

Georg-August-Universität Göttingen
Department für Nutzpflanzenwissenschaften
Abteilung Pflanzenbau
Prof. Dr. Rolf Rauber
Von-Siebold-Str. 8
37075 Göttingen

in Kooperation mit
Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH)
Fachgebiet Ökologischer Landbau
Prof. Dr. Knut Schmidtke
Pillnitzer Platz 2
01326 Dresden

Abschlussbericht des Vorhabens

„Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und der N-Flächenbilanz beim
Anbau von Leguminosen im ökologischen Landbau“
AZ 23181

Gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück im Zeitraum
01.03.2005 bis 31.12.2007

Bearbeitung

Dr. agr. Dipl.-Geogr. Britta Jost

Prof. Dr. agr. Knut Schmidtke

Göttingen und Dresden, den 6. März 2008

INHALT

1	EINLEITUNG	1
2	MATERIAL UND METHODEN	3
2.1	Welsches Weidelgras und Wiesenschwingel als Referenz zu Futterleguminosen.....	3
2.2	Hafer als Referenz zu Körnerleguminosen.....	5
2.3	Bestimmung der mineralischen Stickstoffmengen (N_{\min}) im Boden.....	6
2.4	Monitoringstandorte.....	7
3	ERGEBNISSE.....	9
3.1	Ergebnisse der Feldversuche	9
3.1.1	Daten des Referenzflächensystems Futterleguminosen	9
3.1.2	Daten des Referenzflächensystems Körnerleguminosen.....	12
3.2	Auswertung des Referenzflächen – Entwicklung eines Zuschlagsystems zur Abschätzung des Boden-N-Angebots in Abhängigkeit von Anbaujahr, Standort und Fruchtfolge.....	14
3.2.1	Kalkulationsverfahren Körnerleguminosen in Reinsaat	19
3.2.1.1	Erbse zur Grünspeisenutzung.....	20
3.2.1.2	Körnererbse.....	22
3.2.1.3	Ackerbohne	25
3.2.1.4	Gelbe Lupine	28
3.2.1.5	Weißer Lupine	30
3.2.2	Kalkulationsverfahren Körnerleguminosen im Gemenge mit Hafer.....	31
3.2.2.1	Erbse-Hafer-Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage	32
3.2.2.2	Erbse-Hafer-Gemenge zur Körnernutzung	35
3.2.2.3	Ackerbohne-Hafer-Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage	39
3.2.2.4	Ackerbohne-Hafer-Gemenge zur Körnernutzung	42
3.2.3	Kalkulationsverfahren Futterleguminosen in Reinsaat	46
3.2.3.1	Persischer Klee	47
3.2.3.2	Rotklee	49
3.2.3.3	Luzerne.....	52
3.2.4	Kalkulationsverfahren Futterleguminosen im Gemenge mit Gräsern.....	54
3.2.4.1	Persischer Klee-Gras-Gemenge.....	54
3.2.4.2	Rotklee-Gras-Gemenge	59
3.2.4.3	Luzerne-Gras-Gemenge	62
3.3	Residuale N_{\min} -Mengen im Boden beim Anbau von Leguminosen.....	66
4	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	67
5	LITERATUR.....	71

ANHANG	76
i) N-Mengen der Referenzpflanzen.....	77
ii) Kalkulationsverfahren der Körnerleguminosen in Reinsaat.....	78
iii) Kalkulationsverfahren der Körnerleguminosen im Gemenge	100
iv) Kalkulationsverfahren der Futterleguminosen in Reinsaat	130
v) Kalkulationsverfahren der Futterleguminosen im Gemenge.....	143
vi) Ablaufschema der Kalkulationsverfahren	166
vii) Projektpartnerschaften und Termine	168
viii) Informationsmaterial zu LeNi Ba <i>Eco</i>	173
ix) aus dem Projekt bereits veröffentlichte Ergebnisse	176

1 Einleitung

Das Angebot an bodenbürtigem Stickstoff stellt bei der Ableitung der N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Leguminosen die Größe dar, der neben den physiologischen Faktoren Temperatur und Wasserverfügbarkeit im Boden in der Literatur der größte Einfluss auf das Fixierverhalten der Symbioten zugesprochen wird (THIES et al. 1991, EVANS et al. 1998, VAN KESSEL et al. 2000, VOISIN et al. 2002ab, FAN et al. 2002, REINING 2005).

In ökologisch wirtschaftenden Betrieben erfolgt die Stickstoffzufuhr überwiegend durch die symbiotische N₂-Fixierung der angebauten Leguminosen. Die Höhe des symbiotisch fixierten Stickstoffs der Leguminose und des mit dem Anbau von Leguminosen verbundenen N-Flächenbilanzsaldos ist eng gekoppelt an die Ertragsleistung der Leguminose und das am Standort vorhandene Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Boden. Für die Quantifizierung dieses Stickstoffzuflusses fehlt es bislang an einem für die Landbaupraxis und -beratung leicht zugänglichen Verfahren, um die symbiotische N₂-Fixierleistung der angebauten Leguminosen schätzen zu können. Mit dem von SCHMIDTKE (2001) entwickelten Verfahren zur Ableitung der mit dem Anbau von Leguminosen verbundenen N₂-Fixierleistung und N-Flächenbilanz sowie weiterführenden Arbeiten von JOST (2003) und JUNG (2003), sind die Stickstoff-Flüsse beim Anbau von Leguminosen wesentlich besser nachvollziehbar als mit bisher üblichen Verfahren z.B. nach SCHUVO (1996).

In diesem Kalkulationsverfahren (SCHMIDTKE 2001) werden bei der Ableitung der N₂-Fixierleistung als wesentlicher Unterschied zu vorherigen Verfahren u.a. die jährlich stark schwankenden Boden-N-Angebote beim Anbau sowie die Höhe der N-Rhizodeposition von Leguminosen einbezogen. Besonders durch die Abhängigkeit vom Boden-N-Angebot am Standort können die N-Flächenbilanzen beim Anbau von Leguminosen auch negativ ausfallen. Das bedeutet, dass der N-Export durch das abgefahrene Erntegut größer ist als der N-Zugewinn aus der N₂-Fixierung. Wird das Angebot an bodenbürtigem Stickstoff nicht bzw. unzureichend berücksichtigt, kann der N-Flächenbilanzsaldo um über 100 kg N ha⁻¹ von den tatsächlichen N-Flüssen abweichen. Um die N-Flüsse beim Anbau von Leguminosen treffgenau schätzen zu können, ist es deshalb erforderlich, das Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff

im Boden, das den Leguminosen während des Wachstums an den Standorten zur Verfügung steht, standortspezifisch zu berücksichtigen. Hierzu sollte im Rahmen des hier beschriebenen Vorhabens ein Monitoringsystem eingerichtet werden, mit dem das bodenbürtige N-Angebot beim Anbau von Leguminosen abgeleitet werden kann.

Um die breite Anwendung der verbesserten Kalkulationsverfahren in der land- und wasserwirtschaftlichen Fachberatung sowie in der Praxis des ökologischen Landbaus zu ermöglichen und deren Umsetzung zu beschleunigen, sollte deshalb im Rahmen des Vorhabens (i) ein Monitoringsystem zur Schätzung der bodenbürtigen N-Aufnahme von Leguminosen im ökologischen Landbau etabliert, (ii) die vorhandenen Kalkulationsverfahren aktualisiert, (iii) die Kalkulationsverfahren als internetbasiertes Informationssystem im Rahmen von ISIP (Informationssystem Integrierte Pflanzenproduktion) öffentlich verfügbar gemacht und (iv) durch Informationsveranstaltungen und Begleitmaterial die land- und wasserwirtschaftliche Fachberatung auf das neue internetbasierte Informationsangebot hingewiesen und in der Anwendung geschult werden. Mit der vorgesehenen Implementierung eines internetgestützten N-Bilanzierungsverfahrens für Körner- und Futterleguminosen sollte die Bilanzierung der Stickstoffflüsse im ökologischen Landbau deutlich verbessert und für die Praxis erleichtert werden. Ein übergeordnetes Ziel zur Schaffung einer verbesserten Grundlage zur Kalkulation leguminosenbedingter N-Flüsse im ökologischen Landbau zu schaffen war es, die für die Umwelt belastenden N-Verluste beim Anbau von Leguminosen zu mindern.

2 Material und Methoden

Im Rahmen des Projektes ist ein Monitoringsystem aufgebaut worden, mit dessen Hilfe das standortbezogene Angebot an mineralischem Stickstoff im Boden bei ökologischer Bewirtschaftung abgeleitet werden kann. Hierzu wurden in den Jahren 2005 und 2006 nichtlegume Referenzfrüchte angebaut, die verteilt waren auf 22 Ackerstandorte in der Bundesrepublik, mit Körner- oder Futterleguminosenanbau bestellt waren und die langjährig ökologisch bewirtschaftet wurden. Mit Hilfe des Monitoringsystems sollte das zeitliche Integral des standortgegebenen Angebotes an mineralischem Stickstoff im Boden über den Verlauf der Vegetationsperiode abgegriffen werden. Ziel war es, im Rahmen des Monitoringsystems Referenzstandorte zu erfassen, die ein möglichst breites Spektrum der in Deutschland landwirtschaftlich genutzten Böden und Klimate darstellen (vgl. Angaben in Abschnitt 2.3).

2.1 Welsches Weidelgras und Wiesenschwingel als Referenz zu Futterleguminosen

Zu Futterleguminosen finden anders als bei Körnerleguminosen (vgl. Abschnitt 2.2) derzeit keine Landessortenversuche im ökologischen Landbau statt. Aus diesem Grund wurden Erhebungen in Praxisbetrieben durchgeführt (Tab. A 18). Hierbei sollten die Flächen repräsentativ sein für Standorte, die im ökologischen Landbau zum Anbau von Futterleguminosen genutzt werden. Anders als bei den Körnerleguminosen müssen bei Futterleguminosen je nach Nutzung unterschiedliche Referenzpflanzen angebaut werden. Für die Flächen, auf denen die Futterleguminosen als einjährige, im Frühjahr etablierte Bestände (z.B. Persischer Klee, *Trifolium resupinatum* L.) angebaut wurden, wurde Welsches Weidelgras (*Lolium multiflorum* Lamb.) als Referenzpflanze gewählt. Auf den Standorten mit Klee-(Luzerne-) oder Klee-(Luzerne-)Grasanbau in überjähriger Nutzung wurde Wiesenschwingel (*Festuca pratensis* Huds.) als Referenzpflanze genutzt. Die hier genutzten Referenzpflanzen entsprachen den Arten, die auch bei JUNG (2003) zur Ermittlung der symbiotischen N₂-Fixierleistung von Futterleguminosen angebaut wurden. Hierdurch war es möglich, die von JUNG (2003) ermittelten Datensätze für das hier beschriebene Projekt zu nutzen. Es wurden zwei Parzellen der Referenzpflanzen verteilt über die Bestandesfläche mit einer Größe von je 15 m² im Ackerschlag außerhalb des Vorgewendes angelegt. Zu den jeweiligen Schnittzeitpunkten wurden aus den Parzellen zwei Teilflächen mit

einer Fläche von jeweils 2 m² Größe beerntet, wobei die Erntetermine an die ortstypische und witterungsabhängige Nutzungsfrequenz mit zwei bis fünf Schnitten je Vegetationsperiode gebunden waren (Tab. A 18).

Im ersten Versuchsjahr (2005) gestaltete sich hierbei die Anlage der Referenzflächen für die überjährige Nutzung problematisch. Das Projekt wurde im Februar 2005 bewilligt. Die Versuchsanlagen für die überjährigen Flächen hätten normalerweise zeitgleich mit der Aussaat der Klee- (Luzerne-) bzw. Klee-(Luzerne-)Gras-Bestände im Spätsommer des Jahres 2004 erfolgen sollen. Die über den Herbst schon etablierten Bestände mit Futterleguminosen mussten zur Anlage der Grasparzellen im Frühjahr 2005 schonend ohne tiefreichende Bodenbearbeitung entfernt werden. Dazu wurde entweder die Klee-grasnarbe mit einer Rollhacke unterschritten und die Soden umgedreht oder die Futterleguminosen von Hand mit Hilfe eines Messers entfernt. Auf die geschaffene vegetationsfreie Bodenoberfläche wurde die Grassaat ausgebracht und leicht festgetreten. Die durchwachsenden Kleepflanzen wurden später zusätzlich manuell regelmäßig aus den Beständen entfernt. Auf einigen Standorten wurden die bereits vorhandenen Klee- bzw. Luzernepflanzen aus den Teilflächen manuell entfernt und mit Grassaat übersät. Auf den Standorten Kiel und Viehhausen wurde der vorhandene Bestand gefräst und neu eingesät. Für das zweite Versuchsjahr (Vegetationsperiode 2005/2006) wurden die Referenzparzellen der überjährig genutzten Klee-(Luzerne-)Grasbestände bereits im Spätsommer 2005 angelegt.

Im ersten Versuchsjahr entwickelten sich die Bestände auch aufgrund teilweiser geringer Bodenfeuchte im Frühjahr 2005 nur sehr zögerlich, so dass auf einigen Standorten zum ersten Schnitttermin des Futterleguminosenbestandes noch keine Beerntung der Referenzflächen möglich war. Am Standort Isernhagen gestalteten sich die Niederschläge so ungünstig, dass die Referenzflächen nur zweimalig genutzt werden konnten.

Die Aussaaten und Beerntungen wurden von Göttingen und Dresden aus durchgeführt. Die Standorte Kiel und Viehhausen wurden von den Projektpartnern vor Ort betreut und beerntet. Auch am Standort Villmar wurde aufgrund eng liegender Termine die Beerntung zweimalig von den Projektpartnern vor Ort durchgeführt. Das Erntegut wurde gewogen, bei 60°C bis zur Gewichtskonstanz im Trockenschrank getrocknet

und bis zur letzten Ernte oder bis zur weiteren Verarbeitung im Herbst 2005 bzw. 2006 trocken eingelagert. Das Material wurde vor der Weiterverarbeitung nochmals auf 60°C getrocknet und danach wie die Hafersprossmasse (Referenzfrucht der Körnerleguminosen) aufbereitet (vgl. Abschnitt 2.2).

Im ersten Versuchsjahr konnten die Daten vom Standort Viehhausen nicht verwertet werden, da ein Missverständnis dazu geführt hat, dass die Gewichte der Erträge nicht erhoben wurden, so dass die Ertragsdaten der Gräser leider nicht rekonstruiert werden konnten.

2.2 Hafer als Referenz zu Körnerleguminosen

Aus der großen Anzahl an Untersuchungen zum Thema der N₂-Fixierleistung von Körnerleguminosen, die am Institut für Pflanzenbau- und Pflanzenzüchtung der Universität Göttingen in den vergangenen zehn Jahren durchgeführt wurden, liegen zahlreiche Datensätze vor, in denen Hafer als Referenzpflanze zur Schätzung der bodenbürtigen N-Aufnahme verschiedener Körnerleguminosen mittels der $\delta^{15}\text{N}$ -Methode genutzt wurde (Arbeiten von RÄTZ 1998, SCHMIDTKE 1997, SCHMIDTKE 2001, JOST 2003). Deshalb wurde Hafer auch in diesem Projekt als Referenzpflanze zur Erfassung des bodenbürtigen N-Angebotes auf den Standorten mit Körnerleguminosenanbau ausgesät. Die Referenzflächen sollten ein möglichst breites Spektrum der Standorte abdecken, auf denen der Anbau von Körnerleguminosen im ökologischen Landbau stattfindet. Für eine Mitwirkung am Projekt konnten Einrichtungen der Bundesländer gewonnen werden, die im ökologischen Landbau Sortenversuche mit Körnerleguminosen durchführen.

Die Versuchsanlagen waren so gestaltet, dass der Hafer in direkter Nachbarschaft zu der oder den angebauten Körnerleguminosen wuchs und somit das bodenbürtige Stickstoff-Angebot, das auch den entsprechenden Körnerleguminosen zur Verfügung stand, repräsentativ nutzen konnte. Ausgesät wurde an allen Standorten die Hafersorte Lutz mit 300 keimfähigen Samen pro m² zeitgleich mit den Sortenversuchen mit Hilfe der ortsüblichen Drilltechnik und Reihenabstände der Saatechnik. Zum Nutzungszeitpunkt der entsprechenden Körnerleguminose wurden jeweils 4 Reihenmeter der Hafersprossmasse von Hand aus zwei getrennt liegenden Kleinteilflächen (Parzellen, Erntefläche je nach Reihenweite zwischen 0,44 und 2 m² je Kleinteilflä-

che) geerntet. Die Pflanzen wurden direkt an der Bodenoberfläche abgeschnitten, bei 60°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, gewogen und dem Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Abteilung Pflanzenbau der Universität Göttingen zur weiteren Verarbeitung zugestellt. Die Proben wurden dort nochmals auf 60°C getrocknet, mit einer Schneidmühle (Fa. Retsch, Typ SM 100) zerkleinert und danach mit einer Ultrazentrifugalmühle (Fa. Retsch, Typ ZM 100) auf eine Partikelgröße von $\leq 0,2$ mm fein vermahlen, um eine N-Analyse vornehmen zu können. Im Versuchsjahr 2006 wurden die Haferproben der Ernteperioden II und III (Referenz zu Erbse BBCH 89, Ackerbohne, und Lupinen) getrennt nach Stroh und Korn weiterverarbeitet. Die so gewonnenen Daten sollten dazu dienen, bisher vorliegende Daten (JOST 2003) zu bestätigen und Ableitungen vom Spross-N-Mengen zu Korn-N-Mengen bzw. zu gesamt-pflanzlichen N-Mengen (N_{Bt}) zu ermöglichen. Die Proben wurden mit Massen von 20 mg in Zinnkapseln eingewogen. Der Gehalt an Gesamtstickstoff (N_t) wurde mit dem Elementaranalysator Vario EL (Fa. Elementar) bestimmt.

2.3 Bestimmung der mineralischen Stickstoffmengen (N_{min}) im Boden

Um für die landwirtschaftliche Praxis standortspezifische Hinweise zur N-Mineralisation im Boden nach dem Anbau von Futter- und Körnerleguminosen ableiten zu können, wurde an insgesamt sechs Standorten der Futterleguminosen (Termine: zum letzten Schnitt und im zeitigen Frühjahr des darauf folgenden Jahres) und sechs Standorten der Körnerleguminosen (Termine: zur Körnerernte, zu Vegetationsende und im zeitigen Frühjahr des darauf folgenden Jahres) der N_{min} -Vorrat im Boden erfasst (0 bis 30, 30 bis 60 und 60 bis 90 cm Bodentiefe, Ausnahme Deppoldshausen auf Kalksteinverwitterungsboden 0 bis 30 cm Bodentiefe).

Die gefrorenen Bodenproben zur Bestimmung des Vorrates an mineralischem Stickstoff wurden am Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Abteilung Pflanzenbau der Universität Göttingen analysiert. Jeweils 100 g einer Bodenprobe wurden mit 250 ml einer 0,01 molaren $CaCl_2$ -Lösung versetzt und in Polyethylenflaschen eine Stunde bei Raumtemperatur geschüttelt (VDLUFA 1991). Im abgefilterten Boden-Extrakt wurde mittels luftsegmentierter Durchflussanalyse (Typ Flow solution 3, Fa. Perstorpe Analytical) der Gehalt an mineralischem Bodenstickstoff (NO_3^- -N, NH_4^+ -N) fotometrisch detektiert.

2.4 Monitoringstandorte

Abb. 1 zeigt die Verteilung der Standorte der im Versuchsjahr 2005 angelegten Monitoringflächen zur Erfassung des bodenbürtigen N-Angebotes beim Anbau von Futter- und Körnerleguminosen. Die dazugehörigen Standortdaten befinden sich in Tab. 1 und in Tab. 2. Bis auf den Standort Verl (Umstellungsfläche auf ökologischen Landbau) wurden alle Standorte langjährig ökologisch bewirtschaftet.

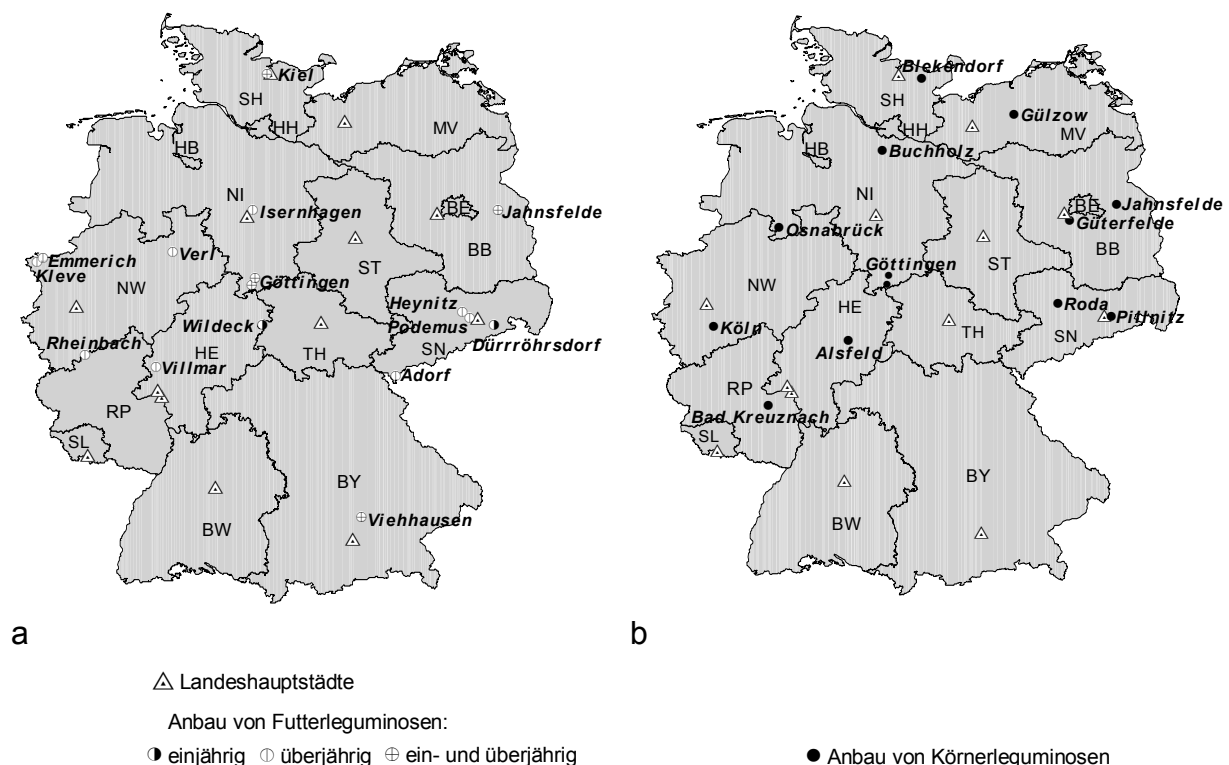


Abb. 1: Standorte der im Versuchsjahr 2005 und 2006 angelegten Monitoringflächen für (a) Futterleguminosen und (b) Körnerleguminosen zur Erfassung des bodenbürtigen N-Angebotes in den Vegetationsperioden der Leguminosen

Die Standorte des Monitoringsystems zur Erfassung des bodenbürtigen N-Angebotes beim Anbau von Futterleguminosen lagen im Jahr 2005 verteilt über die Bundesländer von Kiel (Schleswig-Holstein) bis nach Viehhausen (Kranzberg, Bayern) und von Kleve/Emmerich (Nordrhein-Westfalen) bis nach Jahnsfelde (Brandenburg). Auf zwölf Standorten wurden die Systeme ein- und überjähriger Anbau von Futterleguminosen geprüft. Für die überjährigen Systeme (12 Standorte) ist aufgrund der Projektdauer von zwei Jahren lediglich das jeweils erste Anbaujahr integriert. Auf sieben Standorten wurden Referenzflächen zum einjährigen Anbau geprüft. An den Standorten

ten des Stickstoff-Monitorings beim Anbau von Futterleguminosen reichen die Ackerzahlen der Monitoringflächen von 20 bis 24 (Adorf) bis 85 (Göttingen-Reinshof). Die geringsten und höchsten jährlichen Niederschlagssummen im langjährigen Mittel sind in Jahnsfelde mit 533 mm bzw. in Adorf mit 820 mm zu verzeichnen. Die Tagesdurchschnittstemperaturen im langjährigen Mittel der Standorte liegen zwischen 6,2°C in Adorf und 9,6°C in Kleve.

Tab. 1: Zusammenfassung einiger Standortparameter der Monitoringflächen beim Anbau von Futterleguminosen

Standorte	Varianten	Bodenart	Ackerzahl	Niederschl. im langj. Mittel [mm]	Temperatur im langj. Mittel [°C]
Adorf	überjährig	Ls4	20-24	820	6,2
Dresden-Podemus	einjährig	Lu	60	556	8,9
Dürrröhrsdorf	einjährig	Ls3	58	780	8,9
Göttingen- Deppoldshausen	einjährig überjährig	Lt	35-62	569	7,7
Göttingen-Reinshof	einjährig überjährig	Us	85	647	8,7
Heynitz	überjährig	Ls	58	570	8,6
Isernhagen	überjährig	Ls-Lt	48	620	8,2
Jahnsfelde	einjährig überjährig	Sl4	45-47	533	8,3
Kiel	einjährig überjährig	Ls-Sl	43	785	8,7
Kleve (Emmerich)	überjährig	Ls	70	760	9,6
Viehhausen	einjährig überjährig	Ls	61-66	786	7,8
Rheinbach	überjährig	Ls Ls	65-70 ('05) 45 ('06)	600	8,9
Verl	überjährig	S	27	760	9,0
Villmar	überjährig	Ul4	74	649	9,5
Wildeck	einjährig	Sl	29	600	6,8

In das Monitoringsystem beim Anbau von Körnerleguminosen waren für das Versuchsjahr 2005 elf Standorte und das Versuchsjahr 2006 zwölf Standorte mit unterschiedlichen naturräumlichen Gegebenheiten integriert (Abb. 1). Die Standorte verteilten sich über die Bundesländer von Blekendorf (Schleswig-Holstein) bis Bad Kreuznach (Rheinland-Pfalz) und von Köln (Nordrhein-Westfalen) bis Güterfelde (Brandenburg). Die Ackerzahlen der Referenzflächen lagen zwischen 31 (Güterfelde) und 85 (Göttingen-Reinshof). Auch bei den Körnerleguminosen differierten die Klimate an den Prüfstandorten stark mit langjährig gemittelten Jahresniederschlagssummen zwischen 530 mm (Bad Kreuznach) und 760 mm (Osnabrück) und Jahresmittel-

temperaturen zwischen 7,7°C (Göttingen-Deppoldshausen) und 9,6°C (Bad Kreuznach).

Tab. 2: Zusammenfassung einiger Standortparameter der Monitoringflächen beim Anbau von Körnerleguminosen

Standorte	Bodenart	Ackerzahl	Niederschlag im langj. Mittel [mm]	Temperatur im langj. Mittel [°C]
Alsfeld	Ls	61	610	7,8
Bad Kreuznach	Ls	60	530	9,6
Blekendorf	Ls	60	677	8,4
Buchholz	Sl	30-34	655	8,1
Göttingen-Deppoldshausen	Lt	46	569	7,7
Göttingen-Reinshof	Us	89 ('05) 77 ('06)	647	8,7
Gülzow	Sl	38	542	8,2
Güterfelde	Sl	31	545	8,9
Jahnsfelde	Sl4	45-47	533	8,3
Köln	Ls	68	650	9,5
Osnabrück	Ls-Sl	35-38	760	9,1
Pillnitz	Ls	50-59	648	9,2
Roda	Lu	66	693	8,4

3 Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der Feldversuche

3.1.1 Daten des Referenzflächensystems Futterleguminosen

Mit Hilfe der Referenzflächen des Monitoringsystems beim Anbau von Futterleguminosen wird das bodenbürtige Stickstoff-Angebot, das den Beständen während der Vegetationsperiode zur Verfügung gestanden hat, erfasst. Dabei sind die Anbausysteme einjähriger Nutzungen (z.B. Persischer Klee in Reinsaat oder im Gemenge mit Gräsern) und überjähriger Nutzungen (z.B. Rotklee in Reinsaat oder im Gemenge mit Gräsern) zu unterscheiden. Der einjährige Anbau von z.B. Persischem Klee bedient sich aufgrund der Aussaat zu Beginn der Vegetationsperiode im Frühjahr eines anderen N_{\min} -Vorrates im Boden als die überjährigen Bestände, die durch die Aussaat im Spätsommer oder Herbst des Vorjahres eine längere Wachstumsdauer und ein stärker ausgebildetes Wurzelsystem aufweisen können. Dieser Tatsache wurde im Monitoringsystem mit der Unterscheidung der Systeme einjährig und überjährig Rechnung getragen.

Tab 3: Schnittgut- und Stoppel-Trockenmasseerträge (dt TM ha⁻¹) von I. Welschem Weidelgras (Referenz zu einjährigen Klee grasbeständen) und II. Wiesenschwingel (Referenz zu überjährigen Klee- bzw. Luzernegrasbeständen) zum jeweiligen Erntezeitpunkt der Futterleguminosen der Nutzungsjahre 2005 und 2006

Trockenmasseerträge (dt TM ha ⁻¹)															
Standorte		1. Schnitt		2. Schnitt		3. Schnitt		4. Schnitt		5. Schnitt		Jahresschnittgutertrag		Stoppeln	
		2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006
Adorf	II	--	12,1	8,8	24,4	4,7	19,7	12,1	--	--	--	25,6	56,1	3,1	6,9
Dresden-Podemus	I	--	5,8	8,0	9,6	9,1	4,6	13,2	--	12,9	--	43,2	19,9	11,4	3,9
Dürröhrsdorf	I	--	3,7	27,8	20,5	12,5	12,5	7,9	--	--	--	48,1	36,6	5,3	6,4
Göttingen-Deppoldshausen	I	--	--	5,3	4,7	9,7	11,7	1)	13,1	1)	--	1)	29,5	1)	5,4
	II	--	--	2,5	26,1	8,7	9,5		--		--		--		35,6
Göttingen-Reinshof	I	8,6	4,6	33,1	33,3	33,1	33,3	22,5	26,0	--	2,8	64,2	66,7	30,5	12,5
	II	--	--	15,9	45,1	9,4	13,1	16,5	--	--	--	35,1	58,2	20,8	11,8
Heynitz	II	4,3	36,5	14,1	20,0	15,3	16,7	2)	13,8	--	--	33,4	87,0	12,9	11,4
Isernhagen	II	--	31,4	19,2	11,9	4,0	3,0	--	--	--	--	23,2	46,3	18,1	23,2
Jahnsfelde	I	36,7	17,7	7,2	0,5	--	20,3	--	--	--	--	43,9	18,2	13,5	20,3
	II	4,5	13,2	25,9	13,1	25,9	--	18,6	--	13,8	--	62,7	26,3	15,7	14,8
Kiel	I	11,4	23,6	16,2	8,4	9,5	8,2	6,0	4,1	--	--	43,0	44,3	24,2	33,5
	II	4,9	11,6	4,2	9,0	2,5	6,3	3,9	6,5	--	--	15,5	33,3	11,4	27,8
Kleve/Emmerich	II	--	17,4	40,5	9,3	18,3	4,6	17,4	6,8	5,7	4,8	81,9	42,8	14,5	19,5
Rheinbach	II	23,7	13,0	11,1	2)	2)	6,0	4,9	5,0	--	5,6	39,7	29,6	11,3	6,2
Verl	II	--	28,3	22,1	15,8	5,0	12,4	14,9	9,0	7,9	--	50,0	65,5	22,8	16,4
Viehhausen	I	--	42,3	--	19,5	--	14,9	--	--	--	--	--	76,8	--	33,6
	II	--	10,0	--	14,2	--	8,1	--	3,0	--	--	--	35,3	--	4,8
Villmar	II	--	9,3	32,8	7,0	9,8	5,2	7,9	8,7	--	6,6	50,4	36,7	16,0	19,9
Wildeck	I	--	18,9	--	29,1	--	--	--	--	--	--	--	48,0	--	11,0

¹⁾ Fläche wurde mit anderen Versuchen ohne Rücksprache mit der Versuchsanstellerin vor dem 3. Schnitt umgebrochen.
²⁾ Schnitt wurde vom Betrieb/Lohnunternehmer durchgeführt, ohne dass die Versuchsansteller zuvor benachrichtigt wurden; hierdurch konnte der Ertrag des Grases zum 3. Schnitttermin nicht mehr erfasst werden. ³⁾ Durch die schlechte Entwicklung des Wiesenschwingsels in der zweiten Teilparzelle aufgrund mangelnder Niederschläge war zum 2. und 3. Schnitt eine Beerntung nicht möglich.

Die Spross-TM-Erträge (s. Tab. 3) der nichtlegumen Referenzpflanzen an den Monitoringstandorten wiesen eine größere Variation zwischen den einzelnen Standorten auf. Die Jahressprosserträge (Schnittgut + Stoppelmasse) von Welschem Weidelgras als Referenzpflanze zum einjährigen Klee grasanbau variierten zwischen den Standorten zwischen 53 dt TM ha⁻¹ am Standort Dürröhrsdorf und 97 dt TM ha⁻¹ am Standort Göttingen-Reinshof im Jahr 2005. Die Parzellen mit Wiesenschwingel als Referenz zu überjährig angebauten Futterleguminosen erbrachten Jahressprosserträge in 2005 zwischen 46 dt TM ha⁻¹ am Standort Göttingen-Reinshof und 102 dt TM ha⁻¹ am Standort Kleve. Im Jahr 2006 schwankten die Sprosserträge beim Welschen Weidelgras zwischen 24 dt TM ha⁻¹ am Standort Dresden-Podemus und 110 dt TM

ha⁻¹ am Standort Viehhausen, beim Wiesenschwingel zwischen 40 dt TM ha⁻¹ am Standort Viehhausen und 100 dt TM ha⁻¹ am Standort Heynitz.

Tab. 4: N-Erträge in Schnittgut und Stoppeln (kg N TM ha⁻¹) von I. Welschem Weidelgras (Referenz zu einjährigen Klee grasbeständen) und II. Wiesenschwingel (Referenz zu überjährigen Klee- bzw. Luzernegrasbeständen) zum jeweiligen Erntezeitpunkt der Futterleguminosen der Nutzungsjahre 2005 und 2006

		Stickstoffträge (kg N ha ⁻¹)										N im Jahresschnittgutertrag		N in Stoppeln	
Standorte		1. Schnitt		2. Schnitt		3. Schnitt		4. Schnitt		5. Schnitt		2005	2006	2005	2006
		2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006				
Adorf	II	--	32,7	21,9	47,3	10,5	59,6	22,3	--	--	--	54,7	139,6	6,1	17,2
Dresden-Podemus	I	--	17,3	16,3	21,1	17,7	9,0	30,0	--	24,7	--	87,9	47,4	15,0	5,2
Dürröhrsdorf	I	--	14,1	38,7	44,1	22,5	30,5	14,4	--	--	--	75,6	88,7	7,9	12,9
Göttingen-Deppoldshausen	I	--	--	--	15,8	--	24,0	1)	22,6	--	--	1)	62,4	1)	8,3
	II	--	--	--	19,9	--	16,9	--	--	--	--	36,8	--	7,3	
Göttingen-Reinshof	I	20,1	13,8	70,6	61,4	38,0	37,0	--	5,8	--	--	128,6	118,0	23,7	15,4
	II	--	--	23,8	46,6	14,3	24,2	--	--	--	--	97,7	70,8	38,1	15,3
Heynitz	II	10,6	60,3	17,7	32,3	31,0	27,7	2)	29,2	--	--	59,3	149,4	20,5	18,4
Isernhagen	II	--	32,7	35,8	15,4	8,7	6,4	--	--	--	--	44,5	54,5	24,2	31,0
Jahnsfelde	I	42,9	18,2	7,7	1,8	--	--	--	--	--	--	50,7	20,0	11,0	28,0
	II	12,5	15,0	35,3	27,4	35,3	--	29,8	--	24,1	--	101,6	42,3	20,2	23,6
Kiel	I	33,9	24,1	19,6	9,8	17,8	19,8	9,6	11,7	--	--	71,3	65,5	33,1	61,2
	II	10,1	21,2	6,7	10,6	6,5	11,2	7,4	19,3	--	--	30,7	62,2	33,9	26,0
Kleve/Emmerich	II	--	21,6	38,3	14,1	17,6	9,5	28,8	16,6	13,6	11,4	98,3	73,2	17,9	27,0
Rheinbach	II	27,7	17,3	16,0	2)	2)	10,6	16,5	11,7	--	13,5	60,2	53,1	16,8	18,1
Verl	II	--	31,8	38,3	17,7	15,1	24,6	33,0	18,8	19,5	--	105,9	92,9	31,6	22,6
Viehhausen	I	--	55,8	--	42,5	--	26,2	--	--	--	--	--	124,5	--	37,4
	II	--	10,8	--	25,3	--	16,6	--	7,0	--	--	--	59,5	--	8,2
Villmar	II	--	15,8	37,0	13,4	14,9	13,2	15,4	20,3	--	18,4	67,3	81,0	16,6	29,1
Wildeck	I	--	37,2	--	50,8	--	--	--	--	--	--	--	87,9	--	10,9

1) Fläche wurde mit anderen Versuchen ohne Rücksprache mit der Versuchsanstellerin vor dem 3. Schnitt umgebrochen.

2) Schnitt wurde vom Betrieb/Lohnunternehmer durchgeführt, ohne dass die Versuchsansteller zuvor benachrichtigt wurden; hierdurch konnte der Ertrag des Grases zum 3. Schnitttermin nicht mehr erfasst werden. 3) Durch die schlechte Entwicklung des Wiesenschwingels in der zweiten Teilparzelle aufgrund mangelnder Niederschläge war zum 2. und 3. Schnitt eine Beerntung nicht möglich.

Die N-Erträge im Spross (Tab. 4) der nichtlegumenen Referenzpflanzen an den Monitoringstandorten variierten zwischen den Standorten zwischen 62 kg N ha⁻¹ am Standort Jahnsfelde und 152 kg N ha⁻¹ am Standort Göttingen-Reinshof im Jahr 2005 bei der Referenzfrucht Welsches Weidelgras. Die Parzellen mit Wiesenschwingel als Referenz zu überjährig angebauten Futterleguminosen erbrachten Jahreserträge an N im Spross in 2005 zwischen 61 kg N ha⁻¹ am Standort Adorf und 137,2 kg N ha⁻¹ am Standort Verl. Im Jahr 2006 schwankten die Spross-N-Erträge beim Welschen Weidelgras zwischen 48 kg N ha⁻¹ am Standort Jahnsfelde und 161,9 kg N ha⁻¹ am Standort

ort Viehhausen, beim Wiesenschwingel zwischen 44 kg N ha^{-1} am Standort Göttingen-Deppoldshausen und 168 kg N ha^{-1} am Standort Heynitz (Tab. 4).

3.1.2 Daten des Referenzflächensystems Körnerleguminosen

Die den Körnerleguminosen bis zum Zeitpunkt der Beerntung verfügbare bodenbürtige Stickstoffmenge wurde durch die Anlage von Referenzflächen mit Hafer erfasst, der parallel zu den Körnerleguminosen wuchs. Die Beprobung der Parzellen fand zum jeweiligen Erntetermin der auf dem Standort geprüften Körnerleguminosen statt. Auf den Standorten ohne einen Anbau der Grünspeiseerbse wurde der Zeitpunkt der Ernte mit Hilfe der vorhandenen Körnererbsen zum Entwicklungsstadium BBCH 79 terminiert (Ernte I, Tab. 5 und Tab. 6). Der Erntetermin II stellt die N-Menge im Haferspross zum Reifestadium BBCH 89 der Körnererbse dar. Die parallel zum Erntezeitpunkt der Ackerbohne, der Gelben und Weißen Lupine geernteten N-Mengen sind unter dem Erntetermin III zusammengefasst.

Der Spross-Trockenmasseertrag der Referenzfrucht Hafer betrug im Jahr 2005 zwischen 42 dt TM ha^{-1} am Standort Köln (Termin I) und $133 \text{ dt TM ha}^{-1}$ am Standort Roda (Termin III, Tab. 5). Im darauf folgenden Jahr 2006 betrug die Schwankungsbreite zwischen 31 dt TM ha^{-1} am Standort Jahnsfelde (Termin I) und $127 \text{ dt TM ha}^{-1}$ am Standort Alsfeld (Termin II). In Folge des Absterbens des Hafers war an den Standorten teilweise ein Rückgang im Sprossertrag zum letzten Erntetermin (III) zu verzeichnen (Tab. 5). Dieser Rückgang betraf auch die N-Menge im Spross (Tab. 6).

Im Jahr 2005 war das Boden-N-Angebot ermittelt über die Spross-N-Menge im Hafer am Standort Güterfelde (Az 31) zu den Ernten II und III mit 51 bzw. 58 kg N ha^{-1} deutlich geringer als am Standort Bad Kreuznach (Az 60) mit 103 bzw. 88 kg N ha^{-1} (Tab. 6). Die Abweichung des Boden-N-Angebotes zwischen den Anbaujahren 2005 und 2006 an den einzelnen Standorten bewegte sich größtenteils auf einem ähnlichen Niveau. Die größte Variation zum ersten Erntetermin mit knapp 50 kg N ha^{-1} zwischen den Jahren war auf dem Standort Göttingen-Reinshof zu verzeichnen, obwohl die Ackerzahl der beiden Flächen zwischen den Jahren mit 89 (2005) und 77 (2006) nur wenig unterschiedlich war. Dieses Beispiel verdeutlicht, dass nicht allein die Güte des Bodens sondern die Vorfrucht und die Witterungsbedingungen das verfügbare Boden-N-Angebot wesentlich prägen (vgl. Abschnitt 3.2). Innerhalb des Jah-

res 2005 betrug die ermittelte Variationsbreite in der N-Menge im Haferspross zwischen 52 kg N ha⁻¹ (Standort Köln) und 104 kg N ha⁻¹ (Standort Roda) zum ersten Termin und 51 kg N ha⁻¹ (Standort Güterfelde) sowie 116 kg N ha⁻¹ (Standort Gülzow, Tab. 6). Im Jahr 2006 betrug die Spannweite zwischen 25 kg N ha⁻¹ (Standort Buchholz) und 117 kg N ha⁻¹ (Standort Köln) zum ersten Termin und 64 kg N ha⁻¹ (Standort Blekendorf) sowie 130 kg N ha⁻¹ (Standort Bad Kreuznach) zum zweiten Termin.

Tab. 5: Trockenmasseerträge (dt TM ha⁻¹) im Spross der Referenzpflanze Hafer der Versuchsjahre 2005 und 2006 und in Stroh, Korn und Spross des Versuchsjahres 2006 zur Ernte von I. Erbse zur Nutzung als Grünspeiseerbse (BBCH 79), II. zur Körnernutzung (BBCH 89), III. zur Ernte von Ackerbohne, Gelber bzw. Weißer Lupine (BBCH 89)

Trockenmasseerträge (dt TM ha ⁻¹)								
Ernte →	I		II			III		
Standorte	2005	2006	2005	2006		2005	2006	
	Spross	Spross	Spross	Stroh Korn	Spross	Spross	Stroh Korn	Spross
Alsfeld	86,3	103,0	--	54,5 72,0	126,5	--	68,2 45,5	113,7
Bad Kreuznach	106,2	67,0	101,8	48,5 52,1	100,6	108,6	55,2 36,8	92,0
Blekendorf	68,8	56,8	74,1	23,5 30,2	53,6	--	22,0 15,8	37,8
Buchholz	65,7	34,8	64,3	13,8 13,9	27,7	37,9	--	--
Dresden-Pillnitz	--	45,6	--	31,1 18,1	49,2	--	--	--
Göttingen- Deppoldshausen	88,4	60,1	82,2	33,9 37,4	71,3	--	30,4 38,6	69,0
Göttingen- Reinshof	88,0	108,9	86,7	62,1 50,0	112,1	--	43,6 45,9	89,5
Gülzow	68,2	--	85,4	--	--	71,6	--	--
Güterfelde	--	--	50,3	--	--	53,6	--	--
Jahnsfelde	--	30,9	--	33,1 33,1	66,2	--	--	--
Köln	42,0	97,6	--	--	96,4	--	49,3 54,8	104,3
Osnabrück	--	47,8	--	24,9 28,6	53,6	45,3	36,9 33,9	70,8
Roda	117,2	64,6	102,0	46,9 36,1	83,0	133,0	37,0 37,9	74,9

Tab. 6: Stickstofferträge (kg N ha⁻¹) im Spross der Referenzpflanze Hafer der Versuchsjahres 2005 und 2006 und in Stroh, Korn und Spross des Versuchsjahres 2006 zur Ernte von I. Erbse zur Nutzung als Grünspeiseerbse (BBCH 79), II. zur Körnernutzung (BBCH 89), III. zur Ernte von Ackerbohne, Gelber bzw. Weißer Lupine (BBCH 89)

Stickstofferträge (kg N ha ⁻¹)								
Standorte	I		II			III		
	2005	2006	2005	2006		2005	2006	
	Spross	Spross	Spross	Stroh Korn	Spross	Spross	Stroh Korn	Spross
Alsfeld	89,0	94,9	--	13,5 115,1	128,6	--	19,6 72,4	91,9
Bad Kreuznach	103,4	82,9	87,5	26,6 103,4	130,0	77,9	30,2 73,0	103,2
Blekendorf	49,1	62,9	53,8	11,0 53,4	64,4	--	7,8 22,9	30,7
Buchholz	65,1	25,1	63,4	6,2 19,9	26,0	59,0	--	--
Dresden-Pillnitz	--	58,3	--	21,5 46,6	68,1	--	--	--
Göttingen- Deppoldshausen	75,4	74,1	89,7	16,1 63,7	79,8	--	22,1 71,6	93,7
Göttingen- Reinshof	80,5	129,1	92,8	27,9 88,2	116,1	--	20,3 80,9	101,2
Gülzow	88,6	--	105,7	--	--	73	--	--
Güterfelde	--	--	51,0	--	--	57,5	--	--
Jahnsfelde	--	41,4	--	14,6 60,4	75,0	--	--	--
Köln	51,5	116,7	--	--	107,9	--	23,9 91,6	115,5
Osnabrück	--	48,7	--	10,6 55,7	66,3	42,2	16,0 58,9	74,9
Roda	103,6	76,9	86,1	21,6 63,5	85,0	112,6	15,2 69,3	84,5

3.2 Auswertung des Referenzflächen – Entwicklung eines Zuschlagsystems zur Abschätzung des Boden-N-Angebots in Abhängigkeit von Anbaujahr, Standort und Fruchtfolge

Im Rahmen der Versuchsreihe des Projektes lag ein Schwerpunkt auf der Abschätzung des pflanzenverfügbaren bodenbürtigen Stickstoff-Angebotes. Der Einfluss des Boden-N-Angebotes auf die N₂-Fixierleistung wird in der Literatur für verschiedene Leguminosenarten beschrieben (u.a. FAN et al. 2002, TURPIN et al. 2002, ANTHES 2005). Die Integration standort- und jahresspezifischer Kenndaten soll zu einer wesentlichen Verbesserung der Kalkulation der N-Flächenbilanz beim Anbau von Leguminosen beitragen. Dabei sollten die in den Referenzpflanzen der Versuchsreihe gefundenen N-Mengen das Standortpotenzial zur Mineralisation organisch gebundenen

Stickstoffs im Boden in unterschiedlichen Boden- und Klimaregionen Deutschlands widerspiegeln (Abb. 1). Die so gewonnenen Daten (Tab. 7 und Tab. 8) erlauben eine empirische Analyse. Eine Beschreibung einzelner Zusammenhänge, die wesentlich an den Mineralisationsprozessen beteiligt sind, kann anhand der vorliegenden Daten nicht im Detail vorgenommen werden. Trotzdem wurde versucht, die das Mineralisationsgeschehen beeinflussenden Faktoren in eingeschränkter Zahl zu gewichten, um die Integration von Standortdaten in das Kalkulationssystem zu ermöglichen. Als wesentliche Faktoren wurden dazu die Größen Ackerzahl, Vorfrucht und Witterung (Jahreseinfluss) gewählt.

Die einfache Sortierung der in der Referenzpflanze Hafer gefundenen N-Mengen zeigt einen deutlichen Einfluss der Ackerzahl auf das Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff, welches durch die N-Menge im Spross des Hafers wiedergespiegelt wurde (Tab. 7). Dieser Zusammenhang wird auch in Abb. 2 deutlich. Es ist jedoch ebenso ersichtlich, dass der eindeutige Einfluss des Standortes durch weitere Größen so stark verändert wird, dass die alleinige Ableitung des Boden-N-Angebotes einer Vegetationsperiode anhand der Ackerzahl zu unzureichend treffgenauen Einschätzungen der Boden-N-Nachlieferung und somit von N-Flächenbilanzen beim Anbau von Körnerleguminosen führen würde.

Als weitere entscheidende Größe beschreibt ANTHES (2005) die Wirkung der Fruchtfolge auf das Mineralisationsgeschehen im Boden. Bei diesen Überlegungen wird die Bodenbearbeitung in die Gewichtung der Fruchtfolge integriert (Tab. 7 und Tab. 8, Zuschlag Vorfruchtwirkung). Dabei sollten bei der Bewertung der aus der Vorfrucht zu erwartenden Boden-N-Nachlieferung neben den Ernteresiduen und dem Düngeregime auch die Bodenbearbeitung mit einbezogen werden. Durch die Auswahl zur Höhe der Vorfruchtwirkung 'gering', 'mittel' oder 'hoch' wird die Vorfruchtwirkung um die Faktoren 1, 2 oder 3 erhöht (vgl. Tab. 7 und Tab. 8).

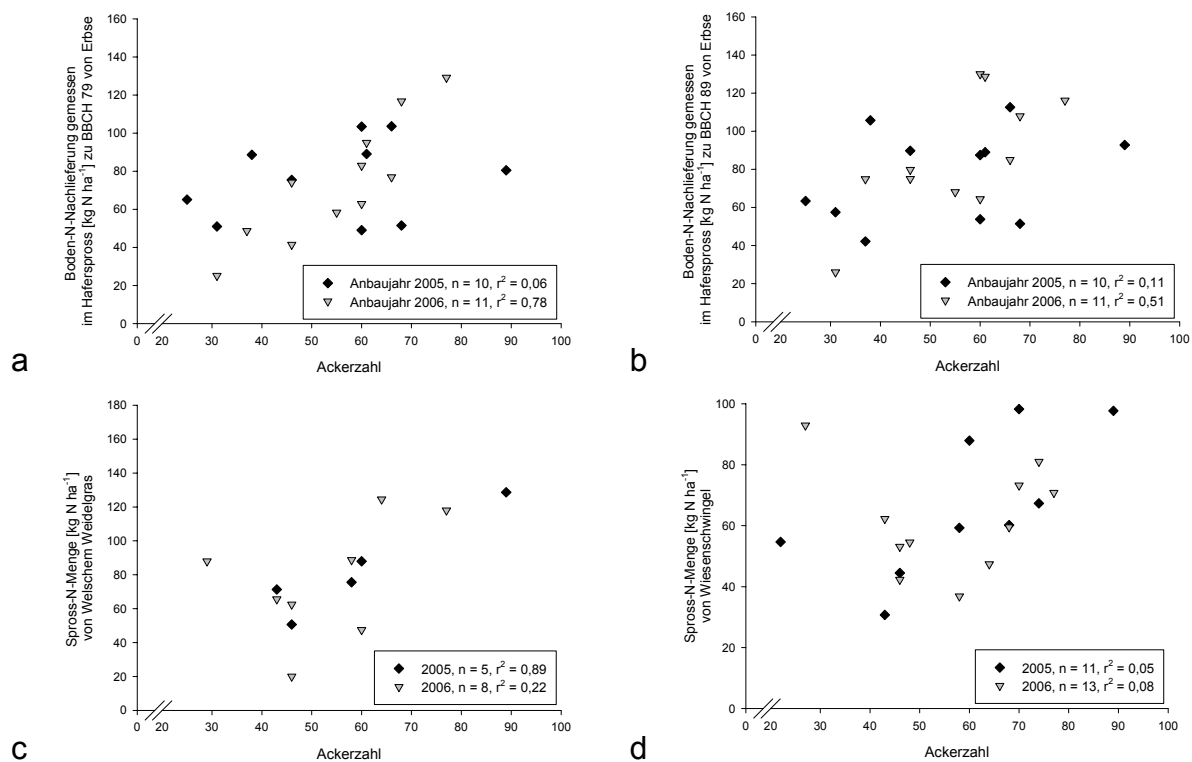


Abb. 2: Beziehung der in Spross von Hafer (BBCH 79 [a] und BBCH 89 [b]) bzw. in Welschem Weidelgras (c) und Wiesenschwingel (d) gefundenen N-Mengen zur Ackerzahl

Tab. 7: Schema zur Ableitung der jahres- und standortspezifischen Boden-N-Nachlieferung beim Anbau von **Körnerleguminosen** (BBCH 79 und 89)

Jahr	BBCH	Standort (Az) zu Jahresbasiswert u. N im Hafer-Spross	Jahresbasiswert ⁽¹⁾	Zuschlag Ackerzahl (Az) ⁽²⁾	Zuschlag Vorfruchtwirkung (Vfw)
2005	79	Güterfelde (31) 51,0 kg N ha ⁻¹	$2 * \sqrt{51,0}$ = 14,3 [kg N ha ⁻¹]	$3 * \sqrt{Az}$	Az / 3 * (s.u.) (a) geringe Vfw * 1 (b) mittlere Vfw * 2 (c) hohe Vfw * 3
	89	Güterfelde (31) 57,5 kg N ha ⁻¹	$2 * \sqrt{57,5}$ = 15,2 [kg N ha ⁻¹]	$4 * \sqrt{Az}$	
2006	79	Buchholz (28) 25,1 kg N ha ⁻¹	$2 * \sqrt{25,1}$ = 10,0 [kg N ha ⁻¹]	$3 * \sqrt{Az}$	
	89	Buchholz (28) 26,0 kg N ha ⁻¹	$2 * \sqrt{26,0}$ = 10,2 [kg N ha ⁻¹]	$4 * \sqrt{Az}$	

⁽¹⁾ Dem Jahresbasiswert liegt die geringste Spross-N-Menge eines leistungsschwächeren Standortes (geringe Ackerzahl, Az) des Referenzflächensystems zu Grunde; zum Jahresbasiswert werden Werte zur Standortqualität (Az) und zur Vorfruchtwirkung aufgeschlagen. ⁽²⁾ Die Faktoren 3 und 4 gewichten den Zeitraum der Nutzung des Boden-N-Angebotes durch die Leguminosen in Abhängigkeit der unterschiedlich langen Vegetationsperioden

Tab. 8: Schema zur Ableitung der jahres- und standortspezifischen Boden-N-Nachlieferung beim Anbau von **Futterleguminosen**

Jahr	BBCH	Standort (Az) zu Jahresbasiswert u. N im Schnittgut	Jahresbasiswert ⁽¹⁾	Zuschlag Ackerzahl (Az) ⁽²⁾	Zuschlag Vorfruchtwirkung (Vfw)
2005	WW	Jahnsfelde (46) 50,7 [kg N ha ⁻¹]	$2 * \sqrt{50,7}$ = 14,2 [kg N ha ⁻¹]	$3 * \sqrt{Az}$	Az / 3 * (s.u.) (a) geringe Vfw * 1 (b) mittlere Vfw * 2 (c) hohe Vfw * 3
	WS	Kiel (43) 30,7 [kg N ha ⁻¹]	$2 * \sqrt{30,7}$ = 11,1 [kg N ha ⁻¹]	$4 * \sqrt{Az}$	
2006	WW	Kiel (43) 65,5 [kg N ha ⁻¹]	$2 * \sqrt{65,5}$ = 16,2 [kg N ha ⁻¹]	$3 * \sqrt{Az}$	
	WS	Isernhagen (46) 42,3 [kg N ha ⁻¹]	$2 * \sqrt{42,3}$ = 13,0 [kg N ha ⁻¹]	$4 * \sqrt{Az}$	

⁽¹⁾ Dem Jahresbasiswert liegt die geringste Spross-N-Menge eines leistungsschwächeren Standortes (geringe Ackerzahl, Az) des Referenzflächensystems zu Grunde; zum Jahresbasiswert werden Werte zur Standortqualität (Az) und zur Vorfruchtwirkung aufgeschlagen. ⁽²⁾ Die Faktoren 3 und 4 gewichten den Zeitraum der Nutzung des Boden-N-Angebotes durch die Leguminosen in Abhängigkeit der unterschiedlich langen Vegetationsperioden

Dabei wird berücksichtigt, dass der Anteil des N-Mineralisationspotenzials, der aus Vorfrucht und Bodenbearbeitung in die Ableitungen einfließt, in seiner Höhe abhängig ist vom natürlichen Leistungsvermögen des Standortes, das hier repräsentiert wird durch die Ackerzahl. Entsprechend wird das Mineralisationspotential der Vorfrüchte auf einem Standort mit geringer Ackerzahl geringerer gewichtet als Vorfrüchte von einem Standort mit hoher Ackerzahl.

Die Wirkung der Jahreswitterung wird als Jahresbasiswert in der Ableitung des Boden-N-Angebotes berücksichtigt. Dazu fließt die N-Menge im Haferspross eines leistungsschwächeren Standortes mit dem geringsten Wert anteilig ein (Tab. 7). In gleicher Weise wurde die geringste N-Menge, die in Wiesenschwingel und Welschem Weidelgras auf einer der Monitoringflächen mit geringer Grundleistung gefunden wurde, zur Ableitung der Jahresbasiswerte der Futterleguminosen im ein- und überjährigen Anbau genutzt (Tab. 8).

Die Kalkulation der Boden-N-Nachlieferung mit Hilfe der Standortdaten Ackerzahl (Az) und Vorfruchtwirkung zeigt gute bis sehr gute Beziehungen zu den in den Referenzpflanzen Hafer gefundenen Spross-N-Mengen der Erntezeitpunkte BBCH 79 (2005: $r^2 = 0,68$; 2006: $r^2 = 0,91$; Abb. 3a) und BBCH 89 (2005: $r^2 = 0,75$; 2006: $r^2 = 0,95$; Abb. 3b) der Körnererbse. Die Beziehung der kalkulierten Boden-N-Nachlieferung beim Anbau der Futterleguminosen ist wiederum unterschieden in die Systeme einjährig (Welsches Weidelgras als Referenzpflanze Abb. 3a) und mehrjährig (Wie-

senschwingel als Referenzpflanze Abb. 3b). Die Güte der Ableitungen bei Welschem Weidelgras beträgt im Versuchsjahr 2005 bei $r^2 = 0,96$ (ohne Ausreißer) und im Versuchsjahr 2006 bei $r^2 = 0,97$ mit drei Ausreißern). Die geschätzten Werte der Standorte Jahnsfelde (Az 46, Schnittgut-N 20 kg N ha^{-1}), Wildeck (Az 29, Schnittgut-N $87,9 \text{ kg N ha}^{-1}$), Viehhausen (Az 64, Spross-N $124,5 \text{ kg N ha}^{-1}$) liegen zwischen 20 und 32 kg N ha^{-1} über (Jahnsfelde) bzw. unter (Wildeck und Viehhausen) gefundenen Schnittgut-N-Mengen. Die kalkulierten Boden-N-Mengen erreichen mit Abweichungen zwischen 1 und 12 kg N ha^{-1} deutlich bessere Annäherungen an die gefundenen Schnittgut-N-Mengen. In Jahnsfelde gab die im Versuchsjahr 2006 durchgängige Trockenheit sicherlich den Ausschlag für die geringe N-Mineralisation. Die hohen N-Mengen im Welschen Weidelgras in Viehhausen sind vermutlich durch die wiederholte Bodenbearbeitung bei der maschinellen Aussaat zu erklären. Die hohen Boden-N-Mengen am Standort Wildeck wurden als Ergebnis einer sehr hohen Vorfruchtwirkung interpretiert.

Die Beziehungen der Ableitung zwischen der kalkulierten Boden-N-Menge und den im Schnittgut der Referenzpflanze Wiesenschwingel gefundenen N-Mengen ergeben sehr gute bis gute Bestimmtheitsmaße von $r^2 = 0,90$ im Versuchsjahr 2005 mit jeweils zwei Ausreißern (Verl, Az 27, Schnittgut-N-Menge 105 kg N ha^{-1} , Jahnsfelde, Az 46, Schnittgut-N-Menge 101 kg N ha^{-1}) bzw. von $r^2 = 0,65$ im Versuchsjahr 2006 mit drei Ausreißern (Adorf, Az 22, Schnittgut-N-Menge 140 kg N ha^{-1} , Verl, Az 27, Schnittgut-N-Menge 93 kg N ha^{-1} , Podemus, Az 58, Schnittgut-N-Menge 149 kg N ha^{-1}). Dabei nähern sich die kalkulierten N-Mengen den tatsächlich gefundenen Schnittgut-N-Mengen nur mit Differenzen zwischen -24 und -90 kg N ha^{-1} . Aufgrund der Diskrepanz zwischen Ackerzahl (Az) und Boden-N-Nachlieferung wurden die Werte dieser Standorte einer überhöhten Vorfruchtwirkung zugeschrieben. Die Differenzen der übrigen Standorte zu den kalkulierten Werten betragen zwischen 0 und 16 kg N ha^{-1} .

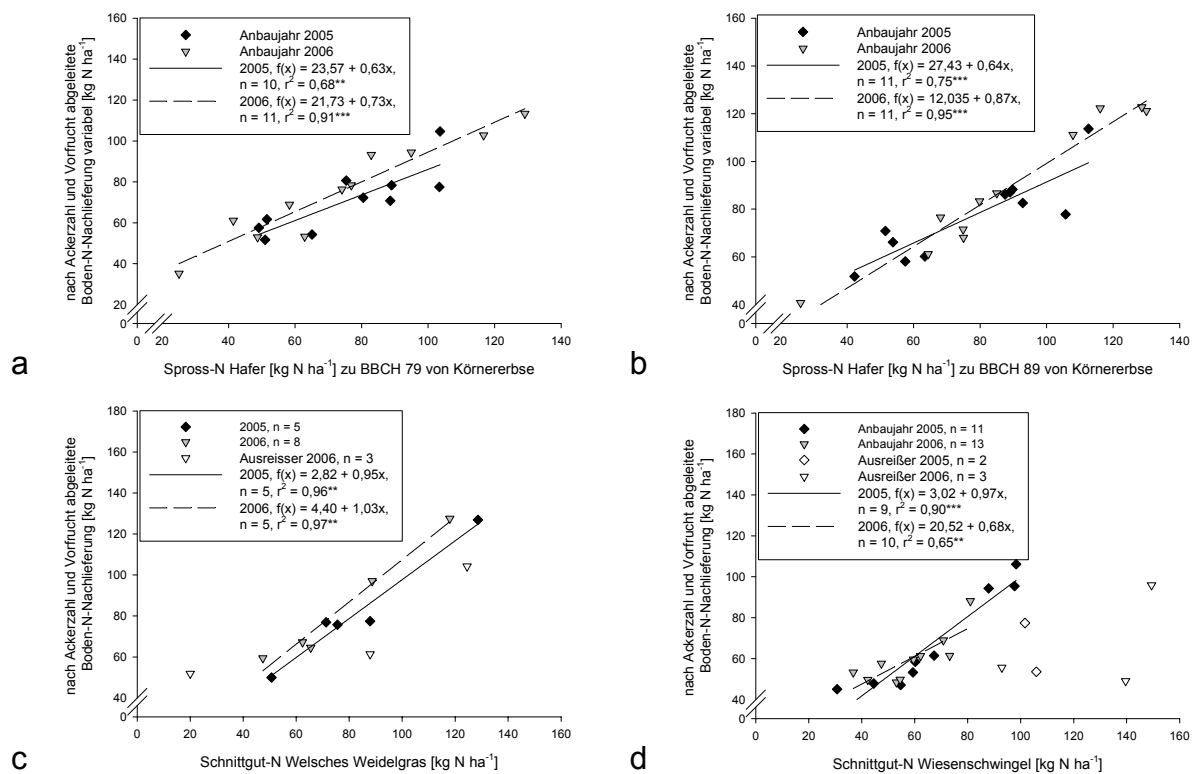


Abb. 3: Ableitung der Boden-N-Nachlieferung beim Anbau von Leguminosen; Beziehung der abgeleiteten Boden-N-Nachlieferung zu der im Spross von Hafer (BBCH 79 [a] und BBCH 89 [b]) bzw. in Welschem Weidelgras (c) und Wiesenschwingel (d) gefundenen N-Mengen

3.2.1 Kalkulationsverfahren Körnerleguminosen in Reinsaat

Zur Ableitung der Kalkulationsverfahren wurden bei den Körnerleguminosenarten Erbse zur Grünspeisenutzung, Körnererbse, Ackerbohne, Weiße und Gelbe Lupine Daten aus der Literatur und eigenen Arbeiten zusammengetragen, in denen Angaben zum Kornertrag, zur N-Akkumulation im Korn und der restpflanzlichen Biomasse (Stroh, Bestandesabfall, Wurzeln, N-Rhizodeposition) verfügbar waren. Als Datengrundlage gingen nur Werte von Beständen ein, die unter mitteleuropäischen Witterungsbedingungen gewachsen waren und bei denen Angaben zur N-Menge in Spross und Wurzel vorhanden waren. Beim Anbau von Körnerleguminosen sind in der landwirtschaftlichen Praxis Daten zum Kornertrag einer Nutzfläche mit vergleichsweise guter Schätzgenauigkeit in den meisten landwirtschaftlichen Betrieben vorhanden. Demgemäß wurde versucht, in Kenntnis des Kornertrages auf die Gesamtpflanzliche N-Akkumulation (N-Menge in Spross und Wurzel) zu schließen. Hierzu wurden für jede Körnerleguminosenart entsprechende Regressionsfunktionen zwischen dem Korn-Trockenmasseertrag und der N-Menge im Korn sowie dem Korn-

Trockenmasseertrag bzw. Korn-N-Ertrag und der N-Menge im Ernterückstand abgeleitet. Darüber hinaus wurde in den Kalkulationsverfahren die N-Menge, die aus der Symbiose über Rhizodeposition in den Boden abgegeben wird, artspezifisch berücksichtigt. Die symbiotisch fixierte N-Menge wird in den Kalkulationsverfahren jahresbezogen aus den Daten zum bodenbürtigen N-Angebot an den Monitoringstandorten, Angaben zum Standort (Ackerzahl, Unkrautwachstum, N-Düngung zur Vorfrucht) spezifisch für jede Leguminosenart abgeleitet. Da im Feld beim Anbau von Leguminosen auch bei sehr hohem bodenbürtigen N-Angebot im Boden stets ein kleiner Teil der Stickstoffaufnahme aus der Luft zu verzeichnen ist, wurde im Kalkulationsverfahren in LeNi Ba *Eco* der Anteil Stickstoff aus der Luft in der Biomasse der Leguminose auf größer gleich 10 % (0,1; JOST 2003, vgl. Gleichung 12b der Reinsaat) gesetzt. D.h. dass in allen Fällen mindestens 10 % des gesamt-pflanzlichen Stickstoffs der Leguminose aus der Luft stammt.

3.2.1.1 Erbse zur Grünspeisenutzung

Die Nutzungsform Erbse zur Grünspeisenutzung ist in der Literatur verglichen mit anderen Arten und Nutzungsformen nur in geringem Umfang vorhanden. Die erforderlichen Angaben der N-Mengen in Korn, Spross und Wurzel wurden aus RÄTZ (1997 und 1998) und JOST (2003) gewonnen.

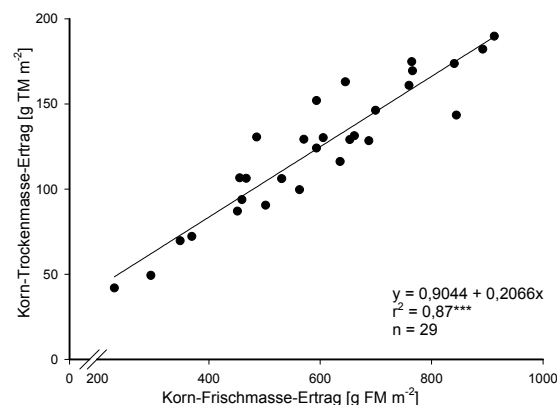


Abb. 4: Regression des Korn-Trockenmasse-Ertrags auf den Korn-Frischmasse-Ertrag der Grünspeiseerbse (Quellen: RÄTZ 1997 und 1998, JOST 2003)

In der landwirtschaftlichen Praxis liegen die Ertragsdaten der Grünspeiseerbse als Angabe der Frischmasse (dt FM ha⁻¹) vor. Der Zeitpunkt der Beerntung der Grünspeiseerbse (Gemüseerbse) wird mit Hilfe von Tenderometern bestimmt und liegt bei 110 bis 120 Einheiten, was dem Entwicklungsstadium von BBCH 79 entspricht. Das Bestimmtheitsmaß zur Beschreibung der Güte der Beziehung zwischen Korn-Tro-

ckenmasse-Ertrag der geernteten Korn-Frischmasse von 0,87 (Abb. 4) erlaubt die Nutzung der Regression im Kalkulationsverfahren (vgl. Tab. A 3, Gleichung 2). Ebenso wie in den folgenden Modellen z.B. der Körnererbse oder der Ackerbohne erlaubt der Datensatz der Grünspeiseerbse die Ableitung der Korn-N-Menge aus der Angabe des Korn-Trockenmasseertrags mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,97 (Abb. 5). Die Ableitung der gesamt-pflanzlichen N-Menge ist bei der Grünspeiseerbse indirekt über die Beziehung des gesamt-pflanzlichen Stickstoff-Harvest-Indexes (H_{NBt}) auf die Korn-Trockenmasse (Tab. A 3) mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,66 möglich (Abb. 6, Tab. A 3, vgl. Tab. A 3, Gleichung 7).

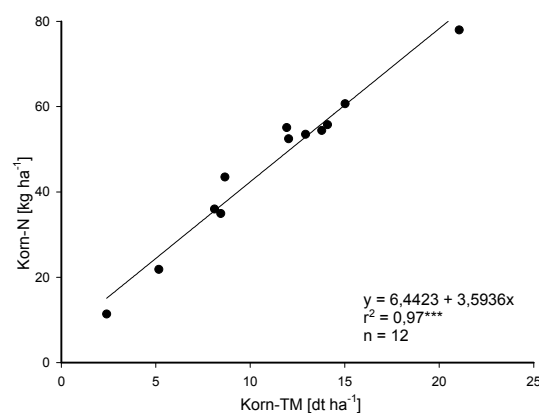


Abb. 5: Regression des Korn-Trockenmasse-Ertrags auf die Korn-N-Menge auf der Grünspeiseerbse (Quellen: RÄTZ 1997 und 1998, JOST 2003)

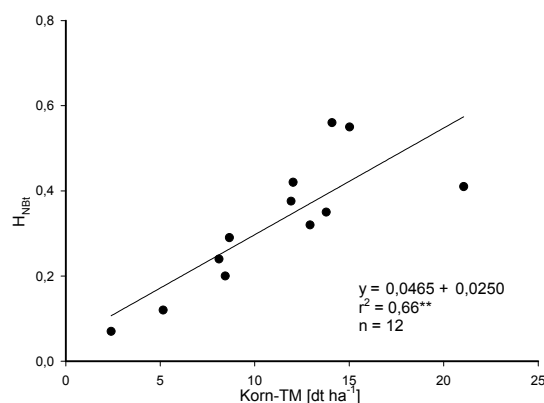


Abb. 6: Regression des Stickstoff-Harvestindex (H_{NBt}) auf den Korn-Trockenmasse-Ertrag der Grünspeiseerbse (Quellen: RÄTZ 1997 und 1998, JOST 2003)

Im Kalkulationsverfahren werden Ernteverluste zwischen 2 und 20 % einberechnet, um die Berechnung der N_2 -Fixierleistung und der N-Flächenbilanz mit den insgesamt gewachsenen Ertragsleistungen durchzuführen. Des Weiteren wird die Konkurrenzsituation um das Boden-N-Angebot durch die in der landwirtschaftlichen Praxis häufig

zu beobachtende starke Verunkrautung (CORRE-HELLOU et al. 2005) und der unkrautbedingten N-Aufnahme von bis zu 20 kg N ha^{-1} berücksichtigt.

Die vorliegenden Daten aus der Literatur zur Grünspeiseerbse reichen nicht aus, um wie bei Erbse und Ackerbohne in Reinsaat die Aufnahme des Bodenstickstoffs aus der parallel gewachsenen Referenzfrucht Hafer ableiten zu können. Daten aus isotopengestützten Untersuchungen lagen dazu nicht in ausreichender Menge vor. In Anlehnung an die erweiterte Differenzmethode (HAUSER 1987) wird die bodenbürtige N-Aufnahme der Grünspeiseerbse aus dem parallel wachsenden nicht mit Stickstoff gedüngten Hafer im Reinbestand und dem gemittelten Unterschied im N_{\min} -Vorrat des Bodens unter Grünspeiseerbse und Hafer berechnet. Diese mittlere Differenz im N_{\min} -Vorrat im Boden ($= 16,2 \text{ kg N ha}^{-1}$, vgl. Gleichung 12a, Tab. A 3) wurde aus der Arbeit von JOST 2003 entnommen. Die Kalkulation der N_2 -Fixierleistung und der N-Flächenbilanz wird im ISIP-Modul LeNi Ba *Eco* nach dem in Tab. A 3, Gleichung 12a beschriebenen Schema durchgeführt. Aus den Untersuchungen von JOST (2003) zur N-Akkumulation von Hafer in Spross und Wurzel wurde das mittlere Verhältnis der N-Menge in der Wurzelmasse zur Spross-N-Menge des Hafers berechnet ($= 0,111$, entspricht dem Faktor 1,111 in Gleichung 12a, Tab. A 3). Der Anteil des in Spross und Wurzel befindlichen Stickstoffs, der während des Wachstums als Rhizodeposition in den Boden gelangt, wird mit 8,7 % einberechnet. Die Angabe zur N-Rhizodeposition beim Anbau von Grünspeiseerbse wurde der Arbeit von SAWATSKY et al. (1991) entnommen. Diese zwei Faktoren fließen ebenfalls in die Kalkulation der N_2 -Fixierleistung und N-Flächenbilanz der Grünspeiseerbse ein (Tab. A 3, Gleichung 12a bzw. 12a+b).

3.2.1.2 Körnererbse

Bei der Ableitung der Funktionen zur Kalkulation der symbiotischen N_2 -Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau der Körnererbse konnte auf Daten einer Reihe von Arbeiten zurückgegriffen werden, in denen alle erforderlichen Parameter erhoben wurden. Es flossen Daten aus den Arbeiten von PROTZMANN (1991), HAYNES et al. (1993), SCHMIDTKE (1997), SCHMIDTKE (2001), REITER et al. (2002), JOST (2003) und WICHMANN (2004) ein. Um den Kornertrag der Körnererbse mit einer bei Ernte vorhandenen Restfeuchte zum Trockenmasseertrag korrigieren zu können, wird im Kalkulationsmodul LeNi Ba *Eco* die Eingabe des Kornertrags mit dem eingegebenen

Wert der Restfeuchte im Korn verrechnet. In einem nächsten Schritt wird der Ertrag um den einzugebenden Wert der Ernteverluste zwischen 2 und 20 % korrigiert (vgl. Tab. A 4, Gleichungen 3 und 4).

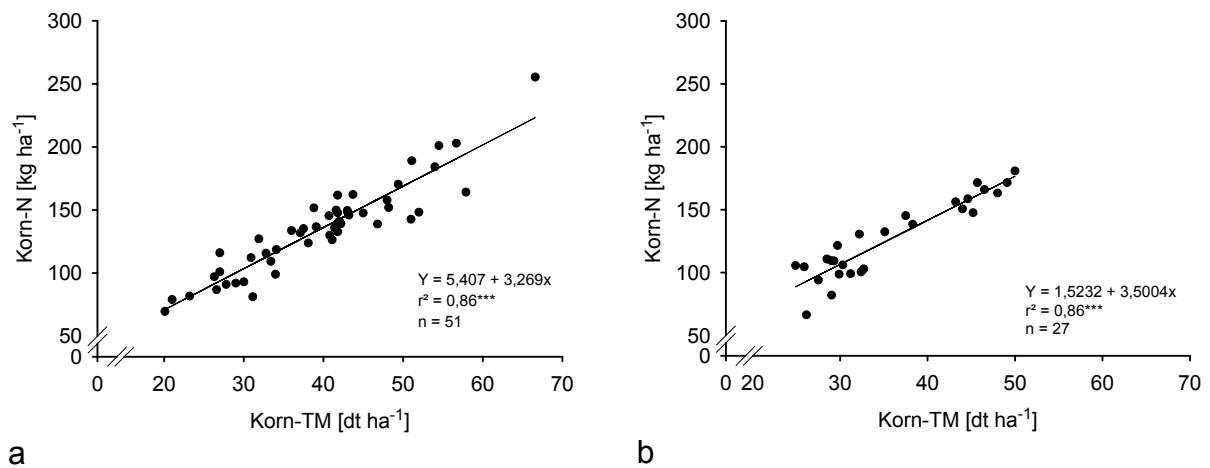


Abb. 7: Regression der Korn-N-Menge auf den Korn-TM-Ertrag der Körnererbse, die unter trocken-warmen (a) bzw. feucht-kühlen Bedingungen (b) zwischen Blüte und Ende Kornfüllungsphase gewachsen sind (Quellen: PROTZMANN 1991, HAYNES et al. 1993, SCHMIDTKE 1997, SCHMIDTKE 2001, REITER et al. 2002, JOST 2003 und WICHMANN 2004)

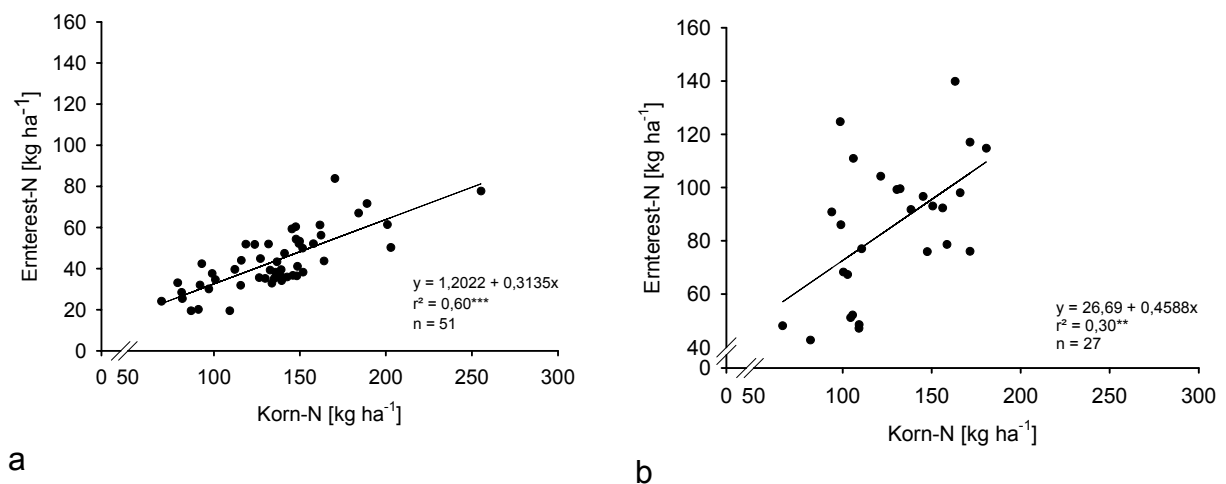


Abb. 8: Regression der N-Menge im Ernterückstand (Wurzel-N + Stroh-N) auf den Korn-N-Ertrag der Körnererbse, die unter trocken-warmen (a) bzw. feucht-kühlen Bedingungen (b) zwischen Blüte und Ende Kornfüllungsphase gewachsen sind (Quellen: PROTZMANN 1991, HAYNES et al. 1993, SCHMIDTKE 1997, SCHMIDTKE 2001, REITER et al. 2002, JOST 2003 und WICHMANN 2004)

Der Datensatz der Körnererbse wurde in zwei Gruppen geteilt, da sich zeigte, dass bei trocken-warmer Witterung in der Phase Blüte bis Ende Kornfüllungsphase in den Ernterückständen der Erbse je Einheit Korn-Stickstoff geringere Mengen Stickstoff

befanden als im Vergleich zu Erbsen, die unter kühl-feuchten Bedingungen gewachsen waren (SCHMIDTKE 2001). Zwischen dem Korn-Trockenmasseertrag der Erbse und der N-Menge im Korn sowie zwischen Korn-N-Menge und der N-Menge in den Ernterückständen konnten jeweils für Erbsen, die unter warm-trockenen Witterungsbedingungen zwischen Blüte und Ende der Kornfüllungsphase gewachsen waren (Abb. 7a und Abb. 8a) als auch für Erbsen, die unter kühl-feuchten Witterungsbedingungen zwischen Blüte und Ende der Kornfüllungsphase gewachsen waren (Abb. 7b und Abb. 8b) hinreichend enge Beziehungen nachgewiesen werden, die in den Kalkulationsverfahren von LeNi Ba *Eco* genutzt werden.

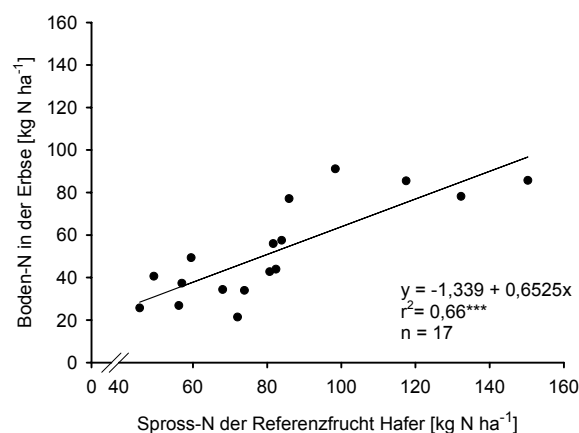


Abb. 9: Regression der mittels stabiler N-Isotope geschätzten gesamt-pflanzlichen N-Aufnahme aus dem Boden der Körnererbse auf die N-Menge im Spross eines zeitgleich am Standort gewachsenen Hafers (Daten aus Feldversuchen von SCHMIDTKE, 1997, SCHMIDTKE 2001, JOST 2003 und WICHMANN 2004)

Anhand vorhandener Daten aus Feldversuchen kann gezeigt werden, dass die im Spross von Hafer enthaltene N-Menge eng korreliert ist mit der bodenbürtigen N-Aufnahme einer zeitgleich am Standort gewachsenen Erbse (Abb. 9). Hierbei wurde die bodenbürtige N-Aufnahme der Erbse in den Arbeiten mittels stabiler N-Isotope und einer Referenzfrucht ermittelt. Diese Regression wurde im Kalkulationsverfahren für Körnererbsen genutzt, um anhand der Daten zum bodenbürtigen N-Angebot am Standort, ermittelt auf Monitoringflächen im Haferspross, auf die N-Aufnahme aus dem Boden der Erbse schließen zu können (vgl. Tab. A 4).

In das Kalkulationsverfahren bei Erbsen werden darüber hinaus die in der landwirtschaftlichen Praxis zu beobachtenden Ernteverluste berücksichtigt (Ernteverluste in Höhe von 2 bis 20 %). Da im Erbsenanbau des ökologischen Landbaus häufig ein

stärkeres Wachstum von Unkräutern festzustellen ist, die aufgrund eines guten Anreignungsvermögens für bodenbürtigen Stickstoff den Vorrat an pflanzenverfügbaren Stickstoff im Boden für die Erbse mindern (CORRE-HELLOU et al. 2005), wird bei stärkerem Unkrautwachstum in den Erbsen ein entsprechender Abzug an bodenbürtigem Stickstoff für die Erbsen berücksichtigt (s. Tab. A 4). Das im Internetportal ISIP eingestellte Modul LeNi Ba *Eco* zur Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau der Körnererbse folgt insgesamt den in Tab. A 4 wiedergegebenen Schema. Hierbei wird ein Anteil Stickstoff am in Spross und Wurzel befindlichen Stickstoff der Körnererbse in Höhe von 13,75 % berücksichtigt (Tab. A 4e, Gleichung 12) der bereits während des Wachstums über Rhizodeposition in den Boden gelangt. Dieser Anteil wurde aus den Angaben zur N-Rhizodeposition der Arbeiten von MAYER et al. (2003), SAWATSKY et al. (1991), SCHMIDTKE 2005a sowie SCHMIDTKE 2005b ermittelt.

3.2.1.3 Ackerbohne

Zur Ableitung der Funktionen zur Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau der Ackerbohne zur Körnernutzung wurden Daten der Arbeiten von GERLING (1983), BUSCH (1987), KÖNIGS (1987), DEKHUIJZEN et al. (1984), HAUSER (1987), AUFHAMMER et al. (1991), HAYNES et al. (1993), GÖBEL (1995), KAUL (1998), SCHMIDTKE (2001), JOST (2003) sowie ANTHES (2005) herangezogen. Die Restfeuchte des Erntegutes wird zur Berechnung des Trockenmasseertrags in LeNi Ba *Eco* abgefragt und berücksichtigt. In einem nächsten Schritt wird der Ertrag um den einzugebenden Wert der Ernteverluste zwischen 2 und 20 % korrigiert (vgl. Tab. A 5, Gleichungen 3 und 4).

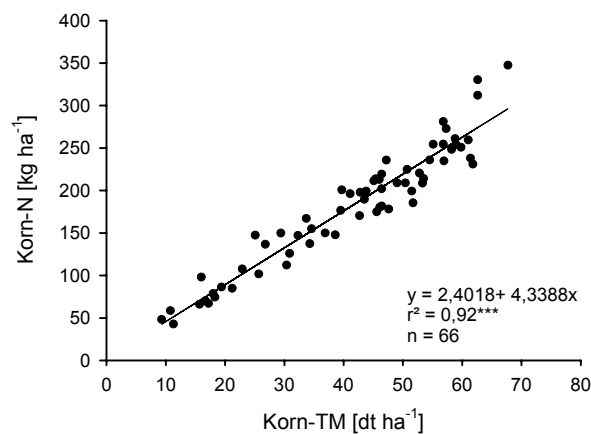


Abb. 10: Regression der Korn-N-Menge auf den Korn-TM-Ertrag der Ackerbohne (Quellen: GERLING 1983, BUSCH 1987, KÖNIGS 1987, DEKHUIJZEN et al. 1984, HAUSER 1987, AUFHAMMER et al. 1991, HAYNES et al. 1993, GÖBEL 1995, KAUL 1998, SCHMIDTKE 2001, JOST 2003 sowie ANTHES 2005)

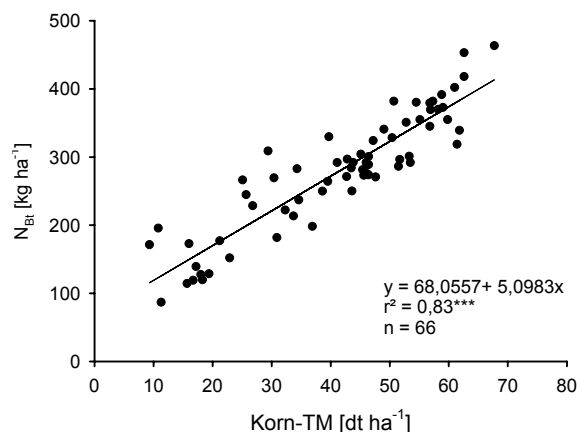


Abb. 11: Regression der gesampflanzlichen N-Menge (N_{Bt}) auf den Korn-TM-Ertrag der Ackerbohne (Quellen: GERLING 1983, BUSCH 1987, KÖNIGS 1987, DEKHUIJZEN et al. 1984, HAUSER 1987, AUFHAMMER et al. 1991, HAYNES et al. 1993, GÖBEL 1995, KAUL 1998, SCHMIDTKE 2001, JOST 2003 sowie ANTHES 2005)

Zwischen dem Korn-TM-Ertrag der Ackerbohne und der N-Menge im Korn sowie zwischen dem Korn-TM-Ertrag und der N-Menge in den Ernterückständen bestehen sehr enge Beziehungen mit Bestimmtheitsmaßen von 0,92 und 0,83 (Abb. 10 und Abb. 11), die in den Kalkulationsverfahren genutzt wurden. So kann die Korn-N-Menge sowie die gesampflanzlich akkumulierte N-Menge der Ackerbohne sehr gut aus dem Kornertrag der Ackerbohne geschätzt werden.

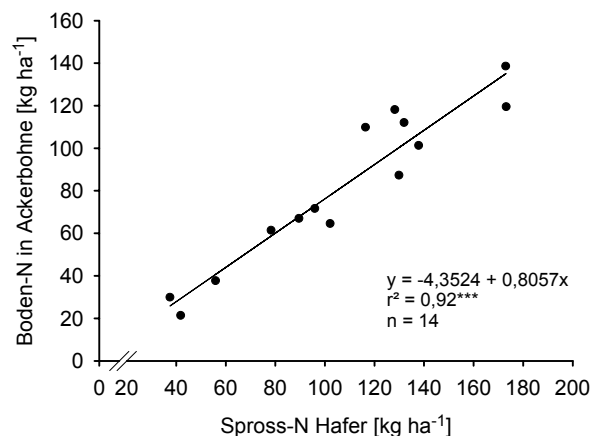


Abb. 12: Regression der mittels stabiler N-Isotope geschätzten gesamtpflanzlichen N-Aufnahme aus dem Boden der Ackerbohne auf die N-Menge im Spross eines zeitgleich am Standort gewachsenen Hafers (Daten aus Feldversuchen von SCHMIDTKE 2001, JOST 2003 und ANTHES 2005)

Enger als bei der Körnererbse (Abb. 9) konnte bei der Ackerbohne anhand vorhandener Daten aus Feldversuchen gezeigt werden, dass die im Spross des Hafers enthaltene N-Menge eng korreliert ist mit der bodenbürtigen N-Aufnahme der zeitgleich am Standort gewachsenen Ackerbohne (Abb. 12). Hierbei wurde die bodenbürtige N-Aufnahme der Ackerbohne analog zum Vorgehen bei der Körnererbse in den Arbeiten mittels stabiler N-Isotope und der Referenzfrucht Hafer ermittelt. Die in Abb. 12 gezeigte Regression wurde im Kalkulationsverfahren der Ackerbohne genutzt, um anhand der Daten zum bodenbürtigen N-Angebot am Standort, ermittelt auf Monitoringflächen im Haferspross, auf die N-Aufnahme aus dem Boden der Ackerbohne schließen zu können (vgl. Tab. A 5).

In das Kalkulationsverfahren der Ackerbohne werden darüber hinaus die in der landwirtschaftlichen Praxis zu beobachtenden Ernteverluste berücksichtigt (Ernteverluste in Höhe von 2 bis 20%) sowie analog zur Vorgehensweise bei der Körnererbse die Konkurrenz um bodenbürtigen Stickstoff bei verstärktem Unkrautwachstum berücksichtigt (Tab. A 5). Das im Internetportal ISIP eingestellte Modul zur Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau der Ackerbohne ist in Tab. A 5 im Anhang wiedergegebenen. Hierbei wird ein Anteil Stickstoff am in Spross und Wurzel befindlichen Stickstoff in Höhe von 13,13 % berücksichtigt (Tab. A 5, Gleichung 12), der beim Anbau der Ackerbohne bereits während des Wachstums über Rhizodeposition in den Boden gelangt. Dieser Anteil wurde aus den

Angaben zur N-Rhizodeposition der Arbeiten von MAYER et al. (2003) sowie SCHMIDTKE (2005b) berechnet.

3.2.1.4 Gelbe Lupine

Versuche zum Anbau von Gelber Lupine sind in wissenschaftlichen Arbeiten selten beschrieben. Die erforderlichen Angaben zu N-Mengen in Korn, Spross und Wurzel stammen aus den Arbeiten von PROTZMANN (1991) und JOST (2003). Das Zusammenführen der Daten ermöglichte eine repräsentative Ableitung der für das Kalkulationsverfahren LeNi Ba *Eco* wichtigen Größen.

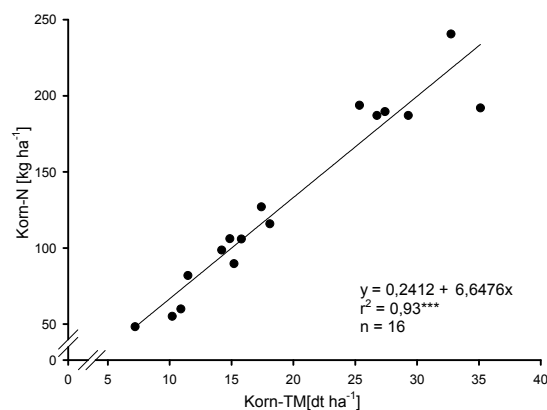


Abb. 13: Regression der Korn-N-Menge auf den Korn-TM-Ertrag der Gelben Lupine (Quellen: PROTZMANN 1991 und JOST 2003)

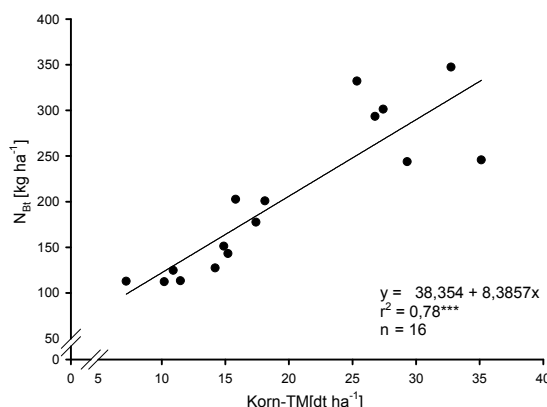


Abb. 14: Regression der gesamt-pflanzlichen N-Menge (N_{Bt}) auf den Korn-TM-Ertrag der Gelben Lupine (Quellen: PROTZMANN 1991 und JOST 2003)

Um den Kornertrag der Gelben Lupine mit einer zur Ernte vorhandenen Restfeuchte zum Trockenmasseertrag korrigieren zu können, wird die Eingabe des Kornertrags

um den eingegebenen Wert der Restfeuchte im Korn und Angaben zur Höhe der Ernteverluste zwischen 2 und 20 % korrigiert (vgl. Tab. A 6, Gleichungen 3 und 4).

Es wurden sehr gute Beziehungen mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,93 zwischen der Korn-N-Menge und dem Korn-TM-Ertrag der Gelben Lupine ermittelt (Abb. 13). Die Beziehung zwischen der gesamt-pflanzlichen N-Menge in Spross und Wurzel auf den Korn-TM-Ertrag mit einer Güte von $r^2 = 0,78$ (Abb. 14) fließt ebenfalls in das Verfahren ein. Die Verunkrautung mit einer entsprechenden Konkurrenzsituation um das Boden-N-Angebot wird je nach Grad der Verunkrautung zwischen 0 und 27,5 kg N ha⁻¹ berücksichtigt (vgl. Tab. A 6, Gleichung 11a-d).

Zur möglichst exakten Ableitung der N₂-Fixierleistung muss die über den Spross der Referenzpflanze Hafer ermittelte N-Menge um den Faktor des Wurzel-N-Menge zur Spross-N-Menge von Hafer (1:0,0692) im reifen Zustand erweitert werden (1:0,0692) im reifen Zustand erweitert werden (vgl. Tab. A 6, Gleichung 12a, Faktor = 1,0692). Zur N-Aufnahme aus dem Boden der Gelben Lupine und einer benachbart wachsenden nichtlegumigen Referenzfrucht lagen in der Literatur aus entsprechenden isotopengestützten Untersuchungen keine ausreichenden Daten vor, um die bodenbürtige N-Aufnahme aus dem Spross-N-Ertrag von Hafer als Referenzfrucht indirekt abzuleiten. Deshalb wurde in Anlehnung an die erweiterte Differenzmethode (HAUSER 1987) die bodenbürtige N-Aufnahme der Gelben Lupine über die N-Aufnahme eines benachbart wachsenden, nicht mit N gedüngten Haferbestandes und der mittleren Differenz im N_{min}-Vorrat des Bodens unter Gelber Lupine in Reinsaat und einem Haferreinsaatbestand ermittelt. Die entsprechende mittlere Differenz im N_{min}-Vorrat im Boden (= 9,8 kg N ha⁻¹, vgl. Gleichung 12a in Tab. A 6) wurde aus der Arbeit von JOST (2003) entnommen. Die N₂-Fixierleistung wird unter Berücksichtigung der artspezifischen N-Rhizodeposition der Gelben Lupine kalkuliert. Hierbei wird ein Anteil Stickstoff am in Spross und Wurzel befindlichen Stickstoff der Gelben Lupine in Höhe von 13,3 % berücksichtigt (vgl. Tab. A 6e, Gleichung 12), der bereits während des Wachstums über Rhizodeposition in den Boden gelangt. Dieser Anteil wurde aus den Angaben zur N-Rhizodeposition aus der Arbeit von SCHMIDTKE 2005a sowie SCHMIDTKE 2005b übernommen.

3.2.1.5 Weiße Lupine

Ähnlich wie bei Gelber Lupine sind Versuche zum Anbau von Weißer Lupine in wissenschaftlichen Abhandlungen aus isotonenbasierten Untersuchungen selten beschrieben, bzw. es fehlen die erforderlichen Angaben zu N-Mengen in Korn, Spross und Wurzel. Die für die Kalkulationen in LeNi Ba *Eco* genutzten Daten stammen aus den Arbeiten von PROTZMANN (1991) und JOST (2003), mit deren Hilfe das Erstellen repräsentativer Ableitung mit einer hohen Güte möglich war.

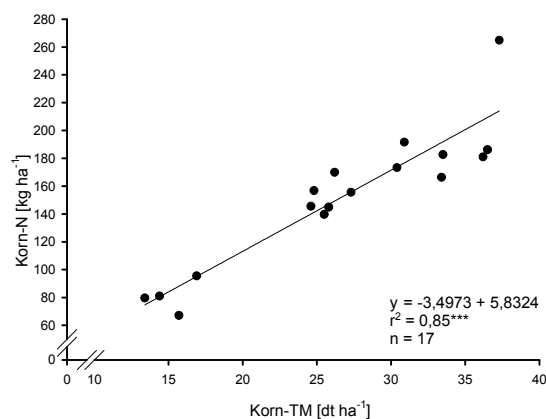


Abb. 15: Regression der Korn-N-Menge auf den Korn-TM-Ertrag (a) und der gesamtpflanzlichen N-Menge (N_{Bt}) auf den Korn-TM-Ertrag der Weißen Lupine (Quellen: PROTZMANN 1991 und JOST 2003)

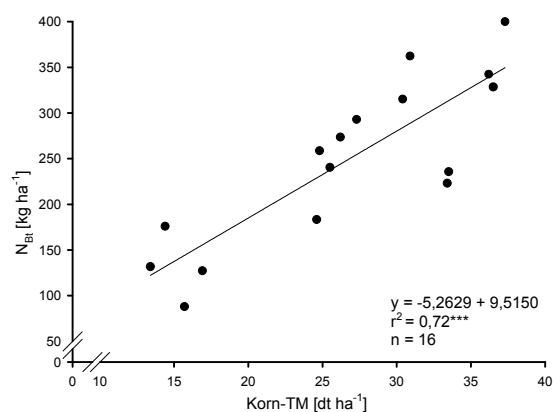


Abb. 16: Regression der gesamtpflanzlichen N-Menge (N_{Bt}) auf den Korn-TM-Ertrag der Weißen Lupine (Quellen: PROTZMANN 1991 und JOST 2003)

Der eingegebene Kornertrag wird um den Betrag der Restfeuchte im Korn zum Zeitpunkt der Ernte und um die Ernteverluste zwischen 2 und 20 % reduziert. Zwischen Korn-N-Ertrag und Korn-TM-Ertrag wurden sehr hoch signifikante Beziehungen mit einem Bestimmtheitsmaß von $r^2 = 0,85$ gefunden (Abb. 15). Die ebenfalls sehr hoch

signifikante Ableitung zwischen der gesamt-pflanzlichen N-Menge (N_{Bt}) und dem Korn-TM-Ertrag (Abb. 16) erreichte eine Güte von $r^2 = 0,72$. Der Grad der Verunkrautung fließt wie bei der Ackerbohne und der Gelben Lupine mit einer Korrektur des Boden-N-Angebotes zwischen 0 und 27,5 kg N ha⁻¹ in die Kalkulationen mit ein (vgl. Tab. A 7, Gleichung 11a-d).

Die daran anschließende Kalkulation der N₂-Fixierleistung erfolgt in mehreren Teilschritten. Die über den Spross der Referenzpflanze Hafer ermittelte N-Menge wird um den Faktor des Spross-Wurzelverhältnisses von Hafer (1:0,0692) im reifen Zustand erweitert (vgl. Tab. A 7d, Gleichung 12a, Faktor = 1,0692).

Die in der Literatur vorliegenden Ergebnisse zur N-Aufnahme aus dem Boden der Weißen Lupine und einer benachbart wachsenden Gras-Referenzfrucht aus entsprechenden isotopengestützten Untersuchungen reichten nicht aus, so dass eine indirekte Ableitung der bodenbürtigen N-Aufnahme aus dem Spross-N-Ertrag von Hafer als Referenzfrucht nicht möglich war. In Anlehnung an die erweiterte Differenzmethode nach HAUSER (1987) wurde die bodenbürtige N-Aufnahme der Weißen Lupine über die N-Aufnahme eines benachbart wachsenden, nicht mit N gedüngten Haferbestandes und der mittleren Differenz im N_{min}-Vorrat des Bodens unter Weißer Lupine in Reinsaat und einem Haferreinsaatbestand ermittelt. Die entsprechende mittlere Differenz im N_{min}-Vorrat im Boden (= 10,5 kg N ha⁻¹, vgl. Tab. A 7, Gleichung 12a) der Arbeit von JOST (2003) entnommen. Die N₂-Fixierleistung wird unter Einbezug der artspezifischen N-Rhizodeposition der Weißen Lupine kalkuliert. Hierbei wird ein Anteil Stickstoff am in Spross und Wurzel befindlichen Stickstoff der Weißen Lupine in Höhe von 18,8 % berücksichtigt (vgl. Tab. A 7, Gleichung 12a und b), der bereits während des Wachstums über Rhizodeposition in den Boden gelangt. Dieser Wert stammt aus den Angaben zur N-Rhizodeposition aus der Arbeit von SCHMIDTKE (2005a).

3.2.2 Kalkulationsverfahren Körnerleguminosen im Gemenge mit Hafer

Im Kalkulationsverfahren LeNi Ba *Eco* können neben der N₂-Fixierleistung und der N-Flächenbilanz verschiedener Körnerleguminosenarten in Reinsaat die entsprechenden Werte auch für Gemenge aus Erbse und Hafer sowie Ackerbohne und Hafer kalkuliert werden. Hierbei wird zwischen den Nutzungsvarianten Ganzpflanzensi-

lage (GPS) und Körnernutzung unterschieden. Beim Anbau von Leguminosen im Feld wird auch bei sehr hohem bodenbürtigen N-Angebot im Boden stets ein kleiner Teil der Stickstoffaufnahme aus der Luft fixiert. Aus diesem Grund wurde im Kalkulationsverfahren in LeNi Ba *Eco* der Anteil Stickstoff aus der Luft in der Biomasse der Leguminose auf größer gleich 10 % (Faktor 0,1; JOST 2003, vgl. Gleichung 17b der Gemenge) gesetzt. Das heißt, dass in allen Fällen mindestens 10 % des gesamt-pflanzlichen Stickstoffs der Leguminose aus der Luft stammt.

3.2.2.1 Erbse-Hafer-Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage

Zur Ableitung der Funktionen zur Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau eines Erbse-Hafer-Gemenges, sollten Arbeiten genutzt werden, die Daten zum gesamt-pflanzlichen (Spross und Wurzel) TM- und N-Ertrag, N-Menge beider Gemengepartner und Berechnungen der N₂-Fixierleistung mittels isotonenbasierter Verfahren liefern. Unter diesen Voraussetzungen konnte lediglich auf die Arbeit JOST (2003) zurückgegriffen werden.

Zur Kalkulation der N₂-Fixierleistung und der N-Flächenbilanz beim Gemengeanbau muss die N-Aufnahme der Gemengepartner separat betrachtet werden. Im ersten Schritt werden deshalb im Kalkulationsverfahren die prozentualen Ertragsanteile am Gesamtschnittgut-Ertrag (dt FM ha⁻¹) anhand der Eingabe (vgl. Tab. A 8, Gleichung 2a, b) und der Trockenmassegehalt gestaffelt in vier Stufen zwischen 25 und 40 % Trockenmassegehalt (vgl. Tab. A 8, Gleichung 3a-d Gemengepartner Erbse bzw. 8a-d für Gemengepartner Hafer) berechnet.

Bei den Gemengepartnern Erbse und Hafer kann die Schnittgut-N-Menge mit Hilfe sehr guter und guter Ableitungen (Erbse $r^2 = 0,91$, Abb. 17 bzw. Hafer $r^2 = 0,62$, Abb. 18) anhand des Schnittgutertrages berechnet werden, um die insgesamt im Schnittgut enthaltene N-Menge im Kalkulationsverfahren mit den Gleichungen 4 und 9 (vgl. Tab. A 8) schätzen zu können. Im Kalkulationsverfahren werden Ernteverluste zwischen 2 und 20 % zugeteilt, um die Berechnung der N₂-Fixierleistung und der N-Flächenbilanz anhand des im Feld insgesamt gewachsenen Bestandes durchführen zu können (Gleichung 5a-d).

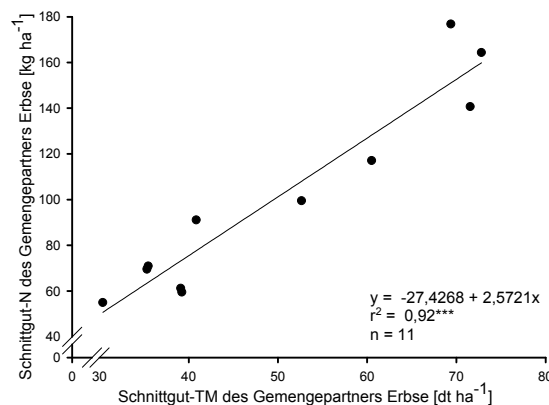


Abb. 17: Regression des Schnittgut-N-Ertrags auf den Schnittgut-TM-Ertrag des Gemengepartners Erbse im Erbse-Hafer-Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (Quelle: JOST 2003)

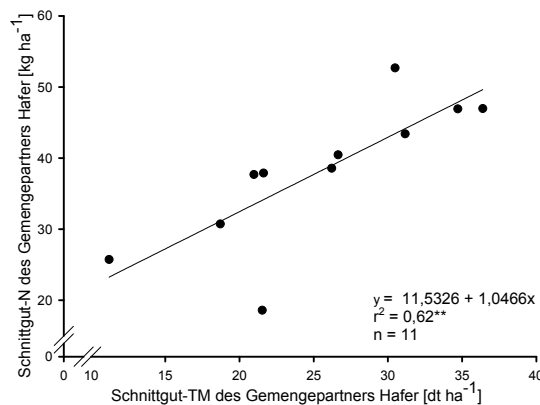


Abb. 18: Regression des Schnittgut-N-Ertrags auf den Schnittgut-TM-Ertrag des Gemengepartners Hafer im Erbse-Hafer-Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (Quelle: JOST 2003)

Die genaue Aufteilung der Wurzelmasse und der darin enthaltenen N-Mengen ist durch Untersuchungen zum Wurzelmasseertrag beim Anbau von Gemengen derzeit nicht möglich. Die Gewichtung der N-Mengen in den Wurzeln der jeweiligen Gemengepartner für die Kalkulation der N-Flüsse im Gemengebau ist jedoch erforderlich. Aus diesem Grund wurde für die Ableitung der N-Mengen in den Wurzeln der Gemengepartner anhand der von JOST (2003) berechneten Verhältnisse zur N-Menge im Spross und der Wurzel von Erbse und Hafer in Reinsaat berechnet. Die Ableitung der gesamt-pflanzlichen N-Mengen der Gemengepartner Erbse und Hafer unter Aufteilung der unter dem Gemenge gefundenen Wurzelmasse wurde mit Hilfe der jahres- und standortspezifischen Spross-Wurzel-Verhältnisse der Reinsaaten von JOST (2003) durchgeführt. Die so gewonnenen Daten erlauben sowohl für die Erbse ($r^2 = 0,91$, Abb. 19) als auch für den Hafer ($r^2 = 0,65$, Abb. 20) im Gemengebau die Ablei-

tung der gesamt-pflanzlichen N-Menge unter Angabe des Schnittgut-trockenmasse-ertrags (Gleichungen 7 und 11, Tab. A 8). Des Weiteren wird die Konkurrenz-situation um das Boden-N-Angebot durch die zu beobachtende Verunkrautung (CORREHELLOU et al. 2005) von 0 bis zu 20 kg N ha⁻¹ an N-Aufnahme durch die Unkräuter berücksichtigt (vgl. Tab. A 8, Gleichung 15a-d).

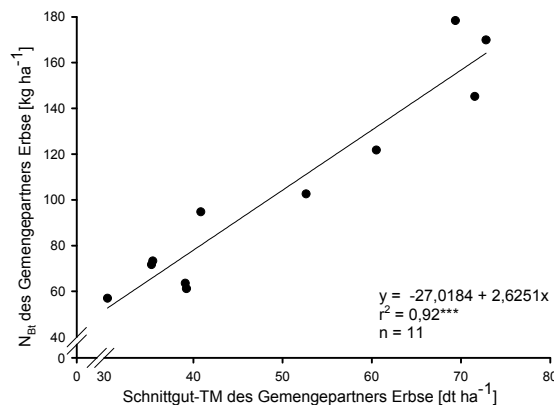


Abb. 19: Regression der gesamt-pflanzlichen N-Menge auf den Schnittgut-TM-Ertrag des Gemengepartners Erbse im Erbse-Hafer-Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (Quelle: JOST 2003)

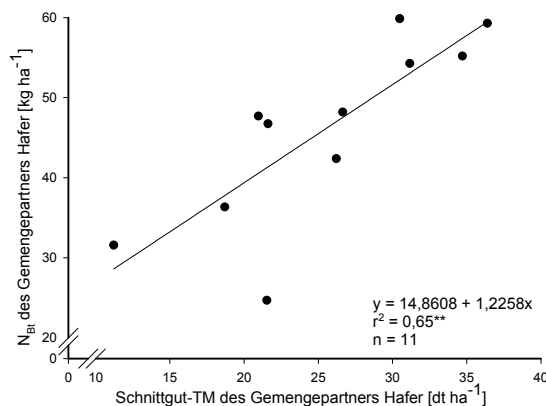


Abb. 20: Regression der gesamt-pflanzlichen N-Menge auf den Schnittgut-TM-Ertrag des Gemengepartners Hafer im Erbse-Hafer-Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (Quelle: JOST 2003)

Bei den Datenerhebungen auf den Monitoringstandorten der Körnerleguminosen konnte nur der N-Ertrag im Spross des Hafers als Referenzfrucht erfasst werden. Um die gesamt-pflanzlich akkumulierte N-Menge des Hafers zu ermitteln, wurde aus den Untersuchungen von JOST (2003) das mittlere Verhältnis der N-Menge in der Wurzelmasse im Hafer zur Spross-N-Menge berechnet (= 0,111). Diese Größe geht als Faktor 1,111 in die Berechnung der symbiotisch fixierten N-Menge der Erbse im Gemenge mit Hafer zur Ganzpflanzensilage ein (Gleichung 16, Tab. A 8).

Die in der Literatur vorliegenden Daten zur N-Aufnahme aus dem Boden der Erbse im Gemenge mit Hafer und einer benachbart wachsenden Referenzfrucht (Hafer) reichten nicht aus, um wie bei Erbse und Ackerbohne in Reinsaat die bodenbürtige N-Aufnahme der Erbse im Gemenge aus dem Spross-N-Ertrag der Referenzfrucht Hafer indirekt ableiten zu können. Hierzu besteht ein Mangel an Daten aus entsprechenden isotopengestützten Untersuchungen. Deshalb wurde in Anlehnung an die erweiterte Differenzmethode (HAUSER 1987) die bodenbürtige N-Aufnahme des Erbse-Hafer-Gemenges aus der N-Aufnahme des benachbart wachsenden, nicht mit N gedüngten Hafers und der mittleren Differenz im N_{\min} -Vorrat des Bodens unter Erbse-Hafer-Gemenge und einem Hafer-Reinsaatbestand ermittelt. Die entsprechende mittlere Differenz im N_{\min} -Vorrat im Boden ($= 6,9 \text{ kg N ha}^{-1}$, vgl. Gleichung 17a in Tab. A 8) wurde der Arbeit von JOST (2003) entnommen.

Der Anteil des in Spross und Wurzel befindlichen Stickstoffs, der während des Wachstums der Erbse im Gemenge mit Hafer zur Nutzung als Ganzpflanzensilage über Rhizodeposition in den Boden gelangt, wird wie bei der Grünspeiseerbse mit 8,7 % kalkuliert (Tab. A 8, Gleichung 17a+b). Diese Angabe zur N-Rhizodeposition stammt aus der Arbeit von SAWATSKY et al. (1991).

3.2.2.2 Erbse-Hafer-Gemenge zur Körnernutzung

Wie beim Gemenge Erbse und Hafer zur Ganzpflanzensilage wurden für die Ableitung der Funktionen zur Kalkulation der symbiotischen N_2 -Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau eines Erbse-Hafer-Gemenges zur Körnernutzung Arbeiten genutzt, in denen Daten zum Korn-TM- und N-Ertrag und der gesamt-pflanzlichen N-Menge (Spross und Wurzel) der Gemengepartner getrennt aufgeführt sind und Berechnungen der N_2 -Fixierleistung mittels isotopebasierter Verfahren liefern. Diese Zusammenstellungen finden sich in den Arbeiten von SCHMIDTKE (1997), RÄTZ (1997 und 1998) und JOST (2003) und wurden durch schriftliche Mitteilungen der AutorInnen (RÄTZ, SCHMIDTKE) ergänzt wurden.

Die Gemengepartner Erbse und Hafer zur Körnernutzung werden im Kalkulationssystem LeNi Ba *Eco* bis zur Ableitung der N_2 -Fixierleistung und der N-Flächenbilanz separat behandelt. Auch hier werden zu Beginn die prozentualen Ertragsanteile am Gesamtkornertrag des Gemenges erfragt (dt TM ha^{-1} , vgl. Tab. A 9, Gleichung 2a, b).

Im Unterschied zu den Ganzpflanzensilagen werden zur Körnernutzung die Restfeuchtegehalte im Korn der beiden Gemengepartner getrennt abgefragt.

Bei den Gemengepartnern Erbse und Hafer kann die Korn-N-Menge mit Hilfe sehr guter Ableitungen (Erbse $r^2 = 0,93$, Abb. 20 bzw. Hafer $r^2 = 0,98$, Abb. 21) berechnet werden, um die im Korn enthaltene N-Menge im Kalkulationsverfahren LeNi Ba *Eco* (vgl. Tab. A 9, mit den Gleichungen 4 und 9) schätzen zu können. Dabei ermöglicht die Abfrage der Ernteverluste gestaffelt zwischen 2 und 20 % die Ermittlung der im Feld insgesamt gewachsenen Biomasse (Tab. A 9, 5a-d).

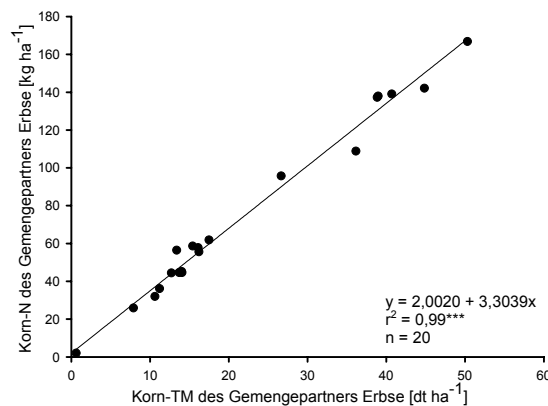


Abb. 21: Regression des Korn-N-Ertrags auf den Korn-TM-Ertrag des Gemengepartners Erbse im Erbse-Hafer-Gemenge zur Körnernutzung (Quellen: SCHMIDTKE 1997, RÄTZ 1997, 1998 und JOST 2003)

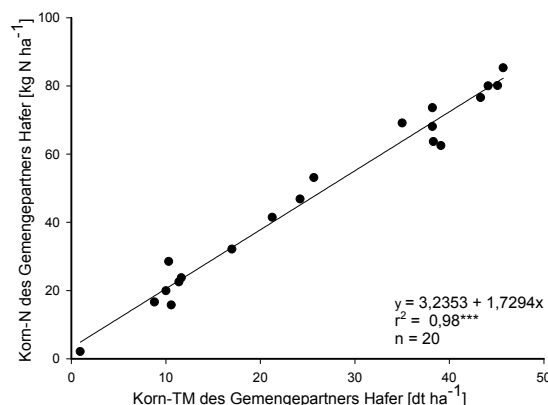


Abb. 22: Regression des Korn-N-Ertrags auf den Korn-TM-Ertrag des Gemengepartners Hafer im Erbse-Hafer-Gemenge zur Körnernutzung (Quellen: SCHMIDTKE 1997, RÄTZ 1997, 1998 und JOST 2003)

Für eine deutlich verbesserte Kalkulation der tatsächlichen N-Flüsse im Gemengebau ist die Gewichtung der N-Mengen in den Wurzeln der jeweiligen Gemengepartner erforderlich. Eine artspezifische Zuordnung der gefundenen Wurzelmassen und der darin enthaltenen N-Mengen ist durch Untersuchungen des Wurzelkonglomerats derzeit nicht möglich. Aus diesem Grund wurden wie beim Gemenge aus Erbse und Hafer zur Nutzung als Ganzpflanzensilage die Ableitungen der N-Mengen in den Wurzeln der Gemengepartner anhand der von JOST (2003) berechneten Verhältnisse zur N-Menge im Spross und der Wurzel von Erbse und Hafer in Reinsaat ermittelt. Die Berechnung der gesamt-pflanzlichen N-Mengen der Gemengepartner Erbse und Hafer unter Aufteilung der unter dem Gemenge gefundenen Wurzelmasse wurde mit Hilfe der jahres- und standortspezifischen Spross-Wurzel-Verhältnisse der Reinsaaten von JOST (2003) durchgeführt. Die so gewonnenen Daten erlauben sowohl für Erbse ($r^2 = 0,93$, Abb. 23) als auch für Hafer ($r^2 = 0,91$, Abb. 24) im Gemenge zur Körnernutzung die Ableitung der gesamt-pflanzlichen N-Menge unter Angabe des Trockenmasseertrags (Gleichungen 7 und 11, Tab. A 9).

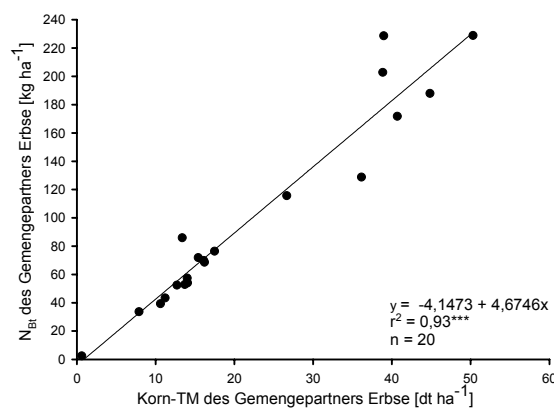


Abb. 23: Regression der gesamt-pflanzlichen N-Menge (N_{Bt}) auf den Korn-TM-Ertrag des Gemengepartners Erbse im Erbse-Hafer-Gemenge zur Körnernutzung (Quellen: SCHMIDTKE 1997, RÄTZ 1997, 1998 und JOST 2003)

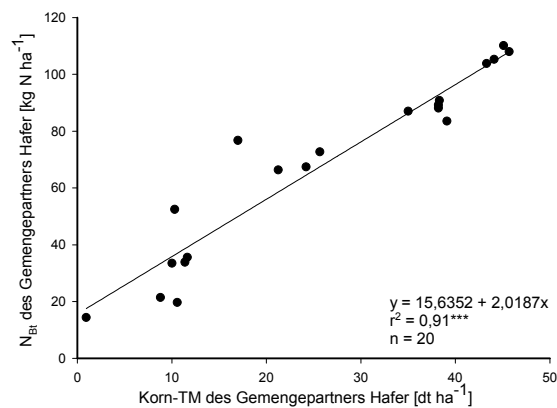


Abb. 24: Regression der gesamt-pflanzlichen N-Menge (N_{Bt}) auf den Korn-TM-Ertrag des Gemengepartners Hafer im Erbse-Hafer-Gemenge zur Körnernutzung (Quellen: SCHMIDTKE 1997, RÄTZ 1997, 1998 und JOST 2003)

Die Reduzierung des Boden-N-Angebotes durch die zu beobachtende Verunkrautung (CORRE-HELLOU et al. 2005) von 0 bis zu 27,5 kg N ha⁻¹ an N-Aufnahme durch die Unkräuter berücksichtigt (vgl. Tab. A 9, Gleichung 15a-d). Die bei den Datenerhebungen auf den Monitoringstandorten der Körnerleguminosen gefundenen Spross-N-Erträge der Referenzpflanze Hafer wurden um den Faktor 1,0692 erweitert, um die gesamt-pflanzlich akkumulierte N-Menge des Hafers (einschließlich N-Menge in den Wurzeln) zu ermitteln. Dieser Faktor wurde aus Daten in JOST (2003) ermittelt, wobei das mittlere Verhältnis der N-Menge in der Wurzelmasse zur Spross-N-Menge im Hafer berechnet wurde ($=0,0692$). Diese Größe geht als Faktor 1,0692 in die Kalkulation der symbiotisch fixierten N-Menge der Erbse im Gemenge mit Hafer zur Körnernutzung ein (vgl. Tab. A 9, Gleichung 16).

In der Literatur liegt keine hinreichend große Menge an Daten aus isotonenbasierten Untersuchungen zur N-Aufnahme aus dem Boden von Erbse im Gemenge mit Hafer zur Körnernutzung und einer benachbart wachsenden Referenzfrucht (Hafer) vor, um wie bei Erbse und Ackerbohne in Reinsaat die bodenbürtige N-Aufnahme der Erbse im Gemenge aus dem Spross-N-Ertrag der Referenzfrucht Hafer indirekt ableiten zu können. In Anlehnung an die erweiterte Differenzmethode (HAUSER 1987) wurde deshalb die bodenbürtige N-Aufnahme des Erbse-Hafer-Gemenges zur Körnernutzung aus der N-Aufnahme des benachbart wachsenden, nicht mit N gedüngten Hafers und der mittleren Differenz im N_{min} -Vorrat des Bodens unter Erbse-Hafer-Gemenge und einem Hafer-Reinsaatbestand ermittelt. Die entsprechende mittlere Differenz im N_{min} -

Vorrat im Boden (= 8,5 kg N ha⁻¹, vgl. Gleichung 17a in Tab. A 9) wurde der Arbeit von JOST (2003) entnommen.

Der Anteil des in Spross und Wurzel befindlichen Stickstoffs, der während des Wachstums der Erbse im Gemenge mit Hafer zur Körnernutzung als Rhizodeposition in den Boden gelangt, liegt danach im Mittel bei 13,75 % der gesamt-pflanzlichen N-Menge (Tab. A 9, Gleichung 17a+b). Diese Angabe zur N-Rhizodeposition wurde aus den Arbeiten von MAYER et al. (2003), SAWATSKY et al. (1991), SCHMIDTKE 2005a sowie SCHMIDTKE 2005b errechnet.

3.2.2.3 Ackerbohne-Hafer-Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage

Zur Ausarbeitung des Kalkulationssystems für den Anbau von Ackerbohne-Hafer-Gemengen zur Ganzpflanzensilage konnte lediglich auf die Arbeit von JOST (2003) zurückgegriffen werden. Hierin fanden sich Angaben aus isotopengestützten Untersuchungen zu den TM- und N-Erträgen in Spross und Wurzel (gesamt-pflanzliche N-Menge) beider Gemengepartner, so dass die Ableitungen der Funktionen zur Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau eines Ackerbohne-Hafer-Gemenges erstellt werden konnten.

Bei den Gemengen zur Nutzung als Ganzpflanzensilage muss die N-Aufnahme der Gemengepartner (hier Ackerbohne und Hafer) einzeln betrachtet werden. Zu Beginn des Kalkulationsverfahrens werden die Ertragsanteile der Gemengepartner in Prozent am Gesamtschnittgut-Ertrag (dt FM ha⁻¹) anhand der Eingabe berechnet (vgl. Tab. A 10, Gleichung 2a, b). Der Trockenmassegehalt wird gestaffelt in vier Stufen zwischen 25 und 40 % Trockenmassegehalt (vgl. Tab. A 10, Gleichung 3a-d Gemengepartner Erbse bzw. 8a-d für Gemengepartner Hafer) ermittelt.

Die Schnittgut-N-Menge der Gemengepartner Ackerbohne und Hafer kann mit Hilfe sehr guter und guter Ableitungen (Ackerbohne $r^2 = 0,95$, Abb. 25 bzw. Hafer $r^2 = 0,57$, Abb. 26) geschätzt werden. Somit kann die insgesamt im Schnittgut enthaltene N-Menge im Kalkulationsverfahren (Gleichungen 4 und 9, Tab. A 10) abgeleitet werden. Zur Berechnung der N₂-Fixierleistung und der N-Flächenbilanz anhand des gesamten im Feld gewachsenen Pflanzenmaterials werden die bei der Ernte der Ganz-

pflanzensilage entstandenen Ernteverluste je nach Angabe zwischen 2 und 20 % berücksichtigt (vgl. 5a-d, Tab. A 10).

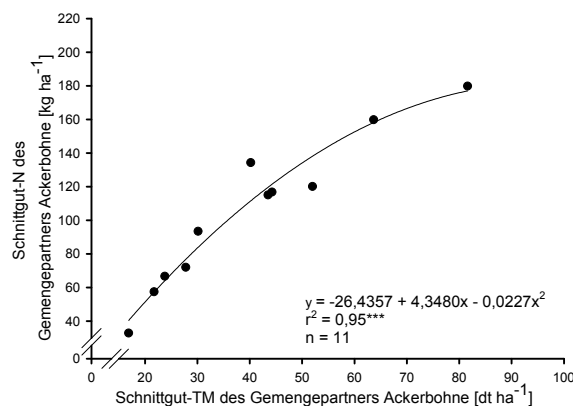


Abb. 25: Regression des Schnittgut-N-Ertrages auf den Schnittgut-TM-Ertrag des Gemengepartners Ackerbohne im Ackerbohne-Hafer-Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (Quelle: JOST 2003)

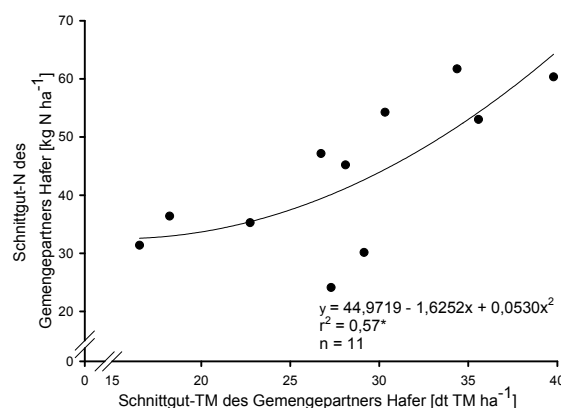


Abb. 26: Regression des Schnittgut-N-Ertrages auf den Schnittgut-TM-Ertrag des Gemengepartners Hafer im Ackerbohne-Hafer-Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (Quelle: JOST 2003)

Die Ableitung der N-Mengen in den Wurzeln der Gemengepartner Ackerbohne und Hafer im Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage wurde anhand der von JOST (2003) berechneten Verhältnisse zur N-Menge im Spross und der Wurzel von Ackerbohne und Hafer in Reinsaat berechnet. Die Ableitung der gesamt-pflanzlichen N-Mengen der Gemengepartner Ackerbohne und Hafer unter Aufteilung der unter dem Gemenge gefundenen Wurzelmasse wurde mit Hilfe der jahres- und standort-spezifischen Spross-Wurzel-Verhältnisse der Reinsaat von JOST (2003) durchgeführt. Dieses indirekte System wurde angewandt, da für die direkte Aufteilung der Wurzelmasse und der darin enthaltenen N-Mengen derzeit keine Methode zur Verfügung steht. Diese Daten ermöglichen die Ableitung der gesamt-pflanzlichen N-Menge unter

Angabe des Schnittgut-trockenmasseertrages der Ackerbohne ($r^2 = 0,95$, Abb. 27) und für Hafer ($r^2 = 0,73$, Abb. 28) im Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (vgl. Gleichungen 7 und 11, Tab. A 10). Im Folgenden wird die Konkurrenzsituation um das Boden-N-Angebot durch die zu beobachtende Verunkrautung (CORREHELLOU et al. 2005) im Bestand in Höhe von 0 bis zu 20 kg N ha⁻¹ an N-Aufnahme durch die Unkräuter berücksichtigt (vgl. Tab. A 10), Gleichung 15a-d).

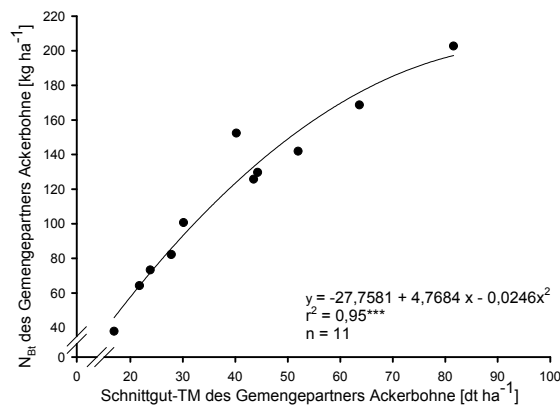


Abb. 27: Regression der gesamt-pflanzlichen N-Menge auf den Schnittgut-TM-Ertrag des Gemengepartners Ackerbohne im Ackerbohne-Hafer-Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (Quelle: JOST 2003)

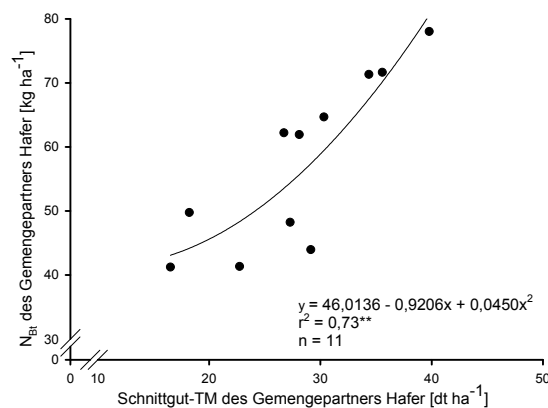


Abb. 28: Regression der gesamt-pflanzlichen N-Menge auf den Schnittgut-TM-Ertrag des Gemengepartners Hafer im Ackerbohne-Hafer-Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (Quelle: JOST 2003)

Die für die Ableitung des Boden-N-Angebotes genutzte Spross-N-Menge der Referenzpflanze Hafer muss auf die gesamt-pflanzlich akkumulierte N-Menge des Hafers erhöht werden. Dazu wurde aus den Untersuchungen von JOST (2003) das mittlere Verhältnis der N-Menge in der Wurzelmasse zur Spross-N-Menge im Hafer berechnet (= 0,111). Diese Größe geht als Faktor 1,111 in die Berechnung der symbiotisch

fixierten N-Menge der Ackerbohne im Gemenge mit Hafer zur Ganzpflanzensilage ein (Gleichung 16, Tab. A 10).

Zur Berechnung N-Aufnahme aus dem Boden der Ackerbohne im Gemenge mit Hafer mit Hilfe einer benachbart wachsenden Referenzfrucht (Hafer) besteht ein Defizit an Daten aus isotopengestützten Untersuchungen, so dass die bodenbürtige N-Aufnahme der Ackerbohne im Gemenge aus dem Spross-N-Ertrag der Referenzfrucht Hafer nicht indirekt abgeleitet werden kann. Deshalb wird im Kalkulationssystem LeNi Ba *Eco* in Anlehnung an die erweiterte Differenzmethode (HAUSER 1987) die bodenbürtige N-Aufnahme des Ackerbohne-Hafer-Gemenges aus der N-Aufnahme des benachbart wachsenden, nicht mit N gedüngten Hafers und der mittleren Differenz im N_{\min} -Vorrat des Bodens unter Ackerbohne-Hafer-Gemenge und einem Hafer-Reinsaatbestand ermittelt. Diese mittlere Differenz des N_{\min} -Vorrates im Boden (= 7,5 kg N ha⁻¹, vgl. Gleichung 17a in Tab. A 10) stammt aus der Arbeit von JOST (2003). Die Angabe in LeNi Ba *Eco* genutzte Angabe zur N-Rhizodeposition stammt aus der Arbeit von MAYER et al. (2003) sowie SCHMIDTKE (2005b). Der Anteil des in Spross und Wurzel befindlichen Stickstoffs, der während des Wachstums der Ackerbohne im Gemenge mit Hafer zur Nutzung als Ganzpflanzensilage als Rhizodeposition in den Boden gelangt, wird mit 13,13 % kalkuliert (Tab. A 10, Gleichung 17a+b).

3.2.2.4 Ackerbohne-Hafer-Gemenge zur Körnernutzung

Wie bei den zuvor beschriebenen Gemengen aus einer Körnerleguminose mit Hafer werden die an die Daten gestellten Ansprüche zur Nutzung innerhalb des Kalkulationssystem LeNi Ba *Eco* nur in wenigen Arbeiten vollständig erfüllt. Zur Erstellung des Kalkulationssystems zur Berechnung der N-Flüsse beim den Anbau von Ackerbohne-Hafer-Gemengen zur Körnernutzung wurde auf Daten aus JOST (2003) und Anthes (2005) zurückgegriffen werden. Diese stammen aus isotopebasierten Feldversuchen und lieferten Angaben zu TM- und N-Erträgen in Korn-, Spross und Wurzel (gesamtpflanzliche N-Menge) der Gemengepartner Ackerbohne und Hafer, so dass die Ableitungen der Funktionen zur Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos erstellt werden konnten.

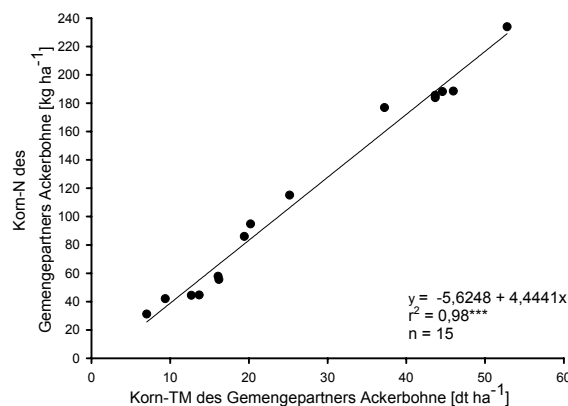


Abb. 29: Regression des Korn-N-Ertrags auf den Korn-TM-Ertrag des Gemengepartners Ackerbohne im Ackerbohne-Hafer-Gemenge zur Körnernutzung (Quellen: JOST 2003 und Anthes 2005)

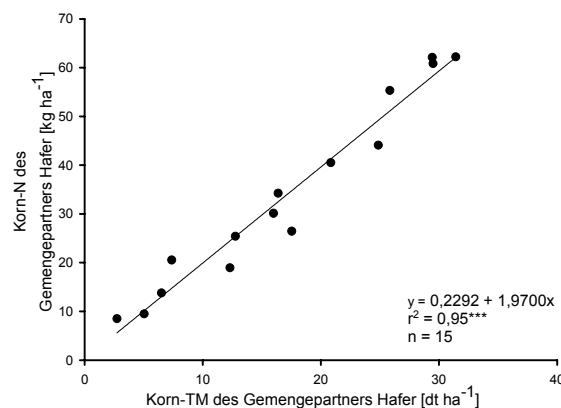


Abb. 30: Regression des Korn-N-Ertrags auf den Korn-TM-Ertrag des Gemengepartners Hafer im Ackerbohne-Hafer-Gemenge zur Körnernutzung (Quellen: JOST 2003 und Anthes 2005)

Im Unterschied zu den Ganzpflanzensilagen werden zur Körnernutzung die Restfeuchtegehalte im Korn der beiden Gemengepartner Ackerbohne und Hafer zur Körnernutzung getrennt abgefragt. Zu Beginn werden die Ertragsanteile (%) am Gesamtkornertrag des Gemenges erfragt (dt TM ha⁻¹, vgl. Tab. A 11, Gleichung 2a, b). Im Folgenden werden Berechnungen der Gemengepartner im Kalkulationssystem LeNi Ba *Eco* bis zur Ableitung der N₂-Fixierleistung und der N-Flächenbilanz ebenfalls einzeln durchgeführt.

Die im Korn enthaltene N-Menge wird im Kalkulationsverfahren LeNi Ba *Eco* geschätzt (vgl. Tab. A 11, mit den Gleichungen 4 und 9), was durch die sehr guten Ableitungen der Korn-N-Menge auf die Korn-TM (Ackerbohne $r^2 = 0,98$, Abb. 29 bzw.

Hafer $r^2 = 0,95$, Abb. 30) möglich ist. Durch die gestaffelte Abfrage der Ernteverluste zwischen 2 und 20 % werden die vom Feld abgefahrenen Erträge auf die im Feld insgesamt gewachsene Biomasse der Pflanzen und den darin enthaltenen Stickstoffmengen korrigiert (Tab. A 11, 5a-d).

Für eine artspezifische Zuordnung der durch die Wurzelbeprobungen gewonnenen Wurzelmassen steht derzeit kein Verfahren zur Verfügung, dass eine zerstörungsfreie Trennung ermöglicht. Somit ist es auch nicht möglich, die in einem Wurzelgemenge enthaltenen N-Mengen artspezifisch zu bestimmen. Zur wesentlichen Verbesserung der Kalkulation der N-Menge im Gemengebau ist die gesamt-pflanzliche Betrachtung, d.h. auch die Betrachtung der unterirdisch im Feld verbleibenden N-Mengen erforderlich. Auch beim Ackerbohne-Hafer-Gemenge wurden die N-Mengen in den Wurzeln der Gemengepartner anhand der von JOST (2003) berechneten Verhältnisse zur N-Menge im Spross und der Wurzel von Ackerbohne und Hafer in Reinsaat ermittelt. Die Berechnung der gesamt-pflanzlichen N-Mengen der Gemengepartner Ackerbohne und Hafer wurde unter Aufteilung der unter dem Gemenge gefundenen Wurzelmasse wurde mit Hilfe der jahres- und standortspezifischen Spross-Wurzel-Verhältnisse der Reinsaaten von JOST (2003) durchgeführt. Sowohl für Ackerbohne ($r^2 = 0,93$, Abb. 31) als auch für Hafer ($r^2 = 0,91$, Abb. 32) im Gemenge zur Körnernutzung ist so die Ableitung der gesamt-pflanzlichen N-Menge unter Angabe des Trockenmasseertrags (Gleichungen 7 und 11, Tab. A 11) möglich.

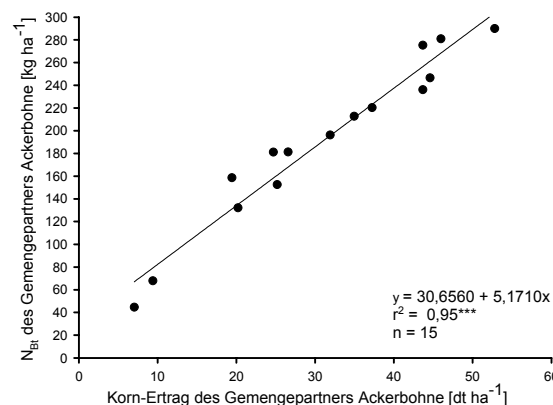


Abb. 31: Regression der gesamt-pflanzlichen N-Menge (N_{Bt}) auf den Korn-TM-Ertrag des Gemengepartners Ackerbohne im Ackerbohne-Hafer-Gemenge zur Körnernutzung (Quellen: JOST 2003 und Anthes 2005)

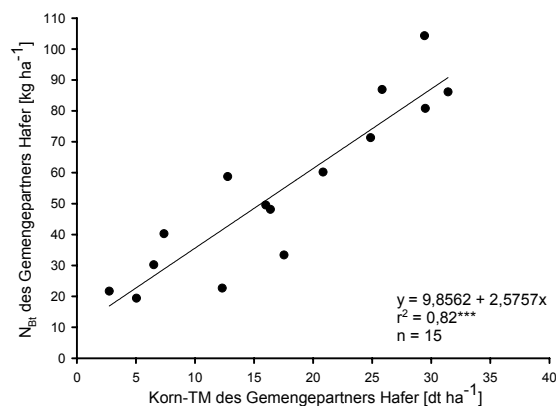


Abb. 32: Regression der gesampflanzlichen N-Menge (N_{Bt}) auf den Korn-TM-Ertrag des Gemengepartners Hafer im Ackerbohne-Hafer-Gemenge zur Körnernutzung (Quellen: JOST 2003 und Anthes 2005)

Durch die im Feld beobachtete Verunkrautung wird das dem Gemenge zur Verfügung stehende Angebot an bodenbürtigem Stickstoff reduziert. Die im Feld gefunden Verunkrautung wird nach Angaben in CORRE-HELLOU et al. (2005) berücksichtigt und nach dem Grad der Verunkrautung in vier Stufen zwischen 0 bis zu 27,5 kg N ha⁻¹ berücksichtigt, da durch die N-Aufnahme der Unkräuter den Kulturpflanzen weniger Stickstoff zur Verfügung steht (vgl. Tab. A 11, Gleichung 15a-d).

Um auf die gesampflanzlich akkumulierte N-Menge des Hafers schließen zu können, werden die bei den Datenerhebungen auf den Monitoringstandorten der Körnerleguminosen gefundenen Spross-N-Erträge der Referenzpflanze Hafer um den Faktor 1,0692 erhöht, der aus Daten in JOST (2003) ermittelt wurde (Verhältnis N-Menge in den Wurzeln zur N-Menge im Spross = 0,0692). Der Faktor geht in die Kalkulation der symbiotisch fixierten N-Menge der Ackerbohne im Gemenge mit Hafer zur Körnernutzung ein (vgl. Tab. A 11, Gleichung 16). Die bodenbürtige N-Aufnahme des Ackerbohne-Hafer-Gemenges zur Körnernutzung wurde in Anlehnung an die erweiterte Differenzmethode (HAUSER 1987) aus der N-Aufnahme des benachbart wachsenden, nicht mit N gedüngten Hafers und der mittleren Differenz im N_{min} -Vorrat des Bodens unter Ackerbohne-Hafer-Gemengen und Hafer-Reinsaatbeständen ermittelt. Diese mittlere Differenz im N_{min} -Vorrat im Boden (= 11,9 kg N ha⁻¹, vgl. Gleichung 17a in Tab. A 11) stammt aus der Arbeit von JOST (2003). Dieses indirekte Verfahren wurde angewandt, da in der Literatur keine ausreichenden Daten aus isotopenbasierten Untersuchungen zur N-Aufnahme aus dem Boden der Ackerbohne im Gemenge

mit Hafer zur Körnernutzung und einer benachbart wachsenden Referenzfrucht (Hafer) vorliegen.

Die Angabe zur N-Rhizodeposition beim Anbau von Ackerbohne stammt als Mittelwert aus den Arbeiten von MAYER et al. (2003) und SCHMIDTKE 2005a. Der Anteil des in Spross und Wurzel befindlichen Stickstoffs, der während des Wachstums der Ackerbohne im Gemenge mit Hafer zur Körnernutzung als Rhizodeposition in den Boden gelangt, wird mit 13,13 % kalkuliert (Tab. A 11, Gleichung 17a+b).

3.2.3 Kalkulationsverfahren Futterleguminosen in Reinsaat

Analog zur Vorgehensweise bei den Körnerleguminosen wurden zur Ableitung der Kalkulationsverfahren für Futterleguminosenbestände im ersten Hauptnutzungsjahr vorliegende Untersuchungsergebnisse zur N-Akkumulation in Spross und Wurzel (Schnittgut, Stoppelmasse, Wurzelmasse, N-Rhizodeposition) aus der Literatur ausgewertet. Als Datengrundlage gingen nur Werte von Beständen ein, die unter mitteleuropäischen Witterungsbedingungen gewachsen waren und bei den Angaben sowohl zur N-Menge im Spross als auch in der Wurzelmasse vorlagen. Da im Feld beim Anbau von Leguminosen auch bei sehr hohem bodenbürtigen N-Angebot im Boden stets ein kleiner Teil der Stickstoffaufnahme aus der Luft zu verzeichnen ist, wurde im Kalkulationsverfahren in LeNi Ba *Eco* der Anteil Stickstoff aus der Luft in der Biomasse der Leguminose auf größer gleich 10 % (0,1; JOST 2003, vgl. Gleichung 12b der Reinsaat) gesetzt. D.h. dass in allen Fällen mindestens 10 % des gesamt-pflanzlichen Stickstoffs der Leguminose aus der Luft stammt.

Als besonders schwierig erwies es sich, die während des Wachstums von Futterleguminosen über die Wurzel in den Boden abgegebene N-Mengen (N-Rhizodeposition) im Kalkulationsverfahren zu berücksichtigen. Zur N-Rhizodeposition lagen entweder keine Untersuchungsergebnisse in der Literatur vor (Persischer Klee) oder die vorliegenden Ergebnisse wichen in der Höhe stark voneinander ab. So beläuft sich bei Rotklee der Anteil über N-Rhizodeposition in den Boden abgegebene N-Menge an der insgesamt in Spross und Wurzel akkumulierten N-Menge nach Untersuchungen von HØGH-JENSEN et al. 2001 auf 56 %, während andere Untersuchungsergebnisse (Schmidtke 2004) nach zwei Schnittnutzungen bei Rotklee nur einen Anteil von 5,1 % und bei Luzerne von 7,6 % nachweisen konnten. In ältere-

ren Arbeiten aus Dauerfeldversuchen ließen sich hingegen Hinweise finden, dass z.B. der Anteil bei Luzerne auf etwa 37 % beläuft (vgl. hierzu Ausführungen bei SCHMIDTKE 2001). Aufgrund dieser stark differierenden Ergebnisse wurde im Rahmen der hier abgeleiteten Kalkulationsverfahren für die einjährig angebauten Bestände mit Persischem Klee ein Anteil an Rhizodepositionsstickstoff in Höhe von 10 % (Faktor 1,1 in Gleichungen 12a und 12b, Tab. A 12 und Tab. A 15) genutzt. Für die überjährig angebauten Bestände mit Rotklee bzw. Luzerne in Reinsaat und im Gemenge mit Gras wurde ein Anteil an N-Rhizodeposition in Höhe von jeweils 20 % einberechnet (Faktor 1,2 in Gleichungen 12a und 12b, Tab. A 13 und Tab. A 16 bzw. Tab. A 14 und Tab. A 17).

3.2.3.1 Persischer Klee

Zur Ableitung der Funktionen zur Kalkulation der symbiotischen N_2 -Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Persischem Klee in Reinsaat mit Aussaat im Frühjahr und einer Schnittnutzung wurde auf Daten aus der Arbeit von JUNG (2003) zurückgegriffen. Darin fanden sich die notwendigen Werte zur N-Akkumulation in Spross und Wurzel von Persischem Klee in Reinsaat aus isotonenbasierten Untersuchungen der Leguminose und der dazu angebauten Referenzpflanze Welches Weidelgras.

Die Ertragsdaten des Persischen Klees stehen in der landwirtschaftlichen Praxis als Angabe der Schnittgut-Frischmasse ($dt\ FM\ ha^{-1}$) zur Verfügung. Das Bestimmtheitsmaß als Beschreibung der Güte der Beziehung zwischen Schnittgut-Trockenmasse-Ertrag und der geernteten Schnittgut-Frischmasse von $r^2 = 0,92$ (Abb. 33, vgl. Tab. A 12) erlaubt die Nutzung der Regression im Kalkulationsverfahren LeNi Ba *Eco* (vgl. Tab. A 12, Gleichung 2). Auch lässt sich die Schnittgut-N-Menge sehr gut aus der Angabe der Schnittgut-Trockenmasse mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,95 herleiten (Abb. 34). Ebenso ist die Ableitung der gesamtpflanzlichen N-Menge in Schnittgut, Stoppeln und Wurzeln (N_{Bt}) des Persischen Klees als Regression auf die Schnittgut-Trockenmasse mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,85 möglich (Abb. 35, vgl. Tab. A 12, Gleichung 7).

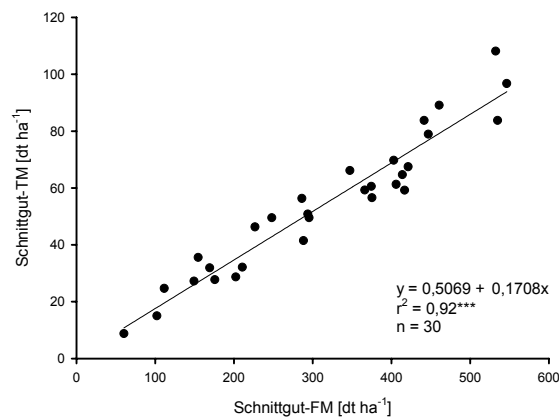


Abb. 33: Regression des Trockenmasse-Ertrages auf den Frischmasse-Ertrag bei Persischem Klee in Reinsaat (Quelle: JUNG 2003)

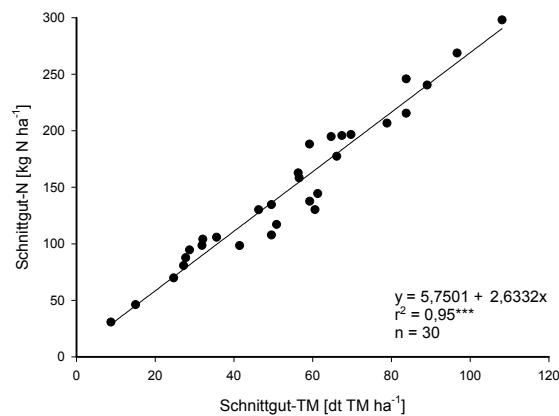


Abb. 34: Regression der Schnittgut-N-Menge auf den Schnittgut-TM-Ertrag bei Persischem Klee in Reinsaat (Quelle: JUNG 2003)

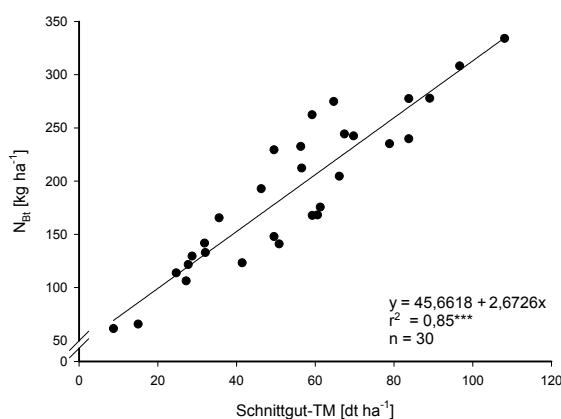


Abb. 35: Regression der gesamt-pflanzlichen N-Menge (N_{Bt}) in Spross und Wurzel auf den Schnittgut-TM-Ertrag bei Persischem Klee in Reinsaat (Quelle: JUNG 2003)

Für Persischen Klee reichten die in der Literatur vorliegenden Daten zur N-Aufnahme aus dem Boden und einer benachbart wachsenden Gras-Referenzfrucht aus isoto-penbasierten Untersuchungen nicht aus, um wie bei Erbse und Ackerbohne in Reinsaat die bodenbürtige N-Aufnahme des Persischen Klees aus dem Spross-N-Ertrag einer Gras-Referenzfrucht indirekt abzuleiten. Die bodenbürtige N-Aufnahme des Persischen Klees deshalb in Anlehnung an die erweiterte Differenzmethode (HAUSER 1987) aus der N-Aufnahme des benachbart wachsenden, nicht mit N gedüngten Gras-Reinsaatbestandes und der mittleren Differenz im N_{\min} -Vorrat des Bodens unter Persischem Klee in Reinsaat und einem Gras-Reinsaatbestand abgeleitet. Aus der Arbeit von JUNG (2003) wurde hierzu die mittlere Differenz im N_{\min} -Vorrat im Boden (= 17,9 kg N ha⁻¹, vgl. Gleichung 12a in Tab. A 12) entnommen.

Der Einfluss von Unkräutern im Bestand von Futterleguminosen auf die bodenbürtige N-Menge wurde von JUNG (2003) beschrieben. Die dem Persischen Klee in Reinsaat zur Verfügung stehende pflanzenverfügbare N-Menge im Boden wird im Rahmen des Kalkulationsverfahrens LeNi Ba *Eco* in Abhängigkeit von der Höhe des zu verzeichnenden Wachstums an Unkräutern im Bestand in vier Stufen zwischen 0 und 20 kg N ha⁻¹ reduziert (Gleichung 11a bis 11d in Tab. A 12). Auf den Monitoringstandorten der Futterleguminosen wurde im Rahmen der Untersuchungen der N-Ertrag in der Schnittgut- und Stoppelmasse der Gras-Referenzfrüchte, hier des Welschen Weidelgrases, erfasst. Aus den in JUNG (2003) veröffentlichten Daten zur N-Akkumulation des Welschen Weidelgrases in Spross und Wurzel wurde das mittlere Verhältnis der N-Menge in der Wurzelmasse zur Spross-N-Menge berechnet (= 0,47), um auf die gesamt-pflanzlich akkumulierte N-Menge des Grases schließen zu können. Diese Größe geht als Faktor 1,47 in die Berechnung der symbiotisch fixierten N-Menge des Persischen Klees in Reinsaat ein (Gleichung 12a, Tab. A 12).

3.2.3.2 Rotklee

Zur Ableitung der Funktionen zur Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Rotklee in Reinsaat, der im ersten Hauptnutzungsjahr nach Ansaat im Vorjahr steht, wurden Daten der Arbeiten von LOPOTZ (1997), LOGES (1998), JUNG (2003) sowie PIETSCH (2004) genutzt. In diesen Arbeiten lagen Angaben zur N-Akkumulation in Spross und Wurzel von Rotklee in Reinsaat im ersten Hauptnutzungsjahr vor.

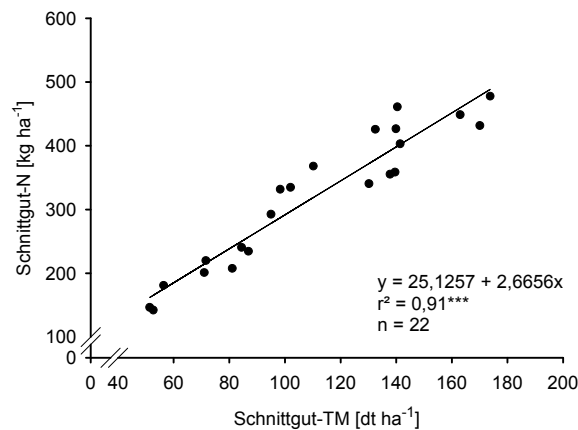


Abb. 36: Regression der Schnittgut-N-Menge auf den Schnittgut-TM-Ertrag bei Rotklee in Reinsaat (Quellen: LOPOTZ 1997, LOGES 1998, JUNG 2003 sowie PIETSCH 2004)

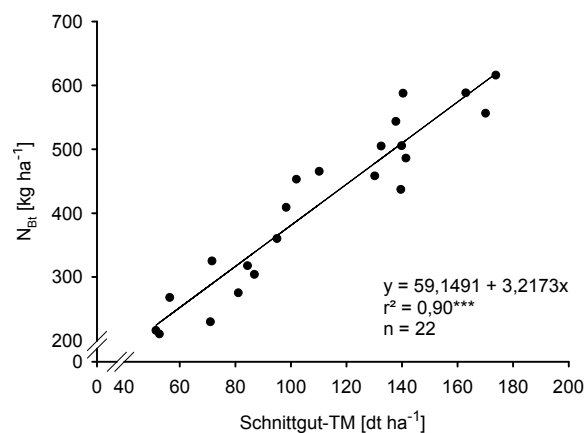


Abb. 37: Regression der gesampflanzlichen N-Menge (N_{Bt}) in Spross und Wurzel auf den Schnittgut-TM-Ertrag bei Rotklee in Reinsaat (Quellen: LOPOTZ 1997, LOGES 1998, JUNG 2003 sowie PIETSCH 2004)

Mit Hilfe des so erarbeiteten Datensatzes war es sehr gut möglich, durch die Angabe der Trockenmasse Jahresschnittgutertrags des Rotklees auf die im Schnittgut enthaltene N-Menge (Abb. 36) sowie die gesampflanzlich enthaltene N-Menge (Abb. 37) zu schließen. Da in der landwirtschaftlichen Praxis in der Regel beim Anbau von Futterleguminosen nur Angaben zum Frischmasseertrag an Schnittgut, nicht jedoch zur Höhe des Schnittgut-Trockenmasseertrages vorliegen, wurde die von JUNG (2003) erarbeitete Beziehung zwischen dem Jahresschnittgutertrag an Frischmasse und dem Jahresschnittgutertrag an Trockenmasse bei Rotklee in Reinsaat für das hier er-

stellte Kalkulationsverfahren zur Schätzung des Jahresertrages an Schnittgutrockenmasse genutzt (Gleichung 2 in Tab. A 13).

Die in der Literatur vorliegenden Daten zur N-Aufnahme von Rotklee aus dem Boden und einer benachbart wachsenden Gras-Referenzfrucht reichten nicht aus, um wie bei Erbse und Ackerbohne in Reinsaat die bodenbürtige N-Aufnahme des Rotklees aus dem Spross-N-Ertrag einer Gras-Referenzfrucht indirekt ableiten zu können. Hierzu lagen zu wenige Daten aus entsprechenden isotopengestützten Untersuchungen vor. Deshalb wurde in Anlehnung an die erweiterte Differenzmethode (HAUSER 1987) die bodenbürtige N-Aufnahme des Rotklees aus der N-Aufnahme des benachbart wachsenden, nicht mit N gedüngten Gras-Reinsaatbestandes und der mittleren Differenz im N_{\min} -Vorrat des Bodens unter Rotklee in Reinsaat und einem Gras-Reinsaatbestand ermittelt. Die entsprechende mittlere Differenz im N_{\min} -Vorrat im Boden (= $12,3 \text{ kg N ha}^{-1}$, vgl. Gleichung 12a in Tab. A 13) wurde der Arbeit von JUNG (2003) entnommen.

Im Rahmen der Erhebungen auf den Monitoringstandorten der Futterleguminosen konnte nur der N-Ertrag im Spross (Schnittgut- und Stoppelmasse) der Gras-Referenzfrüchte erfasst werden. Um die gesamt-pflanzlich akkumulierte N-Menge des Grasses (hier Wiesenschwingel) zu ermitteln, wurde aus den Untersuchungen von JUNG (2003) zur N-Akkumulation von Wiesenschwingel in Spross und Wurzel das mittlere Verhältnis der N-Menge in der Wurzelmasse des Wiesenschwingels zur Spross-N-Menge berechnet (= 0,64). Diese Größe geht als Faktor 1,64 in die Berechnung der symbiotisch fixierten N-Menge des Rotklees in Reinsaat ein (Gleichung 12a, Tab. A 13). Die dem Rotklee in Reinsaat zur Verfügung stehende pflanzenverfügbare N-Menge im Boden wird im Rahmen des Kalkulationsverfahrens in Abhängigkeit von der Höhe des zu verzeichnenden Wachstums an Unkräutern im Rotkleebestand reduziert (Gleichung 11a bis 11d in Tab. A 13). Zur Schätzung der von Unkräutern im Rotkleebestand aufgenommenen bodenbürtigen N-Menge wurde auf Ergebnisse aus den Arbeiten von SCHMIDTKE (1997), SCHMIDTKE (2001) sowie JUNG (2003) zurückgegriffen.

3.2.3.3 Luzerne

Zur Ableitung der Funktionen zur Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Luzerne in Reinsaat im ersten Hauptnutzungsjahr wurden Daten der Arbeiten von SCHREIBER (1992), WALLEY et al. (1996), JUNG (2003) sowie PIETSCH (2004) herangezogen. In diesen Arbeiten lagen Angaben sowohl zur N-Menge in Spross als auch in der Wurzel von Luzerne in Reinsaat im ersten Hauptnutzungsjahr vor.

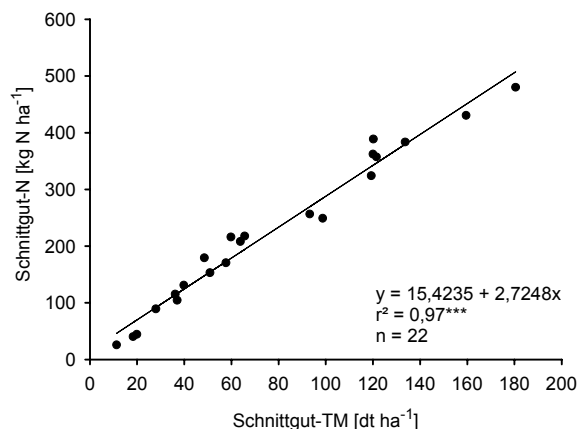


Abb. 38: Regression der Schnittgut-N-Menge auf den Schnittgut-TM-Ertrag von Luzerne in Reinsaat (Quellen: SCHREIBER 1992, WALLEY et al. 1996, JUNG 2003 sowie PIETSCH 2004)

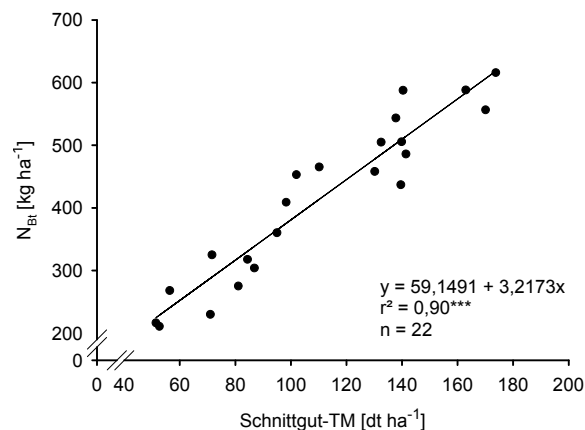


Abb. 39: Regression der gesampflanzlichen N-Menge (N_{Bt}) in Spross und Wurzel auf den Schnittgut-TM-Ertrag von Luzerne in Reinsaat (Quellen: SCHREIBER 1992, WALLEY et al. 1996, JUNG 2003 sowie PIETSCH 2004)

Auch bei Luzerne in Reinsaat konnte unter Nutzung des so erarbeiteten Datensatzes mittels einer Angabe zum Jahresschnittgutertrag an Trockenmasse auf die im Schnittgut enthaltene N-Menge (Abb. 38) sowie die in Spross und Wurzel enthaltene N-Menge (Abb. 39) geschlossen werden. Wie bei Rotklee in Reinsaat wurde auch bei Luzerne in Reinsaat eine von JUNG (2003) erarbeitete Beziehung zwischen dem Jahresschnittgutertrag an Frischmasse und dem Jahresschnittgutertrag an Trockenmasse bei Luzerne in Reinsaat für das Kalkulationsverfahren zur Schätzung des Jahresertrages an Schnittguttrockenmasse der Luzerne genutzt (Gleichung 2 in Tab. A 14).

Die in der Literatur vorliegenden Daten zur N-Aufnahme der Luzerne aus dem Boden und einer benachbart wachsenden Gras-Referenzfrucht ließen nicht zu, die bodenbürtige N-Aufnahme der Luzerne aus dem Spross-N-Ertrag einer Gras-Referenzfrucht indirekt abzuleiten. Hierzu lagen wie bei Rotklee zu wenige Daten aus entsprechenden isotopengestützten Untersuchungen vor. Deshalb wurde in Anlehnung an die erweiterte Differenzmethode (HAUSER 1987) die bodenbürtige N-Aufnahme der Luzerne über die N-Aufnahme eines benachbart wachsenden, nicht mit N gedüngten Gras-Reinsaatbestandes und der mittleren Differenz im N_{\min} -Vorrat des Bodens unter Luzerne in Reinsaat und einem Gras-Reinsaatbestand ermittelt. Die entsprechende mittlere Differenz im N_{\min} -Vorrat im Boden (= $6,9 \text{ kg N ha}^{-1}$, vgl. Gleichung 12a in Tab. A 14) wurde von JUNG (2003) ermittelt.

Aus den Untersuchungen von JUNG (2003) zur N-Akkumulation von Wiesenschwingel in Spross und Wurzel wurde das mittlere Verhältnis N-Menge in der Wurzelmasse zur Spross-N-Menge des Wiesenschwingels berechnet (= 0,64). Diese Größe geht als Faktor 1,64 wie bei Rotklee in die Berechnung der symbiotisch fixierten N-Menge der Rotklees in Reinsaat ein (Gleichung 12a, Tab. A 14). Die der Luzerne in Reinsaat zur Verfügung stehende pflanzenverfügbare N-Menge im Boden wird im Rahmen des Kalkulationsverfahrens in Abhängigkeit von der Höhe des zu verzeichnenden Wachstums an Unkräutern in der Luzerne vermindert (Gleichung 11a bis 11d in Tab. A 14). Zur Schätzung der von Unkräutern in der Luzerne aufgenommenen bodenbürtigen N-Menge wurden Ergebnisse aus den Arbeiten von SCHMIDTKE (2001) sowie JUNG (2003) genutzt.

3.2.4 Kalkulationsverfahren Futterleguminosen im Gemenge mit Gräsern

Neben der N_2 -Fixierleistung und der N-Flächenbilanz der Futterleguminosenarten Persischer Klee, Rotklee und Luzerne in Reinsaat können im Kalkulationsverfahren LeNi Ba E_{co} die entsprechenden Werte auch für den Anbau der genannten Arten im Gemenge mit Gräsern kalkuliert werden. Analog zur Vorgehensweise der Futterleguminosen in Reinsaat wurde mit den Werten zur Rhizodeposition der Futterleguminosen im Gemenge verfahren (vgl. Abschnitt 3.2.3). Auch bei sehr hohem bodenbürtigen N-Angebot im Boden stammt beim Anbau von Leguminosen im Feld stets ein minimaler Anteil der Stickstoffaufnahme aus der Luft. Im Kalkulationsverfahren LeNi Ba E_{co} wird der Anteil Stickstoff aus der Luft in der Biomasse der Leguminose aus diesem Grund auf größer gleich 10 % (0,1; JOST 2003, vgl. Gleichung 17b der Gemenge) gesetzt.

3.2.4.1 Persisches Klee-Gras-Gemenge

Zur Ableitung der Funktionen zur Kalkulation der symbiotischen N_2 -Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Persischem Klee im Gemenge konnte lediglich auf die von JUNG (2003) erhobenen Daten zurückgegriffen werden. Hierin fanden sich sowohl die für das Kalkulationsmodul LeNi Ba E_{co} erforderlichen Angaben zur N-Akkumulation in Spross und Wurzel von Persischem Klee und Welschem Weidelgras im Gemenge als auch die entsprechenden Werte von Welschem Weidelgras in Reinsaat.

Die Bilanzierung der N-Flüsse bei Feldfutterbau im Gemenge (hier Persischer Klee und Welsches Weidelgras) erfordert eine getrennte Betrachtung der N-Aufnahme der Gemengepartner. Im Kalkulationsverfahren LeNi Ba E_{co} werden deshalb zu Beginn die Ertragsanteile der Gemengepartner in Prozent am Gesamtschnittgut-Ertrag (dt FM ha⁻¹) anhand der abgefragten Werte aus den eingegebenen Daten berechnet (vgl. Tab. A 15, Gleichung 2a, b).

Um von der in der landwirtschaftlichen Praxis üblicherweise vorliegenden Angabe zum Schnittgut-Frischmasseertrag des Gemenges auf den jeweiligen Schnittgut-Trockenmasseertrag der Gemengepartner schließen zu können, wird von der Frischmasse der Ertragsanteile Persischer Klee und Welsches Weidelgras des mit Hilfe sehr guter Beziehungen ($r^2 = 0,91$ bzw. $0,93$, Abb. 40 und Abb. 41) der Trockenmas-

seertrag aus dem Frischmasseertrag der jeweiligen Gemengepartner (Gleichungen 3 und 8, Tab. A 15) abgeleitet.

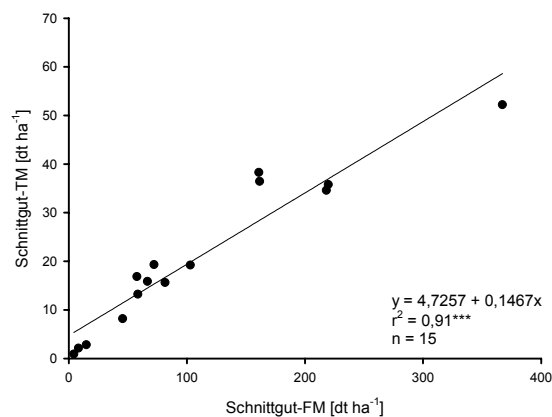


Abb. 40: Regression des Trockenmasse-Ertrags auf den Frischmasse-Ertrag bei Persischem Klee im Gemenge mit Welschem Weidelgras (Quelle: JUNG 2003)

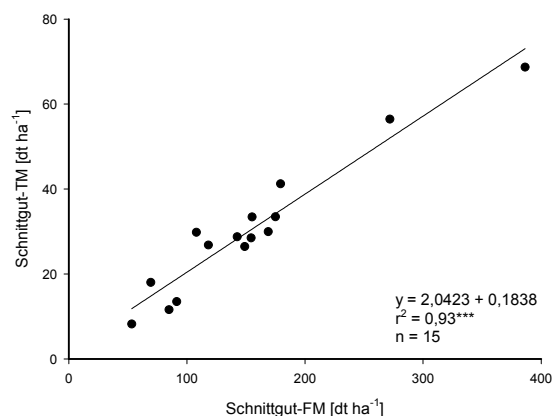


Abb. 41: Regression des Trockenmasse-Ertrags auf den Frischmasse-Ertrag bei Welschem Weidelgras im Gemenge mit Persischem Klee (Quelle: JUNG 2003)

Im nächsten Schritt wird die Schnittgut-N-Menge der Gemengepartner Persischer Klee und Welsches Weidelgras mit Hilfe sehr guter Beziehungen (Persischer Klee $r^2 = 0,99$, Abb. 42, Welsches Weidelgras $r^2 = 0,87$, Abb. 43) aus der Schnittgut-TM abgeleitet. Zur Berechnung der symbiotischen N₂-Fixierleistung und der N-Flächenbilanz anhand des insgesamt im Feld gewachsenen Pflanzenmaterials werden die bei der Ernte entstehenden Ernteverluste zwischen 2 und 20 % berücksichtigt, die zuvor vom Nutzer des Systems abgefragt worden sind (vgl. 5a-d, Tab. A 15).

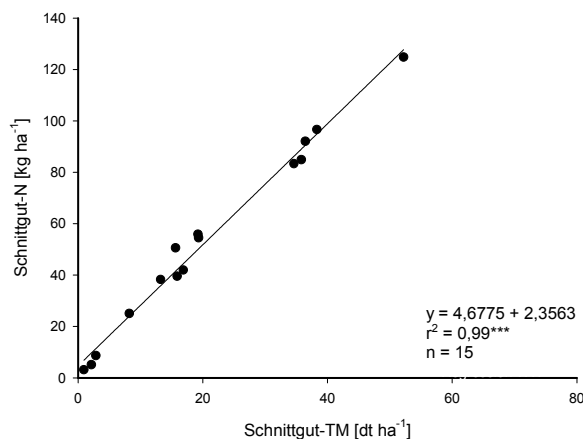


Abb. 42: Regression der Schnittgut-N-Menge auf den Schnittgut-TM-Ertrag bei Persischem Klee im Gemenge mit Welschem Weidelgras (Quelle: JUNG 2003)

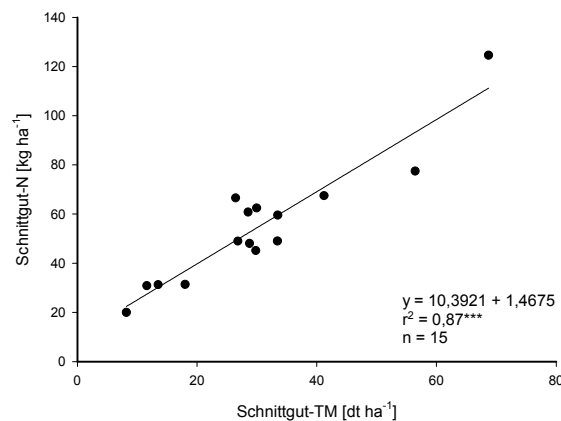


Abb. 43: Regression der Schnittgut-N-Menge auf den Schnittgut-TM-Ertrag bei Welschem Weidelgras im Gemenge mit Persischem Klee (Quelle: JUNG 2003)

Anhand von Wurzelbeprobungen lässt sich die zerstörungsfreie Zuordnung der Wurzelmasse auf die Gemengepartner und der in den Wurzeln enthaltenen N-Mengen derzeit nicht realisieren. Die Gewichtung der N-Mengen in den Wurzeln der jeweiligen Gemengepartner für die Kalkulation der N-Flüsse im Gemengebau ist jedoch erforderlich. Aus diesem Grund wurden für die Ableitung der N-Mengen in den Wurzeln der Gemengepartner die von JUNG (2003 und schriftliche Mitteilung 2007) die berechneten Verhältnisse zur N-Menge in Spross und Wurzel von Persischem Klee und Welschem Weidelgras der Reinsaatbestände genutzt. Die Ableitung der gesamt-pflanzlichen N-Mengen der Gemengepartner Persischer Klee und Welsches Weidelgras unter Aufteilung der unter dem Gemenge gefundenen Wurzelmasse wurde mit

Hilfe der jahres- und standortspezifischen Spross-Wurzel-Verhältnisse der Reinsaat durchgeföhrt. Die so gewonnenen Daten erlauben sowohl für Persischen Klee ($r^2 = 0,98$, Abb. 44) als auch für Welsches Weidelgras ($r^2 = 0,83$, Abb. 45) im Gemengebau die Ableitung der gesampflanzlichen N-Menge (Schnittgut, Stoppeln und Wurzeln) unter Angabe des Schnittguttröckenmasseertrags (Gleichungen 7 und 11, Tab. A 15). Des Weiteren wird die Konkurrenzsituation um das Boden-N-Angebot anhand der in JUNG (2003) beschriebenen Verunkrautung mit einer je nach Unkrautwachstum geschätzten N-Menge von 0 bis zu 20 kg N ha⁻¹ berücksichtigt (vgl. Tab. A 15, Gleichung 15a-d).

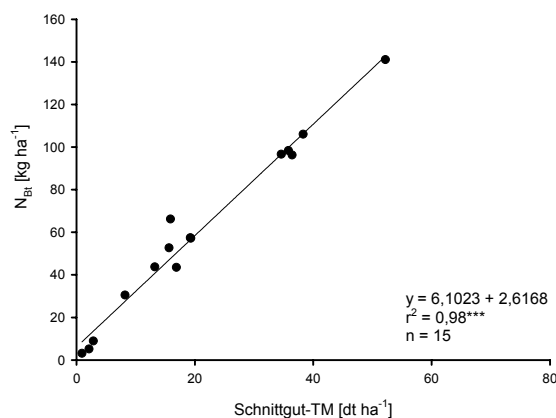


Abb. 44: Regression der gesampflanzlichen N-Menge in Spross und Wurzel (N_{Bt}) auf den Schnittgut-TM-Ertrag von Persischem Klee im Gemenge mit Welschem Weidelgras (Quelle: JUNG 2003)

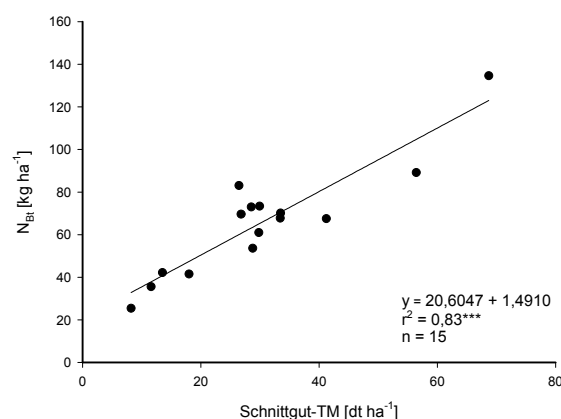


Abb. 45: Regression der gesampflanzlichen N-Menge in Spross und Wurzel (N_{Bt}) auf den Schnittgut-TM-Ertrag von Welschem Weidelgras im Gemenge mit Persischem Klee (Quelle: JUNG 2003)

In der Literatur liegen nur vergleichsweise wenige Daten zur N-Aufnahme aus dem Boden von Persischem Klee im Gemenge mit Gräsern und einer benachbart wachsenden Gras-Referenzfrucht aus entsprechenden isotopengestützten Untersuchungen vor, um eine Ableitung der bodenbürtigen N-Aufnahme des Persischen Klees im Gemenge aus dem Spross-N-Ertrag einer Gras-Referenzfrucht ermitteln zu können. Die bodenbürtige N-Aufnahme des Persischen Klee-Gras-Gemenges wurde deshalb in Anlehnung an die erweiterte Differenzmethode (HAUSER 1987) aus der N-Aufnahme des benachbart wachsenden, nicht mit N gedüngten Reinsaatbestandes des Welschen Weidelgrases und der mittleren Differenz im N_{\min} -Vorrat des Bodens unter den Gemengen aus Persischem Klee und Welschem Weidelgras und Reinsaatbeständen aus Welschem Weidelgras ermittelt. Diese entsprechende mittlere Differenz im N_{\min} -Vorrat im Boden ($= 2,5 \text{ kg N ha}^{-1}$, vgl. Gleichung 17a in Tab. A 15) wurde der Arbeit von JUNG (2003) entnommen.

Die Ermittlung der gesamt-pflanzlich akkumulierten N-Menge des Grases als Referenzpflanze (hier Welsches Weidelgras) ist für die Kalkulation der N_2 -Fixierleistung und N-Flächenbilanz erforderlich. Im Rahmen der Erhebungen auf den Monitoringstandorten der Futterleguminosen konnte ausschließlich der N-Ertrag im Spross (Schnittgut- und Stoppelmasse) der Gras-Referenzfrüchte erfasst werden. Aus diesem Grund wurde im Kalkulationsverfahren LeNi Ba *Eco* zusätzlich das mittlere Verhältnis der N-Menge in der Wurzelmasse zur Spross-N-Menge zur des Welschen Weidelgrases genutzt ($= 0,47$). Diese Größe stammt als Mittelwert aus Untersuchungen zur N-Akkumulation von Welschem Weidelgras in Spross und Wurzel von JUNG (2003) und fließt als Faktor 1,47 in die Berechnung der symbiotisch fixierten N-Menge des Persischen Klees im Gemenge mit Welschem Weidelgras ein (Gleichung 16, Tab. A 15).

Zur Höhe der N-Rhizodeposition des Persischen Klees im Gemenge mit Gräsern liegen wie auch zur Reinsaat keine Angaben in der Literatur vor. Analog zur Reinsaat wird deshalb eine N-Rhizodeposition des legumen Gemengepartners von 10 % angenommen und mit dem Faktor 1,1 in die Gleichungen 17a bzw. 17b zur Schätzung der symbiotisch fixierten N-Menge des Gemenges aufgenommen (vgl. Tab. A 15)

3.2.4.2 Rotklee-Gras-Gemenge

Zur Ableitung der Funktionen zur Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Rotklee im Gemenge konnte nur der von JUNG (2003) erhobene Datensatz für Rotklee-Gras-Gemenge im ersten Hauptnutzungsjahr genutzt werden, da hier sowohl Angaben zur N-Akkumulation in Spross und Wurzel von Rotklee und Wiesenschwingel im Gemenge als auch entsprechende Angaben zu Wiesenschwingel in Reinsaat vorlagen, die zur Ableitung der Kalkulationsgrößen erforderlich sind.

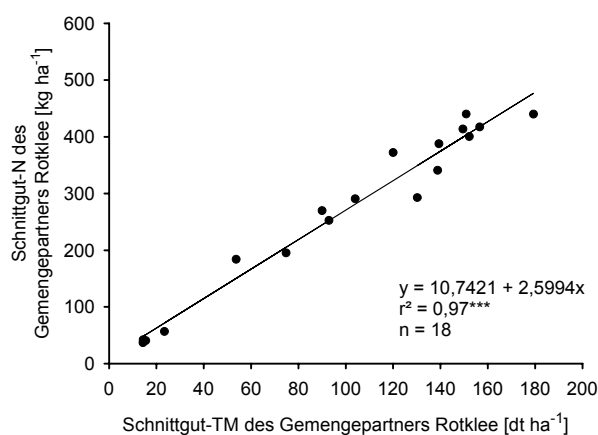


Abb. 46: Regression der Schnittgut-N-Menge auf den Schnittgut-TM-Ertrag bei Rotklee im Gemenge mit Wiesenschwingel (Quelle: JUNG 2003)

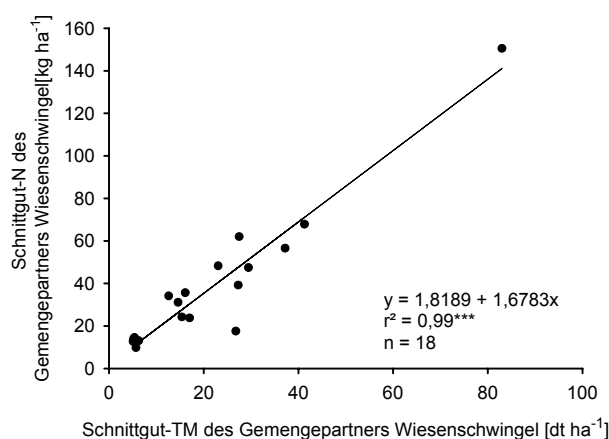


Abb. 47: Regression der Schnittgut-N-Menge auf den Schnittgut-TM-Ertrag von Wiesenschwingel im Gemenge mit Rotklee (Quelle: JUNG 2003)

Sowohl bei Rotklee als auch beim Gemengepartner Wiesenschwingel ließ sich mittels einer Angabe zum Jahresschnittgutertrag an Trockenmasse sehr gut ($r^2 = 0,97$ bzw. $r^2 = 0,91$) auf die im Schnittgut enthaltene N-Menge schließen (Abb. 46 und Abb. 47), so dass die insgesamt im Schnittgut enthaltene N-Menge im Kalkulationsverfahren mit den Gleichungen 4 und 9 (Tab. A 16) geschätzt werden kann. Um von der in der landwirtschaftlichen Praxis üblicherweise vorliegenden Angabe zum Schnittgut-Frischmasseertrag des Gemenges auf den jeweiligen Schnittgut-Trockenmasseertrag der Gemengepartner schließen zu können, wird im Kalkulationsverfahren der Ertragsanteil Rotklee im Erntegut des Gemenges abgefragt (Gleichung 2, Tab. A 16) und anschließend mit den aus JUNG (2003) übernommenen Beziehungen zwischen Frisch- und Trockenmasseertrag der jeweiligen Gemengepartner (Gleichungen 3 und 8, Tab. A 16) der Trockenmasseertrag des Schnittgutes der einzelnen Gemengepartner berechnet.

Bei Untersuchungen zum Wurzelmasseertrag und den darin enthaltenen Nährstoffmengen im Gemenge ist es derzeit nicht möglich, die Wurzelmassen analytisch exakt den jeweiligen Gemengepartnern zuzuordnen. Für die Kalkulation der N-Flüsse im Gemengebau ist es allerdings notwendig, die von den jeweiligen Gemengepartnern im Gemenge akkumulierten N-Mengen in den Wurzeln zu quantifizieren. Hierzu wurde für die Ableitung der N-Mengen in den Wurzeln des Gras-Gemengepartners anhand der von JUNG (2003) mitgeteilten Angaben zur N-Menge im Spross (Schnittgut- + Stoppel-N-Menge) und der Wurzel von Wiesenschwingel in Reinsaat ein Verhältnis zwischen Spross-N und Wurzel-N berechnet. Dieses Verhältnis beträgt 2,77. Unter der Annahme, dass die Verteilung der N-Menge auf Spross und Wurzel auch bei Wiesenschwingel im Gemengebau vorliegt, wurde die bei JUNG (2003) angegebene N-Menge des Wurzelgemisches aus Rotklee und Wiesenschwingel den Bestandpartnern rechnerisch zugeordnet. Mit Hilfe des so erstellten Datensatzes konnte sowohl für Rotklee (Abb. 48) als auch für Wiesenschwingel (Abb. 49) im Gemengebau eine enge Beziehung zwischen Schnittgut-trockenmasseertrag und gesamt-pflanzlicher N-Menge abgeleitet und im Kalkulationsverfahren implementiert werden (Gleichungen 7 und 11, Tab. A 16).

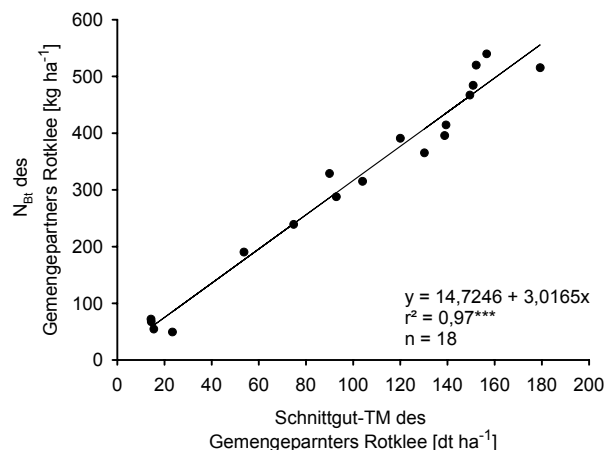


Abb. 48: Regression der gesamt-pflanzlichen N-Menge in Spross und Wurzel (N_{Bt}) auf den Schnittgut-TM-Ertrag von Rotklee im Gemenge mit Wiesenschwingel (Quelle: JUNG 2003)

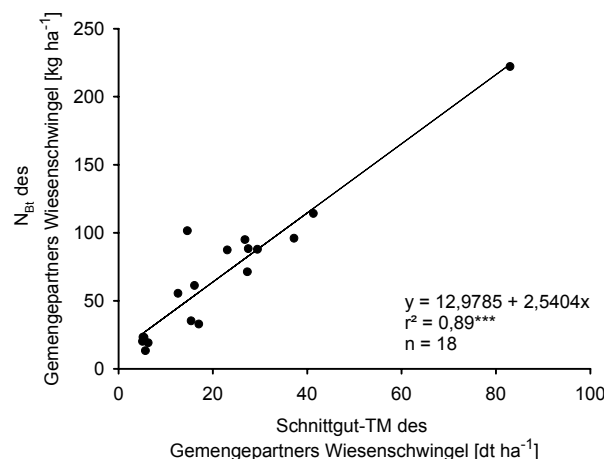


Abb. 49: Regression der gesamt-pflanzlichen N-Menge (N_{Bt}) in Spross und Wurzel auf den Schnittgut-TM-Ertrag von Wiesenschwingel im Gemenge mit Rotklee (Quelle: JUNG 2003)

Die in der Literatur vorliegenden Daten zur N-Aufnahme aus dem Boden von Rotklee im Gemenge mit Gräsern und einer benachbart wachsenden Gras-Referenzfrucht reichten nicht aus, um wie bei Erbse und Ackerbohne in Reinsaat die bodenbürtige N-Aufnahme des Rotklee im Gemenge aus dem Spross-N-Ertrag einer Gras-Referenzfrucht indirekt ableiten zu können. Hierzu besteht ein Mangel an verfügbaren Daten aus entsprechenden isotopengestützten Untersuchungen. Deshalb wurde in Anlehnung an die erweiterte Differenzmethode (HAUSER 1987) die bodenbürtige N-Aufnahme des Rotklee-Gras-Gemenges aus der N-Aufnahme des benachbart wachsenden, nicht mit N gedüngten Gras-Reinsaatbestandes und der mittleren Differenz im

N_{\min} -Vorrat des Bodens unter Rotklee-Gras-Gemenge und einem Gras-Reinsaatbestand ermittelt. Die entsprechende mittlere Differenz im N_{\min} -Vorrat im Boden (= 3,0 kg N ha⁻¹, vgl. Gleichung 17a in Tab. A 16) wurde der Arbeit von JUNG (2003) entnommen.

Im Rahmen der Erhebungen auf den Monitoringstandorten der Futterleguminosen konnte nur der N-Ertrag im Spross (Schnittgut- und Stoppelmasse) der Gras-Referenzfrucht erfasst werden. Um die gesamt-pflanzlich akkumulierte N-Menge des Grasses (hier Wiesenschwingel) zu ermitteln, wurde aus den Untersuchungen von JUNG (2003) zur N-Akkumulation von Wiesenschwingel in Spross und Wurzel das mittlere Verhältnis der N-Menge in der Wurzelmasse zur Spross-N-Menge des Wiesenschwingels berechnet (= 0,64). Diese Größe geht als Faktor 1,64 in die Berechnung der symbiotisch fixierten N-Menge des Rotklee in Reinsaat ein (Gleichung 16, Tab. A 16). Die dem Rotklee und den Gräsern im Gemenge zur Verfügung stehende pflanzenverfügbare N-Menge im Boden wird im Rahmen des Kalkulationsverfahrens in Abhängigkeit von der Höhe des zu verzeichnenden Wachstums an Unkräutern im Rotklee-Gras-Gemenge reduziert (Gleichung 15a bis 15d in Tab. A 16). Zur Schätzung der von Unkräutern im Rotklee-Gras-Gemenge aufgenommenen bodenbürtigen N-Menge wurde auf Ergebnisse aus den Arbeiten von SCHMIDTKE (1997b) sowie JUNG (2003) zurückgegriffen.

Die Höhe der N-Rhizodeposition des Rotklee im Gemenge mit Gräsern wurde analog zur Reinsaat angenommen (vgl. Abschnitt 3.2.3.2) und in die Gleichungen 17a bzw. 17b zur Schätzung der symbiotisch fixierten N-Menge des Gemenges aufgenommen (Faktor 1,2, Tab. A 16).

3.2.4.3 Luzerne-Gras-Gemenge

Zur Ableitung der Funktionen zur Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Luzerne im Gemenge mit Gräsern zum 1. Hauptnutzungsjahr stand lediglich der von JUNG (2003) erhobene Datensatz für Luzernegras-Gemenge zur Verfügung. Hierin waren sowohl die Angaben zur N-Akkumulation in Spross und Wurzel von Luzerne und Wiesenschwingel im Gemenge, als auch entsprechende Angaben zu Wiesenschwingel in Reinsaat enthalten, die zur Ableitung der Kalkulationsgrößen erforderlich sind.

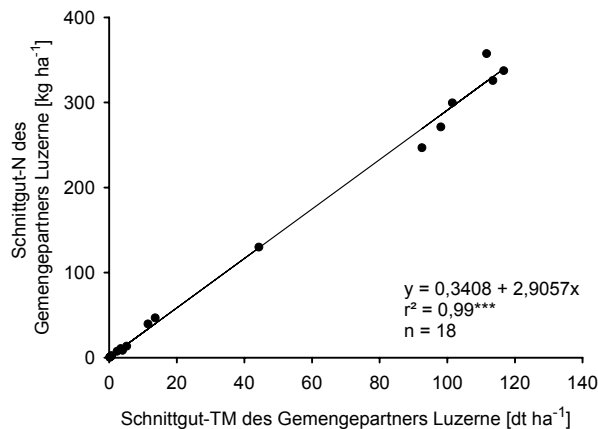


Abb. 50: Regression der Schnittgut-N-Menge auf den Schnittgut-TM-Ertrag bei Luzerne im Gemenge mit Wiesenschwingel (Quelle: JUNG 2003)

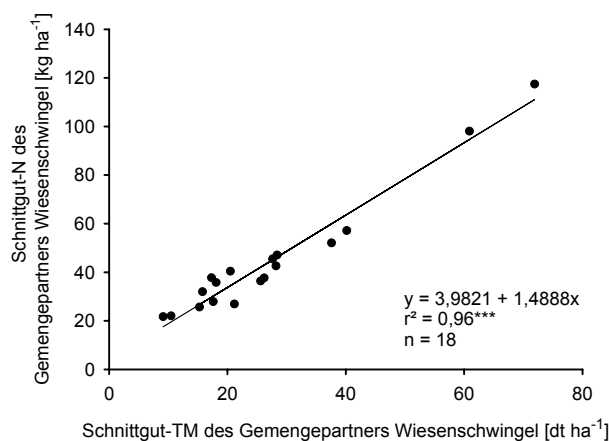


Abb. 51: Regression der Schnittgut-N-Menge auf den Schnittgut-TM-Ertrag von Wiesenschwingel im Gemenge mit Luzerne (Quelle: JUNG 2003)

Sowohl bei der Luzerne als auch beim Gemengepartner Wiesenschwingel ließ sich mittels einer Angabe zum Jahresschnittgutertrag an Trockenmasse sehr gut ($r^2 = 0,99$ bzw. $r^2 = 0,96$) auf die im Schnittgut enthaltene N-Menge schließen (Abb. 50 und Abb. 51), so dass die insgesamt im Schnittgut enthaltene N-Menge im Kalkulationsverfahren mit den Gleichungen 4 und 9 (Tab. A 17) geschätzt werden kann. Um von der in der landwirtschaftlichen Praxis üblicherweise vorliegenden Angabe zum Schnittgut-Frischmasseertrag des Gemenges auf den jeweiligen Schnittgut-Trockenmasseertrag der Gemengepartner schließen zu können, wird im Kalkulationsverfahren auch für Luzerne-Gras-Gemenge der Ertragsanteil Luzerne im Erntegut des Gemenges abgefragt (Gleichung 2, Tab. A 17) und anschließend mit den aus JUNG (2003) übernommenen Beziehungen zwischen Frisch- und Trockenmasseertrag der

jeweiligen Gemengepartner (Gleichungen 3 und 8, Tab. A 17) der Trockenmasseertrag des Schnittgutes der Gemengepartner Luzerne und Wiesenschwingel berechnet.

Zur Ableitung der N-Mengen in den Wurzeln des Gras-Gemengepartners im Luzerne-Gras-Gemenge wurde anhand der von JUNG (2003) mitgeteilten Angaben zur N-Menge im Spross (Schnittgut- + Stoppel-N-Menge) und der Wurzel von Wiesenschwingel in Reinsaat ein Verhältnis zwischen Spross-N und Wurzel-N berechnet. Dieses Verhältnis belief sich auf 2,77. Unter der Annahme, dass die Verteilung der N-Menge auf Spross und Wurzel auch bei Wiesenschwingel im Gemengebau vorliegt, wurde die bei JUNG (2003) angegebene N-Menge des Wurzelgemisches aus Luzerne und Wiesenschwingel den Bestandepartnern rechnerisch zugeordnet. Mit Hilfe des so erstellten Datensatzes konnte für die Luzerne (Abb. 52) als auch für Wiesenschwingel (Abb. 53) im Gemengebau eine enge Beziehung zwischen Schnittgut-trockenmasseertrag und gesamt-pflanzlicher N-Menge abgeleitet und im Kalkulationsverfahren einbezogen werden (Gleichungen 7 und 11, Tab. A 17).

Die in der Literatur vorliegenden Daten zur N-Aufnahme aus dem Boden von Luzerne im Gemenge mit Gräsern und einer benachbart wachsenden Gras-Referenzfrucht reichten nicht aus, um die bodenbürtige N-Aufnahme der Luzerne im Gemenge aus dem Spross-N-Ertrag einer Gras-Referenzfrucht indirekt ableiten zu können. Hierzu besteht wie beim Rotklee eine zu geringe Datengrundlage aus entsprechenden isotopengestützten Untersuchungen. Deshalb wurde in Anlehnung an die erweiterte Differenzmethode (HAUSER 1987) die bodenbürtige N-Aufnahme des Luzerne-Gras-Gemenges aus der N-Aufnahme des benachbart wachsenden, nicht mit N gedüngten Gras-Reinsaatbestandes und der mittleren Differenz im N_{\min} -Vorrat des Bodens unter Luzerne-Gras-Gemenge und einem Gras-Reinsaatbestand ermittelt. Die entsprechende mittlere Differenz im N_{\min} -Vorrat im Boden ($= 0,5 \text{ kg N ha}^{-1}$, vgl. Gleichung 17a in Tab. A 17) wurde der Arbeit von JUNG (2003) entnommen.

Der Faktor 1,64 (aus Daten von JUNG (2003) berechnet) geht analog zur Vorgehensweise bei Rotklee-Gras-Gemengen in die Berechnung der symbiotisch fixierten N-Menge der Luzerne in Reinsaat ein (Gleichung 16, Tab. A 17). Die der Luzerne und den Gräsern im Gemenge zur Verfügung stehende pflanzenverfügbare N-Menge im

Boden wird im Rahmen des Kalkulationsverfahrens in Abhängigkeit von der Höhe des zu verzeichnenden Wachstums an Unkräutern im Luzerne-Gras-Gemenge reduziert (Gleichung 15a bis 15d in Tab. A 17). Zur Schätzung der von Unkräutern im Luzerne-Gras-Gemenge aufgenommenen bodenbürtigen N-Menge wurde auf Ergebnisse aus der Arbeit von JUNG (2003) zurückgegriffen.

Die Höhe der N-Rhizodeposition der Luzerne im Gemenge mit Gräsern wurde analog zur Reinsaat angenommen (vgl. Abschnitt 3.2.3.3) und in die Gleichungen 17a bzw. 17b zur Schätzung der symbiotisch fixierten N-Menge des Gemenges aufgenommen (Faktor 1,2, Tab. A 17)

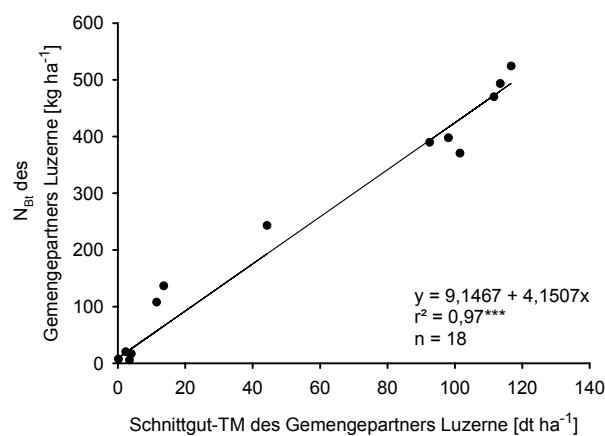


Abb. 52: Regression der gesamt-pflanzlichen N-Menge (N_{Bt}) in Spross und Wurzel auf den Schnittgut-TM-Ertrag von Luzerne im Gemenge mit Wiesenschwingel (Quelle: JUNG 2003)

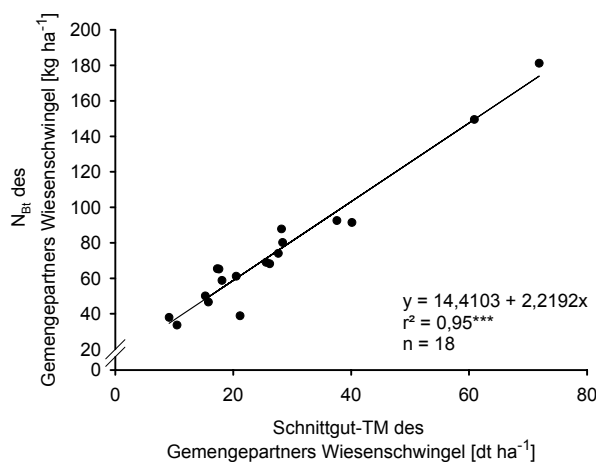


Abb. 53: Regression der gesamt-pflanzlichen N-Menge (N_{Bt}) in Spross und Wurzel auf den Schnittgut-TM-Ertrag von Wiesenschwingel im Gemenge mit Luzerne (Quelle: JUNG 2003)

3.3 Residuale N_{\min} -Mengen im Boden beim Anbau von Leguminosen

Im Rahmen dieses Projektes wurde an einigen Standorten mit Erbsenanbau sowie an Standorten mit Anbau von Futterleguminosen die residuale N_{\min} -Menge im Boden zur Ernte (Erbsen), zu Vegetationsende (Erbsen) bzw. vor Umbruch im Herbst (Futterleguminosen) und zu Vegetationsbeginn (Erbsen, Futterleguminosen) erfasst. Diese Beprobungen standen in keinem direkten Zusammenhang mit den für das Kalkulationsverfahren LeNi Ba *Eco* notwendigen Datenerhebungen. Die Untersuchungen sollten eine Übersicht über die Gefahr des Stickstoffaustrages beim Anbau von Futter- und Körnerleguminosen im ökologischen Landbau liefern (Tab. 9 und Tab. 10). Während zu Vegetationsende vor Umbruch eines Futterleguminosenbestandes an allen geprüften Standorten weniger als $18 \text{ kg } N_{\min}\text{-N ha}^{-1}$ in 0 bis 90 cm Bodentiefe vorlagen (Tab. 9), wurden bereits zur Ernte der Erbsen residuale N_{\min} -Menge im Boden im Mittel der geprüften Teilflächen im Jahr 2005 zwischen 16 kg ha^{-1} (Standort Pillnitz) und 62 kg ha^{-1} (Standort Köln) und im Jahr 2006 zwischen 15 kg ha^{-1} (Göttingen-Depoldshausen) und 94 kg ha^{-1} (Köln, Tab. 10). Die Untersuchungen auf den gleichen Parzellen ergaben N_{\min} -Werte nach Umbruch von Futterleguminosen im Frühjahr 2006 zwischen 12 und 89 kg N ha^{-1} und im Frühjahr 2007 zwischen 8 und 44 kg N ha^{-1} (Tab. 9). Wie auch bei den Futterleguminosen ist auch bei den N_{\min} -Mengen nach Körnerleguminosen nicht in jedem Fall ein Anstieg bis zur folgenden Vegetationsperiode zu erkennen. Eine deutliche Reduzierung der N_{\min} -Menge zwischen Ernte- und Frühjahrswert (65 bzw. 15 kg N ha^{-1}) wurde am Standort Göttingen-Depoldshausen (2006/7) festgestellt. Verluste durch Auswaschung sind hier mit hoher Wahrscheinlichkeit erfolgt. Auch am Standort Köln war in der Untersuchungsphase 2006/7 eine Halbierung der N_{\min} -Mengen im Boden von 104 im Herbst auf $46 \text{ kg } N_{\min}\text{-N ha}^{-1}$ im Frühjahr zu verzeichnen. Deutlich ist, dass die residualen N_{\min} -Mengen nach Erbsen nicht in jedem Fall deutlich erhöht waren. Es ist jedoch offensichtlich, dass nach dem Anbau von Erbsen auch im ökologischen Landbau ein erhöhtes Risiko der Stickstoffauswaschung im folgenden Winter besteht, dem durch pflanzenbauliche Maßnahmen, z.B. nichtlegumen Zwischenfruchtbau, begegnet werden sollte.

Tab. 9: Entwicklung der residualen N_{\min} -Mengen (kg N ha^{-1}) nach einjährigem Anbau von Futterleguminosen/Grasgemengen mit Herbstumbruch, beprobt im Herbst des Anbaujahres und im zeitigen Frühjahr des Folgejahres

Standort	Anbaujahr 2005		Anbaujahr 2006	
	Herbst 2005	Frühjahr 2006	Herbst 2006	Frühjahr 2007
Adorf ⁽¹⁾	11	28	11	22
Göttingen-Deppoldshausen ⁽²⁾	-- ⁽³⁾	12	7	8
Göttingen-Reinhof	17	52	16	33
Heynitz	17	89	12	44
Isernhagen	14	13	14	26 ⁽⁴⁾
Jahnsfelde	8	32	14	11

⁽¹⁾ Summe der Horizonte 0 cm bis 30 cm und 30 cm bis 60 cm Tiefe. ⁽²⁾ 0 cm bis 30 cm Tiefe, ⁽³⁾ vorzeitiger Umbruch des Versuchs, ⁽⁴⁾ Mistgabe im Spätherbst

Tab. 10: Entwicklung der residualen N_{\min} -Mengen (kg N ha^{-1}) in 0 bis 90 cm Tiefe, beim und nach dem Anbau der Körnererbse, beprobt zum Zeitpunkt der Ernte, im Herbst des Anbaujahres und im zeitigen Frühjahr des Folgejahres

Standort	Anbaujahr 2005			Anbaujahr 2006		
	Ernte 2005	Herbst 2005	Frühjahr 2006	Ernte 2006	Herbst 2006	Frühjahr 2007
Alsfeld	40	41	29	21	79	22
Göttingen-Deppoldshausen ⁽¹⁾	18	15	7	15	65	5
Göttingen-Reinhof	30	81	28	42	39	42
Köln	62	75	31	94 ⁽²⁾	104 ⁽²⁾	46 ⁽²⁾
Pillnitz	16	41	68	39	27	38
Roda	40	38	46	37	33	13

⁽¹⁾ 0 bis 30 cm Tiefe, ⁽²⁾ unter Ackerbohne

4 Zusammenfassung und Ausblick

Um die breite Anwendung der verbesserten Kalkulationsverfahren nach SCHMIDTKE (2001) in der land- und wasserwirtschaftlichen Fachberatung sowie in der Praxis des ökologischen Landbaus zu ermöglichen und deren Umsetzung zu beschleunigen, sollte im Rahmen des bearbeiteten Projektes (i) ein Monitoringsystem zur Schätzung der bodenbürtigen N-Aufnahme von Leguminosen im ökologischen Landbau etabliert, (ii) die vorhandenen Kalkulationsverfahren aktualisiert, (iii) die Kalkulationsverfahren als internetbasiertes Informationssystem im Rahmen von ISIP (Informationssystem Integrierte Pflanzenproduktion) öffentlich verfügbar gemacht und (iv) durch

Informationsveranstaltungen und Begleitmaterial die land- und wasserwirtschaftliche Fachberatung auf das neue internetbasierte Informationsangebot hingewiesen und in der Anwendung geschult werden.

(i) Im Rahmen des Projektes wurde ein Monitoringsystem aufgebaut, mit dessen Hilfe das standortbezogene Angebot an mineralischem Stickstoff im Boden bei ökologischer Bewirtschaftung abgeleitet werden kann. Hierzu wurden in den Jahren 2005 und 2006 nichtlegume Referenzfrüchte angebaut, die auf 22 Standorten in der Bundesrepublik auf Teilflächen ökologisch bewirtschafteter Ackerschläge mit Körner- oder Futterleguminosenanbau verteilt waren. Die Referenzflächen sollten repräsentativ sein für unterschiedlichste Standortbedingungen in Deutschland. Für eine Mitwirkung am Projektteil Körnerleguminosen konnten Einrichtungen der Bundesländer gewonnen werden, die im ökologischen Landbau Sortenversuche mit Körnerleguminosen durchführen (Tab. A 18). Da zu Futterleguminosen anders als bei Körnerleguminosen keine Landessortenversuche im ökologischen Landbau stattfinden, wurden die Erhebungen auf Flächen von Praxisbetrieben durchgeführt (Tab. A 18), die ebenso repräsentativ sein sollten für Standorte, die im ökologischen Landbau für den Anbau von Futterleguminosen genutzt werden. Dazu zählen auch Flächen, die zu den Versuchsflächen verschiedener agrarwissenschaftlicher Fakultäten gehören. Das Projekt wurde von den Universitäten Kiel, Gießen, München und der HTW Dresden auf diese Weise unterstützt. Die Zusammenarbeit mit den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Landesversuchsanstalten und Universitäten (Hochschule) war durch die große Einsatz- und gute Kommunikationsbereitschaft, trotz des hohen Arbeitsaufkommens besonders zu Zeiten der Haupternten, sehr zufrieden stellend. Zum Teil konnten so die zeitlichen Überschneidungen der eigenen Erntefahrten von den Versuchsbetrieben aufgefangen und das Erntematerial gewonnen werden. Auch auf den Praxisbetrieben, die Flächen für das Referenzflächensystem der Futterleguminosen zur Verfügung stellten, wurde die Arbeit mit großem Interesse und einer hohen Akzeptanz begleitet.

(ii) Im Rahmen des Projektes sollten die vorhandenen Kalkulationsverfahren aktualisiert werden. Dazu wurden möglichst umfassend Daten aus aktuellen und auch älteren Arbeiten bezüglich der Integrierbarkeit in das Kalkulationssystem nach SCHMIDTKE (2001) überprüft. Dazu mussten die aus Feldversuchen stammenden Daten Rück-

schlüsse zulassen auf die in Spross- und Wurzel der Leguminosen befindlichen N-Mengen (gesamtpflanzliche N-Mengen), um die N-Flüsse beim Anbau der Leguminosen möglichst präzise beschreiben zu können. In manchen Fällen konnten die in den Veröffentlichungen nicht ausreichenden Daten durch schriftliche Mitteilungen ergänzt werden (ANTHES, JUNG, Rätz, WICHMANN). Eine weitere Verbesserung innerhalb des Kalkulationssystems stellt die Integration von Daten aus Arbeiten zur Rhizodeposition der verschiedenen Leguminosenarten dar. Die hier entwickelten Kalkulationsverfahren müssen nach Vorliegen neuer Messergebnisse zur symbiotischen N₂-Fixierleistung von Körner- und Futterleguminosen einer Validation unterzogen und gegebenenfalls angepasst werden. Die Validierung konnte im Rahmen des Bearbeitungszeitraumes nicht durchgeführt werden, da aufgrund der insgesamt knappen Datenlage alle bisher verfügbaren Untersuchungsergebnisse zur die Entwicklung der Kalkulationsverfahren genutzt wurden.

(iii) Für die technische Umsetzung des Kalkulationssystems wurde das von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt unterstützte Internetportal ISIP (Informationssystem Integrierte Pflanzenproduktion) empfohlen. Dieses Portal war bislang überwiegend für Bereich Pflanzenschutz ausgebaut und integrierte zahlreiche Warndienste, die von Seiten der Praxis und der Beratung gleichermaßen genutzt werden. Das neu zu entwickelnde Modul zur Kalkulation der N₂-Fixierleistung und der N-Flächenbilanz beim Anbau von Futter- und Körnerleguminosen sollte das erste pflanzenbauliche und gleichzeitig das erste ausschließlich für den ökologischen Landbau entwickelte Modul sein. Bei ISIP sind Dr. Manfred Röhrig und Dr. Reinhard Sander für die technische Beratung und Umsetzung der Aufträge der Kooperationspartner zuständig. Die Zusammenarbeit zeichnete sich von Beginn an durch die große Sachkompetenz in landwirtschaftlichen und technischen Fragen und die große Kommunikationsbereitschaft aus. Dank der zahlreichen Beratungsgespräche konnte die Entwicklung des neuen ISIP-Moduls LeNi Ba *Eco* in dem angestrebten Zeitraum realisiert werden.

(iv) Bei der Präsentation von LeNi Ba *Eco* auf der Messe 'Agritechnica' zeigte sich das große Interesse von Seiten der Praxis als auch von Seiten der Beratung. Die auch vorher schon und besonders seit der Präsentation eingegangenen zahlreichen Anfragen verdeutlichen, dass die Kalkulation mit Hilfe eines Internetmoduls auf breite Akzeptanz stößt und verweist auf den großen Bedarf an handhabbaren Entschei-

derungshilfen zur Optimierung der guten landwirtschaftlichen Praxis auch im ökologischen Landbau. Auch zeigte sich ein großes öffentliches Interesse konventionell arbeitender Landwirte an dem für den ökologischen Landbau entwickelten Modul LeNi Ba *Eco*. Zahlreiche Fragen bezogen sich auf Anbausysteme (z.B. Schmalblättrige Lupine, Nutzung von Futterleguminosen als Grünbache), die bislang in LeNi Ba *Eco* nicht integriert sind.

Die Laufzeit von LeNi Ba *Eco* ist für mindestens zehn Jahre zugesagt worden. Dazu ist es notwendig, die von der Jahreswitterung stark abhängigen Boden-N-Angebote jährlich neu einzupflegen. Diese Aufgabe wird vom Fachgebiet Ökologischer Landbau der HTW Dresden (FH) in Kooperation mit der Universität Göttingen (Abteilung Pflanzenbau) wahrgenommen. Dazu sollen Ertragsdaten genutzt werden, die aus den Landessortenversuchen zu Hafer im ökologischen Landbau stammen. Zur Kalkulation der gesamt-pflanzlichen N-Mengen im Hafer können sehr gute bestehende Ableitungen aus den eigenen Versuchsreihen genutzt werden. Diese Werte sollen in die Kalkulationsmodule der Körnerleguminosen genutzt werden. Für die Kalkulationsmodelle der Futterleguminosen stehen keine Versuche zu ein- und überjährig angebauten Gräsern für den ökologischen Landbau zur Verfügung. Die Werte für das Boden-N-Angebot sollen indirekt aus den verfügbaren Daten abgeleitet werden. Längerfristig ist geplant, die Module für Körner- und Futterleguminosen mit einem eigenen Modell zur N-Mineralisation in unterschiedlichen Boden und Klimaregionen zu bedienen, um möglichst Daten zum Boden-N-Angebot der Standorte der einzelnen Jahre erhalten zu können.

5 Literatur

- ANTHES, J., 2005: Beitrag von Ackerbohne (*Vicia faba* L.), Luzerne (*Medicago sativa* L.) und Saatwicke (*Vicia sativa* L.) zur Selbstregelung der N-Zufuhr in leguminosenbasierten Fruchtfolgen. Diss. (agr.) Universität Göttingen.
- AUFHAMMER, W., A. FIEGENBAUM & E. KÜBLER, 1994: Zur Problematik der Stickstoffrückstände von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.). Teil 1: Stickstoffakkumulation und Stickstoffrückstände von Ackerbohnen. Die Bodenkultur 45 (3), 239-251.
- BUSCH, M., 1987: Die symbiotische Stickstoff-Bindung von Ackerbohnen und Erbsen in einem Feldversuch im Jahr 1986. Diplomarbeit im Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Universität Göttingen.
- CORRE-HELLOU, G. & Y. CROZAT, 2005: N₂ fixation and N supply in organic pea (*Pisum sativum* L.) cropping systems as affected by weeds and pea weevil (*Sitona lineatus* L.). European Journal of Agronomy 22, 449-458.
- DEKHUIJZEN, H.M. & D.R. VERKERKE, 1984: Uptake, distribution and redistribution of ¹⁵Nitrogen by *Vicia faba* under field conditions. Field Crops Research 8, 93-104.
- EVANS, J. & P. HEENAN, 1998: Simplified methods for assessing quantities of N₂ fixed by *Lupinus angustifolius* L. and its benefits to soil nitrogen status. Australian Journal of Agricultural Research 49, 419-425.
- FAN, X.H., TANG, C. & RENGEL, Z., 2002: Nitrate uptake, nitrate reductive distribution and their relation to proton release in five nodulated grain legumes. Annals of Botany 90, 315-323.
- GERLING, H., 1983: Untersuchungen über den Nitratfluß in einer Para-Braunerde aus Löß und über die Stickstoffaufnahme durch Ackerbohnen und Hafer. Diplomarbeit am Institut für Agrikulturchemie der Universität Göttingen.
- GÖBEL, J. 1995: Zur Produktivität von Winterraps- und Wintergerstenbeständen, erstellt als Untersaaten in Ackerbohnenbeständen. Diss. (agr.) Universität Hohenheim.
- HAUSER, S., 1987: Schätzung der symbiotisch fixierten Stickstoffmenge von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) mit erweiterten Differenzmethoden. Diss. (agr.) Universität Göttingen.
- HAYNES, R.J., MARTIN, R.J. & K.M. GOH, 1993: Nitrogen fixation, accumulation of soil nitrogen and nitrogen balance for some field-grown legume crops. Field Crops Research 35, 85-92.
- HØGH-JENSEN, H., SCHJOERRING, J.K., 2001. Rhizodeposition of nitrogen by red clover, white clover and ryegrass leys. Soil Biology & Biochemistry 33, 439-448.
- JOST, B., 2003: Untersuchungen und Kalkulationstabellen zur Schätzung der N₂-Fixierleistung und der N-Flächenbilanz beim Anbau von *Lupinus albus* und *Lupinus luteus* in Reinsaat und von *Vicia faba* und *Pisum sativum* in Reinsaat und im Gemenge mit *Avena sativa*. Diss. (agr.) Universität Göttingen.
- JUNG, R., 2003: Stickstoff-Fixierleistung von Luzerne (*Medicago sativa* L.), Rotklee (*Trifolium pratense* L.) und Persischem Klee (*Trifolium resupinatum* L.) in Reinsaat und Gemenge mit Poaceen. Diss. (agr.) Universität Göttingen.

- KAUL, H.-P., 1998: Analyse und Modellierung des Vorrucht-Nachfrucht-Systems unter besonderer Berücksichtigung der Stickstoffflüsse nach dem Anbau öl- und eiweißreicher Körnerfruchtarten. Habilitationsschrift an der Universität Hohenheim.
- KAULE, G., 1998: Abschlussbericht des EU-Projektes: "Regional guidelines to support sustainable land use by EU agrienvironmental programmes (AEP). EU-Forschungsprojekt AIR3-CT94-1296 "Regionale Richtlinien zur Unterstützung einer nachhaltigen Landnutzung durch Agrar-Umweltprogramme der EU". Universität Stuttgart (2 CD's).
- KÖNIGS, I., 1987: Durchwurzelung des Bodens von Hafer, Erbsen und Ackerbohnen und im Boden verbleibende Nitratmengen – Beobachtungen an einem Feldversuch 1986. Diplomarbeit im Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Universität Göttingen.
- LOGES, R., 1998: Ertrag, Futterqualität, N₂-Fixierleistung und Vorruchtwert von Rotklee- und Rotklee grasbeständen. Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel 9, 1-262.
- LOPOTZ, H.-W., 1997: Biologische N₂-Fixierung von Klee-Reinbeständen und Klee-Gras-Gemengen unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses der N-Nachlieferung des Bodens. Diss. (agr.) Universität Bonn.
- MAYER, J., BUEGGER, F., JENSEN, E.S., SCHLOTTER, M. & J. HESS, 2003. Estimating N rhizodeposition of grain legumes using a ¹⁵N in situ stem labelling method. *Soil Biology and Biochemistry* 35, 21-28.
- PIETSCH, G., 2004: N₂-Fixierleistung und Wasserverbrauch von Futterleguminosen im Ökologischen Landbau unter den klimatischen Bedingungen der pannonischen Region Österreichs. Diss. (agr.) Universität für Bodenkultur Wien.
- PROTZMANN, M., 1991: Zur Vorrucht- und Stickstoffwirkung von Leguminosen unter besonderer Berücksichtigung der Lupinen (*Lupinus albus* L. und *Lupinus luteus* L.). Diss. (agr.) Universität Gießen.
- RÄTZ, D., 1998: Räumliche Variabilität pflanzlicher Kenngrößen der N-Flächenbilanz beim Anbau von Leguminosen. Untersuchung mit Hilfe der $\delta^{15}\text{N}$ -Methode in Ackerschlägen. Dipl. (agr.) Universität Göttingen.
- REINING, E., 2005: Assessment tool for biological nitrogen fixation of *Vicia faba* cultivated as spring main crop. *European Journal of Agronomy* 23, 392-400.
- REITER, K., K. SCHMIDTKE & R. RAUBER, 2002: The influence of long-term tillage systems on symbiotic N₂ fixation of pea (*Pisum sativum* L.) and red clover (*Trifolium pratense* L.). *Plant and Soil* 238, 41-55.
- SAWATSKY, N. & R.J. SOPER, 1991: A quantitative measurement of the nitrogen loss from the root system of field peas (*Pisum arvense* L.) grown in the soil. *Soil Biology and Biochemistry* 23, 255-259.
- SCHMIDTKE, K., 1997: Stickstoff-Fixierleistung und N-Flächenbilanz beim Anbau von Erbsen (*Pisum sativum* L.) unterschiedlichen Wuchstyps in Reinsaat und Gemengesaat mit Hafer (*Avena sativa* L.). *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* 10, 63-64.

- SCHMIDTKE, K., 1997a: Stickstoff-Fixierleistung und N-Flächenbilanz beim Anbau von Erbsen (*Pisum sativum* L.) unterschiedlichen Wuchstyps in Reinsaat und Gemengesaat mit Hafer (*Avena sativa* L.). Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 10, 63-64.
- SCHMIDTKE, K., 1997b: Einfluß von Rotklee (*Trifolium pratense* L.) in Reinsaat und Gemenge mit Poaceen auf symbiotische N₂-Fixierung, bodenbürtige N-Aufnahme und CaCl₂-extrahierbare N-Fraktionen im Boden. Diss. (agr.) Universität Gießen.
- SCHMIDTKE, K., 2001: Umweltgerechter Anbau von Leguminosen. Entwicklung und Anwendung eines Verfahrens zur Quantifizierung der N-Flächenbilanz (AZ 07312). Abschlußbericht des Forschungsvorhabens, gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück (Dezember 2001), 1-234.
- SCHMIDTKE, K., 2001: Umweltgerechter Anbau von Leguminosen. Entwicklung und Anwendung eines Verfahrens zur Quantifizierung der N-Flächenbilanz (AZ 07312). Abschlußbericht des Forschungsvorhabens, gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück (Dezember 2001), 1-234.
- SCHMIDTKE, K., 2005a: N-Rhizodeposition bei Leguminosen: Messgenauigkeit, Modellierung und Bedeutung für den Pflanzenbau. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 17, 387-388.
- SCHMIDTKE, K., 2005b: How to calculate nitrogen rhizodeposition: a case study in estimating N rhizodeposition in the pea (*Pisum sativum* L.) and grasspea (*Lathyrus sativus* L.). Soil Biology and Biochemistry 37, 1893-1897.
- SCHMIDTKE, K., 2004: N-Rhizodeposition bei Leguminosen: Methodik, Modellierung und Bedeutung für den Pflanzenbau. Vortrag im pflanzenbaulichen Kolloquium des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Universität Göttingen am 01.01.2004.
- SCHMIDTKE, K., 2005b: How to calculate nitrogen rhizodeposition: a case study in estimating N rhizodeposition in the pea (*Pisum sativum* L.) and grasspea (*Lathyrus sativus* L.). Soil Biology and Biochemistry 37, 1893-1897.
- SCHREIBER, C. 1992: Schätzung der symbiotisch fixierten Stickstoffmenge von Luzerne (*Medicago media*) mit der erweiterten Differenzmethode im Ackerbau-Systemversuch. Diplomarbeit im Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Universität Göttingen.
- SCHULZKE, D., 1988: Ein Ertragsbildungsmodell für Winterroggen, Wintergerste und Winterweizen auf der Grundlage "komplexer Maßzahlen". Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde 32, 779-793.
- SCHULZKE, D., 1988: Eine ökologische begründete territoriale Gebietsgliederung der DDR für die Wintergetreideproduktion. Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde 32, 767-777.
- SCHULZKE, D., 2001: Agrarmeteorologische Hinweise für die Ertragsbildung beim Wintergetreide. Ergebnisse aus einem EU-Forschungsprojekt (AIR 3 CT94 – 1296). Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde 46, 465-483.
- SCHULZKE, D., 2004: Welchen Einfluss haben die ökologischen Rahmenbedingungen in definierten Naturräumen auf den Ertrag und die Krankheitsanfälligkeit beim

- Wintergetreide in Deutschland? Archives of Agronomy and Soil Science, 50, 221-236.
- SCHULZKE, D. & G. KAULE, 2001: Agro-ecological classification and spatial demarcation of western Europe. Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde 46, 385-407.
- SCHUVO, 1996: Verordnung über Schutzbestimmungen in Wasserschutzgebieten des Landes Niedersachsen (SchuVO).
- THIES, J.E., SINGLETON, P.W. & BOHLOOL, B.B., 1991: Modeling symbiotic performance of introduced rhizobia in the field by use of indices of indigenous population size and nitrogen status of the soil. Applied and Environmental Microbiology 57 (1), 29-37.
- Turpin, J.E., Herridge, D.F. & Robertson, M.J.: Nitrogen fixation and soil nitrate interactions in field-grown chickpea (*Cicer arietinum*) and fababean (*Vicia faba*). Australian Journal of Agricultural Research, 2002, 53, 599–608
- VAN KESSEL, C. & Hartley, C., 2000: Agricultural management of grain legumes: has it led to an increase in nitrogen fixation? Field Crops Research 65, 165-181.
- VOISIN, A.-S., SALON, C., MUNIER-JOLAIN, N., & B. NEY, 2002a: Effect of mineral nitrogen on nitrogen nutrition and biomass partitioning between the shoot and roots of pea (*Pisum sativum* L.). Plant and Soil 242, 251-262.
- VOISIN, A.-S., SALON, C., MUNIER-JOLAIN, N., & B. NEY, 2002b: Quantitative effects of soil nitrate, growth potential and phenology on symbiotic nitrogen fixation of pea (*Pisum sativum* L.). Plant and Soil 243, 31-42.
- WALLEY, F.L., G.O. TOMM, A. MATUS, A.E. SLINKARD & C. VAN KESSEL, 1996: Allocation and cycling of nitrogen in an alfalfa-bromegrass sward. Agron. J. 88, 834-843.
- WICHMANN, S., 2004: Ertragsleistung, Futterqualitätsentwicklung, N₂-Fixierungsleistung und Vorfruchtwirkung von verschiedenen Körnerleguminosenarten in Reinsaat und im Gemenge mit Getreide. Diss. (agr.) Universität Kiel.

Anhang

i) **N-Mengen der Referenzpflanzen**

Tab. A 1: Im Hafer-Spross gefundenen N-Mengen zum Zeitpunkt der Beerntung von Erbse zu den Entwicklungsstadien BBCH 79 (I) und BBCH 89 (II) der Versuchsjahre 2005 und 2006 (Sortierung nach Ackerzahl, Az)

2005	Az	I	II	2006	Az	I	II
Buchholz	25	65,1	63,4	Buchholz	28	25,1	26,0
Güterfelde	31	51,0	57,5	Güterfelde	31	--	--
Osnabrück	37	--	42,2	Osnabrück	37	48,7	74,9
Gülzow	38	88,6	105,7	Gülzow	38	--	--
Göttingen-Deppoldshausen	46	75,4	89,7	Göttingen-Deppoldshausen	46	74,1	79,8
Jahnsfelde	46	--	--	Jahnsfelde	46	41,4	75,0
Dresden-Pillnitz	55	--	--	Dresden-Pillnitz	55	58,3	68,1
Bad Kreuznach	60	103,4	87,5	Bad Kreuznach	60	82,9	130,0
Blekendorf	60	49,1	53,8	Blekendorf	60	62,9	64,4
Alsfeld	61	89,0	89,0	Alsfeld	61	94,9	128,6
Roda	66	103,6	112,6	Roda	66	76,9	85,0
Köln	68	51,5	51,5	Köln	68	116,7	107,9
Göttingen-Reinshof	89	80,5	92,8	Göttingen-Reinshof	77	129,1	116,1

Tab. A 2: Im Schnittgut von Wiesenschwingel und Welschem Weidelgras gefundenen N-Mengen als Referenzpflanze zu den Anbausystemen einjährig und überjährig bei Futterleguminosen der Versuchsjahre 2005 und 2006 (Sortierung nach Ackerzahl, Az)

WS	Az	2005	2006	WW	Az	2005	2006
Adorf	22	54,7	139,6	Wildeck	29	--	87,9
Verl	27	105,9	92,9	Kiel	43	71,3	65,5
Kiel	43	30,7	62,2	Jahnsfelde	46	50,7	20,0
Jahnsfelde	46	101,6	53,1	Deppoldshausen	46	--	62,4
Göttingen-Deppoldshausen	46	44,5	42,3	Dürrröhrsdorf	58	75,6	88,7
Isernhagen	48	--	54,5	Dresden-Podemus	60	87,9	47,4
Heynitz	58	59,3	36,8	Viehhausen	64	--	124,5
Dresden-Podemus	60	87,9	149,4	Reinshof	89	128,6	118,0
Viehhausen	64	--	47,4				
Rheinbach	68	60,2	59,5				
Kleve/Emmerich	70	98,3	73,2				
Villmar	74	67,3	81,0				
Göttingen-Reinshof	89	97,7	70,8				

ii) Kalkulationsverfahren der Körnerleguminosen in Reinsaat

Tab. A 3a: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos Grünspeiseerbse

Ermittlung der gesamt-pflanzlichen N-Menge N _{Bt} [kg N ha ⁻¹]			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
1.	Erntejahr		
2.	X = FM-Kornertrag_1 [dt FM ha ⁻¹] (Beerntung zur Grün- oder Teigreife, BBCH 79)	TM-Kornertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]	f(x) = y ₀ +a*x = 0,9044429615802 + 0,20664
3.	Restfeuchtegehalt des Kornertrages [%]	nicht bei Grünspeiseerbse	
4.	Ernteverluste		
4a.	gering (2 [%] des TM-Kornertrages)	TM-Kornertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Kornertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]
4b.	mittel (5 [%] des TM-Kornertrages)	TM-Kornertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Kornertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]
4c.	hoch (10 [%] des TM-Kornertrages)	TM-Kornertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Kornertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]
4d.	sehr hoch (20 [%] des TM-Kornertrages)	TM-Kornertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Kornertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]
5a.	X = TM-Kornertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]	Korn-N-Menge [kg N ha ⁻¹]	f(x) = y ₀ +a*x = 6,44238773027269 + 3,5936
5b.	TM-Kornertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] und Rohproteingehalt im Korn [%] laut Analyse	Korn-N-Menge [kg N ha ⁻¹]	= TM-Kornertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] * Rohprotein [%] / 6,25 (Umrechnung von dt in kg **100' kürzt '/100' an)
6.	Witterungsbedingungen	nicht bei Grünspeiseerbse	
6a.	warm und trocken		
6b.	kühl und feucht		
7.	z = Korn-N-Menge x = TM-Kornertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	gesamt-pflanzliche N-Menge, N _{Bt} [kg N ha ⁻¹]	f(x,z) = z/(y ₀ +a*x) = z/(0,04653132607426 + 0,0250

Tab. A 3b: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim

Boden-N-Angebot [kg N ha⁻¹]			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
8.	Jahresbasis N-Angebot im Boden		
8a.	2005	Jahresbasiswert	= 14,28 [kg N ha ⁻¹]
8b.	2006	Jahresbasiswert	= 8,05 [kg N ha ⁻¹]
9.	Ackerzahl	Boden-N-Angebot_1 [kg N ha ⁻¹]	= Jahresbasiswert + (3 * √Ackerzahl)
10.	Vorfruchtbedingte/düngebedingte N-Nachlieferung des Bodens		
10a.	sehr gering bis gering	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 1 [kg N ha ⁻¹]
10b.	mittel	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 2 [kg N ha ⁻¹]
10c.	hoch bis sehr hoch	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 3 [kg N ha ⁻¹]

Tab. A 3c: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim

Grad der Verunkrautung zum Druschzeitpunkt			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
11.	Grad der Verunkrautung zum Druschzeitpunkt		
11a.	sehr gering	Boden-N-Angebot_3 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_2
11b.	gering	Boden-N-Angebot_3 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_2 - 5 [kg N ha ⁻¹]
11c.	mittel bis stark	Boden-N-Angebot_3 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_2 - 10 [kg N ha ⁻¹]
11d.	sehr stark	Boden-N-Angebot_3 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_2 - 20 [kg N ha ⁻¹]

Tab. A 3d: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim

Erweiterte N ₂ -Fixierleistung [kg N ha ⁻¹] und erweiterte N-Flächenbilanz [kg N ha ⁻¹]			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
12a.		N _{fixerw} [kg N ha ⁻¹] ^(a)	{N _{Bt} [kg N ha ⁻¹] - (Boden-N-Angebot ₃ * 1,111 + 16,2 ^(b) [kg N ha ⁻¹])} * 1,087 ^(c)
12b.	<u>Achtung!!!</u>	N _{fixerw} [kg N ha ⁻¹], wenn N _{fixerw} ≤ 10 [%] von N _{Bt} * 1,087, dann (s. Funktion)	N _{Bt} [kg N ha ⁻¹] * 1,087 * 10 / 100
13.		erweiterte N-Flächenbilanz N-Flächenbilanz _{erw} [kg N ha ⁻¹]	N _{fixerw} [kg N ha ⁻¹] - Korn-N-Menge [kg N ha ⁻¹]

^(a) Erweiterung der ermittelten bodenbürtigen N-Aufnahme der Referenzpflanze Hafer um den N-Anteil der Haferwurzeln ^(b) mittlere residuale N_{min}-Menge als Grünspeiseerbse, reduziert um residuale N_{min}-Menge beim Anbau von *Avena sativa* L. in Reinsaat, gemittelt über die Anbaujahre 1999, 2000 und 2001 in Göttingen und Groß Malchau, ^(c) 8,7 [%] des gesamt-pflanzlichen Stickstoffs der Grünspeiseerbse verbleiben über die Rhizodeposition im Boden

Tab. A 4a: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos bei Reinsaat zur Körnernutzung

Ermittlung der gesamt-pflanzlichen N-Menge N _{Bt} [kg N ha ⁻¹]			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
1.	Erntejahr		
2.	Korn-Ertrag_1 [dt ha ⁻¹]		
3.	Restfeuchtegehalt des Kornertrages [%]	Korn-TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]	= Korn-Ertrag_1 [dt ha ⁻¹] * (100 – Restfeuchtegehalt-%)
4.	Ernteverluste		
4a.	gering (2 % des Kornertrags)	Korn-TM-Ertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	= Korn-TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]
4b.	mittel (5 % des Kornertrags)	Korn-TM-Ertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	= Korn-TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]
4c.	hoch (10 % des Kornertrags)	Korn-TM-Ertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	= Korn-TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]
4d.	sehr hoch (20 % des Kornertrags)	Korn-TM-Ertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	= Korn-TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]
5a.	x = Korn-TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]	Korn-N-Menge [kg N ha ⁻¹] trocken-warm	f(x) = y ₀ +a*x = 5,40740159257348 + 3,2691
5b.	x =Korn-TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]	Korn-N-Menge [kg N ha ⁻¹] feucht-kühl	f(x) = y ₀ +a*x = 1,52316593388227 + 3,5003
5c.	Korn-TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] und Rohproteingehalt im Korn [%] laut Analyse	Korn-N-Menge [kg N ha ⁻¹]	= Korn-TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] * Rohprotein [%] / 6,25 (Umrechnung von dt in kg ,*100' kürzt ,/100' a
6.	Witterungsbedingungen		
6a.	warm und trocken	dann 5a, 7a	
6b.	kühl und feucht	dann 5b, 7b	

Tab. A 4b: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Körnernutzung

Ermittlung der gesamt-pflanzlichen N-Menge N_{Bt} [kg N ha⁻¹]			
7.		gesamt-pflanzliche N-Menge N _{Bt} [kg N ha ⁻¹]	$f(x) = y_0 + a \cdot x$ = 38,354262626013 + 8,38570
7a	x = Kornertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	gesamt-pflanzliche N-Menge N _{Bt} [kg N ha ⁻¹] trocken-warm	[(5,40740159257348 + 3,2691 * 0,313486281430554 + 1,202 [(5,40740159257348 + 3,2691
7b	x = Kornertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	gesamt-pflanzliche N-Menge N _{Bt} [kg N ha ⁻¹] feucht kühl	[(1,52316593388227 + 3,5003 * 0,458845504885404 + 26,69 [(1,52316593388227 + 3,5003 x)]

Tab. A 4c: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Körnernutzung

Boden-N-Angebot [kg N ha⁻¹]			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
8.	Jahresbasis N-Angebot im Boden		
8a.	2005	Jahresbasiswert	= 15,17 [kg N ha ⁻¹]
8b.	2006	Jahresbasiswert	= 10,20 [kg N ha ⁻¹]
9.	Ackerzahl	Boden-N-Angebot_1 [kg N ha ⁻¹]	= Jahresbasiswert + (4 * $\sqrt{\text{Ackerzahl}}$)
10.	Vorfruchtbedingte/düngebedingte N-Nachlieferung des Bodens		
10a.	sehr gering bis gering	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 1 [kg N ha ⁻¹]
10b.	mittel	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 2 [kg N ha ⁻¹]
10c.	hoch bis sehr hoch	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 3 [kg N ha ⁻¹]

Tab. A 4d: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Körnernutzung

Grad der Verunkrautung zum Druschzeitpunkt			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
11.		Grad der Verunkrautung zum Druschzeitpunkt	
11a.	sehr gering	Boden-N-Angebot_3 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_2
11b.	gering	Boden-N-Angebot_3 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_2 - 7,5 [kg N ha ⁻¹]
11c.	mittel bis stark	Boden-N-Angebot_3 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_2 - 17,5 [kg N ha ⁻¹]
11d.	sehr stark	Boden-N-Angebot_3 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_2 - 27,5 [kg N ha ⁻¹]

Tab. A 4e: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Körnernutzung

Erweiterte N ₂ -Fixierleistung [kg N ha ⁻¹] und erweiterte N-Flächenbilanz [kg N ha ⁻¹]			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
12a.		N _{fixerw} [kg N ha ⁻¹]	{N _{Bt} [kg N ha ⁻¹] - (Boden-N-Angebot_3 (kg N h * (-1,33931908784084 + 0,65247819736954x) ^(a))} * 1
12b.	<u>Achtung!!!</u>	N _{fixerw} [kg N ha ⁻¹], wenn N _{fixerw} ≤ 10 % von N _{Bt} * 1,1375, dann (s. Funktion)	N _{Bt} [kg N ha ⁻¹] * 1,1375 * 10 / 100
13.		erweiterte N-Flächenbilanz N-Flächenbilanz _{erw} [kg N ha ⁻¹]	N _{fixerw} [kg N ha ⁻¹] - Korn-N-Menge [kg N ha ⁻¹]

^(a) Regression der bodenbürtigen N-Aufnahme der Körnererbse auf die im Spross der parallel gewachsenen Referenzpflanze Hafer gefundene N-Menge der Körnererbse verbleiben über die Rhizodeposition im Boden

Tab. A 5a: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos bei Körnernutzung

Ermittlung der gesamtplanzlichen N-Menge N _{Bt} [kg N ha ⁻¹]			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
1.	Erntejahr		
2.	Korn-Ertrag_1 [dt ha ⁻¹]		
3.	Restfeuchtegehalt des Kornertrages [%]	Korn-TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]	= Korn-Ertrag_1 [dt ha ⁻¹] * (100 – Restfeuchtegehalt-%)
4.	Ernteverluste		
4a.	gering (2 % des Kornertrags)	Korn-TM-Ertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	= Korn-TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]
4b.	mittel (5 % des Kornertrags)	Korn-TM-Ertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	= Korn-TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]
4c.	hoch (10 % des Kornertrags)	Korn-TM-Ertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	= Korn-TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]
4d.	sehr hoch (20 % des Kornertrags)	Korn-TM-Ertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	= Korn-TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]
5a.	x = Korn-TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]	Korn-N-Menge [kg N ha ⁻¹] trocken-warm	f(x) = y ₀ +a*x = 2,4018417550935 + 4,33877
5b.	Korn-TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] und Rohproteingehalt im Korn [%] laut Analyse	Korn-N-Menge [kg N ha ⁻¹]	= Korn-TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] * Rohprotein [%] / 6,25 (Umrechnung von dt in kg ,*100' kürzt ,/100' a
6.	Witterungsbedingungen	nicht bei Ackerbohne	

Tab. A 5b: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Körnernutzung

Ermittlung der gesamt-pflanzlichen N-Menge N_{Bt} [kg N ha⁻¹]			
7.	x = Kornertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	gesamt-pflanzliche N-Menge N _{Bt} [kg N ha ⁻¹]	f(x) = y ₀ +a*x = 68,055689338351 + 5,09834

Tab. A 5c: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Körnernutzung

Boden-N-Angebot [kg N ha⁻¹]			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
8.	Jahresbasis N-Angebot im Boden		
8a.	2005	Jahresbasiswert	= 15,17 [kg N ha ⁻¹]
8b.	2006	Jahresbasiswert	= 10,20 [kg N ha ⁻¹]
9.	Ackerzahl	Boden-N-Angebot_1 [kg N ha ⁻¹]	= Jahresbasiswert + (4 * √Ackerzahl)
10.	Vorfruchtbedingte/düngebedingte N-Nachlieferung des Bodens		
10a.	sehr gering bis gering	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 1 [kg N ha ⁻¹]
10b.	mittel	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 2 [kg N ha ⁻¹]
10c.	hoch bis sehr hoch	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 3 [kg N ha ⁻¹]

Tab. A 5d: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Körnernutzung

Grad der Verunkrautung zum Druschzeitpunkt			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
11.		Grad der Verunkrautung zum Druschzeitpunkt	
11a.	sehr gering	Boden-N-Angebot_3 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_2
11b.	gering	Boden-N-Angebot_3 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_2 - 7,5 [kg N ha ⁻¹]
11c.	mittel bis stark	Boden-N-Angebot_3 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_2 - 17,5 [kg N ha ⁻¹]
11d.	sehr stark	Boden-N-Angebot_3 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_2 - 27,5 [kg N ha ⁻¹]

Tab. A 5e: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Körnernutzung

Erweiterte N ₂ -Fixierleistung [kg N ha ⁻¹] und erweiterte N-Flächenbilanz [kg N ha ⁻¹]			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
12a.		N _{fixerw} [kg N ha ⁻¹]	{N _{Bt} [kg N ha ⁻¹] - (Boden-N-Angebot_3 (kg N ha ⁻¹) (-4,35244102229193 + 0,80573637836403 * x) ^(a) }}
12b.	<u>Achtung!!!</u>	N _{fixerw} [kg N ha ⁻¹], wenn N _{fixerw} ≤ 10 % von N _{Bt} * 1,1313, dann (s. Funktion)	N _{Bt} [kg N ha ⁻¹] * 1,1313 * 10 / 100
13.		erweiterte N-Flächenbilanz N-Flächenbilanz _{erw} [kg N ha ⁻¹]	N _{fixerw} [kg N ha ⁻¹] - Korn-N-Menge [kg N ha ⁻¹]

^(a) Regression der bodenbürtigen N-Aufnahme der Ackerbohne auf die im Spross der parallel gewachsenen Referenzpflanze Hafer gefundene N-Menge Ackerbohne verbleiben über die Rhizodeposition im Boden

Tab. A 6a: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos Lupine zur Körnernutzung

Ermittlung der gesamt-pflanzlichen N-Menge N _{Bt} [kg N ha ⁻¹]			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
1.	Erntejahr		
2.	Kornertrag_1 [dt ha ⁻¹]		
3.	Restfeuchtegehalt des Kornertrages [%]	TM-Kornertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]	= Kornertrag_1 [dt ha ⁻¹] * (100 - Restfeuchtegehalt [%])
4.	Ernteverluste		
4a.	gering (2 [%] des TM-Kornertrages)	TM-Kornertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Kornertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]
4b.	mittel (5 [%] des TM-Kornertrages)	TM-Kornertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Kornertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]
4c.	hoch (10 [%] des TM-Kornertrages)	TM-Kornertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Kornertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]
4d.	sehr hoch (20 [%] des TM-Kornertrages)	TM-Kornertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Kornertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]
5a.	x = TM-Kornertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]	Korn-N-Menge [kg N ha ⁻¹]	f(x) = y ₀ +a*x = 0,24119740000801 + 6,6476
5b.	TM-Kornertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] und Rohproteingehalt im Korn [%] laut Analyse	Korn-N-Menge [kg N ha ⁻¹]	= TM-Kornertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] * Rohprotein [%] / 6,25 (Umrechnung von dt in kg **100' kürzt '/100' an)
6.	Witterungsbedingungen	nicht bei Gelber Lupine	
6a.	warm und trocken		
6b.	kühl und feucht		
7.	x = TM-Kornertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	gesamt-pflanzliche N-Menge N _{Bt} [kg N ha ⁻¹]	f(x) = y ₀ +a*x = 38,354262626013 + 8,38570

Tab. A 6b: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Körnernutzung

Boden-N-Angebot [kg N ha⁻¹]			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
8.	Jahresbasis N-Angebot im Boden		
8a.	2005	Jahresbasiswert	= 15,17 [kg N ha ⁻¹]
8b.	2006	Jahresbasiswert	= 10,20 [kg N ha ⁻¹]
9.	Ackerzahl	Boden-N-Angebot_1 [kg N ha ⁻¹]	= Jahresbasiswert + (4 * $\sqrt{\text{Ackerzahl}}$)
10.	Vorfruchtbedingte/düngebedingte N-Nachlieferung des Bodens		
10a.	sehr gering bis gering	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 1 [kg N ha ⁻¹]
10b.	mittel	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 2 [kg N ha ⁻¹]
10c.	hoch bis sehr hoch	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 3 [kg N ha ⁻¹]

Tab. A 6c: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Körnernutzung

Grad der Verunkrautung zum Druschzeitpunkt			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
11.	Grad der Verunkrautung zum Druschzeitpunkt		
11a.	sehr gering	Boden-N-Angebot_3 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_2
11b.	gering	Boden-N-Angebot_3 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_2 - 7,5 [kg N ha ⁻¹]
11c.	mittel bis stark	Boden-N-Angebot_3 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_2 - 17,5 [kg N ha ⁻¹]
11d.	sehr stark	Boden-N-Angebot_3 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_2 - 27,5 [kg N ha ⁻¹]

Tab. A 6d: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Avena sativa L. in Reinsaat, gemittelt über die Anbaujahre 1999, 2000 und 2001, die Versuchsanlage Groß Malchau

Erweiterte N ₂ -Fixierleistung [kg N ha ⁻¹] und erweiterte N-Flächenbilanz [kg N ha ⁻¹]			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
12a.		N _{fixerw} [kg N ha ⁻¹] ^(a)	(N _{Bt} [kg N ha ⁻¹] - (Boden-N-Angebot ₃ * 1,069 + 9,8 ^(b) [kg N ha ⁻¹]) * 1,133 ^(c)
12b.	<u>Achtung!!!</u>	N _{fixerw} [kg N ha ⁻¹], wenn N _{fixerw} ≤ 10 [%] von N _{Bt} * 1,133, dann (s. Funktion)	N _{Bt} [kg N ha ⁻¹] * 1,133 * 10 / 100
13.		erweiterte N-Flächenbilanz N-Flächenbilanz _{erw} [kg N ha ⁻¹]	N _{fixerw} [kg N ha ⁻¹] - Korn-N-Menge [kg N ha ⁻¹]

^(a) Erweiterung der ermittelten bodenbürtigen N-Aufnahme der Referenzpflanze Hafer um den N-Anteil der Haferwurzeln, ^(b) mittlere residuale N_{min}-Menge beim Anbau von Avena sativa L. in Reinsaat, gemittelt über die Anbaujahre 1999, 2000 und 2001, die Versuchsanlage Groß Malchau, ^(c) 13,3 [%] des gesamt-pflanzlichen Stickstoffs der Gelben Lupine verbleiben über die Rhizodeposition im Boden

Tab. A 7a: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos Lupine zur Körnernutzung

Ermittlung der gesamtplanzlichen N-Menge N _{Bt erw} [kg N ha ⁻¹]			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
1.	Erntejahr		
2.	Kornertrag_1 [dt ha ⁻¹]		
3.	Restfeuchtegehalt des Kornertrages [%]	TM-Kornertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]	= Kornertrag_1 [dt ha ⁻¹] * (100 - Restfeuchtegehalt [%])
4.	Ernteverluste		
4a.	gering (2 % des TM-Kornertrags_2)	TM-Kornertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Kornertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]
4b.	mittel (5 % des TM-Kornertrags_2)	TM-Kornertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Kornertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]
4c.	hoch (10 % des TM-Kornertrags_2)	TM-Kornertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Kornertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]
4d.	sehr hoch (20 % des TM-Kornertrags_2)	TM-Kornertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Kornertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]
5a.	x = TM-Kornertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]	Korn-N-Menge [kg N ha ⁻¹]	f(x) = y ₀ +a*x = -3,49732212219706 + 5,83238
5b.	TM-Kornertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] und Rohproteingehalt im Korn [%] laut Analyse	Korn-N-Menge [kg N ha ⁻¹]	= TM-Kornertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] * Rohprotein [%] / 6,25 (Umrechnung von dt in kg **100' kürzt '/100' aus)
6.	Witterungsbedingungen	nicht bei Weißer Lupine	
6a.	warm und trocken		
6b.	kühl und feucht		
7.	x = TM-Kornertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	gesamtplanzliche N-Menge N _{Bt} [kg N ha ⁻¹]	f(x) = y ₀ +a*x = -5,26293652184484 + 9,51500

Tab. A 7b: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Körnernutzung

Boden-N-Angebot [kg N ha⁻¹]			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
8.	Jahresbasis N-Angebot im Boden		
8a.	2005	Jahresbasiswert	= 15,17 [kg N ha ⁻¹]
8b.	2006	Jahresbasiswert	= 10,20 [kg N ha ⁻¹]
9.	Ackerzahl	Boden-N-Angebot_1 [kg N ha ⁻¹]	= Jahresbasiswert + (4 * $\sqrt{\text{Ackerzahl}}$)
10.	Vorfruchtbedingte/düngebedingte N-Nachlieferung des Bodens		
10a.	sehr gering bis gering	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 1 [kg N ha ⁻¹]
10b.	mittel	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 2 [kg N ha ⁻¹]
10c.	hoch bis sehr hoch	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 3 [kg N ha ⁻¹]

Tab. A 7c: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Körnernutzung

Nr.	Abfrage	Grad der Verunkrautung zum Druschzeitpunkt	
		Zielgröße	Funktion
11.	Grad der Verunkrautung zum Druschzeitpunkt		
11a.	sehr gering	Boden-N-Angebot_3 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_2
11b.	gering	Boden-N-Angebot_3 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_2 - 7,5 [kg N ha ⁻¹]
11c.	mittel bis stark	Boden-N-Angebot_3 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_2 - 17,5 [kg N ha ⁻¹]
11d.	sehr stark	Boden-N-Angebot_3 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_2 - 27,5 [kg N ha ⁻¹]

Tab. A 7d: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Körnernutzung

Erweiterte N ₂ -Fixierleistung [kg N ha ⁻¹] und erweiterte N-Flächenbilanz [kg N ha ⁻¹]			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
12a.		N _{fixerw} [kg N ha ⁻¹] ^(a)	(N _{Bt} [kg N ha ⁻¹] - (Boden-N-Angebot ₃ * 1,069 + 10,5 [kg N ha ⁻¹] ^(b))) * 1,188 ^(c)
12b.	<u>Achtung!!!</u>	N _{fix erw} [kg N ha ⁻¹], wenn N _{fixerw} ≤ 10 % von N _{Bt} * 1,188, dann (s. Funktion)	N _{Bt} [kg N ha ⁻¹] * 1,188 * 10 / 100
13.		erweiterte N-Flächenbilanz N-Flächenbilanz _{erw} [kg N ha ⁻¹]	N _{fixerw} [kg N ha ⁻¹] - Korn-N-Menge [kg N ha ⁻¹]

^(a) Erweiterung der ermittelten bodenbürtigen N-Aufnahme der Referenzpflanze Hafer um den N-Anteil der Haferwurzeln, ^(b) mittlere residuale N_{min}-Menge Körnernutzung, reduziert um residuale N_{min}-Menge beim Anbau von *Avena sativa* L. in Reinsaat, gemittelt über die Anbaujahre 1999, 2000 und 2001, die und Groß Malchau, ^(c) 18,8 % des gesamt-pflanzlichen Stickstoffs der Weißen Lupine verbleiben über die Rhizodeposition im Boden

iii) Kalkulationsverfahren der Körnerleguminosen im Gemenge

Tab. A 8a: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos bei Gemenge mit Hafer zur Ganzpflanzensilage

Aufteilung der Anteile der Gemengepartner			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
1.	Erntejahr		
2.	Gesamtschnittgut-Ertrag _{Gemenge} [dt FM ha ⁻¹]		
2a.	prozentualer Anteil Erbse am Gesamtschnittgut-Ertrag [%]	Frischmasse (FM) des Schnittgutertrags _{Erbse_1} [dt FM ha ⁻¹]	= Gesamtschnittgut-Ertrag [dt FM ha ⁻¹] * Anteil am Gesamtertrag _{Erbse}
2b.		FM des Schnittgutertrags _{Hafer_1} [dt FM ha ⁻¹]	= Gesamtertrag [dt FM ha ⁻¹] - Schnittgutertrag _{Erbse_1} [dt FM ha ⁻¹]

Tab. A 8b: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Erbsen und Hafer zur Ganzpflanzensilage

Ermittlung der gesamt-pflanzlichen N-Menge N_{Bt} [kg N ha⁻¹] des Gemengepflanzens			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
3.	Schnittgutertrag _{Erbse_1} [dt FM ha ⁻¹]	Schnittgut-TM- Ertrag _{Erbse_2}	
3a.	25 [%] Trockenmassegehalt		= Schnittgutertrag _{Erbse_1} [dt FM ha ⁻¹] * 0,25
3b.	30 [%] Trockenmassegehalt		= Schnittgutertrag _{Erbse_1} [dt FM ha ⁻¹] * 0,30
3c.	35 [%]Trockenmassegehalt		= Schnittgutertrag _{Erbse_1} [dt FM ha ⁻¹] * 0,35
3d.	40 [%]Trockenmassegehalt		= Schnittgutertrag _{Erbse_1} [dt FM ha ⁻¹] * 0,40
4.	x = Schnittgut-TM-Ertrag _{Erbse_2} [dt TM ha ⁻¹]	Schnittgut-N-Menge _{Erbse} [kg N ha ⁻¹]	f(x) = y ₀ +a*x = -27,426803088883 + 2,5720*x
5.	Ernteverluste Erbsen		
5a.	gering (2 [%] des Schnittgut-TM- Ertrags _{Erbse_2})	Schnittgut-TM- Ertrag _{Erbse_3} [dt TM ha ⁻¹]	= Schnittgut-TM-Ertrag _{Erbse_2} [dt TM ha ⁻¹] * 1,02
5b.	mittel (5 [%] des Schnittgut-TM-Ertrags _{Erbse_2})	Schnittgut-TM- Ertrag _{Erbse_3} [dt TM ha ⁻¹]	= Schnittgut-TM-Ertrag _{Erbse_2} [dt TM ha ⁻¹] * 1,05
5c.	hoch (10 [%] des Schnittgut-TM-Ertrags _{Erbse_2})	Schnittgut-TM- Ertrag _{Erbse_3} [dt TM ha ⁻¹]	= Schnittgut-TM-Ertrag _{Erbse_2} [dt TM ha ⁻¹] * 1,10
5d.	sehr hoch (20 [%] des Schnittgut-TM-Ertrags _{Erbse_2})	Schnittgut-TM- Ertrag _{Erbse_3} [dt TM ha ⁻¹]	= Schnittgut-TM-Ertrag _{Erbse_2} [dt TM ha ⁻¹] * 1,20

Tab. A 8c: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Erbse und Hafer zur Ganzpflanzensilage

Ermittlung der gesamt-pflanzlichen N-Menge N_{Bt} [kg N ha⁻¹] des Gemengepar			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
6.	Witterungsbedingungen	nicht bei Erbse/Hafer-Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage	
6a.	warm und trocken		
6b.	kühl und feucht		
7.	x = Schnittgut-TM-Ertrag _{Erbse_3} [dt TM ha ⁻¹]	gesamt-pflanzliche N-Menge _{Erbse} N _{Bt Erbse} [kg N ha ⁻¹]	f(x) = y ₀ +a*x = -27,018414840116 + 2,62513

Tab. A 8d: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Hafer zur Ganzpflanzensilage

Ermittlung der gesamt-pflanzlichen N-Menge N_{Bt} [kg N ha⁻¹] des Gemengepflanzens			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
8.	Schnittgutertrag _{Hafer_1} [dt FM ha ⁻¹]	Schnittgut-TM- Ertrag _{Hafer_2}	
8a.	25 [%] Trockenmassegehalt		= Schnittgutertrag _{Hafer_1} [dt FM ha ⁻¹] * 0,25
8b.	30 [%] Trockenmassegehalt		= Schnittgutertrag _{Hafer_1} [dt FM ha ⁻¹] * 0,30
8c.	35 [%]Trockenmassegehalt		= Schnittgutertrag _{Hafer_1} [dt FM ha ⁻¹] * 0,35
8d.	40 [%]Trockenmassegehalt		= Schnittgutertrag _{Hafer_1} [dt FM ha ⁻¹] * 0,40
9.	x = Schnittgut-TM-Ertrag _{Hafer_2} [dt TM ha ⁻¹]	Schnittgut-N-Menge _{Hafer} [kg N ha ⁻¹]	f(x) = y ₀ +a*x = 11,532573669402 + 1,04659x
10.	Ernteverluste Hafer		
10a.	gering (2 [%] des Schnittgut-TM-Ertrags _{Hafer_2})	Schnittgut-TM- Ertrag _{Hafer_3} [dt TM ha ⁻¹]	= Schnittgut-TM-Ertrag _{Hafer_2} [dt TM ha ⁻¹] * 1,02
10b.	mittel (5 [%] des Schnittgut-TM-Ertrags _{Hafer_2})	Schnittgut-TM- Ertrag _{Hafer_3} [dt TM ha ⁻¹]	= Schnittgut-TM-Ertrag _{Hafer_2} [dt TM ha ⁻¹] * 1,05
10c.	hoch (10 [%] des Schnittgut-TM-Ertrags _{Hafer_2})	Schnittgut-TM- Ertrag _{Hafer_3} [dt TM ha ⁻¹]	= Schnittgut-TM-Ertrag _{Hafer_2} [dt TM ha ⁻¹] * 1,10
10d.	sehr hoch (20 [%] des Schnittgut-TM-Ertrags _{Hafer_2})	Schnittgut-TM- Ertrag _{Hafer_3} [dt TM ha ⁻¹]	= Schnittgut-TM-Ertrag _{Hafer_2} [dt TM ha ⁻¹] * 1,20

Tab. A 8e: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Hafer zur Ganzpflanzensilage

Ermittlung der gesamtpflanzlichen N-Menge N _{Bt} [kg N ha ⁻¹] des Gemengepar...			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
11.	Schnittgut-TM-Ertrag _{Hafer_3} [dt TM ha ⁻¹]	gesamtpflanzliche N-Menge _{Hafer} N _{Bt Hafer} [kg N ha ⁻¹]	f(x) = y ₀ +a*x = 14,860774176763 + 1,22577

Tab. A 8f: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Hafer zur Ganzpflanzensilage

Boden-N-Angebot [kg N ha ⁻¹]			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
12.	Jahresbasis N-Angebot im Boden		
12a.	2005	Jahresbasiswert	= 14,28 [kg N ha ⁻¹]
12b.	2006	Jahresbasiswert	= 8,05 [kg N ha ⁻¹]
13.	Ackerzahl	Boden-N-Angebot_1 [kg N ha ⁻¹]	= Jahresbasiswert + (3 * √Ackerzahl)
14.	vorfruchtbedingte/düngebedingte N-Nachlieferung des Bodens		
14a.	sehr gering bis gering	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 1 [kg N ha ⁻¹]
14b.	mittel	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 2 [kg N ha ⁻¹]
14c.	hoch bis sehr hoch	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 3 [kg N ha ⁻¹]

Tab. A 8g: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Hafer zur Ganzpflanzensilage

Grad der Verunkrautung zum Schnittzeitpunkt			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
15.	Grad der Verunkrautung zum Schnittzeitpunkt		
15a.	sehr gering	Boden-N-Angebot_3 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_2
15b.	gering	Boden-N-Angebot_3 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_2 - 5 [kg N ha ⁻¹]
15c.	mittel bis stark	Boden-N-Angebot_3 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_2 - 10 [kg N ha ⁻¹]
15d.	sehr stark	Boden-N-Angebot_3 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_2 - 20 [kg N ha ⁻¹]

Tab. A 8h: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Erbsen und Hafer zur Ganzpflanzensilage

Erweiterte N ₂ -Fixierleistung [kg N ha ⁻¹] des Gemengepartners Erbsen erweiterte N-Flächenbilanz [kg N ha ⁻¹] des Gemenges			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
16.		Boden-N-Angebot_4 [kg N ha ⁻¹]	Boden-N-Angebot_3 * 1,111 ^(a) - N _{Bt} Hafer [kg N ha ⁻¹]
17a.		N _{fixerw} Erbsen [kg N ha ⁻¹]	(N _{Bt} Erbsen [kg N ha ⁻¹] - Boden-N-Angebot_4 [kg N ha ⁻¹]) * 1,087 ^(c)
17b.	<u>Achtung!!!</u>	N _{fixerw} [kg N ha ⁻¹], wenn N _{fixerw} ≤ 10 [%] von N _{Bt} * 1,087, dann (s. Funktion)	N _{Bt} Erbsen [kg N ha ⁻¹] * 1,087 * 10 [%] / 100
18.		erweiterte N-Flächenbilanz N-Flächenbilanz _{erw} [kg N ha ⁻¹]	N _{fixerw} Erbsen [kg N ha ⁻¹] - Schnittgut-N-Menge _{Erbsen} [kg N ha ⁻¹] - Schnittgut-N-Menge _{Hafer} [kg N ha ⁻¹] - Wert in Gleichung 15a, b, c o

^(a) Erweiterung der ermittelten bodenbürtigen N-Aufnahme der Referenzpflanze Hafer um den N-Anteil der Haferwurzeln, ^(b) mittlere residuale N_{min}-Menge von Erbsen und Hafer im Gemenge zur Körnernutzung, reduziert um residuale N_{min}-Menge beim Anbau von *Avena sativa* L. in Reinsaat, gemittelt über die Anbaujahre 2008-2010 an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau, ^(c) 8,7 [%] des gesamt-pflanzlichen Stickstoffs verbleiben über die Rhizodeposition im Boden

Tab. A 9a: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos bei Gemenge mit Hafer zur Körnernutzung

Aufteilung der Anteile der Gemengepartner			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
1.	Erntejahr		
2.	Gesamtkornertrag _{Gemenge} [dt ha ⁻¹]		
2a.	Prozentualer Anteil Erbse am Gesamtkornertrag des Gemenges [%]	Kornertrag _{Erbse_1} [dt ha ⁻¹]	= Gesamtkornertrag [dt ha ⁻¹] / * Anteil Erbse am Gesamtertrag
2b.		Kornertrag _{Hafer_1} [dt ha ⁻¹]	= Gesamtkornertrag [dt ha ⁻¹] – Kornertrag _{Erbse_1} [dt ha ⁻¹]

Tab. A 9b: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Erbsen und Hafer zur Körnernutzung

Ermittlung der gesamt-pflanzlichen N-Menge N_{Bt} [kg N ha⁻¹] des Gemengepflanzens			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
3a.	Kornertrag _{Erbse_1} [dt ha ⁻¹]		
3b.	Restfeuchtegehalt des Kornertrags _{Erbse_1} [%]	Trockenmasse (TM)-Kornertrag _{Erbse_2} [dt TM ha ⁻¹]	= Kornertrag _{Erbse_1} [dt ha ⁻¹] / 100 * (100 - Restfeuchtegehalt [%])
4.	x = TM-Kornertrag _{Erbse_2} [dt TM ha ⁻¹]	Korn-N-Menge _{Erbse} [kg N ha ⁻¹]	f(x) = y ₀ +a*x = 2,00198572414339 + 3,3039x
5.	Ernteverluste		
5a.	gering (2 [%] des TM-Kornertrags _{Erbse_2})	TM-Kornertrag _{Erbse_3} [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Kornertrag _{Erbse_2} [dt TM ha ⁻¹] * (100 - 2) / 100
5b.	mittel (5 [%] des TM-Kornertrags _{Erbse_2})	TM-Kornertrag _{Erbse_3} [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Kornertrag _{Erbse_2} [dt TM ha ⁻¹] * (100 - 5) / 100
5c.	hoch (10 [%] des TM-Kornertrags _{Erbse_2})	TM-Kornertrag _{Erbse_3} [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Kornertrag _{Erbse_2} [dt TM ha ⁻¹] * (100 - 10) / 100
5d.	sehr hoch (20 [%] des TM-Kornertrags _{Erbse_2})	TM-Kornertrag _{Erbse_3} [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Kornertrag _{Erbse_2} [dt TM ha ⁻¹] * (100 - 20) / 100

Tab. A 9c: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Erbse und Hafer zur Körnernutzung

Ermittlung der gesamt-pflanzlichen N-Menge N_{Bt} [kg N ha⁻¹] des Gemengepar			
Abfrage		Zielgröße	Funktion
6.	Witterungsbedingungen	nicht bei Erbse/Hafer-Gemenge zur Körnernutzung	
6a.	warm und trocken		
6b.	kühl und feucht		
7.	x = TM-Kornertrag _{Erbse_3} [dt TM ha ⁻¹]	gesamt-pflanzliche N-Menge _{Erbse} N _{Bt Erbse} [kg N ha ⁻¹]	f(x) = y ₀ +a*x = -4,1472504744023 + 4,67462

Tab. A 9d: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Hafer zur Körnernutzung

Ermittlung der gesamtpflanzliche N-Menge N _{Bt} [kg N ha ⁻¹] des Gemengepar...			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
8a.	Kornertrag _{Hafer_1} [dt ha ⁻¹]		
8b.	Restfeuchtegehalt Kornertrag _{Hafer_1} [%]	TM-Kornertrag _{Hafer_2} [dt TM ha ⁻¹]	= Kornertrag _{Hafer_1} [dt ha ⁻¹] / 100 * (100 - Restfeuchtegehalt [%])
9.	x = TM-Kornertrag _{Hafer_2} [dt TM ha ⁻¹]	Korn-N-Menge _{Hafer} [kg N ha ⁻¹]	f(x) = y ₀ +a*x = 3,23527508476724 + 1,7293...
10.	Ernteverluste		
10a.	gering (2 [%] des TM-Kornertrags _{Hafer_2})	TM-Kornertrag _{Hafer_3} [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Kornertrag _{Hafer_2} [dt TM ha ⁻¹]
10b.	mittel (5 [%] des TM-Kornertrags _{Hafer_2})	TM-Kornertrag _{Hafer_3} [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Kornertrag _{Hafer_2} [dt TM ha ⁻¹]
10c.	hoch (10 [%] des TM-Kornertrags _{Hafer_2})	TM-Kornertrag _{Hafer_3} [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Kornertrag _{Hafer_2} [dt TM ha ⁻¹]
10d.	sehr hoch (20 [%]des TM-Kornertrags _{Hafer_2})	TM-Kornertrag _{Hafer_3} [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Kornertrag _{Hafer_2} [dt TM ha ⁻¹]
11.	x = TM-Kornertrag _{Hafer_3} [dt TM ha ⁻¹]	gesamtpflanzliche N-Menge _{Hafer} N _{Bt Hafer} [kg N ha ⁻¹]	f(x) = y ₀ +a*x = 15,635189905083 + 2,01869...

Tab. A 9e: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Hafer zur Körnernutzung

Boden-N-Angebot [kg N ha⁻¹]			
No.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
12.	Jahresbasis N-Angebot im Boden		
12a.	2005	Jahresbasiswert	= 15,17 [kg N ha ⁻¹]
12b.	2006	Jahresbasiswert	= 10,20 [kg N ha ⁻¹]
13.	Ackerzahl	Boden-N-Angebot_1 [kg N ha ⁻¹]	= Jahresbasiswert + (4 * $\sqrt{\text{Ackerzahl}}$)
14.	vorfruchtbedingte/düngebedingte N-Nachlieferung des Bodens		
14a.	sehr gering bis gering	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 1 [kg N ha ⁻¹]
14b.	mittel	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 2 [kg N ha ⁻¹]
14c.	hoch bis sehr hoch	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 3 [kg N ha ⁻¹]

Tab. A 9f: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Hafer zur Körnernutzung

Grad der Verunkrautung zum Schnittzeitpunkt			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
15.	Grad der Verunkrautung zum Druschzeitpunkt		
15a.	sehr gering	Boden-N-Angebot_3 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_2
15b.	gering	Boden-N-Angebot_3 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_2 - 7,5 [kg N ha ⁻¹]
15c.	mittel bis stark	Boden-N-Angebot_3 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_2 - 17,5 [kg N ha ⁻¹]
15d.	sehr stark	Boden-N-Angebot_3 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_2 - 27,5 [kg N ha ⁻¹]

Tab. A 9g: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Erbse und Hafer zur Körnernutzung

Erweiterte N ₂ -Fixierleistung [kg N ha ⁻¹] des Gemengepartners Erbse erweiterte N-Flächenbilanz [kg N ha ⁻¹] des Gemenges			
No.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
16.		Boden-N-Angebot_4 [kg N ha ⁻¹]	Boden-N-Angebot_3 * 1,0692 - N _{Bt} Hafer [kg N ha ⁻¹]
17a.		N _{fixerw} Erbse [kg N ha ⁻¹]	(N _{Bt} Erbse [kg N ha ⁻¹] - Boden-N-Angebot_4 [kg N ha ⁻¹]) * 1,1375 ^(c)
17b.	<u>Achtung!!!</u>	N _{fixerw} . [kg N ha ⁻¹], wenn N _{fix erw.} ≤ 10 [%] von N _{BtErbse} * 1,1375, dann (s. Funktion)	N _{Bt} Erbse [kg N ha ⁻¹] * 1,1375 ^(c) * 10 [%] / 100
18.		erweiterte N-Flächenbilanz N-Flächenbilanz _{erw} [kg N ha ⁻¹]	N _{fixerw} . Erbse [kg N ha ⁻¹] - Korn-N-Menge _{Erbse} [kg N ha ⁻¹] - Korn-N-Menge _{Hafer} [kg N ha ⁻¹]

^(a) Erweiterung der ermittelten bodenbürtigen N-Aufnahme der Referenzpflanze Hafer um den N-Anteil der Haferwurzeln, ^(b) mittlere residuale N_{min}-Menge von *Avena sativa* L. im Gemenge zur Körnernutzung, reduziert um residuale N_{min}-Menge beim Anbau von *Avena sativa* L. in Reinsaat, gemittelt über die Anbaujahre 2008-2010 an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau, ^(c) 13,75 [%] des gesamtanzunehmenden Stickstoffs der Körnererbsen verbleiben über die Rhizodeposition

Tab. A 10a: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos bei einer Gemenge mit Hafer zur Ganzpflanzensilage

Aufteilung der Anteile der Gemengepartner			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
1.	Erntejahr		
2.	Gesamtschnittgut-Ertrag _{Gemenge} [dt FM ha ⁻¹]		
2a.	Prozentualer Anteil Ackerbohne am Gesamtschnittgut-Ertrag des Gemenges [%]	Frischmasse (FM) des Schnittgutertrags _{Ackerbohne_1} [dt FM ha ⁻¹]	= Gesamtschnittgut-Ertrag [dt FM ha ⁻¹] * Anteil am Gesamtertrag _{Ackerbohne_1}
2b.		FM des Schnittgutertrags _{Hafer_1} [dt FM ha ⁻¹]	= Gesamtertrag [dt FM ha ⁻¹] - Schnittgutertrag _{Ackerbohne_1}

Tab. A 10b: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau einer Gemenge mit Hafer zur Ganzpflanzensilage

Ermittlung der gesamt-pflanzlichen N-Menge N_{Bt} [kg N ha⁻¹] des Gemengepartners			
3.	Schnittgutertrag _{Ackerbohne_1} [dt FM ha ⁻¹]	Schnittgut-TM- Ertrag _{Ackerbohne_2} [dt TM ha ⁻¹]	
3a.	25 [%] Trockenmassegehalt		= Schnittgutertrag _{Ackerbohne_1} [dt FM ha ⁻¹] * 0,25
3b.	30 [%] Trockenmassegehalt		= Schnittgutertrag _{Ackerbohne_1} [dt FM ha ⁻¹] * 0,30
3c.	35 [%]Trockenmassegehalt		= Schnittgutertrag _{Ackerbohne_1} [dt FM ha ⁻¹] * 0,35
3d.	40 [%]Trockenmassegehalt		= Schnittgutertrag _{Ackerbohne_1} [dt FM ha ⁻¹] * 0,40
4.	x = Schnittgut-TM-Ertrag _{Ackerbohne_2} [dt TM ha ⁻¹]	Schnittgut-N- Menge _{Ackerbohne} [kg N ha ⁻¹]	$f(x) = y_0 + a \cdot x + b \cdot x^2$ = -26,435749397446 + 4,3480... + -0,02273689159829 * x ²
5.	Ernteverluste		
5a.	gering (2 [%] des Schnittgut-TM- Ertrags _{Ackerbohne_2})	Schnittgut-TM- Ertrag _{Ackerbohne_3} [dt TM ha ⁻¹]	= Schnittgut-TM-Ertrag _{Ackerbohne_3} [dt TM ha ⁻¹] * 1,02
5b.	mittel (5 [%] des Schnittgut-TM-Ertrags _{Ackerbohne_2})	Schnittgut-TM- Ertrag _{Ackerbohne_3} [dt TM ha ⁻¹]	= Schnittgut-TM-Ertrag _{Ackerbohne_3} [dt TM ha ⁻¹] * 1,05
5c.	hoch (10 [%] des Schnittgut-TM-Ertrags _{Ackerbohne_2})	Schnittgut-TM- Ertrag _{Ackerbohne_3} [dt TM ha ⁻¹]	= Schnittgut-TM-Ertrag _{Ackerbohne_3} [dt TM ha ⁻¹] * 1,10
5d.	sehr hoch (20 [%] des Schnittgut-TM-Ertrags _{Ackerbohne_2})	Schnittgut-TM- Ertrag _{Ackerbohne_3} [dt TM ha ⁻¹]	= Schnittgut-TM-Ertrag _{Ackerbohne_3} [dt TM ha ⁻¹] * 1,20

Tab. A 10c: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau einer
 Gemenge mit Hafer zur Ganzpflanzensilage

Ermittlung der gesamt-pflanzlichen N-Menge N_{Bt} [kg N ha⁻¹] des Gemengepartners			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
6.	Witterungsbedingungen	nicht bei Ackerbohne /Hafer-Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage	
6a.	warm und trocken		
6b.	kühl und feucht		
7.	x = Schnittgut-TM-Ertrag _{Ackerbohne_3} [dt TM ha ⁻¹]	gesamt-pflanzliche N-Menge _{Ackerbohne} N _{Bt Ackerbohne} [kg N ha ⁻¹]	$f(x) = y_0 + a \cdot x + b \cdot x^2$ = -27,7581322229 + 4,7684333 -0,02464737120972 * x ²

Tab. A 10d: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau einer Gemenge mit Hafer zur Ganzpflanzensilage

Ermittlung der gesamt-pflanzlichen N-Menge N_{Bt} [kg N ha⁻¹] des Gemengepflanzens			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
8.	Schnittgutertrag _{Hafer_1} [dt FM ha ⁻¹]	Schnittgut-TM-Ertrag _{Hafer_2} [dt TM ha ⁻¹]	
8a.	25 [%] Trockenmassegehalt		= Schnittgutertrag _{Hafer_1} [dt FM ha ⁻¹] * 0,25
8b.	30 [%] Trockenmassegehalt		= Schnittgutertrag _{Hafer_1} [dt FM ha ⁻¹] * 0,30
8c.	35 [%]Trockenmassegehalt		= Schnittgutertrag _{Hafer_1} [dt FM ha ⁻¹] * 0,35
8d.	40 [%]Trockenmassegehalt		= Schnittgutertrag _{Hafer_1} [dt FM ha ⁻¹] * 0,40
9.	x = Schnittgut-TM-Ertrag _{Hafer_2} [dt TM ha ⁻¹]	Schnittgut-N-Menge _{Hafer} [kg N ha ⁻¹]	f(x) = y ₀ +a*x+b*x ² = 44,971892437151 -1,62524 + 0,05301972981264 * x ²
10.	Ernteverluste		
10a.	gering (2 [%] des Schnittgut-TM-Ertrags _{Hafer_2})	Schnittgut-TM-Ertrag _{Hafer_3} [dt TM ha ⁻¹]	= Schnittgut-TM-Ertrag _{Hafer_2} [dt TM ha ⁻¹] * 1,02
10b.	mittel (5 [%] des Schnittgut-TM-Ertrags _{Hafer_2})	Schnittgut-TM-Ertrag _{Hafer_3} [dt TM ha ⁻¹]	= Schnittgut-TM-Ertrag _{Hafer_2} [dt TM ha ⁻¹] * 1,05
10c.	hoch (10 [%] des Schnittgut-TM-Ertrags _{Hafer_2})	Schnittgut-TM-Ertrag _{Hafer_3} [dt TM ha ⁻¹]	= Schnittgut-TM-Ertrag _{Hafer_2} [dt TM ha ⁻¹] * 1,10
10d.	sehr hoch (20 [%] des Schnittgut-TM-Ertrags _{Hafer_2})	Schnittgut-TM-Ertrag _{Hafer_3} [dt TM ha ⁻¹]	= Schnittgut-TM-Ertrag _{Hafer_2} [dt TM ha ⁻¹] * 1,20

Tab. A 10e: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau einer Gemenge mit Hafer zur Ganzpflanzensilage

Ermittlung der gesamt-pflanzlichen N-Menge N _{Bt} [kg N ha ⁻¹] des Gemengepa			
	Abfrage	Zielgröße	Funktion
11.	x = Schnittgut-TM-Ertrag _{Hafer_3} [dt TM ha ⁻¹]	gesamt-pflanzliche N-Menge _{Hafer} N _{Bt Hafer} [kg N ha ⁻¹]	f(x) = y ₀ +a*x+b*x ² = 46,013580425151 - 0,92063 + 0,04497083155061 * x ²

Tab. A 10f: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau einer Gemenge mit Hafer zur Ganzpflanzensilage

Boden-N-Angebot [kg N ha⁻¹]			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
12.	Jahresbasis N-Angebot im Boden		
12a.	2005	Jahresbasiswert	= 14,28 [kg N ha ⁻¹]
12b.	2006	Jahresbasiswert	= 8,05 [kg N ha ⁻¹]
13.	Ackerzahl	Boden-N-Angebot_1 [kg N ha ⁻¹]	= Jahresbasiswert + (3 * $\sqrt{\text{Ackerzahl}}$)
14.	vorfruchtbedingte/düngebedingte N-Nachlieferung des Bodens		
14a.	sehr gering bis gering	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 1 [kg N ha ⁻¹]
14b.	mittel	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 2 [kg N ha ⁻¹]
14c.	hoch bis sehr hoch	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 3 [kg N ha ⁻¹]

Tab. A 10g: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau einer Gemenge mit Hafer zur Ganzpflanzensilage

Nr.	Abfrage	Grad der Verunkrautung zum Schnittzeitpunkt	
		Zielgröße	Funktion
15.	Grad der Verunkrautung zum Schnittzeitpunkt		
15a.	sehr gering	Boden-N-Angebot ₃ [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot ₂
15b.	gering	Boden-N-Angebot ₃ [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot ₂ - 5 [kg N ha ⁻¹]
15c.	mittel bis stark	Boden-N-Angebot ₃ [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot ₂ - 10 [kg N ha ⁻¹]
15d.	sehr stark	Boden-N-Angebot ₃ [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot ₂ - 20 [kg N ha ⁻¹]

Tab. A 10h: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau einer Ackerbohne-Hafer-Gemenge mit Hafer zur Ganzpflanzensilage

N₂-Fixierleistung [kg N ha⁻¹] des Gemengepartners Ackerbohne und erweiterte N-Flächenbilanz [kg N ha⁻¹] des Gemenges			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
16.		Boden-N-Angebot ₄ [kg N ha ⁻¹]	Boden-N-Angebot ₃ * 1,111 ^(a) - N _{Bt} Hafer [kg N ha ⁻¹]
17a.		N _{fixerw} Ackerbohne [kg N ha ⁻¹]	(N _{Bt} Ackerbohne [kg N ha ⁻¹] - Boden-N-Angebot ₄ [kg N ha ⁻¹]) * 1,1313 ^(c)
17b.	<u>Achtung!!!</u>	N _{fixerw} [kg N ha ⁻¹], wenn N _{fixerw} ≤ 10 [%] von N _{Bt} * 1,132, dann (s. Funktion)	N _{Bt} Ackerbohne [kg N ha ⁻¹] * 1,1313 ^(c) * 10 [%] / 100
18.		erweiterte N-Flächenbilanz N-Flächenbilanz _{erw} [kg N ha ⁻¹]	N _{fixerw} Ackerbohne [kg N ha ⁻¹] - Schnittgut-N-Menge _{Ackerbohne} - Schnittgut-N-Menge _{Hafer} [kg N ha ⁻¹] - Wert in Gleichung 15a, b, c

^(a) Erweiterung der ermittelten bodenbürtigen N-Aufnahme der Referenzpflanze Hafer um den N-Anteil der Haferwurzeln, ^(b) mittlere residuale N_{min}-Menge der Ackerbohne im Gemenge zur Körnernutzung, reduziert um residuale N_{min}-Menge beim Anbau von *Avena sativa* L. in Reinsaat, gemittelt über die Anbaujahre 1999-2001 an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau, ^(c) 13,13 [%] des gesamt-pflanzlichen Stickstoffs der Ackerbohne verbleiben über die Rhizodeposition im Boden

**Tab. A 11a: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos bei einer
Gemenge mit Hafer zur Körnernutzung**

Aufteilung der Anteile der Gemengepartner			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
1.	Erntejahr		
2.	Gesamtkornertrag _{Gemenge} [dt ha ⁻¹]		
2a.	Prozentualer Anteil Ackerbohne am Gesamtkorn-Ertrag des Gemenges [%]	Kornertrag _{Ackerbohne_1} [dt ha ⁻¹]	= Gesamtkorn-Ertrag [dt ha ⁻¹] / * Anteil am Gesamtkornertrag
2b.		Kornertrag _{Hafer_1} [dt ha ⁻¹]	= Gesamtkorn-Ertrag [dt ha ⁻¹] - Korn-Ertrag _{Ackerbohne_1} [dt ha ⁻¹]

Tab. A 11b: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau einer Gemenge mit Hafer zur Körnernutzung

Ermittlung der gesamt-pflanzlichen N-Menge N_{Bt} [kg N ha⁻¹] des Gemengepartners			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
3a.	Kornertrag _{Ackerbohne_1} [dt ha ⁻¹]		
3b.	Restfeuchtegehalt Kornertrag _{Ackerbohne_1} [%]	Trockenmasse (TM)- Kornertrag _{Ackerbohne_2} [dt TM ha ⁻¹]	= Kornertrag _{Ackerbohne_1} [dt ha ⁻¹] * (100 - Restfeuchtegehalt [%])
4.	X = Kornertrag _{Ackerbohne_2} [dt TM ha ⁻¹]	Korn-N-Menge _{Ackerbohne} [kg N ha ⁻¹]	f(x) = y ₀ +a*x = -5,62483562062594 + 4,4440
5.	Ernteverluste		
5a.	gering (2 [%] des TM-Kornertrags _{Ackerbohne})	TM-Kornertrag _{Ackerbohne_3} [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Kornertrag _{Ackerbohne_2} [dt TM ha ⁻¹]
5b.	mittel (5 [%] des TM-Kornertrags _{Ackerbohne})	TM-Kornertrag _{Ackerbohne_3} [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Kornertrag _{Ackerbohne_2} [dt TM ha ⁻¹]
5c.	hoch (10 [%] des TM-Kornertrags _{Ackerbohne})	TM-Kornertrag _{Ackerbohne_3} [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Kornertrag _{Ackerbohne_2} [dt TM ha ⁻¹]
5d.	sehr hoch (20 [%] des TM-Kornertrags _{Ackerbohne})	TM-Kornertrag _{Ackerbohne_3} [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Kornertrag _{Ackerbohne_2} [dt TM ha ⁻¹]

Tab. A 11c: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau einer
 Gemenge mit Hafer zur Körnernutzung

Ermittlung der gesamt-pflanzlichen N-Menge N_{Bt} [kg N ha⁻¹] des Gemengepartners			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
6.	Witterungsbedingungen	nicht bei Ackerbohne /Hafer-Gemenge zur Körnernutzung	
6a.	warm und trocken		
6b.	kühl und feucht		
7.	x = TM-Kornertrag _{Ackerbohne_3} [dt TM ha ⁻¹]	gesamt-pflanzliche N-Menge _{Ackerbohne} N _{Bt Ackerbohne} [kg N ha ⁻¹]	f(x) = y ₀ +a*x = 30,6560146229 + 5,17103473

Tab. A 11d: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau einer Gemenge mit Hafer zur Körnernutzung

Ermittlung der gesamtpflanzlichen N-Menge N _{Bt} [kg N ha ⁻¹] des Gemengepflanzens			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
8a.	Kornertrag _{Hafer_1} [dt ha ⁻¹]		
8b.	Restfeuchtegehalt Kornertrag _{Hafer_1} [%]	TM-Kornertrag _{Hafer_2} [dt TM ha ⁻¹]	= Kornertrag _{Hafer_1} [dt ha ⁻¹] / 100 * (100 - Restfeuchtegehalt [%])
9.	x = TM-Kornertrag _{Hafer_2} [dt TM ha ⁻¹]	Korn-N-Menge _{Hafer} [kg N ha ⁻¹]	f(x) = y ₀ +a*x = 0,22920756261875 + 1,96996
10.	Ernteverluste		
10a.	gering (2 [%] des TM-Kornertrags _{Hafer})	TM-Kornertrag _{Hafer_3} [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Kornertrag _{Hafer_3} [dt TM ha ⁻¹]
10b.	mittel (5 [%] des TM-Kornertrags _{Hafer})	TM-Kornertrag _{Hafer_3} [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Kornertrag _{Hafer_3} [dt TM ha ⁻¹]
10c.	hoch (10 [%] des TM-Kornertrags _{Hafer})	TM-Kornertrag _{Hafer_3} [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Kornertrag _{Hafer_3} [dt TM ha ⁻¹]
10d.	sehr hoch (20 [%] des TM-Kornertrags _{Hafer})	TM-Kornertrag _{Hafer_3} [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Kornertrag _{Hafer_3} [dt TM ha ⁻¹]
11.	TM-Kornertrag _{Hafer_3} [dt TM ha ⁻¹]	gesamtpflanzliche N-Menge _{Hafer} N _{Bt Hafer} [kg N ha ⁻¹]	f(x) = y ₀ +a*x = 9,85620807814692 + 2,5757

Tab. A 11e: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau einer Gemenge mit Hafer zur Körnernutzung

Boden-N-Angebot [kg N ha⁻¹]			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
12.	Jahresbasis N-Angebot im Boden		
12a.	2005	Jahresbasiswert	= 15,17 [kg N ha ⁻¹]
12b.	2006	Jahresbasiswert	= 10,20 [kg N ha ⁻¹]
13.	Ackerzahl	Boden-N-Angebot_1 [kg N ha ⁻¹]	= Jahresbasiswert + (4 * $\sqrt{\text{Ackerzahl}}$)
14.	vorfruchtbedingte/düngebedingte N-Nachlieferung des Bodens		
14a.	sehr gering bis gering	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 1 [kg N ha ⁻¹]
14b.	mittel	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 2 [kg N ha ⁻¹]
14c.	hoch bis sehr hoch	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 3 [kg N ha ⁻¹]

Tab. A 11f: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau einer Gemenge mit Hafer zur Körnernutzung

Grad der Verunkrautung zum Druschzeitpunkt			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
15.	Grad der Verunkrautung zum Druschzeitpunkt		
15a.	sehr gering	Boden-N-Angebot_3 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_2
15b.	gering	Boden-N-Angebot_3 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_2 - 7,5 [kg N ha ⁻¹]
15c.	mittel bis stark	Boden-N-Angebot_3 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_2 - 17,5 [kg N ha ⁻¹]
15d.	sehr stark	Boden-N-Angebot_3 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_2 - 27,5 [kg N ha ⁻¹]

Tab. A 11g: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Gemenge mit Hafer zur Körnernutzung

Erweiterte N ₂ -Fixierleistung [kg N ha ⁻¹] des Gemengepartners Ackerbohne erweiterte N-Flächenbilanz [kg N ha ⁻¹] des Gemenges			
No.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
16.		Boden-N-Angebot ₄ [kg N ha ⁻¹]	Boden-N-Angebot ₃ * 1,0692 - N _{Bt} Hafer [kg N ha ⁻¹]
17a.		N _{fixerw.} Ackerbohne [kg N ha ⁻¹]	(N _{Bt} Ackerbohne [kg N ha ⁻¹] - Boden-N-Angebot ₄ [kg N ha ⁻¹]) * 1,1313 ^(c)
17b.	<u>Achtung!!!</u>	N _{fixerw} [kg N ha ⁻¹], wenn N _{fixerw} ≤ 10 [%] N _{Bt} * 1,132, dann (s. Funktion)	N _{Bt} Ackerbohne [kg N ha ⁻¹] * 1,1313 * 10 [%] / 100
18.		erweiterte N-Flächenbilanz N-Flächenbilanz _{erw} [kg N ha ⁻¹]	N _{fixerw} Ackerbohne [kg N ha ⁻¹] - Korn-N-Menge _{Ackerbohne} [kg N ha ⁻¹] - Korn-N-Menge _{Hafer} [kg N ha ⁻¹]

^(a) Erweiterung der ermittelten bodenbürtigen N-Aufnahme der Referenzpflanze Hafer um den N-Anteil der Haferwurzeln, ^(b) mittlere residuale N_{min}-Menge L. im Gemenge zur Körnernutzung, reduziert um residuale N_{min}-Menge beim Anbau von *Avena sativa* L. in Reinsaat, gemittelt über die Anbaujahre 1999 Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau, ^(c) 13,13 [%] des gesamt-pflanzlichen Stickstoffs der Ackerbohne verbleiben über die Rhizodeposition im

iv) Kalkulationsverfahren der Futterleguminosen in Reinsaat

Tab. A 12a: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos bei Persischem Klee in Reinsaat

Ermittlung der gesamt-pflanzlichen N-Menge N _{Bt} [kg N ha ⁻¹]			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
1.	Erntejahr		
2.	x = FM-Schnittgutertrag_1 [dt FM ha ⁻¹]	TM-Schnittgutertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]	f(x) = y ₀ +a*x = 0,50693910205383 + 0,1707
3.	Restfeuchtegehalt [%]	nicht bei Persischem Klee	
4.	Ernteverluste		
4a.	gering (2 [%] der TM-Ertrages)	TM-Ertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] * 1
4b.	mittel (5 [%] des TM-Ertrages)	TM-Ertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] * 1
4c.	hoch (10 [%] des TM-Ertrages)	TM-Ertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] * 1
4d.	sehr hoch (20 [%] des TM-Ertrages)	TM-Ertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] * 1
5a.	x = TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]	Schnittgut-N-Menge [kg N ha ⁻¹]	f(x) = y ₀ +a*x = 5,7500995712587 + 2,63324
5b.	TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] und Rohproteingehalt im Schnittgut [%] laut Analyse	Schnittgut-N-Menge [kg N ha ⁻¹]	= TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] * Rohprotein [%] / 6,25 (Umrechnung von dt in kg **100' kürzt '/100' an)
6.	Witterungsbedingungen	nicht bei Persischem Klee	
7.	x = TM-Ertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	gesamt-pflanzliche N-Menge N _{Bt} [kg N ha ⁻¹]	f(x) = y ₀ +a*x = 45,661789035987 + 2,67261

Tab. A 12b: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim einjährigen Klee in Reinsaat

Boden-N-Angebot [kg N ha⁻¹]			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
8.	Jahresbasis N-Angebot im Boden		
8a.	2005	Jahresbasiswert	= 14,24 [kg N ha ⁻¹]
8b.	2006		= 16,19 [kg N ha ⁻¹]
9.	Ackerzahl	Boden-N-Angebot_1 [kg N ha ⁻¹]	= Jahresbasiswert + (3 * $\sqrt{\text{Ackerzahl}}$)
10.	Vorfruchtbedingte/düngebedingte N-Nachlieferung des Bodens		
10a.	sehr gering bis gering	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 1 [kg N ha ⁻¹]
10b.	mittel	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 2 [kg N ha ⁻¹]
10c.	hoch bis sehr hoch	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 3 [kg N ha ⁻¹]

Tab. A 12c: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim einjährigen Klee in Reinsaat

Nr.	Abfrage	Grad der Verunkrautung zum Druschzeitpunkt	
		Zielgröße	Funktion
11.	Grad der Verunkrautung zum Druschzeitpunkt		
11a.	sehr gering	Boden-N-Angebot ₃ [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot ₂
11b.	gering	Boden-N-Angebot ₃ [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot ₂ - 5 [kg N ha ⁻¹]
11c.	mittel bis stark	Boden-N-Angebot ₃ [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot ₂ - 10 [kg N ha ⁻¹]
11d.	sehr stark	Boden-N-Angebot ₃ [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot ₂ - 20 [kg N ha ⁻¹]

Tab. A 12d: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim einjährigen Klee in Reinsaat

Erweiterte N ₂ -Fixierleistung [kg N ha ⁻¹] und erweiterte N-Flächenbilanz [kg N ha ⁻¹]			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
12a.		N _{fixerw} [kg N ha ⁻¹] ^(a)	{N _{Bt} [kg N ha ⁻¹] - (Boden-N-Angebot ₃ * 1,47 ^(a) + 17,9 ^(b) [kg N ha ⁻¹])} * 1,1 ^(c)
12b.	<u>Achtung!!!</u>	N _{fixerw} [kg N ha ⁻¹], wenn N _{fixerw} ≤ 10 [%] von N _{Bt} * 1,1, dann (s. Funktion)	N _{Bt} [kg N ha ⁻¹] * 1,1 * 10 / 100
13.		erweiterte N-Flächenbilanz N-Flächenbilanz _{erw} [kg N ha ⁻¹]	N _{fixerw} [kg N ha ⁻¹] - Schnittgut-N-Menge [kg N ha ⁻¹] - Wert in Gleichung 11a, b, c o

^(a) Erweiterung der ermittelten bodenbürtigen N-Aufnahme der Referenzpflanze Welsches Weidelgras um den N-Anteil der Weidelgraswurzeln, ^(b) mittlere *resupinatum* L. in Reinsaat, reduziert um die residuale N_{min}-Menge beim Anbau von *Lolium multiflorum* Lam. in Reinsaat, gemittelt über die Anbaujahre 1998/99, 2000/01, 2002/03, 2004/05, 2006/07, 2008/09, 2010/11, 2012/13, 2014/15, 2016/17, 2018/19, 2020/21 in Göttingen und Oederquart, ^(c) 10,0 [%] des gesamt-pflanzlichen Stickstoffs von *Trifolium resupinatum* L. werden als Rhizodeposition angenommen

Tab. A 13a: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos bei Reinsaat (1. Hauptnutzungsjahr)

Ermittlung der gesamt-pflanzlichen N-Menge N _{Bt} [kg N ha ⁻¹]			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
1.	Erntejahr		
2.	x = FM-Schnittgutertrag_1 [dt FM ha ⁻¹]	TM-Schnittgutertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]	f(x) = 358,76 * x / (1350,52 + x)
3.	Restfeuchtegehalt [%]	nicht bei Rotklee	
4.	Ernteverluste		
4a.	gering (2 [%] der TM-Ertrages)	TM-Schnittgut-Ertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] * 1,02
4b.	mittel (5 [%] des TM-Ertrages)	TM-Schnittgut-Ertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] * 1,05
4c.	hoch (10 [%] des TM-Ertrages)	TM-Schnittgut-Ertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] * 1,10
4d.	sehr hoch (20 [%] des TM-Ertrages)	TM-Schnittgut-Ertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] * 1,20
5a.	x = TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]	Schnittgut-N-Menge [kg N ha ⁻¹]	f(x) = y ₀ +a*x = 25,125665435291 + 2,66556
5b.	TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] und Rohproteingehalt im Schnittgut [%] laut Analyse	Schnittgut-N-Menge [kg N ha ⁻¹]	= TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] * Rohprotein [%] / 6,25 (Umrechnung von dt in kg '*100' kürzt '/100' an)
6.	Witterungsbedingungen	nicht bei Persischem Klee	
7.	x = TM-Ertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	gesamt-pflanzliche N-Menge N _{Bt} [kg N ha ⁻¹]	f(x) = y ₀ +a*x+b*x ² = 59,149054436297 + 3,21733

Tab. A 13b: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau (1. Hauptnutzungsjahr)

Boden-N-Angebot [kg N ha⁻¹]			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
8.	Jahresbasis N-Angebot im Boden		
8a.	2005	Jahresbasiswert	= 14,24 [kg N ha ⁻¹]
8b.	2006		= 16,19 [kg N ha ⁻¹]
9.	Ackerzahl	Boden-N-Angebot_1 [kg N ha ⁻¹]	= Jahresbasiswert + (3 * $\sqrt{\text{Ackerzahl}}$)
10.	Vorfruchtbedingte/düngebedingte N-Nachlieferung des Bodens		
10a.	sehr gering bis gering	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 1 [kg N ha ⁻¹]
10b.	mittel	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 2 [kg N ha ⁻¹]
10c.	hoch bis sehr hoch	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 3 [kg N ha ⁻¹]

Tab. A 13c: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Leguminosen (1. Hauptnutzungsjahr)

Nr.	Abfrage	Grad der Verunkrautung zum Druschzeitpunkt	
		Zielgröße	Funktion
11.	Grad der Verunkrautung im Mittel des Jahres		
11a.	sehr gering	Boden-N-Angebot ₃ [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot ₂
11b.	gering	Boden-N-Angebot ₃ [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot ₂ - 5 [kg N ha ⁻¹]
11c.	mittel bis stark	Boden-N-Angebot ₃ [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot ₂ - 10 [kg N ha ⁻¹]
11d.	sehr stark	Boden-N-Angebot ₃ [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot ₂ - 20 [kg N ha ⁻¹]

Tab. A 13d: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Wiesenschwingel (1. Hauptnutzungsjahr)

Erweiterte N ₂ -Fixierleistung [kg N ha ⁻¹] und erweiterte N-Flächenbilanz [kg N ha ⁻¹]			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
12a.		N _{fixerw} [kg N ha ⁻¹] ^(a)	{N _{Bt} [kg N ha ⁻¹] - (Boden-N-Angebot ₃ * 1,64 + 12,3 ^(b) [kg N ha ⁻¹])} * 1,2 ^(c)
12b.	<u>Achtung!!!</u>	N _{fixerw} [kg N ha ⁻¹], wenn N _{fixerw} ≤ 10 [%] von N _{Bt} * 1,2, dann (s. Funktion)	N _{Bt} [kg N ha ⁻¹] * 1,2 * 10 / 100
13.		erweiterte N-Flächenbilanz N-Flächenbilanz _{erw} [kg N ha ⁻¹]	N _{fixerw} [kg N ha ⁻¹] - Schnittgut-N-Menge [kg N ha ⁻¹]

^(a) Erweiterung der ermittelten bodenbürtigen N-Aufnahme der Referenzpflanze Wiesenschwingel um den N-Anteil der Wiesenschwingelwurzeln, ^(b) mittlere Boden-N-Angebot₃ in Reinsaat, reduziert um die residuale N_{min}-Menge beim Anbau von Wiesenschwingel in Reinsaat, gemittelt über die Anbaujahre 1999, 2000 der Versuchsanlage Oederquart, ^(c) 20,0 [%] des gesamt-pflanzlichen Stickstoffs von Rotklee, werden als Rhizodeposition angenommen,

Tab. A 14a: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos bei Reinsaat (1. Hauptnutzungsjahr)

Ermittlung der gesamtpflanzlichen N-Menge N _{Bt} [kg N ha ⁻¹]			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
1.	Erntejahr		
2.	x = FM-Schnittgutertrag_1 [dt FM ha ⁻¹]	TM-Schnittgutertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]	$f(x) = 757,33 \cdot x / (2972,86 + x)$
3.	Restfeuchtegehalt [%]	nicht bei Rotklee	
4.	Ernteverluste		
4a.	gering (2 [%] der TM-Ertrages)	TM-Schnittgut-Ertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] * 1
4b.	mittel (5 [%] des TM-Ertrages)	TM-Schnittgut-Ertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] * 1
4c.	hoch (10 [%] des TM-Ertrages)	TM-Schnittgut-Ertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] * 1
4d.	sehr hoch (20 [%] des TM-Ertrages)	TM-Schnittgut-Ertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] * 1
5a.	x = TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹]	Schnittgut-N-Menge [kg N ha ⁻¹]	$f(x) = y_0 + a \cdot x$ = 15,423489247587 + 2,72482
5b.	TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] und Rohproteingehalt im Schnittgut [%] laut Analyse	Schnittgut-N-Menge [kg N ha ⁻¹]	= TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] * Rohprotein [%] / 6,25 (Umrechnung von dt in kg '*100' kürzt '/100' an)
6.	Witterungsbedingungen	nicht bei Persischem Klee	
7.	x = TM-Ertrag_3 [dt TM ha ⁻¹]	gesamtpflanzliche N-Menge N _{Bt} [kg N ha ⁻¹]	$f(x) = y_0 + a \cdot x + b \cdot x^2$ = 36.749932373676 + 3.95890

Tab. A 14b: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau (1. Hauptnutzungsjahr)

Boden-N-Angebot [kg N ha⁻¹]			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
8.	Jahresbasis N-Angebot im Boden		
8a.	2005	Jahresbasiswert	= 11,08 [kg N ha ⁻¹]
8b.	2006		= 13,01 [kg N ha ⁻¹]
9.	Ackerzahl	Boden-N-Angebot_1 [kg N ha ⁻¹]	= Jahresbasiswert + (3 * $\sqrt{\text{Ackerzahl}}$)
10.	Vorfruchtbedingte/düngebedingte N-Nachlieferung des Bodens		
10a.	sehr gering bis gering	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 1 [kg N ha ⁻¹]
10b.	mittel	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 2 [kg N ha ⁻¹]
10c.	hoch bis sehr hoch	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 3 [kg N ha ⁻¹]

Tab. A 14c: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau (1. Hauptnutzungsjahr)

Nr.	Abfrage	Grad der Verunkrautung zum Druschzeitpunkt	
		Zielgröße	Funktion
11.	Grad der Verunkrautung im Mittel des Jahres		
11a.	sehr gering	Boden-N-Angebot ₃ [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot ₂
11b.	gering	Boden-N-Angebot ₃ [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot ₂ - 5 [kg N ha ⁻¹]
11c.	mittel bis stark	Boden-N-Angebot ₃ [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot ₂ - 10 [kg N ha ⁻¹]
11d.	sehr stark	Boden-N-Angebot ₃ [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot ₂ - 20 [kg N ha ⁻¹]

Tab. A 14d: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Luzerne (1. Hauptnutzungsjahr)

Erweiterte N ₂ -Fixierleistung [kg N ha ⁻¹] und erweiterte N-Flächenbilanz [kg N ha ⁻¹]			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
12a.		N _{fixerw} [kg N ha ⁻¹] ^(a)	{N _{Bt} [kg N ha ⁻¹] - (Boden-N-Angebot ₃ * 1,64 (b) + 6,9 ^(b) [kg N ha ⁻¹])} * 1,2 ^(c)
12b.	<u>Achtung!!!</u>	N _{fixerw} [kg N ha ⁻¹], wenn N _{fixerw} ≤ 10 [%] von N _{Bt} * 1,2, dann (s. Funktion)	N _{Bt} [kg N ha ⁻¹] * 1,2 * 10 / 100
13.		erweiterte N-Flächenbilanz N-Flächenbilanz _{erw} [kg N ha ⁻¹]	N _{fixerw} [kg N ha ⁻¹] - Schnittgut-N-Menge [kg N ha ⁻¹]

^(a) Erweiterung der ermittelten bodenbürtigen N-Aufnahme der Referenzpflanze Wiesenschwingel um den N-Anteil der Wiesenschwingelwurzeln, ^(b) mittlere N-Aufnahme von Luzerne in Reinsaat, reduziert um die residuale N_{min}-Menge beim Anbau von Wiesenschwingel in Reinsaat, gemittelt über die Anbaujahre 1999, 2000 der Oederquart, ^(c) 20,0 [%] des gesamt-pflanzlichen Stickstoffs von Luzerne werden als Rhizodeposition angenommen

v) Kalkulationsverfahren der Futterleguminosen im Gemenge

Tab. A 15a: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos bei Klee und Welschem Weidelgras im Gemenge

Aufteilung der Anteile der Gemengepartner			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
1.	Erntejahr		
2.	Gesamt-Schnittgutertrag _{Gemenge} [dt FM ha ⁻¹]		
2a.	Prozentualer Anteil Persischer Klee am Gesamtschnittgutertrag des Gemenges [%]	Frischmasse (FM) des Schnittgutertrags _{PKlee_1} [dt FM ha ⁻¹]	= Gesamtschnittgutertrag [dt] * Anteil am Gesamtschnittgutertrag
2b.		Frischmasse (FM) des Schnittgutertrags _{WWeidelgras_1} [dt FM ha ⁻¹]	= Gesamtschnittgutertrag [dt] - Schnittgutertrag _{PKlee_1} [dt]

Tab. A 15b: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Welschem Weidelgras im Gemenge

Ermittlung der gesamt-pflanzlichen N-Menge N _{Bt} [kg N ha ⁻¹] des Gemengepartners			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
3.	x = Frischmasse (FM) des Schnittgutertrags _{PKlee_1} [dt FM ha ⁻¹]	Trockenmasse (TM)- Ertrag _{PKlee_2} [dt TM ha ⁻¹]	f(x) = y ₀ +a*x = 4,72565409412081 + 0,1467
4.	x = TM-Ertrag _{PKlee_3} [dt TM ha ⁻¹]	Schnittgut-N-Menge _{PKlee} [kg N ha ⁻¹]	f(x) = y ₀ +a*x = 4,6775064023742 + 2,35626
5.	Ernteverluste		
5a.	gering (2 [%] des TM-Ertrages)	TM-Ertrag _{PKlee_3} [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] * 1,
5b.	mittel (5 [%] des TM-Ertrages)	TM-Ertrag _{PKlee_3} [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] * 1,
5c.	hoch (10 [%] des TM-Ertrages)	TM-Ertrag _{PKlee_3} [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] * 1,
5d.	sehr hoch (20 [%] des TM-Ertrages)	TM-Ertrag _{PKlee_3} [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] * 1,

Tab. A 15c: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Welschem Weidelgras im Gemenge

6.	Witterungsbedingungen	nicht bei Persischem Klee im Gemenge mit Welschem Weidelgras	
7.	x = TM-Ertrag _{PKlee_3} [dt TM ha ⁻¹]	gesamtpflanzliche N-Menge _{PKlee} N _{Bt} [kg N ha ⁻¹]	f(x) = y ₀ +a*x = 6,10229102704137 + 2,6167

Tab. A 15d: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Welschem Weidelgras im Gemenge

Ermittlung der gesamt-pflanzlichen N-Menge N_{Bt} [kg N ha⁻¹] des Gemengepartners W			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
8.	Schnittgutertrag _{WWWeidelgras_1} [dt FM ha ⁻¹]	Schnittgut-TM- Ertrag _{WWWeidelgras_2} [dt TM ha ⁻¹]	$f(x) = y_0 + a \cdot x$ $= 2,04231259380031 + 0,183$ x
9.	$x =$ Schnittgut-TM-Ertrag _{WWWeidelgras_2} [dt TM ha ⁻¹]	Schnittgut-N- Menge _{WWWeidelgras} [kg N ha ⁻¹]	$f(x) = y_0 + a \cdot x$ $= 10,392069942176 + 1,4675$ x
10.	Ernteverluste		
10a.	gering (2 [%] des Schnittgut-TM- Ertrags _{WWWeidelgras_2})	Schnittgut-TM- Ertrag _{WWWeidelgras_3} [dt TM ha ⁻¹]	$= \text{Schnittgut-TM-Ertrag}_{\text{WWWeidelgras}_2}$ [dt TM ha ⁻¹] * 1,02
10b.	mittel (5 [%] des Schnittgut-TM- Ertrags _{WWWeidelgras_2})	Schnittgut-TM- Ertrag _{WWWeidelgras_3} [dt TM ha ⁻¹]	$= \text{Schnittgut-TM-Ertrag}_{\text{WWWeidelgras}_2}$ [dt TM ha ⁻¹] * 1,05
10c.	hoch (10 [%] des Schnittgut-TM- Ertrags _{WWWeidelgras_2})	Schnittgut-TM- Ertrag _{WWWeidelgras_3} [dt TM ha ⁻¹]	$= \text{Schnittgut-TM-Ertrag}_{\text{WWWeidelgras}_2}$ [dt TM ha ⁻¹] * 1,10
10d.	sehr hoch (20 [%] des Schnittgut-TM- Ertrags _{WWWeidelgras_2})	Schnittgut-TM- Ertrag _{WWWeidelgras_3} [dt TM ha ⁻¹]	$= \text{Schnittgut-TM-Ertrag}_{\text{WWWeidelgras}_2}$ [dt TM ha ⁻¹] * 1,20

Tab. A 15e: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Welschem Weidelgras im Gemenge

Ermittlung der gesamt-pflanzlichen N-Menge N _{Bt} [kg N ha ⁻¹] des Gemengepartners W			
	Abfrage	Zielgröße	Funktion
11.	x = Schnittgut-TM-Ertrag _{WWeidelgras_3} [dt TM ha ⁻¹]	gesamtpflanzliche N-Menge _{WWeidelgras} N _{Bt WWeidelgras} [kg N ha ⁻¹]	f(x) = y ₀ +a*x = 20,604716532398 + 1,49102

Tab. A 15f: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Welschem Weidelgras im Gemenge

Boden-N-Angebot [kg N ha ⁻¹]			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
12.	Jahresbasis N-Angebot im Boden		
12a.	2005	Jahresbasiswert	= 14,24 [kg N ha ⁻¹]
12b.	2006		= 16,19 [kg N ha ⁻¹]
13.	Ackerzahl	Boden-N-Angebot_1 [kg N ha ⁻¹]	= Jahresbasiswert + (3 * √ _{Acker})
14.	vorfruchtbedingte/düngebedingte N-Nachlieferung des Bodens		
14a.	sehr gering bis gering	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 1 [kg N ha ⁻¹]
14b.	mittel	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 2 [kg N ha ⁻¹]
14c.	hoch bis sehr hoch	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 3 [kg N ha ⁻¹]

Tab. A 15g: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Welschem Weidelgras im Gemenge

Nr.	Abfrage	Grad der Verunkrautung zum Schnittzeitpunkt	
		Zielgröße	Funktion
15.	Grad der Verunkrautung zum Schnittzeitpunkt		
15a.	sehr gering	Boden-N-Angebot ₃ [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot ₂
15b.	gering	Boden-N-Angebot ₃ [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot ₂ - 5 [kg N ha ⁻¹]
15c.	mittel bis stark	Boden-N-Angebot ₃ [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot ₂ - 10 [kg N ha ⁻¹]
15d.	sehr stark	Boden-N-Angebot ₃ [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot ₂ - 20 [kg N ha ⁻¹]

Tab. A 15h: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Welschem Weidelgras im Gemenge

N₂-Fixierleistung [kg N ha⁻¹] des Gemengepartners Persischer Klee erweiterte N-Flächenbilanz [kg N ha⁻¹] des Gemenges			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
16.		Boden-N-Angebot ₄ [kg N ha ⁻¹]	Boden-N-Angebot ₃ * 1,47 ^(a) - N _{Bt} WWeidelgras [kg N ha ⁻¹]
17a.		N _{fixerw} PKlee [kg N ha ⁻¹] ^(a)	(N _{Bt} PKlee [kg N ha ⁻¹] - Boden-N-Angebot ₄ [kg N ha ⁻¹]) * 1,10 ^(c)
17b.	<u>Achtung!!!</u>	N _{fixerw} [kg N ha ⁻¹], wenn N _{fixerw} ≤ 10 [%] von N _{Bt} * 1,10, dann (s. Funktion)	N _{Bt} PKlee [kg N ha ⁻¹] * 1,10 * 10 [%] / 100
18.		erweiterte N-Flächenbilanz N-Flächenbilanz _{erw} [kg N ha ⁻¹]	N _{fixerw} PKlee [kg N ha ⁻¹] - Schnittgut-N-Menge _{PKlee} [kg N ha ⁻¹] - Schnittgut-N-Menge _{WWeidelgras} [kg N ha ⁻¹]

^(a) Erweiterung der ermittelten bodenbürtigen N-Aufnahme der Referenzpflanze Welsches Weidelgras um den N-Anteil der Weidelgraswurzeln, ^(b) mittlere N-Aufnahme von *Trifolium resupinatum* L. und *Lolium multiflorum* Lamb. im Gemenge zur Körnernutzung, reduziert um residuale N_{min}-Menge beim Anbau von *Lolium multiflorum* L. 1999, 2000 und 2001 der Versuchsstandorte Dasselsbruch, Göttingen und Oederquart, ^(c) 10,0 [%] des gesamt-pflanzlichen Stickstoffs von *Trifolium resupinatum* L. angenommen,

Tab. A 16a: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos bei Wiesenschwingel im Gemenge (1. Hauptnutzungsjahr)

Aufteilung der Anteile der Gemengepartner			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
1.	Erntejahr		
2.	Gesamt-Schnittgutertrag _{Gemenge} [dt FM ha ⁻¹]		
2a.	Prozentualer Anteil Rotklee am Gesamtschnittgut-Ertrag des Gemenges [%]	Frischmasse (FM) des Schnittgutertrags _{Rotklee_1} [dt FM ha ⁻¹]	= Gesamtschnittgutertrag [d * Anteil am Gesamtschnitt [%]
2b.		Frischmasse (FM) des Schnittgutertrags _{Wiesenschwingel_1} [dt FM ha ⁻¹]	= Gesamtschnittgutertrag [d - Schnittgutertrag _{Rotklee_1}

Tab. A 16b: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Rotklee und Wiesenschwingel im Gemenge (1. Hauptnutzungsjahr)

Ermittlung der gesamtplanzlichen N-Menge N _{Bt} [kg N ha ⁻¹] des Gemengepartners			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
3.	x = Frischmasse (FM) des Schnittgutertrags _{Rotklee_1} [dt FM ha ⁻¹]	Trockenmasse (TM)- Ertrag _{Rotklee_2} [dt TM ha ⁻¹]	$f(x) = a * x / (b + x)$ = 369,39 * x / (1263,36 + x)
4.	x = TM-Ertrag _{Rotklee_3} [dt TM ha ⁻¹]	Schnittgut-N-Menge _{Rotklee} [kg N ha ⁻¹]	$f(x) = y_0 + a * x$ = 10,742098271347 + 2.59947
5.	Ernteverluste		
5a.	gering (2 [%] des TM-Ertrages)	TM-Ertrag _{Rotklee_3} [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] * 1
5b.	mittel (5 [%] des TM-Ertrages)	TM-Ertrag _{Rotklee_3} [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] * 1
5c.	hoch (10 [%] des TM-Ertrages)	TM-Ertrag _{Rotklee_3} [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] * 1
5d.	sehr hoch (20 [%] des TM-Ertrages)	TM-Ertrag _{Rotklee_3} [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] * 1

Tab. A 16c: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Rotklee im Wiesenschwingel im Gemenge (1. Hauptnutzungsjahr)

6.	Witterungsbedingungen	nicht bei Rotklee im Gemenge mit Wiesenschwingel	
7.	$x =$ TM-Ertrag _{Rotklee_3} [dt TM ha ⁻¹]	gesamt-pflanzliche N-Menge _{Rotklee} N _{Bt} [kg N ha ⁻¹]	$f(x) = y_0 + a \cdot x$ $= 14,724556503145 + 3,01650$

Tab. A 16d: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau eines Wiesenschwingsel im Gemenge (1. Hauptnutzungsjahr)

Ermittlung der gesamtplanzlichen N-Menge N_{Bt} [kg N ha⁻¹] des Gemengepartners			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
8.	Schnittgutertrag _{Wiesenschwingel_1} [dt FM ha ⁻¹]	Schnittgut-TM- Ertrag _{Wiesenschwingel_2} [dt TM ha ⁻¹]	$f(x) = y_0 + a \cdot x$ $= -0,3315 + 0,2569 \cdot x$
9.	x = Schnittgut-TM- Ertrag _{Wiesenschwingel_2} [dt TM ha ⁻¹]	Schnittgut-N- Menge _{Wiesenschwingel} [kg N ha ⁻¹]	$f(x) = y_0 + a \cdot x$ $= 1,81890677207076 + 1,678 \cdot x$
10.	Ernteverluste		
10a.	gering (2 [%] des Schnittgut-TM- Ertrags _{Wiesenschwingel_2})	Schnittgut-TM- Ertrag _{Wiesenschwingel_3} [dt TM ha ⁻¹]	= Schnittgut-TM-Ertrag _{Wiesenschwingel_2} [dt TM ha ⁻¹] * 1,02
10b.	mittel (5 [%] des Schnittgut-TM- Ertrags _{Wiesenschwingel_2})	Schnittgut-TM- Ertrag _{Wiesenschwingel_3} [dt TM ha ⁻¹]	= Schnittgut-TM-Ertrag _{Wiesenschwingel_2} [dt TM ha ⁻¹] * 1,05
10c.	hoch (10 [%] des Schnittgut-TM- Ertrags _{Wiesenschwingel_2})	Schnittgut-TM- Ertrag _{Wiesenschwingel_3} [dt TM ha ⁻¹]	= Schnittgut-TM-Ertrag _{Wiesenschwingel_2} [dt TM ha ⁻¹] * 1,10
10d.	sehr hoch (20 [%] des Schnittgut-TM- Ertrags _{Wiesenschwingel_2})	Schnittgut-TM- Ertrag _{Wiesenschwingel_3} [dt TM ha ⁻¹]	= Schnittgut-TM-Ertrag _{Wiesenschwingel_2} [dt TM ha ⁻¹] * 1,20

Tab. A 16e: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Leguminosen in einem Wiesenschwingel im Gemenge (1. Hauptnutzungsjahr)

Ermittlung der gesamt-pflanzlichen N-Menge N _{Bt} [kg N ha ⁻¹] des Gemengepartners		
Abfrage	Zielgröße	Funktion
11. x = Schnittgut-TM- Ertrag _{Wiesenschwingel_3} [dt TM ha ⁻¹]	gesamt-pflanzliche N-Menge _{Wiesenschwingel} N _{Bt} Wiesenschwingel [kg N ha ⁻¹]	f(x) = y ₀ +a*x = 12.978492429895 + 2.54044x

Tab. A 16f: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Leguminosen in einem Wiesenschwingel im Gemenge (1. Hauptnutzungsjahr)

Boden-N-Angebot [kg N ha ⁻¹]			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
12.	Jahresbasis N-Angebot im Boden		
12a.	2005	Jahresbasiswert	= 11,08 [kg N ha ⁻¹]
12b.	2006		= 13,01 [kg N ha ⁻¹]
13.	Ackerzahl	Boden-N-Angebot_1 [kg N ha ⁻¹]	= Jahresbasiswert + (3 * √Ackerzahl)
14.	vorfruchtbedingte/düngebedingte N-Nachlieferung des Bodens		
14a.	sehr gering bis gering	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 1 [kg N ha ⁻¹]
14b.	mittel	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 2 [kg N ha ⁻¹]
14c.	hoch bis sehr hoch	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 3 [kg N ha ⁻¹]

Tab. A 16g: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Leguminosen in einem Wiesenschwingel im Gemenge (1. Hauptnutzungsjahr)

Nr.	Abfrage	Grad der Verunkrautung zum Schnittzeitpunkt	
		Zielgröße	Funktion
15.	Grad der Verunkrautung zum Schnittzeitpunkt		
15a.	sehr gering	Boden-N-Angebot ₃ [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot ₂
15b.	gering	Boden-N-Angebot ₃ [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot ₂ - 5 [kg N ha ⁻¹]
15c.	mittel bis stark	Boden-N-Angebot ₃ [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot ₂ - 10 [kg N ha ⁻¹]
15d.	sehr stark	Boden-N-Angebot ₃ [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot ₂ - 20 [kg N ha ⁻¹]

Tab. A 16h: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Rotklee im Gemenge mit Wiesenschwingel im Gemenge (1. Hauptnutzungsjahr)

N₂-Fixierleistung [kg N ha⁻¹] des Gemengepartners Rotklee und erweiterte N-Flächenbilanz [kg N ha⁻¹] des Gemenges			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
16.		Boden-N-Angebot ₄ [kg N ha ⁻¹]	Boden-N-Angebot ₃ * 1,64 ^(a) - N _{Bt} Wiesenschwingel [kg N ha ⁻¹]
17a.		N _{fixerw} PKlee [kg N ha ⁻¹] ^(a)	(N _{Bt} Rotklee [kg N ha ⁻¹] - Boden-N-Angebot ₄ [kg N ha ⁻¹]) * 1,20 ^(c)
17b.	<u>Achtung!!!</u>	N _{fixerw} [kg N ha ⁻¹], wenn N _{fixerw} ≤ 10 [%] von N _{Bt} * 1,10, dann (s. Funktion)	N _{Bt} Rotklee [kg N ha ⁻¹] * 1,20 * 10 [%] / 100
18.		erweiterte N-Flächenbilanz N-Flächenbilanz _{erw} [kg N ha ⁻¹]	N _{fixerw} Rotklee [kg N ha ⁻¹] - Schnittgut-N-Menge _{Rotklee} [kg N ha ⁻¹] - Schnittgut-N-Menge _{Wiesenschwingel} [kg N ha ⁻¹]

^(a) Erweiterung der ermittelten bodenbürtigen N-Aufnahme der Referenzpflanze Wiesenschwingel um den N-Anteil der Wiesenschwingelwurzeln, ^(b) mittlere N-Aufnahme von Rotklee im Gemenge zur Schnittnutzung, reduziert um residuale N_{min}-Menge beim Anbau von Wiesenschwingel in Reinsaat, gemittelt über die Versuchsstandorte Dasselsbruch, Göttingen und Oederquart, ^(c) 20,0 [%] des gesamt-pflanzlichen Stickstoffs von Rotklee werden als Rhizodeposition angerechnet

Tab. A 17a: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos bei Wiesenschwingel im Gemenge (1. Hauptnutzungsjahr)

Aufteilung der Anteile der Gemengepartner			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
1.	Erntejahr		
2.	Gesamt-Schnittgutertrag _{Gemenge} [dt FM ha ⁻¹]		
2a.	Prozentualer Anteil Luzerne am Gesamtschnittgut-Ertrag des Gemenges [%]	Frischmasse (FM) des Schnittgutertrags _{Luzerne_1} [dt FM ha ⁻¹]	= Gesamtschnittgutertrag [d * Anteil am Gesamtschnitt [%]
2b.		Frischmasse (FM) des Schnittgutertrags _{Wiesenschwingel_1} [dt FM ha ⁻¹]	= Gesamtschnittgutertrag [d - Schnittgutertrag _{Luzerne_1}

Tab. A 17b: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Luzerne und Wiesenschwingel im Gemenge (1. Hauptnutzungsjahr)

Ermittlung der gesamtplanzlichen N-Menge N_{Bt} [kg N ha⁻¹] des Gemengepartners			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
3.	x = Frischmasse (FM) des Schnittgutertrags _{Luzerne_1} [dt FM ha ⁻¹]	Trockenmasse (TM)- Ertrag _{Luzerne_2} [dt TM ha ⁻¹]	$f(x) = a * x / (b + x)$ = 894,61 * x / (3352,95 + x)
4.	x = TM-Ertrag _{Luzerne_3} [dt TM ha ⁻¹]	Schnittgut-N-Menge _{Luzerne} [kg N ha ⁻¹]	$f(x) = y_0 + a * x$ = 0,34078027533685 + 2,9057 * x
5.	Ernteverluste		
5a.	gering (2 [%] des TM-Ertrages)	TM-Ertrag _{Luzerne_3} [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] * 1,02
5b.	mittel (5 [%] des TM-Ertrages)	TM-Ertrag _{Luzerne_3} [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] * 1,05
5c.	hoch (10 [%] des TM-Ertrages)	TM-Ertrag _{Luzerne_3} [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] * 1,10
5d.	sehr hoch (20 [%] des TM-Ertrages)	TM-Ertrag _{Luzerne_3} [dt TM ha ⁻¹]	= TM-Ertrag_2 [dt TM ha ⁻¹] * 1,20

Tab. A 17c: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Luzerne im Wiesenschwinger im Gemenge (1. Hauptnutzungsjahr)

6.	Witterungsbedingungen	nicht bei Luzerne im Gemenge mit Wiesenschwinger	
7.	$x =$ TM-Ertrag _{Luzerne_3} [dt TM ha ⁻¹]	gesamt-pflanzliche N-Menge _{Luzerne} N _{Bt} [kg N ha ⁻¹]	$f(x) = y_0 + a \cdot x$ $= 9,14673232865881 + 4,1507 \cdot x$

Tab. A 17d: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau eines Wiesenschwingsel im Gemenge (1. Hauptnutzungsjahr)

Ermittlung der gesamtplanzlichen N-Menge N_{Bt} [kg N ha⁻¹] des Gemengepartners			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
8.	Schnittgutertrag _{Wiesenschwingel_1} [dt FM ha ⁻¹]	Schnittgut-TM- Ertrag _{Wiesenschwingel_2} [dt TM ha ⁻¹]	$f(x) = y_0 + a \cdot x$ $= 0,065 + 0,2703 \cdot x$
9.	x = Schnittgut-TM- Ertrag _{Wiesenschwingel_2} [dt TM ha ⁻¹]	Schnittgut-N- Menge _{Wiesenschwingel} [kg N ha ⁻¹]	$f(x) = y_0 + a \cdot x$ $= 3,98205144742355 + 1,4887 \cdot x$
10.	Ernteverluste		
10a.	gering (2 [%] des Schnittgut-TM- Ertrags _{Wiesenschwingel_2})	Schnittgut-TM- Ertrag _{Wiesenschwingel_3} [dt TM ha ⁻¹]	= Schnittgut-TM-Ertrag _{Wiesenschwingel_2} [dt TM ha ⁻¹] * 1,02
10b.	mittel (5 [%] des Schnittgut-TM- Ertrags _{Wiesenschwingel_2})	Schnittgut-TM- Ertrag _{Wiesenschwingel_3} [dt TM ha ⁻¹]	= Schnittgut-TM-Ertrag _{Wiesenschwingel_2} [dt TM ha ⁻¹] * 1,05
10c.	hoch (10 [%] des Schnittgut-TM- Ertrags _{Wiesenschwingel_2})	Schnittgut-TM- Ertrag _{Wiesenschwingel_3} [dt TM ha ⁻¹]	= Schnittgut-TM-Ertrag _{Wiesenschwingel_2} [dt TM ha ⁻¹] * 1,10
10d.	sehr hoch (20 [%] des Schnittgut-TM- Ertrags _{Wiesenschwingel_2})	Schnittgut-TM- Ertrag _{Wiesenschwingel_3} [dt TM ha ⁻¹]	= Schnittgut-TM-Ertrag _{Wiesenschwingel_2} [dt TM ha ⁻¹] * 1,20

Tab. A 17e: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Leguminosen in einem Wiesenschwingel im Gemenge (1. Hauptnutzungsjahr)

Ermittlung der gesamtplanzlichen N-Menge N _{Bt} [kg N ha ⁻¹] des Gemengepartners			
	Abfrage	Zielgröße	Funktion
11.	x = Schnittgut-TM- Ertrag _{Wiesenschwingel_3} [dt TM ha ⁻¹]	gesamtplanzliche N-Menge _{Wiesenschwingel} N _{Bt} Wiesenschwingel [kg N ha ⁻¹]	f(x) = y ₀ +a*x = 14,410356548427+ 2,21920

Tab. A 17f: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Leguminosen in einem Wiesenschwingel im Gemenge (1. Hauptnutzungsjahr)

Boden-N-Angebot [kg N ha⁻¹]			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
12.	Jahresbasis N-Angebot im Boden		
12a.	2005	Jahresbasiswert	= 11,08 [kg N ha ⁻¹]
12b.	2006		= 13,01 [kg N ha ⁻¹]
13.	Ackerzahl	Boden-N-Angebot_1 [kg N ha ⁻¹]	= Jahresbasiswert + (3 * $\sqrt{\text{Ackerzahl}}$)
14.	vorfruchtbedingte/düngebedingte N-Nachlieferung des Bodens		
14a.	sehr gering bis gering	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 1 [kg N ha ⁻¹]
14b.	mittel	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 2 [kg N ha ⁻¹]
14c.	hoch bis sehr hoch	Boden-N-Angebot_2 [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot_1 + Ackerzahl/3 * 3 [kg N ha ⁻¹]

Tab. A 17g: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Leguminosen in einem Wiesenschwingel im Gemenge (1. Hauptnutzungsjahr)

Nr.	Abfrage	Grad der Verunkrautung zum Schnittzeitpunkt	
		Zielgröße	Funktion
15.	Grad der Verunkrautung zum Schnittzeitpunkt		
15a.	sehr gering	Boden-N-Angebot ₃ [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot ₂
15b.	gering	Boden-N-Angebot ₃ [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot ₂ - 5 [kg N ha ⁻¹]
15c.	mittel bis stark	Boden-N-Angebot ₃ [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot ₂ - 10 [kg N ha ⁻¹]
15d.	sehr stark	Boden-N-Angebot ₃ [kg N ha ⁻¹]	= Boden-N-Angebot ₂ - 20 [kg N ha ⁻¹]

Tab. A 17h: Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Luzerne und Wiesenschwingel im Gemenge (1. Hauptnutzungsjahr)

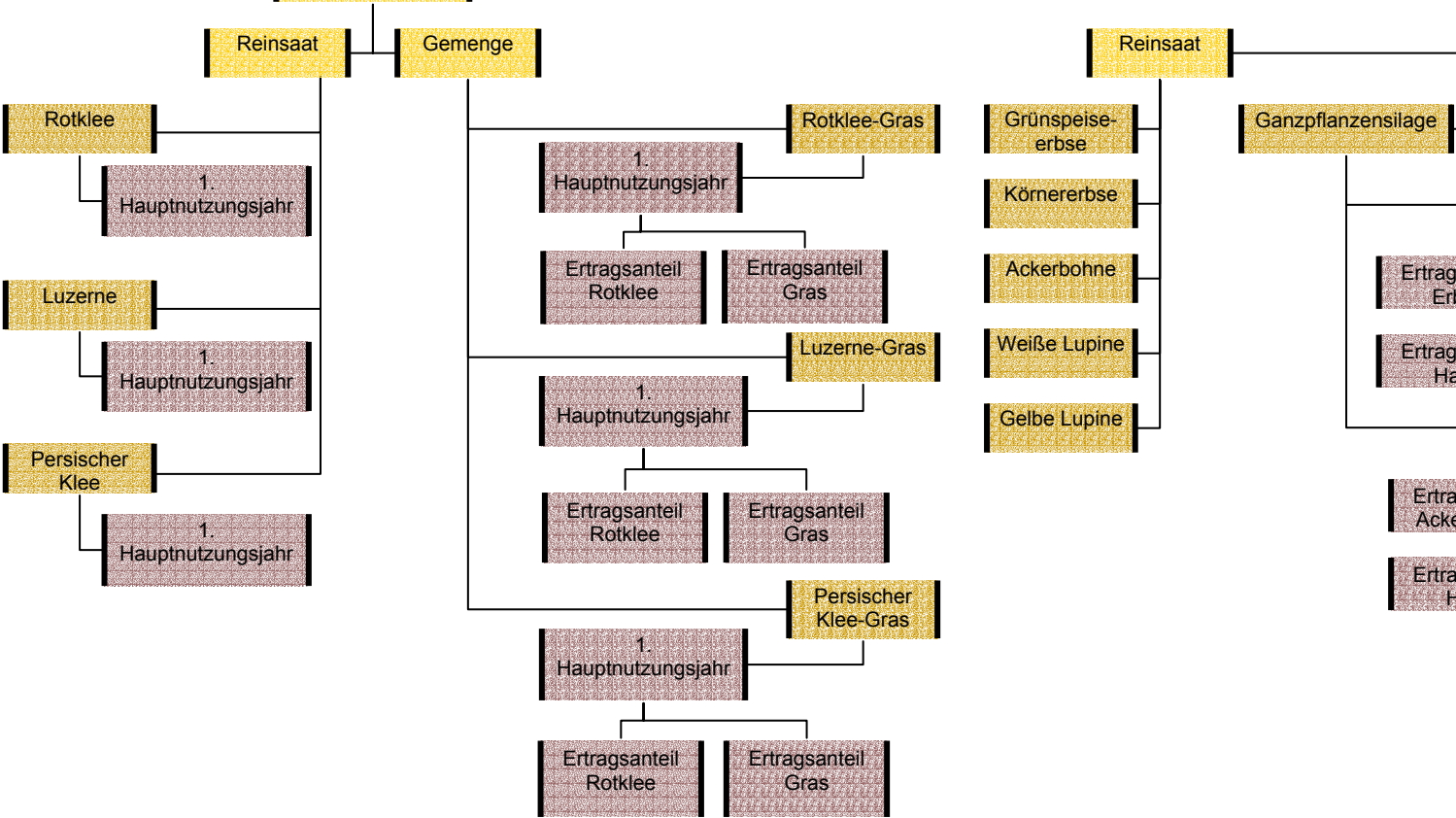
N₂-Fixierleistung [kg N ha⁻¹] des Gemengepartners Luzerne und erweiterte N-Flächenbilanz [kg N ha⁻¹] des Gemenges			
Nr.	Abfrage	Zielgröße	Funktion
16.		Boden-N-Angebot ₄ [kg N ha ⁻¹]	Boden-N-Angebot ₃ * 1,64 [kg N ha ⁻¹] - N _{Bt} Wiesenschwingel [kg N ha ⁻¹]
17a.		N _{fixerw} PKlee [kg N ha ⁻¹] ^(a)	(N _{Bt} Luzerne [kg N ha ⁻¹] - Boden-N-Angebot ₄ [kg N ha ⁻¹]) * 1,20
17b.	<u>Achtung!!!</u>	N _{fixerw} [kg N ha ⁻¹], wenn N _{fixerw} ≤ 10 [%] von N _{Bt} * 1,10, dann (s. Funktion)	N _{Bt} Luzerne [kg N ha ⁻¹] * 1,20 * 10 [%] / 100
18.		erweiterte N-Flächenbilanz N-Flächenbilanz _{erw} [kg N ha ⁻¹]	N _{fixerw} Luzerne [kg N ha ⁻¹] - Schnittgut-N-Menge _{Luzerne} [kg N ha ⁻¹] - Schnittgut-N-Menge _{Wiesenschwingel} [kg N ha ⁻¹]

^(a) Erweiterung der ermittelten bodenbürtigen N-Aufnahme der Referenzpflanze Wiesenschwingel um den N-Anteil der Wiesenschwingelwurzeln, ^(b) mittlere N-Aufnahme von Luzerne und Wiesenschwingel im Gemenge zur Schnittnutzung, reduziert um residuale N_{min}-Menge beim Anbau von Wiesenschwingel in Reinsaat, gemittelt über die Versuchsstandorte Dasselsbruch, Göttingen und Oederquart, ^(c) 20,0 [%] des gesamt-pflanzlichen Stickstoffs von Luzerne werden als Rhizodeposition

vi) Ablaufschema der Kalkulationsverfahren

Nutzung von Leguminosen

Feinsämige Leguminosen zur Schnittnutzung (Futterleguminosen)



vii) Projektpartnerschaften und Termine

Tab. A 18: Projektpartnerschaften der Versuchsjahre 2005/6

Institution	Namen	Ort	Kontaktebene
Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft	Dr. Enzian	Kleinmachnow	Boden-Klima-Modell nach SCHULZKE (1988, 2001)
Dienstleistungszentrum ländl. Raum Rheinhes- sen - Nahe - Hunsrück	Frau Hoos	Bad Kreuznach	Monitoringfläche
Fachhochschule Osnabrück	Frau Schliephake	Osnabrück	Monitoringfläche
Gladbacher Hof, Versuchsgut der Universität Gießen	Herr Schulz	Villmar	Monitoringfläche
Haus Riswick, Landwirtschaftszentrum der LWK NRW	Herr Grigoleit, Herr Berntsen	Kleve (2005)	Monitoringfläche
ISIP	Dr. Röhrig, Dr. Sander	Bad Kreuznach	Internetportal
Landesamt für Verbrau- cherschutz, Landwirt- schaft und Flurordnung	Frau Dittmann	Güterfelde	Monitoringfläche
Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen	Herr Schindler, Herr Nau-Böhm	Alsfeld	Monitoringfläche
Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei	Dr. Gruber	Gülzow	Monitoringfläche
Lehr- u. Versuchszen- trum Futterkamp, LWK Schleswig-Holstein	Herr Paustian	Blekendorf	Monitoringfläche
Lindhof, Versuchsgut der Universität Kiel	Dr. Loges	Kiel	Monitoringfläche
LWK Niedersachsen	Herr Meyercordt, Herr Mücke	Hannover	Projektgestaltung
Ökozentrum Köln- Auweiler der LWK Niedersachsen	Herr Paffrath, Herr Pütz	Köln	Monitoringfläche
Landwirtschaftsbetrieb	Herr Wunderlich	Adorf	Monitoringfläche
Landwirtschaftsbetrieb	Herr Schott	Emmerich (2006)	Monitoringfläche
Landwirtschaftsbetrieb	Herr Burgeff	Heynitz	Monitoringfläche
Landwirtschaftsbetrieb	Herr Hemme	Isernhagen	Monitoringfläche
Landwirtschaftsbetrieb	Herr Prochnow	Jahnsfelde	Monitoringfläche
Landwirtschaftsbetrieb	Herr Reuter	Rheinbach	Monitoringfläche
Landwirtschaftsbetrieb	Piepenbrock GbR	Verl	Monitoringfläche
Landwirtschaftsbetrieb	Herr Krutzinna	Wildeck (2006)	Monitoringfläche
Sächsische Landes- anstalt für Landwirtschaft, Versuchsstation Roda	Dr. Kolbe, Frau Schuster, Herr Seidel	Roda	Monitoringfläche
Versuchsfeld Holtorfsloh der LWK Niedersachsen	Herr Schlichtmann	Buchholz	Monitoringfläche
Versuchsstation Vieh- hausen, Wissensch.- Zentr. Weihenstephan der TU München	Dr. Heuwinkel, Herr Kimmelmann	Kranzberg	Monitoringfläche

Tab. A 19: Vorträge zum Projekt im Projektjahr 2005/2006

	Datum	Institution	Vortragstitel
Prof. Schmidtke	04.02.2005	Gäa-Wintertagung 2005	Stickstoffbilanz und Stickstoffvorfruchtwert von Leguminosen
Prof. Schmidtke	02.03.2005	Workshop auf der 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Universität Kassel	Quantifizierung der N-Zufuhr durch Leguminosen: N-Zufuhr durch Stoppel, Wurzel und Rhizodeposition
Dr. Jost Prof. Schmidtke	18.04.2005	DBU, ISIP-Kuratoriumstreffen	Implementierung eines internetgestützten Informationssystems zur Kalkulation der symbiotischen N ₂ -Fixierleistung und der N-Flächenbilanz beim Anbau von Leguminosen im ökologischen Landbau
Prof. Schmidtke	18.10.2005	Kolloquium „Acker- und Pflanzenbau“, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg	Verfahren zur Schätzung der N-Flächenbilanz beim Anbau von Leguminosen.
Dr. Jost	11.01.2006	Department für Nutzpflanzenkunde der Universität Göttingen, öffentliches pflanzenbauliches Kolloquium	Implementierung eines internetgestützten Informationssystems zur Kalkulation der symbiotischen N ₂ -Fixierleistung und der N-Flächenbilanz beim Anbau von Leguminosen im ökologischen Landbau
Prof. Schmidtke	31.01.2006	Seminar des Lehrstuhls für Ökologischen Landbau Technische Universität München,	N-Rhizodeposition von Leguminosen: Methodik, Modellierung und Beitrag zur N-Flächenbilanz
Dr. Jost	01.02.2006	Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung II der Universität Gießen, öffentliches pflanzenbauliches Kolloquium	Implementierung eines internetgestützten Informationssystems zur Kalkulation der symbiotischen N ₂ -Fixierleistung und der N-Flächenbilanz beim Anbau von Leguminosen im ökologischen Landbau
Prof. Schmidtke	14.06.2006	Forschung zum ökologischen Landbau in Sachsen, Fachtagung der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Roda	Kalkulation von Stickstoffeffekten von Leguminosen im Haupt- und Zwischenfruchtanbau
Prof. Schmidtke	05.12.2006	7. Fachtag zum ökologischen Landbau, Bad Kreuznach	Kalkulation von Stickstoffeffekten von Leguminosen im Haupt- und Zwischenfruchtanbau

Fortsetzung **Tab. A 19:** s. nächste Seite

Fortsetzung Tab. A 19: Vorträge zum Projekt im Projektjahr 2005/2006

Dr. Jost	21.03.2007	Wissenschaftstagung	Kalkulation der N ₂ -Fixierleistung und der N-Flächenbilanz beim Anbau von Leguminosen im ökologischen Landbau
Dr. Jost	18.09.2007	Tagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften	Kalkulation der N ₂ -Fixierleistung und der N-Flächenbilanz beim Anbau von Leguminosen im ökologischen Landbau (Poster)
Dr. Jost	06.09.2007	Tagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft	Kalkulation der N ₂ -Fixierleistung und der N-Flächenbilanz beim Anbau von Leguminosen im ökologischen Landbau
Dr. Jost/ Prof. Schmidtke	11.- 17.11.2007	Agritechnica	Onlinepräsentation des ISIP-Moduls LeNi Ba <i>Eco</i>
Dr. Jost	12.12.2007	Talk at the University of Jaén (Spain), (Department of Zoology, Botany and Ecology)	Estimation of nitrogen fixation and N balances in cultivations of legumes in ecological agriculture.
Prof. Schmidtke	18.01.2008	Gäa Wintertagung, Krögis	Kalkulation der Stickstoff-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Leguminosen im ökologischen Landbau
Prof. Schmidtke	04.02.2008	BLE-Seminar "Umstellung auf ökologischen Landbau", Dresden	Umstellung der pflanzlichen Erzeugung

Tab. A 20: Termine zur Erfassung der Schnittgut- und Stoppel-Trockenmasseerträge von Welschem Weidelgras (*Lolium multiflorum* Lamb., Referenz zur einjährigen Variante) und Wiesenschwingel (*Festuca pratensis* Huds., Referenz zur überjährigen Variante) an den Untersuchungsstandorten

Standorte	Varianten	1. Proben- nahme	2. Proben- nahme	3. Proben- nahme	4. Proben- nahme	5. Proben- nahme
Adorf	überjährig	02.06.2005	06.07.2005	01.09.2005 ¹⁾	--	--
		16.05.2006	29.06.2006	04.08.2006	05.09.2006	09.10.2006
Dürröhren- dorf	einjährig	10.07.2005	31.08.2005	10.10.2005	--	--
Göttingen- Deppolds- hausen	einjährig	13.06.2005	27.07.2005	3)	3)	3)
		13.06.2005	27.07.2005	--	--	--
	überjährig	28.06.2006	27.07.2006	16.09.2006	12.10.2006	--
		14.06.2006	16.08.2006	14.09.2006		
Göttingen- Reinshof	einjährig	13.06.2005	21.07.2005	19.09.2005	--	--
		13.06.2005	21.07.2005	19.09.2005	--	--
	überjährig	11.06.2006	27.07.2006	15.09.2006	12.10.2006	--
		13.06.2006	16.08.2006	15.09.2006	25.09.2006	--
Heynitz	überjährig	22.05.2005	29.06.2005	2)	18.09.2005	--
Isernhagen	überjährig	11.08.2005	05.10.2005	--	--	--
		02.06.2006	06.07.2006	25.09.2006	--	--
Jahnsfelde	einjährig	17.08.2005	01.10.2005			--
	überjährig	25.05.2005	17.07.2005	30.08.2005	01.10.2005	--
Kiel	einjährig	16.06.2005	18.07.2005	22.08.2005	18.10.2005	--
		27.05.2005	30.06.2005	22.08.2005	18.10.2005	--
	überjährig	07.06.2006	17.07.2007	21.09.2006	24.10.2006	--
		07.06.2006	17.07.2006	21.09.2006	24.10.2006	--
Kleve/ Emmerich	überjährig	24.06.2005	26.07.2005	31.08.2005	20.09.2005	--
		16.05.2006	29.06.2006	04.08.2006	05.09.2006	09.10.2006
Podemus	einjährig	06.06.2005	03.07.2005	09.08.2005	11.09.2005	--
Rheinbach	überjährig	23.06.2005	27.07.2005	2)	20.09.2005	--
		11.05.2006	2)	04.08.2006	05.09.2006	16.10.2006
Verl	überjährig	13.06.2005	26.07.2005	31.08.2005	06.10.2005	--
		11.05.2006	17.07.2006	04.09.2006	10.10.2006	--
Viehhausen	einjährig	05.07.2006	25.08.2006	23.10.2006	--	--
	überjährig	13.06.2006	24.07.2006	07.09.2006	05.10.2006	--
Villmar	überjährig	27.06.2005	02.08.2005	21.09.2005	--	--
		29.05.2006	10.07.2006	14.08.2006	04.09.2006	02.10.2006
Wildeck	einjährig	03.07.2006	18.09.2006	--	--	--

¹⁾ Stoppelmasse am 01.10.2005 zusätzlich erfasst; ²⁾ Schnitt wurde vom Betrieb durchgeführt ohne dass die Versuchsansteller zuvor benachrichtigt wurden; hierdurch konnte der Ertrag des Grases zu 3. Schnitttermin nicht mehr erfasst werden; ³⁾ Parzellen wurden mit anderen Versuchen vorzeitig gepflügt

Tab. A 21: N_{min}-Probenahmeterminale A: zur Ernte der Körnererbse, B: zu Vegetationsende und C: zu Vegetationsbeginn der Nachfrucht der Untersuchungsjahre 2005 und 2006

Standort	A	B	C	A	B	C
Alsfeld	04.08.2005	25.01.2006	12.04.06	31.07.2006	07.11.2006	27.03.2007
Göttingen- Deppoldshausen	29.08.2005	10.01.2006	18.04.2006	28.07.2006	24.10.2006	28.03.2006
Göttingen- Reinshof	11.08.2005	10.01.2006	18.04.2006	28.07.2006		15.03.2007
Köln	xy.07.2005	12.12.2005	27.03.2006	20.03.2006	29.11.2006	13.03.2007
Pillnitz	20.08.12005	30.10.2005		08.10.2006		
Roda	12.08.2005	23.11.2005	24.03.2006		24.11.2006	

Tab. A 22: N_{min}-Probenahmeterminale A: zu Vegetationsende der Futterleguminosen und B: zur Vegetationsbeginn der Nachfrucht der Untersuchungsjahre 2005 und 2006

Standort	A	B	A	B
Adorf	07.10.2005	14.04.2006		
Göttingen- Deppoldshausen	--	18.04.2006	15.09.2006	28.03.2006
Göttingen-Reinhof	19.09.2005	18.04.2006	25.09.2006	15.03.2007
Heynitz	13.09.2005	04.04.2006		
Isernhagen	05.10.2005	10.04.2006	xy.09.2006	27.03.2007
Jahnsfelde	01.10.2005	31.03.2006	09.10.2006	

viii) Informationsmaterial zu LeNi Ba *Eco*

Leguminosen im Gemenge - Kalkulation der N₂-Fixierung und der N-Flächenbilanz mit LeNi



In der landwirtschaftlichen Praxis werden Leguminosen häufig im Gemenge mit nicht Stickstoff-fixierenden Pflanzen angebaut. Mit **LeNi** können Sie die symbiotische N₂-Fixierleistung und die N-Flächenbilanz der umseitig genannten Futterleguminosen im Gemenge mit Gräsern kalkulieren. Ebenso ist es möglich, die N-Flüsse der Körnererbse und der Ackerbohne mit dem Gemengepartner Hafer durchzuführen. Eine spezifische Auswahl finden Sie in der gezeigten Maske unter „Kultur und Nutzungsformen“.

Noch ein Tipp für Flächen mit ungleichen Bodenverhältnissen:

Es bietet sich an, die Kalkulation inhomogener Schläge zu teilen und entsprechend den Bodenverhältnissen in zwei (oder mehr) Teilflächen durchzuführen.

Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierleistung von Leguminosen im ökologischen Landbau

- schlagspezifisch
- Berechnung der N-Flächenbilanz
- Futter- und Körnerleguminosen
- und mehr ...



Kalkulation der N₂-Fixierung und der N-Flächenbilanz beim Anbau von Leguminosen im ökologischen Landbau

Legumes' Nitrogen Balances in Ecological Agriculture

Kontakt:

* Dr. Britta Jost
bjost@uni-goettingen.de
0551 - 39 4359

** Prof. Dr. Knut Schmidtke
schmidtk@pillnitz.htw-dresden.de
0351 - 462 3017

*** www.isip.de
0671/820-429
0671/820-430



Universität Göttingen
Department für
Nutzpflanzenwissenschaften



Hochschule für Technik und
Wirtschaft Dresden, Fachbereich
Landbau/Landespflege



Informationssystem
Integrierte
Pflanzenproduktion

Eine Vielzahl der im Projekt verwendeten Daten entstammen der Initiative und der Arbeitsgruppe um Prof. Dr. Knut Schmidtke (Dresden, zuvor Göttingen) in Kooperation mit Prof. Dr. Rolf Rauber (Göttingen). Des Weiteren wurden Daten aus wissenschaftlichen Veröffentlichungen anderer Arbeitsgruppen der letzten Jahre hinzugezogen. Die Arbeiten, die im Kalkulationsmodell verwendet werden, sind unter www.isip.de gelistet. Eine Vielzahl von Institutionen und Praxisbetrieben waren an diesem und den vorbereitenden Projekten beteiligt, bei denen wir uns herzlich bedanken.

Das Projekt wurde gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Foto: Schmidtke



isip
www.isip.de

Der Leguminosen...

So kalkulieren Sie die N₂-Fixierung und die N-Flächenbilanz ihrer Futterleguminosen mit LeNI

LeNI kalkuliert Ihnen schlag-spezifisch die N₂-Fixierleistung und die N-Flächenbilanz beim Anbau von

- Rotklee
- Luzerne
- Persischem Klee

im ersten Hauptnutzungsjahr

- In die ISIP-Maske (links) geben Sie die für die Kalkulation notwendigen Anbaudaten ein
- Ein besonderes Augenmerk sollten Sie auf die Schätzung der Boden-N-Nachlieferung haben. Geben Sie hierzu bitte an: „sehr gering bis gering“, „mittel“ oder „hoch bis sehr hoch“
- Futterleguminosen im Gemenge s. letzte Seite



So kalkulieren Sie die N₂-Fixierung und die N-Flächenbilanz ihrer Körnerleguminosen

- LeNI
- SO
- N₂
- N
- An
- Acker
- Grün
- Körn
- Weiß
- Gelb
- Ge
- ne
- ab
- Zu
- Ge

- Die Kalkulationsergebnisse werden nach der Bestätigung der Daten ('ok'-Symbol) in einem neuen Fenster gezeigt (Bild rechts)
- Die Werte einer Zeile beziehen sich auf den entsprechenden Schlag, z.B. „Im Korn“
- In das Ausgabenblatt werden die Eingabedaten zur besseren Übersicht und Kontrolle größtenteils übernommen

Schlagname	Anbaujahr	Boden-N-Angebot	Individuelle Ertragsleistungen	N ₂ -Fixierleistung	N-Flächenbilanz
Im Korn	2005	34,9	Körner Weiße Lupine	39	247,8
Kreuzacker	2005	41,9	Futter Persischer Klee	180	95,8

- Die E
- Stifts
- Bedar
- Die D
- gelös
- Mülle
- Eine
- anleg
- () in



Boden-N-Angebot:

Bei Futter- und Körnerleguminosen besteht eine starke Abhängigkeit zwischen dem pflanzenverfügbaren N-Angebot im Boden und der Höf tung. Die Witterung im Jahr, die Vorfrucht, die Höhe der N-Düngung zur Vorfrucht und zur Leguminose sowie die Ackerzahl und der Grad auf das den Leguminosen verfügbare N-Angebot im Boden. Deshalb werden diese Kenngrößen schlagspezifisch in LeNI abgefragt.

ix) aus dem Projekt bereits veröffentlichte Ergebnisse

Kalkulation der N₂-Fixierleistung und der N-Flächenbilanz beim Anbau von Leguminosen im ökologischen Landbau

Calculation of the symbiotic N₂ fixation and N balance of organically grown legumes

B. Jost¹, K. Schmidtke² und R. Rauber³

Key words: nitrogen fixation, soil fertility, plant nutrition, crop farming, development of organic agriculture

Schlagwörter: N₂-Fixierleistung, Bodenfruchtbarkeit, Pflanzenernährung, Pflanzenbau, Entwicklung Ökolandbau

Abstract:

During last years procedures were developed to calculate the N₂ fixation and the N balance of grain and forage legumes under organic farming conditions. These procedures are distinctly improved by including the mineral soil nitrogen the legumes can use during the growing season. A system monitoring the available soil N was established in 2005 and 2006, which was distributed across Germany. Available soil N was assessed by means of non leguminous reference plants. Results from 2005 are recorded. It is the objective to make the calculation of the N balance of legumes interactively available in the near future via the internet portal ISIP (Informationssystem Integrierte Pflanzenproduktion). The target group are agricultural consulting services and practical agriculture.

Einleitung und Zielsetzung:

Über die Bilanzierung der N-Flüsse können N-Überschüsse im Ackerbau erkannt und Maßnahmen zur Minderung des Bilanzüberschusses und Vermeidung umweltbelastender N-Emissionen eingeleitet werden. Um die Höhe des symbiotisch fixierten Stickstoffs beim Anbau von Leguminosen und die N-Flächenbilanz exakter ableiten zu können, sollen Kalkulationsverfahren, die in den zurückliegenden Jahren erarbeitet worden sind (SCHMIDTKE 1997, SCHMIDTKE 2001, JOST 2003, JUNG 2003), weiter entwickelt werden. Dabei werden neuere Arbeiten zur N-Akkumulation von Leguminosen in Spross und Wurzel sowie die Rhizodeposition berücksichtigt. Zugleich werden die in der landwirtschaftlichen Praxis zu beobachtenden Ernteverluste sowie der Grad der Verunkrautung der Bestände aufgenommen. Da die Höhe der N₂-Fixierleistung und der N-Flächenbilanz beim Anbau einer Leguminose in starkem Maße vom Angebot an bodenbürtigem Stickstoff abhängt, muss zur Erzielung eines genauen Schätzergebnisses das standort- und jahresspezifische Boden-N-Angebot Eingang finden. Hierzu wurde ein bundesweites Monitoringsystem zur Erfassung des bodenbürtigen N-Angebotes beim Anbau von Leguminosen im ökologischen Landbau aufgebaut. Ziel ist es, in naher Zukunft die Kalkulationen zur N-Flächenbilanz über das Internetportal ISIP für die Beratung und Praxis interaktiv verfügbar zu machen.

Methoden:

In den Jahren 2005 und 2006 wurden auf jeweils 22 über Deutschland verteilte ökologisch bewirtschaftete Körner- und Futterleguminosenschläge nichtlegume Referenz-

¹ Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Von-Siebold-Str. 8, 37075 Göttingen, E-Mail: bjost@uni-goettingen.de

² Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH), Pillnitzer Platz 2, 01326 Dresden E-Mail: schmidtke@pillnitz.htw-dresden.de

³ wie 1, E-Mail: rrauber@uni-goettingen.de

pflanzen parallel zu den Leguminosen etabliert. Dadurch sollte das standortgegebene Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Boden in der Vegetationsperiode erfasst werden. Die Referenzflächen sollten für unterschiedliche Standortbedingungen repräsentativ sein und in der Fruchtfolge praxisübliche Stellungen der Futter- und Körnerleguminosen abbilden.

Dabei wurden für Futterleguminosen die Anbausysteme einjährige Nutzung (z.B. Persischer Klee in Reinsaat oder im Gemenge, Referenzpflanze Welsches Weidelgras) und überjährige Nutzung (z.B. Rotklee oder Luzerne in Reinsaat oder im Gemenge, Referenzpflanze Wiesenschwingel) unterschieden. Je Schlag wurden zwei Kleinpärzellen mit Referenzpflanzen von je 15 m² angelegt. Zu den Schnitterminen der Futterlegumino-

Tab. 1: Referenzflächen mit unterschiedlichen Ackerzahlen (AZ) zu Futterleguminosen - N-Erträge in Schnittgut und Stoppeln von I. Welschem Weidelgras (Referenz zu einjährigem Klee) und II. Wiesenschwingel (Referenz zu überjährigem Klee- bzw. Luzerne) im Jahr 2005

Standorte	AZ		Schnittgut [kg N ha ⁻¹]	Stoppeln [kg N ha ⁻¹]	Σ Spross [kg N ha ⁻¹]
Kiel	43	I	76,0	33,1	109,1
Jahnsfelde	46	I	50,7	11,0	61,7
Dürrröhrsdorf	58	I	75,6	7,9	83,5
Podemus	60	I	87,9	15,0	102,9
Reinshof ¹⁾	85	I	128,6	23,7	152,3
Adorf	22	II	54,7	12,7	67,4
Verl	27	II	105,9	31,6	137,5
Kiel	43	II	30,7	35,9	66,6
Jahnsfelde	46	II	101,6	20,2	121,8
Isernhagen	48	II	44,5	24,2	68,7
Heynitz	58	II	59,3	20,5	79,8
Rheinbach ²⁾	67	II	60,2	16,8	77,0
Kleve	70	II	98,3	17,9	116,2
Villmar	74	II	67,3	16,6	83,9
Reinshof ¹⁾	85	II	71,0	26,7	97,7

¹⁾ bei Göttingen, ²⁾ ohne den dritten Schnitt

sen wurde aus diesen Kleinteilflächen das Schnittgut (zum Vegetationsende auch die Stoppelmasse) auf je 2 m² beerntet. Die Erntetermine waren an die ortstypische und witterungsabhängige Nutzung (2 bis 5 Schnitte) gebunden. Als Referenzpflanze auf den Standorten mit Körnerleguminosenanbau wurde Hafer ausgesät. Für eine Mitwirkung konnten Einrichtungen der Bundesländer gewonnen werden, die im ökologischen Landbau Sortenversuche mit Körnerleguminosen durchführen. Zum Nutzungszeitpunkt der entsprechenden Körnerleguminose wurden jeweils 1,5 bis 2 m² Hafer-sprossmasse von Hand aus zwei getrennten Kleinteilflächen geerntet und der N-Gehalt in der Biomasse mittels Dumas-Verfahren bestimmt. Nachfolgend werden Ergebnisse aus dem Jahr 2005 präsentiert.

Ergebnisse und Diskussion:

In der Vegetationsperiode 2005 akkumulierten die Referenzpflanzen zwischen 61,7 und 152,3 kg N ha⁻¹ (Welsches Weidelgras, Referenzpflanze zu einjährigem Klee) und 66,6 bis 137,5 kg N ha⁻¹ (Wiesenschwingel, Referenzpflanze zu überjährigem Klee, Tab. 1). Da die Höhe des über die Referenzfrucht erfassten bodenbürtigen N-Angebotes nicht mit der Ackerzahl anstieg, dürfte das Angebot wesentlich durch die Unterschiede in der Bewirtschaftungsintensität und die Witterung bedingt sein.

Bei der Referenzfrucht Hafer war ebenfalls eine große Spannweite an bodenbürtigem N-Angebot zwischen den Standorten festzustellen (Tab. 2). So lagen z.B. zum Erntezeitpunkt der Körnererbse zwischen 51,0 und 105,7 kg N ha⁻¹ im Spross des Hafers vor. Auch an den Standorten mit Körnerleguminosen bestand zwischen Ackerzahl und bodenbürtigem N-Angebot kein Zusammenhang. Die Erhebungen zum bodenbürtigen N-Angebot im ökologischen Landbau zeigen, dass beim Anbau von Futter- und Körner

pflanzen parallel zu den Leguminosen etabliert. Dadurch sollte das standortgegebene Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Boden in der Vegetationsperiode erfasst werden. Die Referenzflächen sollten für unterschiedliche Standortbedingungen repräsentativ sein und in der Fruchtfolge praxisübliche Stellungen der Futter- und Körnerleguminosen abbilden.

Dabei wurden für Futterleguminosen die Anbausysteme einjährige Nutzung (z.B. Persischer Klee in Reinsaat oder im Gemenge, Referenzpflanze Welsches Weidelgras) und überjährige Nutzung (z.B. Rotklee oder Luzerne in Reinsaat oder im Gemenge, Referenzpflanze Wiesenschwingel) unterschieden. Je Schlag wurden zwei Kleinpärzellen mit Referenzpflanzen von je 15 m² angelegt. Zu den Schnittterminen der Futterleguminosen wurde aus diesen Kleinteilflächen das Schnittgut (zum Vegetationsende auch die Stoppelmasse) auf je 2 m² beerntet. Die Erntetermine waren an die ortstypische und witterungsabhängige Nutzung (2 bis 5 Schnitte) gebunden. Als Referenzpflanze auf den Standorten mit Körnerleguminosenanbau wurde Hafer ausgesät. Für eine Mitwirkung konnten Einrichtungen der Bundesländer gewonnen werden, die im ökologischen Landbau Sortenversuche mit Körnerleguminosen durchführen. Zum Nutzungszeitpunkt der entsprechenden Körnerleguminose wurden jeweils 1,5 bis 2 m² Hafersprossmasse von Hand aus zwei getrennten Kleinteilflächen geerntet und der N-Gehalt in der Biomasse mittels Dumas-Verfahren bestimmt. Nachfolgend werden Ergebnisse aus dem Jahr 2005 präsentiert.

Bei der Referenzfrucht Hafer war ebenfalls eine große Spannweite an bodenbürtigem N-Angebot zwischen den Standorten festzustellen (Tab. 2). So lagen z.B. zum Erntezeitpunkt der Körnererbse zwischen 51,0 und 105,7 kg N ha⁻¹ im Spross des Hafers vor. Auch an den Standorten mit Körnerleguminosen bestand zwischen Ackerzahl und bodenbürtigem N-Angebot kein Zusammenhang. Die Erhebungen zum bodenbürtigen N-Angebot im ökologischen Landbau zeigen, dass beim Anbau von Futter- und Körner

Tab. 1: Referenzflächen mit unterschiedlichen Ackerzahlen (AZ) zu Futterleguminosen - N-Erträge in Schnittgut und Stoppeln von I. Welschem Weidelgras (Referenz zu einjährigem Klee) und II. Wiesenschwingel (Referenz zu überjährigem Klee- bzw. Luzerne) im Jahr 2005

Standorte	AZ		Schnittgut [kg N ha ⁻¹]	Stoppeln [kg N ha ⁻¹]	Σ Spross [kg N ha ⁻¹]
Kiel	43	I	76,0	33,1	109,1
Jahnsfelde	46	I	50,7	11,0	61,7
Dürrröhrsdorf	58	I	75,6	7,9	83,5
Podemus	60	I	87,9	15,0	102,9
Reinshof ¹⁾	85	I	128,6	23,7	152,3
Adorf	22	II	54,7	12,7	67,4
Verl	27	II	105,9	31,6	137,5
Kiel	43	II	30,7	35,9	66,6
Jahnsfelde	46	II	101,6	20,2	121,8
Isernhagen	48	II	44,5	24,2	68,7
Heynitz	58	II	59,3	20,5	79,8
Rheinbach ²⁾	67	II	60,2	16,8	77,0
Kleve	70	II	98,3	17,9	116,2
Villmar	74	II	67,3	16,6	83,9
Reinshof ¹⁾	85	II	71,0	26,7	97,7

¹⁾ bei Göttingen, ²⁾ ohne den dritten Schnitt

Ergebnisse und Diskussion:

In der Vegetationsperiode 2005 akkumulierten die Referenzpflanzen zwischen 61,7 und 152,3 kg N ha⁻¹ (Welsches Weidelgras, Referenzpflanze zu einjährigem Klee) und 66,6 bis 137,5 kg N ha⁻¹ (Wiesenschwingel, Referenzpflanze zu überjährigem Klee) (Tab. 1). Da die Höhe des über die Referenzfrucht erfassten bodenbürtigen N-Angebotes nicht mit der Ackerzahl anstieg, dürfte das Angebot wesentlich durch die Unterschiede in der Bewirtschaftungsintensität und die Witterung bedingt sein.

Bei der Referenzfrucht Hafer war ebenfalls eine große Spannweite an bodenbürtigem N-Angebot zwischen den Standorten festzustellen (Tab. 2). So lagen z.B. zum Erntezeitpunkt der Körnererbse zwischen 51,0 und 105,7 kg N ha⁻¹ im Spross des Hafers vor. Auch an den Standorten mit Körnerleguminosen bestand zwischen Ackerzahl und bodenbürtigem N-Angebot kein Zusammenhang. Die Erhebungen zum bodenbürtigen N-Angebot im ökologischen Landbau zeigen, dass beim Anbau von Futter- und Körner

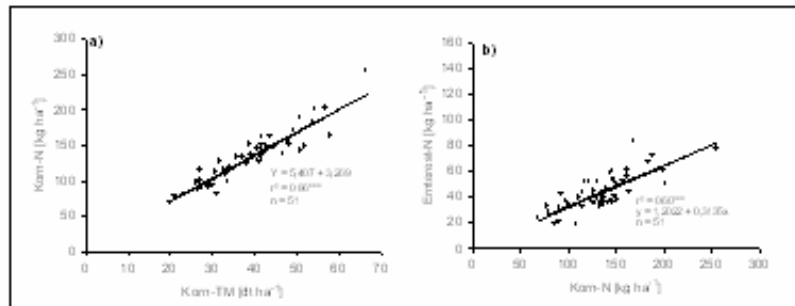


Abb. 2: Regression (a) der Korn-N-Menge auf den Korn-TM-Ertrag bei Körnererbse und (b) der Korn-N-Menge in den Ernterückständen; trocken-warme Bedingungen zwischen Blüte und Ende Kornfüllungsphase

Schlussfolgerungen:

Durch die Berücksichtigung der gesampflanzlichen N-Mengen (Spross, Wurzel, Rhizodeposition) und insbesondere das den Leguminosen verfügbare Boden-N-Angebot stehen Kalkulationsmodelle zur Verfügung, die eine deutlich bessere Ableitung der N_2 -Fixierleistung und der N-Flächenbilanz ermöglichen als dies bisher möglich war. Für eine Vielzahl unterschiedlicher Standorte konnten die den Leguminosen während der Vegetationsperioden 2005 und 2006 zur Verfügung stehenden Boden-N-Mengen ermittelt werden. Dabei konnte gezeigt werden, dass die Bewirtschaftung und die Witterung stark auf das Boden-N-Angebot Einfluss nehmen. Mit dem Verfahren soll im Internetportal ISIP ein Instrument zur Verfügung gestellt werden, mit dem die N-Flüsse anwenderfreundlich kalkuliert werden können.

Danksagung:

Wir bedanken uns bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Kooperationsstellen sowie bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück.

Literatur:

Jost, B., 2003: Untersuchungen und Kalkulationstabellen zur Schätzung der N_2 -Fixierleistung und der N-Flächenbilanz beim Anbau von *Lupinus albus* und *Lupinus luteus* in Reinsaat und von *Vicia faba* und *Pisum sativum* in Reinsaat und im Gemenge mit *Avena sativa*. Dissertation, Universität Göttingen.

Jung, R., 2003: Stickstoff-Fixierleistung von Luzerne (*Medicago sativa* L.), Rotklee (*Trifolium pratense* L.) und Persischem Klee (*Trifolium resupinatum* L.) in Reinsaat und Gemenge mit Poaceen - Experimentelle Grundlagen und Kalkulationsverfahren zur Ermittlung der Stickstoff-Flächenbilanz. Dissertation, Universität Göttingen.

SCHMIDTKE, K., 1997: Stickstoff-Fixierleistung und N-Flächenbilanz beim Anbau von Erbsen (*Pisum sativum* L.) unterschiedlichen Wuchstyps in Reinsaat und Gemenge-saat mit Hafer (*Avena sativa* L.). Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 10, 63-64.

SCHMIDTKE, K., 2001: Umweltgerechter Anbau von Leguminosen – Entwicklung und Anwendung eines Verfahrens zur Quantifizierung der N-Flächenbilanz (Az. 07312). Abschlußbericht des Forschungsvorhabens, gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück (Dezember 2001), 1-234.

WICHMANN, S., 2004: Ertragsleistung, Futterqualitätsentwicklung, N_2 -Fixierungsleistung und Vorfruchtwirkung von verschiedenen Körnerleguminosenarten in Reinsaat und im Gemenge mit Getreide. Dissertation, Universität Kiel.

Kalkulation der N₂-Fixierleistung und der N-Flächenbilanz beim Anbau von Leguminosen im ökologischen Landbau

Britta Jost*, Knut Schmidtke** & Rolf Rauber*

Einleitung

Bei der Bilanzierung der N-Flüsse können N-Überschüsse im Ackerbau erkannt und Maßnahmen zu deren Minderung und zur Vermeidung umweltbelastender N-Emissionen eingeleitet werden. Die Höhe der N₂-Fixierleistung und der N-Flächenbilanz beim Anbau einer Leguminose hängt stark vom Angebot an bodenbürtigem Stickstoff ab. Daher muss zur Erzielung genauer Schätzergebnisse das standort- und jahresspezifische Boden-N-Angebot Eingang finden. Hierzu wurde ein bundesweites Monitoringsystem zur Erfassung des bodenbürtigen N-Angebotes beim Anbau von Leguminosen im ökologischen Landbau aufgebaut. Diese Daten fließen in ein weiter entwickeltes Kalkulationsverfahren ein, das in den zurückliegenden Jahren erarbeitet wurde (Schmidtke 2001, Jost 2003, u. a.).

Material und Methoden

In den Jahren 2005 und 2006 wurden auf jeweils 22 über Deutschland verteilte ökologisch bewirtschaftete Körner- und Futterleguminosenschläge nichtlegume Referenzpflanzen parallel zu den Leguminosen etabliert. Dadurch sollte das standortspezifische Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Boden in der Vegetationsperiode erfasst werden. Die Referenzflächen sollten für unterschiedliche Standortbedingungen repräsentativ sein und in der Fruchtfolge praxisübliche Stellungen der Futter- und Körnerleguminosen abbilden (weitere Angaben s. Jost et al. 2007). Dargestellt werden hier nur die Ergebnisse des Projektteils Körnerleguminosen.

Ergebnisse und Diskussion

Anhand vorliegender Daten aus Feldversuchen (Jost 2003) kann gezeigt werden, dass sich der Einfluss des Boden-N-Angebotes auf die Boden-N-Aufnahme bei Ackerbohnen über die

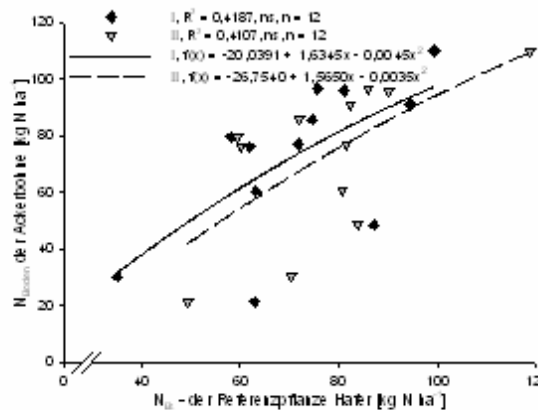


Abb. 1: Regression der mittels stabiler N-Isotope geschätzten gesamt-pflanzlichen N-Aufnahme der Ackerbohne aus dem Boden auf die gesamt-pflanzliche N-Menge (N_{Ak}) eines zeitgleich am Standort gewachsenen Hafers, geerntet zu BBCH 79 (I) und zu BBCH 89 (II) der Erbse (Daten aus Jost 2003)

zeitgleich am Standort gewachsene Referenzpflanze Hafer mit $R^2 = 0,41$ abbilden lässt (Abb. 1). Zum Erntetermin II akkumulierte der Hafer in der Vegetationsperiode

* Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Von-Siebold-Str. 8, 37075 Göttingen

**Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH), Pillnitzer Platz 2, 01326 Dresden

Tab 1: Spross-N-Erträge des Hafers auf 11 Standorten zum Erntezeitpunkt der Grünspeiseerbse (I), Körnererbse (II) und Ackerbohne (III); AZ: Ackerzahl

Standorte	AZ	Spross-N [kg ha ⁻¹]	
		2005	2006
Güterfelde	31	II	51
		III	58
			--
Buchholz	32	I	65
		II	63
		III	59
Bad Kreuznach	35	I	103
		II	88
		III	78
Osnabrück	36	I	--
		II	49
		III	66
Gülzow	38	I	89
		II	106
		III	73
Deppoldshausen ⁽¹⁾	46	I	75
		II	90
		III	79
Kiel	60	I	49
		II	54
		III	64
Alsfeld	61	I	--
		II	103
		III	126
Roda	66	I	89
		II	77
		III	85
Köln	68	I	104
		II	86
		III	85
Reinshof ⁽¹⁾	89	I	113
		II	84
		III	84
		I	--
		II	117
		III	108
		I	81
		II	129
		III	116
		I	93
		II	116
		III	101

⁽¹⁾ Standorte bei Göttingen

allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Kooperationsstellen sowie bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück.

Literatur

- Jost, B., 2003: Untersuchungen und Kalkulationstabellen zur Schätzung der N₂-Fixierleistung und der N-Flächenbilanz beim Anbau von *Lupinus albus* und *L. luteus* in Reinsaat und von *Vicia faba* und *Pisum sativum* in Reinsaat und im Gemenge mit *Avena sativa*. Dissertation, Universität Göttingen.
- Jost, B., Schmidtke, K. & Rauber, R., 2007: Kalkulation der N₂-Fixierleistung und der N-Flächenbilanz beim Anbau von Leguminosen im ökologischen Landbau. Beiträge zur 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Hohenheim, 13-16.
- Schmidtke, K., 2001: Umweltgerechter Anbau von Leguminosen – Entwicklung und Anwendung eines Verfahrens zur Quantifizierung der N-Flächenbilanz (Az. 07312). Abschlussbericht des Forschungsvorhabens, gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück (Dez. 2001), 1-234.

2005 auf den Standorten zwischen 51 und 106 kg N ha⁻¹ (BBCH 89 der Körnererbse) und im Versuchsjahr 2006 zwischen 26 und 130 kg N ha⁻¹ (Tab. 1). Die Abnahmen der festgestellten N-Mengen zum Erntezeitpunkt III werden als Verluste nach der Totreife interpretiert. Die Erhebungen zum bodenbürtigen N-Angebot im ökologischen Landbau zeigen, dass beim Anbau von Körnerleguminosen große, bewirtschaftungsbedingte Unterschiede vorlagen. Im Kalkulationsverfahren fließen daher Kenngrößen wie Vorfrucht und Düngung zur Vorfrucht ein. Über die Angabe des erzielten Körnertrages der Körnerleguminose kann auf die gesamt-pflanzliche N-Akkumulation der Leguminose geschlossen werden (Jost 2003, Jost et al. 2007). Hiervon wird im Kalkulationsverfahren die auf den einzelnen Ackerschlag bezogene, geschätzte bodenbürtige N-Aufnahme der Körnerleguminose abgezogen, um die symbiotisch fixierte N-Menge der Körnerleguminosen zu ermitteln. Das bodenbürtige N-Angebot, das den Ackerbohnen in den Jahren 2005 und 2006 standortbezogen zur Verfügung stand, wird im Rahmen des Kalkulationsverfahrens gestützt auf die in Tab. 1 ermittelten Daten, über die Abfrage der Ackerzahl des betreffenden Schlags, der Verunkrautung des Bestandes und der vorfrucht-/düngungsbedingten N-Nachlieferung des Bodens geschätzt. Hierbei fließt ein Jahresbasiswert ein, entsprechend der geringsten N-Aufnahme des Hafers, die an einem der untersuchten Standorte im betreffenden Jahr vorlag. Dieser Wert lag im Jahr 2005 bei 51 kg N ha⁻¹ (Güterfelde, Tab. 1). Bei guten Standortbedingungen (Ackerzahl 75 bis 100) und sehr hohem vorfrucht-/düngungsbedingten N-Angebot im Boden würde nach dem Kalkulationsverfahren der Ackerbohne eine bodenbürtige N-Menge in Höhe von max. 106 kg N ha⁻¹ zur Verfügung stehen (Gülzow, Tab. 1). Die Kalkulationsverfahren sind als Eingabemaske übersichtlich gestaltet und stehen unter www.isip.de zur Verfügung. Wir bedanken uns bei allen

Kalkulation der N₂-Fixierleistung und der N-Flächenbilanz beim Anbau von Leguminosen im ökologischen Landbau

B. Jost*, K. Schmidtke** & R. Rauber*

1 Einleitung

Um die umweltentlastenden Vorteile beim Anbau von Leguminosen richtig nutzen zu können, ist die N-Bilanzierung ein wichtiges Instrument. Bei der Bilanzierung der N-Flüsse können N-Uberschüsse im Ackerbau erkannt und Maßnahmen zu deren Minderung und zur Vermeidung umweltbelastender N-Emissionen eingeleitet werden. Bisherige Verfahren zur Kalkulation der N₂-Fixierleistung und der N-Flächenbilanz waren anhand der Ertragswerte leicht zu handhaben, führten aber häufig zu Fehlkalkulationen von z. T. über 100 kg N ha⁻¹ (Schmidtke 2001, Jost 2003 u. a.). So wurde z. B. nicht berücksichtigt, dass die Höhe der N₂-Fixierleistung stark vom Angebot an boderbürtigem Stickstoff abhängt. Daher muss zur Erzielung genauer Schätzergebnisse das standort- und jahresspezifische pflanzenverfügbare N-Angebot im Boden Eingang finden. Hierzu wurde im ökologischen Landbau ein bundesweites Monitoringsystem zur Erfassung des boderbürtigen N-Angebotes beim Anbau von Leguminosen aufgebaut. Diese Daten fließen in ein weiter entwickeltes Kalkulationsverfahren ein, das in den zurückliegenden Jahren erarbeitet (Schmidtke 2001, Jost 2003) und von ISIP e.V. (www.isip.de) als Kalkulationsinstrument im entsprechenden Internetportal zur Verfügung gestellt wird.

Tab. 1: Die Kalkulation der N₂-Fixierleistung und N-Flächenbilanz folgender Leguminosenarten und Anbausysteme im ökologischen Landbau ist im Leguminosenrechner *Le NiBa* (www.isip.de) möglich. R: Reinsaat, G: Gemenge mit Hafer (Körnerleguminosen) oder Gräsern (Futterleguminosen)

Körnerleguminosen	Futterleguminosen
Grünpiseseerbse (R)	Rotklee (R+G)
Körnererbse (R+G)	Luzerne (R+G)
Ackerbohne (R+G)	Perischer Klee (R+G)
Weißer Lupine (R)	
Gelber Lupine (R)	

* Heidesaat, einjährige Nutzung, † Sommerung

2 Material und Methoden

Um das standortspezifische Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Boden der Vegetationsperioden 2005 und 2006 zu erfassen, wurden nichtlegume Referenzpflanzen parallel zu den Futter- und Körnerleguminosen auf jeweils

22 über Deutschland verteilten ökologisch bewirtschafteten Standorten etabliert. Die Referenzflächen sollten für unterschiedliche Standortbedingungen repräsentativ sein und in der Fruchtfolge praxisübliche Stellungen der Futter- und Körnerleguminosen abbilden (weitere Angaben siehe Jost et al. 2007).

3 Ergebnisse und Diskussion

Unter www.isip.de kann mithilfe des Leguminosenrechners *Le NiBa* die N₂-Fixierleistung und die N-Flächenbilanz ökologisch angebaute

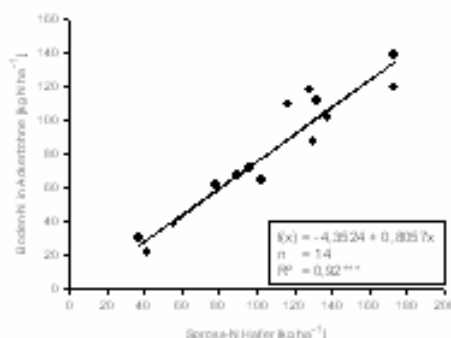


Abb. 1: Regression der mittels stabiler N-Isotope geschätzten gesamt-pflanzlichen N-Aufnahme der Ackerbohne aus dem Boden auf die Spross-N-Menge eines zeitgleich am Standort gewachsenen Hafers (Zusammenstellung der Daten aus Schmidtke 2001, Jost 2003, Anthes 2005)

Futter- und Körnerleguminosen verschiedener Anbausystemen kalkuliert werden (Tab. 1). Dazu werden nach der Eingabe der Ertragsgröße KOM-TM oder Schnittgut-FM (dt ha⁻¹) innerhalb des Systems verschiedene Kalkulationsgrößen (z.B. gesamt-pflanzliche N-Menge der Leguminose, Harvest-Index) berechnet. Die N-Bilanzierung kann erst nach der Aufteilung der gesamt-pflanzlichen N-Mengen in die Größen Boden-N-Aufnahme und N₂-Fixierleistung erfolgen. Anhand vorliegender Daten aus Feldversuchen (Abb. 1) konnte gezeigt werden, dass sich der Einfluss des Boden-N-Angebotes auf die Boden-N-Aufnahme bei Ackerbohnen über die zeitgleich am Standort gewachsene Referenzpflanze Hafer mit R² = 0,92 abbilden lässt (Abb. 1). Mit steigendem Boden-N-Angebot erhöht sich der Anteil an boderbürtigem Stickstoff bei einer gleichzeitigen Reduzierung der N₂-Fixierleistung. Im Kalkulationsverfahren wird diese Beziehung genutzt, um die Boden-N-Aufnahme und die N₂-Fixierleistung beim Anbau von Ackerbohnen abzuleiten. Bei den weiteren in *Le NiBa* kalkulierbaren Körnerleguminosen (Grünpiseseerbse, Körnererbse in

Reinnsaat und Gemenge mit Hafer, Weiße Lupine und Gelbe Lupine) und den Futterleguminosen (Rotklee, Luzerne, Persischer Klee jeweils in Reinnsaat und Gemenge mit Gräsern) wird ähnlich verfahren (Tab. 1). Die dazu benötigten Angaben zum jahres- und standortspezifischen Boden-N-Angebot werden anhand von Referenzflächen mit Nichtleguminosen jahresbezogen erfasst. Abb. 2 und Abb. 3 zeigen, dass es unter Berücksichtigung der Ackerzahl und des Vorfruchtwertes einer Fläche möglich ist, die Boden-N-Nachlieferung verschiedener Standorte

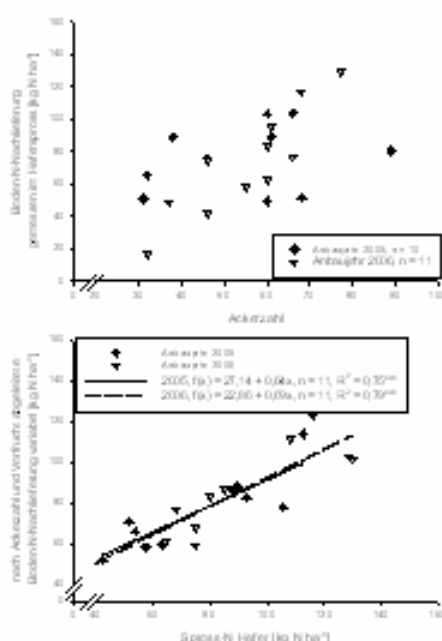


Abb. 2: Gefundene Spross-N-Mengen der Referenzflasse Hafer auf bundesweiten Standorten mit Ackerzahlen zwischen 30 und 89 (oben); anhand der Ackerzahl und der Vorfrucht abgeleitete Boden-N-Nachlieferung im Vergleich zu den gefundenen Spross-N-Mengen der Referenzflasse Hafer in den Untersuchungsjahren 2005 und 2006 (unten)

jahrespezifisch abzuleiten. Die überhöhten Boden-N-Nachlieferungen (Ausreißer, Abb. 3) wurden durch wiederholte Bodenbearbeitungen im Frühjahr induziert und werden in den Ableitungen nicht berücksichtigt.

Wir bedanken uns bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der beteiligten Kooperationsstellen und Praxisbetriebe, sowie bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Ostbrück für die finanzielle Unterstützung.

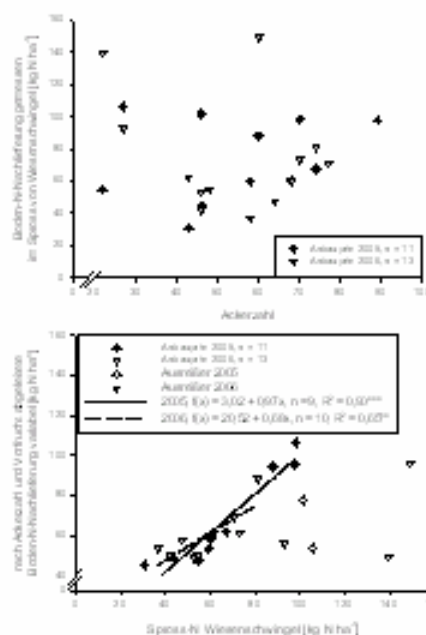


Abb. 3: Gefundene Spross-N-Mengen der Referenzflasse Wiesenschwengel auf bundesweiten Standorten mit Ackerzahlen zwischen 20 und 89 (oben); anhand der Ackerzahl und der Vorfrucht abgeleitete Boden-N-Nachlieferung im Vergleich zu den gefundenen Spross-N-Mengen der Referenzflasse Wiesenschwengel in den Untersuchungsjahren 2005 und 2006 (unten)

4 Literatur

- Anthes, J., 2005: Beitrag von Ackerbohne (*Vicia faba* L.), Luzerne (*Medicago sativa* L.) und Saatwicke (*Vicia sativa* L.) zur Selbstregulierung der N-Zufuhr in leguminosenbasierten Fruchtfolgen. Dissertation, Universität Göttingen.
- Jost, B., 2003: Untersuchungen und Kalkulationstabellen zur Schätzung der N-Fruchtleistung und der N-Flächenbilanz beim Anbau von *Lupinus albus* und *L. luteus* in Reinnsaat und von *Vicia faba* und *Pisum sativum* in Reinnsaat und im Gemenge mit *Avena sativa*. Dissertation, Universität Göttingen.
- Jost, B., Schmidke, K. & Rauber, R., 2007: Kalkulation der N-Fruchtleistung und der N-Flächenbilanz beim Anbau von Leguminosen im ökologischen Landbau. Beiträge zur 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Hohenheim, 13-16.
- Schmidke, K., 2001: Umweltgerechter Anbau von Leguminosen – Entwicklung und Anwendung eines Verfahrens zur Quantifizierung der N-Flächenbilanz (Az. 07312). Abschlussbericht des Forschungsvorhabens, gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Ostbrück (Dez. 2001), 1-234.

*Georg-August-Universität Göttingen, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Vorkamp-Str. 3, 37075 Göttingen
 **Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (HTW), Fachgebiet Ökologischer Landbau, Pillnitzer Platz 2, 01324 Dresden

Leguminosenstickstoff besser kalkulieren

Mit „LeNiBa Eco“ steht ab Juni 2007 ein internetbasiertes Kalkulationsverfahren für Leguminosenstickstoff zur Verfügung. Es hilft, die Stickstoffversorgung im Betrieb möglichst genau und schlagspezifisch zu ermitteln. Die Resultate können für die weitere individuelle Fruchtfolgeplanung genutzt werden.



Leguminosen (links Erbse, oben Rotklee) fixieren Stickstoff in unterschiedlicher Menge durch symbiotisch lebende Knöllchenbakterien. Wird das bodenbürtige N-Angebot einberechnet, sind genauere N-Bilanzergebnisse möglich.

Der Stickstoffbedarf in ökologisch wirtschaftenden Betrieben wird wesentlich über die symbiotische N_2 -Fixierung der angebauten Körner- und Futterleguminosen gedeckt. Um die N-Versorgung in der Fruchtfolge sicherzustellen, sollte jeder Pflanzenbauer die tatsächlichen Zuflüsse über die symbiotische N_2 -Fixierung sowie die Stickstoffabfuhr mit dem Erntegut der Leguminosen möglichst treffgenau kalkulieren können. Bisher standen für eine Kalkulation der N-Flächenbilanzsalden beim Anbau von Leguminosen nur vergleichsweise grobe Schätzverfahren zur Verfügung. Das neue, speziell für den ökologischen Landbau entwickelte Kalkulationsverfahren LeNiBa Eco bietet erweiterte Möglichkeiten für die Dokumentation und Planung der Stickstoffversorgung im Betrieb.

Anwendung über Internet

In das Modell LeNiBa Eco fließen Daten aus unterschiedlichen, mehr als zehnjährigen Feldversuchen an verschiedenen

Standorten ein. Auch die Daten anderer Arbeitsgruppen wurden in das Modell integriert. LeNiBa Eco steht ab Juni 2007 im Internet als Bestandteil des Informationssystems Integrierte Pflanzenproduktion (ISIP, www.isip.de) zur Verfügung. ISIP ist das Online-Beratungsinstrument der Landwirtschaftskammern und Bundesländer. Mit Hilfe von LeNiBa Eco kann jeder Landwirt jahres- und standortbezogen sowohl die Gewinne aus der symbiotischen Stickstoff-Fixierung als auch die Stickstoffbilanzsalden beim Anbau von Futter- oder Körnerleguminosen im Internet berechnen. Dazu bilanziert und speichert das Programm die ermittelten Daten online und ohne zusätzliche Rechenverfahren auf dem Papier. LeNiBa Eco kalkuliert die Stickstofffixierleistung und die N-Flächenbilanzsalden einer ganzen Reihe im ökologischen Landbau üblichen Leguminosen und Nutzungsformen, so zum Beispiel für Erbse und Ackerbohne zur Körnernutzung und Rotklee und Luzerne zur Futtermutzung.

Für die Entwicklung des Kalkulationsverfahrens wurden Ergebnisse aus Feldversuchen zur N-Akkumulation von Leguminosen in Spross und Wurzel sowie Daten aus Gefäßversuchen zur N-Abgabe über die Wurzel (N-Rhizodeposition) genutzt. Die Höhe der N_2 -Fixierleistung und der N-Flächenbilanz hängt beim Anbau einer Leguminose stark vom Angebot bodenbürtigen Stickstoffs ab. Daher muss das standort- und jahresspezifische N-Angebot im Boden berücksichtigt werden, um ein genaues Schätzergebnis zu erzielen. Um das bodenbürtige N-Angebot beim Anbau von Leguminosen im ökologischen Landbau zu erfassen, wurde in den Jahren 2005 und 2006 ein bundesweites Monitoringsystem auf Praxisflächen eingerichtet. Daten aus diesen Praxisflächen sind in LeNiBa Eco einbezogen. Zugleich berücksichtigt das Verfahren die in der landwirtschaftlichen Praxis zu beobachtenden Ernteverluste sowie den Verunkrautungsgrad der Bestände.

Erfasste Kulturen

Bisher in LeNiBa Eco implementierte Kulturen und Nutzungsformen zur Online-Kalkulation der N_2 -Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldes

	Körnerleguminosen	Futterleguminosen
Reinsaat	Körnererbse Ackerbohne Gelbe Lupine Grünpfeifeerbse Weiße Lupine	Luzerne Persischer Klee Rotklee
Gemenge	Ackerbohne-Hafer (GPS ¹⁾) Ackerbohne-Hafer (KN ²⁾) Körnererbse-Hafer (GPS ¹⁾) Körnererbse-Hafer (KN ²⁾)	Luzerne-Gras Persischer Klee-Gras Rotklee-Gras

¹⁾ GPS: Nutzung als Ganzpflanzensilage
²⁾ KN: Körnernutzung

LeNiBa Eco

Der Name LeNiBa Eco steht für Legumes' Nitrogen Balances in Ecological Agriculture – Stickstoff-Bilanz von Leguminosen im ökologischen Landbau. Das System wurde in einem Kooperationsprojekt der Universität Göttingen, Abteilung Pflanzenbau, mit der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Fachgebiet Ökologischer Landbau sowie dem Informationssystem Integrierte Pflanzenproduktion (ISIP, Bad Kreuznach) entwickelt. Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Osnabrück, hat das Projekt finanziert.

Betriebsleiter oder Berater müssen nur wenige in der Praxis verfügbare Angaben in ein Bildschirmformular eingeben, um die symbiotische N₂-Fixierleistung und den N-Flächenbilanzsaldo zu kalkulieren. Für die Kalkulation der N-Flüsse beim Anbau der Körnererbse werden beispielsweise neun Kriterien erfragt. Die Angabe der Ackerzahl, der vorfrucht- und düngedingten N-Nachlieferung im Boden sowie der Verunkrautung der Bestände dient zur schlagspezifischen Ermittlung des Boden-N-Angebots. In einer Ausgabedatei erhält der Nutzer die Eingabegrößen zur Kontrolle; außerdem weist sie die kalkulierte symbiotisch fixierte N-Menge und den N-Flächenbilanzsaldo in kg pro Hektar aus.

Eingabeparameter

Erforderliche Eingabegrößen zur Ermittlung der N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Erbse zur Körnernutzung

Eingabeparameter	Klassen/Varianten
Schlagname	
Anbaujahr	2005 // 2006
Ackerzahl	7-25 // 26-50 // 51-75 // 76-100
vorfrucht-/düngedingte N-Nachlieferung des Bodens	sehr gering bis gering // mittel // hoch bis sehr hoch
Kultur und Nutzungsform	Erbse zur Körnernutzung
Witterungsbedingung zwischen Blüte und Kornreife	kühl-feucht // trocken-warm
Verunkrautung zur Ernte	sehr gering // gering // mittel // stark bis sehr stark
Kornertrag	Angabe in dt/ha
Restfeuchte im Korn	Angabe in %
Ernteverluste	gering // mittel // hoch // sehr hoch
Rohproteingehalt d. Erntegutes (sofern eigene Analyseergebnisse vorliegen)	Angabe in %

In Kürze online

Unter www.isip.de wird in Kürze die N-Bilanzierung für die Vegetationsperioden 2005 und 2006 möglich sein. Zur Nutzung von ISIP und des neuen Moduls LeNiBa Eco ist eine Registrierung notwendig, für die eine Nutzungsgebühr von rund 70 Euro pro Jahr anfällt. Auf die Gebühr gewähren die teilnehmenden Kammern und Bundesländer häufig noch zusätzliche Rabatte (siehe www.isip.de, Service). LeNiBa Eco soll noch weiter ausgebaut werden. So sollen weitere Leguminosenarten und Nutzungsformen für eine Kalkulation der Stickstoffflüsse in LeNiBa Eco integriert

werden. Um eine ausreichend sichere Grundlage für die Ableitung weiterer Kalkulationsverfahren zu gewährleisten, müssen allerdings zusätzliche Daten in Feldversuchen erhoben werden.

Dr. Britta Jost¹, Prof. Dr. Knut Schmidtke², Prof. Dr. Rolf Rauber³

¹Universität Göttingen, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Abteilung Pflanzenbau, Tel: 05 51/3943 59

²Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH), Fachbereich Landbau/Landespflege, Sektionsprofessur Ökologischer Landbau,

Tel. 03 51/4 62-30 17,

E-Mail: schmidtke@pfl.linz.thtw-dresden.de

Ausgabblatt mit der schlagspezifischen Kalkulation der N₂-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau verschiedener Körnerleguminosen in LeNiBa Eco

Berechnung von N₂-Fixierleistung und N-Flächenbilanz

Schlagname	Boden-N-Angebot	Nutzung	Individuelle Einstellungen							
			Kultur (Witterung)	Ertrag	Proteingehalt	Restfeuchte	Ernteverluste	N ₂ -Fixierleistung	N-Flächenbilanz	
Hinter den Linden	70	Körner	Körnererbse	38,8	22,4	13,2	2	194,5	72,4	
			Hafer	10,3	--	14,5	4			
Vor den Eichen	55	Körner	Körnererbse (warm)	45,5	17,8	12,1	8	146,2	14,9	
Bei den Buchen	85	GPS	Ackerbohne	37,2	29,7	40,3	2	103,2	21,6	
			Hafer	16,4	--		4			
Über den Eschen	60	Körner	Grünpiseseerbse	15,0	25,3	--	1	56,1	0,3	