. Mai ’05	Frühjahrsumbruch der entsprechenden Parzellen mit Spatenmaschine, Herbstumbruch-Varianten ebenfalls gespatet, anschließend 40 dt Kreidekalk/ha
31. Mai ’05	Düngerausbringung (’Rizi-Korn’, 5,13Prozent N, 45,2Prozent C), anschließend Pflanzbettbereitung mit Fräse
2. Jun. ’05	Pflanzung des Weißkohls 60 × 50 cm (3,3 Pfl./m²), Sorte ’Lennox’ F_1, Netzauflage (bis Mitte Aug.)
27.-29. Sept. ’05	Ernte, N_{min}-Proben
5. Okt ’05	Abfuhr der Kohl-Ernterückstände (außer in den Varianten mit Verbleib der Kohl-Ernterückstände), Häckseln der Ernterückstände, Fräsen aller Parzellen
3. Nov ’05	Winterfurche mit Spatenmaschine
3./4. Mai ’06	N_{min}-Proben, Saatbettbereitung, Aussaat Rote Bete, 45 cm Reihenabstand, 6 cm Kornablageabstand = 37 Korn/m², Sorte ’Boro’ F_1
12./13. Sept. ’06	Ernte, N_{min}-Proben

3.3.3 Weißkohl-Versuch 2006

Wie bei dem Vorjahresversuch wurde auf der gesamten Versuchsfläche im Frühjahr 2004 zunächst Hafer ausgesät. In diesem wurde in den entsprechenden Parzellen gleichzeitig das zweijährige Kleegras angesät (Abbildung 5). Hier wurde der Hafer mit Beginn des Rispenschiebens abgefahren. Im ersten Vegetationsjahr erfolgten zwei Mulch- bzw. Futterschnitte.

Auf allen anderen Parzellen erfolgte die Abfuhr des Hafers zur Milch- bis Teigreife. Anschließend wurde Phacelia eingesät, die sich allerdings kaum entwickelte. Anfang Oktober folgte, mit Ausnahme der zweijährigen Kleegras-Parzellen, auf der gesamten Fläche Winterweizen. Im Frühjahr 2005 wurde auf den entsprechenden Parzellen das einjährige Kleegras bzw. der Klee in die Deckfrucht Winterweizen angesät. Die 'Ernte' des Winterweizens erfolgte Ende Juni zur Teigreife. Anschließend konnten in dem Vegetationsjahr 2005 in dem einjährigen Klee(gras) zwei Mulchschnitte durchgeführt werden. Durch die geringe Entwicklung des Grasanteils unterschieden sich die Klee- und Kleegras-Variante im ersten Vegetationsjahr kaum voneinander.

Auf den Weizenflächen ohne Klee(gras)-Untersaat folgte auf den Kontroll-Parzellen eine Phacelia-Zwischenfrucht, die zum Herbstumbruch-Termin wiederum abgefahren wurde. Zu diesem Zeitpunkt erfolgte in entsprechenden Parzellen auch die Ansaat von Winterwicken. Diese winterten im strengen Winter 2005/2006 allerdings komplett aus, so dass diese Variante nicht etabliert werden konnte.

<table>
<tr><th rowspan="2">Variante</th><th colspan="2">2004</th><th colspan="2">2005</th><th colspan="2">2006</th></tr>
<tr><th>Sommer</th><th>Herbst</th><th>Sommer</th><th>Herbst</th><th>Frühjahr</th><th>Düngung</th></tr>
<tr><td>KG-2-FN-Her-0</td><td colspan="3" rowspan="2">Kleegras (Futternutzung)[1]</td><td></td><td rowspan="2">Brache</td><td>0</td></tr>
<tr><td>KG-2-FN-Her-V</td><td>Verbleib[2]</td><td>0</td></tr>
<tr><td>KG-2-GB-Her-0</td><td colspan="3" rowspan="2">Kleegras (GrünBrache)[1]</td><td>Umbruch</td><td>Brache</td><td>0</td></tr>
<tr><td>KG-2-GB-Früh-0</td><td>Umbruch</td><td>0</td></tr>
<tr><td>KG-1-GB-Früh-0</td><td rowspan="8">Hafer</td><td colspan="2" rowspan="2">Kleegras (GB)[3]</td><td rowspan="2">Umbruch</td><td>0</td></tr>
<tr><td>KG-1-GB-Früh-150</td><td>150[6]</td></tr>
<tr><td>KL-1-GB-Früh-0</td><td colspan="2" rowspan="2">Klee (GB)[3]</td><td rowspan="2">Umbruch</td><td>0</td></tr>
<tr><td>KL-1-GB-Früh-ER</td><td>0 (ER[7])</td></tr>
<tr><td>WWick-0[4]</td><td rowspan="3">Winterweizen</td><td>WWick</td><td rowspan="2">Umbruch</td><td>0</td></tr>
<tr><td>WWick-0[4]</td><td>0 (ER[7])</td></tr>
<tr><td>Ko-0</td><td>Phacelia (Abfuhr)</td><td rowspan="2">Brache</td><td>0</td></tr>
<tr><td>Ko-150[5]</td><td>150[6]</td></tr>
</table>

1: in Deckfrucht Hafer;
2: des Grünaufwuchses vor Umbruch;
3: in Deckfrucht Winterweizen (Abfuhr des Weizens zur Milchreife);
4: wegen Auswinterung der Winterwicken abgebrochen;
5: wegen massiven Kohlherniebefalls nicht ausgewertet;
6: N-Düngung zu Weißkohl in Form von 'Rizi-Plus' [kg N/ha];
5: Kohl-Ernterückstände nach der Ernte nicht entfernt (für Rote Bete-Nachbau 2007)

Abbildung 5: Schematische Darstellung der Varianten beim Versuch 2006

Die Pflanzung des Weißkohls erfolgte rund 14 Tage nach dem Frühjahrsumbruch. Anders als in den Vorjahren wurde zur besseren Unkrautbekämpfung in zuvor gezogene Furchen gepflanzt. Das Kulturschutznetz wurde nur für ca. vier Wochen belassen, die Läuse- und Raupenbekämpfung erfolgte erfolgreich durch mehrere Kaliseifen- bzw. BT-Behandlungen.

Trotz einer wie in den Vorjahren durchgeführten Kalkung mit Kreidekalk trat auf der Versuchsfläche an mehreren Stellen massiver Befall mit Kohlhernie auf, der zum Totalausfall der gedüngten Kontroll-Variante ('Ko-150') führte. Auch die einjährigen Kleegras-Varianten zeigten stärkere Befallssymptome.

Zum Ende der Kulturzeit zeigte der Kohl allgemein einen relativ starken Befall mit Alternaria (Kohlschwärze), so dass zur Vermeidung von stärkeren Blattverlusten Mitte September der Kohl 125 Tage nach der Pflanzung geerntet wurde.

Tabelle 5: Zeittafel Weißkohl-Versuch 2006

Mrz. ’04	Aussaat von Hafer auf der gesamten Versuchsfläche, in den entsprechenden Parzellen zusätzlich Saat von Kleegras (zweijährig) in die Deckfrucht Hafer
Jun. ’04	Abfuhr des Hafers (Beginn Rispenschieben) in den Kleegras-Parzellen
Anfang Jul. ’04	Abfuhr des Hafers (Milch- bis Teigreife) auf allen anderen Parzellen
Ende Jul. ’04	1. Mulch- bzw. Futterschnitt des Kleegrases (zweijährig)
Anfang Aug. ’04	Aussaat Phacelia auf allen anderen Parzellen (Auflauf allerdings sehr schlecht)
Anfang Sept. ’04	2. Mulch- bzw. Futterschnitt des Kleegrases (zweijährig)
Anfang Okt. ’04	Aussaat Winterweizen auf allen Parzellen außer Kleegras-Parzellen (zweijährig)
Ende Mrz. ’05	Aussaat Klee- bzw. Kleegras (zweijährig) in Deckfrucht Winterweizen
Ende Mai ’05	1. Mulch- bzw. Futterschnitt des zweijährigen Kleegrases
Ende Jun. ’05	2. Mulch- bzw. Futterschnitt des zweijährigen Kleegrases, Abfuhr des Weizen (Teigreife) auf allen Parzellen
Anfang Aug. ’05	3. Mulch- bzw. Futterschnitt des zweijährigen Kleegrases, 1. Mulchschnitt des einjährigen Klee(grases) Aussaat von Phacelia auf Kontroll-Parzellen
4.-7. Okt. ’05	4. Mulch- bzw. Futterschnitt des zweijährigen Kleegrases, 2. Mulchschnitt des einjährigen Klee(grases) Abfuhr des Phacelia-Aufwuchses in den Kontroll-Parzellen, anschließend Aufwuchsbestimmung (4 × 0,25 m²), N_{min}-Proben, Herbstumbruch-Varianten und Kontrolle (Phaceliareste) flach gefräst, Aussaat von Winterwicken in den entsprechenden Parzellen (zuvor seit der Haferernte durch mehrmalige Bearbeitung unkrautfrei gehalten) [Winterwicken winterten im Winter 2006/2007 komplett aus]
3. Nov. ’05	Herbstumbruch der entsprechenden Parzellen mit Spatenmaschine
16.-18 Mai ’06	Aufwuchsbestimmung (2 × 0,5 m²), N_{min}-Proben, Frühjahrsumbruch-Varianten flach gefräst
23. Mai ’06	Frühjahrsumbruch der entsprechenden Parzellen mit Spatenmaschine, Herbstumbruch-Varianten ebenfalls gespatet, anschließend 40 dt Kreidekalk/ha
30. Mai ’06	Düngerausbringung (’Rizi-Korn’, 5,13Prozent N, 45,2Prozent C), anschließend Pflanzbettbreitung mit Fräse
2. Jun. ’06	Pflanzung des Weißkohls 75 × 40 cm (3,3 Pfl./m²), Sorte ’Lennox’ F_1, in zuvor gezogene Furchen, Netzabdeckung (bis Anfang Juli)
5.-6. Okt. ’06	Ernte, N_{min}-Proben

3.4 Datenerfassung und Analytik

N_{min}-Gehalt des Bodens

Zur Entnahme von Bodenproben zwecks Bestimmung des N_{min}-Gehaltes wurden im Allgemeinen acht Einstiche je Variante (2 je Block) mit dem 'Pürkhauer' bzw. mehrteiligen Bohrsätzen im Bereich der (späteren) Kernparzellen vorgenommen. Bei Varianten, bei denen erst im Folgenden eine Differenzierung einsetzte (z. B. bei Beprobung zum Herbsttermin vor der Differenzierung in eine Herbst- bzw. Frühjahrsumbruchvariante) wurden die zwei Proben je Block in den bis zu diesem Zeitpunkt einheitlich bewirtschafteten Varianten gezogen. Die Mischproben der jeweiligen Bodenschichten wurden homogenisiert, ggf. vorhandenes Skelettmaterial entfernt.

Die Analytik erfolgte nach den Vorschriften des VDLUFA, getrennt nach NH_4-N und NO_3-N. Bei der Umrechnung der Analyseergebnisse in kg N_{min}/ha wurde eine Bodendichte von 1,35 (0-30 cm), 1,45 (30-60 cm) bzw. 1,50 g/cm³ (60-90 cm) angenommen.

Aufwuchs sowie N- und C-Gehalt der Gründüngungen und des Rizinus-Düngers

Zu Vegetationsende bzw. vor dem Umbruch wurde je Gründüngungs-Variante eine Pflanzenprobe von insgesamt 1 m² aus dem Randbereich der Parzellen entnommen. Dazu wurden je Block auf einer Fläche von 50 × 50 cm alle Pflanzen (einschließlich vorhandener Unkräuter) im Wurzelbereich abgeschnitten und ggf. anhaftendes Bodenmaterial entfernt. Altmulch (insbesondere in den Grünbrache-Varianten vorhanden) wurde nicht mit erfasst, weil besonders zum Frühjahrstermin eine Trennung vom Bodenmaterial (Regenwurmkot) kaum möglich erschien.

Nach Feststellung des Frischgewichtes der Mischproben über die Blöcke wurden die Proben (teilweise unter Zuhilfenahme eines Häckslers) homogenisiert. An einer Teilprobe erfolgte durch Trocknung bei 70°C die Bestimmung des Trockensubstanzgehaltes. Die Teilprobe wurde anschließend vermahlen und später auf ihren N_{ges}- (Methode nach DUMAS) sowie C-Gehalt (DIN-ISO 10694) hin untersucht. Analog wurde mit dem verwendeten Rizinus-Dünger (’Rizi-Korn’, Firma Beckmann & Brehm) verfahren.

Ertragserfassung

Die Ernte der Kulturen erfolgte zum praxisüblichen Zeitpunkt als Einmalernte. Beim Weißkohl wurde loses Blattwerk entfernt, nicht marktfähige Köpfe (nur sehr wenig) den Ernterückständen zugeschlagen. Zur Erfassung (bzw. Abfuhr) der Ernterückstände wurden die Strünke in Bodennähe mit einer Astschere abgeschnitten. Die Rote Bete wurde herausgezogen (praktisch kein anhaftendes Bodenmaterial) und der Gesamtpflanzenertrag (Rübe plus Blatt) bestimmt. Nach Feststellung des Frischgewichtes wurde eine Mischprobe über die Wiederholungen genommen und diese mit Hilfe eines Häckslers homogeniert. Die Bestimmung des Trockensubstanz- und N_{ges}-Gehaltes erfolgte wie bei dem Gründüngungsmaterial.

Berechnung der N-Nachlieferung und der N-Freisetzung

Die Netto-N-Mineralisation aus den verschiedenen N-Quellen ("N-Gewinn") in der Zeitspanne vom N_{min}-Probenahme-Termin im Frühjahr (N_{min}-Vorrat) bis zur Ernte des Kohls bzw. der Roten Bete wurde wie folgt ermittelt:

$$\textbf{N-Gewinn} = \textbf{N}_{\textbf{Aufwuchs}} + \textbf{N}_{\textbf{min}}\textbf{-Rest} - \textbf{N}_{\textbf{min}}\textbf{-Vorrat}$$

Bei der Kontrolle, bei der (außer den geringen N-Mengen in den Hafer- bzw. Phaceliastoppeln) keine (Grün)Düngung erfolgte, entspricht der so berechnete N-Gewinn der N-Nachlieferung aus der organischen Substanz des Bodens.

Die **N-Freisetzung aus Gründüngungen** ergab sich aus der Differenz des N-Gewinns der entsprechenden Variante zur Kontrolle:

$$\textbf{N-Freisetzung}_{\textbf{Gründüngung}} = \textbf{N-Gewinn}_{\textbf{Gründüngung}} - \textbf{N-Gewinn}_{\textbf{Kontrolle}}$$

Die N-Freisetzung aus dem eingesetzten Zusatzdünger wurde analog als Differenz des N-Gewinns ansonsten identischer Varianten mit bzw. ohne Zusatzdüngung errechnet:

$$\textbf{N-Freisetzung}_{\textbf{Dünger}} = \textbf{N-Gewinn}_{\textbf{mit Dünger}} - \textbf{N-Gewinn}_{\textbf{ohne Dünger}}$$

3.5 Kalkulationsschema zur Abschätzung des N-Angebots

Das Kalkulationsschema (LABER 1997, 2002a) baut auf einen additiven Ansatz auf. Zunächst wird der in den zu berücksichtigenden Bodenschichten (vgl. FINK et al. 2007a) vorhandene **N_{min}-Vorrat** angerechnet. Hinzu kommt die **N-Nachlieferung aus der organischen Substanz des Bodens**, die mit 7 kg N/ha je Woche von Anfang Mai bis Ende August veranschlagt wird[1]. Für März/April und September/Oktober wird auf Grund kühlerer Bodentemperaturen mit einer Halbierung auf 3,5 kg N/ha je Woche gerechnet.

Für die **N-Freisetzung aus Gründüngungen** und Ernterückständen ist die eingearbeitete N-Menge und das C/N-Verhältnis maßgeblich (Tabelle 6, vgl. auch Kap. 1). (Sind, wie zumeist in der Praxis, N-Menge und C/N-Verhältnis einer Gründüngung nicht bekannt, kann mit Hilfe eines Schätzrahmen die zu erwartende N-Freisetzung abgeschätzt werden [s. Tabelle 28, Anhang].)

Die **N-Freisetzung aus organischen Handelsdüngern** wie dem verwendeten Rizinusschrot wird mit 50 Prozent der ausgebrachten N-Menge innerhalb acht Wochen beziffert[2].

---

[1] Bis 2004 wurde hier noch mit einem Wert von 5 kg N/ha je Woche gerechnet. Untersuchungen auf Öko- Möhrenflächen mit im Mittel 6,7 kg N/ha je Woche (MOJE 1997) sowie eigene Versuchsergebnisse (LABER 2002b, 2004) und Praxisuntersuchungen (LABER 2003b) gaben Anlass, diesen Wert auf 7 kg N/ha zu erhöhen.

[2] Bis 2004 wurde hier mit einem Wert von 60 Prozent gerechnet. Aber auch hier wurde im Zuge neuer Versuchsergebnisse (Zusammenfassung bei LABER 2003a, weitere Ergebnisse von LABER 2003b, 2004, WEIER 2005, DIEREND et al. 2006 u. a.) der Wert nochmals reduziert.

Tabelle 6: Kalkulationsansätze zur Abschätzung der N-Freisetzung aus Ernterückständen bzw. Gründüngungen und verschiedenen organischen Düngemitteln (Stand 2007)

	maximale N-Freisetzung [Prozent von $N_{Gründüngung}$ bzw. N_{ges}]	**Umsetzungs-zeitraum[1] [Wochen]**
Gründüngungen[2]/ Ernterückstände[2]	50 (bei C/N ≤ 10) linear abfallend auf 0 (bei C/N ≥ 20)	8
Umbruch mehrjähriger Klee(gras)-Bestände[2]	zusätzlich 50 kg N/ha[(3)]	16
Stallmist (Rind)	30	20
Rindergülle	60	12
Organische Handelsdünger (**Rizinus**, Haarmehl-Pellets, Maltaflor, Lupinenschrot, Vinasse etc.)	50	6
Ackerbohnenschrot	40	6

1: In der Zeit von Anfang Mai bis Ende August. Im März/April sowie September/Oktober Umsatzraten halbiert bzw. Umsetzungszeitraum entsprechend verlängert;
2: nur bei Einarbeitung von frischen Material (nicht für Rückstände abgefrorener Zwischenfrüchte oder im Herbst umgebrochener Bestände)
3: Der Pauschalansatz von zusätzlich 80 kg N/ha für den Umbruch von mehrjährigen Gründüngungen wurde nach ersten eigenen Ergebnissen 2004 auf 50 kg N/ha reduziert

Für alle Umsetzungsprozesse werden vereinfachend gleichmäßige Mineralisationsraten im zugrunde gelegten Umsetzungszeitraum angenommen (linearer Verlauf). Unter kühleren Bodenbedingungen (März und April bzw. September und Oktober) geht das Modell von einer Halbierung der Umsatzraten aus, so dass dann erst nach entsprechend längeren Umsetzungsperioden die maximale N-Freisetzung erreicht werden kann. Interaktionen zwischen den verschiedenen N-Quellen wurden nicht angenommen.

Für Berechnungen entsprechend dem Kalkulationsschema wurde ein Excel-Tabellenblatt entworfen, mit dem das N-Angebot kalkuliert wurde bzw. werden kann (Programm beim Autor per E-Mail erhältlich). Einzugeben sind der Nmin-Vorrat und der Tag der Probenahme sowie der (voraussichtliche) Erntetermin (⇒ Berechnung der N-Nachlieferung). Bei Gründüngungen bzw. Ernterückständen ist die eingearbeitete N-Menge sowie das C/N-Verhältnis des Grünmaterials anzugeben. Auch hier ist der Tag der Einarbeitung/des Umbruchs anzugeben (⇒ Berechnung der N-Freisetzung). Beim Umbruch von mehrjährigem Kleegras etc. ist dies zusätzlich zu vermerken (⇒ Ansatz der Pauschale von 50 kg N/ha). Analog ist bei Wirtschafts- und organischen Handelsdüngern zu verfahren (Beispiel s. Tabelle 27, Anhang).

3.6 Verrechnung und statistische Auswertung

Die ermittelten Erträge und N-Mengen wurden jeweils auf eine Fläche von 1 ha (Netto-Fläche) hochgerechnet. Die varianzanalytische Auswertung erfolgte in Anlehnung an Modelle von MUNZERT (1992) mit Hilfe entsprechend erstellter Arbeitsblätter des Tabellenkalkulationsprogramms 'Excel'. Die Irrtumswahrscheinlichkeit α wurde auf < 0,05 festgelegt, Mittelwertsvergleiche wurden mit Hilfe des multiplen t-Tests (LSD) ausgeführt. Regressionsanalytische Auswertungen wurden ebenfalls mit Hilfe von 'Excel' ausgeführt. Dabei wurde bei linearen bzw. quadratischen Zusammenhängen auf entsprechende Routinen des Programms zurückgegriffen.

4 Ergebnisse

4.1 Weißkohlversuch 2004

N_{min}-Vorrat und N-Menge im Gründüngungs-Aufwuchs

Auf Grund der Sommertrockenheit im Jahre 2003 konnten nur wenige ergiebige Futter- bzw. Mulchschnitte im Kleegras durchgeführt werden. Die Futternutzungs-Varianten wurden unmittelbar vor dem Herbstumbruch am 15. Oktober nochmals geschnitten. Weil der Bestand aber sehr gedrungen war, konnte kaum Material abgefahren werden, so dass mit 128 kg N/ha eine verhältnismäßig große $N_{Gründügungs}$-Menge in den 'Stoppeln' verblieb. Während in den Kontroll- bzw. Futternutzungs-Varianten zu diesem Zeitpunkt nur ca. 45 kg N_{min}/ha gefunden wurden, waren es in den Grünbrache-Varianten knapp 40 kg N_{min}/ha mehr (Abbildung 6; Tabelle 7, S. 28).

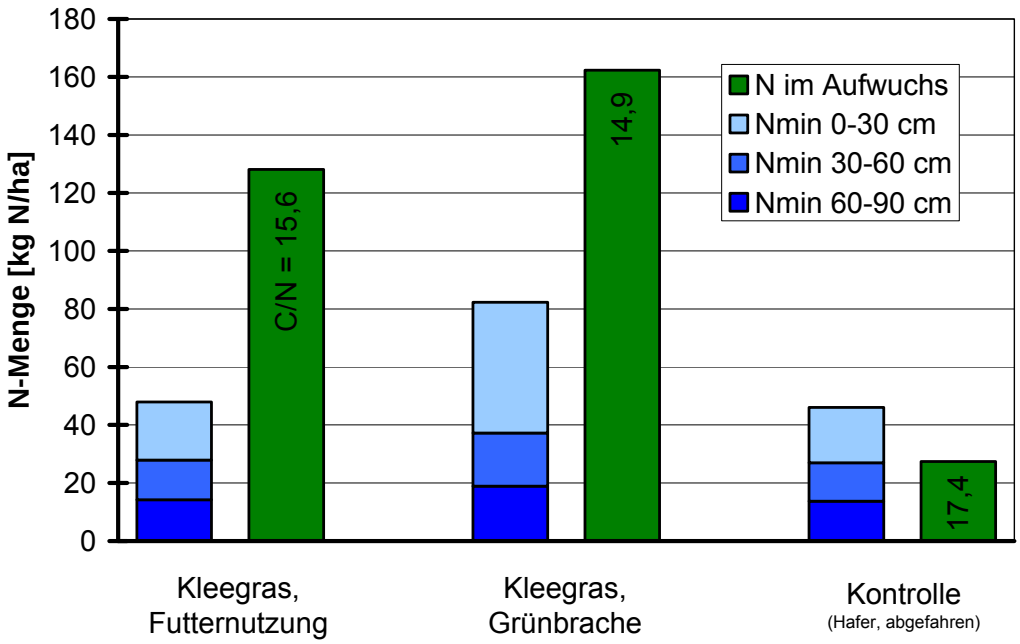

Abbildung 6: N_{min}-Menge und N-Menge im Aufwuchs bei den verschiedenen Varianten des Weißkohlversuchs 2004 zum Herbstumbruch-Termin

Über Winter (niederschlagsarm) nahm der N_{min}-Vorrat in den Herbstumbruch-Varianten um ca. 120 kg N/ha, in der Kontrolle nur um 80 kg/ha zu. Damit lagen bei Herbstumbruch des Kleegrases 166 (Futternutzung) bzw. 206 kg N_{min}/ha (Grünbrache) vor. Die überwinterten Futternutzungs- und Grünbrache-Varianten waren mit 31 kg N_{min}/ha nahezu entleert, enthielten im oberirdischen Aufwuchs aber rund 130 kg $N_{Gründüngung}$/ha. Wurde, auch in der ansonsten gemulchten Grünbrache-Variante, ein Futterschnitt durchgeführt, verblieben in den 'Stoppelrückständen' 78 bzw. 95 kg $N_{Gründüngung}$/ha mit einem verhältnismäßig weitem C/N-Verhältnis von über 19 (Abbildung 7, Tabelle 7).

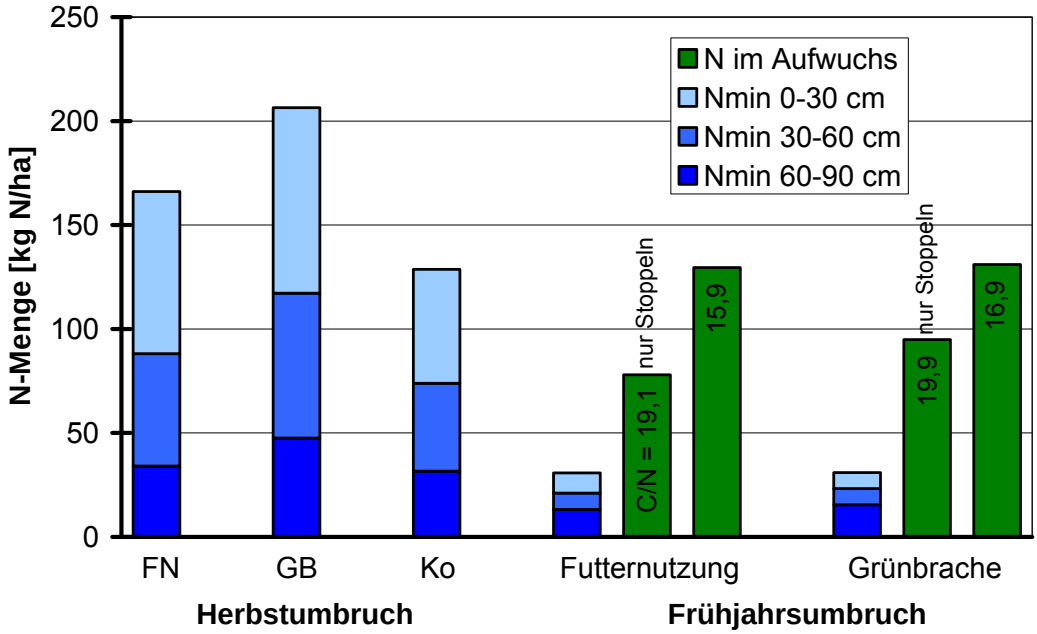

Abbildung 7: N_{min}-Vorrat und N-Menge im Kleegrasaufwuchs bei den verschiedenen Varianten des Weißkohlversuchs 2004 zum Frühjahrsumbruch-Termin

Kalkuliertes N-Angebot

Auf Grund der relativ geringen $N_{Gründüngungs}$-Mengen und des weiten C/N-Verhältnisses wurde nur eine geringe N-Freisetzung aus dem Kleegras bei den Frühjahrsumbruch-Varianten von 76 (Futternutzung) bzw. 70 kg N/ha (Grünbrache) kalkuliert (Tabelle 7). Wurde vor dem Umbruch nochmals der Grünaufwuchs abgefahren (Abfuhr-Varianten), wurde auf Grund des weiten C/N-Verhältnisses praktisch nur der Pauschalansatz von 50 kg N/ha angesetzt. Durch die hohen N_{min}-Vorräte der Herbstumbruch-Varianten zusammen mit der für alle Varianten (auf Basis der tatsächlichen Kulturzeit) angenommenen N-Nachlieferung des Bodens von 128 kg N/ha ergaben sich hier N-Angebote$_{kalkuliert}$ von 294 bzw. 334 kg N/ha. Aber auch für die Kontrolle wurde bei einem N_{min}-Vorrat von 129 kg N/ha ein N-Angebot von gut 250 kg N/ha kalkuliert, was über den Ansätzen der Frühjahrsumbruch-Varianten (212 bis 229 kg N/ha) lag.

Weißkohlertrag

Innerhalb der Varianten ohne Zusatzdüngung erreichten die Herbstumbruch-Varianten mit 737 (Futternutzung) bzw. 774 dt/ha (Grünbrache) den höchsten Marktertrag (Abbildung 8, Tabelle 7). Die Kontrollvariante (672 dt/ha) zeigte tendenziell einen höheren Ertrag als die Frühjahrsumbruch-Varianten (621 bzw. 657 dt/ha), erwartungsgemäß bildeten die Stoppel-Varianten ertraglich das Schlusslicht. Unterschiede zwischen Futternutzung (durchschnittlich 679 dt/ha) und Grünbrache (716 dt/ha) konnten nicht abgesichert werden. Die Zusatzdüngung führte in der Grünbrache- und Kontroll-Variante zu signifikanten Ertragssteigerungen. Im Mittel aller drei Zusatzdüngungs-Varianten lag der Ertragszuwachs bei 54 kg Weißkohl je kg gedüngtes N in Form von Rizinus.

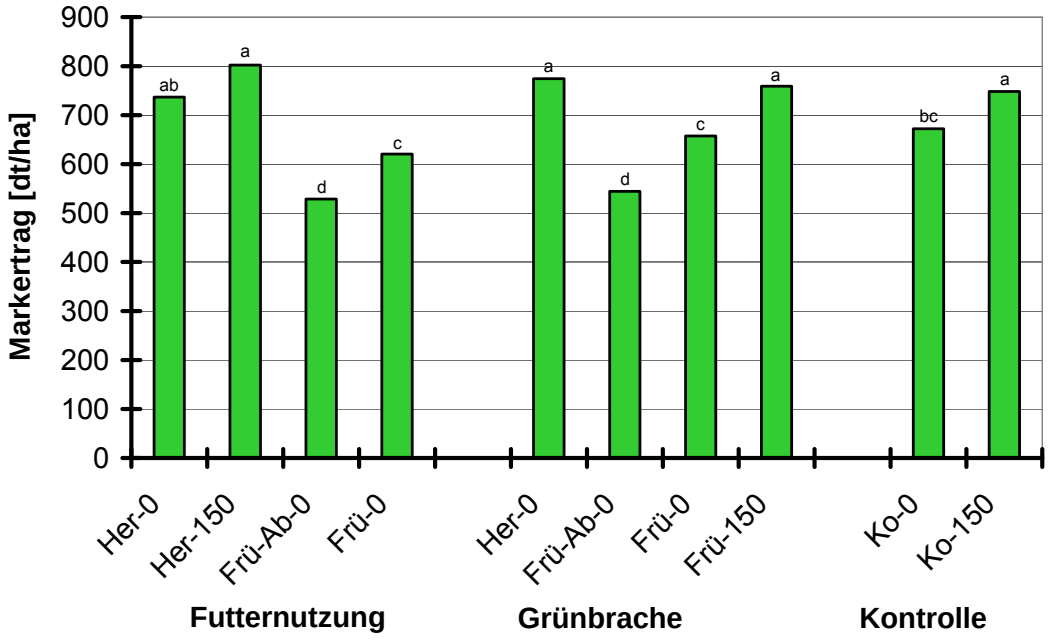

Abbildung 8: Weißkohlertrag beim Versuch 2004 (Mittelwerte über die Wiederholungen, $GD_{(\alpha<0,05)}$ = 69,5 dt/ha, Varianten mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant)

Zwischen dem kalkulierten N-Angebot und den realisierten Erträgen zeigte sich eine sehr enge Beziehung (Abbildung 9).

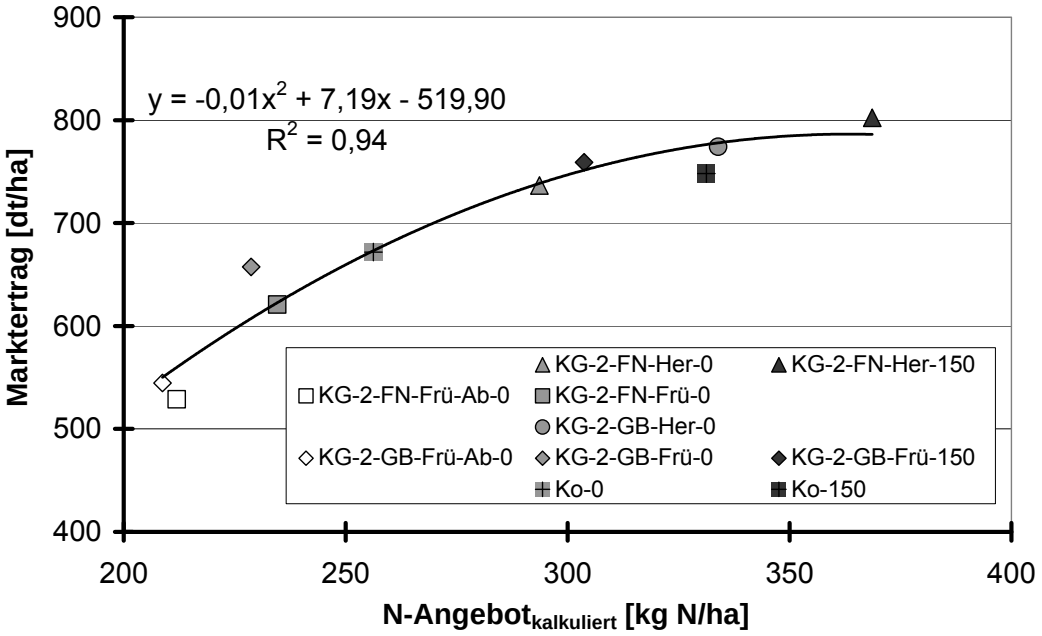

Abbildung 9: Beziehung zwischen dem kalkulierten N-Angebot und dem Marktertrag beim Weißkohlversuch 2004

N-Aufnahme und N_{min}-Rest, N-Angebot aus den verschiedenen Nährstoffquellen

Die N-Aufnahme des Weißkohls ($N_{Marktware}$ + $N_{Ernterückstände}$) lag zwischen 183 (KG-2-FN-Früh-Ab-0) und 348 kg N/ha (KG-2-FN-Her-150). Die N_{min}-Reste in 0 - 90 cm bewegten sich mit Werten zwischen 30 und 50 kg N/ha auf 'normalen' Niveau (Tabelle 7). Das tatsächliche N-Angebot als Summe der (oberirdischen) N-Aufnahme des Weißkohls und der N_{min}-Reste lag damit zwischen 212 (KG-2-FN-Früh-Ab-0) und 397 kg N/ha (KG-2-FN-Her-150).

Im Durchschnitt aller Varianten wurde das N-Angebot mit dem Kalkulationsmodell um 23 kg /ha unterschätzt, wobei die größte Abweichung bei der Grünbrache-Variante mit Frühjahrsumbruch (KG-2-GB-Früh-0) zu verzeichnen war, die um 46 kg N/ha verfehlt wurde (Abbildung 10). Die in der Kontrolle berechnete N-Nachlieferung des Bodens betrug 139 kg N/ha und wich damit nur 12 kg vom Kalkulationsansatz (128 kg N/ha) ab (Tabelle 7). Die N-Freisetzung aus dem Kleegras lag zwischen 7 (KG-2-GB-Her-0) und 104 kg N/ha (KG-2-GB-Früh-0) und zeigte nur im Falle der KG-2-GB-Früh-0-Variante eine stärkere Abweichung (43 kg) zum kalkulierten Wert. Die N-Freisetzung aus dem Rizinus lag bei 70 bis 90 kg N/ha und damit bei 47 bis 60 Prozent der ausgebrachten N-Menge.

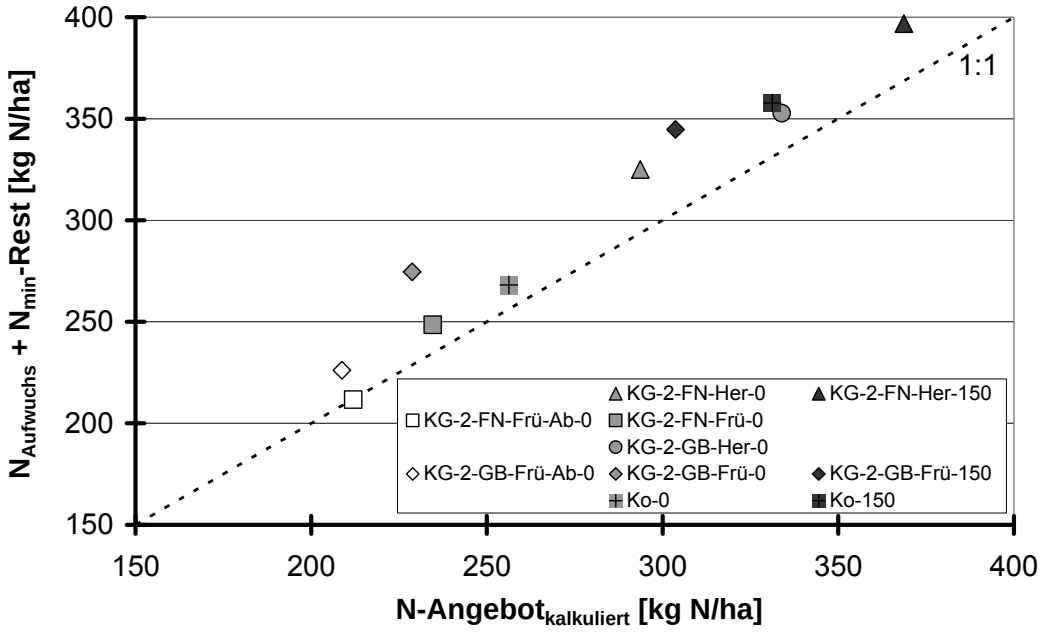

Abbildung 10: Beziehung zwischen dem kalkulierten N-Angebot und der im Feld gefundenen N-Menge (N im Weißkohlaufwuchs plus N_{min}-Rest) beim Weißkohlversuch 2004

Tabelle 7: Varianten, Stickstoffdynamik und Ertrag beim Weißkohlversuch 2004 (soweit nicht anders angegeben Angaben in kg N/ha) (fett markierte Anfangsbuchstaben und Ziffern ergeben zusammengesetzt das Varianten-Kürzel)

Vorkultur	**K**lee**G**ras								**Ko**ntrolle	
Nutzung	**2**-jährig								KG/Ha/Ha-Aufwuchs	
	Futter**N**utzung				**G**rün**B**rache (Mulchen)					
Umbruch	**Her**bstumbr.		**Frü**jahrsum.		**Her**		**Frü**jahrsumbruch		Herbstfurche	
letzter Aufwuchs Herbst	Abfuhr				Verbleib				Abfuhr	
Frühjahr	-		**Ab**fuhr	Verb.	-		**Ab**fuhr	Verbleib	-	
N-Düngung zu Weißkohl	**0**	**150**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**150**	**0**	**150**
Erhebungen zum Herbstumbruch-Termin (14. Oktober 2003):										
N_{min} **0-30 cm**	20				45				19	
30-60 cm	14				18				13	
60-90 cm	14				19				14	
$N_{Gründüngung}$	128				162				27	
C/N-Verhältnis	*15,6*				*14,9*				*17,4*	
Erhebungen zum Frühjahrsumbruch-Termin (4. Mai 2004); kalkuliertes N-Angebot:										
$N_{Gründüngung}$	0		78	130	0	95		131	0	
C/N-Verhältnis	*-*		*19,1*	*15,9*	*-*	*19,9*		*16,9*	*-*	
N_{min}**-Vorrat 0-30 cm**	78		10		89	8			55	
30-60 cm	54		8		70	8			42	
60-90 cm	34		13		48	15			32	
N-Nachlieferung$_{Boden}$	128									
N-Freisetzung$_{Gründüngung}$	0		4+50	26+50	0	0+50		20+50	0	
N-Freisetzung$_{Düngung}$	0	75	0	0	0	0	0	75	0	75
N-Angebot$_{kalkuliert}$	294	369	212	235	334	209	229	304	256	331
Erhebungen zur Ernte des Weißkohls (15. September 2004) und Stickstoffdynamik:										
Marktertrag [dt FM/ha]	737	802	529	621	774	545	657	759	672	748
[dt TM/ha]	66,1	67,6	47,1	56,6	66,2	49,1	58,9	65,0	64,1	65,2
[Prozent N i. d. TS]	2,01	2,27	1,89	1,83	2,22	1,93	1,89	2,24	1,74	2,20
Ernte- [dt FM/ha]	562	601	393	431	621	374	462	546	551	616
rückstände [dt TM/ha]	71,7	76,8	61,4	68,4	77,7	59,8	72,9	70,6	77,6	76,4
[Prozent N i. d. TS]	2,00	2,54	1,53	1,59	2,27	1,68	1,69	2,27	1,64	2,20
$N_{Marktware}$	133	153	89	104	147	95	111	146	111	143
$N_{Ernterückstände}$	143	195	94	109	176	100	123	160	127	168
$N_{Aufwuchs}$	276	348	183	212	324	195	235	306	239	312
N_{min}**-Rest 0-30 cm**	25	31	15	16	15	15	24	20	13	18
30-60 cm	13	11	8	10	7	10	9	9	9	14
60-90 cm	11	7	5	10	7	7	7	10	8	14
N-Angebot$_{gemessen}$	325	397	212	249	353	226	275	345	268	358
N-Gewinn	159	231	181	218	146	195	244	314	**139**	229
N-Freisetzung$_{Gründüngung}$	19	-	41	78	7	56	104	-	-	-
N-Freisetzung$_{Rizinus}$	-	72	-	-	-	-	-	70	-	90

4.2 Weißkohlversuch 2005

N_{min}-Vorrat und N-Menge im Gründüngungs-Aufwuchs

Zum Herbstumbruch-Termin Anfang Oktober befanden sich bei den Kleegras-Varianten rund 200 kg N/ha im Aufwuchs. Der reine Kleebestand enthielt ca. 50 kg mehr, die Luzerne 50 kg weniger N pro ha. Wurde zuvor der übliche Futterschnitt durchgeführt, verblieben beim Kleegras 70, bei der Luzerne 53 kg N/ha im Stoppelmaterial. Mit Ausnahme der Klee-Grünbrache (82 kg N_{min}/ha) lagen die N_{min}-Mengen aller anderen Varianten bei maximal 31 kg N/ha (Abbildung 11; Tabelle 8, S. 33).

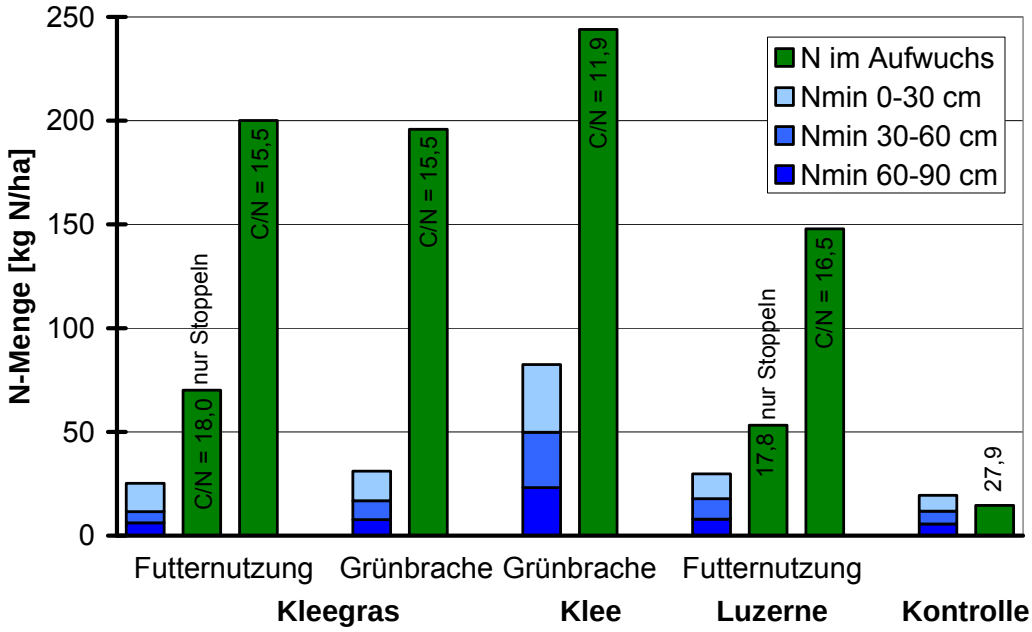

Abbildung 11: N_{min}-Menge und N-Menge im Aufwuchs bei den verschiedenen Varianten des Weißkohlversuchs 2005 zum Herbstumbruch-Termin

Über Winter nahm der N_{min}-Vorrat in den Kleegras-Herbstumbruch-Varianten um ca. 100 kg N/ha zu, so dass ca. 120 kg N_{min}/ha verfügbar waren. In der Kontrolle nahm der N_{min}-Vorrat über Winter wie im Vorjahresversuch um 80 kg/ha zu. Die Frühjahrsumbruch-Varianten wiesen im Mittel einen N_{min}-Vorrat von 50 kg N/ha auf, wobei die Klee-Variante (71 kg N/ha) den höchsten, die Kleegras-Variante (40 kg N/ha) den geringsten Wert zeigte (Abbildung 12).

Die Kleegras-Variante (nur sehr geringer Kleeanteil, Gräser: Schossbeginn) enthielt bei einem C/N-Verhältnis von über 20 nur 114 kg N/ha im Aufwuchs. Klee und Luzerne (grüne Knospen) wiesen mit rund 13 ein deutlich engeres C/N-Verhältnis auf. Die sich im Laufe des Aprils stark entwickelnde Luzerne enthielt nahezu 240 kg $N_{Gründüngung}$/ha, ein Belassen des letzen Aufwuches vor dem Winter ('Verbleib') zeigte praktisch keinen Vorteil.

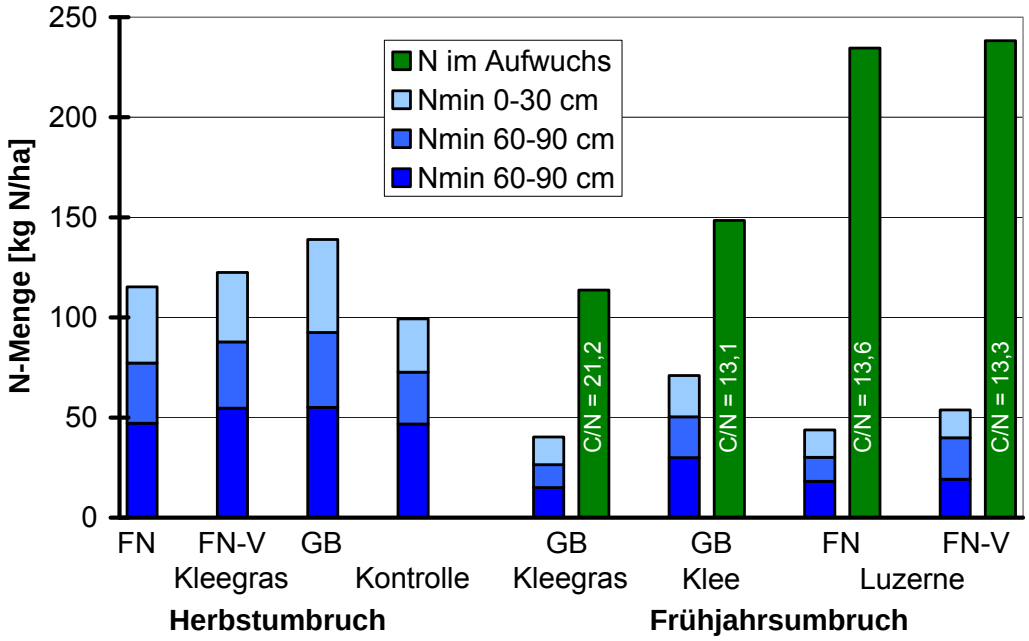

Abbildung 12: N_{min}-Vorrat und N-Menge im Aufwuchs bei den verschiedenen Varianten des Weißkohlversuchs 2005 zum Frühjahrsumbruch-Termin

Kalkuliertes N-Angebot

Auf Grund der hohen $N_{Gründüngungs}$-Menge und des relativ engen C/N-Verhältnisses wurde bei den Luzerne-Varianten eine N-Freisetzung von rund 130 kg N/ha kalkuliert (Tabelle 8). Für Klee mit seiner geringeren $N_{Gründüngungs}$-Menge wurden 101 kg N/ha veranschlagt, während für das Grünbrache-Kleegras wegen des weiten C/N-Verhältnisses nur der Pauschalansatz von 50 kg N/ha angesetzt wurde. Zusammen mit der (auf Basis der tatsächlichen Kulturzeit) angenommenen N-Nachlieferung des Bodens, den bei Herbstumbruch hohen N_{min}-Vorräten sowie ggf. der N-Freisetzung aus dem Rizinusschrot von 75 kg N/ha lag das kalkulierte N-Angebot zwischen 219 (KG-2-GB-Frü-0) und 312 kg N/ha (Lu-2-FN-Früh-V).

Weißkohlertrag

Auf Grund hoher Streuung konnten zwischen den verschiedenen Gründüngungs-Varianten ohne Zusatzdüngung kaum Ertragsunterschiede abgesichert werden (Abbildung 13, Tabelle 8). Mit 753, 738 bzw. 815 dt Marktertrag/ha erzielten die Klee- und Luzerne-Varianten aber (tendenziell) den höchsten Ertrag. Schlusslicht war die Kleegras-Grünbrache-Variante bei Frühjahrsumbruch, die mit 602 dt/ha praktisch auf dem Niveau der Kontrolle lag. Zwischen Futternutzung und Grünbrache des Kleegrases (nur Herbstumbruch) waren anders als im Vorjahr keine Unterschiede zu beobachten. Bei Grünbrachenutzung zeigte der reine Kleebestand signifikante Ertragvorteile gegenüber Kleegras. Die Zusatzdüngung führte nur in der Kontroll-Variante zu einem signifikanten Mehrertrag, im Mittel beider Zusatzdüngungs-Varianten betrug der Mehrertrag 77 kg Weißkohl je kg gedüngtes N in Form von Rizinus.

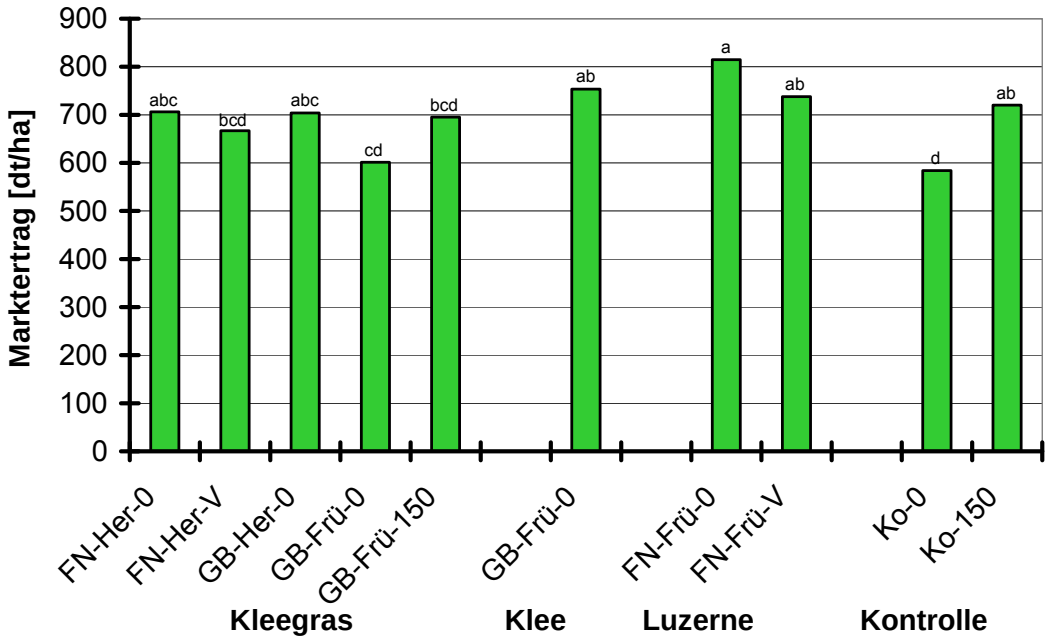

Abbildung 13: Weißkohlertrag beim Versuch 2005 (Mittelwerte über die Wiederholungen, $GD_{(\alpha<0,05)}$ = 116,3 dt/ha, Varianten mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant)

Die Beziehung zwischen dem kalkulierten N-Angebot und den Erträgen fiel weniger eng als im Vorjahresversuch aus (Abbildung 14).

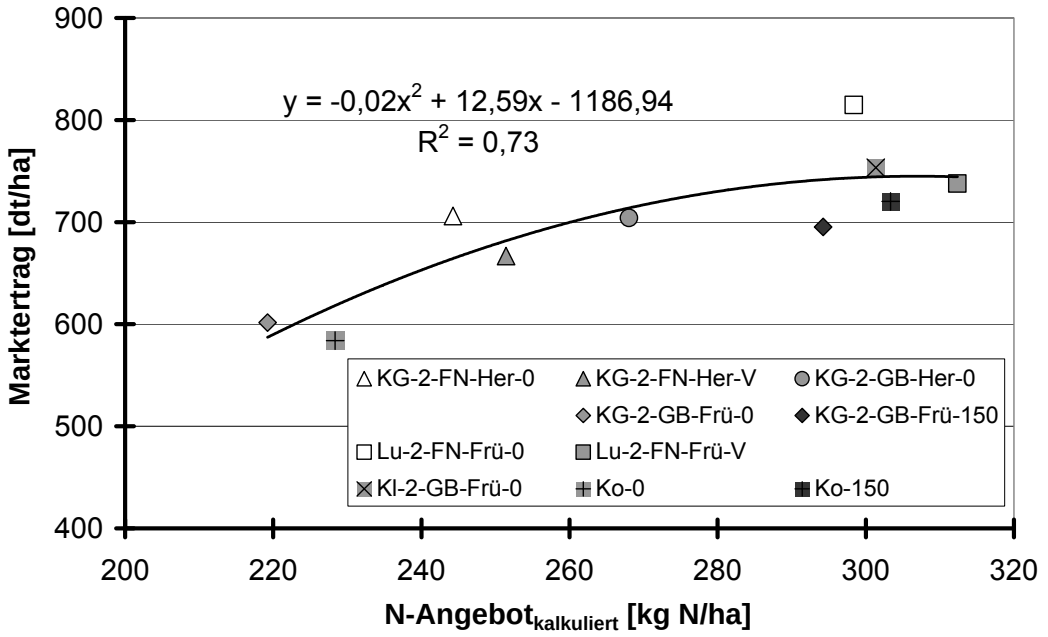

Abbildung 14: Beziehung zwischen dem kalkulierten N-Angebot und dem Marktertrag beim Weißkohlversuch 2005

N-Aufnahme und N_{min}-Rest, N-Angebot aus den verschiedenen Nährstoffquellen

Die N-Aufnahme des Weißkohls lag zwischen 208 (Ko-0) bzw. 209 (KG-2-GB-Frü-0) und 316 kg N/ha in der Luzerne-Variante (Tabelle 8). Die N_{min}-Reste lagen zumeist bei rund 30 kg N/ha, etwas höher waren sie mit etwa 50 kg N/ha in den beiden Kleegras-Futternutzungs-Varianten. Das N-Angebot bewegte sich somit zwischen 238 (Ko-0) und 354 kg N/ha (Lu-2-FN-Frü-0).

Wie im Vorjahresversuch wurde das N-Angebot mit dem Kalkulationsmodell zumeist unterschätzt, wobei Abweichungen von bis zu 62 kg N/ha (KG-2-FN-Her-V) zu verzeichnen waren (Abbildung 15). Die gemessene N-Nachlieferung des Bodens von 139 kg N/ha wurde mit dem Kalkulationsansatz (129 kg N/ha) wiederum gut prognostiziert. Entgegen der Annahme keiner weiteren N-Freisetzung bei den Kleegras-Herbstumbruch-Varianten während der Kulturzeit des Weißkohls lieferten diese 28 bis 52 kg N/ha. Dagegen wurde die N-Freisetzung bei Frühjahrsumbruch von Klee, Kleegras sowie in der Luzerne-Variante mit Verbleib des letzten Grünaufwuchses im Herbst (Lu-2-FN-Frü-V) bei einer Fehlschätzung von max. 13 kg N/ha nahezu exakt kalkuliert. In der Luzerne-Variante mit normaler Abfuhr im Herbst (Lu-2-FN-Frü-0) fiel die N-Freisetzung allerdings 45 kg N/ha höher aus als angenommen.

Die N-Freisetzung aus dem Rizinusschrot lag bei 92 bzw. 57 kg N/ha, was zumindest im Mittel exakt der Annahme von 75 kg N/ha (= 50 Prozent der gedüngten Menge) entspricht.

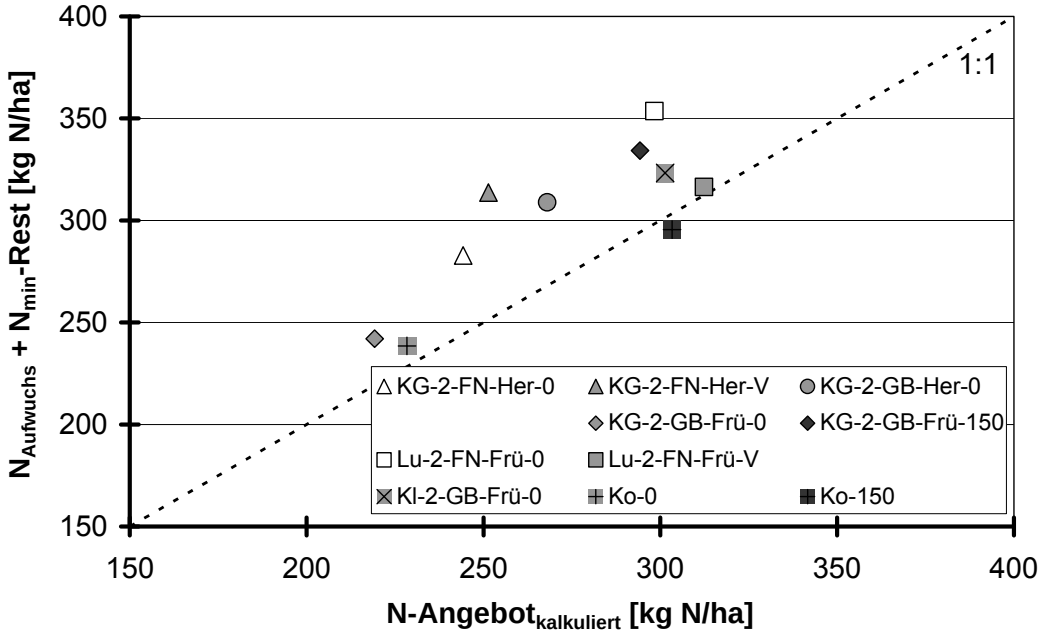

Abbildung 15: Beziehung zwischen dem kalkulierten N-Angebot und der im Feld gefundenen N-Menge (N im Weißkohlaufwuchs plus N_{min}-Rest) beim Weißkohlversuch 2005

Tabelle 8: Varianten, Stickstoffdynamik und Ertrag beim Weißkohlversuch 2005 (soweit nicht anders angegeben Angaben in kg N/ha) (**fett** markierte Anfangsbuchstaben und Ziffern ergeben zusammengesetzt das Varianten-Kürzel)

Vorkultur	**K**lee**G**ras					**Kl**ee	**Lu**zerne		**Ko**ntrolle	
Nutzung	**2**-jährig								Ha/WW/Pha	
	Futter**N**utzung		**G**rün**B**rache (Mulchen)				**F**utter**N**utzung			
Umbruch	**Her**bstumbruch		**Frü**hjahrsumbruch						Herbstfurche	
Letzter Aufwuchs Herbst	Abfuhr	**V**erbl.	Verbleib				Abfuhr	**V**erbl.	Abfuhr	
Frühjahr	-		Verbleib						-	
N-Düngung zu Weißkohl	**0**	0	**0**	**0**	**150**	**0**	**0**	0	**0**	**150**
Erhebungen zum Herbstumbruch-Termin (5. Oktober 2004):										
N_{min} **0-30 cm**	14		14			33	12		8	
30-60 cm	5		9			27	10		6	
60-90 cm	6		8			23	8		6	
$N_{Gründüngung}$	70	200	196			244	53	148	15	
C/N-Verhältnis $_{Gründüngung}$	*18,0*	*15,5*	*15,5*			*11,9*	*17,8*	*16,5*	*27,9*	
Erhebungen zum Frühjahrsumbruch-Termin (10. Mai 2005); kalkuliertes N-Angebot:										
$N_{Gründüngung}$	0	0	0	114		148	235	238	0	
C/N-Verhältnis $_{Gründüngung}$	-	-	-	*21,2*		*13,1*	*13,6*	*13,3*	-	
N_{min}**-Vorrat 0-90 cm**	47	55	55	15		30	18	19	47	
30-60 cm	30	33	37	11		20	12	21	26	
60-90 cm	38	35	46	14		21	14	14	27	
N-Nachlieferung $_{Boden}$	129									
N-Freisetzung $_{Gründüngung}$	0	0	0	0+50		51+50	76+50	80+50	0	
N-Freisetzung $_{Düngung}$	0	0	0	0	75	0	0	0	0	75
N-Angebot $_{kalkuliert}$	244	251	268	219	294	301	298	312	228	303
Erhebungen zur Ernte des Weißkohls (28. September 2005) und Stickstoffdynamik:										
Marktertrag [dt FM/ha]	706	667	704	602	695	753	815	738	584	720
[dt TM/ha]	72,1	66,5	67,0	59,9	66,9	71,9	81,7	73,2	58,5	72,8
[Prozent N i. d. TS]	1,81	2,04	2,19	1,93	2,25	2,19	2,07	1,95	1,87	2,02
Ernte- [dt FM/ha]	450	498	504	417	548	489	519	515	397	484
rückstände [dt TM/ha]	66,9	64,4	68,5	58,7	73,2	61,8	71,7	71,2	58,3	63,0
[Prozent N i. d. TS]	1,59	1,96	1,94	1,59	2,11	2,23	2,04	2,00	1,70	1,88
$N_{Marktware}$	130	136	147	116	150	158	169	143	109	147
$N_{Ernterückstände}$	106	126	133	93	155	138	146	142	99	118
$N_{Aufwuchs}$	236	262	280	209	305	295	316	285	208	265
N_{min}**-Rest 0-30 cm**	20	12	13	13	14	15	11	13	15	14
30-60 cm	14	32	9	12	9	6	10	7	7	8
60-90 cm	13	7	7	8	7	7	17	12	7	8
N-Angebot $_{gemessen}$	283	314	309	242	334	323	354	316	238	296
N-Gewinn	168	191	170	202	294	252	310	263	**139**	196
N-Freisetzung $_{Gründüngung}$	28	52	31	63		113	171	124		
N-Freisetzung $_{Rizinus}$					92					57

4.3 Weißkohlversuch 2006

N_{min}-Vorrat und N-Menge im Gründüngungs-Aufwuchs

Zum Herbstumbruch-Termin lagen in dem zwei- und einjährigen Kleegras rund 130 kg $N_{Gründüngung}$/ha vor, wobei das einjährige Kleegras ein etwas engeres C/N-Verhältnis als das zweijährige aufwies. Bei der erstmals durchgeführten Trennung nach Klee- bzw. Grasanteil zeigte sich bei Futternutzung der bekannte höhere Kleeanteil im Vergleich zur Grünbrache-Bewirtschaftung. Das einjährige Kleegras (139 kg $N_{Gründüngung}$/ha) wies auch zum Ende des zweiten Nutzungsjahres nur einen sehr geringen Grasanteil auf, so dass es sich kaum vom einjährigen Klee-Reinbestand unterschied, welcher mit 157 kg N/ha die größte N-Menge im Aufwuchs enthielt. Während die Kleegras-Varianten N_{min}-Mengen von rund 50 kg N/ha aufwiesen, waren es bei dem Klee-Reinbestand 73 kg/ha. Mit 56 kg N_{min}/ha wies die Kontrolle trotz eines sich zuvor gut entwickelten Phacelia-Bestandes relativ hohe N_{min}-Mengen auf (Abbildung 16; Tabelle 9, S. 37).

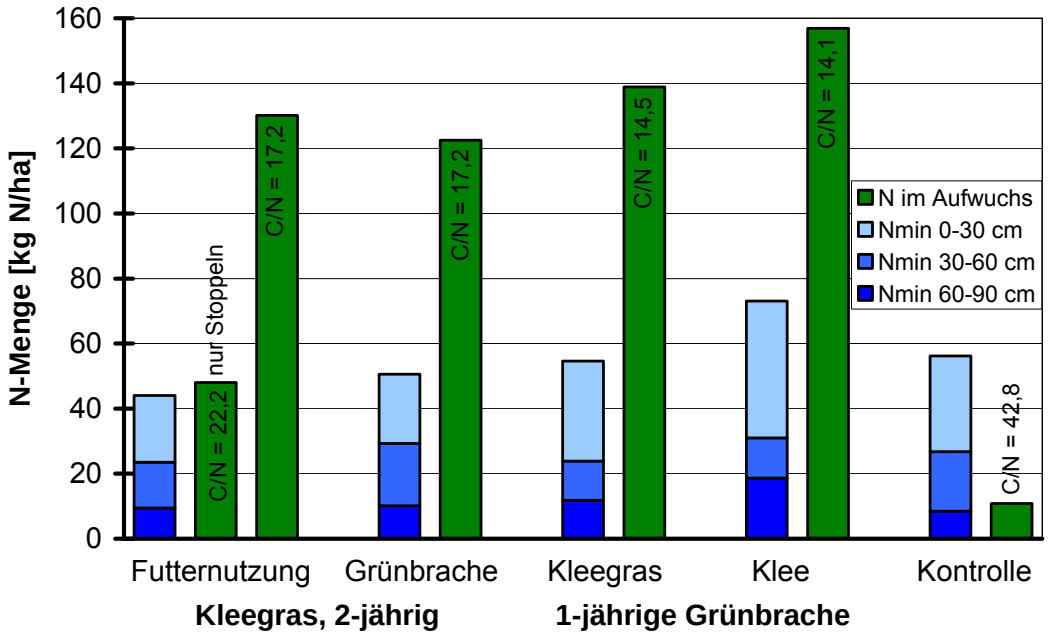

Abbildung 16: N_{min}-Menge und N-Menge im Aufwuchs bei den verschiedenen Varianten des Weißkohlversuchs 2006 zum Herbstumbruch-Termin

In dem lang andauernden Winter 2005/2006 nahm der N_{min}-Vorrat bei Herbstumbruch um ca. 80 kg N/ha, in der Kontrolle nur um 15 kg/ha zu. Die Futternutzungs-Variante mit Verbleib des letzten Grünaufwuchses vor Winter zeigte dabei keinen höheren N_{min}-Vorrat als die mit normaler Schnittnutzung vor Winter. Bei den Frühjahrsumbruch-Varianten wurden im Mittel knapp 50 kg N_{min}/ha vorgefunden. Das zweijährige Kleegras (Grünbrache, praktisch kein Kleeanteil) enthielt nur knapp 60 kg $N_{Gründüngung}$/ha, während die einjährigen Bestände rund 100 kg/ha mehr $N_{Gründungung}$ mit einem deutlich engerem C/N-Verhältnis aufwiesen (Abbildung 17, Tabelle 9).

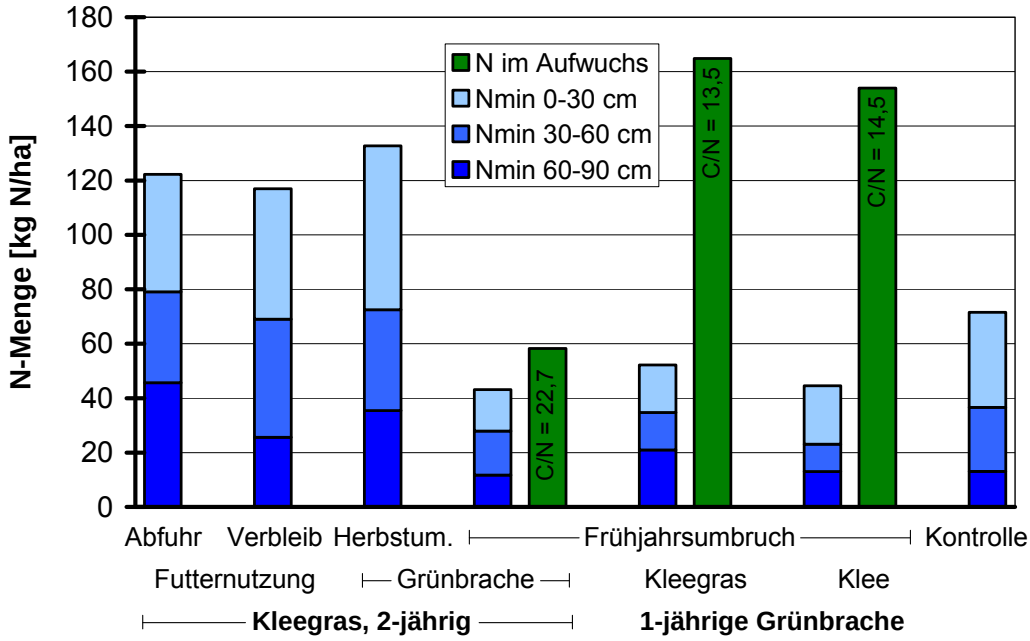

Abbildung 17: N_{min}-Vorrat und N-Menge im Kleegrasaufwuchs bei den verschiedenen Varianten des Weißkohlversuchs 2006 zum Frühjahrsumbruch-Termin

Kalkuliertes N-Angebot

Auf Grund des C/N-Verhältnisses von über 20 wurde bei der zweijährigen Kleegras-Grünbrache-Variante nur der Pauschalansatz von 50 kg N/ha für den Umbruch angesetzt. Bei den einjährigen Beständen errechnete sich eine ähnliche N-Freisetzung auf Grund der $N_{Gründüngungs}$-Menge von rund 160 kg N/ha und dem C/N-Verhältnis von ca. 14. Die N-Nachlieferung wurde mit 125 kg N/ha kalkuliert, so dass sich zusammen mit den vorgefundenen N_{min}-Vorräten und ggf. der N-Freisetzung aus dem Rizinus N-Angebote$_{kalkuliert}$ von 218 (KG-2-GB-Frü-0) bis 306 (KG-1-GB-Frü-150) ergaben.

Weißkohlertrag

Auf Grund des massiven Befalls mit Kohlhernie konnte der Versuch 2006 in ertraglicher Hinsicht nicht ausgewertet werden. So zeigten Varianten mit einem relativ hohen potenziellen N-Angebot wie z. B. das einjährige Kleegras nur einen Ertrag von knapp 400 dt/ha (Tabelle 9). Insofern wies auch die Beziehung zwischen dem kalkulierten N-Angebot und den Erträgen mit einem R^2 von 0,62 eine verhältnismäßig große Streuung auf (Abbildung 18).

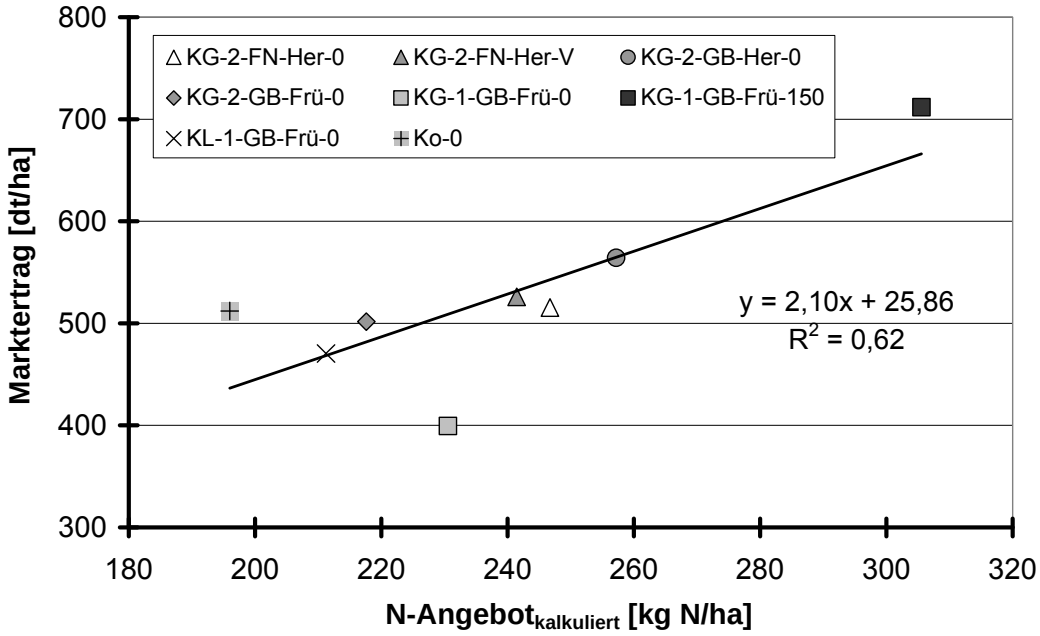

Abbildung 18: Beziehung zwischen dem kalkulierten N-Angebot und dem Marktertrag beim Weißkohlversuch 2006

N-Aufnahme und N_{min}-Rest, N-Angebot aus den verschiedenen Nährstoffquellen

Analog dem Marktertrag wurde auch die N-Aufnahme des Weißkohls durch den Kohlherniebefall beeinträchtigt. Allerdings zeigten sich in den Parzellen/Varianten mit starkem Befall deutlich höhere N_{min}-Reste von bis zu 74 kg N/ha (KG-1-GB-Früh-150), so dass sich ein N-Angebot$_{gemessen}$ von 201 (Ko-0) bis 309 kg N/ha (KG-1-GB-Früh-150) ergab (Tabelle 9). Das gemessene N-Angebot zeigte eine relativ gute Übereinstimmung mit den Kalkulationswerten, so dass im Mittel nur eine Unterschätzung des N-Angebotes von 1 kg N/ha erfolgte, wobei die maximale Abweichung nur rund 35 kg N/ha betrug (Abbildung 19).

Die in der Kontrolle gemessene N-Nachlieferung des Bodens lag mit 129 kg N/ha nahezu exakt in Höhe des Kalkulationsansatzes (125 kg N/ha). Die Annahme keiner weiteren N-Freisetzung während der Kulturzeit des Kohls bei den Herbstumbruch-Varianten traf im Fall der zweijährigen Kleegras-Grünbrache ebenfalls exakt zu, in den Futternutzungs-Varianten wurde allerdings sogar eine um 37 bzw. 20 kg N/ha geringere Mineralisation als in der Kontrolle festgestellt. Die N-Freisetzung bei Frühjahrsumbruch wurde bei der zwei- und einjährigen Kleegras-Grünbrache mit gemessenen Werten von 62 bzw. 43 kg N/ha relativ gut vorausgeschätzt, der einjährige Klee lieferte mit 73 kg N/ha allerdings 30 kg/ha mehr N als veranschlagt. Die N-Freisetzung aus dem Rizinus betrug 85 kg N/ha, was mit 56 Prozent der ausgebrachten N-Menge wiederum recht genau dem Kalkulationsansatz von 50 Prozent entspricht.

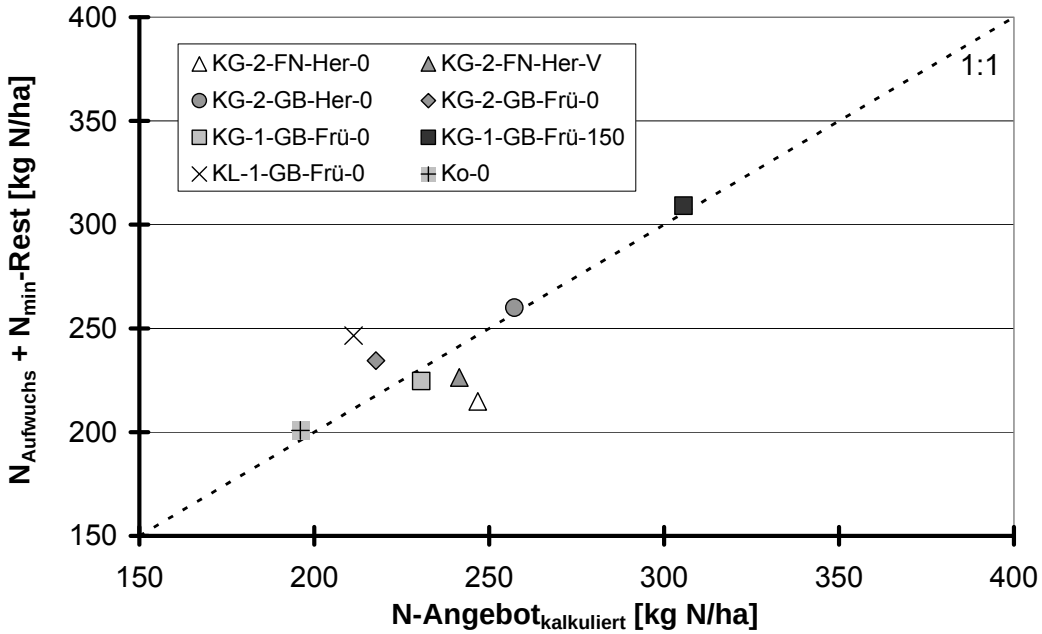

Abbildung 19: Beziehung zwischen dem kalkulierten N-Angebot und der im Feld gefundenen N-Menge (N im Weißkohlaufwuchs plus N_{min}-Rest) beim Weißkohlversuch 2006

Tabelle 9: Varianten, Stickstoffdynamik und Ertrag beim Weißkohlversuch 2006 (soweit nicht anders angegeben Angaben in kg N/ha) (**fett** markierte Anfangsbuchstaben und Ziffern ergeben zusammengesetzt das Varianten-Kürzel)

Vorkultur	**K**lee**G**ras						**KL**ee	**Ko**
Nutzung	**2**-jährig				**1**-jährig			Ha/WW /Pha
	Futter**N**utzung		**G**rün**B**rache (Mulchen)					
Umbruch	**Her**bstumbruch			**Frü**hjahrsumbruch				Herbst.
letzter Aufwuchs Herbst	Abfuhr	**V**erbleib	Verbleib					Abfuhr
Frühjahr	-			Verbleib				-
N-Düngung zu Weißkohl	**0**	0	**0**	**0**	**0**	**150**	**0**	**0**
Erhebungen zum Herbstumbruch-Termin (6. Oktober 2005):								
N_{min} **0-30 cm**	20		21		31		42	29
30-60 cm	14		19		12		12	18
60-90 cm	9		10		12		19	8
N_{Klee}		71	34					
C/N-Verhältnis $_{Klee}$		*15,4*	*15,1*					
$N_{Gräser}$		60	88					
C/N-Verhältnis $_{Gräser}$		*19,3*	*18,0*					
$N_{Gründüngung}$	48	130	123		139		157	11
C/N-Verhältnis $_{Gründüngung}$	*22,2*	*17,2*	*17,2*		*14,5*		*14,1*	*42,8*

Fortsetzung Tabelle 9:

Vorkultur	**K**lee**G**ras						**KL**ee	**Ko**
Nutzung	**2**-jährig				**1**-jährig			Ha/WW /Pha
	Futter**N**utzung		**G**rün**B**rache (Mulchen)					
Umbruch	**Her**bstumbruch			**Frü**hjahrsumbruch				Herbst.
letzter Aufwuchs Herbst	Abfuhr	**V**erbleib	Verbleib					Abfuhr
Frühjahr	-			Verbleib				-
N-Düngung zu Weißkohl	**0**	0	**0**	**0**	**0**	**150**	**0**	**0**
Erhebungen zum Frühjahrsumbruch-Termin (18. Mai 2006); kalkuliertes N-Angebot:								
N_{Klee}				8	127			
***C/N-Verhältnis*$_{Klee}$**				*12,2*	*12,7*			
$N_{Gräser}$				51	38			
***C/N-Verhältnis*$_{Gräser}$**				*24,3*	*15,9*			
$N_{Gründüngung}$	0	0	0	58	165		154	0
***C/N-Verhältnis*$_{Gründüngung}$**	-	-	-	*22,7*	*13,5*		*14,5*	-
N_{min}-Vorrat 0-30 cm	43	48	60	15	17		22	35
30-60 cm	33	43	37	16	14		10	23
60-90 cm	46	26	35	12	21		13	13
N-Nachlieferung$_{Boden}$	125							
N-Freisetzung$_{Gründüngung}$	0	0	0	0+50	54		42	0
N-Freisetzung$_{Düngung}$	0	0	0	0	0	75	0	0
N-Angebot$_{kalkuliert}$	247	241	257	218	231	306	211	196
Erhebungen zur Ernte des Weißkohls (5. Oktober 2006) und Stickstoffdynamik:								
Marktertrag [dt FM/ha]	516	526	564	502	399	495	470	512
[dt TM/ha]	53,2	54,2	58,5	49,9	39,7	48,6	44,4	52,0
[Prozent N i. d. TS]	1,95	2,04	2,15	2,23	2,25	2,52	2,34	1,85
Ernterück- [dt FM/ha]	365	410	410	392	351	368	403	365
stände [dt TM/ha]	60,1	67,5	68,7	60,8	58,3	59,5	74,6	68,1
[Prozent N i. d. TS]	1,37	1,32	1,55	1,58	1,44	1,90	1,33	1,14
$N_{Marktware}$	104	111	126	111	89	123	104	96
$N_{Ernterückstände}$	83	89	106	96	84	113	100	78
$N_{Aufwuchs}$	186	200	232	207	173	236	203	173
N_{min}-Rest 0-30 cm	17	9	16	17	25	29	19	9
30-60 cm	8	10	8	6	18	27	10	8
60-90 cm	3	7	3	5	9	18	14	10
N-Angebot$_{gemessen}$	215	226	260	234	225	309	246	201
N-Gewinn	93	109	127	191	172	257	202	**129**
N-Freisetzung$_{Gründüngung}$	-37	-20	-2	62	43		73	
N-Freisetzung$_{Rizinus}$						85		

4.4 Rote Bete-Nachbau 2005

N_{min}-Vorrat

In den verschiedenen Kleegras-Varianten nahm der N_{min}-Gehalt über Winter um durchschnittlich 34 kg N/ha zu, so dass zur Aussaat der Roten Bete im Mittel 63 kg N_{min}/ha vorhanden waren. Auch in der Kontrolle wurde ein N_{min}-Vorrat von 58 kg N/ha (+ 36 kg N/ha) vorgefunden. In den beiden Varianten, bei denen die Kohl-Ernterückstände verblieben, lag der N_{min}-Vorrat mit 83 bzw. 109 kg N/ha deutlich höher als in den entsprechenden Varianten ohne Ernterückstände (Tabelle 10, Abbildung 20).

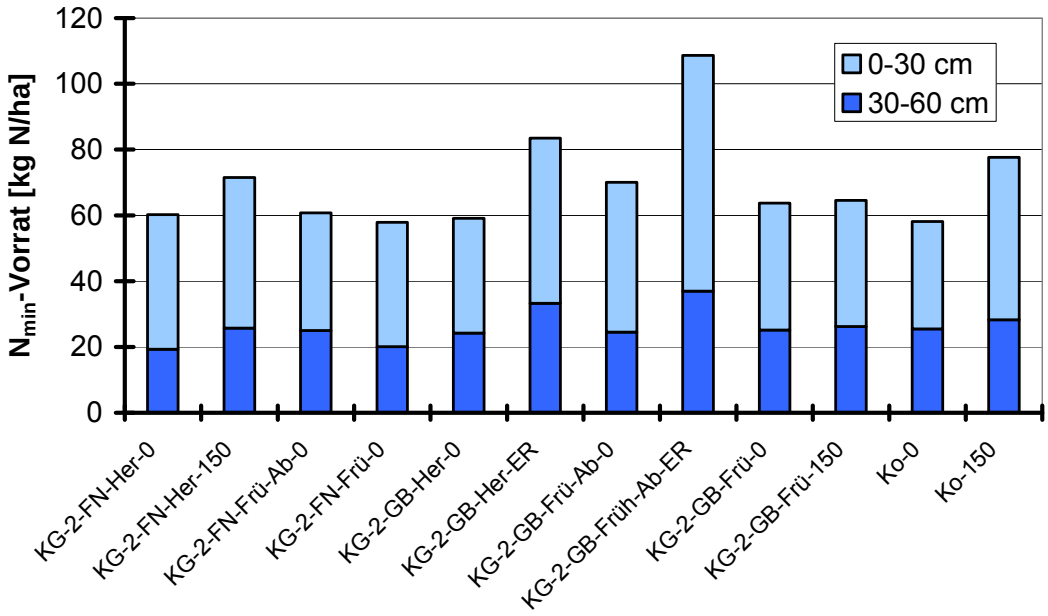

Abbildung 20: N_{min}-Vorrat bei den verschiedenen Varianten des Rote-Bete-Nachbaus 2005 zum Saattermin

Rote-Bete-Aufwuchs

Entgegen des optischen Eindrucks auf dem Feld zeigten sich bei der Ernte der Roten Bete signifikante Unterschiede beim FM-Aufwuchs (Abbildung 21). Am geringsten war er in der Kontrolle, die verschiedenen Kleegrasvarianten lagen meist signifikant darüber. Das Belassen der Weißkohl-Ernterückstände führte nur in der Grünbrache-Herbstumbruch-Variante zu einem Mehrertrag, bei der Frühjahrsumbruch-Variante war dies in keiner Weise zu beobachten, obgleich hier die größten Unterschiede beim N_{min}-Vorrat vorlagen.

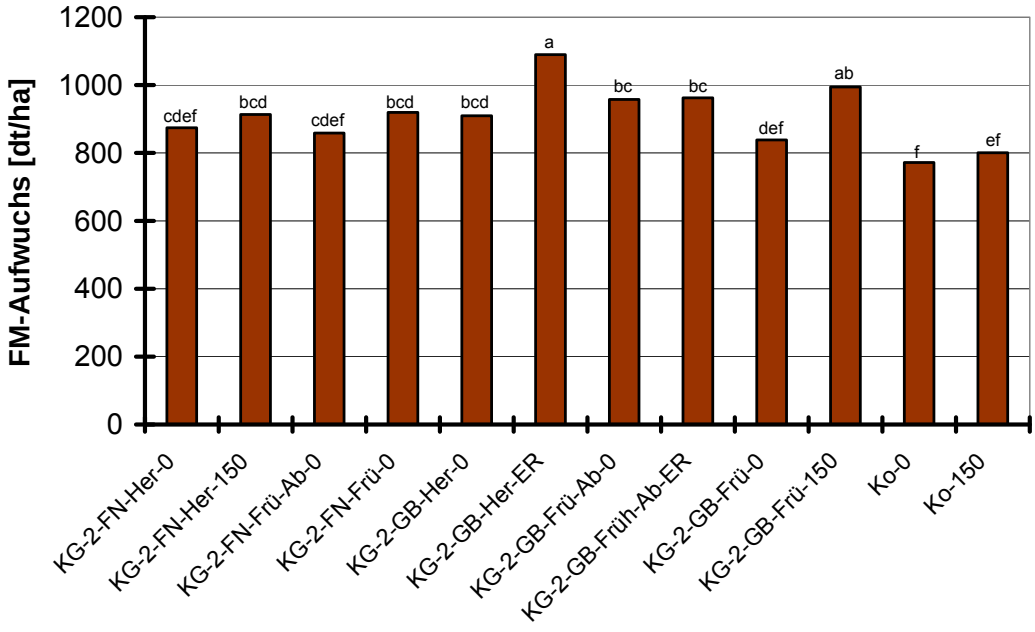

Abbildung 21: Rote-Bete-FM-Aufwuchs, Nachbau 2005 (Mittelwerte über die Wiederholungen, $GD_{(\alpha<0,05)}$ = 100,7 dt/ha, Varianten mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant)

N-Aufnahme und N_{min}-Rest, N-Angebot aus den verschiedenen Nährstoffquellen

Die N-Aufnahme durch die Rote Bete lag zwischen 132 (Ko-0) und 217 kg N/ha (KG-2-GB-Her-ER), der Boden war mit N_{min}-Resten von durchschnittlich 27 kg N/ha nahezu entleert. Insgesamt belief sich damit das $N\text{-Angebot}_{gemessen}$ auf 162 bis 240 kg N/ha.

In der Kontrolle wurde ein N-Gewinn und damit eine N-Nachlieferung des Bodens von 105 kg N/ha ermittelt. (Bei einer Kalkulation mit 7 kg N-Nachlieferung/ha je Woche wäre hier eine N-Nachlieferung von 130 kg N/ha veranschlagt worden.) Die ehemaligen Kleegrasflächen lieferten relativ einheitlich im Durchschnitt 31 kg N/ha mehr N nach als die Kontrolle. Sowohl bei der N-Freisetzung aus den Weißkohl-Ernterückständen (-33 bzw. 19 kg N/ha), als auch aus dem ehemals zum Kohl gegebenen Rizinus (-20 bis 48 kg N/ha) zeigten sich keine eindeutigen Ergebnisse.

Tabelle 10: Varianten, Stickstoffdynamik und Ertrag beim Rote-Bete-Nachbau 2005 (soweit nicht anders angegeben Angaben in kg N/ha) (**fett** markierte Anfangsbuchstaben und Ziffern ergeben zusammengesetzt das Varianten-Kürzel)

Vorkultur	**K**lee**G**ras										**Ko**ntrolle	
Nutzung	**2**-jährig										KG/Ha/Ha-Aufwuchs	
	Futter**N**utzung				**G**rün**B**rache (Mulchen)							
Umbruch	**Her**bstum.		**Frü**jahrsu.		**Her**stum.		**Frü**jahrsumbruch				Herbstfur.	
letzter Aufwuchs Herbst	Abfuhr				Verbleib						Abfuhr	
Frühjahr	-		**Ab**f.	Verb	-		**Ab**fuhr		Verbleib		-	
N-Düngung zu Weißkohl	**0**	**150**	**0**	**0**	**0**		**0**		**0**	**150**	**0**	**150**
Kohl-Ernterückstände						**ER**		**ER**				
N in Kohl-Ernterückst.	0	0	0	0	0	176	0	100	0	0	0	0
Erhebungen vor der Saat (25. April 2005), Stickstoffdynamik über Winter:												
N_{min}-Vorrat 0-30 cm	41	46	36	38	35	50	46	72	39	38	33	49
30-60 cm	19	26	25	20	24	33	25	37	25	26	25	28
N_{min}-Zunahme*	22	30	37	32	37	61	46	84	31	36	36	45
Erhebungen zur Ernte der Rote Bete (8. September 2005) und Stickstoffdynamik:												
Aufwuchs [dt FM/ha]	874	913	859	920	909	1090	958	963	838	994	772	801
[dt TM/ha]	113	118	112	118	117	143	120	128	105	129	102	103
[Prozent N i. d. TS]	1,45	1,44	1,48	1,51	1,51	1,52	1,48	1,45	1,56	1,66	1,29	1,35
$N_{Aufwuchs}$	164	169	165	178	176	217	178	185	163	214	132	139
N_{min}-Rest 0-30 cm	16	17	16	15	13	14	16	12	16	16	14	13
30-60 cm	20	14	11	12	7	9	9	10	12	9	16	9
$N\text{-Angebot}_{gemessen}$	201	200	192	204	197	240	202	208	191	239	163	162
N-Gewinn	140	129	131	147	138	156	132	99	127	175	**105**	84
$N\text{-Freisetzung}_{Gründüngung}$	36		27	42	33		28		23			
$N\text{-Freisetzung}_{Kohl\text{-}ER}$						19		-33				
$N\text{-Freisetzung}_{Rizinus}$		-11								48		-20

*: N_{min}-Rest nach Weißkohl s. Tabelle 7, S. 28

4.5 Rote Bete-Nachbau 2006

N_{min}-Vorrat

In den ehemaligen Klee-, Kleegras- und Luzerne-Beständen nahm der N_{min}-Gehalt über Winter um 16 bis 73 kg N/ha auf durchschnittlich 79 kg N/ha zu. In der Kontrolle wurde ein N_{min}-Vorrat von 62 kg N/ha vorgefunden, was einer Zunahme über Winter von 39 kg N/ha entsprach. In Varianten, bei denen die Kohl-Ernterückstände mit rund 135 kg N/ha verblieben, wurden im Mittel um ca. 15 kg N/ha höhere N_{min}-Vorräte als in den entsprechenden Varianten ohne Ernterückstände gefunden. Die ehemalige Rizinus-Düngung zeigte über Winter keine nennenswerten Effekte (Tabelle 11, Abbildung 22).

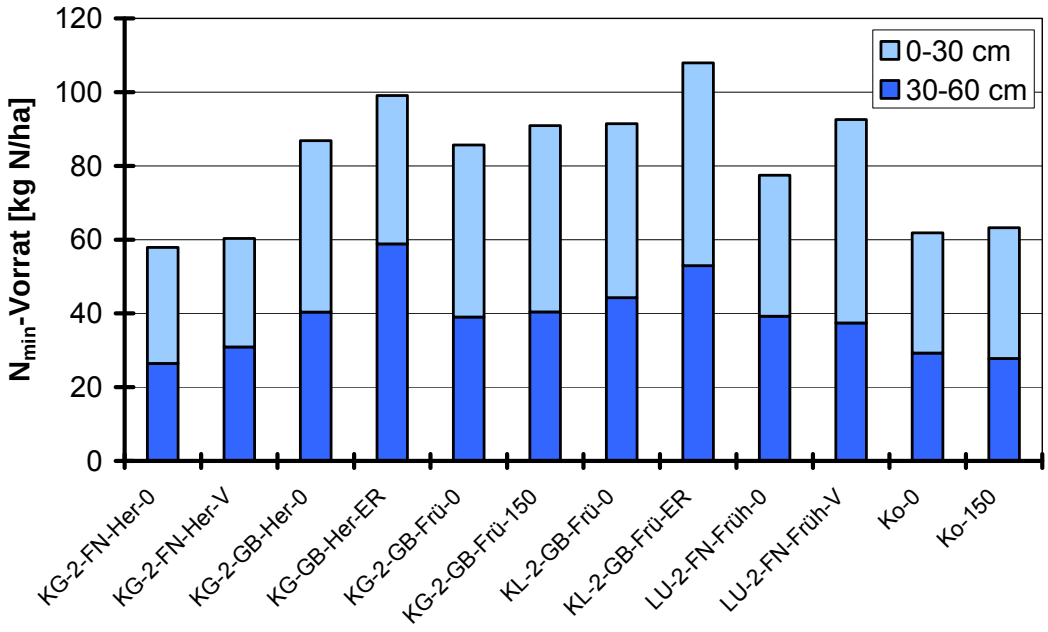

Abbildung 22: N_{min}-Vorrat bei den verschiedenen Varianten des Rote Bete-Nachbaus 2006 zum Saattermin

Rote-Bete-Aufwuchs

Bei der Roten Bete zeigten sich wiederum signifikante Unterschiede beim FM-Aufwuchs (Abbildung 23). Am geringsten war er mit 629 dt/ha in der Kontrolle, die ehemaligen Frühjahrsumbruch-Varianten lagen mit 771 bis 964 dt/ha deutlich darüber. Varianten, bei denen der letzte Grünaufwuchs vor Winter im Gegensatz zur normalen Futternutzung verblieb, zeigten keine Ertragsvorteile. Das Belassen der Kohl-Ernterückstände führte in der entsprechenden Kleegras-Variante zu einem signifikanten Mehrertrag, in der Klee-Variante konnte dies nicht abgesichert werden.

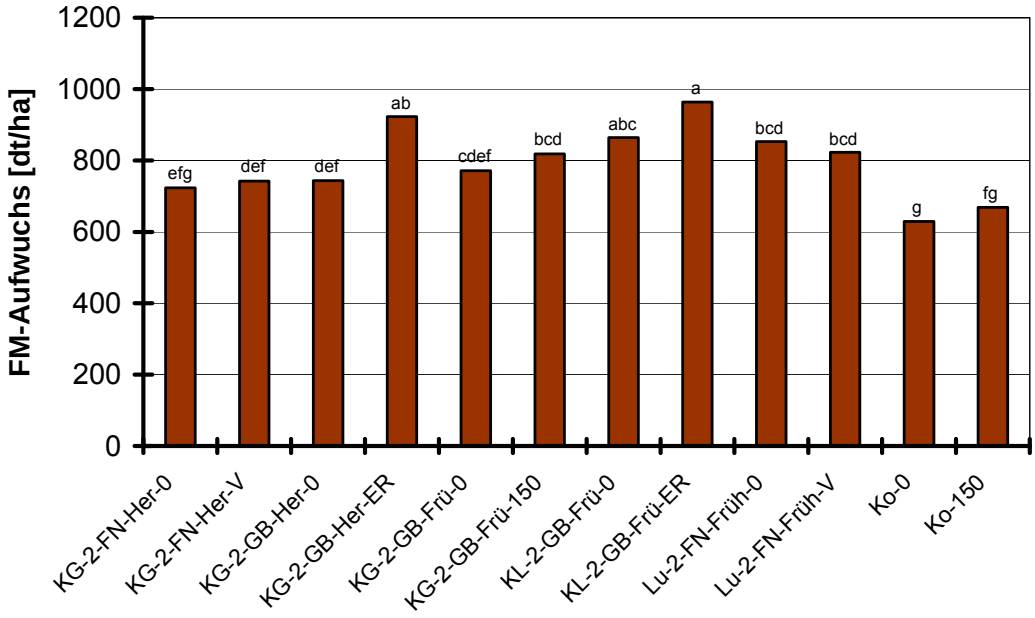

Abbildung 23: Rote-Bete-FM-Aufwuchs, Nachbau 2006 (Mittelwerte über die Wiederholungen, $GD_{(\alpha<0,05)}$ = 135,4 dt/ha, Varianten mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant)

N-Aufnahme und N_{min}-Rest, N-Angebot aus den verschiedenen Nährstoffquellen

Die N-Aufnahme der Roten Bete lag zwischen 126 (Ko-0) und 220 kg N/ha (KL-2-GB-Frü-ER). Die N_{min}-Reste betrugen durchschnittlich 23 kg N/ha, so dass sich insgesamt das $N\text{-Angebot}_{gemessen}$ auf 147 bis 245 kg N/ha belief.

In der Kontrolle wurde eine N-Nachlieferung des Bodens von 85 kg N/ha ermittelt, was einer durchschnittlichen N-Nachlieferung von 4,7 kg N/ha je Woche (Sommer) entspricht. Die ehemaligen Kleegrasflächen lieferten bei einem 'Ausreißer' (KG-2-GB-Her-0:) rund 25 kg N/ha mehr Stickstoff nach als die Kontrolle. Bei den reinen Klee- und Luzerne-Beständen waren es mit rund 45 kg N/ha etwas höhere N-Mengen.

Die in der Kleegras-Variante errechnete N-Freisetzung aus den ehemaligen Kohl-Ernterückständen von 60 kg N/ha dürfte, bedingt durch den o. g. 'Ausreißer', fehlerbehaftet sein; in der Klee-Variante wurde ein Wert von 13 kg N/ha ermittelt. Die N-Freisetzung aus dem ehemals gedüngten Rizinus von im Mittel 22 kg entspricht 15 Prozent der gedüngten Menge.

Tabelle 11: Varianten, Stickstoffdynamik und Ertrag beim Rote-Bete-Nachbau 2006 (soweit nicht anders angegeben Angaben in kg N/ha) (**fett** markierte Anfangsbuchstaben und Ziffern ergeben zusammengesetzt das Varianten-Kürzel)

Vorkultur	**K**lee**G**ras						**Kl**ee		**Lu**zerne		**Ko**ntrolle	
Nutzung	**2**-jährig										Ha/WW/ Phacelia	
	Futter**N**utz.		**G**rün**B**rache (Mulchen)						**F**utter**N**utz.			
Umbruch	**Her**bstumbruch				**Frü**hjahrsumbruch						Herbstfur.	
letzter Aufwuchs Herbst	Abf.	**V**erb	Verbleib						Abf.	**V**erb	Abfuhr	
Frühjahr	-				Verbleib						-	
N-Düngung zu Weißkohl	**0**	0	**0**	0	**0**	**150**	**0**	0	**0**	0	**0**	**150**
Kohl-Ernterückstände				**ER**				**ER**				
N in Kohl-Ernterückst.	0	0	0	133	0	0	0	138	0	0	0	0
Erhebungen vor der Saat (3. Mai 2006), Stickstoffdynamik über Winter:												
N_{min}-Vorrat 0-30 cm	31	29	46	40	47	50	47	55	38	55	33	35
30-60 cm	26	31	40	59	39	40	44	53	39	37	29	28
N_{min}-Zunahme*	24	16	65	77	60	69	71	87	56	73	39	42
Erhebungen zur Ernte der Rote Bete (12. September 2006) und Stickstoffdynamik:												
Aufwuchs [dt FM/ha]	723	742	744	923	771	818	865	964	853	823	629	669
[dt TM/ha]	83,6	88,3	87,2	106	91,7	95,5	106	112	106	96,7	77,6	83,2
[Prozent N i. d. TS]	1,76	1,70	1,74	2,06	1,84	2,09	1,85	1,96	1,89	1,91	1,62	1,68
$N_{Aufwuchs}$	147	150	152	218	168	200	195	220	200	184	126	140
N_{min}-Rest 0-30 cm	13	9	11	15	19	12	14	18	9	24	11	24
30-60 cm	4	12	6	9	7	6	7	7	6	11	10	10
$N\text{-Angebot}_{gemessen}$	164	171	169	241	194	218	216	245	215	219	147	174
N-Gewinn	106	111	82	142	109	127	124	137	138	127	**85**	111
$N\text{-Freisetzung}_{Gründüngung}$	22	26	-3		24		40		53	42		
$N\text{-Freisetzung}_{Kohl\text{-}ER}$				60				13				
$N\text{-Freisetzung}_{Rizinus}$						18						26

*: N_{min}-Rest nach Weißkohl s. Tabelle 8, S. 33

4.6 Weißkohlversuche am Standort Ruthe

Im Rahmen des Projektes "Lupinen in ökologischen gemüsebaulichen Fruchtfolgen“ am Institut für Biologische Produktionssysteme der Universität Hannover wurden in den Jahren 2005 und 2006 an der Station ’Ruthe’ Versuche durchgeführt, bei denen (in Absprache mit den Versuchen in Dresden-Pillnitz) ebenfalls Weißkohl u. a. nach einjährigem Kleegras nachgebaut wurde (KATROSCHAN 2007).

Die Versuchsstation Ruthe liegt im Bereich der Leinemittelterrasse ca. 3 km nordwestlich von Sarstedt (Niedersachsen). Die mittlere Höhe über NN beträgt 73 m. Bei dem Boden handelt es sich um einen schwach tonigen Schluff (80Prozent Schluff, 10Prozent Ton) mit ca. 1,5 Prozent organischer Substanz. Der Bodentyp ist als eine Parabraunerde aus Löß über fluvatilem Sand und Kies anzusprechen. Die Versuchsflächen werden seit 2003 analog den Richtlinien der EU-Öko-Verordnung 2092/91 bewirtschaftet.

Die Versuchsdurchführung entsprach in den wesentlichen Punkten der unter Material und Methoden aufgezeigten Vorgehensweise, wichtige Kulturdaten sind in Tabelle 12 wiedergegeben.

Tabelle 12: Zeittafel Weißkohl-Versuche auf der Versuchsstation Ruthe

Versuch 2005:	
14. Apr. '04	Ansaat Kleegrasmischung als Blanksaat: 30 Gew.-Prozent Rotklee ('Titus'), 12 Prozent Weißklee ('Rivendel'), 58 Prozent Dt. Weidelgras ('Lipondo') Kontrolle: Ansaat von Sommerweizen
Sommer '04	drei Mulch- bzw. Futterschnitte
18. Aug. '04	Kontrolle: Ernte des Sommerweizens (nur Korn), anschließend Brache
10. Sep. '04	Kontrolle: Einarbeitung der Weizen-Ernterückstände
2. Mai '05	Mulch- bzw. Futterschnitt
2. Juni '05	N_{min}-Proben, Aufwuchsbestimmung, Umbruch
6. Juni '05	Umbruch
8. Juni '05	Pflanzung des Weißkohls ('Impuls')
17. Okt. '05	Ernte, N_{min}-Proben
Versuch 2006:	
18. Apr. '05	Ansaat Kleegrasmischung als Blanksaat: 30 Gew.-Prozent Rotklee ('Titus'), 12 Prozent Weißklee ('Rivendel'), 58 Prozent Dt. Weidelgras ('Lipondo') Kontrolle: Ansaat von Sommerweizen
Sommer '05	drei Mulch- bzw. Futterschnitte
10. Aug. '05	Kontrolle: Ernte des Sommerweizens (nur Korn), anschießend Brache
23. Aug. '05	Kontrolle: Einarbeitung der Weizen-Ernterückstände
9. Mai '06	Mulch- bzw. Futterschnitt
31. Mai '06	N_{min}-Proben, Aufwuchsbestimmung, Umbruch
1. Juni '06	Umbruch
6. Juni '06	Pflanzung des Weißkohls ('Impuls')
10. Okt. '06	Ernte, N_{min}-Proben

4.6.1 Weißkohl-Versuch Ruthe 2005

Zum Umbruchtermin Anfang Juni zeigten sich sowohl in der Kleegras-Grünbrache als auch in der nach dem Sommerweizen brach gehaltenen Kontrolle N_{min}-Vorräte von gut 100 kg N/ha, während die Futternutzungs-Variante nur ca. 50 kg N_{min}/ha aufwies. Die zuvor nochmals beerntete Futternutzungs-Variante enthielt im Stoppelmaterial 87 kg N/ha, die Grünbrache (inkl. des Mulchmaterials) 186 kg N/ha. Das C/N-Verhältnis war mit rund 11 bei beiden Varianten relativ eng (Tabelle 13).

Das kalkulierte N-Angebot belief sich in der Grünbrache-Variante auf gut 300 kg N/ha, während bei Futternutzung auf Grund der geringeren N_{min}-Vorräte und der geringeren $N_{Gründüngungs}$-Mengen nur gut 200 kg N/ha veranschlagt wurden.

Tabelle 13: Varianten, Stickstoffdynamik und Ertrag beim Weißkohlversuch Ruthe 2005 (soweit nicht anders angegeben Angaben in kg N/ha) (**fett** markierte Anfangsbuchstaben und Ziffern ergeben zusammengesetzt das Varianten-Kürzel)

Vorkultur	**K**lee**G**ras	**K**lee**G**ras	**Ko**ntrolle
Nutzung	**1**-jährig		SW/Brache
	Futter**N**utzung	**G**rün**B**rache (Mulchen)	
Umbruch	**Frü**hjahrsumbruch		
letzter Aufwuchs Frühjahr	**Ab**fuhr	Verbleib (als Mulch)	-
N-Düngung zu Weißkohl	**0**	**0**	**0**
Erhebungen zum Frühjahrsumbruch-Termin (2. Juni 2005); kalkuliertes N-Angebot:			
$N_{Gründüngung}$	87	186	0
***C/N-Verhältnis*$_{Gründüngung}$**	*11,2*	*10,9*	-
N_{min}-Vorrat 0-90 cm	26	66	52
30-60 cm	17	20	41
60-90 cm	5	9	7
90-120 cm	5	13	3
N-Nachlieferung$_{Boden}$	114		
N-Freisetzung$_{Gründüngung}$	38	84	0
N-Angebot$_{kalkuliert}$	204	305	215
Erhebungen zur Ernte des Weißkohls 17. Oktober 2005) und Stickstoffdynamik:			
Marktertrag [dt FM/ha]	416 b*	568 a	370 b
$N_{Marktware}$	83	118	62
$N_{Aufwuchs}$	194	275	147
N_{min}-Rest 0-30 cm	18	17	23
30-60 cm	13	17	14
60-90 cm	6	8	2
90-120 cm	2	2	1
N-Angebot$_{gemessen}$	233	320	187
N-Gewinn	180	212	**85**
N-Freisetzung$_{Gründüngung}$	95	127	

*: $GD_{(\alpha<0,05)}$ = 91,3 dt/ha, Varianten mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant

Mit knapp 570 dt/ha wurde der höchste Weißkohlertrag in der Grünbrache-Variante erzielt, während bei Futternutzung und in der Kontrolle mit rund 400 dt/ha deutlich geringere Erträge ermittelt wurden. Die N-Aufnahme lag zwischen 147 (Ko) und 275 kg N/ha (GB), so dass sich zusammen mit den N_{min}-Resten von rund 40 kg N/ha ein N-Angebot von 187 (Ko) bis 320 kg N/ha ergab.
Die in der Kontrolle ermittelte N-Nachlieferung des Bodens betrug 85 kg N/ha und lag damit knapp 30 kg N/ha niedriger als der Kalkulationsansatz. Die N-Freisetzung aus dem Kleegras fiel dagegen speziell in der Futternutzungs-Variante deutlich höher als erwartet aus.

4.6.2 Weißkohl-Versuch Ruthe 2006

Zum Umbruchtermin Ende Mai wurden in beiden Kleegras-Varianten N_{min}-Vorräte von rund 30 kg N/ha vorgefunden, während es in der Kontrolle nahezu 160 kg N/ha waren. Die zuvor nochmals beerntete Futternutzungs-Variante enthielt nur 29 kg N/ha im Stoppelmaterial, die Grünbrache (inkl. des Mulchmaterials) 136 kg N/ha (Tabelle 14).

Tabelle 14: Varianten, Stickstoffdynamik und Ertrag beim Weißkohlversuch Ruthe 2006 (soweit nicht anders angegeben Angaben in kg N/ha) (**fett** markierte Anfangsbuchstaben und Ziffern ergeben zusammengesetzt das Varianten-Kürzel)

Vorkultur		**K**lee**G**ras	**K**lee**G**ras	**Ko**ntrolle
Nutzung		**1**-jährig		SW/Brache
		Futter**N**utzung	**G**rün**B**rache (Mulchen)	
Umbruch		**Frü**hjahrsumbruch		
letzter Aufwuchs Frühjahr		**Ab**fuhr	Verbleib (als Mulch)	-
N-Düngung zu Weißkohl		**0**	**0**	**0**
Erhebungen zum Frühjahrsumbruch-Termin (31. Mai 2006); kalkuliertes N-Angebot:				
$N_{Gründüngung}$		29	136	
***C/N-Verhältnis*$_{Gründüngung}$**		13,5	12,4	
N_{min}-Vorrat	**0-90 cm**	20	14	51
	30-60 cm	7	5	48
	60-90 cm	1	2	40
	90-120 cm	2	2	21
N-Nachlieferung$_{Boden}$		113		
N-Freisetzung$_{Gründüngung}$		9	52	0
N-Angebot$_{kalkuliert}$		154	189	272
Erhebungen zur Ernte des Weißkohls 10. Oktober 2006) und Stickstoffdynamik:				
Marktertrag	**[dt FM/ha]**	355 b*	390 b	587 a
$N_{Marktware}$		79	90	142
$N_{Aufwuchs}$		159	184	259
N_{min}-Rest	**0-30 cm**	17	14	11
	30-60 cm	18	12	10
	60-90 cm	5	6	4
	90-120 cm	3	1	1
N-Angebot$_{gemessen}$		202	217	284
N-Gewinn		171	193	**125**
N-Freisetzung$_{Gründüngung}$		46	68	

*: $GD_{(\alpha<0,05)}$ = 153,0 dt/ha, Varianten mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant

Auf Grund des hohen N_{min}-Vorrates wurde für die Kontrolle mit 272 kg N/ha das höchste N-Angebot kalkuliert, während für die Kleegras-Varianten nur ein N-Angebot von 154 (FN) bzw. 189 kg N/ha (GB) erwartet wurde. Mit knapp 590 dt/ha wurde dementsprechend auch in der Kontrolle der höchste Weißkohlertrag ermittelt (vgl. Abbildung 24).

Die N-Nachlieferung betrug 125 kg N/ha und bewegte sich damit, im Gegensatz zum Vorjahresversuch, auf dem Niveau des Kalkulationsansatzes. Die N-Freisetzung aus dem Kleegras lag nur im Falle der Futternutzungs-Variante deutlich über dem kalkulierten Wert, während die Kleegras-Grünbrache mit 68 kg N/ha in etwa die veranschlagte N-Menge lieferte.

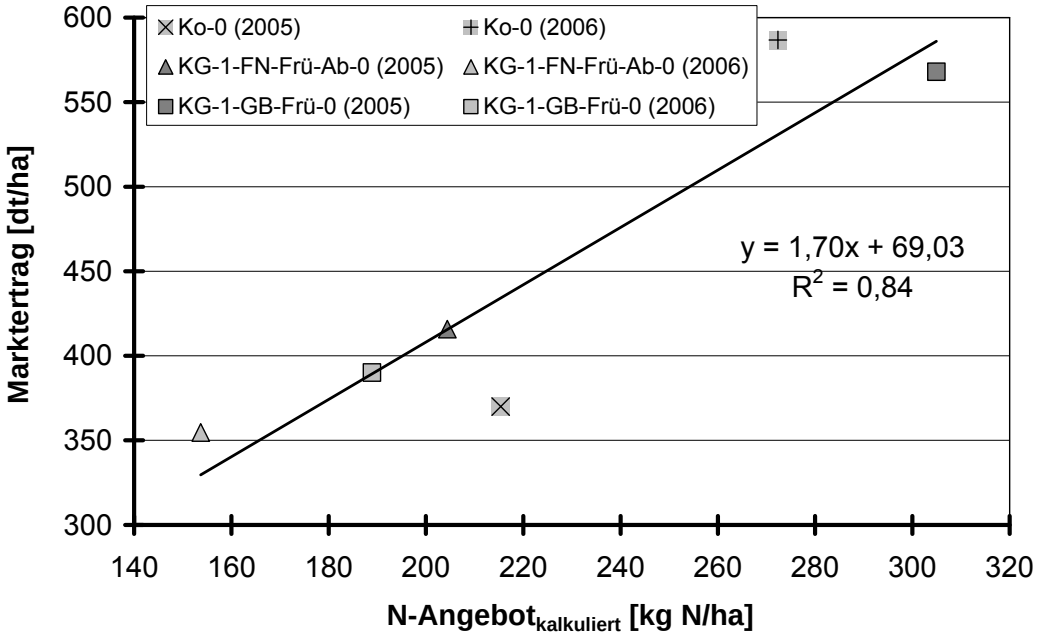

Abbildung 24: Beziehung zwischen dem kalkulierten N-Angebot und dem Marktertrag bei den Weißkohlversuchen 2005 und 2006 in Ruthe

4.7 Zusammenfassung der Ergebnisse

4.7.1 N-Angebot der verschiedenen Varianten

Je nach Gründüngungs-Variante, Umbruchtermin und Zusatzdüngung konnte ein N-Angebot von zum Teil über 300 kg N/ha realisiert werden. Im Durchschnitt aller Varianten hatte dabei die N-Nachlieferung des Bodens einen Anteil von nahezu 50 Prozent. Bei Herbstumbruch (bzw. Herbstfurche bei der Kontrolle) war auch der N_{min}-Vorrat eine sehr wesentliche Bestimmungsgröße (Abbildung 25). Bei Frühjahrsumbruch konnte (ohne Zusatzdüngung) nur bei den Klee- und Luzerne-Reinbeständen ein deutlich über das N-Angebot der Kontrolle hinausgehendes N-Angebot festgestellt werden. Kleegras-Varianten ohne vorherige Abfuhr des Grünaufwuchses lieferten (bei großer Streuung am Standort Ruthe) im Durchschnitt 16 kg mehr N pro ha als die Kontrolle. Wurde vor dem Frühjahrsumbruch noch eine Abfuhr des Grünaufwuchses durchgeführt, zeigte sich ein bis zu 82 kg N/ha geringeres N-Angebot (Mittelwert 34 kg N/ha) als in der Kontrolle (Abbildung 26).

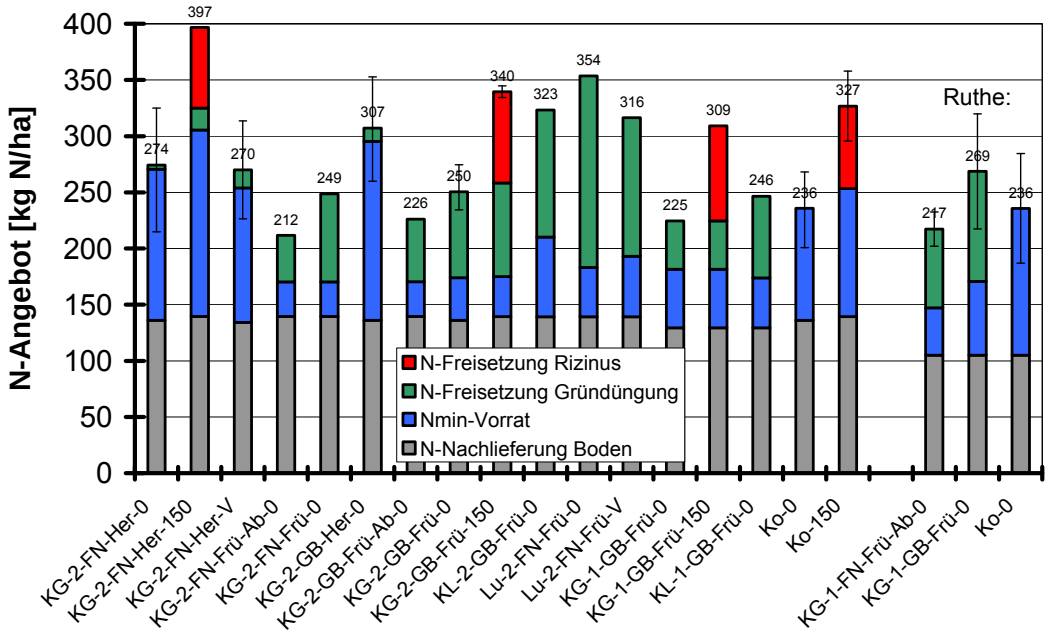

Abbildung 25: N-Angebot als Summe aus N-Nachlieferung des Bodens, N_{min}-Vorrat sowie N-Freisetzung aus den Gründüngungen und Rizinus-Zusatzdüngung der verschiedenen Varianten (Mittelwerte aus bis zu drei Versuchsjahren, I = Variationsbreite des Gesamt-Angebots)

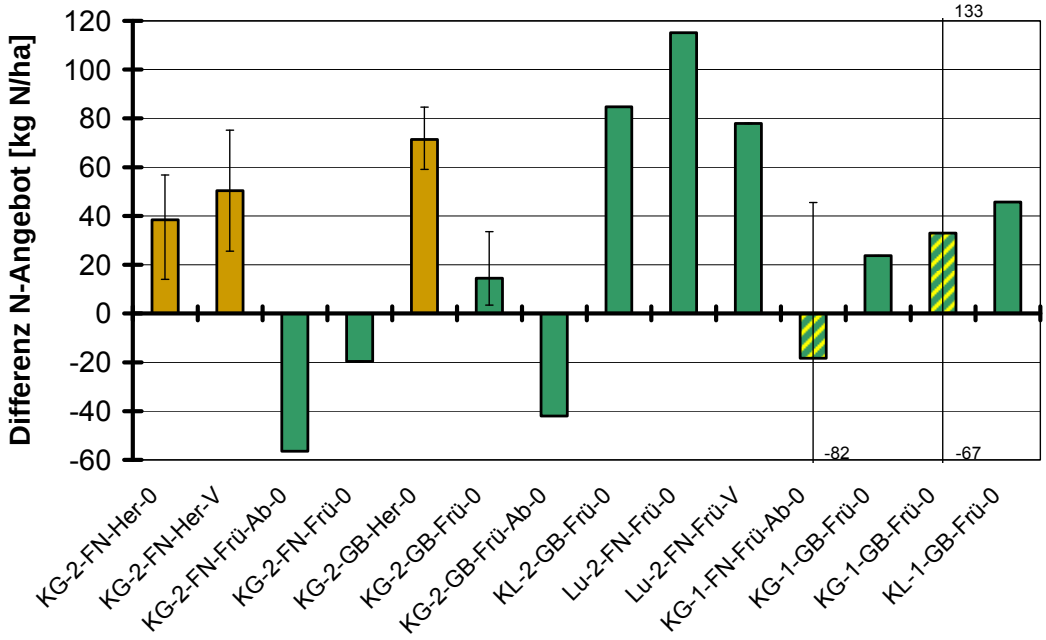

Abbildung 26: N-Angebot der verschiedenen Gründüngungs-Varianten (Herbstumbruch braun markiert, Versuche in Ruthe gelb markiert) als Differenz zum N-Angebot der Kontrolle (Mittelwerte aus bis zu drei Versuchsjahren, I = Variationsbreite)

Futternutzung versus Grünbrache

Beim Vergleich zwischen Futter- und Grünbrachenutzung des zweijährigem Kleegrases zeigte sich für die 'normal' beernteten Futternutzungsvarianten (Abfuhr des letzten Grünaufwuchses zum Herbstumbruch-Termin) ein im Durchschnitt um rund 30 kg N/ha geringeres N-Angebot als bei Grünbrache (Tabelle 15). Wurde der letzte Aufwuchs vor Herbstumbruch bei Futternutzung belassen, trat dieser Unterschied nur noch in einem der zwei untersuchten Fälle auf.

Tabelle 15: N-Angebot aus zweijährigem Kleegras bei Futter- bzw. Grünbrachenutzung (Versuche in Dresden-Pillnitz)

Jahr	Umbruch-termin	$N\text{-Angebot}_{gemessen}$ [kg N/ha]		Differenz zu Futternutzung
		Futternutzung	Grünbrache	
Abfuhr des letzten Aufwuchses vor Herbstumbruch bei Futternutzung:				
2004	Herbst	325	353	+ 28
	Frühjahr	249	275	+ 26
2005	Herbst	283	309	+ 26
2006	Herbst	215	260	+ 45
Verbleib des letzten Aufwuchses vor Herbstumbruch bei Futternutzung:				
2005	Herbst	314	309	- 5
2006	Herbst	226	260	+ 34

Abfuhr des letzen Grünaufwuchses versus Verbleib

Die Abfuhr des letzten Grünaufwuchses vor dem Umbruch als Futterschnitt oder versuchsweise bei einer ansonsten durchgeführten Grünbrache-Pflege führte (beim untersuchten zweijährigen Kleegras) generell zu einem geringeren N-Angebot als bei Verbleib (Tabelle 16). Dabei fiel der Unterschied bei Frühjahrsumbruch mit durchschnittlich 43 kg N/ha größer aus als bei Herbstumbruch (21 kg N/ha).

Unterblieb im Herbst ein letzter Futterschnitt, wurde dann aber erst im Frühjahr nach erneutem Wuchs umgebrochen, zeigte sich (in dem allerdings nur einen untersuchten Fall mit Luzerne) keine nachteilige Wirkung der herbstlichen Grünaufwuchs-Abfuhr. (Im konkreten Fall ergab sich bei einem herbstlichen Futterschnitt sogar ein deutlich höheres N-Angebot als bei Verbleib.)

Tabelle 16: N-Angebot aus zweijährigem Kleegras bzw. Luzerne bei Abfuhr bzw. Verbleib des Grünaufwuchses (Versuche in Dresden-Pillnitz)

Jahr	Variante	$N\text{-Angebot}_{gemessen}$ [kg N/ha]		Differenz zu
		Abfuhr	Verbleib	Abfuhr
Abfuhr/Verbleib beim Herbstumbruch:				
2005	KG-2-FN	283	314	+ 31
2006	KG-2-FN	215	226	+ 12
Abfuhr/Verbleib beim Frühjahrsumbruch:				
2004	KG-2-FN	212	249	+ 37
	KG-2-GB	226	275	+ 49
Abfuhr/Verbleib im Herbst, Frühjahrsumbruch:				
2005	Lu-2-FN	354	316	- 37

Kleegras versus Klee-Reinbestand

Der zweijährige Klee-Reinbestand zeigte ein um gut 80 kg N/ha höheres N-Angebot als die entsprechende Kleegras-Variante (Tabelle 17). Bei den einjährigen Beständen im Versuchsjahr 2006 fiel dieser Unterschied deutlich geringer aus, aber auch hier lieferte der Klee-Reinbestand (obgleich er sogar bei geringfügig höherem C/N-Verhältnis 11 kg $N_{Grüngungung}$/ha weniger aufwies als das Kleegras) mehr N.

Tabelle 17: N-Angebot aus Kleegras- bzw. Klee-Grünbrachen (Frühjahrsumbruch, Versuche in Dresden-Pillnitz)

Jahr	Nutzung	$N\text{-Angebot}_{gemessen}$ [kg N/ha]		Differenz zu
		Kleegras	Klee	Kleegras
2005	zweijährig	242	323	+ 81
2006	einjährig	225	246	+ 22

Einjähriges versus zweijähriges Kleegras

Das N-Angebot einjähriger im Vergleich zu zweijährigen Beständen konnte nur im Versuchsjahr 2006 bei Kleegras-Grünbrachen untersucht werden. Größere Unterschiede traten hierbei nicht zutage (Tabelle 18).

Tabelle 18: N-Angebot aus ein- bzw. zweijährigem Kleegras (Frühjahrsumbruch, Versuche in Dresden-Pillnitz)

Jahr	Nutzung	$N\text{-Angebot}_{gemessen}$ [kg N/ha]		Differenz zu
		1-jährig	2-jährig	1-jährig
2006	Grünbrache	225	234	+ 10

Herbstumbruch versus Frühjahrsumbruch

In allen Versuchen zeigte sich ein deutlicher Vorteil eines Herbstumbruches des zweijährigen Kleegrases gegenüber einem Frühjahrsumbruch, der sich im Mittel der Grünbrache-Varianten auf durchschnittlich 57 kg /ha belief (Tabelle 19). Selbst bei 'normaler' Futternutzung, bei der zum Herbstumbruch-Termin nochmals beerntet wurde, im Frühjahr aber wiederum Grünmasse nachwachsen konnte, war mit 76 kg N/ha ein deutlicher Vorteil für den Herbstumbruch festzustellen. Wurde beim Frühjahrsumbruch nochmals beerntet und damit wie bei der Herbstumbruch-Variante auch nur Stoppelmaterial eingearbeitet, so fiel der Vorteil des Herbstumbruches noch größer aus. (Hierbei ist allerdings zu beachten, dass das Stoppelmaterial zum Herbstumbruch-Termin 2003 deutlich mehr $N_{Gründüngung}$ als zum Frühjahrsumbruch aufwies.)

Tabelle 19: N-Angebot aus zweijährigem Kleegras bei Frühjahrs- bzw. Herbstumbruch (Versuche in Dresden-Pillnitz)

Jahr	Variante	$N\text{-Angebot}_{gemessen}$ [kg N/ha]		Differenz zu
		Frühjahrsumbr.	Herbstumbruch	Frühjahrsumbr.
Grünbrache:				
2004	KG-2-GB	275	353	+ 78
2005	KG-2-GB	242	309	+ 67
2006	KG-2-GB	234	260	+ 26
Futternutzung:				
2004	KG-2-FN	249	325	+ 76
	KG-2-FN-Ab	212	325	+ 113

4.7.2 Kalkuliertes und gemessenes N-Angebot

N-Angebot

Beim Vergleich vom kalkulierten und gemessenen N-Angebot zeigte sich im Mittel eine Unterschätzung des N-Angebots von 19 kg N/ha (Abbildung 27). Maximal kam es zu einer Unterschätzung von 62 kg N/ha (KG-2-FN-Her-V, 2005), die maximale Überschätzung betrug 32 kg N/ha (KG-2-FN-Her-0 ,2006).

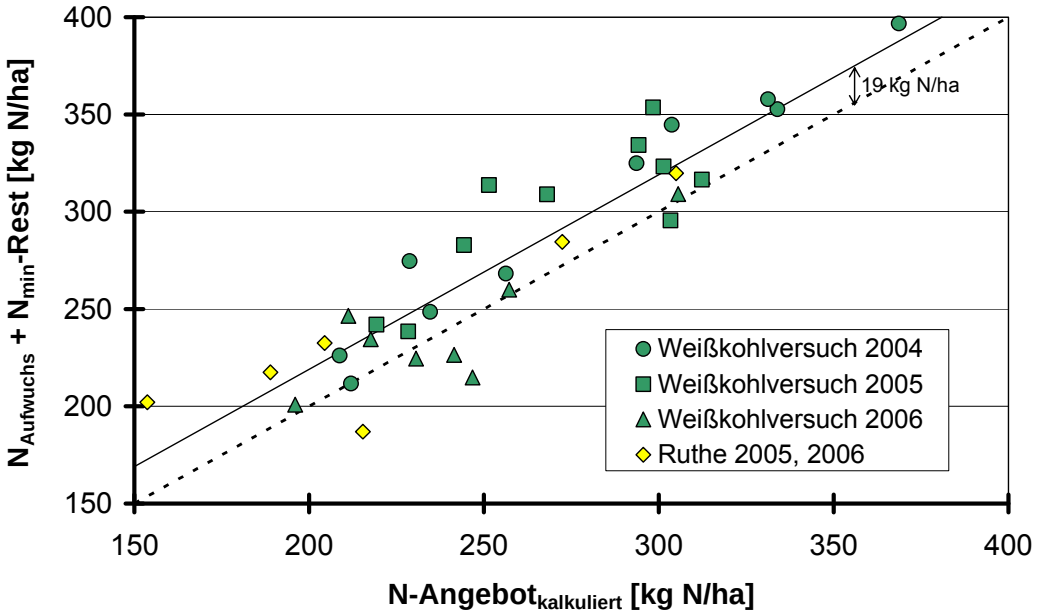

Abbildung 27: Beziehung zwischen dem kalkulierten N-Angebot und der im Feld gefundenen N-Menge (N im Weißkohlaufwuchs plus N_{min}-Rest) bei den Weißkohlversuchen 2004 - 2006 in Dresden-Pillnitz sowie Ruthe 2005 und 2006

N-Nachlieferung des Bodens

Die kalkulierte N-Nachlieferung des Bodens stimmte bei den Versuchen in Dresden-Pillnitz in allen drei Fällen gut mit der in der Kontrolle gemessene N-Nachlieferung überein; die maximale Unterschätzung betrug nur 12 kg N/ha. Ebenso wurde die N-Nachlieferung bei dem Versuch in Ruthe 2006 recht genau vorhergesagt (12 kg N/ha unterschätzt), während bei dem Versuch in Ruthe 2005 die N-Nachlieferung um 28 kg N/ha geringer als die Schätzung ausfiel (Tabelle 20).

Tabelle 20: N-Nachlieferung des Bodens im Verlauf der Weißkohl-Kulturzeit

Jahr	N-Nachlieferung [kg N/ha]	[kg N/ha je Woche*]	Über- (-) bzw. Unterschätzung (+) [kg N/ha]
Versuche in Dresden-Pillnitz 2004-2006:			
2004	139	7,7	+ 12
2005	139	7,6	+ 10
2006	129	7,3	+ 5
Versuche in Ruthe 2005, 2006:			
2005	85	5,2	- 28
2006	125	7,7	+ 12
Mittelwert	124	7,1	+ 2

*: Berechnet für Wochen von Anfang Mai bis Ende August

N-Freisetzung aus den Gründüngungs-Beständen

Die größten Abweichungen (durchschnittliche Unterschätzung 15 kg N/ha) zwischen der kalkulierten N-Freisetzung und der tatsächlich gemessenen traten bei der Abschätzung der Gründüngungswirkung auf (Abbildung 28). Hier fallen insbesondere die Fehleinschätzungen bei Vorhersage einer ausbleibenden (weiteren) N-Freisetzung bei Herbstumbruch auf. Tatsächlich wurden hier aber eine N-Freisetzung von maximal 52 kg N/ha (KG-2-FN-Her-V, 2005) gemessen, aber auch eine um 37 kg N/ha (KG-2-FN-Her-0, 2006) geringere N-Nachlieferung als in der Kontrolle ermittelt (Mittelwert: 11 kg N/ha Unterschätzung). Im Versuch 2005 gab es mit durchschnittlich 37 kg N/ha die größte Unterschätzung, während 2006 mit einer N-Freisetzung von durchschnittlich -20 kg N/ha (= geringerer N-Gewinn als in der Kontrolle) generell überschätzt wurde. Im Versuchsjahr 2004 wurde die N-Freisetzung in den beiden Herbstumbruch-Varianten mit gemessenen Werten von 7 bzw. 19 kg N/ha nur wenig unterschätzt.

Die N-Freisetzung bei Frühjahrsumbruch wurde am Standort Dresden-Pillnitz im Mittel ebenfalls um 11 kg N/ha unterschätz. Am Standort Ruthe kam es generell zu einer größeren Unterschätzung der N-Freisetzung aus dem dort nur geprüften einjährigen Kleegras (im Mittel 38 kg N/ha), wobei der Fehler bei der Futternutzungs-Variante mit 57 bzw. 36 kg N/ha in beiden Versuchsjahren am größten ausfiel. Am Standort Dresden-Pillnitz zeigte das einjährige Kleegras bzw. der Klee-Reinbestand mit einer mittleren Unterschätzung von 10 kg N/ha keine 'Auffälligkeiten'.

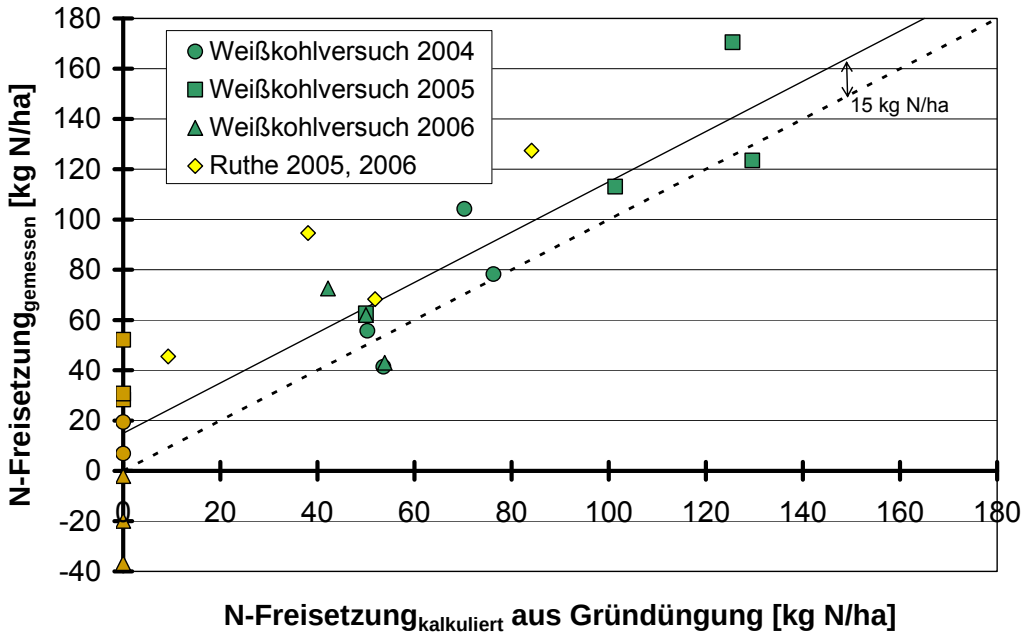

Abbildung 28: Beziehung zwischen der kalkulierten N-Freisetzung und der im Feld gemessenen N-Freisetzung aus den Gründüngungen im Verlauf der Weißkohl-Kulturzeit bei den Versuchen 2004 - 2006 in Dresden-Pillnitz sowie Ruthe 2005 und 2006 (Herbstumbruch-Varianten braun dargestellt)

N-Freisetzung aus Rizinusschrot

Aus dem bei den Versuchen in Dresden-Pillnitz generell mit einer Aufwandmenge von 150 kg N/ha gedüngtem Rizinusschrot-Dünger wurden im Mittel 52 Prozent freigesetzt (Tabelle 21), was relativ genau dem Kalkulationsansatz von 50 Prozent entspricht.

Tabelle 21: N-Freisetzung aus Rizinusschrot (Aufwandmenge 150 kg N/ha) im Verlauf der Weißkohl-Kulturzeit (Versuche in Dresden-Pillnitz 2004 - 2006)

Jahr	Variante	$N\text{-Freisetzung}_{Rizinus}$		Über- (-) bzw. Unterschätzung (+)
		[kg N/ha]	[Prozent]	[kg N/ha]
2004	KG-2-FN-Her-150	72	48	- 3
	KG-2-GB-Frü-150	70	47	- 5
	Ko-150	90	60	+ 15
2005	KG-2-GB-Frü-150	92	62	+ 17
	Ko-150	57	38	- 18
2006	KG-1-GB-Früh-150	85	56	+ 10
Mittelwert		78	52	+ 3

4.7.3 N-Nachlieferung im 2. Nachbaujahr (Versuche in Dresden-Pillnitz)

N-Angebot der verschiedenen Varianten

Je nach ehemaliger Gründüngungs-Variante, Umbruchtermin, Zusatzdüngung und dem Belassen der Kohl-Ernterückstände stand der nachgebauten Roten Bete ein N-Angebot zwischen 147 (Ko-0, 2006) und 245 kg N/ha (KL-2-GB-Frü-ER) zur Verfügung. Ähnlich wie bei dem Kohl-Nachbau hatte daran die N-Nachlieferung des Bodens einen Anteil von durchschnittlich 48 Prozent (Abbildung 29). Gegenüber der Kontrolle fiel das N-Angebot der verschiedenen (Grün)Düngungs-Varianten um bis zu 100 kg N/ha höher aus (Abbildung 30).

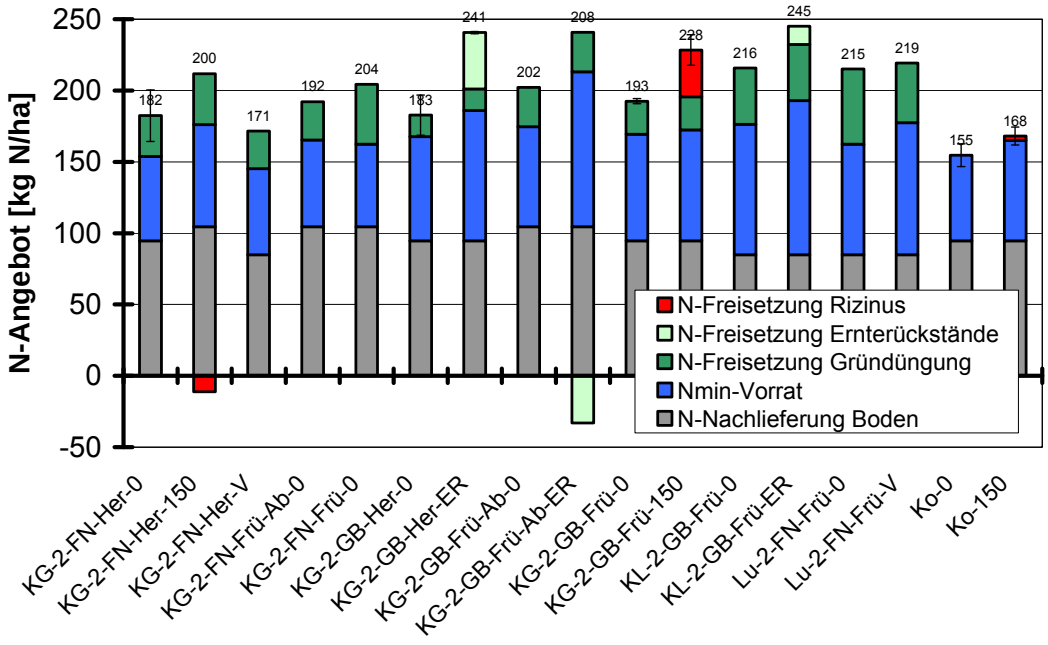

Abbildung 29: N-Angebot beim Rote-Bete-Nachbau als Summe aus N-Nachlieferung des Bodens, N_{min}-Vorrat sowie N-Freisetzung aus den ehemaligen Gründüngungen und Zusatzdüngung sowie den Kohl-Ernterückständen (Mittelwerte aus bis zu zwei Versuchsjahren, I = Variationsbreite des Gesamt-Angebots, die angegebenen Zahlenwerte geben das Gesamt-Angebot unter Einbeziehung etwaiger negativer N-Freisetzungen an)

N-Nachlieferung des Bodens

Die in der Kontrolle ermittelte N-Nachlieferung des Bodens lag in beiden Versuchsjahren mit Werten von 5,6 bzw. 4,7 kg N/ha je Woche (Mittel 5,2 kg N/ha) unter dem im Kalkulationsmodell angenommenen Ansatz von 7 kg N/ha je Woche.

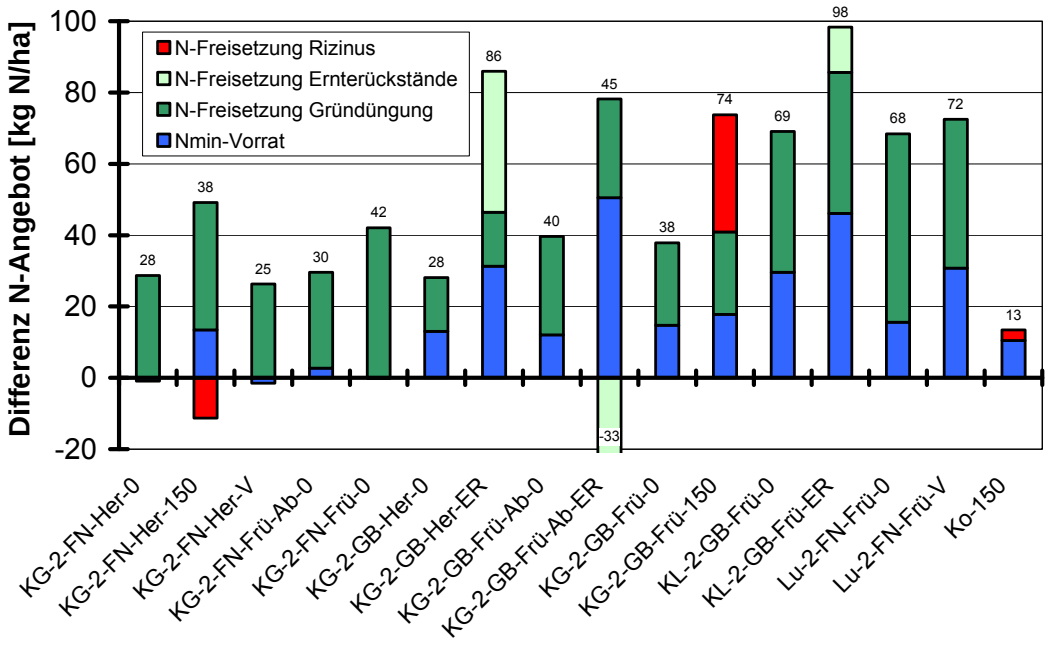

Abbildung 30: N-Angebot beim Rote-Bete-Nachbau als Differenz zum N-Angebot der Kontrolle (Mittelwerte aus bis zu zwei Versuchsjahren, die angegebenen Zahlenwerte geben die Differenz des Gesamt-Angebots unter Einbeziehung etwaiger negativer N-Freisetzungen an)

N_{min}-Vorrat

Der N_{min}-Vorrat der Varianten mit Gründüngung (ohne Kohl-Ernterückstände, ohne Rizinus-Zusatzdüngung) lag im Mittel um 11 kg N/ha über dem der entsprechenden Kontroll-Varianten. Über diesem Durchschnitt lagen die Werte in Klee- und Luzerne-Varianten, wobei diese nur im Versuchsjahr 2006 untersucht wurden (Tabelle 22, Abbildung 30).

Tabelle 22: N_{min}-Vorräte vor Roter Bete in Abhängigkeit von der vorherigen Bewirtschaftung (Mittelwerte über die entsprechenden Varianten und die Versuchsjahre 2005 und 2006)

Varianten	N_{min}-Vorrat (0-60 cm) [kg N/ha]	Differenz [kg N/ha]
mit Gründüngung	71	11
ohne mit Gründüngung (Kontrolle)	60	-
mit Kohl-Ernterückstände	77	23
ohne Kohl-Ernterückstände	100	-
mit Rizinus-Düngung (150 kg N/ha)	66	2
ohne Rizinus-Düngung	68	-

Die Varianten mit vorheriger Einarbeitung der Kohl-Ernterückstände wiesen im Mittel 23 kg N/ha höhere N_{min}-Vorräte auf als die entsprechenden Varianten mit Abfuhr. Bei einer Variationsbreite von -26 bis 20 kg N/ha zeigten sich bei den ehemals mit Rizinus gedüngten Varianten im Durchschnitt keine höheren N_{min}-Vorräte als in den entsprechenden Vergleichsvarianten.

N-Freisetzung aus den ehemaligen Gründüngungen

Im Verlauf der Rote-Bete-Kulturzeit lieferten die ehemaligen Gründüngungs-Varianten bei relativ geringer Streuung im Schnitt 30 kg N/ha mehr N als die Kontrolle. Deutlich geringer fiel sie nur in der Variante KG-2-GB-Her-0 aus, da hier im Versuchsjahr 2006 nur eine N-Freisetzung von -3 kg N/ha ermittelt wurde. Tendenziell etwas höhere N-Freisetzungen aus den ehemaligen Gründüngungen wurden bei den Klee- und Luzerne-Varianten im Versuchsjahr 2006 ermittelt (40 bis 53 kg N/ha), doch auch die Variante KG-2-FN-Frü-0 lieferte 2005 vergleichbare N-Mengen (Tabelle 23).

Tabelle 23: N-Freisetzung aus den ehemaligen Gründüngungen während der Kulturzeit der Roten Bete

Jahr	Variante	$N\text{-Freisetzung}_{Gründüngung}$ [kg N/ha]
2005	KG-2-FN-Her-0	36
	KG-2-FN-Frü-Ab-0	27
	KG-2-FN-Frü-0	42
	KG-2-GB-Her-0	33
	KG-2-GB-Frü-Ab-0	28
	KG-2-GB-Frü-0	23
2006	KG-2-FN-Her-0	22
	KG-2-FN-Her-V	26
	KG-2-GB-Her-0	-3
	KG-2-GB-Frü-0	24
	KL-2-GB-Frü-0	40
	Lu-2-FN-Frü-0	53
	Lu-2-FN-Frü-V	42
Mittelwert		30

N-Freisetzung aus den eingearbeiteten Kohl-Ernterückständen

Neben den erhöhten N_{min}-Vorräten (s. o.) setzten die Kohl-Ernterückstände im Verlauf der Rote-Bete-Kultur im Durchschnitt weitere 15 kg N/ha frei, wobei hierbei allerdings eine große Streuung (Variationsbreite -33 bis 60 kg N/ha) zu verzeichnen war (Tabelle 24).

Tabelle 24: N-Freisetzung aus den eingearbeiteten Kohl-Ernterückständen während der Kulturzeit der Roten Bete

Jahr	Variante	$N\text{-}Freisetzung_{Ernterückstände}$ [kg N/ha]
2005	KG-2-GB-Her-ER	19
	KG-2-GB-Frü-Ab-ER	-33
2006	KG-2-GB-Her-ER	60
	KL-2-GB-Frü-ER	13
Mittelwert		15

N-Freisetzung aus der ehemaligen Rizinus-Zusatzdüngung

Bei ebenfalls großer Streuung (Variationsbreite -20 bis 48 kg N/ha) wurden aus dem Rizinusdünger im Mittel weitere 12 kg N/ha freigesetzt, was 8 Prozent der ehemals ausgebrachten N-Menge entspricht.

Tabelle 25: N-Freisetzung aus der ehemaligen Rizinus-Zusatzdüngung während der Kulturzeit der Roten Bete

Jahr	Variante	$N\text{-}Freisetzung_{Rizinus}$ [kg N/ha]
2005	KG-2-FN-Her-150	-11
	KG-2-GB-Frü-150	48
	Ko-150	-20
2006	KG-2-GB-Frü-150	18
	Ko-150	26
Mittelwert		12

5 Diskussion und Schlussfolgerungen

5.1 N-Angebot aus Klee(gras)- bzw. Luzerne-Vorkulturen

Das N-Angebot aus Klee(gras)- bzw. Luzerne-Vorkulturen (als Differenz zum N-Angebot einer Fruchtfolge ohne entsprechende Vorkulturen) setzt sich zusammen aus einem ggf. höheren N_{min}-Vorrat und der (weiteren) N-Freisetzung aus dem eingearbeiteten Gründüngungs-Bestand während der Kulturzeit der Nachkultur.

N_{min}-Vorrat

Der N_{min}-Vorrat der Klee(gras)- bzw. Luzerne-Varianten war nur bei Herbstumbruch und damit entsprechender Mineralisationszeit zum Frühjahrstermin höher als in der Kontrolle, die zumeist schon mehr als 100 kg N_{min}/ha enthielt. Alle bis zum Frühjahrsumbruch-Termin wachsenden Gründüngungs-Bestände wiesen zumeist N_{min}-Vorräte von 50 kg N/ha oder weniger auf. Lediglich eine zweijährige Klee-Günbrache (Dresden-Pillnitz 2006) und eine vier Wochen zuvor gemulchte Kleegras-Grünbrache (Ruthe 2005) wiesen mit 71 bzw. 107 kg N_{min}/ha höhere Werte auf.

Die in der Kontrolle über Winter angesammelten hohen N_{min}-Vorräte konnten, in Verbindung mit den zumeist nur geringen N_{min}-Vorräten in den Frühjahrsumbruch-Varianten, nicht oder nur teilweise durch die N-Freisetzung aus dem Grünmaterial bei Frühjahrsumbruch kompensiert werden. Damit ergibt sich hier das gleiche Phänomen wie bei den Versuchen von WILLUMSEN und THORUP-KRISTENSEN (2001), die nach einem relativ trockenen Winter (= geringe N-Auswaschung) in nahezu allen Legumiosen-Zwischenfrucht-Varianten ein vergleichbares, tendenziell sogar geringeres Ertragsniveau als in der Brache-Variante fanden.

Wäre es über Winter zu einer stärkeren N-Auswaschung gekommen, so hätte das N-Angebot der Kontrolle (und auch der Herbstumbruch-Varianten) durchaus geringer als das der Frühjahrsumbruch-Varianten ausfallen können. Ein derartiger Fall trat bei den Versuchen von WILLUMSEN und THORUP-KRISTENSEN nach einer relativ feuchten Winterperiode auf, nach der alle Legumiosen-Zwischenfrucht-Varianten höhere Weißkohlerträge als die Brache-Variante lieferten.

N-Freisetzung aus den Klee(gras) und Luzernebeständen

Die N-Freisetzung aus den im Herbst eingearbeiteten Beständen war zum Zeitpunkt der Bodenprobenahme im folgenden Mai offensichtlich weitestgehend abgeschlossen (und fand sich entsprechend in erhöhten N_{min}-Vorräten wieder), weil in der anschließenden Kulturzeit des Weißkohls im Mittel nur eine um 11 kg N/ha höhere N-Nachlieferung als in der Kontrolle (= N-Freisetzung) festgestellt wurde.

Bei Frühjahrsumbruch wurden, bei einer Spanne von 41 bis zu 171 kg N/ha, im Mittel 82 kg N/ha freigesetzt. Demgegenüber errechnet sich aus den Daten von PAFFRATH (2004) nur eine N-Freisetzung von 11 kg N/ha bei Umbruch einer einjährigen Kleegras-Grünbrache.

Die im 2. Nachbaujahr in den Rote-Bete-Beständen ermittelte N-Freisetzung aus den ehemals eingearbeiteten Gründüngungen lag mit einem mittleren Wert von 30 kg N/ha auf dem Niveau, welches sich auch aus den Versuchsdaten von PIORR (1992), DRESSMANN (1993) und (mit Einschränkung) HAGMEIER (1986) ableiten lässt (vgl. Tabelle 2, S. 7).

Mehrangebot an N im Vergleich zur Kontrolle

Das Mehrangebot an pflanzenverfügbarem N der Gründüngungs-Varianten im Vergleich zur Kontrolle lag bei Herbstumbruch der zweijährigen Kleegras-Varianten im Mittel bei 54 kg N/ha (Spanne: 14-85 kg N/ha, vgl. Abbildung 26, S. 50) und damit auf dem Niveau, das sich auch aus den vorliegenden Literaturdaten ergibt (vgl. Tabelle 2, S. 7). Insgesamt ist diese N-Menge in Anbetracht des hohen N-Bedarfs eines Weißkohl-Bestandes nur als ein weniger bedeutender Anteil anzusehen, der z. B. mit einer N-Düngung von 100 kg N/ha in Form eines organischen Handelsdüngers verglichen werden kann.

Bei Frühjahrsumbruch von Kleegras-Beständen war mit einem durchschnittlichen Plus von 16 kg N/ha kein nennenswert höheres N-Angebot als in der Kontrolle gegeben. Auch PAFFRATH (2004) konnte nach Umbruch einjähriger Kleegras-Grünbrachen im Mittel nur 15 kg mehr N pro ha in den nachgebauten Kartoffeln vorfinden. Sehr negativ wirkte sich eine vorherige Abfuhr der Grünmasse aus, hier wurde im Mittel ein um 34 kg N/ha geringeres N-Angebot als in der Kontrolle ermittelt. Deutlich höher als in der Kontrolle war das N-Angebot bei den reinen Klee- bzw. Luzerne-Beständen. Hier lieferten die zweijährigen, nicht nochmals beernteten Bestände im Mittel rund 100 kg mehr N pro ha als die Kontrolle.

Schlussfolgerungen

Nach den hier gewonnenen Ergebnissen sollten Kleegrasbestände auf nicht auswaschungsgefährdeten Standorten bereits im Herbst umgebrochen werden, um so über Winter eine Akkumulation von pflanzenverfügbarem N zu erzielen. Eine nochmalige Beerntung vor dem Umbruch sollte möglichst unterbleiben, wenngleich die negativen Auswirkungen einer erneuten Beerntung deutlich geringer als bei Frühjahrsumbruch ausfielen.

Auf auswaschungsgefährdeten Standorten ist bei Herbstumbruch mit größeren N-Verlusten zu rechnen, so dass hier dem Frühjahrsumbruch der Vorzug zu geben ist. Weil im Frühjahr nochmals beerntete Kleegrasbestände nur eine geringe N-Freisetzung zeigten, sollte eine Schnittnutzung vor dem Umbruch unterbleiben. Ein auf Grund der hohen N-Freisetzung deutlich höheres N-Angebot ist bei reinen Klee- oder Luzernebeständen zu erwarten. In wie weit hier überwinterte Leguminosen-Zwischenfrüchte eine Alternative darstellen, kann auf Grund des Ausfalls einer entsprechenden Winterwicken-Varianten für den Weißkohlversuch 2006 nicht beantwortet werden. Hohe N-Mengen im Aufwuchs von bis zu 178 kg N/ha in Winterwicken (HAAS 2004) oder sogar 252 kg N/ha in Inkarnatklee (LABER 2004) deuten aber auf das hohe Potential derartiger Bestände hin.

5.2 Kalkulation des N-Angebots

N-Angebot

Das N-Angebot konnte mit dem Kalkulationsschema bei leichter Unterschätzung meist recht gut abgeschätzt werden. Dabei ist die mittlere Unterschätzung von 19 kg N/ha allerdings durchaus kritisch zu sehen, weil ein Kalkulationsschema für den ökologischen Anbau nicht dazu führen darf, dass die N-(Zusatz)Düngung zu hoch bemessen wird und so einem entsprechenden Kalkulationsmodell eine 'Überdüngungstendenz' vorgeworfen werden könnte.

N-Nachlieferung des Bodens

Der seit 2005 verwendete Ansatz, die N-Nachlieferung des Bodens mit 7 kg N/ha je Woche anzusetzen, konnte für die Weißkohlversuche in Dresden-Pillnitz voll bestätigt werden. Auch am Versuchsstandort Ruthe wurde im Mittel von 2 Versuchsjahren eine N-Nachlieferung von 6,5 kg N/ha je Woche ermittelt.

Kritisch zu sehen ist die beim Rote-Bete-Nachbau gefundene N-Nachlieferung von 'nur' 5,6 bzw. 4,7 kg N/ha je Woche. Ursache hierfür könnte ein gegenüber den Weißkohlversuchen extensiveres Bewässerungsregime gewesen sein. Möglicherweise ist aber die Abnahme der N-Nachlieferung auch darauf zurückzuführen, dass nach drei Jahren (zwei Jahre Getreide, ein Jahr Weißkohl) ohne Einarbeitung von größeren Mengen an Ernterückständen weniger leicht abbaubare organische Substanz im Boden vorhanden war.

N-Freisetzung aus den Gründüngungs-Beständen

Als wesentliche Ursache für die (leichte) Unterschätzung des N-Angebots ist die im Mittel um 15 kg N/ha unterschätzte N-Freisetzung aus den Gründüngungen anzusprechen. Dabei trat die Unterschätzung sowohl bei den Herbstumbruch- (Annahme keiner weiteren N-Freisetzung im Frühjahr) als auch bei den Frühjahrsumbruch-Varianten in ähnlicher Weise auf, so dass die Ursache z. B. nicht auf einen zu gering gewählten Pauschalansatz für den Umbruch mehrjähriger Bestände zurückgeführt werden kann.

Diese Unterschätzung der N-Freisetzung aus den Klee(gras)- und Luzernebeständen steht im Gegensatz zu den Ergebnissen der Versuche mit Gründüngungs-Zwischenfrüchten vor der Folgekultur Spinat (LABER 2004) sowie Kopfsalat und Knollenfenchel (LABER 2002b), bei denen sich auch mit den aktuellen Kalkulationsansätzen fast immer eine (leichte) Überschätzung der N-Freisetzung ergibt (Abbildung 31).

Als mögliche Ursache kommt neben einer stärkeren Akkumulation von organischer Bodensubstanz während der längeren 'Bodenruhe' bei den ein- bis mehrjährigen Beständen im Gegensatz zu den Gründüngungs-Zwischenfrüchten auch die nur relativ kurze Mineralisationszeit bei den Spinat-, Kopfsalat- und Fenchelkulturen in Betracht. Weitere, z. Z. bereits laufende Versuche sollen hier Aufschluss bringen.

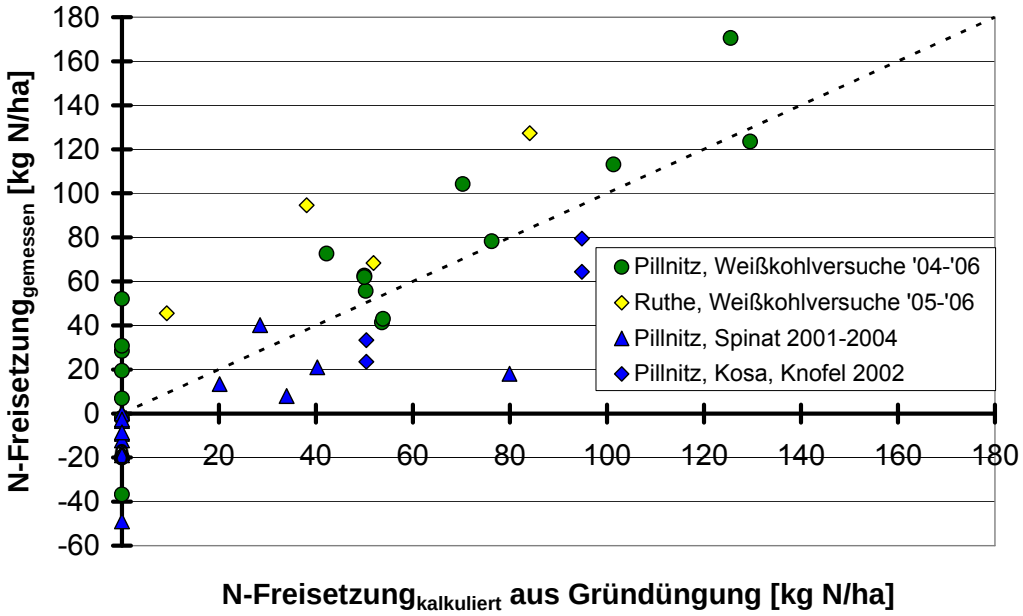

Abbildung 31: Beziehung zwischen der kalkulierten N-Freisetzung und der im Feld gemessenen N-Freisetzung aus Gründünungen (Spinatversuche nach Daten von LABER 2004, Kopfsalat- und Knollenfenchelversuch nach LABER 2002b)

N-Freisetzung aus Rizinusschrot

Der gewählte Ansatz einer 50 Prozent N-Verfügbarkeit konnte in den Versuchen bestätigt werden.

Schlussfolgerungen

Die in den drei Versuchsjahren gewonnenen Ergebnisse geben keinen Anlass, die aktuellen Kalkulationsansätze zu überarbeiten bzw. anzupassen. Wünschenswert wären generell Versuchsergebnisse von einer größeren Zahl von Versuchsstandorten, um so das Modell auf seine 'Allgemeingültigkeit' hin zu überprüfen.

Ein Ansatz für die N-Nachlieferung im 2. Jahr nach Umbruch mehrjähriger Klee(gras) oder Luzerne(gras)-Bestände ist in dem Modell bisher nicht aufgenommen worden. Nach den vorliegenden Ergebnissen erscheint hier ein pauschaler Wert von 30 kg N/ha gerechtfertigt.

Die Berücksichtigung einer vorjährigen Düngung mit einem organischen Handelsdünger dürfte sich auf Grund der nur sehr geringen N-Freisetzung erübrigen.

Literaturverzeichnis

AG BODEN 1996: Bodenkundliche Kartieranleitung. Hrsg. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und den Geologischen Landesämtern in der Bundesrepublik Deutschland, Schweizerbart, Stuttgart (4. Auflage)

BIRECKI, M. und W. ROSZAK 1961: Der Einfluss mehrjähriger Leguminosen und deren Gemische mit Gräsern auf die Nachfruchterträge. Wiss. Zeitschrift Univ. Halle, Math.-Nat. **X** (2/3), S. 341-346

DIEREND, W., H. SCHACHT, H.-C. FRÜND und C. SCHÜTT 2006: N-Freisetzung von organischen N-Düngern unter überdachten Bracheparzellen. Erwerbs-Obstbau **48**, S. 99-107

DJURHUUS, J. und P. OLSEN 1997: Nitrate leaching after cut grass/clover leys as affected by time of ploughing. Soil Use and Management **13**, S. 61-67

DREESMANN, S. 1993: Pflanzenbauliche Untersuchungen zu Rotklee- und Luzernegras-Grünbrachen in der modifizierten Fruchtfolge Zuckerrüben-Winterweizen-Wintergerste. Diss. Univ. Bonn

DREYMANN, S. 2005: N-Haushalt unterschiedlich bewirtschafteter Rotklee-Bestände und deren Bedeutung für die Folgefrucht Weizen im Ökologischen Landbau. Diss. Univ. Kiel

FINK, M, C. FELLER, H.-C. SCHARPF, U. WEIER, A. MAYNC, J. ZIEGLER, J. SCHLAGHECKEN, P.J. PASCHOLD und K. STROHMEYER 2001: N-Mineralisierung aus Ernterückständen. In: FINK [Hrsg.]: Düngung im Freilandgemüsebau. Schriftenreihe des Institutes für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren/Erfurt e.V., Gartenbauliche Berichte, Heft 4, S. 160-165

FINK, M., C. FELLER, H.C. SCHARPF, U. WEIER, A. MAYNC, J. ZIEGLER, J. SCHAGHECKEN, P.-J. PASCHOLD, K. STROHMEYER und H. LABER 2007a: N-Düngung. In: FINK, M. [Hrsg.]: Düngung im Freilandgemüsebau. Schriftenreihe des Instituts für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren, 2. überarbeitete Auflage (in Druck)

FINK, M., C. FELLER, H. LABER, H.C. SCHARPF, U. WEIER, A. MAYNC, J. ZIEGLER, J. SCHAGHECKEN, P.-J. PASCHOLD und K. STROHMEYER 2007b: N-Mineralisierung aus Ernterückständen und Gründüngung. In: FINK, M. [Hrsg.]: Düngung im Freilandgemüsebau. Schriftenreihe des Instituts für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren, 2. überarbeitete Auflage (in Druck)

FRANKENBERGER, W.T. und H.M. ABDELMAGID 1985: Kinetic parameters of nitrogen mineralisation rates of leguminous plants incorporated into soil. Plant and Soil **87**, S. 257-271

HAGMEIER, H.-U. 1986: Über die Stickstoffversorgung von Winter-Weizen und Winter-Roggen durch Leguminosenvorfrüchte, dargestellt anhand von Experimenten auf einem viehlos bewirtschafteten organisch-biologischen Ackerbaubetrieb auf der Schwäbischen Alb. Diss. Univ. Hohenheim

HAAS, G. 2004: Stickstoffversorgung von Weisskohl, Silo- und Körnermais durch Winterzwischenfrucht-Leguminosen. Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau, Verlag Dr. Köster, Berlin

HEINZMANN, F. 1981: Assimilation von Luftstickstoff durch verschiedene Leguminosenarten und dessen Verwertung durch Getreidenachfrüchte. Diss. Univ. Hohenheim

HEß, J. 1989: Kleegrasumbruch im Organischen Landbau - Stickstoffdynamik im Fruchtfolgeglied Kleegras-Kleegras-Weizen-Roggen. Diss. Univ. Bonn

KATROSCHAN, K. 2007: Lupinen in ökologischen gemüsebaulichen Fruchtfolgen. Dissertation, Inst. für Biol. Produktionssysteme, Univ. Hannover (in Vorbereitung)

KLIMANEK, E.-M. 1988: Qualität und Umsetzungsverhalten von Ernte- und Wurzelrückständen landwirtschaftlich genutzter Pflanzenarten. Diss. (B) Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR, Berlin

KÖHNLEIN, J. 1955: Die Ernte- und Wurzelrückstände und ihre Bedeutung für die Vorfruchtwirkung und Bodenfruchtbarkeit. Die Phosphorsäure, **15**, S. 15-30

KOLBE, H. 2006: Fruchtfolgegestaltung im ökologischen und extensiven Landbau: Bewertung von Vorfruchtwirkungen. Pflanzenbauwissenschaften **10** (2), S. 82-89

KUMAR, K. und K. GOH 2002: Management practices of antecedent leguminous and non-leguminous crop residues in relation to winter wheat yields, nitrogen uptake, soil nitrogen mineralization and simple nitrogen balance. European Journal of Agronomy **16** (4), S. 295-308

LABER, H. 1997: Düngung im ökologischen Gemüsebau. Informationen für Praxis und Beratung, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft Dresden [Hrsg.] (7. Auflage: 2002)

LABER, H. 2000: Rizinusschrot zeigte bessere Wirkung als Stallmist; 'Earl' bei Ertrag und Qualität weit vorn. In: Versuche im Dt. Gartenbau, Gemüsebau, Verband der Landwirtschaftskammern [Hrsg.], Rheinischer Landwirtschaftsverlag Bonn, S. 29

LABER, H. 2002a: Kalkulation der N-Düngung im ökologischen Gemüsebau. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft **7** (6), S. 1-77

LABER, H. 2002b: Wickroggen lieferte deutlich weniger N als erwartet; 30 bzw. 70 Prozentige N-Freisetzung aus Stallmist und Rizinus in 7 Wochen. In: Versuche im Dt. Gartenbau, Gemeüsebau, Verband der Landwirtschaftskammern [Hrsg.], Rheinischer Landwirtschaftsverlag Bonn, S. 2

LABER, H. 2003a: N-Freisetzung aus organischen Handelsdüngern – Übersicht und eigene Versuchsergebnisse im ökologischen Gemüsebau. In: RAHMANN, G. und H. NIEBERG [Hrsg.]: Ressortforschung für den ökologischen Landbau 2002. Sonderheft 259 der Landbauforschung Völkenrode, S. 17-20 (http://orgprints.org/2041/)

LABER, H. 2003b: Praxiseinführung und Evaluierung eines Kalkulationsschemas zur bedarfsgerechten N-Düngung im ökologischen Freilandgemüsebau. Bericht, Fachbereich Gartenbau und Landespflege, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden-Pillnitz, (http://orgprints.org/5162/)

LABER, H. 2004: N-Freisetzung aus Gründüngungs-Zwischenfrüchten und organischen Handelsdüngern im Verlauf einer Spinatkultur. Infodienst für Beratung und Schule der Sächsischen Agrarverwaltung 12/2004, S. 106-116 (http://jaguar.smul.sachsen.de/lfl/publikationen/download/1126_1.pdf)

LINDNER, U. 2000: Doppelt so hoher Weißkohlertrag nach Rizinuskorn-Düngung im Vergleich zu Kleegras. In: Versuche im Dt. Gartenbau, Gemeüsebau, Verband der Landwirtschaftskammern [Hrsg.], Rheinischer Landwirtschaftsverlag Bonn, S. 208

LOGES, R. 1998: Ertrag, Futterqualität, N_2-Fixierungsleistung und Vorfruchtwert von Rotklee- und Rotkleegrasbeständen. Diss. Univ. Kiel

LOGES, Ralf, A. KASKE und F. TAUBE 1999: Dinitrogen fixation and residue nitrogen of different managed legumes and nitrogen uptake of subsequent winter wheat. In: OLESEN, J.E.; R. ELTUN, M.J.

GOODING, E.S. JENSEN und U. KÖPKE, [Hrsg.]: Designing and testing crop rotations for organic farming, DARCOF Report 1, S. 181-190

LOGES, R., KASKE, A., INGWERSEN, K., and TAUBE, F. 2000: Yield, forage quality, residue nitrogen and nitrogen fixation of different forage legumes. In: ALFÖLDI, T., W. LOCKERETZ und U. NIGGLI [Hrsg.]: The World Grows Organic, IFOAM 2000, S. 83

LORENZ, H., P. SCHLAGHECKEN, J. ENGEL, G. MAYNC, A. und J. ZIEGER; 1989: Ordnungsgemäße Stickstoffversorgung im Freilandgemüsebau nach dem "Kulturbegleitenden N_{min}- Sollwerte (KNS)-System". Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz [Hrsg.], Mainz

MOJE, C. 1997: Möglichkeiten zur Absenkung des Nitratgehalts in Möhren unter besonderer Berücksichtigung des Stickstoffangebots. Diss. Univ. Hannover, Verlag Ulrich E. Grauer, Stuttgart

MUNZERT, M. 1992: Einführung in das pflanzenbauliche Versuchswesen. Parey, Berlin, Hamburg

PAFFRATH, A. 2004: Nachwirkungen verschiedener Leguminosen auf die Folgefrüchte: Einfluss von Ackerbohnen, Körnererbsen, Buschbohnen und Rotkleegras auf die Folgefrucht Kartoffeln. Leitbetriebe Ökologischer Landbau in Nordrhein-Westfalen, Versuchsbericht 2004. Institut für organischen Landbau, Univ. Bonn / Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, S. 76-81

PÄTZOLD, H. 1958: Dreijährige Untersuchungen über die Nachfruchtwirkung von Rotklee, verschiedenen Gräsern und Kleegrasgemischen. Z. Acker- u. Pflanzenbau **105**, S. 50-60

PIORR, A. 1992: Zur Wirkung von residualem Kleegras- und Wirtschaftsdüngerstickstoff auf die N-Dynamik in ökologisch bewirtschafteten Böden und die N-Ernährung von Getreide. Diss. Univ. Bonn

PIETSCH, G. 2004: N_2-Fixierungsleistung und Wasserverbrauch von Futterleguminosen im Ökologischen Landbau unter den klimatischen Bedingungen der pannonischen Region Österreichs. Diss. Univ. für Bodenkultur, Wien

SCHARPF, H.-C. und R. SCHRAGE 1988: Größenordnung und Einflußfaktoren der Freisetzung von Stickstoff aus Ernterückständen im Gemüsebau. VDLUFA-Schriftenreihe 28, Teil II, S. 81-95

SCHMIDTKE, K. 1997: Einfluß von Rotklee (*Trifolium pratense* L.) in Reinsaat und Gemenge mit Poaceen auf symbiontische N_2-Fixierung, bodenbürtige N-Aufnahme und $CaCl_2$-extrahierbare N-Fraktionen im Boden. Diss. Justus-Liebig-Universität Gießen

SCHMIDTKE, K., R. RAUBER, K. HECKEMEIER, M. HOMBURG und B. STUBBE 1998: Kartoffeln nach Rotkleegras-Grünbrache. Kartoffelbau **49** (9/10), S. 376-379

WALD, F. 2003: Einfluss der Bearbeitungsintensität beim Umbruch von Luzerne-Kleegras auf die Stickstoffmineralisation zur Folgefrucht Winterweizen im organischen Landbau. Diss. Univ. Hohenheim

WEIER, U. 2000: Mengen an Ernterückständen von Gemüse variieren in Praxisbetrieben sehr stark. In: Versuche im Dt. Gartenbau, Gemüsebau, Verband der Landwirtschaftskammern [Hrsg.], Rheinischer Landwirtschaftsverlag Bonn, S. 229

WEIER, U. 2001 Erhebungsuntersuchungen zur Menge an Ernterückständen bei Gemüse in Praxisbetrieben. In: Versuche im Dt. Gartenbau, Gemüsebau, Verband der Landwirtschaftskammern [Hrsg.], Rheinischer Landwirtschaftsverlag Bonn, S. 1

WEIER, U. 2002: Erhebungsuntersuchungen zur Menge an Ernterückständen bei Gemüse in Praxisbetrieben im Herbst 2001. In: Versuche im Dt. Gartenbau, Gemüsebau, Verband der Landwirtschaftskammern [Hrsg.], Rheinischer Landwirtschaftsverlag Bonn, S. 1

WEIER, U. 2003: Erhebungsuntersuchungen zur Menge an Ernterückständen von Gemüse in Praxisbetrieben im Herbst 2002. In: Versuche im Dt. Gartenbau, Gemüsebau, Verband der Landwirtschaftskammern [Hrsg.], Rheinischer Landwirtschaftsverlag Bonn, S. 4

WEIER, U. 2005: Entwicklung einer standortgerechten Nährstoffversorgung von Speisezwiebeln. Versuche im ökologischen Gemüsebau in Niedersachsen 2004, Kompetenzzentrum Ökolandbau Niedersachsen [Hrsg.], Visselhövede, S. 57- 63

WILLUMSEN, J. und K. THORUP-KRISTENSEN 2001: Effects of green manure crops on soil mineral nitrogen available for organic production of onion and white cabbage in two contrasting years. Biological Agriculture & Horticulture 18 (4), S. 365-384

Anhang

Tabelle 26: N-Mengen von Klee(gras)- und Luzerne(gras) in Wurzel, Stoppeln und Grünaufwuchs des letzten Schnittes (Literaturdaten)

		[kg N/ha]				C/N-Verhältnis				
Art	**Termin**	**Altmulch**	**Wurzel**	**Stoppel**	**Grün**	**Altmulch**	**Wurzel**	**Stoppel**	**Grün**	**Quelle**
Kleegras, einjährig, Futternutzung										
60 – 65 % RK/SK/WK	31.08.		132							PIORR 1992
50 - 60 % RK	09.09.		181							HEß 1989
WK	Sep.			32				22		DJURHUUS u. OLSEN 1997
	Nov.			33				21		
	März			26				20		
Ohne Angabe			41/104 (Lehm/Sand)							KÖHNLEIN 1955
Kleegras, überjährig, Grünbrache										
89 % RK/ WK	17.08.	82			98	23,8			17,2	DREESMANN 1993
44,2 % RK/WK	02.10.	118			30	17,5			11,8	
20 % RK	18.10.	13	45	20		42,9	34,5	26,2		SCHMIDTKE et al. 1998
	10.04.	16	30	5		36,3	32,3	11,7		
67 % RK	22.09.		59	25	73					LOGES 1998
	02.10.	34	59	26	65					
33 % RK	22.09.		51	30	64					
	02.10.	29	52	22	57					
47,9 % WK	Sep./Okt.	296								LOGES et al. 1999/2000
66,5 % RK	Sep./Okt.	220								
Kleegras, überjährig, Futternutzung										
67 % RK	22.09.		70	30	30					LOGES 1998
	02.10.		69	33	74					
33 % RK	22.09.		67	28	27					
	02.10.		79	33	54					
66,9 % WK	Sep./Okt.	117								LOGES et al. 1999/2000
79,0 % RK	Sep./Okt.	112								

Kleegras, überjährig, unterschiedliche Nutzung										
67 % RK			88	70			25,2	17,1		DREYMANN 2005
33 % RK			103	63			27,5	17,9		
		[kg N/ha]				**C/N-Verhältnis**				
Art	**Termin**	**Altmulch**	**Wurzel**	**Stoppel**	**Grün**	**Altmulch**	**Wurzel**	**Stoppel**	**Grün**	**Quelle**
Kleegras, zweijährig, Futternutzung										
50 % RK/SK/WK	31.08.		216							PIORR 1992
67 % RK	22.09.		71	42	40					LOGES 1998
	02.10.		76	44	62					
33 % RK	22.09		76	39	35					
	02.10.		91	39	61					
40 % RK	10.09.		196							HEß 1989
33,6 % RK	28.09.				85					SCHMIDTKE 1997
66,9 % RK	28.09.				85					
29,6 % RK	21.09.				50					
62,7 % RK	21.09.				50					
51,6 % RK			48							BIRECKI u. ROSZAK 1961
35,5 % RK			72							
ohne Angabe			81							KÖHNLEIN 1955
Klee, Reinsaat, einjährig, Futternutzung										
RK	Aug.				56					HEINZMANN 1981
	17.10.		111							
RK			70/97 (Lehm/Sand)							KÖHNLEIN 1955
WK			73/133(Lehm/Sand)							
WK	Aug.				79					HEINZMANN 1981
	17.10.		131							

Klee, Reinsaat, überjährig										
RK (FN)	22.09.		54	33	38					LOGES 1998
	02.10.		78	40	62					
RK (GB)	22.09.		71	34	124					
	02.10.	55	85	38	90					
RK (FN)	Aug.		51	36	52		22,1			PIETSCH 2004
	Aug.		14	15	55		31,2	18,3		
		[kg N/ha]				**C/N-Verhältnis**				
Art	**Termin**	**Altmulch**	**Wurzel**	**Stoppel**	**Grün**	**Altmulch**	**Wurzel**	**Stoppel**	**Grün**	**Quelle**
Klee, Reinsaat, zweijährig, Futternutzung										
RK	22.09		76	36	35					LOGES 1998
	02.10.		84	48	59					
RK	28.09.				77					SCHMIDTKE 1997
	21.09.				50					
RK			57							BIRECKI u. ROSZAK 1961
Luzerne, einjährig, Futternutzung										
Reinsaat					64					HEINZMANN 1981
			157/166							
Luzerne(gras), überjährig										
85,8 % Lu (GB)		38			133	29,4			17,5	DREESMANN 1993
77,1 % Lu (GB)		76			50	22,7			12,8	
47,9 % Lu (GB)	Sep./Okt.	199								LOGES et al. 1999/2000
66,5 % Lu (FN)	Sep./Okt.	115								
Reinsaat (FN)			87	36	69					PIETSCH 2004
			44	10	69					
Luzerne, zweijährig, Grünbrache										
Reinsaat	29.08.			45						HAGMEIER 1986
	29.08.			133						
	29.08.			146						

Luzerne(-Kleegras), zwei-/dreijährig, Futternutzung									
44,8 % Lu, 10,5 % RK			84						Birecki u. Roszak 1961
30,8 % Lu, 23,1 % RK			75						
16,1 % Lu, 35,5 % RK			73						
57,1 % Lu			95						
Reinsaat			96						
50 % Lu, 15 % RK (3-jähr)	Aug.		125	117		18,6	10,1	10,1	Wald 2003
23 % Lu, 6 % WK (3-jähr.)	Aug.		107	86		27,3	18,2	16,3	
Reinsaat (3-jährig)			159						Köhnlein 1955

Tabelle 27: Kalkulation des N-Angebots mit Hilfe des Excel-Tabellenkalkulationsblattes (Kohlversuch 2005)

blaue Felder dienen der Eingabe, weiße Felder liefern Zwischen-, grüne Endergebnisse

Variante:		KG-2-FN-He	KG-2-FN-He	KG-2-GB-He	KG-2-GB-Fr	KG-1-GB-Fr	KG-1-GB-Fr	KL-1-GB-Fr	Ko-0	Ko-150
N_{min}-Vorrat [kg N/ha]: 0-30 cm		43	48	60	15	17	17	22	35	35
30-60 cm		33	43	37	16	14	14	10	23	23
60-90 cm		46	26	35	12	21	21	13	13	13
Termin der N_{min}-Probe [JT]	137									
Kulturende [JT]	279									
Tage März und April	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tage Mai bis August	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107
Tage September und Oktober	35	18	18	18	18	18	18	18	18	18
N-Nachlieferung [kg N/ha]:		125	125	125	125	125	125	125	125	125
Gründüngung/Ernterückstände										
Umbruch/ Einarbeitung [JT]	138									
Kleegrasumbruch [ja/nein]					ja					
N im Aufwuchs [kg N/ha]					58	165	165	154		
C/N-Verhältnis					22,7	13,5	13,5	14,5		
Tage März und April	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tage Mai bis August	106	0	0	0	47	54	54	42	0	0
Tage September und Oktober	35	0	0	0	3	0	0	0	0	0
N-Freisetzung Gründüngung [kg N/ha]:		0	0	0	50	54	54	42	0	0
Düngung Ausbringung [JT]										
Rindermist [kg N_{ges}/ha]										
Pferdemist [kg N_{ges}/ha]										
Schaf-, Schweine-, Hennenmist										
Rindergülle [kg N_{ges}/ha]										
Kompost [kg N_{ges}/ha]										
org. Handelsdünger [kg N_{ges}/ha]	150						150			150
Kopfdüngung [kg N_{ges}/ha]										
Ackerbohnenschrot [kg N_{ges}/ha]										
Hornspäne, fein [kg N_{ges}/ha]										
Hornspäne, grob [kg N_{ges}/ha]										
N-Freisetzung Düngung [kg N/ha]:		0	0	0	0	0	75	0	0	75
N-Angebot [kg N/ha]:		**247**	**241**	**257**	**218**	**231**	**306**	**211**	**196**	**271**

Tabelle 28: Schätzrahmen für die zu erwartende N-Freisetzung aus Gründüngungen und Gemüse-Ernterückständen

	Qualität der Gründüngung bzw. der Erntereste		
	Gut	**mittel**	**schlecht**
C/N-Verhältnis	ca. 10	ca. 15	ab ca. 20
N-Freisetzung [Anteil von N_{ges}]	50 Prozent	52 Prozent	0
Nichtleguminosen (30 kg N_{ges}/100 dt FM)[1]			
Beschreibung	frische, satt grüne, gut ernährte Pflanzen bis zur Blüte (Gräser: bis Beginn des Rispenschieben), Gemüse-Ernterückstände[2]	weniger gut ernährt (kein sattes Grün), nach Blühbeginn (Gräser: nach Rispenschieben)	abreifende Pflanzen (Gräser nach Blüte)
N-Freisetzung je kg Frischmasse pro m² [kg N/ha]	15 (innerhalb 8 Wochen)	8 (innerhalb 8 Wochen)	0
Leguminosen (45 kg N_{ges}/100 dt FM)[1]			
Beschreibung	frische, satt grüne, gut ernährte Pflanzen bis zur Blüte	weniger gut ernährt (kein sattes Grün), Blüte weit fortgeschritten, verholzt, Ernterückstände von Gemüseerbsen und -bohnen	Ernterückstände von Körnerleguminosen
N-Freisetzung je kg Frischmasse pro m² [kg N/ha]	23 (innerhalb 8 Wochen)	11 (innerhalb 8 Wochen)	0
zusätzlich für Wurzelrückstände von Kleegrasumbruch etc.			
N-Freisetzung [kg N/ha]	50 (innerhalb 16 Wochen)		

Impressum

Herausgeber: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
August-Böckstiegel-Straße 1, 01326 Dresden
Internet: www.landwirtschaft.sachsen.de/lfl/publikationen

Autor: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Fachbereich Gartenbau
Dr. Hermann Laber
Söbrigener Str. 3a
01326 Dresden
Telefon: 0351/2612-768
Telefax: 0351/2612-704
E-Mail: hermann.laber@smul.sachsen.de

Redaktion: siehe Autor

Endredaktion: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Birgit Seeber, Ramona Scheinert, Matthias Löwig
Telefon: 0351/2612-345
Telefax: 0351/2612-151
E-Mail: Birgit.Seeber@smul.sachsen.de

ISSN: 1861-5988

Redaktionsschluss: Juli 2007

Für alle angegebenen E-Mail-Adressen gilt:
Kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektronische Dokumente

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlhelfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.