



Das Lebensministerium



BEFU – Teil Ökologischer Landbau

Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Heft 36/2008

Freistaat  Sachsen

Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

**Erstellung und Beschreibung des PC-Programms BEFU, Teil Ökologischer Landbau
Verfahren der Grunddüngung, legumen N-Bindung, Nährstoff- und Humusbilanzierung**

Dr. Hartmut Kolbe, Brigitte Köhler

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Richtlinien und rechtliche Grundlagen.....	3
3	Datenerfassung und Kalkulationshilfsmittel.....	4
3.1	Praxis der Dokumentation im Betrieb.....	4
3.1.1	Ackerschlagkartei	5
3.1.2	N _{min} -Werte	5
3.1.3	Ertragsabschätzungen im Futterbau.....	6
3.1.4	Berücksichtigung von Werbungsverlusten	9
3.1.5	Ertragsanteilschätzung im Leguminosengemenge.....	10
4	Datenbasis für den Ökologischen Landbau.....	13
4.1	Nährstoffgehalte der Fruchtarten	13
4.1.1	Körnerfrüchte.....	19
4.1.2	Hülsenfrüchte	20
4.1.3	Ölfrüchte.....	20
4.1.4	Hackfrüchte	21
4.1.5	Futterpflanzen	21
4.1.6	Zwischenfrüchte	23
4.1.7	Grünland.....	23
4.1.8	Feldgemüse.....	24
4.1.9	Samenvermehrung	24
4.2	Nährstoffgehalte organischer Dünger im ökologischen Landbau.....	25
4.2.1	Wirtschaftsdünger.....	26
4.2.2	Komposte	31
4.2.3	Gärreste	32
4.2.4	Organische Handelsdünger	33
5	Bilanzierungsformen	34
5.1	Hoftorbilanz.....	38
5.2	Feld-Stall-Bilanz bzw. Flächenbilanz	39
5.3	Schlagbilanz	41
5.4	Brutto-Bilanzierung	45
5.4.1	Hoftor-Brutto-Bilanz	45
5.4.2	Schlag-Brutto-Bilanz.....	46
6	Stickstoffbilanzierung auf Schlagebene.....	50
6.1	Kurzfassung	53
6.1.1	Auswahl und Anbau der Fruchtarten	53
6.1.2	Legume N-Bindung, organische und mineralische Düngung.....	54
6.1.3	Angaben zur Ernte und Ermittlung des Saldos.....	57
6.2	Erweiterte Stickstoffbilanzierung (Langfassung)	57

6.2.1	Anbau der Fruchtarten.....	58
6.2.2	Saat- und Pflanzgut.....	58
6.2.3	Organische Düngung.....	59
6.2.4	NH ₃ -Verluste.....	59
6.2.5	Legume N-Bindung und mineralische Düngung.....	61
6.2.6	Asymbiotische N-Bindung und Gesamt-N-Deposition.....	64
6.2.7	N-Saldo der erweiterten Fassung.....	65
6.3	P-, K-, Mg-Bilanzierung.....	66
7	P-, K-, Mg-Grunddüngung und Kalkung.....	66
7.1	Allgemeine Grundlagen der P-, K- und Mg-Nährstoffversorgung und Düngung.....	66
7.2	Gehaltssklassen des Bodens.....	75
7.3	Schlagkarteiaufzeichnungen und Nährstoffbilanz.....	77
7.4	Quantitative Zusammenhänge zwischen den Nährstoffbilanzen und der Veränderung der Bodengehalte an pflanzenverfügbaren Nährstoffen.....	81
7.4.1	Phosphor.....	82
7.4.2	Kalium.....	87
7.4.3	Magnesium.....	94
7.4.4	Berechnung der Düngermenge.....	98
7.4.5	Kalk.....	99
7.4.6	Anleitung zur Durchführung der Grunddüngung und Kalkung.....	100
8	Verfahren zur Berechnung der N-Bindung der Leguminosen.....	106
8.1	Material und Methoden.....	106
8.1.1	Datenerhebungen aus Feldversuchen.....	106
8.1.2	Kurzbeschreibung der in dieser Arbeit für die Methodenüberprüfungen verwendeten Verfahren.....	107
8.2	Ergebnisse und Diskussion.....	109
8.2.1	Körnerleguminosen inkl. Grünspeiseerbse und Gemenge mit Nichtleguminosen.....	109
8.2.2	Großkörnige Futter-Leguminosen und Gemenge (Ackerbohne, Erbse, Ganzpflanzensilage).....	133
8.2.3	Kleinkörnige Futter-Leguminosen und Gemenge (Luzerne, Rotklee u. a. Kleearten).....	140
8.3	Schlussfolgerung.....	161
9	Methoden der Humusbilanzierung.....	163
9.1	Zusammenfassende Darstellung von Ergebnissen zur Überprüfung von Methoden zur Humusbilanzierung.....	163
9.1.1	Auswirkungen optimaler Versorgung mit organischer Substanz auf die Humusgehalte des Bodens.....	165
9.1.2	Beschreibung von Optimal-Varianten.....	167
9.1.3	Grenzen der Humusanreicherung.....	167

9.1.4	Anforderungen an die Humusbilanzierung in Ackerbausystemen mit unterschiedlicher Intensität	169
9.2	Material und Methoden	174
9.3	Ergebnisse und Diskussion.....	175
9.3.1	Ermittlung der Ausgangsbasis für die methodische Weiterentwicklung sowie Herausarbeitung von Standortgruppen.....	175
9.3.2	Optimierung der Fruchtartenkoeffizienten zur Humusbilanzierung unter Berücksichtigung von Standortkriterien und Methodengenauigkeit	192
9.3.3	Optimierung der Humifizierungskoeffizienten der organischen Materialien und Methodengenauigkeit	194
9.3.4	Optimierung des VDLUFA-Bewertungssystems der Versorgungsgruppen A – E für konventionelle und ökologische Anbauverfahren	210
10	Mitwirkung.....	217
11	Literatur	219
12	Anhang	234

Abkürzungsverzeichnis

a	= Jahr
a, A	= Achsenabschnitt
ABJ	= Anbaujahr
b, B	= Steigung
BEFU	= ursprüngliche Abkürzung für: Bestandesführung
BH	= Bestandeshöhe
Bruttoertrag	= Gesamter Jahresertrag ohne Abzug von Ernteverlusten
°C	= Grad Celsius
CC	= Cross Compliance
cm	= Zentimeter
C _{org} , C	= Kohlenstoff des Bodens, C _{org} × 1,72 = Humus im Boden
DE	= Dungeinheit
dt	= Dezitonne
DüV	= Düngeverordnung
EA	= Ertragsanteil
EDV	= Elektronische Datenverarbeitung
EU-Öko-VO	= Verordnung über den ökologischen Landbau
EV	= Ernteverluste
EWR	= Ernte- und Wurzelrückstände
Feinanteil	= Ton- + Feinschluff-Gehalt des Bodens
FM	= Frischmasse
GD	= Gründüngung
GPS	= Ganzpflanzensilage
GVE	= Großvieheinheit
ha	= Hektar
HÄQ	= Humusäquivalente (kg C/ha × a)
HFF	= Hauptfutterfläche
HI	= Harvest-Index
HP	= Hauptprodukt
i. d. R.	= in der Regel
K	= Kalium
kg	= Kilogramm
Legum.-/Getr.-Gemenge	= Leguminosen-/Getreide-Gemenge
Legum.-Gemenge	= Leguminosen-Gemenge
Leguminosen- /Nichtlegum.-Gemenge	= Leguminosen-/Nichtleguminosen-Gemenge
LfL	= Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
LNF	= landwirtschaftliche Nutzfläche
m ²	= Quadratmeter
m ³	= Kubikmeter
Mg	= Magnesium

Abkürzungsverzeichnis (Fortsetzung)

mm	= Millimeter
n	= Anzahl
N	= Stickstoff
N-Aufwuchs	= N-Menge im Aufwuchs eines Mulchbestandes
NBJ	= Nachbaujahr
Nettoertrag	= Bruttoertrag abzüglich Ernteverluste (= Ernteertrag)
NH ₃	= Ammoniak
N _{min}	= mineralisierter N (NH ₃ -N + NO ₃ -N) im Boden
NP	= Nebenprodukt
ÖKO-BEFU	= Programm BEFU, Teil Ökologischer Landbau
P	= Phosphor
PARCOM	= Paris-Konvention zur Verhütung der Meeresverschmutzung
PC	= Personal Computer
PDF	= Portable Document Format
pH	= Maß für die saure bzw. basische Wirkung des Bodens
r	= Korrelationskoeffizient
r ²	= Bestimmtheitsmaß
SG	= Standortgruppe
t	= Tonne
TM	= Trockenmasse
TS	= Trockensubstanz
UL	= Umweltgerechte Landwirtschaft
VDLUFA	= Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten

1 Einleitung

Im Ökologischen Landbau stehen heute Aufgaben an, für die z. T. umfangreiche Kalkulationen erforderlich sind. So werden auf gesetzlicher Basis über die Düngeverordnung (DüV) und Cross Compliance (CC) Berechnungen von Nährstoffvergleichen und eine Humusbilanzierung vorgeschrieben. Ebenso werden im Bereich der Kontrolle zur EU-Öko-VO sowie in der Betriebsberatung genaue Berechnungen zur Betriebs- und Fruchtfolgegestaltung angefordert. Um diese zunehmende Dokumentationspflicht erfüllen zu können, werden von Seiten der Praxis einfache PC-unterstützte Hilfsmittel nachgefragt. Diese Verfahren sollen darüber hinaus auch gehobenen Ansprüchen entsprechen, damit sie geeignet sind, z. B. bei der Aufdeckung von Schwachstellen sowie zur Optimierung des Nährstoffmanagements in den Betrieben beizutragen.

Auf der Grundlage langjähriger Erfahrungen beim Einsatz des Kalkulationsprogramms BEFU („Bestandesführung“) in Sachsen (vor allem in der konventionellen Landwirtschaft und in jüngerer Zeit auch im ökologischen Landbau im Bereich der Grunddüngung) wurden in der vorliegenden Arbeit weitere Prinzipien zur Düngungsbestimmung und Nährstoffbilanzierung für den Anwendungsbereich im ökologischen Landbau entwickelt.

Hervorzuheben sind nachfolgend genannte Anwendungsbereiche:

- Betriebsdokumentation
- Kontrolle entsprechend EU-Öko-VO
- Düngeverordnung
- Cross Compliance
- Nährstoffmanagement
- Fruchtfolgeplanung
- Betriebsumstellung
- Betriebsberatung.

Folgende Zielgruppen sind für die Nutzung von entsprechenden PC-Programmen anzusprechen:

- Landwirte,
- Beratungseinrichtungen,
- Verbände,
- Kontrollstellen,
- Labore sowie
- Schule und Ausbildung.

Im Bereich des Projektes wurden umfangreiche Datenbanken über Nährstoffgehalte aller üblichen Fruchtarten, Düngemittel und weitere Kennzahlen aus dem ökologischen Landbau zusammengestellt. Es wurden Verfahren der Nährstoffbilanzierung für folgende Anwendungsbereiche erstellt:

- Schlagbilanzen
- Flächenbilanzen

- Hoftorbilanzen.

Diese Verfahren wurden für die Nährstoffe Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) sowie den Humusgehalt bzw. die Versorgung mit organischer Substanz des Bodens ausgearbeitet. Ein besonderer Schwerpunkt bestand darin, zur Berechnung der leguminen N-Bindung der Leguminosen möglichst genaue und von der landwirtschaftlichen Praxis anwendbare Methoden zu entwickeln.

Im Bereich der Düngung wurden Verfahren der Grunddüngung für die Nährstoffe P, K, Mg sowie für Kalk entwickelt, die auf Schlagebene in Jahres- und Fruchtfolgesequenzen und entsprechend der Höhe der Bodenversorgung eine standortangepasste Berechnung erlauben.

Bei den Anwendungsverfahren wurden zwei unterschiedliche Modellansätze verfolgt. Die Kurzfassungen sind weitgehend einfach gehalten, z. T. auch manuell einsetzbar und/oder entsprechen den gesetzlichen Mindestanforderungen. Die erweiterten Fassungen sind dagegen vorrangig als Instrument für die vertiefte Betriebsberatung geeignet. Mit dem Teil ökologischer Landbau des PC-Programms BEFU - kurz „ÖKO-BEFU“ - wurden daher sowohl Verfahren für einfache Berechnungen als auch für die anspruchsvolle Betriebsberatung ausgearbeitet. Für tiefer gehende Beratungsansätze stehen speziell zum Stickstoff und Humus erweiterte Bilanzierungsverfahren zur Verfügung. Diese Methoden können insbesondere zur Szenarienrechnung, bei der Betriebsplanung, zur Kontrolle der Bodenfruchtbarkeit und auch in der Umweltschutzberatung angewendet werden.

Die jeweils gültige Version des Programms BEFU sowie ein Anwenderhandbuch von KÖHLER & KOLBE (2007) können über Internet heruntergeladen werden:

<http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/1868.htm>

2 Richtlinien und rechtliche Grundlagen

Auch im Bereich Düngung und Nährstoffversorgung gelten die Erzeugervorschriften der EU-Öko-VO (ANONYM 1991). Der Artikel 6 bestimmt,

- dass wenigstens die Vorschriften des Anhangs I der EU-Öko-VO eingehalten werden müssen und
- als Pflanzenschutzmittel, Düngemittel, Bodenverbesserer ... nur die in Anhang I erwähnten und im Anhang II verzeichneten Mittel verwendet werden dürfen. Die Verwendung dieser Mittel muss im Einklang mit dem allgemein geltenden Gemeinschaftsrecht und den einzelstaatlichen Bestimmungen stehen.
- genetisch veränderte Organismen (GVO) und/oder deren Derivate dürfen nicht verwendet werden.

Im Anhang I Teil A ist festgelegt, dass

- gemäß Punkt 2.1 die Fruchtbarkeit und biologische Aktivität des Bodens zu erhalten bzw. in geeigneten Fällen zu steigern ist durch
 - ✓ Anbau von Leguminosen, Gründüngungspflanzen bzw. Tiefwurzlern in einer geeigneten weit gestellten Fruchtfolge,
 - ✓ Einarbeitung von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft aus der ökologischen tierischen Erzeugung,
 - ✓ Einarbeitung von anderem organischen Material ggf. nach Kompostierung welches in Betrieben gewonnen wurde, die nach der EU-Öko-VO arbeiten.
- laut Punkt 2.2 andere organische oder mineralische Düngemittel ausnahmsweise nur dann ergänzend zum Einsatz kommen dürfen, wenn der Nährstoffbedarf der Pflanzen nicht allein im Rahmen der Fruchtfolge bzw. mit den Maßnahmen nach Punkt 2.1 sichergestellt werden kann. Die einsetzbaren anderen Düngemittel sind im Anhang II angeführt. Für tierische Wirtschaftsdünger und/oder tierische Exkrememente gelten die Beschränkungen des zweiten Anstrichs dieser Ziffer.

In der EU-Öko-VO ist die Zufuhr von Wirtschaftsdüngern tierischen Ursprungs auf 170 kg N/ha begrenzt (Betriebsdurchschnitt). Darüber hinaus sind in Deutschland je nach Mitgliedschaft des Betriebes in der Regel schärfere Bestimmungen der Anbauverbände einzuhalten, die die Zufuhr auf 1,4 Dungeinheiten (ca. 115 kg N/ha) sowie die davon maximal erlaubte Zukaufmenge auf 0,5 Dungeinheiten (40 kg N/ha u. J.) begrenzt haben (1,0 Dungeinheit = 80 kg N). Die einsetzbaren Düngemittel und Bodenverbesserer sind im Anhang II in Form von Positivlisten aufgeführt. Die höchstmögliche Viehbesatzdichte ist entsprechend der in der EU-Öko-VO Anhang VII aufgeführten Äquivalenten für jede Tierart festgelegt.

Eine häufige Forderung war bisher, dass der Bedarf an Düngemitteln und Bodenverbesserern von der Kontrollstelle anerkannt werden musste. Entsprechend der neuen EU-Öko-VO (ANONYM 2007)

und der Durchführungsbestimmung (ANONYM 2008) trifft das nicht mehr zu. Stattdessen müssen die Betriebe über die Notwendigkeit der verwendeten Mittel genau Buch führen.

In einem Leitfaden zur praktischen Düngung wurden von KOLBE et al. (2006) die wichtigsten Handlungsvorgaben im Bereich Düngung und Nährstoffversorgung für den ökologischen Landbau zusammengestellt:

1. Bedarfsgrundlage der Kulturen zur Erzielung eines dauerhaften hohen Ertrags- und Qualitätsniveaus
2. Düngung bei Mangelversorgung in den Böden
3. Düngung bei besonderen Bedingungen des Bodens und des Klimas
4. Düngung bei besonderem Bedarf von bestimmten Kulturarten
5. Behebung von spezifischen Ernährungsstörungen.

Die nachfolgenden Ausführungen sollen Wege offenbaren, wie diese Grundsätze und Richtlinien im ökologischen Landbau fachlich unterlegt und praktisch in den Öko-Betrieben umgesetzt werden können. Insbesondere für die Punkte 1 und 2, die einen wesentlichen Umfang des Handlungsbedarfs abdecken, werden Lösungsvorschläge erarbeitet. Darüber hinaus werden auch verschiedene Gesichtspunkte der DüV und von Cross Compliance aufgegriffen. Die praktischen Auswirkungen dieser Regelungen wurden dagegen von ALBERT et al. (2007), ZORN et al. (2007) und KÖHLER & KOLBE (2007) behandelt.

3 Datenerfassung und Kalkulationshilfsmittel

3.1 Praxis der Dokumentation im Betrieb

Am Beispiel der üblichen Verfahren zur Nährstoffbilanzierung (z.B. im Bereich der DüV) kann aufgeführt werden, dass diese den Produktionsbedingungen im ökologischen Landbau oft nicht gerecht werden und daher kaum verwendbare Aussagen für den Landwirt liefern (siehe Kap. 6). Ein praxisorientiertes Bilanzierungsverfahren sollte daher möglichst nah die tatsächlichen Nährstoffbewegungen in einem landwirtschaftlichen Betrieb widerspiegeln. Verbesserungen in den Bilanzierungsverfahren müssen zunehmend die realen Nährstoffströme sowie deren Beeinflussung (Nährstoffin- und Outputs, Verlustpotenziale) erfassen und in einer Größenordnung festhalten können. Je genauer und vollständiger die praktischen Produktionsweisen abgezeichnet werden, umso verlässlichere Aussagen können zum betrieblichen Nährstoffmanagement und zur Nachhaltigkeit von Bewirtschaftungsmaßnahmen gemacht werden. Die Aussagefähigkeit von Verrechnungen eines landwirtschaftlichen Betriebes ist also im hohen Maße abhängig von der Qualität und Genauigkeit der erfassten Daten.

Die Dokumentation von Betriebs- und Bewirtschaftungsdaten in der Praxis nimmt aufgrund neuer gesetzlicher Regelungen, z. B. Dokumentationspflichten im Zusammenhang mit Cross Compliance oder durch Teilnahme an anderen Förderprogrammen, eine immer größer werdende Rolle in der Betriebsführung ein und bedeutet auch einen erheblichen Zeitaufwand für die Betriebsleitung. Vor

diesem Hintergrund entwickelten sich eine Vielzahl an PC-Programmen, die die Verwaltung sämtlicher Daten erleichtern und verkürzen sollen.

3.1.1 Ackerschlagkartei

Die Dokumentation von Standortgrunddaten sowie von Bewirtschaftungsmaßnahmen erfolgt in Sachsen nach wie vor zum großen Teil über die Handhabung der Sächsischen Schlagkartei, die über die Fa. AGRO-CAD erhältlich ist. Die Sächsische Schlagkartei wird im Rahmen des Förderprogramms „Umweltgerechte Landwirtschaft (UL)“ als Mindestaufzeichnung schlagbezogener Daten vorausgesetzt. Bei vollständiger Führung dieser Schlagkartei werden weitgehend alle wichtigen Daten erfasst. Ein Großteil (73 %) der an den UL-Auswertungen teilnehmenden ökologisch wirtschaftenden Referenzbetriebe führen eine Datendokumentation anhand der Sächsischen Schlagkartei durch (ERNST 2006).

Im ökologischen Landbau bestehen aufgrund des Kontrollsystems bereits bestimmte Dokumentationspflichten in den Betrieben. Zunehmend werden EDV-gestützte Managementsysteme auch im Ökobereich auf dem Markt angeboten (MENNE 2005): <http://www.oekolandbau.de/erzeuger/oe-konomie/betriebswirtschaftliche-aspekte-und-betriebsfuehrung/oeko-landbau-digital-dokumentieren/>

3.1.2 N_{min}-Werte

Für bestimmte Berechnungen sind N_{min}-Werte (NO₃⁻ + NH₄-N) erforderlich. Da die N_{min}-Werte von vielen Faktoren abhängig sind, sollten möglichst aktuelle Werte durch entsprechende eigene Probenahme und Untersuchung in einem anerkannten Labor verwendet werden. Darüber hinaus werden entsprechende Zusammenstellungen und Erhebungen von regionalen Testflächennetzen von den Behörden zur Verfügung gestellt und stetig aktualisiert (Fachpresse, Homepage). Stehen keine aktuellen N_{min}-Werte zur Verfügung, so können die in den nachfolgenden Tabellen (1 u. 2) angegebenen Daten verwendet werden. Diese Datenerhebungen stammen im Wesentlichen aus Versuchen der Standorte Spröda (Sand) und Roda (Lehm).

Tabelle 1: N_{min}-Richtwerte (Bodentiefe 0 - 60 cm) im Frühjahr nach Bodenart

Bodenart			N _{min} (kg/ha)
leicht	Sand	S	20
	anlehmiger Sand	SI	20
	Moor	Mo	30
mittel	lehmiger Sand	IS	30
	stark lehmiger Sand	SL	35
	sandiger Lehm	sL	45
schwer	Lehm	L	50
	lehmiger Ton	IT	50
	Ton	T	50

Tabelle 2: N_{min}-Richtwerte (kg/ha; Bodentiefe 0 - 60 cm) im Frühjahr nach der Fruchtfolgestellung des Kleeegrases

Bodenart	ABJ	1.NBJ	2. NBJ	3. NBJ u. folgende
leicht	15	50	30	20
mittel	20	70	65	35
schwer	20	80	85	50

ABJ = Anbaujahr des Kleeegrases NBJ = Nachbaujahr nach Kleeegras

3.1.3 Ertragsabschätzungen im Futterbau

Der Ertrag ist eine der wichtigsten Größen für die Bilanzierung und Düngebemessung. Dieser Parameter bestimmt maßgeblich den Nährstoffentzug pro Einheit und somit die Höhe einer möglichen Ausgleichsdüngung. Ebenso wird für die Berechnung der legumen N-Bindung eine exakte Einschätzung der Ertragsmengen benötigt. Jedoch gibt es in der Praxis vor allem im Futterbau häufig mangelnde Kenntnisse über das Ertragsniveau bei diesen Kulturarten. Häufig fehlen schlagbezogene Ertragsmessungen in der Futterproduktion sowie Möglichkeiten zur Wägung. Somit wird in der Regel mit Schätzwerten gearbeitet. Relativ ungenaue Angaben aus der Praxis im Futterbau wurden auch im Projekt „Untersuchungen zur Unternehmensgestaltung im Ökologischen Landbau“ als Problem beschrieben (ARP & NEUMEISTER 2006). Standortangepasste Ertragskalkulationen werden von der Beratung als wichtig bis sehr wichtig eingestuft (STEIN-BACHINGER et al. 2004).

Da die Erträge im Futterbau von vielen Standortfaktoren (vor allem Bodenart, Niederschlagsmenge und -verteilung) beeinflusst werden, können Schätzwerte nur Orientierungswerte darstellen. Zu diesem Defizit an Ertragskenntnissen im Futterbau kommt zusätzlich noch eine geringere Datenbasis über Erträge von ökologisch bewirtschaftenden Flächen zur Ableitung von Mittelwerten. Im Futterbau mit Leguminosen gibt es allerdings keine bedeutenden Unterschiede im Ertragsniveau zwischen konventioneller und ökologischer Produktionsweise. STEIN-BACHINGER et al. (2004) haben Ertragspotenziale (Wertespanssen) von mittleren Bruttoerträgen aus dem Ökolandbau differenziert nach vier Ackerzahlklassen für verschiedene Fruchtarten aufgelistet. Jedoch werden zur Nährstoffbilanzierung genauere Ertragsangaben benötigt.

Als sicherste Methode zur Ertragsfeststellung wird die Durchführung einer Probemahd von einem Quadratmeter Pflanzenbestand (3 – 4 Proben/ha) mit anschließender Wägung empfohlen (RIEHL 2005; ELSAESSER 2005). Dies bedeutet aber einen erheblichen Zeitaufwand für den Landwirt. Als weitere Hilfestellung zur Ertragsschätzung werden den Landwirten Mittelwerte von Grünlanderträgen differenziert nach der Nutzungsart und nach den Agrarstrukturgebieten in Sachsen zur Verfügung gestellt (LFL 2004).

Bei Arbeiten mit Ertragsschätzungsmethoden stellte TROTT et al. (2001) anhand von Messungen mit dem Höhenmessgerät *Grasstec* auf Wirtschaftsgrünland eine lineare Beziehung zwischen TM-Ertrag und gemessener Pflanzenhöhe fest, unabhängig von Nutzungsform, N-Intensität und Be-

standeszusammensetzung. Bei niedrigem Ertragsniveau müssen allerdings eine erhöhte Anzahl an Messungen durchgeführt werden. Jedoch sind in der Regel Futterbaubetriebe mit so einem Höhenmessgerät nicht ausgestattet, da diese nur bei Betrieben mit reiner Weidehaltung eingesetzt werden und die Messungen einen erheblichen Zeitaufwand bedeuten.

Deshalb wurden zur Überprüfung und Verbesserung der Ertragsschätzung eigene Ertragserhebungen im Futterbau durchgeführt. Als praxisrelevante Methode zur Ertragsschätzung wurde für diese Ertragserhebungen die Messung der Bestandeshöhe nach VOIGTLÄNDER & JACOB (1987) ausgewählt. Diese Methode ist eine Schnellschätzung des Ertrages bei einheitlich zusammengesetzten und dichten Grünlandbeständen in Abhängigkeit von der Wuchshöhe (STEIN-BACHINGER et al., 2004; siehe Tab. 3). Anhand dieser Funktion soll der Praxis ein Hilfsmittel an die Hand gegeben und der Bilanzierungsparameter Ertrag qualitativ verbessert werden. Ebenso stand bei diesen Untersuchungen im Vordergrund, ob die Methode der Bestandeshöhe, die aus der Ertragsschätzung von Grünlandaufwüchsen stammt, ebenso bei Klee grasbeständen angewendet werden kann.

Tabelle 3: Methode zur Ertragsschätzung bei Grünland (nach VOIGTLÄNDER & JACOB 1987)

<p>Mittlere Höhe der gestreckten Pflanzen (von der Bodenoberfläche bis zum Durchschnitt der Triebspitzen der Obergräser in cm)</p> <p><u>minus</u> mittlere Stoppelhöhe (je nach Nutzung Weide / Mahd)</p> <p>= Dezitonnen Trockenmasse Ernteertrag je Hektar</p> <hr/> <p><u>Regel:</u> 1 cm laufende Bestandeshöhe entspricht etwa 1 dt TM/ha</p> <p><u>Beispiel:</u> gemessene Bestandeshöhe: (20 cm) - mittlere Reststoppelhöhe bei Mahd: (6 cm)</p> <p>= Trockenmasse-Ernteertrag: (14 dt/ha)</p>
--

Zur Übertragung der Funktion auf Feldfutterflächen haben STEIN-BACHINGER et al. (2004) eigene, mehrjährige Untersuchungen an Leguminosen-Gras-Gemengen durchgeführt. Sie kamen zu der Aussage, dass bei einem Bestimmtheitsmaß von 0,7 bei 188 Ertragsmessungen diese Schätzmethode bei dichten Beständen ebenso für Leguminosen-Gras-Gemengen empfohlen werden kann. KREIL et al. (1983) stellten für die praktische Nutzung ein Verfahren zur Ertragsschätzung im Futterpflanzenbau auf. Diese Methode beruht auch auf der VOIGTLÄNDER-Methode, jedoch werden in der Funktion Differenzierungen nach Leguminosenart und -anteil mittels Faktoren (Luzerne 4 – 4,5, Rotklee und Luzernegras 4,5, Rotklee gras 5, Acker gras 5,5 – 6,5) und ein Fehlstellenausgleich anhand prozentualem Abzug in den Klee grasbeständen eingefügt.

Der Vergleich der Ergebnisse zeigt, dass beide Methoden in der Beziehung zum gemessenen TM-Ertrag weitgehend übereinstimmen. Jedoch wird von der KREIL-Methode gegenüber der VOIGTLÄNDER-Methode ein höherer Informationsbedarf vom Anwender benötigt. Aufgrund der einfacheren Handhabung für die Praxis wurde die Ertragsschätzung nach VOIGTLÄNDER & JACOB ausgewählt und

auf Grünland- und Klee grasbeständen auf ökologisch wirtschaftenden Betrieben in Sachsen angewendet, um die Genauigkeit der Methode nochmals zu überprüfen.

Die Funktion der Bestandeshöhenmessung, $F(x) = BH$ (cm), (BH = Bestandeshöhe), wird anhand eigener durchgeführter Messungen des Ertrages (1 Quadratmeter; 3 – 4 Proben/ha) und der Messung der Bestandeshöhe (minus Stoppelhöhe) miteinander verglichen.

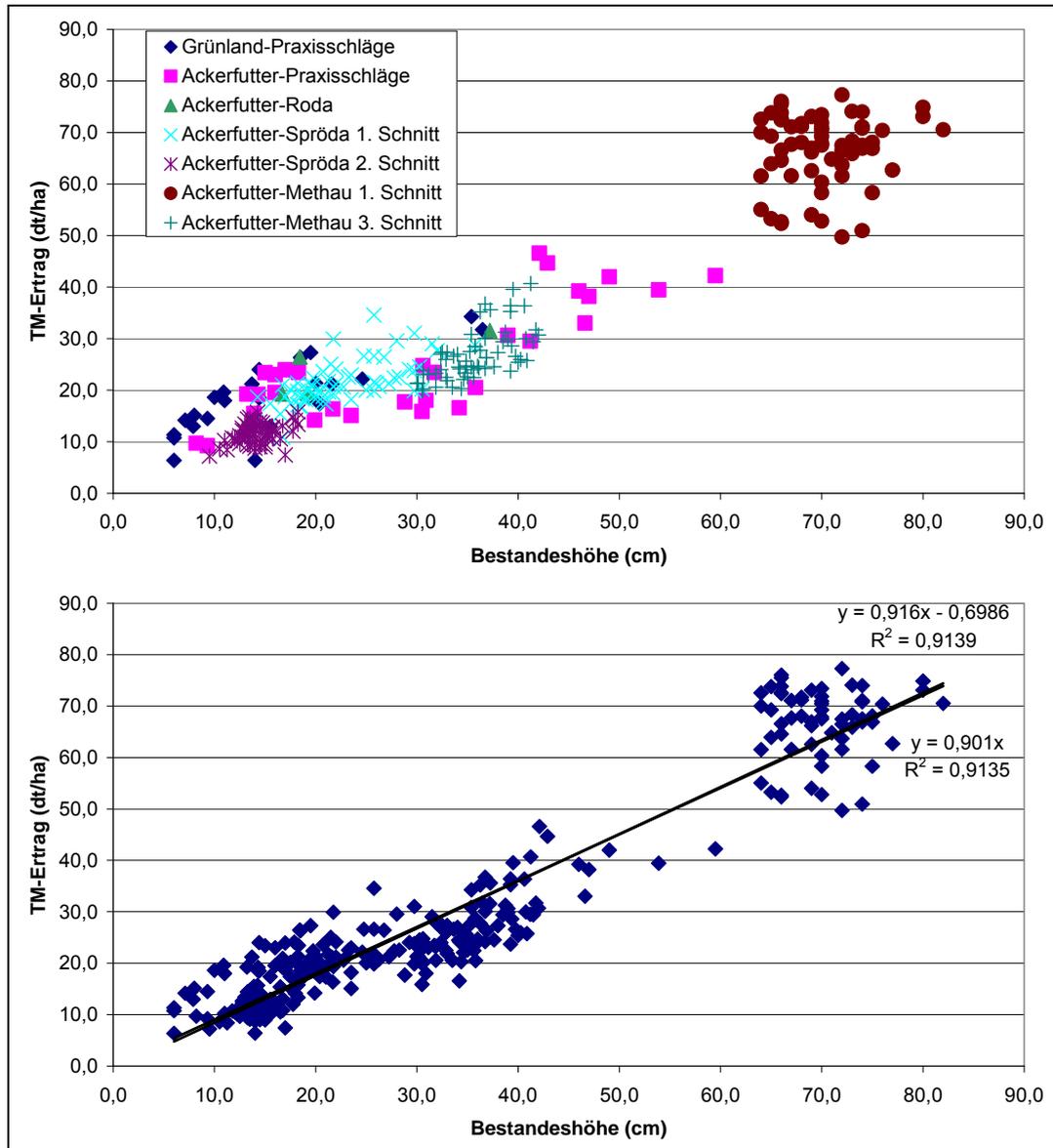


Abbildung 1: Beziehung zwischen der Bestandeshöhe und den gemessenen Erträgen auf Klee gras- und Grünlandflächen in Sachsen

Aus Abbildung 1 (oben) ist zunächst zu sehen, dass eine genügend hohe Anzahl an Beprobungen erhoben wurde und dass eine recht gute Übereinstimmung zwischen den verschiedenen Grünland- und Kleeergrasbeprobungen besteht. Daher ist eine gemeinsame Auswertung angebracht. Grünlandflächen brauchen nicht extra ausgewiesen werden. Aus Abbildung 1 (unten) geht zudem hervor, dass die beiden linearen Gleichungsansätze quasi übereinstimmen. Daher kann eine lineare Gleichung, die durch den Nullpunkt läuft, angewendet werden. Es wird ein sehr hohes Bestimmtheitsmaß ermittelt. Die Steigung (b) sagt aus, dass je 1 cm 0,90 – 0,92 dt TM/ha ermittelt wird. Diese Werte liegen etwas unter denen von VOIGTLÄNDER & JACOB (1987), der je 1 cm Wuchshöhe zu einer durchschnittlichen Ertragsbildung von 1 dt TM/ha kam.

Die VOIGTLÄNDER-Methode kann aufgrund dieser Überprüfung als eine gut handhabbare Methode für die Praxis beurteilt werden. Nicht möglich sind die Messung von nur einem Aufwuchs und eine anschließende Hochrechnung auf den gesamten Jahresertrag mittels dieser Ertragsschätzung. Dafür sind Ertragsverteilung und -zuwachs je nach Aufwuchs zu unterschiedlich.

Eine richtige Einschätzung der vorliegenden TM-Gehalte (%) zum jeweiligen Erntezeitpunkt im Futterbau kann für ein Berechnungsergebnis von Bedeutung sein. Dies kann insbesondere im Futterbau durch den großen Schwankungsbereich je nach Schnitzeitpunkt zu deutlichen Abweichungen führen. Im Programm ÖKO-BEFU werden alle Ertragsangaben auf den Frischmasseertrag zum Zeitpunkt der Ernte bezogen (siehe Kap. 4).

3.1.4 Berücksichtigung von Werbungsverlusten

Grundsätzlich trägt die Berücksichtigung von Werbungsverlusten (Ertragsverlusten) zu einer verbesserten Erfassung der Nährstoffexporte von den Flächen bei. Je nach Berechnungsziel ist somit eine Ertragsangabe als Brutto- oder Nettoertrag erforderlich. Bei Angabe der Ertragshöhen als Bruttoertrag müssen die Werbungsverluste bei der Nährstoffsaldierung abgezogen werden, da diese Verluste oder Reste der Fläche nicht entzogen werden.

Ebenso trifft dies auch für andere Bilanzierungsformen, z. B. der Stall- oder Futterbilanz zu. Beachtet werden muss bei der Anleitung der Ertragsmengenschätzung über die Bestandeshöhe (Anleitung Ertragsschätzung Kap. 3.1.3, Tab. 3), dass es sich hierbei um Bruttoerträge handelt und Werbungsverluste bei der Berechnung des Nährstoffentzuges abgezogen werden müssen. Im Gegensatz hierzu ist die Erfassung der Bruttoerträge im Futterbau bedeutend bei der Berechnung der legumigen Stickstoffbindung. Durch Berechnung der N-Bindung vom Bruttoaufwuchs im Jahr wird eine genauere N-Bindungs menge ermittelt.

Da die Verlusthöhen im Futterbau in erster Linie vom Produktionsverfahren abhängen, werden die Werbungsverluste differenziert nach den wichtigsten Produktionsverfahren (Futter-, Silage- oder Heuwerbung/ Weideverfahren) ausgewiesen. Diese Verlusthöhen sind Näherungswerte, da in der Regel schlagbezogene Verluste nicht quantitativ ermittelbar sind (STEIN-BACHINGER et al. 2004).

Weitere Produktionsbedingungen wie Witterung, Technik und Nutzungsintensität haben auch eine Wirkung auf das Verlustpotenzial. Die Ansätze mittlerer Verlusthöhen sind für die Programm-Kurzfassungen vorgesehen. Bei den erweiterten Formen ist eine dreiteilige Einstufung vorgenommen worden (Tab. 4). Die Werbungsverluste werden als reine Ertragsverluste bei gleicher Nährstoffkonzentration in der Kulturart berücksichtigt. Höhere Nährstoffverluste, z.B. an Stickstoff bei Bröckelverlusten insbesondere bei den Leguminosenblättern, wirken sich auch auf den Nährstoffentzug aus. Diese Verluste werden aber im Programm nicht berücksichtigt.

Tabelle 4: Werbungsverluste (in %) der Frischmasse zum Erntezeitpunkt im Futterbau

Werbungsverluste	gering	mittel	hoch
Frischfutter	2	5	10
Gras-/Kleegrassilage	5	15	20
Maissilage	5	15	20
Ganzpflanzensilage	5	15	20
Heu	15	25	40
Weide	10	25	40

Quellen: STEIN-BACHINGER et al. (2004), REDELBERGER (2004), LFL, REFERAT GRÜNLAND UND FELDFUTTERBAU (2005) u. a.

3.1.5 Ertragsanteilschätzung im Leguminosengemenge

Durch eine genaue Einschätzung der Ertraganteile der einzelnen Kulturarten im Gemengeanbau und vom Grünland können Nährstoffzu- und abfuhr besser erfasst und somit die Aussagefähigkeit von Nährstoffbilanzen erhöht werden. Ferner liefern diese Kenntnisse über Bestandeszusammensetzungen weitere wichtige Bewirtschaftungsvorgaben und Kennzahlen, z. B. eine Ableitung optimaler Schnitzeitpunkte in Bezug auf Futterqualitäten. Neben der Ertragsschätzung einzelner Kulturarten, hat eine richtige Einschätzung der Leguminosenertragsanteile eine besondere Bedeutung. Vor allem für ökologisch wirtschaftende Betriebe stellt die legume N-Bindung die wichtigste N-Quelle dar. Außerdem kann bei dieser Produktionsweise der Leguminosenanbau im Gemenge einen sehr hohen Flächenanteil in der Fruchtfolge einnehmen. Eine möglichst genaue Abschätzung der Ertragsanteile an Leguminosen in den Futtergemengen ist eine Grundvoraussetzung zur Berechnung der fixierten N-Mengen der Bestände.

Auch WEISSBACH (1995) sowie STEIN-BACHINGER et al. (2004) weisen auf die Bedeutung der genauen Ertragsschätzung der Leguminosen zur Berechnung der fixierten N-Menge im Grünland und Futterbau hin. NYKÄNEN et al. (2005) sehen die Erfassung der Leguminosen-Ertragsanteile als einen Schlüsselfaktor zur Festlegung von Futterqualität und Nährstoffausgleich in ökologisch wirtschaftenden Betrieben an, jedoch wird auf die schwierige und aufwendige Schätzung der Leguminosen in den Mischbeständen hingewiesen.

Das sicherste Verfahren zur Messung des Leguminosenanteils im Gemengeanbau ist das Ernten von Proben mit Trennen per Hand in Leguminosen und Gräser sowie die anschließende Gewichtserfassung und Trocknung zur Bestimmung der jeweiligen Trockenmasse-Ertragsanteile. Diese Methode ist jedoch für die Praxis als zu zeitaufwendig zu beurteilen. Als weitere Methode, die sich auch in der Praxis bewährt hat, gilt die Ertragsanteilschätzung nach KLAPP/STÄHLIN (VOIGTLÄNDER & VOSS 1979). Dieses Verfahren besteht aus einer Masseprozentschätzung, d. h. die Ertragsanteile der Bestände werden nach den Trockenmasseanteilen in Prozent geschätzt, beginnend mit der Schätzung der Artengruppen bis zu den einzelnen Arten der jeweiligen Gruppe, wobei in der Reihenfolge von den „masseärmsten zu den massereichsten“ (LFL, 2000) vorgegangen wird. In der Sächsischen Schlagkartei ist bei der Bonitur des Grünlandes die Ertragsanteilschätzung nach KLAPP/STÄHLIN vorgegeben.

Die Schwierigkeit in der Ertragsanteilschätzung nach KLAPP/STÄHLIN speziell im Feldfutterbau liegt nicht in der Erkennung der einzelnen Arten. Die Bestimmung der Artengruppen ist bei Leguminosen-Gras-Gemengen für die benötigte Zielgröße weitgehend ausreichend. Vielmehr kommt es auf Grund der unterschiedlichen Blattformen und Trockenmassegehalte zum Erntezeitpunkt zwischen den Leguminosen und der Fraktion der Gräser häufig zu Fehleinschätzungen in den Ertragsanteilen der Artengruppen. In Klee grasbeständen weist die Gruppe der Leguminosen durch ihre breiten Blattformen über den visuellen Eindruck auf hohe Ertragsanteile hin. Außerdem sind sie je nach Nutzungszeitpunkt durch mehr oder weniger niedrigere Trockenmassegehalte als der Bestandspartner der Gräser gekennzeichnet.

Beide Merkmale führen dazu, dass der Kleeertragsanteil häufig überschätzt wird. Auf Grund individueller Unterschiede in der visuellen Schätzgenauigkeit kann jedoch kein allgemeingültiger Korrekturfaktor zur besseren Einschätzung des tatsächlichen Leguminosenertragsanteils abgeleitet werden. Daher ist bei Anwendung einer visuellen Schätzmethode ein hohes Maß an Übung erforderlich. Hierzu kann sich der Schätzer an determinierten Klee grasbeständen immer wieder selbst überprüfen. Für die Übung der Ertragsanteilschätzung von Klee grasbeständen ist von STEINBACHINGER et al. (2004) ein Schätztrainer als visuelles Trainingstool erarbeitet worden, das als beiliegende CD zu dem Handbuch „Nährstoffmanagement im ökologischen Landbau“ unter <https://sec.ktbl-shop.de/index.php?controller=category&categoryID=11&> zu beziehen ist. Eine weitere Hilfestellung unter anderem auch zur Ertragsanteilschätzung ist von der LVVG Aulendorf eine „Grünlandberatung im Netz“ aufgestellt worden (ELSAESSER & THUMM 2005). Von den Autoren wird die Fläche zur Ertragsanteilschätzung in einem Kreis (Fadenkreuzeinteilung und danach weitergehende Unterteilungen) dargestellt, da über eine solche Flächeneinteilung eine bessere prozentuale Schätzung der Ertragsanteile möglich sein kann (NUSSBAUM 2005).

Zur Bestimmung der Ertragsanteile werden von der Wissenschaft neue Methoden über Nahinfrarotreflektion (NIRS) oder digitaler Farbmessung getestet, jedoch eignen sich diese Verfahren bisher noch nicht für den Praxiseinsatz. Ergebnisse der Universität Kassel zeigen auf, dass die über die

Feldspektroskopie abgeleiteten Funktionen nicht praxistauglich sind, da die Unterscheidung in Klee- und Grasertragsanteile bisher nur für bestimmte Entwicklungsstadien zutreffen. Eine von dem Vegetationsstadium unabhängige Ertragsanteilmessmethode soll in Zukunft anhand der Auswertung von Hyperspektraldatensätzen erfolgen (BIEWER et al. 2005).

STEIN-BACHINGER et al. (2004) haben zwei verschiedene Genauigkeitsstufen zur Angabe der Leguminosenertragsanteile für die Praxis vorgeschlagen: eine grobe dreistufige Skala und eine differenzierte fünfstufige Einteilung. Eine Faustregel zur groben Einschätzung der fixierten N-Menge wird mit 3,5 kg N pro 1 dt Leguminosen-Trockenmasseertrag festgelegt (STEIN-BACHINGER et al. 2004).

Die verschiedenen Verfahren zur Berechnung der legumen N-Bindung wurden nach ihrer Praxistauglichkeit hin überprüft und verbessert (siehe Kap. 8). In den aufgestellten Gleichungen der Kurzformen kann für die N-Bindungsberechnung im Futterbau der Leguminosenertragsanteil nur über die Auswahl der Gemengearten Klee- oder Luzernegras in den Stufen mit 30, 50, 70 oder 100 % Klee- oder Luzerneanteil ausgewählt werden. Für die genauere Form der N-Bindungsberechnung (Langformen) kann der exakt geschätzte Leguminosenertragsanteil je Aufwuchs angegeben werden, da dieser Bestandteil der quadratischen Funktionen für die N-Bindungsberechnung ist. Darüber hinaus können vom Anwender die einzelnen Leguminosenarten bestimmt und die Leguminosenertragsanteile je Art in den Gemengen zugewiesen werden.

Auch die Schätzung der Leguminosenertragsanteile in speziellen Gemengeanbauformen, z. B. Hafer/Erbsen-Gemenge als Ganzpflanzensilage ist von Bedeutung, da sie in der Praxis des ökologischen Landbaus häufiger vorkommen¹. Jedoch liegt hierzu keine Hilfestellung zu einem Schätzverfahren für die Praxis vor. In den Kurzformen des Programms muss über die Auswahl der Kulturart mit den Gemengeverhältnissen von 30, 50 oder 70 % bzw. Reinanbau entschieden werden, in der erweiterten Form ist der genaue Leguminosenertragsanteil mit Auswahl der betreffenden Leguminosenarten anzugeben. Eine Hilfestellung anhand von Bildtafeln zur Einschätzung von Mischbeständen im Erntestadium ist für die Praxis ausgearbeitet worden (siehe KÖHLER & KOLBE 2007).

Die Schätzung der fixierten N-Menge vom Grünland wird über eine einfache Berechnung nach WEISSBACH (1995) durchgeführt. Dabei ist die Angabe des Ertragsanteils vom Weissklee, durchgeführt anhand der Ertragsanteilschätzung nach KLAPP/STÄHLIN, je Bezugsebene notwendig.

¹ Die Vielfältigkeit des Gemengeanbaus im ökologischen Landbau und damit die Bedeutung zur genauen Erfassung der Gemengeformen in Bezug auf die Bilanzierung ist in der Broschüre „Anbau von Gemengen im ökologischen Landbau“, BLE (2003) ausführlich dargestellt worden.

4 Datenbasis für den Ökologischen Landbau

4.1 Nährstoffgehalte der Fruchtarten

Neben einer richtigen Ertragsangabe sind die Nährstoffgehalte der einzelnen Anbaukulturen für die Berechnung von Nährstoffentzügen bedeutend. Meistens bilden Richtwertvorgaben, herausgegeben von den Länderbehörden zur Einhaltung der guten fachlichen Praxis, die Basis für die Berechnung von Nährstoffvergleichen und Düngungsempfehlungen. Seltener liegen eigene Analysenwerte vor, die in den Bilanzierungsverfahren Anwendung finden. Die Tabellenwerke der Länder entsprechen bisher häufig den konventionellen Anbau- und Bewirtschaftungsverfahren.

Für die Bilanzierung stellen diese Tabellenwerke abgesicherte repräsentative Mittelwerte dar und können gut als Standard verwendet werden (BACH & FREDE 2005). Jedoch wird bei diesen Werten die naturgemäß auftretende Variabilität in den Nährstoffgehalten nicht berücksichtigt. In Bezug auf die Bilanzgenauigkeit treten, je kleiner die Bezugseinheiten (Betriebs- oder Flächenbilanzen) sind, zunehmend Abweichungen vom „wahren Wert“ auf (BACH & FREDE 2005). Den größten Einfluss auf die N-Konzentration im Erntegut hat, neben dem genetischen Faktor, von den exogenen Faktoren insbesondere die Düngung (BIERMANN 1995). Somit ist durch eine andere Produktionsweise, z.B. des ökologischen Landbaus, von zusätzlichen Streuungen und Abweichungen in den Nährstoffgehalten auszugehen. Eine Anwendung von Richtwerten, übernommen aus konventionellen Versuchsergebnissen, kann daher für die Bilanzierung im ökologischen Landbau mit großen Fehlern behaftet sein (KOLBE et al. 2003). Auch STEIN-BACHINGER et al. (2004) diskutierten die Abweichung der Nährstoffmengen in ökologisch wirtschaftenden Betrieben, die neben den niedrigeren Erträgen auch durch niedrigere Nährstoffgehalte zustande kommen. Somit können sich bei Anwendung der allgemeinen konventionellen Faustzahlen für Ökobetriebe falsche Nährstoffbilanzergebnisse ergeben².

Das Hauptproblem der Bereitstellung von Richtwerten aus dem ökologischen Landbau war vielfach die zu geringe Datenbasis an Untersuchungswerten aus dieser Produktionsweise. Da in neuester Zeit aus vielen bundesweiten Forschungsprojekten des ökologischen Landbaus³ Analysen von Nährstoffgehalten der Kulturen gemacht wurden, liegen weitestgehend für alle relevanten Kulturarten des ökologischen Landbaus gesicherte Datenmengen an Nährstoffgehalten vor. Diese konnten jetzt zur Berechnung von repräsentativen Mittelwerten genutzt werden.

Insbesondere über Exaktversuche aus konventionellen und ökologischen Versuchsreihen war zu erkennen, dass die Nährstoffgehalte der Kulturen aus dem ökologischen Landbau im Vergleich zu den konventionell erzeugten Ernteprodukten Unterschiede in den Nährstoffgehalten aufweisen (KOLBE et al. 2003). Beim Stickstoff zeigen sich zum Teil deutlich niedrigere Gehalte als im Ver-

² Auch in der Neuauflage der Faustzahlen für die Landwirtschaft (KTBL, 2005) werden keine Nährstoffgehalte von Kulturen aus ökologischem Anbau zur Berechnung der Nährstoffentzüge aufgeführt.

³ siehe Bundesprogramm ökologischer Landbau (BÖL) und andere Projekte; Veröffentlichung häufig unter: <http://orgprints.org>

gleich zu den gleichen konventionell erzeugten Produkten. Dies belegen umfangreiche Untersuchungen vor allem auch beim Getreide. Durch diese Vergleichsuntersuchungen wurde durch KOLBE et al. (2003) festgestellt, dass im Durchschnitt der untersuchten Kulturen 16 % niedrigere N-Gehalte im ökologischen Landbau erzielt wurden. Jedoch können diese Abweichungen im N-Gehalt je nach Kultur noch sehr schwanken. Dies zeigt sich bei den Stickstoff fixierenden Fruchtarten, wo zwischen den Anbauweisen kaum Unterschiede in den N-Konzentrationen auftreten. Aufgrund ihrer Funktion und des hohen Anbauumfangs der Leguminosen im ökologischen Landbau werden diese Kulturarten jedoch ausführlicher erfasst als in vergleichbaren konventionellen Zusammenstellungen, um bei Bedarf Ansätze zu einer Verbesserung des Nährstoffmanagements zu geben.

Bei der Erstellung der Nährstoffgehaltslisten wurden daher bei den Futter- und Körnerleguminosen insbesondere auf eine detaillierte Erfassung des Gemengeanbaus Wert gelegt, da die N-Gehaltsunterschiede vor allem von den Leguminosen-Ertragsanteilen beeinflusst werden. Der Leguminosen-Ertragsanteil ist ein wichtiger Parameter in der Bilanzierung. Dessen Berücksichtigung verbessert insbesondere die Kalkulation der N-Bindungsmengen.

Von den beschriebenen Versuchsauswertungen im ökologischen Landbau wurden von den praxisrelevanten Anbaukulturen repräsentative mittlere N-Gehalte ermittelt und bilden im Programm BE-FU eine umfassende und vollständige Datenbank. Bei einer zu geringen Datengrundlage aus dem ökologischen Landbau zur Berechnung eines repräsentativen Mittelwertes, wurden in Bezug auf die Untersuchungen von KOLBE et al. (2003) für einige Kulturen die N-Gehalte mit einem 15%igen Abzug ermittelt⁴.

Im Gegensatz zum Stickstoff zeigten sich bei den Fruchtarten insgesamt je nach Bewirtschaftungsform keine größeren Abweichungen in den Nährstoffgehalten an P, K und Mg. Aus den vielfältigen Untersuchungen zu diesen Nährstoffgehalten im ökologischen Landbau ergaben sich niedrigere sowie auch höhere Konzentrationen im Vergleich zu konventionellen Werten (siehe Kap. 7). In der erstellten Datenbank sind Mittelwerte von P-, K- und Mg-Gehalte vorrangig aus Versuchen des ökologischen Landbaus übernommen worden. Bei fehlenden Analysenwerten aus dem ökologischen Landbau wurde ohne Änderungen der Nährstoffkonzentration auf entsprechende konventionelle Werte zurückgegriffen.

Die natürliche Streubreite in den Nährstoffgehalten, insbesondere beim Stickstoff, wird durch Einflussfaktoren wie Sorte, Boden, Witterung, Fruchtfolge und Düngung bestimmt. Im PC-Programm wurde auf die Angabe der Nährstoffgehalte in Form von Spannweiten (Minimal- und Maximalwerte) verzichtet. Da das Programm nur mit einem Wert rechnen kann, wurde verstärkt auf die Angabe

⁴ Es soll darauf hingewiesen werden, dass bei einigen selten im Anbau vorkommenden Kulturen trotz einer geringen Datengrundlage eine Nährstoffgehaltsangabe im PC-Programm erfolgt, da dies für die Vollständigkeit und somit Funktionalität des PC-Programms notwendig ist. Um eventuell unsichere Nährstoffgehaltsangaben einer Fruchtart auszuschalten, wird von Zeit zu Zeit ein „update“ vorgesehen.

eines repräsentativen Mittelwertes Wert gelegt. Sind dem Programmnutzer die Nährstoffgehalte durch eigene Analysen bekannt oder kann er durch Berücksichtigung regionaler Faktoren andere Werte belegen, so sollten vorrangig diese Werte direkt in das PC-Programm für die Berechnungen eingegeben werden.

Die Datenbank im Programm BEFU wurde unter Angabe der Gehaltswerte der Haupt- und Nebenprodukte sowie der Gesamtpflanze zum Zeitpunkt der Ernte in der Frischmasse (kg Nährstoff/dt FM) ausgearbeitet (Tab. 5). Der TM-Gehalt zum Erntezeitpunkt von Haupt- (HP) und Nebenprodukt (NP) wird mit angegeben, um bei Abweichungen vom optimalen Erntezeitpunkt Umrechnungen zu ermöglichen. Damit von den Nebenprodukten eine Abfuhr oder Zufuhr in den Berechnungen erfasst werden kann, werden die Nährstoffgehalte unter Berücksichtigung des HP : NP-Verhältnisses mit aufgelistet.

Weiterhin stellte sich auch die Frage, ob beim Vergleich zwischen den Produktionsweisen Unterschiede in dem HP : NP-Verhältnis auftreten. Insgesamt zeigte sich, dass dieser Parameter auch in den Versuchsauswertungen des ökologischen Landbaus sehr selten mit erhoben wurde⁵. Ergebnisse aus dem ökologischen Getreideanbau mit Erfassung der Korn-Stroh-Verhältnisse liegen hauptsächlich von STEIN-BACHINGER et al. (2004) vor. Diese Daten weisen durchaus Unterschiede zwischen den beiden Produktionsweisen auf. Jedoch stellen die vorhandenen Versuchsergebnisse keine ausreichende Datenbasis zur Anpassung dieser Verhältnis-Zahlen für bestimmte Kulturen dar. Somit sind zur Überarbeitung der HP : NP-Verhältnisse weitere Literaturlauswertungen und Tabellenwerke der Landesbehörden („Leitfaden zur Umsetzung der Düngeverordnung“) mit eingeflossen. Die HP : NP-Verhältnisse seltener Kulturen, die aber insbesondere im ökologischen Landbau häufiger vorkommen, wurden aus Ergebnissen der Standardwerke des Pflanzenbaus abgeleitet.

In der erweiterten Fassung der N-Bilanzierung wird bei den Kulturen im Futterbau zusätzlich eine Differenzierung der N-Gehalte vorgenommen. Durch die Angabe des Vegetationsstadiums zum Erntezeitpunkt werden die unterschiedlichen N-Gehalte nach den Vegetationsstufen „vor“, „in“ und „nach der Blüte“ gesondert erfasst. Inwieweit die N-Gehalte je nach Vegetationsstadium bzw. Schnittzeitpunkt schwanken, wird unter dem Kapitel Futterpflanzen diskutiert. Nachfolgend werden die Auswertungen und der Aufbau der Datenbank nach den einzelnen Artengruppen näher erläutert (Tab. 5).

⁵ Es werden z.B. bei den Landessortenversuchen beim Getreide die Stroherträge nicht mit erfasst (KARALUS 2004).

Tabelle 5: Nährstoffgehalte der Fruchtarten im Hauptprodukt (HP) und Nebenprodukt (NP) im ökologischen Landbau (Angaben in kg Reinnährstoffmenge/dt Frischmasse (FM) zur Ernte)

FRUCHTART	TM (%)		HP:NP	N (kg/dt FM)		P (kg/dt FM)		K (kg/dt FM)		Mg (kg/dt FM)	
	HP	NP	(HP=1)	HP	NP	HP	NP	HP	NP	HP	NP
Körnerfrüchte											
Qualitätsweizen	86	86	1,1	1,75	0,44	0,35	0,13	0,50	1,16	0,12	0,12
Winterweizen	86	86	1,1	1,68	0,44	0,35	0,13	0,50	1,16	0,12	0,12
Winterweizen (Brau)	86	86	1,1	1,68	0,44	0,35	0,13	0,50	1,16	0,12	0,12
Wintergerste	86	86	1,1	1,35	0,44	0,35	0,13	0,50	1,41	0,12	0,12
Wintergerste (Brau)	86	86	1,1	1,35	0,44	0,35	0,13	0,50	1,41	0,12	0,12
Winterroggen	86	86	1,3	1,29	0,44	0,35	0,13	0,50	1,66	0,12	0,12
Triticale	86	86	1,2	1,36	0,44	0,35	0,13	0,50	1,41	0,12	0,12
Sommerweizen	86	86	1,1	1,80	0,44	0,35	0,13	0,50	1,16	0,12	0,12
Dinkel	86	86	1,1	2,13	0,44	0,35	0,13	0,75	1,41	0,12	0,12
Durumweizen	86	86	1,0	2,00	0,44	0,35	0,13	0,50	1,16	0,12	0,12
Sommergerste (Futter)	86	86	1,0	1,34	0,44	0,35	0,13	0,50	1,41	0,12	0,12
Sommergerste (Brau)	86	86	1,0	1,34	0,44	0,35	0,13	0,50	1,41	0,12	0,12
Sommerroggen	86	86	1,3	1,25	0,44	0,35	0,13	0,50	1,66	0,12	0,12
Hafer	86	86	1,1	1,58	0,40	0,32	0,13	0,47	1,41	0,12	0,06
Getreidegemenge	86	86	1,1	1,46	0,44	0,35	0,13	0,50	1,41	0,12	0,12
Körnermais	86	86	0,8	1,28	0,78	0,33	0,09	0,40	1,65	0,20	0,14
Buchweizen	86	86	2,3	1,66	0,60	0,31	0,32	0,43	2,00	0,18	0,23
Hülsenfrüchte											
Erbse	86	86	1,0	3,50	1,40	0,43	0,14	1,06	1,20	0,13	0,21
Grünpiseseerbse	22	17	5,8	0,91	0,52	0,11	0,06	0,27	0,50	0,03	0,06
Ackerbohne	86	86	1,0	4,20	1,20	0,47	0,15	1,13	1,52	0,16	0,16
Lupine (blau)	86	86	1,0	4,80	1,10	0,42	0,10	0,90	0,96	0,16	0,16
Lupine (gelb)	86	86	1,0	6,10	1,10	0,42	0,10	0,90	0,96	0,16	0,16
Lupine (weiß)	86	86	1,0	5,20	1,10	0,42	0,10	0,90	0,96	0,16	0,16
Wicke	86	86	1,0	3,80	1,50	0,40	0,14	0,92	1,20	0,17	0,21
Hülsenfruchtgemenge	86	86	1,0	4,60	1,20	0,44	0,13	0,99	1,11	0,16	0,19
Sojabohne	86	86	1,0	5,50	0,90	0,57	0,15	1,29	0,90	0,22	0,26
Linse	86	86	1,0	3,90	1,50	0,39	0,14	0,76	1,20	0,12	0,21
Hülsenfrucht-/Nicht-leguminos.-Gemenge	86	86	1,0	3,03	0,82	0,40	0,13	0,75	1,26	0,11	0,17
Öfrüchte											
Winterraps	91	86	2,0	2,80	0,50	0,78	0,13	0,80	1,66	0,24	0,09
Sommerraps	91	86	2,0	3,00	0,50	0,78	0,14	0,80	1,66	0,24	0,09
Sonnenblume	91	86	2,0	2,40	1,15	0,71	0,35	1,70	3,74	0,42	0,18
Öllein	91	86	1,5	3,10	0,45	0,53	0,09	0,80	1,16	0,35	0,10
Senf	91	86	1,5	3,86	0,45	0,53	0,09	0,80	1,16	0,30	0,10
Leindotter	91	86	1,4	3,70	0,68	0,68	0,13	0,80	1,25	0,16	0,06

Tabelle 5: (Fortsetzung)

FRUCHTART	TM (%)		HP:NP	N (kg/dt FM)		P (kg/dt FM)		K (kg/dt FM)		Mg (kg/dt FM)	
	HP	NP	(HP=1)	HP	NP	HP	NP	HP	NP	HP	NP
Hackfrüchte											
Frühkartoffeln	22	25	0,2	0,39	0,34	0,07	0,07	0,60	0,50	0,02	0,13
Mittelfrühe Kartoffeln	22	25	0,2	0,31	0,34	0,06	0,07	0,50	0,50	0,02	0,13
Spätkartoffeln	22	25	0,3	0,31	0,34	0,06	0,07	0,50	0,50	0,02	0,13
Zuckerrüben	23	16	0,7	0,16	0,30	0,04	0,05	0,21	0,59	0,05	0,06
Gehaltsrüben	15	12	0,4	0,16	0,26	0,03	0,04	0,41	0,52	0,03	0,05
Masserüben	12	12	0,4	0,14	0,25	0,03	0,02	0,37	0,32	0,03	0,08
Samenvermehrung											
Grassamen	86	86	7,5	1,84	1,10	0,30	0,16	0,46	1,80	0,10	0,24
Klee-, Luzernesamen	91	86	8,0	5,50	1,50	0,64	0,13	1,04	2,16	0,16	0,24
Serradellasamen	91	86	3,0	3,50	1,50	0,64	0,13	1,04	2,16	0,16	0,24
Rübensamen	86	30	6,0	1,53	0,60	0,52	0,17	1,16	0,83	0,18	0,09
Futterpflanzen											
Klee gras (30:70)	20	-	-	0,43	-	0,06	-	0,52	-	0,06	-
Klee gras (50:50)	20	-	-	0,47	-	0,06	-	0,52	-	0,06	-
Klee gras (70:30)	20	-	-	0,50	-	0,06	-	0,52	-	0,06	-
Luzern gras (30:70)	20	-	-	0,45	-	0,07	-	0,54	-	0,04	-
Luzern gras (50:50)	20	-	-	0,50	-	0,07	-	0,54	-	0,04	-
Luzern gras (70:30)	20	-	-	0,55	-	0,07	-	0,54	-	0,04	-
Klee-, Luzern gemenge	18	-	-	0,57	-	0,06	-	0,50	-	0,06	-
Luzerne	18	-	-	0,62	-	0,06	-	0,50	-	0,05	-
Rotklee (und andere Kleearten)	18	-	-	0,55	-	0,06	-	0,50	-	0,06	-
Landsberger Gemenge	17	-	-	0,40	-	0,06	-	0,52	-	0,06	-
Leguminosen-(grobk.)/ Nichtleguminosen- Gemenge	20	-	-	0,44	-	0,07	-	0,50	-	0,05	-
Leguminosen-(grobk.)/ Getreide-Gemenge (GPS) (30:70)	30	-	-	0,46	-	0,07	-	0,50	-	0,05	-
Leguminosen-(grobk.)/ Getreide-Gemenge (GPS) (50:50)	28	-	-	0,52	-	0,07	-	0,50	-	0,05	-
Leguminosen-(grobk.)/ Getreide-Gemenge (GPS) (70:30)	25	-	-	0,59	-	0,07	-	0,50	-	0,05	-
Leguminosen-(grobk.)/ Getreide-Gemenge (GPS) (100:0)	25	-	-	0,65	-	0,07	-	0,50	-	0,05	-
Leguminosengemenge (grobk.)	18	-	-	0,52	-	0,06	-	0,50	-	0,06	-
Leguminosengemenge (fein- u. grobk.)	18	-	-	0,54	-	0,06	-	0,50	-	0,06	-
Silomais	30	-	-	0,34	-	0,07	-	0,40	-	0,05	-
Silomais (Zweitfrucht)	25	-	-	0,28	-	0,06	-	0,37	-	0,05	-
Grünmais	17	-	-	0,25	-	0,05	-	0,35	-	0,04	-

Tabelle 5: (Fortsetzung)

FRUCHTART	TM (%)		HP:NP	N (kg/dt FM)		P (kg/dt FM)		K (kg/dt FM)		Mg (kg/dt FM)	
	HP	NP	(HP=1)	HP	NP	HP	NP	HP	NP	HP	NP
Corn-Cob-Mix (CCM)	60	60	0,8	0,83	0,56	0,20	0,06	0,32	1,16	0,14	0,11
Getreide Ganzpflanze	20	-	-	0,36	-	0,07	-	0,52	-	0,04	-
Getreide (GPS)	30	-	-	0,39	-	0,07	-	0,52	-	0,04	-
Feldgras	20	-	-	0,38	-	0,07	-	0,54	-	0,04	-
Futtermispel, Rübsen	13	-	-	0,35	-	0,06	-	0,52	-	0,06	-
Senf	15	-	-	0,34	-	0,06	-	0,52	-	0,06	-
Nichtleguminosengemenge (Kreuzblütler)	15	-	-	0,35	-	0,06	-	0,50	-	0,05	-
Sonnenblume	13	-	-	0,27	-	0,05	-	0,52	-	0,06	-
Zwischenfrüchte											
Leguminosen-/ Nichtlegum.-Gemenge											
Klee gras 30:70	17	-	-	0,46	-	0,057	-	0,47	-	0,045	-
Klee gras 50:50	17	-	-	0,48	-	0,058	-	0,46	-	0,048	-
Klee gras 70:30	17	-	-	0,50	-	0,059	-	0,45	-	0,051	-
Landsberger Gemenge	17	-	-	0,46	-	0,050	-	0,50	-	0,040	-
Luzern gras 30:70	17	-	-	0,46	-	0,057	-	0,47	-	0,045	-
Luzern gras 50:50	17	-	-	0,48	-	0,058	-	0,46	-	0,048	-
Luzern gras 70:30	17	-	-	0,50	-	0,059	-	0,45	-	0,051	-
Leguminosen-/ Nichtlegum.-Gemenge	17	-	-	0,46	-	0,050	-	0,50	-	0,040	-
Wickroggen	17	-	-	0,45	-	0,050	-	0,50	-	0,045	-
Leguminosen											
Rotklee und andere Kleearten	15	-	-	0,53	-	0,057	-	0,45	-	0,055	-
Klee-, Luzernegemenge	15	-	-	0,53	-	0,057	-	0,45	-	0,055	-
Luzerne	15	-	-	0,53	-	0,057	-	0,45	-	0,055	-
Leguminosengemenge (fein- u. grobk.)	15	-	-	0,53	-	0,060	-	0,43	-	0,050	-
Leguminosengemenge (grobk.)	15	-	-	0,52	-	0,055	-	0,40	-	0,045	-
Nichtleguminosen											
Senf, Futtermispel, Rübsen, Ölrettich	15	-	-	0,37	-	0,053	-	0,38	-	0,033	-
Phacelia	15	-	-	0,37	-	0,053	-	0,38	-	0,033	-
Buchweizen	15	-	-	0,30	-	0,048	-	0,36	-	0,059	-
Feldgras	15	-	-	0,43	-	0,060	-	0,47	-	0,041	-
Getreide Ganzpflanze	15	-	-	0,38	-	0,057	-	0,45	-	0,039	-
Markstammkohl (Futterkohl)	15	-	-	0,35	-	0,050	-	0,42	-	0,040	-
Futtermöhre	15	-	-	0,35	-	0,050	-	0,42	-	0,040	-
Sonnenblume	15	-	-	0,30	-	0,048	-	0,36	-	0,059	-
Stoppelrübe	15	-	-	0,35	-	0,050	-	0,42	-	0,040	-
Grünmais	15	-	-	0,25	-	0,056	-	0,45	-	0,038	-
Steckrübe (Kohlrübe)	15	-	-	0,35	-	0,050	-	0,42	-	0,040	-

Tabelle 5: (Fortsetzung)

FRUCHTART	TM (%)		HP:NP	N (kg/dt FM)		P (kg/dt FM)		K (kg/dt FM)		Mg (kg/dt FM)	
	HP	NP	(HP=1)	HP	NP	HP	NP	HP	NP	HP	NP
Nichtleguminosen-gemenge	15	-	-	0,35	-	0,050	-	0,42	-	0,040	-

TM = Trockenmasse; GPS = Ganzpflanzensilage; grobk. = grobkörnig; feink. = feinkörnig

Quelle: KOLBE & KÖHLER (2006): Arbeitsgruppe der Versuchsansteller im ökologischen Landbau. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Leipzig.

4.1.1 Körnerfrüchte

Auch im ökologischen Landbau ist Getreide eine Hauptanbaukultur. Aus umfassenden Sorten- und Qualitätsversuchen im ökologischen Getreideanbau lagen ausreichende Versuchsergebnisse zur Berechnung repräsentativer Mittelwerte vor. Zur Sicherung dieser Mittelwerte wurden zahlreiche Rohproteinanalysen mit verwendet. Die im ökologischen Landbau häufiger vorkommenden Getreidearten, wie z. B. Dinkel, wurden in der Datensammlung besonders berücksichtigt, um speziell von diesen Kulturen gesicherte Werte anzubieten. Die Untersuchungen von KOLBE et al. (2003) weisen eindeutig niedrigere N-Gehalte im Getreide aus ökologischem Anbau auf. Dies wird ebenso von STEIN-BACHINGER et al. (2004) und weiteren Autoren belegt. Die P/K/Mg-Gehalte aller Getreidearten im ökologischen Landbau entsprechen dagegen weitgehend den Werten des konventionellen Anbaus, da keine größeren Abweichungen festgestellt wurden⁶.

Die Nährstoffgehalte vom Getreidegemenge wurden als Mittelwert aus den gängigen Sommer- und Winterungen berechnet. Ein Mischanbau von Getreide und Ölfrüchten kommt auch im ökologischen Anbau noch sehr selten vor und auf Grund der fehlenden Versuchsdaten konnte kein Mittelwert berechnet werden. Jedoch können ausgehend von den einzelnen Gemengepartnern durch Interpolation mittlere Nährstoffgehaltswerte für das Gemenge ermittelt werden.

Insbesondere beim Getreide ist die Erfassung der Korn : Stroh-Verhältnisse für viehhaltende bzw. viehlose Betriebe wichtig. Deshalb wird der Nährstoffgehalt für die Gesamtpflanze und für das Haupt- und Nebenprodukt getrennt angegeben. Dabei muss die jeweilige Nutzung in der Bilanzierung mit ausgewählt werden⁷. Die vorhandenen Ergebnisse über die Korn : Stroh-Verhältnisse wiesen geringe Abweichungen zwischen den beiden Produktionsweisen auf. Auf Grund der geringen Datenbasis wurden unter Hinzuziehung der konventionellen länderspezifischen Zahlen die Korn : Stroh-Verhältnisse überarbeitet.

Von den Kulturen Körnermais und Buchweizen sind von den Nährstoffgehalten nur wenige Daten aus dem ökologischen Landbau verfügbar. Die N-Gehalte dieser Kulturen wurden aus Varianten konventioneller Anbauversuche ohne N-Düngung und aus Werten von Standardwerken nach

⁶ Übernommen wurden die P/K -Gehalte aus der Broschüre „Ordnungsgemäßer Einsatz von Düngern entsprechend der Düngeverordnung“ aus dem Land Sachsen (Stand 1997) (ALBERT et al. 1997b, siehe auch ALBERT et al. 2007). Die Mg-Gehalte der Getreidearten wurden anhand mehrerer Quellen überprüft und verändert.

⁷ Auswahl Nebenprodukt „abgefahren“ oder „bleibt auf Schlag“ (BEFU, Teil ökologischer Landbau).

15%iger Absenkung der N-Gehalte entnommen. Die P-, K- und Mg-Gehalte wurden ohne Veränderung übernommen (Tab. 5).

4.1.2 Hülsenfrüchte

Bei den Körnerleguminosen gibt es zwischen den Produktionsweisen konventionell und ökologisch kaum unterschiedliche Konzentrationen in den N-Gehalten. Wie bereits beschrieben, liegt das N-Niveau bei den Leguminosen im ökologischen Landbau nicht niedriger als im konventionellen Anbau (KOLBE 2005b). Dagegen können im ökologischen Landbau sogar höhere K- und Mg-Gehalte im Korn und Stroh auftreten (KOLBE et al. 2002). Die Datenbasis für die Nährstoffgehalte der Körnerleguminosen im Druschanbau basiert auf eigenen Feldversuchsergebnissen sowie Untersuchungen von SCHMIDTKE & RAUBER (2000), KELLER et al. (1999), KOLBE et al. (2002) sowie unter Nutzung der Rohprotein-Gehalte der DLG-Futterwerttabellen. Beim Mischanbau von Körnerleguminosen mit anderen Kulturen (Leguminosen oder Nichtleguminosen) kann in der erweiterten N-Bilanzierung der Nährstoffentzug für jede Kultur nach deren Ertragsanteil im Gemenge berechnet werden.

Die Nährstoffgehalte der Grünspeiseerbse wurden entsprechend dem Erntezeitpunkt mit 21 % TM ermittelt. Die N-Gehalte der Grünspeiseerbse wurden aus experimentell ermittelten Werten von JOST (2003) übernommen. Die P/K/Mg-Gehalte wurden von den Werten der Körnererbse abgeleitet und auf den TM-Gehalt zum Erntezeitpunkt der Grünspeiseerbse umgerechnet. Die Korn : Stroh-Verhältnisse der Hülsenfrüchte werden entsprechend den konventionellen Daten übernommen, da nach KARALUS (2004), aufgrund der fehlenden N-Düngung in beiden Produktionsweisen weitgehend keine Unterschiede auftreten (Tab. 5).

4.1.3 Ölfrüchte

Insgesamt steht bei den Ölfrüchten nur eine geringe Anzahl an Versuchen aus dem ökologischen Landbau zur Verfügung. Da aber der Anbau von Ölfrüchten, insbesondere von Raps, im ökologischen Landbau deutlich zunimmt, konnten Ergebnisse aus Öko-Versuchen der letzten Jahre zur Mittelwertberechnung herangezogen werden. Zum N-Gehalt der Ölpflanzen, insbesondere zum Raps, wurden weitere Quellen von STEIN-BACHINGER et al. (2004), PAULSEN (2003) und DEBRUCK (2005) sowie eigene Feldversuchsauswertungen berücksichtigt. Bei den anderen Ölfrüchten wie Sonnenblume, Öllein, Senf oder Leindotter lag aus Ökoversuchen keine ausreichende Datenanzahl vor. Deshalb wurde bei diesen Arten auf die Tabellenwerke der Länder unter Abzug von 15 % beim Stickstoffgehalt zurückgegriffen. Allgemein ist bei den Ölfrüchten ein niedriger N-Gehalt gegenüber den konventionellen Werten zu verzeichnen. Die P-, K- und Mg-Gehalte wurden mit den Werten der Tabellenwerke aus verschiedenen Bundesländern sowie mit Daten von STEIN-BACHINGER et al. (2004) abgeglichen. Die Korn : Stroh-Verhältnisse bei den Ölfrüchten mussten weitgehend von den Angaben der Länderbehörden übernommen werden (Tab. 5).

4.1.4 Hackfrüchte

Aus den vielen Versuchsdurchführungen im ökologischen Kartoffelanbau waren gut abgesicherte repräsentative Mittelwerte für Früh- und Spätkartoffeln zu bestimmen. Im Vergleich zum konventionellen Kartoffelanbau zeigen sich deutlich niedrigere N-Gehalte bei den ökologisch erzeugten Kartoffeln. Die P/K/Mg-Gehalte bei den Kartoffeln stammen ausschließlich aus ökologischen Anbauversuchen (KOLBE et al. 2003; MÖLLER et al. 2003). Für die Bestimmung der HP : NP-Verhältnisse bei den Kartoffeln konnte auf eigene Ökoversuchsdaten zurückgegriffen werden (MÖLLER et al. 2003).

Für die Fruchtarten Mais und Rüben (Zucker- und Futterrüben) konnten zur Überprüfung der Nährstoffgehalte nur wenige Werte aus ökologischem Anbau, nämlich von STEIN-BACHINGER et al. (2004), BECKMANN & KOLBE (2002), STEINHÖFEL & LIPPMANN (2005) bereitgestellt werden. Die P, K und Mg-Gehalte wurden vorrangig anhand der Tabellenwerke der Bundesländer überprüft und angepasst. Bei der Maispflanze ist das Korn : Restpflanzen-Verhältnis sortenabhängig (BÖHME 2005). Jedoch lagen keine Ökoversuchsdaten zu diesem Parameter vor. Aus Feldversuchen von Brandenburg (SCHMALER 2005) wurden Ergebnisse aus Düngungsvarianten ohne N-Düngung herangezogen. Vorrangig nach dieser Quelle sowie aus den Tabellenwerken der Länderbehörden wurde für den ökologischen Anbau ein HP : NP-Verhältnis von 1 : 0,8 für beide Erntevarianten (Körnermais sowie CCM) abgeleitet (Tab. 5).

4.1.5 Futterpflanzen

Speziell im ökologischen Landbau werden vermehrt Leguminosen oder -gemenge aufgrund der Fähigkeit zur Luftstickstoffbindung, aber auch aufgrund guter Erträge und Futterqualitäten angebaut. Sie erreichen einen hohen Flächenanteil in der Fruchtfolge und sind dadurch eine wichtige Bilanzierungseinheit. Diese besondere Bedeutung der Leguminosen im ökologischen Landbau wird durch die detaillierte Erfassung einzelner Futterpflanzen mit ihren jeweiligen Nährstoffgehalten Rechnung getragen und bildet einen Schwerpunkt in der Erstellung der Ökodatenbank der Futterpflanzen.

Die Datenbank über die Futterpflanzen aus ökologischem Anbau wurde erstellt aus langjährigen wissenschaftlichen Feldversuchen, eigenen Futterbauerhebungen aus der Praxis in Sachsen (von Kleegrasflächen und Grünland), sowie untermauert mit verschiedenen Ergebnissen aus Futterqualitätsuntersuchungen. Nachfolgend werden die Hauptbezugsquellen im Futterbau genannt: BOMMER (1954), SCHEFFER & ULRICH (1960), NEHRING (1972), LÜDDECKE (1976), Faustzahlen (1978), HEINZMANN (1981), MEINSEN (1983), OEHMICHEN (1986), KIRCHMANN (1988), SCHMIDTKE (1997), LOGES (1998), LOGES & TAUBE (1999), SCHMIDTKE & RAUBER (2000), LWK SCHLESWIG-HOLSTEIN (2001), JOST (2003), JUNG (2003), SCHMIDTKE (2003), BEYER et al. (2004), DIETL & LEHMANN (2004), HAAS(2004), LWK HANNOVER (2004), PIETSCH (2004).

Für die Ermittlung repräsentativer Mittelwerte konnte auf umfangreiche Versuchsergebnisse aus dem ökologischen Landbau insbesondere bei den verschiedenen Gemengeanbauformen zurückgegriffen werden. Bei den Reinbeständen an Futterleguminosen zeigen sich aus den Exaktversuchen zwischen der ökologischen und konventionellen Anbauweise keine deutlichen Unterschiede in den N-Konzentrationen. Die Auswertung der umfangreichen Ökoversuche für die Mittelwertberechnung von Futterleguminosen ist dennoch von Bedeutung, da dadurch die im ökologischen Landbau häufig vorkommenden Sorten- und Erntebedingungen u. a. z. B. Schnittzeitpunkt oder -höhe, die einen Einfluss auf die Nährstoffgehalte haben, berücksichtigt werden (Tab. 5).

Deutliche Abweichungen in den N-Gehalten zeigen sich bei den Leguminosengemengen erst bei der differenzierten Betrachtung unterschiedlich hoher Leguminosen-Ertragsanteile im Pflanzenbestand. Deshalb wurde eine detaillierte Auflistung der Klee-/Luzernegrasbestände vorgenommen. Die N-Gehalte für Klee- und Luzernegras werden in den Stufen mit 30, 50 und 70 % Leguminosen-Ertragsanteil differenziert und in diesen Stufen als Fruchtarten getrennt im Programm gelistet⁸.

Ferner wird das Nutzungsverfahren z. B. „Ganzpflanzensilage“ oder „Frischfutter bei Schnittnutzung“ in der Auswahl der Kulturen berücksichtigt und getrennt gelistet, wodurch die entsprechenden N-Entzüge sowie N-Bindungsmengen je nach dem Ernteverfahren berücksichtigt werden. Bei den P, K und Mg-Gehalten der Futterpflanzen zeigen sich eher geringe Gehaltsunterschiede zwischen den Produktionsweisen.

Eine zusätzliche Differenzierung der N-Gehalte wurde für die erweiterten Fassungen ausgearbeitet. Hier können beim Anbau von Gemengen oder auch von „Vielgemengen“⁹ bis zu drei einzelne Fruchtarten mit Angabe der Ertragsanteile ausgewählt werden, wodurch die entsprechenden Nährstoffgehalte der einzelnen Kulturen je nach Ertragsanteil in den N-Entzügen berücksichtigt werden.

Bei differenzierter Betrachtung des N-Gehaltes je nach Vegetationsstadium zeigten sich bei den Kulturen im Futterbau Unterschiede in den N-Konzentrationen in der TM (Anhang, Tab. A1). Hierfür dienten als hauptsächliche Datenquelle die Rohproteingehalte aus den DLG-Futterwerttabellen (DLG-Futterwerttabellen, 1997) sowie weitere Versuchsergebnisse. Im Allgemeinen nehmen die N-Konzentrationen vom Stadium „vor der Blüte“ bis zum Stadium „nach der Blüte“ ab¹⁰. Um diese Unterschiede je nach Kultur und Erntezeitpunkt zu berücksichtigen, wurde für die erweiterte Fassung zur N-Bilanzierung eine Abstufung der N-Gehalte bei allen Futterbaukulturen nach „vor“, „in“ und „nach der Blüte“ vorgenommen. Insbesondere bei den Klee-Gras-Gemengen sollen durch diese

⁸ Sollten die einzelnen Mischungspartner und -verhältnisse nicht explizit bekannt sein, wird im PC-Programm eine Auswahloption „Leguminosen/Nichtleguminosengemenge“ mit 50 % Leguminosenanteil als Standard angeboten.

⁹ „Vielgemenge“ (Bezeichnung ab drei Arten) wird im ökologischen Landbau sehr häufig zur Gründüngung, insbesondere bei viehloser Landbewirtschaftung angebaut.

¹⁰ Als Beispiel: die N-Konzentration (% TM) beim Klee-Gras (50 : 50) ändern sich von 2,6 % „vor der Blüte“ bis zu 1,6 % „nach der Blüte“, beim Deutschen Weidelgras von 2,4 % „vor der Blüte“ bis 1,4 % „nach der Blüte“.

Auswahlmöglichkeit die N-Gehalte zwischen Leguminosen und Gräsern genauer erfasst werden. Jedoch setzt eine solche Differenzierung der N-Gehalte nach den Erntezeitpunkten und vor allem nach den Leguminosen-Ertragsanteilen genauso gut die Fähigkeit voraus, dass in der Praxis das Vegetationsstadium richtig eingeschätzt und die Ertragsanteilschätzung beherrscht wird¹¹. Das Hauptanliegen der Differenzierung in der erweiterten Fassung ist die verbesserte Berechnungsgenauigkeit der N-Bindung, da neben dem Ertrag und dem Leguminosen-Ertragsanteil der N-Gehalt ein wichtiger Parameter in den N-Bindungsgleichungen ist.

4.1.6 Zwischenfrüchte

Die vielfältigen Kulturen des Zwischenfruchtanbaus sind jeweils mit ihren Nährstoffgehalten erfasst worden, obwohl sich im Allgemeinen die N-Gehalte der Zwischenfrüchte nicht so stark unterscheiden (KOLBE et al. 2004). Durch die kurze Vegetationszeit haben anbauwürdige Zwischenfrüchte ein sehr hohes N-Aneignungsvermögen. Dadurch ergeben sich bei den ausgewählten Zwischenfrüchten, die häufig im ökologischen Landbau vorkommen, keine so großen Unterschiede in den N-Gehalten zwischen den Kulturen und den Produktionsweisen. Auch bei den P/K/Mg-Gehalten sind keine großen Unterschiede innerhalb der einzelnen Zwischenfrüchte zu erkennen. Vielfältige Versuchsergebnisse aus dem ökologischen Landbau wurden zur Erstellung der Datenbank ausgewertet (KOLBE et al. 2004; Tab. 5).

4.1.7 Grünland

Grundlage der Nährstoffgehalte von Grünlandaufwüchsen bildet eine Ausarbeitung des Arbeitskreises Düngung der Ländereinrichtungen (siehe Tab. 6: Nährstoffgehalte von Grünland). Um eine Anpassung an die Produktionsbedingungen des ökologischen Landbaus zu erzielen, wurden weitere Analysenwerte ausschließlich aus ökologischer Bewirtschaftung zusammengestellt und mit den vorhandenen Daten verglichen. Bei dieser Gegenüberstellung wurden nur geringe Unterschiede zwischen den Produktionsweisen gefunden. Dafür ist eine Differenzierung nach der Intensität der Nutzung von großer Bedeutung. Deshalb wurde die Gehaltstabelle, differenziert nach der Nutzungsintensität, auch für die ökologische Bewirtschaftung übernommen. Die Praxis der ökologischen Grünlandbewirtschaftung kann sowohl einer extensiven Nutzung mit dann sehr niedrigen N-Gehalten als auch einer intensiven Nutzung (4 Nutzungen) mit entsprechend hohen Futterqualitäten und hohen N-Gehalten entsprechen. Je nach den Standortverhältnissen können im ökologischen Landbau durchaus hohe Erträge (bis 500 dt FM) erreicht werden. Deswegen sind die Nährstoffentzüge bei diesem Ertragsniveau auch im ökologischen Landbau nicht zu vernachlässigen. Die P/K/Mg-Gehalte steigen entsprechend den Nutzungsintensitäten ebenfalls deutlich an.

¹¹ Evtl. kann für die Praxis die Angabe eines Mittelwertes ohne Auswahl nach Vegetationsstadien zur Vermeidung falscher Einschätzungen besser sein. Diese Option ist auch im Programm vorgesehen. Zur Ertragsanteilschätzung siehe Kapitel 3. Hierbei ist die richtige Einschätzung der Leguminosen-Ertragsanteile bei Klee-grasgemengen von Bedeutung.

Tabelle 6: Nährstoffgehalte von Grünland (Angaben in kg Reinnährstoffmenge/dt Frischmasse (FM), bei 20 % Trockenmasse (TM)) nach unterschiedlichen Nutzungsintensitäten (Ertrag in dt FM/ha)

Nutzungsintensität (dt FM/ha)	N (kg/dt FM)	P (kg/dt FM)	K (kg/dt FM)	Mg (kg/dt FM)
0 - 200	0,26	0,05	0,25	0,04
200 - 300	0,36	0,06	0,42	0,05
300 - 400	0,44	0,08	0,48	0,06
400 - 500	0,54	0,09	0,50	0,07
>500	0,56	0,09	0,50	0,07

Quelle: FÖRSTER, F., ERNST, H. & ALBERT, E. 2004: BEFU 2005, nach Vorgaben der Kammern und Landesanstalten. verändert, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Pflanzliche Erzeugung, Leipzig

In der erweiterten Fassung der N-Bilanzierung werden die N-Gehalte auch bei den Grünlandaufwüchsen je nach Vegetationsstadium differenziert (Anhang, Tab. A2). Jedoch legt die Nutzungsintensität bereits einen bestimmten Erntezeitpunkt fest, da zwischen einer 2- bis 4-Schnittnutzung keine Ernten mehr im Stadium „nach der Blüte“ möglich sind.

4.1.8 Feldgemüse

Bei den Feldgemüsearten werden bei den Nährstoffgehalten keine Unterschiede zwischen konventioneller und ökologischer Anbauweise angenommen¹². Nach LABER (2004a) ist aufgrund der Anbauintensität das Düngungsniveau in beiden Produktionsweisen relativ hoch und zeigt auch im N-Gehalt keine deutlichen Differenzen. Die Nährstoffgehalte der Feldgemüsearten können bei ALBERT et al. (2007) eingesehen werden.

4.1.9 Samenvermehrung

Die Saatguterzeugung erfolgt im ökologischen Landbau unter den spezifischen Produktionsbedingungen. Eine Abweichung der Nährstoffgehalte der zur Samenvermehrung in Frage kommenden Fruchtarten konnte aufgrund der zu geringen Analysenwerte aus dem ökologischen Landbau nicht direkt ermittelt werden. Entsprechend den vorliegenden Ergebnissen bei den Fruchtarten werden bei der Samenvermehrung keine niedrigeren N-Gehalt bei den Leguminosen und bei den Gras- und Rübensamen ein N-Abzug von 15 % veranschlagt. Die P/K/Mg-Gehalte entsprechen konventionellen Analysenwerten¹³ (siehe Tab. 5).

Die Erstellung von Richtwerten (repräsentative Mittelwerte) für weitere Fruchtarten, die durchaus im ökologischen Landbau noch Praxisrelevanz haben, muss für einige Kulturen, z. B. Heil- und Ge-

¹² Die Richtwerte der N/P/K/Mg-Gehalte stammen zum überwiegenden Teil vom Institut für Gemüse- und Zierpflanzenanbau Großbeeren/Erfurt e. V. (LABER 2004b)

¹³ Die N/P/K/Mg-Gehalte der Leguminosen zur Samenvermehrung wurden vorrangig von der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (KERSCHBERGER et al. 2002) übernommen. Bei den Nährstoffgehalten der Gras- und Rübensamen wurden die Werte angepasst.

würzpflanzen, Faserpflanzen oder auch Sonderkulturen (z. B. Hopfen) noch vervollständigt werden. In diesen Fällen kann der Nutzer entweder unter „Sonstige“ direkt die Gehalte an Nährstoffen für die gewünschte Fruchtart eingeben oder er sollte die zur Verfügung stehende konventionelle Datenbasis verwenden (z.B. ALBERT et al. 2007).

Die Datenbank über die Nährstoffgehalte dieser vielfältigen Fruchtarten im ökologischen Landbau kann für pflanzenbauliche sowie auch betriebswirtschaftliche Berechnungen genutzt werden und soll dem Landwirt ebenso wie der Öko-Kontrollstelle oder anderen Institutionen als Wertebasis dienen. Diese Datenbank ermöglicht eine optimierte Erfassung der Nährstoffmengen, die tatsächlich in ökologisch wirtschaftenden Betrieben zirkulieren. Durch diese Differenzierung erhöht sich der Informationsgehalt und die Aussagegenauigkeit wird verbessert.

4.2 Nährstoffgehalte organischer Dünger im ökologischen Landbau

Den nach den ökologischen Produktionsregelungen (EU-Öko-VO, Verbandsrichtlinien) zugelassenen organischen Düngemitteln kommt als Nährstoffquellen für den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit eine bedeutende Rolle zu. Nach dem Leitgedanken eines weitgehend geschlossenen Betriebskreislaufs wird insbesondere der Tierhaltung und somit der Nährstoffzufuhr über die Wirtschaftsdünger ein besonderer Stellenwert zugesprochen. Aufgrund des limitierten Nährstoffeinsatzes im ökologischen Landbau und der Annahme, dass insgesamt ein niedrigeres Nährstoffniveau auf gesamtbetrieblicher Ebene zirkuliert, sollte auch auf die Kenntnis der Nährstoffgehalte der Düngemittel Wert gelegt werden. Ferner ist zu bedenken, dass für die Nährstoffzufuhr auch die Nährstoffverluste in dieser Prozesskette zu erfassen sind. Aus Gründen des Umweltschutzes und der Nährstoffeffizienz sind Nährstoffverluste möglichst gering zu halten. Jedoch liegen häufig keine oder nur eine geringe Datenbasis von den in der Praxis des ökologischen Landbaus zum Einsatz kommenden Düngemitteln vor. Dies erschwert die Einschätzung der tatsächlichen Nährstoffzufuhren und die praxisentsprechende Aussagefähigkeit von Berechnungsergebnissen wird eingeschränkt. In den speziell für den ökologischen Landbau ausgearbeiteten Standardwerken und Faustzahlen wird bisher meistens noch mit Zahlen aus der konventionellen Landwirtschaft gerechnet (siehe KTBL 2002, 2004 u. 2005).

Ziel war es deshalb, eine Datenbank mit repräsentativen Nährstoffgehalten von organischen Düngern zusammenzustellen, die entweder die Bedingungen einer ökologischen Tierhaltung oder bei pflanzlichem Material einen ökologischen Anbau berücksichtigen. Da bei den Wirtschaftsdüngern eine sehr hohe Schwankung der Nährstoffgehalte bei den organischen Düngemitteln vorliegt, sollte nach wie vor in erster Linie Wert auf eigene Analysen bei den organischen Düngern gelegt werden.

Auf Basis der aktuell vorliegenden Untersuchungen von Wirtschaftsdüngern aus ökologisch wirtschaftenden Betrieben sowie einer Zusammenstellung von entsprechenden Untersuchungsergebnissen von Sekundärrohstoff- und Handelsdüngern werden die Inhaltsstoffe (N/P/K/Mg) in Form

von repräsentativen Mittelwerten ausgearbeitet und im Programm BEFU ggf. von Zeit zu Zeit aktualisiert.

4.2.1 Wirtschaftsdünger

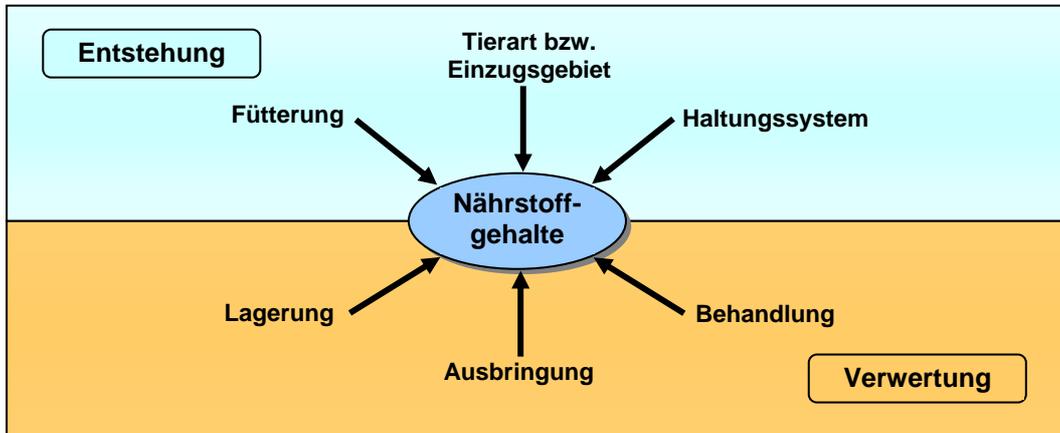


Abbildung 2: Einflussfaktoren auf die Nährstoffgehalte organischer Dünger (nach SCHAAF 1998)

Die Fütterung, Tierart und das Haltungssystem sind die wichtigsten Ursachen für die unterschiedlichen Nährstoffgehalte bei der „Entstehung“ von Wirtschaftsdüngern (Abb. 2). Ebenso beeinflussen die unterschiedlichen Behandlungs-, Lagerungs- und Ausbringungsmaßnahmen des anfallenden Wirtschaftsdüngers die Höhe des Nährstoffangebotes, das dem Boden wieder zugeführt werden kann. Der Nährstoffgehalt beim Festmist wird von der Art und Dauer der Lagerung beeinflusst. Auch das Verhältnis von organisch gebundenem Stickstoff zu Ammoniumstickstoff beeinflusst die Wirkung des organischen Düngers im Boden, wobei neben den bereits genannten „Entstehungsfaktoren“ auch die Lagerung und Behandlung entscheidend beitragen (SCHAAF 1998).

Insbesondere im ökologischen Landbau gibt es nach wie vor sehr vielfältige Haltungsformen. Zum Beispiel können die hohen Schwankungsbreiten in den Nährstoffgehalten durch die sehr verschiedenen Einstreubedingungen und Pflegemaßnahmen bei der Lagerung des Stallmistes in der Praxis erklärt werden. Liegt ein Verdacht für extreme Bedingungen vor, so sollten im Einzelfall Nährstoffanalysen von den Düngemitteln durchgeführt werden.

Anhand der vorliegenden wissenschaftlichen Untersuchungen zeigte sich, dass die Nährstoffgehalte von Wirtschaftsdüngern aus ökologisch bewirtschafteten Betrieben - insbesondere bei Stallmist - durchschnittlich geringer sind als nach den Angaben der „Faustzahlen“ (STEIN-BACHINGER et al. 2004). Dies wird hauptsächlich auf das geringe Nährstoffniveau im ökologisch wirtschaftenden Betrieb zurückgeführt. Diese Situation macht den Bedarf an eigenen Richtwerten für den ökologischen Landbau nochmals deutlich.

In dem PC-Modell REPRO wurden Werte an Inhaltsstoffen von den organischen Düngern (Stallmist, Gülle und Jauche) konkret aus Versuchen (Versuchsstandort Seehausen) hinterlegt. Aus diesen Analysen wurden ca. 5 - 12 % geringere N-Gehalte und bei den $\text{NH}_4\text{-N}$, P- und K-Gehalten keine weiteren Abweichungen im Vergleich zu den allgemeinen Richtwerten organischer Dünger festgestellt (HÜLSBERGEN 2003).

Für die Zusammenstellung der Inhaltsstoffe der Wirtschaftsdünger von ökologisch wirtschaftenden Betrieben wurde hauptsächlich auf die folgenden Datenquellen zurückgegriffen: DEWES & HÜNSCHE (1998), SHEPERD et al. (1999) sowie STEIN-BACHINGER et al. (2004). Weitere einzelne Werte aus ökologischen Haltungsbedingungen wurden von MÖLLER et al. (2003), aus extensiver Tierhaltung (PERETZKI et al. 2004; GEORGE & EGBHAL 2003), von konventionellen Datenquellen des Programms BEFU in Sachsen oder aus den allgemeinen „Faustzahlen“ (KTBL, 2005) entnommen (siehe Tab. 7).

In der ökologischen Tierhaltung kommt es je nach Leitgedanken in der Wirtschaftsweise (z. B. biologisch-dynamisch) zu speziellen Verfahren der Wirtschaftsdüngerbehandlung (z. B. Rotteprozess). Deshalb werden auch bei STEIN-BACHINGER et al. (2004) die Nährstoffgehalte unterschiedlich alter Rindermistkomposte differenziert dargestellt. Im ÖKO-BEFU werden die Werte von Stallmistkomposten mit ca. 7 – 9 Monaten Lagerung aufgenommen, da dies der häufigsten Lagerdauer von Stallmisten in der Praxis entspricht. Weitere Quellen für die Mittelwertbildung für Stallmistkomposte kommen von SAUERLANDT (1952), NOLTE (1989), BERG et al. (1990), PIORR et al. (1991), STEIN-BACHINGER (1993).

Nach DEWES & HÜNSCHE (1998) liegen im Durchschnitt beim Stallmist niedrigere N-Gehalte bei ökologischer Tierhaltung vor, aber mit größeren Schwankungen in den Gehalten gegenüber der konventionellen Gruppe. Dieser Trend zu niedrigeren N-Gehalten ist auch bei Rindergülle zu verzeichnen. Insgesamt ist anhand der vorliegenden Untersuchungsergebnisse im Vergleich zur konventionellen Haltung ein im Durchschnitt 10 % niedrigerer N-Gehalt bei allen Dungarten anzunehmen und dieser Wert wurde in der Mittelwertberechnung der Nährstoffgehalte der im Programm gelisteten Wirtschaftsdünger berücksichtigt.

Tabelle 7: Nährstoffgehalte von Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern sowie Ausbringungsverluste unter weitgehender Berücksichtigung der ökologischen Tierhaltung oder ökologisch erzeugtem Ausgangsmaterial

Düngerbezeichnung/ Handelsname	TM	N	NH ₄	P	K	Mg	Ausbringungsverluste (% N) ausgehend vom N-Gehalt im Dünger				
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	Kurz- fassg.	Langfassung			
								keine	gering	mittel	hoch
Stallmist/Rind	25	0,50	--	0,12	0,66	0,08	14	0	7	14	20
Stallmist/Schwein	25	0,61	--	0,25	0,50	0,12	15	0	7	15	20
Stallmist/Schaf	30	0,80	--	0,22	1,15	0,11	9	0	5	9	15
Stallmist/Ziege	30	0,80	--	0,22	1,15	0,11	9	0	5	9	15
Stallmist/Geflügel	45	1,80	--	0,75	1,10	0,14	17	0	7	17	25
Stallmist/Pferd	25	0,36	--	0,18	0,40	0,11	9	0	5	9	15
Jauche/Rind	2	0,17	--	0,01	0,46	0,01	14	0	7	14	20
Jauche/Schwein	2	0,23	--	0,04	0,30	0,01	15	0	7	15	20
Gülle dünn/Rind	4	0,15	--	0,04	0,16	0,02	18	0	7	18	35
Gülle dünn/Schwein	4	0,23	--	0,10	0,12	0,02	14	0	7	14	30
Gülle dünn/Geflügel	4	0,30	--	0,10	0,17	0,16	14	0	7	14	30
Gülle normal/Rind	8	0,30	--	0,05	0,31	0,04	18	0	7	18	35
Gülle normal/Schwein	8	0,46	--	0,12	0,16	0,05	14	0	7	14	30
Gülle normal/Geflügel	8	0,59	--	0,20	0,32	0,25	14	0	7	14	30
Gülle dick/Rind	12	0,46	--	0,13	0,46	0,06	18	0	7	18	35
Gülle dick/Schwein	12	0,70	--	0,30	0,28	0,07	14	0	7	14	30
Gülle dick/Geflügel	12	0,74	--	0,43	0,34	0,07	14	0	7	14	30
Geflügeltrockenkot	60	2,32	--	0,96	1,47	0,38	17	0	7	17	25
Exkremete Rind	25	1,07		0,20	0,79	0,14	75	0	--	75	--
Exkremete Schaf	30	2,20		0,36	0,29		75	0	--	75	--
Exkremete Pferd	25	0,79		0,22	0,95	0,18	75	0	--	75	--
Silagesickersaft	4	0,14	--	0,03	0,34	0,03	--	--	--	--	--
Strohdüngung	86	0,44	--	0,13	1,41	0,12	--	--	--	--	--
Gründüngung Zwischenfrucht/Frucht	17	0,46	--	0,06	0,49	0,05	--	--	--	--	--
Gründüngung Blatt/Kraut	20	0,31	--	0,05	0,50	0,10	--	--	--	--	--
Ernterückstände Gemüse	15	0,50	--	0,04	0,36	0,03	--	--	--	--	--
Stallmistkompost	35	0,68	--	0,20	0,79	0,17	--	--	--	--	--
Bioabfallkompost	60	0,77	--	0,19	0,62	0,34	--	--	--	--	--
Grüngutkompost	60	0,64	--	0,15	0,44	0,26	--	--	--	--	--
Gärrest Gülle/Rind	5	0,42		0,07	0,29	0,03	18	0	7	18	35
Gärrest pflanzliche Substrate	5	0,39		0,05	0,31	0,04	--	--	--	--	--

Ebenso zeigten sich in den Auswertungen von DEWES & HÜNSCHE (1998) deutlich niedrigere $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteile am Gesamt-N-Gehalt bei Mist und Gülle. Nach Auswertungen aller vorliegenden Ergebnisse aus der ökologischen Tierhaltung konnte dieser Trend im Vergleich zu den konventionellen Werten bestätigt werden. Die bisherigen Auswertungen ergaben bei den Stallmistern allgemein nur 50 %, bei den Gülle 60 - 70 % und bei Jauche (Rind/Schwein) > 70 % geringere $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteile aus ökologischer Haltung im Vergleich zu den konventionellen Werten. Für eine Ableitung von Richtwerten unterliegen diese Ergebnisse jedoch bisher einer zu geringen Datenbasis. Deshalb werden im ÖKO-BEFU die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteile vorerst nicht gelistet, obwohl in Zukunft eine Einschätzung der N-Verfügbarkeit der organischen Dünger auch im ökologischen Landbau von Vorteil sein wird. Die Bedeutung der Düngung mit organischen Stoffen sowie auch der direkte Einfluss der Stickstoffverfügbarkeit über das Verhältnis von Ammonium-N zum Gesamtstickstoff wurde für konventionelle Bedingungen von GUTSER (2004) erläutert. Um den Landwirten eine bessere Einschätzung der Düngewirkung über die organische Düngung zu geben, wurde ein Bewertungsschema zur Stickstoffverfügbarkeit der organischen Düngestoffe im Anwendungsjahr (gemessen am MDÄ) aufgestellt (GUTSER 2004) und von KOLBE (2007) als vorläufiges Schema zum Einsatz im Ökolandbau weiterentwickelt. Jedoch wird eine Überarbeitung des Systems vorzunehmen sein, wenn bestätigte $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteile der organischen Düngemittel im ökologischen Landbau vorliegen werden.

Von den Grundnährstoffen werden insbesondere die P-Gehalte durch die Fütterung und die K-Gehalte durch Haltung und Lagerung beeinflusst. Bei den Auswertungsarbeiten konnten jedoch keine deutlichen Abweichungen bei diesen Inhaltsstoffen festgestellt werden. Die Mittelwerte der Gehalte an P/K/Mg wurden daher für alle Düngeformen aus ökologischen und konventionellen Versuchsergebnissen abgeleitet.

Eine bisher sehr kleine Datenbasis an Werten von Wirtschaftsdüngern zeigte sich vor allem bei den Tierarten mit geringem Haltungsumfang (kleine Wiederkäuer), die aber im ökologischen Landbau durchaus betriebszweigbestimmend sein können (z. B. Ziegenhaltung). Bei den Werten für Stallmist von Schaf, Ziege und auch Pferd wurden Mittelwerte aus konventionellen (Ländereinrichtungen, „Faustzahlen“) und ökologischen Quellen berechnet. Zur Bildung von mittleren Nährstoffgehalten bei Gülle (Geflügel) und Geflügeltrockenkot konnte nur auf konventionelle Quellen zurückgegriffen werden. Hierbei wurde beim Stickstoff ein Abzug von 10 % vorgenommen.

Bei dem Produktionsverfahren „Weide“ wird die auf die Fläche zurückgeführte Nährstoffmenge über die Werte an Nährstoffausscheidungen der jeweiligen Tierart berechnet. Die Datengrundlage an Nährstoffausscheidungen stammt von einer Ausarbeitung der DLG-Arbeitskreise (DLG 2005). Im ÖKO-BEFU wird die anfallende Exkrementen-Menge beim Rind über das Produktionsverfahren „Weide“ mittels einer Verknüpfung mit dem Ertrag (dt FM/ha) des Aufwuchses berechnet und daraus die zurückgeführten Nährstoffmengen ermittelt.

Insgesamt betrachtet konnte von einigen Tierarten noch keine sichere Datenbasis erstellt werden. Zur Abhilfe dieser unsicheren Datenlage wird in den Jahren 2006 - 2007 eine umfassende Erhebung an Wirtschaftsdüngern von ökologisch wirtschaftenden Betrieben im Land Sachsen von der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft durchgeführt. Diese Daten werden nach der Auswertung erneut in die Richtwertetabellen des ÖKO-BEFU einfließen.

Da im ökologischen Landbau die Aufbringung von pflanzlichem Material aus der Grün- und Strohdüngung sowie von Ernterückständen aus der Gemüseproduktion von anderen Betrieben oder auf anderen Flächen durchaus vorkommt, ist eine Auswahloption über diese Fruchtarten mit einer Verknüpfung der erstellten Fruchtarten mit den entsprechenden Inhaltsstoffen von den Versuchsauswertungen aus dem ökologischen Landbau gegeben (siehe Tab. 5). Ein Mittelwert für den Silagesickersaft wurde aus den Werteangaben einiger Länderbehörden zusammengestellt und unter Betrachtung eines ökologisch erzeugten Ausgangsmaterials (Silage) ein N-Abzug von 10 % vorgenommen.

Nach der neuen Düngeverordnung (BMELV, 2006a) sind für die Erstellung der gesetzlich vorgeschriebenen Nährstoffvergleiche (Feld-Stall und aggregierte Schlagbilanz) die N-Gehalte auf Basis der Nährstoffausscheidungen und nicht auf Basis der N-Gehalte in den Wirtschaftsdüngern zu verwenden. Diese Werte über die N-Ausscheidungen und den Dunganfall sind bundeseinheitlich festgelegt worden und müssen ebenso von ökologisch wirtschaftenden Betrieben zur Erstellung eines Nährstoffvergleichs verwendet werden. Eine Ergänzung dieser Werte mit entsprechenden Leistungsniveaus, die im ökologischen Landbau zu erreichen sind, müsste mindestens der Praxis angeboten werden. Für eine aus ökologischen Versuchsergebnissen erstellte Datenbasis über die Nährstoffausscheidungen und den Dunganfall aus der Tierhaltung liegt jedoch bisher keine ausreichende Datengrundlage vor (STEIN-BACHINGER et al. 2004). Nach der Düngeverordnung sind die Werte an abzugsfähigen N-Verlusten vom Gesamt-N der N-Ausscheidungen vorgegeben und müssen bei einem Nährstoffvergleich angewendet werden (siehe Tab. 8).

Tabelle 8: Abzugsfähige N-Verluste (% N vom Gesamt-N) der Ausscheidungen in Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft nach der Düngeverordnung (BMELV, 2006a)

N-Verluste in der Tierproduktion	Rinder		Schweine		Geflügel	Andere (Pferde, Schafe)
	Gülle	Mist	Gülle	Mist	Mist	Mist
Stall- und Lagerungsverluste	15	30	30	35	40	45
Ausbringungsverluste	15	10	10	10	10	5
Weidegang, alle Tierarten	75					

Neben den gesetzlichen Anforderungen können Bilanzen nach wie vor auf Ebene der Nährstoffzufuhr über die Wirtschaftsdünger berechnet werden, wie dies auch in den erweiterten Bilanzierungsansätzen der Fall ist. Hierbei wurden Möglichkeiten zur Differenzierung der NH₃-Verluste vorgenommen. Die Faktoren, die auf die Höhe an Ammoniak-Emissionen bei der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern einwirken, umfassen im Wesentlichen die Witterung, die Einarbeitungszeit und die Ausbringungstechnik (Tab. 9). Unter Berücksichtigung dieser Faktoren können die Verluste in dem erweiterten Ansatz zur Bilanzierung je nach zutreffenden Ausbringungsbedingungen zwischen 3 – 4 Stufen (ohne, gering, mittel, hoch) ausgewählt werden. Die Stufen gewährleisten nur eine grobe Orientierung entsprechend der vorherrschenden Bedingungen zum Ausbringungszeitpunkt. Die Auswahl „mittel“ als Standard sollte gewählt werden, wenn keine Extremlagen vorherrschen. Die Höhe der Ausbringungsverluste bei den Wirtschaftsdüngern ist in Tabelle 7 dargestellt worden. Da bei fachgerechter Ausbringung und bei Vermeidung ungünstiger Ausbringungsbedingungen durchaus ein bedeutendes Potenzial an NH₃-Verlusten vermieden werden kann, werden in der erweiterten Bilanzform die NH₃-Verluste bei organischer Düngung nicht automatisch abgezogen und im N-Saldo extra ausgewiesen.

Tabelle 9: Ausbringungsbedingungen nach Intensitätsstufen der Nährstoffverluste an Stickstoff

Stufe	Ausbringungsbedingungen
hoch	sonnig, warm, verspätete Einarbeitung
mittel	Standard
gering	bedeckt, kühl, sofortige Einarbeitung
keine	-

4.2.2 Komposte

Der Einsatz von Komposten in der Landwirtschaft ist eher als gering einzustufen, hat aber in der landwirtschaftlichen Gemüseproduktion durchaus Bedeutung. Komposte als Sekundärrohstoffdünger unterliegen über den Handel einer Prüfbestimmung, d. h. beim Kauf müssen Analysen über die Inhaltsstoffe des Produktes vorliegen. Vorrangig sollten diese Werte dann Verwendung finden. Die Ausarbeitungen im ÖKO-BEFU dienen als Standardwerte für die Fälle, wenn z. B. bei eigener Erzeugung und Verwendung auf dem Betrieb keine Analysen vorliegen (siehe Tab. 7). Die Kompost-Inhaltsstoffe wurden aus zahlreichen Quellen, auch aus ökologischem Landbau, zusammengestellt und können als repräsentative Mittelwerte entsprechend einem standardisierten TM-Gehalt angesehen werden. Bei den Stallmistkomposten lagen hauptsächlich Quellen aus ökologischem Landbau vor (siehe Wirtschaftsdünger). Der Einsatz von im Handel befindlichen Bioabfall- und Grüngutkomposten ist im ökologischen Landbau nach bestimmten Kriterien der Überprüfung sowie Gütesicherung und nach Bedarfsanerkennung durch die Kontrollstelle (EU-Öko-VO) möglich. Für die Zusammenstellung an Mittelwerten bei den Bioabfall- und Grüngutkomposten wurden folgende

Hauptquellen verwendet: POLETSCHNY (1992), DIEZ & KRAUSS (1994), WAGENITZ (1996), BLW (ohne Jahr), ZVG (2002), KTBL (2000, 2002, 2005), ROGASIK & REINHOLD (2005).

4.2.3 Gärreste

Im zunehmenden Maße überlegen Ökolandwirte in die Biogaserzeugung einzusteigen. Dabei sollten im ökologischen Landbau die Auswirkungen der Vergärung auf den Nährstoffkreislauf beachtet werden. Für die Bilanzierung ist in erster Linie die Veränderung der Nährstoffgehalte im Gärrest entscheidend. Insgesamt kommt es im Gärprozess zu keinen weiteren Nährstoffverlusten. Jedoch verändert sich durch den Masseabbau (C-Abbau) die Nährstoffkonzentration, d. h. das C:N-Verhältnis wird enger. Besonders wichtig ist die Veränderung in der N-Verfügbarkeit, da durch den Gärprozess geringere Anteile von organisch gebundenem N und höhere NH_4 -Anteile vorliegen. GUTSER (2004) bestätigt ebenso die höhere N-Verfügbarkeit von „Biogas-Gülle“ und es treten aufgrund der flüssigeren Konsistenz weniger N-Verluste auf, da eine raschere Infiltration stattfindet. Durch diesen Gärprozess stehen dem Ökolandwirt schnell wirkende Dünger zur Verfügung. Diese „unmittelbare Düngewirkung“ kann von Vorteil sein, da der Stickstoff durch den Leguminosenanbau im Betriebskreislauf eher zeitlich und räumlich fixiert ist (KTBL, 2006).

Derzeit liegen keine Auswertungen an Inhaltsstoffen der Gärreste aus rein ökologisch erzeugten Ausgangssubstraten und Wirtschaftsdüngern vor. Zudem werden bei Biogasanlagen in Ökobetrieben aufgrund zu geringer Auslastung häufig konventionelle Substrate zugekauft. In einer FAL-Studie wurden unter anderem die Veränderungen an den Inhaltsstoffen der Gärreste bei rein pflanzlichem Ausgangsmaterial von einem Ökobetrieb untersucht (WEILAND & SCHRÖDER 2006). Zur Erstellung eines repräsentativen Mittelwertes an Gärresten für das ÖKO-BEFU wurden insbesondere auf ökologisch erzeugte Ausgangssubstrate geachtet. Dabei kann in den Richtwerten die Vielfalt der in der Praxis vorherrschenden Mischungen nicht berücksichtigt werden. Die Inhaltsstoffe der Gärreste wurden daher einerseits für rein pflanzliche Substrate und andererseits auf Basis der Rindergülle festgesetzt. Für bestimmte Mischungsverhältnisse können mit diesen beiden Werten entsprechende Mittelwerte zusammengestellt werden.

Von der KTBL wurde ein „Gärrestrechner“ entwickelt, mit dem die anfallenden Mengen und die Inhaltsstoffe der Gärreste über die Inputdaten der Ausgangssubstrate berechnet werden können (JÄGER 2005). Anhand des Programms wurde von ökologisch erzeugten Ausgangssubstraten (Klee- und Luzernegrass sowie Maissilagen) und Werten aus der FAL-Studie (Klee gras-, Grassilagen und -frischfutter mit Anteilen von Roggen und Kartoffeln) ein Mittelwert für einen Gärrest aus pflanzlichen Substraten berechnet. Für einen Gärrest aus Rindergülle wurde der Ausgangswert der Rindergülle aus ökologischer Tierhaltung mit Werten aus einer konventionellen Quelle (HEIERMANN & PLÖCHL 2003) abgeglichen und ebenso mit dem Gärrestrechner kalkuliert (siehe Tab. 7). Die KTBL plant diesen Gärrestrechner im Internet zur Verfügung zu stellen (JÄGER 2005).

4.2.4 Organische Handelsdünger

Insbesondere im ökologischen Gemüsebau spielt der Einsatz von organischen Düngern vorrangig als Stickstoff-, teilweise auch als P- und K-Quellen eine Rolle. In der im ÖKO-BEFU geführten Nährstoffliste der organischen Dünger (Handelsdünger, Eigenprodukte) sind die in der Praxis ge-läufigsten Düngemittel oder Handelsprodukte aufgeführt (Tab. 10). Eine vollständige Liste aller im ökologischen Landbau nach der EU-Öko-VO einsetzbaren organischen Dünger ist unter <http://www.betriebsmittel.org/> (z.B. FIBL, 2006) einzusehen. Die Nährstoffgehalte der Legumino-senschrote entsprechen den Werten aus ökologischer Erzeugung (siehe Fruchtartenliste im ÖKO-BEFU). Die Inhaltsstoffe der Raps- und Rhizinusschrote, Vinasse, Pilzkultursubstrate und Kartoffel-fruchtwasser wurden aus mehreren Quellen zusammengestellt. Bei den Markenprodukten Maltaflor BIO (Malzkeime), Provita Phytoperls (Maisrückstände), Agro Biosol (Pilzbiomasse) und Provita Haarmehl-Pellets wurden die Inhaltsstoffe aus der FIBL-Liste entsprechend der Deklaration ent-nommen.

Bei den organischen Düngern aus tierischen Produkten wie Hornmehl, -gries, -späne sowie Haar- und Federmehl wurden mehrere Quellen zur Angabe eines Mittelwertes herangezogen. Dabei wurden hauptsächlich die nachfolgenden Quellen verwendet: KTBL (2000), LABER (2000, 2001), GEORGE & EGHBAL (2003), MÖLLER et al. (2003), MÜLLER et al. (2003), HORNISCHER (2004). Die Nähr-stoffgehalte von Knochen- und Fleischknochenmehlen basieren auf umfassenden Untersuchungen aus verschiedenen Quellen (ALBERT & DITTRICH 2005).

**Tabelle 10: Nährstoffgehalte ausgewählter organischer Handelsdünger und von Eigen-
produkten zum Einsatz im ökologischen Landbau (entspr. EU-Öko-VO)**

Düngerbezeichnung/ Handelsname	TM	N	NH ₄	P	K	Mg
	%	%	%	%	%	%
Ackerbohnschrot	86	4,20	--	0,47	1,13	0,16
Erbsenschot	86	3,50	--	0,43	1,06	0,13
Lupinenschrot	86	5,40	--	0,42	0,90	0,16
Rapsschrot	90	5,60	--	0,90	1,25	0,44
Rizinusschrot	92	5,40	--	0,90	1,00	--
Vinasse	69	4,00	--	0,22	6,10	0,17
Maltaflor BIO (Malzkeime)	90	4,00	--	0,44	4,15	--
Provita Phytoperls (Maisrückstände)	95	6,50	--	2,20	0,83	0,36
AGRO BIOSOL (Pilzbiomasse)	99	7,00	--	0,44	0,83	--
Pilzkultursubstrate	39	0,69	--	0,33	0,92	0,08
Kartoffelfruchtwasser	4	0,30	--	0,05	0,50	0,02
Hornmehl, -gries, -späne	98	13,00	--	0,47	0,42	0,26
Haar- und Federmehl	98	13,50	--	0,40	0,16	0,10
Provita Haarmehl-Pellets	95	14,00	--	0,44	0,25	--
Knochenmehl	95	5,00	0,40	9,00	0,30	0,26
Fleischknochenmehl	95	7,00	0,45	6,50	0,30	0,26

5 Bilanzierungsformen

Eine Nährstoffbilanz ist eine Gegenüberstellung von zugeführten und abgeführten Nährstoffmengen unter Zugrundelegung einer Bezugsebene (Betrieb, Schlag) und eines Bilanzzeitraumes (Jahr, Fruchtfolge). Sie dient als Instrument zur Überprüfung des Nährstoffeinsatzes und zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit eines Landnutzungssystems. Einerseits können Nährstoffbilanzen als Planungsinstrumente für die betriebliche Entwicklung zur Ermittlung potenzieller Schwachstellen in der Tierhaltung und im Pflanzenbau eingesetzt werden (STEIN-BACHINGER et al. 2004). Andererseits liefern sie nach außen hin den Nachweis zu umweltverträglichem Verhalten in der landwirtschaftlichen Produktion.

Dabei hat sich insbesondere in den letzten Jahren der N-Bilanzüberschuss als ein anerkannter Schlüsselindikator etabliert, der zur Dokumentation, Analyse und Bewertung der Nachhaltigkeit der landwirtschaftlichen Produktion dient (BACH & FREDE 2005). So erreichen Nährstoffbilanzen auch in agrarpolitischen Entscheidungen (z. B. bei landwirtschaftlichen Förderprogrammen wie KULAP) als Indikatoren eine zunehmende Bedeutung. In der neu gefassten Düngeverordnung (BMELV 2006a) wurden beim Nährstoffvergleich N-Bilanzüberschüsse als Grenzwerte zur Einhaltung der guten fachlichen Praxis festgelegt.

Welche Form der Bilanzierung gewählt wird, ist in erster Linie abhängig von der gewünschten Zielaussage. Des Weiteren bestimmen neben den gesetzlichen Vorgaben vor allem auch die verfügbaren Aufzeichnungen über die Durchführbarkeit und Qualität der jeweiligen Bilanzform. Zum Beispiel erfordert eine Schlagbilanz regelmäßige Aufzeichnungen in einer Schlagkartei. Ebenso entscheidet die Verfügbarkeit und Solidität der Datengrundlage über die Genauigkeit der Bilanzierungsergebnisse (STEIN-BACHINGER et al. 2004). Je nach Bilanzierungsebene können die einzelnen Bilanzdaten als belegbare, geschätzte oder pauschal angesetzte Größen vorliegen und zur Anwendung kommen (Tab. 11). Je mehr mit belegbaren Ausgangsdaten in den Bilanzgliedern gerechnet werden kann, umso weniger anfällig ist eine Bilanz für Fehleinschätzungen und die Aussagegenauigkeit des ermittelten Nährstoffsaldos steigt an (siehe BAUMGÄRTEL et al. 2007).

Tabelle 11: Einstufung der Datenqualität einzelner Bilanzglieder nach ihrer Nachweisbarkeit

Stufe	Nachweis	Darstellung
1	belegt	mit Kauf- oder Verkaufsbelegen
2	berechnet	mit feststehenden nachvollziehbaren Berechnungsverfahren und Richtwerten (z. B. legume N-Bindung)
3	aufgezeichnet	eigene Datenerfassung des Landwirts
4	geschätzt	Menge abgeschätzt (z. B. Futtererträge, Einsatzmengen, Wirtschaftsdünger)
5	pauschal	Pauschalbeträge (z. B. N-Deposition, asymbiotische N-Bindung)

Hof- und Feld-Stall-Bilanzen können Auskunft über die betriebliche Nährstoffverwertung geben (ALBERT et al. 1997a). Nach BACH & FREDE (2005) ist auf einzelbetrieblicher Ebene die Methode der Hofbilanzierung prinzipiell zuverlässiger, da sie weniger Schätzgrößen anwendet und somit weniger fehlerbehaftet ist. Der große Vorteil der Hofbilanzierung liegt somit in der Belegbarkeit des Mengengerüsts, da die Daten vorrangig aus der betrieblichen Buchführung entnommen werden. Bei den Bilanzgliedern in einer Flächenbilanz (Feld-Stall oder Schlag) liegen sehr viele Schätzgrößen insbesondere im Bereich des Futterbaus vor, wo Schätzungen die Qualität der Bilanzergebnisse erheblich beeinträchtigen können. STEIN-BACHINGER et al. (2004) verweist auf bestehende Unsicherheiten bei einzelnen Bilanzgliedern, auch bei der Schlagbilanz, wodurch dem Bilanzsaldo eine gewisse Ungenauigkeit anhaftet. Jedoch ist die Schlagbilanz trotz ihrer zahlreichen Schätzgrößen als ein wichtiges Beratungsinstrument anzusehen, die Aussagen zu einer Optimierung im Nährstoffmanagement separat für jede Schlageinheit treffen kann.

Die Aussagefähigkeit der Bilanzergebnisse ökologisch wirtschaftender Betriebe wird weiterhin dadurch beeinflusst, dass zu den allgemein gültigen (konventionellen) Kennzahlen zusätzliche Abweichungen in den Werten auftreten können, die durch die speziellen Produktionsbedingungen des ökologischen Landbaus oder aufgrund einzelbetrieblicher Verhältnisse zustande kommen (siehe Kap. 3). Von STEIN-BACHINGER et al. (2004) wurde ebenso festgestellt, dass bisher für die Praxis kaum von Expertenebene ausgearbeitete Schätzverfahren und Kennzahlen aus Untersuchungen des ökologischen Landbaus vorliegen. So ist vor allem für den ökologischen Landbau eine richtige Schätzung der legumens N-Bindung in der Bilanzierung sehr bedeutend, da der Leguminosenanbau meistens hohe Fruchtfolgeanteile einnimmt (Tab. 12).

Tabelle 12: Bewertung einzelner Bilanzglieder oder Parameter für den ökologischen Landbau in einer Bilanzierung

Bilanzglieder/ Parameter	Erläuterungen	Bedeutung Ökolandbau	Berechnungs- od. Schätzsicherheit
Legume N-Bindung	zum Teil hohe Fruchtfolgeanteile im Leguminosenanbau, wichtig für die N-Bilanz, da entscheidende N-Zufuhr für Ökobetriebe	hoch	gering bis mittel
Nährstoffentzug im Erntegut: a. Ertragsniveau b. Nährstoffgehalte	a. keine Wägung, geringe Kenntnisse in der Schätzung der Ertragsmengen (vorrangig im Feldfutterbau) b. standort- und bewirtschaftungsbezogene Nährstoffgehalte der Kulturen liegen nicht vor	a. hoch b. mittel	a. mittel b. mittel
Wirtschaftsdünger: a. Anfall b. N-Verluste c. Nährstoffgehalte	Hauptinflussfaktoren sind Fütterung, Haltung und Lagerung, diese Faktoren können im Ökolandbau aufgrund anderer Fütterungs- und Haltungsbedingungen sehr stark abweichen, es liegen keine umfangreichen Ergebnisse aus der Ökolandbaupraxis vor	a. hoch b. hoch c. hoch	a. gering b. gering c. gering

Quelle: eigene Erstellung unter Einbeziehung von STEIN-BACHINGER et al. (2004)

Werden Nährstoffbilanzen vorrangig als Beratungsinstrument zur Betriebs- und Fruchtfolgeplanung eingesetzt, sollte ein hoher Anspruch auf systementsprechende Datengrundlagen und auch auf eine möglichst vollständige Erfassung von Nährstoffein- und -austrägen gestellt werden. Dabei wird dem Stickstoff aufgrund seiner Dynamik und Umweltrelevanz auf der Eintrags- wie Verlustseite eine besondere Bedeutung zugesprochen. In der Nährstoffbilanzierung des ökologischen Landbaus sollte dabei auf die häufigsten Formen der Stickstoffquellen (legume N-Bindung und organische Düngung) Wert gelegt werden. Häufig ist eine Vergleichbarkeit der Bilanzergebnisse (Salden) aufgrund methodisch bedingter Unterschiede nach den Bilanzformen nicht gegeben, da insbesondere bei den N-Salden die N-Einträge oder -Verluste unterschiedlich angesetzt oder teilweise nicht berücksichtigt werden. Einen Überblick über die zu behandelnden Bilanzformen gibt Tabelle 13.

Tabelle 13: Einordnung der Bilanzformen nach ihrer Anwendbarkeit

Bilanzform	Ergebnis/Aussagefähigkeit	Anwendung
Hoftor	hohe Datenqualität aufgrund der Belegbarkeit, Überprüfung der Düngungsintensität auf Betriebsebene, keine Vollwertigkeit aufgrund des Fehlens von Bilanzgliedern	Bilanzierungen auf Betriebsebene, sektoraler, regionaler und nationaler Ebene, für Betriebsvergleiche, agrarpolitische und administrative Verwendung
Hoftor (Brutto)	wie bei Hoftor, mit erweiterter Erfassung von Bilanzgliedern, Vollwertigkeit aufgrund Bruttobilanzierung	wie bei Hoftor, sehr hoher Informationsgehalt, Beratungsinstrument zur Bewertung von Betriebssystemen, zur Betriebsplanung und Umweltsicherung
Schlag	detaillierte Erfassung pro Schlag, Unsicherheiten aufgrund der häufigen Schätzgrößen, insbesondere bei tierhaltenden Betrieben (Futterabfuhr, Wirtschaftsdünger), keine Vollwertigkeit aufgrund des Fehlens von Bilanzgliedern	hoher Informationsgehalt zum Nährstoffmanagement, Instrument zur Fruchtfolge- und Düngeplanung, Szenarienrechnungen
Schlag (Brutto)	wie bei Schlagbilanz, jedoch erweiterte und detailliertere Erfassung von Schätzgrößen u.a. Bilanzgliedern, Vollwertigkeit aufgrund Bruttobilanzierung	Detaillierter, sehr hoher Informationsgehalt, Beratungsinstrument zur Einschätzung der Bodenfruchtbarkeit, Nachhaltigkeit und Umweltschutz (auch administrativ), Einsatz bei Bewertung von Betriebssystemen, bei der Betriebsplanung
Flächenbilanz	gesetzliche Ebene mit bundeseinheitlichen Richtwerten (Nährstoffausscheidungen der Tiere, evtl. N-Gehalte der Kulturen), keine Vollwertigkeit aufgrund des Fehlens von Bilanzgliedern	neue Düngeverordnung, Erfassung der Effizienz des Wirtschaftsdüngereinsatzes

5.1 Hoftorbilanz

Bei der Hoftorbilanz werden nur die „über das Hoftor“ gehenden Nährstoffmengen in den Zu- und Verkaufsprodukten erfasst. Bilanzierungsebene ist der landwirtschaftliche Betrieb. Dabei bleiben die innerbetrieblichen Nährstoffflüsse mit betriebseigenen Futtermitteln und Wirtschaftsdüngern außer Betracht. Auf der Zufuhrseite werden die Zukäufe/Zugänge von Wirtschaftsdüngern, sonstigen organischen und mineralischen Düngern, Futtermitteln und Tieren unter Berücksichtigung von Bestandesveränderungen und die N-Zufuhr über die legume N-Bindung verzeichnet. Diese werden den Abfuhr über die Verkäufe/Abgabe von pflanzlichen und tierischen Produkten, Wirtschaftsdüngern und anderen organischen Düngern sowie Saat- und Pflanzgut gegenübergestellt. Dabei können auch die N-Verluste aus der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern sowie die Bestandesveränderungen bei Vorräten und Tieren angerechnet werden. Der Nährstoffsaldo kann auf die gesamte Betriebsfläche (kg NPK/Betrieb) oder als Mittelwert je Hektar bewirtschafteter Flächen bezogen werden (kg NPK/ha) (Abb. 3).

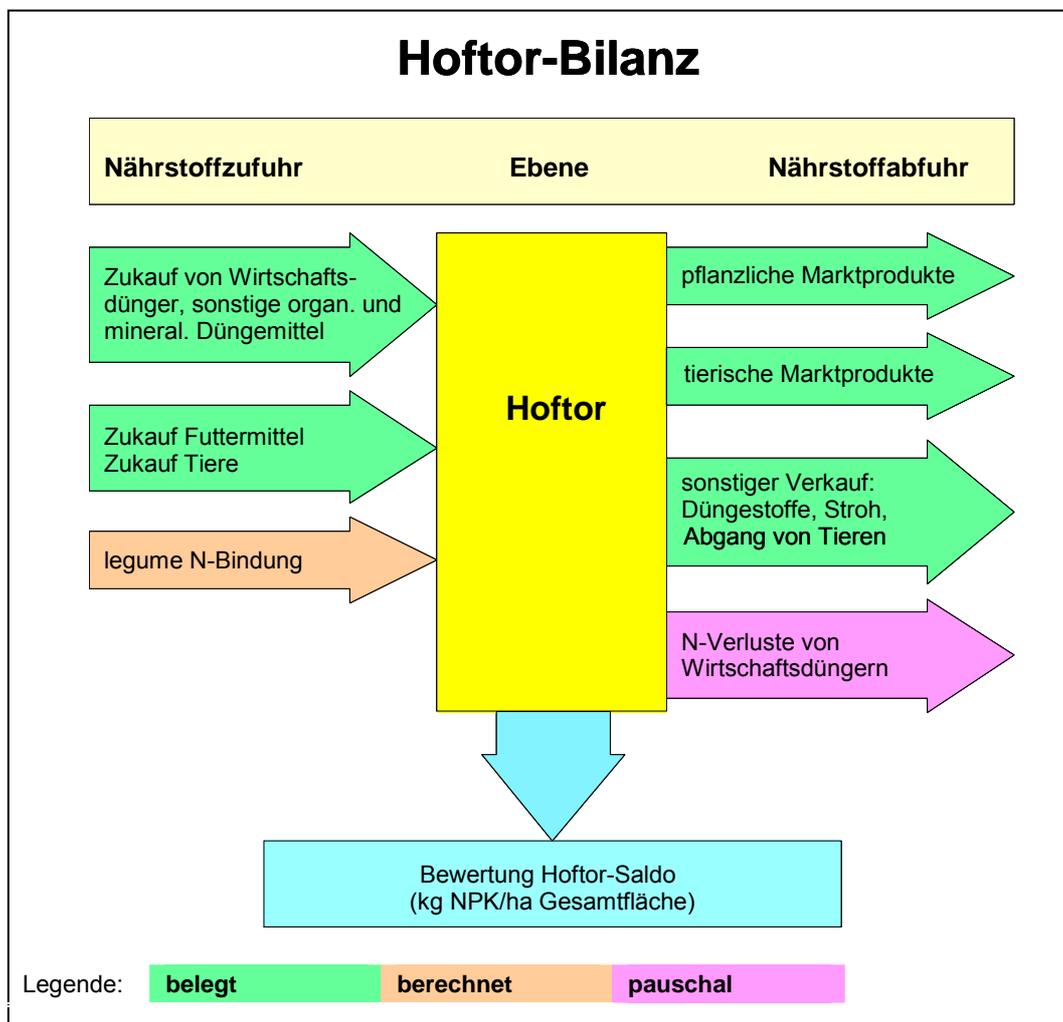


Abbildung 3: Hoftor-Bilanz nach dem Ansatz einer Hoftor-Flächenbilanz - Kurzfassung

In der Hoforbilanz werden zum größten Teil nur die Daten erfasst, die anhand der betrieblichen Buchführung entnommen werden können. Aufgrund der überwiegend belegbaren Daten für die Bilanzglieder wird der Hoforbilanz eine hohe Aussagegenauigkeit zugesprochen. Dafür sollte möglichst ein längerer Betrachtungszeitraum (mindestens 3 Jahre) einbezogen werden (STEINBACHINGER et al. 2004), um so die zum Teil auftretenden großen jährlichen Schwankungen oder Bestandesveränderungen je nach Wirtschaftsjahr besser erfassen und ausgleichen zu können. Hoforbilanzen werden häufig bei der Erstellung von nationalen oder sektoralen Bilanzen angewendet, bei der der landwirtschaftliche Betrieb als „black box“ betrachtet wird.

Nach wie vor bestehen die größten Schätzunsicherheiten in der Bilanzierung bei der Erfassung der innerbetrieblich verwerteten Futtermittel (Grünland, Feldfutterbau und andere Futterpflanzen). Diese Bewertung trifft insbesondere für viehhaltende Betrieben zu (BACH & FREDE 2005). Da diese Bilanzglieder in der Hoforbilanz nicht erfasst werden, gilt die Hoforbilanzmethodik als einfach und zuverlässig. Aufgrund der geringeren Anfälligkeit gegenüber Schätzfehlern wird diese Bilanzform von der VDLUFA auch im Umweltsicherungssystem Landwirtschaft (USL) vertreten. Nach BACH & FREDE (2005) ist aber in der Hoforbilanz die Datengrundlage zur Berechnung der legumen N-Bindung ebenso eine weniger abgesicherte Bilanzgröße.

Hoforbilanzen bieten nach dem derzeitigen Stand die beste Grundlage z.B. für die Überprüfung der Düngungsintensität auf Betriebsebene (BACH & FREDE 2005). Von BAUMGÄRTEL et al. (2007) wird eine Hoforbilanz-Flächenbilanz empfohlen, da dadurch die Zuverlässigkeit der Hoforbilanz und die Aussagefähigkeit der Flächenbilanz kombiniert werden. Bei dieser Bilanzform werden N-Verluste aus den Wirtschaftsdüngern entsprechend gesetzlich vorgeschriebenen Werten bei den Nährstoffabfuhrungen abgezogen. Diese N-Verluste können (im Saldo) auch extra ausgewiesen werden. Ein Nachteil ist, dass der mittlere flächenbezogene N-Saldo aus der Hoforbilanz keine Bewertung der Bewirtschaftung der einzelnen Flächen des Betriebes zulässt (SCHEFFER et al. 2004). Werden bei der Hoforbilanz auf der Zufuhr- und Abfuhrseite nur die Pfade ausgefüllt, die die Tierhaltung des Betriebes betreffen, so kann eine Stallbilanz berechnet werden. Der ermittelte Saldo stellt hierbei die Nährstoffausscheidungen dar.

5.2 Feld-Stall-Bilanz bzw. Flächenbilanz

Die Feld-Stall-Bilanz gehört zu den Flächenbilanzen und wird auf der Ebene der betrieblichen Bilanzfläche (kg NPK/ha) saldiert (Abb. 4). Entsprechend der neuen Düngeverordnung (BMELV 2006a, b) müssen die Nährstoffe Stickstoff und Phosphor (kg/ha) je nach vorgegebener Bilanzform saldiert werden. In der Flächenbilanz des PC-Programms BEFU können die Nährstoffe N/P/K (kg/ha) bilanziert werden. Als Nährstoffzufuhr werden neben den Zukäufen an organischen und mineralischen Düngemitteln der Wirtschaftsdüngeranfall auf Basis der Nährstoffausscheidungen der landwirtschaftlichen Nutztiere und die legume N-Bindung festgehalten. Auf der Abfuhrseite werden alle pflanzlichen Produkte (Marktfrüchte, sowie alle weiteren Ernteprodukte, die von der Fläche genommen werden (Stroh, Futter), aufgeführt.

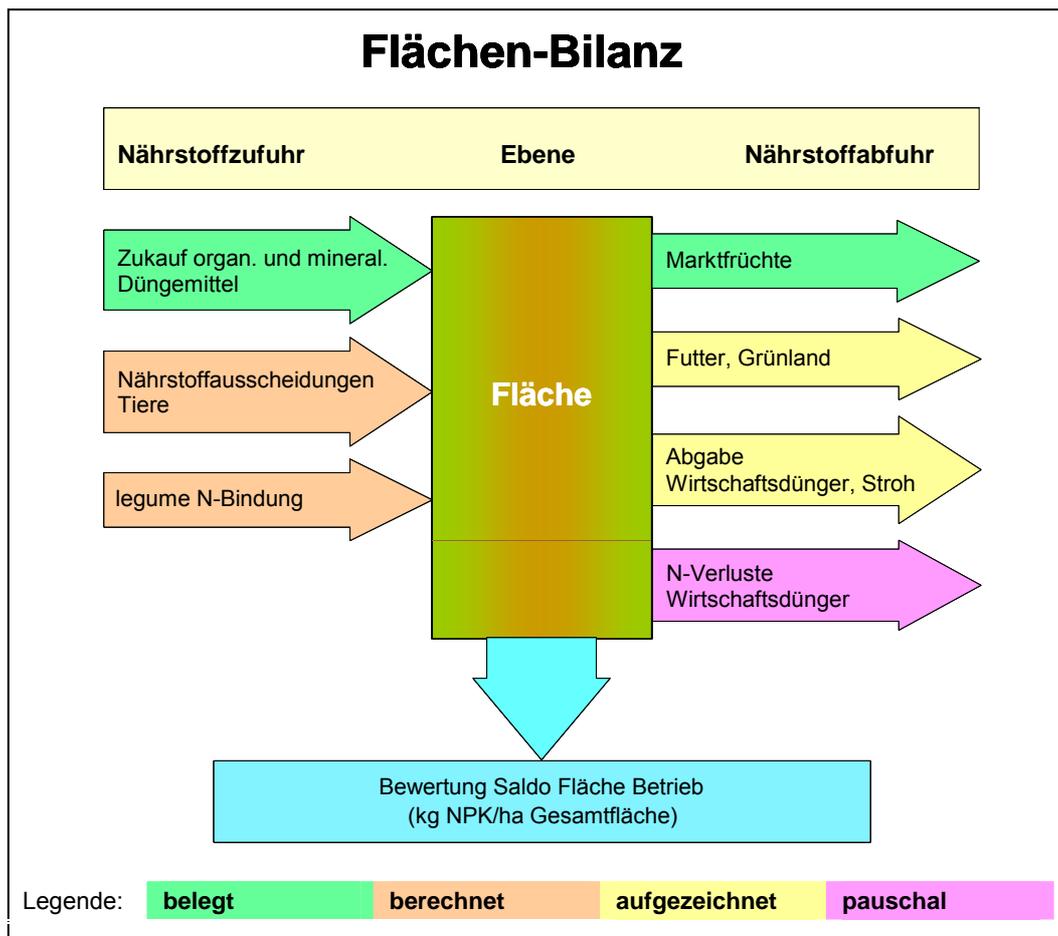


Abbildung 4: Beispiel einer Flächenbilanz

Gegenüber den Zufuhren über die Nährstoffausscheidungen aus der Tierhaltung werden auf der Abfuhrseite die N-Verluste aus der Lagerung angesetzt. Die maximal anzurechnenden N-Verlusthöhen aus der Tierhaltung (NH₃-Verluste bei Lagerung und Ausbringung) sind in der Flächenbilanz entsprechend der Düngeverordnung (BMELV 2006a, b) geregelt.

Auf der Seite der Nährstoffzufuhren werden die zugekauften organischen und mineralischen Düngemittel über die Auswahl der Dünger berücksichtigt und die legume N-Bindung über die Auswahl der Kulturen mit Angabe der Erträge und dem gesamten Flächenumfang (ha) berechnet. Auf der Nährstoffabfuhrseite werden alle Marktfrüchte und alle weiteren Ernteprodukte, die den Bilanzflächen entzogen werden (z. B. Futtermittel, Strohabfuhr usw.), angerechnet.

Im Gegensatz zu den Hoforbilanzen geht bei den Flächenbilanzen der Nährstoffanfall aus der Tierhaltung an Stelle von Futtermittel- und Viehzukauf in die Bilanz ein und informiert so detaillierter über die Nährstoffbewegungen im Betrieb (ALBERT et al. 1997a). Jedoch beeinträchtigt insbesonde-

re bei viehhaltenden Betrieben die Schätzgrößen über den Anfall an Wirtschaftsdünger sowie die geschätzten Futterpflanzen- und Grünlanderträge die Aussagesicherheit (GUTSER 2006).

Nach der Düngeverordnung (BMELV 2006a, b) ist festgelegt worden, dass für einen Nährstoffvergleich und eine Düngebedarfsermittlung die vorgegebenen bundeseinheitlichen Richtwerte zu verwenden sind. Dabei müssen bei einem Nährstoffvergleich der Stickstoffanfall (Dunganfall und N-Ausscheidungen) der landwirtschaftlichen Nutztiere und bei einer Düngebedarfsermittlung zusätzlich die Stickstoffgehalte der pflanzlichen Erzeugnisse von diesen vorgegebenen Richtwerten eingesetzt werden. Bei der Ausarbeitung des bundeseinheitlichen Richtwertekatalogs sind die Produktionsbedingungen des ökologischen Landbaus bisher weitgehend nicht berücksichtigt worden. Ausnahmeregelungen zur Zulassung anderer, entsprechend an die speziellen Produktionsweisen wie z. B. dem ökologischen Landbau besser angepassten Richtwerten, können von den Länderbehörden erhoben werden.

Bei den vorgegebenen Richtwerten an N-Ausscheidungen (kg N/Stallplatz und Jahr) sind im begrenzten Umfang Leistungsniveaus auswählbar. Jedoch handelt es sich bei dieser Differenzierung auch nicht genau um eine entsprechende Berücksichtigung ökologischer Haltungs- und Fütterungsbestimmungen. Zum derzeitigen Stand liegen jedoch auch keine bundesweit umfassenden Untersuchungen zu Nährstoffausscheidungen aus ökologischer Tierhaltung vor (RAHMANN 2006), die als Richtwertvorgaben dienen könnten. Durch diese gesetzliche Vorgabe nach der neuen Düngeverordnung (BMELV 2006a) wird daher kaum eine Verbesserung der Aussagekraft der Nährstoffvergleiche für den Ökolandbau erreicht. Jedoch werden Nährstoffbilanzen, die für einen über die gesetzliche Regelung hinaus gehenden Beratungsansatz zum Einsatz kommen und mit praxis- und systementsprechenden Kennzahlen und Verfahren ausgearbeitet sind, immer wichtiger.

5.3 Schlagbilanz

Bei einem Schlag handelt es sich um eine einheitlich bewirtschaftete, räumlich zusammenhängende und mit der gleichen Kultur bewachsene oder zur Bestellung vorgesehene Fläche (BAUMGÄRTEL et al. 2007). Bei der Schlagbilanz werden die Nährstoffzufuhren (Wirtschaftsdünger, organische und mineralische Düngemittel sowie legume N-Bindung) zur Schlagfläche und die Nährstoffabfuhr (pflanzliche Ernteprodukte) von der Schlagfläche gegenübergestellt. Die Schlagbilanz entspricht einer Flächenbilanz und der Nährstoffsaldo gibt Auskunft über Verluste bzw. Vorratsänderungen im Boden (BIERMANN 1995). Voraussetzung für diese Bilanzierungsform sind jedoch schlagbezogene Aufzeichnungen.

Unter den gesamten Bilanzformen erreicht die Schlagbilanz die kleinste Systemebene, um die Nährstoffsituation feldbezogen für jede Kultur oder Fruchtfolgebezogen über mehrere Jahre zu erfassen. Sie können nur in Betrieben solide erstellt und überprüft werden, wenn schlagbezogene Aufzeichnungen und Ausbringungsnachweise über Mineral- und Wirtschaftsdünger vorliegen und die Erträge möglichst gewogen werden (BACH & FREDE 2005). Meistens entsteht aber kein zusätzli-

cher Dokumentationsaufwand für den Landwirt, da das Führen von Schlagkarteien zur guten fachlichen Praxis gehört.

Eine sorgfältige Dokumentation über die erforderlichen Daten des Betriebes sichert die Basis für genaue Bilanzergebnisse. Schlagbezogene Bilanzen liefern im Vergleich zu den anderen Bilanzformen den höchsten Informationsgehalt für den Landwirt, da aus den Salden (Überschuss oder Mangel) eine direkte Schlussfolgerung auf die Düngung gezogen werden kann (ALBERT et al. 1997a). Dadurch werden Daten aus langjährig geführten Schlagkarteien für die Aussagefähigkeit von Bilanzen immer wertvoller. Kritiken an dieser Bilanzform beziehen sich meistens auf den zu hohen Dokumentationsaufwand sowie auf eine unsichere Schätzung einiger Bilanzierungsgrößen. Eine weitere Fehlerquelle bei der Bilanzierung von Ökobetrieben kann in der Anwendung von schlagbezogenen Richtwerten aus Standardwerken oder Faustzahlen liegen, wenn es sich hierbei um konventionelle Datengrundlagen handelt. Auch liefern die für Ökobetriebe aufgrund der EU-Öko-VO oder nach den Verbandsrichtlinien vorgeschriebenen Dokumentationsvorschriften keine bessere Informationssicherheit über die nach wie vor bestehenden unsicheren Bilanzgrößen.

BACH & FREDE (2005) verweisen auf die bestehenden Unsicherheiten bei der Erfassung der N-Zufuhren in einer Flächenbilanz, wenn es insbesondere um die Erfassung der innerbetrieblich erzeugten und verwerteten Nährstoffmengen geht (Futtermittel, wirtschaftseigene Dünger). In den Flächenbilanzen nach den Systemebenen Feld-Stall oder Schlag werden Wirtschaftsdüngeranfall bzw. -einsatz sowie Futterpflanzen- und Grünlanderträge weitgehend geschätzt. Je größer der Anteil des Futterbaus ist, umso größer wirkt sich ein Fehler in der Mengenerfassung für das Bilanzergebnis aus. Ferner können bei den Schlagbilanzen im Einzelfall aufgrund kleinerer Bezugsseinheiten stärkere Abweichungen von den repräsentativen Mittelwerten auftreten als bei größer zusammengefassten Produkteinheiten.

Aufgrund der Anzahl an Schätzgrößen in der Schlagbilanz eignen sich diese speziell bei viehhaltenden Betrieben kaum für eine außerbetriebliche Verwertung. Innerbetrieblich ist der Saldo für eine Schwachstellenanalyse zur Optimierung der Düngung geeignet (GUTSER 2006). Jedoch liefern allein Schlagbilanzen die notwendigen Informationen für Landwirte und Beratung, um das betriebliche N-Management bzw. die Düngungsplanung zu optimieren (BACH & FREDE 2005). Schlagbilanzen ersetzen aber keine vorab durchzuführende Düngebedarfsermittlung. Dabei ist zu beachten, dass bisher keine praktikable Methode zur Düngebedarfsermittlung im ökologischen Landbau vorliegt. In Bezug auf das Düngungsmanagement liefern die N-Salden der Schlagbilanzen vorrangig Auskunft über eine nachhaltige Bewirtschaftung, wenn sie für einen längeren Zeitabschnitt, mindestens aber für eine gesamte Fruchtfolge berechnet worden sind.

Mit dem Ziel eine hohe Aussagegenauigkeit in der Bilanzierung für den ökologischen Landbau zu erhalten, wurde bei der Erstellung der Schlagbilanzen im Programm BEFU verstärkt auf die Bilanzierungsgrößen eingegangen, die für diese Produktionsweise am wichtigsten sind. Dies bedeutet,

dass auf Ebene des Schlags insbesondere der Feldfutterbau mit Leguminosen und Leguminosengemenge mit seinem Ertragsniveau und dem N-Bindungspotenzial im Vordergrund der Ausarbeitung der Bilanzglieder stand.

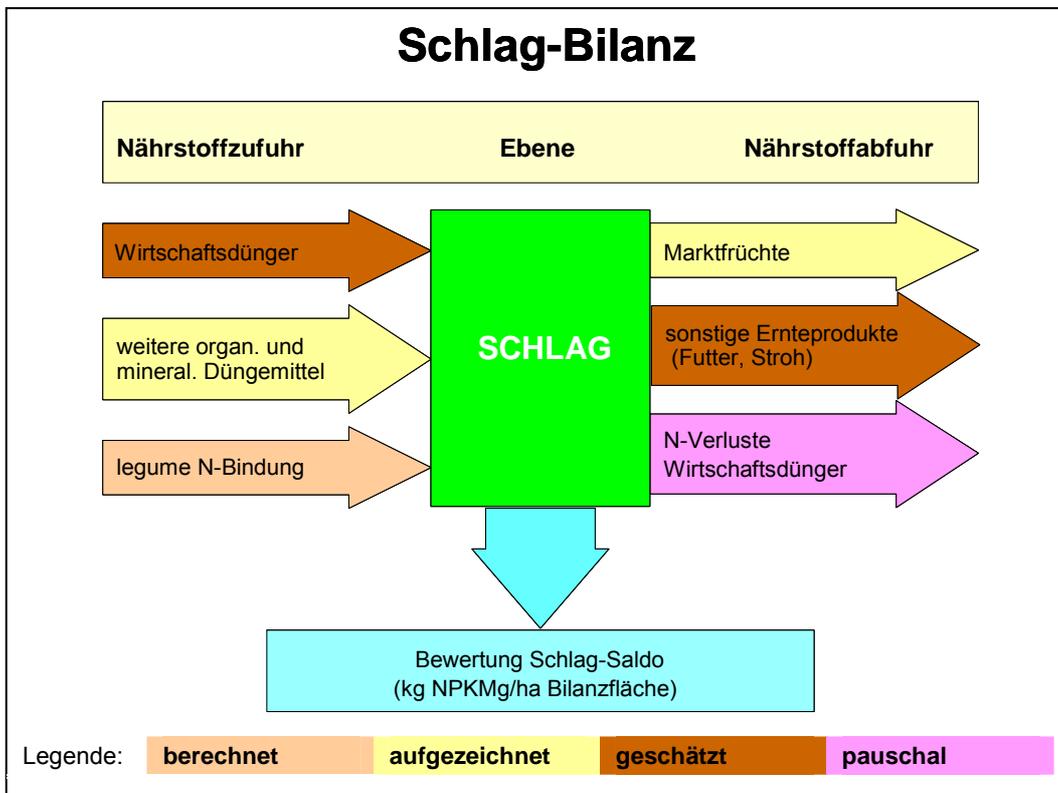


Abbildung 5: Schlagbilanz - Kurzfassung

Die Nährstoffab- und -zufuhren werden je Schlageinheit und jährlich erfasst (Abb. 5). Diese Ebene hat den Vorteil, dass eine Saldierung in direktem Bezug auf eine Kultur vorgenommen werden kann. So ist zum Beispiel auf Basis einer Schlagbilanz zu erkennen, ab welchem Ertragsniveau oder bei welcher Nutzungsvariante im Futterleguminosenanbau insgesamt ein positiver oder negativer N-Saldo hinterlassen wird.

Zur Berechnung der Nährstoffzu- und -abfuhr ist neben den entsprechenden Nährstoffgehalten vor allem eine richtige Erfassung der Erträge im Pflanzenbau oder der Düngermengen wichtig. Vorrangiges Problem in der Praxis ist die Ertragsermittlung bei den Futterpflanzen. Nach wie vor liegt eine geringe Kenntnis über das Ertragspotenzial der Kulturen vor. STEIN-BACHINGER et al. (2004) haben auf die Wichtigkeit einer richtigen Ertragsschätzung hingewiesen, da der Ertrag eine stark beeinflussende Größe in der Bilanzierung ist. Ebenso beeinflusst bei der Berechnung der legumen N-Bindung der Ertrag und bei Gemengen auch der Leguminosenertragsanteil die Exaktheit der Ergebnisse (siehe Kap. 3).

Für die Schlagbilanzierung im Programm BEFU, Teil ökologischer Landbau, ist eine Datenbank mit den speziellen Nährstoffgehalten der im ökologischen Landbau relevanten Kulturarten sowie die Nährstoffgehalte der Wirtschaftsdünger und weiterer organischer Düngemittel hinterlegt worden (siehe Kap. 4). Dabei wurde insbesondere auf eine Ausarbeitung entsprechender Nährstoffgehalte bei den Wirtschaftsdüngern Wert gelegt, da die inhaltsstoffbestimmenden Parameter wie Fütterung, Haltung und Lagerung zum Teil sehr deutlich von den konventionellen Bedingungen abweichen können. In der Kurzfassung der Schlagbilanz werden bereits die Nährstoffverluste in den Nährstoffgehalten der Wirtschaftsdünger durch die Lagerungs- oder Rotteprozesse berücksichtigt.

Die Anrechnung dieser Ausbringungsverluste entspricht der gesetzlich vorgeschriebenen maximalen Anrechnung an N-Verlusten vom Gesamt-N. Diese Abzüge an N-Verlusten wurden aber von der Basis der N-Gehalte der „ausbringungsfertigen“ Dünger berechnet. Somit entspricht diese Form nicht mehr den Anforderungen nach der neuen Düngeverordnung, die als Basis die N-Ausscheidungen festlegt (BMELV, 2006a). Nach der neuen Düngeverordnung ist zwar die Form einer aggregierten Schlagbilanz neben der Feld-Stall-Bilanz als Nährstoffvergleich anzuwenden. Jedoch sind die Nährstoffzufuhren in einer Schlagbilanz nicht auf Basis der Nährstoffausscheidungen der Tiere zu berechnen. Ferner fehlt für eine systementsprechende Ausarbeitung von Kennzahlen an N-Ausscheidungen für den ökologischen Landbau die Datenbasis. Aus diesem Grunde wird in der Kurzfassung der Schlagbilanz die Nährstoffgehalte der Düngemittel verwendet. Auf diese Form der Schlagbilanz im BEFU wird aber weiterhin Wert gelegt, da sie nach wie vor einen hohen Informationsgehalt liefert, bei gleichzeitig einfacher und schneller Handhabung für die Praxis.

Bei Weidenutzung wirken auf die Nährstoffflüsse insbesondere die Dauer der Beweidung und die Besatzdichte ein. Eine Schlagbilanzierung bei Weidenutzung durchzuführen, ist in Bezug auf eine genaue Erfassung der bestimmenden Parameter ebenfalls sehr schwierig und es besteht noch ein erheblicher Forschungsbedarf (SCHEFFER et al. 2004). Im Programm BEFU wird der Nährstoffrückfluss bei Weidegang über den Jahresertrag des Aufwuchses kalkuliert, da über den Ertrag das Niveau der tierischen Leistung abgeleitet werden kann. Die Basis der Nährstoffgehalte bilden die bundeseinheitlichen Werte der Nährstoffausscheidungen der Tiere.

Für eine Berechnung einer durchschnittlichen Flächenbilanz auf Schlagebene (= aggregierte Schlagbilanz) müssen alle Schläge eines Betriebes mit den jeweiligen Flächenangaben dokumentiert werden. Aufgrund der unterschiedlichen Ansätze im N-Saldo sowie der mangelnden Datenqualität bei den Schlagbilanzen vertreten BAUMGÄRTEL et al. (2007) den Standpunkt, dass die Aggregation der Schlagsalden zu einem betrieblichen Flächensaldo daher fehlerhaft ist. Diese Form der Bilanzierung sollte nicht allein als ein gesetzlicher Nährstoffvergleich festgelegt werden.

5.4 Brutto-Bilanzierung

Insbesondere bei Szenarienrechnungen (z.B. Vergleich von Anbausystemen, Düngungsstrategien, Anbauszenarien etc.) können bestimmte Bilanzglieder der Zufuhr und/oder Abfuhr, die für alle gewählten Bedingungen gleichgroß bleiben, aus der Bilanzierung herausgelassen werden. Das ist bei den bisher vorgestellten Formen der Fall, wobei z.B. keine Angaben über die N-Deposition über die Atmosphäre aufgeführt worden sind.

Steht aber auch die Beurteilung der Umweltverträglichkeit oder der Bodenfruchtbarkeit im Vordergrund der Betrachtung, so müssen alle (wichtigen) Glieder Berücksichtigung finden, also auch die N-Deposition, asymbiotische N-Bindung, Saat- und Pflanzgut-N, etc. Dies ist umso wichtiger, je extensiver die zu beurteilenden Anbauformen ausgestaltet sind (siehe KOLBE 2004). Aus diesen Gründen sind entgegen der eigenen Einschätzung mit dem VDLUFA-Standpunkt zur Nährstoffbilanzierung keine sicheren Abschätzungen sowohl zur Umweltverträglichkeit als auch zur Bodenfruchtbarkeit möglich (BAUMGÄRTEL et al. 2007). Folglich muss der Einsatz dieser unvollständigen Bilanzierungsformen auf den angesprochenen Gebieten im Ökolandbau abgelehnt werden.

5.4.1 Hoftor-Brutto-Bilanz

Im Vergleich zur Hoftorbilanz (s. Kap. 5.1) werden bei der Hoftor-Brutto-Bilanz auf der Seite der Zufuhren die asymbiotische N-Bindung, der Zukauf an Saat- und Pflanzgut sowie die N-Deposition (Netto) berücksichtigt (Abb. 6). Auf der Abfuhrseite werden die N-Verluste der tierischen Ausscheidungen aus Stall, Lagerung und Ausbringung entsprechend den Vorgaben der Tabelle 8 erfasst und extra ausgewiesen.

Im Programm BEFU können die voreingestellten Werte dieser Bilanzparameter deutlich verändert werden, so dass sowohl eine Hoftorbilanz entsprechend einer Kurzform (Kap. 5.1) als auch verschiedene erweiterte Formen einer Bruttobilanzierung möglich sind. So kann z.B. die Höhe der auftretenden N-Verluste aus Stall-, Lagerung und Ausbringung verändert werden. Bei einem 100%igen Verlust (= Voreinstellung) verlassen die gesamten NH_3 -Verluste den Betrieb und werden daher bei der Saldierung vollständig abgezogen. Je größer die zu bewertende Flächeneinheit ist, umso höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Teil oder die gesamten ausgewiesenen NH_3 -Verluste auf diese Fläche wieder eingetragen werden. Entsprechend des angenommenen Verlustanteils kann daher im Extremfall der voreingestellte Wert bis auf Null Prozent verändert werden.

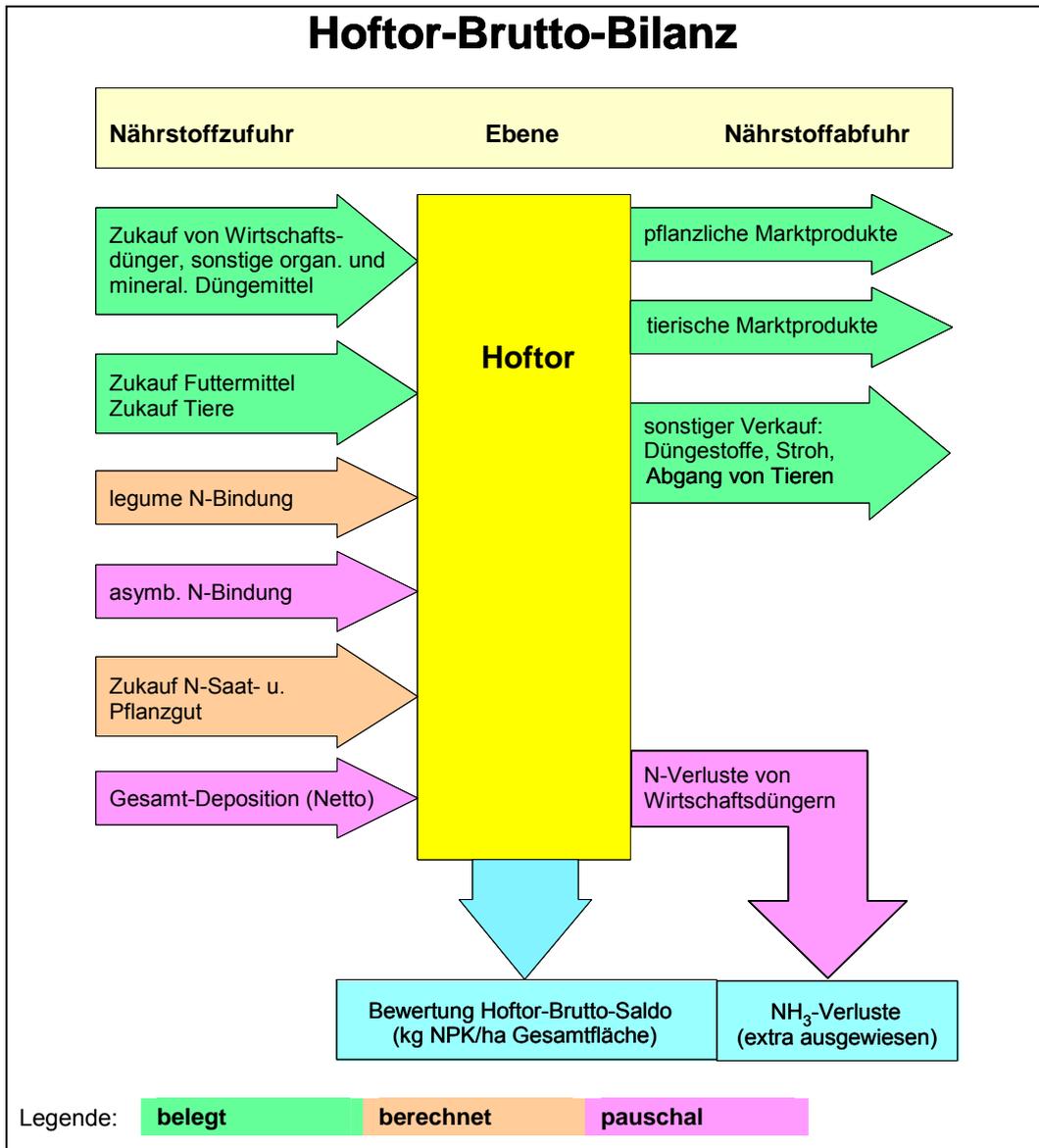


Abbildung 6: Hofor-Brutto-Bilanz

5.4.2 Schlag-Brutto-Bilanz

Die Schlagbilanz (brutto) unterscheidet sich gegenüber einer Nettobilanzierung (nach der Kurzfassung) im Saldierungsansatz beim Stickstoff (siehe auch Kap. 6). Mit dem Bruttoansatz in der N-Saldierung wird vorrangig verfolgt, möglichst alle N-Einträge, die auf landwirtschaftliche Flächen eingehen, als quantifizierbare Bilanzierungsgrößen zu erfassen. Ähnliche Bilanzierungsansätze werden auch in anderen wissenschaftlichen Arbeiten und bei anderen Modellen angewendet (HÜLSBERGEN 2002; BACH & FREDE 2005).

Mittels einer vollständigen N-Bilanzierung wird versucht, den Stickstoffhaushalt in der landwirtschaftlichen Produktion detaillierter zu beschreiben, um möglichst genaue Auswirkungen für die Umwelt und die Bodenfruchtbarkeit aufzeigen zu können. Von administrativer Seite wird häufig der Standpunkt vertreten, bei nicht exakt erfassbaren Bilanzgrößen, diese bilanzmäßig außer Ansatz zu lassen. Dies wird z. B. häufig für die Gesamt-N-Deposition angenommen. Wegen der teilweise erheblichen Höhe kann aber dieses Bilanzglied regional als bedeutende N-Quelle angesehen werden. Die Gesamt-N-Deposition kann heute durchaus mit einer geringen Schätzunsicherheit (geringer als bei der symbiotischen N-Bindung) aufgrund vorliegender mehrjähriger Mittelwerte (siehe GAUGER et al. 2002) in der Bilanzierung auf der Eintragsseite aufgeführt werden (Abb. 7).

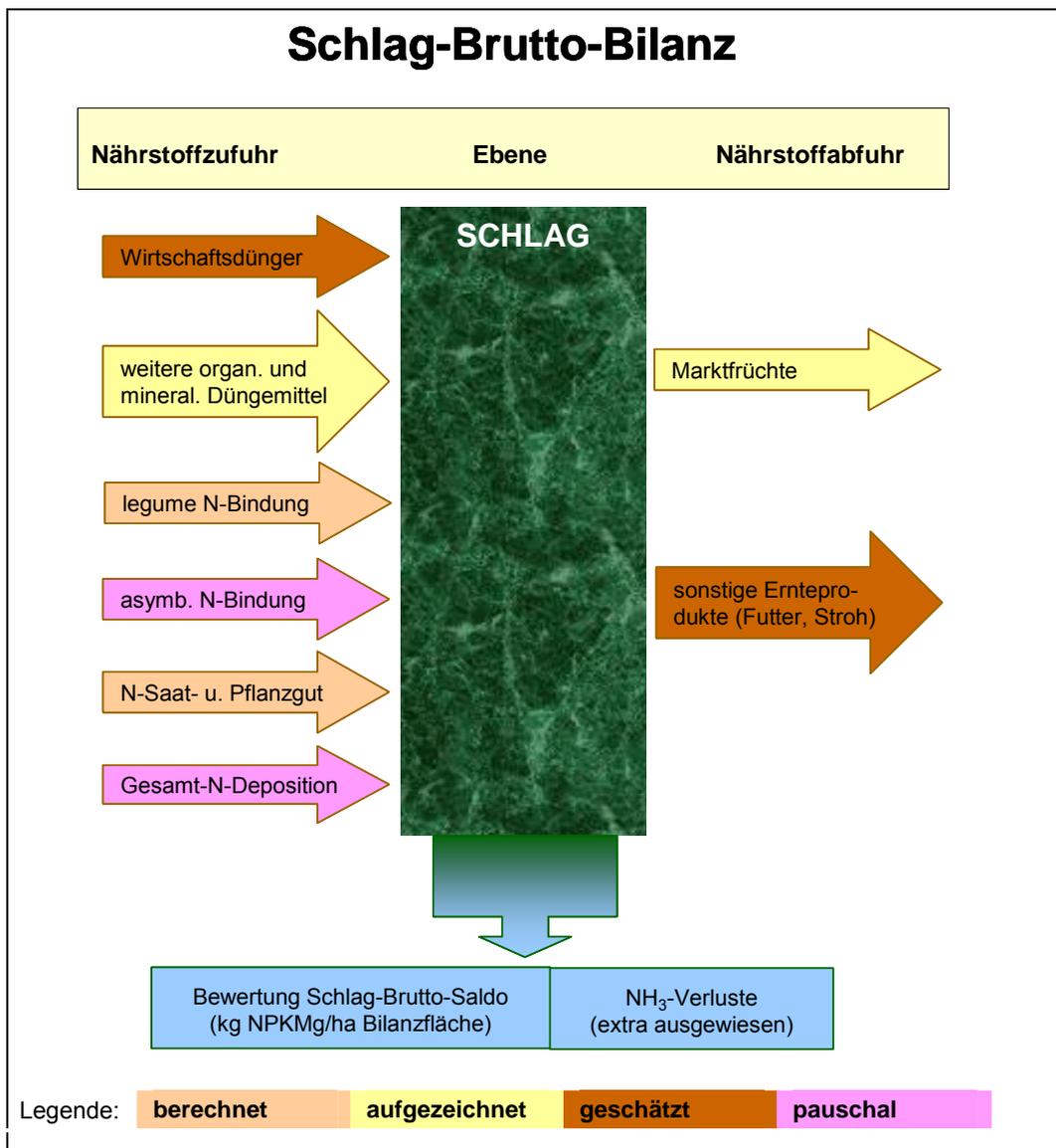


Abbildung 7: Schlag-Brutto-Bilanz

In der Schlag-Brutto-Bilanz werden auf der Zufuhrseite die Stickstoffeinträge über die N-Gesamt-Deposition, asymbiotische N-Bindung sowie die N-Zufuhr über Saat-/Pflanzgut, die als pauschale oder aufgezeichnete Daten vorliegen, zusätzlich erfasst. Dies entspricht dem Ansatz einer vollständigen Bilanzierung nach der PARCOM-Richtlinie (PARCOM 1993).

Bei den Nährstoffabfuhrungen wird beim Bruttoansatz in Bezug auf die NH_3 -Verluste bei den Wirtschaftsdüngern (Verlustpotenziale bei der Ausbringung), vorab kein pauschaler Abzug vorgenommen. Diese sog. „unvermeidbaren N-Verluste“ können vielmehr als quantifizierte Größe in der Saldierung extra ausgewiesen werden. Dahinter steht die Absicht, diese in gewissem Maße doch vermeidbaren N-Verluste darzustellen, um sie z. B. in einem Beratungsgespräch mit den Landwirten als mögliche Vermeidungspotenziale ausgrenzen zu können.

Der N-Saldo der Schlagbilanz (brutto) weist durch seine weitgehend vollständige Saldierung in der Summe die Bodenänderung und die Verlustpotenziale über Denitrifikation, Nitrat auswaschung und NH_3 -Ausgasung aus. Aufgrund dieser weitergehenden Eingrenzung im N-Saldo auf die Verlustgrößen können Umweltgefährdungspotenziale besser eingeschätzt und Abhilfemaßnahmen abgeleitet werden. Somit ist die Basis gegeben, langfristig in der landwirtschaftlichen Produktion eine Verbesserung in der N-Effizienz zu erreichen.

Werden alle bedeutenden Stickstoffquellen über die Bruttosaldierung erfasst, sind durchaus repräsentativere, oft etwas höhere N-Salden und somit eine genauere Einschätzung der N-Versorgungssituationen zu verzeichnen. Dies kann insbesondere im ökologischen Landbau von Bedeutung sein, da dieser Produktionsweise nicht selten N-Mangelsituationen in den Betrieben vorgeworfen und aufgrund dessen eine nicht nachhaltige Bewirtschaftung unterstellt werden (HEROLD & WAGNER 2007; MENGE 2007). Selbst bei sog. „Expertenbefragungen“ kommt es zu derartigen Einschätzungen (OSTERBURG et al. 2007). Als Ursache dieser Einschätzungen kann regelmäßig ermittelt werden, dass lediglich die bekannten (z. T. gesetzlich vorgeschriebenen) vereinfachten Bilanzierungsformen (z.B. „Nährstoffvergleich“) zur Anwendung gelangten (siehe KOLBE 2004; KÖHLER & KOLBE 2005). Mit diesen Beispielen soll auf die Bedeutung der Brutto-Bilanzierung für die Beantwortung bestimmter Fragestellungen hingewiesen werden. Diese Bilanzierungsform dient als Beratungsinstrument und soll bei tiefer gehendem Informationsbedarf in der Betriebs- und Fruchtfolgeplanung und als Nachweis bei umweltschutzrechtlichen Auflagen eingesetzt werden. Dabei soll der N-Saldo direkt als Instrument für die unterschiedlichen Bewertungsszenarien fungieren.

Bilanzglieder	Gesamt-, Hoftor- Bilanz	Flächen- Schlag- Bilanz	Stall- Bilanz
ZUFUHREN			
Mineraldünger	X	X	
Wirtschaftsdünger	X	X	
Sekundärrohstoffdünger	X	X	
Saatgutzukauf	X	X	
Futtermittelzukauf	X		X
Zukauf Vieh	X		X
Atmosphärische N-Immission (Netto)	X	X	
NH ₃ -Immission aus landwirtschaftl. NH ₃ -Emissionen)		X	
Symbiot. Stickstoff-Bindung	X	X	
Asymbiot. Stickstoff-Bindung	X	X	
ABFUHREN			
Ernteabfuhr zum Verkauf (Pflanzliche Marktprodukte)	X	X	
Tierische Marktprodukte	X		X
Ernteabfuhr zur innerbetriebl. Verwertung (Futter, Streu)		X	
Abgabe von Wirtschaftsdüngern	X		X
NH ₃ -Emission ^{a)} , Rückfluss auf Landwirtschaftsflächen			X
SALDO			
Bilanzsaldo (Überschuss), Menge abs.	X	X	X
Bezugsfläche (Saldierte Fläche, SF)		÷ SF	
Bilanzsaldo (Überschuss), pro ha LF	X	X	X

^{a)} NH₃-Emission aus Stall-, Lagerungs- u. Ausbringungsverlusten

Abbildung 8: Bilanzgrößen der Hoftor-, Flächen- und Stallbilanz für Stickstoff bei vollständiger Berücksichtigung (nach BACH & FREDE 2005)

Im Programm BEFU wird eine vollständig durchführbare Bilanzierung in Form der Hoftor-Brutto- und der Schlag-Bruttobilanz angeboten. Für die anderen Formen ist eine Bruttobilanzierung bisher nicht möglich. Die Ergebnisse der angebotenen Formen der Feld-Stallbilanzen können aber durch Hinzufügung der in Abbildung 8 genannten Bilanzglieder manuell vervollständigt werden.

6 Stickstoffbilanzierung auf Schlagebene

Eine genauere Betrachtung von Stickstoffflüssen in Bilanzen ist einerseits wegen der Bedeutung für die landwirtschaftliche Produktivität und andererseits wegen der besonderen Dynamik und Umweltrelevanz notwendig. Die Stickstoffsalden dienen in erster Linie als Bewertungsinstrument bei der Beurteilung der N-Effizienz sowie bewirtschaftungsbedingten Umweltbelastungen (GUTSER 2006). Ein nach wie vor bestehendes Problem sind die zum Teil hohen N-Bilanzüberschüsse, die vor allem bei bestimmten Betriebstypen, wie z. B. in der tierischen Veredlung oder im Gemüsebau, auftreten können. Beim Vergleich der N-Salden von konventionell und ökologisch wirtschaftenden Betrieben mit Tierhaltung können anhand einer Vielzahl an Untersuchungen niedrigere N-Salden für Ökobetriebe belegt werden (siehe u. a. WATSON et al. 2002; LOGES 2006). Bei reiner Ackernutzung traten bei ökologischen Verfahren im Vergleich zu den konventionellen Anbauvarianten durchschnittlich 66 % niedrigere N-Salden auf (KOLBE 2000). Häufig werden den ökologisch wirtschaftenden Betrieben jedoch auch Bewirtschaftungsfehler vorgeworfen, da sie als Ergebnis vereinfachter Verrechnungen zum Teil deutlich negative N-Salden aufweisen. Solche Behauptungen widersprechen der auch von offizieller Seite anerkannten besonders umweltschonenden und nachhaltigen Wirtschaftsweise des ökologischen Landbaus.

Die Genauigkeit der Erhebung der einzelnen Glieder beeinflusst das Ergebnis der N-Salden. Je nach Ausrichtung der Produktionsweise erlangen bestimmte Bilanzglieder in Bezug auf ihren Mengenanteil unterschiedliche Wirkung auf den betrieblichen N-Saldo. Zum Beispiel erreicht die N-Zufuhr über die legume N-Bindung in einem ökologisch wirtschaftenden Betrieb aufgrund des meistens größeren Anbauumfangs eine viel stärkere Wirkung auf den N-Saldo als im Vergleich zum konventionellen Landbau. Zusätzlich wird über deren Schätz- oder Berechnungsgenauigkeit die Exaktheit der Ergebnisse in den Bilanzen beeinflusst.

Grundsätzlich müssen mit steigendem Anspruch an die Aussagequalität der Bilanzen auch system- und standortgerechte Verfahren zur Verfügung gestellt werden. Deshalb wurde in der N-Bilanzierung im ökologischen Landbau eine umfassende und detaillierte Ausarbeitung auch im Feldfutterbau vorgenommen, um insbesondere den vielfältigen Leguminosenanbau mit seinen verschiedenen Nutzungsvarianten zu berücksichtigen. Da der Stickstoff als ertragsbildender Faktor für jeden Betrieb eine wichtige Rolle spielt, sollte ebenso bei der Bilanzierung auf die potenziellen Verlustquellen beim Stickstoff geachtet werden, um möglichst eine effiziente Nutzung der vorhandenen N-Quellen zu erreichen. Für die erweiterte Fassung wird dabei der Standpunkt vertreten, diese häufig als „unvermeidbar“ bezeichneten N-Verluste nicht vor der Saldierung abzuziehen, sondern als quantifizierbare Größe bei der Bilanzierung auszuweisen. Auf Grund dieser Erkenntnisse wurde die Stickstoffbilanzierung auf Schlagebene in zwei Modellansätzen unterschieden und in das PC-Programm BEFU integriert (Tab. 14).

Tabelle 14: Formen der N-Bilanzierung auf Schlagebene

	Kurzfassung	Erweiterte Fassung
N-Zufuhr		
N-Düngung (organisch)	Düngermenge * N-Gehalt mit Abzug von Ausbringungsverlusten	Düngermenge * N-Gehalt mit Ausweisung von Ausbringungsverlusten (wählbar)
legume N-Bindung	Berechnung der legumen N-Bindung	Berechnung der legumen N-Bindung unter Einbeziehung weiterer Parameter
asymbiotische N-Bindung	--	10 kg N/ha (wählbar)
Saat-/Pflanzgut-N	--	Saatgutmenge * N-Gehalt Saatgut
N-Deposition (gesamt)	--	30 kg N/ha (wählbar)
N-Abfuhr		
Ernteprodukte	Ertragsmenge * N-Gehalt pflanzlicher Produkte je nach Kulturart oder Artengruppe	Ertragsmenge * N-Gehalt pflanzlicher Produkte je nach Kulturart differenziert nach Erntezeitpunkt sowie Ertragsverteilung
N-Saldo		
Nährstoffvergleich je Bezugseinheit	Nährstoffvergleich	Brutto-Saldo Summe aus: NitratAuswaschung, NH ₃ -Verluste (extra ausgewiesen), Denitrifikation und Boden-Speicherung

Die Schlagbilanz nach der Kurzfassung, entspricht einer leicht handhabbaren Form, die auf Basis von Schlagkarteiaufzeichnungen zu bedienen ist. Die Kurzfassung kann auch optimal bei Szenarienrechnungen eingesetzt werden, wenn nur einzelne Bereiche, z. B. das N-Angebot aus dem Leguminosenanbau kalkuliert werden soll und nicht eine umfassende Saldierung gefragt ist. Die erweiterte Fassung ist aufgebaut nach dem Bruttosaldierungsprinzip der PARCOM-Richtlinie (PARCOM 1993) entsprechend dem Prinzip der nationalen Grundmineralbilanz, in dem alle N-Einträge auf landwirtschaftliche Flächen erfasst und im Nährstoffhaushalt berücksichtigt werden. Bei umfassenden Veränderungen und Gesamtplanungskonzepten, z. B. bei Aufnahme neuer Betriebszweige, sollte diese Form der N-Bilanzierung eingesetzt werden. Diese Form wurde in erster Linie als Instrument für eine vertiefende Betriebsberatung ausgearbeitet, die im Beratungsgespräch oder bei administrativen Entscheidungen Anwendung finden soll. Sowohl bei der genauen Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit und Nachhaltigkeit von Bewirtschaftungsformen sowie auch zur Beurteilung von Betriebsneugestaltungen und der Umweltverträglichkeit kann die Erfassung aller möglichen N-Einträge für eine optimale Ausrichtung des Nährstoffmanagement von Bedeutung sein.

Die Kurz- und die erweiterte Fassung der N-Bilanz unterscheiden sich im Ansatz der Bilanzglieder und in der Ausarbeitung der einzelnen Berechnungsverfahren. Somit sind die Ergebnisse der N-Salden auch unterschiedlich zu interpretieren. Durch die Berechnungsgenauigkeit und der Erfas-

sung weiterer Bilanzierungsglieder verfügt der N-Saldo aus der erweiterten Fassung über einen höheren Informationsgehalt bezüglich den Potenzialen an Nitratauswaschung, NH₃-Verlusten, Denitrifikation und der Bodenspeicherung insbesondere im Humus.

Die Erstellung der einzelnen Bilanzierungsglieder und die Integration im PC-Programm BEFU werden in den folgenden Kapiteln dargelegt. Zunächst gibt Tabelle 15 einen Überblick über alle wesentlichen Verfahren und die dazugehörigen Menüpunkte. Einzelheiten der Verfahrensbeschreibungen und der PC-Anleitungen können der Broschüre von KÖHLER & KOLBE (2007) entnommen werden.

Tabelle 15: Überblick zu den Berechnungsverfahren und der Menüauswahl im Programm BEFU, Teil ökologischer Landbau

Aufgabenstellung/Verfahren	Menüauswahl
Schlagaufnahme, Standortgrunddaten	„Standort des Schlates“ oder „Schlagbilanz/Humusbilanz“ oder „BEFU-Beleg (Düngungsempfehlung)“
Schlagbilanz (Kurzfassung)	„Schlagbilanz/Humusbilanz“ oder einzelne Angaben zur Schlagbilanz über Formulare: „Standort des Schlates“, „Anbau“, „Organische Düngung“, „Mineral. Düngung/leg. N-Bind.“, „Ernte“
Schlagbilanz (erweiterte N-Bilanz)	„Schlagbilanz/Humusbilanz“ (zusätzliche Daten „erweiterte N-Bilanz“ in diesem Formular) einzelne Angaben wie unter Schlagbilanz (Kurzfassung)
Humusbilanz	„Schlagbilanz/Humusbilanz“
Flächenbilanz	„Flächenbilanz Betrieb“
N-Obergrenze beim Wirtschaftsdünger	„N-Obergrenze Betrieb“ oder „Flächenbilanz Betrieb“ zusätzliches Formular „N-Obergrenze Betrieb“
Hoftorbilanz	„Hoftor-Bilanz“
Düngungsempfehlung	„BEFU-Beleg (Düngungsempf.)“ im ersten Jahr der Aufnahme und Folgejahre über „Fruchtfolge“ oder „Schlagbilanz/Humusbilanz“ + „Standort des Schlates“ + „Makronährstoffe“

6.1 Kurzfassung

Um die Beeinflussung des Stickstoffhaushalts durch die ackerbauliche Bewirtschaftung zu erfassen, sollten die Stickstoffzu- und abfuhrschlagbezogen bilanziert werden. Die wichtigsten Stickstoffquellen im ökologischen Landbau sind die legume N-Bindung, im Ökolandbau zulässige organische Dünger sowie die Gründüngung. Auf der Seite der Stickstoffentzüge werden die Kulturen mit den entsprechenden Nährstoffgehalten, die einer ökologischen Bewirtschaftung entsprechen, verwendet (siehe Kap. 4). Die Festlegung einzelner Parameter zur Berechnung von N-Entzügen und -Zufuhren werden durch folgende Auswahl getroffen:

- Kulturart
- Leguminosenertragsanteil in Stufen
- Ertragsangabe (Nettoertrag)
- Verwendung des Ernteproduktes (u. a. Frischfutter, Silage, Mulchen, Weide).

6.1.1 Auswahl und Anbau der Fruchtarten

Über die Auswahl der Kulturart je Schlag und Jahr werden bestimmte Berechnungsparameter für die legume N-Bindung festgelegt. Aufgrund des unterschiedlichen N-Bindungsvermögen der einzelnen fein- und grobkörnigen Leguminosen je nach Anbauvariante und unter Berücksichtigung des im ökologischen Landbau sehr vielfältigen Anbaus dieser Kulturarten wurde der Feldfutterbau ausführlich behandelt. Zum Beispiel hat die Wahl zwischen Klee- oder Luzernegrass sowie zwischen dem Anbau als Futterpflanze oder als Zwischenfrucht unter Angabe des jeweiligen Leguminosenertragsanteils bereits eine Auswirkung auf die Höhe der legumen N-Bindung.

Eine wichtige Größe zur Berechnung der legumen N-Bindung liegt auch in der richtigen Einschätzung des über das Jahr betrachteten durchschnittlichen Leguminosenertragsanteils in den Leguminosengemengen. Diese Differenzierung ist in der Kurzfassung durch die vorgegebenen Stufen 30, 50 oder 70 % Leguminosenanteil sowie als Leguminosen-Reinbestand möglich. Die richtige Einschätzung des Nettoertrages hat aber nach wie vor den größten Einfluss auf weitergehende Parameter in der Bilanzierung, insbesondere für die N-Entzüge und die legume N-Bindung. Hilfestellungen zur Ertragseinschätzung von Feldfutter- und Grünlanderträgen wird unter Kapitel 3 gegeben.

Da wiederum der Bruttoertrag zur Erfassung des gesamten Aufwuchses die Grundlage für die Berechnung der legumen N-Bindung ist, werden je nach Nutzungsvariante standardisierte mittlere Ernteverluste angerechnet. Diese Ernteverluste werden speziell bei den Futterpflanzen angesetzt, da sehr vielfältige Nutzungsvarianten mit zum Teil sehr hohen Verlusten (Heuwerbung) auftreten können. Über die Auswahl „Verwendung Hauptprodukt/Nebenprodukt“ werden diese Ernteverluste je nach Produktionsverfahren (Silage, Frischfutter- oder Heuwerbung) berücksichtigt, die automatisch zu dem anzugebenden Nettoertrag dazugerechnet werden. Die mittleren Verlusthöhen je nach Nutzungsvarianten werden im Kap. 3 beschrieben. Ausnahme bilden die Hülsenfrüchte, bei denen in der jetzigen Version der Kurzfassung keine Ernteverluste angerechnet werden. In der Kalkulation der legumen N-Bindung bei den Hülsenfrüchten Ackerbohne und Erbse fließt der N_{\min} -Gehalt

(Frühjahrswert) als mittlere Größe, abgeleitet aus der Bodenart (Angabe bei den Standortgrunddaten) mit ein.

Über das Auswahlfeld „Mulchen“ wird auf die entsprechende Form der N-Bindungsgleichung zurückgegriffen, die den Aspekt einer verminderten N-Bindungsmenge durch das Mulchen berücksichtigt. Beim Verfahren „Mulchen“ sollte die Kalkulation des Ertrages möglichst auf den Bruttoertrag bezogen werden. Werden Futterpflanzen sowie auch Zwischenfrüchte zum Teil oder ganz beweidet, so wird über die Angabe „Weide“ entsprechend der Ertragsangabe in dem Feld „Teilbeweidung“ in dem Formular „Ernte“ eine Anrechnung von mittleren Ernteverlusten in Höhe von 25 % vorgenommen.

6.1.2 Legume N-Bindung, organische und mineralische Düngung

Sind überschlagsmäßige Kalkulationen zur legumen N-Bindung gewünscht, um z.B. festzustellen, ob eine positive oder negative N-Bilanz aus dem Leguminosenanbau zu erzielen ist, so kann mit den nachfolgend genannten einfachen Gleichungen unter Auswahl der Nutzungsvariante und der Fruchtart mit Berechnung des N-Entzuges (Ertrag x N-Gehalt) gerechnet werden (Tab. 16).

Tabelle 16: N-Bindungsmenge (kg N/ha) im Futterleguminosenanbau je nach Nutzung (Berechnungsbeispiel bei mittlerer Ertragshöhe)

Nutzungs-varianten	Fruchtarten	FM-Ertrag (dt/ha)	N-Gehalt (kg N/dt FM)	N-Entzug (kg/ha)	N-Bindungsberechnung		N-Saldberechnung		
					Gleichung	N-Bind. (kg N/ha)	Gleichung	N-Saldo (kg N/ha)	
SCHNITT	Gemenge	Kleegras 30:70	400	0,43	172	1,19 * N-Entzug - 50	155	0,39 * N-Entzug - 110	-43
		Kleegras 50:50	400	0,47	188	1,19 * N-Entzug - 50	174	0,39 * N-Entzug - 110	-37
		Kleegras 70:30	400	0,50	200	1,19 * N-Entzug - 50	188	0,39 * N-Entzug - 110	-32
		Luzernegras 30:70	400	0,45	180	1,35 * N-Entzug - 110	133	0,55 * N-Entzug - 150	-51
		Luzernegras 50:50	400	0,50	200	1,35 * N-Entzug - 110	160	0,55 * N-Entzug - 150	-40
		Luzernegras 70:30	400	0,55	220	1,35 * N-Entzug - 110	187	0,55 * N-Entzug - 150	-29
		Weißklee-Gras 50:50	400	0,47	188	1,4 * N-Entzug - 10	253	0,6 * N-Entzug - 60	53
		Klee-, Luzernegemenge	400	0,57	228	1,24 * N-Entzug - 60	223	0,44 * N-Entzug - 130	-30
	Reinsaat	Kleearten (außer Weißklee)	400	0,55	220	1,24 * N-Entzug - 60	213	0,44 * N-Entzug - 130	-33
		Weißklee	400	0,55	220	1,45 * N-Entzug - 10	309	0,65 * N-Entzug - 60	83
		Luzerne, Serradella u. Esparsette	400	0,62	248	1,4 * N-Entzug - 120	227	0,65 * N-Entzug - 130	31
	Ganzpflanzen-Silage	Legum.-(grob-körnig) / Getr.-Gemenge 30:70	220	0,46	101	0,4 * N-Entzug + 65	105	N-Bindung – N-Entzug	4
		Legum.-(grob-körnig) / Getr.-Gemenge 50:50	220	0,52	114	0,4 * N-Entzug + 65	111	N-Bindung – N-Entzug	-3
		Legum.-(grob-körnig) / Getr.-Gemenge 70:30	220	0,59	130	0,4 * N-Entzug + 65	117	N-Bindung – N-Entzug	-13
		Legum.-Gemenge (grob-körnig)	220	0,65	143	0,4 * N-Entzug + 65	122	N-Bindung – N-Entzug	-21
	MULCHEN	Gemenge	Kleegras 30:70	400	0,43	172	(1,19 * N-Entzug – 50) * 0,95	147	
Kleegras 50:50			400	0,47	188	(1,19 * N-Entzug – 50) * 0,95	165		
Kleegras 70:30			400	0,50	200	(1,19 * N-Entzug – 50) * 0,95	179		
Luzernegras 30:70			400	0,45	180	(1,35 * N-Entzug – 110) * 0,95	126		
Luzernegras 50:50			400	0,50	200	(1,35 * N-Entzug – 110) * 0,95	152		
Luzernegras 70:30			400	0,55	220	(1,35 * N-Entzug – 110) * 0,95	178		
Weißklee-Gras 50:50			400	0,47	188	(1,4 * N-Entzug – 10) * 0,95	241		
Klee-, Luzernegemenge			400	0,57	228	(1,24 * N-Entzug – 60) * 0,95	212		
Reinsaat		Kleearten (außer Weißklee)	400	0,55	220	(1,24 * N-Entzug – 60) * 0,95	202		
		Weißklee	400	0,55	220	(1,45 * N-Entzug – 10) * 0,95	294		
	Luzerne, Serradella u. Esparsette	400	0,62	248	(1,4 * N-Entzug – 120) * 0,95	216			

Quelle: KOLBE & KÖHLER (2006);

FM = Frischmasse; N-Entzug = FM-Ertrag * N-Gehalt

Bei den Körnerleguminosen Erbse und Ackerbohne sind die N-Bindungen unter Angabe des N_{\min} -Wertes (N_{\min} -Richtwerte siehe Kapitel 3.1) und des N-Entzuges zu berechnen. Bei den anderen Leguminosen wird der N-Entzug mit dem jeweiligen N-Faktor multipliziert. Bei der Grünspeiseerbse wird ebenso unter Angabe des N-Entzugs über eine N-Bindungsgleichung gerechnet (Tab. 17). Die Berechnung der legumen N-Bindung bei den Zwischenfrüchten erfolgt anhand kulturartenspezifischer N-Bindungsfaktoren, die mit dem Bruttoertrag (dt FM/ha) multipliziert werden (Anhang, Tab. A8).

Tabelle 17: N-Bindungs­menge (kg N/ha) im Körnerleguminosenanbau und bei der Grünspeiseerbse (Berechnungsbeispiel nach der Kurzfassung, mittlere Erträge, N_{\min} bei SL: 45)

Fruchtarten	N-Gehalt	Ertrag	N-Entzug	N-Gleichung/N-Faktor	N-Saldo	N-Saldo + N-Entzug = N-Bindung	N-Bind.-N-Entzug = N-Saldo
	(kg N/ha)	(dt FM/ha)	(kg N/ha)		(kg N/ha)	(kg N/ha)	(kg N/ha)
Erbse	3,50	30	105	$(0,4 - 0,005 \times N_{\min}) \times$ (N-Entzug)	18	121	16
Ackerbohne	4,20	30	126	$(0,5 - 0,0025 \times N_{\min}) \times$ (N-Entzug)	49	175	49
Lupine blau	4,80	25	120	1,25 x N-Entzug	--	150	30
Lupine gelb	6,10	25	152	1,25 x N-Entzug	--	190	38
Lupine weiß	5,20	25	130	1,25 x N-Entzug	--	163	33
Grünspeiseerbse	1,00	50	50	150 - (2,4 * N-Entzug)	30	80	30

Als weitere Nährstoffzufuhren sind organische, mineralische Dünger, sonstige organische Dünger sowie Handelsdünger unter dem Formular „organische Düngung“ mit den entsprechenden Nährstoffgehalten der Düngemittel auswählbar (siehe Kap. 4). Bei den Wirtschaftsdüngern werden entsprechend der Düngeverordnung (BMELV 2006a) die festgelegten Mindestwerte an Ausbringungsverlusten von den Gesamt-N-Gehalten in Abhängigkeit von der Tier- und Dungart abgezogen und als Nährstoffzufuhr ausgewiesen (siehe Tab. 18: Kurzfassung). Unter dem Formular „mineralische Düngung/legume N-Bindung“ sind die im Ökolandbau zulässigen mineralischen Düngemittel sowie die programminterne Berechnung der legumen N-Bindung aufgeführt.

Beim Produktionsverfahren „Weide“ wird der Nährstoffrückfluss (N/P/K/Mg) über die Exkremente für die Tierart „Rind“ über Gleichungen berechnet. Die Berechnung des Nährstoffrückflusses erfolgt mittels einer Ableitung über den Ertrag bei Beweidung (gesamter Ertrag oder Ertrag der Teilbeweidung). Der Nährstoffrückfluss wird als Zufuhr in der Saldierung berücksichtigt.

6.1.3 Angaben zur Ernte und Ermittlung des Saldos

Unter dem Formular „Ernte“ muss die endgültige Ertragsangabe als Nettoertrag erfolgen, die als Basis für die gesamten Berechnungen der einzelnen Parameter (Nährstoffzüge, legume N-Bindung) dient. Wird ein Teil der Kulturen beweidet, so kann unter dem Feld „Teilbeweidung“ der beweidete Teilertrag vom Gesamtertrag eingetragen werden. Wird dagegen der gesamte Aufwuchs beweidet, so muss in dem Feld „Teilbeweidung“ auch der gesamte Ertrag eingegeben werden.

Die Verwendung des „Nebenprodukts“ beim Erntegut kann in einer Bilanz einen deutlichen Einfluss auf den Saldo haben, z. B. Strohabfuhr ja/nein. Im Programm BEFU ist die Verwendung des Nebenprodukts bereits mit einer praxisüblichen „Standardvorgabe“ entsprechend der Kulturen vorprogrammiert. Dies kann bei anderer Nutzung des Nebenproduktes durch eigene Angabe geändert werden.

Im Ergebnisausdruck werden die erfassten Nährstoffzufuhren den -abfuhrn gegenübergestellt und der Saldo berechnet. Der Saldo der Kurzfassung beinhaltet das N-Verlustpotenzial an Nitrat auswaschung, Denitrifikation sowie NH_3 -Verluste außer dem bereits abgezogenen NH_3 -Anteil über die Ausbringungsverluste bei den Wirtschaftsdüngern. Weitere bilanzrelevante Nährstoffeinträge wie z.B. Saat- und Pflanzgut sowie atmosphärische N-Einträge (Gesamt-N-Deposition) werden bei dieser Form der Bilanzierung nicht erfasst. Somit enthält der N-Saldo der Kurzfassung keinen absoluten Wert über das N-Potenzial bezogen auf den Schlag. Der N-Saldo der Kurzfassung gleicht dem Ansatz eines Nährstoffvergleichs¹⁴⁾.

6.2 Erweiterte Stickstoffbilanzierung (Langfassung)

In der erweiterten N-Bilanzierung geht es insbesondere um die möglichst vollständige Erfassung der Stickstoffströme mittels berechneter oder geschätzter Bilanzglieder, entsprechend dem Bruttosaldierungsprinzip. Hierzu werden folgende zusätzliche Bilanzgrößen als N-Zufuhren angerechnet oder ausgewiesen:

- N-Saat-/Pflanzgut
- Asymbiotische N-Fixierung
- Gesamt-N-Deposition
- NH_3 -Verluste.

Darüber hinaus werden in der Langfassung bestimmte Bilanzglieder mittels weiterer Datenangaben differenziert erfasst. Dies bezieht sich auf eine detaillierte Berechnung der legumen N-Bindung sowie auf die Bedingungen möglicher Verlustpotenziale. Im Öko-BEFU ist die Schlagbilanz für die

¹⁴ Nach der neuen Düngeverordnung (BMELV 2006a,b) entspricht der N-Saldo nicht mehr der gesetzlichen Anforderung, da die Berechnung der Nährstoffzufuhr über die organischen Dünger (insbesondere Wirtschaftsdünger) erfolgt und nicht über die vorgeschriebene Basis der N-Ausscheidungen. Jedoch können für Schlagbilanzen nur die Nährstoffgehalte der Dünger als Basis der Nährstoffzufuhr gelten. Somit wird als gesetzliche Anforderung der DüV die Flächenbilanz und nicht die aggregierte Schlagbilanz angeboten.

erweiterte Fassung genauso aufgebaut wie die nach der Kurzfassung. Jedoch erfolgen die zusätzlichen Angaben über zwei weitere Formulare, die für eine Bruttosaldierung ausgefüllt werden müssen.

6.2.1 Anbau der Fruchtarten

Die Auswahl der schlagbezogenen Kulturarten entspricht in dem Formular „Anbau“ der gleichen Ausarbeitung wie in der Kurzfassung. Zusätzlich sind für eine systementsprechende und genauere Berechnung bestimmter Bilanzglieder (z. B. N-Entzug, legume N-Bindung) weitere Angaben unter dem zusätzlichen Formular „Ernte-Daten für die erweiterte N-Bilanz“ notwendig. Hier können insbesondere für den gesamten Feldfutterbau differenzierte Angaben je nach Aufwuchs gemacht werden. Diese detaillierte Dateneingabe trägt dem vielseitigen Feldfutterbau Rechnung, indem jeder Aufwuchs einer anderen Nutzungsform unterliegen kann. Durch diese zusätzlichen Möglichkeiten zur Dateneingabe kann z.B. die Berechnung der legumen N-Bindung wesentlich genauer erfolgen, da die Kulturarten in einem Gemenge (bis zu 3 Kulturarten), die sehr unterschiedlichen Leguminosenertragsanteile, die jeweiligen Erträge und die unterschiedlichen Nutzungsformen je nach Aufwuchs und Anbaujahr einzeln erfasst werden können.

Ferner kann der Nutzungszeitpunkt im Feldfutterbau separat für jeden Aufwuchs ausgewählt werden. Eine Differenzierung nach 3 Vegetationsstadien „vor“, „in“ und „nach der Blüte“, berücksichtigt die N-Gehalte je nach Stadium und verbessert somit die Berechnung des N-Entzuges. Bei den meisten Futterpflanzen liegt im frühen Vegetationsstadium ein höherer N-Gehalt vor (Anhang, Tab. A1). Ebenso wird für die Berechnung des N-Entzuges von Grünlandaufwüchsen eine Differenzierung nach der Nutzungsintensität (entsprechend der Anzahl an Aufwüchsen) und eine Einteilung in die Vegetationsstadien „vor“, „in“ und „nach der Blüte“ vorgenommen (Anhang, Tab. A2).

6.2.2 Saat- und Pflanzgut

Bei bestimmten Kulturarten, z. B. bei Körnerleguminosen oder Kartoffeln, können durch das Saat- oder Pflanzgut durchaus N-Einträge in einer Menge von ca. 10 kg N/ha erfolgen. Daher wird die jeweilige N-Zufuhr (Saat-/Pflanzgut-N-Gehalt x -menge) durch Aussaat bzw. Pflanzung in der erweiterten Fassung für alle Kulturarten aufgeführt. Die N-Gehaltswerte des Saat-/Pflanzguts entsprechen den N-Gehalten der Kulturen aus ökologischem Landbau. Die hinterlegten standardisierten Saatgutmengen entsprechen den praktischen Verhältnissen. Dabei ergaben sich zwischen einem ökologischen oder konventionellen Anbau im Wesentlichen keine großen Unterschiede (Anhang, Tab. A3).

6.2.3 Organische Düngung

Auch die Nährstoffzufuhren über eine organische Düngung werden von Düngemitteln berechnet, deren Nährstoffgehalte aus ökologischem Landbau (siehe Tab. 7) stammen. Außerdem werden die Ausbringungsverluste in der erweiterten Fassung, differenziert nach den Düngerformen, nicht als „unvermeidbare N-Verluste“ von vorneherein von den Nährstoffwerten in der Saldierung abgezogen, sondern sie werden als potenzielle Nährstoffverlustquellen extra ausgewiesen. Somit kann im Bedarfsfall anhand dieser Größe auf mögliche Abhilfemaßnahmen hingewiesen werden.

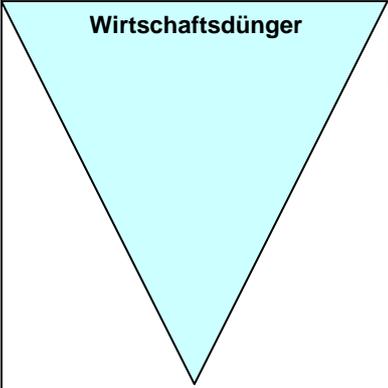
Eine spezielle Ausarbeitung des NH_4 -Anteils am Gesamt-N-Gehalt der organischen Dünger aus dem ökologischen Landbau, von dem auf eine gewisse Düngewirksamkeit zurückgeschlossen werden kann, ist aufgrund einer zu geringen Datenbasis nach dem jetzigen Stand nicht möglich, obwohl einige Arbeiten einen geringeren NH_4 -Anteil in ökologischen Wirtschaftsdüngern belegen (DEWES & HÜNSCHE 1998; SHEPERD et al., 1999). Ebenso kann noch keine Schlussfolgerung getroffen werden, dass von einem geringeren NH_4 -Anteil auch ein verringertes Verlustpotenzial bei ökologischen Wirtschaftsdüngern ausgeht. Hier besteht noch weiterer Forschungsbedarf.

6.2.4 NH_3 -Verluste

Wie im vorhergehenden Kapitel beschrieben wurde, werden die NH_3 -Verluste bei den Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft nicht pauschal abgezogen, sondern diese werden im vollen Umfang berechnet und extra im N-Saldo ausgewiesen. Zusätzlich ist eine weitere Differenzierung der Verlustpotenziale bei den Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft möglich, indem eine unterschiedlich hohe Anrechnung von Ausbringungsverlusten erfolgen kann. Es ist eine Auswahl von 4 Kategorien möglich. Dabei wurden die Haupteinflussfaktoren, wie Witterungsbedingung und Einarbeitungszeitpunkt berücksichtigt. Je nach Düngerart wurden die prozentualen Einstufungen durch eine Vielzahl an Literaturbelegen vorgenommen (Tab. 18).

Im Vergleich zu den vorgegebenen Anteilen der anrechenbaren Ausbringungsverluste nach der DüV (BMELV 2006a) weichen die Prozentsätze im Programm BEFU bei der Auswahl „mittel“ nur deshalb etwas ab, weil hier als Basis die N-Gehalte der Wirtschaftsdünger dienen und nicht die Gehalte der N-Ausscheidungen. Nach einer Umrechnung entsprechen diese Werte den gesetzlichen Vorgaben. Die deutliche Abstufung der Ausbringungsverluste von „gering“, „mittel“ bis „hoch“ soll einer nutzerfreundlichen Handhabung dienen, da bekanntlich eine Vielzahl an Faktoren auf das Potenzial an Ausbringungsverlusten einwirken kann. Die Stufe „mittel“ gilt als Standard und vertritt damit nicht die extrem positiven wie negativen Ausbringungsbedingungen. Die Kategorie „keine“ ist bei entsprechender Fragestellung oder bei Ausschluss von NH_3 -Verlusten anwendbar. Die Kategorien können in dem zusätzlichen Formular „Organische Düngung – zusätzliche Daten für die erweiterte N-Bilanz“ ausgewählt werden.

Tabelle 18: Ausbringungsverluste (%) bei den Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft je nach Ausbringungsbedingungen

 Wirtschaftsdünger	Ausbringungsverluste (%) ausgehend vom Dünger-Gesamt-N				
	Kurzfassung	erweiterte Fassung			
		Abstufungen je nach Ausbringungsbedingungen			
		keine	gering	mittel	hoch
		bedeckt, kühl, sofortige Einarbeitung	Standard	sonnig, warm, verspätete Einarbeitung	
Stallmist/Rind	14	0	7	14	20
Stallmist/Schwein	15	0	7	15	20
Stallmist/Schaf	9	0	5	9	15
Stallmist/Ziege	9	0	5	9	15
Stallmist/Geflügel	17	0	7	17	25
Stallmist/Pferd	9	0	5	9	15
Jauche/Rind	14	0	7	14	20
Jauche/Schwein	15	0	7	15	20
Gülle dünn/Rind	18	0	7	18	35
Gülle dünn/Schwein	14	0	7	14	30
Gülle dünn/Geflügel	14	0	7	14	30
Gülle normal/Rind	18	0	7	18	35
Gülle normal/Schwein	14	0	7	14	30
Gülle normal/Geflügel	14	0	7	14	30
Gülle dick/Rind	18	0	7	18	35
Gülle dick/Schwein	14	0	7	14	30
Gülle dick/Geflügel	14	0	7	14	30
Geflügeltrockenkot	17	0	7	17	25
Gärrest Gülle/Rind	18	0	7	18	35

bei Weideverfahren werden 75 % der Gesamt-N-Ausscheidungen als N-Verluste abgezogen (BMELV 2006a).

Eine weitere nicht unerhebliche NH₃-Verlustquelle kann durch das „Mulchen“ von Futterpflanzenbeständen entstehen. Insbesondere bei warmen und feuchten Witterungsbedingungen findet, gemessen in einem Zeitraum von 30 Tagen nach einer durchgeführten Mulchung, ein vermehrter mikrobieller Abbau statt, bei dem verstärkt NH₃-Verluste auftreten. Um dieses zusätzliche Verlustpotential an NH₃ in der Bilanzierung zu berücksichtigen, werden auch hier nach dem Mulchen differenziert je nach Wetterbedingungen in den Stufen „gering“, „mittel“ und „hoch“ die Verluste über eine lineare Gleichung in Abhängigkeit vom N-Entzug kalkuliert. Die Berechnung dieser NH₃-Verluste kann für jeden einzelnen Mulchaufwuchs erfolgen (Tab. 19). Auch diese NH₃-Verluste werden als Summe aller Verluste im N-Saldo extra ausgewiesen.

Tabelle 19: Auftretende Ammoniakverluste (% des N-Entzuges) nach dem Mulchen

Verluststufe	Wetterbedingung	Ammoniakverluste (% des N-Entzuges)
		Gleichung*
gering	kühl + trocken	$(3,0266 \times \text{N-Gehalt (TM)} - 2,1459) \times 0,5$
mittel	gemäßigt	$3,0266 \times \text{N-Gehalt (TM)} - 2,1459$
hoch	warm + feucht	$(3,0266 \times \text{N-Gehalt (TM)} - 2,1459) \times 2$
Beispiel: Ein Aufwuchs (Rotklee) von 50 dt TM bei Ansatz 3,3 % N i. d. TM, $50 \text{ dt TM} \times 3,3 \% \text{ N} = 165 \text{ kg N-Entzug}$ bei Verluststufe gering: $165 \text{ kg N} \times 3,9 \% = 6,4 \text{ kg NH}_3\text{-N-Verlust /ha und a}$ bei Verluststufe mittel: $165 \text{ kg N} \times 7,8 \% = 12,9 \text{ kg NH}_3\text{-N-Verlust /ha und a}$ bei Verluststufe hoch: $165 \text{ kg N} \times 15,7 \% = 25,9 \text{ kg NH}_3\text{-N-Verlust /ha und a}$		

*bezogen auf einen Zeitraum von 30 Tagen nach dem Mulchen

6.2.5 Legume N-Bindung und mineralische Düngung

Eine mineralische Düngung wird über das Formblatt „mineralische Düngung/legume N-Bindung“ entsprechend der Kurzfassung angegeben. Hier erfolgen keine zusätzlichen Datenangaben. Die programminterne Berechnung der legumen N-Bindung erfolgt hauptsächlich über die zusätzlichen Dateneingaben über das Formular „Ernte - Daten für eine erweiterte N-Bilanz“ und wird unter diesem Formular nur ausgewiesen.

Speziell für die legume N-Bindung wurden entsprechend dem vielseitigen Leguminosenanbau insbesondere den mehrschnittigen Futterleguminosen sowie auch den grobkörnigen Futterleguminosen deutlich differenziertere Berechnungsmöglichkeiten ausgearbeitet. Dadurch wurde eine Verbesserung der Schätzung der legumen N-Bindung erzielt. Beachtet werden sollte allerdings, dass die Berechnung der legumen N-Bindung nach wie vor auf Schätzverfahren beruht. Das heißt, für eine optimale Schätzung ist die richtige Angabe der Erträge oder bei Gemengen der Leguminosenertragsanteile von großer Bedeutung.

Folgende zusätzliche Daten werden zur Berechnung der legumen N-Bindung nach der erweiterte N-Bilanz berücksichtigt:

Ertrag, N-Gehalt, Erntezeitpunkt und Nutzungsform je Aufwuchs

- Angabe des Vegetationsstadiums zum Erntezeitpunkt je Aufwuchs
- nach Ertrag gewichtete Berechnung der N-Entzüge
- differenzierte Erfassung von Ernteverlusten im Futterbau zur Berechnung der Bruttoerträge für die legume N-Bindung (Tab. 20)

Gemengeanbau

- Angabe der einzelnen Gemengepartner (bis zu drei Fruchtarten)
- Angabe der Leguminosenertragsanteile im Gemenge und Leguminosenertragsanteil-Veränderung je Aufwuchs

Mehrjähriger Anbau

- ab dem dritten Anbaujahr wird eine 20%ige Verminderung der N-Bindung angerechnet

Nutzungsweise

- Mulchen verringert das N-Bindungsvermögen innerhalb einer Vegetationsperiode

Wetterbedingung

- bei ausgeprägter Trockenheit (auftretende Welkeerscheinungen) kann eine um 20 % verminderte N-Bindung veranschlagt werden

N_{min}-Wert

- der N_{min}-Frühjahrswert bei Körnerleguminosen stellt eine wichtige Größe in der N-Bindungsberechnung dar
- Es werden entsprechende N_{min}-Werte von ökologisch wirtschaftenden Flächen differenziert nach Bodenart und Fruchtfolgestellung als Standardtabelle vorgegeben (siehe Kap. 3).

Bei dem Produktionsverfahren „Grünland“ wird die legume N-Bindung unter Angabe des Weißkleeertragsanteils und des Bruttoertrags nach der Weissbach-Gleichung (WEISSBACH 1995) berechnet:

$$\text{N-Bindung (kg N/ha)} = \text{Bruttoertrag (dt FM/ha)} \times \text{Leg.-EA* (in \%)} \times 0,80$$

*Leg.-EA = Leguminosenertragsanteil

Für die Berechnung der Nährstoffabfuhr durch die Ernteprodukte werden die Erträge und die N-Gehalte je nach Aufwuchs differenziert erfasst. Da sich die Gleichungen zur legumen N-Bindung auf den tatsächlichen Aufwuchs beziehen, werden die Nettoertragsangaben unter Berücksichtigung der jeweiligen Nutzungsform mit den Ernteverlusten zu einem Bruttoertrag umgerechnet. Dies ist insbesondere im vielfältigen Futterbau relevant, da sich je nach Nutzungsverfahren zum Teil sehr hohe Verluste ergeben können. In der erweiterten Fassung können die Verlusthöhen weiter differenziert werden in „keine“, „gering“, „mittel“ und „hoch“ (Tab. 20). Die Einbeziehung von Ernteverlusten ist deshalb wichtig, weil eine möglichst genaue Berechnung der N-Bindung auf Basis der Bruttoerträge erfolgen muss.

Tabelle 20: Ernteverluste (%) je nach Nutzungsverfahren

Nutzungsverfahren	keine	gering	mittel	hoch
Frischfutter	0	2	5	10
Gras-/Kleegrassilage	0	5	15	20
Maissilage	0	5	10	15
Ganzpflanzensilage	0	5	15	20
Heu, Streu	0	15	25	40
Weide	0	10	25	40

Der N-Entzug wird je Aufwuchs berechnet. Bei Leguminosengemengen werden zusätzlich die jeweiligen Leguminosenertragsanteile mit dem jeweiligen Ertrag des Aufwuchses verrechnet, um somit einen mittleren gewichteten Ertragsanteil der Leguminosen in einem Gemenge zu erhalten.

Bei den Anbauformen mit grobkörnigen Futterleguminosen werden in den N-Bindungsgleichungen die N_{\min} -Werte vor Aussaat berücksichtigt. Tritt während einer Vegetationsperiode eine länger anhaltende Trockenheit auf, dann hat dies einen Einfluss auf die Höhe der N-Bindung. Neben der dadurch auftretenden Ertragsminderung, die sich bereits in der Ertragsangabe widerspiegelt, wird bei der legumen N-Bindung zusätzlich eine 20%ige Minderung veranschlagt. Diese Berechnung erfolgt auch je nach Aufwuchs und wird anteilig auf den Gesamtertrag bezogen.

Untersuchungen belegen, dass ab dem dritten Anbaujahr eine Verminderung der N-Bindungsleistung eintritt. Diese Bedingung kann im Formular „Ernte“ bei einem mehrjährigen Feldfutterbau durch die Angabe „3“ unter dem Feld „Anbaujahr“ berücksichtigt werden. Damit wird von der insgesamt berechneten N-Bindung 20 % der N-Bindungshöhe abgezogen. Ebenso wurde in Untersuchungen festgestellt, dass die Nutzungsform „Mulchen“ im Vergleich zu einer Schnittnutzung einen negativen Einfluss auf die Höhe der N-Bindung hat. Durch das Mulchen verringert sich der Gesamtertrag der Leguminosen und bei Gemengen der Leguminosenertragsanteil in Bezug auf den Jahresertrag. Dieser Umstand wird durch die Auswahl der Nutzungsform „Mulchen“ berücksichtigt, in dem ertragsanteilig die N-Bindung je nach Aufwuchs und dessen Wirksamkeit in dem entsprechenden Erntejahr angerechnet wird. Es wird eine Verminderung der N-Bindungsgleichung für das Mulchen um 7 % veranschlagt. Insgesamt kann von einer ca. 20 - 30%igen Minderung der N-Bindungsleistung ausgegangen werden (HEUWINKEL mündl. Mittlg.).

Werden von einem Klee grasbestand mit insgesamt vier Aufwüchsen die letzten beiden Aufwüchse gemulcht, so wird eine verminderte N-Bindungsgleichung (Mulch) nur für den Anteil des letzten Aufwuchses berechnet, da nur dieser von dem vorherigen Mulchen betroffen ist. Wird ein Klee grasbestand nach jedem Aufwuchs gemulcht, so erfolgt eine verminderte N-Bindung ab dem zweiten Aufwuchs.

In der erweiterten Fassung werden auch zur legumen N-Bindung der Körnerleguminosen komplexere Berechnungsverfahren als bei der Kurzfassung verwendet (siehe Kap. 8). Als zusätzliche Datenangaben müssen die N_{\min} -Werte vor Aussaat, die Ernteverluste (Tab. 21) sowie bei Hülsenfruchtgemengen die Angabe der einzelnen Gemengepartner angegeben werden. Die Berücksichtigung der Ernteverluste bei den Körnerleguminosen ist sehr wichtig, da sich je nach Witterungs- und Erntebedingungen sehr unterschiedlich hohe Verlustquoten ergeben können. Da die einflussnehmenden Parameter auf die Ernte von Körnerleguminosen sehr stark schwanken, können vom Nutzer auch eigene Verlustsätze eingegeben werden. Die N_{\min} -Werte können als Standardwerte aus einer Tabelle abgelesen werden (siehe Kap. 3).

Tabelle 21: Ernteverluste (%) bei Körnerleguminosen

gering	5
mittel	10
hoch	20
keine	0

6.2.6 Asymbiotische N-Bindung und Gesamt-N-Deposition

Im Formular „Parameter für die N-Bilanzierung“ (positioniert unter Formular „Ernte“) sind die zusätzlichen Parameter zur asymbiotischen N-Bindung und Gesamt-N-Deposition als Mittelwerte angegeben. Für den Ansatz der N-Menge aus der asymbiotischen N-Fixierung wurden entsprechende Literaturquellen ausgewertet (MARSCHER 1995; MENGEL 1991 u. a. Quellen). Die Literaturangaben schwanken sehr stark und liegen zwischen 0 - 60 kg N/ha. Daraus wurde ein mittlerer Wert von 10 kg N/ha für die asymbiotische N-Fixierung festgesetzt. Dieser Wert kann nach eigenen Vorgaben verändert werden. Die asymbiotische N-Fixierung wird unter den Nährstoffzufuhren in dem Ergebnisausdruck der Bilanzierung aufgeführt.

Auf der Basis der PARCOM-Richtlinie (PARCOM 1993) wird im Programm ÖKO-BEFU ebenfalls die Gesamt-N-Deposition auf der Zufuhrseite aufgeführt, um die atmosphärischen N-Einträge in das landwirtschaftliche System quantitativ zu erfassen. Insgesamt setzt sich die Gesamt-N-Deposition (kg N/ha) aus der nassen, trockenen und gasförmigen Deposition zusammen. Je nach regionalen Begebenheiten unterscheidet sich die Höhe der N-Depositionen sehr stark und weist auch innerhalb Deutschlands sehr unterschiedliche Werte auf. Daher wurden aus verschiedenen Messauswertungen, insbesondere eines UBA-Berichtes (GAUGER et al. 2002) und des UFZ sowie eigenen Untersuchungen der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LIPPOLD mündl. Mittlg.; siehe auch KOLBE 2000) aktuelle Messwerte für das Land Sachsen zusammengestellt und als Mittelwert 30 kg N/ha festgelegt. Sollen andere Werte angesetzt werden, so kann dies in diesem Feld durch direkte Eingabe geschehen.

Mit der Anrechnung der Gesamt-N-Deposition soll das Potenzial an atmosphärischen N-Einträgen verdeutlicht werden. Nach Untersuchungen sind ca. 90 % der gesamten NH₃-Emissionen aller Wirtschaftsbereiche der Landwirtschaft zuzuordnen, die zu 80 % (BIERMANN 1995) oder 84 % (UMWELTBUNDESAMT 1997) aus der Viehhaltung stammen. In einem Beratungsfall können hierzu Abhilfemaßnahmen anhand der belegbaren Größen diskutiert werden. Die Gesamt-N-Deposition (kg N/ha) wird unter den Nährstoffzufuhren in dem Ergebnisausdruck der Bilanzierung aufgeführt.

6.2.7 N-Saldo der erweiterten Fassung

Nach Verrechnung der Nährstoffzu- mit den -abfuhren stellt der ausgewiesene N-Saldo in der Langfassung einen Bruttowert dar. Der Saldo enthält als Summe die nachfolgend genannten Komponenten: Auswaschung, gasförmige Verluste, Denitrifikationsverluste, Änderung des Bodenvorrats. Für diese Teilbeträge können bisher keine einschätzbaren Größenordnungen angegeben werden. Die NH₃-Verluste können im Saldo extra ausgewiesen und einer Beurteilung zugeführt werden. Dagegen ist die Höhe der Denitrifikationsverluste am schwersten zu messen und einzuschätzen. Häufig wird dann der ausgewiesene Saldo je zur Hälfte auf die Denitrifikation und die Nitrat Auswaschung zurückgeführt, wobei bei leichten Böden ein höherer Anteil an Nitrat Auswaschung veranschlagt wird.

Der Informationsgehalt des N-Saldos der Langfassung ist jedoch deutlich höher, da bestimmte abschätzbare Komponenten insbesondere bei den Zufuhren mit aufgeführt und ausgewiesen werden. Dadurch können die tatsächlichen Zustände im ökologischen Landbau besser eingeschätzt werden.

Da Nährstoffbilanzen von administrativer Seite zunehmend als Indikatoren für Verordnungen oder Förderprogramme eingesetzt werden, können anhand dieser detaillierten Erfassung der Bilanzglieder entsprechende Bemessungsgrenzen mit höherer Sicherheit veranschlagt werden. Ebenso bietet diese Bilanzierungsform eine höhere Aussagekraft für die Bewertung des ökologischen Landbaus nach umweltschutzrelevanten Aspekten. Für den Landwirt sind aus diesen N-Salden vertiefende Informationen zum Stickstoffhaushalt in einer Fruchtfolge abzulesen. Aus hohen Nährstoffüberschüssen oder deutlich negativen Salden kann ein Handlungsbedarf im Nährstoffmanagement abgeleitet werden.

Die Langfassung fungiert wie eine Art „Stellschraube“, wodurch die Bilanzglieder genauer erfasst werden. Es steht somit ein erweitertes Hilfsmittel zur Verfügung, um auf eine Verbesserung des Nährstoffmanagements im Ökologischen Landbau hinzuwirken, da zu erwartende Auswirkungen sowohl in der Bodenfruchtbarkeit als auch im Umweltschutz mit höherer Sicherheit eingeschätzt werden können.

6.3 P-, K-, Mg-Bilanzierung

Die P/K/Mg-Bilanzierung erfolgt nach den gleichen Ansätzen wie im konventionellen Landbau und den üblichen Bilanzierungsformen. Es werden keine Verlust- oder Eintragspotenziale bei diesen Nährstoffen berücksichtigt, da sie in diesem Maße nicht anfallen bzw. nicht umweltrelevant sind. Im ÖKO-BEFU wurden die Parameter der P/K/Mg-Gehalte der Kulturarten sowie der organischen Dünger entsprechend den Datengrundlagen aus dem ökologischen Landbau entnommen. Dies ist ausführlich im Kapitel 4 erläutert worden.

7 P-, K-, Mg-Grunddüngung und Kalkung

7.1 Allgemeine Grundlagen der P-, K- und Mg-Nährstoffversorgung und Düngung

Optimales pflanzliches Wachstum gewähren heißt für den ökologischen Landbau, die Selbstregulierungskräfte des Systems Boden-Pflanze zu erhöhen. Dies bedeutet für den Bereich Düngung und Nährstoffversorgung, dass die Fähigkeit der Pflanzen gestärkt werden soll, sich durch einen optimalen Bodenaufschluss mit Nährstoffen und allen anderen Wuchsstoffen zu versorgen (Abb. 9). Grundlage für diesen Vorgang ist eine sorgfältige Pflege des Bodenlebens zur Erhaltung und Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit.

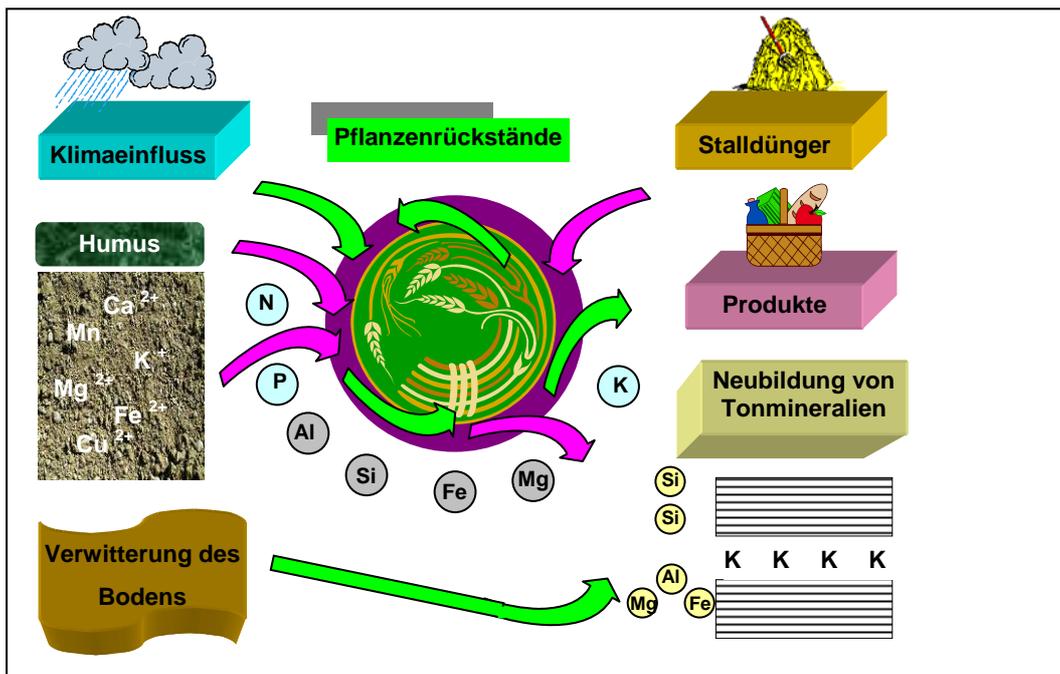


Abbildung 9: Bedeutung des Bodenaufschlusses durch Pflanzenwurzeln und Mikroorganismen im landwirtschaftlichen Betriebskreislauf (nach SCHELLER 1999)

Durch diesen aktiven Prozess der Nährstoffmobilisierung und Mineralisierung durch Pflanzen und Bodenorganismen werden Kräfte mobilisiert, die langfristig zu einer Erschließung der Bodenreser-

ven an Nährstoffen führen. Diese Bodenreserven sind um ein Vielfaches höher als die in den Lagerstätten heute bekannten Nährstoffreserven der Welt (Tab. 22).

Tabelle 22: Nährstoffgehalte und Mengen von Gesteinen und Sedimenten als Ausgangsmaterial der Bodenbildung (aus SCHACHTSCHABEL et al. 1989)

Nährstoff	Ausgangsmaterial der Bodenbildung	
	Gehalte (%)	Mengen (kg/ha 1 m Tiefe)
P	0,04 – 0,13	6 600 – 18 500
K	0,6 – 4,3	100 000 – 635 000
Mg	0,06 – 0,17	9 000 – 25 200

Dieser gewünschte Nährstoffaufschluss erfolgt nur dann in einem nennenswerten Ausmaß, wenn die im Boden gelösten Nährstoffe rel. niedrige Gehalte annehmen und wenn eine Nährstoff-Zufuhr in schwer verfügbarer Form vorgenommen wird. Der Grund liegt darin, dass die Pflanzen nur in diesen Fällen durch ein erhöhtes Wurzelwachstum den Boden in verstärktem Maße durchwurzeln und so z.B. auch den Unterboden besser erschließen können. Zudem können die Pflanzen nur bei niedrigen Nährstoffgehalten über die Bildung von Wurzelexudate (Ausscheidungen, z.B. org. Säuren) und einer günstigeren Organismen-Zusammensetzung der Rhizosphäre (z.B. Mykorrhiza) einen höheren Nährstoffaufschluss leisten. Bei Aufrechterhaltung zu hoher Gehalte an pflanzenverfügbaren Nährstoffen können diese bodeneigenen Reserven nicht genutzt werden.

Als weitere Frage gilt es zunächst zu klären, welche der üblichen Methoden zur Bodenuntersuchung auf pflanzenverfügbare Nährstoffe auch für die Bedingungen des ökologischen Landbaus geeignet erscheinen. Aus Ermangelung eigener ökologischer Versuchsserien wurden hierzu in der Regel Ergebnisse konventionelle Dauerversuche, in denen Elemente von im Öko-Landbau erlaubter Verfahren angewendet worden sind, einer näheren Untersuchung unterzogen. Hierbei waren Thomasphosphat und Rohphosphate bei den mineralischen P-Düngemitteln, die erlaubten Kaliumsulfat-Düngemittel sowie die organischen Düngemittel von Interesse.

Von den Untersuchungsmethoden zur Bodenfruchtbarkeit wurden vor allem die in der landwirtschaftlichen Praxis in Deutschland weit verbreiteten Methoden nach VDLUFA geprüft, ob sie auch unter ökologischen Anbauverfahren zu aussagefähigen Ergebnissen führen. Insbesondere die mittlere Ertragsreaktion sowie die Ergebnisse der Schlagbilanzierung wurden in Beziehung gesetzt mit der Änderung der Nährstoffgehalte, die mit bestimmten Extraktionsverfahren im Boden erfasst werden können. Folgende Methoden wurden einer Prüfung unterzogen:

- pflanzenverfügbares Phosphat: DL-Methode nach EGNER & RIEHM (1955), CAL-Methode nach SCHÜLLER (1969)
- pflanzenverfügbares Kalium: DL-Methode nach EGNER & RIEHM (1955), CAL-Methode nach SCHÜLLER (1969)
- pflanzenverfügbares Magnesium: CaCl₂-Methode nach SCHACHTSCHABEL (1956).

Weiterhin sollte die Eignung von verschiedenen P-Formen einer Untersuchung untergezogen werden. So stellten z.B. BUCHER (1977a, b) auf Lehm Böden mit pH-Werten zwischen 6 – 7 zwar eine rel. gut mit Thomasphosphat vergleichbare Wirkung einer Düngung mit Hyperphosphat auf die DL-löslichen P-Gehalte des Bodens fest. Die CAL-löslichen Werte an Phosphor sind dagegen deutlich geringer angestiegen und auch die Wirkung auf die Erträge der Kulturarten war nur gering ausgeprägt (Abb. 10). Ähnliche Ergebnisse erzielten auch BUCHER (1970), AMBERGER et al. (1971), GRASS & HEYN (1980), FRITSCH (1986).

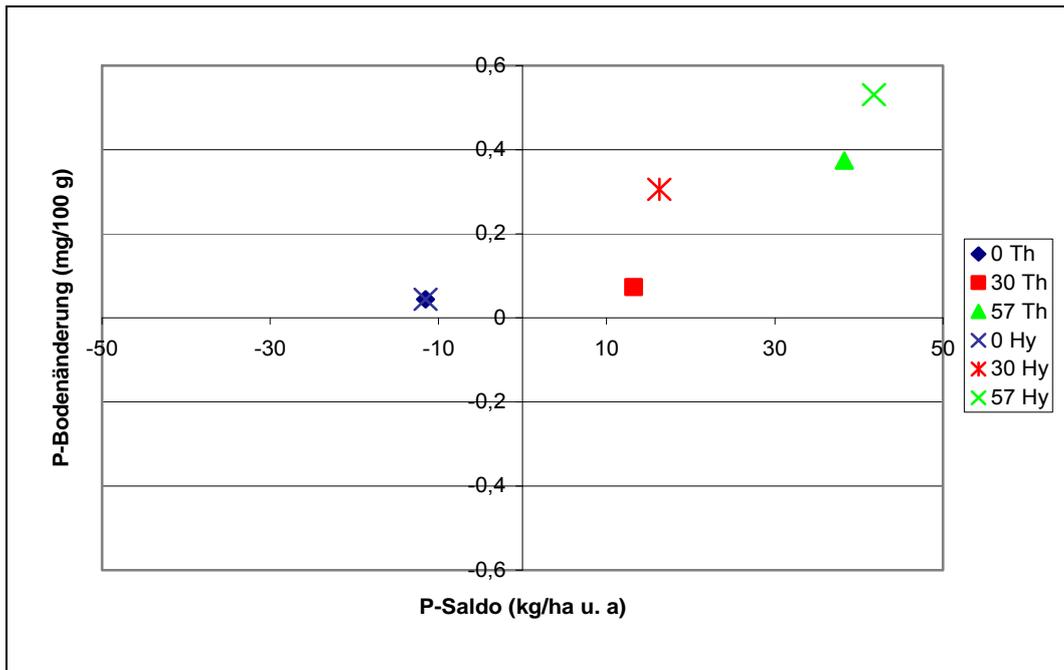


Abbildung 10: Einfluss steigender Düngung mit Thomasphosphat (Th) oder Hyperphosphat (Hy) auf die P-Salden (kg P/ha u. a.) und die jährliche Änderung der DL-löslichen P-Gehalte eines Lössbodens (BUCHER 1977a,b)

Zusammenfassend kann ein P-Formenversuch aus Österreich genannt werden, der auf drei verschiedenen Böden durchgeführt worden ist (REICHARD 1969; LIBISELLER 1969; LINDENTHAL 2000). Hiernach sind die DL- und CAL-Methode für leichtere bis schwerere Böden mit pH-Werten bis 6,5 – 7 zur Charakterisierung der Ertragsreaktion und der Veränderung der Bodengehalte geeignet. Auf schwereren Böden mit pH-Werten von über 7 zeigt die DL-Methode im Vergleich zur Ertragsreaktion zu hohe Bodenwerte an, die CAL-Methode dagegen nicht. Ein Einsatz von Rohphosphaten ist auf diesen P-fixierenden Böden kaum geeignet, da eine Festlegung in Form von P-Apatiten erfolgt.

Im Allgemeinen konnte festgestellt werden, dass (steigende) Gaben nachfolgend genannter organischer Düngemittel auf verschiedenen Bodenarten sowohl die Erträge als auch die laktatlöslichen

Gehalte der Bodennährstoffe in ähnlicher Weise verändert haben, wie es auch von mineralischen Düngemitteln bekannt ist:

- Stalldung oder andere feste organische Düngemittel bewirken eine deutliche Anhebung der Werte an Phosphor und Kalium:
 - auf leichteren Böden, pH ca. 4,5 - 6: JAHN-DEESBACH (1961), KÖHN (1975), GÖRLITZ & ASMUS (1981), GÖRLITZ & RICHTER (1988), ELLMER et al. (1997), SCHWEIZER & PAGEL (1998),
 - Schwarzerde, pH 6,5: ANSORGE (1958), WECHSUNG & PAGEL (1993)
 - Lehm (Löß) und vergleichbare mittlere bis schwerere Böden, pH um 6: GERICKE & BÄRMANN (1964), HOBERÜCK (1978), AMBERGER (1984), BOGUSLAWSKI & LIERES (1997)
- Gülle bewirkt eine deutliche Anhebung der Werte an Phosphor und Kalium:
 - auf leichteren bis mittleren Böden, pH ca. 6: REHBEIN et al. (1976), HOBERÜCK (1978), GÖRLITZ & ASMUS (1981), GÖRLITZ & RICHTER (1988), KOLBE & BECKMANN (2003).
- Langfristige Düngung mit Stalldung sowie mit Gülle hat auch Einfluss auf die löslichen Mg-Gehalte des Bodens: HOBERÜCK (1978), KUNDLER & SMUKALSKI (1983), SCHULZ & MAASS (1994), KOLBE & BECKMANN (2003). Auch unter ökologischen Anbaubedingungen treffen diese Zusammenhänge zu, wie am Öko-Versuch in Darmstadt festgestellt wurde (ABELE 1987).

Zur Wirkung organischer Düngemittel sollen einige Beispiele näher erläutert werden. In einem über 30jährigen Versuch in Sachsen auf einem Sand (Spröda) und einem Löß-Lehm (Methau) führte eine organische Düngung mit Stalldung oder Stroh zu einer den Nährstoffsalden proportionalen bis überproportionalen Veränderung der DL-löslichen Bodenwerte an Phosphor und Kalium (Abb. 11). Ein ökologischer Versuch in Darmstadt auf Sandboden wurde nach rel. kurzer Dauer von 4 Jahren einer Bewertung unterzogen (Abb. 12). Auch hier ist deutlich zu sehen, dass entsprechend der erhaltenen Nährstoffsalden eine proportionale Reaktion in den CAL-löslichen Nährstoffen zu verzeichnen ist. In diesem Versuch ist die Streuung der Werte etwas größer, da nur ein kurzer Zeitabschnitt sowie jede Wiederholung einer getrennten Auswertung zugeführt worden ist. Auf einem anderen ökologischen Versuch (DOK, Schweiz, Lehmboden) konnten ebenfalls ähnliche Ergebnisse für die löslichen Nährstoffe an Phosphor und Kalium in Folge der konventionellen und ökologischen Varianten erzielt werden, wenn die Ergebnisse den berechneten Nährstoffsalden gegenüber gestellt werden (MÄDER et al. 1997).

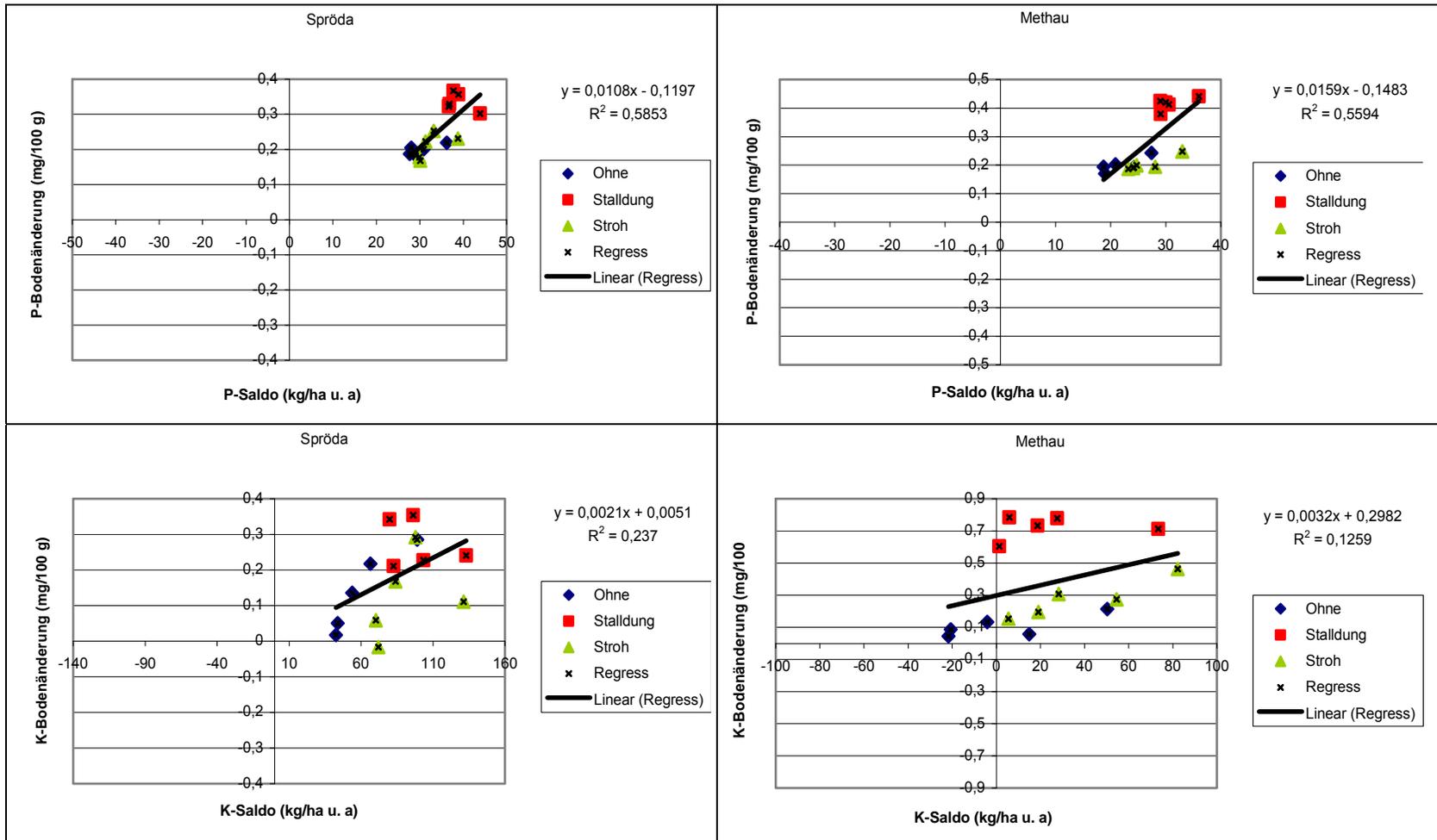


Abbildung 11: Einfluss von Stalldung und Stroh im Vergleich zu keiner organischen Düngung auf die jährliche Veränderung der DL-löslichen Bodennährstoffe im Vergleich zu den Nährstoffsalden an den Standorten Spröda (Sand) und Methau (Löß-Lehm) (nach ALBERT & MENGE 2001)

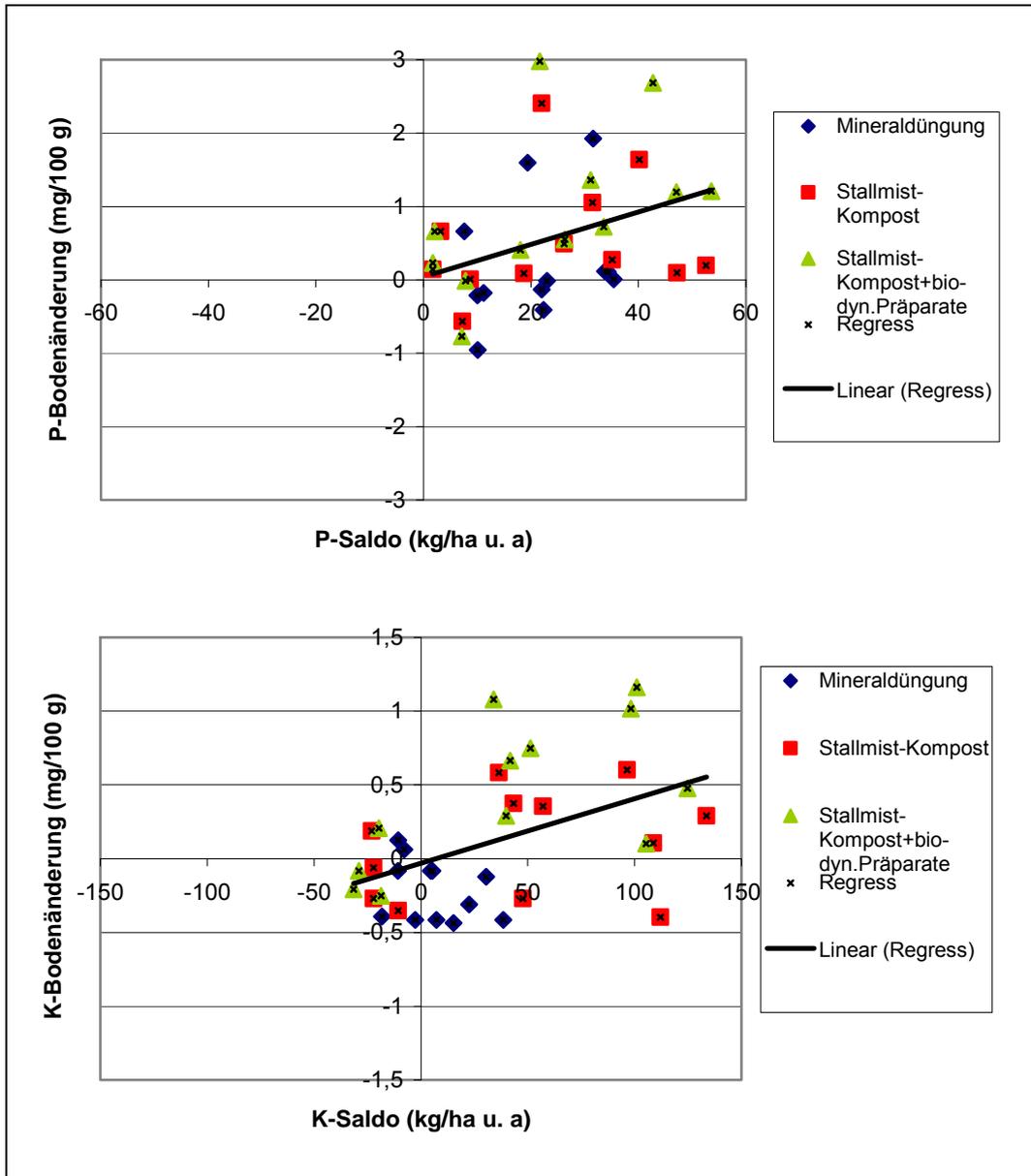


Abbildung 12: Einfluss von drei Bewirtschaftungssystemen auf die P-Salden und die jährliche Veränderung der P-Bodengehalte im Öko-Versuch Darmstadt auf einem Sandboden (ABELE 1987)

Es gibt auch einige Versuche, bei denen organische Düngemittel auf bestimmten Standorten keine eindeutige Wirkung auf die löslichen Werte an Bodennährstoffen erbracht haben. So wurden durch hohe Gaben verschiedener organischer Düngemittel im Vergleich zu deren Nährstoffsalden sehr unterschiedliche Veränderungen in den löslichen Phosphor- und Kalium-Werten bei Versuchen auf sandigem Lehm von BACHTHALER (1973) erzielt. In einem Versuch auf gleichem Boden wirkten Stroh- und Stalldung-Gaben sehr gut auf die laktatlöslichen P-Gehalte, dagegen waren sehr un-

konsistente Reaktionen in den löslichen Kalium-Gehalten zu verzeichnen (BACHTHALER & WAGNER 1971). In bisher unveröffentlichten Ergebnissen aus Versuchen zur organischen und mineralischen Düngung mit Stalldung bzw. Gülle sowie Rohphosphat und Kaliumsulfat auf einem Löß-Lehmboden des Öko-Feldes in Roda (Sachsen) wurden zwar entsprechende Ertragsreaktionen insbesondere bei Hackfrüchten und Leguminosen erzielt. Es wurden aber keine entsprechenden Veränderungen der P- und K-Bodengehalte an DL- bzw. CAL-löslichen Nährstoffen registriert (siehe KOLBE 2006).

Schlussfolgerung aus diesen Darstellungen ist, dass die hier vorgestellten Extraktions-Methoden für die meisten in der Praxis des ökologischen Landbaus vorkommenden Standorte bei Düngung mit den zugelassenen organischen und mineralischen Düngemitteln geeignet erscheinen, da unsteuige Ergebnisse bisher als Ausnahmen angesehen werden können. Einschränkungen bestehen auf Böden mit pH-Werten über 7 für die Phosphatdüngung sowie auf stark K-fixierenden Böden (hohe Tongehalte, Tonminerale Vermiculite, Illite, u.a.) für das K-Düngungsverfahren. Für diese Standorte sind die nachfolgend vorgestellten Düngungsverfahren nicht geeignet. Eine eingeschränkte Funktion kann auch auf bestimmten Verwitterungsböden bestehen, bei denen eine P-Fixierung bei rel. niedrigen pH-Werten erfolgt (RICHTER & SUNTHEIM 2005).

Als nächster Schritt war die Frage zu klären, welche Gehalte an löslichen Nährstoffen in der Bodenlösung für ökologische Anbaumethoden als optimal anzusehen sind. Nach LIEBIG'S bekanntem „Gesetz des Minimums“ ist der Faktor ertragsbegrenzend, der im Minimum vorliegt. Daraus kann abgeleitet werden, dass für die etwas geringeren Ertragserwartungen im ökologischen Landbau auch niedrigere Konzentrationen an Nährstoffen im Boden erforderlich sind als bei entsprechend höherem Ertragsniveau in der konventionellen Landwirtschaft.

Da es unter ökologischen Bedingungen bis heute keine entsprechenden Versuchsserien gibt, wurden zunächst Auswertungen von konventionellen Düngungssteigerungsversuchen genutzt, um Anhaltspunkte für die optimale Höhe der Nährstoffgehalte zu erlangen (Abb. 13). Werden aus diesen Düngungsversuchen die Erträge der Kulturarten den ermittelten Bodengehalten an löslichen Nährstoffen gegenüber gestellt, so ist deutlich zu erkennen, dass der Ertragszuwachs durch Düngung bei steigenden Bodengehalten in charakteristischer Weise abnimmt.

Im Allgemeinen werden im Ökolandbau z. T. deutlich niedrigere Erträge erzielt als im konventionellen Landbau. Nach einer eigenen Erhebung werden in der landwirtschaftlichen Praxis folgende relativen Ertragsabstände registriert (konventionell = 1,0): W.-Weizen, W.-Roggen, S.-Gerste = 0,59; W.-Gerste = 0,53; Triticale = 0,71; W.-Raps, Si.-Mais = 0,78; Kartoffeln = 0,54; Zu.-Rüben = 0,95; Erbsen = 0,75; Leguminosen-Ackerfutter = 1,0. Auf den leichten Böden wurden jeweils ca. 5%-Punkte niedrigere Werte ermittelt.

Werden im Wesentlichen aus Gründen einer niedrigeren N-Versorgung unter ökologischen Anbaubedingungen maximal 30 % niedrigere Erträge veranschlagt (in Abb. 13 markiert), so können nach

Auswertung vieler vergleichbarer Studien folgende Nährstoffgehalte des Bodens als ausreichend angesehen werden:

- P: \cong 4,0 (1 – 7) mg/100 g Boden (25 Studien)
- K: \cong 5,8 (4 – 10) mg/100 g Boden (20 Studien)
- Mg: \cong < 1 – 2 mg/100 g Boden (4 Studien).

Aus der jahrzehntelangen Erfahrung von Praktikern und Beratern des ökologischen Landbaus werden für ein ungestörtes Wachstum gleichfalls Nährstoffgehalte zwischen 3,5 – 4,5 mg P und 6,5 – 8,5 mg K/100 g Boden genannt.

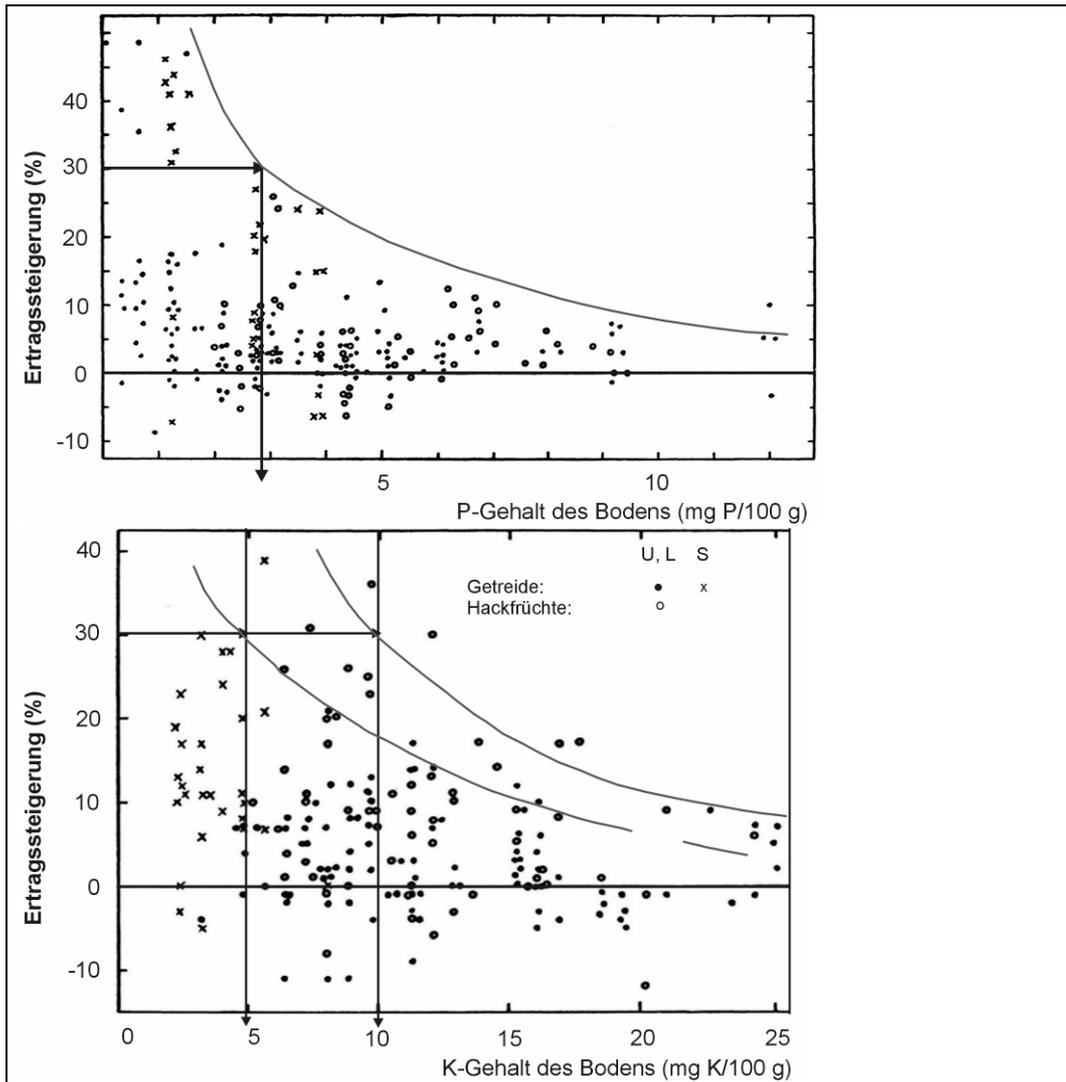


Abbildung 13: Zusammenhang zwischen den durch P- bzw. K-Düngung bedingten Ertragssteigerungen und den Gehalten an laktatlöslichen Nährstoffen im Boden (verändert nach SCHACHTSCHABEL et al. 1976, Erklärungen siehe Text)

Für die Festlegung optimaler Nährstoffgehalte spielen auch zu erwartende Nährstoffverluste eine große Rolle. Nach SCHACHTSCHABEL et al. (1989) kann z.B. eine mittlere Auswaschung an Magnesium von ca. 15 – 25 kg und an Kalium von 20 – 50 kg/ha und Jahr angenommen werden. Nach neueren Untersuchungen sind bei rel. hohen Bodengehalten auch P-Verluste nachzuweisen (RÖMER 1999). Es besteht daher ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Höhe dieser Nährstoffverluste und dem Versorgungsgrad der Böden. So sinkt z.B. die Auswaschung an Kalium auf Sandboden um ca. 50 %, wenn an Stelle der VDLUFA-Gehaltsklasse C die Versorgungsstufe B eingehalten wird (Abb. 14). An diesem Beispiel erfolgt sogar eine Abnahme der Auswaschung um 70 %, wenn an Stelle der Stufe D die Versorgungsstufe B aufrechterhalten wird.

Nach AUERSWALD et al. (1996) nimmt auch die Erodierbarkeit und Verschlammungsneigung der Böden bei niedrigeren K-Gehalten deutlich ab. Eine Verringerung der Gehalte an Phosphor auf das Niveau der Versorgungsstufe B hat ebenfalls zur Folge, dass der durch Erosion bedingte Abtrag und Austrag an Phosphor in Oberflächengewässer um 30 – 50 % abnimmt (siehe auch NIEDER 2000).

Die Vorteile niedriger Bodengehalte an laktatlöslichen Nährstoffen können abschließend wie folgt zusammengefasst werden:

- nach bisherigen Erkenntnissen sind für die Bedingungen des ökologischen Landbaus keine Ertragsausfälle zu erwarten (Minimum-Gesetz); Ausnahmen: extreme klimatische und pedogenetische Lagen sowie im intensiven Hackfrucht- und Gemüsebau; siehe KOLBE et al. (2006),
- z. T. deutlich höheres Aufschluss- und Mobilisierungsvermögen an Nährstoffen durch Pflanzen und Bodenorganismen,
- durch Ausnutzung der bodeneigenen Reserven deutlich verbesserter Ressourcenschutz,
- deutlich verbesserter Umweltschutz durch geringere Nährstoffverluste.

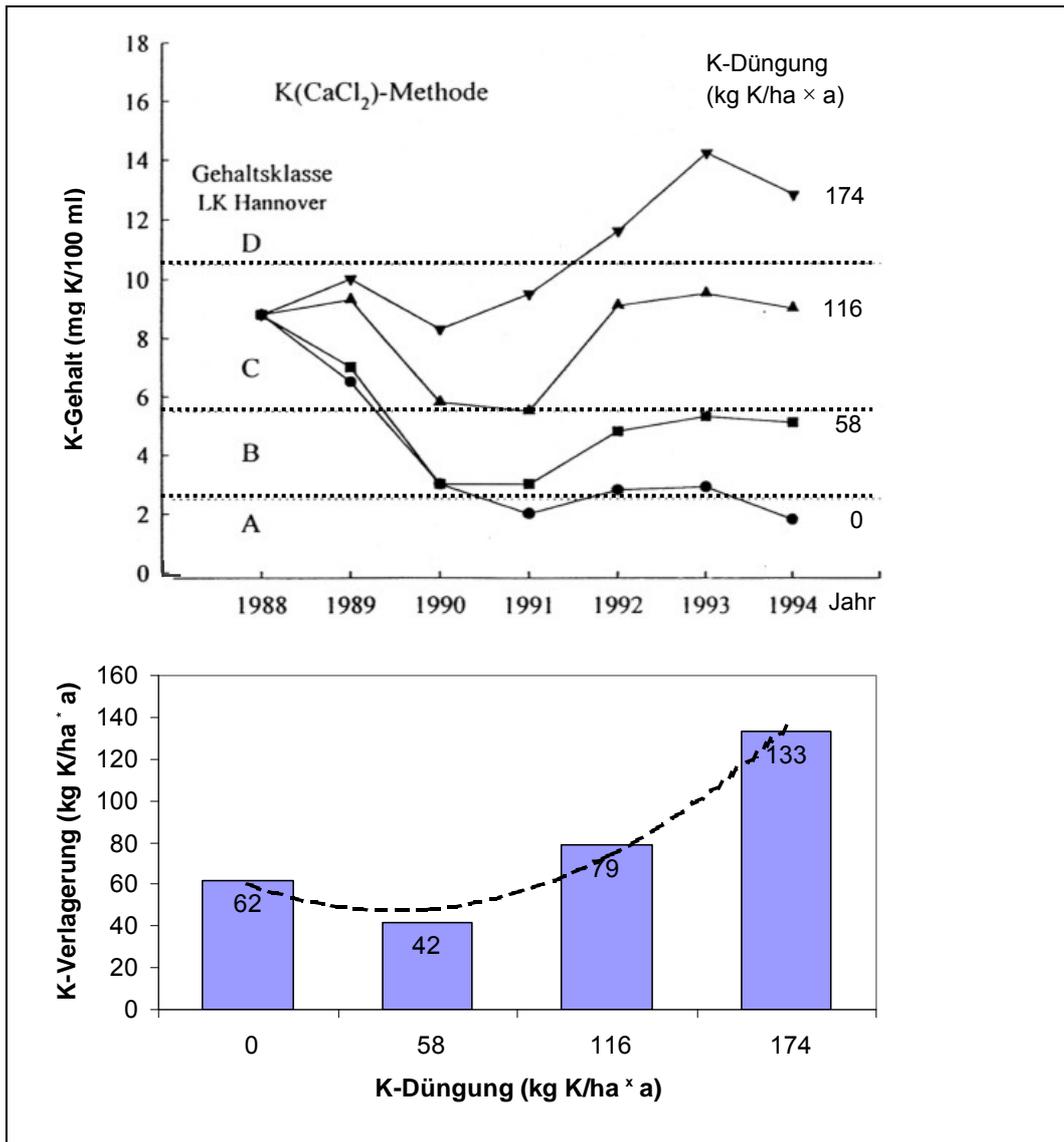


Abbildung 14: Zusammenhang zwischen steigender K-Düngung, den Bodengehalten an löslichem Kalium sowie der Verlagerung an Kalium in den Unterboden von Sandböden (nachSCHULZ 1994; WULFF et al. 1998)

7.2 Gehaltsklassen des Bodens

Ein Vergleich der o. a. ausreichenden Gehaltsbereiche mit den durch den VDLUFA ausgewiesenen Gehaltsklassen lässt erkennen, dass für ökologische Anbausysteme in den meisten Fällen die Versorgungsstufe B als optimal angesehen werden kann (Tab. 23 sowie Anhang, Tab. A4 u. A5). Diese Gehalte liegen z. T. deutlich unter denen, die in der konventionellen Landwirtschaft bei entsprechend höherem Ertragsniveau als optimal angesehen werden (Gehaltsklasse C).

Durch Ertragsklassifizierung von Versuchsdaten gelangten KERSCHBERGER & MARKS (2002) eher zur Bestätigung der Versorgungsstufe C auch für ökologische Bedingungen. Hierbei wurde jedoch keine Klassifizierung durch unterschiedliche Düngung (insbesondere N) vorgenommen. Daher wurde in der niedrigeren Ertragsklasse lediglich eine Anhäufung von Ergebnissen von leichten Böden erzielt, deren PK-Nährstoffbedürfnisse nicht niedriger einzustufen sind als die der höheren Ertragsklasse auf den besseren Böden. Diese Ergebnisse können daher auf die Bedingungen des ökologischen Landbaus nicht übertragen werden. Zur Klärung des Sachverhaltes besteht Forschungsbedarf durch Versuche, die im ökologischen Landbau durchzuführen sind.

Tabelle 23: Gehaltsklassen für lösliche Bodennährstoffe von Ackerland und Grünland sowie Handhabung für den ökologischen Landbau (verändert n. REDELBERGER 2000; KOLBE 2006)

Gehaltsklasse	Einstufung	Anmerkungen für ökologische Anbauverfahren
A Sehr niedrig	Ertrags- u. Qualitätsmängel, sehr guter Umwelt- u. Ressourcenschutz, geringe Effizienz bei singulärem Mangel	Zufuhr an Grundnährstoffen von außen in der Regel notwendig
B Niedrig	Optimal für ökologischen Landbau: Ertrag, Qualität, Umwelt- und Ressourcenschutz	Zufuhr an Grundnährstoffen von außen ggf. langfristig notwendig
C Mittel	Optimal für konventionellen Landbau: Ertrag, verringerter Umwelt- u. Ressourcenschutz	Zufuhr an Grundnährstoffen von außen begründungsbedürftig (z.B. intensiver Gemüsebau)
D Hoch	Maximaler Ertrag, Luxuskonsum, geringer Umwelt- u. Ressourcenschutz	Keine Zufuhr an Grundnährstoffen von außen
E Sehr hoch	Ertrags- u. Qualitätsdepressionen möglich, Luxuskonsum, kein Umwelt- u. Ressourcenschutz	Keine Zufuhr an Grundnährstoffen von außen (Vorsorge- u. Sanierungsmaßnahmen erwägen)

Das Nährstoffmanagement des Öko-Betriebes sollte daher bei Vorlage durchschnittlicher Bedingungen (Standard) zunächst darauf abgestimmt werden, in absehbarer Zeit die Versorgungsstufe B anzustreben und langfristig zu sichern. Hierdurch werden die Erfordernisse des Betriebes an das Ertragsniveau und die Qualität der Produkte sowie die erhöhten Ansprüche an den Umwelt- und Ressourcenschutz in der Regel sichergestellt. Nach dem üblichen Verfahrensweg kann dies z.B. durch periodisch durchgeführte Bodenuntersuchungen auf lösliche Nährstoffe und entsprechende Ausrichtung des Düngungsregimes auf den Betrieben geschehen. Bei der praktischen Durchführung der als notwendig empfundenen Maßnahmen bestehen allerdings hohe Unsicherheiten.

Aus den Abbildungen 15 und 16 ist zu erkennen, dass für jede Landbauart quasi zwei Intensivierungsstufen vorgeschlagen werden. Für den ökologischen Landbau wird die Versorgungsstufe B als Standard vorgesehen. Gleichzeitig ist diese Versorgung auch gut anwendbar in sogenannten umweltsensiblen Bereichen wie z.B. in Wasser- und Naturschutzgebieten. Für besonders empfindliche Kulturarten (intensiver Gemüsebau, ausgesprochen hoher Anteil an Hackfrüchten in der Fruchtfolge, Sonderkulturen) reicht wahrscheinlich die Versorgungsstufe B in vielen Fällen nicht aus. Daher sollte bei vorherrschendem Anbau dieser Kulturen im ökologischen Anbau die Möglichkeit bestehen, die Ackerflächen bis zur Mitte der Versorgungsstufe C aufzudüngen.

Auch für die konventionellen oder integrierten Anbauverfahren werden diese zwei Zielversorgungsstufen vorgeschlagen. Für die hauptsächlich vorkommenden Anbauverfahren (Standard) ist die Versorgungsstufe C vorgesehen. Bei ausschließlichem Getreideanbau, bestimmten Extensivformen sowie ebenfalls in umweltsensiblen Gebieten wird dagegen die Versorgungsstufe B als ausreichend angesehen, wie es bereits oft schon in der Praxis anzutreffen ist und in experimentellen Arbeiten bestätigt wird (siehe HEGE & OFFENBERGER 2001; RÖMER et al. 2005).

7.3 Schlagkarteiaufzeichnungen und Nährstoffbilanz

Um ein höheres Maß an Sicherheit auf dem Gebiet der Grunddüngung im ökologischen Landbau zu erreichen, wird folgender Verfahrensweg vorgeschlagen. Als erster Schritt ist die Durchführung von Schlagkarteiaufzeichnungen über die Kulturarten und Zwischenfrüchte der Fruchtfolge sowie die Erträge und Düngungsmaßnahmen für jede Fläche des Betriebes erforderlich. Diese Aufzeichnungen sind oft schon aus gesetzlichen Erfordernissen (EU-Öko-VO, DüV) vorgeschrieben oder sie werden empfohlen.

Auf Grund dieser Aufzeichnungen ist es dann mit Hilfe von Tabellenwerken bzw. durch Anwendung des PC-Programms möglich, eine Nährstoffbilanz für jeden Schlag durchzuführen. Damit verlässliche Werte erhalten werden, sollten grundsätzlich Bilanzen für wenigstens eine Fruchtfolge-Rotation ermittelt werden. Es können aber auch Bewertungen für die Kulturarten in den einzelnen Fruchtfolgejahren vorgenommen werden (Abb. 17).

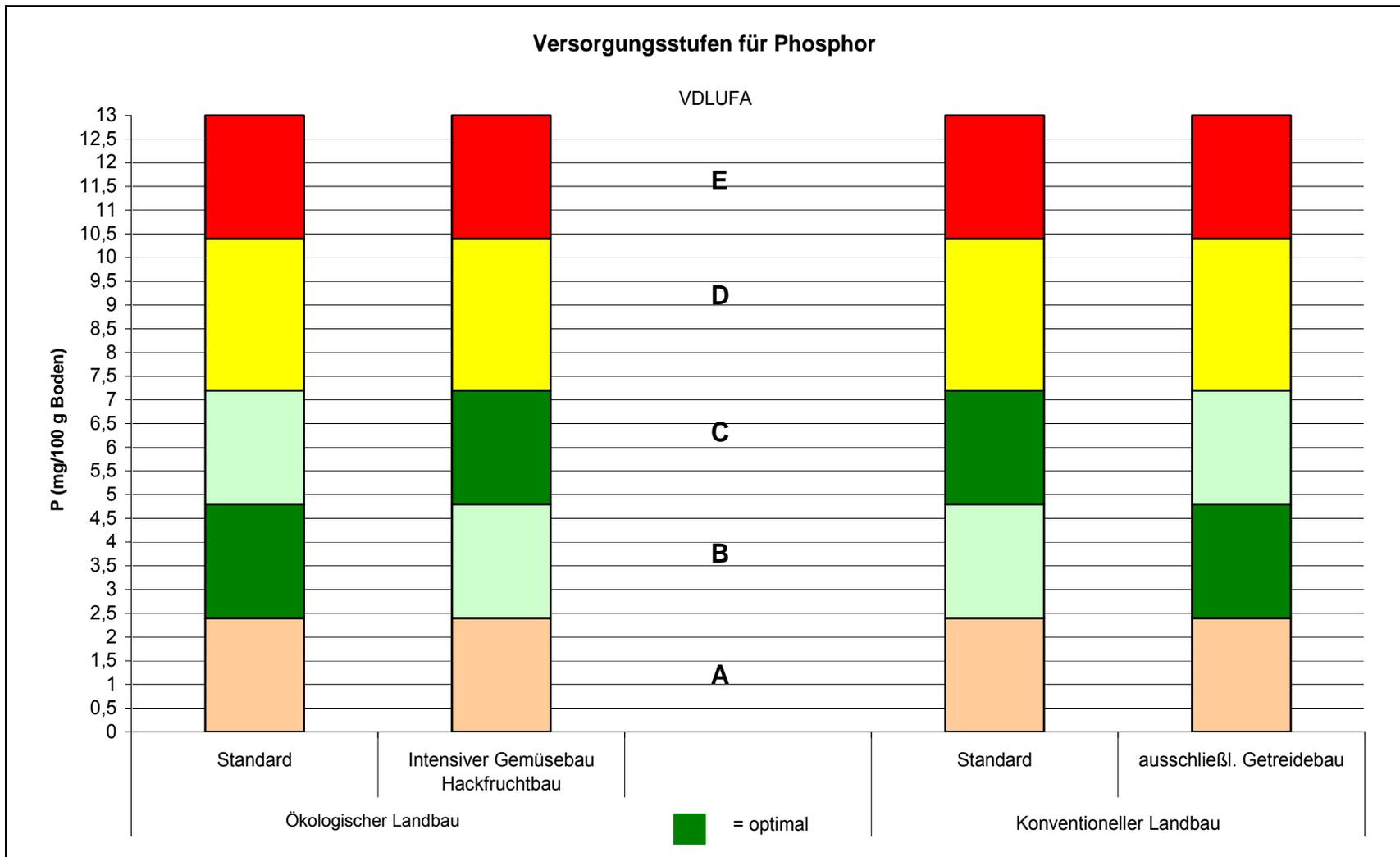


Abbildung 15: Grafische Darstellung der Versorgungsstufen für Phosphor auf Ackerland für ökologische und konventionelle Anbauverfahren

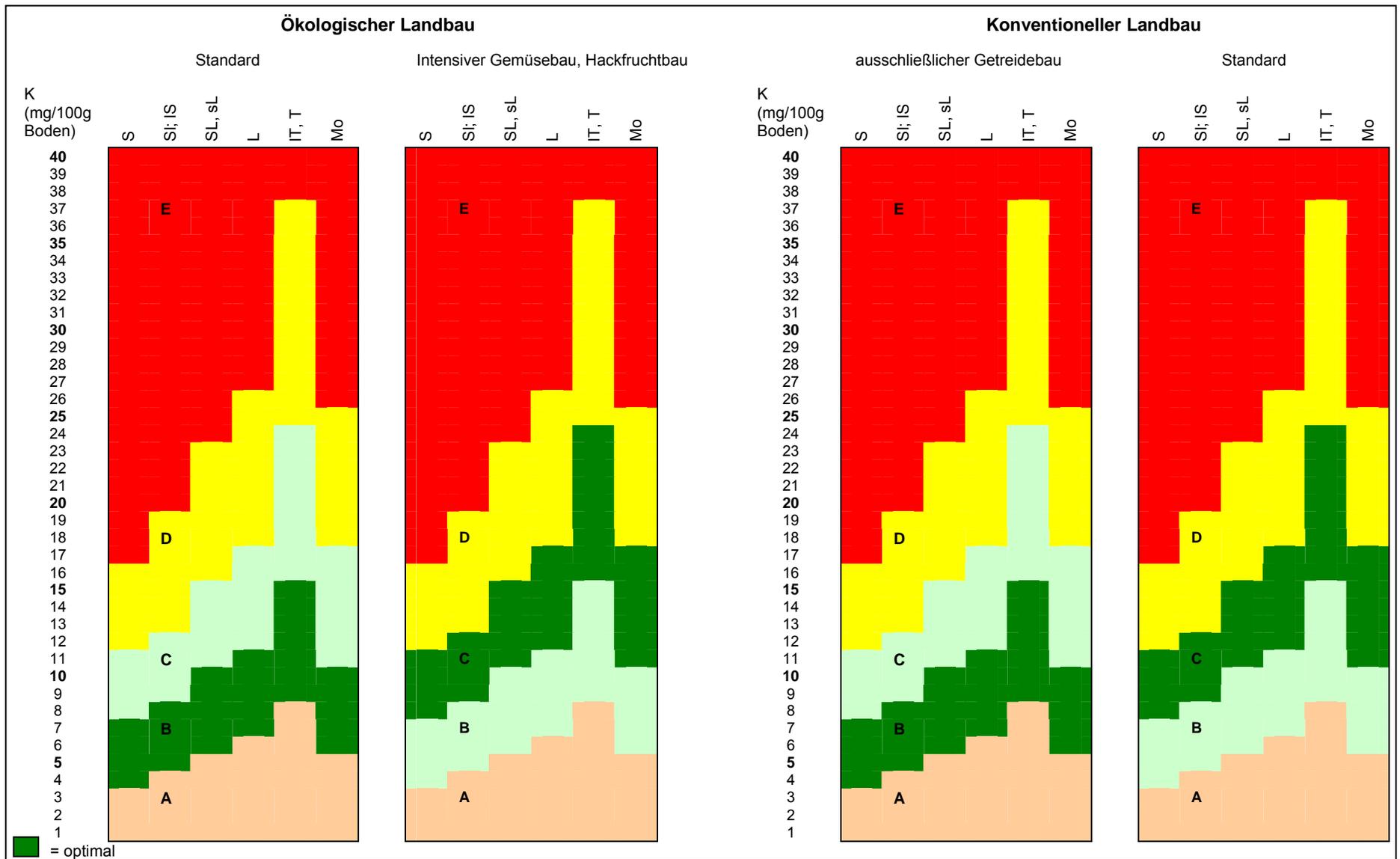


Abbildung 16: Grafische Darstellung der Versorgungsstufen für Kalium auf Ackerland für ökologische und konventionelle Anbauverfahren

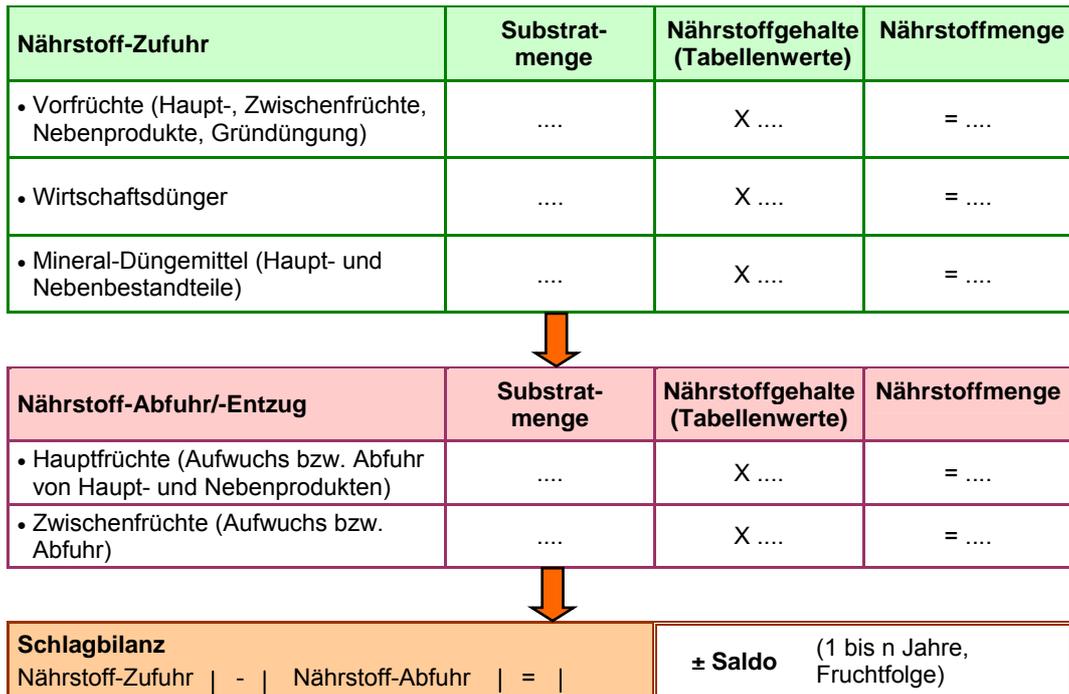


Abbildung 17: Schema zur Berechnung der Fruchtfolge-Schlagbilanz

Im Bereich der konventionellen Landwirtschaft besteht ein umfangreiches Instrumentarium, das auch für ökologische Anbauverfahren sinnvoll genutzt werden kann, wenn bestimmte Bedingungen erfüllt sind. Zunächst müssen Summenwerte an Nährstoffen für die Bilanzkriterien Zufuhr und Abfuhr ermittelt werden. Hierzu werden die Nährstoffgehalte der Materialien in der Regel aus Tabellenwerken entnommen. Die Überprüfung eines entsprechenden Datenmaterials aus der Literatur (u. a. aus WOESE et al. 1995a, b) über Vergleiche zwischen konventionellen und ökologischen Anbauverfahren ergab, dass neben einer rel. hohen Schwankung der Werte die mittleren Gehalte an Nährstoffen in den Öko-Produkten gewöhnlich etwas höher liegen (Tab. 24).

Tabelle 24: Relative Differenz der durchschnittlichen Nährstoffgehalte von Kulturarten-Gruppen zwischen konventionellem (= 100 %) und ökologischem Anbau nach Auswertung verschiedener Studien (u. a. WOESE et al. 1995a, b)

Gruppe	Phosphor	Kalium	Magnesium
Getreidearten (Körner)	+ 5,0	+ 4,7	+ 4,7
Kartoffeln (Knollen)	+ 13,4	+ 1,2	+ 4,6
Gemüsearten (Blätter, Kopf)	+ 3,0	- 1,3	+ 16,2
Mittelwerte	+ 7,1	+ 1,5	+ 8,5

Nach den bisherigen Erfahrungen sind diese Differenzen als nicht besonders groß zu bezeichnen oder sie haben keine besondere Bedeutung (wie z.B. bei Mg). Außerdem gibt es auch Veröffentli-

chungen mit geringfügig negativen Abweichungen in den Gehalten im Vergleich zu konventionellen pflanzlichen Materialien (z.B. MADER et al. 2000). Deshalb ist zunächst eine generelle Korrektur der konventionellen Tabellenwerte für diese Nährstoffe unterlassen worden (siehe Kap. 4). Die über die Niederschläge zugeführten Mengen sind ebenfalls nicht von großer Bedeutung (nach SCHACHTSCHABEL et al. 1989): 0,2 – 2 kg P, 2 – 6 kg K u. Mg/ha und Jahr. Auch hierfür ist bisher keine Korrektur der Zufuhrwerte erforderlich.

Bei der Bilanzierung ist allerdings darauf zu achten, dass die Nährstoffe in den Materialien zu 100 % angerechnet werden. Es sollten keine Abzüge (z.B. direkte Wirksamkeit für die Folgekultur) akzeptiert werden, weil auf lange Sicht von einer 100%igen Wirkung der Nährstoffe ausgegangen werden kann. Außerdem wird im ökologischen Landbau nicht direkt die Kultur sondern der Boden gedüngt, aus dem dann die Pflanzen ernährt werden. Auch aus dieser Perspektive gesehen ist es von Vorteil, die Bilanz immer über die gesamte Fruchtfolge zu kalkulieren.

Die durch die Schlag- bzw. Betriebsbilanz ermittelten Werte geben schon einen rel. guten Überblick über die betriebliche Situation (siehe Tab. 25). Gemischtbetriebe mit einer relativ hohen Viehhaltung weisen in der Regel ausgeglichene Nährstoffbilanzen auf. Intensive Marktfruchtbetriebe mit hohem Anteil an Hackfrüchten und Gemüse müssen dem gegenüber mit z. T. deutlich negativen Bilanzsalden rechnen (Formen der Nährstoffbilanzierung siehe Kap. 5).

Tabelle 25: Nettoentzüge an Phosphor und Kalium in verschiedenen Betriebssystemen (nach ALVERMANN 1990)

Betriebstyp	Saldo (kg/ha LN)	
	P	K
Milchvieh-Grünlandbetrieb mit Zukauf des Futtergetreides	± 0	± 0
Marktfrucht-Futterbaubetrieb, ca. 0,8 GVE/ha	- 9	- 17
Extensiver Marktfruchtbetrieb, viehlos	- 11	- 17
Intensiver Marktfruchtbetrieb, 30 % Kartoffeln u. Feldgemüse	- 13	- 50

7.4 Quantitative Zusammenhänge zwischen den Nährstoffbilanzen und der Veränderung der Bodengehalte an pflanzenverfügbaren Nährstoffen

Weiterhin konnte ermittelt werden, dass die Nährstoff-Salden in einem ganz bestimmten Zusammenhang mit der Veränderung der Bodengehalte an löslichen Nährstoffen stehen. Auf diese Beziehungen haben weder verschiedene Düngemittel (mineralisch, organisch) noch unterschiedliche Anbausysteme einen deutlichen Einfluss. Daher war es möglich, durch entsprechende Auswertung von Ergebnissen aus einer hohen Anzahl an konventionellen Dauerversuchen der letzten Jahrzehnte, quantitative Beziehungen zwischen den Saldowerten und der Bodenänderung an diesen Nährstoffen zu ermitteln. Die erhaltenen mathematischen Gleichungen wurden dann für den Aufbau

eines Düngungsmodells genutzt, in dem wichtige ökologische Grundsätze berücksichtigt werden konnten.

7.4.1 Phosphor

Für die Auswertungen zur P-Dynamik im Boden standen ca. 245 Feld-Dauerversuche mit insgesamt 1 087 Varianten des konventionellen Landbaus aus allen Teilen Deutschlands zur Verfügung. Eine multivariate statistische Auswertung dieser Datei brachte folgende grundlegende Ergebnisse (Tab. 26).

Tabelle 26: Multiple Regressionsanalyse über den Einfluss von Standort- und Bewirtschaftungsfaktoren auf die jährliche Änderung der löslichen P-Gehalte (DL, CAL) aus Dauerversuchen (Varianten-Anzahl = 349)

Faktor	Modell ohne WW-Glieder		Modell mit WW-Glieder	
	Achsenabschnitt A / Steigung B	Multpl. Bestimmtheitsmaß r^2 (%)	Achsenabschnitt A / Steigung B	Multpl. Bestimmtheitsmaß r^2 (%)
(Konstante, A)	-2,969		-0,227	
P-Saldo (kg/ha x a)	0,008111	41,2		
WW Saldo-Temperatur			0,001344	42,8
Temperatur (°C)	0,731	6,2	0,04267	4,0
Temperatur2 (°C)	-0,04310	1,5		
WW Saldo-N-Düngung			-0,00002927	1,8
N-Düngung (kg/ha)	-0,0006705	0,5		
N-Düngung2 (kg/ha)	0,00000287	6,1	0,000002522	7,1
WW Saldo-Humusgehalt (% TM)			0,0004152	0,2 n.s.
P-Gehalt Versuchsanfang2 (mg/100 g)	-0,0008262	4,8	-0,0008717	5,6
Bodenart 1)	0,0157	0,8	0,0118	0,7
Niederschlag (mm)	-0,0001638	0,3 n.s.	-0,0002927	0,6
Summen		61,4		62,8

¹⁾ 1 = S; 2 = SI; 3 = IS; 4 = SL; 5 = sL; 6 = L; 7 = LT; 8 = T; 9 = M
Kein Einfluss: (Humusgehalt % TM), pH-Wert

Die Schlagsalden für Phosphor stellen hiernach den Faktor mit dem mit Abstand größten Einfluss auf die Veränderung der laktatlöslichen P-Gehalte des Bodens dar. Mit steigenden P-Salden ist eine deutliche Zunahme der Bodengehalte verbunden, Wechselwirkungen mit anderen Faktoren sind dagegen nur sehr schwach ausgebildet. Andere Faktoren, wie die Temperatur und die Bodenart haben noch eine leicht positive Wirkung. Den Faktoren N-Mineraldüngung, Ausgangsgehalte an Phosphor im Boden sowie steigenden Niederschlägen kommt eine geringfügig negative Wirkung zu. Mit steigenden Humusgehalten kann eventuell noch eine geringe zunehmende Wirkung auf die P-Bodenwerte verzeichnet werden (siehe Abb. 18 u. 19).

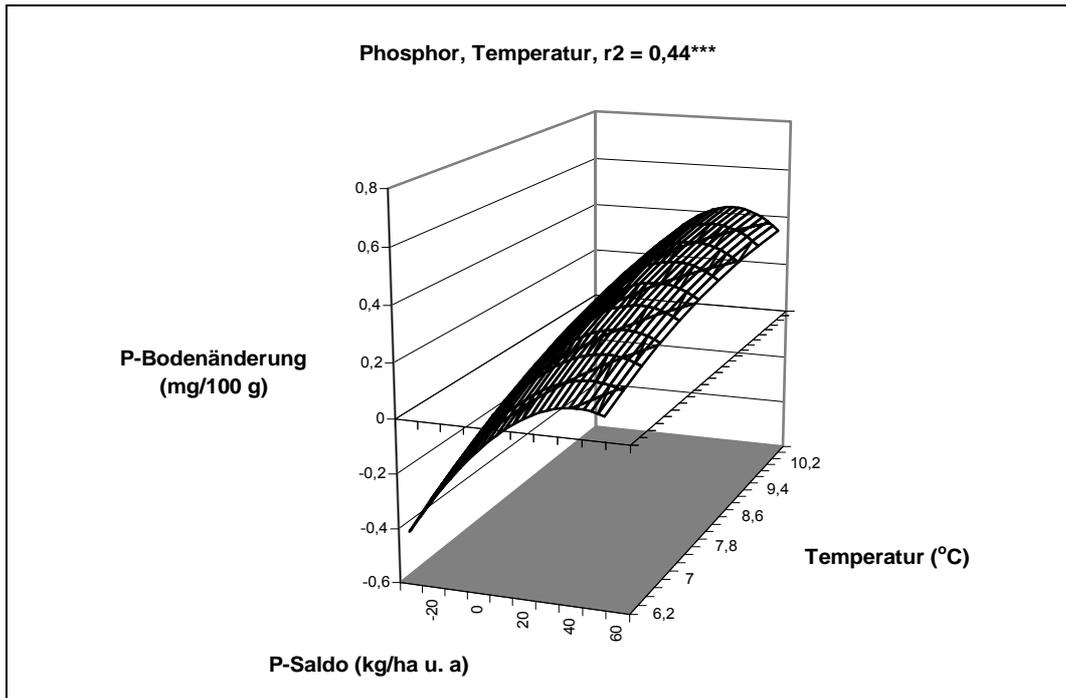


Abbildung 18: Einfluss von P-Schlagbilanz und Temperatur auf die jährliche Veränderung der laktatlöslichen P-Gehalte im Boden

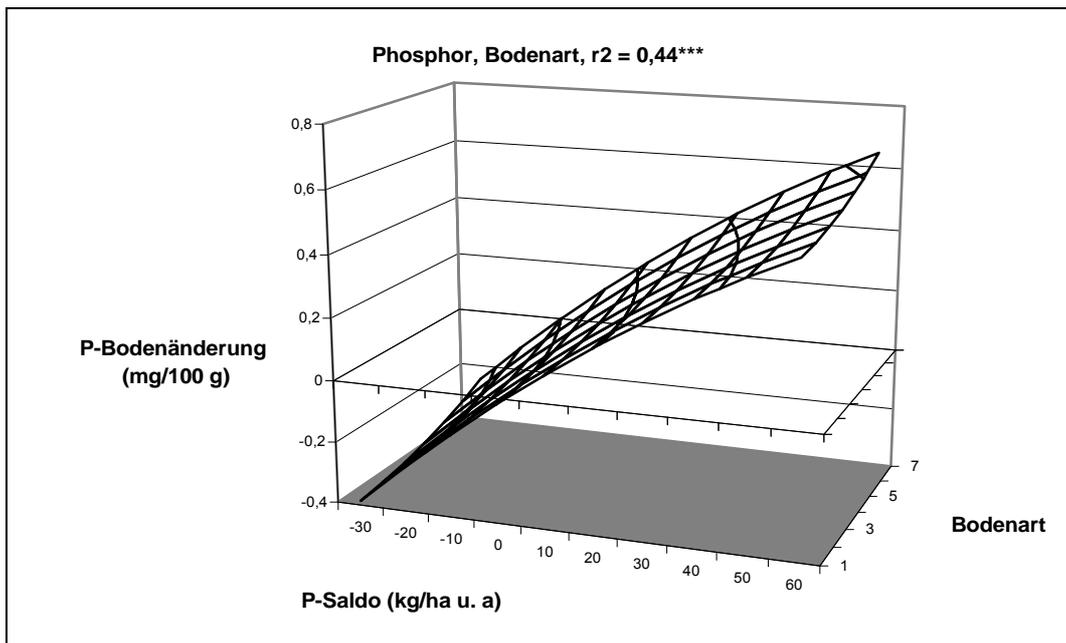


Abbildung 19: Einfluss von P-Schlagbilanz und Bodenart auf die jährliche Veränderung der laktatlöslichen P-Gehalte im Boden (Bodenarten: 1 = S; 2 = SI; 3 = IS; 4 = SL; 5 = sL; 6 = L; 7 = LT; 8 = T; 9 = M)

Auf Grund dieser Auswertungen kann zusammenfassend angemerkt werden, dass der P-Saldo als einziges Merkmal anzusehen ist, das einen deutlichen, meistens linearen Einfluss auf die löslichen Gehalte an Phosphor im Boden ausübt. Andere bewirtschaftungs- und standortbedingte Faktoren haben dagegen keinen prägenden Einfluss, so dass sie zur Quantifizierung dieser Zusammenhänge nicht berücksichtigt werden müssen. Somit kann grundsätzlich die Vorgehensweise des VDLU-FA zur Kennzeichnung der löslichen Bodengehalte an Phosphor durch die eigenen Auswertungen bestätigt werden (vgl. Anhang, Tab. A4 u. A5).

Unter Einbeziehung einer großen Anzahl an Versuchen mit insgesamt 601 Varianten wurden die P-Salden den jährlichen Veränderungen der DL-löslichen P-Bodengehalte gegenübergestellt. In Bezug auf die CAL-löslichen Bodengehalte konnten Versuche mit insgesamt 159 Varianten ausgewertet werden (Abb. 20). Hierbei wurden folgende Gleichungen gefunden:

- Jährl. Änderung d. DL-löslichen P-Gehalte (mg/100 g) = $0,014 + 0,01019 \times \text{P-Saldo (kg/ha u. a)}$ ($r^2 = 0,47^{**}$)
- $0,0 \text{ (mg P/100 g)} = -1,35 \text{ (kg P-Saldo/ha)}$
- Jährl. Änderung d. CAL-löslichen P-Gehalte (mg/100 g) = $0,165 + 0,005865 \times \text{P-Saldo (kg/ha u. a)}$ ($r^2 = 0,23^{**}$)
- $0,0 \text{ (mg P/100 g)} = -28,13 \text{ (kg P-Saldo/ha)}$.

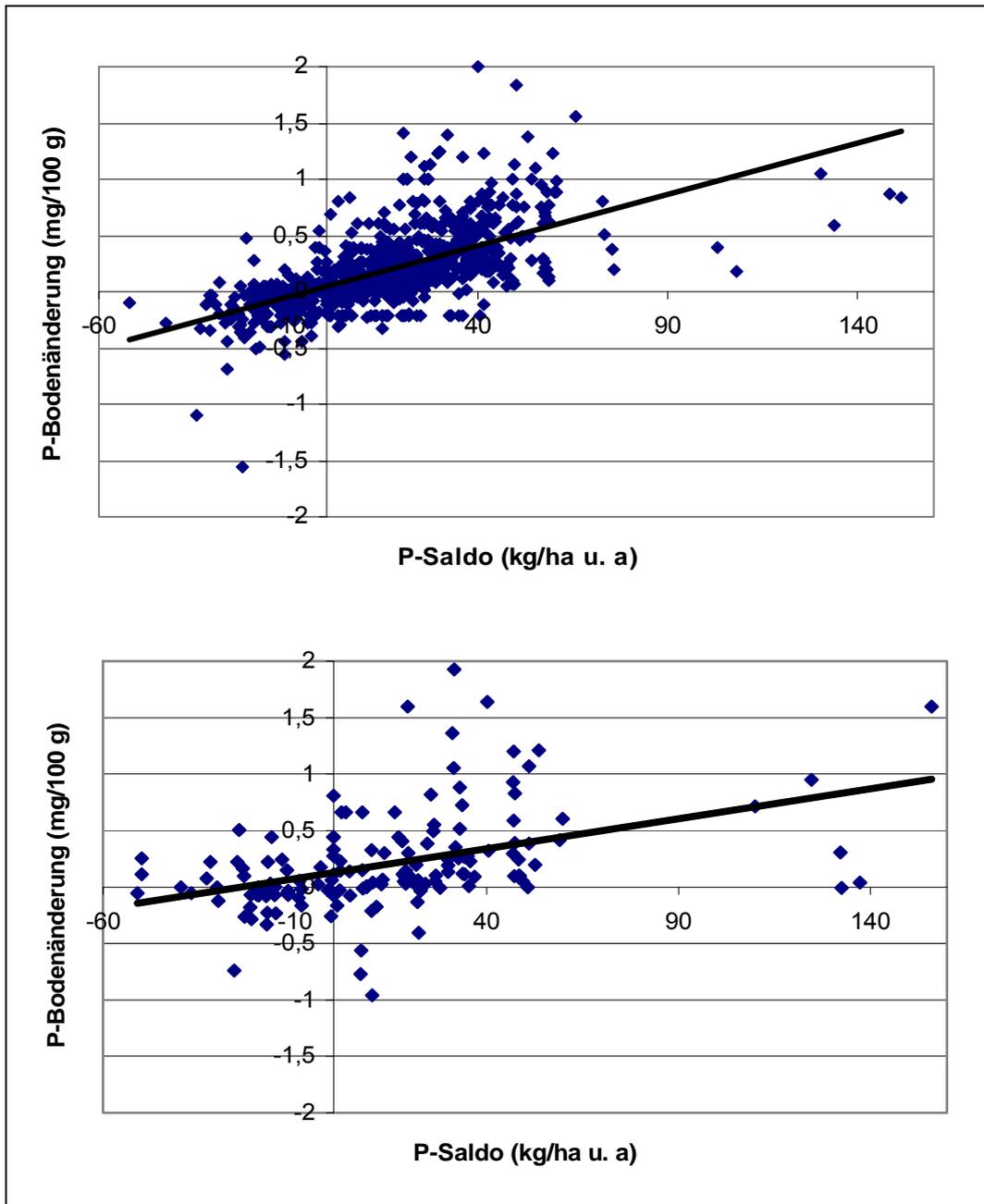


Abbildung 20: Beziehungen zwischen den P-Schlagbilanzen und der jährlichen Veränderung der löslichen P-Gehalte des Bodens (oben DL-, unten CAL-Methode)

Die Bewertung der DL-löslichen Bodengehalte beruht auf einer soliden Versuchsbasis. Bei einem durchschnittlichen P-Saldo von -1,35 kg/ha wird keine Bodenänderung registriert. Mit steigenden Salden ist eine fast doppelt so hohe Änderung zu erreichen, als bei der CAL-Methode. Auf Grund dieser Auswertungen ist offenbar ein Bewertungssystem auf der Grundlage der DL-Methode besser

geeignet als auf Basis der anderen Methode. Besonders auf schwereren Böden ist anscheinend die CAL-Methode weniger geeignet, da in Folge steigender P-Salden als Ausdruck der pflanzlichen Reaktion, insgesamt eine geringere Veränderung der Bodengehalte und eine hohe Streuung der Werte zu beobachten ist.

Auf den Nährstoff Phosphor demgegenüber hatten unterschiedliche Bodenarten keinen Einfluss. Saldowerte zwischen -1 kg und -2 kg P/ha und Jahr führten zu keiner Änderung der löslichen P-Bodengehalte (Bodenänderung = 0). Daher wurde nur 1 Gleichung zur Verwendung für alle Bodenarten festgelegt. Für den Aufbau des P-Düngungssystems wurde die Grundgesamtheit an Daten des Gebietes der neuen Bundesländer verwendet (KERSCHBERGER & MARKS 1974). Diese Daten beruhen auf vielen Dauerversuchen mit einer Variantenzahl von 152, einer hohen statistischen Sicherheit und einem P-Saldo von $-1,61$ kg/ha bei einer Bodenänderung = 0 (Abb. 21):

- Jährl. Änderung d. DL-löslichen P-Gehalte (mg/100 g) = $0,013 + 0,0081 \times \text{P-Saldo (kg/ha u. a)}$
a) ($r^2 = 0,55^{***}$)
- $0,0$ (mg P/100 g) = $-1,61$ (kg P-Saldo/ha).

Die Steigung B der Gleichung ist etwas geringer als die der größeren DL-Datengesamtheit (siehe Abb. 20) und kann daher auch als Kompromiss zwischen der DL- und CAL-Methode angesehen werden. Die Gleichung kann also für beide Methoden verwendet werden.

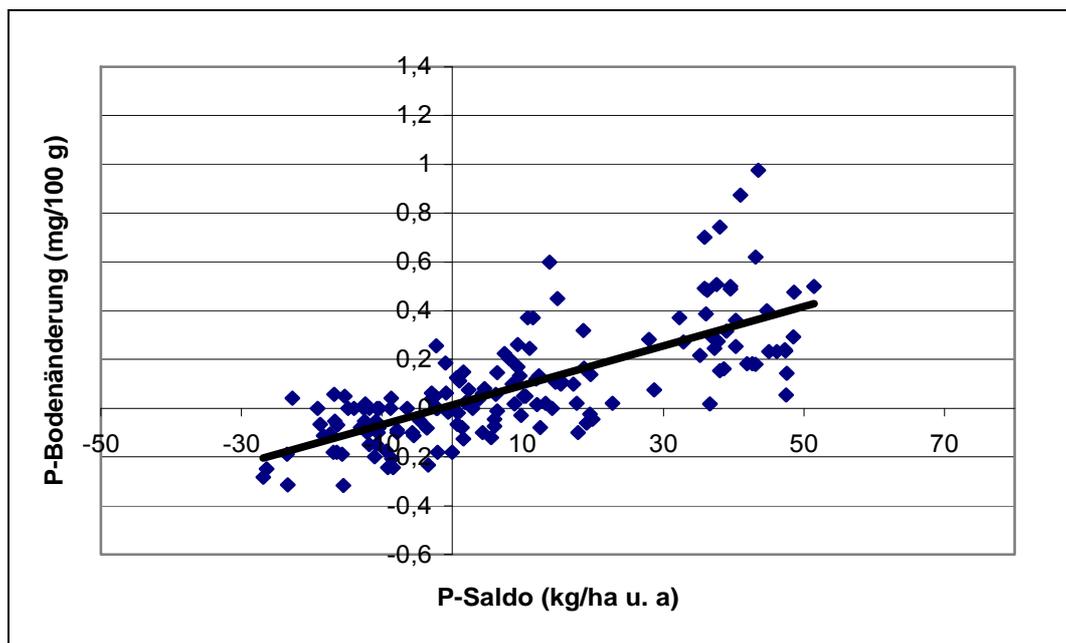


Abbildung 21: Beziehungen zwischen den P-Schlagbilanzen und der jährlichen Veränderung der löslichen P-Gehalte des Bodens nach Daten von KERSCHBERGER & MARKS (1974)

7.4.2 Kalium

Die Versuchsbasis zur Beurteilung der Zusammenhänge bei den Gehalten an löslichem Kalium im Boden beruht auf ca. 170 Feld-Dauerversuchen bzw. Versuchsserien mit insgesamt 1050 Varianten aus allen Gebieten von Deutschland. Durch die statistische Auswertung dieser Versuche konnten folgende grundlegenden Ergebnisse etabliert werden (Tab. 27). Auch beim Kalium haben die Schlagsalden den größten Einfluss auf die Veränderung der laktatlöslichen K-Gehalte im Boden. Anders als beim Phosphor bestehen beim Kalium aber z.T. deutliche Einflüsse weiterer Faktoren, zudem sind Wechselwirkungen sowie nichtlineare Zusammenhänge zu beachten.

Tabelle 27: Multiple Regressionsanalyse über den Einfluss von Standort- und Bewirtschaftungsfaktoren auf die jährliche Änderung der löslichen K-Gehalte (DL, CAL) aus Dauerversuchen (Varianten-Anzahl = 306)

Faktor	Modell ohne WW-Glieder		Modell mit WW-Glieder	
	Achsenabschnitt A / Steigung B	Multpl. Bestimmtheitsmaß r^2 (%)	Achsenabschnitt A / Steigung B	Multpl. Bestimmtheitsmaß r^2 (%)
(Konstante)	2,215		13,580	
WW Saldo-Bodenart			0,001330	33,3
K-Saldo (kg/ha x a)	0,003103	24,8	0,03558	1,1
K-Saldo2			-0,000002873	18,0
Bodenart 1)	0,07672	1,0	-0,268	0,3
Bodenart2 1)			0,04717	0,8
WW Saldo-Humusgehalt			0,001867	8,1
Humusgehalt (% TM)	0,183	9,9		
Humusgehalt2 (% TM)			0,009523	0,9
WW Saldo-Niederschlag			-0,00002561	7,2
Niederschlag (mm)	-0,001467	1,0	-0,001349	1,0
WW Saldo-Temperatur			-0,001691	1,4
Temperatur (°C)	-0,190	1,9	-2,723	10,4
Temperatur2 (°C)			0,145	1,1
WW Saldo-pH-Wert			-0,001615	0,5
pH-Wert2			0,02909	0,9
K-Gehalt Versuchsanfang (mg/100 g)	-0,03119	2,7	-0,101	1,4
K-Gehalt Versuchsanfang2 (mg/100 g)			0,001666	0,9
Summe		41,3		87,3

¹⁾ 1 = S; 2 = SI; 3 = IS; 4 = SL; 5 = sL; 6 = L; 7 = LT; 8 = T; 9 = M
Kein Einfluss: N-Düngung (kg/ha)

Die wichtigste Wechselwirkung besteht zwischen dem K-Saldo und der Bodenart, die bereits einen großen Anteil des Bestimmtheitsmaßes ausmacht. Mit steigenden K-Salden ist eine stetig geringer werdende Zunahme der Bodengehalte an Kalium zu erkennen (Abb. 22). Dies ist auf den leichten Böden besonders stark ausgeprägt. Ein ähnlicher Zusammenhang besteht auch zwischen den K-Salden und steigenden Niederschlägen auf die K-Bodengehalte.

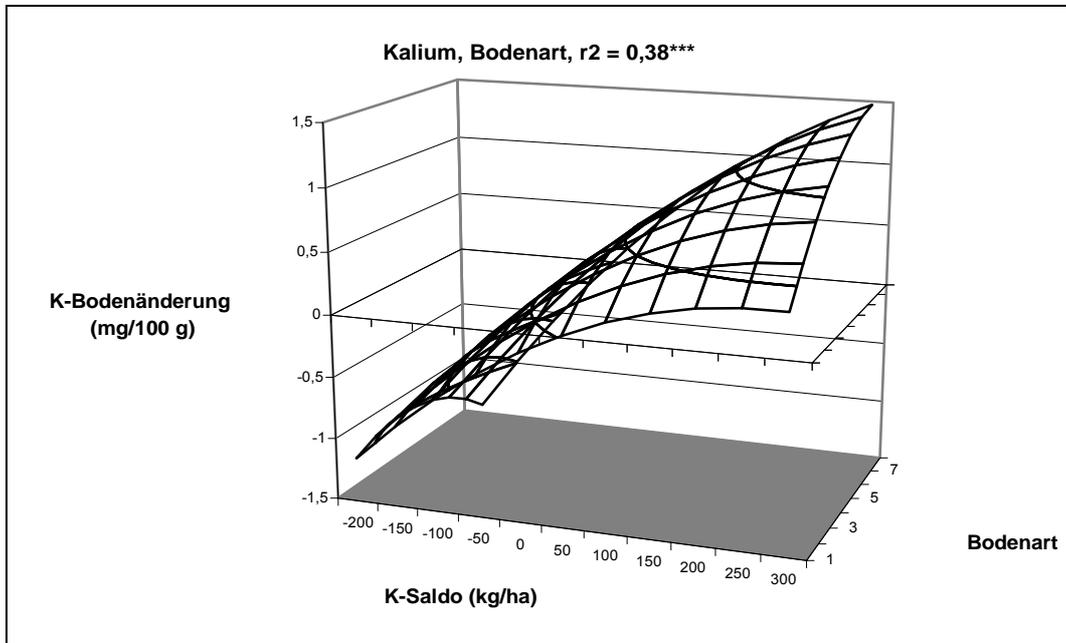


Abbildung 22: Einfluss von K-Schlagbilanz und Bodenart auf die jährliche Veränderung der laktatlöslichen K-Gehalte im Boden (Bodenarten: 1 = S; 2 = SI; 3 = IS; 4 = SL; 5 = sL; 6 = L; 7 = LT; 8 = T; 9 = M)

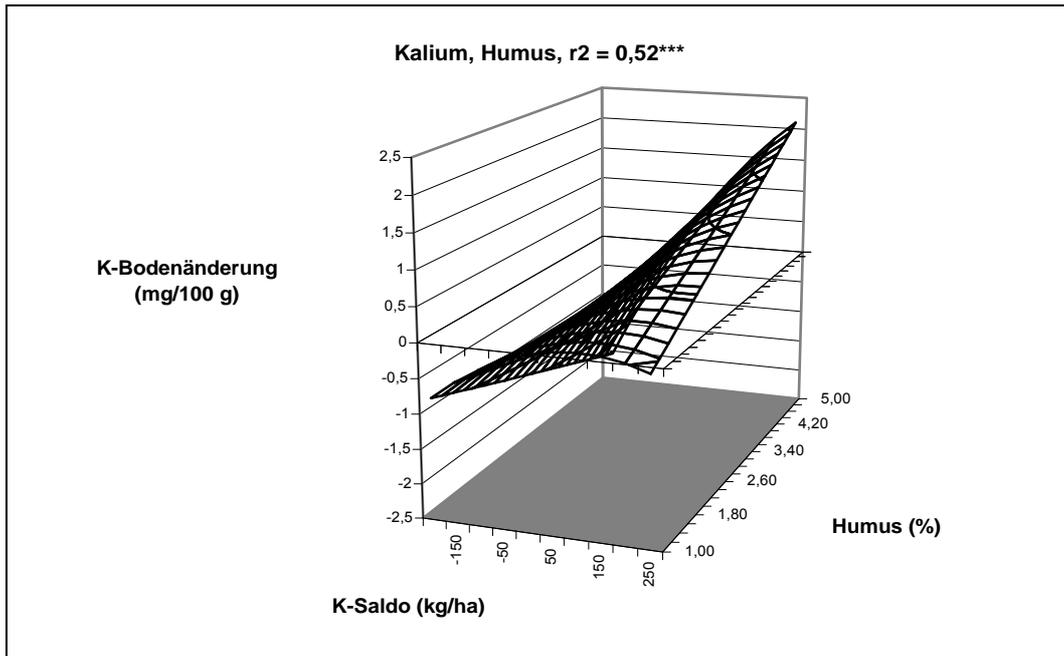


Abbildung 23: Einfluss von K-Schlagbilanz und Humusgehalt auf die jährliche Veränderung der laktatlöslichen K-Gehalte im Boden

Aus Abbildung 23 kann offenbar eine spezifische Wechselwirkung zwischen den K-Salden und den Gehalten an Humus abgeleitet werden. Mit steigenden Humusgehalten nimmt die jährliche Änderung der K-Gehalte stark zu. Hierbei kann aber auch eine indirekte Wirkung zum Humusgehalt vorliegen, da die Humusgehalte mit steigendem Tongehalt von den Sanden zu den schweren Böden zunehmen (vgl. Abb. 22). Diese Zusammenhänge werden bei der multiplen Verrechnung berücksichtigt, daher kann festgestellt werden, dass für die Bodenart ein deutlicher Einfluss und für die Humusgehalte ein geringer Einfluss besteht (vgl. Tab. 27).

Demzufolge ist es nicht verwunderlich, dass eine enorme Streuung der Werte vorliegt, wenn ohne weitere Differenzierung die Datengesamtheit an K-Salden den K-Gehalten des Bodens gegenübergestellt wird (Abb. 24). Der Streubereich liegt hier ungefähr zwischen -200 kg und +200 kg K-Saldo/ha. Folglich kann auf dieser Grundlage kein quantitatives Modell erstellt werden. Aus Tabelle 27 war bereits abzuleiten, dass eine Berücksichtigung weiterer Faktoren wichtig erscheint. Ein zweiter Hauptfaktor stellt hiernach die Bodenart dar. Dieser Faktor wird bereits mit Erfolg von dem VDLUFA verwendet, um eine bessere Differenzierung der Werte an löslichen K-Gehalten des Bodens zu erhalten (vgl. Anhang, Tab. A4 u. A5). Auch diese Vorgehensweise kann jetzt durch die hier vorliegenden Auswertungen bestätigt werden.

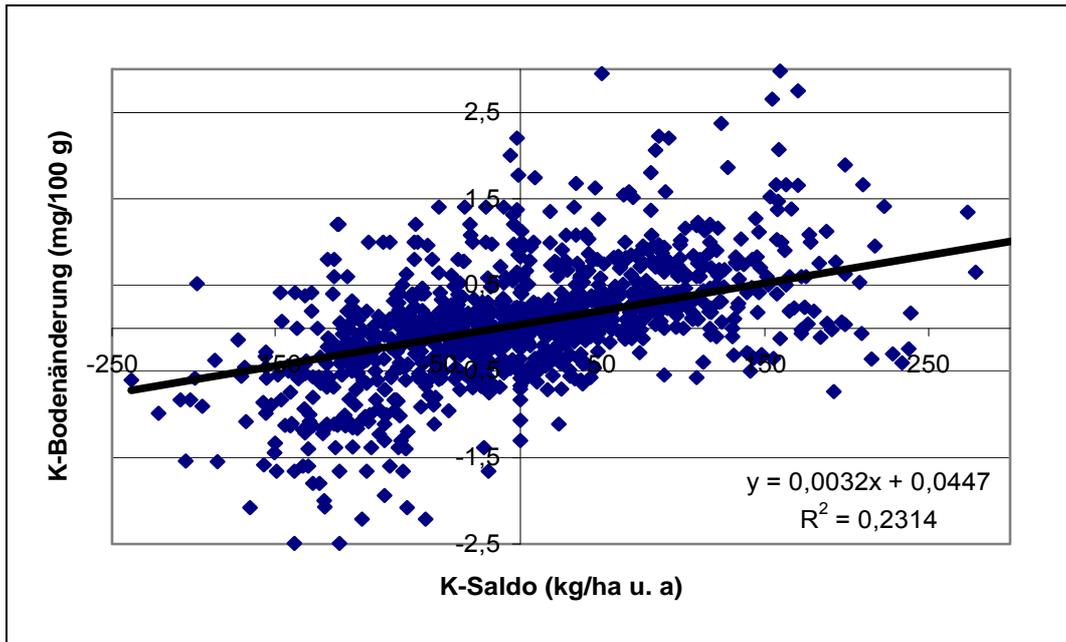


Abbildung 24: Beziehungen zwischen den K-Schlagbilanzen und der jährlichen Veränderung der löslichen K-Gehalte des Bodens (viele Dauerversuche mit über 1000 Varianten, Deutschland, $r^2 = 0,23^{**}$)

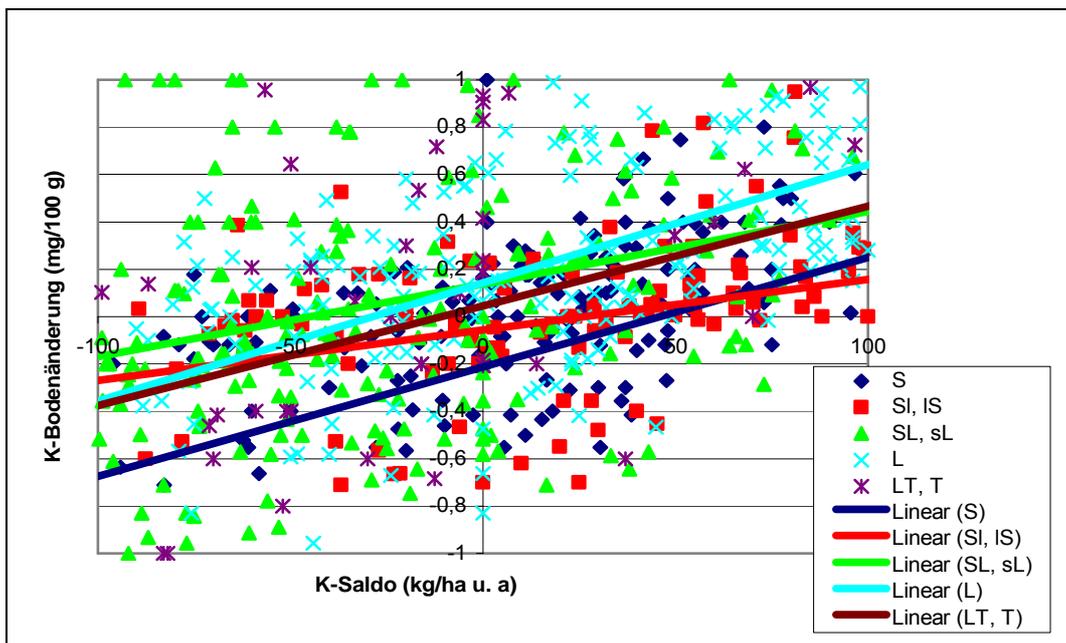


Abbildung 25: Lineare Beziehungen zwischen den K-Schlagbilanzen (kg/ha u. a.) und der jährlichen Veränderung der löslichen K-Gehalte des Bodens (mg/100 g) in Abhängigkeit von der Bodenart (viele Dauerversuche mit über 1 000 Varianten, Deutschland)

Tabelle 28: Merkmale der linearen und quadratischen Gleichungen zwischen den K-Schlagbilanzen (kg/ha u. a) und der jährlichen Veränderung der löslichen K-Gehalte des Bodens (mg/100 g) in Abhängigkeit von der Bodenart

Bodenart	Achsenabschnitt A	Steigung B	Multipl. Bestimmtheitsmass r^2 (%)	K-Saldo (kg/ha) bei K-Bodenänderung = 0,0 (mg/100 g)	Varianten-Anzahl
Sand S	-0,211	0,0046x	33,8***	46	229
	-0,070	0,0075x -0,00003x ²	51,8***	10	
anlehm. Sand Sl, lehm. Sand IS	-0,055	0,0021	17,3**	26	139
	0,006	0,0028x -0,00001x ²	23,3**	0	
stark lehm. Sand SL, sand. Lehm sL	0,138	0,0031	21,1***	-45	348
	0,297	0,0055x -0,000007x ²	34,5***	-45	
Lehm L	0,142	0,005	46,5***	-28	238
	0,132	0,005x 0,000001x ²	46,6***	-28	
lehm. Ton LT, Ton T	0,046	0,0042	41,2***	-11	79
	0,192	0,0062x -0,000007x ²	49,1***	-30	

Durch eine nach Bodenarten getrennte Auswertung wird eine Differenzierung in der K-Dynamik des Bodens sichtbar (Tab. 28 u. Abb. 25). Zur Aufrechterhaltung der Gehalte (Bodenänderung = 0) ist auf leichten Böden ein positiver Saldo zwischen 10 kg und 45 kg K/ha auf Sand und zwischen 0 kg und 25 kg K/ha auf den anderen leichten Böden erforderlich. Nach diesen Auswertungen reicht auf den mittleren Böden dagegen bereits ein Saldo um -45 kg/ha aus, um die K-Gehalte des Bodens in gleicher Höhe zu halten. Bei den schweren Böden können Werte von -28 kg (Lehm) und zwischen -30 kg und -10 kg K/ha (Ton) an negativen Salden vorliegen, ohne dass sich die Bodengehalte ändern. Auf den verschiedenen Bodenarten bestehen hiernach unterschiedliche Relationen zwischen den Saldowerten und der Bodenänderung, die auf nachfolgend genannten Ursachen beruhen.

Abbildung 26 zeigt Regressionsbeziehungen zwischen der langjährigen K-Feldbilanz und der jährlichen Änderung der Gehalte an pflanzenverfügbarem Kalium in einem Sandboden. Es ist zu erkennen, dass sich mit steigenden Saldowerten die Bodenänderungen ebenfalls in einem bestimmten Verhältnis verändern. In Abhängigkeit von der Ausgangssituation der Nährstoffgehalte des Bodens

und der Düngungshöhe des Versuches kann eine negative oder eine positive lineare Bodenänderung erfolgen. Bei einem positiven Saldo von ca. 50 kg K/ha findet über die Zeit keine Änderung der Bodengehalte mehr statt (Abb. 26, rechte Gerade). Hieraus wird ersichtlich, dass auf diesem Sandboden eine erhebliche Menge an Nährstoffen durch Verlagerung und Auswaschung den Bodenhorizont verlässt.

Werden diese Nährstoffverluste experimentell ermittelt (Daten aus Abb. 26) und von den Saldowerten abgezogen, so ergibt sich eine zweite Gerade, die nach links verschoben ist (Abb. 20). Es ist nun zu erkennen, dass die Salden auf diesem leichten Boden um durchschnittlich 10 – 15 kg K/ha je Jahr negative Werte annehmen können, ohne dass die Bodengehalte sich verändern. Diese Nährstoffmengen stammen sowohl aus der Nachlieferung des Bodens als auch aus der Nährstoff-Deposition, die mit den Niederschlägen in jedem Jahr auf die Fläche eingetragen wird.

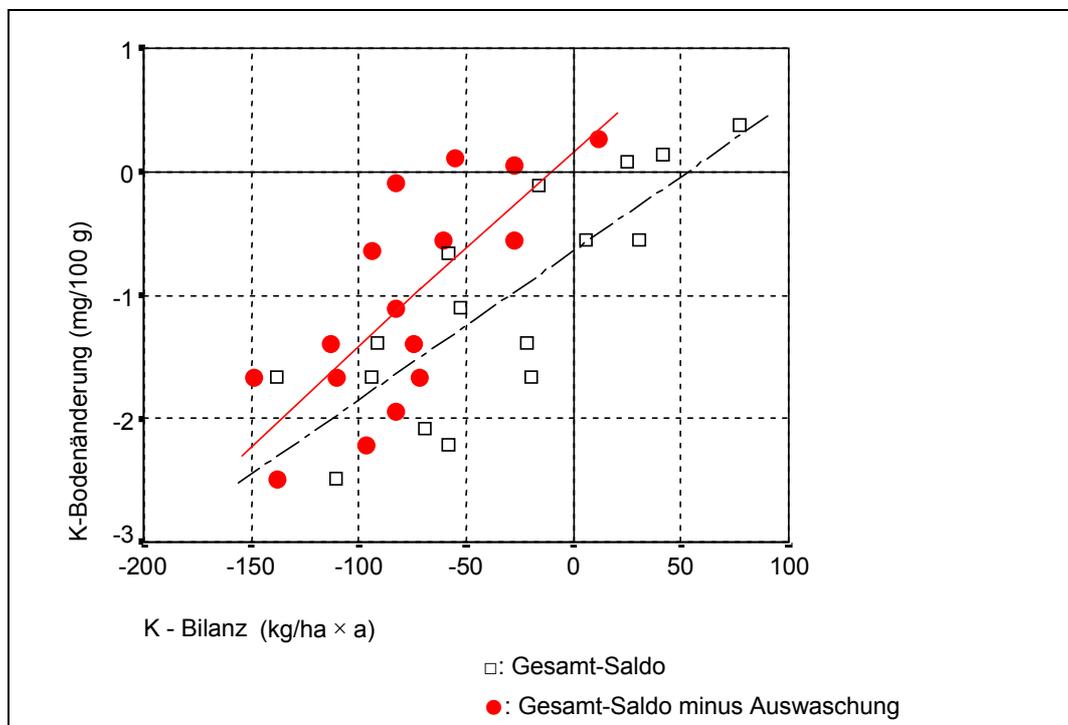


Abbildung 26: Einfluss der Feldbilanz (linke Gerade: nach Abzug der Auswaschung vom Saldo; rechte Gerade: inkl. Auswaschung) auf die jährliche Änderung der Bodengehalte an Kalium auf Sandböden (Daten aus SCHULZ 1994)

Im Allgemeinen können diejenigen Saldo-Werte, bei denen keine Bodenänderungen mehr stattfinden (Bodenänderung = 0), als Nährstoff-Summen der Komponenten

- Auswaschung,
- Nachlieferung,
- Festlegung und
- Deposition

angesehen werden.

Bei Kalium (und Magnesium) sind diese charakteristischen Bilanz-Salden stark abhängig von der Bodenart (siehe Abb. 25) und von dem Niveau der aufrecht zu erhaltenden Nährstoffgehalte in den Böden. Auf einem Sandboden überwiegt in der Regel die Auswaschung, es müssen also positive Bilanzsalden in einer bestimmten Höhe vorliegen, damit die gleichen Bodengehalte aufrechterhalten werden können. Auf einem Lehmboden überwiegt dagegen die Nachlieferung an Kalium. Hierbei können auch langfristig negative Schlagbilanzen vorliegen, ohne dass sich die Gehalte in der Bodenlösung ändern. Bei der Aufrechterhaltung vergleichsweise hoher Bodenwerte sind die Verluste (Auswaschung) größer und die Nachlieferung geringer (kaum Mobilisierung) zu veranschlagen, so dass die Nährstoffsalden höhere (positive) Werte annehmen müssen als bei Aufrechterhaltung entsprechend niedrigerer Bodenwerte.

Aufgrund einer genauen Auswertung von vielen in der Literatur dokumentierten Dauerversuchen, bei denen Versuche unter extremeren Bedingungen mit z.B. sehr hohen Bodenwerten ausgeschlossen wurden, konnten in der geschilderten Weise mathematische Gleichungen für die wichtigsten Bodenarten ermittelt werden, die für den Modellaufbau eine weitere Verwendung gefunden haben und mittlere bis trockenere Standorte gut repräsentieren (Tab. 29). Danach sind Sandböden mit Saldowerten von +10 kg bis +20 kg K/ha durch eine höhere Auswaschung charakterisiert, während Böden aus sandigem Lehm und Lehm eine Nettonachlieferung aus den Bodenreserven zwischen 50 kg und über 65 kg K/ha und Jahr aufzuweisen haben. Insgesamt wurden 5 Gleichungen für Kalium für die folgenden Bodenarten ermittelt: S, SI, SL, L, T. Moorstandorte wurden in die Gruppe Sandböden eingeordnet. Diese Gleichungen werden gleichermaßen für Acker- und Grünland verwendet, nur die anzustrebenden mittleren K-Werte sind zwischen Grünland und Ackerland verschieden hoch (vgl. Anhang, Tab. A4 u. A5: Versorgungsstufen B - C).

Tabelle 29: Merkmale der Gleichungen zwischen den K-Schlagbilanzen (kg/ha u. a) und der jährlichen Veränderung der löslichen K-Gehalte des Bodens (mg/100 g) in Abhängigkeit von den mittleren Ergebnissen aus ausgewählten Versuchen mit unterschiedlichen Bodenarten

Bodenart	Achsenabschnitt A	Steigung B	K-Saldo (kg/ha) bei K-Bodenänderung = 0,0 (mg/100 g)	Literatur-Quellen
Sand S	0,073	0,004261	17,0	VETTER & KLASINK (1977a), KERSCHBERGER & RICHTER (1992, 1993), SCHULZ (1994) STUMPE et al. (1989) KÖHNLEIN & KNAUER (1965) FRÜCHTENICHT (1989)
anlehm. Sand SI, lehm. Sand IS	-0,110	0,003300	-33,4	KÖHNLEIN (1981) STUMPE et al. (1988) ORLOVIUS (1988) HEGE & OFFENBERGER (1998)
stark sand. Lehm SL, sand. Lehm sL	-0,372	0,007375	-50,4	VETTER & KLASINK (1977b) ALBERT (1976, 1984) KERSCHBERGER & RICHTER (1993) LINKE et al. (1983) MOKRY (1998), PFLUB & WIECHENS (1972)
Lehm L	-0,627	0,009079	-69,1	VETTER & KLASINK (1977b) KERSCHBERGER & RICHTER (1985, 1992), KÖHNLEIN & KNAUER (1965) KÖCHL (1984)
lehm. Ton LT, Ton T	-0,575	0,002103	-27,4	BAUMGÄRTEL (1998), FRÜCHTENICHT (1989) KERSCHBERGER & RICHTER (1993)

7.4.3 Magnesium

Beim Nährstoff Magnesium reichte die Datengrundgesamtheit bisher nicht aus, um eine multiple Verrechnung vorzunehmen. Aus Einzelauswertungen kann aber abgeschätzt werden, dass der Mg-Saldo wiederum einen hohen Erklärungsanteil an der gesamten Varianz umfasst. Die erzielten Werte betragen zwischen $r^2 = 0,76$ ($n = 109$) bis $r^2 = 0,89$ ($n = 82$). Einzelne Merkmale hatten einen ergänzenden Einfluss. So kommt dem pH-Wert und steigenden Ausgangsgehalten an Magnesium im Boden sowie einer steigenden N-Mineraldüngung eine leicht reduzierende Wirkung auf die Änderung der Bodengehalte an Magnesium zu, während steigende Humusgehalte sowie auch steigende Fein- oder Tongehalte (zur Kennzeichnung der Bodenart) die Bodenänderung etwas erhöht (vgl. Abb. 27).

Das multiple Bestimmtheitsmaß steigt unter Einbeziehung der Bodenart allerdings nur von 0,76 auf 0,78 an, so dass bei Verwendung von separaten Gleichungen für jede Bodenartengruppe keine deutliche Verbesserung der Rechengenauigkeit zu erwarten ist (Tab. 30). Allerdings wird bei dem Vergleich der Wirkungen der Bodenarten auf die Beziehungen zwischen Saldo und Bodenänderung deutlich, dass auf den leichteren Böden auch mit Verlusten an Magnesium infolge geringer Nachlieferung und höherer Auswaschung und auf schwereren Böden dagegen mit höheren Werten in der Mg-Nachlieferung zu rechnen ist. Auch ist zu erkennen, dass auf den reinen Sandböden ein geringerer Anstieg der Bodenänderung je Einheit Saldo-Erhöhung vorhanden ist, da anscheinend die Verluste (meistens durch Auswaschung) höher liegen als bei den anderen Bodenarten (vgl. Abb. 28 u. Tab. 30). Der Einfluss der Niederschläge konnte nur in der Weise nachgewiesen werden, dass bei rel. hohen Niederschlägen zur Aufrechterhaltung der Mg-Bodengehalte ein etwas höherer positiver Mg-Saldo erforderlich ist als bei entsprechend geringeren mittleren Niederschlägen.

Tabelle 30: Merkmale der linearen und quadratischen Gleichungen zwischen den Mg-Schlagbilanzen (kg/ha u. a) und der jährlichen Veränderung der löslichen Mg-Gehalte des Bodens (mg/100 g) in Abhängigkeit von der Bodenart

Bodenart	Achsenabschnitt A	Steigung B	Multipl. Bestimmtheitsmaß r^2 (%)	Mg-Saldo (kg/ha) bei Mg-Bodenänderung = 0,0 (mg/100 g)	Varianten-Anzahl
Sand S	-0,010	0,0038x	30,1	3	42
	-0,016	0,005x 0,00001x ²	30,9	3	
anlehm. Sand SI,	0,045	0,0109x	68,7	-4	45
	-0,009	0,0047x 0,0002x ²	85,7	2	
stark sand. Lehm SL bis Lehm L	0,112	0,0053x	40,6	-21	24

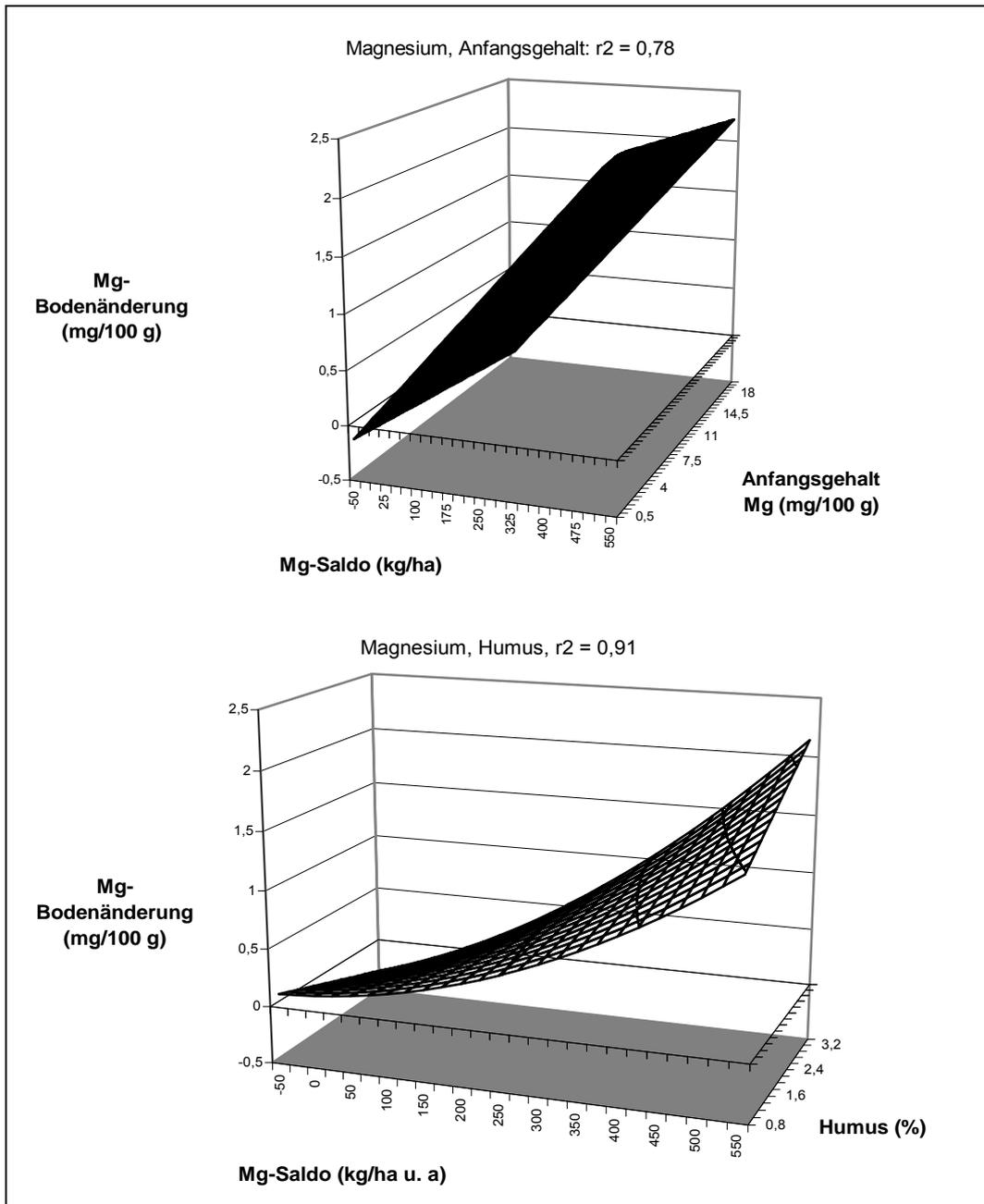


Abbildung 27: Zusammenhang zwischen Mg-Schlagbilanz und den Ausgangsgehalten an Magnesium (oben) sowie den Humusgehalten (unten) auf die jährliche Veränderung an löslichem Magnesium im Boden

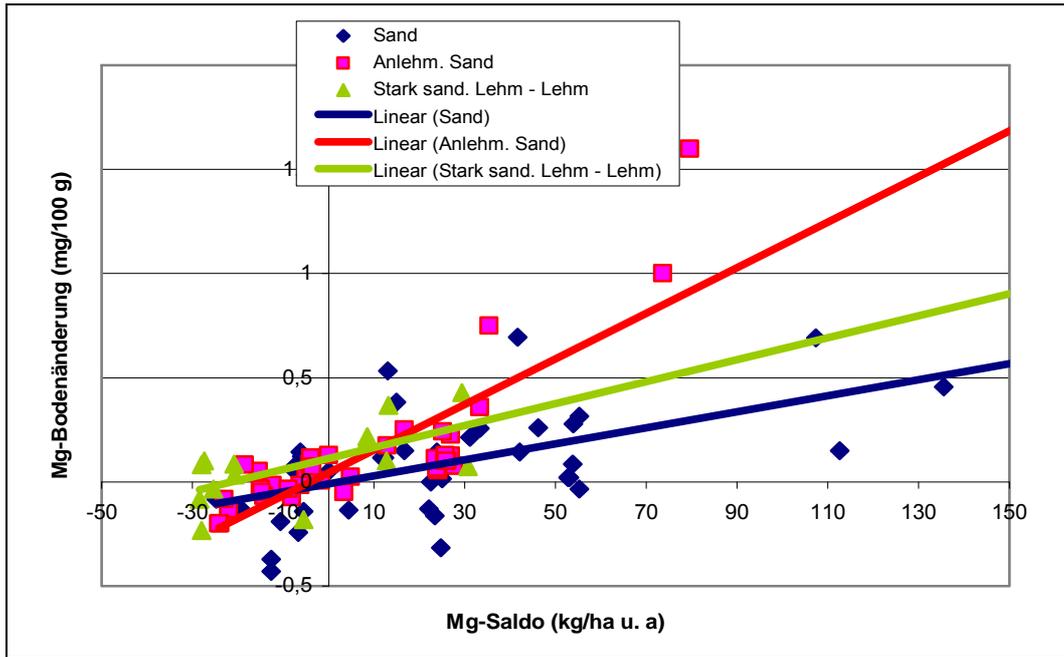


Abbildung 28: Einfluss der Mg-Schlagbilanz auf die jährliche Veränderung der löslichen Mg-Gehalte bei verschiedenen Bodenarten

Aus den aufgeführten Ergebnissen kann die Schlussfolgerung abgeleitet werden, dass für den Nährstoff Magnesium ähnliche Zusammenhänge zwischen Saldowerten und Bodenänderung in Abhängigkeit zu verschiedenen Bodenarten bestehen wie beim Nährstoff Kalium, doch war das zu verwendende Datenmaterial nicht umfangreich genug. Deshalb wurden bisher nur drei Gleichungen für entsprechende Bodenartengruppen festgelegt, die schließlich für den Modellaufbau verwendet worden sind (Tab. 31).

Tabelle 31: Merkmale der Gleichungen zwischen den Mg-Schlagbilanzen (kg/ha u. a) und der jährlichen Veränderung der löslichen Mg-Gehalte des Bodens (mg/100 g) in Abhängigkeit von den mittleren Ergebnissen aus ausgewählten Versuchen mit unterschiedlichen Bodenarten

Bodenart	Achsenabschnitt A	Steigung B	Mg-Saldo (kg/ha) bei Mg-Bodenänderung = 0,0 (mg/100 g)	Literatur-Quelle
Sand S	-0,291	0,025705	11	REICHE (1984) KERSCHBERGER & RICHTER (1991); KERSCHBERGER (1992)
anlehm. Sand SI, lehm. Sand IS	-0,026	0,013404	2	BRUCHHOLZ (1963) GÖRLITZ (1973) REICHE(1984)
stark lehm. Sand SL bis Ton T	0,035	0,013108	-3	KERSCHBERGER (1992)

7.4.4 Berechnung der Düngermenge

Am Beispiel des Nährstoffs Phosphor soll das Prinzip des Berechnungsweges zur Ermittlung der resultierenden Düngermengen aufgezeigt werden. Auf der Grundlage der DL-Methode wurde ein Gehalt von 3 mg P/100 g auf einer Fläche ermittelt. Der Zielgehalt beträgt 4,7 mg/100 g (= Mitte der Versorgungsstufe B). Die Differenz zur Angleichung des Gehaltes auf das Niveau der Versorgungsstufe B beträgt bei einem Ansatz von 10 Jahren zur Erreichung dieses Ziels (Δy):

$$\begin{aligned} \Delta y &= 4,7 - 3,0 &= 1,7 \text{ mg P/100 g in 10 Jahren} \\ &1,7 / 10 &= 0,17 \text{ mg P/100 g Boden x Jahr} \end{aligned}$$

Durch nachfolgende Gleichung (siehe Abb. 29, Text) kann die zu düngende P-Menge ermittelt werden:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta y - 0,013}{0,0081} &= x \text{ (kg P/ha x a)} \\ &= 19,4 \text{ kg P/ha x a.} \end{aligned}$$

Diese erhaltene Menge wird mit dem Ergebnis der betreffenden Schlagbilanz verrechnet, um die jährlich zu düngende Menge an P-Düngemitteln zu erhalten (angenommenes P-Saldo = -5,0 kg/ha):

$$19,4 + 5,0 = 24,4 \text{ kg P/ha x a.}$$

Bei dem Nährstoff Phosphor wurde eine Obergrenze von 50 kg P/ha u. Jahr angesetzt, d.h. höhere berechnete Werte werden auf maximal 50 kg begrenzt, damit die zuzuführenden Düngermengen in realistischen Grenzen gehalten werden. Für die anderen Nährstoffe wurden keine Grenzen eingeführt. Nach diesem Musterbeispiel wurden die Berechnungswege für die Nährstoffe P, K und Mg festgelegt. Mit Hilfe dieser Gleichungen können nun die angestrebten Werte in der jeweiligen Bodenänderung berechnet werden. Als Zielgehalte können die mittleren Werte der Versorgungsstufe B (Standard) oder für besondere Anbauverfahren auch die Versorgungsstufe C eingesetzt werden, die in 10 Jahren erreicht werden sollen. Die Düngungshöhe ergibt sich schließlich aus der Differenz zwischen der Nährstoffhöhe zur Erlangung des Bodenausgleichs und dem Saldo aus der Feldbilanz (Abb. 29).

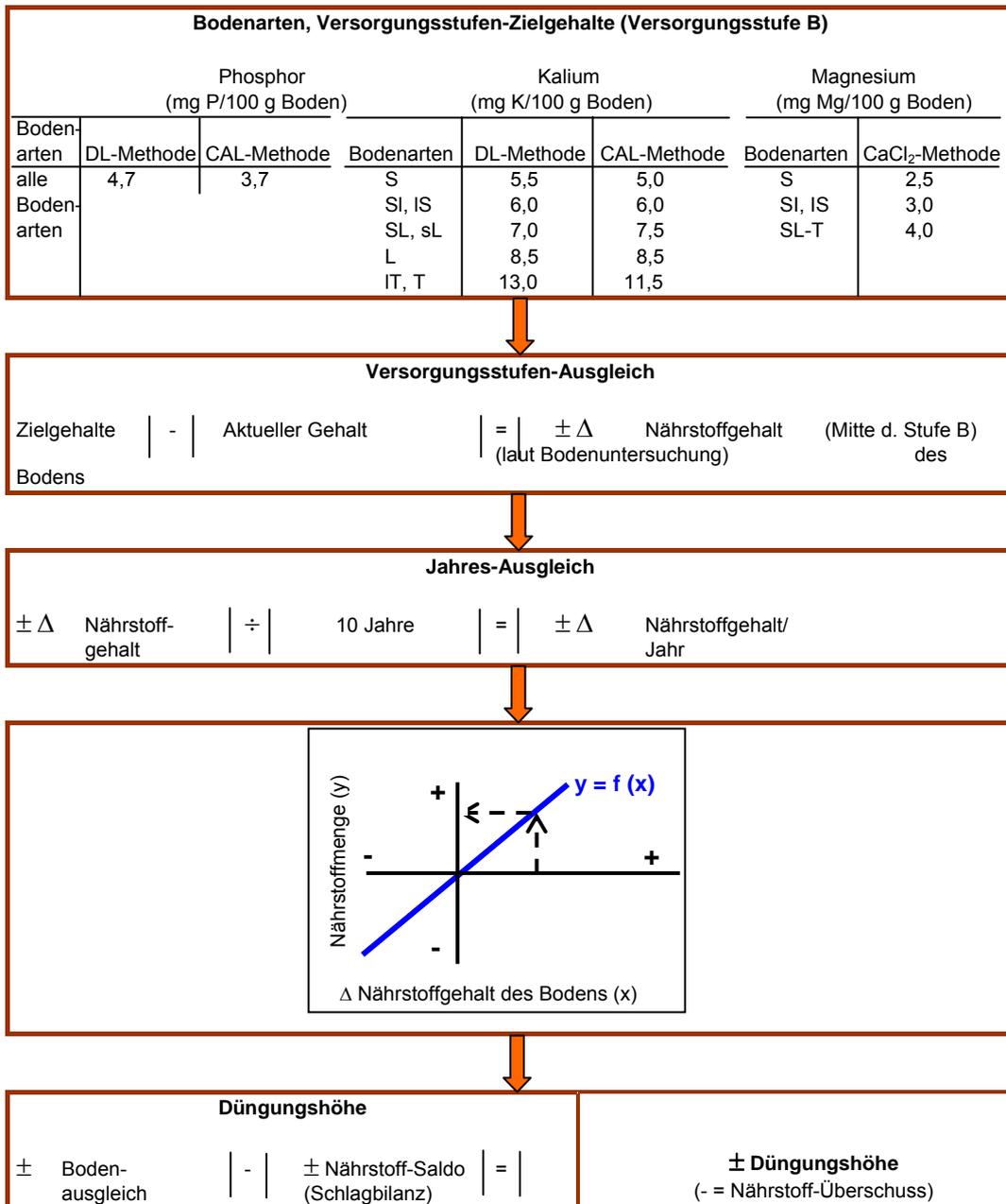


Abbildung 29: Schema zur Berechnung des Boden-Ausgleichs und der Düngungshöhe am Beispiel der Versorgungsstufe B (KOLBE et al. 1999)

7.4.5 Kalk

Bei der Kalkversorgung gibt es nach bisheriger Ansicht keine Differenzen zwischen konventionellem und ökologischem Landbau. Daher wird die Berechnung der Kalkversorgung auf Acker- und Grünland nach den Vorgaben des VDLUFA vorgenommen (siehe KERSCHBERGER et al. 2000 a, b). Die Grenzwerte der pH-Versorgungsstufen sind aus den Tabellen A4 und A5 im Anhang ersichtlich.

Als optimal gilt die Versorgungsstufe C. Es ist zu beachten, dass eine etwas von dem VDLUFA-Standpunkt abweichende Eingruppierung der Bodenartengruppen 1 – 6 erfolgt (siehe Anhang, Tab. A98). Die im Ökolandbau erlaubten Kalkdüngemittel können der Tabelle A6 im Anhang entnommen werden.

7.4.6 Anleitung zur Durchführung der Grunddüngung und Kalkung

Zur praktischen Durchführung der Grunddüngung und Kalkung wird entsprechend dem folgenden Schema vorgegangen (Abb. 30).

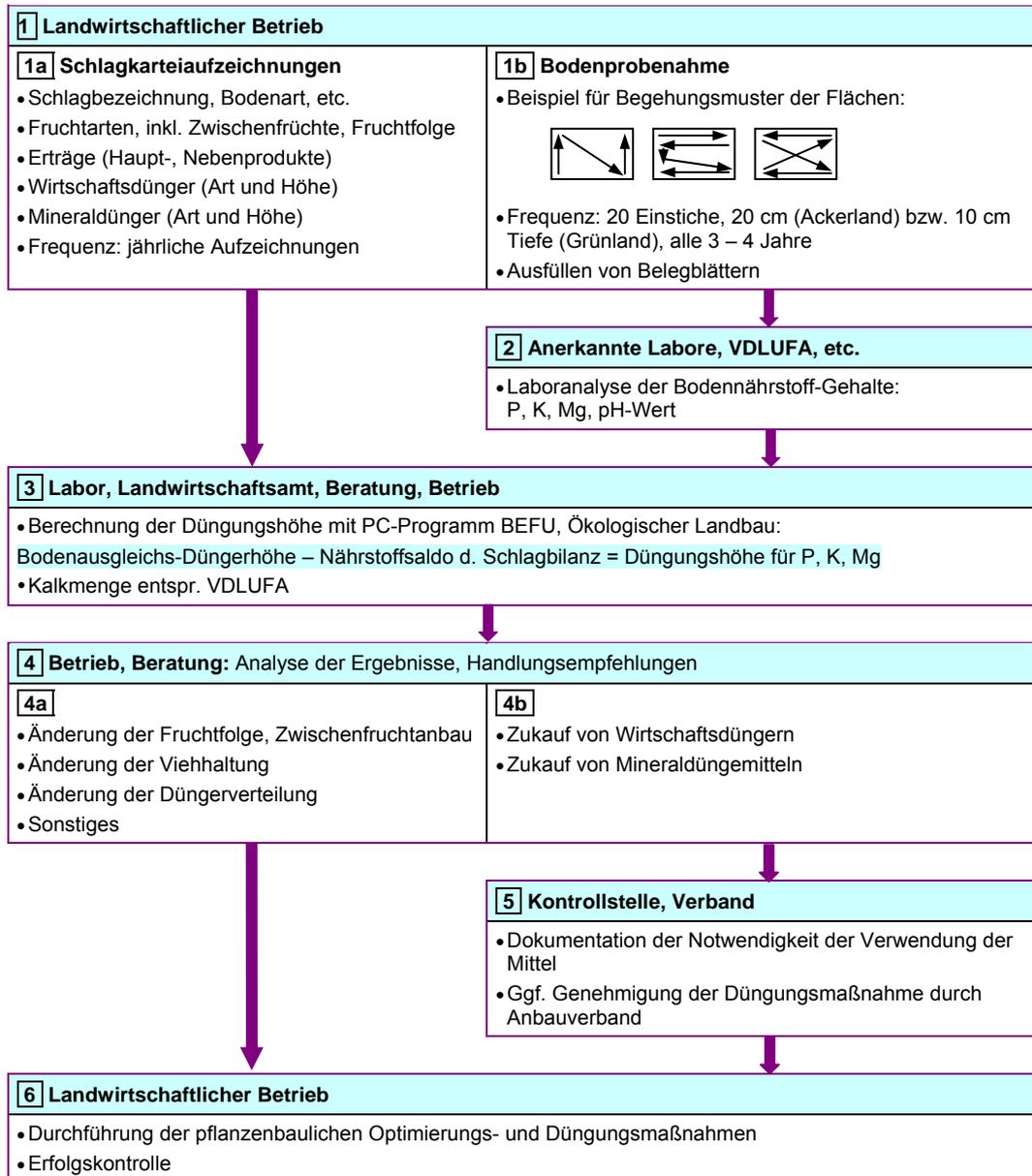


Abbildung 30: Checkliste zur Grunddüngung und Kalkung im ökologischen Landbau

Für die Berechnung der Grunddüngung ist eine wichtige Voraussetzung die lückenlose Führung von Schlagkarteiaufzeichnungen über die in der Fruchtfolge angebauten Kulturarten, deren Erträge, die Zufuhr an organischen und mineralischen Düngemitteln als jährliche Aufzeichnungen separat für jeden Acker- und Grünlandschlag. Hierzu können Formulare oder auch Programme der Verbände sowie von Beratungs-Einrichtungen verwendet werden (Punkt 1a, Abb. 30).

Eine weitere Voraussetzung ist eine periodisch durchzuführende Untersuchung aller Acker- und Grünland-Schläge auf die Gehalte des Boden an Phosphor (P), Kalium (K), Magnesium (Mg) und den pH-Wert (Punkt 1b, Abb. 30). Hierzu werden von einem (amtlichen) Probenehmer oder einem Mitarbeiter des Betriebes Bodenproben in der dargelegten Weise von jedem Schlag in Abständen von drei bis vier Jahren mit einem speziellen Bohrer gezogen, getrocknet, gemischt und eine Menge von ca. 200 g mit einem Begleitformular (Belegblatt) versehen zu einer Laboreinrichtung verschickt (Punkt 2, Abb. 30).

Dort werden in der Regel gegen Kostenerstattung mit definierten Labormethoden (P u. K: DL- bzw. CAL-Methode; Mg: CaCl₂-Methode) die extrahierbaren und somit als pflanzenverfügbar bezeichneten Gehalte an den Nährstoffen im Boden ermittelt. Wiederholte Analysen im Abstand von einigen Jahren geben Hinweise auf die Entwicklung der Nährstoffgehalte im Verlauf der Zeit und es können Rückschlüsse für die Bewirtschaftung abgeleitet werden. Es ist zu bedenken, dass die Untersuchungsergebnisse einer gewissen Streuung unterworfen sind. Vorlagen von extrem erscheinenden Ergebnissen sollten daher nicht überbewertet werden. Im Zweifelsfall sollte eine Wiederholung der Bodenuntersuchung in Erwägung gezogen werden.

Als nächster Schritt erfolgt die Berechnung der Düngungshöhe mit Hilfe des PC-Programms BEFU, Teil Ökologischer Landbau. Damit kann die Berechnung im Labor, in der Beratungsstelle oder direkt im Betrieb vorgenommen werden. Zur Programmanwendung einer Düngungsempfehlung für die Nährstoffe P, K, Mg und Kalk muss über das Hauptmenü „Daten“ die Auswahl der betreffenden Menüpunkte erfolgen. Zu empfehlen ist die Nutzung des Menüs „BEFU-Beleg (Düngungsempf.)“, da hier die erforderlichen Formulare angezeigt und die Dateneingabe in chronologischer Abfolge ermöglicht werden.

Die nachfolgende Darstellung zeigt die Reihenfolge der Eingabe der Daten über die Einzelformulare, die jeweils über das Hauptmenü „Daten“ ausgewählt werden können (Abb. 31). Weitere Erläuterungen können der Broschüre von KÖHLER & KOLBE 2007 entnommen werden.

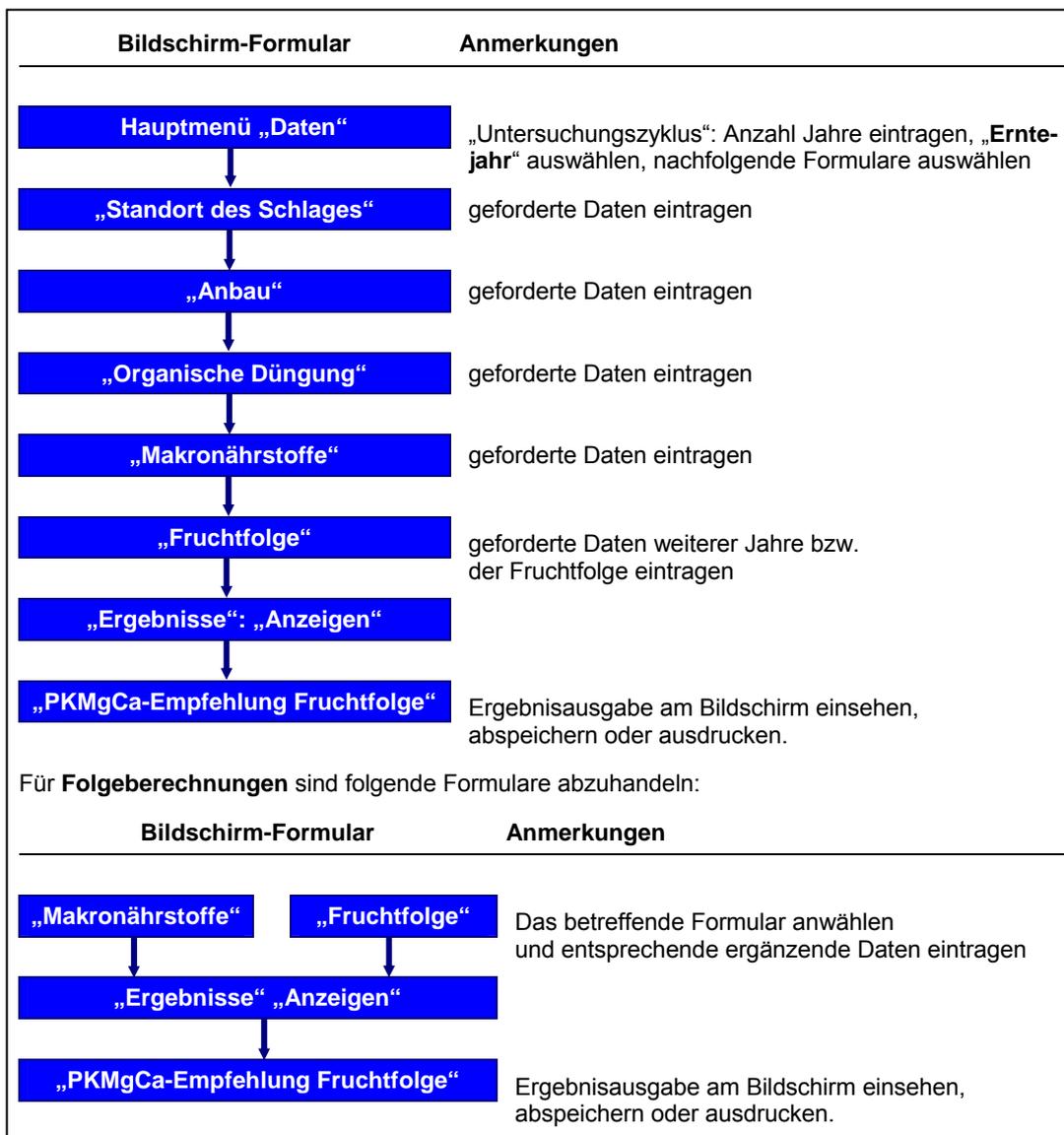


Abbildung 31: Formularreihenfolge für die Grunddüngung und Kalkung im Programm BEFU, Teil Ökologischer Landbau

Grunddaten der Eingabe sind die Ergebnisse der Bodenuntersuchung sowie die Aufzeichnungen der Schlagkarteien. Der Mindestumfang sollte eine Fruchtfolge-Rotation, d.h. in der Regel vier bis fünf Jahre nicht unterschreiten. Die Düngungshöhe wird ermittelt, in dem eine Bodenausgleichsdüngerhöhe berechnet wird, von der der Nährstoffsaldo der Schlagbilanz abgezogen wird (Abb. 32).

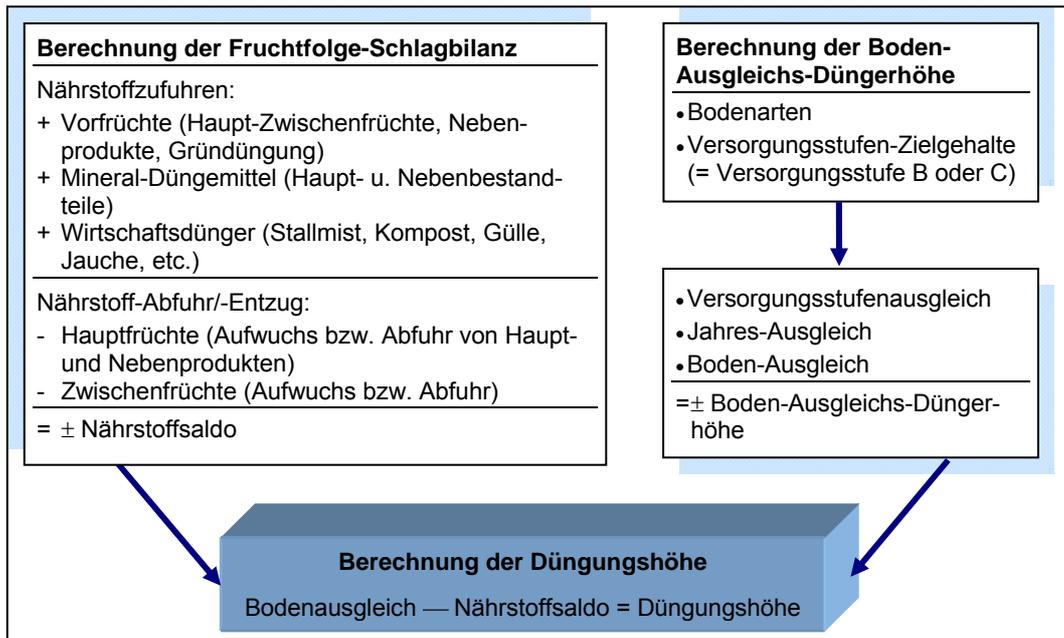


Abbildung 32: Prinzip zur Berechnung der Grunddüngung mit dem Programm BEFU, ökologischer Landbau

Als nächster wichtiger Schritt erfolgt die Analyse der erhaltenen Untersuchungsergebnisse, die die Betriebsleitung ggf. mit Hilfe der Beratung vornehmen sollte (siehe Punkt 4, Abb. 30). Abbildung 33 zeigt ein Ausgabeformular mit Rechenergebnissen zur Grunddüngung für jeweils drei Ackerschläge mit Sand- und Lehmboden. Zunächst kann an der aufgeführten Fruchtfolge abgelesen werden, wie der Nährstoffbedarf zu den einzelnen Kulturarten veranschlagt worden ist. Es können ggf. Hinweise für eine optimalere Verteilung der Nährstoffzufuhren abgeleitet werden. Negative Werte informieren über einen Nährstoffüberschuss zu der entsprechenden Kultur, positive Werte drücken einen Düngbedarf aus.

Ökologischer Landbau in Sachsen					BEFU 2001			
Düngungsempfehlung in kg/ha					Wurzen 16.06.2001			
Betrieb: öko-kontroll1					Untersuchungszyklus			
Feldstück-Schlag	Fruchtfolge	P	K	Mg	P	K	Mg	Jahr
1-1								
Bodenart					Element	138	563	103 1997
1997	Kleegras (50:50)	50	270	37	Oxid	316	676	171
1998	Kleegras (70:30)	27	176	28	Vers.stufe	A	A	A 2001
(S) Sand	1999	Qualitätsweizen	43	59	12			
	2000	Spätkartoffeln	-28	-66	7			
	2001	Winterroggen	46	124	19			
2-1								
Bodenart					Element	0	270	93 1997
1997	Kleegras (50:50)	23	211	35	Oxid	0	324	154
1998	Kleegras (70:30)	-7	117	26	Vers.stufe	B	B	B 2001
(S) Sand	1999	Qualitätsweizen	9	0	10			
	2000	Spätkartoffeln	-62	-124	5			
	2001	Winterroggen	13	66	17			
3-1								
Bodenart					Element	0	0	0 1997
1997	Kleegras (50:50)	-102	-172	0	Oxid	0	0	0
1998	Kleegras (70:30)	-62	54	0	Vers.stufe	D	D	D 2001
(S) Sand	1999	Qualitätsweizen	-81	-223	0			
	2000	Spätkartoffeln	-152	-347	0			
	2001	Winterroggen	-78	-158	0			
4-1								
Bodenart					Element	133	24	101 1997
1997	Kleegras (50:50)	22	-15	22	Oxid	305	29	168
1998	Kleegras (70:30)	50	251	43	Vers.stufe	A	A	A 2001
(L) Lehm	1999	Qualitätsweizen	43	-26	12			
	2000	Spätkartoffeln	-28	-226	6			
	2001	Winterroggen	46	40	18			
5-1								
Bodenart					Element	0	0	23 1997
1997	Kleegras (50:50)	-12	-75	6	Oxid	0	0	38
1998	Kleegras (70:30)	28	191	27	Vers.stufe	B	B	B 2001
(L) Lehm	1999	Qualitätsweizen	9	-86	-4			
	2000	Spätkartoffeln	-62	-287	-9			
	2001	Winterroggen	13	-20	3			
6-1								
Bodenart					Element	0	0	0 1997
1997	Kleegras (50:50)	-102	-257	0	Oxid	0	0	0
1998	Kleegras (70:30)	-62	9	0	Vers.stufe	D	D	D 2001
(L) Lehm	1999	Qualitätsweizen	-81	-268	0			
	2000	Spätkartoffeln	-152	-468	0			
	2001	Winterroggen	-78	-202	0			

Abbildung 33: Beispiel für ein BEFU-Ausgabeformular über Düngungsempfehlungen für Sand- und Lehmböden mit unterschiedlich hohen PKMg-Versorgungszuständen der Böden (A, B, D)

Die Düngungsempfehlungen werden schließlich als Summenbeträge über die Fruchtfolge für die Nährstoffe Phosphor, Kalium und Magnesium in Element- und Oxidform ausgewiesen. Negative Werte werden auf 0 gesetzt (Abb. 33). Die berechneten zusätzlichen Nährstoffmengen sind in den ausgewiesenen Beispielen entsprechend der Bodenart und der Nährstoffversorgung für die einzelnen Schläge verschieden hoch. Ein deutlich unterversorgter Boden (Versorgungsstufe A) muss eine z. T. sehr hohe zusätzliche Düngung erhalten, damit eine Anhebung der Nährstoffversorgung auf das Niveau der Versorgungsstufe B in 10 Jahren erreicht werden kann. Auf Böden mit Versor-

gungsstufe B ist die bereits vorgesehene und verrechnete Düngungshöhe ausreichend oder die Nährstoffnachlieferung aus dem Boden ist rel. hoch (Lehm), so dass nur noch geringe oder keine zusätzlichen Düngungsmaßnahmen erforderlich sind.

In den Fällen, in denen hohe Düngungsbeträge ausgewiesen worden sind, sollte zunächst überlegt werden, ob mit gezielten innerbetrieblichen Maßnahmen eine Abhilfe erreicht werden kann (siehe Punkt 4a, Abb. 30). So könnte mit einem intensiv betriebenen Zwischenfrucht- und Gründüngungsprogramm versucht werden, das Aufschließungspotenzial des Bodens zu verbessern. Intensive Marktfruchtbetriebe weisen über Kartoffel- und Gemüsebau einen hohen Nährstoffexport auf (siehe Tab. 25). Hier ist zu fragen, ob Änderungen in der Fruchtfolge möglich sind, um eine Besserung zu erreichen.

Erst nachdem alle acker- und pflanzenbaulichen Verbesserungsmöglichkeiten ausgeschöpft worden sind, sollten Düngungsmaßnahmen mit betriebsexternen Mitteln erwogen werden (Punkt 4b, Abb. 30). Hierbei ist zunächst zu fragen, ob dies durch Zukauf von organischen Düngemitteln möglichst von anderen Öko-Betrieben geschehen kann. Erst als letzte Möglichkeit sollte ein Zukauf von mineralischen Düngemitteln ins Auge gefasst werden. Ein Zukauf ist dann in Form der zugelassenen Düngemittel entsprechend der EU-Öko-VO (siehe ANONYM 2008) genau zu dokumentieren, ggf. auch über den Anbau-Verband, in dem der Betrieb Mitglied ist, anzuzeigen und genehmigen zu lassen (Punkt 5, Abb. 30).

Entsprechend Punkt 6 der Checkliste (Abb. 30) sind als nächste Schritte die vereinbarten Verbesserungs- und Düngungsmaßnahmen durchzuführen. Die zusätzlichen Düngungsmaßnahmen sollten wiederum gezielt in der Fruchtfolge vorgenommen werden. Alle Hackfrüchte, besonders Kartoffeln, Feldgemüse aber auch Mais sowie Futterleguminosen-Bestände erfordern eine gute Versorgung mit Grundnährstoffen, so dass eine Düngung in einer Gabe oder in zweckmäßiger Aufteilung zu diesen Kulturen bevorzugt verabreicht werden sollte. Die Erfolgskontrolle erfolgt über eine intensive Beobachtung der Kulturbestände im Verlauf der Fruchtfolge und durch erneute Ziehung von Bodenproben und Nährstoffuntersuchungen in Abständen von drei bis vier Jahren.

8 Verfahren zur Berechnung der N-Bindung der Leguminosen

Aufgrund der großen Bedeutung der legumen N-Bindung im ökologischen Landbau wurde eine sehr genaue Überprüfung und Anpassung von Methoden zur Berechnung der N-Fixierungsleistung vorgenommen. Zu diesem Anlass wurde erstmals für alle wesentlichen Leguminosenarten entsprechendes Datenmaterial aus der Literatur gesammelt, aufbereitet und für die umfangreichen Methodenüberprüfungen verwendet. Da diese Überprüfungen fast durchweg rel. negative Ergebnisse zeigten, wurde das Datenmaterial schließlich dafür verwendet, z. T. deutlich verbesserte Methoden zu entwickeln.

8.1 Material und Methoden

8.1.1 Datenerhebungen aus Feldversuchen

Für die Überprüfung der Berechnungsgenauigkeit der in der Literatur vorhandenen Methoden zur N-Fixierung sind entsprechende Daten aus Exakt-Feldversuchen mit Körner- und Futterleguminosen von möglichst verschiedenen Standorte und klimatischen Lagen erforderlich. Daher wurden Ergebnisse von den Autoren LOPOTZ (1996), KELNER et al. (1997), LOGES (1998), LOGES & TAUBE (1999), LOGES et al. (2000), SCHMIDTKE & RAUBER (2000), JOST (2003), JUNG (2003), LEITHOLD et al. (2003), SCHMIDTKE (2003, mündl. Mittlg.), PIETSCH (2004) zu nachfolgenden Merkmalen erhoben:

- N_{\min} -Mengen im Frühjahr im Boden (kg/ha; in d. Regel 0 – 90 cm Tiefe)
- Erträge an TM-Ernteprodukten (dt/ha; an Körner, Sprossmasse)
- Leguminosenanteil am Gesamt-Ertrag (%)
- N-Gehalte der Pflanzenteile (% i. TM)
- N-Abfuhr (kg/ha)
- N-Saldo (kg/ha)
- N-Aufnahme durch Wurzel und Stoppel (kg/ha)
- N-Aufnahme der Gesamtpflanze (kg/ha; Spross, Wurzel, Stoppel)
- N-Bindung Gesamtpflanze durch Fixierung (kg/ha)
- N-Aufnahme Gesamtpflanze (kg/ha)
- N-Harvest-Index (%)
- N-Transfer Boden (% v. N-Bindung in kg/ha; aus Leguminosen-Wurzel in Boden u. in Nicht-leguminosen).

Der N-Bodentransfer, auch ausgedrückt als N-Rhizodeposition, wurde aus entsprechenden Arbeiten von SCHMIDTKE (mündl. Mittlg.) und aus Daten in der Literatur (vgl. SCHMIDTKE 2005) übernommen. Es handelt sich hierbei um N-Mengen, die aus der legumen N-Fixierung stammen. Z. Zt. der Untersuchung der EWR waren diese N-Mengen aber bereits über eine direkte Abgabe an den Boden oder durch abgestorbene Wurzeln dem Boden zugeführt bzw. von anderen Pflanzen, wie z.B. dem Gemengegras, aufgenommen worden. Diese transferierten N-Fixierungs-Mengen können einen bedeutenden Umfang von den insgesamt fixierten Mengen einnehmen. Bei einigen Kulturarten sind die betreffenden Daten noch mit erheblichen Unsicherheitsfaktoren behaftet. Die in dieser

Arbeit unterstellten Werte an Rhizodeposition wurden als Relativbeträge von der ermittelten N-Bindung (= 100 %) dargestellt und den Mengen an N-Fixierung hinzugefügt:

- Ackerbohne	19 %
- Erbse	12 %
- Grünspeise-Körner-Erbse	9 %
- Lupine (gelb, blau, weiß)	18 %
- Weitere großkörnige Leguminosen	16 % (Mittelwert großk. Leguminosen)
- Futterleguminosen im Ansaatjahr	18 %
- Luzerne, Serradelle, Esparsette	15 %
- Rotklee u. a. Kleearten	20 %
- Weißklee	25 %.

8.1.2 Kurzbeschreibung der in dieser Arbeit für die Methodenüberprüfungen verwendeten Verfahren

Die Berechnungsverfahren der Ländereinrichtungen (Landwirtschafts-Kammern, Landesanstalten) z.B. zur Umsetzung gesetzlicher Bestimmungen (u. a. DüV) beruhen auf sehr einfachen Annahmen. In einigen Ländern ist es üblich bestimmte kulturartenabhängige Festbeträge für die N-Bindung einzusetzen. In anderen Einrichtungen werden Verfahren angeboten, die kulturartenabhängige Beträge der N-Bindung in Abhängigkeit zum erntbaren Ertrag ausweisen. In Sachsen kommt ebenfalls ein ertragsabhängiges Verfahren zur Anwendung, das eine Kurzform des Verfahrens darstellt, welches an der Universität Halle entwickelt worden ist und im Programm REPRO zur Anwendung kommt (BIERMANN 1995). Zwischen ausführlicher und kurzer Form der Berechnung gibt es quasi keine Unterschiede, so dass die Kurzform für die Anwendung in der landwirtschaftlichen Praxis vorgeschlagen wurde (siehe Tab. 32). Für die Genauigkeitsprüfungen ist in dieser Arbeit diese Methode angewendet worden, da es bisher das detaillierteste Verfahren ist, das in der landwirtschaftlichen Praxis angewendet wird und gleichzeitig eine Bewertung der Rechengenauigkeit für das im wissenschaftlichen Bereich angewandte REPRO-Programm erlaubt.

Weitere nachfolgend genannte z. T. deutlich komplexere Verfahren zur Berechnung der N-Bindung wurden ebenfalls geprüft, nachdem die Testung o. a. einfacherer Verfahren deutlich ungünstige Ergebnisse zeigte. Zu diesen Verfahren gehören:

- STEIN-BACHINGER et al. (2004) bzw.
- REINING et al. (Internet)
- JUNG (2003)
- JOST (2003)
- HOGH-JENSEN et al. (2004).

Tabelle 32: Grundlagen für die Berechnung der legumen N-Bindung in Sachsen (ALBERT et al. 1997c)

Pflanzenart	Ernteprod./ Mischung bzw. Ertrags- höhen	mittlerer Frisch- masseer- trag (dt/ha)	N-Gehalt (kg N/dt FM)	N- Entzug (kg/ha)	legume N- Bindung *)	
					(kg N/dt FM)	(kg/ha)
Gemüse						
Buschbohne		120	0,40	48	1,00	120
Erbse (grün)	Korn	80	1,10	88	1,50	120
Körnerleguminosen						
Lupine	Korn	30	3,50	105	4,00	120
Ackerbohne	Korn	40	4,10	164	5,00	200
Erbse, Wicke	Korn	40	3,60	144	4,40	176
Futterleguminosen						
Luzerne		500	0,60	300	0,80	400
Luzernegras	Luzerne : Gras 50 : 50	500	0,54	270	0,40	200
Luzernegras	Luzerne : Gras 70 : 30	500	0,55	275	0,50	250
Rotklee		500	0,55	275	0,70	350
Kleegras	Klee : Gras 50 : 50	500	0,52	260	0,35	175
Kleegras	Klee : Gras 70 : 30	500	0,53	265	0,43	215
Futterzwischenfrüchte						
Alexandrinerklee	hoher Ertrag	250	0,55	138	0,40	100
Alexandrinerklee	mittlerer Ertrag	150	0,55	83	0,40	60
Kleegras	hoher Ertrag	250	0,52	130	0,30	75
Kleegras	mittlerer Ertrag	150	0,52	78	0,30	45
Leguminosen- gemenge	hoher Ertrag	250	0,55	138	0,35	88
Leguminosen- gemenge	mittlerer Ertrag	150	0,55	83	0,35	53

*) Die ertragsabhängige legume N-Bindung umfasst die N-Mengen im Ernteertrag und in den Ernte- und Wurzelrückständen.

Die Methodenüberprüfungen wurden auf folgende Weise durchgeführt: Entsprechend den Anweisungen der Autoren wurden die direkten oder entsprechend aufbereiteten notwendigen Inputdaten aus den Feldversuchen verwendet und mit den Verrechnungswegen der Methoden wurden die N-Bindungsmengen sowie die N-Flächenbilanz-Salden ermittelt. Die N-Salden wurden schließlich mit den Salden aus den Feldversuchen grafisch miteinander verglichen und die Übereinstimmung mit

der 1 : 1-Achse bewertet. Es wurden die N-Bindung bzw. -Salden als Brutto-Werte, d.h. inklusive der bekannten oder angenommenen Werte an N-Bodentransfer dargestellt.

8.2 Ergebnisse und Diskussion

8.2.1 Körnerleguminosen inkl. Grünspiseerbse und Gemenge mit Nichtleguminosen

Methodengenauigkeit von bestehenden Verfahren zur Berechnung der N-Fixierung

Die Abbildung 34 zeigt eine Gegenüberstellung von berechneten und gemessenen N-Saldo-Werten unter Verwendung der in Sachsen bisher üblichen Verrechnungsmethode. Es ist keine Übereinstimmung mit gemessenen Werten zu erkennen. Insbesondere höhere N-Salden der Ackerbohne werden deutlich unterschätzt und niedrige, meistens negative Salden der Erbse werden genauso deutlich überschätzt. Entsprechend der Verrechnungsweise können nach diesen Verfahren auch keine negativen Salden berechnet werden. Durch eine entsprechende Abwandlung der Methode durch Ausweisung von drei unterschiedlich hohen N-Gehaltsfaktoren, die für drei Ertragsbereiche erstellt worden sind (siehe in KOLBE et al. 2002), konnte keine Verbesserung bewirkt werden (Abb. 35). Hierbei zeigten die Erbsen dann fast ausnahmsweise zwar negative Salden und die Ackerbohne positive Salden, doch war ebenfalls keine Übereinstimmung mit gemessenen Werten zu erreichen.

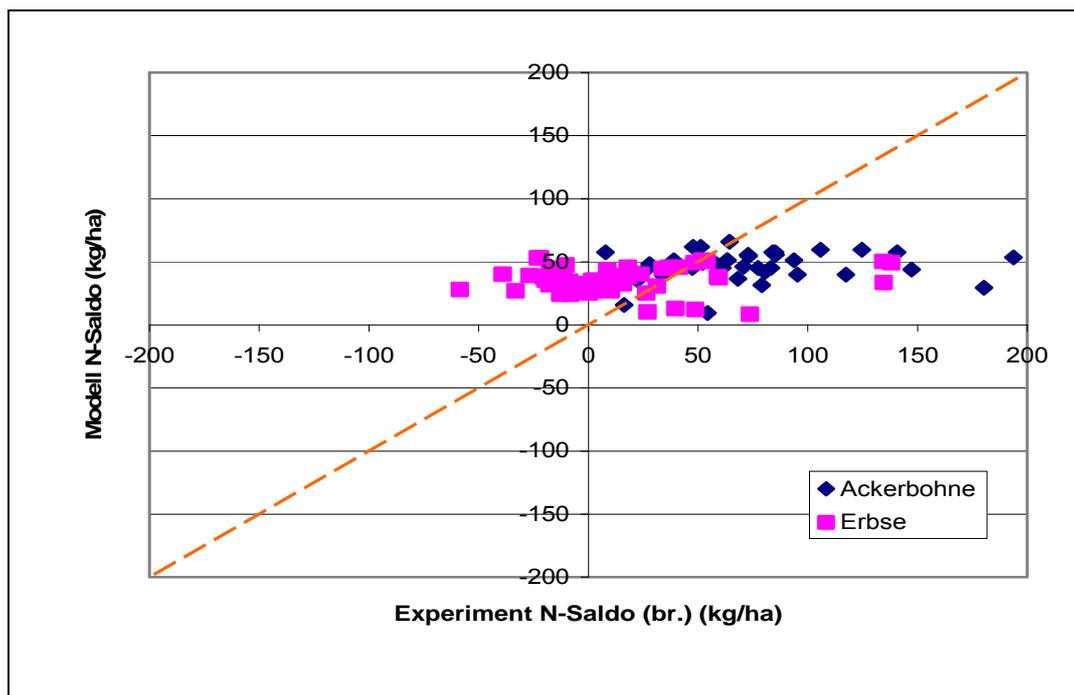


Abbildung 34: Vergleich zwischen dem Verrechnungsverfahren nach ALBERT et al. (1997c) und gemessenen N-Saldowerten für Körnerleguminosen

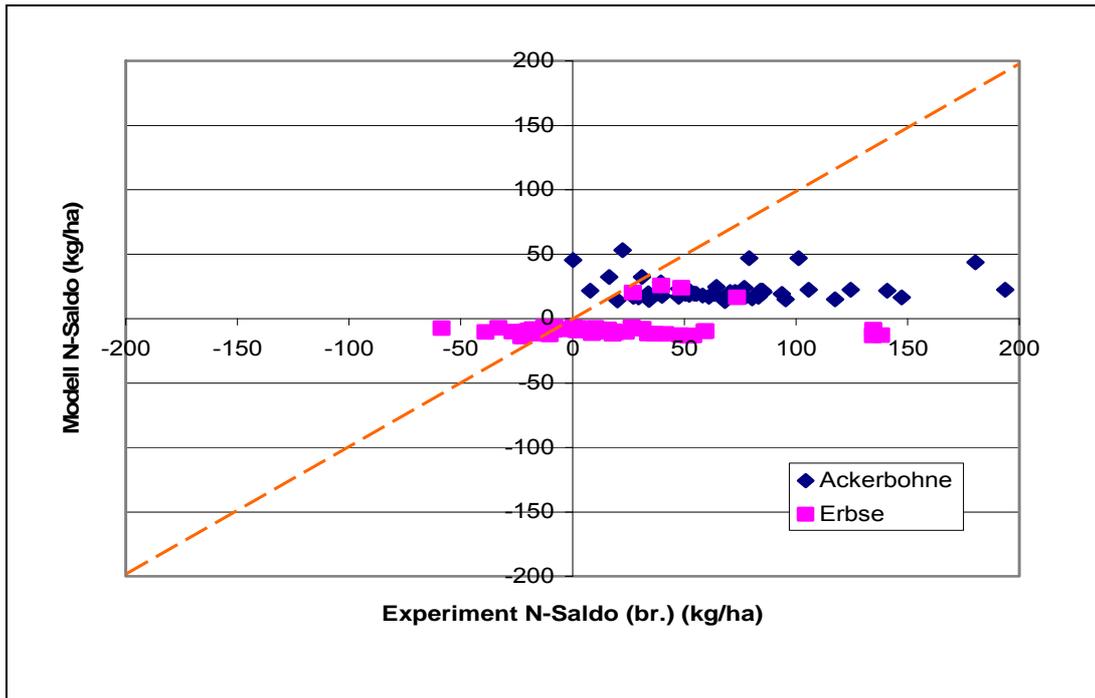


Abbildung 35: Vergleich zwischen dem durch Berücksichtigung von Ertragsstufen veränderten Verrechnungsverfahren nach KOLBE et al. (2002) und gemessenen N-Saldowerten für Körnerleguminosen

Bei dem von JOST (2003) entwickelten Verfahren ist ein Referenzpflanzensystem aus Nichtleguminosen zur Abschätzung der N-Bodenaufnahme der Leguminosen erforderlich. Durch Eingabe dieser N-Menge in ein ausgearbeitetes Tabellenwerk kann die N-Bindung bzw. der N-Saldo abgelesen werden. Durch Eingabe der N-Bodenaufnahme in die jeweilige Ertrags- und Boden-N-Kategorie inkl. Interpolation der Zwischenwerte der betreffenden Varianten der Feldversuche kann die Methode dazu verwendet werden, um deren potenziell mögliche Genauigkeit zu überprüfen (Abb. 36).

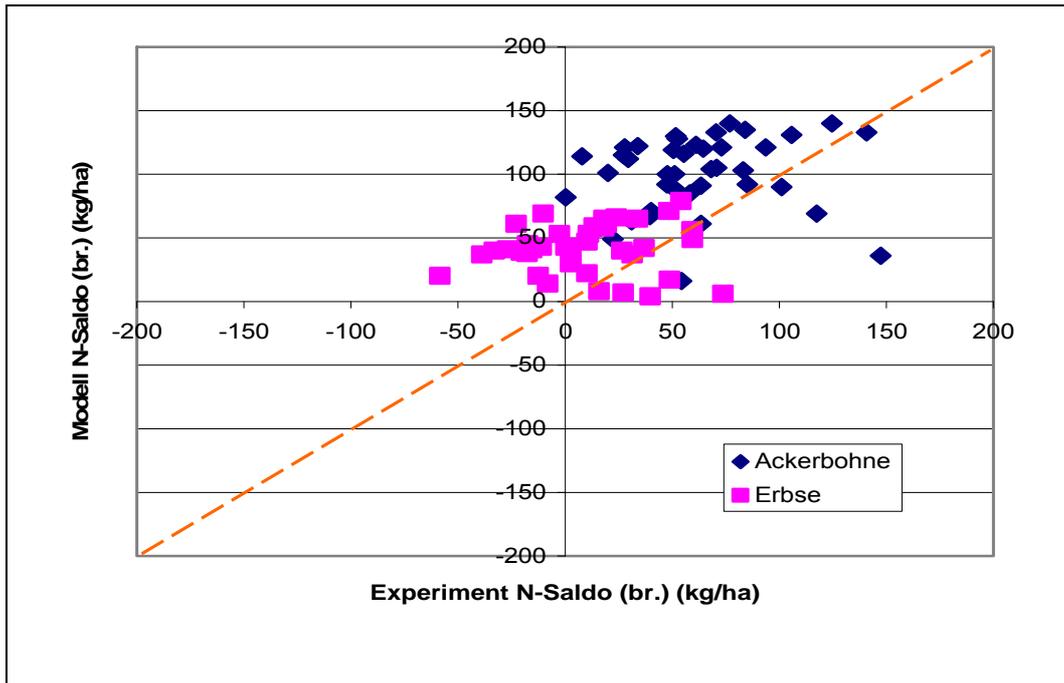


Abbildung 36: Vergleich zwischen dem Verrechnungsverfahren nach JOST (2003) und gemessenen N-Saldowerten für Körnerleguminosen

Im Vergleich zu den bisherigen Darstellungen ist eine etwas bessere Übereinstimmung mit der 1 : 1-Achse zu erkennen. Insgesamt werden durch dieses Verfahren anscheinend die N-Salden etwas überschätzt und negative Salden der Erbse können anscheinend ebenfalls nicht ausgewiesen werden. Insgesamt ist die Methodensicherheit enttäuschend, da es sich um die höchstmögliche Übereinstimmung handelt. Da die jährlich und regional zu ermittelnden Werte des Referenzpflanzensystems von diesen Idealwerten nochmals z. T. deutlich abweichen werden und im praktischen Gebrauch auch keine interpolierten Werte sondern die direkten Stufenwerte der Tabellen abgelesen werden, wird sich die Methodensicherheit nochmals deutlich verringern. Daher ist bisher das gesamte System durch den rel. hohen Aufwand zum Aufbau und Unterhaltung des Referenzpflanzensystems in Frage zu stellen.

Die bisher üblichen Verfahren der Länder und auch das bereits verbesserte System in Sachsen kann auf Grund dieser Ergebnisse für die landwirtschaftliche Praxis nicht empfohlen werden, da es quasi keine Übereinstimmung zwischen berechneten und gemessenen Werten gibt. Das gleiche Ergebnis würde auch für die Anwendung des Programms REPRO zutreffen, da hier die Berechnung nach ähnlichem Verfahren vorgenommen wird. Wenn es nicht gelingt, die potenziell mögliche Sicherheit der Methode unter Verwendung des Referenzpflanzensystems zur Abschätzung der N-Bodenaufnahme deutlich zu verbessern, kann auch das Verfahren nach JOST (2003) für eine Anwendung in der landwirtschaftlichen Praxis kaum empfohlen werden. Zu bedenken ist hierbei, dass

sich der hohe Aufwand durch das Referenzsystem nur „rechnet“, wenn eine sehr hohe Methodengenauigkeit dabei gewährleistet wird.

Quantifizierung von Merkmalen, die die N-Fixierung bestimmen

Auf Grund der enttäuschenden Ergebnisse aus den Methodenüberprüfungen insbesondere auch auf dem Gebiet der Grundlagenforschung, mussten eigene Versuche unternommen werden, für die landwirtschaftliche Praxis geeignete Verfahren zu etablieren. Hierbei wurde von vorne herein bedacht, dass diese potenziell möglichen Verfahren relativ einfach und robust gestaltet sein müssen, wenn sie eine Anwendung unter praktischen Bedingungen finden sollen. Sie müssen ohne aufwändig zu ermittelnde Zusatzinformationen auskommen, die nicht in gewöhnlichen Schlagkarteien festgehalten werden und sie müssen für alle üblichen Standort- und Bewirtschaftungsbedingungen aussagefähige Ergebnisse liefern. Die Etablierung von geeigneten Verfahren erwies sich als ein enorm aufwändiges und kompliziertes Unterfangen. Nur rund 10 – 20 % der unternommenen Versuche erwiesen sich nach erfolgter Überprüfung als erfolgversprechend!

Zu diesem Zweck wurde zunächst eine detaillierte Literatur-Studie zur Ermittlung repräsentativer Daten aus Exakt-Feldversuchen möglichst unter differenzierten Standortbedingungen unternommen (siehe Kap. 8.1). Die überprüften Daten wurden danach einer Korrelationsanalyse unterzogen, um einfache Beziehungen zwischen den betreffenden Merkmalen zu ermitteln (Tab. 33).

Tabelle 33: Korrelationsmatrix der untersuchten Merkmale der Körnerleguminosen (Ackerbohne n = 44, Erbse n = 41; zweiseitiger Test für $p = 0.05^*$, $p = 0.01^{}$, $p = 0.001^{***}$) (KOLBE 2005a)**

	N _{min}	Kornertrag	N-Saldo	N-Abfuhr	N Aufnahme (gesamt)	N-Boden-aufnahme	N-Bindung (Index)	N-Bindung	N-Harvest-Index	N-EWR
Kornertrag (dt TM/ha)	0.423 ^{***} 69	–								
N-Saldo (kg/ha)	-0.077 69	0.035 84	–							
N-Abfuhr (kg/ha)	0.318 ^{**} 69	0.842 ^{***} 85	0.059 96	–						
N Aufnahme (gesamt, kg/ha)	0.308 ^{**} 72	0.754 ^{***} 87	0.388 ^{***} 96	0.882 ^{***} 97	–					
N-Boden-aufnahme (kg/ha)	0.700 ^{***} 72	0.468 ^{***} 87	-0.295 ^{**} 96	0.414 ^{***} 97	0.524 ^{***} 102	–				
N-Bindung (Index, %)	-0.367 ^{**} 72	0.350 ^{**} 87	0.677 ^{***} 96	0.378 ^{***} 97	0.343 ^{***} 102	-0.557 ^{***} 102	–			
N-Bindung (kg/ha)	0.123 72	0.714 ^{***} 87	0.580 ^{***} 96	0.847 ^{***} 97	0.916 ^{***} 102	0.154 102	0.657 ^{***} 102	–		
N-Harvest-Index (%)	0.040 65	0.421 ^{***} 81	-0.604 ^{***} 2	0.344 ^{**} 93	-0.068 93	-0.118 3	0.013 93	-0.033 93	–	
N-EWR (kg/ha)	0.312 ^{**} 69	0.307 ^{**} 85	0.689 ^{***} 96	0.350 ^{***} 97	0.750 ^{***} 97	0.458 ^{***} 97	0.234 [*] 97	0.653 ^{***} 97	-0.619 ^{***} 93	–
Verhältnis N-Saldo/ N-Abfuhr	-0.121 69	-0.159 96	0.878 ^{***} 98	-0.128 98	0.197 98	-0.279 ^{**} 98	0.576 ^{***} 98	0.360 ^{***} 98	-0.759 ^{***} 97	0.562 ^{***} 98

Die ausgewiesenen Korrelationen sind sehr unterschiedlich hoch und regen zum Eigenstudium an. So sind hohe Korrelationen zwischen Merkmalen, die dem Landwirt bekannt sind bzw. von ihm leicht zu ermitteln sind (u. a. Kornertrag, N_{\min} -Werte, N-Abfuhr) und den Zielvariablen der Berechnung der N-Bindung bzw. des N-Saldos mit hohen Signifikanzen auszuweisen. Hieraus kann abgeleitet werden, dass gute Aussichten bestehen, quantitative Ableitungen aufzufinden. Wichtig sind auch Merkmale, die zur N-Bindung hohe Signifikanzen aufweisen oder Korrelationen von Merkmalsfolgen, die bis zum N-Saldo bestehen bleiben. Auf einige der ausgewiesenen Merkmalpaare soll näher eingegangen werden.

So besteht zwischen den N_{\min} -Werten (0 – 90 cm Bodentiefe im Frühjahr vor der Saat) und der N-Bodenaufnahme eine rel. enge positive Beziehung (Abb. 37). Auf diesen Zusammenhängen beruhen Konzepte zur Einbeziehung eines Referenzpflanzensystems, um diesen Betrag abzuschätzen. Doch bleibt diese rel. enge Beziehung nicht bestehen, wenn den N_{\min} -Gehalten z.B. die relativen Werte der N-Bindung gegenüber gestellt werden (Abb. 38). Hierbei besteht zwar eine negative Beziehung, deren statistische Güte ist aber nicht mehr sehr groß.

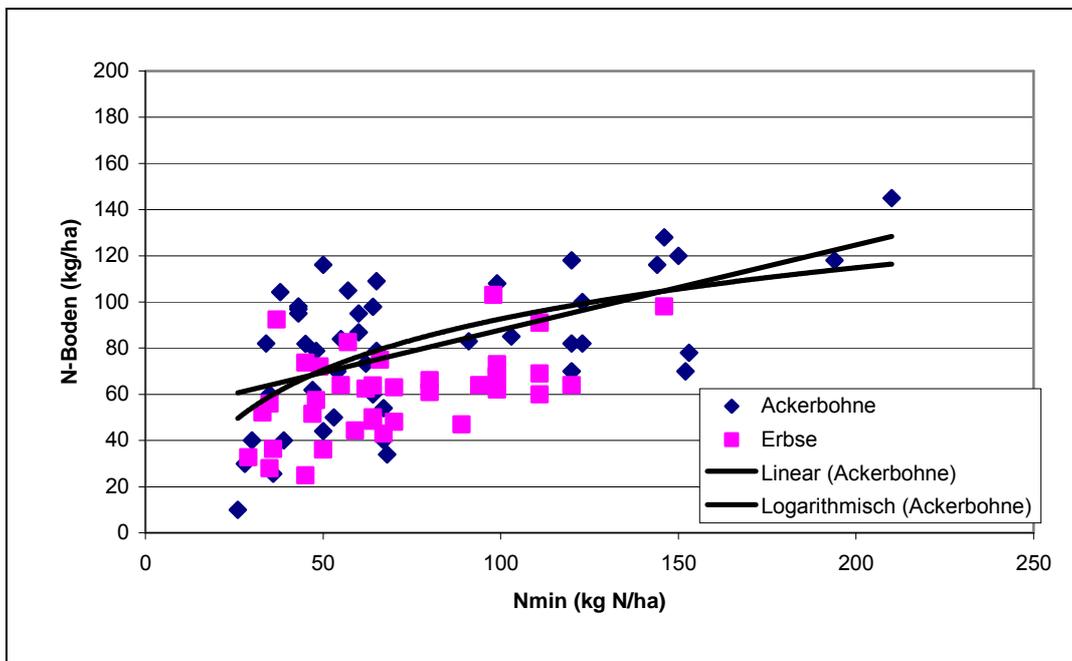


Abbildung 37: Beziehung zwischen den N_{\min} -Werten im Boden und der N-Bodenaufnahme der Gesamtpflanze bei Körnerleguminosen

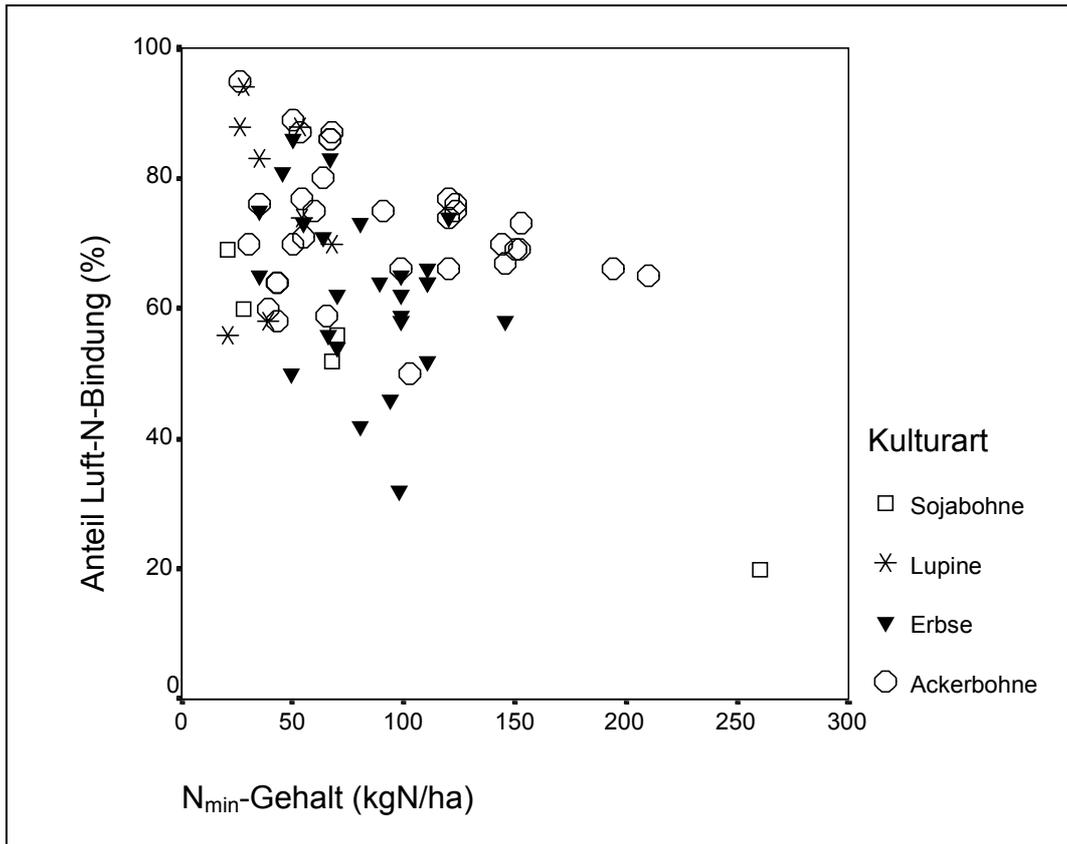


Abbildung 38: Beziehung zwischen den N_{\min} -Werten und der relativen N-Bindung bei Körnerleguminosen (nach Daten von SCHMIDTKE & RAUBER 2000 u. a. Quellen)

Hieraus geht hervor, dass noch andere wichtige Einflüsse ihre Wirkung auf die N-Bindung ausüben. Eine wesentliche Einflussgröße gerade bei Körnerleguminosen ist der Harvest-Index bzw. unter Einbeziehung der N-Gehalte der Pflanzenteile, der N-Harvest-Index, der mittlere bis hohe Korrelationen zu den Merkmalen Kornertag, N-Entzug und besonders zum N-Saldo aber keine Beziehung zur N-Bindung aufweist. Eine besonders enge Beziehung besteht dagegen zwischen dem N-Harvest-Index und einigen Verhältniszahlen, so zu dem Merkmal N-Bindung/N-Abfuhr oder N-Saldo/N-Entzug (Abb. 39). Die zuletzt genannte Beziehung ist relativ eng und besteht anscheinend unabhängig von der Kulturart und würde sich daher ganz gut zum Aufbau eines Modells eignen. Nach Umrechnung in logarithmische Werte ist auch eine enge lineare Beziehung ableitbar. Die gleichen Zusammenhänge waren auch für die Grünspeiseerbse festzustellen (Abb. 40). Ein Unterschied bestand lediglich darin, dass bei Grünspeiseerbse auch sehr weite Werte an N-Saldo/N-Entzugs-Verhältnissen vorkommen und der nichtlineare Charakter der Beziehung deutlicher zu Tage tritt.

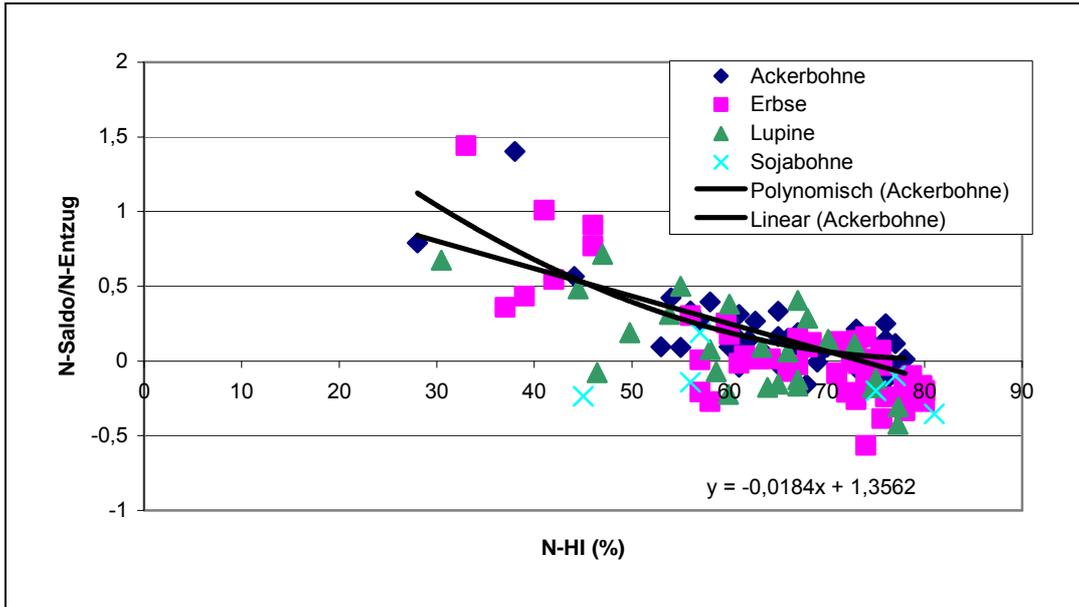


Abbildung 39: Beziehung zwischen dem N-Harvest-Index (N-HI) und dem Verhältnis N-Saldo/N-Entzug bei verschiedenen Körnerleguminosen

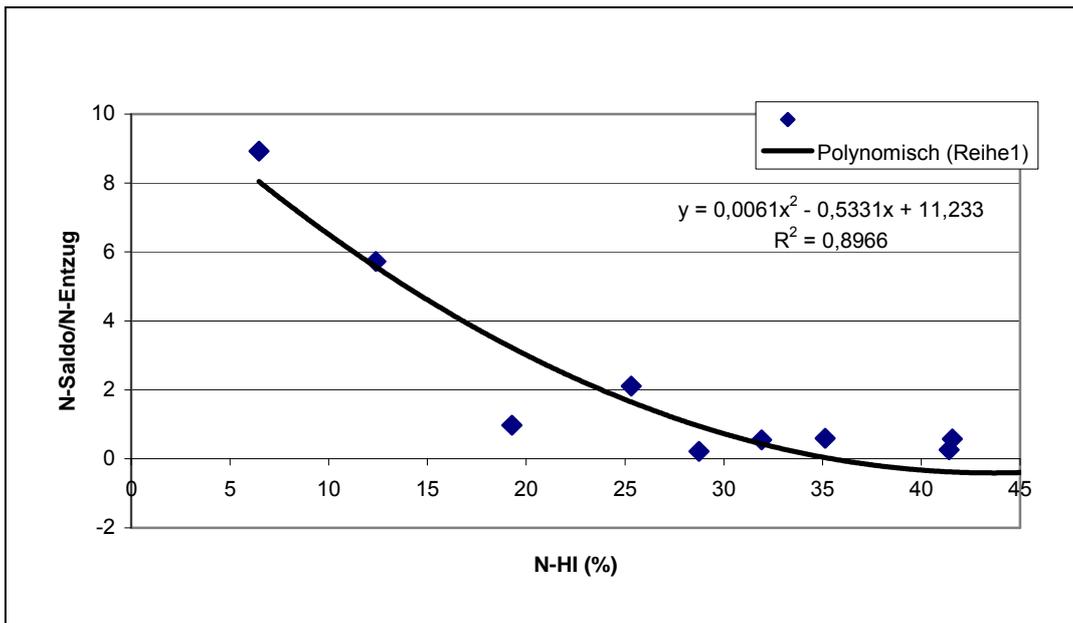


Abbildung 40: Beziehung zwischen dem N-Harvest-Index (N-HI) und dem Verhältnis N-Saldo/N-Entzug bei Grünspiseerbsen

Versuche zum Modellaufbau wurden in einem sehr hohen Umfang getätigt. Die meisten benutzten Verrechnungswege führten zu keiner Verbesserung im Vergleich zu den bisher üblich Verfahren.

Werden jedoch Informationen über den N-Harvest-Index in das Gleichungssystem aufgenommen, so wurde jeweils eine deutliche Verbesserung der Übereinstimmung im 1 : 1-Achsensystem im Vergleich zu gemessenen Werten erzielt. Aus diesen sehr umfangreichen und langwierigen Arbeiten konnte daher die Schlussfolgerung abgeleitet werden, dass Modelle zur Berechnung der N-Bindung bei Körnerleguminosen unbedingt darauf angewiesen sind, Informationen über dieses Merkmal zu enthalten.

Hieraus ergibt sich ein Dilemma zwischen dem fachlichen Anspruch und den Erfordernissen bzw. Möglichkeiten in der landwirtschaftlichen Praxis. Informationen über den Harvest-Index, schon gar nicht über den N-Harvest-Index, können aus der Praxis nicht bereitgestellt werden. Da es sich um ein dynamisches System handelt, können auch keine feststehenden mittleren Tabellenwerte eingesetzt werden. Gerade diese Veränderlichkeit der Index-Werte in Abhängigkeit wichtiger Faktoren ist ja zu quantifizieren und in das Modell einzubauen.

Aus diesem Grund erscheint es fast aussichtslos, ein einfaches von Hand berechenbares Verfahren zu etablieren, was eine hohe Berechnungsgenauigkeit aufweist (s. weiter unten). Für komplexere, mit Hilfe des PCs zu berechnende Verfahren können aber noch andere Methoden angewendet werden, da hier die interne Komplexität bzw. der Rechenumfang nicht der begrenzende Faktor darstellt.

Aus diesem Grund wurde versucht, den N-Harvest-Index über dem Landwirt bekannte Merkmale zu quantifizieren und dann diese Beziehung sozusagen als indirekt berechnetes Merkmal in die Gesamtgleichung zu integrieren. Von den hier in Frage kommenden Merkmalen (Korntrug, N-Entzug, N_{\min} -Wert) hat vor allen Dingen die Beziehung zwischen den Erträgen und den N-Harvest-Indices eine hohe Aussagefähigkeit bei fast allen Körnerleguminosen einschließlich der Grünspeiserbsen (Tab. 33, Abb. 41 - 43).

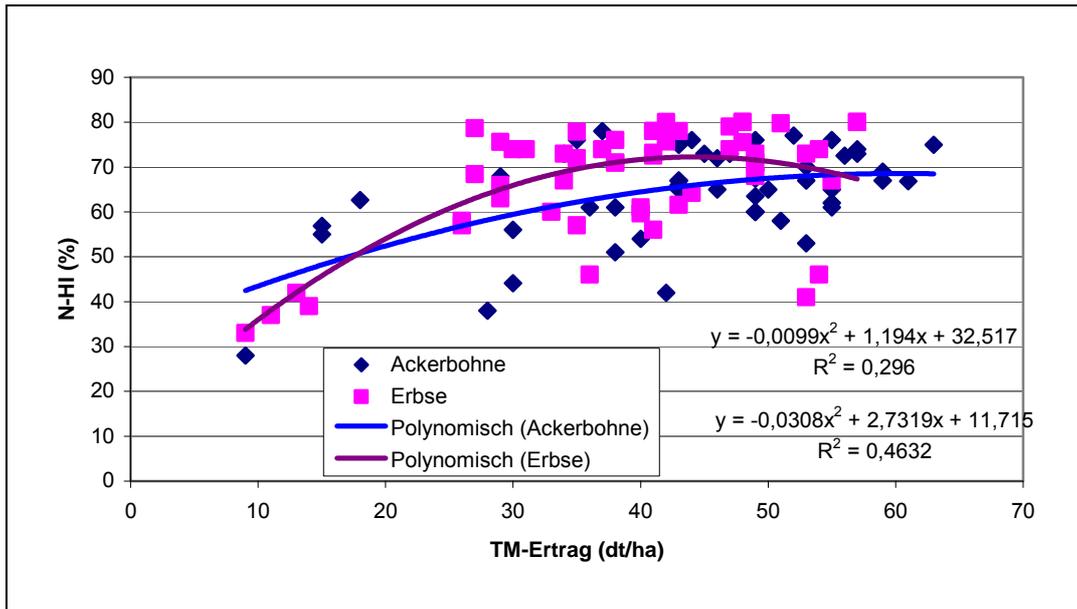


Abbildung 41: Beziehung zwischen TM-Kornertrag und N-Harvest-Index (N-HI) bei Ackerbohne und Erbse

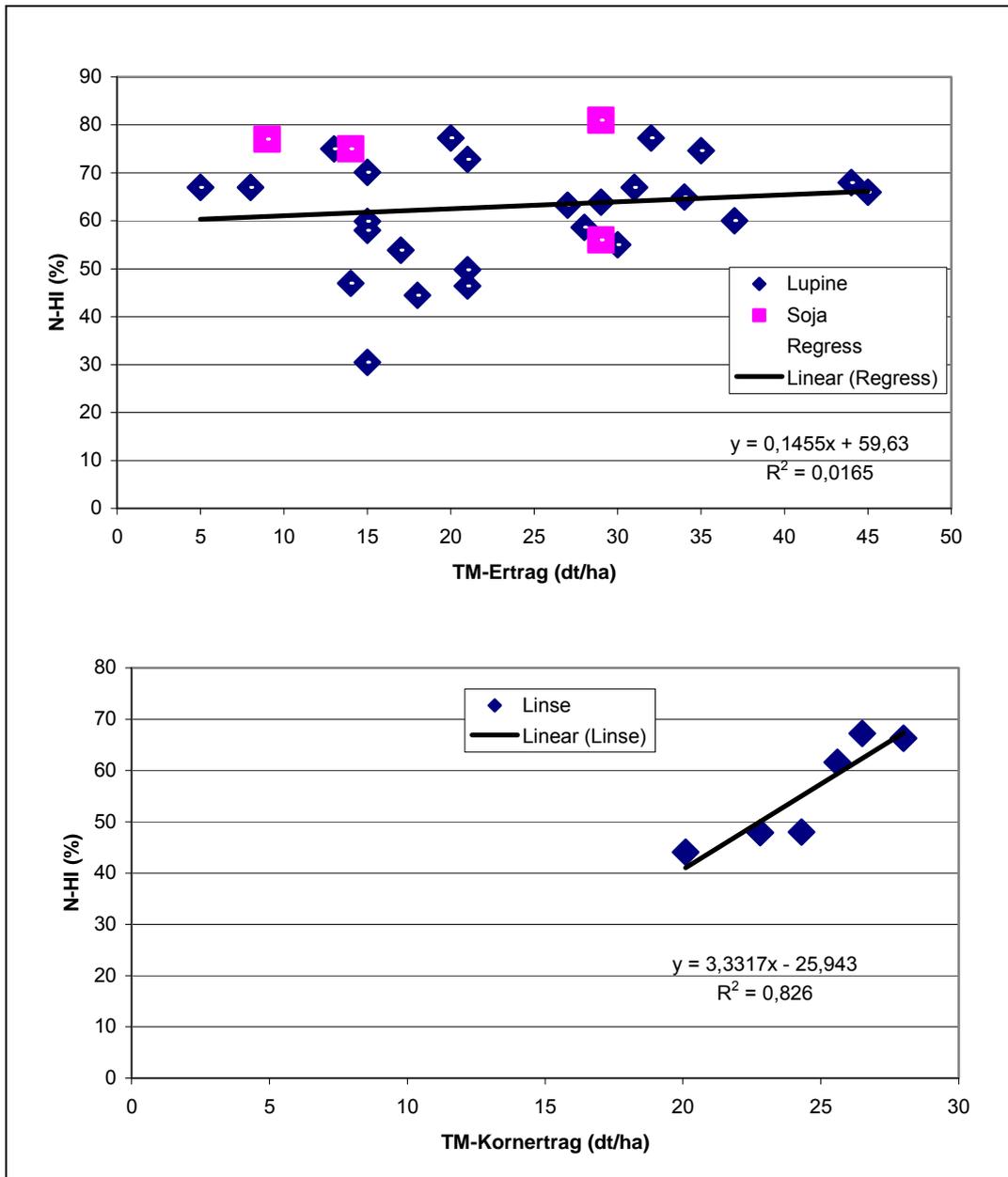


Abbildung 42: Beziehung zwischen TM-Kornertrag und N-Harvest-Index (N-HI) bei Lupine und Soja (oben) sowie bei Linse (unten)

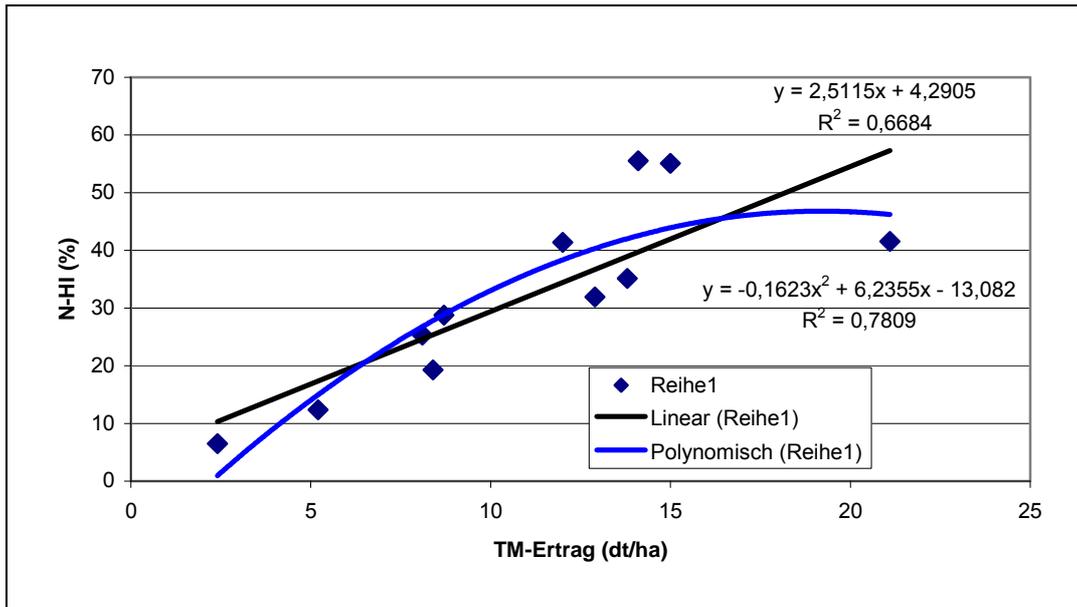


Abbildung 43: Beziehung zwischen TM-Kornertrag und N-Harvest-Index (N-HI) bei Grünspiseerbse

Über die Ackerbohne und Erbse stand mit Abstand die höchste Datenmenge zur Verfügung. Diesen beiden Arten auch in der Praxis die größte Bedeutung zu. Daher wurde in einem weiteren Arbeitsschritt mit Hilfe der multiplen Regressionsanalyse versucht, quantitative Beziehungen zur Beschreibung des N-Harvest-Indexes aufzustellen. Hierbei stellte sich heraus, dass auch der N_{\min} -Gehalt des Bodens vor Saat bei beiden Kulturen einen spezifischen signifikanten Einfluss ausübt. Somit konnte eine dreidimensionale Charakteristik erstellt werden, wobei offenbar eine große Übereinstimmung zwischen den Kulturarten besteht (Abb. 44 u. 45). Die auf diesem Weg ermittelten Gleichungen für drei Kulturarten lauten:

- Ackerbohne $N\text{-HI} = 30,261 + 1,621 \times \text{TM-Kornertrag} + 0,00526 \times \text{TM-Kornertrag} \times N_{\min} - 0,02077 \times \text{TM-Kornertrag}^2 - 0,001381 \times N_{\min}^2$
- Erbse $N\text{-HI} = 15,257 + 2,34 \times \text{TM-Kornertrag} + 0,009296 \times \text{TM-Kornertrag} \times N_{\min} - 0,03173 \times \text{TM-Kornertrag}^2 - 0,002144 \times N_{\min}^2$.
- Lupine $N\text{-HI} = 65,81 - 0,043 \times \text{TM-Kornertrag}^2 + 0,059 \times \text{TM-Kornertrag} \times N_{\min} - 0,019 \times N_{\min}^2$

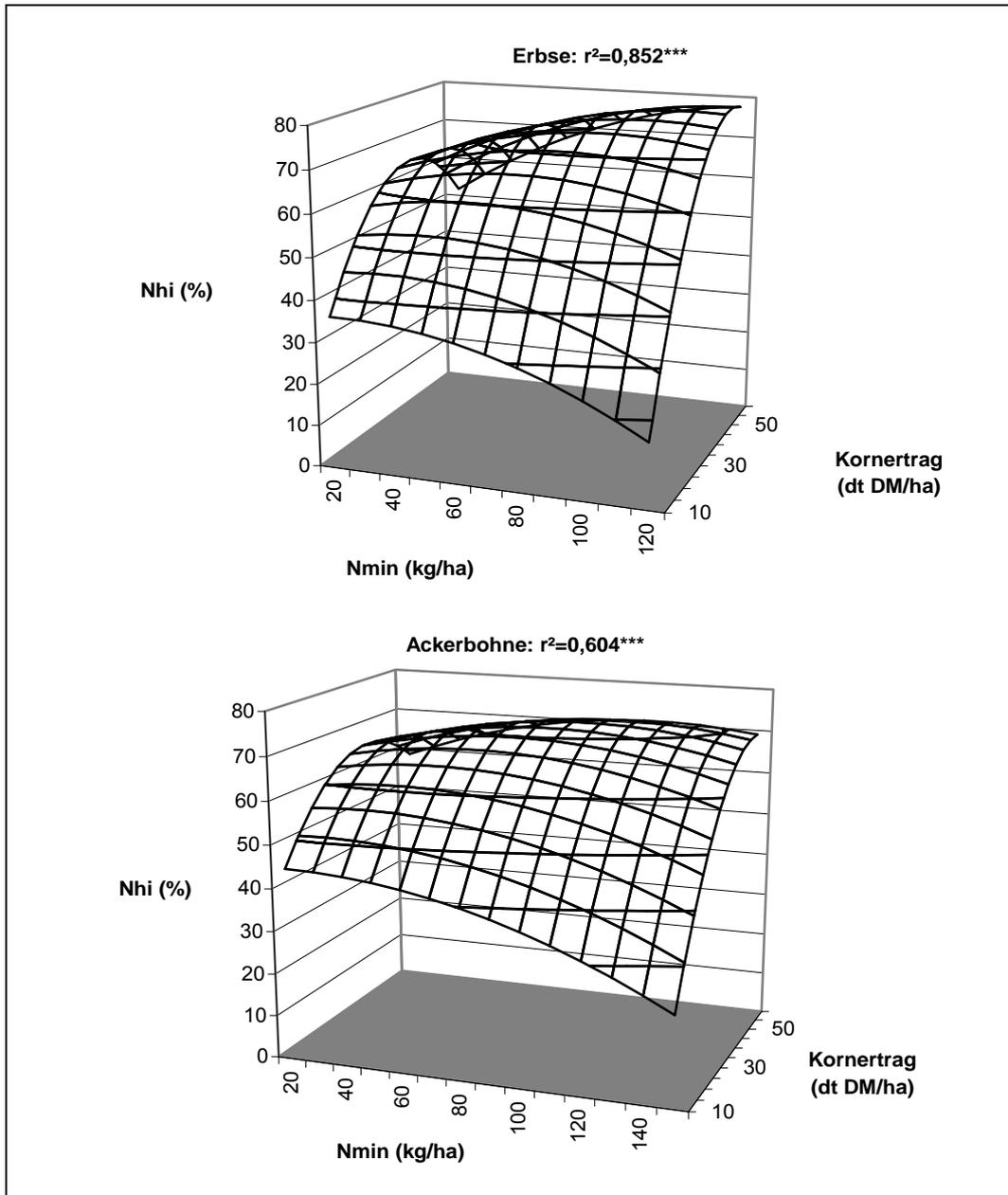


Abbildung 44: Einfluss der TM-Erträge und der N_{\min} -Gehalte des Bodens auf die N-Harvest-Indices (N-Hi) bei Ackerbohne und Erbse, ermittelt mit der multiplen Regressionsanalyse

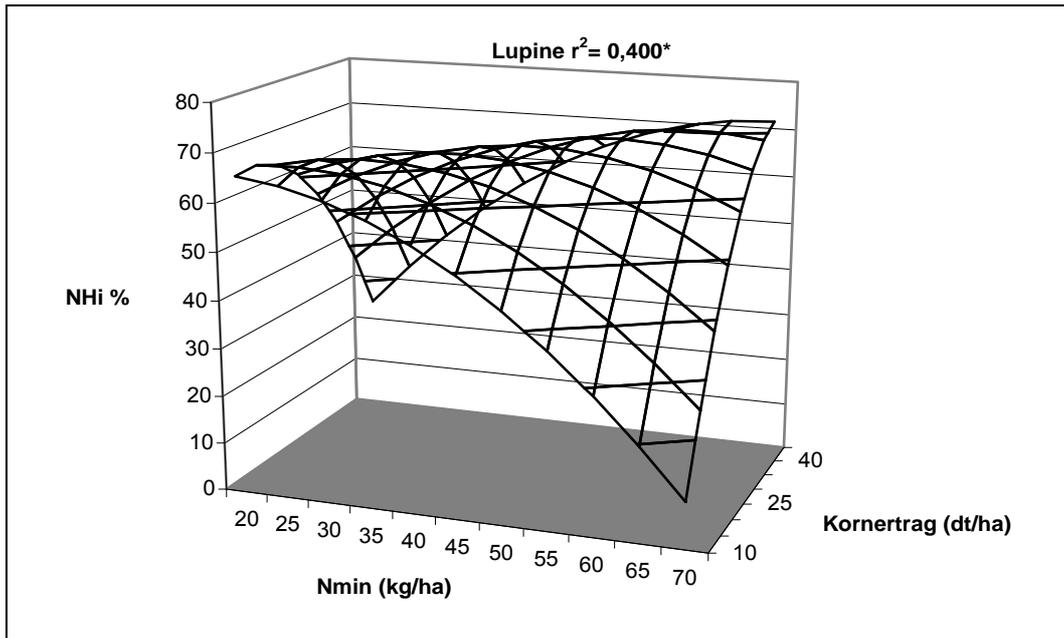


Abbildung 45: Einfluss der TM-Erträge und der N_{\min} -Gehalte des Bodens auf die N-Harvestindices (NHi) bei Lupine, ermittelt mit der multiplen Regressionsanalyse

Die Werte dieses indirekt ermittelten Merkmals N-Harvest-Index sowie auch andere leicht ermittelbare Merkmale wurden wiederum dazu verwendet um das Verhältnis N-Saldo/N-Entzug möglichst quantitativ über die multiple Regressionsanalyse zu ermitteln. Folgende Gleichungssysteme wurden so erhalten:

- Verhältnis N-Saldo/N-Entzug = $3.264 - 0.008651 \times N_{\min} + 0.01053 \times \text{TM-Kornertrag} - 0.08141 \times \text{N-HI} + 0.00003076 \times N_{\min}^2 + 0.000496 \times \text{N-HI}^2$.
- N-Entzug = TM-Kornertrag x N-Gehalt-Korn (Tabellenwert, siehe Tab. 5)
- N-Saldo = N-Entzug x Verhältnis N-Saldo/N-Entzug
- N-Bindung = N-Saldo + N-Entzug.

Das Verhältnis N-Saldo/N-Entzug kann unabhängig von der Kulturart verwendet werden. Daher wurde es auch für die Arten Lupine, Soja und Linse übernommen. Die indirekte Berechnung des N-Harvest-Indexes ist dagegen für jede Kulturart erforderlich. Nach den noch erforderlichen Validierungsarbeiten haben sich folgende Gleichungen bewährt:

- Lupine N-HI (%) = $0,08179 \times \text{TM-Kornertrag} + 55,94$ (Alternative)
- Soja N-HI = $0,166 \times \text{TM-Kornertrag} + 77,13$
- Linse N-HI = $3,32 \times \text{TM-Kornertrag} - 35,94$.

Für die Erstellung eines einfachen, von Hand zu berechnendes Verfahren (Kurzform) zur legumen N-Bindung konnte kein Weg unter Integration des N-Harvest-Indexes gefunden werden. Damit war

auch klar, dass es bisher keine genaue Berechnungsmöglichkeit gibt. Da mit dem Verhältnis N-Saldo/N-Entzug gute Erfahrungen gemacht wurden, wurde in weiteren Schritten versucht, den Einfluss anderer Merkmale auf dieses Verhältnis zu quantifizieren. Nach vielen vergeblichen Versuchen stellte sich heraus, dass die rel. lockere negative Beziehung zwischen den N_{\min} -Werten im Frühjahr vor der Saat und diesem Verhältnis mehr oder weniger als einziger Ansatz geeignet erschien (Abb. 46). Bei Erbsen werden infolge steigender N_{\min} -Werte ein deutlicherer Abfall in dem Verhältnis und ein schnelleres Erreichen von negativen Werten sichtbar als bei der Ackerbohne. Die Ergänzung eines Gleichungsansatzes für Körnerleguminosen um diese gefundenen mathematischen Beziehungen ergab wiederum eine gewisse Verbesserung gegenüber den bisherigen Verfahren. Nach entsprechenden Validierungsarbeiten können die nachfolgend genannten Gleichungen für Ackerbohne und Erbse (und Gemenge) vorgeschlagen werden:

- Ackerbohne N-Saldo(brutto) = TM-Kornertrag x N-Gehalt x (0,5 – 0,0025 x N_{\min})
- Erbse N-Saldo(brutto) = TM-Kornertrag x N-Gehalt x (0,4 – 0,005 x N_{\min})

hierbei ist:

- N-Entzug = TM-Kornertrag x N-Gehalt (Tabellenwert)
- N-Bindung = N-Saldo + N-Entzug
- Verhältnis N-Saldo/N-Entzug = $a - b \times N_{\min}$
- N-Saldo = Verhältnis N-Saldo/N-Entzug x N-Entzug.

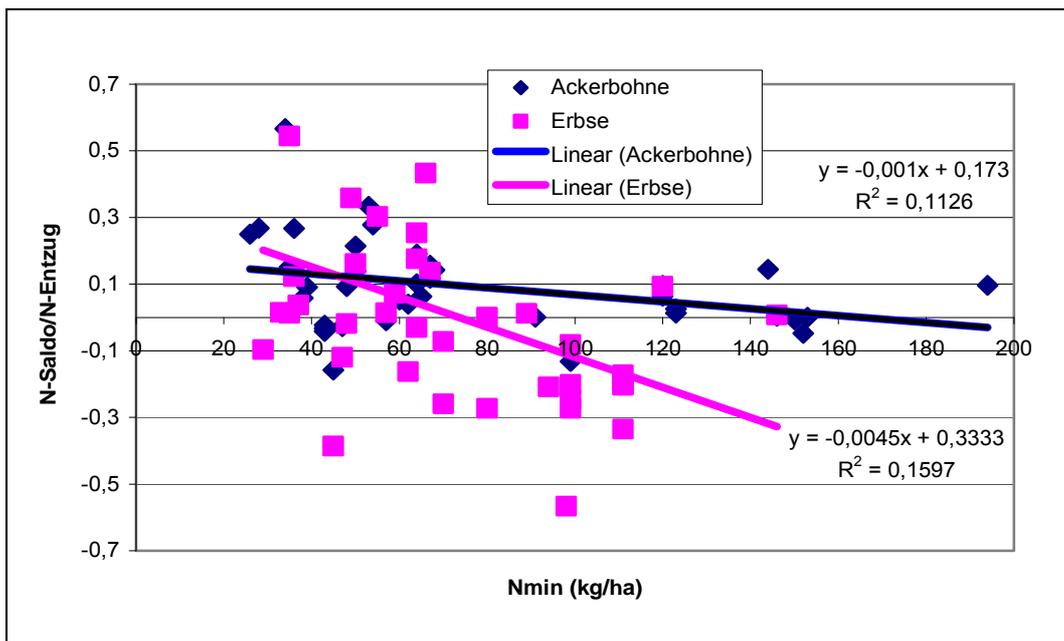


Abbildung 46: Beziehung zwischen N_{\min} -Werten und dem Verhältnis N-Saldo/N-Entzug bei Ackerbohne und Erbse

Grünspeiseerbse

Für die Langfassung wurde ein ähnlicher Ansatz verfolgt wie bei den anderen Körnerleguminosen:

- $N\text{-HI} (\%) = -12,08 + 6,2355 \times \text{TM-Kornertrag} - 0,1623 \times \text{TM-Kornertrag}^2$
- Verhältnis $N\text{-Saldo}/N\text{-Entzug} = 12,13 - 0,5329 \times N\text{-HI} + 0,0061 \times N\text{-HI}^2 - 0,014 \times N_{\min} + 0,00006076 \times N_{\min}^2 + 0,01 \times \text{TM-Kornertrag}$.

Für die Kurzfassung der Grünspeiseerbse wurde die Beziehung zwischen N-Entzug und N-Saldo in eine vereinfachte Gleichung aufgenommen (Abb. 47).

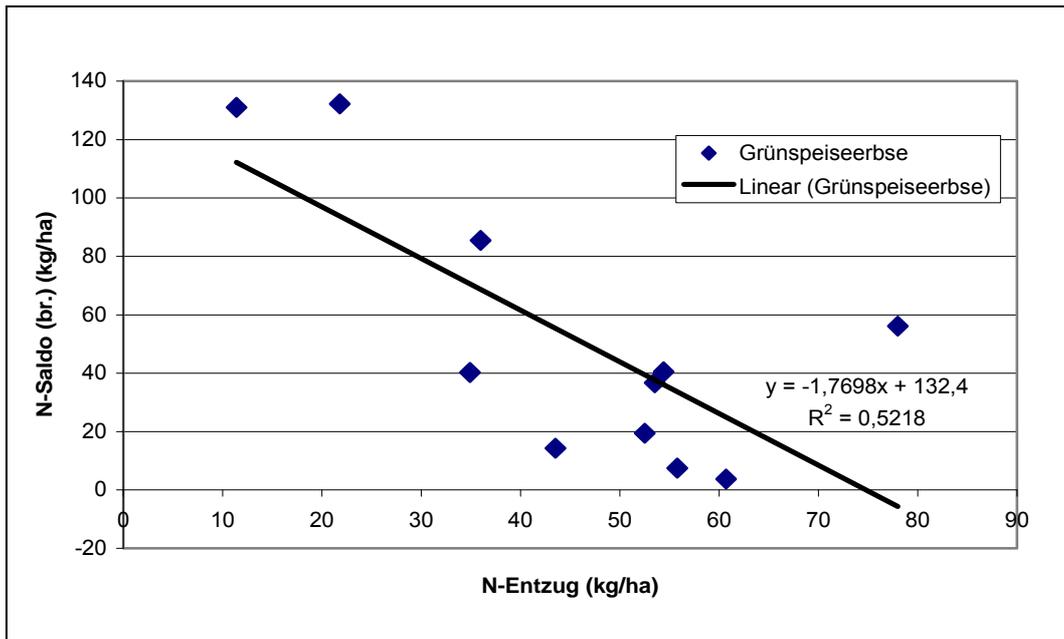


Abbildung 47: Beziehung zwischen dem N-Entzug und dem N-Saldo(brutto) bei Grünspeiseerbse

Methodengenauigkeit verbesserter Verfahren zur Berechnung der N-Fixierung

Die Methodengenauigkeit für die Kurz- und Langfassung kann den Abbildungen 48 und 49 entnommen werden.

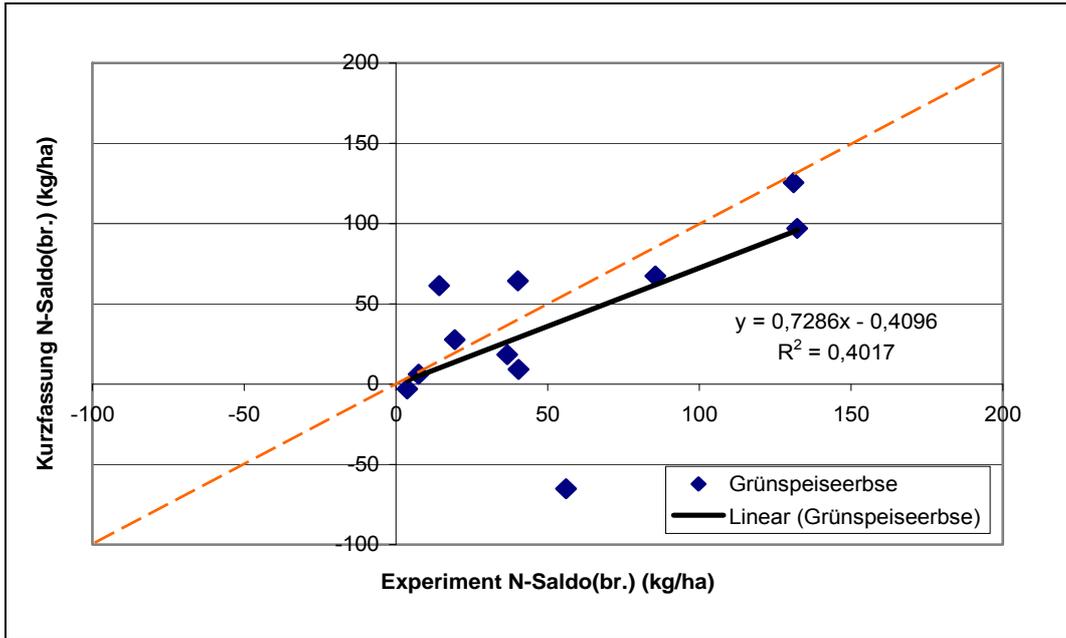


Abbildung 48: Vergleich von im Experiment ermittelten und über die Kurzfassung berechneten N-Salden für Grünspeiseerbse

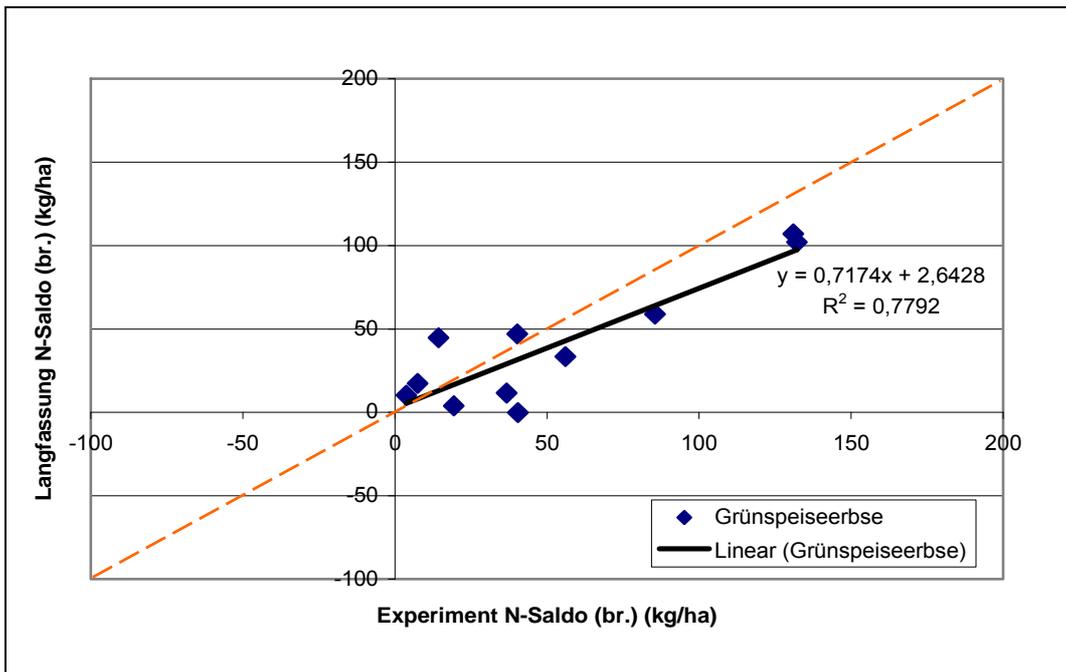


Abbildung 49: Vergleich von im Experiment ermittelten und über die Langfassung berechneten N-Salden für Grünspeiseerbse

Für Ackerbohne und Erbse konnte nach den Validierungsarbeiten eine Methodensicherheit durch die Kurzverfahren erreicht werden, die etwas genauer ist als die maximal mögliche Genauigkeit der Methoden unter Nutzung des Referenzpflanzensystems von JOST (2003) (vgl. Abb. 36 u. Abb. 50).

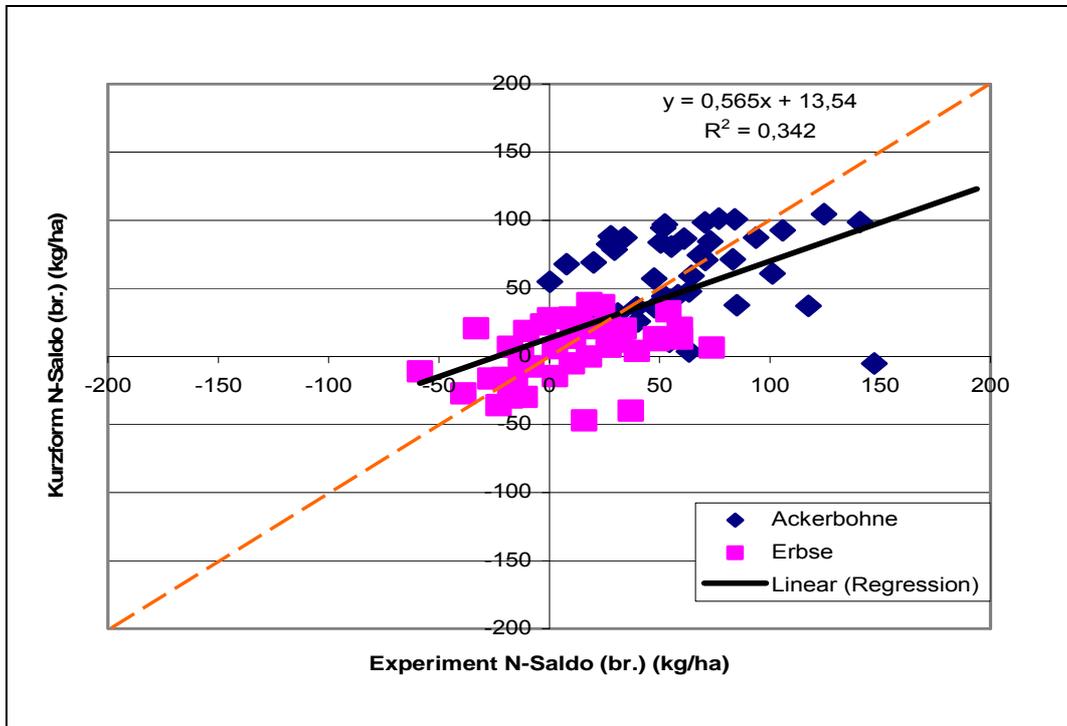


Abbildung 50: Vergleich von im Experiment ermittelten und über die Kurzfassung berechneten N-Salden für Körnerleguminosen (Ackerbohne, Erbse)

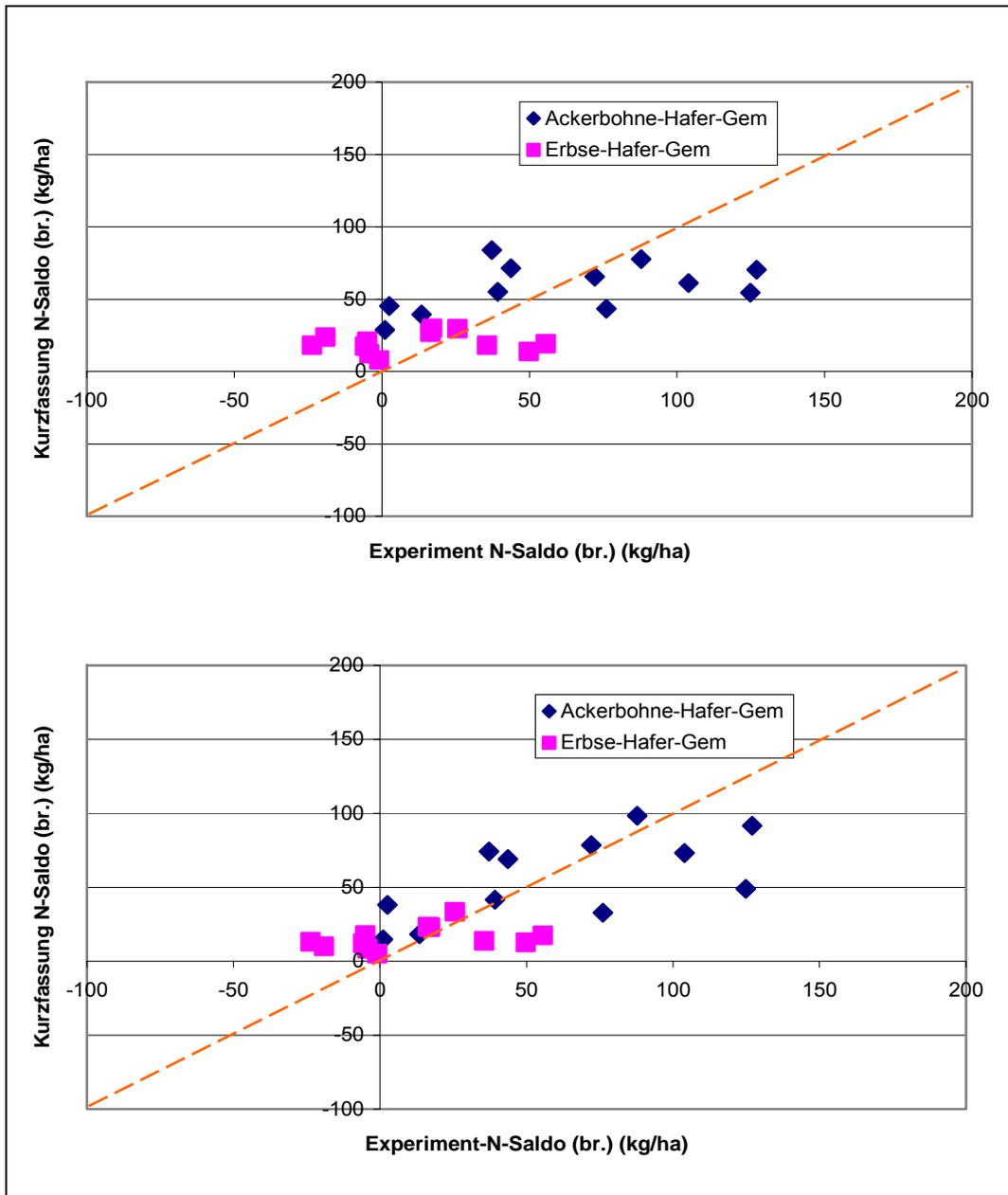


Abbildung 51: Vergleich von im Experiment ermittelten und über die Kurzfassung berechneten N-Salden für Ackerbohnen- und Erbsen-Hafer-Gemenge (oben: Einsatz eines gemeinsamen N-Gehaltes des Gemenges = 3,03 % N; unten: Einsatz der für Ackerbohnen und Erbsen vorgesehenen N-Gehalte)

Bei den Leguminosen-Gemengen mit Nichtleguminosen wird dabei nur der Gesamt-Kornertrag des Gemenges betrachtet. In die Gleichung geht also der Kornertrag, deren mittlerer N-Gehalt und die N_{\min} -Werte vor Saat ein. Wie zu sehen ist, ist die Übereinstimmung auch hierbei nicht besonders gut (Abb. 51).

Für eine manuelle Berechnung wurde darüber hinaus versucht, für jede Leguminosenart eine einfache Gleichung zu ermitteln. Dieses ist nur sehr unzulänglich gelungen. Daher können die nachfolgend genannten einfachen Verfahren zur Berechnung der N-Bindung (brutto) bzw. des N-Saldos (brutto) nicht uneingeschränkt empfohlen werden. Im Vergleich zu gemessenen Werten sind sie mit großen Abweichungen behaftet:

- Lupine N-Bindung = 1,25 x N-Entzug
- Soja N-Bindung = 0,86 x N-Entzug
- Linse N-Bindung = 1,30 x N-Entzug
- Wicke N-Bindung = 1,05 x N-Entzug
- Hülsenfruchtgemenge N-Bindung = 1,224 x N-Entzug
- Hülsenfrucht-/Nichtlegum.-Gemenge N-Bindung = 1,15 x N-Entzug

Hierbei ist:

- N-Entzug = FM-Ertrag (86 % TM) x N-Gehalt
- N-Saldo = N-Bindung – N-Entzug.

Es ist also bisher nur für einige Arten von Körnerleguminosen möglich, verlässliche Werte für die N-Bindung und den N-Saldo zu berechnen. Alternativ hierzu ist es ebenso möglich, nachfolgend genannte mittlere Werte für die Kulturarten anstelle von berechneten Werten einzusetzen (Tab. 34). Für die Anwendung sollten dann die um den N-Bodentransfer korrigierten Werte eingesetzt werden.

Tabelle 34: Mittlere Werte für die N-Bindung und N-Salden, ausgedrückt als Netto- und Brutto-Werte für Körnerleguminosen

Kulturart	Anzahl (n)	N-Bindung (netto) (kg/ha)	N-Saldo (netto) (kg/ha)	N-Boden-Transfer (% v. N-Netto-Bindung)
Ackerbohne	56	214	26	19
Erbse	52	129	1	12
Lupine	36	151	13	18
Soja	7	114	-18	16 ¹⁾
Linse	6	69	28	16 ¹⁾
Ackerbohnen-Gemenge	12	183	26	19
Erbsen-Gemenge	12	123	-2	12
Linsen-Gemenge	6	85	21	16 ¹⁾
Grünpiseseerbse	11	88	43	9

¹⁾ angenommene Werte für N-Bodentransfer

Werden die indirekt berechneten Werte für den N-Harvest-Index durch die Werte im Experiment ersetzt und auf diese Weise die N-Salden mit o. a. Gleichungen der Langfassungen berechnet, so wird folgende Gegenüberstellung mit gemessenen Werten erreicht (Abb. 52). Es ist sofort der Fortschritt in der Übereinstimmung mit der 1 : 1-Achse für beide Körnerleguminosenarten zu erkennen.

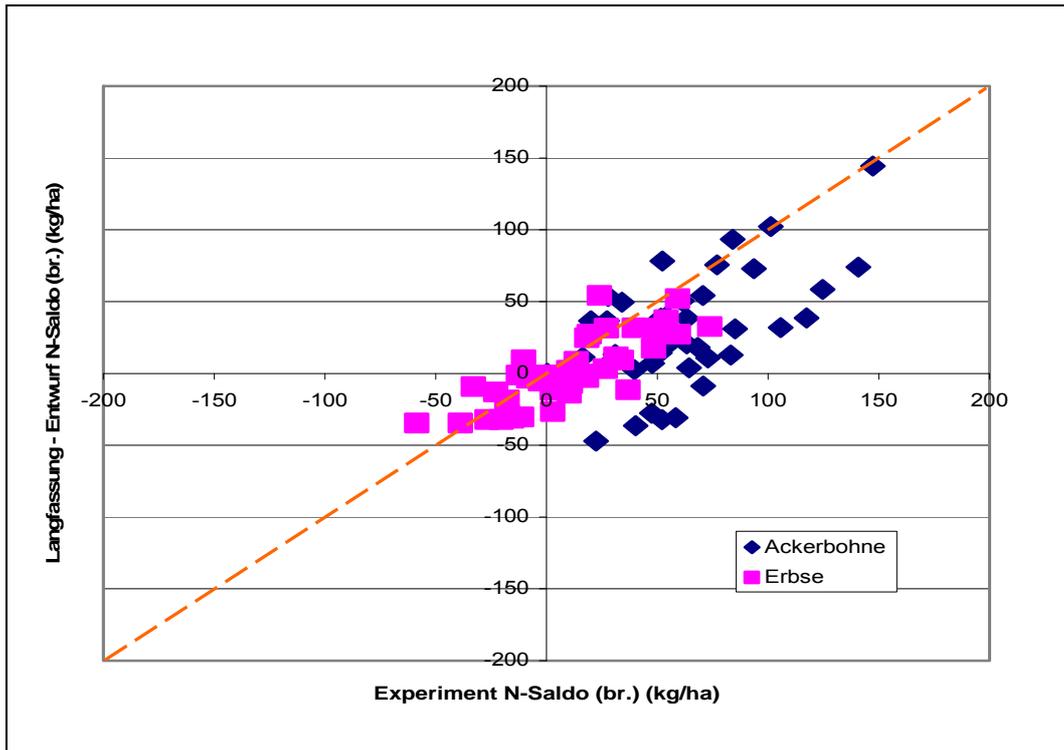


Abbildung 52: Vergleich von im Experiment ermittelten und über das Gleichungssystem der Langfassung (inkl. Einsatz der gemessenen N-HI) berechneten N-Salden für Ackerbohnen und Erbsen

Auf Grund von Validierungsarbeiten (auch in Bezug auf die Erreichung von N-Brutto-Salden) wurden die Achsenabschnitte der N-HI-Gleichungen folgendermaßen korrigiert:

- Ackerbohne: $a = 22,26$ (anstatt $30,26$)
- Erbse: $a = 20,26$ (anstatt $15,26$).
- Lupine (ges. Gleichung): $N\text{-HI} = 58,81 - 0,054 \times \text{TM-Ertrag}^2 + 0,059 \times \text{TM-Ertrag} \times N_{\min} - 0,0135 \times N_{\min}^2$.

Die über diese Modellkonfiguration erhaltene Übereinstimmung mit im Experiment gemessenen Werten ist sehr hoch (Abb. 53). Wie ein Vergleich zwischen den Abbildungen 52 und 53 zeigt, kann die Wirkung des N-HI durch die indirekte Berechnung ebenfalls sehr gut abgebildet werden. In Abbildung 53 sind ebenfalls Werte der Untersuchungen von JOST (2003) dargestellt worden, die nicht beim Aufbau des Verfahrens beteiligt waren. Auch hierbei gibt es eine recht gute Übereinstimmung mit den gemessenen Werten. Im Vergleich zu der maximal möglichen Genauigkeit des von JOST (2003) entwickelten Verfahrens (siehe Abb. 36) ist die Übereinstimmung mit der 1 : 1-Achse deutlich besser sowie die Streubreite der Werte deutlich niedriger. Abbildung 54 zeigt eine Gegenüberstellung von gemessenen und mit den Langfassungen berechneten Mengen der N-Bindung. Auch hierbei zeigt sich eine gute Übereinstimmung für Ackerbohne und Erbse. Die

Methodengenaugigkeiten für die Körnerleguminosen-Nichtleguminosen-Gemenge und für die Körnerleguminosen Lupine, Soja und Linse sind in den nachfolgenden Abbildungen 55 und 56 dargestellt worden. Die ins Programm BEFU übernommenen Gleichungen können der Tabelle A7 im Anhang entnommen werden.

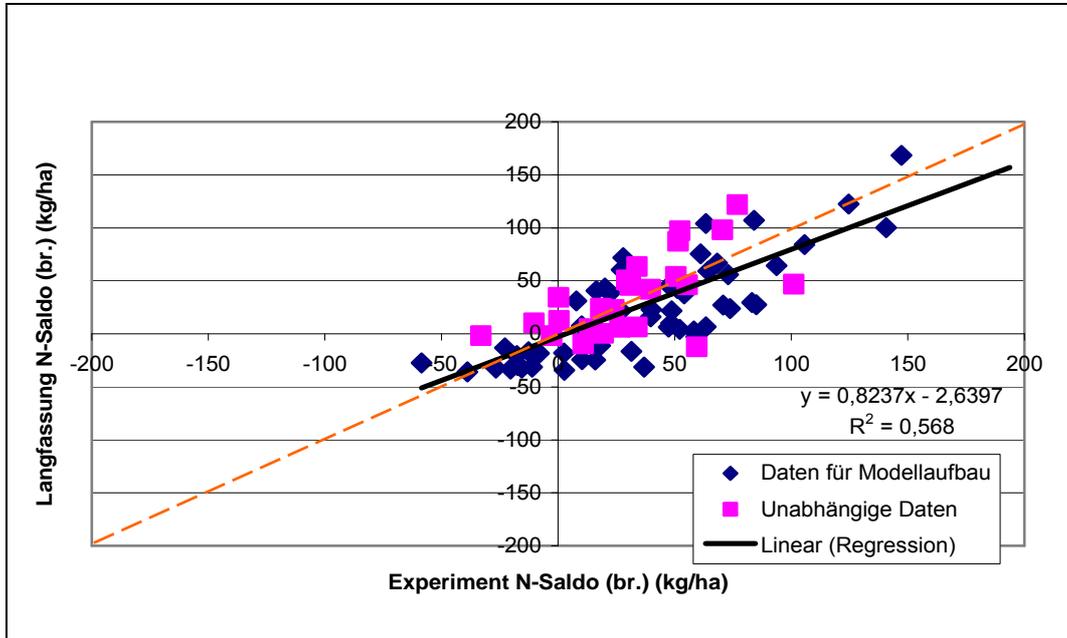


Abbildung 53: Vergleich von im Experiment ermittelten und über die Langfassung berechneten N-Salden für Körnerleguminosen (Ackerbohne und Erbse), inkl. extra ausgewiesene, unabhängige Werte

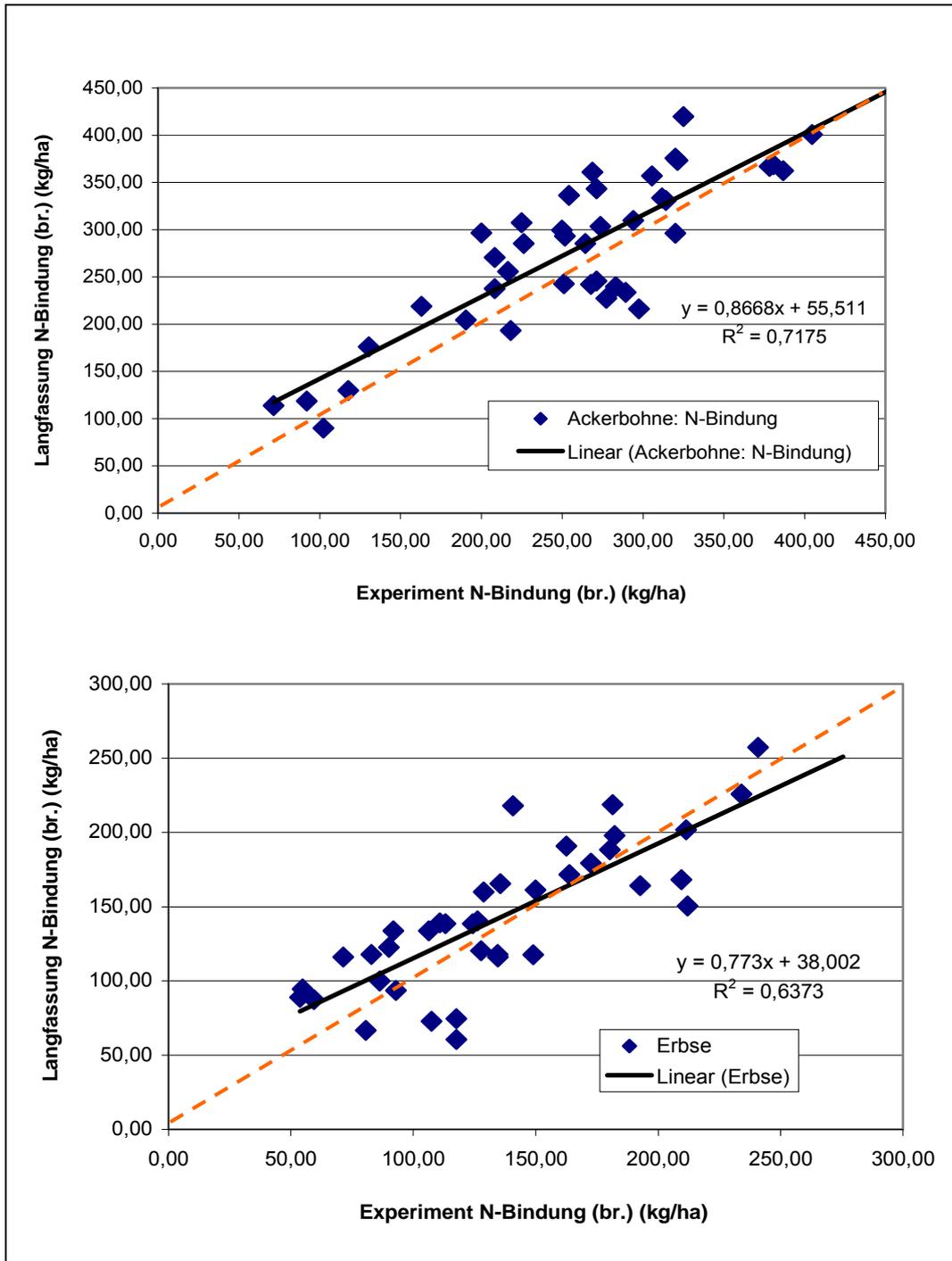


Abbildung 54: Beziehungen zwischen im Experiment gemessenen und mit den Langfassungen berechneten Mengen der N-Bindung (br.) für Ackerbohne (oben) und Erbse (unten)

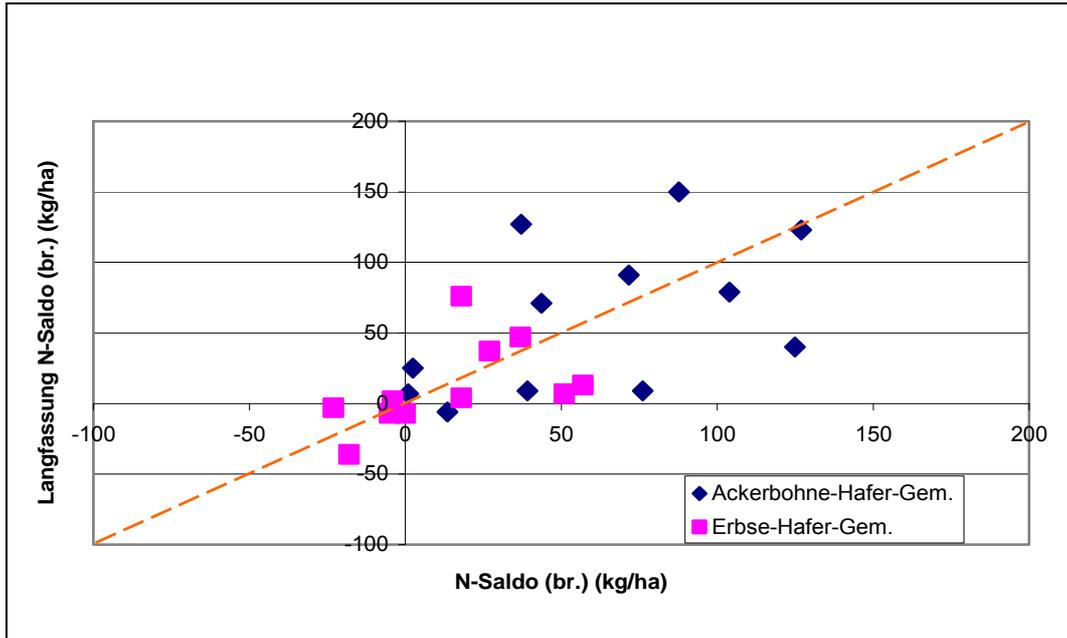


Abbildung 55: Vergleich von im Experiment ermittelten und über die Langfassung berechneten N-Salden für Körnerleguminosen/Nichtleguminosen-Gemenge (Ackerbohnen-, Erbsen-Hafer-Gemenge)

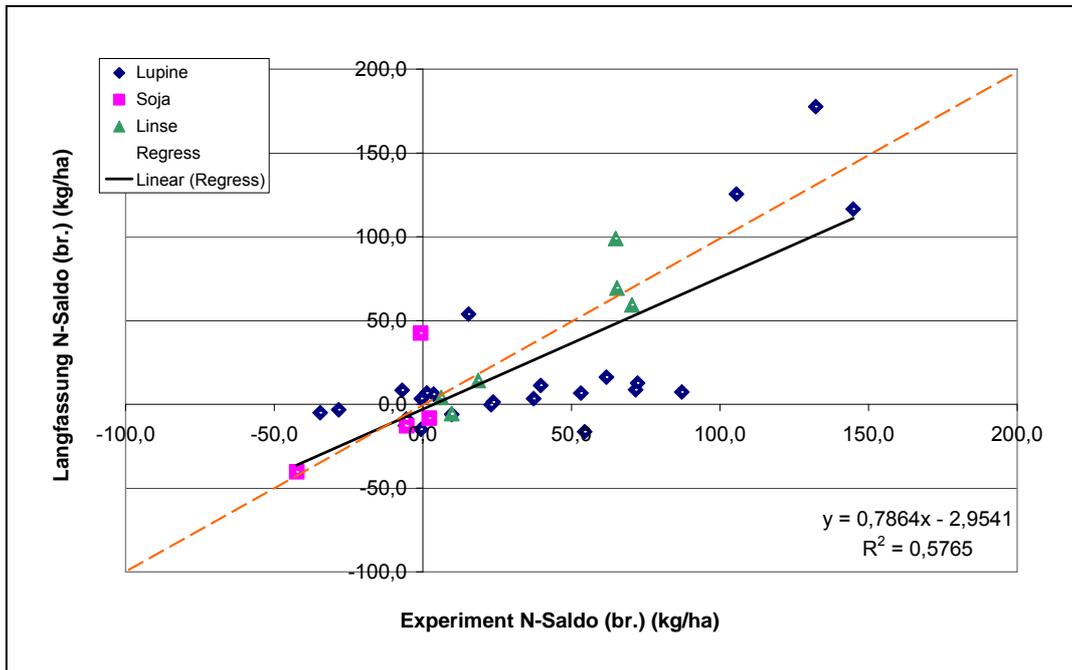


Abbildung 56: Vergleich von im Experiment ermittelten und über die Langfassung berechneten N-Salden für die Körnerleguminosen Lupine, Soja und Linse

8.2.2 Großkörnige Futter-Leguminosen und Gemenge (Ackerbohne, Erbse, Ganzpflanzensilage)

Methodengenaugigkeit von bestehenden Verfahren zur Berechnung der N-Fixierung

Mit dem an der Universität Halle entwickelten Verfahren (BIERMANN 1995; ALBERT et al. 1997c) wurden aus Experimenten von JOST (2003) die N-Salden ermittelt und den Werten aus den Experimenten gegenüber gestellt (Abb. 57). Wie dieser Gegenüberstellung entnommen werden kann, gibt es wiederum keine Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten Werten. Somit ist ebenfalls zu erwarten, dass die Verfahren der Landeseinrichtungen (die ja meistens noch einfacher sind als die bei ALBERT et al. 1997c angegebenen Kurzverfahren) als auch die Berechnung nach REPRO zu sehr ungenauen Werten führen.

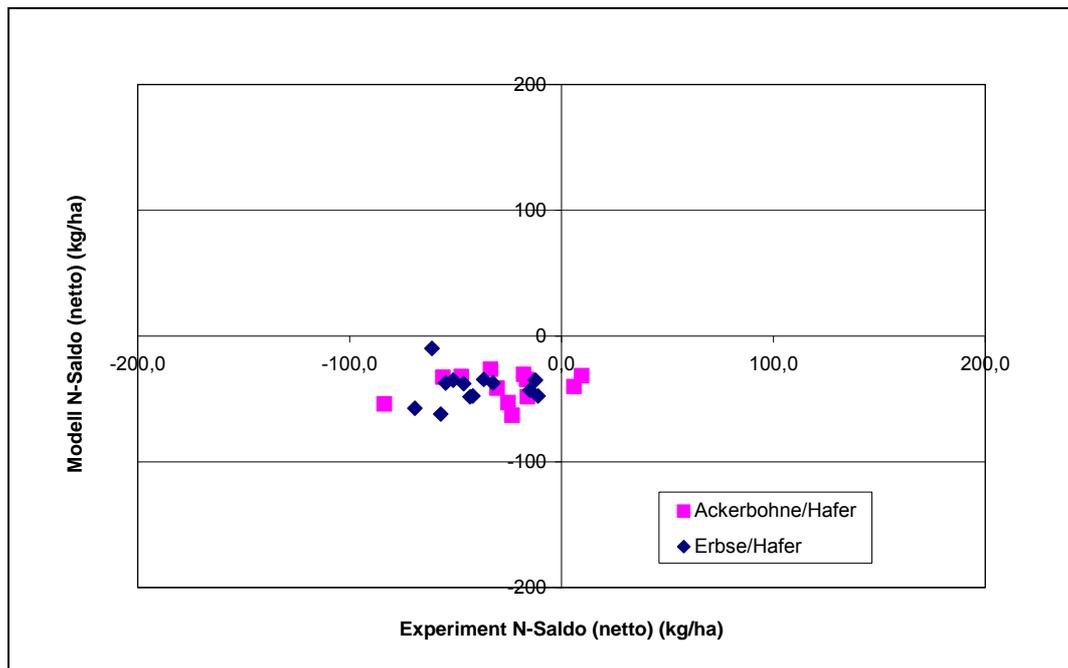


Abbildung 57: Vergleich von N-Saldo-Werten ermittelt aus Experimenten und mit dem Verfahren nach ALBERT et al. (1997c) für GPS-Gemenge aus Ackerbohnen, Erbsen und Hafer

Ein Vergleich der Verfahren nach JOST (2003) brachte folgende Gegenüberstellung (Abb. 58). Die Methodengenaugigkeit ist für die GPS-Erbseengemenge, deren Werte im Minusbereich liegen, rel. gut. Für die GPS-Ackerbohnegemenge werden etwas zu hohe und ungenaue Werte in den N-Bruttosalden gefunden.

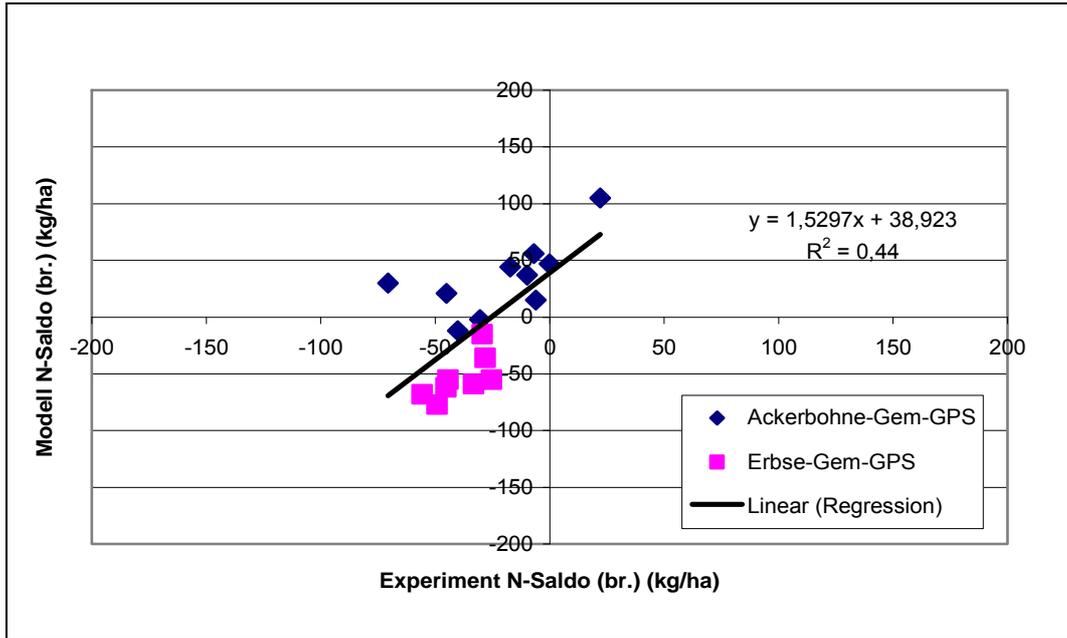


Abbildung 58: Vergleich von N-Saldo-Werten ermittelt aus Experimenten und mit dem Verfahren nach JOST (2003) berechneten Werten für GPS-Gemenge aus Ackerbohnen, Erbsen und Hafer

Quantifizierung von Merkmalen, die die N-Fixierung bestimmen

Nach der Erfassung von Daten über die Ganzpflanzensilage (GPS; meistens aus JOST 2003; siehe Kap. 8.1) wurde zunächst wieder eine Korrelationsanalyse mit den wichtigsten beteiligten Merkmalen durchgeführt (Tab. 35).

Tabelle 35: Korrelationsmatrix über die Zusammenhänge zwischen den Merkmalen ermittelt aus Versuchen mit Ganzpflanzensilagen (Ackerbohnen-Hafer, Erbsen-Hafer) (zweiseitiger Test für $p = 0.05^*$, $p = 0.01^{}$, $p = 0.001^{***}$)**

Merkmal	Legum.- Anteil	N _{min}	TM-Ertrag (Legum.)	TM-Ertrag (Gesamt)	N-Ge- halt-HP	N- Entzug	N-Aufn. (ges.)	N-Saldo (netto)	N-Boden- Aufnahme	N-Bindg. (netto)	N-Harvest- Index
N _{min} (kg/ha)	0,148	-									
TM-Ertrag (Legum.) (dt/ha)	0,839***	0,345	-								
TM-Ertrag (Gesamt) (dt/ha)	0,526**	0,420*	0,894***	-							
N-Gehalt (%)	0,382	0,325	0,274	0,145	-						
N-Entzug (kg/ha)	0,601**	0,495*	0,845***	0,859***	0,620**	-					
N-Aufnahme(ges.) (kg/ha)	0,558**	0,466*	0,797***	0,817***	0,647**	0,981***	-				
N-Saldo(netto) (kg/ha)	-0,183	-0,253	-0,302	-0,311	-0,267	-0,396	-0,282	-			
N-Boden-Aufn. (kg/ha)	0,191	0,288	0,349	0,375	0,451*	0,544**	0,504*	-0,907***	-		
N-Bindung(netto) (kg/ha)	0,550**	0,397	0,748***	0,759***	0,525**	0,865***	0,906***	0,118	0,092	-	
N-Harvet-Index (%)	0,440*	0,279	0,480*	0,442**	0,094	0,377	0,199	-0,583**	0,288	0,089	-
N-Bindung (%)	0,338	0,142	0,327	0,302	0,129	0,276	0,321	0,675***	-0,608**	0,668***	-0,047
N-Saldo(brutto) (kg/ha)	-0,80	-0,172	-0,159	-0,166	-0,164	-0,230	-0,112	0,985***	-0,858***	0,290	-0,546**
N-Bindung(brutto) (kg/ha)	0,550**	0,397	0,748***	0,759***	0,525**	0,865***	0,906***	0,118	0,092	0,999***	0,089

Nach wiederum einigen vergeblichen Versuchen hat sich nachfolgender Weg zur Quantifizierung bewährt. Von dem im praktischen landwirtschaftlichen Bereich ermittelbaren Merkmalen zeigten die Beziehungen zwischen N_{\min} -Gehalt, Leguminosenanteil und TM-Ertrag eine Beziehung zur N-Bindung auf (Abb. 59 - 61). Es ist nicht zu übersehen, dass auch wiederum der N-Harvest-Index eine gewisse Rolle spielt, allerdings nicht so stark wie bei den Körnerleguminosen, so dass er nicht direkt im Gleichungssystem berücksichtigt werden muss.

Für die Langfassung wurde daraufhin eine multiple Regressionsanalyse mit den unabhängigen Merkmalen TM-Ertrag, Leguminosen-Anteil und den N_{\min} -Werten durchgeführt. Dabei wurde eine spezifische Wechselwirkung zwischen TM-Ertrag und dem Leguminosenanteil ermittelt und der N_{\min} -Gehalt geht als quadratisches Gleichungsglied ein ($r^2 = 0,86^{***}$):

- GPS N-Bindung(brutto) = $295 + 0,019 \times \text{TM-Ertrag} \times \text{Leguminosenanteil} - 10,732 \times N_{\min} + 0,11 \times N_{\min}^2$
- N-Saldo(br.) = N-Bindung(br.) – N-Entzug.

Die N_{\min} -Werte können direkt von 20 – 55 kg/ha im Frühjahr gemessen eingegeben werden (es waren in den Urdaten keine höheren Werte aufgetreten), höhere Werte können daher bisher nicht verrechnet werden, d.h. diese Werte werden auf 55 gesetzt.

Bei den Kurzversionen konnte zwar die direkte Beziehung zwischen den FM-Erträgen und der N-Bindung (brutto) verwendet werden. Noch besser war die Beziehung zwischen dem berechneten N-Entzug und der N-Bindung(brutto) als folgender Gleichungssatz geeignet (siehe Abb. 62):

$$\text{GPS- N-Bindung(brutto)} = 65 + 0,4 \times \text{N-Entzug}.$$

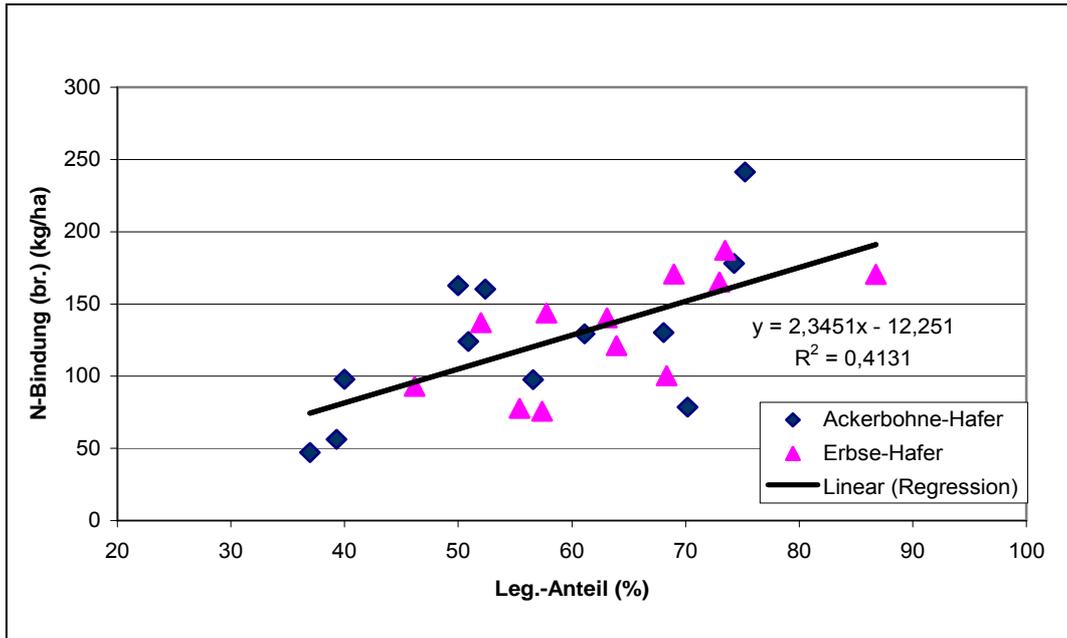


Abbildung 59: Beziehung zwischen den Leguminosenanteilen und der N-Bindung bei Gemengen zur Ganzpflanzensilage

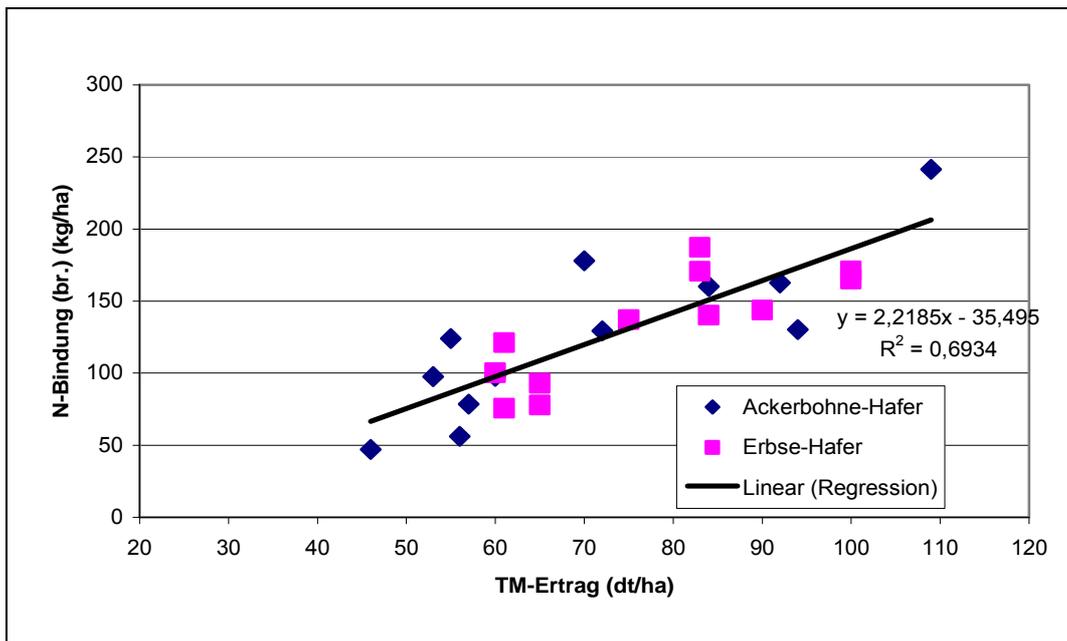


Abbildung 60: Beziehung zwischen den TM-Erträgen(gesamt) und der N-Bindung bei Gemengen zur Ganzpflanzensilage

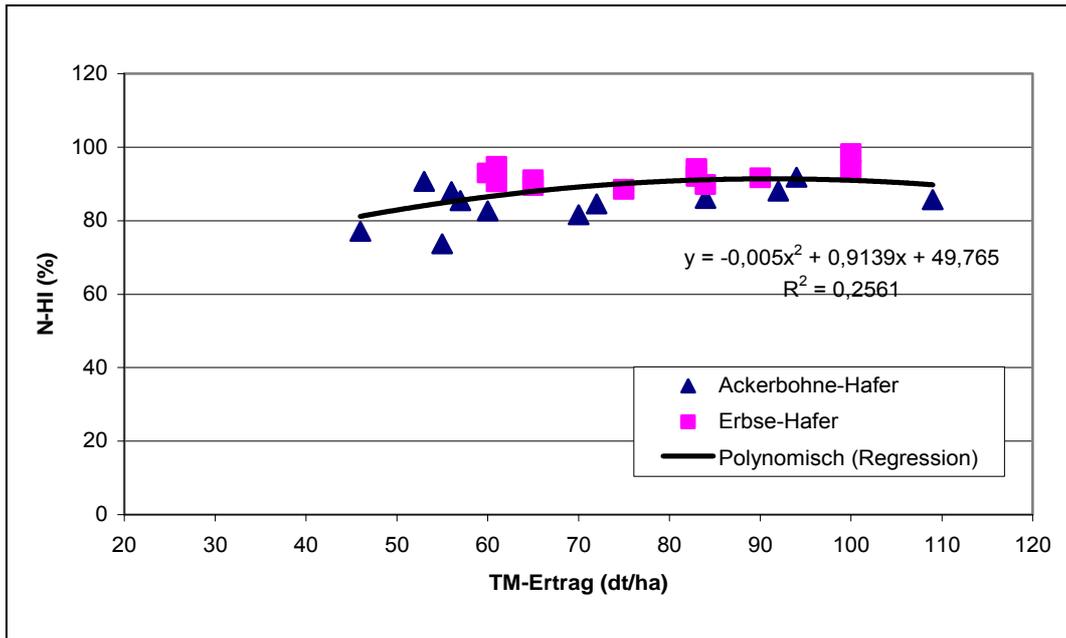


Abbildung 61: Beziehungen zwischen TM-Erträgen (gesamt) und den N-Harvest-Indices (N-HI) bei Gemengen zur Ganzpflanzensilage

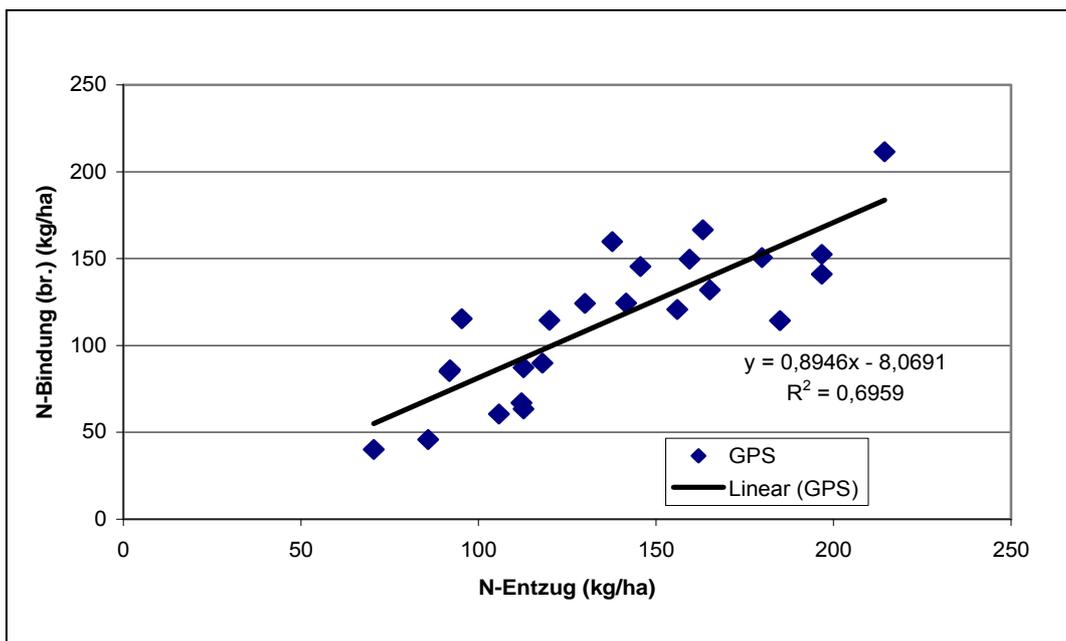


Abbildung 62: Beziehungen zwischen berechneten N-Entzügen und der N-Bindung bei Gemengen zur Ganzpflanzensilage

Methodengenauigkeit verbesserter Verfahren zur Berechnung der N-Fixierung

Bei den Kurzfassungen fällt der Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Werten des N-Saldos nur mäßig gut aus (Abb. 63). Wiederum ist zu erkennen, dass sehr niedrige N-Salden in ihren Werten eher unterschätzt werden. Hieraus ist zu ersehen, dass wichtige Informationen, die diesen Sachverhalt quantitativ bedingen, noch unzureichend in dem einfachen Gleichungssystem wiedergegeben worden sind.

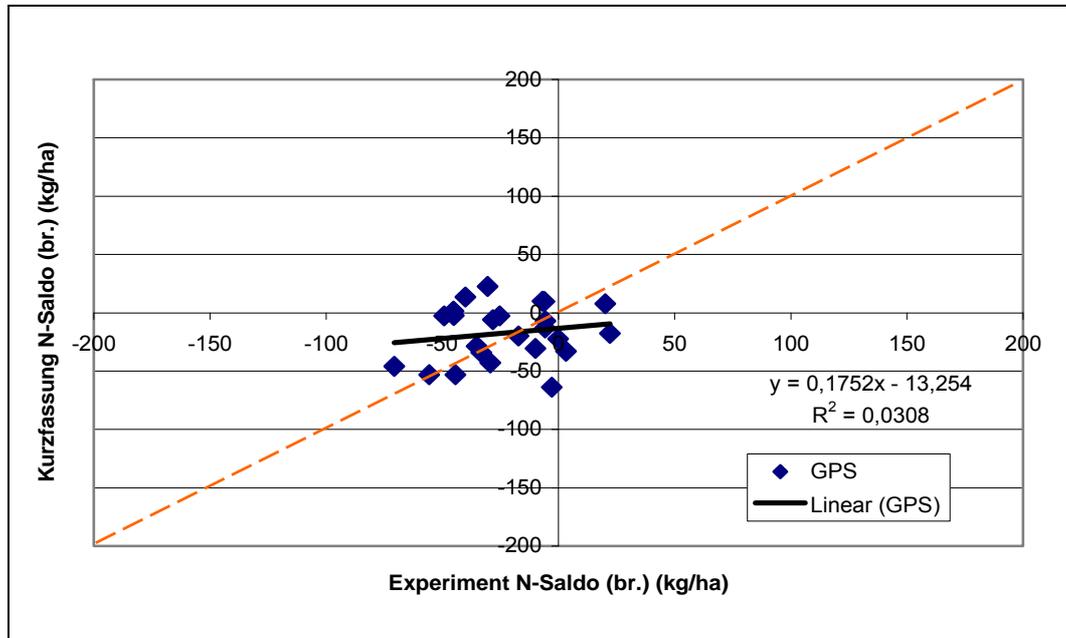


Abbildung 63: Vergleich zwischen gemessenen N-Salden im Experiment und den mit der Kurzfassung ermittelten N-Salden bei GPS-Gemengen

Bei der Langfassung ist die Methodengenauigkeit im Vergleich zu Werten des Experimentes etwas besser ausgefallen als bei der Kurzform (vgl. Abb. 63 u. 64). Trotzdem ist wiederum das bekannte Problem zu erkennen, dass niedrige (stark negative) und hohe Werte unterschätzt werden. Der Vergleich mit den bisher bekannten Verfahren zur Berechnung der N-Bindung (siehe Abb. 57) zeigt jedoch, dass eine Verbesserung erreicht worden ist.

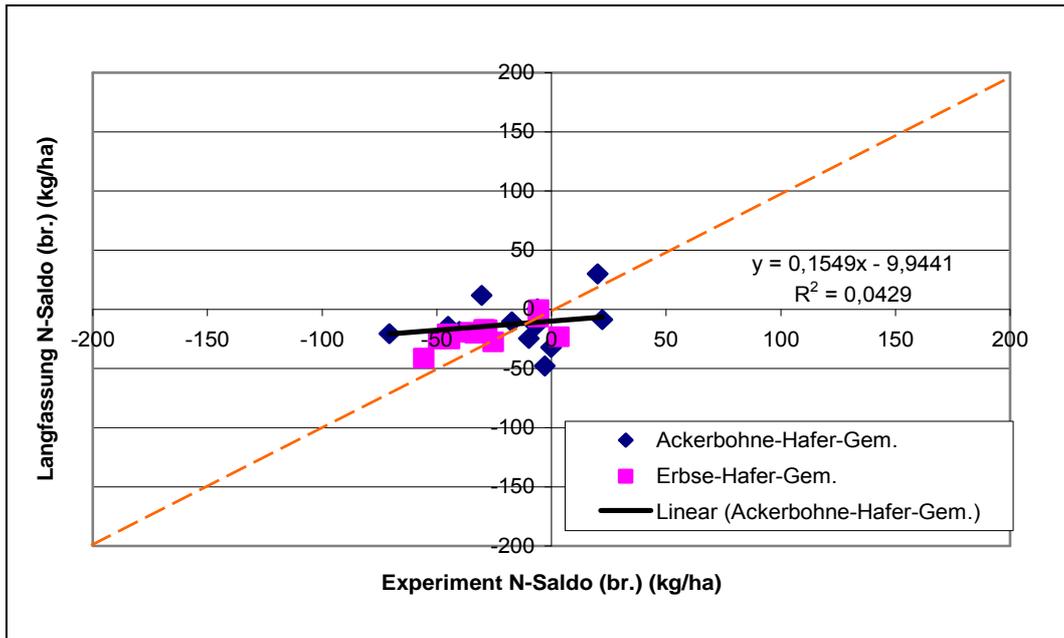


Abbildung 64: Vergleich zwischen gemessenen N-Salden im Experiment und den mit der Langfassung ermittelten N-Salden bei GPS-Gemengen

8.2.3 Kleinkörnige Futter-Leguminosen und Gemenge (Luzerne, Rotklee u. a. Kleearten)

Methodengenaugigkeit von bestehenden Verfahren zur Berechnung der N-Fixierung

Zunächst wurde eines der Verfahren getestet, das bereits in großem Umfang angewendet wird. Diese Ergebnisse werden stellvertretend für die Verfahren der Ländereinrichtungen vorgestellt. Im Freistaat Sachsen wird eine Kurzform (ALBERT et al. 1997c) eines Verfahrens verwendet, welches an der Universität Halle entwickelt worden ist und auch im Programm REPRO zur Anwendung kommt (BIERMANN 1995).

Wie aus Abbildung 65 entnommen werden kann, ist für den größten Datenbereich nur eine geringe Übereinstimmung zwischen gemessenen und mit diesem Verfahren berechneten N-Saldowerten zu erlangen. Entsprechend der Verrechnung können entweder nur positive Werte (Reinkulturen von Rotklee oder Luzerne) oder nur negative Werte (Gemenge mit Nichtleguminosen) erzielt werden. Neben diesem mathematischen Fehler ist aber auch zu erkennen, dass noch andere wichtige Einflüsse zu berücksichtigen sind, die aber bisher nicht im Gleichungssystem erfasst werden. So wird durch steigende Werte bei den Reinkulturen zwar ein Anstieg der N-Saldowerte registriert. Entsprechend dem mathematischen Verrechnungsweg können aber nur positive Werte ermittelt werden, so dass sehr niedrige positive und negative N-Salden durch zu hohe Werte abgebildet werden.

Bei Leguminosengemengen gibt es quasi ein reziprok falsches Ergebnis: Je höher die gemessenen Werte im positiven Bereich liegen, umso stärker negative N-Salden werden mit dem Verfahren ermittelt. Lediglich im Bereich um den Nullwert ergibt sich eine gewisse Übereinstimmung.

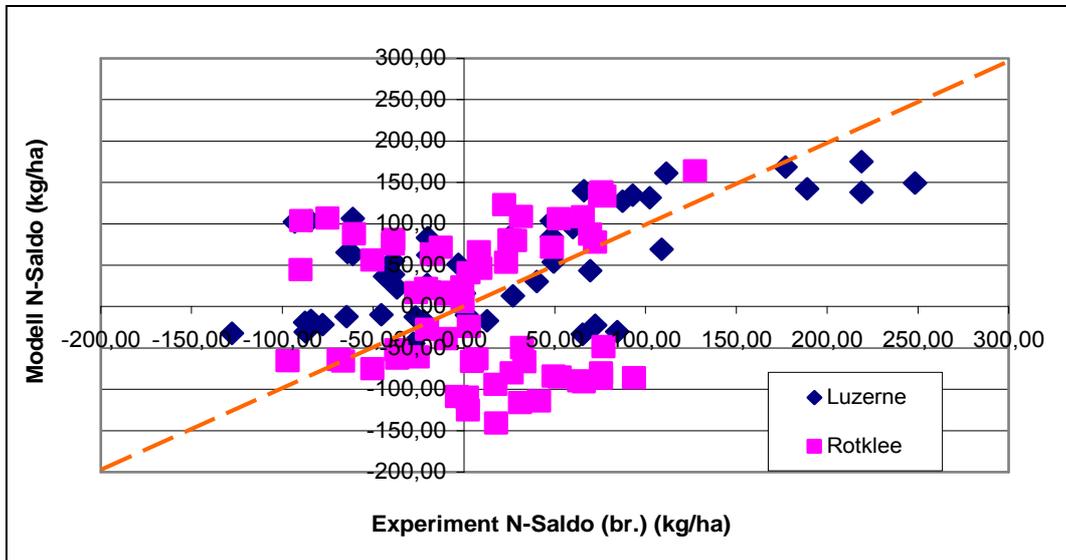


Abbildung 65: Vergleich zwischen gemessenen N-Salden im Experiment und den mit dem Verfahren nach ALBERT et al. (1997) ermittelten N-Salden bei Luzerne und Rotklee

Als weiteres Verfahren wurde der Ansatz von STEIN-BACHINGER et al. (2004) einer Prüfung zugeführt (Abb. 66). Auch nach diesem Ansatz können bei Reinkulturen von Rotklee und Luzerne anscheinend keine negativen Salden berechnet werden, daher gibt es auch bei diesem Verfahren kaum eine Übereinstimmung mit gemessenen Werten. Am besten trifft die Übereinstimmung bei Gemenge mit hohem Rotkleeanteil zu. Bei Reinsaaten wie auch bei Gemengen mit geringem Kleeanteil bestehen hohe Abweichungen von den gemessenen Werten.

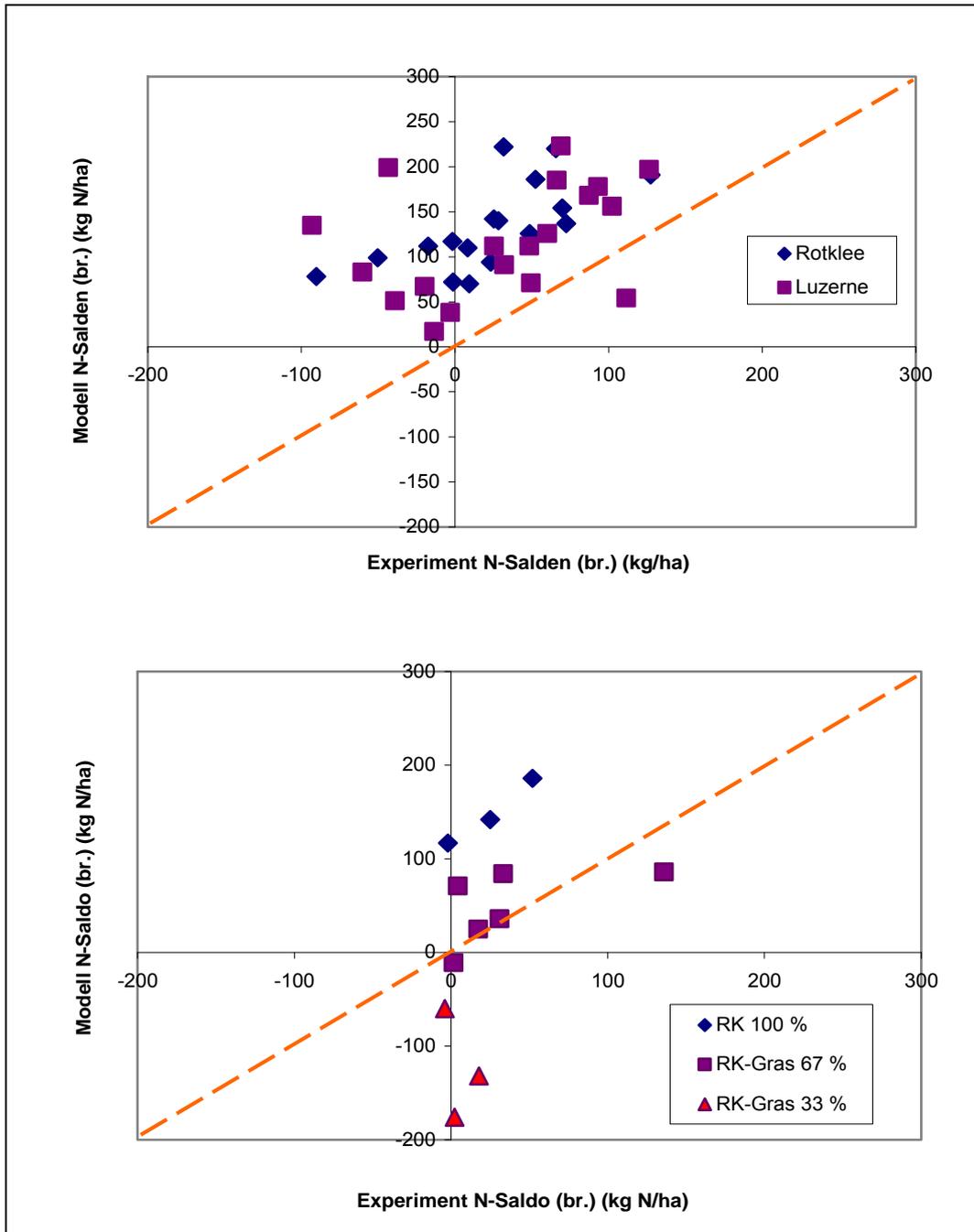


Abbildung 66: Vergleich zwischen gemessenen N-Salden im Experiment und den mit dem Verfahren nach STEIN-BACHINGER et al. (2004) ermittelten N-Salden bei Luzerne und Rotklee (RK)

Nach dem Verfahren von HOGH-JENSEN et al. (2004) können differenzierte Berechnungswege entsprechend der Bodenart ausgewiesen werden, auf denen die Leguminosenbestände herange-

wachsen sind (Abb. 67). Ohne näher auf die genaue Einteilung der Standorte einzugehen (es wurden die gemessenen Werte sowohl auf leichten als auch auf schweren Böden erhoben), ist deutlich zu sehen, dass wiederum kaum eine Übereinstimmung mit gemessenen Werten besteht. Es werden generell ähnliche Abweichungen gefunden, die auch dem Verfahren nach BIERMANN (1995) zu Grunde liegen, die aber im Detail z. T. noch deutlichere Unterschiede gegenüber den gemessenen Werten aufwiesen. Außer für Weißklee, mit rel. guter Übereinstimmung, kann abschließend angemerkt werden, dass auch bei diesem Verfahren generell kaum eine Übereinstimmung besteht.

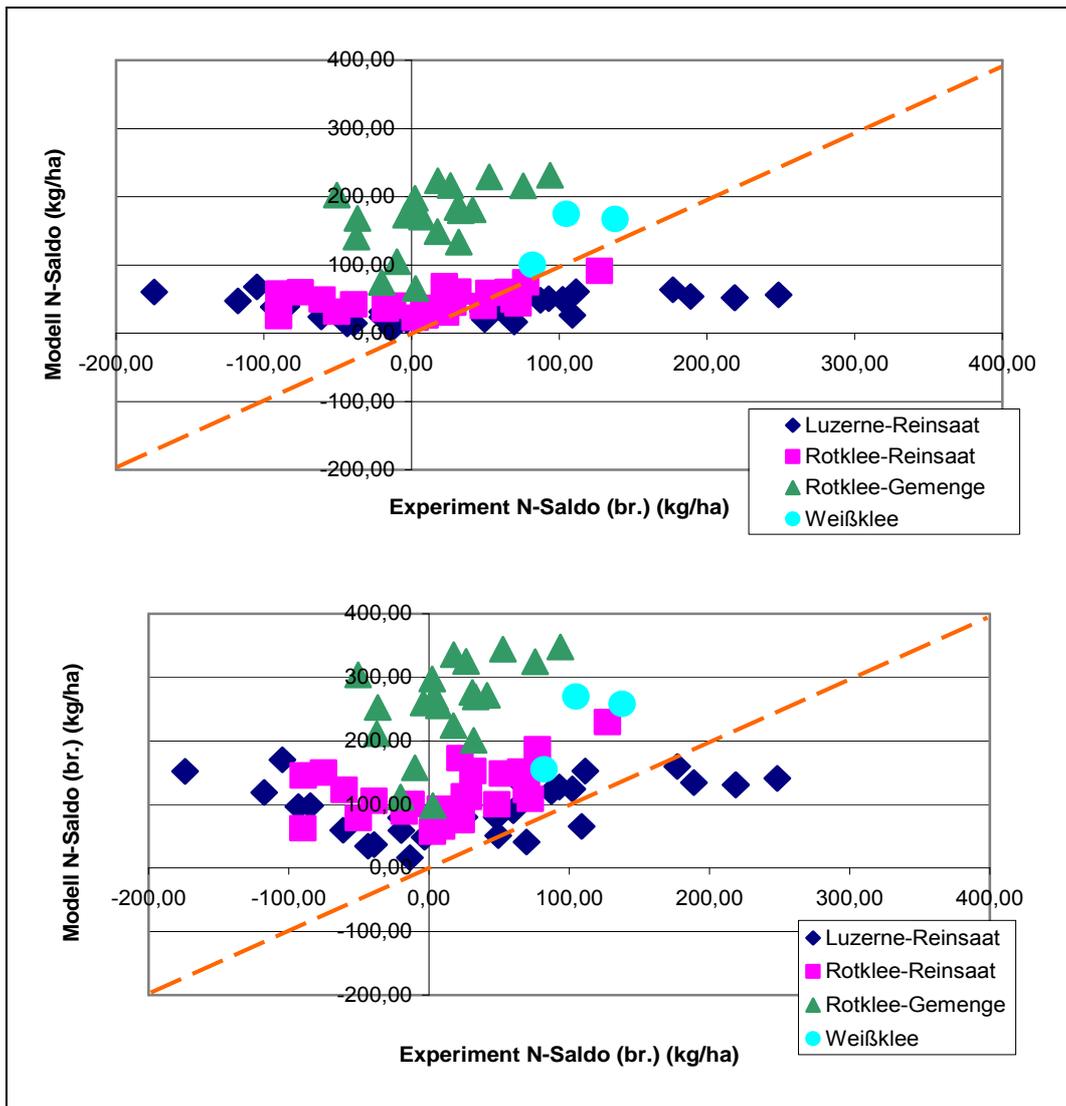


Abbildung 67: Vergleich zwischen gemessenen N-Salden im Experiment und den mit dem Verfahren nach HOGH-JENSEN et al. (2004) ermittelten N-Salden bei Luzerne und Rotklee (oben: Einstellung für leichte Böden; unten: Einstellung für schwere Böden)

Auch bei Anwendung des Verfahrens nach JUNG (2004) wurde keine gute Übereinstimmung zwischen gemessenen und tabellarisch abgelesenen N-Salden(brutto) (inkl. interpolierten Zwischenwerten) für Reinkulturen von Rotklee und Luzerne ermittelt (Abb. 68). Es können mit dem Verfahren auch negative Werte ermittelt werden. Auch die ermittelten Werte für Rotklee-Nichtleguminosengemenge stimmen nicht mit im Experiment gefundenen Werten der 1 : 1-Achse überein. Nach einer genaueren Anpassung der nach JUNG (2003) angenommenen Werte für den Bodentransfer könnte allerdings eine bessere Übereinstimmung erreicht werden.

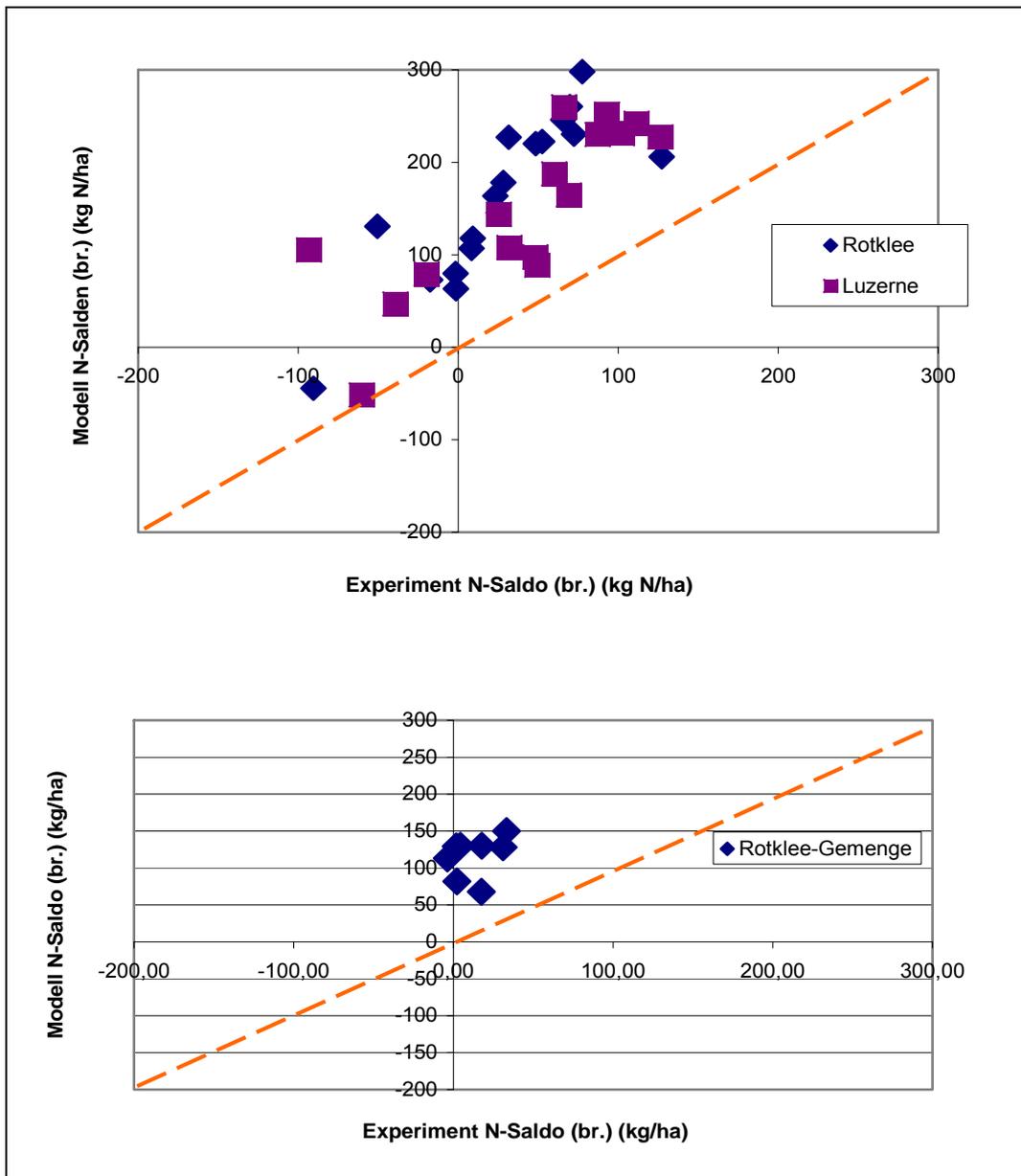


Abbildung 68: Vergleich zwischen gemessenen N-Salden im Experiment und den mit dem Verfahren nach JUNG (2004) ermittelten N-Salden bei Luzerne und Rotklee

Die Methode von JUNG (2003) wäre dann das bisher einzige in der Literatur dokumentierte Verfahren zur Berechnung der N-Bindung von Leguminosen mit einer gewissen Übereinstimmung mit gemessenen Werten. Bei der erlangten Genauigkeit muss allerdings angemerkt werden, dass es sich hierbei wiederum um die höchst mögliche Genauigkeit handelt, da die im Experiment gemessene N-Bodenaufnahme aus den vorhandenen Tabellenwerken abgelesen worden ist.

Die entsprechenden Werte für Gemenge sind hierbei sehr umständlich zu ermitteln. Es muss jeweils über die Ertragsanteile in anderen Tabellen die N-Mengen im Schnittgut von der Leguminose und von der Nichtleguminose ermittelt werden. Die Mengen sind zu addieren und erst dann kann in den Tabellen bei Angabe der N-Bodenaufnahme der N-Saldo abgelesen werden. Darüber hinaus muss ein Referenzpflanzensystem aufgebaut und mit jährlich regional ermittelten Werten unterhalten werden. Während bei den Körnerleguminosen die Methodensicherheit rel. niedrig war, ist für den Futterbau zwar potenziell eine höhere Übereinstimmung der Werte möglich. Im Futterbau liegt das Problem eher in der Auffindung geeigneter Referenzpflanzen, die eine hohe Übereinstimmung mit der Situation in den geschlossenen Futterbaubeständen haben.

Als wichtige Schlussfolgerung aus der Methodenüberprüfung gilt es daher festzuhalten, dass nicht ein einziges praxisreifes Verfahren aus der Literatur mit einer genügend hohen Sicherheit vorzufinden ist. Beim Aufbau dieser Verfahren wurde anscheinend nur auf die Theorie der Zusammenhänge der N-Bindung geachtet, so dass Verrechnungswege nur auf Grund dieser Erkenntnisse aufgebaut worden sind. Kaum ein Autor hat sich die Mühe gemacht, sein Verfahren an Werten, die aus Experimenten ermittelt wurden, zu überprüfen oder gar danach eine Eichung seines Verfahrens vorzunehmen.

Quantifizierung von Merkmalen, die die N-Fixierung bestimmen

Manche Beziehungen sind nach Tabelle 36 zwar nicht signifikant, bei näherer Betrachtung sind jedoch wichtige Zusammenhänge zu erkennen. So bestehen zwischen den N_{\min} -Werten im Frühjahr und den Werten der N-Bindung (rel.) negative Beziehungen (Abb. 69). Bei dieser Datengrundlage sind auch Werte aus anderen Versuchen mit verwendet worden. Es besteht ein Unterschied zwischen Reinkultur (meistens Rotklee, Luzerne) und Gemengeanbau mit Nichtleguminosen von ca. 15 %.

Tabelle 36: Korrelationsmatrix der Merkmale bei Futterleguminosen (n = 49; Rotklee, Luzerne)

Merkmale	N _{min}	HP-Ertrag	N-Gehalt-HP	N-Harvest-Index	N-Boden-Aufnahme	N-Bindg. (netto)	N-Aufnahme (ges.)	N-Entzug	N-Saldo (netto)
TM-Ertrag (dt/ha)	-0,263	-							
FM-Ertrag (dt/ha)	-0,263	0,995***							
N-Gehalt-HP (%)	0,520***	-0,293***	-						
N-Gehalt-EWR (%)	0,079	0,209*	0,040						
N-Harvest-Index (%)	-0,232	0,292**	-0,007	-					
N-Boden-Aufn. (kg/ha)	0,372*	0,482***	0,217*	0,153	-				
N-Bindung (netto) (kg/ha)	-0,163	0,625***	0,064	0,373***	0,313**	-			
N-Bindung (%)	-0,125	0,234**	0,176*	0,350***	-0,161	0,800***			
N-EWR (kg/ha)	0,185	0,371***	0,107	-0,324***	0,403***	0,615***			
N-Aufnahme(ges.) (kg/ha)	-0,027	0,659***	0,104	0,370***	0,581***	0,963***	-		
N-Entzug (kg/ha)	-0,110	0,703***	0,032	0,625***	0,514***	0,888***	0,916***	-	
N-Saldo(netto) (kg/ha)	-0,086	0,004	-0,023	-0,532***	0,289**	0,398***	0,276**	-0,091	-
Verh. N-Saldo/N-Entzug	-0,057	0,188*	0,184	-0,362***	-0,128	0,580***	0,464***	0,178	0,833***
N-Boden-Transfer (kg/ha)	-0,256	0,617***	0,030	0,462***	0,134	0,915***	0,854***	0,865***	0,273**
N-Saldo(brutto) (kg/ha)	-0,239	0,459***	0,017	0,158	-0,085	0,859***	0,740***	0,588***	0,714***

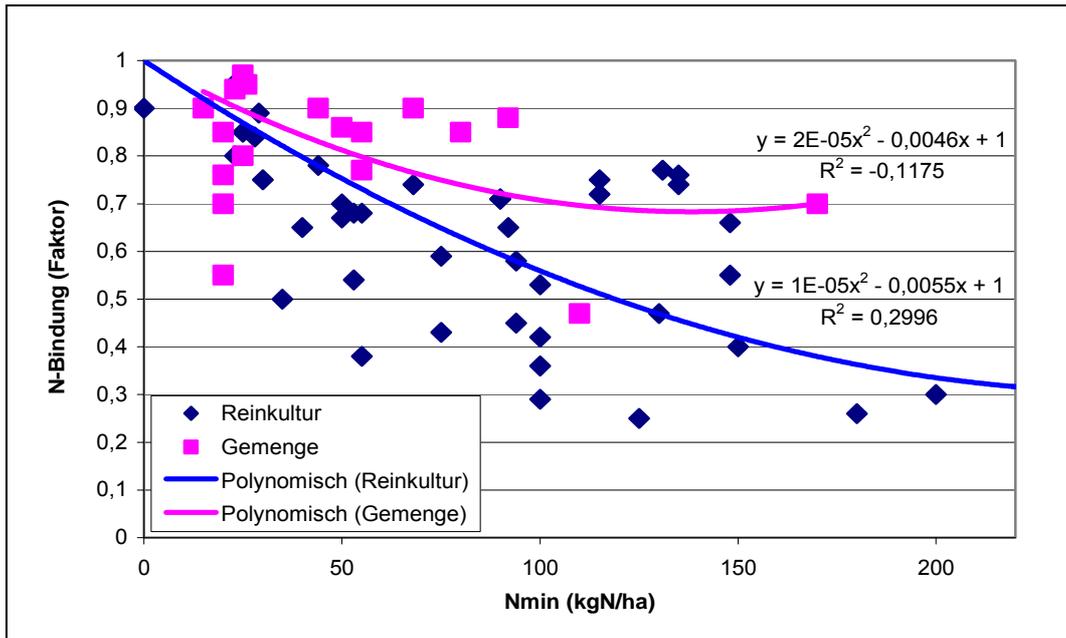


Abbildung 69: Beziehungen zwischen den N_{\min} -Werten im Frühjahr und den Werten der rel. N-Bindung (1,0 = 100 % N-Bindung) bei Leguminosen-Rein- und -Gemenge-Beständen des Futterbaus

Auch bei Futterpflanzen bestehen deutliche Beziehungen zwischen den TM-Erträgen und den N-Harvest-Indices (Abb. 70). Beim Aufbau von Modellen ist dies zu berücksichtigen, da hierdurch ein spezifischer Einfluss auf die zu ermittelnden Merkmale (N-Bindung und insbesondere dem N-Saldo) ausgeübt wird. Der Einfluss des N-Harvest-Indexes ist allerdings nicht so gravierend anzusehen wie es bei den Körnerleguminosen zu Tage getreten ist.

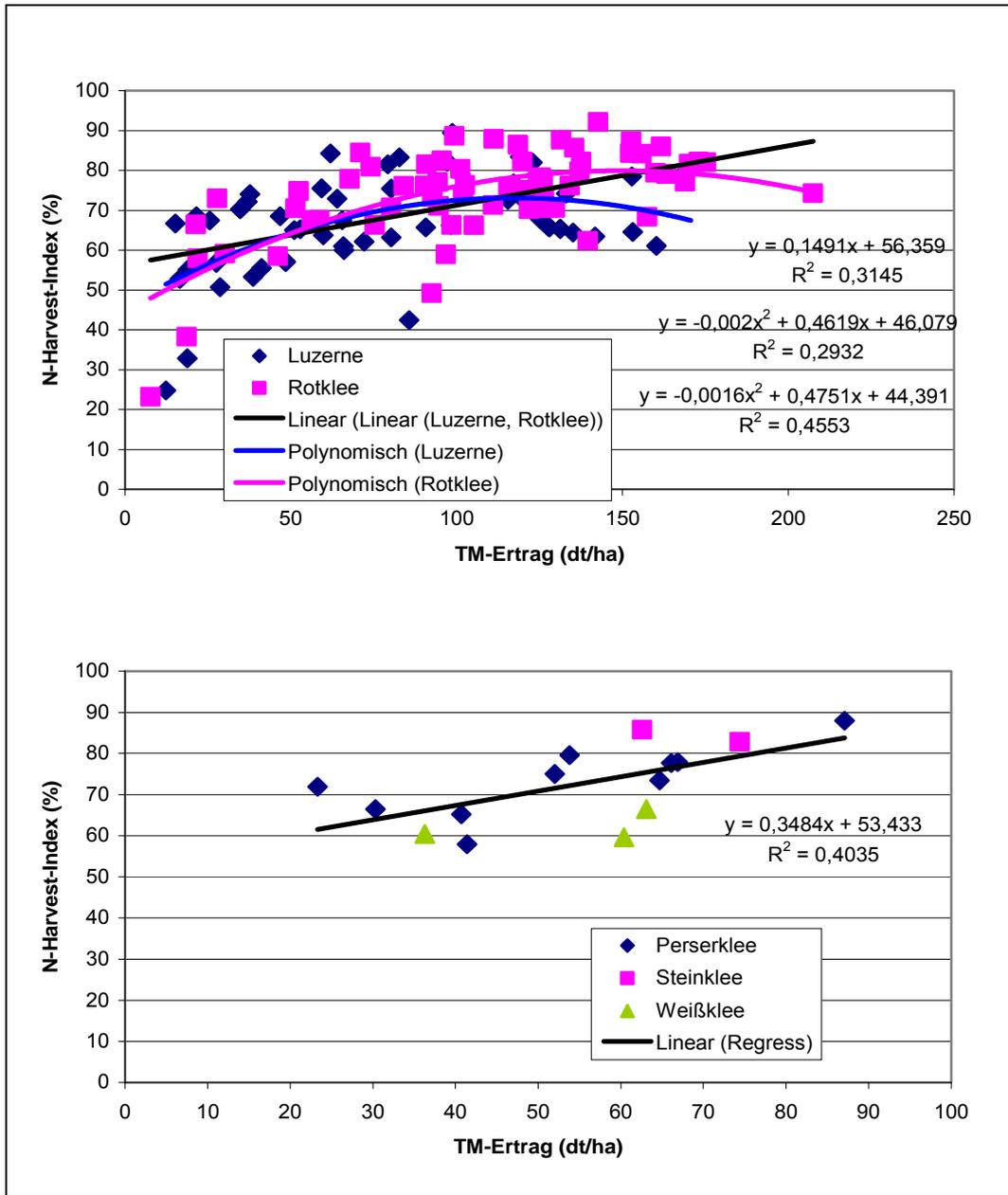


Abbildung 70: Beziehungen zwischen den TM-Erträgen und den N-Harvest-Indices bei Futterpflanzen

Für den Aufbau der Modelle wurden verschiedene Wege beschritten, die z. T. sehr hohe statistische Absicherungen brachten, die aber im 1 : 1-Achsenkreuz keine Übereinstimmung mit im Experiment erzielten N-Saldo-Werten erreichten. Warum diese Ansätze versagten, konnte nur unvollständig geklärt werden. So ist es möglich, dass es gelingen muss, die Einflüsse wichtiger (z. T. noch unbekannter) Feinregulierungsmechanismen zumindest indirekt in den Gleichungen zu erhal-

ten. Dies gelingt aber nicht immer. So wurden verschiedene Wege beschritten, über rel. hoch signifikante Beziehungen zwischen TM-Ertrag und anderen Merkmalen (siehe Tab. 36) zu einem Verfahren zu kommen. Bei Gegenüberstellung mit den experimentellen N-Saldo-Werten wurde aber keine Übereinstimmung gefunden (z. B. Abb. 71). Bei manchen Ansätzen wurden Werte gefunden, die noch dichter auf einer gedachten Perlenkette aufgereiht waren als in diesem Versuch. Dieses Phänomen trat bei fast allen Kulturarten auf und erschwerte die Auffindung besserer Verfahren erheblich.

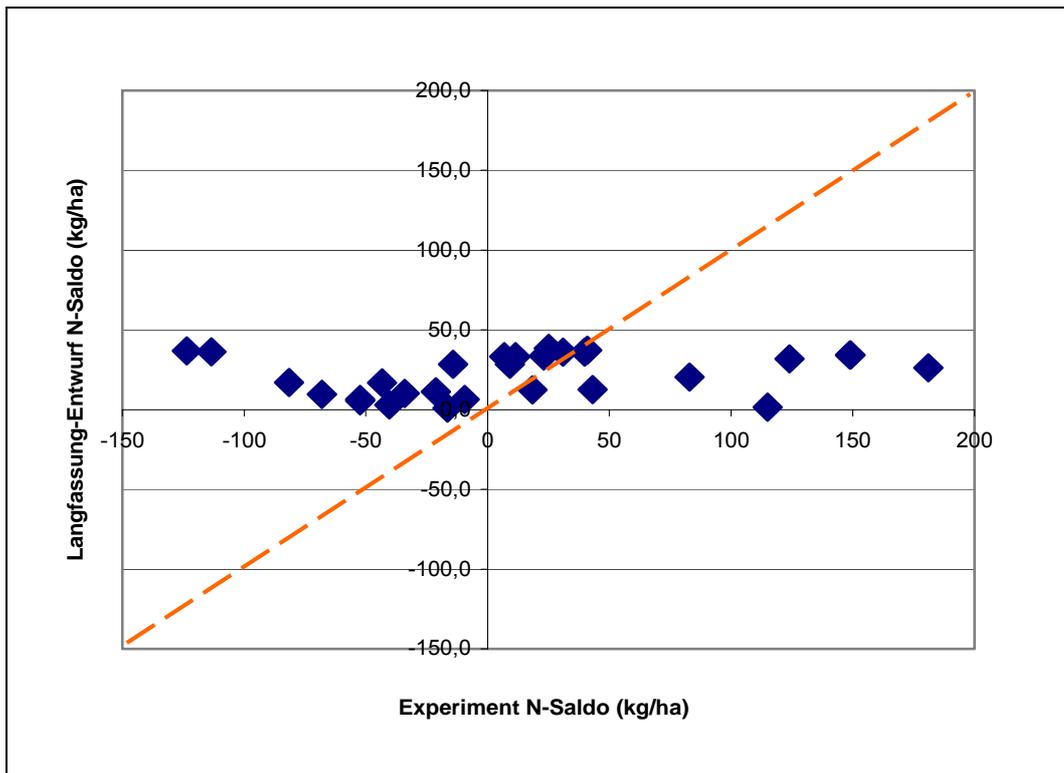


Abbildung 71: Vergleich zwischen experimentell ermittelten und mit einem Modellentwurf mit hoher statistischer Sicherheit berechneten Saldo-Werten für Luzerne

Nach wiederum vielen vergeblichen Versuchen wurde ermittelt, dass Beziehungen zwischen verschiedenen Merkmalen und den N-Salden besser zu quantifizieren waren, wenn von den berechneten Bruttowerten ausgegangen wurde. Da die Werte für den N-Bodentransfer noch nicht für jede Kultur genau feststehen (vgl. Kap. 8.1), ist es daher zukünftig erforderlich, dass bei jeder deutlichen Korrektur die statistischen Verrechnungen und die Feinadjustierungen jeweils wiederholt werden müssen. Verrechnung auf Netto-Basis hätte diesen umständlichen Prozess nicht erforderlich gemacht.

Für die Kurzformen konnten rel. gute Beziehungen zwischen den N-Entzügen und der N-Bindung(brutto) ermittelt werden (Abb. 72 - 74). Hierbei wurden die N-Entzüge jeweils bereits mit den N-Gehalten aus den Tabellenwerten berechnet, die später auch verwendet werden sollen. Dies hat den Vorteil, dass eine gewisse Streuung dadurch bereits ausgeschlossen werden kann. Dafür sollten dann die ermittelten Gleichungen im praktischen Einsatz aber am besten immer mit diesen Tabellenwerten zur Anwendung kommen. Auf diesem Wege konnte eine Gleichung ermittelt werden, die für alle Futterpflanzen angewendet werden kann, die aber nicht so eine gute Übereinstimmung mit Experiment-Werten erzielt hat:

- Rotklee N-Bindung(br.) = $-100 + 1,35 \times \text{N-Entzug}$
- Luzerne N-Bindung(br.) = $-150 + 1,65 \times \text{N-Entzug}$.

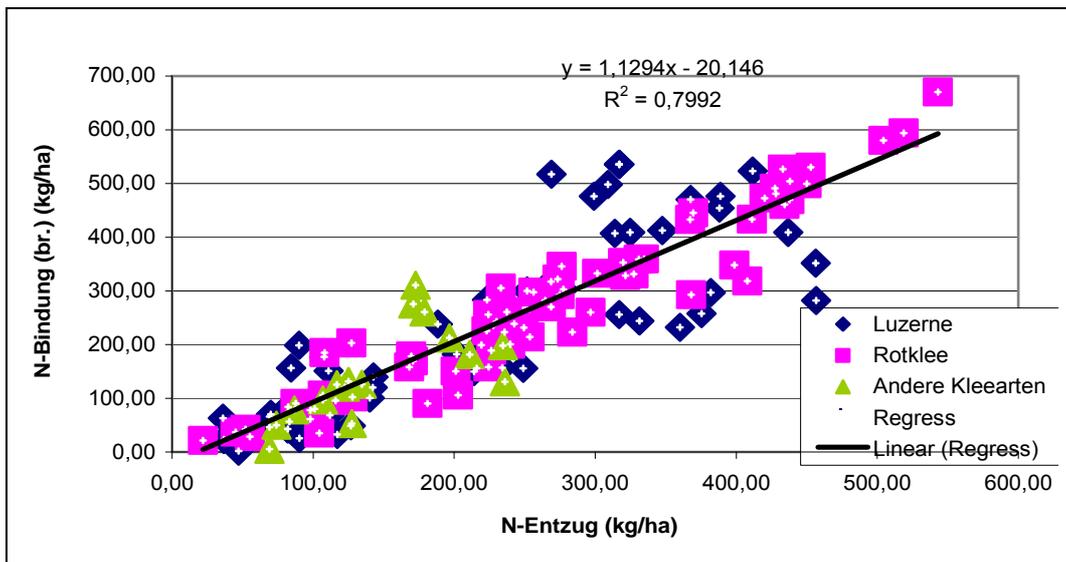


Abbildung 72: Beziehungen zwischen den N-Entzügen (N-Gehalt aus Tabellen) und den experimentell ermittelten Werten der N-Bindung (br.) im Futterbau

Weitere detaillierte Auswertungen der einzelnen Komponenten führten dann zu noch besser angepassten Gleichungen (Abb. 73 u. 74). Die Genauigkeit konnte erhöht werden, wenn für die Reinkultur-, Gemenge- und Mulch-Varianten separate Gleichungen etabliert wurden (Abb. 73).

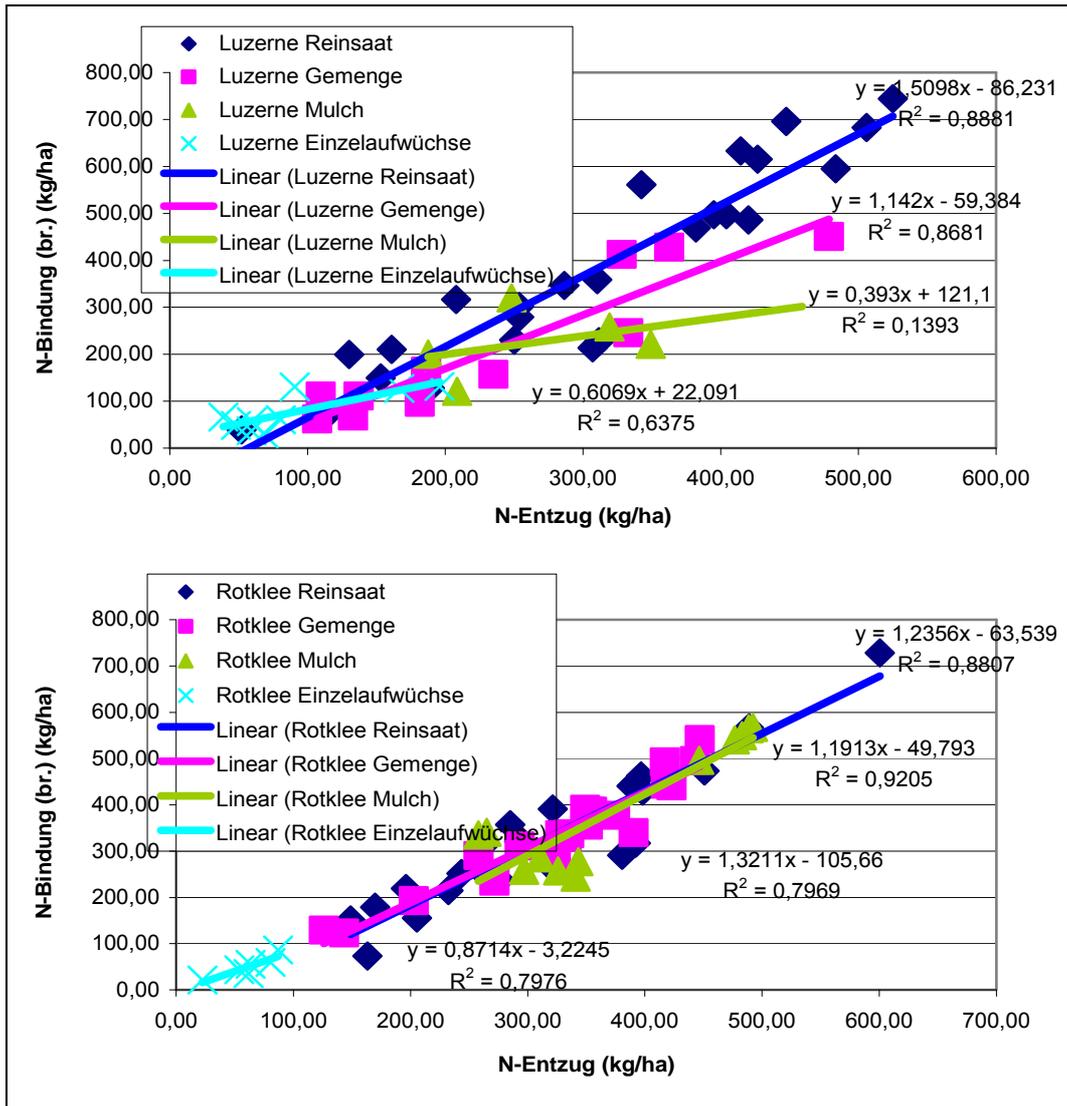


Abbildung 73: Beziehungen zwischen den N-Entzügen (N-Gehalte aus Tabellen) und den experimentell ermittelten Werten der N-Bindung bei Luzerne (oben) und Rotklee (unten)

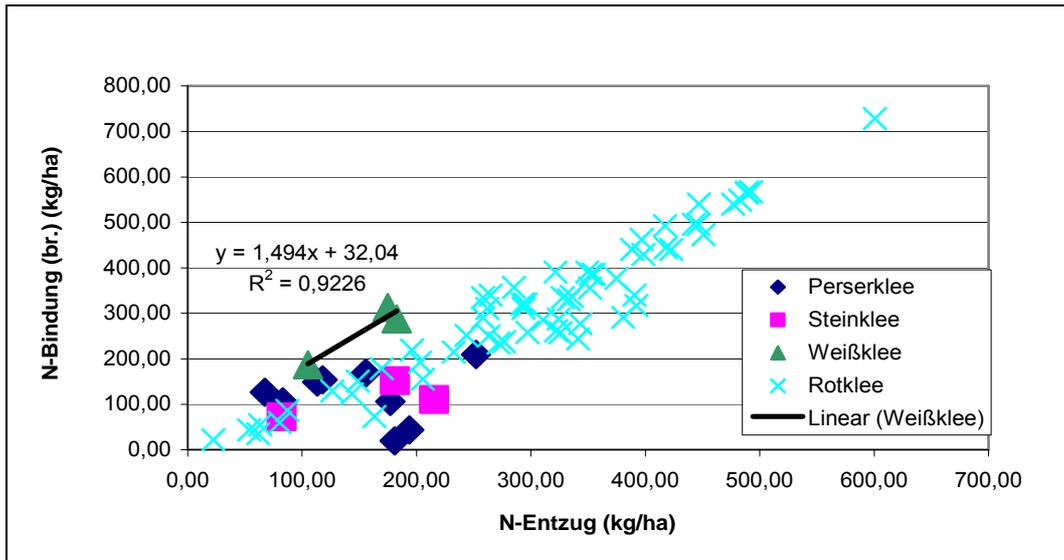


Abbildung 74: Beziehungen zwischen den N-Entzügen (N-Gehalte aus Tabellen) und den experimentell ermittelten Werten der N-Bindung bei Perserklee, Steinklee und Weißklee im Vergleich zu Rotklee

Durch diesen Modellansatz gelang aber keine gute Abbildung der N-Salden, wenn von den berechneten Werten der N-Bindung die berechneten N-Entzüge abgezogen werden. Wiederum zeigte es sich, dass weitere Einflussgrößen bei der Ermittlung der N-Salden zu berücksichtigen sind. Da die Werte für die N-Bindung und die N-Entzüge stark differieren und z. T. hohe Beträge annehmen können, genügen kleine Änderungen der rel. N-Bindung oder im Harvest-Index, um große Auswirkungen in den resultierenden N-Salden hervorzurufen. Die N-Salden schwanken zudem in nur geringem Umfang und nehmen nur rel. kleine Werte an im Vergleich zur N-Bindung und den N-Entzügen. Aus diesen Gründen ist es äußerst schwierig, diese sensibel reagierenden N-Salden möglichst realistisch abzubilden. Unter Einbeziehung der berechneten Werte der N-Bindung (bzw. deren Gleichungen) müssten daher weitere Gleichungen aufgestellt werden, um die N-Salden bei den kleinkörnigen Leguminosen auf direktem Wege zu ermitteln. In diesen Gleichungen sind Informationen des Harvest-Index und wahrscheinlich auch Variationen der rel. N-Bindung zu berücksichtigen. Daher bestehen für die Kurzfassungen separate Gleichungen für die N-Bindung und für die N-Salden.

Für die Langfassungen wurden daraufhin ebenfalls separate Beziehungen zwischen N-Entzug und N-Saldo und der Beziehung zwischen N-Entzug und N-Bindung unternommen. Die Einfachbeziehungen zwischen N-Entzug und N-Salden(brutto) weisen allerdings eine erhebliche Streuung auf (Abb. 75). Nach Verwendung der multiplen Regressionsanalyse mit folgenden Ansätzen wurden die Ergebnisse nicht deutlich besser:

- Zielvariable = N-Saldo(brutto)

- Unabhängige Merkmale: - N-Entzug, $N\text{-Entzug}^2$
- N_{\min} , N_{\min}^2
- Leguminosen-Anteil, $\text{Leguminosen-Anteil}^2$
- Wechselwirkung N-Entzug x Leguminosenanteil.

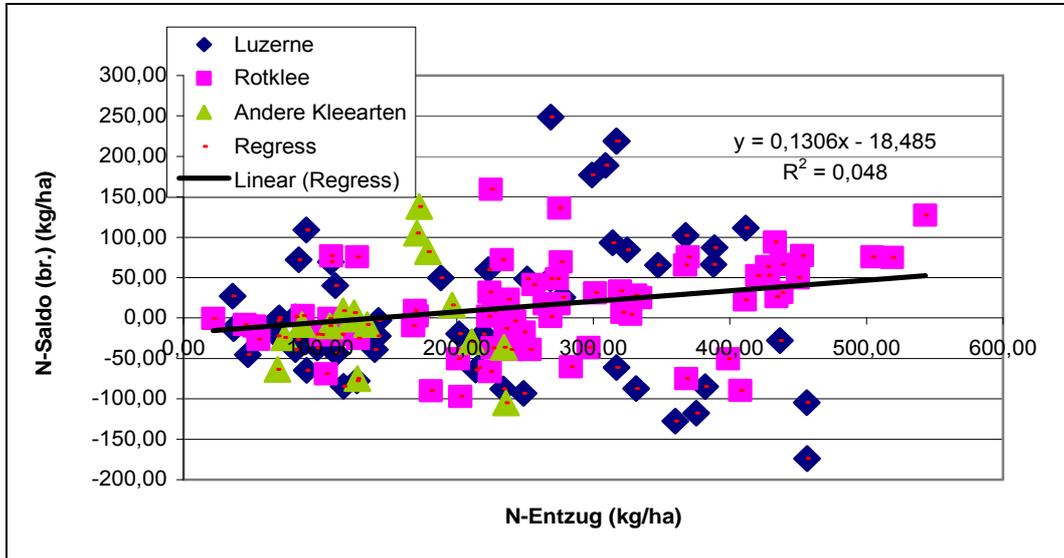


Abbildung 75: Einfluss des N-Entzuges auf die N-Salden(brutto) bei Futterleguminosen

Die N_{\min} -Gehalte sowie andere Gleichungsglieder hatten keinen signifikanten Einfluss. Somit konnten zwischen Luzerne und Rotklee jeweils ähnliche Gleichungen unter Verwendung von N-Entzug und Leguminosenanteil ermittelt werden. Da die statistische Sicherheit dieser Gleichungen sehr gering war (r^2 zwischen 0,2 – 0,3***), wurde versucht, diese Gleichungen durch Einbeziehung von Einflüssen des N-Harvest-Indexes und der rel. N-Bindung über indirekte Beziehungen zu verbessern. Diese Ansätze waren aber nicht erfolgreich, da es nicht möglich war, diese Merkmale über die in der Praxis bekannten Faktoren (Ertrag, N_{\min} , N-Ertrag, Leguminosenanteil u.a.) zu quantifizieren. Daher mussten die gefundenen Gleichungen in einem ausführlichen Validierungsprozess noch angepasst werden und sind daher lediglich als Näherungsgleichungen anzusehen. Weiterhin ist zu bedenken, dass auf Grund dieser gewählten Vorgehensweise möglichst genaue statistisch ermittelte Werte für die Merkmale N-Bindung und N-Saldo berechnet werden können. Das hat aber zur Folge, dass die daraus dann ableitbaren N-Entzüge nicht mehr genau den aus Ertrag und N-Gehalt (Tabellenwerte) ermittelten Werten entsprechen. Die N-Entzüge können zwar mathematisch genau berechnet werden, sie stellen aber letztlich auch eine statistische Größe dar, die in gewissen Grenzen schwanken kann.

Ein weiteres Problem ist die Wiedergabe von Mulch-Varianten z.B. im Rahmen der Flächenstilllegung. Hierbei wurde mit den erhaltenen Gleichungen versucht, über eine Verringerung des Legu-

minososenanteils eine verbesserte 1 : 1-Abbildung zu erhalten. Es konnte aufgezeigt werden, dass bei beiden Arten ca. 40 – 50 % von den aktuell ermittelten Leguminosenanteilen abzuziehen sind, um gute Übereinstimmungen zu erreichen. Da diese Art der Darstellung des Mulchens mathematisch nicht gut gelang, wurde ein anderer Weg beschritten, um diese Art der Bewirtschaftung quantitativ darzustellen. Es konnte aufgezeigt werden, dass ein Abzug von Relativbeträgen in Beziehung zur N-Bindungsmenge ebenfalls zum Ziel führte. Die Mengen der N-Bindung (brutto) wurden daher bei den Kurzfassungen um 5 % und bei den Langfassungen um 7 % reduziert.

Somit können erstmals auch diese Bewirtschaftungsformen dargestellt werden. Nach Angaben von HEUWINKEL (persönl. Mittlg.) hat das Mulchen in etwa folgende Wirkung:

- 15 – 20 % Verringerung der Leguminosenanteile im Gemenge
- ca. 10 % verringerte N-Bindungsleistung
- geringe Abnahme der TM-Erträge
- ca. 10 % NH₃-N-Verluste durch Ausgasung
- etwas erhöhte Auswaschung auf leichten Böden.

Die Veränderung des Leguminosenanteils sowie die TM-Erträge werden in den Langfassungen berücksichtigt, da diese Werte direkt zur Berechnung erforderlich sind. Eine Verringerung von 10 % in der N-Bindung (netto) entspricht in etwa den Beträgen, die jetzt als Abzüge von den N-Salden vorgeschlagen werden. Die Ammoniak-Verluste durch das sich abbauende Mulchmaterial kann aus Abbildung 76 abgelesen werden. Die Verluste sind stark von dem N-Gehalt des Mulchmaterials sowie von den klimatischen Einflüssen zur Zeit des Abbaus (bis ca. 40 Tage nach dem Mulchen) abhängig. Bei feucht-warmer Witterung werden Werte oberhalb der Gleichungsgeraden und bei trocken-kühler Witterung unterhalb der Geraden vorgefunden.

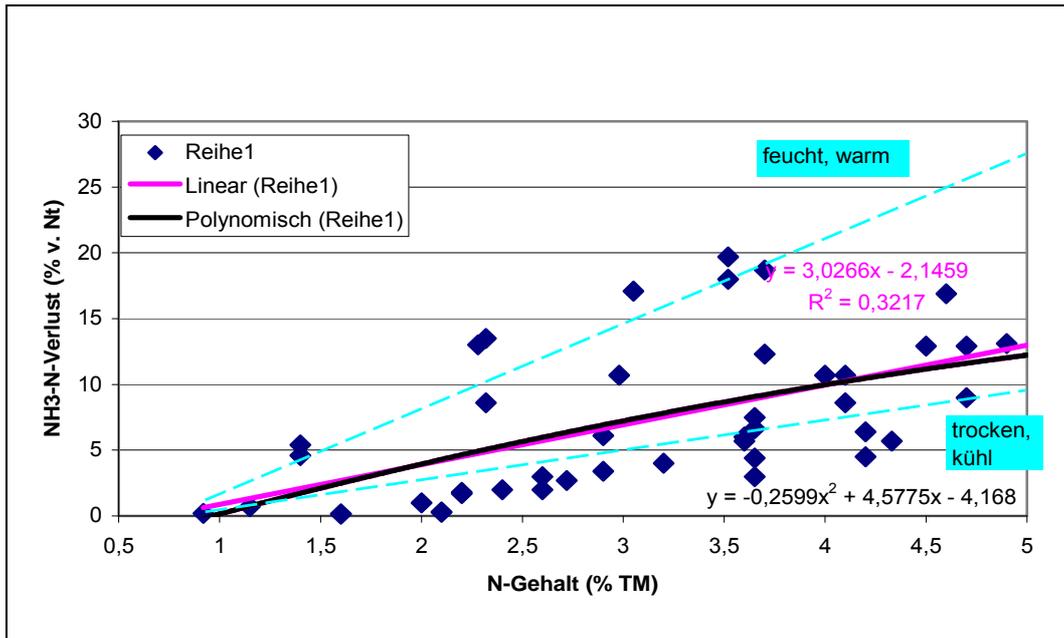


Abbildung 76: Einfluss steigender N-Gehalte auf die NH₃-Verluste aus dem Pflanzenmaterial innerhalb von 30 Tagen nach Mulchung

Methodengenauigkeit verbesserter Verfahren zur Berechnung der N-Fixierung

Nach anschließenden Feinabstimmungen wurden für den Futterbau die in Tabelle 16 wiedergegeben Gleichungen für die Kurzfassungen etabliert. Bereits die Methodenübereinstimmung unter Verwendung der Gemeinschaftsgleichungen lässt eine Verbesserung der 1 : 1-Übereinstimmung mit Experimentwerten der N-Salden und der N-Bindung erkennen (Abb. 77 u. 78). Bei Verwendung der Einzelgleichungen ist nochmals eine Verbesserung bei beiden Leguminosenarten und weiteren Kleearten erreicht worden (Abb. 79 u. 80).

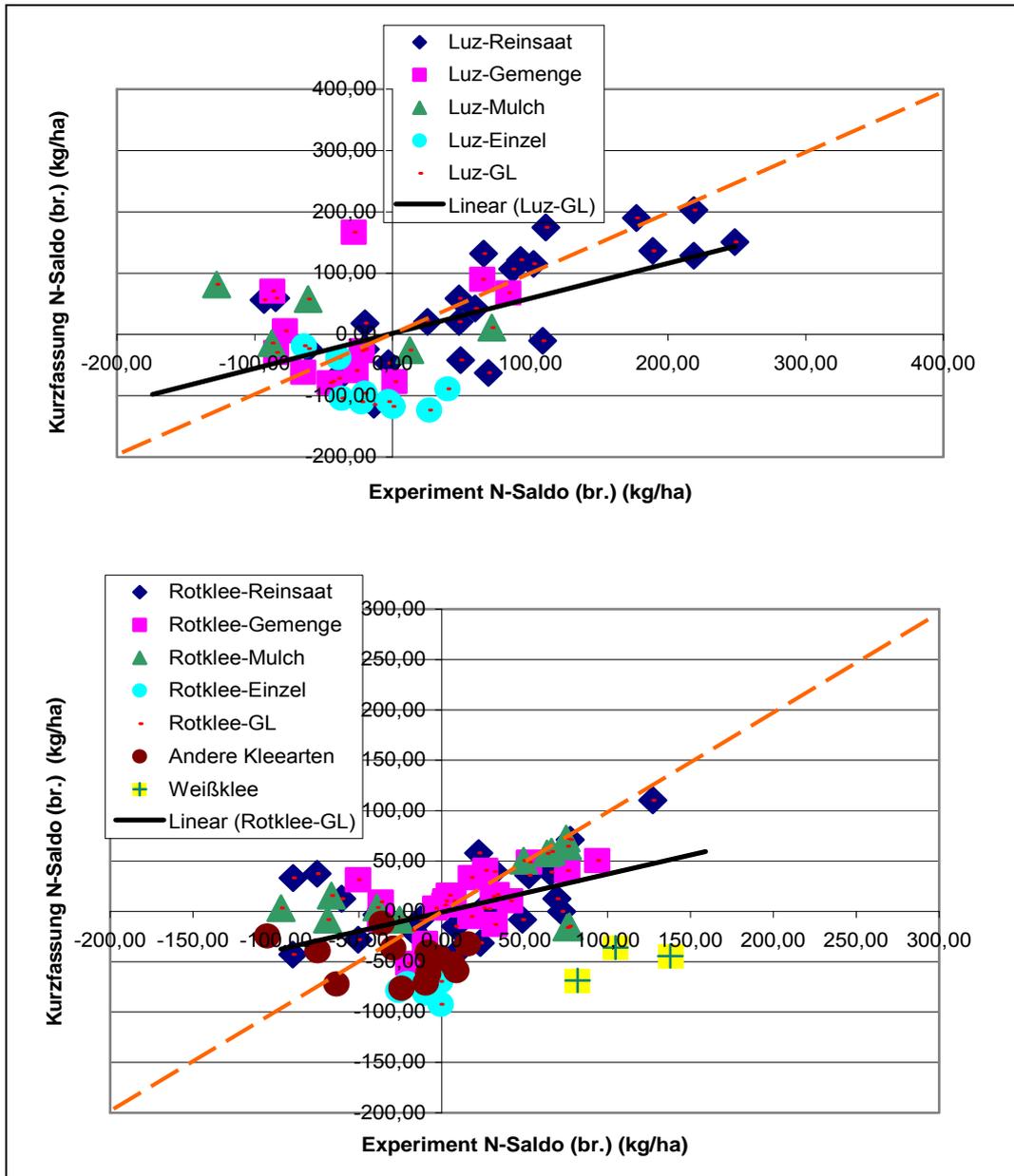


Abbildung 77: Vergleich zwischen experimentell und mit Hilfe von „Gemeinschaftsgleichungen“ ermittelten N-Salden bei Luzerne (oben) und Rotklee (unten)

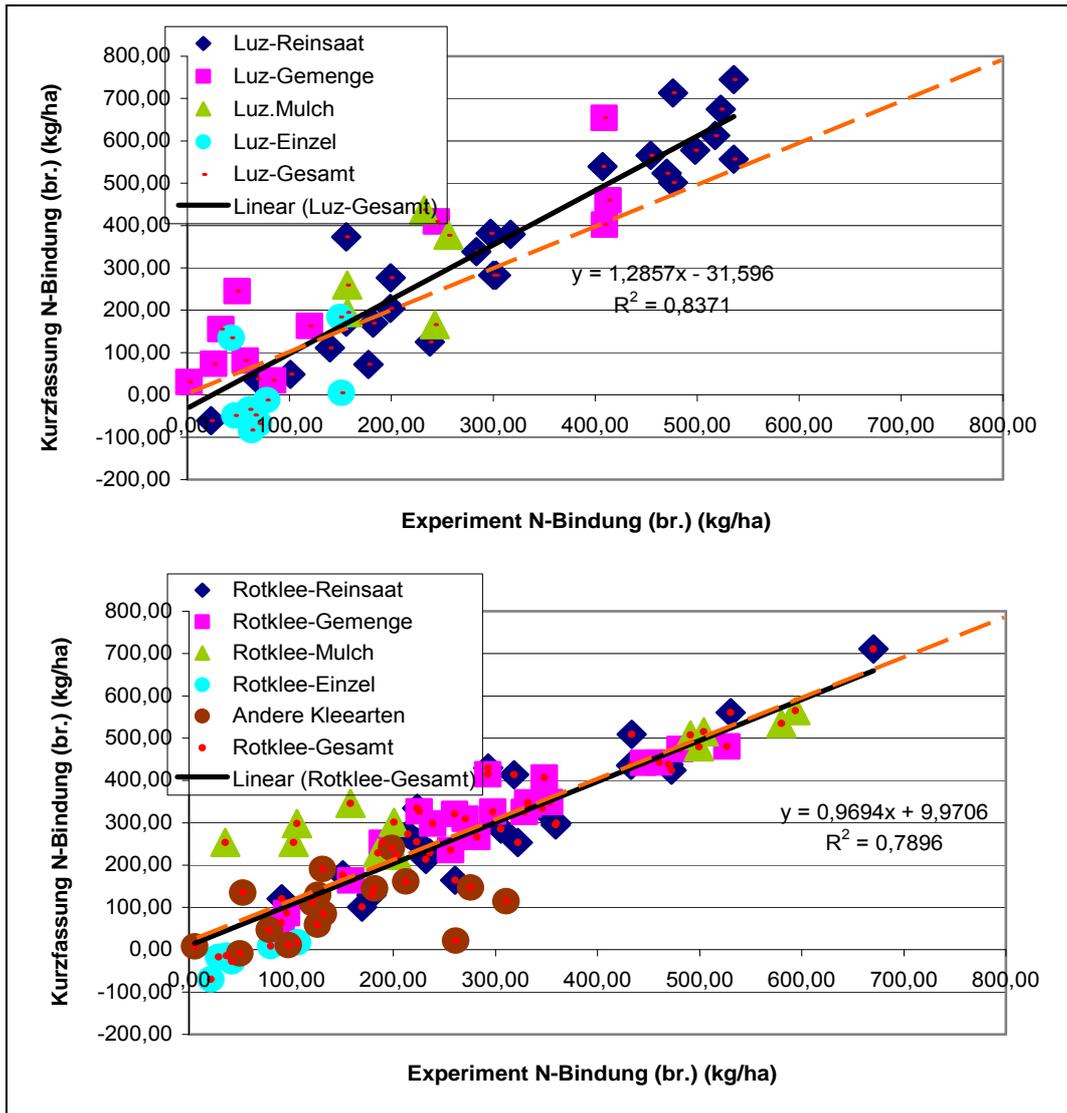


Abbildung 78: Vergleich zwischen experimentell und mit Hilfe von „Gemeinschaftsgleichungen“ ermittelten Werten der N-Bindung bei Luzerne (oben) und Rotklee (unten)

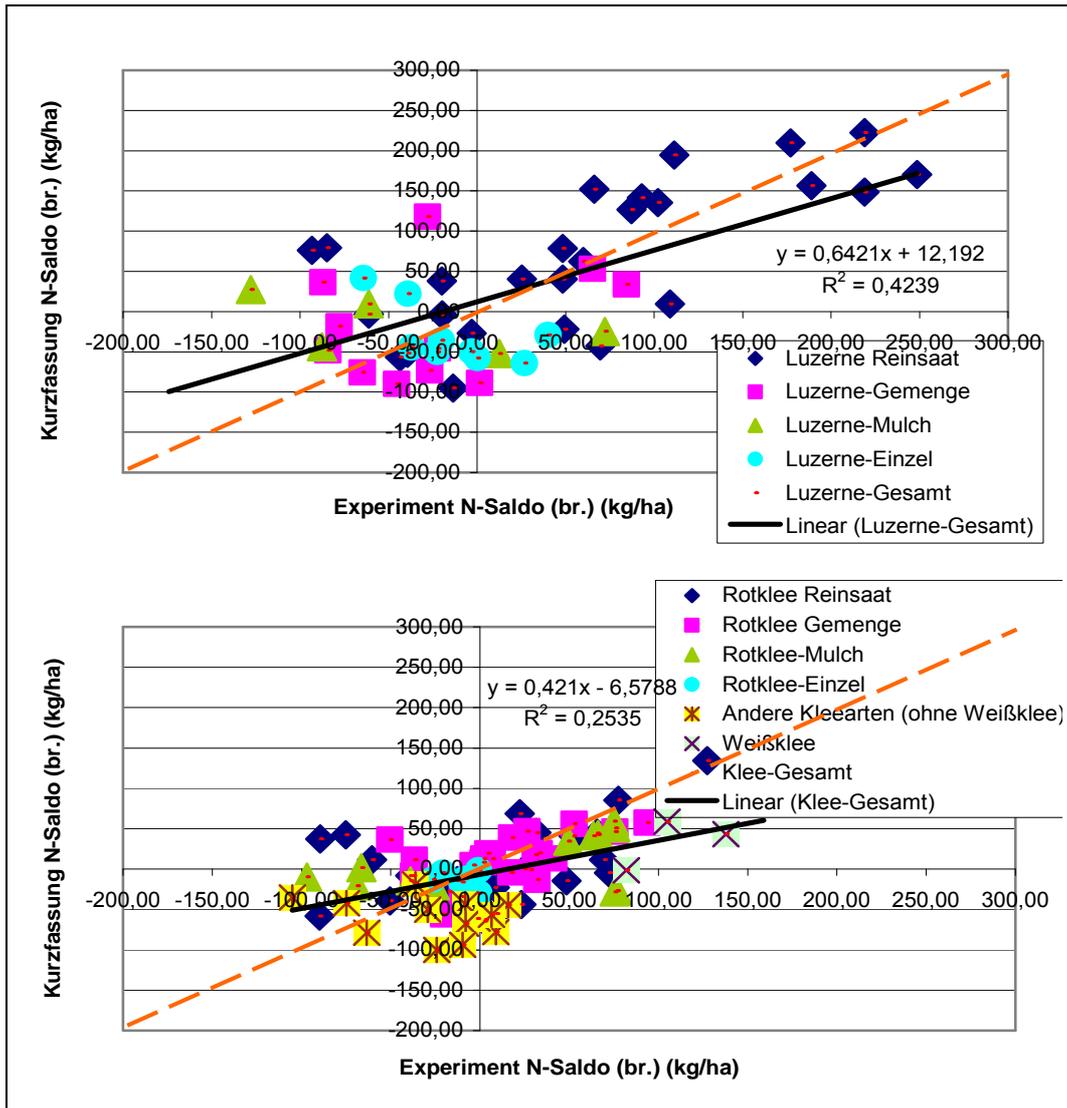


Abbildung 79: Vergleich zwischen experimentell und mit Hilfe von „Einzelgleichungen“ ermittelten Werten der N-Salden bei Luzerne (oben) und Rotklee (unten)

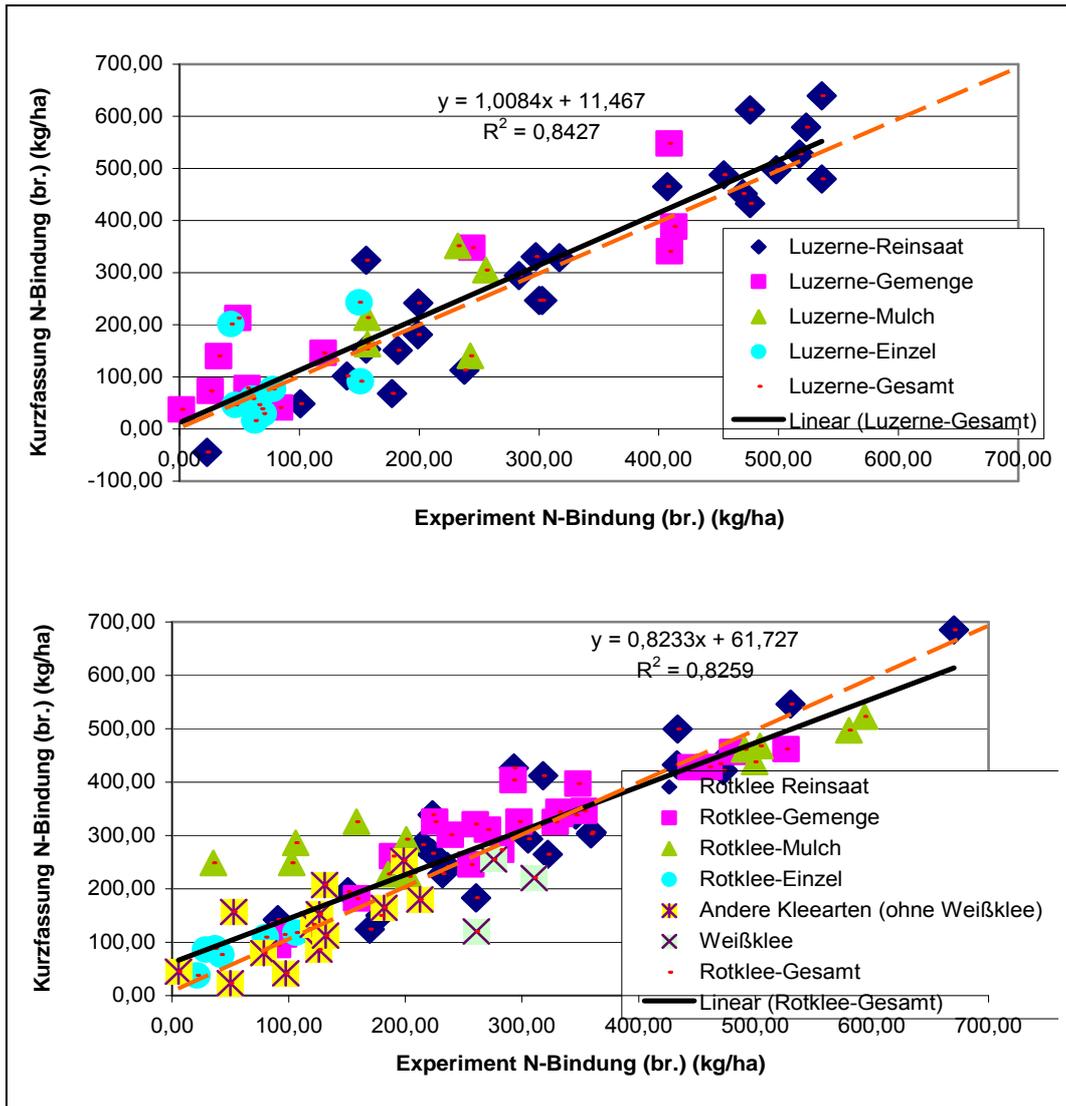


Abbildung 80: Vergleich zwischen experimentell und mit Hilfe von „Einzelgleichungen“ ermittelten Werten der N-Bindung bei Luzerne (oben) und Rotklee (unten)

Auch bei den Langfassungen mussten die statistisch ermittelten Gleichungssysteme noch einer Feinjustierung und Kalibrierung unterzogen werden. Nach vielen Anpassungsarbeiten wurden die in Tabelle A7 im Anhang aufgeführten Gleichungen für die Langfassungen festgeschrieben.

Die Vergleichsarbeiten umfassten auch alternative Gleichungssysteme. So wurde festgestellt, dass die Gleichungen für die Langfassungen für Luzerne und Rotklee besser die jeweiligen quadratischen Glieder der N-Entzüge enthalten, da deren Übereinstimmung mit den im Experiment ermittelten Werten noch etwas höher war. Somit können nun Verfahren zur Berechnung der legumen N-Bindung und der N-Salden vorgestellt werden, die einer genauen Prüfung und Anpassung von im

Feld gemessenen Werten „durchgemacht“ haben. Hierdurch ist bei den Langfassungen nochmals die Methodengenauigkeit etwas angestiegen im Vergleich zu den bisher besten Formen der Kurzfassungen (siehe Abb. 81 im Vergleich zu Abb. 79). Insgesamt ist eine befriedigende Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten Werten bei den N-Salden und eine gute Übereinstimmung bei den Werten der N-Bindung festzustellen (Abb. 82).

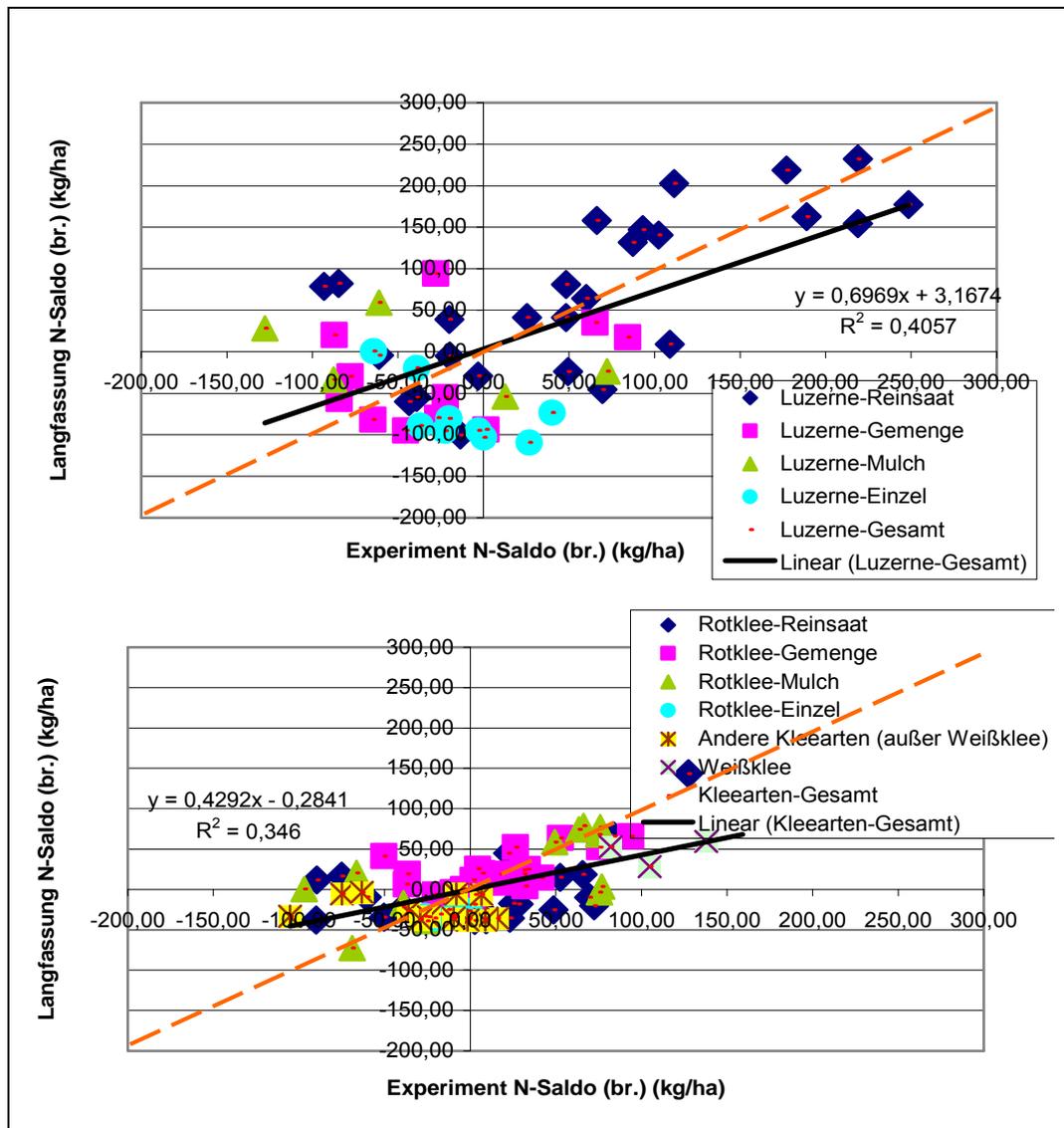


Abbildung 81: Vergleich zwischen experimentell und mit Hilfe der Langfassungen ermittelten N-Salden bei Luzerne (oben) und Rotklee (unten)

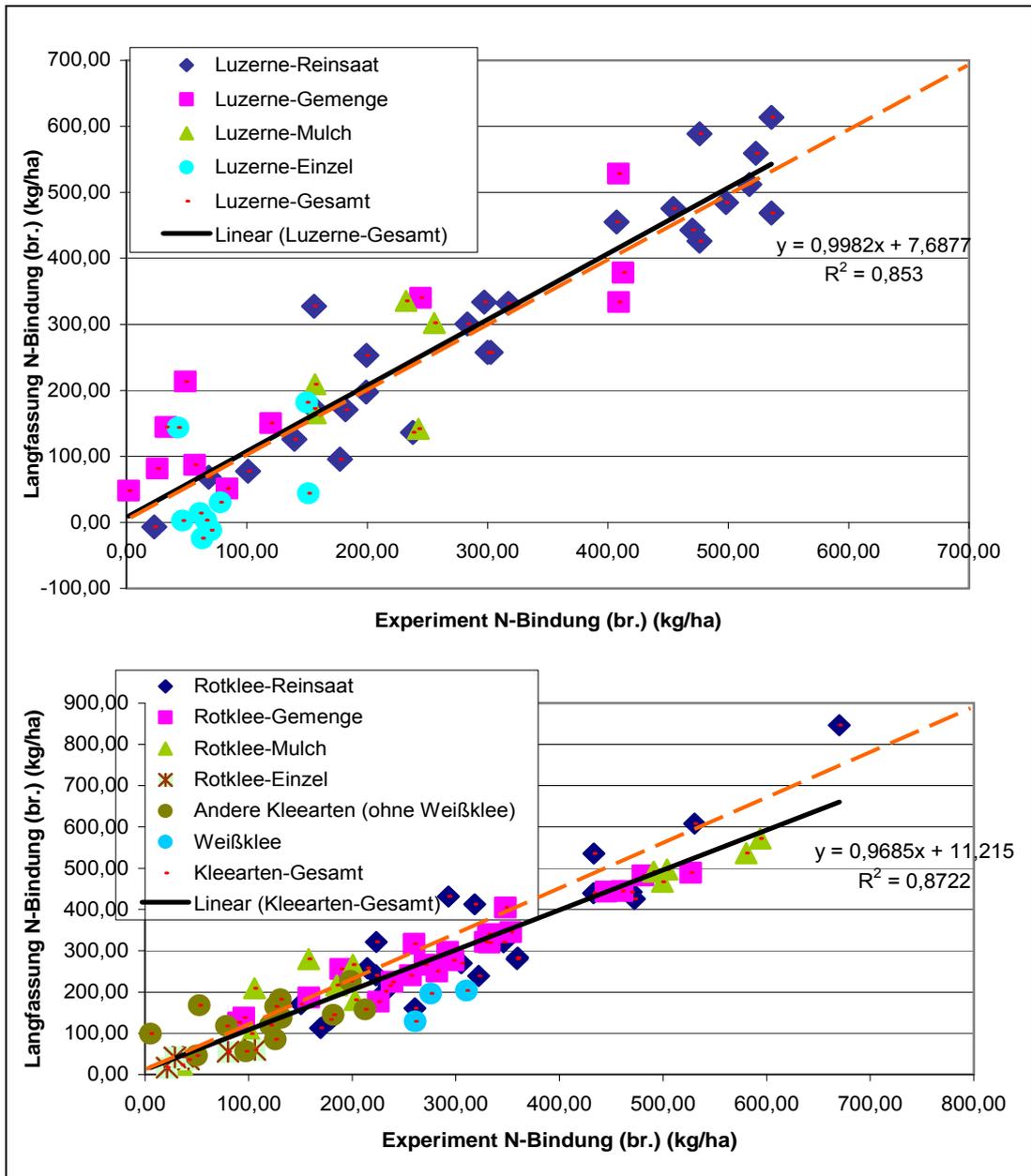


Abbildung 82: Vergleich zwischen experimentell und mit Hilfe der Langfassungen ermittelten Werten der N-Bindung bei Luzerne (oben) und Rotklee (unten)

8.3 Schlussfolgerung

Die Berücksichtigung der legumenen N-Bindung hat besonders im Ökologischen Landbau eine höhere Bedeutung, da auf diesem Weg eine Zuführung in den Betrieb sowie eine Anreicherung des Bodens mit Stickstoff erfolgen kann. Daher ist eine möglichst quantitative Berücksichtigung erforderlich, um Nährstoffsalden besser beurteilen zu können. Aus diesem Grund wurden insbesondere

aus der Grundlagenforschung (Universitäten u. a. vergleichbare Einrichtungen) stammende Verfahren der N-Fixierung verschiedener Leguminosen einer genauen Prüfung unterzogen. Es bestand die Absicht, lediglich nach bestimmten geringen Korrekturen diese Verfahren für den Einsatz in der landwirtschaftlichen Praxis vorzusehen. Diese Überprüfung führte allerdings zu sehr negativen Ergebnissen in der Form, dass kaum ein Verfahren geeignet war, ohne große Veränderungen übernommen werden zu können.

Es stellte sich heraus, dass die Materie zwar auf hohem theoretischem Niveau abgehandelt wurde. Dagegen sah man allerdings von einer Überprüfung und Validierung der Verfahren möglichst an unabhängigen Daten ab. Da z. T. gravierend ungenaue Ergebnisse mit diesen Verfahren erzielt wurden, muss eindringlich darauf hingewiesen werden, dass in Zukunft möglichst Verfahren verwendet werden, bei denen eine Methodenüberprüfung auf Genauigkeit vorgenommen worden ist.

Da aus dem letzten Jahrzehnt mehrere große Arbeiten zur Ermittlung der symbiotischen N-Bindung von einer Vielzahl von Leguminosenarten vorliegen, konnten eigene Versuche für eine Quantifizierung unternommen werden. Zunächst wurde versucht, die Verfahren entsprechend ihren theoretischen Grundlagen und daraus abgeleiteten mathematischen Wegen weiter zu entwickeln. Dies führte zu keinen deutlichen Verbesserungen, weil sich herausstellte, dass scheinbar unbedeutende Merkmale oder sogar noch unbekannte Einflussgrößen die Ergebnisse so stark beeinflussten, dass keine universell einsetzbaren Gleichungen abgebildet werden konnten.

Aus diesem Grund musste von den erklärenden mathematischen Ansätzen wieder auf die statistischen Modellansätze zurückgegriffen werden. Mit Hilfe dieser Methoden ist es nach vielen auch vergeblichen Versuchen schließlich gelungen, für jede bedeutende Körnerleguminose und Futterleguminose Verfahren zu erstellen, die eine genügend hohe Genauigkeit auch im Vergleich zu den bisher üblichen Verfahren gewährleisten. Es wurde allerdings auch festgestellt, dass eine sehr hohe Methodenstreuung vorhanden ist, sowohl auf der Seite der erstellten Verfahren als auch auf der Seite des Experiments.

Somit ist die Ermittlung der symbiotischen N-Bindung (bisher) auch mit den hier vorgestellten neuen Verfahren immer mit einer hohen Streuung verbunden. Diese Unsicherheit ist sicherlich bei den Körnerleguminosen Erbse und Ackerbohne, vielleicht noch bei Lupine sowie bei den Futterleguminosen Luzerne und Rotklee mit geringerer Streuung verbunden. Bei den anderen Arten jedoch ist zu befürchten, dass diese Verfahren noch eine erhebliche Ungenauigkeit beinhalten, weil deren Datenbasis auch im Hinblick auf Standorteinflüsse zu gering war. Somit ist für die Zukunft noch ein erhebliches Potenzial an Entwicklungsarbeit zu investieren und es sollte erhofft werden, dass hierbei eine bessere Abstimmung und Zusammenarbeit zwischen Grundlagen- und Anwendungsfor-schung gelingt, um die bisher festzustellenden hohen Reibungsverluste und Dopplungsarbeiten zu verhindern.

9 Methoden der Humusbilanzierung

Entsprechend der Projektplanung war es vorgesehen, bestehende Methoden zur Humusbilanzierung zu sichten, potenziell geeignete Verfahren auszuwählen und diese zunächst einer genauen Prüfung zu unterziehen. Nach der Durchführung leichterer Korrekturen und Validierungsarbeiten sollten dann geeignete Verfahren für das Programm BEFU übernommen werden. In der Überprüfungsphase stellten sich aber erhebliche Mängel heraus, so dass, ohne größere Veränderungen vorzunehmen, keines der Verfahren für eine Anwendung zumindest in der vertieften Betriebsberatung empfohlen werden konnte.

Anders als bei den Methoden zur Berechnung der legumen N-Bindung (bei denen neue Ansätze verfolgt werden mussten, siehe Kap. 8), waren zur Humusbilanzierung aber potenziell geeignete methodische Ansätze vorhanden, die zu verbesserten Verfahren weiter entwickelt und vervollständigt werden konnten.

9.1 Zusammenfassende Darstellung von Ergebnissen zur Überprüfung von Methoden zur Humusbilanzierung

Für die Arbeiten standen Ergebnisse aus insgesamt ca. 240 Dauerfeldversuchen aus Deutschland und angrenzenden Ländern (Mitteleuropa) mit 2 800 Varianten zur Verfügung. Zunächst wurden die Einflüsse der Faktoren Klima, Boden und Bewirtschaftung auf die Merkmale C_{org} und N_t des Bodens mit Hilfe der multiplen Regressionsanalyse untersucht (Tab. 37 u. 38).

Tabelle 37: Multiple Regressionsanalyse über den Einfluss von Standort und Bewirtschaftung auf die C_{org} -Gehalte des Bodens (Dauerversuche, Varianten-Anzahl = 1 479)

Rang	Merkmal	Multipl. Bestimmtheitsmaß r^2 (%)
1	WW Feinanteil x Niederschlag	48,9
2	Temperatur, Temperatur ²	12,3
3	Feinanteil, Feinanteil ²	6,2
4	Niederschlag, Niederschlag ²	5,2
5	Getreideanteil	4,3
6	N-Saldo	1,5
7	Bodenart, Bodenart ¹⁾	1,5
8	Leguminosenanteil, Leguminosenanteil ²	0,7
9	Gesamt-Trockenmasse-Zufuhr	0,3
	Insgesamt	80,9

¹⁾ 1 = S; 2 = SI; 3 = IS; 4 = SL; 5 = sL; 6 = L; 7 = LT; 8 = T; 9 = M

Nicht aufgenommen: Hackfruchtanteil, N-Abfuhr, Gesamt-N-Zufuhr, pH-Wert

Tabelle 38: Multiple Regressionsanalyse über den Einfluss von Standort und Bewirtschaftung auf die N_t-Gehalte des Bodens (Dauerversuche, Varianten-Anzahl = 1 236)

Rang	Merkmal	Multipl. Bestimmtheitsmaß r ² (%)
1	Temperatur, Temperatur ²	71,1
2	Feinanteil	10,7
3	Getreide, Getreide ²	2,6
4	Gesamt-N-Zufuhr	1,7
5	Niederschlag, Niederschlag ²	1,1
6	Bodenart ¹⁾	1,0
7	Leguminosenanteil, Leguminosenanteil ²	0,3
8	Gesamt-Trockenmasse-Zufuhr	0,2
9	Hackfruchtanteil, Hackfruchtanteil ²	0,1
10	pH-Wert ²	0,0
	Insgesamt	88,8

¹⁾ 1 = S; 2 = SI; 3 = IS; 4 = SL; 5 = sL; 6 = L; 7 = LT; 8 = T; 9 = M
 Nicht aufgenommen: Getreideanteil, N-Abfuhr, N-Saldo

Die Gehalte an C_{org} und N_t des Bodens werden nach diesen Auswertungen durch die Faktoren des Klimas und des Bodens maßgebend beeinflusst. Hierbei besteht ein deutlicher Unterschied zwischen den Gehalten an löslichen Nährstoffen und den C_{org}-Gehalten des Bodens (vgl. Kap. 7). Es wurde ermittelt, dass vor allen Dingen Standorteigenschaften den C_{org}-Gehalt mit Bestimmtheitsmaßen zwischen 60 % bis über 70 % (von insgesamt ca. 75 - 85 %) erklären können. Zu diesen Einflussgrößen gehören die mittlere Jahres-Temperatur, die Summe der mittleren Jahres-Niederschläge sowie Bodeneigenschaften (insbesondere der Ton- oder Feinanteil). Als Einzelkomponenten können der deutliche negative Einfluss steigender Temperaturen sowie eine der vielen spezifischen Wechselwirkungen, z.B. zwischen Niederschlag und Feinanteil, auf die C_{org}-Werte des Bodens angesprochen werden. Im gesamten in Deutschland auftretenden Variationsbereich haben diese Kenngrößen einen deutlichen Einfluss, der zwischen einem bis mehreren Prozenteinheiten C_{org} betragen kann.

Der Rest der erklärten Varianz (Bestimmtheitsmaße zwischen 10 – 20 %) beruht auf Einflüssen der ackerbaulichen Bewirtschaftung (Fruchtfolge, Kenngrößen der N-Feldbilanz sowie die Trockenmassezufuhr über organische Düngung, Gründüngung oder Stroh etc.). Diese Faktoren geben einen Eindruck über die Spannbreite der anthropogen möglichen Wirkungen wieder, die C_{org}-Werte des Bodens zu verändern. Als Beispiel kann die Trockenmassezufuhr aufgeführt werden, durch die eine Anhebung der C_{org}-Gehalte im Zehntel-Bereich einer Prozenteinheit erfolgen kann (0,1 – 0,3 % C_{org}). Dem gegenüber ist das rel. geringe ackerbaulich nutzbare Potenzial nicht zu unterschätzen.

zen, wegen der überaus günstigen Einflüsse der organischen Substanz auf verschiedene Bodenfunktionen (u. a. Ertragspotenzial, Nährstoffdynamik, Bodenstruktur, Bodenbiologie).

Die Auswertungen lassen die Schlussfolgerung zu, dass zur Erklärung vorliegender C_{org} -Werte sowie der Umsetzungsdynamik des Bodens Faktoren in den Vordergrund der Betrachtung treten, die vom jeweiligen Standort bestimmt werden und auf klimatische und bodenbürtige Einflussgrößen zurückgeführt werden können. Diese Faktoren haben für die Ausprägung der C_{org} -Gehalte einen bestimmenden Einfluss, das Spektrum an Bewirtschaftungsmöglichkeiten des Ackerlandes hat dagegen keine große Bedeutung. Daher ist es sicherlich auch angebracht, von einem „standorttypischen Humusgehalt“ zu sprechen (wobei ein durchschnittlicher Bewirtschaftungseinfluss jeweils mit erfasst wird).

Werden diese Ausführungen verglichen mit den in Deutschland unter praktischen Verhältnissen üblichen Verfahren der Humusbilanzierung (insbesondere VDLUFA-Standpunkt, KÖRSCHENS et al. 2004) so kann ein deutlicher Widerspruch erkannt werden. Während bei den Grundnährstoffen die Verfahren des VDLUFA im Wesentlichen auch durch die eigenen Auswertungen von vielen Ergebnissen aus Dauerversuchen bestätigt werden konnten (siehe Kap. 7), besteht zwischen der Handhabung der VDLUFA-Methode zur Humusbilanzierung und den vorgestellten Ergebnissen keine Übereinstimmung. Es kann daher die Schlussfolgerung abgeleitet werden, dass eine halbwegs funktionsfähige Methode der Humusbilanzierung ohne Berücksichtigung von Standortfaktoren kaum möglich erscheint. Hierzu zählen insbesondere die klimatischen Faktoren Temperatur und Niederschlag sowie die Bodenfaktoren Tongehalt, Feinanteil bzw. die Bodenart.

Die bestehenden Bilanzierungsverfahren wurden daraufhin einer genauen Prüfung unterzogen (KOLBE & PRUTZER 2004; KOLBE 2005b). Es handelte sich dabei im Wesentlichen um die von der VDLUFA vorgeschlagenen Methoden mit ihren unteren (ROS) und oberen (HE) Werten der kulturartenspezifischen Humifizierungskoeffizienten (KÖRSCHENS et al. 2004). Diese Methodenprüfung brachte folgende zusammenfassenden Ergebnisse.

9.1.1 Auswirkungen optimaler Versorgung mit organischer Substanz auf die Humusgehalte des Bodens

Zunächst wurde untersucht, welche Veränderungen in den Humusgehalten des Bodens zu erwarten ist, wenn entsprechend den Anwendungszielen der Methoden eine Bemessung auf 100 % Bedarfsdeckung an organischer Substanz erfolgt (Saldo = 0 kg C/ha u. Jahr). Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die erhaltenen Ergebnissenauigkeiten stark abhängig waren von den Standortgegebenheiten (Klima, Bodenart). Unter Einbeziehung der konventionellen Versuche konnten Standortgruppen mit ähnlicher Reaktionsfolge ermittelt werden. Die erhaltenen Ergebnisse der ausgewerteten 25 Varianten aus drei Öko-Dauerversuchen (BESSON et al. 1995; PETERSSON et al. 1992; RAUPP 2001) lassen sich recht gut in diese Bodengruppen eingliedern. Aus den Untersuchungen konnte zudem die Schlussfolgerung abgeleitet werden, dass keine großen Unterschiede

in der Humusdynamik zwischen den konventionellen und ökologischen Anbausystemen bestehen, die nicht bereits auf die in den Bilanzierungsmethoden beschriebenen Einflussgrößen zurückgeführt werden können.

Aus Abbildung 83 ist in Beziehung auf die berechneten Humusgehalte eine stufenweise Unterscheidung zwischen den Verfahren abzulesen. Die Spannweite zwischen oberem 25 %-Perzentil und unterem Perzentil ist jeweils erheblich, obgleich immer eine Bemessung auf 100 % Bedarfsdeckung an organischer Substanz vorgenommen wurde. Diese Spannweiten kommen durch die je nach Standortbedingungen unterschiedlich genaue Analyse zustande. So wurde z. B. der positive Einfluss der Bewirtschaftung auf die Humusgehalte der Lehm Böden regelmäßig überschätzt und bei den Schwarzerden dagegen unterschätzt. Bei Anwendung der ROS-Methode werden im Durchschnitt die Humusgehalte gerade noch eingehalten. Ein Großteil der mit der ROS-Methode ermittelten Werte liegt jedoch im Minusbereich, das heißt, es kommt zu abnehmenden Humuswerten im Boden. Auf der anderen Seite würde nach Bemessung mit der ÖKO-Methode bereits ein z. T. deutlicher Anstieg der Humusgehalte zu verzeichnen sein. Die Ergebnisse zeigen eindeutig auf, dass eine sichere Aussage in Hinsicht auf die zu erwartenden Auswirkungen auf die Humusgehalte des Bodens bisher mit keinem der geprüften Verfahren möglich ist (Abb. 83).

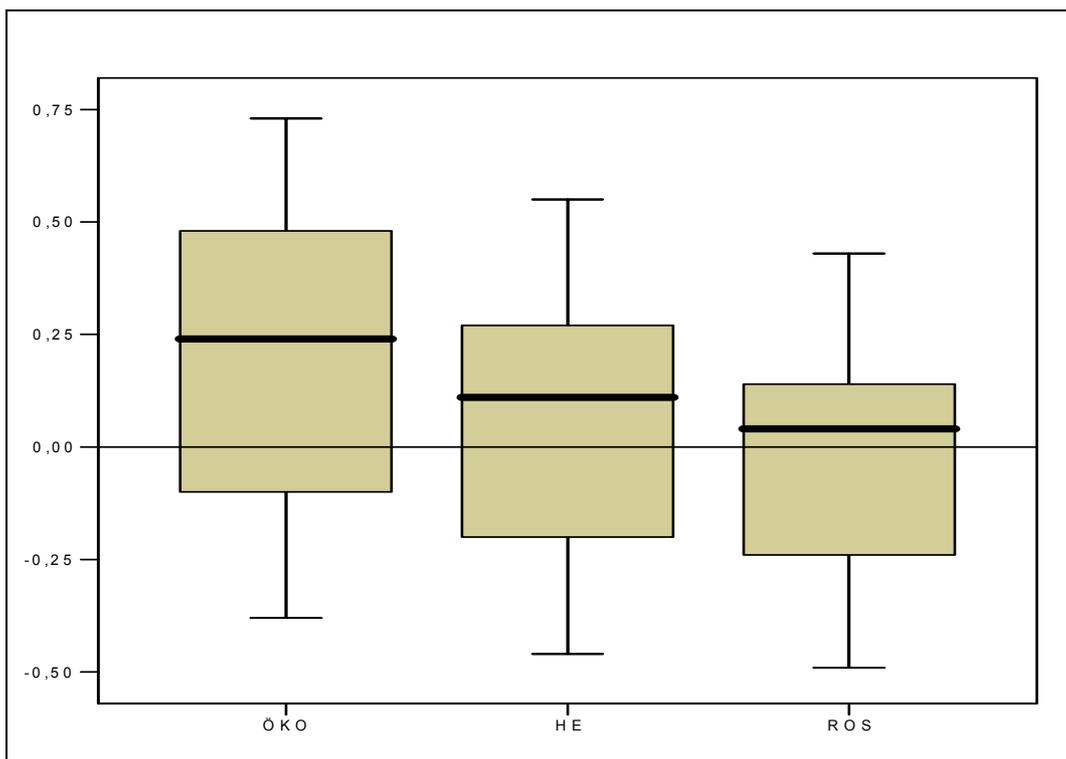


Abbildung 83: Median und Streubereiche in den berechneten Humusgehalten (% C_{org}) der ÖKO-, HE- und ROS-Methode im Vergleich zu den jeweiligen Ausgangsgehalten der Varianten (= 0,0 % C_{org}) von drei Öko-Versuchen

9.1.2 Beschreibung von Optimal-Varianten

Daraufhin wurden die Methoden ÖKO, HE und ROS eingesetzt, um Optimal-Varianten aus den drei untersuchten ökologischen Dauerversuchen zu ermitteln, die einer 100%igen Bedarfsdeckung mit organischer Substanz am nächsten standen. Es wurden je nach Methode relativ geringe Stallungsmengen von 51 dt (ROS) und höhere Mengen von 108 dt/ha und Jahr (ÖKO) als optimale Werte ermittelt. Durch Bemessung mit der ÖKO-Methode wurde ein mittleres Ertragsniveau von 68 dt/ha und mit der ROS-Methode von 73 dt/ha an Getreideeinheiten berechnet. Diese Werte lagen jeweils im Bereich der maximal in den Versuchen registrierten Erträge. Die an Hand von Tabellenwerten ermittelten N-Salden dieser Optimalvarianten lagen bei Verbleib der Koppelprodukte mit 39 – 65 kg/ha und Jahr z. T. bereits deutlich über 50 kg N/ha (ohne Anrechnung der N-Deposition über die Luft).

9.1.3 Grenzen der Humusanreicherung

Aus Ergebnissen der konventionellen und ökologischen Dauerversuche konnte deutlich herausgearbeitet werden, dass in den Varianten mit steigender Düngung auch eine durchschnittliche Erhöhung der N-Salden gegeben war (Abb. 84). Maßnahmen der N-Mineraldüngung können durch steigende organische Düngung in gewissen Grenzen ersetzt werden, um den gleichen N-Saldo zu gewährleisten. Aus diesem Grund können bei Anbauverfahren des ökologischen Landbaus höhere maximale Zufuhrmengen an organischer Substanz toleriert werden als im konventionellen Anbau. Weitere Ergebnisse können aus KOLBE & PRUTZER (2004) sowie KOLBE (2005b) entnommen werden.

Zusammenfassend können folgende Ergebnisse der untersuchten Verfahren zur Humusbilanzierung benannt werden:

1. Mit Versorgungsgraden von 100 % an organischer Substanz (= Zielversorgungsgrad bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung, Saldo = 0 kg C/ha u. Jahr) werden in der Regel maximale Erträge der Kulturarten erreicht.
2. Durch Verwendung der einzelnen Methoden (ROS, HE, ÖKO) wird außerdem ein Versorgungsniveau mit organischer Substanz angestrebt, das jeweils nur für ganz bestimmte Anbau- und Bewirtschaftungsverhältnisse zutrifft (spezifische Intensitäten).
3. Mit den Berechnungsergebnissen ist bisher keine Aussage über die Veränderung der Humusgehalte des Bodens möglich.
4. Die Nichtbeachtung von Einflüssen der Bodenarten und des Klimas (Standort) auf die Umsetzungsprozesse und Humusgehalte führt zu einer deutlichen Erhöhung des Berechnungsfehlers.
5. Die Besonderheiten des ökologischen Landbaus werden nicht berücksichtigt.
6. Die Methoden sind daher weder zur Durchführung gesetzlicher Bestimmungen geeignet noch können sie für die Betriebsberatung empfohlen werden.

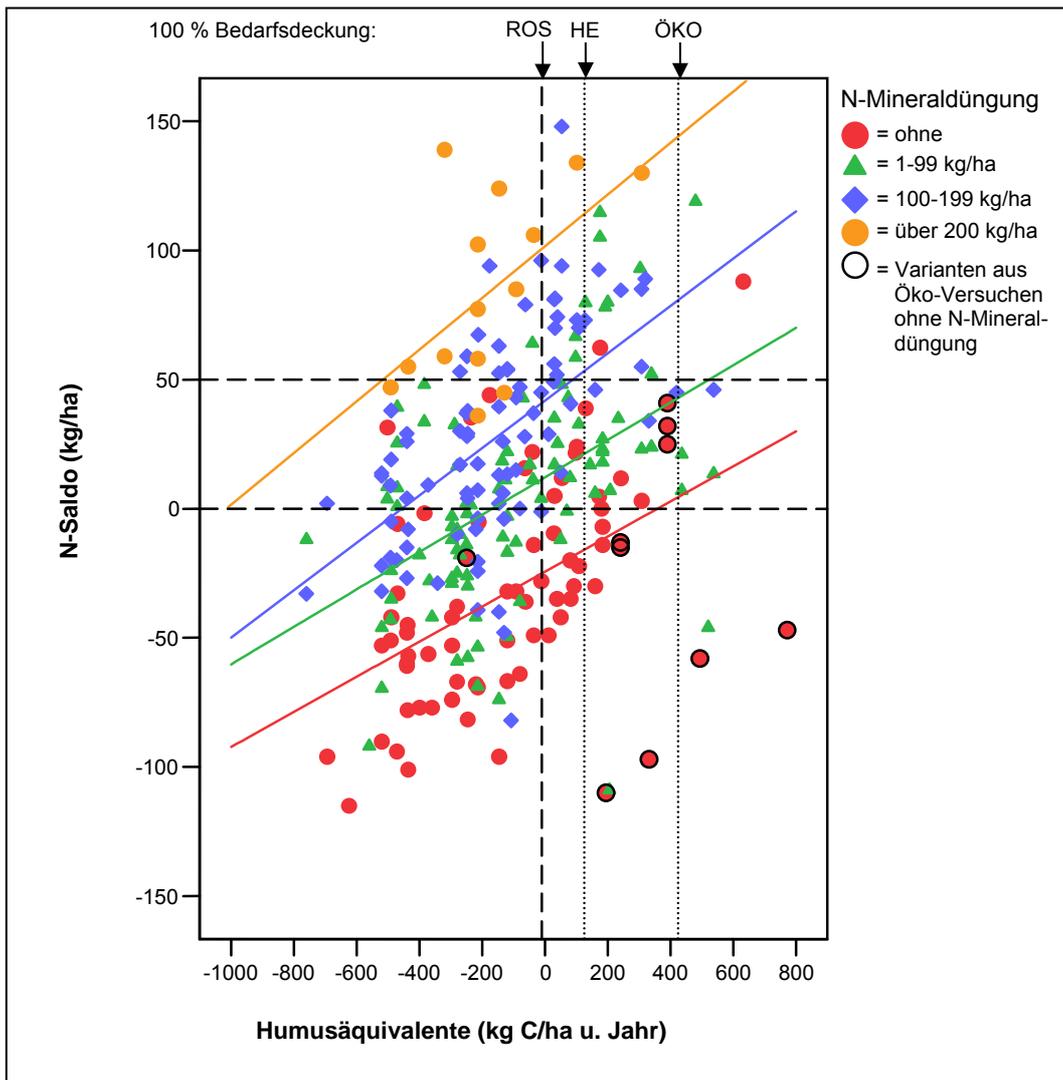


Abbildung 84: Beziehungen zwischen den in ökologischen und konventionellen Versuchen ermittelten N-Schlagbilanzen und dem Bedarf an organischer Substanz (Lage der mit dem ROS-, HE- und ÖKO-Verfahren berechneten Werte bei 100 % Bedarfsdeckung sind eingezeichnet)

9.1.4 Anforderungen an die Humusbilanzierung in Ackerbausystemen mit unterschiedlicher Intensität

Handhabung der Methoden

Die Anwendung der beschriebenen Methoden zur Humusbilanzierung ist mit einem minimalen Einsatz an Eingabemerkmale verbunden. So sind Kalkulationen ohne Kenntnis der Gehalte an Humus sowie ohne Kenntnis der erlangten Erträge der Kulturarten der Fruchtfolge möglich. Dieses sind große Vorteile beim praktischen Einsatz. Einfache Angaben aus der Schlagkartei genügen für die Durchführung der Berechnungen, wozu nicht unbedingt ein PC erforderlich ist.

Es konnte aufgezeigt werden, dass keine deutlichen Unterschiede in der Humusdynamik zwischen ökologischen und konventionellen Anbauverfahren bestehen, die nicht bereits durch die in den Modellen abgebildeten Faktorwirkungen abgedeckt bzw. erklärt werden können. Der Modellansatz kann daher für beide Anbauverfahren nach gleichen Prinzipien umgesetzt werden, was ebenfalls die Akzeptanz für Praxis und Beratung deutlich erhöht.

Methodengenauigkeit

Die vorgestellten Ergebnisse haben eine erhebliche Methodenstreuung zu Tage gebracht, so dass sie als Verfahren angesehen werden können, die lediglich Ergebnisse mit orientierendem Charakter liefern können. Auf Grund dieser Methodenunsicherheiten kann ein Großteil der Berechnungen bei jedem Verfahren sowohl zu deutlich negativen wie auch zu positiven Wirkungen auf die Humusgehalte führen, so dass bisher eine sichere Prognose der Veränderung der Humusgehalte der Böden nicht gegeben ist. Die Berechnungsergebnisse ermöglichen daher keine Aussagen zur Veränderung der Humusgehalte im Boden. Diese Feststellung traf bei vielen Diskussionen mit Fachvertretern zunächst auf Unverständnis, da es sich doch offensichtlich um „Methoden zur Humusbilanzierung“ handelt!

Anwendungsziel Ertragsmaximum

Bei allen drei geprüften Verfahren ist die Erlangung von annähernd maximalen Erträgen der Kulturarten als erstes Anwendungsziel anzusehen. Im konventionellen Landbau wird dieses Ziel bei Anwendung der ROS-Methode mit hoher mineralischer N-Düngung und rel. niedrigem Einsatz an organischer Düngung bzw. bei der HE-Methode mit mittlerer N-Düngung und höherem Einsatz an organischer Düngung erreicht. Auch bei der für den ökologischen Landbau entwickelten ÖKO-Methode werden maximale Erträge (ohne mineral. N-Düngung) angestrebt.

So wurden mit Hilfe der Öko-Methode neben dem verhältnismäßig hohen Umfang an Ackerfutter, Stroh- und Güllezufuhr eine zusätzliche Stalldunggabe von etwas über 100 dt/ha und Jahr als optimal angesehen. Ein Nachteil der geprüften Verfahren zur Humusbilanzierung besteht darin, dass so hohe Nährstoffzufuhren, die zu annähernd maximalen Erträgen führen, sowohl bis heute nicht experimentell überprüft worden sind und in der breiten Praxis des ökologischen Landbaus oft gar nicht zur Verfügung stehen (siehe KOLBE 2004). Aus verständlichen Gründen des Umweltschutzes

sind zudem externe Zufuhren im ökologischen Landbau strikt begrenzt, da sie neben anderen unerwünschten Folgeerscheinungen auch zu erheblichen Überschüssen im N-Saldo führen können. Durch Kalkulationen mit der ÖKO-Methode wurden daher auch ähnlich hohe N-Salden ermittelt, wie sie sonst nur unter konventionellen Bedingungen mit der HE- oder ROS-Methode zu erreichen sind. Diese alleinige, weitgehend nach konventionellen Gesichtspunkten ausgerichtete Zielstellung ist daher zu hinterfragen.

Düngungsbemessungsverfahren

Im Bereich der Humusbilanzierung kommt nach heutigen Gesichtspunkten der Zielstellung der Erreichung maximaler oder optimaler Erträge weder im konventionellen noch im ökologischen Landbau eine hohe Priorität zu. Wegen der methodisch bedingten hohen Unsicherheiten wurden diese Verfahren als Bemessungsgrundlage für die Ertragswirkung schon lange als ungeeignet angesehen. Dies ist nicht verwunderlich, da zwischen Ertragswirkung und Humuswirkung der verschiedenen organischen Materialien z. T. extreme Unterschiede bestehen (z.B. Stroh u. Gülle). Im konventionellen Landbau haben sich in der Zwischenzeit Düngungsbemessungsverfahren auf Grundlage der N_{\min} -Methode durchgesetzt und bewährt. Im ökologischen Landbau werden im Gemüsebau bereits Verfahren angewendet, die die N-Mineralisierung abschätzen können (siehe LABER, 2000). Auf dieser Grundlage werden in der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft z. Zt. Verfahren getestet, die in Zukunft einmal in der gesamten Breite des ökologischen Landbaus zum Einsatz kommen sollen. Ziel ist es, Düngungsbemessungsverfahren auf Nährstoff-Basis (Stickstoff) zu entwickeln, die sowohl zur Erfüllung spezieller Beratungserfordernisse als auch zur Erfüllung von gesetzlichen Erfordernissen Verwendung finden können.

Anwendungsziel Sicherung der Humusgehalte des Bodens

Bei ordnungsgemäßem Gebrauch werden sich bei Anwendung der ROS-Methode niedrigere durchschnittliche Humusgehalte als bei Anwendung der HE-Methode und höhere Gehalte bei ständigem Gebrauch der ÖKO-Methode einstellen (siehe Abb. 83). Man geht von der Vorstellung aus, dass im ökologischen Landbau höhere Humusgehalte erforderlich sind, damit ein hohes Ertragsniveau erreicht werden kann. Bei dieser klassischen Vorstellung

- erfolgt beim Anbau der Humusmehrer (Leguminosengras) eine höhere Anreicherung und ein geringerer Abbau der organischen Substanz,
- kann durch die verbesserte Futterbasis die Tierhaltung erweitert werden, wodurch es zu einer erhöhten Zufuhr an organischen Düngern kommt,
- kommt es durch eine erhöhte Zufuhr an organischer Substanz dann zu einer verbesserten Ertragsbildung beim Anbau der in der Fruchtfolge nachfolgenden Humuszehrer (Hackfrüchte, Getreide etc.).

Zwar ist eine allgemeine Humusanreicherung und den damit einhergehenden positiven Wirkungen auf biologische, chemische und physikalische Eigenschaften des Bodens unbestreitbar und in gewissen ökonomischen und ökologischen Grenzen auch natürliches Ziel des ökologischen Land-

baus. Doch unter Beachtung der gesetzlichen Regelungen z.B. in der EU-Öko-VO ist jedoch die Zielstellung nicht unbedingt die Erreichung höherer Humusgehalte. Die Betonung der bisherigen Sichtweise liegt daher zu einseitig auf der Anreicherung der Humusgehalte. Die Erreichung eines höheren Umsatzes und einer angemessen hohen Mineralisation ist jedoch aus heutigem Kenntnisstand enger mit der potenziellen Ertragsbildung eines Standortes verbunden. Daher sollten diesen Zusammenhängen zukünftig mehr Beachtung geschenkt werden.

Anwendungsziel spezielle Intensitäten

Zwischen den beiden methodischen Ansätzen ROS und HE gibt es einen jahrzehntelangen Streit in Ostdeutschland über „die richtige Methode“. Mit jedem dieser Verfahren wurde hiernach jeweils eine bestimmte Kombination an Input-Größen als gleichsam „ideal“ angesehen (Punktlösungen). Optimale Konstellationen mit der jeweiligen „Konkurrenzmethode“ ermittelt, wurden als nicht erstrebenswert angesehen, kritisiert und verworfen. Beide Methoden beinhalten daher z. T. deutliche dirigistische Zielstellungen.

Aus heutiger Sicht führte die Anwendung dieser Methoden zu Berechnungsergebnissen, die nur für bestimmte „spezifische Intensitäten“ des gesamten Produktionsgeschehens eine Aussage treffen können. Jede dieser speziellen Intensitäten führt bei entsprechender dauerhafter Betriebsgestaltung langfristig zu ganz bestimmten Humusgehalten. Der Humusgehalt des Bodens kann dabei im Verlauf dieser Wirtschaftsweise in Abhängigkeit von Klima und Bodenart ansteigen, gleich hoch bleiben oder sogar abfallen. Es stehen die Bedürfnisse von spezifischen Anbauverfahren im Vordergrund und nicht die Einhaltung standorttypischer Humusgehalte.

Die Praxis der heutigen Landwirtschaft, auch die des ökologischen Landbaus, besteht jedoch aus einer enormen Breite an sehr unterschiedlich ausgeformten Produktionsverfahren (Beispiele: mit und ohne Viehhaltung, mit viel und wenig Viehhaltung, mit viel und wenig Hackfrüchten bzw. Feldgemüse u. Gartenbau, klassischer Futterbaubetrieb bzw. Marktfruchtbetrieb, Anbau von nachwachsenden Rohstoffen, Sonderkulturen etc.). Methoden der Humusbilanzierung müssen daher in ihren Empfehlungen diese gesamte Anbaubreite möglichst gleichberechtigt berücksichtigen. Daher kommt es der Realität heute viel näher, an Stelle einer Punktlösung (100 % Bedarfsdeckung) einen Bereich an Bedarfsdeckung anzunehmen, der einer optimalen Versorgung mit organischer Substanz entspricht. Dem Streit zwischen den beiden Methodenrichtungen kommt daher aus heutiger Sicht keiner Bedeutung mehr zu.

Versorgungsoptimum mit organischer Substanz

Die Humusbilanzmethode sollte daher so konstruiert werden, dass ein Handlungsrahmen als ordnungsgemäß abgesteckt wird, in dem alle bisher üblichen oder in Zukunft sich herausbildenden spezifischen Intensitäten des ökologischen Landbaus abgedeckt werden. Dieser Rahmen beinhaltet die gute fachliche Praxis und sollte die VDLUFA-Versorgungsstufen C – D umfassen. Nur offensichtliche Unterschreitungen und Überschreitungen bestimmter Limits im Versorgungsniveau soll-

ten aufgezeigt werden können, weil dadurch entweder standorttypische Humusgehalte nicht mehr eingehalten werden und/oder negative Auswirkungen auf die Umwelt, eine geringe Ressourcen-Effizienz und andere ungünstige Auswirkungen auf die Nachhaltigkeit des Betriebes zu verzeichnen sind.

Bei der Vielfalt an heute üblichen ökologischen Anbauverfahren müssen allerdings zwei generell unterschiedliche Ausrichtungen in der Handlungsentscheidung der Landwirte und bei der Festlegung von Grenzwerten entsprechend den gesetzlichen Vorgaben Berücksichtigung finden (VDLUFA-Versorgungsgruppen A/B und D/E). Durch beide Wege wird der Rahmen einer ordnungsgemäßen ökologischen Landbewirtschaftung abgesteckt. Entsprechend den potenziellen Entwicklungschancen der Betriebe sollten beide Wege frei wählbar sein, da hiermit unter Umständen erhebliche betriebswirtschaftliche Konsequenzen für die zukünftige Betriebsgestaltung verbunden sein können.

Untere Grenze der Versorgung mit organischer Substanz

Auf der einen Seite kann es die Entscheidung des Landwirts sein, weitere Einnahmequellen auch für Öko-Betriebe zu erschließen, indem so viel wie möglich von der auf der Fläche erzeugten organischen Substanz (z.B. Stroh) abgeführt wird, um sie z.B. zur Energiegewinnung zu nutzen. Handlungsweisen dieser Art müssen daher bis zu einer unteren Belastungsgrenze zulässig sein. Diese untere Grenze ist so auszurichten, dass die Einhaltung eines standorttypischen Humusgehaltes noch sicher gewährleistet wird und könnte 100 % Bedarfsdeckung an organischer Substanz entsprechen (Beginn der VDLUFA-Versorgungsstufe C). Darunter sollte daher der Versorgungsbereich B angesiedelt sein. Dieser untere Grenzbereich sollte für konventionelle und für ökologische Betriebe gleichermaßen gelten, da hier gesetzliche Regelungen einzuhalten sind (EU-Öko-VO, Bundesbodenschutzgesetz).

Obere Grenze der Versorgung mit organischer Substanz

Im anderen Extremfall können Landwirte bestrebt sein, über eine optimale Humuswirtschaft die Humusgehalte ihrer Flächen so weit wie möglich zu erhöhen. Diese Zielstellung könnte nicht nur für ökologisch sondern auch für konventionell wirtschaftende Betriebe in Frage kommen. Für diese Fälle stellt u. a. die N-Bilanzierung eine geeignete Methode dar, um Grenzen der Anreicherung aufzuzeigen (vgl. DüV, Wasserrahmenrichtlinie). Aber auch unter Hinzuziehung weiterer Bezugsgrößen (Energiebilanz, betriebswirtschaftliche Kenngrößen) könnten zukünftig diese Grenzbereiche noch genauer umrissen werden. Diese oberen Grenzen für die Zufuhr an organischer Substanz sollten dann den Beginn der Versorgungsgruppe E kennzeichnen und werden für die Praxis der ökologischen und konventionellen Betriebe entsprechend verschieden hoch angesetzt, da die Höhe z.B. abhängig ist von dem N-Düngungsniveau des Betriebes (siehe Abb. 84).

Standortunterschiede

Die Untersuchungen haben deutliche Standortunterschiede in der Wirkung von Düngung und Fruchtfolge auf die Humusgehalte des Bodens bestätigt, so dass klimatische und bodenbürtige Einflüsse zu berücksichtigen sind (Ausweisung von Standortgruppen). Es leuchtet ein, dass z.B. die gleiche Menge Stroh auf verschiedenen Bodenarten, in feuchten oder trockenen Klimaten oder in Bergregionen einer jeweils spezifischen Humifizierung unterlegen ist. Zur Aufrechterhaltung standort- und bewirtschaftungstypischer Humusgehalte sind also je nach Bedingungen unterschiedlich hohe Zufuhren an organischer Substanz notwendig. Daher müssen für jede Standortgruppe spezielle Sätze an Humifizierungskoeffizienten zur Verfügung gestellt werden. Durch diese Eichungsarbeiten kann die Methodensicherheit bedeutend erhöht werden. Aus diesem Grund wurden frühzeitig Arbeiten zur Testung und Verbesserung von sog. Simulationsverfahren zur Humusbilanzierung vorgenommen. Nach dem bisherigen Stand der Arbeiten kann nur durch deren Einsatz eine quantitative Analyse gewährleistet werden, ohne dass der Erhebungs- und Eingabeaufwand über die Maßen ansteigt (FRANKO et al. 2005).

Methodische Aspekte zur Weiterentwicklung und Verbesserung der Verfahren

Die Verwendung von Ergebnissen aus Testflächen und Praxiserhebungen etc. ist auf Grund der hohen Ungenauigkeiten bei der Erfassung der Humusgehalte und auf Grund zeitlicher Mängel (Erfassungsdauer) für eine Methodenüberprüfung und Methodenverbesserung kaum geeignet. Ebenso ist es wenig hilfreich, Vor- und Nachteile der einen oder anderen Methode an z. T. hundert von verrechneten Betriebsbeispielen aufzeigen zu wollen, so lange die fachlichen Voraussetzungen und Zielstellungen in den Methoden nicht eindeutig formuliert und anerkannt sind und es nicht klar ist, woran die Betriebsergebnisse gemessen werden sollen.

Die geschilderten Arbeiten zur Überprüfung und Anpassung von Bilanzierungsverfahren konnten daher in der Regel nur mit Hilfe von Ergebnissen aus ökologischen und konventionellen Feld-Dauerversuchen erfolgen. Für die Sammlung geeigneter Versuchsergebnisse war allerdings ein jahrelanger mühevoller Arbeitseinsatz erforderlich. Durch die erhebliche Variabilität der Standorte müssen auch zukünftig Dauerversuche in einem breiten Standortspektrum zur Verfügung stehen, damit regionsspezifische Besonderheiten mit hoher Sicherheit abgedeckt werden.

Zukünftige Anforderungen an die Humusbilanzierung

Als Ergebnis einer umfassenden Diskussion können folgende Anforderungen an Methoden zur Humusbilanzierung für den Einsatz im ökologischen Landbau gestellt werden:

- Ausrichtung auf die Kalkulation der Veränderung der Humusgehalte im Boden.
- Differenzierung der Koeffizientensätze nach Standorten (Bodenart, Klima).
- Aufgabe des Zielmerkmals der Erreichung maximaler Erträge und der Ausrichtung auf nur eine spezifische Intensität (Punktlösung).
- Erstellung eines möglichst breiten Handlungsrahmens (VDLUFA-Versorgungsgruppen C - D), in dem der Versorgungsgrad mit organischer Substanz als optimal angesehen wird.

- Ausweisung einer unteren Grenze der Versorgung mit organischer Substanz (Versorgungsgruppen A/B), die nicht unterschritten werden darf, damit standorttypische Humusgehalte und die Nachhaltigkeit der Betriebe gewährleistet werden.
- Ausweisung einer oberen Grenze der Versorgung, damit Belange des Umwelt- und Ressourcenschutzes gewahrt werden (Übergang zur Gruppe E).

Entwicklungsarbeiten für Programm-Module als Kurz- und Langform

Für die neue Version des Programms ÖKO-BEFU der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft werden daher zum Bereich Humusbilanzierung und N-Mineralisierung folgende Programmmodule vorgeschlagen, die erstmals sowohl gesetzliche Erfordernisse als auch Anforderungen der Betriebsberatung abdecken sollen:

- Bilanzierungsmethode für Humus zur Berücksichtigung gesetzlicher Bedingungen (z.B. Cross Compliance) als Kurzfassung.
- Bilanzierungsmethode für Humus als Langfassung unter Berücksichtigung der Veränderung der Humusgehalte in Abhängigkeit von Standortgruppen für halbquantitative Analysen zum Einsatz in der vertieften Betriebsberatung, auch nutzbar z.B. für Szenarienrechnungen im Umwelt- und Klimaschutz.
- Methode zur Abschätzung der N-Mineralisierung als Grundlage für ein Düngungsbemessungsverfahren und zum Einsatz in der Beratung (in Planung).

9.2 Material und Methoden

Das Prinzip der Humusbilanzierung kann nach folgender Gleichung beschrieben werden (Abb. 85):

Humussaldo	=	Humuszufuhr	—	Humusabbau
Veränderung der Humusvorräte im Boden		Menge und Qualität der Ernte- und Wurzelreste incl. Rhizodeposition sowie der organischen Düngemittel		Wirkung von Bodenart, Klima und Anbauverfahren (z.B. Bodenbearbeitung) auf die Mineralisation

Abbildung 85: Prinzip der Humusbilanzierung

Bei der VDLUFA-Methode (KÖRSCHENS et al. 2004) wird ein Saldo aus dem Humusverlust (Anbau humuszehrender Kulturarten) und der Humuszufuhr (Anbau humusmehrender Kulturarten, organische Düngung) errechnet. Streng genommen entspricht diese Vorgehensweise nicht ganz dem heutigen Kenntnisstand. Aus Erwägungen der praktischen Umsetzung können jedoch bestimmte Wirkungen der Mineralisation des Bodens jeweils im Zusammenhang mit dem Anbaugeschehen der Kulturarten gestellt und auf diese Weise indirekt erfasst werden.

Die VDLUFA-Methode ist aus folgenden bekannten Verfahren entstanden:

- der ROS-Methode (**R**eproduktionswirksame **O**rganische **S**ubstanz) (AUTORENKOLLEKTIV 1977; KÖRSCHENS & SCHULZ 1999) für die unteren Werte, die für die „einfache Humusproduktion“ steht
- der **H**umus**E**inheiten-Methode (HE) (LEITHOLD et al., 1997) für die oberen Werte, die für Produktionsbedingungen mit „erweiterter Humusproduktion“ steht.

In Anlehnung an die HE-Methode besteht eine Erweiterung für die Bedingungen des ökologischen Landbaus als ÖKO-Methode zur stark erweiterten Humusproduktion (LEITHOLD & HÜLSBERGEN 1998). Für den Aufbau der ROS-Methode wurden Auswertungen von einer ganzen Reihe von Dauerversuchen auf unterschiedlichen Bodenarten Ostdeutschlands vorgenommen. Für den Aufbau der HE- und ÖKO-Methode (die im Kalkulationsprogramm REPRO bevorzugt zum Einsatz kommen) wurden im Wesentlichen konventionelle Versuche am Anbauort Seehausen (stark sandiger Lehm) des ostdeutschen Trockengebietes berücksichtigt.

Für die eigenen Methodenüberprüfungen wurde aus einer Datensammlung von ca. 240 Dauerversuchen ein Versuchsspektrum ausgesucht, das wesentliche Standortgegebenheiten Deutschlands abdeckt. Entsprechend den Vorgaben für die Modellverbesserungen wurden Dauer-Feldversuche der konventionellen und ökologischen Landwirtschaft berücksichtigt (siehe KOLBE 2005b). An insgesamt 39 Versuchen mit 330 Varianten, die alle wesentlichen Bewirtschaftungsverfahren abdecken (unterschiedliche Fruchtfolgeanteile der Kulturarten inkl. Futterbau, mineralische und organische Düngung, Stroh-, Gründüngungszufuhr) und eine durchschnittliche Laufzeit von 21 (9 – 55) Jahren hatten, wurden die Optimierungsarbeiten der Humusbilanzmethoden vorgenommen. Als Ausgangsbasis wurde die VDLUFA-Methode (KÖRSCHENS et al., 2004) angesehen, die auf Grund ihrer Einfachheit über eine hohe Praxisnähe verfügt und auf Grund der rel. großen versuchstechnischen Absicherung für die Verbesserungsarbeiten als günstige Ausgangsbasis angesehen werden kann.

9.3 Ergebnisse und Diskussion

9.3.1 Ermittlung der Ausgangsbasis für die methodische Weiterentwicklung sowie Her- ausarbeitung von Standortgruppen

In den Vorarbeiten von KOLBE & PRUTZER (2004) sowie von KOLBE (2005b) wurden erhebliche methodenbedingte Streuungen der erlangten Ergebnisse für die unteren Werte (ROS) als auch für die oberen Werte (HE) der VDLUFA-Methode ermittelt, so dass keine verlässlichen Hinweise zur Veränderung der C_{org} -Werte im Boden bei Bemessung auf 100 % Bedarfsdeckung mit organischer Substanz abgeleitet werden konnten.

Diese Ergebnisstreuung kann aus Abb. 86 nachvollzogen werden, in der die Änderung der C_{org} -Werte der Mittelwerte der untersuchten Versuche den in den Versuchen vorgefundenen Feinanteilen des Bodens gegenübergestellt worden sind. Die oberen Werte (HE) schwanken von +0,45 % bis -0,29 % C_{org} (abs. Streuung 0,74 % C_{org}) und bei den unteren Werten (ROS) von +0,30 % bis -0,32 % C_{org} (abs. Streuung 0,62 % C_{org}). Der Streubereich der oberen Werte ist deutlich höher als

der der unteren Werte der Methode. Es ist zu erkennen, dass die separat aufgeführten Bodenarten meistens zusammenhängende Gruppen bilden. Hieraus kann offensichtlich ein gewisser Zusammenhang abgeleitet werden. Die Schwarzerden weisen über die höchsten positiven Abweichungen auf, während die Lehme auf der anderen Seite die stärksten negativen Abweichungen in den C_{org} -Werten zeigen und die anderen Bodenarten zwischen diesen beiden extremen Positionen liegen.

Nochmals sollte folgender Zusammenhang in Erinnerung gerufen werden: Bei jeweiliger Bemessung auf 100 % Bedarfsdeckung, was dem Zielbedarf der Methode entspricht (Saldo = 0 kg C/ha u. Jahr), wurde auf Schwarzerden eine deutliche Zunahme der C_{org} -Werte und auf Lehmböden eine z.T. bereits deutliche Abnahme der Werte im Boden erreicht. Aus diesen Ergebnissen kann abgeleitet werden, dass die Humifizierung auf den verschiedenen Standorten, hier ausgedrückt durch die Bodenarten, mit stark unterschiedlicher Intensität abläuft, so dass zur Aufrechterhaltung eines bestimmten C_{org} -Niveaus unterschiedlich hohe Zufuhrmengen an organischer Substanz erforderlich sind.

Weitere Auswertungen unter Zuhilfenahme der Ergebnisse von KOLBE & PRUTZER (2004) über die Wirkung klimatischer, bodenbürtiger und anbautechnischer Einflussgrößen auf diese Variationsbreite der C_{org} -Werte führte zu einer Herausarbeitung von Bodengruppen mit ähnlicher Reaktionsfolge (Abb. 87). Bei Zugrundelegung der unteren (ROS) und oberen (HE) Werte ist diese Gruppenbildung deutlich zu erkennen.

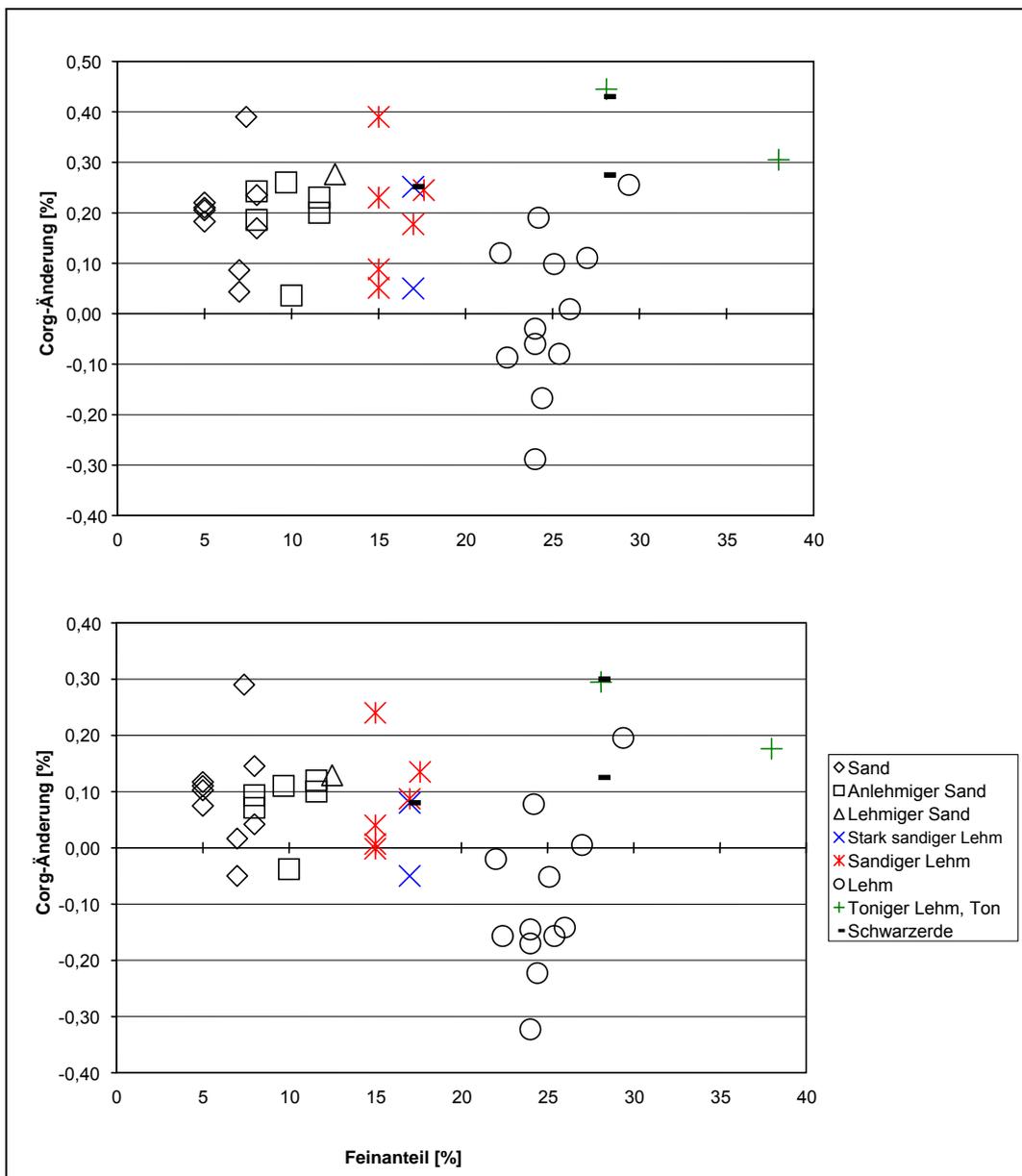


Abbildung 86: Beziehungen zwischen den Feinanteilen bzw. den Bodenarten und der C_{org} -Veränderung als Ergebnis der Humusbilanzierung bei 100 % Bedarfsdeckung, berechnet mit den oberen Werten (oben) und unteren Werten (unten) der Humifizierungskoeffizienten der Kulturarten

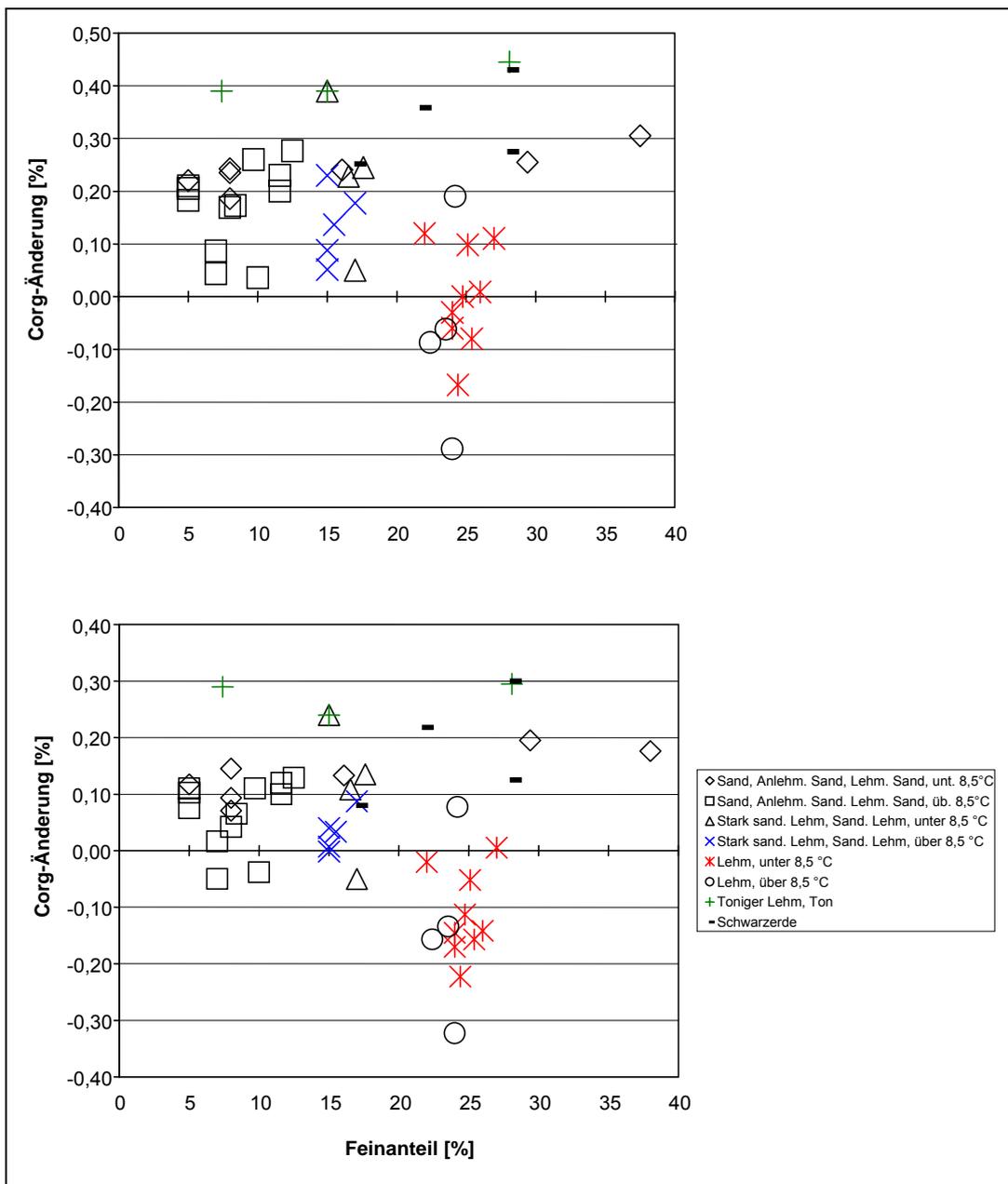


Abbildung 87: Beziehungen zwischen den Feinanteilen bzw. den gebildeten Gruppen an Bodenarten und der C_{org} -Veränderung als Ergebnis der Humusbilanzierung bei 100 % Bedarfsdeckung, berechnet mit den oberen Werten (oben) und unteren Werten (unten) der Humifizierungskoeffizienten der Kulturarten

Auf diese Weise konnten nachfolgend genannte Standortgruppen mit sehr ähnlicher Reaktionsfolge auf die Veränderung der C_{org} -Werte herausgebildet werden (Abb. 88):

Standortgruppe 1:

- Schwarzerden i.d.R. aus Lehm (Löß), Feinanteil von ca. 17 – ca. 30 %,
- Tonböden ab Feinanteilen von 38 % an aufwärts mit über 700 bzw. über 800 mm Niederschlag/Jahr,
- Sandböden mit einem Feinanteil bis ca. 8 % mit C/N-Verhältnissen weiter als ca. 12-15

Standortgruppe 2:

- Sand, anlehmiger Sand und lehmiger Sand bis zu einem Feinerdeanteil von 13 – 14 % und unter 8,5 °C Durchschnittstemperatur
- toniger Lehm ab 28 % Feinanteil, Tonböden

Standortgruppe 3:

- Sand, anlehmiger Sand und lehmiger Sand über 8,5 °C Durchschnittstemperatur

Standortgruppe 4:

- stark sandiger Lehm, sandiger Lehm mit einem Feinanteil zwischen 14 % und 21 % sowie unter 8,5 °C Durchschnittstemperatur

Standortgruppe 5:

- stark sandiger Lehm, sandiger Lehm mit einem Feinanteil zwischen 14 % und 21 % sowie über 8,5 °C Durchschnittstemperatur

Standortgruppe 6:

- Lehm Boden mit Feinanteilen zwischen 22 % und 27 % unter 8,5 °C Durchschnittstemperatur

Standortgruppe 7:

- Lehm Boden mit Feinanteilen zwischen 22 % und 27 % über 8,5 °C Durchschnittstemperatur.

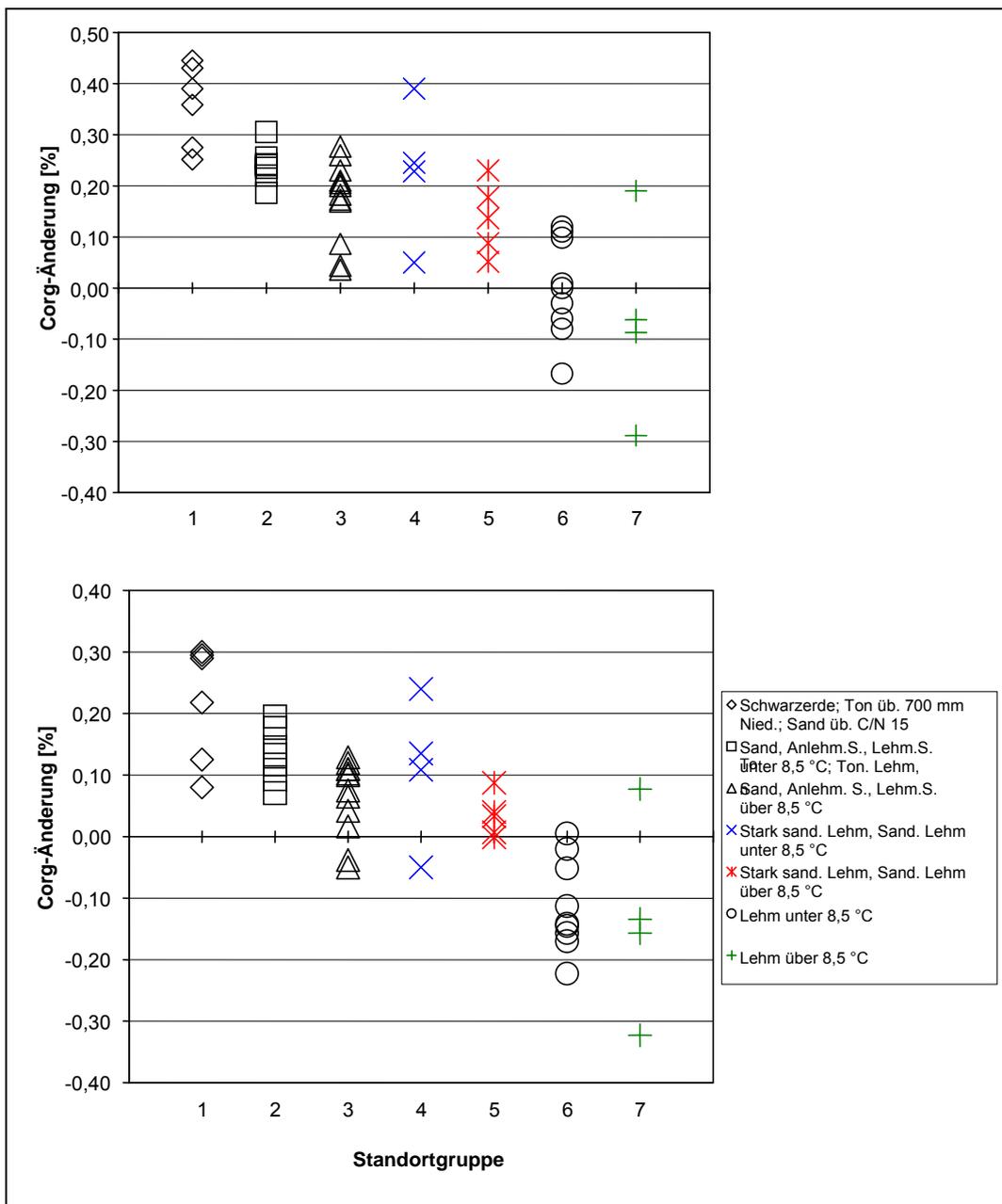


Abbildung 88: Einfluss der Standortgruppen auf die Ergebnisse der Humusbilanzierung, berechnet mit den oberen Werten (oben) und unteren Werten (unten) der Humifizierungskoeffizienten der Kulturarten

In der Standortgruppe 1 konnten die Schwarzerden, die schweren äußerst träge reagierenden Tonböden der Bergregionen, charakterisiert durch die dort auftretenden höheren Niederschlagssummen von meistens über 700 mm bei niedrigen Temperaturen sowie des Flachlandes (über

800 mm Niederschlag) und die reinen Sande mit sehr weiten C/N-Verhältnissen (i.d.R. Nordwestdeutschland) zusammengefasst werden. Allen Standorten ist gemeinsam, dass sie über rel. hohe C_{org} -Werte, einen geringen Abbau der organischen Substanz bzw. über eine entsprechend hohe Anreicherung an Humusstoffen verfügen. Im Durchschnitt werden die C_{org} -Werte um 0,22 % überschätzt. Auf diesen Böden bewirkt eine Bemessung der Zufuhr an organischer Substanz auf 100 % der durch die VDLUFA-Methode ausgewiesenen Optimalmengen, eine z.T. deutliche Anreicherung der C_{org} -Werte des Bodens, besonders, wenn mit den oberen Werten (HE) des Verfahrens gerechnet worden ist.

Es folgen zwei Standortgruppen, die die meisten vorkommenden, leichten Bodenarten Deutschlands betreffen (Sand bis einschließlich lehmiger Sand, Feinanteile bis höchstens 15 %. In dieser Arbeit sind Feinanteile ab 13 -14 % schon der nächsten Bodengruppe zugeordnet worden (Abb. 88). Diese Standorte weisen jeweils einen etwas geringeren Abbau der organischen Substanz auf als die nachfolgenden beiden Gruppen 4 und 5, die die stark sandigen Lehme und die sandigen Lehme umfassen und als mittlere Böden ausgewiesen werden können (Feinanteil zwischen 16 – 25 %). In dieser Arbeit wurden Feinanteile zwischen 14 – 21 % dieser Gruppe zugeordnet. Es ist deutlich zu erkennen, dass jeweils die Standorte mit Durchschnittstemperaturen von unter 8,5 °C über einen geringeren Abbau der organischen Substanz bzw. eine höhere Anreicherung an Humusstoffen bewirken als die entsprechenden Standorte mit über 8,5 °C Durchschnittstemperaturen. Der durchschnittliche Unterschied beträgt zwischen den beiden Temperatur-Gruppen in etwa 0,07 % C_{org} .

Es ist aus anderen Auswertungsarbeiten bekannt, dass die Temperatur einen gravierenden Einfluss auf die Umsetzung der organischen Substanz des Bodens ausübt (KOLBE, 2007b). Die beiden Temperatur-Gruppen sind so gewählt worden, dass sie die Bedingungen in Deutschland, und darüber hinaus in Sachsen im Besonderen, gut abdecken. Die eine Gruppe umfasst Ackerstandorte um 6,0 °C bis ca. 8,5 °C, die andere Gruppe betrifft Standorte mit ca. 8,5 °C bis über 10 °C.

Der Unterschied zwischen den jeweiligen Temperatur-Gruppen scheint stärker ausgeprägt zu sein als die Unterschiede zwischen den Gruppen in der Bodenart. Für eine noch stärkere Zusammenlegung von Standortgruppen ist eventuell diese Feststellung von Bedeutung. Ab der Standortgruppe 3 wird auch deutlich, dass nicht mehr alle Varianten der Versuche einen Mindestwert von 0,0 % C_{org} -Gehalt bei Berechnung nach den unteren Werten der Humifizierungskoeffizienten der Kulturarten einhalten können. Entsprechend der Verteilungskurve der Normalverteilung wird ein Bereich an Werten ab Gruppe 3 immer größer, der durch einen Abfall der C_{org} -Werte charakterisiert ist, obwohl entsprechend der methodischen Ausrichtung auf volle Bedarfsdeckung berechnet wurde (Abb. 88, untere Werte).

Auf diesen Standorten können noch alle Werte im positiven C_{org} -Bereich gehalten werden, wenn nach den oberen Werten der VDLUFA-Methode kalkuliert wird (Abb. 88, obere Werte). Bei den

Standortgruppen 6 und 7 trifft das allerdings nur noch für die Mittelwerte der Gruppen zu, d.h. ca. 50 % der Werte dieser Standorte weisen ebenfalls bereits einen Abfall der Gehalte an Humus auf, obwohl entsprechend der Methodenbeschreibung eine ordnungsgemäße Zufuhr an organischer Substanz erfolgt ist. Die Standortgruppen 6 und 7 umfassen die Lehmböden mit Feinanteilen gewöhnlich zwischen 26 % und 31 %. In dieser Arbeit wurden Feinanteile zwischen 22 % und 27 % dieser Gruppe zugewiesen (vgl. Anhang, Tab. A9).

Die Standortgruppe 7 ist eine rel. inhomogene Gruppe, bei der die Ergebnisse der einzelnen Versuche große Unterschiede aufweisen. Auf der einen Seite ist eine relativ hohe Zufuhr an organischer Substanz erforderlich, um den Humus-Abbau dieser Standorte auszugleichen. Hierbei sind diese Standorte dann gekennzeichnet durch rel. niedrige C_{org} -Werte, die zudem enge C/N-Verhältnisse aufweisen. Zusammengenommen gehören sie zu den fruchtbarsten Standorten in Deutschland. Auf der anderen Seite zählen zu dieser Gruppe auch Standorte, die keine erhöhte Zufuhr an organischer Substanz benötigen, um einen ortstypischen Humusgehalt zu erhalten. Hierzu zählen u.a. auch Versuche, deren Böden vergleichsweise hohe Ton- oder Feingehalte aufweisen, obwohl sie entsprechend der Einteilung noch als Lehmböden anzusprechen sind. Daher wurden schließlich alle Standorte, die höhere Feinanteile als ca. 28 % aufweisen, bereits als toniger Lehm der Standortgruppe 2 zugeordnet. Entsprechend der zunehmend ungünstigeren Ausgestaltung des Wasserhaushaltes weisen diese Böden anscheinend bereits eine verringerte Umsetzung der organischen Substanz auf.

Ein Vergleich mit den in der Literatur vorzufindenden Einstufungen zeigt, dass bereits ASMUS & HERRMANN (1977) zu einer ähnlichen Abstufung der Bodenarten zur Ermittlung der Mengen an reproduktionswirksamer organischer Substanz zur Sicherung der einfachen Reproduktion gekommen ist. Diese und andere Autoren stellten folgende Bodengruppen mit steigendem Bedarf an organischer Substanz zusammen:

- Schwarzerde < S/Sl < IS/sL < L/T.

Ähnlich der eigenen Einstufung kommt den Schwarzerden auch hiernach der geringste Bedarf an organischer Substanz zu. Es folgen die Bodenarten Sand/anlehmiger Sand sowie lehmiger Sand/sandiger Lehm. Der höchste Bedarf kommt den Lehmböden zu. ASMUS & HERRMANN (1977) stellten auch die Tonböden zu dieser sehr bedürftigen Gruppe. Hierbei besteht allerdings ein deutlicher Unterschied zu den jetzt gefundenen Ergebnissen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass zum damaligen Zeitpunkt kaum Versuche auf diesen schweren Böden zur Verfügung standen. Auch heute ist die Eingruppierung bestimmter Bodenarten bzw. Standorte sicherlich noch nicht abschließend zu beurteilen. Allerdings ist die Versuchsbasis, auf der die aktuelle Eingruppierung erfolgte, um ein Vielfaches höher und umfasst einen deutlich größeren Standortraum (Mitteleuropa mit Konzentration auf Deutschland) als zur damaligen Zeit (DDR).

In einer parallel durchgeführten Diplomarbeit (BEUKE 2006) mit ähnlicher Fragestellung wurde zwar eine kleinere Anzahl an Versuchen herangezogen, allerdings unter Einschluss von Versuchen, die in dieser Arbeit nicht untersucht worden sind (IOSDV von Nord- bis Südeuropa). Ein Vergleich der Ergebnisse weist jedoch deutliche Parallelen zu den hier vorgestellten Ergebnissen auf, so dass die Ableitung der vorgestellten Standortgruppen auf sicherer Basis erfolgen konnte.

Die Ausweisung von Standortgruppen beruht darauf, dass die Humifizierungskoeffizienten der Kulturarten entsprechend differenziert worden sind. Hierbei wurden die humusabbauende Intensität des Standortes und die Zufuhr über EWR der jeweiligen Kulturart oder Kulturartgruppe unter Berücksichtigung der Ertragsfähigkeit der Bodengruppe zu einer Kennzahl vereinigt. Auf diese Weise wurden z.B. von ASMUS & HERRMANN (1977) folgende prinzipiell unterschiedliche Koeffizienten dokumentiert (Tab. 39).

Tabelle 39: Humifizierungskoeffizienten von Kulturarten mit hohem Bedarf bzw. bei hoher Anreicherung mit organischer Substanz von ASMUS & HERRMANN (1977) (in t TM/ha u. Jahre) (Umrechnung in kg C/ha : Werte x 200)

Kulturart bzw. -Gruppe	S / SI	IS / sL	L / T	Schwarzerde
Bedarf durch Hackfrüchte	3,6	4,0	4,4	2,9
Anreicherung durch mehr-jährigen Feldfutterbau	2,7	3,0	3,3	3,3

Mit zunehmendem Tongehalt des Bodens steigt hiernach der Bedarf an organischer Substanz von den Sand- bis zu den Tonböden an. Im Gegensatz hierzu steigt auch die Anreicherung mit organischer Substanz beim Anbau von Feldfutterpflanzen zwischen diesen Bodengruppen vom Sand zum Ton hin an. Aus diesen tabellarischen Angaben haben sich dann später die Humifizierungskoeffizienten entwickelt. Heute werden diese Werte ausgedrückt in Humusäquivalente und werden als negative Werte (z.B. Hackfrüchte) oder positive Werte (z.B. Feldfutterpflanzen) ausgewiesen (siehe Koeffizientenliste d. VDLUFA-Methode, KÖRSCHENS et al. 2004).

In der VDLUFA-Methode bestehen hierzu lediglich Unterschiede zwischen den unteren (ROS) und oberen (HE) Werten (Abb. 89). Koeffizienten mit positivem Vorzeichen (z. B. Futterbauverfahren) stellen humusmehrnde und Koeffizienten mit negativen Vorzeichen (z. B. Hackfrüchte) humuszehrende Werte dar. Es ist zu erkennen, dass der Unterschied zwischen den beiden Koeffizientengruppen mit relativen Abständen belegt ist. Hierdurch weisen sowohl hohe positive wie hohe negative Werte bei dem HE-Verfahren deutlich größere Koeffizienten auf als entsprechend kleinere Werte. Es sind also systematische relative Unterschiede zwischen den beiden Verfahren zu erkennen.

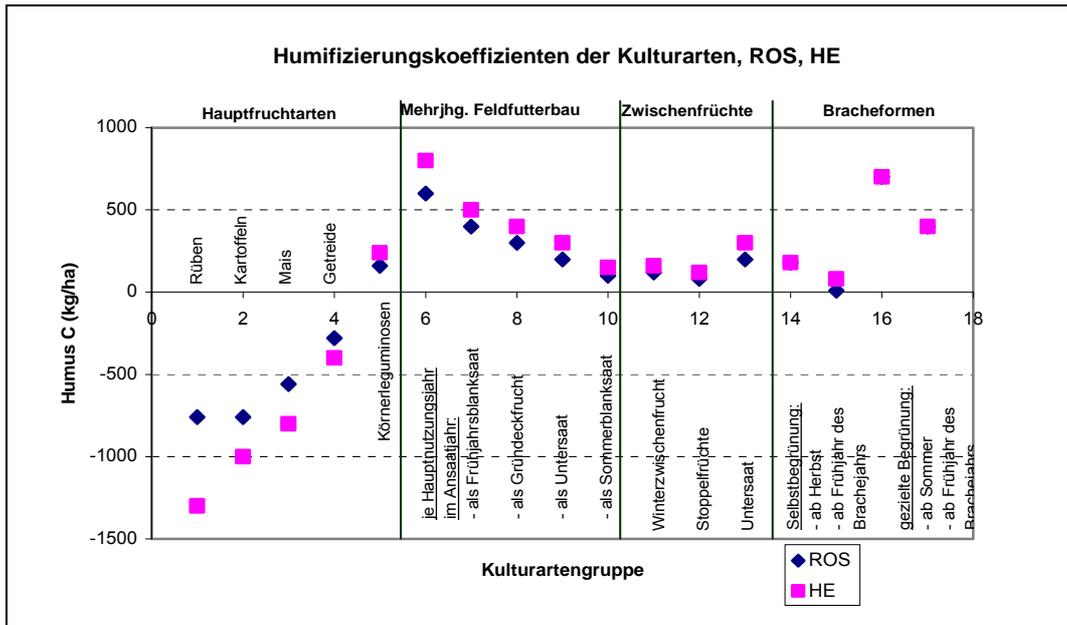


Abbildung 89: Richtwerte für die anbauspezifische Veränderung der Humusvorräte der Böden (Humifizierungskoeffizienten der Kulturarten in Humusäquivalenten, kg C/ha u. Jahr) für die unteren (ROS) und oberen (HE) Werte der VDLUFA-Methode (KÖRSCHENS et al. 2004)

Der erste Schritt zur Herausarbeitung standortangepasster, optimaler Koeffizienten bestand nun darin, für jede Standortgruppe die Kulturartenkoeffizienten in der Weise anzugleichen, so dass jeweils folgende Bedingungen erfüllt werden:

- Einhaltung des standorttypischen Humusgehaltes bei 100 % Bedarfsdeckung mit organischer Substanz
- Anbauverhältnisse mit steigendem Hackfruchtanteil (komplementär fallendem Getreideanteil) sollen gleichwertig abgebildet werden
- Anbauverhältnisse mit steigendem Leguminosenanteil sollen gleichwertig abgebildet werden
- Anbauverfahren ohne sowie mit Zufuhr von organischer Substanz über Düngung, Stroh, etc. sollen gleichwertig abgebildet werden
- Anbauverfahren mit unterschiedlicher Intensität, wie z.B. ökologische und konventionelle Verfahren sollen gleichwertig abgebildet werden.

Zu diesem Zweck wurden mit Hilfe eines komplex verschachtelten EXCEL-Programms unter Nutzung der Daten aus den 39 Feldversuchen systematische Veränderungen des Koeffizientensortimentes der Kulturarten so lange vorgenommen, bis optimale Lösungen in den Humusbilanzierungen sich entsprechend den o. a. Normen einstellten. In erster Anlehnung an die Verhältnisse in der Wirklichkeit wurden die Koeffizientensätze in anderer Weise als es bei ASMUS & HERRMANN (1977) vollzogen wurde verändert. Hierbei wurde die Vorstellung fixiert, dass unter Einbeziehung

der spezifischen Ertragsreaktionen die Aktivität eines Standortes entsprechend den klimatischen und bodenbürtigen Einflüssen in gleicher Weise auf humuszehrende und humusmehrende Kulturarten wirkt. Bei einem Standort mit hoher Umsetzungsrate bzw. Abbaurrate der organischen Substanz ist davon auszugehen, dass negative Werte z. B. bei Hackfrüchten vergrößert, während die positiven Koeffizienten z. B. beim Futterbau entsprechend verringert werden. In dieser Weise wurden die Koeffizienten ohne Veränderung der Relationen zwischen den Arten systematisch verändert.

Diese Anpassungsarbeiten führten zu folgenden Ergebnissen, wenn auf Basis der oberen Werte (HE; Abb. 90 u. 91) bzw. auf Basis der unteren Werte (ROS; Abb. 92 u. 93) Veränderungen vorgenommen worden sind. In der vorausgehenden Arbeit von KOLBE & PRUTZER (2004) sind hierzu die Unterschiede zwischen den beiden Methoden (ROS, HE) genau beschrieben worden. An dieser Stelle sollen nur einige wichtige Aspekte nochmals aufgegriffen und in den Zusammenhang mit den gebildeten Standortgruppen gestellt werden.

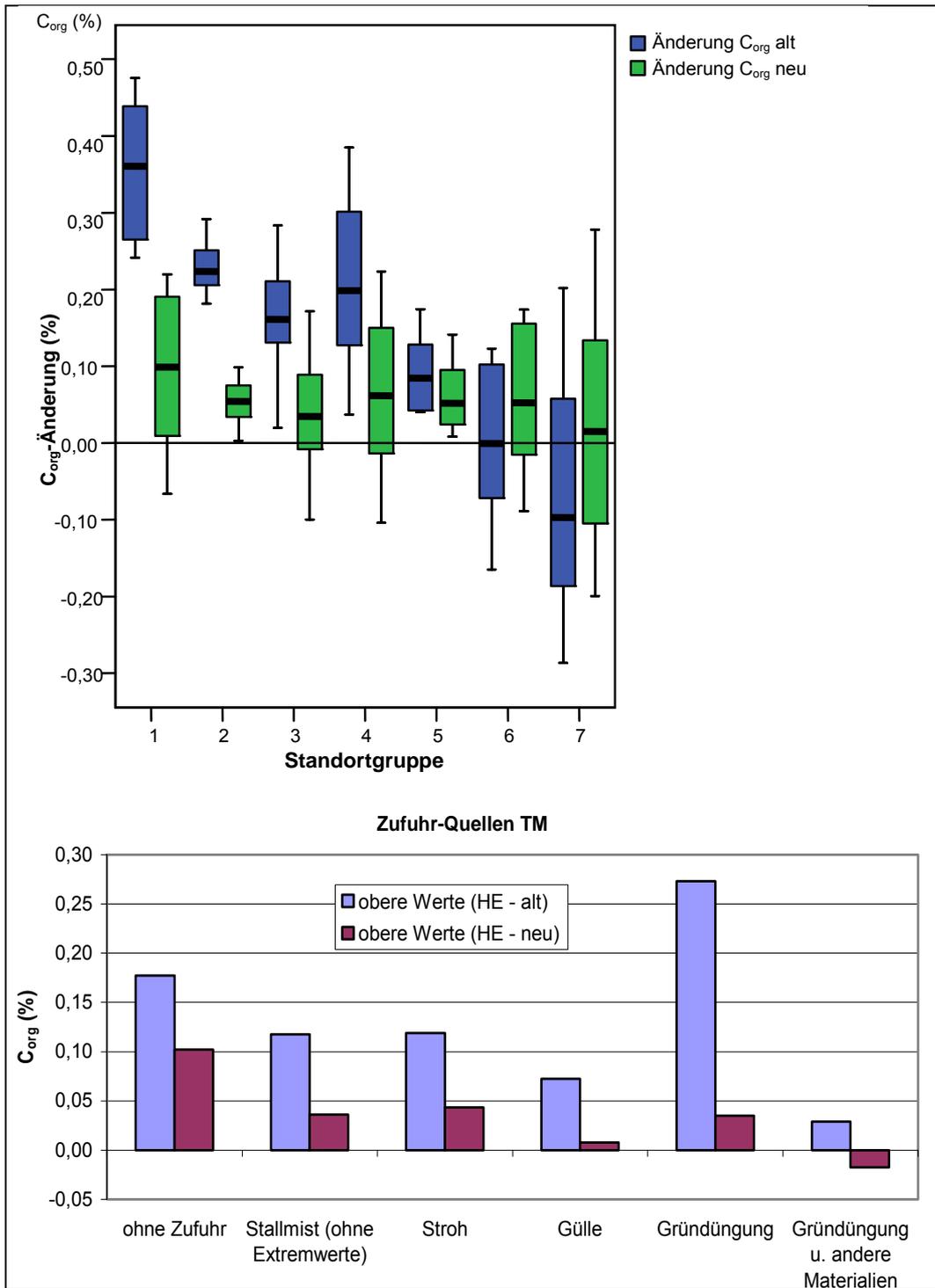


Abbildung 90: Ergebnisse der Optimierungsarbeiten für die Koeffizienten der Kulturarten auf Grundlage der oberen Werte (HE) der VDLUFA-Methode: Standortgruppen (oben); ohne und mit Zufuhr von organischer Substanz verschiedener Quellen (unten)

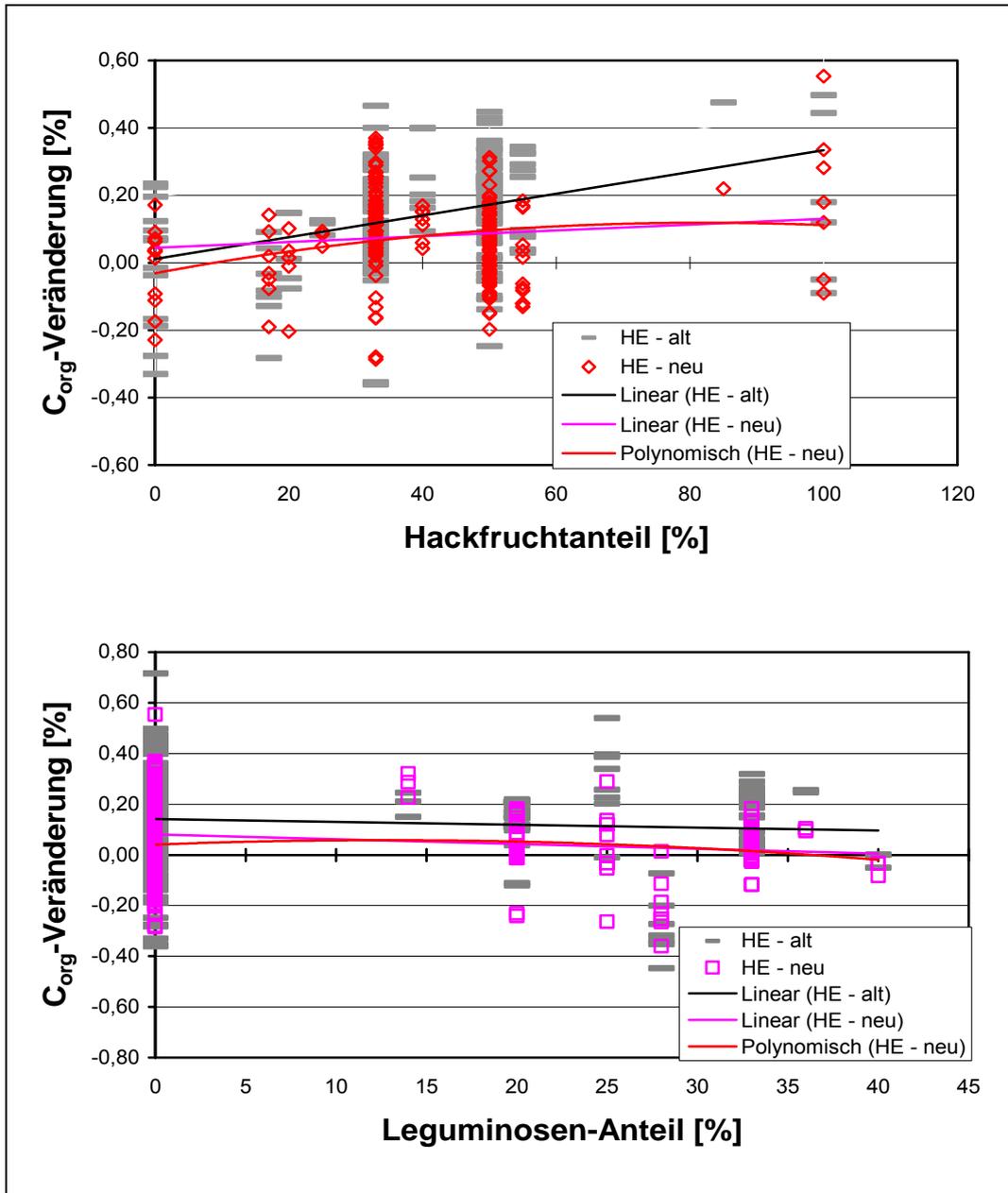


Abbildung 91: Ergebnisse der Optimierungsarbeiten für die Koeffizienten der Kulturarten auf Grundlage der oberen Werte (HE) der VDLUFA-Methode: Hackfruchtanteil (oben) und Leguminosenanteil (unten) in der Fruchtfolge

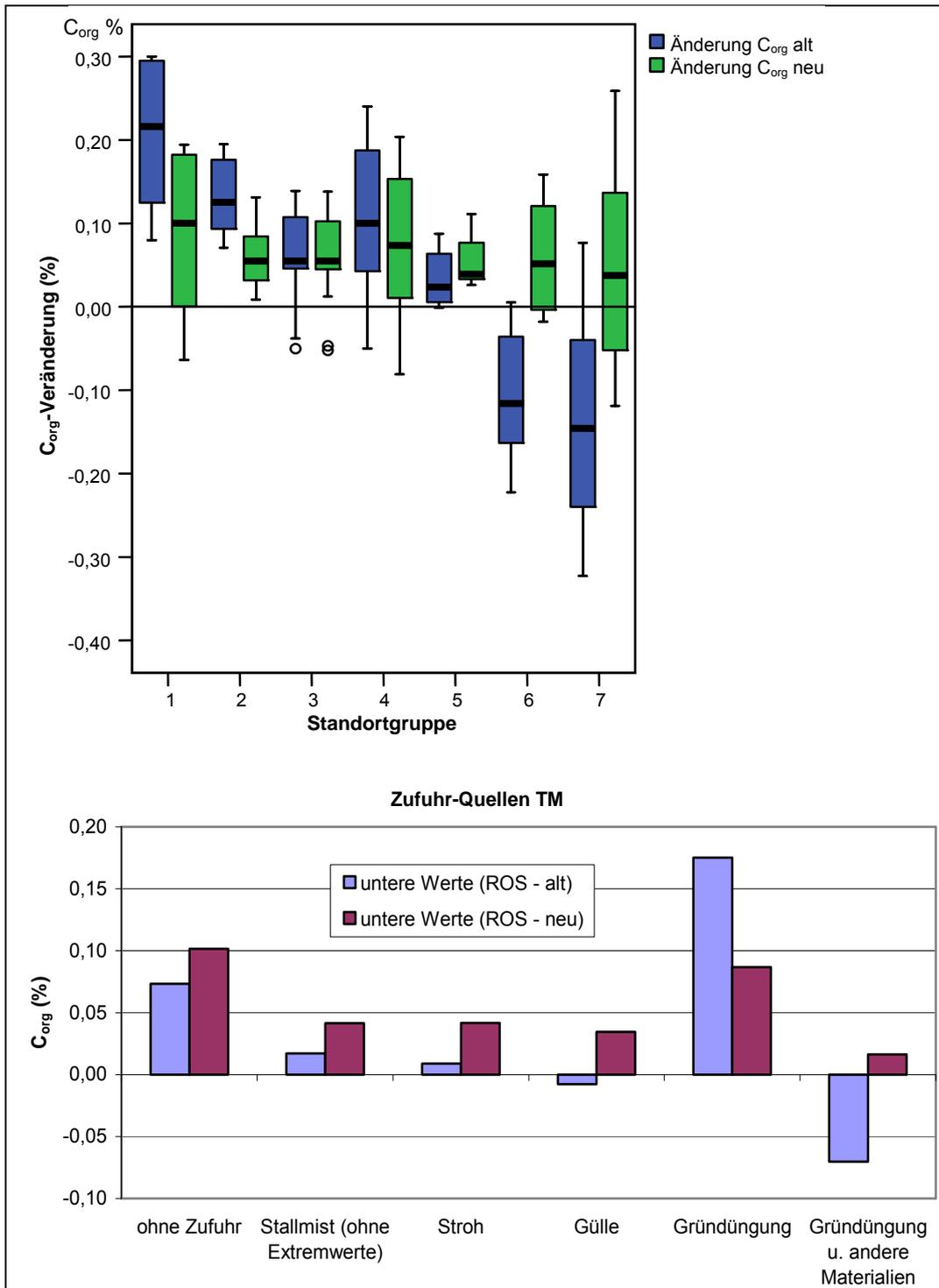


Abbildung 92: Ergebnisse der Optimierungsarbeiten für die Koeffizienten der Kulturarten auf Grundlage der unteren Werte (ROS) der VDLUFA-Methode: Standortgruppen (oben); ohne und mit Zufuhr von organischer Substanz verschiedener Quellen (unten)

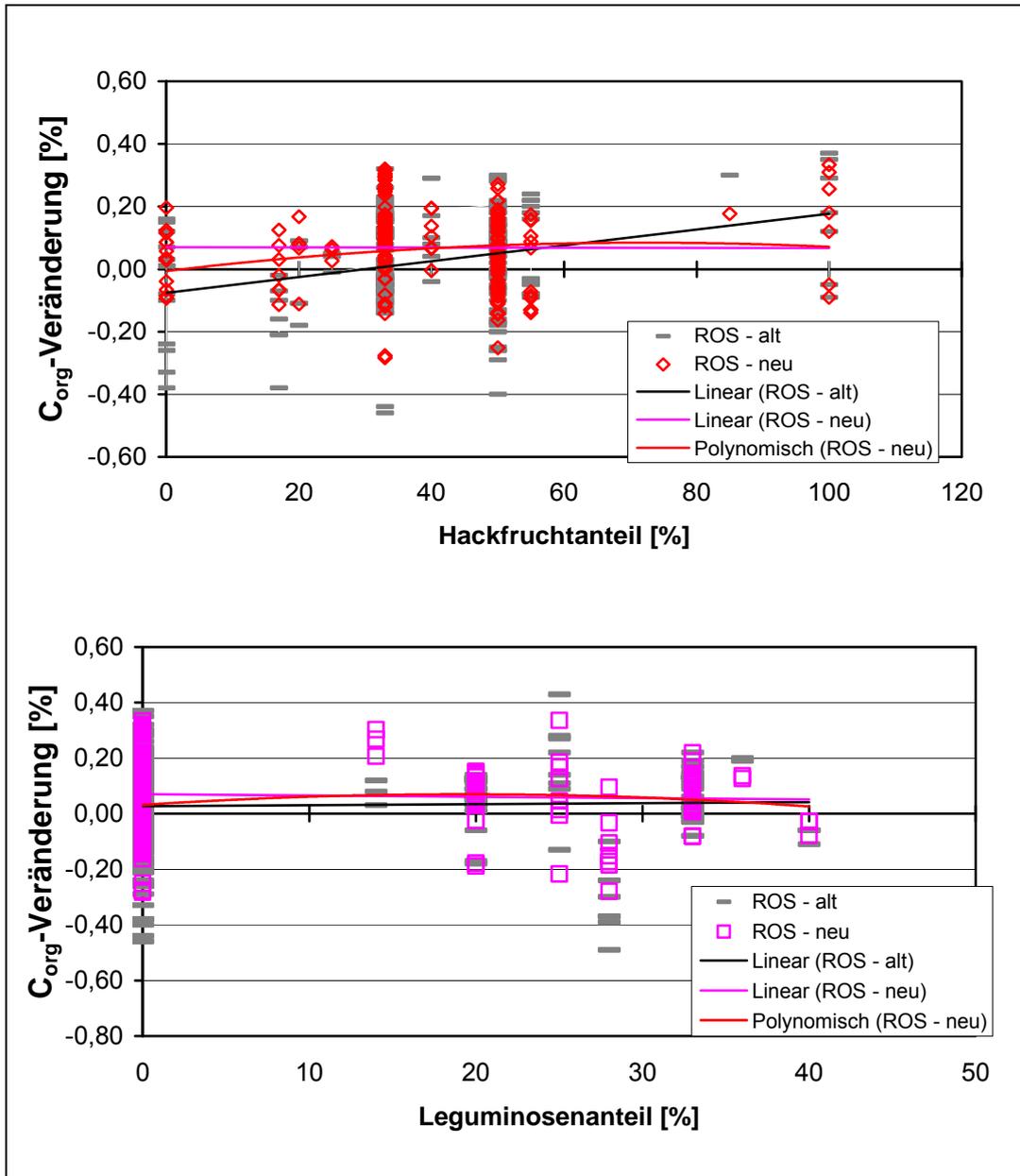


Abbildung 93: Ergebnisse der Optimierungsarbeiten für die Koeffizienten der Kulturarten auf Grundlage der unteren Werte (ROS) der VDLUFA-Methode: Hackfruchtanteil (oben) und Leguminosenanteil (unten) in der Fruchtfolge

Damit die Ausgangsgehalte an C_{org} bei 100 % Bedarfsdeckung mit organischer Substanz nicht unterschritten, aber auch nicht wesentlich überschritten werden, wurden jeweils die Mittelwerte der Standortgruppen in etwa zwischen + 0,05 bis + 0,10 % C_{org} positioniert. Damit konnte gewährleistet werden, dass die überwiegende Anzahl an Varianten im positiven Bereich liegen und somit die Ausgangsgehalte eingehalten werden (= Idealpositionen). Insgesamt kann festgehalten werden,

dass es erforderlich war, die Koeffizienten für die oberen Werte einer stärkeren Korrektur zu unterziehen als die der unteren Werte (Abstände zwischen den Ausgangswerten = blauen und den grünen optimierten Werten). So wurden die Koeffizienten der Standortgruppen 6 und 7 (Lehme) bei den HE-Verfahren nur geringfügig korrigiert (siehe Abb. 90 oben), während bei dem ROS-Verfahren bei der Standortgruppe 3 zunächst die Koeffizienten nicht verändert werden brauchten (Abb. 86 oben).

Durch diese Maßnahmen konnten die Anpassungen für verschiedene organische Materialien bzw. bei keiner Zufuhr von organischer Substanz gegenüber den jeweiligen Ausgangswerten verbessert werden. Dieser Fortschritt war wiederum bei den korrigierten oberen Werten (HE) deutlicher zu verspüren als bei den unteren Werten (ROS), obgleich wiederum die Anpassung bei den ROS-Werten besser gelungen war als bei den HE-Werten (Abb. 90 u. 92, unten). Die ROS-Werte lagen alle im positiven Bereich, das Bild macht einen ausgeglicheneren Eindruck.

Es ist auch wichtig, dass möglichst alle Anbausysteme mit ihren z. T. deutlich unterschiedlichen Fruchtfolgen gleichwertig abgebildet werden. Wie aus den Abbildungen 91 und 92 hervorgeht, ist durch die Einführung der Standortgruppen bei beiden Verfahren (HE, ROS) die ungleichförmige Abbildung steigender Anteile an Hackfrüchten (bzw. abfallender Getreideanteile) deutlich verbessert worden. Zur Beurteilung der Hackfrucht- und Leguminosenanteile ist diese Anpassung wiederum bei den unteren Werten (ROS) besser gelungen als bei den oberen Werten (HE).

Durch eine genaue statistische Prüfung der Ausgangswerte (vgl. KOLBE & PRUTZER 2004) und der auf diese Weise optimierten Koeffizienten durch die Bildung von Standortgruppen bei den unteren (ROS), den oberen Werten (HE) sowie den Mittelwerten aus unteren und oberen Werten (ROS-HE) konnten die festgestellten Unterschiede ebenfalls deutlich herausgearbeitet werden (Tab. 40).

Tabelle 40: Statistische Prüfkriterien der Ausgangswerte sowie der optimierten Werte der Humifizierungskoeffizienten der Kulturarten und deren Auswirkung auf die Veränderung der C_{org}-Gehalte (% C_{org}) bei 100 % Bedarfsabdeckung bei den oberen Werten (HE), Mittelwerten aus oberen und unteren Werten (HE-ROS) sowie den unteren Werten (ROS), ermittelt anhand von Berechnungen an 328 Varianten von Dauerfeldversuchen

Prüfkriterium	HE Ausgang	HE, 7 Standortgr.	HE-ROS, 7 Standortgr.	ROS Ausgang	ROS, 7 Standortgr.
Anzahl Varianten	328	328	328	328	328
Mittelwert	0,106	0,038	0,050	0,0016	0,039
Standardfehler Mittelwert	0,010546	0,009208	0,009035	0,010154	0,008615
Modus	0,225	0,089	0,128	0,120	0,126
Standardabweichung	0,191004	0,166759	0,163635	0,183901	0,156018
Varianz	0,036	0,028	0,027	0,034	0,024
Spannweite:	1,306	1,281	1,257	1,170	1,040
Perzentile: 25 %	0,0160	-0,0292	-0,0135	-0,0775	-0,0364
50 %	0,1233	0,0633	0,0731	0,0300	0,0676
75 %	0,2270	0,1435	0,1504	0,1200	0,1335

Schon die Ausgangswerte der Berechnungen zeigten Unterschiede zugunsten einer besseren Eignung des ROS-Verfahrens (vgl. KOLBE & PRUTZER 2004). Noch deutlicher wird der Vorteil bei Verwendung der ROS-Werte als Basis für die Standortgruppenbildung. So konnte die Varianz von ausgangs 0,034 auf 0,024 (= 71 %) verringert werden, während bei dem HE-Verfahren bei den höheren Ausgangswerten einer Varianz von 0,036 die Werte nur auf 0,027 (= 75 %) verringert werden konnten. Auf Grund dieser Ergebnisse konnte eindeutig ermittelt werden, dass die unteren Werte (ROS) der VDLUFA-Methode besser als Ausgangswerte für die Herausbildung einer standortabhängigen Humusbilanzmethode geeignet sind als die oberen Werte (HE).

Gleichzeitig waren diese Ergebnisse auch eine Bestätigung für die richtige Vorgangsweise bei der Veränderung der Koeffizientensätze. Das HE-Verfahren ist gleichzeitig auch ein Beispiel für die Veränderung dieser Koeffizientensätze nach relativem Maßstab, indem stark negative Werte noch stärker herabgesetzt und gleichzeitig positive Werte stärker heraufgesetzt wurden. Diese Vorgehensweise hat sich nicht bewährt, sondern die lineare Veränderung der Koeffizienten wie oben angegeben. Gleichzeitig hat sich auch nicht bewährt, dass bei dem HE-Verfahren für die Hackfrüchte zwischen Kartoffeln und Rüben unterschiedlich hohe Koeffizienten angesetzt werden. Hierzu wurden 124 Varianten mit Kartoffeln und 89 Varianten mit Rüben (meistens Zuckerrüben) geprüft. Die Bewertung mit einem gemeinsamen Koeffizienten, wie im ROS-Verfahren veranschlagt, hat sich besser bewährt.

Die Versuchsbasis zur Etablierung dieser ROS-Koeffizienten war auch wesentlich größer (meistens wurden Ergebnisse aus über 20 Versuche des Gebiets der ehemaligen DDR verwendet) als bei der Aufstellung der HE-Werte, die im Wesentlichen auf Grund der Versuchstätigkeit von einem Standort stammen (Seehausen, im Norden von Leipzig) und im PC-Programm REPRO (HÜLSBERGEN 2002) bevorzugt zum Einsatz kommen. Es ist wiederum bezeichnend, dass an den Werten der Koeffizienten der Standortgruppe 5, die der Versuchsbasis Seehausen zuzuordnen ist, die geringsten Veränderungen vorzunehmen waren (vgl. Abb. 90, oben). So sind die Verfahren auf Basis der HE-Werte wohl ganz gut für diesen Standort geeignet. Aufgrund der zu geringen Versuchsbasis, auf der das System aufgebaut wurde, ist aber eine allgemeine Anwendung außerhalb dieser Standortgruppe um so problematischer anzusehen. Aus diesen Gründen können prinzipielle Unterschiede zwischen verschiedenen Szenarien mit diesem Verfahren zwar berechnet werden, eine Anwendung in der breiten Praxis ist dagegen mit großen Unsicherheiten behaftet. Da auch durch die Bildung von Mittelwerten aus beiden Gruppen (HE, ROS) keine genaueren Ergebnisse zu erlangen waren (siehe Tab. 40), wurde der Versuch aufgegeben, für die Verbesserungsarbeiten die HE-Werte (sowie in diesem Zusammenhang auch die ÖKO-Werte) als Ausgangsbasis zu verwenden.

9.3.2 Optimierung der Fruchtartenkoeffizienten zur Humusbilanzierung unter Berücksichtigung von Standortkriterien und Methodengenauigkeit

Auf Grund der Ergebnisse des Vergleichs zwischen den beiden Verfahren wurden die weiteren Arbeiten darauf konzentriert, das ROS-Verfahren (untere Werte der VDLUFA-Methode) zu optimieren. Wie aus Abbildung 90 unten (HE) und Abbildung 92 unten (ROS) zu sehen ist, führen die Varianten ohne Extra-Zufuhr von organischer Substanz (durch Düngung, Stroh, Gründüngung etc., außer EWR der Kulturarten) zu einem Anstieg um 0,10 % C_{org} . Hieraus geht hervor, dass auf Grund der in diesen Standard-Varianten in der Regel anzutreffende Bedarfslücke ein zu hoher Wert an organischer Substanz berechnet wird, um die Lücke bis zur 100%igen Bedarfsdeckung zu schließen (vgl. KOLBE & PRUTZER 2004). An diesen Darstellungen wird deutlich, dass die allgemeine Höhe der Humifizierungskoeffizienten der Kulturarten bisher zu niedrig angesetzt worden ist. Diese Koeffizienten wurden zu einer Zeit aus Versuchen begründet, in denen noch ein niedrigeres Ertragsniveau üblich war. Da in den eigenen Untersuchungen auch Versuche aus neuerer Zeit mit entsprechend höherem Ertragsniveau enthalten sind, können diese Ergebnisse darauf zurückgeführt werden. Das durchschnittliche Ende der Versuche lag um das Jahr 1982 mit einer Variationsbreite von 1953 – 2002 (KOLBE 2005b).

Folgerichtig wurden die Koeffizienten der Kulturarten aller Standortgruppen um einen absoluten Betrag von 50 kg C je ha Substrat erhöht, wodurch der mittlere Wert der C_{org} -Änderung um 0,035 % C_{org} verbessert, d.h. gegenüber dem vorherigen Wert herabgesetzt werden konnte. Hierdurch gab es keine weitere Verbesserung der Zuordnung der verschiedenen Kulturarten, so dass die in der Abbildung abgebildeten Verbesserungen zum Hackfruchtanteil und zum Leguminosenanteil in den Fruchtfolgen bestätigt wurden. Eine Erhöhung um 100 kg C/ha brachte demgegenüber wiederum eine Verschlechterung dieser Ergebnisse. Die bisher vorgesehene Unterscheidung zwi-

schen den Standortgruppen 6 (Lehme, unter 8,5 °C) und 7 (Lehme über 8,5 °C) wurde durch die Koeffizientenanhebung soweit verringert, dass die beiden Gruppen zu einer Gruppe 6 (Lehme) zusammengeführt werden konnten. Damit sind die Optimierungsarbeiten im Bereich Kulturarten-Koeffizienten zum Abschluss gekommen.

Im Vergleich zu den bisher üblichen Werten des ROS-Verfahrens ist eine deutliche Differenzierung entsprechend den Erfordernissen der Standortgruppen erfolgt (Tab. 41). Nach der neuen Zuordnung entspricht jetzt die Standortgruppe 5 genau dem bisherigen ROS-Verfahren. Leichtere Böden, sowie die Schwarzerden und umsetzungsträge Tonböden haben einen geringeren Umsatz bzw. einen geringeren Bedarf an organischer Substanz, um deren standortspezifischen Ausgangsgehalte an Humus zu erhalten. Dagegen ist auf den Lehmböden eine höhere Zufuhr an organischer Substanz erforderlich, um die Ausgangswerte mindestens einzuhalten. Wie zu erkennen ist, gibt es eine gewisse Übereinstimmung mit den von ASMUS & HERRMANN (1977) dargelegten Wertedifferenzierungen (vgl. Tab. 39).

Tabelle 41: Anbauspezifische Veränderung der Humusvorräte der Böden in Humusäquivalenten (kg C/ha u. Jahr) nach der VDLUFA- und der standortangepassten Methode

	VDLUFA-Methode		Standortangepasste Methode					
	Untere Werte	Obere Werte	Standortgruppe					
			1	2	3	4	5	6
Hauptfruchtarten								
Hackfrüchte: Rüben ¹	-760	-1300	-510	-610	-710	-660	-760	-900
Kartoffeln	-760	-1000	-510	-610	-710	-660	-760	-900
Mais: Silo- u. Körnermais ¹	-560	-800	-310	-410	-510	-460	-560	-700
Getreide ¹ : einschließl. Öl- u. Faserpflanzen, So.-Blume	-280	-400	-30	-130	-230	-180	-280	-420
Körnerleguminosen	160	240	410	310	210	260	160	20
Mehrj. Feldfutter¹								
Ackergras, Leguminosen, Leg.-Gras, Gemenge, Vermehrung								
je Hauptnutzungsjahr	600	800	850	750	650	700	600	460
im Ansaatjahr als Frühj.-Blanksaat	400	500	650	550	450	500	400	260
bei Gründeckfrucht	300	400	550	450	350	400	300	160
als Untersaat	200	300	450	350	250	300	200	60
als Sommerblanksaat	100	150	350	250	150	200	100	-40
Zwischenfrüchte¹								
Winterzwischenfrüchte	120	160	370	270	170	220	120	-20
Stoppelfrüchte	80	120	330	230	130	180	80	-60
Untersaat	200	300	450	350	250	300	200	60
Brache								
Selbstbegrünung								
ab Herbst	180	180	430	330	230	280	180	40
ab Frühjahr des Brachejahres	80	80	330	230	130	180	80	-60
Gezielte Begrünung								
ab Sommer f. folgende Brachejahre	700	700	950	850	750	800	700	560
ab Frühjahr des Brachejahres	400	400	650	550	450	500	400	260

¹ Koppelprodukt bzw. Aufwuchs abgefahren

9.3.3 Optimierung der Humifizierungskoeffizienten der organischen Materialien und Methodengenauigkeit

Ein Vergleich der Varianten ohne Extra-Zufuhr an organischer Substanz (Standard) und den anderen Varianten mit Zufuhr verschiedener organischer Materialien (Abb. 92, unten) zeigt keine ausgeglichenen Wirkungen im Vergleich zu den durchschnittlichen Ausgangsgehalten an C_{org} (= 0,0 %). Nachdem die Standard-Varianten durch eine optimale Anpassung der Kulturartenkoeffizienten

(siehe vorheriges Kap.) korrigiert werden konnten, wurde nun deutlich, dass auch die Reproduktionsleistung verschiedener organischer Materialien (Humifizierungskoeffizienten der Düngemittel), ausgehend von den Werten der VDLUFA-Methode, einer Korrektur zugeführt werden müssen.

Hinweise gab es schon seit geraumer Zeit aus Regionen mit höherem Humusumsatz, wie z.B. aus Süddeutschland. Hier wurden die hohen Reproduktionswerte von Stroh bei der Methode kritisiert. Auch durch Auswertungsarbeiten von KÖRSCHENS (2005) konnte am Beispiel von Versuchen mit Stroh-Varianten eine stark differenzierte Humifizierungswirkung ermittelt werden. Aus seinen Ergebnissen ist eine gewisse Übereinstimmung mit den hier vorgestellten Standortgruppen zu erkennen. So wiesen die sehr leichten Böden (meistens wiederum aus Ostdeutschland) und die Schwarzerde eine rel. hohe Reproduktion von ca. 150 – 120 kg C/t Stroh-FM auf, schwere Lehmböden dagegen wiesen Werte zwischen 50 kg und nahezu 0 kg C/t Stroh auf. ZIMMER & ROSCHKE (2006) berichten von Koeffizienten für Stalldung und Stroh, die ebenfalls z. T. deutlich von den Werten der VDLUFA-Methode abweichen. Auch sie fanden niedrigere durchschnittliche Reproduktionskoeffizienten.

Diese scheinbar unterschiedliche Reproduktionsleistung überrascht nicht und besteht auch nicht nur für Stroh, sondern kann für alle organischen Materialien festgestellt werden. Durch die Differenzierung der Standortgruppen wird diese Variationsbreite der Humusumsetzung jedoch bereits im Prinzip berücksichtigt, da ja immer auf der Grundlage eines Anbauverhältnisses mit den üblichen Kulturarten entsprechend der jeweils zutreffenden Standortgruppe kalkuliert wird. Daher sind jetzt keine nochmalig differenzierten Werte in der Reproduktionsleistung für die organischen Materialien erforderlich, sondern es wurden belastbare Durchschnittswerte für jede Düngemittelart erhoben und geprüft.

Durch eine genaue statistische Auswertung von sehr vielen Dauerversuchen aus dem Bereich Deutschland konnte aufgezeigt werden, dass, neben der standörtlichen Variationsbreite, die Reproduktionsleistung auch maßgeblich abhängig ist von der durchschnittlich zugeführten Substanzmenge. Je höher diese jährlichen Zufuhrmengen sind, umso geringer waren die Reproduktionsleistungen. Dieser Zusammenhang konnte für Stalldung auch schon in früheren Auswertungen festgestellt werden (siehe KOLBE & PRUTZER 2004). Im Folgenden werden zu einigen wichtigen organischen Materialien Ergebnisse aus den Dauerversuchen sowie die in den Methodenverbesserungen schließlich übernommenen Werte vorgestellt. Bei mittleren Zufuhrmengen bewegte sich die Reproduktionsleistung der organischen Materialien in der Rangfolge:

- Kompost > Stalldung > Gülle > Stroh > Gründüngung.

Aus den Abbildungen 94 und 95 ist zu sehen, dass im Prinzip mit steigenden Werten der durchschnittlichen TM-Zufuhr eine Abnahme in der Humifizierungsleistung eingetreten ist. Aus diesen Ergebnissen wurden für jede Art an organischem Material für drei bzw. zwei repräsentative Berei-

che der Mengenzufuhr die Reproduktionskoeffizienten ermittelt (Tab. 42). Danach wurden diese Werte als Ausgangswerte für die Methodenoptimierung verwendet.

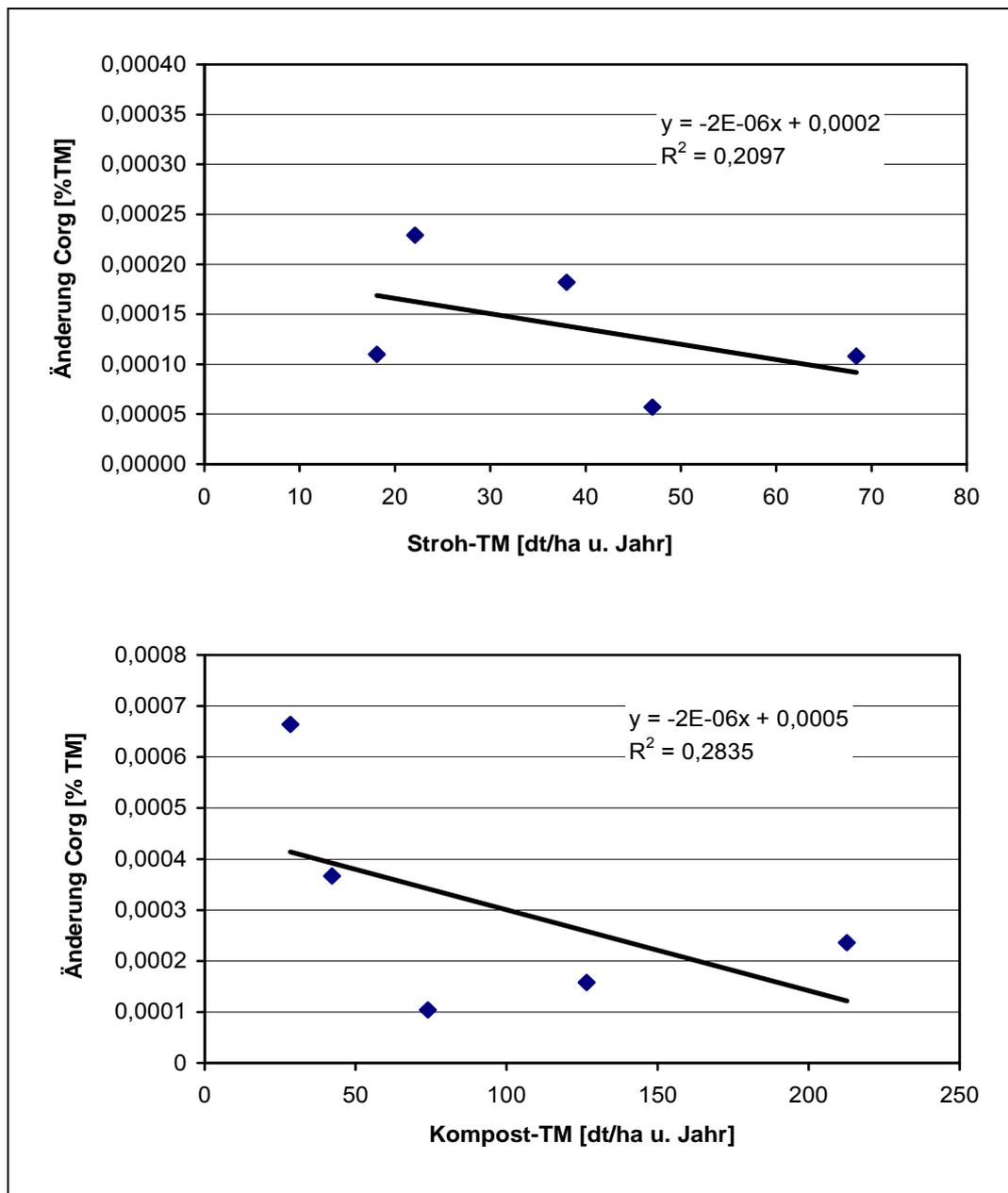


Abbildung 94: Einfluss steigender Zufuhren an Stroh und Kompost auf die Veränderung der C_{org} -Werte im Boden, ermittelt auf Grund von Mittelwertbildungen aus Ergebnissen vieler Dauerversuche

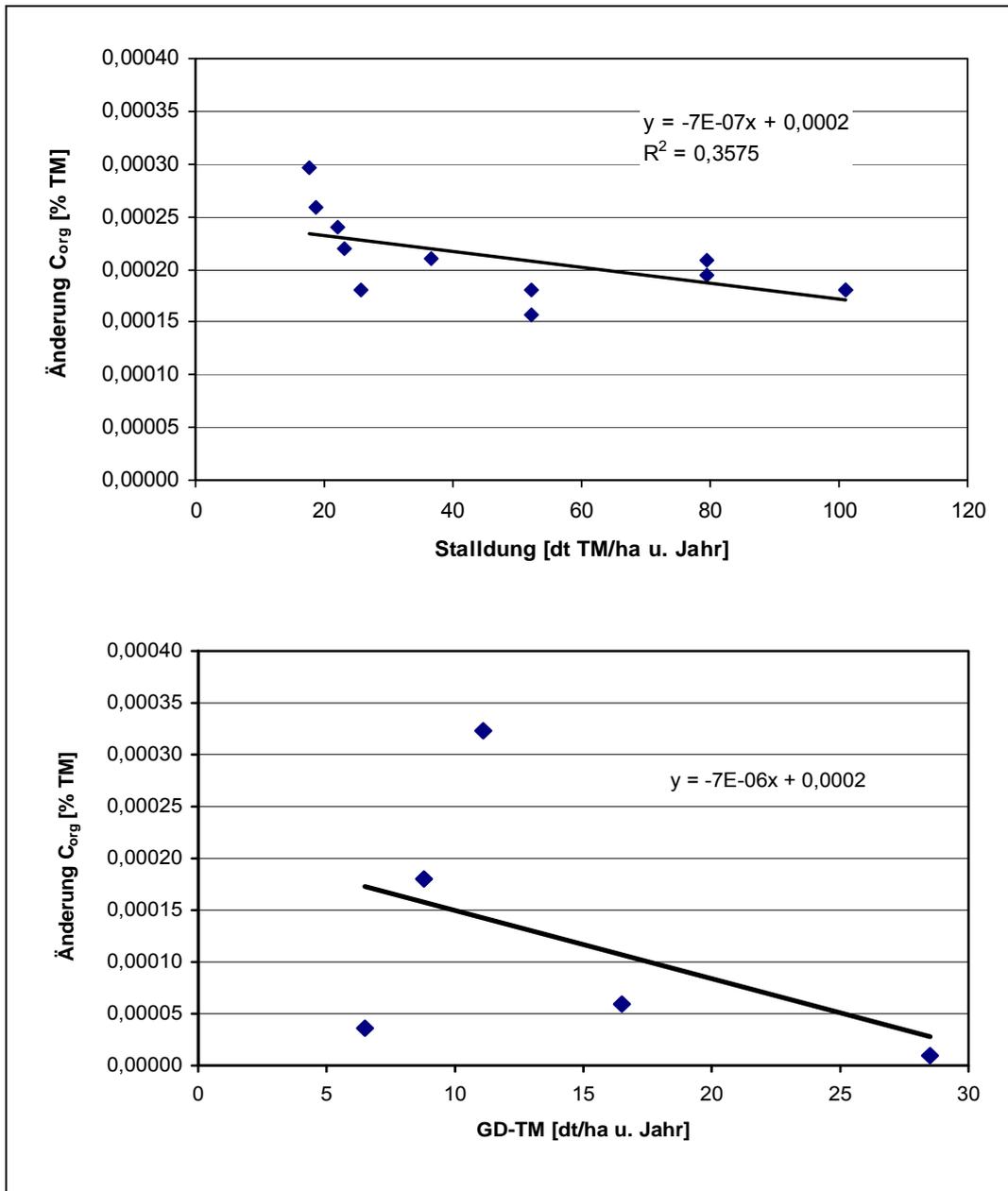


Abbildung 95: Einfluss steigender Zufuhren an Stallung und Gründüngung auf die Veränderung der C_{org}-Werte im Boden, ermittelt auf Grund von Mittelwertbildungen aus Ergebnissen vieler Dauerversuche.

Tabelle 42: Reproduktionskoeffizienten organischer Materialien, ermittelt aus Feld-Dauerversuchen und nach Prüfung übernommene Werte für die standortbezogene Humusbilanz-Methode

Arten organischer Materialien	Bereich an Zufuhrmengen (t/ha FM)	Aus Versuchen abgeleitete Reproduktionsleistung (kg C/t FM)	Nach Prüfung übernommene Reproduktionsleistung (kg C/t FM)	VDLUFA-Methode Reproduktionsleistung (kg C/t FM)
(Bioabfall)Kompost (55 % TM) (29 Standard- u. 58 Düngungs-Varianten)				96
	bis 10	92 - 99	92	
	10 – 20	74	74	
	über 20	58	58	
Stallung (25 % TM) (289 Standard- u. 377 Düngungs-Varianten)				40
	bis 10	34	33	
	10 – 20	28	26	
	über 20	24	23	
Gülle, Rind (7 % TM) (50 Standard- u. 101 Düngungs-Varianten Rind + Schwein)				9
	≤ 25	9,0	8,6	
	≥ 25	7,6	8,1	
Gülle, Schwein (8 % TM) (50 Standard- u. 101 Düngungs-Varianten Rind + Schwein)				8
	≤ 25	-	6,5	
	≥ 25	6,1	5,8	
Stroh (86 % TM) (122 Standard- u. 128 Düngungs-Varianten)				80 – 110
	bis 3	85	83	
	3 - 6	70	68	
	über 6	43	41	
Gründüngung (10 % TM) (97 Standard- u. 88 Düngungs-Varianten)				8
	bis 10	6,8	5,5	
	10 - 20	4,5	3,2	
	über 20	2,3	1	

In den meisten Fällen waren diese Werte wesentlich besser geeignet als die bisher veranschlagten Werte in der VDLUFA-Methode. In jedem Fall wurden z. T. deutlich niedrigere Koeffizienten ermittelt, als bisher veranschlagt worden sind (vgl. Abhandlung bei Stroh). Zudem war es nur bei einigen organischen Materialien notwendig, von den experimentell ermittelten Werten Abweichungen vorzunehmen. So wurde eine hohe Übereinstimmung für die Arten Kompost, Stallung und Stroh gefunden. Bei diesen Arten war es kaum notwendig nochmals Korrekturen vorzunehmen.

Auch bei den Güllearten konnten die experimentell gefundenen Werte durch die Modelloptimierungen bestätigt werden (Tab. 42). Daher wurden zunächst diese Koeffizienten eingesetzt, die bei niedrigen Zufuhrmengen an Rindergülle den VDLUFA-Werten entsprachen. Es konnte darüber hinaus eine nochmalige Verbesserung der Modellanpassung gefunden werden, wenn auch mit steigenden Düngergaben an Gülle abfallende Reproduktionswerte zu Grunde gelegt wurden.

Bei den Werten, die aus experimentellen Auswertungen zur Gründüngung ermittelt worden sind, mussten ebenfalls deutlichere Veränderungen vorgenommen werden. Da bei der Gründüngung meistens zusätzlich noch ein Kulturarten-Koeffizient (z.B. für die Zwischenfrucht) zum Einsatz kommt, muss dieser Betrag von den experimentell ermittelten Werten noch abgezogen werden. Aus diesem Grund liegen die durch die Feinabstimmung ermittelten Werte für die Gründüngung niedriger als die Experiment-Werte. Bei der Gründüngung besteht ebenfalls ein rel. großer Abstand zu den bisher angenommenen Werten in der VDLUFA-Methode (Tab. 42).

Nach den vorliegenden Kalkulationen zur Gründüngung können jetzt auch z.B. auf Lehmböden negative Werte in der Humuswirkung berechnet werden. Wie viele experimentelle Hinweise belegen, kommt es gar nicht so selten vor, dass es bei einer Zufuhr von rel. hohen Mengen leicht zersetzbarer Materials zu sog. Priming-Effekten im Boden kommen kann. Hierdurch können die Bodenreserven an Humus angegriffen werden, daher die negativen Werte. In dem jetzt veranschlagten Verfahren können derartige Effekte im Prinzip abgebildet werden, von einer quantitativen Berechnung ist man aber noch weit entfernt.

Der ermittelte Fortschritt in der Berechnungsgenauigkeit kann exemplarisch an steigenden Zufuhrmengen von Stallung und Kompost deutlich aufgezeigt werden (Abb. 96). Ein großer Mangel an dem VDLUFA-Verfahren besteht darin, dass hohe jährliche Zufuhrmengen an diesen organischen Materialien immer ungenauer abgebildet worden sind. Durch die zu hohe Bewertung des Stallungs wurden zu geringe Beträge berechnet, um ein 100%iges Versorgungsniveau aufrecht zu erhalten. Dadurch würden die C_{org} -Werte des Bodens dann im Vergleich zum Ausgangsniveau abfallen. Nach dem jetzt vorgeschlagenen Stufensystem tritt diese unterschiedliche Reaktion nicht mehr auf. Besonders die hohen Zufuhrmengen werden deutlich genauer eingeschätzt. Daher ist es jetzt auch möglich, höhere jährliche Zufuhrmengen als 150 dt/ha Stallung zu verrechnen.

Im Vergleich zu keiner Extra-Zufuhr von organischen Materialien werden jetzt alle in Abbildung 97 aufgeführten Arten an organischem Material gleichwertig abgebildet. Im Durchschnitt wird für jede Art ein Mittelwert von +0,06 % C_{org} berechnet. Auch bei der Bewertung der Fruchtfolgeanteile sind weitere Verbesserungen eingetreten (Abb. 98). Gegenüber der Zwischenlösung (siehe Abb. 93) werden nochmals weniger Extremwerte gefunden und Fruchtfolgen mit keinen Leguminosen bzw. keinen Hackfrüchten werden nochmals genauer dargestellt, so dass für jede Bedingung eine weitgehend gleichwertige Bewertung erfolgt.

An den Mittelwerten der Standortgruppen kann abgelesen werden, dass die Schwarzerde der Gruppe 1 mit +0,11 % C_{org} höhere mittlere Werte erzielt als die anderen Gruppen, bei denen fallende Werte bis zur Gruppe 6 (Lehm) mit durchschnittlich +0,04 % C_{org} ermittelt werden (Abb. 97 oben). Diese noch geringfügig degressiven Verläufe sind mit Absicht so fixiert worden, damit aus praktischen Erwägungen für die einzelnen Gruppen nicht zu extreme Empfehlungen berechnet werden. Hierbei ist an die direkte Praktikabilität zu denken. Auch können die leichten Böden aus den bekannten Gründen eine etwas höhere Zufuhr gut gebrauchen als die fruchtbaren schweren Böden (sandige Lehme und Lehme). Die Auswirkungen sind aber nicht besonders gravierend.

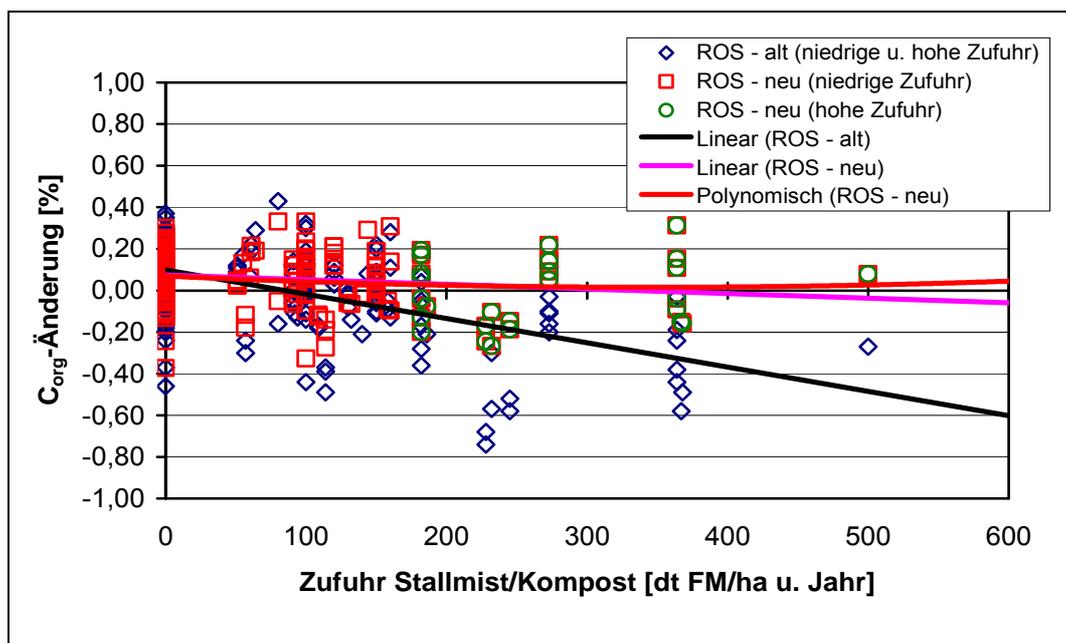


Abbildung 96: Zusammenhang zwischen steigender Zufuhr an Stallung und Kompost auf die Ergebnisse der unteren Werte (ROS) der VDLUFA-Methode und der verbesserten Werte der Kulturarten-Koeffizienten zur Veränderung der C_{org} -Werte im Boden bei 100 % Bedarfsdeckung mit organischer Substanz

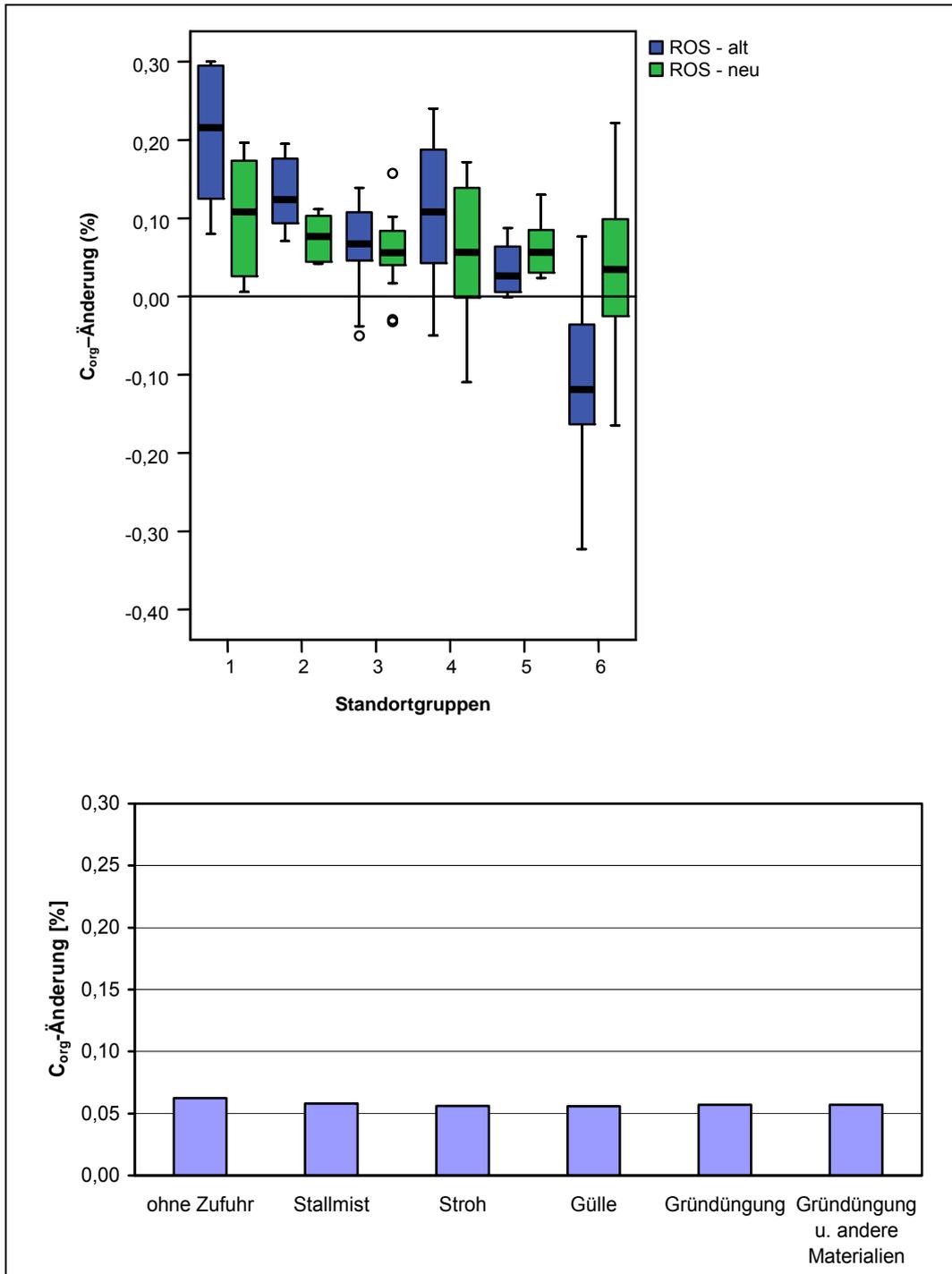


Abbildung 97: Ergebnisse der Optimierungsarbeiten für die Koeffizienten der Kulturarten und organischen Materialien: Standortgruppen (oben); ohne und mit Zufuhr an organischer Substanz verschiedener Quellen (unten)

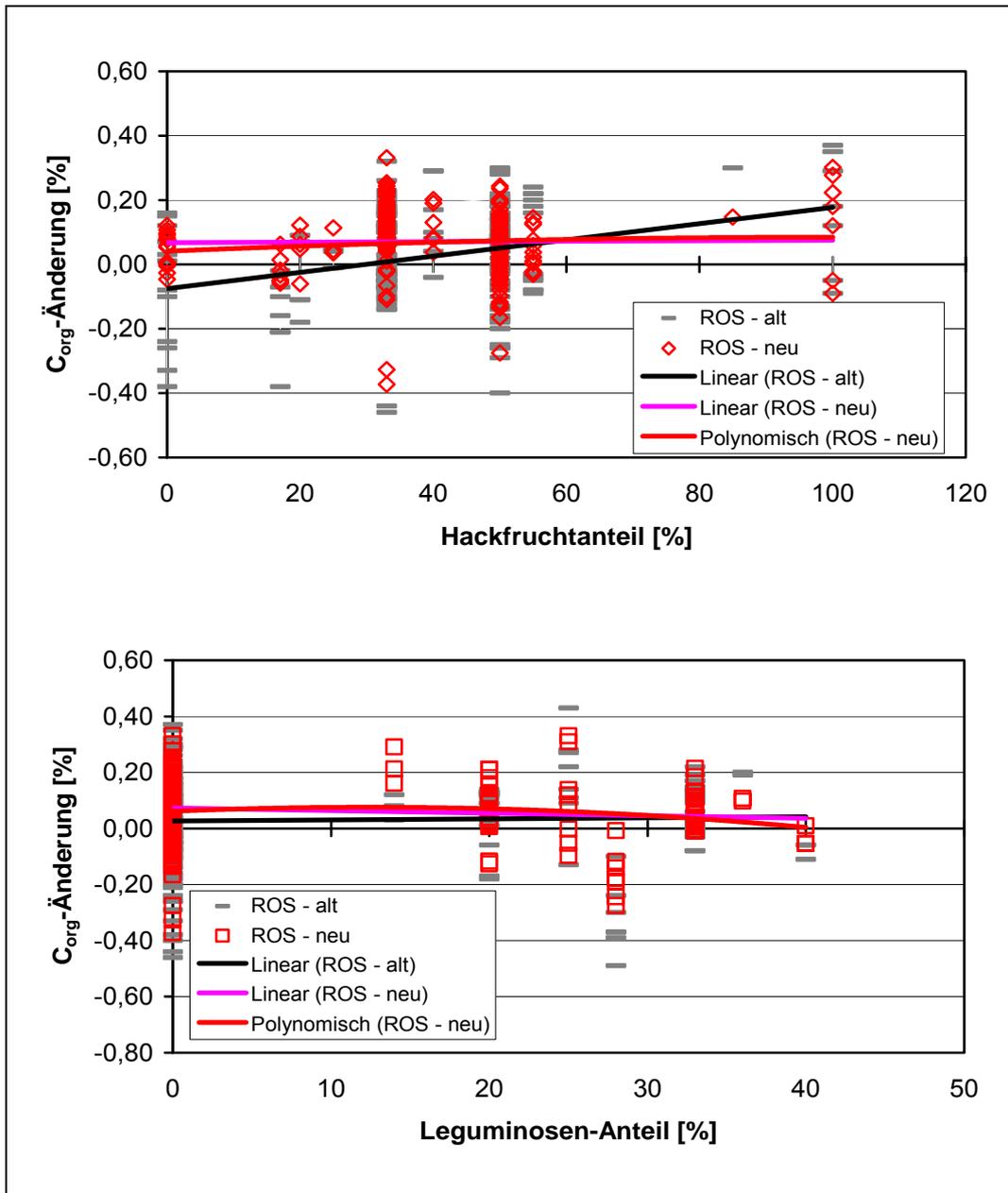


Abbildung 98: Ergebnisse der Optimierungsarbeiten für die Koeffizienten der Kulturarten und organischen Materialien: Hackfruchtanteil (oben) und Leguminosenanteil (unten) in der Fruchtfolge

Tabelle 43: Statistische Prüfkriterien der Ausgangswerte der unteren Werte (ROS) sowie der optimierten Endwerte der Humifizierungskoeffizienten der Kulturarten und organischen Materialien und deren Auswirkung auf die Veränderung der C_{org}-Gehalte (%) bei 100 % Bedarfsabdeckung bei Verwendung von sechs Standortgruppen bzw. bei vier Standortgruppen

Prüfkriterien	ROS Ausgang	Endwerte für 6 Standortgruppen, incl. Extremwerte	Endwerte für 6 Standortgruppen, ohne Extremwerte	Endwerte für 4 Standortgruppen, incl. Extremwerte	Endwerte für 4 Standortgruppen, ohne Extremwerte
Anzahl Varianten	328	328	299	328	299
Mittelwert	0,0016	0,0591	0,0655	0,0593	0,0651
Standardfehler Mittelwert	0,010154	0,006247	0,006158	0,006283	0,006199
Median	0,030	0,0677	0,0765	0,0711	0,1050
Standardabweichung	0,183901	0,113141	0,106489	0,113786	0,107186
Varianz	0,034	0,013	0,011	0,013	0,011
Spannweite:	1,170	0,704	0,704	0,727	0,727
Perzentile: 25 %	-0,0775	0,00032	0,00710	-0,0060	0,00551
50 %	0,0300	0,06768	0,07651	0,07110	0,07209
75 %	0,1200	0,12916	0,12927	0,13591	0,13638

Aus Tabelle 43 sind die Endresultate der Optimierungsarbeiten wiedergegeben worden. Bei der Verwendung von sechs Standortgruppen (bzw. vier Standortgruppen) und den drei Gruppen für die Aufwandmenge an organischen Materialien können die statistischen Prüfkriterien, wie die Schwankungsbreite und die Verteilung verbessert werden, so dass die Sicherheit der Methode nochmals deutlich erhöht wurde (vgl. Tab. 40). Am Beispiel der Varianz ist zu erkennen, dass die Werte im Vergleich zu den ROS-Ausgangswerten (inkl. Extremwerte) um 62 % und ohne Extremwerte sogar um 68 % verringert worden sind. Bei 100 % Bedarfsdeckung mit organischer Substanz wird ein mittlerer Wert von +0,06 % C_{org} erreicht, dabei sind jeweils über 75 % (beim besten Verfahren ca. 80 %) der Werte im positiven Bereich, d.h. die Methode kann jetzt mit einer deutlich verbesserten Sicherheit angewendet werden (Abb. 99 u. 100).

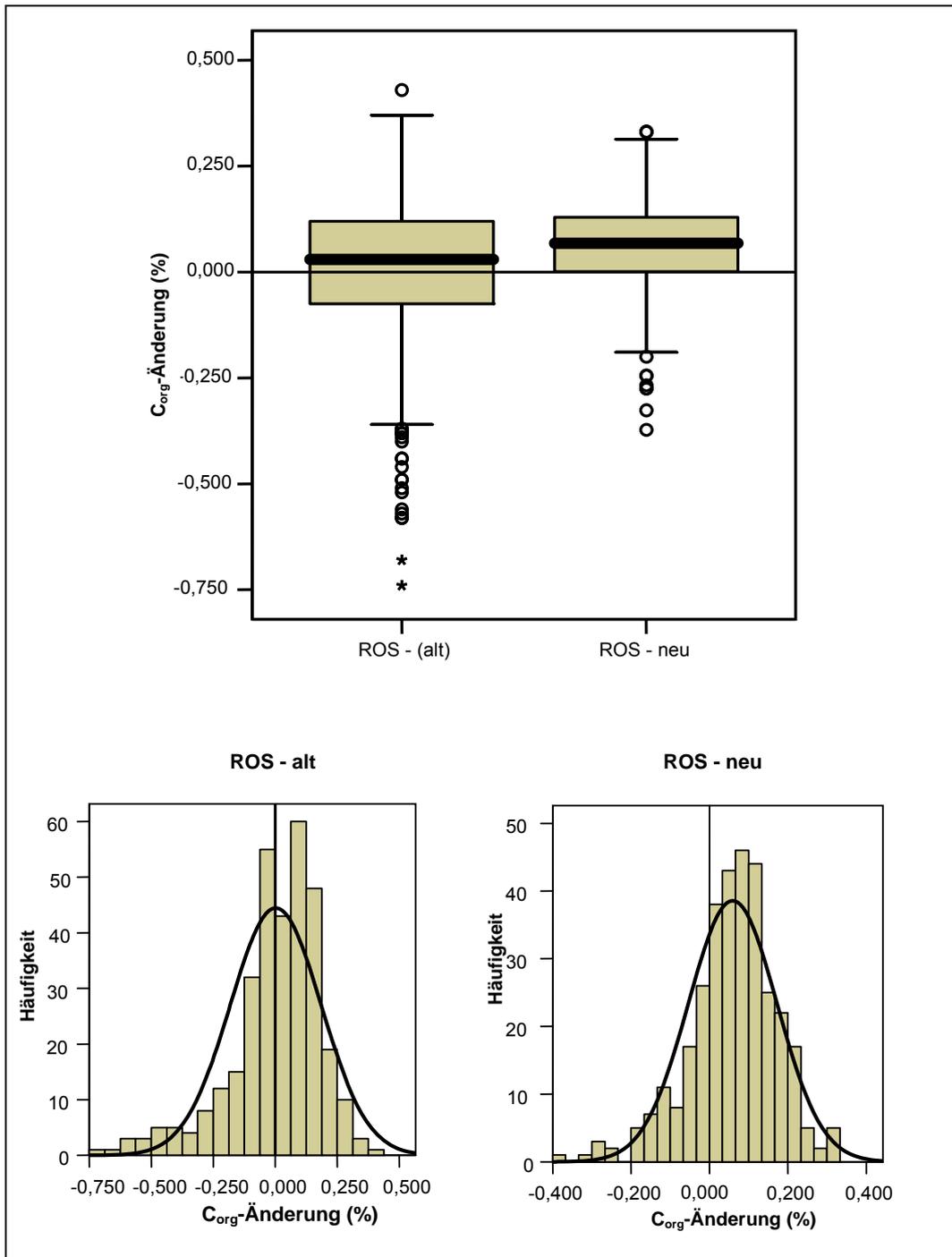


Abbildung 99: Boxplot (oben) und Verteilungskurven (unten) der Häufigkeiten der Veränderung der C_{org} -Gehalte bei 100 % Bedarfsabdeckung bei Anwendung der unteren Werte (ROS – alt) sowie der Endwerte des optimierten Verfahrens bei Verwendung von sechs Standortgruppen unter Einbeziehung von Extremwerten in der Düngung (ROS – neu)

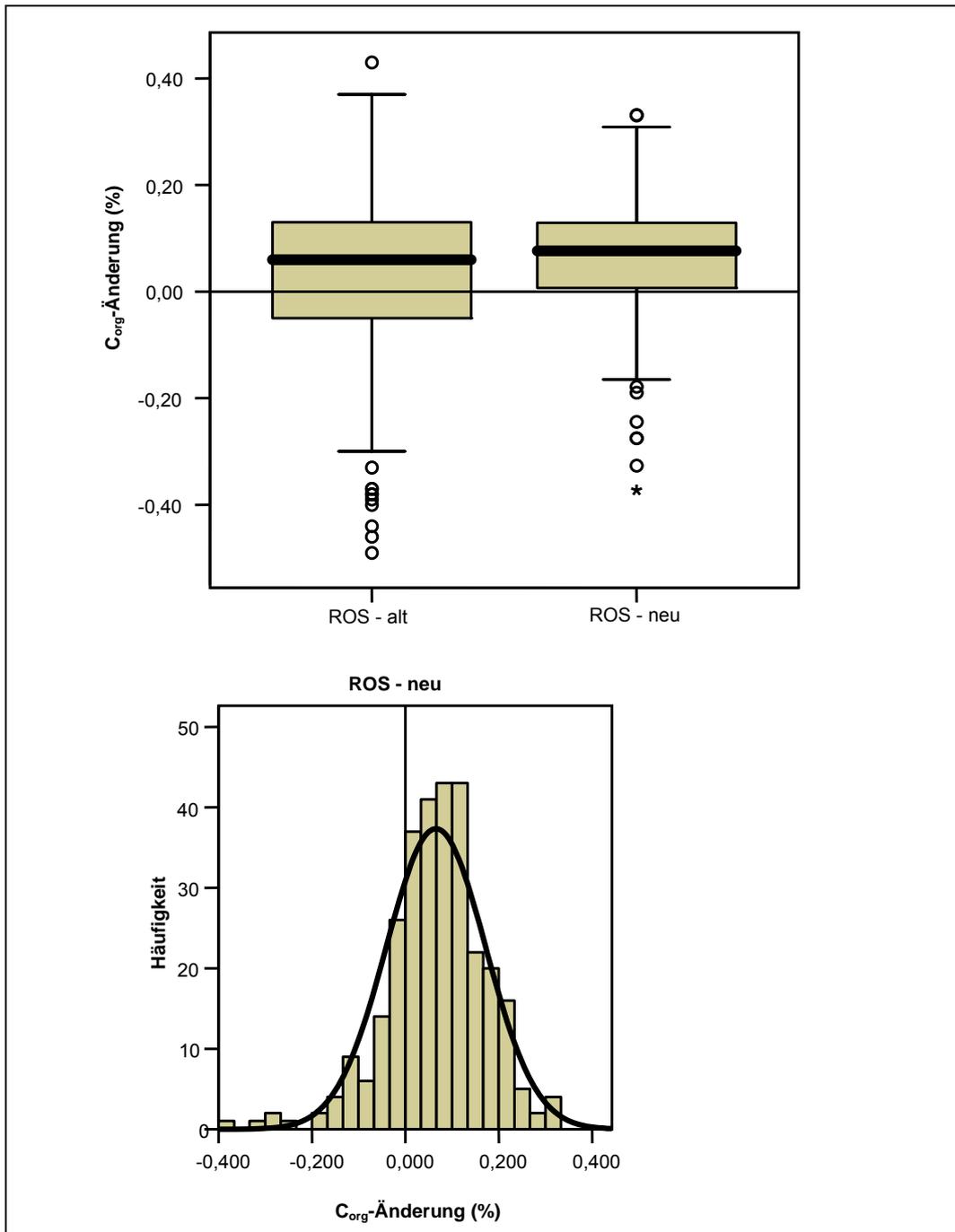


Abbildung 100: Boxplot (oben) und Verteilungskurve (unten) der Häufigkeiten der Veränderung der C_{org} -Gehalte bei 100 % Bedarfsabdeckung bei Anwendung der unteren Werte (ROS – alt) sowie der Endwerte des optimierten Verfahrens bei Verwendung von sechs Standortgruppen unter Ausschluss von Extremwerten der Düngung (ROS – neu)

Für eine weitere Verbesserung der praktischen Handhabung (z. B. für eine manuelle Berechnungsmöglichkeit) wurde weiterhin versucht, die Anzahl der Standortgruppen zu reduzieren (Tab. 44). Hierbei wurde die Standortgruppe 2 und 4 (Sand bis einschl. sandiger Lehm, jeweils unter 8,5 °C) sowie die Gruppen 3 und 5 (Sand bis einschl. sandiger Lehm, jeweils über 8,5 °C) zu zwei Gruppen zusammengefasst, da deren Koeffizienten rel. dicht beieinander liegen. Die anderen Gruppen sind nicht verändert worden. Die Genauigkeitsprüfung hat für dieses Modell ergeben, dass deren statistische Prüfkriterien keine größeren Differenzen zu den jeweiligen Werten bei Verwendung von sechs Standortgruppen aufweisen (siehe Tab. 43). Aus diesem Grund ist es auch möglich, die Standortwirkung mit nur vier Gruppen zu berücksichtigen.

Eine weitere Möglichkeit besteht noch darin, die Auswahlmöglichkeit bei den Humifizierungskoeffizienten der Aufwandmengen an organischen Materialien etwas zusammenzufassen. So wäre es möglich, nur die Koeffizienten für ein manuelles Berechnungsverfahren anzubieten, deren Zufuhrhöhen im Durchschnitt in der landwirtschaftlichen Praxis vorhanden sind. Die Auswirkungen von vereinfachten Gruppen auf die Methodensicherheit ist allerdings nicht geprüft worden. Es ist aber an den dargelegten Ergebnissen der einzelnen Schritte zur Methodenoptimierung zu erkennen, dass gerade die Ausbildung von verbesserten Werten (meistens sind die Werte in der Höhe herabgesetzt worden) sowie auch die Gruppenbildung zwischen niedrigen, mittleren und hohen Zufuhrmengen die Sicherheit der Methode deutlich verbessert hat.

Tabelle 44: Veränderung der Humifizierungskoeffizienten der Kulturarten in Humus-äquivalenten (kg C/ha u. Jahr) bei Ausweisung von vier Standortgruppen

Standortgruppe	1	2	3	4
	(kg C/ha × a)			
Hauptfruchtarten				
Hackfrüchte: Rüben, Kartoffeln	-510	-630	-730	-900
Mais: Silo- u. Körnermais	-310	-430	-530	-700
Getreide: einschließl. Öl- u. Faserpflanzen, So.-Blume	-30	-150	-250	-420
Körnerleguminosen	410	290	190	20
Mehrj. Feldfutter				
Ackergras, Leguminosen, Leg.-Gras, Gemenge, Vermehrung				
je Hauptnutzungsjahr	850	730	630	460
im Ansaatzjahr als Frühj.-Blanksaat	650	530	430	260
bei Gründeckfrucht	550	430	330	160
als Untersaat	450	330	230	60
als Sommerblanksaat	350	230	130	-40
Zwischenfrüchte				
Winterzwischenfrüchte	370	250	150	-20
Stoppelfrüchte	330	210	110	-60
Untersaat	450	330	230	60
Brache				
Selbstbegrünung				
ab Herbst	430	310	210	40
ab Frühjahr das Brachejahres	330	210	110	-60
Gezielte Begrünung				
ab Sommer für folgende Brachejahre	950	830	730	560
ab Frühjahr des Brachejahres	650	530	430	260

Ein Vergleich mit den in der Literatur etablierten Standortgruppen zeigt, dass es bei einigen Gruppen eine deutliche Übereinstimmung mit dem von ASMUS & HERRMANN (1977) vorgestellten Werten gibt. In neuerer Zeit wird ein ähnliches System von der Bayerischen Landesanstalt sowie von der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft angeboten (TLL 1995). Während in Thüringen nur noch drei Gruppen für leichte, mittlere und schwere Böden unter Auslassung der Schwarzerden zur Anwendung kommen, sind es bei ASMUS & HERRMANN (1977) vier Gruppen zur Bemessung der reproduktionswirksamen organischen Substanz für die einfache Reproduktion (ROS) (vgl. Tab. 39).

Die Werte für die Hackfrüchte, Mais und die Getreidearten weisen eine sehr ähnliche Höhe auf im Vergleich mit den hier vorgestellten optimierten Werten für vier oder sechs Standortgruppen. So

werden für Hackfrüchte nach ASMUS & HERRMANN (1977) bei Schwarzerde umgerechnet -580 kg C/ha u. Jahr empfohlen und nach den eigenen optimierten Werten jetzt -510 kg/ha (vgl. Tab. h3 u. h6). Nach der 6-Gruppen-Einteilung entspricht bei den leichteren Böden die Gruppe 3 sehr gut der bisherigen Gruppe für die leichten Böden (S, SI). Es handelt sich hierbei meistens um Standorte von leichten Böden mit einer Durchschnittstemperatur von 8,5 °C und höheren Werten, wie es in Brandenburg in Ostdeutschland, dem Ursprung der früheren Systeme, auch zutrifft. Eine gute Übereinstimmung gibt es auch für die mittleren Böden im gleichen Temperaturbereich (Gruppe 5). Auch die schweren Böden zeigen z.B. für die Hackfrüchte mit umgerechnet -880 kg C/ha eine sehr gute Übereinstimmung mit den hier jetzt vorgestellten Werten von -900 kg C/ha u. Jahr. Nur bei den besonders schweren Böden gibt es keine Übereinstimmung. Diese Böden wurden auf Grund der hinzugezogenen weiteren Versuche zu einer Gruppe mit geringerer Abbauintensität eingestuft. Entsprechend der Verfügbarkeit von Versuchen aus dem gesamten deutschen Bereich (Mitteleuropa) konnte darüber hinaus jetzt auch eine Etablierung von weiteren wichtigen Standortgruppen erfolgen, was unter den damaligen Verhältnissen nicht möglich war. Deshalb decken die jetzt etablierten Standortgruppen sowohl den ostdeutschen Bereich als auch den gesamtdeutschen Bereich besser ab. Es kann daher vorgeschlagen werden, diese Standortgruppen für den gesamten deutschen Bereich zu verwenden.

Wie weiter aus der Gegenüberstellung zu erkennen ist, stimmen die positiven Werte z.B. für Ackerfutter zwar in der generellen Höhe ebenfalls ganz gut mit den Werten von ASMUS & HERRMANN (1977) überein. Die Abstufung zwischen den Standortgruppen wurde aber grundlegend anders vorgenommen. Hierbei wurde nach heutiger Ansicht allen Kulturarten (EWR, inkl. bodeneigener Dynamik) eines Standortes die gleiche Umsetzungsreaktion unterstellt. So führt eine hohe Abbauintensität der organischen Substanz incl. des Humusgehaltes des Bodens z.B. auf den Lehm Böden zu stark negativen Wirkungen bei den Hackfrüchten und gleichzeitig zu geringer positiven Wirkungen in der Humusreproduktion z.B. bei den mehrjährigen Futterpflanzen.

Daher nehmen die Reproduktionskoeffizienten z.B. von mehrjährigem Klee gras von 850 kg C/ha bei Schwarzerden (erste Gruppe) bis zu den Lehmen (letzte Gruppe) bis auf 460 kg C/ha u. Jahr ab (vgl. Tab. 41 u. 44), während sie bei ASMUS & HERRMANN (1977) von umgerechnet 540 kg C auf 660 kg C/ha und Jahr zunehmen (siehe Tab. 39). Durch die Optimierungsarbeiten konnte deutlich aufgezeigt werden, dass die eigene Vorgehensweise nicht nur theoretisch, sondern auch anhand der in den Versuchen gemessenen Werte besser mit der Wirklichkeit übereinstimmt.

Auch im Bereich der erweiterten Reproduktion (HE) wurden standortgebundene Gruppen erarbeitet. Wie den Koeffizienten von KUNDLER et al. (1981) zu entnehmen ist, liegen die Werte z. T. entsprechend der Zielvorstellung einer positiven Humusbilanz deutlich höher im Vergleich zu denen bei ASMUS & HERRMANN (1977) bzw. den hier vorgestellten Werten. Im Vergleich mit der VDLUFA-Methode wurden für die unteren Werte (ROS) im Wesentlichen die Humifizierungskoeffizienten für die leichten Böden, d.h. die niedrigsten bis mittleren Koeffizienten von ASMUS & HERRMANN (1977)

übernommen, während von den oberen Werten (HE) die Koeffizienten für die V-Böden in Höhenlagen mit den höchsten negativen Werten z.B. für die Hackfrüchte verwendet worden sind (KUNDLER et al. 1981).

Da für die positive Leistung der Futterpflanzen verhältnismäßig niedrige Werte etabliert worden sind (Feldgras 600, Klee gras 1300 kg C_{org} /ha im Vergleich zu 800 kg C_{org} in der VDLUFA-Methode) wird deutlich, dass mit Verfahren nach KUNDLER et al. (1981) es bei Versorgung auf 100 % Bedarf zu einer erheblichen Anreicherung an Humus kommt, besonders wenn ein Einsatz auf den Tonböden oder den V-Standorten in Höhenlagen erfolgt. Auf Grund der Trägheit dieser Böden, mit oft schnell eintretender Wassersättigung und den rel. niedrigen Temperaturen führt dies gerade auf den schweren Böden zu einer völligen Fehleinschätzung der Wirklichkeit.

Aus dieser Gegenüberstellung wird klar, dass die in der VDLUFA-Methode vorgeschlagenen unteren und oberen Werte an Koeffizienten lediglich einen gewissen Rahmen vorgeben. Eine genaue Bemessung ist hiernach nur für einige kleine Regionen möglich, aber in keinem Fall eine verlässliche Anwendung auf allen in Deutschland vorkommenden Standortverhältnissen. Wie den Tabellen 41 und 44 zu entnehmen ist, liegen die in dieser Arbeit ermittelten optimierten Werte zwischen diesen beiden extremen Grenzen der unteren und oberen Werte des VDLUFA-Verfahrens. Als Ergebnis der Diskussion kann daher festgehalten werden, dass die jetzt vorgeschlagenen Werte wesentlich besser die realen Verhältnisse der verschiedenen Standorte abdecken. Dieses Ergebnis kann auch durch die in der Vergangenheit etablierten standortspezifischen Koeffizienten im Wesentlichen bestätigt werden. Auf Grund vieler Optimierungsversuche wurden jeweils bessere Ergebnisse erzielt, wenn die ROS-Werte zugrunde gelegt wurden. Dies war zunächst unabhängig davon, ob eine einfache oder eine erweiterte Reproduktion mit den Optimierungsarbeiten angestrebt worden ist.

Diese Optimierungsarbeiten hatten aber darüber hinaus zum Ziel, eine möglichst genaue Kalibrierung des Berechnungsergebnisses mit der Veränderung der Humusgehalte des Bodens vorzunehmen. Eine Eichung des Berechnungsverfahrens wurde derart vorgenommen, dass bei einer 100%igen Bedarfsdeckung mit organischer Substanz aus der Fruchtfolge unter Einbeziehung der Zufuhr über die organische Düngung (Ergebnis der Bilanzierung = 0 kg C/ha u. Jahr) gleichzeitig keine Veränderung der Humusgehalte auf den verschiedenen Standorten stattfindet. Bei Erreichen dieser ausgeglichenen Bilanz sollte also eine hohe Gewährleistung gegeben werden können, dass die jeweils standort- und bewirtschaftungstypischen Gehalte des Bodens an Humus eingehalten werden. Den erlangten Ergebnissen ist zu entnehmen, dass dies im Durchschnitt der Standortgruppen mit den vorgeschlagenen Koeffizienten zu 75 – 80 % der Fälle eintritt und somit eine hohe Wahrscheinlichkeit gegeben ist, dass die standorttypischen Werte eingehalten werden.

Auf Grund der aber immer noch erheblichen Schwankung der Werte ist allerdings davon auszugehen, dass dem Wesen nach mit dem vorliegenden Verfahren keine voll quantitative Berechnung

erfolgen kann. Dafür sind die Eingabeparameter für die Kulturarten und die Standortbeschreibung zu ungenau. Die vorgestellte Methode erlaubt daher nur die Berechnung von halb-quantitativen Abschätzungen, die allerdings jetzt eine rel. sichere allgemeine Orientierung des Versorgungszustandes der Böden mit Humus erlauben.

Da hierbei so gut wie keine deutlichen Unterschiede zwischen landwirtschaftlichen Systemen mit unterschiedlicher Intensität bestehen, können diese grundlegenden Werte für die Reproduktionskoeffizienten der Kulturarten und der organischen Materialien für konventionelle und ökologische Anbauverfahren übernommen werden (siehe hierzu ausführliche Diskussion bei KOLBE & PRUTZER 2004). Es konnte eindeutig nachgewiesen werden, dass der Anbau z.B. einer Getreideart oder die Applikation einer bestimmten Menge an Stallung keine unterschiedliche Wirkung auf den Boden zwischen diesen Anbausystemen bewirkt.

9.3.4 Optimierung des VDLUFA-Bewertungssystems der Versorgungsgruppen A – E für konventionelle und ökologische Anbauverfahren

Das von dem VDLUFA entwickelte Bewertungssystem für pflanzenverfügbare Nährstoffgehalte im Boden ist auch für die Bewertung der Humussalden übernommen worden (siehe KÖRSCHENS et al. 2004). Es wurden hierzu fünf Stufen von A = sehr niedrig mit unter -200 kg C/ha u. Jahr bis E = sehr hoch mit über 300 kg C/ha u. Jahr festgelegt. Die anzustrebende optimale Stufe C umfasst die Humusäquivalente von -75 kg bis +100 kg C/ha u. Jahr. In der Zwischenzeit gab es hierzu eine lebhafte Diskussion, welche Höhe an Versorgungsgraden für die einzelnen Stufen festzulegen ist. Auf der einen Seite war zu befürchten, dass bei einer zu hohen Anreicherung an Humus durch die dann gesteigerten Umsetzungsraten ein erhöhtes Risiko für Stickstoffverluste und negative umweltbedingte Auswirkungen auftritt (KÖRSCHENS mündl. Mittlg.). Auf der anderen Seite erreichen z. B. Betriebe des ökologischen Landbaus z. T. wesentlich höhere Versorgungsgrade mit Humus, ohne dass negative umweltbedingte Auswirkungen zu messen sind.

KOLBE & PRUTZER (2004) haben anhand von Ergebnissen aus Dauerversuchen den Zusammenhang zwischen dem Ergebnis der Humusbilanzierung und den N-Salden (ohne N-Deposition über die Luft) untersucht und in Abhängigkeit von einer steigenden mineralischen N-Düngung dargestellt (siehe Abb. 84). Nach diesen Ergebnissen besteht ein rel. enger Zusammenhang zwischen der Höhe der N-Mineraldüngung und den berechneten Humussalden, weil zur Einhaltung eines bestimmten N-Saldenniveaus ein steigender Humussaldo durch eine abnehmende N-Mineraldüngung ersetzt werden kann (und anders herum).

Diese grundlegenden Zusammenhänge wurden jetzt dazu verwendet, um das bestehende Bewertungssystem weiter zu entwickeln. Hierzu wurden wiederum die Ergebnisse der Humusbilanzierung der untersuchten Varianten aus den Dauerversuchen getrennt nach den vorgeschlagenen sechs bzw. vier Standortgruppen den in den Versuchen ermittelten N-Salden gegenübergestellt. Dann wurden die Humussalden manifestiert, bei denen die Schwellenwerte von 25 kg bzw. von 50 kg N-

Saldo/ha u. Jahr überschritten werden. Die Vorgehensweise soll am Beispiel der Standortgruppe 3 (im vorgeschlagenen 4-Gruppen-Standortsystem) näher erläutert werden (Abb. 101).

Die Bewirtschaftungsvarianten ohne N-Düngung überschreiten hiernach die Grenze von z.B. 50 kg N/ha entsprechend der abgebildeten Gerade bei einem Humussaldo von ca. 450 kg C/ha. Soll bereits ein Saldo von 25 kg N/ha nicht überschritten werden, so muss der Humussaldo niedriger ausfallen und darf im Durchschnitt ca. 250 kg C/ha nicht mehr überschreiten. Aus der Abbildung 94 ist weiterhin deutlich zu sehen, dass in Anbauverfahren mit höherer N-Mineraldüngung dann die Humussalden entsprechend den angestrebten N-Saldo-Grenzen zu reduzieren sind.

Entsprechend diesem Beispiel wurden die betreffenden Humussalden für die Standortgruppen bei 25 kg N-Saldo und bei 50 kg N-Saldo abgelesen und die Ergebnisse in Schaudiagramme übertragen (Abb. 102). Es ist deutlich zu sehen, dass in Anbauvarianten ohne N-Mineraldüngung höhere Humussalden akzeptiert werden können, als bei Varianten mit höherer N-Mineraldüngung. Außerdem ist zu erkennen, dass bei den schwereren Böden (mit Ausnahmen der Gruppen 1 = Schwarzerden) höhere Humussalden akzeptiert werden können als bei den leichten Böden, um einen bestimmten N-Saldo nicht zu überschreiten.

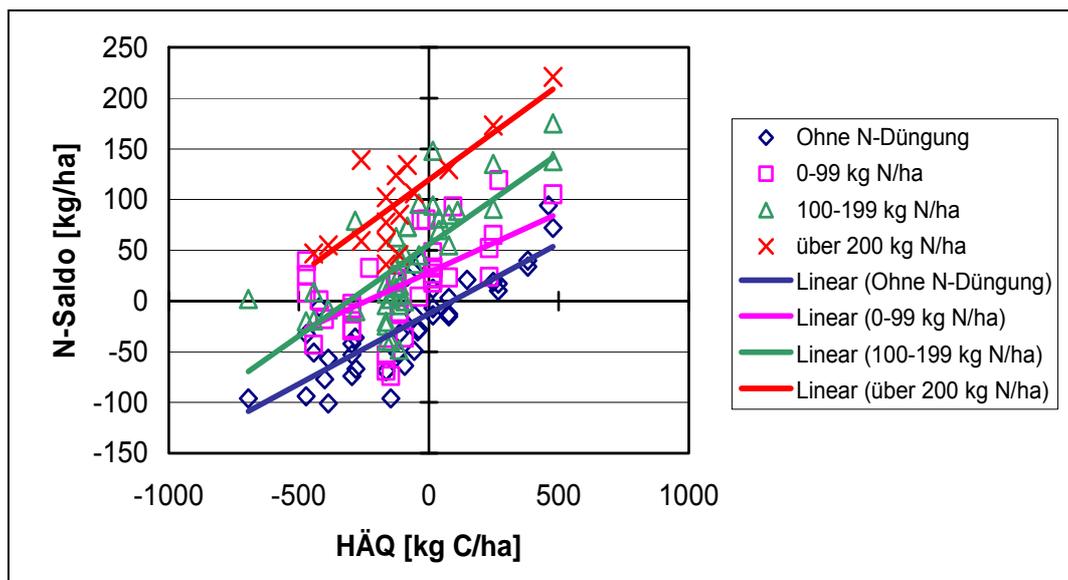


Abbildung 101: Zusammenhang zwischen steigenden Humussalden (HÄQ), der Höhe der N-Mineraldüngung und den berechneten N-Salden ermittelt aus Dauerversuchen der Standortgruppe 3 (4-Gruppen-System)

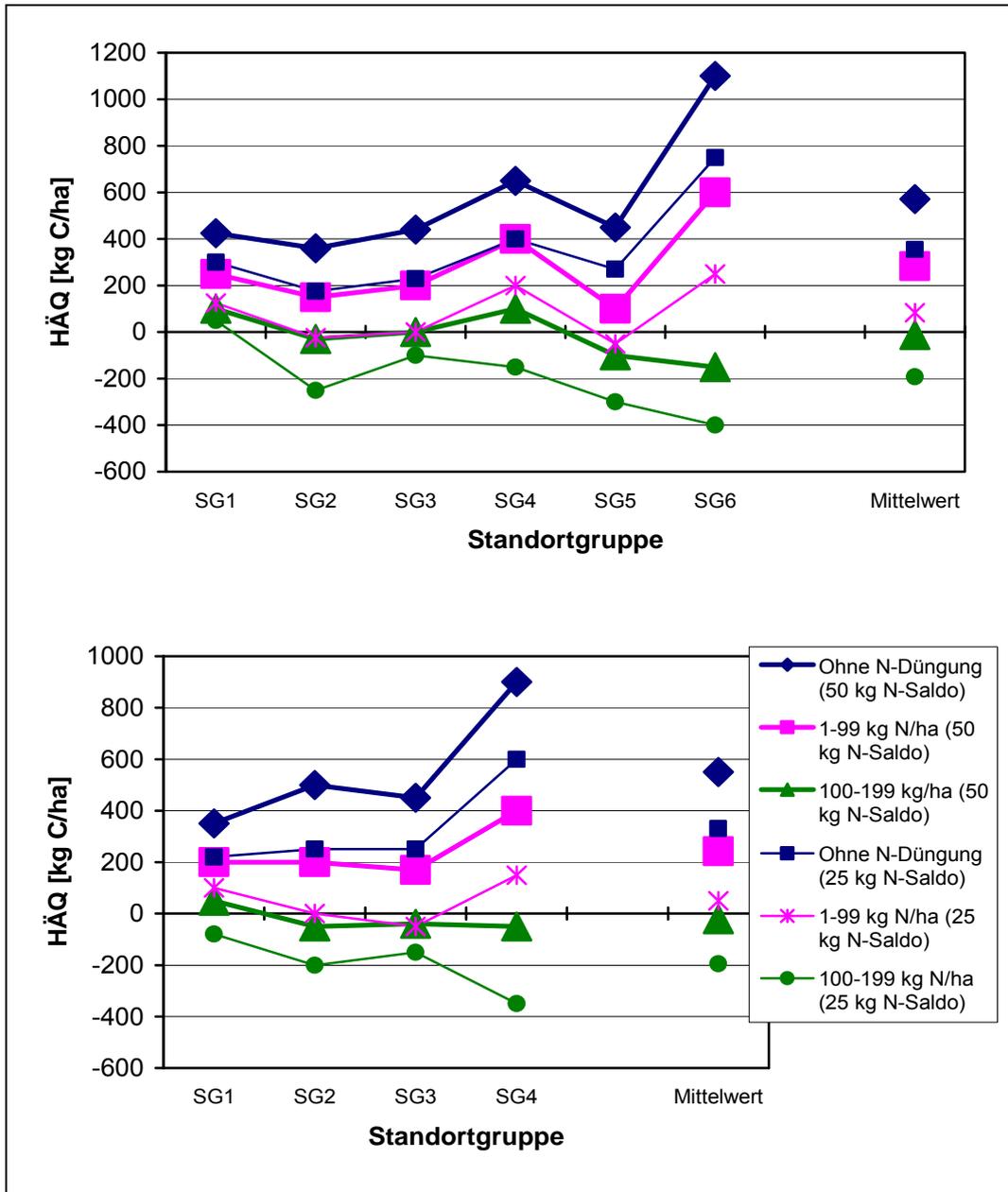


Abbildung 102: Einfluss von Standortgruppe (oben 6-Gruppen-System, unten 4-Gruppen-System) und N-Mineraldüngung auf die Humussalden bei Gewährleistung der N-Salden von +25 kg bzw. +50 kg N/ha u. Jahr, ermittelt aus Dauerversuchen

Um einen N-Saldo von +50 kg/ha nicht zu überschreiten, können nach diesen Ergebnissen in Anbauverfahren ohne N-Mineraldüngung bei Standortgruppe 1 – 2 Humussalden zwischen 400 – 500 kg C/ha an Humusäquivalenten akzeptiert werden. In Standortgruppe 4 bzw. 4 – 6 liegen diese Salden mit hoher Schwankung um 800 kg C/ha u. Jahr deutlich darüber (Durchschnitt der Standortgruppen liegt zwischen 450 kg bis über 1000 kg C/ha). Der Mittelwert über alle Standortgruppen liegt um 800 kg C/ha u. Jahr. Wird lediglich ein N-Saldo von höchstens 25 kg/ha akzeptiert, was einem strengeren umweltsichernden Maßstab entspricht, so müssen von den o. a. Humussalden wiederum ca. 180 – 220 kg C/ha u. Jahr abgezogen werden, so dass im Durchschnitt der Gruppen noch eine Versorgung bis höchstens 400 kg C/ha akzeptiert werden kann. Nach diesen Ergebnissen ist eindeutig zu erkennen, dass die bisher festgelegten VDLUFA-Grenzen der Humussalden z.B. zur Überschreitung des E-Versorgungsniveaus für diese Anbauverfahren, zu denen auch der ökologische Landbau gezählt werden kann, viel zu niedrig angesetzt worden sind (zur ausführlichen Diskussion siehe Kap. 9.1.4).

Bei den konventionellen Anbauverfahren liegen die durchschnittlichen Werte für die N-Mineraldüngung heute zwischen den ausgewiesenen Werten von 0 – 99 kg N (Mittelwert 65 kg) und 100 – 199 kg N/ha (Mittelwert 140 kg). Nach Untersuchungen von MENGE (2005) liegen die aktuellen Werte z.B. in Sachsen bei 115 (100 – 135) kg N/ha und Jahr. Unter Beachtung dieser Höhen in der N-Mineraldüngung können daher Humussalden noch akzeptiert werden, die bei den Standortgruppen 1 – 2 um die Werte 200 kg C/ha und bei den Standortgruppen 4 bzw. 4 – 6 zwischen 200 kg und 400 kg C/ha u. Jahr liegen (Mittelwerte über die Standortgruppen um 250 – 350 kg C/ha bei einer mittleren Düngung von 65 kg N und zwischen -25 kg und +250 kg C/ha bei einer hohen N-Mineraldüngung von durchschnittlich 140 kg N/ha u. Jahr (siehe Abb. 102). Hieraus kann abgeleitet werden, dass durch die bisher festgesetzte Grenze in der VDLUFA-Methode für die Versorgungsstufe E mit 300 kg C/ha bei konventionellem Anbau bei einer rel. hohen N-Mineraldüngung eine Obergrenze von +50 kg N-Saldo/ha nicht eingehalten werden kann. Bei durchschnittlicher bzw. niedrigerer N-Düngung ist diese Grenze dagegen ganz gut fixiert worden.

In Abbildung 103 werden die komplementären Zusammenhänge für entsprechende negative N-Salden beschrieben. Wie zu sehen ist, hat die Überschreitung bestimmter negativer Salden meistens nur eine gewisse Relevanz bei Anbauverfahren ohne zusätzliche N-Mineraldüngung, also z.B. im ökologischen Landbau. Bei diesem Anbauverfahren werden die anvisierten negativen Salden bei mangelnder Zufuhr an organischer Substanz am schnellsten unterschritten. Im Durchschnitt aller Standortgruppen darf ein negativer Humussaldo zwischen -240 kg und 280 kg C/ha nicht unterschritten werden, damit N-Salden von maximal -50 kg/ha eingehalten werden. Bei diesem N-Saldo steht für die meisten Regionen Deutschlands fest, dass die N-Salden auch bei Berücksichtigung der Gesamt-Deposition an N über die Luft dann ein negatives Vorzeichen bekommen. In diesen Fällen besteht die Gefahr einer N-Auszehrung der Flächen, was auf Grund einer geringen Nachhaltigkeit des Betriebes auf jeden Fall verhindert werden sollte.

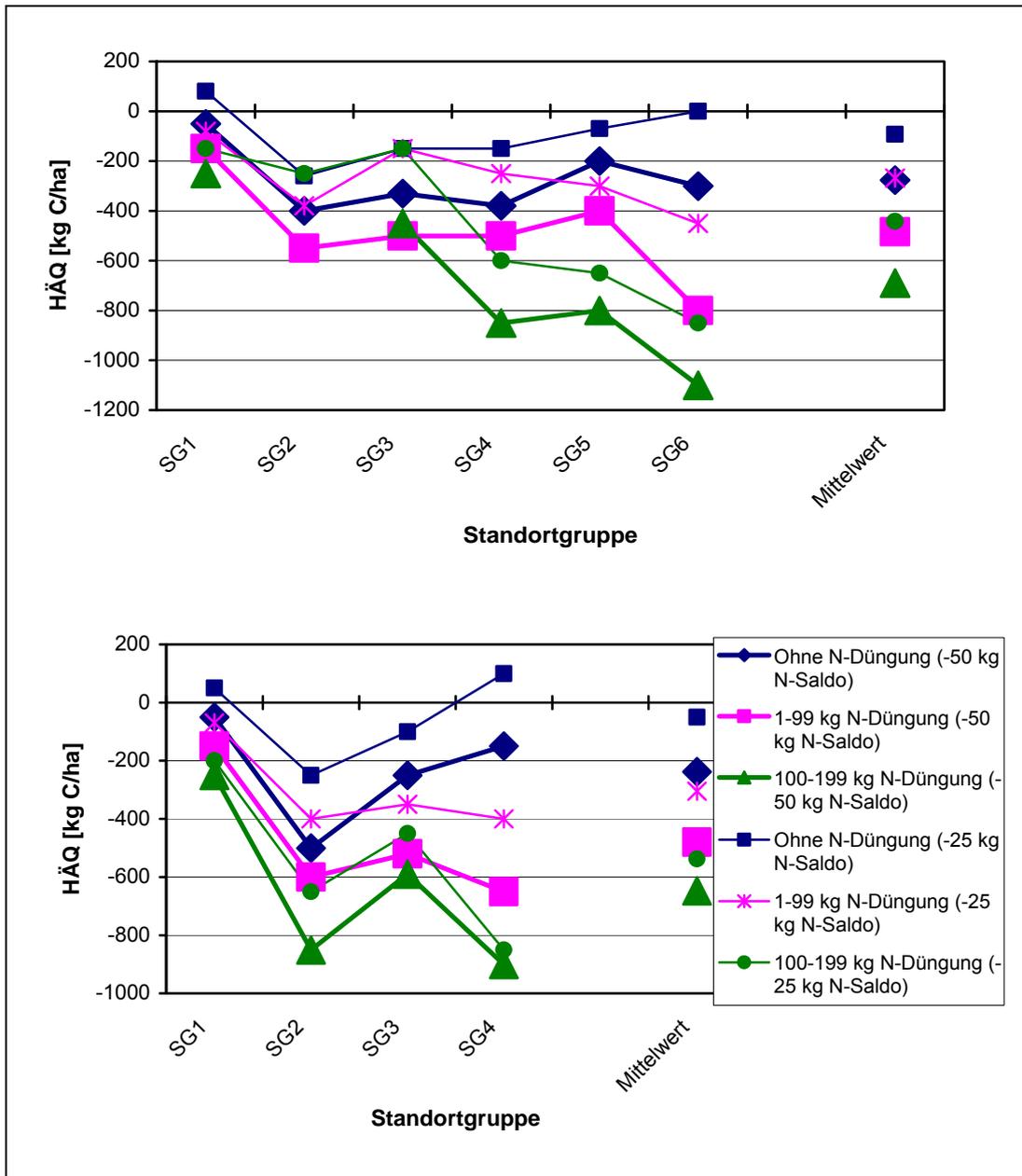


Abbildung 103: Einfluss von Standortgruppe und N-Mineraldüngung auf die Humussalden bei Gewährleistung der N-Salden von -25 kg bzw. -50 kg N/ha u. Jahr, ermittelt aus Dauerversuchen

Aus dieser Gegenüberstellung kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die in der bisherigen VDLUFA-Fassung enthaltene untere Grenze zur Überschreitung des A-Versorgungszustandes mit -200 kg C/ha und Jahr gut fixiert worden ist. Das trifft besonders für ökologisch wirtschaftende Betriebe zu. Somit kann davon ausgegangen werden, dass bei Unterschreiten dieser Grenze nicht

nur stark negative Humussalden mit der deutlichen Tendenz zu abnehmenden Humusgehalten im Boden auftreten, sondern es besteht auch die Gefahr, dass deutlich negative N-Salden zu verzeichnen sind. Für konventionelle Betriebe mit durchschnittlicher N-Mineraldüngung besteht dagegen keine große Gefahr für das Auftreten von negativen N-Salden. Unter diesen Bedingungen müssen dann lediglich die stark negativen Humussalden in die Bewertung einbezogen werden. Aus der Abbildung 103 kann nicht abgeleitet werden, dass die leichten Böden bei abnehmenden Humussalden eher gefährdet sind als schwerere Böden, daher sind zwischen den Standortgruppen keine unterschiedlichen Schwellenwerte erforderlich.

Nach Auswertung dieser Ergebnisse kann folgendes System zur Bewertung der berechneten Humussalden vorgeschlagen werden (Abb. 104). Im Bereich der Versorgungsgruppen A – C können die bisher veranschlagten Werte im Wesentlichen übernommen werden. Sie sollten sowohl für ökologische als auch für konventionelle Anbauverfahren gleichermaßen gelten. Das Zielniveau liegt in Versorgungsgruppe C bei 100 % Bedarfsdeckung mit organischer Substanz, was einem Humussaldo von 0,0 kg C/ha u. Jahr entspricht. Bei diesem Niveau kann gleichzeitig gewährleistet werden, dass im Durchschnitt die Humusgehalte der Standortgruppen sich nicht verändern, d.h. die standortangepassten Humusgehalte werden dann eingehalten.

Das System ist so kalibriert, dass bei diesem Niveau dann 75 – 80 % der Fälle den Ausgangsgehalt an Humus einhalten und ca. 100 % der Fälle, die mindestens die untere C-Grenze von -75 kg C/ha des Standortes nicht unterschreiten. Durch diese Kopplung an den Wert von 0 kg C/ha und der damit zusammenhängenden Gewährleistung der Humusgehalte des Bodens ist es möglich, auch gesetzliche Bedingungen (Bundesbodenschutzgesetz, Cross Compliance, EU-Öko-VO) einzuhalten. Zudem gilt diese untere Grenze für alle Anbauverfahren, gleichgültig ob konventionell oder ökologischer Ausrichtung und welcher speziellen Intensität sie unterliegen (Abb. 104).

Für die Versorgungsgruppen D und E werden zwischen den höchstens tolerierbaren N-Salden und den Humussalden entsprechend dem Anbauverfahren getrennte Grenzwerte aufgeführt. Danach können für die Erreichung der Versorgungsgruppe D die Werte zwischen 101 – 300 kg C und für den Beginn der E-Gruppe ein Wert ab 301 kg C/ha für konventionelle Anbauverfahren bestätigt werden (wie bisher nach VDLUFA bereits festgelegt). Für leichte Standorte sollte die E-Grenze entsprechend herabgesetzt werden, z.B. könnte ein Wert von 200 kg C/ha u. Jahr veranschlagt werden. Für Anbauverfahren des ökologischen Landbaus (sowie konventionelle Verfahren ohne jegliche N-Mineraldüngung) sollte eine mittlere Grenze von 600 kg C/ha u. Jahr für den Beginn der Versorgungsgruppe E fixiert werden. Besonders für die Standortgruppen der leichten Böden könnte auch ein niedrigeres Niveau von 400 kg C/ha u. Jahr vorgeschlagen werden, damit überschlagsmäßig noch eine Einhaltung von 50 kg N-Saldo gewährleistet werden kann.

Die Grenze zwischen den Versorgungsgruppen C/D sollte in etwa um 200 kg C/ha niedriger angesetzt werden, damit würde dann eine Orientierung an N-Salden von ungefähr 25 kg/ha erfolgen

können (siehe Abb. 104). Betriebe, die diesbezüglich ein höherwertiges Umweltziel verfolgen, sollten daher ihre durchschnittlichen Humussalden im Wesentlichen nicht über die Versorgungsgruppe C hinaus steigern. Betriebe, die nur eine durchschnittliche Umweltsicherung (z.B. entsprechend den gesetzlich festgelegten Grenzen) einhalten möchten, können darüber hinaus ihren Boden bis zur oberen Grenze der Versorgungsgruppe D mit Humus aufdüngen. Zu bedenken ist allerdings, dass in den hier dargelegten N-Salden die N-Zufuhr über die Luft nicht enthalten ist. Daher müssen z.B. zu den genannten Orientierungswerten nochmals je nach Region 20 - 50 kg N/ha (in viehreichen Gegenden können auch noch höhere Werte vorliegen) hinzugezogen werden, wenn die gesamte Umwelleistung in die Bewertung mit einbezogen werden soll.

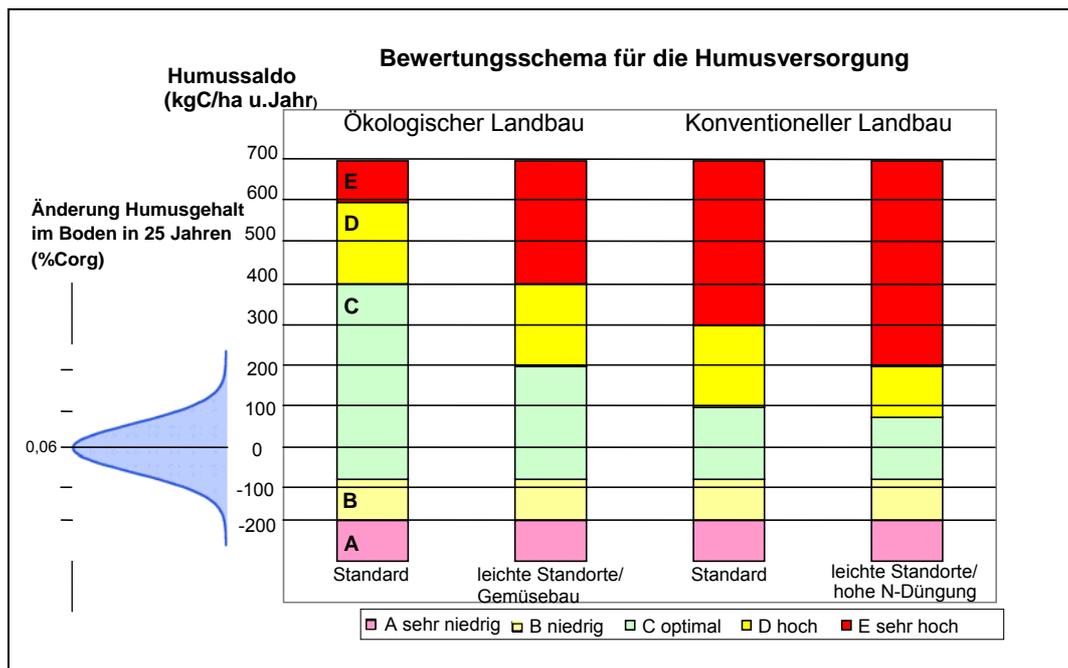


Abbildung 104: Bewertungssystem von Humussalden für ackerbauliche Anbauverfahren unterschiedlicher Intensität (konventioneller u. ökologischer Landbau)

Im Programm BEFU wird die Humusbilanzierung in Anlehnung der Vorgaben zur Schlagbilanzierung durchgeführt (siehe Kap. 6). Die genaue Vorgehensweise ist in der Broschüre von KÖHLER & KOLBE (2007) beschrieben worden.

10 Mitwirkung

An dieser Arbeit haben viele Personen und Einrichtungen mitgewirkt. Zu verschiedenen Teilaspekten sind Tätigkeiten aus mehr als einem Jahrzehnt schließlich in diese Arbeit eingeflossen. Ein Teilgebiet ist besonders anzusprechen, weil hierzu viele vorbereitende Arbeiten benötigt wurden. Zur Überprüfung, Verbesserung bzw. zum Aufbau von Berechnungsverfahren und zur Durchführung von Metastudien wurden Datensammlungen zu folgenden Aspekten erstellt:

- Versuchsergebnisse zu Nährstoffgehalten der Fruchtarten und Düngemittel im Ökolandbau
- Dauerversuche zur Grunddüngung mit P, K und Mg
- Dauerversuche zur Humus- und N-Dynamik des Bodens
- Versuchsergebnisse über die legume N-Bindung von Körner- und Futterleguminosenarten.

An der Bereitstellung entsprechender Datensätze hat der Arbeitskreis der Versuchsansteller im Ökolandbau des VLK, Berlin mitgewirkt, insbesondere:

J. Hochmann, Schleswig-Holstein,
A. Meyercordt, Niedersachsen
Dr. H. Gruber, Mecklenburg-Vorpommern
B. Dittmann, Brandenburg
A. Paffrath, Dr. E. Leisen, Nordrhein-Westfalen
G. Völkel, Hessen,
Dr. J. Debruck, Sachsen-Anhalt,
I. Mathes, Thüringen,
Dr. W. Karalus, Sachsen,
H. Böcker, Rheinland-Pfalz
G. Schwittek, Baden-Württemberg,
Dr. Günther Pommer, Bayern.

Für die akribische Suche, Zusammenstellung und Prüfung des Datenmaterials gilt unser besonderer Dank Dr. F. Rikabi, Leipzig, der wesentlich zum Aufbau der Datenbanken zu den Nährstoffgehalten der Fruchtarten und zu den Dauerversuchen beigetragen hat. Ebenso haben auf diesem Gebiet U. Grauwinkel, Leipzig, Dr. S. Meinck, Hamburg und I. Schließer, Leipzig mitgewirkt.

Für die Überlassung von Datenmaterial aus Dauerversuchen sowie für die bereitwillige Hilfe bei der Prüfung und Verbesserung von Bilanzierungsverfahren für Humus danken wir

Dr. Uwe Franko, UFZ Halle
Prof. Dr. Kurt-Jürgen Hülsbergen, TU München
Prof. Dr. Martin Körschens, Bad Lauchstädt
Prof. Dr. Günter Leithold, Universität Gießen
Prof. Dr. Dietmar Schröder, Universität Trier
Dr. Erhard Albert, LfULG Leipzig
Dr. Peter Capriel, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft Freising

Dr. Andreas Fliessbach, FIBL, Frick, Schweiz
Dr. Joachim Raupp, IBDF Darmstadt
Dr. Hans-Jürgen Reents, TU München
Prof. Dr. Jutta Rogasik, FAL, Völktenrode
Jörg Zimmer, LVLG Güterfelde
K. Beuke, Universität Trier
B. Ude, Universität Kassel-Witzenhausen
Caterina Heinig, LfL, Leipzig.

Für die Bereitstellung von Versuchsdaten sowie für die Unterstützung und die Diskussionsbereitschaft bei der Überprüfung und Verbesserung von Methoden zur Berechnung der legumen N-Bindung gilt unser Dank:

Prof. Dr. K. Schmidtke, Universität Göttingen
Dr. R. Loges, Universität Kiel
Dr. H. Heuwinkel, TU München
Dr. H. Schmidt, Universität Gießen, Dr. G. Jung und Dr. B. Jost, Universität Göttingen, Dr. G. Pietsch, Universität Wien.

Für die praktische Anwendbarkeit und Plausibilitätsprüfung verbesserter Methoden danken wir P. Seibt, TU Dresden, und S. Henke, Universität Göttingen, die in ihren Examensarbeiten Methoden der Humusbilanzierung getestet haben, sowie Prof. Dr. K. Schmidtke und E. Schubert, HTW Dresden, für die Testung der Anwendbarkeit von Gleichungen der legumen N-Bindung.

Grunddüngung:

Dr. E. Scheller, Universität Kassel-Witzenhausen, Prof. Dr. N. Claassen und Prof. Dr. W. Römer, Universität Göttingen, Prof. Dr. D. Steffens und Prof. Dr. G. Leithold, Universität Gießen, Dr. Th. Lindenthal, Universität Wien, Prof. Dr. T. Müller, Universität Stuttgart-Hohenheim.

Nährstoffbilanzierung:

Dr. K. Stein-Bachinger, ZALF, Müncheberg
Dr. Chr. Emmerling, Universität Trier
Dr. M. Bach, Universität Gießen.

Für die Gestaltung und Programmierung des Programms BEFU gilt unser besonderer Dank Frank Förster.

11 Literatur

- ABELE, U. (1987): Einfluß mineralischer und organischer Düngung sowie der biologisch-dynamischen Präparate auf Qualitätsmerkmale pflanzlicher Produkte und auf Bodeneigenschaften. Schriftenreihe d. Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft u. Forsten, Reihe A: Angewandte Wissenschaft, H. 345
- ALBERT, E. (1976): Die Ermittlung günstiger NPK-Verhältnisse und ihre Bedeutung für die Bemessung der PK-Düngung bei unterschiedlichem N-Düngungsniveau sowie die Erarbeitung von Parametern zur Eingliederung von PK-Mehrnährstoffdünger in das EDV-Projekt „Düngung“ (DS 77). Dissertation, Halle-Wittenberg
- ALBERT, E. (1984): Langjährige differenzierte NPK-Düngung in ihrer Wirkung auf die P- und K-Bilanz sowie auf den Nährstoffgehalt des Bodens. Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkde. 28, 51 - 58
- ALBERT, E. & M. MENGE (2001): Einfluss einer langjährigen differenzierten Düngung auf Ertragsleistung, Humusgehalt, Nährstoffbilanzen und DL-lösliche PK-Gehalte. In: W. DIEPENBROCK: Gestaltung der Anbauverfahren landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Berichte aus der Agrarwirtschaft. Shaker Verlag, Aachen, 100 – 113
- ALBERT, E. & B. DITTRICH (2005): Fleischknochenmehl – ein wertvoller organischer NP-Dünger. Infodienst Nr. 4, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden, 39 - 49
- ALBERT, E. et al. (1997a): Nährstoffvergleiche entsprechend der Düngeverordnung - Vor- und Nachteile verschiedener Bilanzformen. In: Infodienst Nr. 1, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden, 60 - 67
- ALBERT, E. et al. (1997b): Ordnungsgemäßer Einsatz von Düngern entsprechend der Düngeverordnung. Broschüre. Sächsisches Staatsministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Forsten (SML), Dresden
- ALBERT, E., H. ERNST, ST. BIERMANN & D. MICHEL (1997): Stickstoffbindung durch Leguminosen sowie Möglichkeiten zu ihrer Abschätzung. Infodienst Nr. 5, 64 - 71
- ALBERT, E., FÖRSTER, F., ERNST, H., KOLBE, H., DITTRICH, B., LABER, H., HANDSCHACK, M., KRIEGHOFF, G., HEIDENREICH, T., RIEHL, G., HEINRICH, S. & W. ZORN (2007): Umsetzung der Düngeverordnung. Hinweise und Richtwerte für die Praxis. Broschüre. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden
- ALVERMANN, G. (1990): Muß ich dem Boden etwas zurückgeben. Bioland Nr. 5, 6 – 7
- AMBERGER, A. (1984): Phosphatwirkung in Abhängigkeit von Standort und Bewirtschaftung. Die Bodenkultur 35, 295 – 304
- AMBERGER, A., SOMMER, G. & R. GUTSER (1971): Zur P-Dynamik weicherdiger Rohphosphate. Landw. Forsch. 24, 260 – 270
- ANONYM (1991): Verordnung (EWG) Nr. 2092/91 des Rates vom 24. Juni 1991 über den ökologischen Landbau und die entsprechende Kennzeichnung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse und Lebensmittel. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 198, 1 – 15, sowie Ergänzungen

- ANONYM (2000): Zulässige Bodenverbesserer und Düngemittel ([http:// www.stmlf.bayern.de](http://www.stmlf.bayern.de)) → Landwirtschaft → ökologischer Landbau → Pflanzenbau: Düngemittelliste
- ANONYM (2007): Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/biologische Produktion und Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91. Amtsblatt der Europäischen Union L189 vom 20.07.2007, 1 – 23
- ANONYM (2008): Verordnung (EG) Nr. 889/2008 der Kommission mit Durchführungsvorschriften zur Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen hinsichtlich der ökologischen/biologischen Produktion, Kennzeichnung und Kontrolle. Amtsblatt der Europäischen Union L250 vom 18.09.2008, 1 – 84
- ANSORGE, H. (1958): Vergleichende Nährstoffuntersuchungen am „Statischen Versuch“ Lauchstädt. Z. Landw. Versuchs- u. Untersuchungswesen 4, 347 – 364
- ARP, B. & C. NEUMEISTER (2006): Futterbauerhebungen im Ökologischen Landbau. Vegetationsperiode 2005. Zwischenbericht. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Leipzig
- ASMUS, F. & V. HERRMANN (1977): Reproduktion der organischen Substanz des Bodens. Akademie d. Landwirtschaftswiss. d. DDR, Institut f. Landwirtschaftl. Information u. Dokumentation, Berlin, 15, H. 11
- AUERSWALD, K., KAINZ, M., ANGERMÜLLER, S. & H. STEINDL (1996): Influence of exchangeable potassium on soil erodibility. Soil Use Management 12, 117 – 121
- AUTORENKOLLEKTIV (1977): Empfehlungen zur effektiven Versorgung der Böden mit organischer Substanz. Akad. d. Landw.-Wissensch. d. DDR, agrarbuch, Leipzig
- BACH, M. & H. G. FREDE (2005): Methodische Aspekte und Aussagemöglichkeiten von Stickstoff-Bilanzen. Institut für Landwirtschaft und Umwelt (ilu), Bonn
- BACHTHALER, G. (1973): Einfluß verschiedener Humusdüngungen auf den Pflanzenertrag auf einer Parabraunerde aus Lößlehm. Landw. Forsch. 28, I., SH 24, 297 – 309
- BACHTHALER, G. & A. WAGNER (1971): Wirkung einer 14jährigen Stroh-Stallmist-Düngung auf Ertragsleistung und Bodenzustand eines Lößlehm. Bayer. Landw. Jb. 48, 421 – 441
- BAUMGÄRTEL, G. (1998): Ergebnisse langjähriger statischer Kaliumdüngungsversuche auf ackerbau-lich genutzten Flächen im Gebiet der Landwirtschaftskammer Hannover. VDLUFA-Schriftenreihe 47, 19 – 31
- BAUMGÄRTEL, G., G. BREITSCHUH, T. EBERTSEDER, H. ECKERT, R. GUTSER, U. HEGE, L. HEROLD, F. WIESLER & W. ZORN (2007): Nährstoffbilanzierung im landwirtschaftlichen Betrieb. Standpunkt. VDLUFA, Speyer
- BECKMANN, U. & H. KOLBE (2002): Maisanbau im Ökologischen Landbau. Broschüre, Hrsg.: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden
- BEER, K.-H., KORIATH, H. & W. PODLESIAK (1990): Organische und mineralische Düngung. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin

- BESSION, J.-M. et al. (1995): DOK-Versuch: vergleichende Langzeit-Untersuchungen in drei Anbausystemen biologisch-dynamisch, organisch-biologisch und konventionell. Schweizerische Landw. Forsch., Sonderausgabe 1995, Bundesamt f. Landwirtschaft, Bern
- BEUKE, K. (2006): Überprüfung der Humusbilanzierung anhand von Dauerversuchen in verschiedenen Klimaregionen Europas. Dipl.-Arbeit, Fachbereich VI Geographie/Geowissenschaften, Trier
- BIERMANN, ST. (1995): Flächendeckende, räumlich differenzierte Untersuchung von Stickstoffflüssen für das Gebiet der neuen Bundesländer. Dissertation, Verlag Shaker, Aachen
- BIEWER, S. et al. (2005): Schätzung des Ertrages und der Bestandeszusammensetzung von Leguminosen/Gras-Gemengen mittels der Feldspektroskopie – Erste Ergebnisse eines Gefäßversuches. Mitt. d. Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau, 7, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Plauen/Vogtland
- BLE (2003): Anbau von Gemengen im ökologischen Landbau. Broschüre. Inst. f. Pflanzenbau u. Pflanzenzüchtung, Universität Göttingen, Göttingen
- BLW Datenbank (ohne Jahr): Inhaltsstoffe von Komposten und Gärgut Schweizer Kompostier- und Vergärungsanlagen 1995-2002, Tab. 3.1, 43
- BMELV (2006a): Bekanntmachung der Neufassung der Düngeverordnung vom 10. Januar 2006. Bundesgesetzblatt Jg. 2006, Teil I Nr. 2, Bonn, 13. Januar 2006
- BMELV (2006b): Verordnung zur Änderung saatzgutrechtlicher und düngemittelrechtlicher Vorschriften vom 27.09.2006. Bundesgesetzblatt Jg. 2006, Teil I Nr. 44, Bonn, 30. September 2006
- BOGUSLAWSKI, E. VON & A.-L. VON LIERES (1997): Die Wirkung von sechs Formen der organischen Düngung in Kombination mit Mineraldüngung in der Fruchtfolge einer Dauerversuchsreihe von 42 Jahren. VDLUFA-Schriftenreihe 46, Kongressband 1997, 727 – 730
- BÖHME, M. (2005): Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich 4, Nossen (mündliche Mitteilungen)
- BOMMER, D. (1954): Untersuchungen über die Ernterückstände von Feldfutterpflanzen in verschiedenen Höhenlagen. Z. Acker- u. Pflanzenbau 99, 239 – 258
- BRUCHHOLZ, H. (1963): Magnesium im Boden und Magnesiumdüngung. Dissertation A, Leipzig
- BUCHER, R. (1970): Der Einfluß verschiedener Düngerphosphate und des Bodenkarbonatgehaltes auf die Ergebnisse verschiedener Extraktionsverfahren zur Ermittlung der wirksamen P-Vorräte im Boden. Landw. Forsch. 25, I, SH, 113 – 127
- BUCHER, R. (1977a): Ergebnisse eines 18jährigen Hyper- Thomasphosphatvergleichsversuches auf einem unterfränkischen Lößboden. Teil 1: Der Einfluß der Phosphate auf die Erträge und die Phosphatverwertung durch die Kulturarten. Landw. Forsch. SH 33II, Kongreßband 1976, 114 – 129
- BUCHER, R. (1977b): Ergebnisse eines 18jährigen Hyper- Thomasphosphatvergleichsversuches auf einem unterfränkischen Lößboden. Teil II: Der Einfluß langjähriger, verschieden hoher Hyper- und Thomasphosphatdüngung auf die Anreicherung des Bodens an Phosphaten, ermittelt nach der DL-, CAL- und Wasserextraktionsmethode. Landw. Forsch. SH 33II, Kongreßband 1976, 130 - 143
- DEBRUCK, J. (2005): Bioraps für Könner. Bauernzeitung, Berlin, 22 – 24

- DEWES, T. & E. HÜNSCHE (1998): Composition and microbial degradability in the soil of farmyard manure from ecologically-managed farms. *Biological Agriculture and Horticulture*, 16, 251 – 268
- DIETL, W. & J. LEHMANN (2004): *Ökologischer Wiesenbau. Nachhaltige Bewirtschaftung von Wiesen und Weiden*. Österreichischer Agrarverlag, Leopoldsdorf, Österreich
- DIEZ, T. & M. KRAUSS (1994): Landwirtschaftliche Verwertung von Bioabfallkompost, SUB Heft Nr. 4, IV-9-11
- DLG (2005): Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere. Arbeitskreis Futter und Fütterung, Bundesarbeitskreis der Fütterungsreferenten, DLG Verlags-GmbH, Frankfurt a. M.
- DLG-FUTTERWERTTABELLEN (1997): DLG-Futterwerttabellen-Wiederkäuer. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt/Main
- EGNER, H. & H. RIEHM (1955): Die Doppellactatmethode. In: R. THUN et al.: *Methodenbuch I*. Neumann Verlag, Berlin
- ELLMER, F., M. BAUMECKER, H. BENKENSTEIN, W. KRÜGER, H. PAGEL, H. PESCHKE & E. SCHNIEDER (1997): Statischer Nährstoffmangelversuch. *Ökologische Hefte d. Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät*, H. 7, 93 – 110, Genossenschaftswesen a. d. Humboldt-Universität, Berlin
- ELSAESSER, M. (2005): E-Mail vom 10.02.2005 (persönl. Mitteilung)
- ELSAESSER, M. & U. THUMM (2005): <http://www.gruenland-online.de/>
- ERNST, H. (2006): Auswertung der UL-Referenzbetriebe in Bezug auf Dokumentationsform, 28.02.2006 (persönl. Mitteilung)
- FAUSTZAHLEN (1978): *Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau*. Ruhr-Stickstoff, Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup
- FIBL (2001): *Zugelassene und empfohlene Hilfsstoffe für den biologischen Landbau*. Hilfsstoffliste. Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Frick, Schweiz
- FIBL (2006): www.betriebsmittel.org
- FÖRSTER, F., ERNST, H. & E. ALBERT (2004): BEFU 2005. Broschüre. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Pflanzliche Erzeugung, Leipzig
- FRANKO, U., KUKA, K. & H. KOLBE (2005): Modelling SOM-dynamics in arable soils. In: *International Conference on the Role of Long-term Field Experiments in Agricultural and Ecological Science*. Research Institute of Crop Production, Prague
- FRITSCH, F. (1986): *Charakterisierung der Mobilität von durch langjährige Düngung mit verschiedenen Phosphatformen angereicherten anorganischen Bodenphosphaten*. Dissertation, Bonn
- FRÜCHTENICHT, K. (1989): Ergebnisse von Eichversuchen mit Kali auf Sandböden in Weser-Ems. *VDLUFA-Schriftenreihe 30, Kongressband 1989*, 223 – 228
- GAUGER, TH. et al. (2002): Mapping of ecosystem specific long-term trends in deposition loads and concentrations of air pollutants in Germany and their comparison with Critical Loads and Critical Levels. Final Report 29942210. Umweltbundesamt, Berlin
- GEORGE, E. & R. EGHBAL (2003): *Ökologischer Gemüsebau. Handbuch für Beratung und Praxis*. Bioland Verlags GmbH, Mainz

- GERICKE, S. & C. BÄRMANN (1964): Neunjährige Versuche über die Wirkung der Nährstoffe im Stallmist. Phosphorsäure 24, 71 – 95
- GÖRLITZ, H. (1973): Wirkung und Nachwirkung langjähriger Magnesiumdüngung und Kalkdüngung sowie ihre Wechselwirkungen mit der Form des Düngerstickstoffs auf anlehmigem Sandboden. Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkde. 17, 203 - 216
- GÖRLITZ, H. & F. ASMUS (1981): Einfluß der organischen Düngung auf den Nährstoffgehalt des Bodens und Beziehungen zur mineralischen Düngung auf pleistozänen Böden. Arch. Acker- u. Pflanzenbau Bodenkde. 25, 219 - 229
- GÖRLITZ, H. & D. RICHTER (1988): Nährstoffgehalte im Boden nach organischer Düngung. Tag.-Ber. Akad. Landwirtsch.-Wiss. DDR, 267, 285 – 292
- GRASS, K. & J. HEYN (1980): Ergebnisse von Feldversuchen mit Phosphatformen- und Kalkdüngung. Landw. Forsch. 33, 152 – 165
- GUTSER, R. (2004): Organische Stoffe bewerten. DLG-Mitteilungen, Dünger-Magazin, 12 – 15
- GUTSER, R. (2006): Bilanzierung von Stickstoffflüssen im landwirtschaftlichen Betrieb zur Bewertung und Optimierung der Düngungsstrategien. Acta Agriculturae Slovenica, 87 – 1, 129 – 141
- HAAS, G. (2004): Stickstoffversorgung von Weißkohl, Silo- und Körnermais durch Winterzwischenfrucht-Leguminosen. Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau, Institut für Organischen Landbau, Bonn
- HEGE, U. & K. OFFENBERGER (1998): Ergebnisse von Kalidauerdüngungsversuchen auf Ackerland in Bayern. VDLUFA-Schriftenreihe 47, 65 – 82
- HEGE, U. & K. OFFENBERGER (2001): Auswirkung einer Phosphat- und Kalidüngung in Höhe der Abfuhr, auf den Ertrag und die Entwicklung der Bodengehalte. VDLUFA-Schriftenreihe 57, Kongressband 2001, Teil II, 706 – 718
- HEIERMANN, M. & M. PLÖCHL (2003): Biogas in der Landwirtschaft. Leitfaden für Landwirte und Investoren im Land Brandenburg. Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg, Potsdam
- HEINZMANN, F. (1981): Assimilation von Luftstickstoff durch verschiedene Leguminosenarten und dessen Verwertung durch Getreidenachfrüchte. Dissertation, Hohenheim
- HEROLD, L. & S. WAGNER (2007): Vergleichende Untersuchungen zwischen konventioneller und ökologischer Bewirtschaftung. VDLUFA-Schriftenreihe 62, Kongressband 2006, 362 – 365
- HEUWINKEL, H. (2005): THM Freising-Weihenstephan (persönl. Mitteilung)
- HOBERUCK, M. (1978): Ermittlung optimaler Aufwandkombinationen von Gülle-, Stallung- und Mineraldüngerstickstoff zur Erzielung von Höchstserträgen und Ableitung von Parametern zur Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit bei konzentriertem Hackfrucht-Getreideanbau. Dissertation, Halle-Wittenberg
- HOGH-JENSEN, H., R. LOGES, V. FINN, V. JORGENSEN, F. P. VINTHER & E. S. JENSEN (2004): An empirical model for quantification of symbiotic nitrogen fixation in grass-clover mixtures. Agricultural Systems 82, 181 - 194
- HORNISCHER, U. (2004): Organische Handelsdünger für den ökologischen Gemüsebau. KÖN-Infoblatt Nr. 3.3.2

- HÜLSBERGEN, K.-J. (2003): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Habilitationsschrift, Shaker Verlag, Aachen
- JÄGER, P. (2005): KTBL, Darmstadt (persönl. Mitteilung)
- JAHN-DEESBACH, W. (1961): Der Einfluß unterschiedlicher Düngungsmaßnahmen auf Boden und Pflanze im langjährigen Nährstoffmangelversuch in Thyrow bei Berlin. Z. Acker- u. Pflanzenbau 114, 121 – 156
- JOST, B. (2003): Untersuchungen und Kalkulationstabellen zur Schätzung der N₂-Fixierungsleistung 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, 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, Göttingen
- KARALUS, W. (2004): Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich 4, Nossen, (mündl. Mitteilung)
- KELLER, E. R. et al. (1999): Handbuch des Pflanzenbaus, Bd. 3: Knollen- und Wurzelfrüchte, Körner- und Futterleguminosen. Ulmer Verlag, Stuttgart
- KELNER, D.-J., J. K. VESSEY & M. H. ENTZ (1997): The nitrogen dynamics of 1-, 2- and 3-year stands of alfalfa in a cropping system. Agriculture, Ecosystems Environm. 64, 1 - 10
- KERSCHBERGER, M. (1992): Verhalten pflanzenverfügbarer P-, K-, Mg-Gehalte des Bodens bei langjähriger Düngung nach Pflanzenentzug auf leichten und mittleren Ackerböden. Tagungsbericht zum Symposium Dauerfeldversuche und Nährstoffdynamik. UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle, Leipzig, 181 – 186
- KERSCHBERGER, M. & G. MARKS (1974): Beitrag zur Ermittlung des P-Düngerbedarfs und des pflanzenverfügbaren Phosphats in Ackerböden der DDR. Dissertation A, Berlin
- KERSCHBERGER, M. & G. MARKS (2002): Rohphosphat – was sonst. Die P-Düngung im Ökolandbau beleuchten. Bauernzeitung Nr. 15, 31 – 32
- KERSCHBERGER, M. & D. RICHTER (1985): Ergebnisse eines 6jährigen K-Steigerungsversuches auf einer Löß-Schwarzerde im Bezirk Halle. Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd. 29, 135 – 141
- KERSCHBERGER, M. & D. RICHTER (1991): Veränderung des Mg-Gehaltes in Ackerböden in Abhängigkeit von der Mg- und Kalkdüngung. Agribiol. Res. 44, 261 – 267
- KERSCHBERGER, M. & D. RICHTER (1992): Einfluss der K-Düngung nach Pflanzenentzug auf den DL-löslichen K-Gehalt des Bodens (Extraktionsmethode nach Egner und Riehm) in Dauerdüngungsversuchen auf Ackerland. Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd. 36, 177 – 184
- KERSCHBERGER, M. & D. RICHTER R (1993): Kalium-Düngermengen zur Anhebung des doppelaktatlöslichen K-Gehaltes in Ackerböden. Agribiol. Res. 46, 309 – 320
- KERSCHBERGER, M., G. FRANKE & H. HEß (2002): Anleitung und Richtwerte für Nährstoffvergleiche nach Düngeverordnung. Schriftenreihe d. Thür. Landesanst. f. Landwirtschaft, H. 10, Jena. http://www.tll.de/tll_idx.htm

- KERSCHBERGER, M., DELLER, B., HEGE, U., HEYN, J., KAPE, H.-E., KRAUSE, O., POLLEHN, J., REX, J. & K. SEVERIN (2000a): Bestimmung des Kalkbedarfs von Acker- und Grünlandböden. Standpunkt. VDLUFA, Darmstadt, 1 – 8. http://www.vdlufa.de/vd_00.htm?4
- KERSCHBERGER, M., DELLER, B., HEGE, U., HEYN, J., KAPE, H.-E., KRAUSE, O., POLLEHN, J., REX, J. & K. SEVERIN (2000b): Bestimmung des Kalkbedarfs von Acker- und Grünlandböden. Anlage. Richtwerte für das Rahmenschema zur Kalkbedarfsermittlung in Deutschland. Standpunkt. VDLUFA, Darmstadt, 9 – 16. http://www.vdlufa.de/vd_00.htm?4
- KIRCHMANN, H. (1988): Shoot and root growth and nitrogen uptake by six green manure legumes. *Acta Agric. Scand.* 38, 25 - 31
- KÖCHL, A. (1984): Potassium balances in series of field experiments. *Nutrient Balances and Fertilizer Needs in Temperate Agriculture. Proc. Int. Potash Inst.* 18, 177 – 185
- KÖHLER, B. & H. KOLBE (2005): Formen der Stickstoffbilanzierung zur Anwendung in der Praxis des ökologischen Landbaus. Infodienst f. Beratung u. Schulung der Sächsischen Agrarverwaltung Nr. 9, 20 – 24. <http://orgprints.org/3523>
- KÖHLER, B. & H. KOLBE (2007): Programm BEFU, Teil Ökologischer Landbau. Verfahrensbeschreibung und PC-Anleitung zu Methoden der Bilanzierung und Düngungsbemessung. Broschüre, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden
- KOHN, W. (1975): Der Einfluß langjähriger Bodenbearbeitungs-, Düngungs- und Fruchtfolgemaßnahmen auf die chemischen und physikalischen Eigenschaften und die Ertragsleistung eines lehmigen Sandbodens. *Bayer. Ldw. Jb.*, Heft 8, 929 - 955
- KÖHNLEIN, J. (1981): Vergleiche zwischen erster und letzter Versuchsperiode der Kieler Dauerversuche mit steigenden Kaligaben auf Heidepodsol 1947 – 1961 und 1962 – 1977. *Bayer. Ldw. Jb.* 6, 668 – 698
- KÖHNLEIN, J. & N. KNAUER (1965): Ergebnisse der Kieler Dauerdüngungsversuche mit Phosphat und Kali. *Schriftenreihe d. Landwirtschaftlichen Fakultät d. Univer. Kiel*, H. 39
- KOLBE, H. (2000): *Landnutzung und Wasserschutz*. Wissenschaftliches Lektorat & Verlag, Leipzig
- KOLBE, H. (2004): *Wasserschutz und Ökologischer Landbau*. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, FB Pflanzliche Erzeugung, Leipzig. <http://orgprints.org/00002931>
- KOLBE, H. (2005a): Grain legume nitrogen and balance sheet model for use in practical (organic) agriculture. In: LI, C. J. et al.: *Plant nutrition for food security, human health and environmental protection*. *Internat. Plant Nutrition Coll.* 15, 1152 – 1153, Tsinghua University Press, Beijing, China. <http://orgprints.org/00006091>
- KOLBE, H. (2005b): Prüfung der VDLUFA-Bilanzierungsmethode für Humus durch langjährige Dauerversuche. *Arch. Agron. Soil Sci.* 51, 221 - 239
- KOLBE, H. (2006): P- und K-Grunddüngung im ökologischen Landbau. Poster. <http://orgprints.org/8865>
- KOLBE, H. (2007a): Wirkungsgrad organischer Düngemittel auf Ertrag und Qualität von Kartoffeln im Ökologischen Landbau. *Berichte aus dem Öko-Pflanzenbau*. *Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft H.* 9, 22 – 46

- KOLBE, H. (2007b): Berücksichtigung von Standort- und Bewirtschaftungsfaktoren bei der Verbesserung von Verfahren der Grunddüngung und Humusbilanzierung. Arbeitspapier. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Leipzig, 1 – 8. <http://orgprints.org/11056/>
- KOLBE, H. (2007c): Establishing multiple pedotransfer functions from long-term field trials for use in site specific soil C_{org} and N_t content determination. Practical Solutions for Managing Optimum C and N Content in Agricultural Soils 4, Book of Abstracts, Crop Research Institute, Prague, 29
- KOLBE, H. & U. BECKMANN (2003): Einfluss extrem unterschiedlich hoher mineralischer und organischer Düngung und Beregnung auf Ertragsleistung der Kulturarten, Bodenfruchtbarkeit und Umweltverträglichkeit eines Sandbodens. In: Umweltwirkungen von Extensivierungsmaßnahmen. Schriftenreihe d. Sächsischen Landesanstalt f. Landwirtschaft 8, H. 6, 1 – 41
- KOLBE, H. & B. KÖHLER (2006): Arbeitsgruppe der Versuchsansteller im ökologischen Landbau. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Leipzig
- KOLBE, H. & I. PRUTZER (2004): Überprüfung und Anpassung von Bilanzierungsmodellen für Humus an Hand von Langzeitversuchen des Ackerlandes. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, FB Pflanzliche Erzeugung, Leipzig. <http://orgprints.org/00003130>
- KOLBE, H. et al. (2002): Körnerleguminosen im Ökologischen Landbau. Broschüre, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Leipzig
- KOLBE, H. et al. (2003): Stickstoffgehalte pflanzlicher Produkte aus dem ökologischen Landbau. In: SÖL Berater-Rundbrief 2/03, Stiftung Ökologie & Landbau, Bad Dürkheim
- KOLBE, H. et al. (2004): Zwischenfrüchte im Ökologischen Landbau. Broschüre, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Leipzig
- KOLBE, H., HÄNSEL, M., LABER, H., RICHTER, S. & ST. WUTTKE (2006): Handlungsgrundlage zur Bedarfsanerkennung von Düngemaßnahmen gemäß Anhang I und II der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91 über den Ökologischen Landbau. Infodienst Nr. 6, 14 – 19, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden
- KOLBE, H. RIKABI, F., ALBERT, E., ERNST, H. & F. FÖRSTER (1999): Ansätze zur PK-Düngungsberatung im Ökologischen Landbau. VDLUFA-Schriftenreihe 52, Kongreßband 1999, 223 – 226
- KÖRSCHENS, M. (2005): Reproduktionswirksamkeit von Stroh (mündl. Mitteilung)
- KÖRSCHENS, M. & E. SCHULZ (1999): Die Organische Bodensubstanz, Dynamik – Reproduktion – ökonomisch und ökologisch begründete Richtwerte. UFZ-Bericht Nr 13, UFZ Leipzig-Halle, Halle
- KÖRSCHENS, M., ROGASIK, J., SCHULZ, E., BÖNIG, H., EICH, D., ELLERBROCK, R., FRANKO, U., HÜLSBERGEN, K.-J., KÖPPEN, D., KOLBE, H., LEITHOLD, G., MERBACH, I., PESCHKE, H., PRYSTAV, W., REINHOLD, J. & J. ZIMMER (2004): Humusbilanzierung. Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. Standpunkt. VDLUFA, Bonn. http://www.vdlufa.de/vd_00.htm?4
- KREIL, W., SIMON, W. & E. WOJAHN (1983): Ertragsschätzung. In: Futterpflanzenbau. Bd. 2: Ackerfutter. Dt. Landwirtschaftsverlag, Berlin, 60 – 61
- KTBL (2000): Organische/mineralische Abfälle und Wirtschaftsdünger. Datenbank, CD Version 1.0. KTBL, Darmstadt
- KTBL (2002): Kalkulationsdaten im ökologischen Landbau. 1. Auflage. KTBL, Darmstadt, 19 – 20

- KTBL (2004): Faustzahlen für die Landwirtschaft. KTBL, Darmstadt
- KTBL (2005): Faustzahlen für die Landwirtschaft. 13. Auflage, KTBL, Darmstadt
- KTBL (2006): <http://www.ktbl.de/oekolandbau/tagung-biogaserzeugung/biogas-presse.htm>
- KUNDLER, P. & M. SMUKALSKI (1983): Einfluß mineralischer und kombinierter mineralisch-organischer Düngung auf ausgewählte Bodenfruchtbarkeitskennziffern (BFK) eines grundwasserfernen Sandbodens. Arch. Acker- Pfl. Bodenkd. 27, 307 – 315
- KUNDLER, P., EICH, D., LISTE, J. & K. RAUHE (1981): Mehr tun als nur ersetzen. DBZ, Nr. 36, 8 – 9
- LABER, H. (2000a): Düngung im ökologischen Gemüsebau. Informationen für Praxis und Beratung. Broschüre. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden
- LABER, H. (2000b): Ökologischer Gemüsebau. Managementunterlage. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden
- LABER, H. (2001): Organische Handelsdünger für den ökologischen Gemüsebau. ÖKOmenischer Gärtnerrundbrief, 1, 27 – 29. <http://orgprints.org/1956/>
- LABER, H. (2004a): Praxisversuche zur N-Düngung in sächsischen Öko-Gemüsebaubetrieben. Info-dienst Nr. 1, 105 – 117. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden
- LABER, H. (2004b): Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden (mündl. Mitteilung)
- LEITHOLD, G. & K.-J. HÜLSBERGEN (1998): Humusbilanzierung im ökologischen Landbau. Ökologie & Landbau 105, 32 – 35
- LEITHOLD, G., F. SCHULZ & K.-P. FRANZ (2003): Eignung von Sojabohnensorten mit kurzer Vegetationszeit für einen Anbau auf einem ökologisch bewirtschafteten Grenzstandort unter Berücksichtigung unterschiedlicher Reihenabstände. Pflanzenbauwiss. 7, 21 – 28
- LEITHOLD, G., HÜLSBERGEN, K.-J., MICHEL, D. & H. SCHÖNMEIER (1997): Humusbilanz – Methoden und Anwendung als Agrar-Umweltindikator. Initiativen zum Umweltschutz 5, 43 – 54. Zeller Verlag, Osnabrück
- LFL (2000): Bildtafel zur Gräserbestimmung. 6. Auflage. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden
- LFL (2004): http://www.landwirtschaft.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft/lfl/inhalt/3616_3621.htm
- LIBISELLER, R. (1969): Boden-pH, Düngerphosphate und Bodenuntersuchung. Z. Pflanzenern. Bodenkde. 123, 33 – 48
- LINDENTHAL, TH. (2000): Phosphorvorräte in Böden, betriebliche Phosphorbilanzen und Phosphorversorgung im Biologischen Landbau. Dissertation, Wien
- LINKE, E., HEROLD, L. & H. BRUCHHOLZ (1983): Ergebnisse von Dauerdüngungsversuchen zur Prüfung verschiedener Kalidüngemittel und steigender Kaliaufwandmengen in einer Kartoffelfeldgemüse-Fruchtfolge. Speziell. Agrochemie. Forschung und Praxis 12, 13 – 19
- LIPPOLD, H. (2000): Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Leipzig (mündl. Mitteilung)
- LOGES, R. (1998): Ertrag, Futterqualität, N₂-Fixierungsleistung und Vorfruchtwert von Rotklee- und Rotklee-grasbeständen. Dissertation, Kiel. Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, H. 9
- LOGES, R. (2006): Universität Kiel (mündl. Mitteilung)

- LOGES, R. & F. TAUBE (1999): Ertrag und N₂-Fixierungsleistung unterschiedlich bewirtschafteter Futterleguminosenbestände. In: H. HOFFMANN & S. MÜLLER: Beiträge zur 5. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau. Verlag Dr. Köster, Berlin, 101 - 104
- LOGES, R., A. KASKE, K. INGWERSEN & F. TAUBE (2000): Yield, forage quality, residue nitrogen and nitrogen fixation of different forage legumes. Proceedings IFOAM scientific conference 13, 28 – 31
- LOPOTZ, H.-W. (1996): Biologische N₂-Fixierung von Klee-Reinbeständen und Klee gras-Gemengen unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses der N-Nachlieferung des Bodens. Dissertation, Bonn
- LÜDDECKE, F. (1976): Ackerfutter. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin
- LWK HANNOVER (2004): Grundwasserschutz durch Ökologischen Landbau in Futterbaubetrieben. Abschlussbericht des Versuchsvorhabens, Landwirtschaftskammer, Hannover
- LWK SCHLESWIG-HOLSTEIN (2001): Klee gras-untersaaten. Grundfutterproduktion in der Praxis des ökologischen Landbaus. Sommergetreide/Erbsen GPS. <http://www.lwk-sh.de/fachinfo/ackerbau/oeko-landbau/>
- MÄDER, P., AFÖLDI, TH., NIGGLI, U., BESSON, J.-M. & D. DUBOIS (1997): Der Wert des DOK-Versuches unter den Aspekten moderner agrarwissenschaftlicher Forschung. Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde 42, 279 – 301
- MÄDER, P., BERNER, A., BOSSHARD, CHR., OBERHOLZER, H.-R. & P. FITZE (2000): Soil nutrients and yield of winter wheat grown on Swiss organic farms. IFOAM Scientific Conference Proceedings 13, 26
- MARSCHNER, H. (1995): Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London
- MEINSEN, C. (1983): Pflanzenbauliche Aspekte der Ertragsprogrammierung beim Anbau von Rotklee und Rotklee gras. Akademie der Landwirtschaftswiss. DDR, Berlin
- MENGE, M. (2005): 10 Jahre Programm „Umweltgerechte Landwirtschaft im Freistaat Sachsen“ – eine gute Entwicklung im Acker- und Pflanzenbau. Infodienst für Beratung und Schulung der Sächsischen Agrarverwaltung Nr. 11, 39 – 49
- MENGE, M. (2007): Umweltgerechte Landwirtschaft 2005. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, H. 1
- MENGEL, K. (1991): Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Fischer, Jena
- MENNE, C. (2005): EDV gestützte Management-Systeme für den Ökologischen Landbau. Naturland Nachrichten 04/05, 22 – 23
- MOKRY, M. (1998): K-Düngungsversuche – Baden-Württemberg. VDLUFA-Schriftenreihe 47, 99 – 104
- MÖLLER, K. et al. (2003): Handbuch Ökologischer Kartoffelanbau. Österreichischer Agrarverlag, Leopoldsdorf
- MÜLLER, T. et al. (2003): Umsatz und Wirkung vegetabiler Düngemittel im Ökologischen Gemüseanbau. Bericht, Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften, Universität Kassel. <http://orgprints.org/6957/>

- NEHRING, K. (1972): Lehrbuch der Tierernährung und Futtermittelkunde. Verlag J. Neumann-Neudamm, Melsungen
- NEUMANN, A., C. HOF, K. SCHMIDTKE & R. RAUBER (2003): Ertragsbildung und symbiotische Stickstoff-Fixierung der Linse (*Lens culinaris* Medik.) in Reinsaat und Gemenge mit Nacktgerste (*Hordeum vulgare* ssp. *Nudum* L.). Mitt. Pflanzenbauwiss. 15, 99 – 101
- NIEDER, R. (2000): Nährstoffanreicherung in Ackerkrumen vor dem Hintergrund des Boden-, Klima- und Gewässerschutzes. Z. f. Kulturtechnik und Landentwicklung 41, 49 – 56
- NOLTE, C. (1989): Bilanzierung des Nährstoffkreislaufes auf dem biologisch-dynamisch bewirtschafteten „Boschheidhof“ sowie Untersuchungen zum Phosphor- und Kaliumhaushalt in drei ausgewählten Böden im Vergleich zu drei Böden eines benachbarten konventionellen Betriebes. Dissertation, Bonn
- NUSSBAUM, H. (2005): LVVG, Aulendorf (mündl. Mitteilung)
- NYKÄNEN, A. et al. (2005): Comparison of NIRS based methods to determine legume content of mixed swards. In: Adaption and Management of forage legumes-strategies for improved reliability in mixed swards. COST workshop, Uppsala, 282 – 285
- OEHMICHEN, J. (1986): Pflanzenproduktion. Band 2: Produktionstechnik. Verlag Paul Parey, Berlin
- ORLOVIUS, K. (1988): Bodenkundliche Differenzierung als Grundlage einer schlagspezifischen Kali-Düngung, dargestellt an zwei Beispielstandorten in Westfalen-Lippe. VDLUFA-Schriftenreihe 28, Kongressband 1988, 341 – 359
- OSTERBURG, B., I. RÜHLING, T. RUNGE, T. G. SCHMIDT, K. SEIDEL, F. ANTONY, B. GÖDECKE & P. WITTLFELDER (2007): Kosteneffiziente Maßnahmenkombinationen nach Wasserrahmenrichtlinie zur Nitratreduktion in der Landwirtschaft. In: OSTERBURG, B. & T. RUNGE: Maßnahmen zur Reduzierung von Stickstoffeinträgen in Gewässer – eine wasserschutzorientierte Landwirtschaft zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. Landbauforschung Völknerode, SH 307, 3 – 156
- PARCOM [Paris Convention for the Prevention of Marine Pollution] (1993): PARCOM guide lines for calculating mineral balances. Meeting of the ad hoc working group on measures to reduce the nutrient load from agriculture 3, The Hague, The Netherlands
- PAULSEN, H.-M. (2003): Fruchtfolgegestaltung im Ökobetrieb zur Erlangung einer Treibstoffautarkie. FAL-Studie, FAL, Braunschweig
- PERETZKI, F. et al. (2004): Gülleuntersuchungen nach KULAP. Ergebnisprotokoll der Winterarbeitsbesprechung zwischen Institut Agrarökologie, Ökologischer Landbau und Bodenschutz (IAB) und Sachgebiet 2.1.A an den Landwirtschaftsämtern (LwÄ), 30.04.2004, Freising
- PETTERSSON, B. D., REENTS, H. J. & E. V. WISTINGHAUSEN (1992): Düngung und Bodeneigenschaften. Ergebnisse eines 32-jährigen Feldversuches in Järna, Schweden. Schriftenreihe Band 2, Institut für biologisch-dynamische Forschung, Darmstadt
- PFLUB, W. & E. WIECHENS (1972): Ergebnisse von Kaliumdüngungsversuchen sowie Folgerungen für die Festlegung von Grenzwerten für die Beurteilung des Kaliumgehaltes von Mineralböden. Landw. Forsch. 25, 319 – 335

- PIETSCH, G. (2004): N₂-Fixierleistung und Wasserverbrauch von Futterleguminosen im Ökologischen Landbau unter klimatischen Bedingungen der pannonischen Region Österreichs. Dissertation, Wien
- PIORR, H. P., BERG, M. & W. WERNER (1991): Stallmistkompost im ökologischen Landbau: Erhebungsuntersuchung zu Nährstoffgehalten und deren Beziehung zu Aufbereitungsverfahren. VDLUFA-Schriftenreihe, Kongressband 1991, 335 – 339
- POLETSCHNY, H. (1992): Kompostverwertung im Landbau aus der Sicht des Verbandes Deutscher Landw. Untersuchungs- und Forschungsanstalten. VDLUFA-Schriftenreihe, Kongressband 1992, 203 – 217
- RAHMANN, G. (2006): FAL, Trenthorst (mündl. Mitteilung)
- RAUPP, J. (2001): Forschungsthemen und Ergebnisse eines Langzeitdüngungsversuchs in zwei Jahrzehnten; ein Beitrag zur Bewertung von pflanzenbaulichen Langzeitversuchen. Berichte über Landwirtschaft 79, 71 - 93
- REDELBERGER, H. (2000): Betriebsplanung im ökologischen Landbau. Bioland Verlag, Mainz
- REDELBERGER, H. (2004): Management-Handbuch für die ökologische Landwirtschaft. Betriebswirtschaftliche Instrumente. KTBL-Schrift 425, KTBL, Darmstadt
- REHBEIN, G., SCHARF, H. & H. SCHÖNMEIER (1976): Zur Wirkung gestaffelter Güllegaben auf die Kaliumzüge und den Kaliumhaushalt des Bodens. Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd. 20, 395 – 406
- REICHARD, TH. (1969): Ein langjähriger Phosphatformenversuch. Z. Pflanzenern. Bodenkd. 123, 22 – 32
- REICHE, D. (1984): Erarbeitung neuer Parameter für die Magnesiumdüngerbemessung zur Erzielung hoher Pflanzenerträge unter Berücksichtigung der in der DDR vorhandenen Magnesiumquellen und des Magnesiumdüngerbedarfes auf der Grundlage der in der DDR durchgeführten Magnesiumdüngungsversuche. Dissertation A, Leipzig
- REINING, E., J. BACHINGER, K. STEIN-BACHINGER (1999): Verfahren zur Abschätzung der symbiontisch fixierten N-Menge von Futter- und Körnerleguminosen als Grundlage von Planungswerkzeugen zur schlag- und fruchtfolgebezogenen N-Bilanzierung. http://www.zalf.de/home_zalf/download/forschungsprojekte_upload/56_20120051026390x_bach_NFix_Berlin99.pdf
- RICHTER, W. & L. SUNTHEIM (2005): Zur Phosphatfixierung in sächsischen Verwitterungsböden auf den Ergussgesteinen Nephelinbasalt, Phonolith und Diabas. Arch. Agron. Soil Sci. 51, 371 – 384
- RIEHL, G. (2005): Hinweise zur Ermittlung der Erträge auf Grünland. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden. http://www.landwirtschaft.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft/lfl/inhalt/3616_3617.htm (mündl. Mitteilungen)
- ROGASIK, J. & J. REINHOLD (2005): Organische Düngung. In: Grundlagen der guten fachlichen Praxis. Aus der Reihe „Kompost für die Landwirtschaft“. Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V., Köln
- RÖMER, W. (1999): Hohe Bodenphosphorgehalte und die Gefahr des P-Eintrages in das Medium Wasser. Mitteilung des Instituts für Grundwasserwirtschaft der TU Dresden, Heft 2, 31 – 40

- RÖMER, W., CLAASSEN, N., STEINGROBE, B. & R. HILMER (2005): P- und K-Düngung. Reaktion von Winterweizen und Wintergerste auf die P- und K-Düngung in einem 20-jährigen Feldversuch. *Getreide-Magazin* 10, 4, 238 – 242
- SCHAAF, T. (1998): Integration von Modellansätzen zur Bodenbearbeitung und Düngung in den Baukasten für Stickstoffsimulationsmodelle EXPERT-N. Dissertation, Bonn, Schriftenreihe d. Zentralstelle für Agrardokumentation und -information, ZADI, Bonn
- SCHACHTSCHABEL, P. (1956): Die Magnesiumversorgung nordwestdeutscher Böden und seine Beziehungen zum Auftreten von Mangelsymptomen an Kartoffeln. *Z. Pflanzenern. Bodenkde.* 74, 202 – 219
- SCHACHTSCHABEL, P., BLUME, H.-P., HARTGE, K.-H. & U. SCHWERTMANN (1976): Lehrbuch der Bodenkunde. 9. Auflage, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart
- SCHACHTSCHABEL, P., BLUME, H.-P., BRUMMER, G., HARTGE, K.-H. & U. SCHWERTMANN (1989): Lehrbuch der Bodenkunde. 12. Auflage, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart
- SCHAEFFER, B. et al. (2004): Hoftor- und Schlagbilanzen. In: *WaWi*, 10/2004, ATV-DVWK-Bericht, 46 – 48
- SCHAEFFER, B. & B. ULRICH (1960): Lehrbuch der Agrikulturchemie und Bodenkunde. III. Teil: Humus und Humusdüngung. Band I: Morphologie, Biologie, Chemie und Dynamik des Humus. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart
- SCHELLER, E. (1999): Pflanzenernährung und Düngung im organischen Landbau. In: I. LÜNZER & H. VOGTMANN: *Ökologische Landwirtschaft. Pflanzenbau – Tierhaltung – Management.* 02.02, 1 – 21. Springer Loseblatt-Systeme, med-inform Verlagsgesellschaft, Düsseldorf
- SCHMALER, K. (2005): Ergebnisse der Maisversuche aus Brandenburg. Humboldt-Universität, Berlin (persönl. Mitteilung)
- SCHMIDTKE, K. (1997): Einfluß von Rotklee (*Trifolium pratense* L.) in Reinsaat und Gemenge mit Poaceen auf symbiotische N₂-Fixierung, bodenbürtige N-Aufnahme und CaCl₂-extrahierbare N-Fractionen im Boden. Dissertation, Gießen
- SCHMIDTKE, K. (2003): Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Universität, Göttingen (persönl. Mitteilung)
- SCHMIDTKE, K. (2005): How to calculate nitrogen, rhizodeposition: a case study in estimating N rhizodeposition in the pea (*Pisum sativum* L.) and grass pea (*Lathyrus sativus* L.) using a continuous ¹⁵N labelling split-root technique. *Soil Biol. & Biochem.* 37, 1893 - 1897
- SCHMIDTKE, K. & R. RAUBER (2000): Stickstoffeffizienz von Leguminosen im Ackerbau. In: C. MÖLLERS: *Stickstoffeffizienz landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Initiativen zum Umweltschutz* 21, 48 – 69
- SCHÜLLER, H. (1969): Die CAL-Methode, eine neue Methode zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphates in Böden. *Z. Pflanzenern. Bodenkde.* 123, 48 – 63
- SCHULZ, H. & G. MAASS (1994): Einfluss gestaffelter Güllegaben in Verbindung mit Stroh- und/oder Gründüngung auf einige chemische Bodeneigenschaften. *Arch. Acker- Pfl. Bodenkde.* 38, 277 – 285

- SCHULZ, V. (1994): Pflanzenverfügbares Kalium in norddeutschen Sandböden als Grundlage umweltschonender Kalium-Düngung von Ackerkulturen. Dissertation, Göttingen
- SCHWEIZER, K. & H. PAGEL (1998): Einfluss langfristig unterschiedlicher Düngung auf P-Fractionen und P-Sorption einer Tieflehm-Fahlerde und Sandlehm-Braunschwarzerde. Arch. Acker- Pfl. Bodenkde. 43, 361 – 372
- SHEPHERD, M. A. et al. (1999): The Environmental Impacts of Manure Use in Organic Agriculture. Report for Project OF0161 to MAFF
- STEIN-BACHINGER, K. (1993): Optimierung der zeitlich und mengenmäßig differenzierten Anwendung von Wirtschaftsdüngern im Rahmen der Fruchtfolge organischer Anbausysteme. Dissertation, Bonn
- STEIN-BACHINGER, K. et al. (2004): Nährstoffmanagement im Ökologischen Landbau. KTBL Schrift 423. KTBL, Darmstadt
- STEINHÖFEL, O. & I. LIPPMANN (2005): Futterrationsbeispiele für Ökobetriebe. Broschüre. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden
- STUMPE, H., GARZ, J., JOHANNEMANN, R. & M. BUCHTE (1988): Der Einfluß unterschiedlicher K-Düngung auf Ertrag und einige Bodeneigenschaften in einem Dauerversuch auf einer Sandlöß-Braunschwarzerde in Halle. Richtig Düngen - mehr Ernten, Beiträge zur Kalidüngung in der Land- und Forstwirtschaft 12, H. 2, 1 - 16
- STUMPE, H., GARZ, J., JOHANNEMANN, R. & M. BUCHTE (1989): Einfluß der K-Düngung auf den Ertrag und einige Bodeneigenschaften in einem Dauerversuch auf einer Sandlöß-Braunschwarzerde in Halle. Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkde. 33, 301 – 310
- SUNTHEIM, L. & K.-H. NEUBERT (2000): Amtliche Untersuchungen auf pflanzenverfügbares Phosphor und Kalium in Böden ab 2001 auch im Freistaat Sachsen nach der CAL-Methode. Infodienst der Sächsischen Agrarverwaltung Nr. 11, 77 – 79
- TLL (1995): Anwenderbroschüre Düngung. Schriftenreihe d. Thüringer Landesanstalt f. Landwirtschaft H. 1, Jena, 1 – 106
- TROTT, H. et al. (2001): Schätzung des Trockenmasseertrages auf Dauergrünland mit Hilfe der Höhenmessung. Jahrestagung der AGGF 45, 111 – 112, Gumpenstein
- VETTER, H. & A. KLASINK (1977a): Ergebnisse eines 6jährigen Kalisteigerungsversuches auf einer neu angelegten Sandmischkultur. In: H. VETTER: Wieviel Düngen? DLG-Verlag, Frankfurt/Main, 118 – 128
- VETTER, H. & A. KLASINK (1977b): Ergebnisse langjähriger Kalisteigerungsversuche auf zwei Braunerden aus Löß. In: H. VETTER: Wieviel Düngen? DLG-Verlag, Frankfurt/Main, 99 – 117
- VOIGTLÄNDER, G. & N. VOSS (1979): Methoden der Grünlanduntersuchung und –bewertung. Eugen Ulmer, Stuttgart
- VOIGTLÄNDER, G. & H. JACOB (1987): Grünlandwirtschaft und Futterbau. Ulmer Verlag, Stuttgart
- WAGENITZ, J. (1996): Einsatz von Komposten im ökologischen Weinbau. Ökologie & Landbau 24, 3, 63 – 65

- WATSON, C. A., H. BENGTSSON, M. EBBESVIK, A.-K. LOES, A. MYRBECK, E. SALOMON, J. SCHRÖDER & E. A. STOCKDALE (2002): A review of farm-scale nutrient budgets for organic farms as tool for management of soil fertility. *Soil Use and Management* 18, 264 – 273
- WECHSUNG, G. & H. PAGEL (1993): Akkumulation und Mobilisation von Phosphaten in einer Schwarzerde im Statischen Dauerversuch Lauchstädt – Betrachtung der P-Bilanz nach 84 Versuchsjahren. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 156, 301 – 306
- WEILAND, P. & J. SCHRÖDER (2006): Vermeidung von Ammoniak- und Lachgasemissionen im Ökologischen Landbau durch gemeinsame Vergärung Klee gras und Wirtschaftsdünger. Abschlussbericht. FAL, Braunschweig
- WEISSBACH, F. (1995): Über die Schätzung des Beitrags der symbiotischen N₂-Fixierung durch Weißklee zur Stickstoffbilanz von Grünlandflächen. *Landbauforschung Völkenrode*, 45, 2, 67 – 74
- WOESE, K., LANGE, D., BOESS, C. & K. W. BÖGL (1995a): Ökologisch und konventionell erzeugte Lebensmittel im Vergleich. Eine Literaturstudie. Teil I. *BGVV-Heft* 4, 1 – 371
- WOESE, K., LANGE, D., BOESS, C. & K. W. BÖGL (1995b): Ökologisch und konventionell erzeugte Lebensmittel im Vergleich. Eine Literaturstudie. Teil II. *BGVV-Heft* 5, 372 – 758
- WULFF, F., SCHULZ, V., JUNGK, A. & N. CLAASSEN (1998): Potassium fertilization on sandy soils in relation to soil test, crop yield and K-leaching. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 161, 591 – 599
- ZENTRALVERBAND GARTENBAU (ZVG) (2002): Kompost im Gartenbau. Handbuch. ZVG, Bonn
- ZIMMER, J. & M. ROSCHKE (2006): Humusreproduktion von Stalldung, Stroh und Gülle-Stroh-Kombination auf humusarmen diluvialen Sandböden. *VDLUFA-Schriftenreihe* 61, Kongressband 2005, 441 – 449
- ZORN, W., HESS, W., ALBERT, E., KOLBE, H., KERSCHBERGER, M. & G. FRANKE (2007): Düngung in Thüringen 2007 nach „Guter fachlicher Praxis“. *Schriftenreihe Landwirtschaft und Landschaftspflege in Thüringen*, H. 7

12 Anhang

Tabelle A1: N-Gehalte von Futterpflanzen differenziert nach dem Vegetationsstadium

Fruchtarten	vor der Blüte			in der Blüte			nach der Blüte		
	TM	N		TM	N		TM	N	
	(%)	(kg/dt FM)	(kg/dt TM)	(%)	(kg/dt FM)	(kg/dt TM)	(%)	(kg/dt FM)	(kg/dt TM)
Leguminosen-/ Nichtlegum.-Gemenge									
Kleegras 30:70	19,3	0,46	2,38	24,5	0,41	1,69	29,0	0,42	1,44
Kleegras 50:50	18,7	0,49	2,62	23,8	0,45	1,89	28,0	0,46	1,64
Kleegras 70:30	17,2	0,52	3,02	23,2	0,49	2,11	27,0	0,50	1,85
Luzernegras 30:70	19,5	0,49	2,51	24,5	0,44	1,80	28,9	0,42	1,45
Luzernegras 50:50	18,9	0,54	2,86	23,8	0,50	2,10	27,8	0,47	1,69
Luzernegras 70:30	18,3	0,59	3,22	23,1	0,55	2,39	26,8	0,52	1,94
Leguminosen-(feink.)/Nichtlegum.-Gemenge	18,7	0,49	2,62	23,8	0,45	1,89	28,0	0,46	1,64
Landsberger Gemenge	15,0	0,43	2,87	16,0	0,38	2,38	18,0	0,39	2,17
Leguminosen-(grobk.)/ Nichtlegum.-Gemenge	13,5	0,45	3,33	16,0	0,43	2,69	25,0	0,46	1,84
Leguminosen-(grobk.)/ Getreide-Gemenge GPS 30:70							30,0	0,46	1,53
Leguminosen-(grobk.)/ Getreide-Gemenge GPS 50:50							27,5	0,52	1,89
Leguminosen-(grobk.)/ Getreide-Gemenge GPS 70:30							25,0	0,59	2,36
Leguminosen									
Luzerne	17,5	0,65	3,71	22,0	0,63	2,86	25,2	0,58	2,30
Rotklee	17,0	0,56	3,29	22,1	0,54	2,44	25,6	0,55	2,15
Weißklee	13,4	0,53	3,96	15,0	0,51	3,40	19,2	0,53	2,76
Alexandrinerklee	15,3	0,52	3,40	20,5	0,61	2,98	24,0	0,63	2,63
Inkarnatklee	14,0	0,47	3,36	19,4	0,45	2,32	24,5	0,50	2,04
Persischer Klee	13,0	0,50	3,85	19,0	0,55	2,89	23,0	0,60	2,61
Gelbklee	15,5	0,58	3,74	19,8	0,60	3,03	24,5	0,63	2,57
Hornklee	15,5	0,58	3,74	19,8	0,60	3,03	24,5	0,63	2,57
Esparssette	18,0	0,61	3,39	20,3	0,56	2,76	24,5	0,66	2,69
Serradella	15,5	0,54	3,48	19,8	0,58	2,93	24,5	0,60	2,45
Erdklee	15,5	0,58	3,74	19,8	0,60	3,03	24,5	0,63	2,57
Klee-, Luzernegemenge	17,3	0,58	3,35	22,1	0,58	2,62	25,4	0,59	2,32
Leguminosengemenge (fein- u. grobk.)	15,0	0,54	3,60	19,0	0,54	2,84	25,0	0,60	2,40
Ackerbohne Futter	15,0	0,62	4,13	16,7	0,48	2,87	30,0	0,76	2,53

Tabelle A1: (Fortsetzung)

Fruchtarten	vor der Blüte			in der Blüte			nach der Blüte		
	TM	N		TM	N		TM	N	
	(%)	(kg/dt FM)	(kg/dt TM)	(%)	(kg/dt FM)	(kg/dt TM)	(%)	(kg/dt FM)	(kg/dt TM)
Futtererbse	13,7	0,45	3,28	19,2	0,50	2,60	24,3	0,60	2,47
Lupine	11,7	0,43	3,68	14,0	0,45	3,21	25,0	0,45	1,80
Wicke Futter	13,0	0,60	4,62	15,9	0,55	3,46	23,8	0,61	2,56
Leguminosengemenge (grobk.)	12,8	0,54	4,22	15,7	0,51	3,25	25,0	0,61	2,44
Leguminosengemenge (grobk.) GPS							25,0	0,65	2,60
Nichtleguminosen									
Deutsches Weidelgras	17,3	0,41	2,37	22,8	0,36	1,58	28,0	0,40	1,43
Welsches Weidelgras	17,3	0,40	2,31	22,8	0,33	1,45	28,0	0,37	1,32
Einjähriges Weidelgras	20,3	0,41	2,02	25,5	0,35	1,37	30,4	0,40	1,32
Knautgras	21,0	0,45	2,14	27,8	0,38	1,37	32,5	0,34	1,05
Wiesenfuchsschwanz	21,0	0,45	2,14	26,5	0,35	1,32	32,0	0,30	0,94
Wiesenlieschgras	23,0	0,41	1,78	28,0	0,38	1,36	33,0	0,35	1,06
Wiesenschwingel	22,0	0,44	2,00	25,0	0,40	1,60	29,0	0,37	1,28
Feldgras	20,3	0,42	2,07	25,5	0,36	1,41	30,4	0,36	1,18
Futerraps	11,0	0,35	3,18	12,0	0,32	2,67	13,0	0,32	2,46
Rübsen	11,0	0,35	3,18	12,0	0,34	2,83	13,0	0,31	2,38
Senf Futter	13,0	0,44	3,38	15,0	0,50	3,33	17,0	0,40	2,35
Nichtleguminosengemenge (Kreuzblütler)	16,0	0,36	2,25	19,3	0,35	1,81	22,4	0,31	1,38
Futtergerste	17,0	0,40	2,35	23,0	0,32	1,39	30,0	0,36	1,20
Futterhafer	18,0	0,35	1,94	23,5	0,30	1,28	30,0	0,35	1,17
Futterroggen	16,0	0,40	2,50	21,5	0,35	1,63	30,0	0,40	1,33
Futterweizen	22,0	0,40	1,82	25,0	0,34	1,36	30,0	0,36	1,20
Getreide Ganzpflanze	18,0	0,39	2,17	22,7	0,33	1,45	29,7	0,37	1,25
Getreide Ganzpflanze GPS							29,7	0,37	1,25
Grünmais	17,0	0,25	1,47	20,5	0,26	1,27	28,5	0,33	1,16
Silomais (Zweitfrucht)	17,0	0,25	1,47	20,5	0,26	1,27	28,5	0,33	1,16
Sonnenblume Futter	11,0	0,28	2,55	12,0	0,25	2,08	14,0	0,21	1,50
Nichtleguminosengemenge	16,5	0,34	2,10	20,0	0,31	1,61	25,0	0,32	1,29
Nichtleguminosengemenge GPS							27,5	0,44	1,60

Tabelle A2: N-Gehalte von Grünland differenziert nach Nutzungsintensität (Anzahl Aufwüchse/Jahr und/oder Ertrag (dt FM/ha)) und Vegetationsstadium

Nutzungsintensität	1 Aufwuchs		2 Aufwüchse		3 Aufwüchse		4 Aufwüchse	
	0 - 200		200 - 300		300 - 400		> 400	
Vegetationsstadium	TS	N	TS	N	TS	N	TS	N
	%	kg/dt FM	%	kg/dt FM	%	kg/dt FM	%	kg/dt FM
vor der Blüte	25	0,43	18	0,44	18	0,48	17	0,51
in der Blüte	38	0,51	23	0,43	21	0,51	21	0,54
nach der Blüte	43	0,56	--	--	--	--	--	--

Quellen: DLG-FUTTERWERTTABELLEN (1997) u. a.

Tabelle A3: N-Gehalte und Mengen von Saat- und Pflanzgut

Kulturen	Saat-/Pflanzgutmengen (kg FM)	N-Gehalte (kg N/dt FM)
Körnerfrüchte		
Qualitätsweizen	200	1,75
Winterweizen	200	1,68
Winterweizen Brau	200	1,68
Wintergerste	150	1,35
Wintergerste Brau	150	1,35
Winterroggen	150	1,29
Triticale	150	1,36
Sommergerste Futter	180	1,34
Sommergerste Brau	180	1,34
Hafer	160	1,58
Sommerweizen	220	1,80
Durumweizen	180	2,00
Dinkel	180	2,13
Sommerroggen	150	1,25
Getreidegemenge	170	1,46
Körnermais	30	1,28
Buchweizen	50	1,66
Hülsenfrüchte		
Erbse	240	3,5
Ackerbohne	200	4,2
Lupine blau	170	4,8
Lupine gelb	170	6,1
Lupine weiß	250	5,2
Wicke	130	3,8
Hülsenfruchtgemenge	200	4,6
Linse	100	3,9
Sojabohne	130	5,5
Hülsenfrucht-/ Nichtlegum.-Gemenge	220	3,0

Tabelle A3: (Fortsetzung)

Kulturen	Saat-/Pflanzgutmengen (kg FM)	N-Gehalte (kg N/dt FM)
Ölfrüchte		
Winterraps	6	2,80
Sommerraps	8	3,00
Sonnenblume	8	2,40
Öllein	35	3,10
Senf	12	3,86
Leindotter	5	3,70
Hackfrüchte		
Silomais	35	1,28
Corn-Cob-Mix (CCM) (60 % TS)	30	1,28
Frühkartoffeln	2500	0,39
Mittelfrühe Kartoffeln	2500	0,31
Spätkartoffeln	2500	0,31
Zuckerrüben	10	1,53
Gehaltsrüben	10	1,53
Masserüben	10	1,53
Futterpflanzen (Hauptfutteranbau)		
Kleegras 30:70	30	3,3
Kleegras 50:50	30	3,3
Kleegras 70:30	30	3,3
Luzernegras 30:70	30	3,3
Luzernegras 50:50	30	3,3
Luzernegras 70:30	30	3,3
Leguminosen-(feink.)/Nichtlegum.-Gemenge	30	3,3
Landsberger Gemenge	70	3,8
Leguminosen-(grobk.)/Nichtlegum.-Gemenge	200	3,0
Leguminosen-(grobk.)/Getreide-Gemenge GPS 30:70	200	3,0
Leguminosen-(grobk.)/Getreide-Gemenge GPS 50:50	200	3,0
Leguminosen-(grobk.)/Getreide-Gemenge GPS 70:30	200	3,0
Luzerne	23	5,49
Rotklee	15	5,49
Weißklee	10	5,49

Tabelle A3: (Fortsetzung)

Kulturen	Saat-/Pflanzgutmengen (kg FM)	N-Gehalte (kg N/dt FM)
Alexandrinerklee	30	5,49
Inkarnatklee	30	5,49
Persischer Klee	19	5,49
Gelbklee	18	5,49
Hornklee	18	5,49
Espalette	170	5,49
Serradella	40	3,5
Erdklee	25	5,49
Klee-, Luzernegemenge	25	5,49
Leguminosengemenge (fein-+ grobk.)	70	4,8
Ackerbohne Futter	200	4,2
Futtererbse	150	3,5
Lupine	160	5,4
Wicke Futter	110	3,8
Leguminosengemenge (grobk.)	180	4,2
Leguminosengemenge (grobk.) GPS	180	4,2
Deutsches Weidelgras	25	1,8
Welsches Weidelgras	40	1,8
Einjähriges Weidelgras	40	1,8
Knautgras	20	1,8
Wiesenfuchsschwanz	30	1,8
Wiesenschnitzgras	20	1,8
Wiesenschwingel	30	1,8
Feldgras	30	1,8
Futtermispel	8	2,8
Rübsen	10	2,8
Senf Futter	20	2,72
Nichtleguminosengemenge (Kreuzblütler)	14	2,8
Futtergerste	150	1,35
Futterhafer	160	1,58
Futterroggen	150	1,29
Futterweizen	200	1,68
Getreide Ganzpflanze	200	1,5

Tabelle A3: (Fortsetzung)

Kulturen	Saat-/Pflanzgutmengen (kg FM)	N-Gehalte (kg N/dt FM)
Grünmais	35	1,3
Silomais (Zweitfrucht)	35	1,3
Sonnenblume Futter	25	2,4
Nichtleguminosengemenge	70	2,0
Getreide Ganzpflanze GPS	200	1,5
Nichtleguminosengemenge GPS	100	2,0
Futterpflanzen (Zwischenfruchtanbau)		
Kleegras 30:70 (Zwfr.)	30	3,3
Kleegras 50:50 (Zwfr.)	30	3,3
Kleegras 70:30 (Zwfr.)	30	3,3
Landsberger Gemenge (Zwfr.)	70	3,8
Luzernegras 30:70 (Zwfr.)	30	3,3
Luzernegras 50:50 (Zwfr.)	30	3,3
Luzernegras 70:30 (Zwfr.)	30	3,3
Leguminosen-/Nichtlegum.-Gemenge (Zwfr.)	100	3,3
Wickroggen (Zwfr.)	150	2,5
Rotklee (Zwfr.)	15	5,49
Persischer Klee (Zwfr.)	19	5,49
Alexandrinerklee (Zwfr.)	30	5,49
Inkarnatklee (Zwfr.)	30	5,49
Gelbklee (Zwfr.)	24	5,49
Hornklee (Zwfr.)	18	5,49
Erdklee (Zwfr.)	32	5,49
Weißklee (Zwfr.)	10	5,49
Espalette (Zwfr.)	170	5,49
Serradella (Zwfr.)	40	3,5
Klee-, Luzernegemenge (Zwfr.)	20	5,49
Luzerne (Zwfr.)	23	5,49
Leguminosengemenge (fein-+grobk.) (Zwfr.)	70	4,8
Ackerbohne (Zwfr.)	215	4,2
Futtererbse (Zwfr.)	150	3,5
Lupine (Zwfr.)	160	5,4
Wicke (Zwfr.)	103	3,8

Tabelle A3: (Fortsetzung)

Kulturen	Saat-/Pflanzgutmengen (kg FM)	N-Gehalte (kg N/dt FM)
Leguminosengemenge (grobk.) (Zwfr.)	180	4,2
Senf (Zwfr.)	20	2,72
Futterraps (Zwfr.)	8	2,8
Rübsen (Zwfr.)	12	2,8
Ölrettich (Zwfr.)	25	2,8
Phacelia (Zwfr.)	10	1,6
Buchweizen (Zwfr.)	50	1,62
Deutsches Weidelgras (Zwfr.)	25	1,84
Welsches Weidelgras (Zwfr.)	40	1,84
Einjähriges Weidelgras (Zwfr.)	40	1,84
Knautgras (Zwfr.)	20	1,84
Wiesenfuchsschwanz (Zwfr.)	30	1,84
Wiesenlieschgras (Zwfr.)	20	1,84
Wiesenschwingel (Zwfr.)	30	1,84
Feldgras (Zwfr.)	35	1,84
Gerste (Zwfr.)	150	1,35
Hafer (Zwfr.)	160	1,58
Roggen (Zwfr.)	170	1,29
Weizen (Zwfr.)	200	1,68
Getreide Ganzpflanze (Zwfr.)	200	1,5
Markstammkohl (Futterkohl) (Zwfr.)	5	2,8
Futtermöhre (Zwfr.)	5	2,8
Sonnenblume (Zwfr.)	20	2,4
Stoppelrübe (Zwfr.)	2	2,8
Grünmais (Zwfr.)	60	1,3
Steckrübe (Kohlrübe) (Zwfr.)	5	2,8
Nichtleguminosengemenge (Zwfr.)	20	2,0
Feldgemüse		
Grünspeiseerbse	280	4,0
Samenvermehrung		
Grassamen	30	1,84
Klee-, Luzernesamen	20	5,50
Serradellasamen	40	3,50
Rübensamen	12	1,53

Tabelle A4: Gehaltsklassen für Makronährstoffe und pH-Wert des Bodens von Ackerland

Bodenart	Gehaltsklassen	pH-Wert bei Humusgehalt [%] ①					P ②	K ②	Mg ③
		< 4	4,1 – 8,0	8,1 – 15,0	15,1 – 30,0	> 30,0			
S	A	≤ 4,5	≤ 4,2	≤ 3,9	≤ 3,6		≤ 2,4	≤ 2,9	≤ 2,0
	B	4,6 - 5,3	4,3 - 4,9	4,0 - 4,6	3,7 - 4,2		2,5 - 4,8	3,0 - 6,9	2,1 - 3,5
	C	5,4 - 5,8	5,0 - 5,4	4,7 - 5,1	4,3 - 4,7		4,9 - 7,2	7,0 - 10,9	3,6 - 5,0
	D	5,9 - 6,2	5,5 - 5,8	5,2 - 5,4	4,8 - 5,1		7,3 - 10,4	11,0 - 15,9	5,1 - 6,5
	E	≥ 6,3	≥ 5,9	≥ 5,5	≥ 5,2		≥ 10,5	≥ 16,0	≥ 6,6
SI, IS	A	≤ 4,8	≤ 4,5	≤ 4,1	≤ 3,7		≤ 2,4	≤ 3,9	≤ 2,5
	B	4,9 - 5,7	4,6 - 5,3	4,2 - 4,9	3,8 - 4,5		2,5 - 4,8	4,0 - 7,9	2,6 - 4,5
	C	5,8 - 6,3	5,4 - 5,9	5,0 - 5,5	4,6 - 5,1		4,9 - 7,2	8,0 - 11,9	4,6 - 6,0
	D	6,4 - 6,7	6,0 - 6,3	5,6 - 5,9	5,2 - 5,5		7,3 - 10,4	12,0 - 18,9	6,1 - 7,5
	E	≥ 6,8	≥ 6,4	≥ 6,0	≥ 5,6		≥ 10,5	≥ 19,0	≥ 7,6
SL, sL	A	≤ 5,0	≤ 4,7	≤ 4,3	≤ 3,8		≤ 2,4	≤ 4,9	≤ 3,0
	B	5,1 - 6,0	4,8 - 5,5	4,4 - 5,1	3,9 - 4,7		2,5 - 4,8	5,0 - 9,9	3,1 - 5,5
	C	6,1 - 6,7	5,6 - 6,2	5,2 - 5,8	4,8 - 5,4		4,9 - 7,2	10,0 - 14,9	5,6 - 7,5
	D	6,8 - 7,1	6,3 - 6,7	5,9 - 6,2	5,5 - 5,8		7,3 - 10,4	15,0 - 22,9	7,6 - 10,1
	E	≥ 7,2	≥ 6,8	≥ 6,3	≥ 5,9		≥ 10,5	≥ 3,0	≥ 10,2
L	A	≤ 5,2	≤ 4,9	≤ 4,5	≤ 4,0		≤ 2,4	≤ 5,9	≤ 6,0
	B	5,3 - 6,2	5,0 - 5,7	4,6 - 5,3	4,1 - 4,9		2,5 - 4,8	6,0 - 10,9	6,1 - 10,0
	C	6,3 - 7,0	5,8 - 6,5	5,4 - 6,1	5,0 - 5,7		4,9 - 7,2	11,0 - 16,9	10,1 - 12,0
	D	7,1 - 7,4	6,6 - 7,0	6,2 - 6,5	5,8 - 6,1		7,3 - 10,4	17,0 - 25,9	12,1 - 20,0
	E	≥ 7,5	≥ 7,1	≥ 6,6	≥ 6,2		≥ 10,5	≥ 26,0	≥ 20,1
IT, T	A	≤ 5,3	≤ 4,9	≤ 4,5	≤ 4,0		≤ 2,4	≤ 7,9	≤ 6,0
	B	5,4 - 6,3	5,0 - 5,8	4,6 - 5,4	4,1 - 5,0		2,5 - 4,8	8,0 - 14,9	6,1 - 10,0
	C	6,4 - 7,2	5,9 - 6,7	5,5 - 6,3	5,1 - 5,9		4,9 - 7,2	15,0 - 23,9	10,1 - 12,0
	D	7,3 - 7,7	6,8 - 7,2	6,4 - 6,7	6,0 - 6,3		7,3 - 10,4	24,0 - 36,9	12,1 - 20,0
	E	≥ 7,8	≥ 7,3	≥ 6,8	≥ 6,4		≥ 10,5	≥ 37,0	≥ 20,1
Mo	A						≤ 2,4	≤ 4,9	≤ 2,0
	B					≤ 4,2	2,5 - 4,8	5,0 - 9,9	2,1 - 3,5
	C					4,3	4,9 - 7,2	10,0 - 16,9	3,6 - 5,0
	D					≥ 4,4	7,3 - 10,4	17,0 - 24,9	5,1 - 6,5
	E						≥ 10,5	≥ 25,0	≥ 6,6

① Bestimmt in Calciumchloridlösung (0,01 mol)

② Bestimmung im Calcium-Acetat-Lactat(CAL)-Auszug

③ Untersucht nach der Methode von Schachtschabel

Bodenarten: S – Sand, SI – anlehmiger Sand, IS – lehmiger Sand, SL – stark lehmiger Sand, sL – sandiger Lehm, L - Lehm, IT – lehmiger Ton, T – Ton, Mo – Moor

Tabelle A5: Gehaltsklassen für Makronährstoffe und pH-Wert des Bodens für Grünland

Bodenart	Gehaltsklassen	pH-Wert bei Humusgehalt [%] ①			P ②	K ②	Mg ③
		≤ 15	15,1 - 30,0	> 30,0			
S	A	≤ 4,0	≤ 3,6		≤ 2,4	≤ 2,9	≤ 2,0
	B	4,1 - 4,6	3,7 - 4,2		2,5 - 4,8	3,0 - 6,9	2,1 - 3,5
	C	4,7 - 5,0	4,3 - 4,7		4,9 - 7,2	7,0 - 11,9	3,6 - 5,0
	D	5,1 - 5,6	4,8 - 5,1		7,3 - 10,4	12,0 - 18,9	5,1 - 6,5
	E	≥ 5,7	≥ 5,2		≥ 10,5	≥ 19,0	≥ 6,6
Sl, IS	A	≤ 4,3	≤ 3,7		≤ 2,4	≤ 3,9	≤ 2,5
	B	4,4 - 5,1	3,8 - 4,5		2,5 - 4,8	4,0 - 7,9	2,6 - 4,5
	C	5,2 - 5,5	4,6 - 5,1		4,9 - 7,2	8,0 - 12,9	4,6 - 6,0
	D	5,6 - 6,1	5,2 - 5,5		7,3 - 10,4	13,0 - 21,9	6,1 - 7,5
	E	≥ 6,2	≥ 5,6		≥ 10,5	≥ 22,0	≥ 7,6
SL, sL	A	≤ 4,5	≤ 3,9		≤ 2,4	≤ 3,9	≤ 3,0
	B	4,6 - 5,3	4,0 - 4,7		2,5 - 4,8	4,0 - 8,9	3,1 - 5,5
	C	5,4 - 5,7	4,8 - 5,4		4,9 - 7,2	9,0 - 14,9	5,6 - 7,5
	D	5,8 - 6,5	5,5 - 5,8		7,3 - 10,4	15,0 - 24,9	7,6 - 10,1
	E	≥ 6,6	≥ 5,9		≥ 10,5	≥ 25,0	≥ 10,2
L	A	≤ 4,7	≤ 4,1		≤ 2,4	≤ 4,9	≤ 6,0
	B	4,8 - 5,5	4,2 - 4,9		2,5 - 4,8	5,0 - 9,9	6,1 - 10,0
	C	5,6 - 5,9	5,0 - 5,7		4,9 - 7,2	10,0 - 16,9	10,1 - 12,0
	D	6,0 - 6,8	5,8 - 6,1		7,3 - 10,4	17,0 - 26,9	12,1 - 20,0
	E	≥ 6,9	≥ 6,2		≥ 10,5	≥ 27,0	≥ 20,1
IT, T	A	≤ 4,7	≤ 4,1		≤ 2,4	≤ 4,9	≤ 6,0
	B	4,8 - 5,6	4,2 - 5,0		2,5 - 4,8	5,0 - 10,9	6,1 - 10,0
	C	5,7 - 6,1	5,1 - 5,9		4,9 - 7,2	11,0 - 17,9	10,1 - 12,0
	D	6,2 - 7,0	6,0 - 6,4		7,3 - 10,4	18,0 - 27,9	12,1 - 20,0
	E	≥ 7,1	≥ 6,5		≥ 10,5	≥ 28,0	≥ 20,1
Mo	A				≤ 2,4	≤ 5,9	≤ 2,0
	B			≤ 4,2	2,5 - 4,8	6,0 - 10,9	2,1 - 3,5
	C			4,3	4,9 - 7,2	11,0 - 16,9	3,6 - 5,0
	D			≥ 4,4	7,3 - 10,4	17,0 - 24,9	5,1 - 6,5
	E				≥ 10,5	≥ 25,0	≥ 6,6

① Bestimmt in Calciumchloridlösung (0,01 mol)

② Bestimmung im Calcium-Acetat-Lactat(CAL)-Auszug

③ Untersucht nach der Methode von Schachtschabel

Bodenarten: S – Sand, Sl – anlehmiger Sand, IS – lehmiger Sand, SL – stark lehmiger Sand, sL – sandiger Lehm, L – Lehm, IT – lehmiger Ton, T – Ton, Mo – Moor

Tabelle A6: Nährstoffgehalte der Mineraldüngemittel

Dünger-Bezeichnung	Nährstoffgehalt (% bzw. kg/dt)										Kalkwert ¹ des Düngers für Ackerland (kg CaO/dt)
	N	P	P ₂ O ₅	K	K ₂ O	Mg	MgO	Na	S	CaO	
P-Dünger											
DC-Naturphosphat fein 29		12,7	29	0,8	1	0,6	1	0,4		40	31
DC-Naturphosphat gran. 26		11,3	26			0,6	1	0,4		40	31
Dolophos 10		4,4	10			4,3	7,2			41	47
Dolophos 15		6,5	15			4,3	7,2			46	50
Dolophos 26		11,3	26			0,6	1			40	31
Dolophos 6		2,6	6			5,7	9,5			47	58
Litho-Physalg G 18		7,9	18			3,0	5			36,4	36
P 16 + 7		7,0	16	0,8	1	4,2	7	0,2		36	43
Physalg 25		10,9	25								-10
Physalg G 18		7,9	18			3,0	5			36,4	36
PK-Dünger											
Litho-Physalg 10 + 17		4,4	10	14,1	17	4,2	7		6	25,2	31
patent-PK 12 + 15		5,2	12	12,5	15	3,0	5				9
K-Dünger											
Hederich-Kainit fein 10				8,3	10	3,0	5	23	4		0
HORTISUL 52				43,2	52				18		0
Kaliumsulfat gran. 50				41,5	50				18		0
Magnesia-Kainit 11				9,1	11	3,0	5	20	4		0
Patentkali Gazon 27				22,4	27	6,0	10		17		0
Patentkali gran. 30				24,9	30	6,0	10		17		0
Physio SK 9,9				8,2	9,9	6,0	10		6	17,9	27
Mg-Dünger											
Dolosul feucht 6						3,6	6		6	25	23
Dolosul granuliert 8						4,8	8		7	30	29
EPSO Combitop Bittersalz 13						7,8	13		13		0
EPSO Microtop Bittersalz 15						9,0	15		12		0
EPSO Top Bittersalz 16						9,6	16		13		0
ESTA Kieserit fein 27						16,3	27		22		0
ESTA Kieserit granuliert 25						15,1	25		20		0
Kalk-Dünger											
Catomin 16										16,5	17
Dolokorn 54						8,6	14,3			54	74
Dolomix 28		2,8	6,5						1	28	24
Grade Extra 49						1,4	2,4			49	52
GRANUKAL 45						1,4	2,4			45	48
Kamsdorfer Mg-Kalk 28						10,9	18			28	53
Kohlensaurer Kalk 50										50	50
Kohlensaurer Kalk + Mg 50						7,2	12			50	67
Kohlensaurer Kalk + Mg + S 48						7,2	12		2	48	61
Kohlensaurer Kalk + S 45									2	45	42

Tabelle A6: (Fortsetzung)

Dünger-Bezeichnung	Nährstoffgehalt (% bzw. kg/dt)										Kalkwert ¹ des Düngers für Ackerland (kg CaO/dt)
	N	P	P ₂ O ₅	K	K ₂ O	Mg	MgO	Na	S	CaO	
Kalk-Dünger											
Konverterkalk feucht-körnig 43						3,0	5			45	52
Litho KR + 32		0,2	0,5	0,2	0	1,7	2,8	6,6		32	40
Nordweiss-Perle 45						1,4	2,4			45	48
Ökophos-Plus 31		2,2	5			4,2	7		4	31	32
optiflor 45						3,0	5			45	52
Physiocal 43						3,6	6			43	51
Physiomax 39						3,6	6			39	47

¹ nach Verfahren Sluijsmans berechnet

Tabelle A7: Überblick über die etablierten Gleichungen zum Einfluss von pflanzenbaulichen Merkmalen auf die N-Bindung bzw. N-Salden für Körnerleguminosen, grobkörnige und feinsamige Leguminosen-Futterbestände und –Gemenge mit Nichtleguminosen

Körnerleguminosen		
KURZFASSUNG		
Kulturen	N-Bindungsgleichung	= N-Bindung
Erbse	$N\text{-Saldo} = (\text{Ertrag} \times N\text{-Gehalt}) \times (0,4 - 0,005 \times N_{\min})$	N-Saldo + N-Entzug
Ackerbohne	$N\text{-Saldo} = (\text{Ertrag} \times N\text{-Gehalt}) \times (0,5 - 0,0025 \times N_{\min})$	N-Saldo + N-Entzug
Lupine blau	N-Bindung = N-Faktor x N-Gehalt x Ertrag	1,25 x 4,8 x Ertrag
Lupine gelb	N-Bindung = N-Faktor x N-Gehalt x Ertrag	1,25 x 6,1 x Ertrag
Lupine weiß	N-Bindung = N-Faktor x N-Gehalt x Ertrag	1,25 x 5,2 x Ertrag
Wicke	N-Bindung = N-Faktor x N-Gehalt x Ertrag	1,05 x 3,8 x Ertrag
Linse	N-Bindung = N-Faktor x N-Gehalt x Ertrag	1,30 x 3,9 x Ertrag
Sojabohne	N-Bindung = N-Faktor x N-Gehalt x Ertrag	0,86 x 5,5 x Ertrag
Hülsenfruchtgemenge	N-Bindung = N-Faktor x N-Gehalt x Ertrag	1,224 x 4,6 x Ertrag
Hülsenfrucht-/ Nichtleguminosen-Gemenge	N-Bindung = N-Faktor x N-Gehalt x Ertrag	1,15 x 3,03 x Ertrag
Grünspeiseerbse	N-Saldo = 150 – 2,4 x N-Entzug	N-Saldo + N-Entzug

Ertrag = Ernteertrag in dt FM (86 % TS)

Körnerleguminosen	
Kulturen	LANGFASSUNG
Erbse (N_{\min} -Bereich: 20-100 kg N) Ertragsbereich (10 - 60 dt FM)	I. N_{HI} $N_{HI} = 20,257 + 2,34 \times \text{Ertrag} + 0,009296 \times \text{Ertrag} \times N_{\min} - 0,03173 \times \text{Ertrag}^2 - 0,002144 \times N_{\min}^2$ II. N-Saldo = N-Entzug x $V_{S/E}$ III. N-Bindung N-Bindung = N-Saldo + N-Entzug
Ackerbohne (N_{\min} -Bereich: 20-100 kg N) Ertragsbereich (10 - 60 dt FM)	I. N_{HI} $N_{HI} = 22,26 + 1,621 \times \text{Ertrag} + 0,00526 \times \text{Ertrag} \times N_{\min} - 0,02077 \times \text{Ertrag}^2 - 0,001381 \times N_{\min}^2$ II. N-Saldo = N-Entzug x $V_{S/E}$ III. N-Bindung N-Bindung = N-Saldo + N-Entzug

Tabelle A7: (Fortsetzung)

Körnerleguminosen	
Kulturen	LANGFASSUNG
Lupine blau (N _{min} -Bereich: 30-70 kg N) Ertragsbereich (5 - 35 dt FM)	I. N_{HI} $N_{HI} = 58,81 + 0,059 \times \text{Ertrag} \times N_{min} - 0,054 \times \text{Ertrag}^2 - 0,0135 N_{min}^2$ II. N-Saldo = N-Entzug x V _{S/E} III. N- Bindung N-Bindung = N-Saldo + N-Entzug
Lupine gelb (N _{min} -Bereich: 30-70 kg N) Ertragsbereich (5 - 35 dt FM)	I. N_{HI} $N_{HI} = 58,81 + 0,059 \times \text{Ertrag} \times N_{min} - 0,054 \times \text{Ertrag}^2 - 0,0135 N_{min}^2$ II. N-Saldo = N-Entzug x V _{S/E} III. N- Bindung N-Bindung = N-Saldo + N-Entzug
Lupine weiß (N _{min} -Bereich: 30-70 kg N) Ertragsbereich (5 - 35 dt FM)	I. N_{HI} $N_{HI} = 58,81 + 0,059 \times \text{Ertrag} \times N_{min} - 0,054 \times \text{Ertrag}^2 - 0,0135 N_{min}^2$ II. N-Saldo = N-Entzug x V _{S/E} III. N- Bindung N-Bindung = N-Saldo + N-Entzug
Linse (N _{min} -Bereich: 20-100 kg N) Ertragsbereich (20 - 28 dt FM)	I. N_{HI} $N_{HI} = 3,32 \times \text{Ertrag} - 35,943$ II. N-Saldo = N-Entzug x V _{S/E} III. N- Bindung N-Bindung = N-Saldo + N-Entzug
Sojabohne (N _{min} -Bereich: 20-100 kg N) Ertragsbereich (10 - 40 dt FM)	I. N_{HI} $N_{HI} = 0,166 \times \text{Ertrag} + 77,129$ II. N-Saldo = N-Entzug x V _{S/E} III. N- Bindung N-Bindung = N-Saldo + N-Entzug

Tabelle A7: (Fortsetzung)

Körnerleguminosen	
Kulturen	LANGFASSUNG
Hülsenfruchtgemenge + Hülsenfrucht-/ Nichtleguminosen-Gemenge (N _{min} -Bereich: 20-100 kg N) Ertragsbereich (10 - 60 dt FM)	I. Einzelne Rechenschritte je nach Leguminosen im Bestand berechnen (I. N_{HI}, II. N-Saldo) II. N-Bindung₁ = N-Saldo + N-Entzug N-Aufnahme = N-Entzug/N_{HI} x 100 N_{sym1} = N-Bindung₁/N-Aufnahme Reinbestand: $N_{sym1} = 0,961 - 0,004038 \times N_{min1} + 0,000007424 \times N_{min1}^2$ Mischbestand: $N_{sym2} = 0,994 - 0,002036 \times N_{min1} + 0,000003533 \times N_{min1}^2$ N _{sym1} in Reinbestand einsetzen, nach N _{min} auflösen, Ergebnis N _{min} in Mischbestand einsetzen und N _{sym2} ausrechnen: <ul style="list-style-type: none"> ▪ $q_1 = 0,961/0,000007424 - N_{sym1}/0,000007424$ ▪ $p_1 = - 0,004038/0,000007424$ ▪ $N_{min1} = -\frac{p_1}{2} - \sqrt{\left(\frac{p_1}{2}\right)^2 - q_1}$ ▪ $N_{sym2} = 0,994 - 0,002036 \times N_{min1} + 0,000003533 \times N_{min1}^2$ ▪ N-Bindung₂ = N-Bindung₁ x N_{sym2}/N_{sym1} x Fruchtartanteil (%) / 100 N-Bindung gesamt = [N-Bindung₂ (1. Frucht)] + [N-Bindung₂ (2. Frucht)] + [N-Bindung₂ (3. Frucht)]
Grünpfeiserbse (N _{min} -Bereich: 20-100 kg N) Ertragsbereich (10 - 55 dt FM)	I. N_{HI} $N_{HI} = - 13,08 + 6,2355 \times \text{Ertrag} - 0,1623 \times \text{Ertrag}^2$ II. N-Saldo = N-Entzug x V_{S/E} III. N- Bindung N-Bindung = N-Saldo + N-Entzug
Wicke keine Berechnung nach Langfassung möglich	N_{min} und Ertragsbereich: Funktionen auf diesen Bereich begrenzt
N-Bindung₁ = den N-Entzug bei Mischbeständen je Leguminose immer als Reinbestand ansehen und einzelnen durchrechnen Ertrag = Brutto-TM-Ertrag in N _{HI} + V _{S/E} -Gleichungen N-Entzug = Brutto-FM-Ertrag x N- Gehalt für alle Körnerleguminosen: $V_{S/E} = 3,264 - 0,008651 \times N_{min} + 0,01053 \times \text{Ertrag} - 0,08141 \times N_{HI} + 0,00003076 \times N_{min}^2 + 0,000496 \times N_{HI}^2$ für Grünpfeiserbse: $V_{S/E}(\text{Grün}) = 12,13 - 0,5329 \times N_{HI} + 0,0061 \times N_{HI}^2 - 0,014 \times N_{min} + 0,00006076 \times N_{min}^2 + 0,01 \times \text{Ertrag}$	

Tabelle A7: (Fortsetzung)

Futterleguminosen	
Kulturen	KURZFASSUNG
Reinsaaten	
Kleearten (alle Kleearten, außer Weißklee)	N-Bindung(2) = $- 60 + 1,24 * N\text{-Entzug}(2)$ N-Saldo = $(- 60 + 1,24 * N\text{-Entzug}(2)) - (70 + 0,8 * N\text{-Entzug}(1))$ Mulchen: N-Bindung(2) = $(- 60 + 1,24 * N\text{-Entzug}(2)) * 0,95$
Weißklee	N-Bindung(2) = $-10 + 1,45 * N\text{-Entzug}(2)$ N-Saldo = $(-10 + 1,45 * N\text{-Entzug}(2)) - (50 + 0,8 * N\text{-Entzug}(1))$ Mulchen: N-Bindung(2) = $(-10 + 1,45 * N\text{-Entzug}(2)) * 0,95$
Luzerne (+ Serradella, Esparsette)	N-Bindung(2) = $-120 + 1,4 * N\text{-Entzug}(2)$ N-Saldo = $(-120 + 1,4 * N\text{-Entzug}(2)) - (10 + 0,75 * N\text{-Entzug}(1))$ Mulchen: N-Bindung(2) = $(-120 + 1,4 * N\text{-Entzug}(2)) * 0,95$
Gemenge	
Kleegras (alle Kleearten)	N-Bindung(2) = $- 50 + 1,19 * N\text{-Entzug}(2)$ N-Saldo = $(- 50 + 1,19 * N\text{-Entzug}(2)) - (60 + 0,8 * N\text{-Entzug}(1))$ Mulchen: N-Bindung(2) = $(-50 + 1,19 * N\text{-Entzug}(2)) * 0,95$
Weißkleegras	N-Bindung(2) = $-10 + 1,4 * N\text{-Entzug}(2)$ N-Saldo = $(-10 + 1,4 * N\text{-Entzug}(2)) - (50 + 0,8 * N\text{-Entzug}(1))$ Mulchen: N-Bindung(2) = $(-10 + 1,4 * N\text{-Entzug}(2)) * 0,95$
Luzernegras (+ Serradella, + Esparsette)	N-Bindung(2) = $-110 + 1,35 * N\text{-Entzug}(2)$ N-Saldo = $(-110 + 1,35 * N\text{-Entzug}(2)) - (40 + 0,8 * N\text{-Entzug}(1))$ Mulchen: N-Bindung(2) = $(-110 + 1,35 * N\text{-Entzug}(2)) * 0,95$
Leguminosen-(grobk.)/ Getreide-Gemenge GPS	N- Bindung (2) = $65 + 0,4 * N\text{-Entzug}(2)$ (4 Stufen, N-Gehalt/ FM) 30 : 70 = 0,46 50 : 50 = 0,52 70 : 30 = 0,59 100 : 0 = 0,65 N-Saldo = $N\text{-Bindung}(2) - N\text{-Entzug}(1)$
Leguminosen(grobk.) /Nichtlegum.-Gemenge	N-Bindung(2) = $65 + 0,4 * N\text{-Entzug}(2)$ N-Saldo = $N\text{-Bindung}(2) - N\text{-Entzug}(1)$
Leguminosengemenge (fein+ grobk.)	
Leguminosengemenge (grobk.)	

Tabelle A7: (Fortsetzung)

Kulturen	LANGFASSUNG
Reinsaaten + Gemenge	
Kleearten (alle Kleearten, außer Weißklee)	N-Bindung(2) = $(- 160 + 0,0015 * N\text{-Entzug}(2)^2) + (0,005 * N\text{-Entzug}(2) * \text{Leg-EA}) + (6,699 * \text{Leg-EA}) - (0,0505 * \text{Leg-EA}^2)$ N-Saldo(1) = $(- 105 + 3,529 * \text{Leg-EA}) - (0,027 * \text{Leg-EA}^2) - (0,235 * N\text{-Entzug}(1)) + (0,00085 * N\text{-Entzug}(1)^2)$ Mulchen: N-Bindung(2) = $((- 160 + 0,0015 * N\text{-Entzug}(2)^2) + (0,005 * N\text{-Entzug}(2) * \text{Leg-EA}) + (6,699 * \text{Leg-EA}) - (0,0505 * \text{Leg-EA}^2)) * 0,93$
Luzerne (+ Serradella, Esparsette)	N-Bindung(2) = $(- 105 + 1,269 * N\text{-Entzug}(2)) + (0,003 * \text{Leg-EA}^2)$ N-Saldo(1) = $(-179 + 0,006 * N\text{-Entzug}(1) * \text{Leg-EA}) + (0,4202 * \text{Leg-EA}) + (0,08 * N\text{-Entzug}(1))$ Mulchen: N-Bindung(2) = $((- 105 + 1,269 * N\text{-Entzug}(2)) + (0,003 * \text{Leg-EA}^2)) * 0,93$
Weißklee	N-Bindung(2) = $- 110 + (0,0015 * N\text{-Entzug}(2)^2) + (0,005 * N\text{-Entzug}(2) * \text{Leg-EA}) + (6,699 * \text{Leg-EA}) - (0,0505 * \text{Leg-EA}^2)$ N-Saldo(1) = $(- 40 + 3,529 * \text{Leg-EA}) - (0,027 * \text{Leg-EA}^2) - (0,235 * N\text{-Entzug}(1)) + (0,00085 * N\text{-Entzug}(1)^2)$ Mulchen: N-Bindung(2) = $((- 110 + 0,0015 * N\text{-Entzug}(2)^2) + (0,005 * N\text{-Entzug}(2) * \text{Leg-EA}) + (6,699 * \text{Leg-EA}) - (0,0505 * \text{Leg-EA}^2)) * 0,93$
Leguminosen-(grobk.)/ Getreide-Gemenge GPS	N-Bindung(2) = $295 + 0,019 * \text{Ertrag(TM)} * \text{Leg.-EA} - 10,732 * N_{\min} + 0,11 * N_{\min}^2$ (N _{min} im Bereich von =>20 bis =<50 kg N/ha) N-Saldo = N-Bindung(2) - N-Entzug(1)
Leguminosen(grobk.) /Nichtlegum.-Gemenge	N-Bindung(2) = $295 + 0,019 * \text{Ertrag(TM)} * \text{Leg.-EA} - 10,732 * N_{\min} + 0,11 * N_{\min}^2$ (N _{min} im Bereich von =>20 bis =<50 kg N/ha)
Leguminosengemenge (fein-+ grobk.)	N-Saldo = N-Bindung(2) - N-Entzug(1)
Leguminosengemenge (grobk.)	

Leg-EA = Leguminosenertragsanteil (in %)

TM = Trockenmasse; GPS = Ganzpflanzensilage

N-Bindung(2) = Basis vom Bruttoertrag; bei Mulchen: N-Bindung(2) = N-Bindung (1).

Tabelle A8: N-Bindung für Zwischenfrüchte

Kulturarten	N-Bindungsfaktor
Leguminosen-/ Nichtlegum.-Gemenge (Zwfr.)	
Kleegras 30:70 (Zwfr.)	0,15
Kleegras 50:50 (Zwfr.)	0,26
Kleegras 70:30 (Zwfr.)	0,38
Landsberger Gemenge (Zwfr.)	0,29
Luzernegras 30:70 (Zwfr.)	0,15
Luzernegras 50:50 (Zwfr.)	0,26
Luzernegras 70:30 (Zwfr.)	0,38
Leguminosen-/Nichtlegum.-Gemenge (Zwfr.)	0,25
Wickroggen (Zwfr.)	0,24
Leguminosen	
Rotklee (Zwfr.)	0,57
Persischer Klee (Zwfr.)	0,57
Alexandrinerklee (Zwfr.)	0,57
Inkarnatklee (Zwfr.)	0,57
Gelbklee (Zwfr.)	0,57
Hornklee (Zwfr.)	0,57
Erdklee (Zwfr.)	0,57
Weißklee (Zwfr.)	0,57
Esparssette (Zwfr.)	0,57
Serradella (Zwfr.)	0,57
Klee-, Luzernegemenge (Zwfr.)	0,57
Luzerne (Zwfr.)	0,57
Leguminosengemenge (fein-+grobk.) (Zwfr.)	0,51
Ackerbohne (Zwfr.)	0,42
Futtererbse (Zwfr.)	0,42
Lupine (Zwfr.)	0,42
Wicke (Zwfr.)	0,42
Leguminosengemenge (grobk.) (Zwfr.)	0,42

Berechnung N-Bindung = N-Bindungsfaktor * Ertrag (dt FM/ha)

Tabelle A9: Beschreibung der Bodenarten-Systematik

Symbol	Beschreibung	Ton (%)	Feinanteil (%)	Abschlammbare Teilchen (%)
Leichte Böden				
S	Sand	< 5	< 7	< 10
SI	Anlehmiger Sand	5 - 8	8 - 11	10 - 13
Mittlere Böden				
IS	Lehmiger Sand	8 - 12	12 - 17	14 - 20
sL	Sandiger Lehm	12 - 17	17 - 22	20 - 26
Schwere Böden				
L	Lehm	17 - 22	23 - 31	27 - 44
IT	Lehmiger Ton	23 - 28	32 - 38	45 - 60
T	Ton	> 28	>38	>60
Mo	Moor		2 - 10	

Impressum

- Herausgeber:** Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
- Internet:** www.smul.sachsen.de/fulg
- Redaktion:** Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Abteilung Pflanzliche Erzeugung
Dr. Hartmut Kolbe, Brigitte Köhler
Gustav-Kühn-Straße 8
04159 Leipzig
Telefon: 0341 9174-149
Telefax: 0341 9174-111
E-Mail: hartmut.kolbe@smul.sachsen.de
- Redaktion:** siehe Autoren
- Endredaktion:** Öffentlichkeitsarbeit
Präsidialabteilung
- ISSN:** 1867-2868
- Redaktionsschluss:** Dezember 2008

Für alle angegebenen E-Mail-Adressen gilt:

Kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektronische Dokumente

Verteilerhinweis

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