

## Planungswerkzeuge zur Optimierung der Stickstoffversorgung in Anbausystemen des Ökologischen Landbaus - Standort- und vorfruchtabhängige Kalkulation der N-Salden von Anbauverfahren -

JOHANN BACHINGER UND PETER ZANDER \*

### Kurzfassung

Die in den vergangenen Jahren deutliche Ausweitung der Anbaufläche des Ökologischen Landbaus führte in der Praxis zu Wissenslücken bzgl. der Besonderheiten des Ökologischen Anbaus. Vor allem ein adäquates Fruchtfolge-Management hat sich als schwierig erwiesen. Optimale Fruchtfolgen sollten eine ausreichende Stickstoffversorgung aller Fruchtfolgeglieder sichern und gleichzeitig phytosanitäre Restriktionen, eine ausreichende Unterdrückung von Unkräutern und gesamtbetriebliche Anforderungen wie die Bereitstellung von Futter und die Verwertung von Wirtschaftsdünger berücksichtigen. Hier wird ein Schätzverfahren vorgestellt, dass die Ermittlung des N-Saldos von Anbauverfahren relevanter Fruchtarten für unterschiedliche Standorte und Positionen in einer Fruchtfolge erlaubt. Damit wird eine wichtige Voraussetzung für die Entwicklung von Modellen zur Optimierung und Bewertung einzelner Fruchtfolgen bis hin zu gesamten Produktionssystemen des Ökologischen Landbaus auf betrieblicher und regionaler Ebene geschaffen.

*Schlüsselworte: ökologischer Landbau, Stickstoffversorgung, Stickstoff-Saldo, Anbauverfahren*

### Abstract

#### **A Planning Tool for Optimal Nitrogen Supply in Organic Crop Production - Calculation of site- and preceding crop-specific nitrogen balances of cropping systems -**

Recent years have seen a significant increasing area under organic farming, a development which, at the same time, revealed certain gaps in the practical farmers' knowledge of the peculiarities of organic crop production. Appropriate management of crop rotations appears to be particularly difficult. Optimal rotations should provide for sufficient nitrogen supply for all rotational elements and allow for phytosanitary restrictions and adequate weed suppression to satisfy requirements at farm level, such as fodder production and the efficient use of organic manures. A calculation procedure is introduced for assessment of a nitrogen balance for cropping practices with all

relevant crops and for different soil qualities and different crop positions in a rotation. The procedure is a major prerequisite for the development of optimisation and evaluation models for individual crop rotations and entire production systems of organic farming at both farm and regional level.

*Key words: organic farming, nitrogen management, nitrogen balance, cropping practice*

### Einleitung und Problemstellung

Die in den letzten Jahren deutlich gestiegene agrarpolitische und gesellschaftliche Bedeutung des Ökologischen Landbaus (ÖL) (Bundesamt für Naturschutz 2003) wirkt sich auch auf die Themenschwerpunkte der Forschung aus. Zum einen wird für die finanzielle Förderung des Ökologischen Landbaus auch der wissenschaftliche Nachweis seiner ökologischen Vorzüglichkeit gefordert. Hierzu werden regional anwendbare Modellansätze benötigt. Zum anderen führte die deutliche Zunahme der Anbaufläche zu einer hohen Anzahl im ÖL bzw. dessen Produktionsverfahren relativ unerfahrener Anwender. Daher benötigt die Praxis vor allem im Pflanzenbau mehr anwendungsorientiertes Wissen in Form von Entscheidungsunterstützungssystemen, um optimale Produktions- und Umweltleistungen erzielen zu können. Beide Bereiche: die Umweltwirkungsanalyse und die Entscheidungsunterstützung zur Optimierung des Anbausystems benötigen eine modellhafte Abbildung der Produktionsverfahren, um mit Hilfe ökologischer wie auch ökonomischer Partialanalysen die Auswirkungen einzelner Produktionsverfahren abschätzen und die betriebliche Organisation betriebs- und standortspezifisch optimieren zu können.

Eines der wesentlichen Charakteristika des Ökologischen Landbaus ist der Verzicht auf betriebsexterne Steuermechanismen wie der Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln und mineralischen N-Düngemitteln. Dies hat zur Folge, dass Erträge im Ökologischen Landbau oft durch die N-Versorgung beschränkt und durch Verluste reduziert werden, letztere sind durch Unkräuter, Insekten und Krankheiten bedingt. Im Ökologischen Landbau ist eine standort- und betriebsspezifische Fruchtfolgeplanung das wichtigste Werkzeug zur Ertragssicherung. Die Fruchtfolgeplanung muss dabei den Futterbedarf und den Wirt-

\* Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF), 15374 Müncheberg

schaftsdüngeranfall im Betrieb sowie schlagspezifisch eine ausreichende N-Versorgung durch den betriebs-eigenen Wirtschaftsdünger sowie den Anbau von Leguminosen, eine Minimierung der N-Verluste und phytopathologische und herbalogische Anforderungen simultan berücksichtigen. Daher stellt die Optimierung von Fruchtfolgen im Hinblick auf die N-Versorgung einen wichtigen Beitrag zur Modellierung und Optimierung von Produktionssystemen des Ökologischen Landbaus dar.

Die Optimierung der Stickstoffversorgung basiert auf den beiden Säulen Zufuhroptimierung und Minimierung der Stickstoffverluste. Die Stickstoffzufuhr in das Gesamtsystem erfolgt in erster Linie aus der  $N_2$ -Fixierung der Leguminosen. Die Optimierung des Stickstoff-Inputs erfolgt durch einen den Standortverhältnissen, dem Futterbedarf und den übrigen Kulturen einer Fruchtfolge angepassten Leguminosenanteil. Strategien der Verlustminderung haben das Ziel, die Stickstoff-Mineralisierung im Boden und die Stickstoff-Aufnahme durch Haupt- bzw. Zwischenfrüchte zeitlich zu synchronisieren. Als effektive Maßnahmen hierfür haben sich auf den leichten Standorten Nordostdeutschlands z. B. die Frühsaat von Winterroggen bzw. die Grasuntersaat bei Körnerleguminosen gezeigt (Bachinger und Stein-Bachinger 2000).

Die Analyse des Anbausystems im Hinblick auf seine Rentabilität und vor allem auf seine ökologischen Wirkungen benötigt eine detaillierte Betrachtung der einzelnen Aktivitäten innerhalb der Anbauverfahren. Das am ZALF entwickelte gesamtbetriebliche Mehrzieloptimierungsmodell (MODAM) (Zander und Kächele 1999; Zander 2003), erfüllt diese Erfordernisse durch eine sehr detaillierte Darstellung der Anbauverfahren des Ökologischen Landbaus und durch die enge Integration der ökonomischen und ökologischen Bewertungsansätze. Der Modellansatz beinhaltet eine Palette von detailliert beschriebenen Anbauverfahren der relevanten Fruchtarten. Die standort-, verfahrens- und vorfruchtspezifischen N-Salden dieser Anbauverfahren werden auf der Basis von N-Entzug bzw.  $N_2$ -Fixierungsleistung der Leguminosen sowie N-Verlusten durch  $NO_3$ -Ausstrag und  $NH_3$ -Volatilisation berechnet. Die N-Salden der einzelnen Anbauverfahren bilden die Basis für die Bewertung der Nachhaltigkeit von Fruchtfolgen im Hinblick auf die Stickstoffversorgung.

### Methodik

Die Optimierung der Stickstoffversorgung in Anbauverfahren des Ökologischen Landbaus erfordert eine wie im Folgenden dargestellten systematischen Beschreibung der Anbauverfahren. Die Algorithmen werden zur Berechnung eines mittleren jährlichen N-Saldos verwendet. Da die strategische Entscheidungsfindung im Betrieb unterstützt werden soll, basieren

die Abschätzungs-Algorithmen auf langfristig mittleren Zustandsgrößen.

### Generierung und Klassifikation von Standardanbauverfahren

Ein Anbauverfahren wird als die Summe aller Einzelmaßnahmen zwischen der Ernte der Vorfrucht und dem Abschluss der Ernte der Hauptfrucht, nach Art, Zeitraum und Ausprägung verstanden, die der Erreichung eines frucht- und nutzungsartenspezifischen Produktionszieles dienen. Für jede Kultur kann eine Anzahl von verschiedenen Anbauverfahren beschrieben werden, die sich nach dem Umfang der eingesetzten Betriebsmittel, der Technologie und der Position innerhalb einer Fruchtfolge unterscheiden. Die wichtigsten Faktoren, welche die Spezifität eines Anbauverfahrens beschreiben, sind (i) die Berücksichtigung vorfruchtabhängiger Ertrageffekte, (ii) der Einsatz sowie die Art und Höhe einer organischen Düngung und (iii) die Etablierung von Zwischenfrüchten und Untersaaten und (iv) die Ernte des Nebenproduktes (z.B. Stroh, Klee-graszwischenfrucht).

Die entsprechenden Anbauverfahren werden in drei Schritten mit Hilfe eines Datenbankmodells zusammengestellt. Dabei werden die technischen und ökonomischen Koeffizienten für die festen und variablen Kosten sowie die Arbeitszeiten nach KTBL (KTBL 2002) zugrunde gelegt. Die Kostenkalkulation sämtlicher Arbeitsgänge basiert auf der Feld-Hofentfernung und den Aufwandsmengen. Im ersten Schritt werden alle möglichen Aktivitäten im Rahmen des Anbaus einer Kultur zusammengestellt. Im zweiten Schritt wird für konkrete Anbauverfahren aus diesen möglichen Aktivitäten expertengestützt eine Auswahl getroffen und mit einer Häufigkeit oder Wahrscheinlichkeit belegt. Im dritten Schritt erfolgt die Berechnung der Aufwandsmengen und der Erträge in Abhängigkeit von Standortparametern, der Spezifität sowie der Position innerhalb der Fruchtfolge des Anbauverfahrens. Für jede Kultur werden bis zu drei Ertragsniveaus unterschieden, je nach Niveau der N-Lieferung durch die Vorfrucht sowie dem applizierten Wirtschaftsdünger (Zander 2003). Die Vorfruchteffekte (N-Nachlieferung, Lieferung bzw. Übernahme von Untersaaten) werden durch die Bildung von Vorfrucht-/Nachfruchtgruppen zusammengefasst und kodiert. Basierend auf der Zuordnung von Vor- und Nachfruchtgruppen zu einem Verfahren, können die Anbauverfahren in Planungsmodellen (Zander 2003; Bachinger und Zander 2001) zu gesamten Fruchtfolgen gekoppelt werden (siehe Tab. 1 und 2).

**Bewertung von Standardanbauverfahren durch Kalkulation relevanter Teilgrößen der Stickstoffflächbilanz**

Die Stickstoffversorgung stellt den wichtigsten ertragslimitierenden Faktor von Anbausystemen des Ökologischen Landbaus dar. Wesentliches Planungsziel ist somit die Sicherstellung bzw. Erhöhung des N-Inputs und die Erhöhung der N-Effizienz. Die Bewertung der N-Versorgung basiert auf einer detaillierten standort- und vorfruchtspezifischen Stickstoffbilanz von Anbauverfahren und daraus aufgebauten

Fruchtfolgen. Der Ansatz basiert auf leicht zu modifizierende Algorithmen, um einerseits zukünftige Forschungsergebnisse einfließen lassen zu können und andererseits die Algorithmen auch in Gesamtbetriebsoptimierungsmodellen (Lineare Optimierung) zur Kalkulation von Leistungen und Restriktionen einsetzen zu können. Als Standortdaten werden flächendeckend auf Schlagebene regional verfügbare Daten wie Ackerzahl [AZ], mittlere Jahresniederschläge bzw. Niederschläge während des Winterhalbjahres verwendet (siehe auch Roth 1995).

Tabelle 1

Vorfrucht-/Nachfruchtkodierung zur Kombination der Anbauverfahren zu Fruchtfolgen unter Berücksichtigung der ertragswirksamen Vorfruchtwirkungen und der Übernahme von Untersaaten

a) Vorfruchtkategorien zur Ableitung der vorfruchtabhängigen Ertragseffekte bei der Hauptfrucht bzw. deren Nachfruchtwirkung:

ertragswirksame N-Nachlieferung:

11 / 12	=	Getreide mit niedriger / hoher N-Nachlieferung	=	niedrig / mittel
21 / 22	=	Blattfrucht mit niedriger / hoher N-Nachlieferung	=	mittel / hoch
31 / 32	=	Körnerleguminose mit niedriger / hoher N-Nachlieferung	=	mittel / hoch
41 / 42	=	Futterleguminosen mit niedriger / hoher N-Nachlieferung	=	mittel / hoch

b) Ergänzende Kategorien zur Integration von Untersaaten bei verschiedenen Deckfrüchten

a	=	Grundvariante, d.h. kein besonderer Anspruch
g	=	Grasuntersaat in Körnerleguminosen als Zwischenfrucht
l	=	Futterleguminosen-Grasuntersaat in Getreide als Zwischenfrucht
f	=	Etablierung von Futterleguminosen-Gras-Gemenge als Unter- oder Blanksaat

Tabelle 2

Fruchtartengruppierung der Anbauverfahren einer Hauptfrucht nach Vorfruchtgruppe und ihrer ertragswirksamen Stickstoff-Nachlieferung

Fruchtartgruppen des Anbauverfahrens der Hauptfrucht	Vorfruchtgruppe	Anbauweise der Vorfrucht	Stickstoff-Nachlieferung
keine Leguminosen	Futterleguminosen	alle übrigen	hoch
keine Hack- u. Blattfrüchte keine Leguminosen	Hack- und Blattfrüchte	mit organischer Düngung	hoch bzw. mittel
keine Hack- u. Blattfrüchte keine Leguminosen	Hack- und Blattfrüchte	alle übrigen	mittel bzw. niedrig
für Winterungen	Körnerleguminosen	alle übrigen	hoch
für Sommerungen, keine Leguminosen.	Körnerleguminosen	alle übrigen	mittel
für Sommerungen, keine Leguminosen	Körnerleguminosen	mit Gras-Untersaat oder Zwischenfrucht	hoch
alle	Getreide	mit organischer Düngung, oder nach Futterleguminosen	mittel
für Sommerungen	Getreide	mit Klee gras-Untersaat als Zwischenfrucht	mittel
alle	Getreide	alle übrigen	niedrig

Der Geltungsbereich der im Folgenden darstellten Algorithmen beschränkt sich bisher auf die niederschlagsarmen diluvialen Standorte Nordostdeutsch-

lands (NOD). Die Übertragung der Algorithmen auf Gesamtdeutschland wird z. Z. bearbeitet.

Dem regelbasierten Schätzverfahren der N-Salden liegt die folgende Funktion (Fkt. 1) zugrunde, deren

einzelne Größen mit ihren Algorithmen in den folgenden Abschnitten erläutert werden:

$$N\text{-Saldo} = (N_m + N_{\text{fix-KL}} + N_{\text{fix-LG}} + N_{\text{mn}} + N_{\text{im}}) - (N_{\text{removal}} + N_{\text{lea}} + N_{\text{em}}) \quad (1)$$

[kg N \* ha<sup>-1</sup> \* a<sup>-1</sup>]

mit:

- $N_m$  - N-Gesamt in organischer Düngung
- $N_{\text{fix-KL}}$  - N aus N<sub>2</sub>-Fixierung der Körnerleguminosen
- $N_{\text{fix-LG}}$  - N aus N<sub>2</sub>-Fixierung von Futterleguminosen-Gras-Gemengen
- $N_{\text{mn}}$  - N-Mineralisation
- $N_{\text{im}}$  - N-Immissionen
- $N_{\text{removal}}$  - N-Entzug durch Ernteprodukte
- $N_{\text{lea}}$  - N-Auswaschung
- $N_{\text{em}}$  - N-Emissionen

### N<sub>2</sub>-Fixierung

Eine zentrale Größe der Stickstoffflüsse im Ökologischen Landbau stellt die Stickstoff-Fixierung durch Körnerleguminosen (KL) und insbesondere durch Futterleguminosen-Gras-Gemenge (LG) (Futternutzung bzw. Mulchnutzung als Stilllegung) dar. Bei letzteren bestimmen in erster Linie die Größen Gesamtjahresertrag und Leguminosenanteil im Aufwuchs und erst in zweiter Linie die Variation des Anteil des aus der symbiotischen N<sub>2</sub>-Fixierung (R<sub>Nfix</sub>) stammenden Stickstoffs im Aufwuchs die Fixierungsleistung von Futterleguminosen-Gras-Beständen.

Das Modul zur Abschätzung der N<sub>2</sub>-Fixierung bei Körnerleguminosen basiert auf dem von Hülsbergen und Biermann 1997 erarbeiteten Ansatz. Dabei werden der Anteil des fixierten Stickstoffs im Ernteprodukt und in den Ernte- und Wurzelrückständen fruchtarten- und vorfruchtspezifisch (wie von Schmidtke 1997 vorgeschlagen), geschätzt und die Gesamtmenge in Abhängigkeit des Kornertrages kalkuliert:

$$N_{\text{fix-KL}} = R_{\text{Nfix}} * E * (NC_{\text{HP}} + R_{\text{HPR}} * NC_{\text{Nres}}) * R_{\text{Nfix-red}} \quad (2)$$

[kg N \* ha<sup>-1</sup> \* a<sup>-1</sup>]

mit:

- $R_{\text{Nfix}}$  - N-Anteil aus de N<sub>2</sub>-Fixierung
- $E$  - Ertrag (Trockenmasse) [dt\*ha<sup>-1</sup>]
- $NC_{\text{HP}}$  - N-Gehalt im Ernteprodukt [%]
- $R_{\text{HPR}}$  - Verhältnis Ernteprodukt zu Ernte- und Wurzelrückständen
- $NC_{\text{Nres}}$  - N-Gehalt der Ernte- und Wurzelrückstände [%]

- $R_{\text{Nfix-red}}$  - Faktor zur Reduktion des N-Anteils aus N<sub>2</sub>-Fixierung bei vorfruchtabhängiger N-Nachlieferung (mittel) (s. Tab 3)

Bei Gemengen aus Futterleguminosen und Gras wird der aus der Atmosphäre fixierte Stickstoff (R<sub>Nfix</sub>) im Aufwuchs und im Wurzelsystem der Futterleguminosen bzw. der nicht legumen Gemengepartner (Gras) in Abhängigkeit vom Leguminosenanteil an der Trockenmasse des Aufwuchses geschätzt (Reining et al. 1999; Schmidt 1997; Schmitt und Dewes 1997). Dies erfolgt in Abhängigkeit des Leguminosenanteils in der Trockenmasse des Aufwuchses durch Anpassung des Anteils aus der N<sub>2</sub>-Fixierung der Leguminosen am N-Gehalt sowohl der Leguminosen als auch der Gemengepartner.

Tabelle 3  
Parameterwerte verschiedener Fruchtarten zur Kalkulation der N<sub>2</sub>-Fixierung

Fruchtart	R <sub>Nfix</sub>	NC <sub>HP</sub>	R <sub>HPR</sub>	NC <sub>Nres</sub>	R <sub>Nfix-red</sub>
Ackerbohne	0,7	4,5	2,5	1,6	0,85
Futtererbse	0,7	4,2	2	1,2	0,85
Lupine	0,7	5	2,5	1,6	0,85

Quelle: modif. nach Hülsbergen und Biermann (1997) und Schmidtke (1997)

Die N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung wird damit sowohl für Untersaaten als Zwischenfruchtanbau als auch für die Etablierung als Blank- bzw. Untersaat und für Hauptnutzungsjahre mit dreischnittiger Hauptnutzung bzw. Mulchung als Stilllegung geschätzt (s. Tab. 4). Um die Rezyklierung von fixierten N aus dem Mulchmaterial im zweiten und dritten Aufwuchs und die damit verbundenen Reduzierung der Fixierungsleistung zu berücksichtigen, werden Verfahren der Futternutzung bzw. Stilllegung mit unterschiedlichen Parametersätzen kalkuliert:

$$N_{\text{fix-LG}} = R_{\text{LN}} * Y_{\text{LG}} * (NC_{\text{L}} + R_{\text{HPR}} * NC_{\text{Nres}}) * (R_{\text{LN}} + N_{\text{Nfix}} * Y_{\text{LG}} * (NC_{\text{NL}} + R_{\text{HPR}} * NC_{\text{Nres}}) * (1 - R_{\text{LN}})) \quad (3)$$

[kg N \* ha<sup>-1</sup> \* a<sup>-1</sup>]

mit:

- $Y_{\text{LG}}$  - Bruttoertrag ohne nutzungsabhängige Ernteverluste
- $R_{\text{LN}}$  - N-Anteil aus N<sub>2</sub>-Fixierung in Leguminosen
- $R_{\text{LNfix}} = a * R_{\text{LN}} + b \quad (4)$
- $NC_{\text{L}}$  - N-Gehalt im Leguminosenaufwuchs
- $NC_{\text{Lres}}$  - N-Gehalt in Stoppel u. -wurzel
- $R_{\text{HPR}}$  - Verhältnis Aufwuchs zu Ernte- und Wurzelrückständen

- $R_{LN}$  - Verhältnis Leguminosen zu Nicht-Leguminosen in der Trockenmasse des Aufwuchses
- $NC_{NL}$  - N-Gehalt im Nicht-Leguminosenaufwuchs
- $RN_{Nfix}$  - N-Anteil aus  $N_2$ -Fixierung in Nicht-Legumin.
- $$RN_{Nfix} = a * R_{LN}^2 + b * R_{LN} + c \quad (5)$$

Fixierungsleistung für die legumen Hauptnutzungen bzw. Untersaaten. Dabei wird bei Stilllegungsverfahren ein Teil der  $N_2$ -Fixierungsleistung aus dem Ansaatjahr (10 % von Gesamt) rechnerisch in das Folgejahr übernommen und zu der  $N_2$ -Fixierungsleistung im Hauptnutzungsjahr hinzugerechnet, da das Modell die Nutzung von Untersaaten im Herbst generell dem folgenden Anbauverfahren zuordnet. Dies ist notwendig, da modellseitig jedes Anbauverfahren prinzipiell mit der Ernte der Hauptkultur endet. Diese Auftrennung ermöglicht die  $N_2$ -Fixierungsleistung im Etablierungsjahr korrekt abzuschätzen. Notwendig ist dies bei der Kopplung eines Hauptnutzungsjahres des Leguminosen-Gras-Gemenges an verschiedene Anbauverfahren zur Etablierung von Leguminosen-Gras-Gemenge (wie Frühjahrblanksaat als auch Untersaat in Sommer- bzw. Wintergetreide) zu Fruchtfolgen in entsprechenden Planungsmodellen (Zander 2003; Bachinger und Zander 2001).

Ein reduzierender Einfluss von höheren Nitratkonzentrationen aus vorfruchtbedingten N-Residuen auf das Verhältnis von atmosphärisch fixiertem und aus dem Boden aufgenommenem Stickstoff ( $R_{Nfix}$ ) wurde bei Futterleguminosen-Gras-Gemengen nicht berücksichtigt, da entspr. Standardanbauverfahren nur mit dem Vorfruchtanspruch „geringe N-Nachlieferung“ definiert wurden, um deren abtragende Fruchtfolgestellung zu gewährleisten. Tabelle 5 zeigt die prozentuale Abschätzung und Verteilung der  $N_2$ -

Tabelle 4  
Parameterwerte verschiedener Nutzungsarten von Leguminosen-Gras-Gemengen zur Kalkulation der  $N_2$ -Fixierung

Nutzungsart	$NC_{HP}$	$NC_{NL}$	$NRL_{Nfix}$ (Fkt. 4)		$NRN_{Nfix}$ (Fkt. 5)			$R_{HPR}$	$NC_{Nres}$
			a	b	a	b	c		
Leguminosen-Gras-Gemenge (Futter); Weißklee-Gras-Untersaat (Zwischenfrucht); Stilllegung als Frühjahrblanksaat	3,5	2	-0,19	0,99	-0,72	1,3	-0,22	0,75	2,2
Stilllegung im Hauptnutzungsjahr	3,5	2	-0,38	0,99	-0,72	1,3	-0,22	0,75	2,2

Quelle: Reining et al. 1999, eigene Abschätzungen basierend auf unveröffentlichten Ergebnissen aus Feldversuchen und Praxiserhebungen und Expertenbefragungen

Tabelle 5  
Anbauverfahren von Leguminosen-Gras-Gemenge mit einer  $N_2$ -Fixierungsleistung als Hauptfrucht bzw. als Untersaat und deren anteilige  $N_2$ -Fixierungsleistung

Anbauverfahren	N-Fixierung in % der Hauptfrucht	N-Fixierung der Untersaat in %
Stilllegung im Ansaatjahr als Untersaat	10 % *	
Stilllegung im Ansaatjahr als Frühjahrblanksaat	30 %	
Stilllegung im Hauptnutzungsjahr	100 %	10 % *
Stilllegung im Hauptnutzungsjahr mit frühem Umbruch	80 %	10 % *
Leguminosen-Gras-Gemenge im 1. Hauptnutzungsjahr	100 %	10 % *
Leguminosen-Gras-Gemenge im 2. Hauptnutzungsjahr	100 %	

\*  $N_2$ -Fixierungsleistung des Ansaatjahres wird auf 20 % eines Hauptnutzungsjahres geschätzt und rechnerisch auf das Ansaatjahr (10 %) und das folgende Hauptnutzungsjahr (10 %) verteilt. Quelle: eigene Abschätzungen basierend auf unveröffentlichten Ergebnissen aus Feldversuchen und Praxiserhebungen und Expertenbefragungen

### Ertrag und N-Abfuhr

Die Abschätzung der N-Entzüge im Erntegut (Haupt- und Nebenprodukt) erfolgt auf Grundlage der geschätzten Erträge und fruchtartenspezifischer, mitt-

lerer Nährstoffgehalte (Stein-Bachinger und Bachinger 1997). Die vorfruchtabhängige Ertragsdifferenzierung wurde mit bis zu drei unterschiedlichen Ertragsfunktionen pro Fruchtart abgebildet und mit den in Tabelle 1 und 2 dargestellten Regeln den vor-

fruchtabhängigen Ertragsniveaus zugeordnet. Die Kalibrierung der Ertragsfunktionen aller relevanten Fruchtarten liegt z.Z. nur für NOD bei einer mittleren jährl. Niederschlagsmenge von 550 mm vor.

$$\text{Ertrag} = f(\text{CR}, \text{AZ}, \text{YL}, \text{MA}, \text{AP}) \quad (6)$$

[dt \* ha<sup>-1</sup>]

wobei:

- CR - Fruchtart
- YL - vorfruchtabhäng. Ertragsniveau (1-3)
- MA - Ertragseffekt der organ. Düngung
- AP - mittlere Jahresniederschläge

Der Ertrageinfluss der Standortgüte (AZ) wird fruchtarten- und vorfruchtspezifisch wie folgt kalkuliert:

$$\text{Ertrag}_{\text{YL}} = a_{\text{YL}} * \text{AZ}^2 + b_{\text{YL}} * \text{AZ} + c_{\text{YL}} + \text{MA} \quad (7)$$

[dt \* ha<sup>-1</sup>]

Tabelle 6

Parameter der fruchtarten- und vorfruchtspezifischen Ertragsfunktionen (Fkt. 7) ausgewählter Fruchtarten (jährl. Niederschläge 550 mm; inkl. Ertragseffekt der organischen Düngung)

Fruchtart	YL	a <sub>YL</sub>	b <sub>YL</sub>	c <sub>YL</sub>	MA
Winterroggen	3	-0,0066	1,45	-6,1	5
Winterroggen	2	-0,0059	1,30	-8,7	5
Winterroggen	1	-0,0051	1,12	-10,6	5
Kartoffel	3	-0,018	9,24	-100	30
blaue Lupine	1; 2	-0,0027	0,493	+3,3	-

Quelle: Trendfunktionen basieren auf Ertragsdaten und Expertenabschätzungen für fünf Ackerzahlbereiche

$$\text{Ertrag}_{\text{LG}} = \text{Ertrag}_{\text{YL}} * (0,005 * R_{\text{LN}} + 0,5) * R_{\text{HL}} \quad (8)$$

[dt \* ha<sup>-1</sup>]

wobei:

- R<sub>LN</sub> - Leguminosenanteil in der Trockenmasse des Aufwuchses
- R<sub>HL</sub> - Ernteverluste in Abhängigkeit vom Futterwerbungsverfahren

Quelle: unveröffentlichte Ergebnisse aus Feldversuchen und Praxiserhebungen und Expertenabschätzungen

Dabei wird ein konstantes Verhältnis von Erntezu Nebenprodukt angesetzt. Bei Futterleguminosen-

Gras-Gemengen (LG) wird der Ertrag in Abhängigkeit von dem Leguminosenanteil (R<sub>LN</sub>) und der Nutzungsart (Standardwerte der Abzüge für mittlere Ernteverluste Grünfütter ~ 5% / Anwelksilage ~ 15% / Bodenheu ~30%) ermittelt. Der N-Entzug wird wie folgt fruchtartenspezifisch und in Abhängigkeit einer Ernte des Nebenproduktes berechnet:

$$N_{\text{removal}} = \text{Ertrag} * (\text{NC}_{\text{HP}} + R_{\text{HPN}} * \text{NC}_{\text{NP}}) \quad (9)$$

[kg N \* ha<sup>-1</sup> \* a<sup>-1</sup>]

wobei:

- Ertrag - Ertrag des Hauptprodukts
- NC<sub>HP</sub> - N-Gehalt im Hauptprodukt
- R<sub>HPN</sub> - Verhältnis Haupt- und Nebenprodukt
- NC<sub>NP</sub> - N-Gehalt im Nebenprodukt

### N-Mineralisation

Die Abschätzung der jährlichen mittleren Mineralisationsrate der organischen Bodensubstanz und des organisch gebundenen Stickstoffs erfolgt auf der Basis der mittleren, standortspezifischen Gehalte an organisch gebundenem Kohlenstoff (C<sub>org</sub>) in Abhängigkeit des Feinerdeanteils (FA) (Körshens 1980a; Körshens 1980b). Die Humusgehalte stellen sich bei pflanzenbaulich stabilen und in ihrer N-Bilanz ausgeglichenen Fruchtfolgen auf den nach Körshens für diluviale Standorte Nordostdeutschlands anzustrebenden, mittleren Gehaltswerten ein. Die jährliche mittlere Umsatzrate 1,5 - 2 % (Scheffer und Schachtschabel 1998) der organischen Substanz wurde mit zunehmender AZ von 2 % auf 1,5 % linear reduziert. Unter Verwendung eines mittleren C:N-Verhältnisses von 12:1, einer Trockenrohddichte von 1,55 g/cm<sup>3</sup> und einer linearen Zunahme der Mächtigkeit des Pflughorizontes (A<sub>p</sub>) in Abhängigkeit der AZ wurde auf die Menge an jährlich mineralisierbarem N aus der organischen Substanz des Bodens geschlossen. Eine Differenzierung der jährlichen Mineralisierung erfolgt in Funktion (10) unter Verwendung eines vorfruchtclassen- (YL) und fruchtartenabhängigen Mineralisierungsfaktors.

$$N_{\text{mn}} = \text{NT}_{\text{org}} * R_{\text{mna}} * R_{\text{mny}} * R_{\text{mnc}} \quad (10)$$

[kg N \* ha<sup>-1</sup> \* a<sup>-1</sup>]

mit

$$\text{NT}_{\text{org}} = \text{C}_{\text{org}} * R_{\text{CN}} * D * \text{Ap} \quad (11)$$

[kg N \* ha<sup>-1</sup>]

$$\text{C}_{\text{org}} = \text{FE} * 0.04 + 0.3 \quad (12)$$

$$\text{FE} = 0.0077 * \text{SQI}^2 + 0.055 * \text{SQI} \quad (13)$$

$$\text{Ap} = -0.0003 * \text{SQI}^2 + 0.188 * \text{SQI} + 21.8 \quad (14)$$

- $C_{org}$  - Gehalt an organ. Kohlenstoff in der Ackerkrume
- $R_{CN}$  - C/N Verhältnis im  $A_p$
- FE - Feinerdeanteil im  $A_p$  (Korngröße < 6,3  $\mu m$ )
- D - Trockenrohddichte im  $A_p$
- $A_p$  - Mächtigkeit des Ackerkrume
- $R_{mna} = -0.000125 * AZ + 0.0225$  (15)
- $R_{mna}$  - mittlere jährl. Mineralisationsrate von  $NT_{org}$  in Abhängigkeit von der Ackerzahl
- $R_{mny}\{YL\} = \begin{cases} 1 & ; YL=1 \\ 1 + (3.7835 * AZ^{-0.6593}) & ; YL=2 \\ 1 + (8.9174 * AZ^{-0.7139}) & ; YL=3 \end{cases}$  (16)
- $R_{mny}$  - Koeffizient zur Modifizierung der jährl. N-Mineralisierung in Abhängigkeit des vorfruchtspezif. Ertragsniveaus und der AZ
- $R_{mnc}$  - fruchtartenspezifischer Mineralisierungsfaktor (z.B.: Getreide: 1; Körnerleguminosen: 1,1; Silomais: 1,4; Kartoffel: 1,6...)

### Gasförmige N-Immissionen und Emissionen

Die jährlichen, atmosphärischen Stickstoffeinträge und -austräge werden mit folgenden einfachen Ansatz berücksichtigt. Der Stickstoffeintrag wird für Brandenburg mit 15 kg/ha \* a angenommen (Fischer 1998). Bei dem hier verwendeten vereinfachten Ansatz wird davon ausgegangen, dass bilanzmäßig der Input durch die asymbiotische  $N_2$ -Fixierung und der Output durch die jährliche Denitrifikation sich gegenseitig aufheben. Darüber hinaus werden nur die nutzungsabhängigen  $NH_3$ -Verluste der gemulchten Rotationsbracheflächen in Abhängigkeit des geschätzten Aufwuchses - nach Schmidt und Weber (Schmidt 1997; Weber et al. 2000) mit 10 % des Gesamtstickstoffs in der Mulchmasse geschätzt.

### N-Austrag

Der Austrag von Nitrat in das Grundwasser wird in Abhängigkeit der Ackerzahl, dem Stickstoffüberhang und der Durchwaschungshäufigkeit während des Winterhalbjahres abgeschätzt (Fkt. 17). Der Stickstoffüberhang errechnet sich aus der jährlichen N-Mineralisation abzüglich Stickstoffentzug durch die Hauptfrucht und durch etwaige Zwischenfrüchte und Untersaaten (Fkt. 19). Da die Aufwuchsmenge von Zwischenfrüchten und Untersaaten (außer Klee grasuntersaat als Zwischenfrucht) nicht direkt kalkuliert werden, muss die N-Aufnahme aus dem Boden durch diese Kulturen in Abhängigkeit von dem im Boden verfügbaren Stickstoff, der Etablierungswahrscheinlichkeit sowie einem Faktor für die N-Aufnahmefähigkeit einzelner Zwischenfruchtarten

spezifisch kalkuliert werden. Dies erfolgt differenziert zum einen nach Art der Zwischenfrucht und der folgenden Hauptfrucht und zum anderen nach für Untersaaten für den Zeitraum bis zur Ernte der Deckfrucht (Fkt. 21; Tab. 7).

Über den Erfolg von Zwischenfrüchten zur N-Verlustminimierung entscheidet wesentlich zum einen die Etablierungswahrscheinlichkeit (vor allem feinkörniger Zwischenfrüchte) und deren Frosthärte (bes. kruzifere Stoppelsaaten). Gerade unter den klimatischen Bedingungen in NOD kann ein frühzeitiges Abfrieren nach Ende der Vegetationsperiode und eine anschließende schnelle Mineralisierung der Residuen nur einen ungenügenden Schutz des aufgenommenen Stickstoff vor Auswaschung bedeuten (Berger et al. 1994). Darüber hinaus ist die Etablierungswahrscheinlichkeit vor allem von feinkörnigen Zwischenfrüchten auf schwereren Böden bedingt durch die Niederschlagsverteilung in NOD deutlich reduziert. Deshalb war es notwendig, zur Kalkulation des N-Austrages beide Größen standortspezifisch in Fkt. 19, 20 und 21 zu berücksichtigen (Tab. 8).

Der verfügbare Stickstoff für Untersaaten und Zwischenfrüchte wird berechnet aus dem jährlich mineralisierenden Stickstoff, abzüglich des durch die Hauptfrucht aufgenommenen Stickstoffs. Der N-Austrag ergibt sich aus dem N-Überhang (potenziell aus dem Wurzelraum verlagerbarem Stickstoff), multipliziert mit der Durchwaschungshäufigkeit, die sich aus standörtlicher Feldkapazität (FKWe) und der Niederschlagssumme während des Winterhalbjahres (Sickerungsperiode) (WinNSum) ergibt (modifiz, nach DBG 1992). Dabei wird angenommen, dass es bei Durchwaschungshäufigkeiten > 1 zu einem vollständigen Verlust des N-Überhangs kommt.

$$N\text{-Austrag} = N\text{-Überhang} * DWH + N_{mn-CC} * DWH * RDWH_{CC} \quad [kg \text{ N} * ha^{-1} * a^{-1}] \quad (15)$$

wobei:

$$N\text{-Überhang} = N_{mn} - N_{upt} - N_{upt-CC} \quad (16)$$

$$DWH = WinNSum / FKWe \quad (17)$$

$$DWH - \text{Durchwaschungshäufigkeit (max. } \leq 1)$$

$$WinNSum - \text{mittlere Winterniederschläge}$$

$$FKWe = 0,202 * AZ^{1,875} \quad (18)$$

$$FKWe - \text{Feldkapazität im effektiven Wurzelraum}$$

$$RDWH_{CC} - \text{Faktor zur Reduktion der Durchwaschungshäufigkeit bei Zwischenfrucht}$$

$$N_{upt-CC} - \text{N-Aufnahme durch Zwischenfrüchte (Stoppelfrüchte oder Untersaaten)}$$

$$N_{upt-CC} = (N_{mn} - N_{removal}) * (RN_{upt-CC-FMC} * REP_{CC}(\text{Hauptfrucht, folgend}) + RN_{upt-CC-NC} * REP_{CC}(\text{Deckfrucht})) \quad (19)$$

- RN<sub>upt-CC-FMC</sub> - Parameter der N Aufnahmefähigkeit unterschiedlicher Zwischenfrüchte, in Abhängigkeit von der nachfolgenden Hauptfrucht
- RN<sub>upt-CC-NC</sub> - Parameter der N Aufnahmefähigkeit unterschiedlicher Untersaaten, in Abhängigkeit von der Deckfrucht
- N<sub>mn-CC</sub> - Menge des remineralisierten N aus abgefrorener Zwischenfruchtbiomasse
- REP<sub>CC</sub> - Etablierungswahrscheinlichkeit von Zwischenfrüchten
- REP<sub>CC</sub> = f(AZ, CC) (20)
- CC - Art der Zwischenfrucht (bei Untersaaten in Abhängigkeit von der Deckfrucht; Tab 8)
- N<sub>mn-CC</sub> = N<sub>upt-CC</sub> \* R<sub>remin</sub> (21)
- R<sub>remin</sub> - zwischenfruchtspezifischer auswaschunggefährdeter Remineralisierungsanteil von N<sub>upt-CC</sub>

Tabelle 7  
Parameterwerte zur Kalkulation der Stickstoffaufnahmefähigkeit von Zwischenfrüchten, differenziert nach der folgenden Hauptfrucht und bei Untersaaten für den Zeitraum bis Ernte Deckfrucht nach Art der Deckfrucht (Fkt. 19) (NOD; 550 mm mittl. jährliche NS)

nachfolgende Hauptfrucht/ Deckfrucht	RN <sub>upt-CC-FMC</sub>		RN <sub>upt-CC-NC</sub>
	Stoppelfrucht ( <i>sin. alba</i> )	Untersaat vor Hauptfrucht	Untersaat unter Deckfrucht
	vor Hauptfrucht	Hauptfrucht	Deckfrucht
Erbse / Lupine	0,3	0,3	0,3
Hafer	0,6	0,6	0,2
Sommergerste	0,5	0,6	0,2
Sommerweizen	0,5	0,6	0,1
Winterroggen	-	-	0,2
Kartoffel	0,3	0,4	-
Silomais	0,3	0,4	-

Quelle: Eigene Abschätzungen auf Basis von eigenen Untersuchungen und Expertenbefragungen

Tabelle 8  
Parameterwerte verschiedener Zwischenfrüchte (Stoppel- und Untersaaten) zur Kalkulation der Reduktion des N-Austrages (bei 550 mm mittl. jährl. NS)

AZ:	REP <sub>CC</sub>			R <sub>remin</sub>	RDWH <sub>CC</sub> &UC
	25	38	50		
Ackersenf	0,4	0,3	0,3	0,75	0,5
Kleegrasuntersaat in Wintergetreide	0,7	0,65	0,65	0	-
Kleegrasuntersaat in Sommergetreide	0,8	0,75	0,7	0	-
Grasuntersaat in Körnerleguminosen	0,8	0,7	0,65	0	-

Quelle: Eigene Abschätzungen auf Basis von eigenen Untersuchungen und Expertenbefragungen

## Ergebnisse und Diskussion

Exemplarisch für Winterroggen sind in Abb. 1 die Kalkulationsergebnisse der Ertragsfunktion (7) in Abhängigkeit von dem vorfruchtabhängigen Ertragsniveau (YL 1-3; s. Tab. 1 u. 2) und der Standortgüte (AZ) dargestellt. Mit zunehmender Standortgüte (AZ) nimmt dabei der relative Einfluss der vorfruchtabhängigen N-Nachlieferung auf das Ertragsniveau ab (s. Kurvenverlauf von (YL3 - YL1) \* YL3<sup>-1</sup>). Dadurch wird die höhere Stickstoff-Speicherkapazität guter Standorte und der daraus folgende prozentual geringere vorfruchtabhängige Ertrageffekt berücksichtigt.

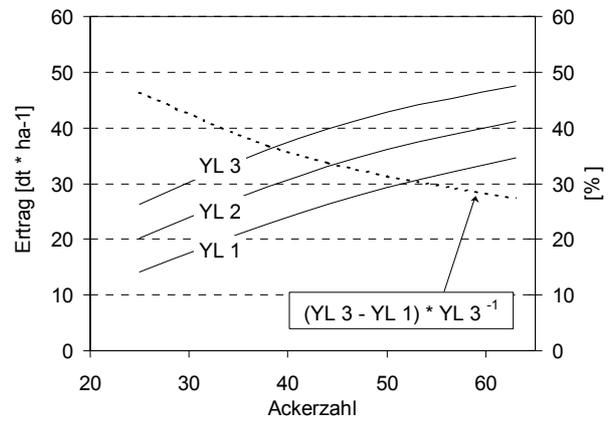


Abbildung 1  
Kalkulierter Ertrag (Fkt. 6) (14 % KF) von Winterroggen für drei vorfruchtabhängige Ertragsniveaus (YL1 - YL3) und Ackerzahlen zwischen 25 und 65 bei einem mittleren Jahresniederschlag von 550 mm. Die gepunktete Linie zeigt die Differenz von YL1 zu YL3 (in % von YL3).

In Abb. 2 sind neben der kalkulierten N-Abfuhr (Fkt. 9) ohne Strohernte der NO<sub>3</sub>-Austrag (Fkt. 15) für die drei vorfruchtabhängigen Ertragsniveaus (YL1 - YL3) von Winterroggen in Abhängigkeit von der AZ zwischen 25 und 65 bei einer mittleren jährlichen Niederschlagssumme von 550 mm dargestellt. Aus der Summe beider Größen ergibt sich das N-Saldo (Fkt. 1). Das Verhältnis der in Abbildung 2 dargestellten N-Entzüge und N-Austräge liegt bei AZ 25 im Mittel der Ertragsniveaus bei 2,1 und bei AZ 60 bei 2,8. Dies macht deutlich, dass Maßnahmen zur Erhöhung der N-Effizienz mit abnehmender Standortgüte an Relevanz gewinnen. Dies gilt vor allem bei Vorfrüchten mit hoher N-Nachlieferung bzw. hohen Residual-N-Mengen nach denen mit geeignetem Zwischenfruchtanbau bzw. früher Aussaat von Wintergetreide die N-Auswaschungsverluste deutlich reduziert werden können (Bachinger et al. 1999).

Der gewählte modulare Aufbau zur Kalkulation der verschiedenen Teilgrößen der N-Bilanz ermöglicht zum einen leicht die Überprüfung des Einflusses verschiedener Parameter bzw. Teilgrößen und dessen Streubreiten bzw. Fehlerspannen durch Sensitivitäts-

analysen. Dies kann auf der Ebene einzelner Anbauverfahren wie auch ganzer Fruchtfolgen erfolgen. Zum anderen können leicht neue Erkenntnisse durch verbesserte bzw. neue Algorithmen modellseitig implementiert werden.

Als Beispiel einer Sensitivitätsanalyse ist in Abbildung 3 der in Funktion 3 und 8 berücksichtigte Einfluss unterschiedlicher Leguminosenanteile im Aufwuchs von Leguminosen-Gras-Gemenge (als Flächenstilllegung in Marktfruchtbetrieben) auf Aufwuchs-,  $N_2$ -Fixierungsleistung und N-Saldo dargestellt. Der Unterschied zwischen  $N_2$ -Fixierungsleistung und N-Saldo ist durch die modellseitig kalkulierten gasförmigen Verluste durch  $NH_3$ -Volatilisation von 10 % des im gemulchten Aufwuchs enthaltenen Stickstoffs berücksichtigt.

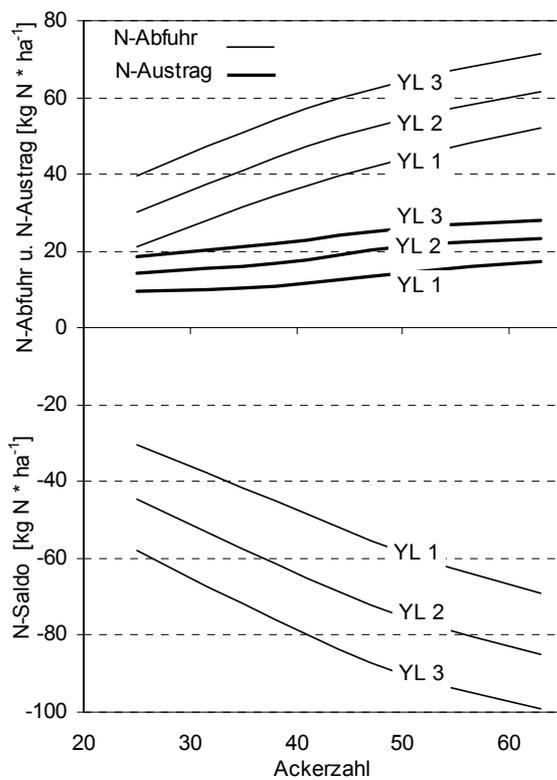


Abbildung 2  
Kalkuliertes N-Saldo (N-Abfuhr (Korn) + N-Austrag) von Winterroggen in Abhängigkeit des vorfruchtabhängigen Ertragsniveaus (YL1 - YL3) und der Ackerzahl bei mittl. Jahresniederschlägen von 550 mm

Die hier vorgestellten Algorithmen und Modellbausteile finden neben dem bereits erwähnten Mehrzieloptimierungsprogramm MODAM auch in einem daraus ausgekoppelten Modellprototypen eines Fruchtfolgeplaners für Praxis und Beratung des ÖL Verwendung. Darüber hinaus können die Algorithmen zur Kalkulation von N-Feldbilanzen als Planungsgrundlage von Beratern und Praktikern in Datenbank- bzw. Tabellenkalkulationsprogrammen verwendet

werden. Deshalb ermöglicht das Modell unterschiedliche Anbauverfahren relevanter Fruchtarten gemäß ihres wahrscheinlichen N-Entzuges und N-Austrages zu bewerten.

Die beschriebenen Algorithmen, die auf Grundlage einschlägiger Literatur, eigener Untersuchungen und Expertenbefragungen zur Verwendung in strategischen Planungswerkzeugen entwickelt wurden, beziehen sich auf mittlere Jahreswitterungsverläufe und Wachstumsbedingungen. Deren Validierung an Daten aus Feldversuchen oder Praxiserhebungen ist wegen der auf diesen Daten implizierten teils starken Jahreseinflüsse und der daraus resultierenden großen Streuung nur eingeschränkt möglich. Daten aus Praxiserhebungen spiegeln darüber hinaus oft nur suboptimale pflanzenbauliche Verhältnisse wider und sind darüber hinaus oft fehlerhaft (Ackerzahl, Ertrag, Leguminosenanteil im Aufwuchs von Leguminosen-Gras-Gemengen).

Als eine indirekte Validierungsstrategie bietet sich der Vergleich mit Ergebnissen aus Simulationsläufen entsprechender Prozessmodelle (z.B. HERMES: Kressebaum und Wenkel 1998) mit Witterungsdaten mehrerer Jahre an.

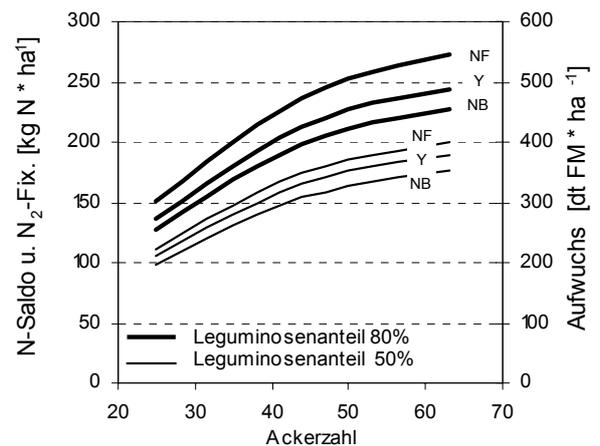


Abbildung 3  
Frischmasseaufwuchs (Y),  $N_2$ -Fixierungsleistung (NF) und Stickstoffsaldo (NB) von Stilllegung (Klee gras) in Abhängigkeit des Leguminosenanteils (50%, 80%) und der Ackerzahl (AZ) (bei mittleren jährlichen Niederschlägen von 550mm)

### Ausblick

Die im vorliegenden Text dargestellten Algorithmen und Module werden bereits im Mehrziel-Entscheidungsunterstützungssystem MODAM angewendet. Daneben bilden der Katalog von Anbauverfahren und die unterschiedlichen Algorithmen zur Fruchtfolgegenerierung die Grundlage im Modellprototypen eines Fruchtfolgeplaners auf einzelbetrieblicher Ebene (Bachinger und Zander 2001). Dieses Werkzeug soll nach seiner Praxisreife gemacht zu

Beratungs- und Schulungszwecken einsetzbar sein. Dazu wird u.a. an der Ausweitung des Anwendungsbereiches der Algorithmen auf relevante Ackerstandorte ganz Deutschlands z.Z. gearbeitet.

## Literatur

- Bachinger J., Frielinghaus M., Pauly J. und Wirth S. (1999): Entscheidungshilfen zur Planung der Wintergetreideaussaat unter Berücksichtigung von Bodenschutz- und Produktionszielen in ökologisch wirtschaftenden Großbetrieben Nordostdeutschlands. In: Hoffmann H. und Müller S. (eds) Beiträge zur 5. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau "Vom Rand zur Mitte", 23.-25. Februar 1999 in Berlin. Berlin : Köster, pp 126-129
- Bachinger J, Stein-Bachinger K (2000): Organic farming on large farms with special reference to eastern Germany - Management strategies, environmental effects and economic aspects. In: Wilson M J, Maliszewka-Kordybach B (eds) Proceeding of the NATO-Advanced Research Workshop on Soil Quality in Relation to Sustainable Development of Agriculture and Environmental Security in Central and Eastern Europe. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, pp 125-138
- Bachinger J, Zander P (2001): Crop rotation planning tool for organic farms. In: Steffe J (ed) Third European Conference of the European Federation for Information Technology in Agriculture, Food and the Environment. Montpellier, France, June 18-20 2001; Vol 1. Montpellier : Agro Montpellier, pp 89-94
- Berger G, Richter K, Schmalzer K, Wurbs A (1994): The influence of frost hardness and nitrogen fertilisation of catch crops on N-conservation and nitrate leaching on sandy soils. In: Soil tillage for crop production and protection of the environment ; proceedings of the 13th ISTRO Conference, Aalborg, Denmark, July 24 - 29 1994; Vol 1. Copenhagen : The Royal Veterinary and Agricultural University, The Danish Institute of Plant and Soil Science, pp 317-322
- Bundesamt für Naturschutz (2003): Denkschrift für eine naturgerechte Landwirtschaft Deutschland, zu finden in [www.bfn.de/10/index.htm](http://www.bfn.de/10/index.htm) [zitiert am 28.05.2003]
- DBG (1992): Strategien zur Reduzierung standort- und nutzungsbedingter Belastungen des Grundwassers mit Nitrat. Oldenburg : Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft, 42 p
- Fischer U (1998): Ökologische Dauerbeobachtung: Deposition. Gutachten im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin - Jahresbericht 1997.
- Hülsbergen K-J, Biermann S (1997): Seehausener Dauerversuche als Grundlage für Modelle zur Humus- und Nährstoffbilanzierung - ein Übersichtsbeitrag. In: Diepenbrock W (ed) Feldexperimentelle Arbeit als Basis pflanzenbaulicher Forschung: 40 Jahre Lehr- und Versuchsstation Seehausen und 50 Jahre Landwirtschaftliche Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Aachen : Shaker Verlag, pp 26-46
- Kersebaum K-C, Wenkel K-O (1998): Modelling water and nitrogen dynamics at three different spatial scales influence of different data aggregation levels on simulation results. Nutrient Cycling in Agroecosystems 50: 313-319
- Körshens M (1980a): Beziehungen zwischen Feinanteil, Ct- und Nt-Gehalt des Bodens. Archiv Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde 24: 585-592
- Körshens, M (1980b): Die Abhängigkeit der organischen Bodensubstanz von Standortfaktoren und acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen, ihre Beziehung zu Bodeneigenschaften und Ertrag sowie die Ableitung von ersten Bodenfruchtbarkeitskennziffern für den Gehalt des Bodens an organischer Substanz. Berlin : Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR, Bereich Pflanzenproduktionsforschung, 115 p, Diss. B
- KTBL (2002): Ökologischer Landbau. Kalkulationsdaten zu Ackerfrüchten, Feldgemüse, Rindern, Schafen und Geflügel mit CD-ROM zu Produktionsverfahren der Außenwirtschaft. Darmstadt : Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, 360 p
- Reining E, Bachinger J, Stein-Bachinger K (1999): Verfahren zur Abschätzung der symbiontisch fixierten N-Menge von Futter- und Körnerleguminosen als Grundlage von Planungswerkzeugen zur schlag- und fruchtfolgebezogenen N-Bilanzierung. In: Hoffmann H, Müller S (eds) Beiträge zur 5. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau "Vom Rand zur Mitte", 23.-25. Februar 1999 in Berlin. Berlin : Köster, pp 230-233
- Roth R (1995): Ertragsabschätzung für wichtige landwirtschaftliche Kulturpflanzen. In: Bork H-R, Dalchow C, Kächele H, Piorr H-P, Wenkel K-O (eds) Agrarlandschaftswandel in Nordost-Deutschland unter veränderten Rahmenbedingungen: ökologische und ökonomische Konsequenzen. Berlin : Ernst u. Sohn, pp 59-61
- Scheffer F, Schachtschabel P (1998): Lehrbuch der Bodenkunde. Stuttgart : Ferdinand Enke, 494 p
- Schmidt, H (1997): Viehlose Fruchtfolge im Ökologischen Landbau. Auswirkungen systemeigener und systemfremder Stickstoffquellen auf Prozesse im Boden und die Entwicklung der Feldfrüchte. Universität Gesamthochschule Kassel, Fachbereich Landwirtschaft, internationale Agrarentwicklung und ökologische Umweltsicherung, 171 p, Diss.
- Schmidtko K (1997): Schätzverfahren zur Ermittlung der N-Flächenbilanz bei Leguminosen. In: Stoff- und Energiebilanzen in der Landwirtschaft : Vorträge zum Generalthema des 109. VDLUFA-Kongresses vom 15.-19.9.1997 in Leipzig und weitere Beiträge aus den öffentlichen Sitzungen. Vol 46. Darmstadt : VDLUFA-Verlag, pp 659-662
- Schmitt L, Dewes T (1997) N<sub>2</sub>-Fixierung und N-Flüsse in und unter Klee grasbeständen bei viehloser und viehhaltender Bewirtschaftung. In: Köpke U, Eisele J-A (eds) Beiträge zur 4. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, 3.-4. März 1997 an der Rheinischen Friedrich-Wilhelm-Universität Bonn. Berlin : Köster, pp 258-264
- Stein-Bachinger K, Bachinger J (1997) Analyse und Bewertung gesamtbetrieblicher Nährstoffflüsse in ökologisch wirtschaftenden Großbetrieben Nordost-Deutschlands. In: Stoff- und Energiebilanzen in der Landwirtschaft : Vorträge zum Generalthema des 109. VDLUFA-Kongresses vom 15.-19.9.1997 in Leipzig und weitere Beiträge aus den öffentlichen Sitzungen. Vol 46. Darmstadt : VDLUFA-Verlag, pp 439-442
- Weber A, Gutser R, Henkelmann G, Schmidhalter U (2000) Unvermeidbare NH<sub>3</sub>-Emissionen aus mineralischer Düngung (Harnstoff) und Pflanzenmulch unter Verwendung einer modifizierten Messtechnik. In: Generalthema "Nachhaltige Landwirtschaft" : 112. VDLUFA-Kongress in Stuttgart-Hohenheim, 18. bis 22. September 2000, Kurzfassungen der Vorträge. Vol 55. Darmstadt : VDLUFA-Verlag, pp 175-182
- Zander P, Kächele H (1999) Modelling multiple objectives of land use for sustainable development. Agricultural Systems 59:311-325
- Zander, P M (2003) Agricultural land use and conservation options - a modelling approach. Landbouw-inversiteit Wageningen, 240 p, Diss.
- Die Arbeiten wurden durch das Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft und das Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg gefördert

**Bibliographische Angaben:**

Bachinger, Johann und Zander, Peter (2004) Planungswerkzeuge zur Optimierung der Stickstoffversorgung in Anbausystemen des Ökologischen Landbaus - Standort- und vorfruchtabhängige Kalkulation der N-Salden von Anbauverfahren. Veröffentlicht in Gerold Rahmann und Hiltrud Nieberg (Hrsg.) *Ressortforschung für den ökologischen Landbau 2002*, Tagungsband zum Statusseminar „Ressortforschung für den ökologischen Landbau – Aktivitäten aus Bund und Ländern“ am 13. März 2003 im Forum der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig, Landbauforschung Völkenrode, FAL Agricultural Research, Sonderheft 259, Seite(n) 21-30

Vorliegendes Dokument im Internet archiviert unter <http://orgprints.org/00002025/>