

Nährstoffmanagement im Ökologischen Landbau

Karin Stein-Bachinger, Johann Bachinger,
Liliane Schmitt

Ein Handbuch für
Beratung und Praxis
mit Anwendungs-CD



Danksagung

Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück, hat durch die Finanzierung des Forschungsprojektes ermöglicht, dass dieses Handbuch entstand. Herrn Dr. H. Wurl von der Umweltstiftung gilt unser besonderer Dank für die wohlwollende Begleitung des Projektes.

Wir möchten uns außerdem bei den folgenden Wissenschaftlern für die sachkundigen Informationen und Hinweise herzlich bedanken:

Herrn Dr. habil. M. Elsäßer, Staatl. Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung und Grünlandwirtschaft, Aulendorf,

Herrn Dr. H. Menzi, Schweiz. Hochschule für Landwirtschaft, Zollikofen,

Herrn Dr. H.-J. Reents, TUM-Weihenstephan,

Herrn Prof. K. Schmidtke, FH Dresden.

Zu Beginn sowie in der Abschlussphase des Handbuches wurden erfahrene Fachberater aus dem Bereich der ökologischen Pflanzenbau- und Tierberatung zur inhaltlichen Abstimmung sowie kritischen Durchsicht des Manuskripts involviert. Für die gute Kooperation und wertvollen Anregungen möchten wir uns herzlich bedanken bei:

Herrn Gustav Alvermann, Westerau,

Herrn Ralf Bussemas, Witzenhausen,

Herrn Friedel Deerberg, Teistungen,

Herrn Thomas Fisel, Augsburg,

Frau Beate Hallau, Biesenthal,

Herrn Rainer Löser, Mücke,

Herrn Hubert Redelberger, Cuxhagen,

Herrn Rainer Schmidt, Ilshofen,

Herrn Cornelius Sträßer, Eggersdorf,

Herrn Hartmut Wöllner, Lindenberg.

Herrn Dr. A. Werner, Institut für Landnutzungssysteme und Landschaftsökologie, ZALF e. V., Müncheberg, danken wir für die gewährte Unterstützung bei der Durchführung des Projektes. Herrn M. Balla und Herrn A. Bornheimer sei für die HTML-Programmierungsarbeiten gedankt.

Die Möglichkeit, das Handbuch über das Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL) zu verlegen, bietet die Chance, dass ein großer Nutzerkreis angesprochen werden kann. Dafür möchten wir uns beim KTBL bedanken.

Nährstoffmanagement im Ökologischen Landbau

KTBL-Schrift 423

Ein Handbuch für Beratung und Praxis

Berechnungsgrundlagen, Faustzahlen, Schätzverfahren
zur Erstellung von Nährstoffbilanzen

Handlungsempfehlungen zum effizienten Umgang
mit innerbetrieblichen Nährstoffressourcen,
insbesondere Stickstoff

Dr. Karin Stein-Bachinger

Dr. Johann Bachinger

Dr. Liliane Schmitt

Gefördert durch die
Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Herausgeber

Kuratorium für Technik
und Bauwesen
in der Landwirtschaft
e.V. (KTBL), Darmstadt

Anschriften der Autoren

Dr. Karin Stein-Bachinger
Institut für Landnutzungssysteme und Landschaftsökologie, ZALF e.V.
Eberswalder Str. 84, 15374 Müncheberg, kstein@zalf.de

Dr. Johann Bachinger
Institut für Landnutzungssysteme und Landschaftsökologie, ZALF e.V.
Eberswalder Str. 84, 15374 Müncheberg, jbachinger@zalf.de

Dr. Liliane Schmitt
EcoConcept Dr. Dewes & Dr. Schmitt
Qualitätsmanagement Naturkost
Hilgershäuser Str. 12, 37242 Bad Sooden-Allendorf, l.schmitt@ecoconcept-deweschmitt.de

Dr. Thomas Dewes
EcoConcept Dr. Dewes & Dr. Schmitt
Qualitätsmanagement Naturkost
Hilgershäuser Str. 12, 37242 Bad Sooden-Allendorf, t.dewes@ecoconcept-deweschmitt.de

Prof. Dr. Albert Sundrum
Universität Kassel, FB 11 Ökologische Agrarwissenschaften
Fachgebiet Tierernährung/Tiergesundheit
Nordbahnhofstr. 1a, 37213 Witzenhausen, sundrum@wiz.uni-kassel.de

Prof. Dr. Robby Andersson
FH-Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur
FG Umweltschonende Nutztierhaltung
Oldenburger Landstr. 24, 49090 Osnabrück, R.Andersson@FH-Osnabrueck.de

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in der Veröffentlichung geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

© 2004

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL)
Bartningstraße 49 ■ 64289 Darmstadt
Telefon (06151) 7001-0 ■ Fax (06151) 7001-123
E-Mail: ktbl@ktbl.de ■ <http://www.ktbl.de>

Alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung von Texten und Bildern, auch auszugsweise, ist ohne Zustimmung des KTBL urheberrechtswidrig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigung, Übersetzung, Mikroverfilmung sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Herausgegeben mit Förderung des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) ■ Bonn

Redaktion
Stein-Bachinger, Schmitt, Bachinger

Titelfotos
Stein-Bachinger

Vertrieb
KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH ■ Münster

Printed in Germany

ISBN 3-7843-2168-2

Vorwort

Mit dem vorliegenden Handbuch sollen Beratern und Landwirten sowie interessierten Fachleuten aus Nachbardisziplinen Hilfen für die Durchführung von Nährstoffbilanzen im Ökologischen Landbau sowie zur Optimierung des Nährstoffmanagements bzw. der Schwachstellenanalyse gegeben werden.

Wesentliche Ziele im Ökologischen Landbau sind umwelt- und ressourcenschonend zu wirtschaften bei gleichzeitiger Ertrags- und Qualitätsoptimierung. Dies erfordert u. a. eine möglichst effiziente Ausnutzung der innerbetrieblichen Nährstoffflüsse. Besonderes Augenmerk muss dabei dem Stickstoff gelten, weil er der wichtigste ertragsbildende Faktor und aufgrund biochemischer und chemischer Gegebenheiten besonders verlustgefährdet ist. Insofern ist es, neben der Maximierung des N-Inputs über Leguminosen, entscheidend, an welchen Stellen der einzelne Betrieb Stickstoffverluste minimieren bzw. ausschließen kann.

Bislang liegen keine auf Expertenebene abgestimmte Kennzahlen und Schätzverfahren für die Nährstoffbilanzierung vor, die den spezifischen Bedingungen der Ökologischen Landwirtschaft hinreichend Rechnung tragen. Ziel der vorliegenden Arbeit war es daher, Daten aus Untersuchungen, die speziell in der Ökologischen Landwirtschaft durchgeführt wurden, zusammenzustellen und diese mit Experten aus Wissenschaft und Beratung abzustimmen. Allerdings sind nicht in allen Bereichen wissenschaftliche Ergebnisse aus Versuchen im Ökologischen Landbau verfügbar. Dies gilt insbesondere für Nährstoffflüsse im Nutztierbereich. In diesen Fällen wurde auf herkömmliche Literaturangaben zurückgegriffen und diese in den Kontext der ökologischen Wirtschaftsweise gestellt. An den entsprechenden Stellen wird auf die allgemein vorhandene Literatur (z. B. FAUSTZAHLEN FÜR LANDWIRTSCHAFT UND GARTENBAU, KTBL-DATENSAMMLUNGEN) verwiesen.

Das Handbuch wird ergänzt durch PC-gestützte Versionen für die

- N-Saldo-Berechnung von Klee-Luzerne-Grasgemengen unter Berücksichtigung von Leguminosenanteil und Ernteverlusten (Kalkulation und grafische Darstellung auf Basis von EXCEL) sowie durch einen
- Schätztrainer für den Leguminosenanteil von Klee-Luzerne-Grasgemengen inkl. Kalkulation der N_2 -Fixierung (visuelles Trainingstool auf HTML-Basis programmiert).

Die Autoren sind sich bewusst, dass nicht alle Aspekte, die im Rahmen der Nährstoffbilanzierung relevant sind, umfassend dargestellt wurden. Manchem Nutzer/Leser werden, im Gegensatz dazu, die Ausführungen an einigen Stellen möglicherweise zu ausführlich erscheinen. Es war auch nicht beabsichtigt, ein reines Faustzahlenwerk zu erstellen, sondern aufgrund der Komplexität der Thematik das vorhandene Wissen aus den einzelnen Teilbereichen auch in qualitativer Hinsicht in Beziehung zueinander darzustellen und auf die Interaktionen hinzuweisen. Eine möglicherweise gewünschte hohe Exaktheit in der Berechnung, beispielsweise ausgedrückt durch einen einzelnen konkreten N-Saldo-Wert, ist in vielen Fällen nicht möglich bzw. sinnvoll. Um eine Betriebssituation zu charakterisieren, sind in der Regel Wertespannen, die die Datenunschärfe widerspiegeln, aussagekräftiger.

Müncheberg, im Juli 2004

DIE AUTOREN

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr	N_{dfa}	Nitrogen derived from the atmosphere (Anteil der symbiontischen N-Bindung aus der Luft am Gesamt-N-Gehalt der Pflanze)
AZ	Ackerzahl		
BFS	bakteriell fermentierbare Substanz		
CO ₂	Kohlendioxid	N_{fix}	fixierter Stickstoff
CH ₄	Methan	NEL	Netto-Energie-Laktation
dt	Dezitonne	NfE	N-freie-Extraktstoffe
EWR	Ernte-Wurzelrückstände	NH ₃	Ammoniak
G	Gasförmige Verluste	NH ₄ ⁺	Ammonium
g	Gramm	NO ₃ ⁻	Nitrat
GF	Grundfutter	P	Phosphor
GS	Grassilage	RP	Rohprotein
GV	Großvieheinheit	RF	Rohfaser
FM	Frischmasse	S	Sickersaftverluste
ha	Hektar	s	Standardabweichung
HNJ	Hauptnutzungsjahr	SO ₂	Schwefeldioxid
K	Kalium	SW	Strukturwert
kg	Kilogramm	SZF	Sommerzwischenfrüchte
KF	Krafffutter	Wo	Wochen
LM	Lebendmasse	WZF	Winterzwischenfrüchte
ME	Metabolische Energie	TM	Trockenmasse
MJ	Megajoule	VQ der OM	Verdaulichkeit der organischen Masse
N	Stickstoff	\bar{x}	Mittelwert
N ₂	Distickstoff	XF	Rohfaser
NO	Stickstoffmonoxid	XP	Rohprotein
N ₂ O	Distickstoffoxid		
NO _x	Stickoxide		
n	Anzahl der Proben		

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Erfassungsgrößen der Gesamtbilanz (verändert nach Nolte 1989)	31
Abb. 2:	N-Ausscheidung einer Kuh (5000 kg Milch/Jahr, 600 kg LM) bei unterschiedlicher Futterbasis (ROHR 1992)	50
Abb. 3:	Rohnährstofffraktionen der Weender-Analyse sowie die Zusammensetzung der BFS	65
Abb. 4:	Fettgehalt 5 Wochen alter Broiler (KIRCHGESSNER 1997, S. 520)	73
Abb. 5:	Zusammensetzung der Gesamtstickstofffraktion in frischen Geflügel-exkrementen (FLÜGGE 1994)	76
Abb. 6:	Entwicklung der Stickstoffverbindungen im Kot-Harngemisch bei Geflügel (FLÜGGE 1994)	77
Abb. 7:	Ein-/Ausgabemaske des Kalkulationswerkzeuges (N-Saldo-Rechner) zur Berechnung der fixierten N-Menge und des N-Saldos	113
Abb. 8:	Bildschirmansicht des Schätztrainers	136

Tabellenverzeichnis

Kap. 2 Nährstoffbilanzverfahren

Tab. 1:	Begriffserläuterungen	17
Tab. 2:	Berechnungsverfahren für die Hoftor-, Fruchtfolge-/Schlag- und Stallbilanz	19
Tab. 3:	Erfassungsgrößen der vereinfachten Hoftorbilanz	20
Tab. 4:	Erfassungsgrößen der erweiterten Hoftorbilanz	21
Tab. 5:	Erfassungsgrößen der vereinfachten Bodenbilanz	23
Tab. 6:	Erfassungsgrößen der erweiterten Bodenbilanz	25
Tab. 7:	Erfassungsgrößen der vereinfachten Stallbilanz	27
Tab. 8:	Erfassungsgrößen der erweiterten Stallbilanz	29
Tab. 9:	Erfassungsgrößen der Gesamtbilanz (unter Berücksichtigung von Hoftorbilanz, Bodenbilanz, Stallbilanz)	31

Kap. 3 Datengrundlagen und Handlungsempfehlungen

Kap. 3.1 Pflanzliche Produkte

Tab. 10:	Nährstoffentzüge der Getreidearten	35
Tab. 11:	Nährstoffentzüge der Fruchtarten Körnerleguminosen, Hackfrüchte und Öl- und Faserpflanzen	36
Tab. 12:	Nährstoffentzüge der Fruchtarten Leguminosen-Gemenge, Zwischenfrüchte und Grünland	36/37
Tab. 13:	Anhaltswerte für mittlere Brutto-Erträge verschiedener Fruchtarten in Abhängigkeit von vier Ackerzahlklassen	38
Tab. 14:	Ermittlung des N-Entzuges (kg/ha) am Beispiel von Winterweizen	39

Tab. 15:	Ertragsschätzung bei Grünland (nach VOIGTLÄNDER 1987)	39
Tab. 16:	Werbungsverluste bei der Futterwerbung und Konservierung (nach KTBL 1999 und ELSÄBER 1984)	41
Tab. 17:	Mittlerer Nährstoffzug bei unterschiedlicher Grünland-Futternutzung inkl. geschätzter Trockenmasseverluste	41
Tab. 18:	Aufzeichnungen im Rahmen der EG-Kontrolle	42
Tab. 19:	Beispiele für die Datenerhebung und -dokumentation	43
Tab. 20:	Beispiele für die Beeinflussung der Nährstoffgehalte und Erträge durch pflanzenbauliche Maßnahmen	44

Kap. 3.2.1 Tierhaltung: Rinder

Tab. 21:	Schätzformeln für die Bestimmung der Grundfutteraufnahme (kg TM/Tier und Tag) von Milchkühen und Mastrindern	48
Tab. 22:	N-„Export“ mit der Milch in Abhängigkeit von Milchleistung und Proteingehalt der Milch (kg je Kuh und Jahr)	49
Tab. 23:	Mittlere N-Ausscheidungsmengen (kg/Stallplatz und Jahr) von Rindern (nach BMVEL/UBA 2001)	51
Tab. 24:	Mittelwerte und Schwankungsbereiche verschiedener Merkmale der Stickstoffausscheidung (nach BOCKMANN et al. 1997)	56
Tab. 25:	Ammoniak- und Lachgas-Emissionen verschiedener Stallsysteme (nach AMON et al. 1998)	57
Tab. 26:	Reduktion der Stickstoffemissionen im Boxenlaufstall durch verschiedene Maßnahmen (mod. nach METZ et al. 1995)	58
Tab. 27:	Emissionspotenziale verschiedener Haltungssysteme in absteigender Reihenfolge	58

Kap. 3.2.2 Tierhaltung: Schweine

Tab. 28:	Futteraufnahme bei getreidereicher Hofmischung in der Schweinemast (mod. nach BURGSTALLER 1991)	60
Tab. 29:	Futteraufnahme (Frischmasse) von Sauen im Reproduktionsbereich (mod. nach BURGSTALLER 1991)	60
Tab. 30:	N-Ausscheidung bei Mastschweinen pro Mastdurchgang in Abhängigkeit vom Rohprotein-Gehalt des Futters (nach ROHR 1992)	63
Tab. 31:	N-Ausscheidung bei Sauen mit Ferkeln in Abhängigkeit vom Produktions- abschnitt und vom Rohprotein-Gehalt des Futters (ROHR 1992)	63
Tab. 32:	Weg des Stickstoffs durch den Organismus bei einer Mastphase von 20–100 kg Lebendmasse (ROTH 1990)	64
Tab. 33:	Wirkungen von erhöhten Rohfasergehalten auf die Stickstoff-Ausscheidung des Absatzferkels (nach BOLDUAN und JUNG 1990)	65
Tab. 34:	Literaturangaben zu Emissionsmittelwertangaben von Ammoniak und Lachgas bei Mastschweinen	68

Kap. 3.2.3 Tierhaltung: Hühner

Tab. 35:	Alleinfuttermittel für verschiedene Nutzungsformen bei Hühnern	71
Tab. 36:	Vergleich von Broiler Herkünften hinsichtlich Mastleistung bei einer 70-tägigen Mast mit Bio-Futter (BAUER et al. 1996)	72
Tab. 37:	Chemische Zusammensetzung wachsender männlicher Broiler (KIRCHGESSNER 1997)	73
Tab. 38:	Mittlere Stickstoffverwertung von Legehennen und Broilern	74
Tab. 39:	Frischkotausscheidungen von Legehennen, Junghennen, Broilern (nach PRIESMANN et al. 1991, FLÜGGE 1994)	75
Tab. 40:	N-Saldo in der ökologischen 2-phasigen Hühnermast. Mastdauer 56 Tage (ANDERSSON et al. 1999) bzw. Mastdauer 70 Tage (BAUER et al. 1996)	75
Tab. 41:	N-Verluste bei unterschiedlicher N-Retention in der ökologischen Broilermast (eigene Untersuchungen)	79
Tab. 42:	Einfluss der Rohproteinabsenkung bei ausschließlicher Verwendung ökologisch erzeugter Futterkomponenten (100 % Bio-Futter) auf den N-Saldo bei Legehennen nach 10-wöchiger Legezeit (eigene Untersuchungen)	80

Kap. 3.3 Wirtschaftsdünger

Tab. 43:	Mittlerer Anfall an Wirtschaftsdüngern je Jahr bei verschiedenen Tierarten (nach FAUSTZAHLEN 1993)	85
Tab. 44:	Nährstoffgehalte von Stallmist (kg/dt), (nach DEWES und HÜNSCHE 1998)	85
Tab. 45:	Nährstoffgehalte von Gülle und Jauche (kg/m ³), (nach HÜNSCHE 1995, DEWES und HÜNSCHE 1998)	86
Tab. 46:	Kenngrößen und Nährstoffgehalte unterschiedlich alter Rindermistkomposte (nach DEWES und HÜNSCHE 1998)	87
Tab. 47:	Kenngrößen und Nährstoffgehalte von Rindermist aus verschiedenen Stallsystemen (nach DEWES und HÜNSCHE 1998)	87
Tab. 48:	Kenngrößen und Nährstoffgehalte von Rindermist in Abhängigkeit von der Umsetzungshäufigkeit (ohne Umsetzen = Tiefstall-Mistmatratzen oder im Stall entnommene Proben; 1-mal Umsetzen = außerhalb des Stalls aufgesetzt/gelagerte Mist) (nach DEWES und HÜNSCHE 1998)	88
Tab. 49:	Maximal tolerierbare gasförmige N-Verluste (NH ₃) in % des Gesamtstickstoffs bei Gülle und Stallmist (nach DÜNGEVERORDNUNG 1996)	89
Tab. 50:	Einflussfaktoren auf gasförmige NH ₃ - Verluste bei Fest- und Flüssigmist (zusammengestellt nach einer Literaturübersicht von DEWES 1997c)	90
Tab. 51:	Empfehlenswerte Abdeckungen von Stallmist unterschiedlichen Trockenmassegehaltes in Abhängigkeit vom durchschnittlichen Jahresniederschlag zwecks Reduzierung von Auswaschungsverlusten auf unbefestigtem Boden	92
Tab. 52:	Empfehlungen zur Unterflursicherung von Stallmistmieten mit Bentonit in Abhängigkeit vom durchschnittlichen Jahresniederschlag zwecks Reduzierung von Auswaschungsverlusten auf unbefestigtem Boden	93

Tab. 53:	Bewertung von Zuschlagstoffen zu Stallmist im Hinblick auf die Verlustminimierung	93
Tab. 54:	Qualitative/quantitative Einschätzung der Nährstoffverlustpotenziale bei Stallmist [S = Sickerwasserverluste, G = gasförmige Verluste]	95
Tab. 55:	Qualitative/quantitative Einschätzung der Nährstoffverlustpotenziale bei Gülle und Jauche [S = Sickerwasserverluste, G = gasförmige Verluste]	97
Tab. 56:	Prozentualer Ammoniumanteil am Gesamtstickstoff	99
Tab. 57:	N-Ausnutzungsgrade von Wirtschaftsdüngern im Ökologischen Landbau im Anwendungsjahr (in % vom Gesamt-N) (SCHMITT und DEWES 1997a, STEIN-BACHINGER 1993)	99
Tab. 58:	Qualitative Grundeinschätzung: Stallmist	101/102
Tab. 59:	Qualitative Grundeinschätzung: Gülle und Jauche	102/103
Tab. 60:	Maßnahmen zur Begrenzung der Ammoniakverflüchtigung bei Stallmist	104
Tab. 61:	Maßnahmen zur Begrenzung der Ammoniakverflüchtigung bei Gülle und Jauche	105

Kap. 3.4 Symbiotische N₂-Fixierung

Tab. 62:	Skala zur Einschätzung der Leguminosenertragsanteile	110
Tab. 63:	Beispiel: Menge fixierten Stickstoffs für Luzerne-Klee gras-Gemenge in Abhängigkeit des Leguminosenertragsanteils	110
Tab. 64:	Beispielskalkulation der fixierten N-Menge im Feldfutterbau bei einem Leguminosenertragsanteil von 70 % und einem Bruttoertrag von 60 dt TM pro ha	112
Tab. 65:	Höhe der N-Bindung durch Körnerleguminosen	115
Tab. 66:	Beispiel: Menge fixierten Stickstoffs für Grünland in Abhängigkeit des Leguminosenertragsanteils	117

Kap. 3.5 Weitere Quellen für Stickstoffausträge und -einträge im Feld

Tab. 67:	N-Depositionsraten (Literaturzusammenstellung: gemessene und angenommene (*) Werte)	122
----------	---	-----

Inhalt

1	Einführung	13
2	Nährstoffbilanzverfahren	15
2.1	Hoftorbilanz	19
2.1.1	Vereinfachte Hoftorbilanz (in Anlehnung an DBG 1992)	19
2.1.2	Erweiterte Hoftorbilanz	21
2.2	Bodenbilanz (Schlag-, Fruchtfolgebilanz)	22
2.2.1	Vereinfachte Bodenbilanz (ohne Berücksichtigung der N ₂ -Fixierung)	22
2.2.2	Erweiterte Bodenbilanz	24
2.3	Stallbilanz	26
2.3.1	Vereinfachte Stallbilanz	27
2.3.2	Erweiterte Stallbilanz	29
2.4	Gesamtbilanz	31
3	Datengrundlagen und Handlungsempfehlungen	33
3.1	Pflanzliche Produkte	33
3.1.1	Kennzahlen, Koeffizienten, Schätzverfahren	34
3.1.1.1	Nährstoffgehalte pflanzlicher Produkte	34
3.1.1.2	Schätzung des Ertrages	37
3.1.1.3	Werbungs- und Konservierungsverluste	40
3.1.1.4	Hilfen zur Datenerhebung/-dokumentation unter Praxisbedingungen	42
3.1.2	Maßnahmen zur Erhöhung der Nährstoffeffizienz	43
3.2	Tierhaltung	45
3.2.1	Rinderhaltung (ALBERT SUNDRUM)	46
3.2.1.1	Größenordnung der anfallenden Stickstoffmengen	46
3.2.1.2	Akkumulation von Stickstoff in Wirtschaftsdüngern	51
3.2.1.3	Maßnahmen zur Reduzierung von Stickstoffverlusten im Stall	53
3.2.2	Schweinehaltung (ALBERT SUNDRUM)	58
3.2.2.1	Größenordnung der anfallenden Stickstoffmengen	58
3.2.2.2	Akkumulation von Stickstoff in Wirtschaftsdüngern	66
3.2.2.3	Maßnahmen zur Reduzierung von Stickstoffverlusten im Stall	67
3.2.2.4	Optimierungsstrategien in der Schweinehaltung	68
3.2.2.5	Optimierung des Nährstoffmanagements in der ökologischen Rinder- und Schweinehaltung (Zusammenfassende Betrachtung)	69
3.2.3	Hühnerhaltung (ROBBY ANDERSSON)	70
3.2.3.1	Größenordnung der anfallenden Stickstoffmengen	71
3.2.3.2	Maßnahmen zur Reduzierung von Stickstoffverlusten im Stall	78
3.2.3.3	Optimierungsstrategien in der Hühnerhaltung	82

3.3	Wirtschaftsdünger (KARIN STEIN-BACHINGER, THOMAS DEWES)	83
3.3.1	Systembezogene Kennzahlen, Koeffizienten, Schätzverfahren	84
3.3.1.1	Wirtschaftsdüngeranfall und Nährstoffgehalte	84
3.3.1.2	Nährstoffverluste bei Lagerung und Ausbringung	89
3.3.1.3	Düngewirkung der Wirtschaftsdünger	98
3.3.1.4	Hilfen zur Datenerhebung/-dokumentation unter Praxisbedingungen	101
3.3.2	Maßnahmen zur Erhöhung der Nährstoffeffizienz	104
3.4	Symbiotische N ₂ -Fixierung	106
3.4.1	Kennzahlen, Koeffizienten, Schätzverfahren	107
3.4.1.1	Feldfutterbau, Zwischenfrüchte, Grünbrache	107
3.4.1.2	Körnerleguminosen	114
3.4.1.3	Grünland	117
3.4.1.4	Hilfe zur Datenerhebung/-dokumentation unter Praxisbedingungen	118
3.4.2	Maßnahmen zur Erhöhung der Stickstoffeffizienz	118
3.5	Weitere Quellen für Stickstoffausträge und -einträge im Feld	121
3.5.1	Denitrifikation	121
3.5.2	Immissionen (nasse und trockene N-Deposition)	122
3.5.3	Asymbiotische N ₂ -Fixierung	123
4	Literatur	124
	Anhang	135

1 Einführung

Eines der wesentlichen Ziele der Ökologischen Landwirtschaft ist es, die Betriebsorganisation so zu gestalten, dass der Verbrauch nicht erneuerbarer Rohstoff- und Energievorräte so gering wie möglich gehalten wird. Auf die Anwendung mineralischer Stickstoffdüngemittel wird verzichtet, der Zukauf an mineralischen P- und K-Düngern sowie Futtermitteln ist stark begrenzt. In Bezug auf den Stickstoff stellen die Leguminosen die wesentliche Nährstoffquelle dar. Gleichzeitig bilden sie einen erheblichen Teil der Futtergrundlage und nehmen für den Erhalt bzw. die Steigerung der Bodenfruchtbarkeit eine Schlüsselrolle ein. Die effiziente Nutzung des knappen Produktionsfaktors Stickstoff entscheidet somit in sehr hohem Maße über Betriebserfolg und Nachhaltigkeit des Bewirtschaftungssystems.

Nährstoffbilanzen stellen eine Möglichkeit dar, die Nährstoffeffizienz und damit die Umweltverträglichkeit von Landnutzungssystemen zu bewerten. Außerdem können sie als Planungsinstrument für die betriebliche Entwicklung genutzt werden, um potenzielle Schwachstellen (u. a. Nährstoffdefizite oder -überschüsse) in der Tierhaltung und im Pflanzenbau zu ermitteln. In zunehmendem Maße werden somit Ergebnisse aus Nährstoffbilanzen in die Betriebsberatung sowie in agrarpolitische Entscheidungen (z. B. zur Bewilligung von Fördermitteln für eine umweltverträgliche Landnutzung) einbezogen.

Aktuelle Anforderungen an die Landwirtschaft unterstreichen die Notwendigkeit der Standardisierung system- und standortangepasster Kennzahlen bzw. Schätzverfahren. So wird u. a. im Rahmen der Düngeverordnung (1996) gefordert, dass der Nährstoffgehalt von Wirtschaftsdüngern auf der Grundlage von Untersuchungen oder geeigneten Berechnungs- und Schätzverfahren oder besonderen Richtwerten, die die einzelbetrieblichen Verhältnisse berücksichtigen, zu ermitteln ist. Bei zu erstellenden Vergleichen von Nährstoffzu- und -abfuhrmengen müssen bei Stickstoff auch Angaben aus der N_2 -Fixierung von Leguminosen enthalten sein. Die Abfuhr von N, P und K mit dem Erntegut ist, wenn keine Analysen vorliegen, ebenfalls mit geeigneten Methoden bzw. durch Übernahme von Richtwerten zu ermitteln, die auf fachspezifischen Erkenntnissen beruhen.

Festzustellen ist, dass bisher keine auf Expertenebene abgestimmten Schätzverfahren und Kennzahlen basierend auf Untersuchungen in der Ökologischen Landwirtschaft vorliegen. Die derzeit gebräuchlichen Faustzahlen wurden unter Zugrundelegung konventioneller Betriebssysteme konzipiert. Diese sind u. a. gekennzeichnet durch ein höheres Ertragsniveau und höhere Nährstoffgehalte in Erntegut und -rückständen. Aufgrund des Einsatzes von mineralischen N-Düngemitteln sowie von Zukauffuttermitteln in der konventionellen Landwirtschaft liegen die Anbauanteile an Leguminosen (bezogen auf den Feldfutterbau) z. T. sehr niedrig, so dass die N_2 -Fixierung oft nicht oder nur sehr pauschal bei der Erstellung der N-Bilanzen berücksichtigt wird. Diese Vorgehensweise birgt jedoch erhebliche Fehlerquellen in sich, wenn der Flächenanteil an Leguminosen (Körnerleguminosen sowie Leguminosen-Gras-Gemenge) die in der Ökologischen Landwirtschaft übliche Größenordnung von ca. 25–40 % umfasst. Aufgrund der systembedingten Stickstoff-Limitierung ist neben der Maximierung des N-Inputs über Leguminosen somit entscheidend, an welchen Stellen der einzelne Betrieb insbesondere N-Verluste minimieren kann.

Mit diesem Handbuch werden auf der Grundlage vorhandener Kenntnisse aus Untersuchungen in der Ökologischen Landwirtschaft und nach Abstimmung mit Experten aus Wissenschaft und Beratung Faustzahlen sowie Schätzverfahren zur Nährstoffbilanzierung für ökologisch bewirtschaftete Betriebe gegeben. In einigen Bereichen sind bislang keine wissenschaftlichen

Ergebnisse aus Versuchen in der Ökologischen Landwirtschaft verfügbar. Insbesondere für die Nutztierhaltung ist es aufgrund ihres komplexen Wirkungsgefüges (u. a. verschiedene Tierarten, Futtergrundlagen, Haltungssysteme etc.) sehr schwierig, konkrete Zahlen für den betrieblichen Nährstoffinput sowie zur Beurteilung von Nährstoffverlusten im Stall anzugeben. Sofern keine Daten aus der Ökologischen Landwirtschaft verfügbar waren, wurden daher in den einzelnen Kapiteln die verwendeten Datenquellen explizit angegeben bzw. auf weiterführende Literatur verwiesen. Als wichtigster Nährstoff wird in erster Linie der Stickstoff behandelt, an relevanten Stellen wird die Betrachtung außerdem auf die Nährstoffe P und K ausgedehnt. Des Weiteren sind Handlungsempfehlungen zur Optimierung der innerbetrieblichen Stoffflüsse zusammengestellt. Hiermit sollen Hilfen zur Einschätzung potenzieller Nährstoffverluste und deren Verhinderung/Reduzierung sowie zur Maximierung des Stickstoffinputs in Abhängigkeit der verschiedenen innerbetrieblichen Bereiche gegeben werden.

Um den praktischen Belangen ausreichend Rechnung zu tragen, erfolgte die Erarbeitung dieses Handbuches in enger Kommunikation mit Beratungsorganisationen bzw. Anbauverbänden. Seitens der Beratung wurde zu Beginn eine Grundeinschätzung u. a. zu Fragen des Nährstoffmanagements in den Betrieben, der Datendokumentation sowie deren Ansprüche und Verbesserungsvorschläge zur Erstellung von Nährstoffbilanzen vorgenommen. Diese wurden dann in die Ausarbeitungen einbezogen. Vor Abschluss dieses Handbuches wurden weitere Berater zur kritischen Durchsicht der verschiedenen Kapitel, entsprechend ihrer speziellen Fachgebiete, einbezogen.

Das Handbuch beginnt mit der Darstellung und Erläuterung verschiedener Nährstoffbilanzverfahren in Kapitel 2. In Kapitel 3 werden zu den wesentlichen Teilgebieten des Pflanzenbaus und der Tierhaltung Datengrundlagen sowie Schätzverfahren zur Erstellung von Nährstoffbilanzen dargestellt. Da davon ausgegangen wird, dass der Nutzer selektiv bestimmte Kapitel liest bzw. Daten verwendet, sind an einigen Stellen im Text sowohl Verweise auf andere Kapitel als auch Wiederholungen bestimmter Inhalte erforderlich gewesen. Jedes der Kapitel 3.1 bis 3.4 endet mit einer Auswahl von Strategien zur Verbesserung des Nährstoffmanagements.

Da in der Praxis generell das Problem der visuellen Schätzung der Ertragsanteile bei Leguminosen-Grasgemengen auf Schlagebene auftritt, wird auf der beigefügten CD-ROM ein visuelles Trainingstool (auf HTML-Basis programmiert) zur Ertragsanteils-Schätzung von Klee-Luzerne-Grasgemengen angeboten, das zur Verbesserung bzw. Überprüfung der visuellen Schätzgüte dienen soll.

Außerdem enthält die CD-ROM ein Kalkulationswerkzeug (auf Excel-Basis) zur N-Saldo-Berechnung bei Klee-Luzerne-Grasgemengen unter Berücksichtigung des Ertrages, des Leguminosenanteils sowie der Art der Futterwerbung.

2 Nährstoffbilanzverfahren

In einer Bilanz werden für ein zeitlich und räumlich definiertes System die Ein- und Austräge saldiert. Ist die Bilanz nicht ausgeglichen, führt das Ergebnis der Bilanzierung zu einem positiven oder negativen Bilanzsaldo (DBG 1992).

Wichtig für die Interpretation eines Bilanzergebnisses ist es, dass genaue Angaben über

- Anwendungszweck
- räumliche Bezugsebene/Systemgrenze (z. B. Hoftor, Stall, Schlag, Betrieb)
- einbezogene Stoffflüsse, verwendete Datengrundlage
- Berechnungsmethode (Formeln, Schätzwerte, Faustzahlen usw.)
- Berechnungszeitraum dargelegt werden.

Im Folgenden werden in Anlehnung an die DEUTSCHE BODENKUNDLICHE GESELLSCHAFT (DBG 1992) Voraussetzungen für die Stickstoffbilanzierung ausgeführt:

- Eine sinnvolle N-Bilanzierung setzt voraus, dass die im System (Betrieb, Stall, Fläche) befindlichen Stickstoffmengen, längerfristig betrachtet, nahezu konstant sind. Diese Voraussetzung gilt z. B. als erfüllt, wenn der Betrieb über einen längeren Zeitraum das Betriebssystem (gekennzeichnet durch Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Viehzahl) nicht umgestellt hat, und wenn die Lagerhaltung (Getreide etc.) nicht über eine Wirtschaftsperiode hinaus erfolgt. Liegen diese Voraussetzungen nicht vor, müssen mehrere Jahre in der Kalkulation berücksichtigt werden, um die z. T. hohen jährlichen Schwankungen auszugleichen.

Sonderfälle wie z. B. ein Grünlandumbruch mit hohen Mineralisierungsraten in den Folgejahren oder aber eine Krümenvertiefung mit der Immobilisation von Stickstoff sind in der N-Bilanz gesondert zu erfassen.

- Eine weitere Vorbedingung betrifft die Anrechnung des pflanzenverfügbaren Stickstoffs in organischen Düngemitteln. Unter der Annahme einer gleichbleibenden Zufuhr organischer Düngemittel zur Fruchtfolge wird empfohlen, den N-Gehalt der ausgebrachten wirtschaftseigenen Düngemittel als vollständig pflanzenverfügbar zu bewerten. Zwischen dem vom Tier ausgeschiedenen und dem auf der Fläche ausgebrachten Stickstoff dürfen bei Gülle und Jauche Lagerungsverluste von 10 %, bei Stallmist von 25 % der Gesamtstickstoffmenge angerechnet werden, um auf einen möglichst verlustarmen Umgang mit Wirtschaftsdüngern hinzuwirken (DÜNGEVERORDNUNG 1996).
- Der in der Bilanz möglicherweise ausgewiesene N-Überschuss kann entweder gasförmig entbunden (Denitrifikation, NH_3 -Entgasung) oder/und mit dem Sickerwasser in Form von Nitrat verlagert werden. Die NH_3 -Entgasung darf dabei nicht als „sinnvolle“ Komponente zur Reduktion des N-Belastungspotenzials angesehen werden. Zum einen führen hohe NH_3 -Konzentrationen in der Atmosphäre zur Gefährdung von Naturschutzgebieten (Biotope), Wald- und Gewässerökosystemen. Zum anderen ist bei der Interpretation der N-Bilanzierung zu berücksichtigen, dass mit dem Niederschlag (nasse und trockene Deposition) ein in den o. g. Bilanzen nicht berücksichtigter N-Eintrag stattfindet.
- Eine Zuweisung des N-Überschusses auf die zwei Verlustwege (Entgasung und Auswaschung) kann nach dem derzeitigen Kenntnisstand nicht erfolgen. Der N-Bilanzüberschuss steht vielmehr für die Abschätzung des N-Belastungspotenzials der Umwelt (Atmosphäre, Grund- oder Oberflächengewässer). Unter vergleichbaren Boden- und Klimaverhältnissen

gestattet die N-Bilanzierung bzw. ein ausgewiesener N-Überschuss allerdings einen quantitativen Vergleich der potenziellen Nitratbelastung des Sicker- bzw. Grundwassers zwischen einzelnen Betrieben bzw. Flächen.

- Ein negativer Bilanzsaldo ermöglicht in einzelnen Produktions-/Anbausystemen konkret nachzuprüfen, wo die Ursachen liegen können. Je genauer die Kenntnisse der Zusammenhänge sind, desto gezielter können Optimierungsstrategien erprobt werden.

Die Genauigkeit der Bilanzergebnisse hängt entscheidend von der Verfügbarkeit und Solidität der notwendigen Datengrundlage ab. In wesentlichen Bereichen (z. B. N_2 -Fixierung, Anfall Wirtschaftsdünger, Verluste im Feld und Stall) ist eine direkte Messung nicht möglich bzw. zu teuer oder zu arbeitsaufwendig. Hier sind geeignete Schätzverfahren erforderlich, die auf Basis einfach zu erhebender Daten belastbare Ergebnisse liefern. Eine sorgfältige Datendokumentation auf dem Betrieb ist die Basis für genaue Bilanzergebnisse. Das Wissen darüber, welche Daten dokumentiert werden sollen bzw. welche Ermittlungsarten zum Ableiten konkreter Aussagen im Rahmen der Nährstoffbilanzierung erforderlich sind, ist häufig nicht vorhanden. Eine Systematisierung in Abhängigkeit der verschiedenen Teilgebiete, wie in Kapitel 3 dargestellt, soll hierzu Hilfestellung leisten.

Berücksichtigt werden muss jedoch, dass unterschiedliche Bilanzierungswege sowie die Zugrundelegung unterschiedlicher Annahmen bei nicht exakt erfassbaren Input- und Output-Größen zu deutlich verschiedenen Ergebnissen führen können (SCHUMANN et al. 1997).

Je genauer mögliche Schwachstellen im innerbetrieblichen Nährstoffmanagement ermittelt werden sollen, umso höher sind die Anforderungen an system- und standortangepasste Datengrundlagen bzw. umso mehr Schätzgrößen, die auf Literatur- bzw. Expertenwissen beruhen, sind erforderlich. Dies darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass die so gewonnenen Ergebnisse mit einem Fehlerbereich behaftet sind. Für die Saldo-Berechnungen ist daher zu überlegen, inwieweit durch die Angabe bzw. Errechnung einer Wertespanne ein gewisser Interpretationsspielraum gewährleistet bleibt und damit dem Anschein einer, im Grunde genommen, unrealistischen und irreführenden Exaktheit des Bilanzergebnisses entgegengewirkt wird.

Zur Vermeidung von Missverständnissen werden im folgenden (Tab. 1) einige Begriffe, die im Rahmen von Nährstoffbilanzen häufig verwendet werden, definiert (in Anlehnung an BIERMANN 1995). Die genauere Charakterisierung der verschiedenen Bilanzebenen (Hofor-, Boden-, Stallbilanz) erfolgt in den Kapiteln 2.1–2.4.

Tab. 1: Begriffserläuterungen

Begriffserläuterungen	
Nährstoffbilanz	Gegenüberstellung der zugeführten und abgeführten Nährstoffmengen u. a. in Abhängigkeit der Bezugsebene (Betrieb, Region) und des Bilanzzeitraumes. Die Nährstoffbilanz ist grundsätzlich unter Berücksichtigung aller Stoffflüsse ausgeglichen.
Nährstoffsaldo	Positiver oder negativer Restbetrag einer Nährstoffbilanz
Nährstoff-Überschuss	Positiver Nährstoffsaldo infolge einer gegenüber der Nährstoffabfuhr höheren Nährstoffzufuhr
Nährstoff-Defizit	Negativer Nährstoffsaldo infolge einer gegenüber der Nährstoffzufuhr höheren Nährstoffabfuhr
Nährstoff-Bilanzgröße/-glied	Ein in der Bilanz berücksichtigter Nährstofffluss
Hoftorbilanz	Gegenüberstellung der über das Hoftor zugeführten Nährstoffmengen der Zukaufrisikprodukte und der abgeführten Nährstoffmengen der Verkaufsprodukte Aussagen über innerbetriebliche Verlustquellen sind nicht möglich
Bodenbilanz	Teil der innerbetrieblichen Bilanz Gegenüberstellung der dem Boden (Schlag, Fruchtfolge) zugeführten und abgeführten Nährstoffmengen Aussagen zur Nährstoffausnutzung, Düngungseffektivität und Umweltgefährdung sind möglich
Stallbilanz	Teil der innerbetrieblichen Bilanz Gegenüberstellung der in den Stall eingeführten und ausgeführten Nährstoffmengen Aussagen/Rückschlüsse auf Nährstoffverluste im Stall sowie Effizienz der Tierhaltung sind möglich
Gesamtbilanz	Verknüpfung von Hoftor-, Boden- und Stallbilanz Aussagen über gesamtbetriebliche Nährstoffverluste

Gesetzliche Regelungen im Rahmen der DÜNGEVERORDNUNG (1996)

Entsprechend § 4, Abs. 5 der DÜNGEVERORDNUNG (1996) haben Betriebe mit mehr als 10 Hektar landwirtschaftlich genutzter Fläche auf Betriebsebene für Stickstoff jährlich, für Phosphor und Kali mindestens alle drei Jahre für den zurückliegenden Zeitraum Vergleiche nach Maßgabe über die Nährstoffzu- und -abfuhr spätestens bis sechs Monate nach Ablauf des letzten Wirtschaftsjahres zu erstellen. Über die Art des Vergleichs kann der Landwirt selbst entscheiden, die aufgeführten Mindestangaben müssen enthalten sein. Viele Landwirte führen schlagbezogene Aufzeichnungen, andere arbeiten mit Feld-Stall-Bilanzen, Hoftorbilanzen u. ä.. Beim Erstellen der Vergleiche ist die amtliche Beratung gefordert, den Landwirten entsprechende Unterstützung zu geben.

Es existieren verschiedene Beispiele und Muster für den Nährstoffvergleich nach Feld-Stall-Bilanzen, Schlagbilanzen und Hoftorbilanzen. Die sogenannte Feld-Stall-Bilanz stellt eine Kombination aus Fruchtfolge- und Stallbilanz in vereinfachter Form dar. Nach HEGE (1995) sind folgende Daten für den Vergleich über die Nährstoffzu- und -abfuhr erforderlich:



Abweichend von diesem Beispiel wird in vielen Bilanzrechnungen zunächst eine Unterscheidung in Feld- bzw. Stallbilanz durchgeführt, um u. a. insbesondere für den Tierhaltungsbe- reich deutlichere Hinweise über die N-Effizienz zu erhalten. In den folgenden Ausführungen werden daher ebenfalls drei Teilbilanzen dargestellt, die je nach Anwendungsbedarf entspre- chend kombinierbar sind:

- Hoftorbilanz
- Fruchtfolge- bzw. Schlagbilanz
- Stallbilanz.

Diese Teilbilanzen ergeben zusammen die Gesamtbilanz.

Für den Nutzer der Bilanzverfahren ist es wichtig, anhand aussagefähiger Kriterien eine Ein- schätzung des Datenbedarfs, des Berechnungsaufwandes sowie der Aussagefähigkeit treffen zu können. Aus diesem Grund sollen für die verschiedenen Bilanzverfahren zur besseren Übersichtlichkeit folgende Erläuterungen (in Tabellenform) gegeben werden:

- Anwendungszweck
- Datenbedarf und Datenherkunft, Datenerfassungsaufwand
- Bezugsebene, Bezugszeitraum
- Berechnungsaufwand, Fehlerquellen
- Aussagegüte, Besonderheiten.

Aus den Ergebnissen der Beraterbefragung wurde deutlich, dass die Datenerhebung und da- mit die Güte der Daten auf den Betrieben sehr unterschiedlich ist. Um diesen verschiedenen Voraussetzungen ausreichend Rechnung zu tragen, werden daher in Zusammenhang mit o. a. Erläuterungen für die Erstellung der verschiedenen Teilbilanzen unterschiedliche Berech- nungsverfahren vorgeschlagen (Tab. 2).

Tab. 2: Berechnungsverfahren für die Hoftor-, Fruchtfolge-/Schlag- und Stallbilanz

Vereinfachte Bilanz	Erweiterte Bilanz
Entsprechend relativ einfach zu erfassender Größen, die in der Regel auf allen Betrieben vorliegen.	Unter Hinzuziehung weiterer Daten, die einen höheren Erfassungs- bzw. Dokumentationsaufwand erfordern.
Die Aussagegenauigkeit ist einzuschränken, bzw. bei überwiegender Nutzung von Schätzgrößen stark einzuschränken.	Verbesserung der Aussagegenauigkeit.

Dies ist besonders im Hinblick auf die Ansprüche seitens der Beratung von Vorteil, da im Bedarfsfall der Berater einem Betrieb, der z. B. bestimmte Fruchtfolgeänderungen vornehmen will, verdeutlichen kann, dass nur unter Hinzuziehung bestimmter wichtiger Daten eine sinnvolle Aussage und damit verbunden eine Empfehlung abzuleiten wäre.

2.1 Hoftorbilanz

Zur Berechnung von Hoftorbilanzen werden die Betriebs-Zukäufe (Importe) mit den Verkäufen (Exporten) verglichen. Um aussagekräftige Hoftorbilanzen zu erstellen, ist es erforderlich, einen längeren Betrachtungszeitraum (mindestens 3 Jahre) zu berücksichtigen, um zum einen die z. T. großen jährlichen Schwankungen auszugleichen und zum anderen Ungenauigkeiten in der Einordnung von Käufen oder Verkäufen, die in den Unterlagen eines Wirtschaftsjahres zwar erscheinen, aber erst in den folgenden Jahren verwendet oder ausgeführt werden, auszuschließen (KOEPEL et al. 1988).

Aus der Hoftorbilanz ist nicht zu erkennen, ob innerbetriebliche Nährstoff-Imbalancen (bezogen auf einzelne Flächen oder auf die Tierhaltung) bestehen. Außerdem muss beachtet werden, dass der N-Saldo der Hoftorbilanz in ökologischen Betrieben negativ ausfällt, wenn der N-Input über die N_2 -Fixierung (da kein Zukauf!) nicht berücksichtigt wird. Auf der anderen Seite kann aber ein so ermittelter negativer Saldo deutlich machen, wie hoch der N-Input zum Beispiel durch den Leguminosenanbau im Betrieb ausfallen müsste, um dies auszugleichen (REENTS 1991).

2.1.1 Vereinfachte Hoftorbilanz (in Anlehnung an DBG 1992)

Im Rahmen der vereinfachten Hoftorbilanz werden die Nährstoffmengen über Zukäufe und Verkäufe saldiert. Der N-Input über die Luftstickstoffbindung der Leguminosen findet keine Berücksichtigung. Auswirkungen von Größenveränderungen der Betriebe können herausgerechnet werden, indem die Zukaufs- bzw. Verkaufsmengen auf die Bezugsgröße 1 ha berechnet werden.

In Tabelle 3 sind die Berechnungsgrundlagen der vereinfachten Hoftorbilanz dargestellt. Die Datenbasis stellen die Jahres-Wirtschaftsabschlüsse sowie ergänzende Aufzeichnungen der Landwirte dar. Vom Betrieb werden außerdem folgende Daten benötigt:

- Flächengröße und Flächennutzung
- Zusammensetzung des Viehbestandes
- Änderung des Viehbestandes im Zeitablauf
- Änderung der Lagerhaltung im Zeitablauf.

Tab. 3: Erfassungsgrößen der vereinfachten Hoftorbilanz

Nährstoff-Zukauf	Nährstoff-Verkauf
Saat-/Pflanzgut Düngemittel Futtermittel, Stroh Vieh Flächenhinzunahme	pflanzliche Produkte tierische Produkte Vieh Wirtschaftsdünger Futtermittel, Stroh Flächenabgabe
Σ Nährstoff-Zukauf	Σ Nährstoff-Verkauf
Nährstoff-Saldo = Σ Nährstoff-Zukauf – Σ Nährstoff-Verkauf	

Erläuterungen	
Anwendungszweck	Analyse der Zu- und Verkäufe des Betriebes zur Verdeutlichung von Nährstoffimbalancen am Hoftor
Datenbedarf und Herkunft	Zu- und Verkaufsmengen aus den Buchführungsabschlüssen bzw. Aufzeichnungen für Kontrollen Nährstoffgehalte soweit verfügbar aus eigenen Untersuchungen bzw. aus Tabellen in Kapitel 3
Bezugsebene	gesamter Betrieb
Bezugszeitraum	mindestens 2 Wirtschaftsjahre, besser 3
Datenerfassungsaufwand	relativ gering
Berechnungsaufwand	relativ gering Nutzung einfacher Software
Fehlerquellen	relativ gering, wenn gute Aufzeichnungen über Zu- und Verkäufe vorhanden sind
Aussagegüte	Orientierungscharakter in erster Linie interessant für die Ermittlung der P- und K-Salden zur Abschätzung der Import-/Exportmengen da keine Berücksichtigung der N ₂ -Fixierungsmenge: negative N-Salden; diese sind als Kalkulationsgrundlage für den N ₂ -Fixierungsbedarf nutzbar keine Aussagen über innerbetriebliche Verlustquellen bzw. Gewinne möglich

2.1.2 Erweiterte Hoftorbilanz

Für die Ermittlung der Nährstoffzufuhr auf Hoftor-Basis kann, wie in Kapitel 2 dargelegt, der Stickstoff-Input über die N₂-Fixierung mitberücksichtigt werden (HEGE 1995). Allerdings ist an dieser Stelle nur eine relativ pauschale Abschätzung möglich (Tab. 4). Dadurch sind die errechneten N-Salden als Orientierung zu werten. Die Höhe der N-Bindung durch Leguminosen kann aus den in Kapitel 3.4 vorgeschlagenen Methoden errechnet werden.

Tab. 4: Erfassungsgrößen der erweiterten Hoftorbilanz

Nährstoff-Zukauf	Nährstoff-Verkauf
Saat-/Pflanzgut	pflanzliche Produkte
Düngemittel	tierische Produkte
Futtermittel, Stroh	Vieh
Vieh	Wirtschaftsdünger
Flächenhinzunahme	Futtermittel, Stroh
	Flächenabgabe
N-Zufuhr über N ₂ -Fixierung	
Σ Nährstoff-Zufuhr	Σ Nährstoff-Verkauf

$$\text{Nährstoff-Saldo} = \Sigma \text{Nährstoff-Zufuhr} - \Sigma \text{Nährstoff-Verkauf}$$

Erläuterungen

Anwendungszweck	Analyse der Zu- und Verkäufe des Betriebes inkl. der N-Einträge durch Leguminosen zur Verdeutlichung von Nährstoffimbilanzen am Hoftor
Datenbedarf und Herkunft	Zu- und Verkaufsmengen aus den Buchführungsabschlüssen bzw. Aufzeichnungen für Kontrollen Nährstoffgehalte soweit verfügbar aus eigenen Untersuchungen bzw. aus Tabellen in Kapitel 3 Schätzung der Höhe der N-Bindung durch Leguminosen (Kap. 3.4)
Bezugsebene	gesamter Betrieb
Bezugszeitraum	mindestens 2 Wirtschaftsjahre, besser 3
Datenerfassungsaufwand	höher als bei vereinfachter Hoftorbilanz (2.1.1), da die N-Bindung über Leguminosen in Abhängigkeit von Kultur und Anbaufläche kalkuliert werden muss
Berechnungsaufwand	mittel Nutzung einfacher Software möglich
Fehlerquellen	in Bezug auf die Kalkulation der Zu- und Verkäufe relativ gering große Schwankungsbreite bei der Einschätzung der N-Bindung über Leguminosen in Abhängigkeit der Vielgestaltigkeit der Fruchtfolge
Aussagegüte	keine Aussagen über innerbetriebliche Nährstoffverluste und -verteilung
Besonderheiten	bei Verwendung von vereinfachten Schätzverfahren (vgl. Kap. 3.4) für die N ₂ -Fixierung sind nur grobe Einschätzungen möglich

2.2 Bodenbilanz (Schlag-, Fruchtfolgebilanz)

Im Rahmen der Bodenbilanz werden alle relevanten und quantifizierbaren Nährstoffmengen, die den landwirtschaftlichen Nutzflächen zu- bzw. abgeführt werden, saldiert. Der Nährstoffsaldo entspricht den Verlusten bzw. Vorratsänderungen im Boden (BIERMANN 1995).

Wichtig ist zu berücksichtigen, dass einzelne Bilanzglieder nicht exakt ermittelbar sind bzw. unberücksichtigt bleiben oder nur geschätzt werden können. Dies bedingt, dass der errechnete Bilanzsaldo mit einer gewissen Ungenauigkeit behaftet ist. Im Folgenden sind einige wesentliche Größen dargestellt:

- Nährstoffentzug im Erntegut:
Neben der Verwendung standort- und bewirtschaftungsbezogener Nährstoffgehalte der Ernteprodukte (s. Kapitel 3.1) sind die Erträge der einzelnen Anbaufrüchte entscheidend. Für Verkaufsfrüchte liegen häufig Ertragsermittlungen durch Wägungen vor, jedoch ist dies im Bereich Feldfutterbau nicht gegeben. Daher muss hier auf geeignete Verfahren der Ertragsschätzung zurückgegriffen werden (vgl. Kap. 3.1.1.2).
- Schätzung der N_2 -Fixierung bei Körner- und Futterleguminosen sowie Zwischenfrüchten/Gründüngung/Untersaaten:
Messungen auf Schlagebene sind nicht möglich. Daher müssen Schätzverfahren angewandt werden, die in Abhängigkeit der im Betrieb vorhandenen Daten eine plausible Berechnung der fixierten N-Menge ermöglichen. In Kapitel 3.4 werden hierzu verschiedene Verfahren vorgestellt.
- Wirtschaftsdüngeranfall/Organische Düngung:
Die Nährstoffzufuhr über Wirtschaftsdünger ist ebenfalls nur näherungsweise zu bestimmen. Im Rahmen der Stallbilanz (vgl. Kap. 2.3) wird die anfallende Menge des Wirtschaftsdüngers ermittelt.
Angaben über schlagbezogene Aufwandmengen sind von entscheidender Bedeutung. Mit den zu veranschlagenden Nährstoffgehalten von Stallmist, Gülle und Jauche (vgl. Kap. 3.3) ist damit die Gesamtnährstoffmenge zu errechnen. Wichtig sind außerdem die Aufbereitung, der Anwendungszeitpunkt sowie die Ausbringungsart wegen der potenziell zu veranschlagenden Stickstoffverluste.
- Weitere im Betrieb nicht messbare Größen wie Immission, Denitrifikation sowie asymbiotische N-Bindung, die für eine vollständige Bodenbilanz erforderlich sind, können Kapitel 3.5 entnommen werden.

Im Folgenden werden zwei Verfahren zur Errechnung des Bodenbilanzsaldos dargestellt. In Abhängigkeit u. a. der zu beantwortenden Fragestellung, der Datenverfügbarkeit auf dem Betrieb sowie des Berechnungsaufwandes ist zu prüfen, welches Verfahren angemessen erscheint.

2.2.1 Vereinfachte Bodenbilanz (ohne Berücksichtigung der N_2 -Fixierung)

Im Rahmen von Düngungs-/Abfuhrbilanzen werden lediglich die zugeführten Nährstoffmengen über Saatgut und Düngung den durch die Kulturen entzogenen Nährstoffmengen gegenübergestellt (NOLTE 1989). Dies bedeutet, dass die N_2 -Fixierung sowie weitere z. T. schwer schätzbare In- und Outputgrößen (vgl. Tab. 5) zunächst unberücksichtigt bleiben. Anhand des

dadurch ermittelten N-Bedarfs können Aussagen über die erforderliche N-Menge aus symbiotischer N₂-Fixierung getroffen werden.

Tab. 5: Erfassungsgrößen der vereinfachten Bodenbilanz

Nährstoff-Zufuhr	Nährstoff-Abfuhr
Saat-/Pflanzgut Düngung	Nährstoffentzug im abgeführten Erntegut
Σ Nährstoff-Zufuhr	Σ Nährstoff-Abfuhr
Nährstoff-Saldo = Σ Nährstoff-Zufuhr – Σ Nährstoff-Abfuhr	

Erläuterungen			
Anwendungszweck	Analyse von Nährstoffimbalancen auf Schlägebene bzw. in der Fruchtfolge ohne Berücksichtigung des N-Inputs über Leguminosen		
Datenbedarf und Herkunft	Erträge, Nährstoffgehalte von Pflanzen und Wirtschaftsdüngern, Düngermengen aus Schlagkarteien ergänzende Aufzeichnungen der Betriebsleiter Messungen, Tabellenwerte und Schätzungen (vgl. Kap. 3) Aufzeichnungen aus Kontrollunterlagen		
Bezugszeitraum	1 Jahr möglich, doch sehr eingeschränkte Aussage (Momentaufnahme) sinnvoll mindestens 3 Jahre zu berücksichtigen bzw. gesamte Fruchtfolge		
Bezugsebene	einzelner Schlag	Fruchtfolge	gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche
Datenerfassungsaufwand	gering	je nach Komplexität: mittel – hoch	hoch
Berechnungsaufwand	gering	je nach Komplexität: mittel – hoch	hoch
Fehlerquellen	Ertragsschätzungen, Abschätzung bzw. Nichtberücksichtigung von Ernteverlusten (insbesondere im Feldfutterbau/Grünland bei Heuwerbung) Schätzung der Nährstoffgehalte in Ernteprodukten Schätzung der Nährstoffzufuhr aus Wirtschaftsdüngern Auswaschungsverluste Verluste durch intensive Bodenbearbeitung		

Fortsetzung auf Seite 24

Erläuterungen (Fortsetzung)	
Aussagegüte	<p>Einzelschlag: gering – Fruchtfolge: sinnvoll</p> <p>Hinweise auf Nährstoffdefizite/-überschüsse als Kalkulationsgrundlage für den N₂-Fixierungsbedarf nutzbar</p> <p>je nach Notwendigkeit zu schätzender Größen sind die Bilanzsalden mit einer relativ großen Unschärfe behaftet</p>
Besonderheiten	<p>Ernteverluste sind bei der Ermittlung der Erntemengen zu berücksichtigen, insbesondere im Feldfutterbau/Grünland bei Heuwerbung (vgl. Kap. 3.1.1.3)</p>

2.2.2 Erweiterte Bodenbilanz

Im Rahmen der erweiterten Bodenbilanz wird versucht, alle relevanten Einflussgrößen für die Berechnung zu berücksichtigen. Es handelt sich dabei in Ergänzung zu Tabelle 5 um Bilanzglieder, die z. T.

- nicht messbar (symbiotische/asymbiotische N-Bindung, Denitrifikation) oder
- durch Bewirtschaftungsverfahren nicht veränderbar (Immission) bzw.
- sehr schwer schätzbar (Immobilisation, Mineralisation, NH₃-Verluste, Auswaschung) sind.
- Außerdem können Art und Intensität der Bodenbearbeitung Auswirkungen auf Mineralisierungsprozesse im Boden haben.

In Kapitel 3.5 werden anhand von Literaturlauswertungen für die Größen

- Denitrifikation (Kap. 3.5.1)
- Immissionen (Kap. 3.5.2)
- asymbiotische N₂-Fixierung (Kap. 3.5.3)

Angaben gegeben, die für die Erstellung der erweiterten Bodenbilanz nutzbar sind.

Berechnungsgrundlagen sind außer den in Tabelle 5 dargestellten Größen die

- N₂-Fixierung bei Körner- und Futterleguminosen sowie Zwischenfrüchten/Untersaaten/Grünbrache. Diese ist über geeignete Verfahren (vgl. Kap. 3.4) zu schätzen.

Zur Vereinfachung der Stickstoffbilanzen werden häufig die Verluste durch Denitrifikation den N-Einträgen über Immission und asymbiotische N₂-Fixierung gleichgesetzt. Mineralisation und Immobilisation sind dynamische Vorgänge im Boden. Nährstoffe aus der Mineralisation stehen den Pflanzen zur Verfügung, immobilisierte Nährstoffe sind organisch gebunden und gehen dem System nicht verloren. Bei vollständiger Berücksichtigung aller Nährstoffzufuhren und -abfuhren ist der rechnerische Bilanzsaldo = 0. Tabelle 6 gibt einen Überblick über die Erfassungsgrößen der erweiterten Bodenbilanz.

Tab. 6: Erfassungsgrößen der erweiterten Bodenbilanz

Nährstoff-Zufuhr	Nährstoff-Abfuhr
Saat-/Pflanzgut Düngung Symbiotische N ₂ -Fixierung <i>Immission</i> <i>Asymbiotische N-Bindung</i> <i>Grün- und Strohdüngung</i> <i>Mineralisation</i>	Nährstoffentzug im abgeführten Erntegut <i>Immobilisation</i> <i>NH₃-Verluste</i> <i>Denitrifikation</i> <i>Auswaschung</i> <i>Erosion</i>
Σ Nährstoff-Zufuhr	Σ Nährstoff-Abfuhr
Nährstoff-Saldo = Σ Nährstoff-Zufuhr – Σ Nährstoff-Abfuhr	

Erläuterungen

Anwendungszweck	Analyse von Nährstoffimbilanzen auf Schlagenebene bzw. in der Fruchtfolge unter Berücksichtigung des N-Inputs über Leguminosen sowie weiterer relevanter In- und Outputgrößen		
Datenbedarf und Herkunft	Erträge, Nährstoffgehalte von Pflanzen und Wirtschaftsdüngern, Düngermengen aus Schlagkarteien, ergänzende Aufzeichnungen der Betriebsleiter Messungen, Tabellenwerte und Schätzungen (vgl. Kap. 3) Aufzeichnungen aus Kontrollunterlagen Immissionen sowie weitere kursiv gedruckte Größen z. T. in Kap. 3.5		
Bezugszeitraum	1 Jahr möglich, doch sehr eingeschränkte Aussage sinnvoll 3 Jahre zu berücksichtigen		
Bezugsebene	einzelner Schlag	Fruchtfolge	gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche
Datenerfassungsaufwand	gering – mittel	je nach Komplexität: mittel – hoch	hoch
Berechnungsaufwand	gering – mittel	je nach Komplexität: mittel – hoch	hoch
Fehlerquellen	Ertragsschätzungen/Ernteverluste, N ₂ -Fixierungsabschätzung Schätzung der Nährstoffgehalte in Ernteprodukten und Pflanzenrückständen Bemessung der Nährstoffzufuhr aus Wirtschaftsdüngern Schätzung der kursiv gedruckten Größen Auswaschungsverluste		

Fortsetzung auf Seite 26

Erläuterungen (Fortsetzung)	
Aussagegüte	<p>Einzelschlag: gering, Fruchtfolge: sinnvoll</p> <p>Hinweise auf Nährstoffdefizite/-überschüsse</p> <p>Je nach Notwendigkeit zu schätzender Größen, insbesondere bei der Kalkulation der N₂-Fixierung sind die Bilanzsalden mit einer relativ großen Unschärfe behaftet</p>
Besonderheiten	<p>Ernteverluste sind bei der Ermittlung der Erntemengen zu berücksichtigen, insbesondere im Feldfutterbau/Grünland bei Heuwerbung (vgl. Kap. 3.1.1.3)</p> <p>Mineralisation und Immobilisation sind Transformationsprozesse und gehen dem System nicht zwangsläufig verloren</p>

2.3 Stallbilanz

Mit Hilfe von Stallbilanzen können die Mengen anfallender Wirtschaftsdünger (Stallmist, Gülle, Jauche) kalkuliert und die Effizienz der Nährstoffverwertung im Tierhaltungsbereich berechnet werden (DBG 1992). Der Nährstoffsaldo aus der Stallbilanz errechnet sich aus der Differenz zwischen der Nährstoffzufuhr (betriebseigene und zugekaufte Futtermittel, Tiere) und dem Export über tierische Produkte (Zucht- und Schlachttiere, Milch, Fleisch, Eier). Dabei müssen alle Nährstofffrachten, die über Futtermittel, Einstreu und Viehzugänge in den Stall gelangen oder ihn mit Produkten der tierischen Erzeugung verlassen, erfasst werden. Nach Abzug von Verlusten durch Ammoniak- und Lachgasemissionen geht die Stallbilanz in die Nährstoffbilanz der Fruchtfolgen bzw. Schläge ein.

Die Größenordnung des Stickstoff-Flusses durch den Stall ist von einer Vielzahl betriebspezifischer Faktoren abhängig und unterliegt dementsprechend einer großen Variation zwischen den Betrieben. Maßgeblichen Einfluss haben:

- der Tierbesatz
- die Tierart
- die Menge und die Qualität der Futtermittel
- die Rationsgestaltung
- das Leistungsniveau und
- die Verluste bei der Lagerung von Wirtschaftsdüngern (Stall, Lagerstätte).

Eine genaue Quantifizierung der In- und Outputgrößen unterliegt erheblichen methodischen Schwierigkeiten. Ungenauigkeiten bestehen insbesondere bei:

- der Erfassung der Nährstoffmengen, die über betriebseigene Futtermittel in den Stall gelangen
- der Einschätzung der von zahlreichen Faktoren beeinflussten Emissionen bei Wirtschaftsdüngern während der Lagerung im Stall.

Angesichts der Nährstoffmengen, die durch den Stall geschleust werden und der Bedeutung der Wirtschaftsdünger für die Ertragsentwicklung in den Pflanzenbeständen, ist jedem Betrieb die Durchführung einer umfassenden Stallbilanz zu empfehlen. Eine Stallbilanz lässt sich für eine bestimmte Fütterungsperiode oder für den Zeitraum der Auffüllung des Wirtschaftsdüngerlagers anfertigen. Gerade die Erfassung der möglichen Emissionsquellen und deren Quantifizierung sollte im Interesse jedes Betriebes liegen. Erst auf der Basis differenzierter Datenerhebungen können wirksame Strategien zur Minderung hoher N-Verluste und zur ertragswirksamen N-Rezyklierung entwickelt werden.

Die Komplexität der Umsetzungsprozesse von Nährstoffen im Stall legt den Schluss nahe, dass dem Gebrauch von durchschnittlichen Tabellenwerten wenig Aussagekraft zukommt. Deshalb ist eine differenzierte Datenbereitstellung zwingend erforderlich, um wirksame Handlungsansätze zur Minderung hoher N-Verluste und eine verlustarme N-Rezyklierung zu entwickeln. Darüber hinaus sollte durch Zwischenkontrollen überprüft werden, ob die jeweiligen Daten hinreichend plausibel sind. Da z. B. eine Schätzung der Erträge bzw. Ernteverluste im Feldfutterbau/Grünland und damit der Nährstoff-Importmengen in den Stall mit größeren Fehlern behaftet ist, ist ein Abgleich mit dem notwendigen Futterbedarf notwendig. Zur Überprüfung möglicher Fehlerquellen bei der Ermittlung des Nährstoffimportes in den Stall ist insbesondere ein Vergleich mit dem Rohprotein- und Energiebedarf des Tierbestandes in Abhängigkeit vom Leistungsniveau sehr hilfreich. Dringend empfohlen werden Einzel- und/oder Mischfutternährstoffuntersuchungen, da die Rohproteinwerte jährlich schwanken und nicht mit den DLG-Tabellenwerten übereinstimmen. Nähere Erläuterungen zu den Handhabungen bei den verschiedenen Tierarten finden sich im Kapitel 3.2.

Bei der Quantifizierung von Nährstoffsalden können unterschiedliche Abstufungen vorgenommen werden, die sich hinsichtlich der Genauigkeit und damit der Aussagefähigkeit auf der einen und der dafür notwendigen Aufwendungen auf der anderen Seite unterscheiden.

2.3.1 Vereinfachte Stallbilanz

Im Rahmen der vereinfachten Stallbilanz werden die Nährstoffmengen, die in den Stall gelangen den Verkäufen an tierischen Produkten gegenübergestellt (Tab. 7). Der Nährstoffsaldo ergibt sich aus jenen Mengen, die bei verlustfreier Lagerung in den Wirtschaftsdüngern enthalten wären (DBG 1992).

Tab. 7: Erfassungsgrößen der vereinfachten Stallbilanz

Nährstoff-Zufuhr	Nährstoff-Abfuhr
Betriebs-Futtermittel, -Einstreu Zukauf-Futtermittel, -Einstreu Zukauf von Vieh	Verkauf tierischer Produkte (Fleisch, Milch, Eier) Verkauf von Vieh, Tote
Σ Nährstoff-Zufuhr	Σ Nährstoff-Abfuhr
Nährstoff-Saldo = Σ Nährstoff-Zufuhr – Σ Nährstoff-Abfuhr	

Erläuterungen	
Anwendungszweck	Analyse des Nährstoffanfalls im Stall ohne Abzug von Emissionsverlusten
Datenbedarf und Herkunft	Zu- und Verkaufsmengen aus den Buchführungsabschlüssen bzw. Aufzeichnungen für Kontrollen Menge des betrieblich erzeugten Futters und Einstreurohns sind zu schätzen aufgrund der Anbaufläche, eigener Ertragserhebungen sowie standortspezifischer Richtwerte (vgl. Kap. 3.1) Schätzung von Futtermengen, Multiplikation mit durchschnittlichen Nährstoffgehalten (vgl. Kap. 3.1) Abgleich mit Schätzung des Wirtschaftsdüngeranfalls anhand von Literaturwerten (vgl. Kap. 3.2) Futtermitteluntersuchungen
Bezugsebene	Stall bzw. Nutztierhaltung
Bezugszeitraum	ein Wirtschaftsjahr, besser 2–3 Jahre
Datenerfassungsaufwand	gering – mittel, in Abhängigkeit der Kalkulation der innerbetrieblich erzeugten Futtermittel
Berechnungsaufwand	mittel
Fehlerquellen	Schätzung/Messung der Erträge/Ernteverluste im Feldfutterbau bzw. Grünland Schätzung der Nährstoffgehalte in den Ernteprodukten Werte aus DLG-Futtermitteltabellen, wenn keine Angaben aus ÖL verfügbar
Aussagegüte	begrenzt auf den Brutto-Anfall an organischem Dünger
Besonderheiten	Plausibilitätsprüfung: Abgleich mit Schätzung des Wirtschaftsdüngeranfalls anhand von Literaturwerten (s. Kap. 3.2, 3.3) Abgleich mit Rechnungsdaten, Tabellenwerten oder ausgewiesenen Gehalten Nährstoffgehalte soweit verfügbar aus eigenen Untersuchungen (Betriebsfuttermittelanalysen) Gewichtszuwächse der Tiere bei der Kalkulation berücksichtigen (Kap. 3.2)

2.3.2 Erweiterte Stallbilanz

Bei einer erweiterten Stallbilanz werden ergänzend zu den in Tabelle 7 aufgeführten Erfassungsgrößen die NH₃-Verluste im Stall, die Rotte- und Lagerungsverluste bei Wirtschaftsdüngern und Konservierungsverluste bei der Futtermittelherstellung mittels geeigneter Schätzverfahren (vgl. Kap. 3.1 und 3.3) mitberücksichtigt. Ferner werden die Möglichkeiten zu einer genaueren Quantifizierung der Import- und Exportgrößen genutzt, um die Nährstoffausnutzung zu verbessern. Nur anhand der einzelnen Bilanzposten für den Nährstoffimport und -export lassen sich diese Reserven aufdecken. Hierzu bedarf es detaillierter produktions- und verfahrenstechnischer Kenntnisse (MÜLLER und EILER 1995).

In Kapitel 3.2 werden in Abhängigkeit unterschiedlicher Tierarten (Rinder, Schweine, Hühner), sowie Fütterungs- und Haltungsformen Angaben zu potenziellen N-Verlustquellen und deren Minderungsmöglichkeiten dargestellt. Dies soll individuell je nach Betriebsorganisation eine Hilfestellung zur besseren Einschätzung der betrieblichen Situation bieten und damit auch ermöglichen, dass entsprechende Angaben für die Erstellung von Stallbilanzen verwendet werden können. Voraussetzung ist, dass im Betrieb eine genaue Analyse der bestehenden Verhältnisse in Bezug auf die erforderlichen Grunddaten erfolgt, so dass mit Hilfe dieser Bilanz auch eine genauere Einschätzung der N-Effizienz im Stall erfolgen kann. Daraus sind entsprechende Optimierungsstrategien (vgl. Kap. 3.2) betriebspezifisch ableitbar. In Tabelle 8 sind die Erfassungsgrößen der erweiterten Stallbilanz dargestellt.

Tab. 8: Erfassungsgrößen der erweiterten Stallbilanz

Nährstoff-Zufuhr	Nährstoff-Abfuhr
Wirtschaftseigene Futtermittel und Stroh, abzüglich Konservierungsverluste Zukauf von Futtermitteln und Einstreu Zukauf von Vieh	Verkauf tierischer Produkte (Fleisch, Milch, Eier) Verkauf von Vieh, Tote Organische Dünger NH ₃ – Stallverluste Lagerungs- und Rotteverluste
Σ Nährstoff-Zufuhr	Σ Nährstoff-Abfuhr
Nährstoff-Saldo = Σ Nährstoff-Zufuhr – Σ Nährstoff-Abfuhr	

Erläuterungen	
Anwendungszweck	Analyse von Nährstoffimbalancen im Stall, Verwertung des Futters durch die Tierarten und Quantifizierung der verfügbaren Nährstoffgehalte in den wirtschaftseigenen Düngemitteln
Datenbedarf und Herkunft	Zu- und Verkaufsmengen aus den Buchführungsabschlüssen bzw. Aufzeichnungen für Kontrollen Nährstoffgehalte soweit verfügbar aus eigenen Untersuchungen (Betriebsfuttermittelanalysen) bzw. aus den in Kapitel 3 angegebenen Tabellen Lagerungs- und Rotteverluste entweder pauschal entsprechend der DÜNGEVERORDNUNG (1996) oder in Abhängigkeit der individuellen betrieblichen Situation (vgl. Kap. 3.3)
Bezugsebene	Stall bzw. Nutztierhaltung

Fortsetzung auf Seite 30

Erläuterungen (Fortsetzung)	
Bezugszeitraum	ein Wirtschaftsjahr, besser 2–3 Jahre
Datenerfassungsaufwand	mittel – hoch
Berechnungsaufwand	mittel – hoch, positive Aufwand-Nutzen-Relation
Fehlerquellen	Schätzung/Messung der Erträge/Ernte- und Konservierungsverluste im Feld- futterbau bzw. Grünland Schätzung der Nährstoffgehalte in Ernteprodukten Schätzung der gasförmigen Verluste im Stall, der Lagerungs- und Rottever- luste
Aussagegüte	Netto-Anfall organischer Dünger Verlustquellen im Stall und bei der Lagerung im Stall
Besonderheiten	Plausibilitätsprüfung: Analyse repräsentativer Stichproben des Futters Abgleich der Nährstoffimportmengen mit dem Futterbedarf des Tierbestan- des Prüfung der Futtermengen auf Plausibilität anhand des jeweiligen Futterauf- nahmevermögens, Wägung von Tagesrationen und verworfener Restmengen Berechnungen der Ausscheidungsmengen Differenzierung zwischen Kot-N und (verlustgefährdeterem) Harn-N Abschätzung des Emissionspotenzials in Abhängigkeit von den Haltungsbe- dingungen Gewichtszuwächse der Tiere bei der Kalkulation berücksichtigen (Kap. 3.2)

2.4 Gesamtbilanz

Die Gesamtbilanz wird aus der Zusammenführung der o. a. drei Bilanzen berechnet und liefert, je nach Genauigkeit der einzelnen Bilanzglieder, Hinweise auf Nährstoffimbalancen im landwirtschaftlichen Betrieb. Sind alle möglichen Nährstoffflüsse enthalten, so müssen sich Input- und Outputmengen entsprechen. Tabelle 9 bzw. Abbildung 1 verdeutlichen die Zusammenhänge zwischen den 3 Teilbilanzen.

Tab. 9: Erfassungsgrößen der Gesamtbilanz (unter Berücksichtigung von Hoftorbilanz¹⁾, Bodenbilanz²⁾, Stallbilanz³⁾)

Nährstoff-Zufuhr	Nährstoff-Abfuhr
Zukauf von Saat-/Pflanzgut ^{1) 2)}	Verkauf pflanzlicher Produkte ¹⁾
Zukauf von Düngemitteln ^{1) 2)}	Verkauf tierischer Produkte ^{1) 3)}
Zukauf von Futtermitteln und Stroh ^{1) 3)}	Verkauf von Vieh ^{1) 3)}
Zukauf von Vieh ^{1) 3)}	Nährstoffentzug im Erntegut ²⁾
Symbiotische N ₂ -Fixierung ²⁾	Immobilisation ²⁾
Asymbiotische N ₂ -Fixierung ²⁾	Denitrifikation ²⁾
Organische Düngung ²⁾	Auswaschung ²⁾
Immission ²⁾	Erosion ²⁾
Mineralisation ²⁾	NH ₃ -Verluste ^{2) 3)}
Betriebs-, Futtermittel und Stroh ³⁾	Lagerungs- und Rotteverluste ³⁾
Σ Nährstoff-Zufuhr	Σ Nährstoff-Abfuhr
Nährstoff-Saldo = Σ Nährstoff-Zufuhr - Σ Nährstoff-Abfuhr	

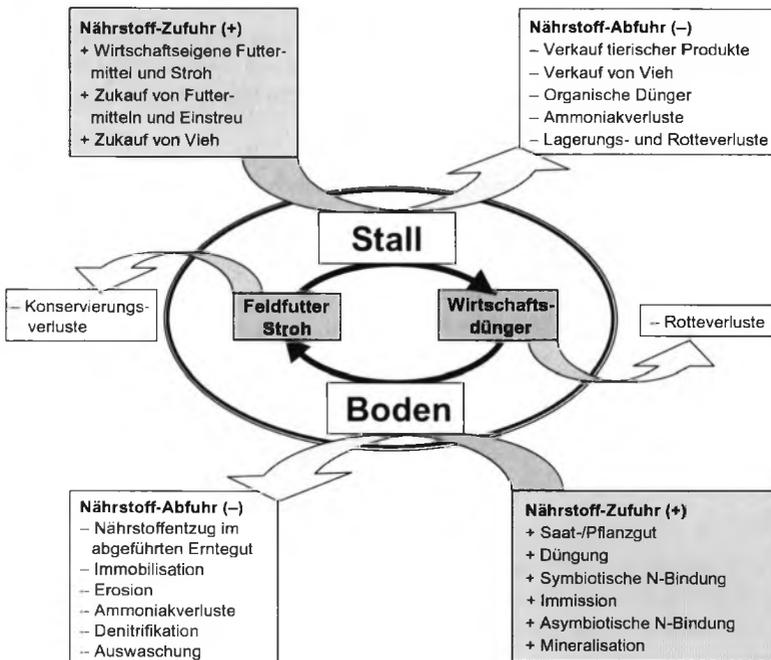


Abb. 1: Erfassungsgrößen der Gesamtbilanz (verändert nach NOLTE 1989)

Erläuterungen	
Anwendungszweck	Analyse von Nährstoffimbalancen auf Betriebsebene (Nährstoffimbalancen auf Schlagebene bzw. in der Fruchtfolge, N-Input über N ₂ -Fixierung, Futterverwertung, Quantifizierung von Nährstoffen in Wirtschaftsdüngern und von Nährstoffausträgen, Zu- und Verkäufe des Betriebes)
Datenbedarf und Herkunft	Zu- und Verkaufsmengen aus den Buchführungsabschlüssen bzw. Aufzeichnungen für Kontrollen Erträge und Nährstoffgehalte von Pflanzen und Wirtschaftsdüngern (Analysen, Tabellenwerte, Schätzungen, Kap. 3.1–3.3), Schätzung der N ₂ -Fixierung (Kap. 3.4), Schätzung weiterer In- und Outputgrößen (Kap. 3.5) Lagerungs- und Rotteverluste bei Wirtschaftsdüngern (Kap. 3.3)
Bezugsebene	gesamter Betrieb
Bezugszeitraum	mindestens 2 Wirtschaftsjahre besser 3
Datenerfassungsaufwand	sehr hoch
Berechnungsaufwand	sehr hoch
Fehlerquellen	hoch, da viele Eingangsgrößen geschätzt werden müssen (vgl. Teilbilanzen)
Aussagegüte	steigt, je mehr Jahre für die Berechnung Berücksichtigung finden können, da Einzeljahreseffekte ausgeglichen werden. Aussagegüte unmittelbar abhängig von Güte der Schätzgrößen, Aussagen über innerbetriebliche Nährstoffverluste und -verteilung möglich, Hinweise auf Nährstoffdefizite/-überschüsse in Fruchtfolgen, Aussagen zu Düngereffizienz, Effizienz der Wirtschaftsdünger-Kette und Verlustquellen im Stall
Besonderheiten	Je höher der Anteil betriebspezifisch erhobener Daten (Analysen, Messungen), desto genauer sind die Aussagen. Ansonsten Plausibilitätsprüfungen vornehmen (repräsentative Futter-/Pflanzenanalysen, Vergleich Nährstoffinput mit Erträgen bzw. Futterbedarf der Tiere, Wägung von Erträgen, Futterrationen, verworfenen Restmengen, Berechnungen der Ausscheidungsmengen, Vergleich mit Bodenanalysen) Gewichtszuwächse der Tiere bei der Kalkulation berücksichtigen (Kap. 3.2)

3 Datengrundlagen und Handlungsempfehlungen

3.1 Pflanzliche Produkte

Das insgesamt niedrigere Nährstoffniveau in ökologisch bewirtschafteten Betrieben bedingt u. a. geringere innerbetrieblich zyklierende Nährstoffmengen, was sowohl aus niedrigeren Erträgen als auch Nährstoffgehalten bestimmter Kulturen resultiert (u. a. BIERMANN 1995, HAAS 1995, NOLTE 1989, STEIN-BACHINGER und BACHINGER 1997). Daher ist, sofern keine Messergebnisse vorliegen, die Anwendung der allgemeinen Faustzahlen, die in konventionellen Bewirtschaftungssystemen ermittelt wurden, zur Erstellung von Nährstoffbilanzen problematisch. Des Weiteren besteht das Problem, dass häufig bei verschiedenen Kulturen, vor allem im Feldfutterbau, keine schlagbezogenen Ertragsangaben auf den Betrieben vorhanden sind, so dass ebenfalls auf Schätzverfahren zurückgegriffen werden muss.

Im Folgenden werden für alle relevanten landwirtschaftlichen Kulturen (Acker und Grünland), von denen Untersuchungsergebnisse aus dem Ökologischen Landbau vorliegen, sowohl Nährstoffgehalte als auch einfache Ertragsschätzverfahren angegeben, die standortbezogene Kalkulationen für Nährstoffzüge ermöglichen. Für hier nicht aufgeführte Kulturen sind die bislang gängigen Faustzahlen zu nutzen. Die Nährstoffmenge, die von einer Fläche als Futtermittel in die tierische Produktion gelangt oder den Betrieb als Marktfrucht verlässt, ist aus den Erntemengen und deren Nährstoffgehalten zu berechnen.

Berücksichtigt werden muss bei der Verwendung der vorgeschlagenen Faustzahlen, dass

- die Erntemengen und
- die Nährstoffgehalte der pflanzlichen Produkte u. a. in Abhängigkeit von
 - Standortsituation
 - Sorte
 - Düngung
 - betriebspezifischer Führung der Pflanzenbestände sowie
 - Witterungseinflüssen

variieren können.

Aus diesen Gründen stellen die in den folgenden Tabellen dargestellten Nährstoffkonzentrationen bzw. Ertragsschätzverfahren Näherungswerte bzw. die potenzielle Ertragsituation, basierend auf Untersuchungen ökologisch bewirtschafteter Flächen, dar. In Abhängigkeit o. a. Einflussgrößen können die vorgeschlagenen Werte variiert werden. Sind gemessene betriebliche Ertrags- sowie Nährstoffgehaltsangaben vorhanden, sind diese selbstverständlich den Schätzverfahren vorzuziehen.

Grundsätzlich sind folgende Zusammenhänge zu berücksichtigen:

Die spezifische Situation eines bestimmten Betriebes bzw. Jahres kann nur durch gezielte Analysen/Messungen in Erfahrung gebracht werden. Ist dies nicht möglich, so sollte

- bei Kulturen mit mehr als 10 % Flächenanteil im Rahmen der Fruchtfolge (u. a. Feldfutterbau, Getreidearten) die Dokumentation der geschätzten Daten mit größerer Sorgfalt betrieben werden, um eine möglichst hohe Genauigkeit für das Bilanzergebnis zu erreichen.
- Bei Kulturen mit geringen Flächenanteilen ist dagegen nur von einer geringen Fehlerquelle für die Gesamtbetriebsbilanz auszugehen.

3.1.1 Kennzahlen, Koeffizienten, Schätzverfahren

Nährstoffgehalte sowie -entzüge bilden die Basis für die Erstellung von Hof- , Boden- und Stallbilanzen. In Kapitel 3.1.1.1 werden zunächst Angaben für Nährstoffgehalte pflanzlicher Produkte aufgeführt. In Kapitel 3.1.1.2 werden Vorschläge für Ertragsschätzungen gegeben. Die Kalkulation von Werbungs- und Konservierungsverlusten, die bei der Berechnung der Nährstoffentzüge eine wichtige Bedeutung haben, ist in Kapitel 3.1.1.3 dargestellt.

3.1.1.1 Nährstoffgehalte pflanzlicher Produkte

Vorbemerkungen:

- In den Tabellen 10–12 sind die Nährstoffentzüge der einzelnen Fruchtarten dargestellt. Die Angaben erfolgen in kg/dt Nährstoffentzug (= Nährstoff-Konzentration im Erntegut in %; der mittlere Trockenmassegehalt ist als Bezugsgröße jeweils angegeben, z. B. Getreide: 86 % TM). Bei Futterpflanzen werden die Nährstoffentzüge sowohl in Bezug auf die Frischmasse (Annahme: 20 % TM) als auch auf 100 % Trockenmasse zur besseren Handhabbarkeit dargestellt.

Gleichzeitig ist aber zu beachten, dass die hier dargestellten Frischmasse-Angaben nicht in jedem Falle übertragbar sind, sondern als mittlere Werte zur Orientierung fungieren. Bei den Nährstoffgehalten werden die mittleren Gehaltswerte sowie Minima und Maxima für die Bedingungen des Ökologischen Landbaus vorgeschlagen.

- In tierhaltenden Betrieben verbleibt Getreidestroh nicht auf dem Acker, da dieses als Einstreu benötigt wird. Daher werden in Abhängigkeit des Korn/Stroh-Verhältnisses der einzelnen Getreidearten auch die Nährstoffentzüge der Gesamtpflanze angegeben. Bei viehlosen bzw. vieharmen Betrieben verbleibt jedoch der größte Teil des Getreidestrohs auf dem Acker.
- Eine umfangreiche Literaturschau von Untersuchungsergebnissen im Ökologischen Landbau in Deutschland (neue und alte Bundesländer) bildet die Grundlage für die vorgeschlagenen Nährstoffgehalte. Neben Daten aus wissenschaftlichen Feldversuchen wurden insbesondere Ergebnisse aus Betriebserhebungen auf ökologisch bewirtschafteten Betrieben, die von den Autoren durchgeführt wurden, herangezogen. Außerdem wurden weitere Experteneinschätzungen berücksichtigt. Daten für den Grünlandbereich wurden in Zusammenarbeit mit Dr. Elsässer erstellt.
- Nährstoffgehaltsangaben in Abhängigkeit von Standortgüte, Vorfrucht und Düngung sind aufgrund der geringen Datenverfügbarkeit zum jetzigen Zeitpunkt nicht möglich. In Kapitel 3.1.2 sollen daher einige prinzipielle Zusammenhänge zur Selbsteinschätzung aufgeführt werden, um Abweichungen von den vorgeschlagenen Mittelwerten vorzunehmen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Fehlerquellen in der Regel höher sind, wenn für die Errechnung der Nährstoffentzüge ungenaue Ertragsangaben sowie Trockenmassegehalte zugrunde gelegt werden, als durch die Verwendung ungenauer Nährstoffgehaltsangaben!
- Im Feldfutterbau (Tab. 12) wird keine Unterscheidung in Klee-Gras, Luzerne-Gras bzw. Klee-Luzerne-Gras vorgenommen, da zu wenige Daten vorliegen. Eine Schätzung der Leguminosen-Gemengepartner auf Gesamtbetriebsebene ist außerdem schwierig und zeitaufwendig wegen sich verändernder Anteile. Darüber hinaus wird ein mittlerer Wert unabhängig vom Nutzungsjahr angegeben, so dass auch bei weniger genauer Datendokumentation eine

Kalkulation durchgeführt werden kann. Eine Unterscheidung in Abhängigkeit verschiedener Nutzungshäufigkeiten wird aufgrund zu geringer Datenverfügbarkeit nicht durchgeführt.

- Da es viele unterschiedliche Zwischenfruchtgemenge in der Praxis gibt und die Datengrundlage für einzelne Arten momentan noch unzureichend ist, wird zunächst nur eine Unterteilung in legume Sommer-/Winterzwischenfrüchte (SZF/WZF) sowie nichtlegume Sommer-/Winterzwischenfrüchte durchgeführt. Dazu kommt, dass die Wuchsleistung von Zwischenfrüchten je nach Art und Standortsituation sehr unterschiedlich sein kann, was die Angabe geeigneter Kennzahlen sehr erschwert.

In Tabelle 10 sind die Nährstoffentzüge der Getreidearten aufgeführt. Dabei wurden bei allen Getreidearten die Nährstoffgehalte im Stroh (86 % TM) in gleicher Höhe veranschlagt. Für Betriebe, die sowohl Korn als auch Stroh ernten, sind die Gesamtentzüge in Abhängigkeit des Korn/Stroh-Verhältnisses dargestellt.

Tab. 10: Nährstoffentzüge der Getreidearten

Fruchtart	Ernteprodukt	TM (%)	Nährstoffentzüge [kg/dt]		
			N Mittelwert (von...bis)	P Mittelwert (von...bis)	K Mittelwert (von...bis)
Getreide					
Winterweizen [10,6 % RP(%TM)] 1 : 1,1 ¹⁾	Korn	86	1,6 (1,2-2,2)	0,35 (0,3-0,4)	0,4 (0,35-0,45)
	Stroh	86	0,3 (0,2-0,5)	0,1	0,7 (0,4-1,0)
	Korn + Stroh	86	1,9 (1,4-2,8)	0,46 (0,4-0,5)	1,2 (0,8-1,6)
Sommerweizen [11,3 % RP(%TM)] 1 : 1,1	Korn	86	1,7 (1,3-2,3)	0,35 (0,3-0,4)	0,4 (0,35-0,45)
	Stroh	86	0,3 (0,2-0,5)	0,1	0,7 (0,4-1,0)
	Korn + Stroh	86	2,0 (1,5-2,9)	0,46 (0,4-0,5)	1,2 (0,8-1,6)
Winterroggen 1 : 1,3	Korn	86	1,5 (1,0-2,0)	0,35 (0,3-0,4)	0,4 (0,35-0,45)
	Stroh	86	0,3 (0,2-0,5)	0,1	0,7 (0,4-1,0)
	Korn + Stroh	86	1,9 (1,3-2,7)	0,48 (0,4-0,5)	1,3 (0,9-1,8)
Wintergerste 1 : 1,1	Korn	86	1,5 (1,2-1,9)	0,35 (0,3-0,4)	0,4 (0,35-0,45)
	Stroh	86	0,3 (0,2-0,5)	0,1	0,7 (0,4-1,0)
	Korn + Stroh	86	1,8 (1,4-2,5)	0,46 (0,4-0,5)	1,2 (0,8-1,6)
Sommergerste 1 : 1	Korn	86	1,4 (1,1-1,7)	0,35 (0,3-0,4)	0,4 (0,35-0,45)
	Stroh	86	0,3 (0,2-0,5)	0,1	0,7 (0,4-1,0)
	Korn + Stroh	86	1,7 (1,3-2,2)	0,45 (0,4-0,5)	1,1 (0,8-1,5)
Hafer 1 : 1,1	Korn	86	1,5 (1,3-1,7)	0,35 (0,3-0,4)	0,4 (0,35-0,45)
	Stroh	86	0,3 (0,2-0,5)	0,1	0,7 (0,4-1,0)
	Korn + Stroh	86	1,8 (1,5-2,3)	0,46 (0,4-0,5)	1,2 (0,8-1,6)
Triticale 1 : 1,2	Korn	86	1,5 (1,2-1,9)	0,35 (0,3-0,4)	0,4 (0,35-0,45)
	Stroh	86	0,3 (0,2-0,5)	0,1	0,7 (0,4-1,0)
	Korn + Stroh	86	1,8 (1,4-2,5)	0,46 (0,4-0,5)	1,2 (0,8-1,6)
Dinkel 1 : 1,1	Korn	86	1,6 (1,3-1,9)	0,35 (0,3-0,4)	0,4 (0,35-0,45)
	Stroh	86	0,3 (0,2-0,5)	0,1	0,7 (0,4-1,0)
	Korn + Stroh	86	1,9 (1,5-2,4)	0,45 (0,4-0,5)	1,2 (0,8-1,6)

¹⁾ Korn : Stroh-Verhältnis, RP = Rohproteingehalt

Tabelle 11 enthält die Nährstoffentzüge der Körnerleguminosen, Hackfrüchte sowie Öl- und Faserpflanzen und Tabelle 12 die Nährstoffentzüge bei Leguminosen-Gemengen und legumen und nicht legumen Zwischenfrüchten sowie Grünland.

Tab. 11: Nährstoffentzüge der Fruchtarten Körnerleguminosen, Hackfrüchte und Öl- und Faserpflanzen

Fruchtart	Erntepro- dukt	TM (%)	Nährstoffentzüge [kg/df]		
			N Mittelwert (von...bis)	P Mittelwert (von...bis)	K Mittelwert (von...bis)
Körnerleguminosen					
Ackerbohnen	Korn	86	3,7 (3,4–4,2)	0,45	0,9
Blaue Lupine	Korn	86	3,5 (3,0–4,0)	0,4	0,7
Weißer Lupine	Korn	86	4,0	0,5	0,9
Erbsen	Korn	86	3,5 (3,0–3,9)	0,4	0,8
Hackfrüchte					
Kartoffeln	Knollen	22	0,27 (0,18–0,35)	0,05	0,35 (0,21–0,54)
Silomais	Ganzpflanze	30	0,35	0,07	0,35
Zuckerrüben	Rüben	24	0,20	0,04	0,18
	1 : 0,7 Blatt	15	0,32	0,04	0,5
Futerrüben	Rüben	18	0,14	0,03	0,25
	1 : 0,7 Blatt	10	0,25	0,03	0,35
Öl- und Faserpflanzen					
Sonnenblumen	Korn	91	2,4	0,6	1,7
Raps	Korn	91	2,6	0,5	0,6
Öllein	Korn	91	3,3	0,35	0,6

Tab. 12: Nährstoffentzüge der Fruchtarten Leguminosen-Gemenge, Zwischenfrüchte und Grünland

Fruchtart	TM (%)	Nährstoffentzüge [kg/df]		
		N Mittelwert (von...bis)	P Mittelwert (von...bis)	K Mittelwert (von...bis)
Leguminosen-Gemenge, Zwischenfrüchte				
Klee-Luzerne-Gras	100	2,7 (1,8–3,5)	0,33 (0,2–0,4)	2,5 (1,8–3,2)
	20	0,54 (0,4–0,7)	0,07 (0,04–0,08)	0,5 (0,4–0,6)
1. Hauptnutzungsjahr	100	3,1 (2,3–4,0)	0,36 (0,3–0,4)	2,8 (1,9–3,6)
	20	0,6 (0,5–0,8)	0,07 (0,06–0,08)	0,6 (0,4–0,7)
2./3. Hauptnutzungsjahr	100	2,4 (1,4–3,1)	0,31 (0,2–0,4)	2,3 (1,6–2,9)
	20	0,5 (0,3–0,6)	0,06 (0,04–0,08)	0,5 (0,3–0,6)

Tab. 12: Nährstoffentzüge der Fruchtarten Leguminosen-Gemenge, Zwischenfrüchte und Grünland (Fortsetzung)

Fruchtart	TM (%)	Nährstoffentzüge [kg/dt]		
		N Mittelwert (von...bis)	P Mittelwert (von...bis)	K Mittelwert (von...bis)
Legume Sommer-/	100	2,7 (2,1–3,5)	0,4	2,7 (2,0–3,5)
Winterzwischenfrüchte	20	0,54 (0,4–0,7)	0,08	0,54 (0,5–0,7)
Nichtlegume Sommer-/	100	2,5 (1,7–3,5)	0,4	2,9 (1,6–3,7)
Winterzwischenfrüchte	20	0,5 (0,3–0,7)	0,08	0,6 (0,3–0,7)
Grünland (in Anlehnung an ELSÄBER 1998)				
Grünfutter	100	2,4 (2,0–2,8)	0,3 (0,1–0,5)	2,0 (1,6–4,0)
	20	0,5 (0,4–0,6)	0,06 (0,02–0,1)	0,5 (0,3–0,8)
Anweilksilage	100	2,0 (1,8–2,3)	0,3 (0,1–0,5)	2,0 (1,6–4,0)
	20	0,4 (0,4–0,5)	0,06 (0,02–0,1)	0,5 (0,3–0,8)
Heu	100	1,5 (1,3–1,7)	0,3 (0,1–0,5)	2,0 (1,6–4,0)
	20	0,3 (0,3–0,4)	0,06 (0,02–0,1)	0,5 (0,3–0,8)

3.1.1.2 Schätzung des Ertrages

Für die Errechnung der Nährstoffentzüge besteht das Problem häufig fehlender schlagbezogener Ertragsmessungen. Die Güte der dadurch erforderlichen Ertragsschätzung beeinflusst wesentlich die Kalkulation der schlagbezogenen Nährstoff-Exporte.

Insbesondere im Bereich der Futterproduktion (Acker und Grünland) liegen in der Regel nahezu ausschließlich Schätzwerte vor. In einigen Betrieben sind außerdem, aufgrund des Fehlens eigener Wägemöglichkeiten, keine gemessenen schlagbezogenen Ertragsdaten für Getreide und andere Kulturen vorhanden. Seitens der Beratung werden daher Schätzverfahren zur Bestimmung von Erträgen als wichtig bis sehr wichtig eingestuft, so dass im Folgenden für ausgewählte Kulturen einfache Schätzungen vorgeschlagen werden, die standortbezogene Ertragskalkulationen ermöglichen. Diese sind auch nutzbar zur Erstellung von Prognosen, um zukünftige Bewirtschaftungsänderungen im Hinblick auf Nährstoffimbilanzen abschätzen zu können.

In Tabelle 13 sind zur Orientierung Ertragspotenziale (Brutto-Ertragsklassen) in Abhängigkeit unterschiedlicher Standortqualitäten dargestellt. Es handelt sich um Bruttoerträge, d. h. Ernteverluste wurden nicht in Abzug gebracht (vgl. Tab. 16 in Kap. 3.1.1.3). Neben der Summe der Niederschläge hat vor allem die regionale Niederschlagsverteilung einen großen Einfluss auf zu realisierende Erträge. Dies ist in der Tabelle lediglich durch die Wertespanne berücksichtigt. Bei der betrieblichen Ertragsschätzung sollten solche Standortbedingungen allerdings konkret einfließen. Wo keine Werte enthalten sind, wird davon ausgegangen, dass diese Fruchtarten i. d. R. nicht angebaut werden.

Tab. 13: Anhaltswerte für mittlere Brutto-Erträge verschiedener Fruchtarten in Abhängigkeit von vier Ackerzahlklassen

Fruchtart Angaben als Bruttoertrag in [dt/ha]	Ertragspotenziale			
	AZ <30 (Ø AZ 25)	AZ 31–45 (Ø AZ 38)	AZ 46–60 (Ø AZ 53)	AZ >60 (Ø AZ 70)
Getreide (86 % TM)				
Winterweizen		25–40	35–55	45–60
Winterroggen	15–30	25–40	35–50	45–55
Wintergerste	15–25	25–35	35–50	45–55
Triticale	15–25	25–40	35–50	45–60
Dinkel	15–25	20–30	25–35	30–40
Sommerweizen	15–25 ¹⁾	25–35	30–40	40–50
Sommergerste	15–25 ¹⁾	25–30	25–35	30–40
Hafer	15–25 ¹⁾	25–35	30–40	35–45
Hackfrüchte (FM)				
Kartoffeln (22% TM)	130–200	150–250	200–300	250–350
Silomais (30% TM)	100–250	200–350	300–400	300–450
Futtermülsen (18% TM)		300–550	450–600	
Zuckerrüben (24% TM)		250–350	350–450	400–500
Körnerleguminosen (86 % TM)				
Ackerbohnen		20–35	30–40	35–50
gelbe, blaue Lupine	10–25	20–30	30–35	
weiße Lupine		20–35	30–40	35–40
Erbsen	10–25	20–35	30–40	35–45
Klee-Luzerne-Gras				
FM ²⁾	150–250	250–350	300–450	400–600
TM	30–50	50–70	60–90	80–120
legume WZF/SZF (TM)	10–15	15–25	25–30	25–35
nichtlegume WZF/SZF (TM)	10–15	15–25	25–30	25–35
Grünland				
FM ²⁾	125–250	200–300	250–350	350–450
TM	25–50	40–60	50–70	70–90
Öl- und Faserpflanzen				
Winterraps (91 % TM)		10–20	15–25	25–35
Sonnenblumen	8–15	15–20	20–30	30–35
Öllein		10–15	12–16	16–20

¹⁾ In Trockenjahren besteht bei Sommerungen ein höheres Ertragsrisiko als bei Winterungen.

²⁾ Bei den Frischmasseangaben von Klee-Luzerne-Gras sowie Grünland wurden 20 % TM unterstellt.

Multipliziert man den Ertrag (dt FM/ha) mit dem Nährstoffgehalt (% in der Frischmasse) erhält man den Nährstoffzug pro ha (Tab. 14).

Wesentliche Einflussfaktoren auf den Ertrag sind neben

- Standortgüte und Klima vor allem
- Vorfrucht und Düngung.

Aufgrund der Fruchtfolgestellung im Ökologischen Landbau wird dies mit berücksichtigt:

Beispiel:

- In der Regel wird Winterweizen nach einer aufbauenden Vorfrucht (z. B. Klee-Luzerne-Gras) angebaut bzw. gedüngt.
- Winterroggen oder Wintergerste stehen in der Regel nach einer Halmfrucht (z. B. Winterweizen) ohne organische Düngung.
- Auf leichten Böden, die z. B. in Ostdeutschland einen großen Teil der ökologisch bewirtschafteten Fläche darstellen, steht Winterroggen nach einer Leguminose, z. B. Lupinen oder Serradella, da Winterweizen auf diesen Standorten nicht angebaut werden kann.

Tab. 14: Ermittlung des N-Entzuges (kg/ha) am Beispiel von Winterweizen
Annahme: Korn : Stroh-Verhältnis 1:1,1; Stroh wird von der Fläche entfernt, AZ 31–45

Korn-Ertrag	Korn-N-Gehalt	N-Entzug: Korn	Stroh-Ertrag	Stroh-N-Gehalt	N-Entzug: Stroh	Gesamt-N-Entzug (Korn+Stroh)
dt/ha	%	kg/ha	dt/ha	%	kg/ha	kg/ha
40	1,6	64	44	0,3	13	77

Grünlandertragsschätzung

Für die Ertragsermittlung bei Grünland wurde von VOIGTLÄNDER (1987) eine Schnellschätzung in Abhängigkeit der Wuchshöhe (= mittlere Höhe der gestreckten Pflanzen von der Bodenoberfläche bis zum Durchschnitt der Triebspitzen der Obergräser in cm) für einheitlich zusammengesetzte und dichte Bestände beschrieben (Tab. 15).

Tab. 15: Ertragsschätzung bei Grünland (nach VOIGTLÄNDER 1987)

Laufende Wuchshöhe in cm =dt TM/ha

Beispiel: 15 cm Wuchshöhe minus 5 cm Nutzungshöhe = 10 cm laufende Bestandeshöhe = 10 dt TM/ha

Anhand eigener, mehrjähriger Untersuchungen (STEIN-BACHINGER, unveröffentlicht) an Leguminosen-Gras-Gemengen wurde geprüft, ob diese Schnellschätzung auch ein empfehlenswertes Verfahren für bestimmte Bestandeszusammensetzungen im Feldfutterbau ist.

Die Berechnung der Regression aus 188 Ertragsmessungen aus den Jahren 1999 bis 2001 ergab bei dichten Beständen ein Bestimmtheitsmaß von $r^2 = 0,7$.

Somit kann empfohlen werden, bei hohen Deckungsgraden eine Messung der Wuchshöhe entsprechend des o. a. Verfahrens auch im Feldfutterbau durchzuführen, da dies gute Anhaltspunkte liefert zur Einschätzung des Ertrages.

3.1.1.3 Werbungs- und Konservierungsverluste

Insbesondere im Feldfutterbau und beim Grünland ist die Berücksichtigung von Werbungsverlusten (Trockenmasse- und Stickstoff-Verluste) je nach Futterwerbung (Grünfutter, Silage, Heu) sehr wichtig. In Abhängigkeit der botanischen Zusammensetzung des Pflanzenbestandes, von Siloform und -größe, Wende- und Schwadtechnik und nicht zuletzt der z. T. unkalkulierbaren Witterung bei der Ernte können sehr große Verluste auftreten, die bei der Berechnung des N-Exportes von der Fläche unbedingt einkalkuliert werden müssen.

In Tabelle 16 sind die Werbungs- und Konservierungsverluste (Trockenmasse-Verluste und damit verbundene N-Verluste) in Spannen dargestellt. Der Betrieb muss jeweils in Abhängigkeit seiner technischen Ausstattung und der Witterung selbst entscheiden, ob sich die Verluste im oberen oder unteren Bereich bewegen. Es handelt sich auch hierbei wieder nur um Näherungswerte, da die tatsächlichen Verluste schlagbezogen in der Regel nicht ermittelbar sind.

- Bei N-Verlusten, die mit den Trockenmasseverlusten einhergehen, handelt es sich nicht um echte Verluste, die dem Betrieb vollständig verloren gehen. Es wird lediglich weniger N in den Stall importiert, was aber bei der Futter- bzw. Stallbilanz berücksichtigt werden muss.
- Bei der Schlag- bzw. Fruchtfolgebilanz sind diese Mengen als N-Input bzw. geringerer N-Export von der Fläche zu veranschlagen.

Bei Klee-Luzerne-Grasbeständen bestehen die Bröckelverluste vor allem aus stickstoffreichen Leguminosenblättern. Dies findet bisher bei der Stallbilanz u. U. zu wenig Berücksichtigung. Um eine Einschätzung potenzieller Stickstoffverluste vornehmen zu können, werden deshalb folgende Faktoren, die einen 20–40 % höheren N-Gehalt in den Bröckelverlusten berücksichtigen, für die Kalkulation der N-Verluste vorgeschlagen:

Multiplikation der Ernte-Verluste mit dem Faktor 1,2–1,4 = % N-Verlust

Beispiel: 20 % TM-Verlust entspricht ca. 24–28 % N-Verlust

Anhand eines Beispiels wird erläutert, was dies für die Berechnung einer Leguminosen-Gras-basierten Futterration bedeuten würde:

Ist im Aufwuchs eines Klee-Luzerne-Grasgemenges eine N-Konzentration von 2,16 % und würde man von diesem Gemenge 80 dt TM Bruttoertrag ernten können, so wäre im Futter eine Stickstoffmenge von 173 kg N.

Muss man jetzt infolge der Futterwerbung 30 % Bröckelverluste in Abzug bringen (siehe Tab. 16), verringert sich der Ertrag von 80 dt auf 56 dt. Ein Ertragsverlust von 30 % führt aber zu einem N-Verlust von 36 bis 42 % ($30 \times 1,2-1,4$), das heißt, von den ursprünglich vorhandenen 173 kg N bleiben nur noch 100 bis 111 kg N übrig.

Rechnet man dies um auf die N-Konzentration im Futter (100/56 bzw. 111/56), so erhält man 1,79 bis 1,98 % N. Das bedeutet, Bröckelverluste führen nicht nur zu einer Verringerung der Futtermenge, sondern auch zu einer Verringerung der Rohproteingehalte ($N \times 6,25$).

Tab. 16: Werbungsverluste bei der Futterwerbung und Konservierung (nach KTBL 1999, 2002b und ELSÄBER 1984)

Art der Futterwerbung und Konservierung	TM-Verluste (gesamt)
Grünfutter	5–10 %
Anweilksilage	15–30 %
Heu	
Unterdachtrocknung	20–25 %
Bodentrocknung gut	25–35 %
Bodentrocknung schlecht	35–50 %
Reutertrocknung	25–35 %

Bei der Ermittlung der Nährstoffentzüge sind in Abhängigkeit der Nutzung o. a. Trockenmasseverluste mit in die Kalkulation einzubeziehen. In Tabelle 17 werden hierzu einige Beispiele für die Grünland-Futternutzung aufgeführt. Die zugrunde gelegten Nährstoffgehalte sind Tabelle 12 (Kapitel 3.1.1.1) entnommen. Deutlich wird, dass insbesondere bei Stickstoff und Kalium sehr große Spannen auftreten können, bedingt durch die Schwankungen im Nährstoffgehalt und Ertrag.

Tab. 17: Mittlerer Nährstoffentzug bei unterschiedlicher Grünland-Futternutzung inkl. geschätzter Trockenmasse-Verluste

Annahmen: Erster Schnitt, 40 dt TM/ha (Bruttoertrag)

Nährstoffentzug (kg/ha) bei 40 dt TM/ha Bruttoertrag	Art der Nutzung		
	Grünfutter (10 % TM-Verlust) im Mittel (von...bis)	Heu: Bodentrocknung (40 % TM-Verlust) im Mittel (von...bis)	Silage (25 % TM-Verlust) im Mittel (von...bis)
N	86 (72–101)	36 (31–41)	60 (54–69)
P	11 (4–18)	7 (3–12)	9 (3–15)
K	72 (58–144)	48 (39–96)	60 (48–120)

3.1.1.4 Hilfen zur Datenerhebung/-dokumentation unter Praxisbedingungen

Im Rahmen der Aufzeichnungen für die EG-Kontrolle liegen bereits einige, zum Teil auch gemessene Grunddaten vor (Tab. 18), die bei der Erstellung von Nährstoffbilanzen genutzt werden können.

Tab. 18: Aufzeichnungen im Rahmen der EG-Kontrolle

Aufzeichnungen im Rahmen der EG-Kontrolle
Landwirtschaftlich genutzte Fläche (ha) laut Schlagliste des Vorjahres
Anbauumfang aller Kulturen/Jahr inkl. Stilllegung (in ha)
Ackerzahl
Grünlandzahl
Bodenuntersuchungsergebnisse, Kalkung
Pflanzenbau
Schlagliste: Ackerland, Grünland, Dauerkulturen
Schlagbezeichnung bzw. Flurname,
Größe in ha,
Hauptfrucht Vorjahr,
Untersaat, Zwischenfrucht, Gründüngung,
Düngung (Art/Menge pro ha),
Pflanzenpflege- und -schutzmittel (Art/Menge pro ha)
Zukaufsmenge/Nachbau: Saat-, Pflanzgut, Jungpflanzen (in kg bzw. Stück) - Anbaufläche/Kultur/Sorte
Saatgutverkauf: Menge/Art
Düngemittel
Düngerzukauf (Art/Menge in dt bzw. m ³):
Handelsdünger (Kalke, Phosphor, Kali, Stickstoff)
Wirtschaftsdünger aus Fremdbetrieben (Mist, Jauche, Gülle nach Tierart)
Stroh, Bodenverbesserer, Zuschlagstoffe für Biogasanlagen aus Fremdbetrieben (z. B. Kompost, Erden, Gesteinsmehl)
Düngerverkauf: Art/Menge
Tierhaltung
Anzahl Tiere/Arten, Alter
Tierzukauf (Kälber, Färsen, Zuchtbullen, Ferkel, Legehennen, Mastgeflügel): Anzahl, Alter bei Einstellung
Tierverkauf
Futterzu- und -verkauf (Art und Menge in dt)
Milchleistung (Milchkontingent, Leistung je Kuh und Jahr)
Mastleistung (jährlich erzeugte Mastfärsen/Ochsen, Mastschweine, Masthähnchen)
Legeleistung (jährlich erzeugte Eier je Legehenne)
Kooperation mit anderen Betrieben (Futter/Mist-Austausch, Jungviehaufzucht, Pensionstierhaltung)

Wie bereits erläutert, ist die Ermittlung der Nährstoffentzüge bei Kulturen, die einen hohen Anbauumfang (>10 %) einnehmen, mit großer Sorgfalt durchzuführen und zu dokumentieren, da hier Fehlerquellen stark zu Buche schlagen. Die Schätzgenauigkeit der Erträge und Nährstoffgehalte beeinflussen unmittelbar die Aussagen zu den errechneten Nährstoffexporten im Rahmen der Fruchtfolge bzw. den Nährstoffimporten in den Stall.

Für die Datenerhebung bzw. -dokumentation stehen verschiedene Möglichkeiten im Betrieb zur Verfügung, die in Tabelle 19 aufgeführt sind.

Tab. 19: Beispiele für die Datenerhebung und -dokumentation

	Erhebung		Dokumentation
	eigene Daten	Fremddaten	
Nährstoff-Gehalte	Analysen aus verschiedenen Jahren Zusatzanalysen nutzen, z. B. Feuchtkleber bei Weizen, Rohprotein von Futteranalysen	empfohlene Nährstoffgehaltsangaben, siehe Tabellen 10–12	Schlagkartei (Bögen oder EDV)
Erträge	Verkaufsmengen Ertragsmessungen (Hofwaage) Zählung der Ladewägen Zählung der Rundballen Silogröße/-anzahl Futterimportmengen in den Stall Bonituren	empfohlene Schätzverfahren, siehe Tabellen 13, 16	Schlagkartei (Bögen oder EDV)

3.1.2 Maßnahmen zur Erhöhung der Nährstoffeffizienz

Standortgüte, Vorfrucht und Düngung haben sowohl Einfluss auf die Nährstoffgehalte als auch auf die Ertragssituation. Aufgrund der geringen Datenverfügbarkeit wurde, wie in Kapitel 3.1.1.1 dargestellt, eine Differenzierung bei den Nährstoffgehalten nicht durchgeführt. In Tabelle 20 sind daher bei ausgewählten Kulturen einige prinzipielle Zusammenhänge zur Selbsteinschätzung bei der Wahl von Nährstoffgehalten bzw. Erträgen aufgeführt.

In den folgenden Ausführungen (Tab. 20) wurden Angaben verschiedener Autoren (u. a. BACHINGER et al. 1996, HAAS 2000, HEB 1990, KÖPKE 1993, SCHELLER und VOGTMANN 1995, SCHMIDTKE 1997, SCHMITT UND DEWES 1995, 1996, 1997a, 1997b, STEIN-BACHINGER 1993) berücksichtigt.

Tab. 20: Beispiele für die Beeinflussung der Nährstoffgehalte und Erträge durch pflanzenbauliche Maßnahmen (u. a. Bedingungen zur Korrektur der in den Tabellen 10–13 angegebenen Mittelwerte)

Fruchtart	Erläuterungen
Getreide	<p>Gülle- bzw. Jauchedüngung bei Weizen im zeitigen Frühjahr (vor/zur Bestockung) ist oft kontraproduktiv für die Qualität, da Senken angelegt werden, die (oft) nicht zu füllen sind. Wenn eine Düngung im Frühjahr zur Qualitätssteigerung bei Getreide erfolgen soll, dann wäre dies mit einer späten Jauchegabe (Schossen-Ährenschieben) besser möglich. Technisch gesehen sind hier jedoch Grenzen gesetzt bzw. das Überfahren der Bestände ist mit entsprechenden Verlusten verbunden. Qualitätsrelevante Aspekte zur Ausbringungstechnik: s. Kap. Wirtschaftsdüngung.</p> <p>Spätere Aussaaten verschieben das Verhältnis Ähre zu Halm zugunsten der Ähre. Dadurch gelangt mehr Stickstoff in das Korn, die Strohernte wird geringer und damit bei Winterweizen der Eiweißgehalt erhöht.</p> <p>Frühsaaten von Wintergetreide (bes. WR) reduzieren N-Verluste besonders auf leichten Standorten und nach Vorfrüchten mit hoher N-Nachlieferung (Körnerleguminosen, Winterrops, Kartoffel, usw.) und wirken sich damit positiv auf den Ertrag aus.</p> <p>Erträge sind mit einer Frühjahrsdüngung (Bestockung) zu steigern.</p> <p>Eine standortangepasste Sortenwahl ist sinnvoll, da je nach Umweltbedingungen auch qualitativ gleich eingestufte Sorten zu unterschiedlichen Ertrags- und Qualitätsausprägungen führen können.</p> <p>Striegeln oder Hacken stimulieren die Mineralisierung organischer Substanz und können zu Ertragssteigerungen führen.</p> <p>Durch Reduzierung der Aussaatstärke bei Weizen lassen sich Qualitätsparameter erhöhen, bei gleichzeitiger Reduktion der Erträge. Bei hohem Unkrautdruck ist dafür allerdings eine effektive Unkrautregulierung entscheidend.</p>
Klee-Luzerne-Gras	<p>Der N- bzw. Rohproteingehalt ist stark vom Vegetationsstadium der Pflanzen bzw. vom Schnittzeitpunkt abhängig. Mit Blühbeginn nimmt der Rohproteingehalt deutlich ab.</p> <p>Man kann davon ausgehen, dass im Mittel der Jahre der erste Schnitt bis zu 50 % des Gesamt-Jahres-Ertrages erbringt. Der 2. Schnitt beläuft sich auf ca. 25–40 %, der 3. Schnitt auf ca. 15–25 %.</p> <p>Bei Futternutzung können die Leguminosenanteile ansteigen. Dagegen fungiert bei Stilllegungsflächen das Mulchmaterial quasi als Dünger, womit das Graswachstum gefördert und die N-Fixierungsleistung vermindert wird (besonders bei Mehrfachmulchung) (siehe auch Kap. 3.4).</p> <p>Stilllegung führt im Vergleich zur Futternutzung zu deutlich geringeren TM- und N-Erträgen (ca. 20–40 %; in niederschlagsarmen Gebieten allerdings weniger als 20 %). Sehr hohe Leguminosenanteile (>80 %) im Feldfutterbau führen zu engeren C/N-Verhältnissen im Gemenge. Dies hat ein höheres Mineralisierungspotenzial zur Folge, womit der Nachfrucht potenziell höhere N-Mengen zur Verfügung stehen. Gleichzeitig besteht jedoch auch die Gefahr der N-Auswaschung bei frühem Herbstumbruch.</p> <p>Bei höheren Leguminosenanteilen im Bestand sind auch höhere N-Gehalte im Erntegut zu veranschlagen (Kleeanteil positiv korreliert mit N-Gehalt).</p> <p>Umbruchtermine sollten vor Winter so spät wie möglich gewählt werden.</p> <p>Klee-Luzerne-Gras sollte durch Pflügen umgebrochen werden; zusätzliches vorheriges Grubbern erhöht die Mineralisierung und kann potenziell zur N-Auswaschung führen.</p>

3.2 Tierhaltung

Ein wesentliches Ziel der ökologischen Wirtschaftsweise besteht in der Schaffung und dem Erhalt eines gesunden 'Betriebsorganismus'. Eine Grundvoraussetzung hierfür sind einander ergänzende Bedingungen und Voraussetzungen in der Bodenproduktion und der Tierhaltung. Während aus der betrieblichen Bodenbewirtschaftung die Bereitstellung von Nährstoffen/Futtermitteln für den Tierbestand erfolgt, besteht der Beitrag der Nutztiere nicht nur darin, das Futter zu verwerten, sondern über ihre Ausscheidungen einen bedeutenden Beitrag zum Erhalt und der Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit zu leisten. Im Vergleich zur pflanzlichen Erzeugung ist der Wirkungsgrad der eingesetzten Rohnährstoffe, wie er sich im Futteraufwand je erzeugter Einheit tierischen Produktes widerspiegelt, in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung vergleichsweise gering. Bezogen auf Stickstoff, der in Form von Protein und Nicht-Protein-Stickstoffverbindungen gefüttert wird, verbleiben nur ca. 20–34 % im verzehrbaren Endprodukt. Die übrige Menge wird ausgeschieden. Sie kann als Dünger genutzt werden oder entweicht auf dem Luftwege oder über Nährstoffverlagerungen in die Umwelt.

Unter den Bedingungen der limitierten Nährstoffverfügbarkeit, wie sie in der Ökologischen Landwirtschaft vorherrscht, kommt es darauf an, die Exkremente der Nutztiere im Nährstoffkreislauf möglichst gezielt, d. h. ressourcenschonend und effizient als Dünger einzusetzen. Dementsprechend ist nicht ein hoher Anfall von Nährstoffmengen im Dung das Problem, sondern die Verluste, die dem Betrieb entstehen, z. B. über Ammoniak und Lachgas.

Hauptverursacher der Ammoniakemissionen in Deutschland ist die landwirtschaftliche Tierhaltung. Ca. 90 % der stickstoffhaltigen Abgasungen sind agrarischen Ursprungs, die Tierhaltung emittiert ca. 84 % (UMWELTBUNDESAMT 1997). Von diesen NH_3 -Emissionen aus der Tierhaltung stammen nach FLÜGGE (1994)

- ca. 80 % von Rindern,
- 17 % von Schweinen und
- 3 % von Hühnern.

Für die landwirtschaftliche Nutztierhaltung ist es aufgrund ihres komplexen Wirkungsgefüges (u. a. verschiedene Tierarten, Futtergrundlagen, Haltungssysteme etc.) sehr schwierig, konkrete Zahlen für den betrieblichen Nährstoffinput sowie zur Beurteilung von Nährstoffverlusten im Stall anzugeben. Zum jetzigen Zeitpunkt liegen vergleichsweise wenige Daten aus dem Bereich der Ökologischen Tierhaltung vor. Soweit möglich wurden daher aktuelle Daten aus Untersuchungen in der Ökologischen Landwirtschaft bzw. quantitative Einschätzungen im Hinblick auf folgende Tiergruppen zusammengestellt und Optimierungsstrategien dargelegt:

- Rinder
- Schweine
- Hühner.

3.2.1 Rinderhaltung

(ALBERT SUNDRUM)

3.2.1.1 Größenordnung der anfallenden Stickstoffmengen

N-Inputgrößen

Vereinfachte Bilanz mittels einer Grobschätzung

Der N-Fluss durch den Rinderstall wird in erster Linie von der betriebseigenen Futtererzeugung und den Zukauffuttermitteln gespeist. Der Futterzukauf ist über die Rahmenrichtlinien geregelt. Entsprechend der EG-Verordnung 2092/91 zum „Ökologischen Landbau“ sollten die im Betrieb vorhandenen Rinder vollständig mit ökologisch erzeugtem Futter versorgt werden. Bei Nichtverfügbarkeit von ökologischem Zukauffutter ist es in der Rinderhaltung nach dieser Richtlinie bis zum 24. August 2005 zulässig, bis zu 10 % der Jahresration bezogen auf die Trockenmasse aus konventioneller Erzeugung zuzukaufen. Ferner sind im Anhang C dieser VO die zulässigen Einzelkomponenten in einer Positivliste dargestellt. Hierzu ergänzend sind in den Richtlinien der ehemals in der AGÖL vereinigten ökologischen Verbände weitere Einschränkungen im Zukauf konventioneller Futtermittel verankert. Von diesen Verbänden wird außerdem ein vorzeitiger Ausschluss konventioneller Futtermittel aus der Ration der Tiere angestrebt. Gegenüber dem Futterzukauf ist der Import über zugekauft Vieh von untergeordneter Bedeutung für die Gesamtnährstoffsituation im Betrieb (Angaben hierzu unter N-Exporte). In der ökologischen Rinderhaltung beinhaltet der Anteil an Zukauffuttermitteln vorrangig Ergänzungsfuttermittel zur Komplettierung der Kraffuttermischung.

Art und Menge des betriebseigenen Nährstoffpotenzials sind eine Funktion

- der Flächenanteile von Acker- und Grünland,
- der Fruchtfolgegestaltung auf dem Acker,
- der Düngungsmaßnahmen und schließlich
- der standortabhängigen und saisonalen Einflussgrößen auf den Ertrag und die Zusammensetzung der Inhaltsstoffe (Futterqualität).

In der Praxis bestehen erhebliche Defizite bei der Quantifizierung von Futtermengen und -qualitäten. Während Menge und Inhaltsstoffe der Zukauffuttermittel leicht anhand der Lieferangaben und der Beipackzettel erfasst werden können, stehen bezüglich der betriebseigenen Futtermengen und deren Inhaltsstoffe oft keine Daten zur Verfügung. Häufig erfolgt weder eine Wägung der Futtermittel noch eine Ertragsschätzung mittels Hilfsindikatoren. Auch werden die Futtermittel häufig nur sporadisch bzw. erst in Problemsituationen einer Laboranalyse unterzogen. Nach Erhebungen von KRUTZINNA et al. (1996) wurde eine Analyse wirtschaftseigener Futtermittel von deutlich weniger als der Hälfte der ökologisch bewirtschafteten Milchviehbetriebe veranlasst.

Neben fehlenden Ertragsschätzungen bleiben häufig auch die Verluste bei der Ernte, beim Transport (u. a. Bröckelverluste) und bei der Konservierung (u. a. Sickerwasser, Fehlgärung) unberücksichtigt.

Werbungsverluste werden im Allgemeinen mit ca. 30 % veranschlagt. Jedoch können die Rohproteinverluste bei ungünstigen Rahmenbedingungen auch bis zu 70 % betragen (vgl. auch Kap. 3.1.1.3).

Um das Futterpotenzial des Betriebes einzuschätzen, operieren viele Betriebe mit Erfahrungswerten. Diese tragen jedoch den erheblichen saisonalen Schwankungen in Quantität und Qualität in keiner Weise Rechnung. Angesichts der Bedeutung der wirtschaftseigenen Futtermittel für das Nährstoffpotenzial des Gesamtbetriebes besteht in der Quantifizierung der wirtschaftseigenen Futtermittel ein zentraler Ansatzpunkt, um potenzielle Schwachpunkte zu erkennen und Optimierungsmöglichkeiten zu nutzen. Aufwand und Nutzen einer genauen Mengenerfassung sind betriebsindividuell verschieden. Die Motivation zu solchen Aufwendungen dürfte in enger Beziehung zum angestrebten Leistungsniveau der Herde stehen. Art und Umfang dieser Maßnahmen sind daher betriebsindividuell festzulegen.

Als Hilfsmittel zur Einschätzung des Nährstoffpotenzials aus betriebseigenen Futtermitteln können unter anderem herangezogen werden

- Quadratmeterschnitte- bzw. Ernten,
- Hofwaage oder Wägung mit einem Futterwagen,
- Ermittlung von Raum- und Gewichtsmaßen,
- Bestimmung des Trockenmassegehaltes,
- Sinnesprüfung nach DLG-Schlüssel,
- Analyse der Rohnährstoffgehalte der Futtermittel,
- Kalkulation der Grundfutteraufnahme anhand der Lebendmasse, des Krafffuttereinsatzes und der Milchleistung.

Aus diesen Messgrößen lässt sich ein guter Überblick über die durch den Stall gelenkten Futtermengen gewinnen. Diese können dann auf das Wirtschaftsjahr oder einen definierten Produktionsabschnitt hochgerechnet werden. Die Multiplikation der Verbrauchsmengen mit den Nährstoffgehalten aus den Tabellen 10–12, Kap. 3.1 ergeben eine Schätzgröße über den N-Anteil im Futter. Allerdings können von Tabellenwerten abweichende Inhaltsstoffe oder wechselnde Mischungsverhältnisse der Einzelkomponenten eine erhebliche Differenz zwischen den tatsächlichen und den geschätzten Größen zur Folge haben.

Eine einstreulose Haltung landwirtschaftlicher Nutztiere ist in der Ökologischen Landwirtschaft nicht zulässig. Daher gelangt auch Stroh als Einstreu und Futtermittel in nicht unerheblichen Mengen in den Stall. Die eingebrachten Strohmenge lassen sich über die Anzahl der täglich oder über einen definierten Zeitraum verwendeten Strohbällen auf jedem Betrieb leicht abschätzen. Der Stickstoffgehalt des Strohs ist mit 0,3 kg N/dt Stroh (vgl. Kap. 3.1 Tab. 10) vergleichsweise gering. Die Veränderungen des N-Gehaltes von Stroh beim Durchlaufen des jeweiligen Haltungsverfahrens sind schwer zu ermitteln. Für Bilanzierungsverfahren sollten vereinfachend die N-Input-Mengen über Stroh mit den N-Output-Mengen gleichgesetzt werden.

Erweiterte Bilanz mittels verbesserten Schätzgrößen

In der Regel sind die Rohproteingehalte von ökologisch erzeugten Grünland- und Ackerfuttermitteln aufgrund der deutlich geringeren Düngungsintensität niedriger als in konventionell erzeugten Futtermitteln (vgl. Kap. 3.1). Da mineralische N-Dünger nicht zur Anwendung kommen, schwanken Futtererträge und Nährstoffgehalte in Abhängigkeit von den jeweiligen Standort- und Klimaverhältnissen. Tabellenwerte (vgl. Kap. 3.1, Tab. 10–12) können daher als Orientierungsgröße dienen. Da letztlich nur anhand von Analyseergebnissen Einsparpo-

tenziale quantifiziert sowie für die Nutztiere gesundheitlich bedenkliche Nährstoffimbalancen vermieden werden können, sollten von allen Grundfuttermitteln zumindest Analysen der Rohproteingehalte vorgenommen werden. Dabei sollte durch die sorgsame Wahl der Probeentnahmestellen und durch die Anzahl der Einzelproben sichergestellt werden, dass die Sammelproben die jeweilige Grundgesamtheit des Futterstockes repräsentieren.

Mit dem Analyseverfahren der Nah-Infra-Rot-Spektroskopie (NIRS) können Analysen preiswert und schnell durchgeführt werden. Dem geringen Aufwand für eine genaue Mengenerfassung und eine Analyse der Einzelfuttermittel steht ein vergleichsweise hoher Nutzen für ein gezieltes Futter- und Nährstoffmanagement gegenüber. Unter anderem kann nach Kalkulation des betriebseigenen Nährstoffpotenzials die Effizienz des Einsatzes von Zukauffuttermitteln überprüft werden. Neben der Relevanz für das Nährstoffmanagement ist dies von erheblicher ökonomischer Relevanz, da ökologisch erzeugte Zukauffuttermittel einen beträchtlichen Kostenfaktor darstellen und der Zukauf konventioneller Futtermittel durch die Rahmenrichtlinien eingeschränkt ist und ab dem Jahr 2005 gänzlich ausgeschlossen werden soll.

Eine exakte Erfassung der N-Inputgrößen beschränkt sich nicht auf die Berechnung der angebotenen Futtermengen, sondern beinhaltet einen Abgleich zwischen den angebotenen Futtermengen mit dem voraussichtlichen Futteraufnahmevermögen in den verschiedenen Lebens- und Leistungsabschnitten. Die von den Tieren verworfenen Futtermengen werden häufig unterschätzt. Entsprechende Präzisierungen erfordern, dass über mehrere Tage die zugeteilten Futtermengen und die verworfenen Restmengen in den unterschiedlichen Tiergruppen gewogen werden. Erst anhand der Kenntnis der tatsächlichen Futteraufnahme kann eine Ration erstellt werden, die sowohl im Hinblick auf die angestrebten Produktionsleistungen und die N-Verwertung als auch hinsichtlich der Tiergesundheit sowie der Schlachtkörperzusammensetzung und der Produktqualität den Anforderungen entspricht.

Neben der zeitaufwendigen Wiegung von Futtermitteln kann die Futteraufnahme auch anhand nachfolgender Schätzformeln kalkuliert werden, da diese ein hohes Bestimmtheitsmaß aufweisen und dadurch eine hilfreiche Einschätzung ermöglichen. Bei den Milchkühen setzt der Gebrauch der Schätzformel die Kenntnis der Lebendmasse, der aufgenommenen Kraftfuttermengen und der Energiegehalte der Grundfuttermittel voraus. Bei den Mastrindern liefert bereits die Lebendmasse verwertbare Informationen. Zur Schätzung der Grundfutteraufnahme von Milchkühen eignen sich insbesondere die Einflussfaktoren Lebendmasse (LM kg), Energiekonzentration des Grundfutters (MJ NEL/ kg GF (Grundfutter)) und die Kraftfuttermenge (KF) (kg TM/Tag) (SCHWARZ et al. 1996). Für die Grundfutteraufnahme von Mastrindern hat der Faktor Lebendmasse die größte Bedeutung (HEINDL et al. 1996). Die Schätzformeln für die Bestimmung der Futteraufnahme von Milchkühen und Mastrindern sind in Tabelle 21 wiedergegeben.

Tab. 21: Schätzformeln für die Bestimmung der Grundfutteraufnahme (kg TM/Tier und Tag) von Milchkühen und Mastrindern

Tierart	Schätzformel für die Bestimmung der Grundfutteraufnahme	Autoren
Milchkühe	$y = 0,009 * LM \text{ (kg)} + 2,21 * (MJ \text{ NEL GF})^{0,67} - 0,07 * (\text{kg KF/Tag})^{1,63}$ Bsp.: 600 kg LM, 6 MJ NEL, 4 kg KF = 12,1 kg TM/Tier und Tag	SCHWARZ et al. 1996
Mastrinder	$y = -17,15 + 4,12 * \ln LM \text{ (kg)}$ Bsp.: 500 kg LM = 8,5 kg TM/Tier und Tag (bei Maissilage-basierter Ration)	HEINDL et al. 1996

Rechenbeispiel mit Taschenrechner, notwendig sind Funktionstasten „y^x“ und „lnx“

Milchkühe

$$y = 0,009 \times 600 + 2,21 \times (6)^{0,67} - 0,07 \times (4)^{1,63}$$

(6 Funktionstaste „y^x“ 0,67 = 3,32 / 4 Funktionstaste „y^x“ 1,63 = 9,58)

$$= 5,4 + 2,21 \times 3,32 - 0,07 \times 9,58 = 12,1$$

Mastrinder

$$y = - 17,15 + 4,12 \times (500 \text{ Funktionstaste „lnx“}) = 8,45 = 8,5$$

N-Exporte über tierische Produkte

Als Kalkulationsgröße für den N-Im- bzw. -Export über die Rinder können 2,56 kg N je 100 kg Lebendmasse veranschlagt werden (HEGE und WEIGELT 1991).

Diese Faustzahl unterstellt einen Proteingehalt des Gesamtkörpers von 16 % (2,56 x 6,25). Dieser wird bei erwachsenen Rindern mit einer Lebendmasse von ca. 650 kg erreicht. Kälber weisen hingegen einen Proteingehalt von ca. 20 % auf. Dies entspricht einer Kalkulationsgröße von 3,2 kg N je 100 kg Lebendmasse. Entsprechend der Schwankungsbreite sind je nach Alter der Tiere die Kalkulationsgrößen anzupassen.

Hinsichtlich des N-Exportes über die Milch errechnet sich bei einem durchschnittlichen Proteingehalt der Milch von 3,25 % ein Austrag von 5,2 kg N je 1 000 kg exportierter Milch.

Da die Proteingehalte der Milch in der Praxis erheblichen Schwankungen unterliegen (ca. 3,0 bis 3,5 %), können die Exportgrößen entsprechend variieren. Tabelle 22 gibt den N-Export mit der Milch in Abhängigkeit von der Milchleistung und dem Proteingehalt wieder.

Tab. 22: N-„Export“ mit der Milch in Abhängigkeit von Milchleistung und Proteingehalt der Milch (kg je Kuh und Jahr)

Milchleistung kg je Kuh und Jahr	Proteingehalt der Milch		
	3,00 %	3,25 %	3,50 %
N-Export (kg je Kuh und Jahr)			
3 000	14,4	15,6	16,8
4 000	19,2	20,8	22,4
5 000	24,0	26,0	28,0
6 000	28,8	31,2	33,6
7 000	33,6	36,4	39,2
8 000	38,4	41,6	44,8

N-Ausscheidungsmengen

Die Ausscheidungsmengen von Stickstoff sind in erster Linie eine Funktion

- der Stickstoff-Aufnahme über das Futter und
- der N-Retention (N-Ansatz in der Körpermasse und in der Milch).

Die N-Retention im Organismus ist keine feste Größe, sondern von der Energieversorgung und dem genetischen Leistungspotenzial der Tiere abhängig (ROHR 1992).

Durchschnittlich beträgt die N-Retention ca. 30 %. Sie verbessert sich mit steigender Milchleistung. Die Schwankungsbreite der N-Retention zwischen niedriger und hoher Milchleistung (10 bis 40 kg Milch pro Tag) ist zwischen 20 % und 38 % angesiedelt (BOCKMANN et al. 1997). Die Erklärung für eine verbesserte N-Verwertung im oberen Leistungsbereich liegt zum einen in der effizienteren Nutzung darmverfügbaren Proteins durch die Tiere mit hohen Leistungen und zum anderen in dem immer geringer werdenden Anteil aufgenommenen Stickstoffs, der für den Erhaltungsbedarf der Tiere aufgewendet werden muss.

Die N-Aufnahme über das Futter ist abhängig

- vom N-Gehalt der Ration und
- von der Futteraufnahme.

Unter den Bedingungen einer bedarfsorientierten Rohproteinzufuhr liegt die tägliche N-Ausscheidung zu Laktationsbeginn (30 kg Milch/Tag) mit ca. 300 g etwa doppelt so hoch wie am Ende der Laktation.

Bei ganzjährig bedarfsorientierter Fütterung scheidet eine Milchkuh mit einer Laktationsleistung von 5 000 kg etwa 70 kg N aus (Abb. 2, Variante A). Bereits der Rohproteinüberschuss des üblichen Sommerfutters (Weidegras) lässt die Gesamtausscheidung auf 85 kg N ansteigen (Variante B). Weist darüber hinaus das Grundfutter im Winter einen hohen Rohproteingehalt auf, so kann die N-Ausscheidungsmenge auf über 100 kg N ansteigen (ROHR 1992). Die Zusammenhänge sind in der Abbildung 2 veranschaulicht.

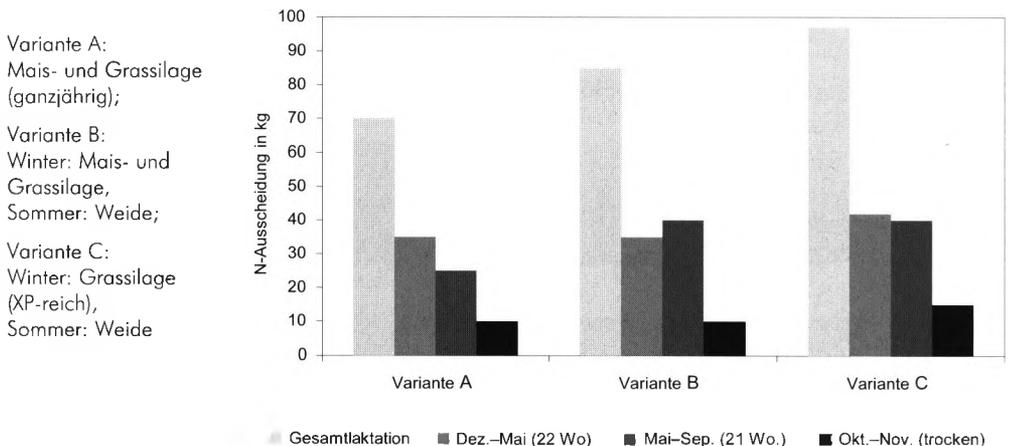


Abb. 2: N-Ausscheidung einer Kuh (5 000 kg Milch/Jahr, 600 kg LM) bei unterschiedlicher Futterbasis (ROHR 1992)

Fütterungsmaßnahmen zur Reduzierung des Emissionspotenzials aus wirtschaftseigenen Düngemitteln haben in erster Linie das Ziel, den N-Input zu vermindern bzw. die N-Verwertung unter Beibehaltung der Leistungsanforderungen zu erhöhen. Von maßgeblicher Bedeutung ist dabei die Vermeidung einer Über- und Unterversorgung mit Rohprotein.

Nach KIRCHGESSNER et al. (1993) ist bei bedarfsorientierter Versorgung in Abhängigkeit von der Milchleistung mit N-Ausscheidungen von

- 65–115 kg N/Kuh und Jahr bzw.
- 12–16 g N pro kg Milch zu rechnen.

Bei einer Rohproteinübersversorgung können die N-Ausscheidungen um mehr als 50 % erhöht werden.

FLÜCKIGER und BESSON (1989) untersuchten unter konventionellen Haltungsbedingungen in der Schweiz den Einfluss der Fütterung auf den quantitativen und qualitativen Hofdüngeranfall. In Abhängigkeit vom TM-Verzehr und dem täglichen Wasserkonsum lag der mittlere Gülleanfall (unverdünntes Kot/Harngemisch) pro Tier und Tag zwischen 53 l und 77 l. Je nach Produktionsverhältnissen betrug der jährliche Gülleanfall pro Tier zwischen 19 m³ und 25 m³, wobei der N-Gehalt pro m³ Gülle zwischen 4,1 kg und 6,2 kg/m³ schwankte.

Angaben zu den N-Ausscheidungsmengen von Rindern sind in der Tabelle 23 wiedergegeben (vgl. auch Kap. 3.3.1.1).

Tab. 23: Mittlere N-Ausscheidungsmengen (kg/Stallplatz und Jahr) von Rindern (nach BMVEL/UBA 2001)

	Grundlage	N-Ausscheidung
Milchkühe	leistungs- und rationsabhängig	70–120
Kälber	<6 Monate	16
Mastbullen	>6 Monate	42
Färsen	>6 Monate	44
Mutterkühe		96
Altkühe	Schlacht- und Mastkühe	70

3.2.1.2 Akkumulation von Stickstoff in Wirtschaftsdüngern

In der Ökologischen Tierhaltung sind gegenüber der herkömmlichen Tierproduktion die Möglichkeiten der Bedarfsanpassung durch die begrenzte Verfügbarkeit energiereicher Futtermittel sowie durch Begrenzungen beim Futtermittelzukauf, insbesondere konventioneller Rohproteinkomponenten, eingeschränkt. Auch wird auf ökologisch bewirtschafteten Milchviehbetrieben das genetische Leistungsvermögen der Tiere in der Regel nicht ausgeschöpft (KRUTZINNA et al. 1996). Damit stehen aus konventioneller Sicht die fütterungsrelevanten Einschränkungen der ökologischen Rahmenrichtlinien einer umweltverträglichen Nutztierhaltung scheinbar entgegen.

Aus ökologischer Sicht machen die Vorgaben der Richtlinien jedoch Sinn, da für den ökologisch bewirtschafteten Betrieb aufgrund einer generellen N-Mangel-Situation im Betrieb in der

Regel keine Veranlassung zu einer Verringerung der Stickstoffmengen in den Wirtschaftsdüngern besteht. Anders als in der konventionellen Tierproduktion stellt der wirtschaftseigene Dünger aufgrund des Verzichts auf den Einsatz mineralischer Stickstoff-Düngemittel die maßgebliche ertragswirksame flexible Nährstoffquelle für das Pflanzenwachstum dar. Aus diesem Grunde besteht ein systemimmanenter Anreiz, die Anfallmenge von Wirtschaftsdüngern und deren Nährstoffgehalte zu erhöhen statt sie zu senken.

Der ökologisch bewirtschaftete Betrieb realisiert durch die Nutzung der biologischen N_2 -Fixierung und den Verzicht auf den Einsatz von mineralischen Stickstoff-Düngemitteln bereits beim Futterbau in erheblichem Maße umweltwirksame Einsparpotenziale. Zwar kann durch die Anreicherung des Wirtschaftsdüngers mit Nährstoffen das Emissionspotenzial erhöht werden. Auf der anderen Seite stehen dem Betrieb verschiedene Maßnahmen zur Emissionsminderung zur Verfügung, denen aufgrund ihrer ertragswirksamen und damit betriebsökonomischen Wirkung eine große Bedeutung zukommt.

Die Zusammenhänge verdeutlichen, dass sich die Relevanz von umweltwirksamen Einzelmaßnahmen in der Ökologischen Tierhaltung gegenüber der konventionellen Tierproduktion ändert und dadurch Maßnahmen, die auf konventionell bewirtschafteten Betrieben sinnvoll erscheinen, nicht ohne weiteres auf die Ökologische Tierhaltung übertragen werden können. Um eine Erhöhung der Stickstoffmengen im wirtschaftseigenen Dünger herbeizuführen, stehen dem Landwirt verschiedene Strategien zur Verfügung, die in ihrer Relevanz von den gesamtbetrieblichen Gegebenheiten und Zielsetzungen abhängen. Im Folgenden werden einige Strategien vorgestellt.

Erhöhung der Tierzahlen

Eine Erhöhung des jeweiligen Tierbestandes kann wegen des damit verbundenen erhöhten Anfalls von Wirtschaftsdüngern durchaus sinnvoll sein. Im Durchschnitt werden auf ökologisch bewirtschafteten Betrieben lediglich 1,0 GV/ha gehalten. Begrenzt wird der Tierbesatz zunächst durch die jeweiligen Möglichkeiten, preiswertes Futter zur Verfügung zu stellen. Eine Ausweitung des Masttierbestandes wird sich ökonomisch nur rechnen, wenn gleichzeitig über einen lukrativen Absatz von Schlachttieren entsprechende Produktionskosten aufgefangen werden. In Abhängigkeit von der Menge und der Qualität der zur Verfügung stehenden Futtermittel, der Stallkapazitäten sowie den Milch- bzw. Fleischabsatzmöglichkeiten gilt es, die für den jeweiligen Betrieb optimale Tierzahl zu ermitteln.

Erhöhung der N-Gehalte in der Ration

Auf ökologisch bewirtschafteten Milchviehbetrieben sind sowohl Futterrationen mit Proteinübersversorgung als auch mit Proteinmangel anzutreffen. Ein Mangel kann auf einem zu geringen Stickstoff-Gehalt in der Gesamtration oder auf einem zu geringen Anteil von im Darm verfügbarem Protein beruhen. Betroffen sind vor allem solche Grünlandbetriebe, die aufgrund einer geringen Düngungsintensität des Grünlandes und eines geringen Weißkleeanteiles im Pflanzenbestand niedrige Rohproteingehalte im Weideaufwuchs und/oder eine hohe Abbaubarkeit des Proteins bei gleichzeitig suboptimaler Energieverfügbarkeit aufweisen.

In der ökologischen Rinderhaltung ist eine Erhöhung des Rohproteingehaltes in der Ration leicht durch die Einbeziehung von Körnerleguminosen in die Futterration zu erreichen. Inwie-

weit eine Erhöhung über eine leistungswirksame Bedarfsanpassung hinausgehen sollte, bleibt einzelbetrieblichen Kalkulationen vorbehalten. Milchkühe können eine Rohproteinübersorgung in der Regel gut kompensieren, solange nicht gleichzeitig eine Energiemangelsituation vorliegt (SUNDRUM 1997a). Energiemangel in Verbindung mit einer Rohproteinübersorgung dagegen stellt ein hohes Erkrankungsrisiko dar. In der Rindermast ist eine Übersorgung mit Rohprotein nur mit einem geringen Risiko für die Gesundheit der Tiere verbunden (SUNDRUM et al. 1997). Bevor über Möglichkeiten der N-Akkumulation in den Wirtschaftsdüngern mittels Erhöhung der N-Gehalte in der Ration nachgedacht wird, sollte auf jeden Fall eine Überprüfung der Futterration vorgenommen werden. Darüber hinaus macht eine erhöhte Rohproteinversorgung nur Sinn, wenn gleichzeitig emissionsmindernde Maßnahmen bei der Lagerung und Ausbringung von N-Ausscheidungen getroffen werden.

Erhöhung der Aufenthaltsdauer im Stall

Eine Akkumulation von Stickstoff kann in der Sommerzeit durch eine Verlängerung der Aufenthaltsdauer der Tiere im Stall (z. B. über Nacht) erreicht werden. Bei geeigneten und separaten Lagerbedingungen für Harn und Kot im Stall können die Stickstoffverluste gegenüber Verlusten auf der Weide deutlich reduziert und der so gewonnene Stickstoff gezielter für Düngungsmaßnahmen eingesetzt werden.

Dieser Strategie entgegen steht das Ziel, den Tieren möglichst viele Möglichkeiten zur Ausübung art eigener Verhaltensweisen auf der Weide einzuräumen. Eine Ganztages-Stallhaltung ist vor dem Hintergrund der Tiergerechtigkeit abzulehnen. Tageszeitliche Beschränkungen des Weidezuganges unter Einbeziehung eines Laufhofes sind einzelbetrieblich abzuwägen.

3.2.1.3 Maßnahmen zur Reduzierung von Stickstoffverlusten im Stall

Um den N-Output aus dem Stall zu minimieren, stehen vielfältige Maßnahmen zur Verfügung. In der konventionellen Tierproduktion wird in erster Linie eine Reduzierung von N-Ausscheidungsmengen durch die Verringerung der Tierzahlen bei gleichzeitiger Erhöhung der Einzeltierleistung und eine bedarfsangepasste Fütterung angestrebt. Diese Strategie ist für die Ökologische Landwirtschaft nur bedingt sinnvoll (siehe Kapitel 3.2.1.2).

Eine Reduzierung der N-Gehalte durch bedarfsangepasste Fütterungsmaßnahmen darf nicht mit einer Reduzierung des Emissionspotenzials gleichgesetzt werden, da kein linearer Zusammenhang zwischen den Nährstoffgehalten in der Gülle und den von der Gülle ausgehenden Emissionen besteht (KAISER et al. 1998). Die Freisetzung von einzelnen umweltrelevanten Stoffgruppen (u. a. NH_3 , N_2O) ist von zahlreichen Ausgangsbedingungen wie

- O_2 -Zutritt,
- Emissionsfläche,
- Temperatur,
- Feuchte,
- Gasdruck,
- Luftgeschwindigkeit,
- pH-Wert oder

- dem Verhältnis von Stickstoff zu Kohlenstoff u. a.

abhängig (AROGO et al. 1999).

Tabellenangaben von absoluten Emissionsraten (z. B. in „kg pro Tierplatz und Jahr“ oder ähnlichen Einheiten) sind daher nicht auf die landwirtschaftliche Praxis übertragbar.

Da die Reduzierung von N-Emissionen mit einer Erhöhung der verfügbaren und damit ertragswirksamen N-Menge einhergeht, kommt den verschiedenen Maßnahmen zur Reduzierung der N-Emissionen neben der Umweltwirkung auch ökonomische Bedeutung zu. Die verschiedenen Maßnahmen werden zunächst einzeln thematisiert. Sie sind nicht auf allen Betrieben in gleicher Weise sinnvoll bzw. können nicht überall die gleiche Wirkung entfalten.

Reduzierung der Tierzahlen

Aus ökologischer Sicht ist eine Reduzierung der Ausscheidungsmengen in der Regel nicht erstrebenswert (siehe Kapitel 3.2.1.2). Wird parallel zum Produktivitätsfortschritt (z. B. über die Steigerung der Herdenleistung) eine Abstockung des Tierbestandes vorgenommen, bleibt die Produktionsmenge pro Betriebseinheit gleich. Das Einsparpotenzial des Betriebes hinsichtlich der Ausscheidungsmengen von Stickstoff liegt bei einer Steigerung der Milchleistung um 1 000 kg Milch/Tier und Jahr in einer Größenordnung von ca. 7 % (HEISSENHUBER und REITMAYR 1992, FLACHOWSKY 1993). Bei einer Leistungssteigerung von 10 kg auf 20 kg Milch/Tier und Tag sinkt die Gülle-N-Menge von 22 g/kg Milch um fast die Hälfte auf 13 g/kg Milch ab (KIRCHGESSNER et al. 1993).

Der Einspareffekt nimmt jedoch mit zunehmendem Leistungsniveau aufgrund eines abnehmenden Grenznutzens drastisch ab. Zudem muss bei höheren Leistungen in der Regel mehr Krafffutter gefüttert und gegebenenfalls in den Betrieb importiert werden. Gleichzeitig wird ab ca. 4 kg Krafffutter/Tier/Tag in zunehmendem Maße die Verwertung von Grundfutter durch Krafffutter verdrängt. Überdies kann sich die propagierte Leistungssteigerung als Umweltschutzstrategie in der Praxis als Fehlschluss erweisen, wenn mit der Leistungssteigerung eine Abnahme der Nutzungsdauer der Tiere einhergeht und mehr Aufzuchttiere für die Remontierung gehalten werden müssen. Die über eine Zunahme der Nutzungsdauer erzielbaren umweltrelevanten Effekte sind auf vielen Betrieben möglicherweise relevanter als die Effekte über eine Zunahme der Herdendurchschnittsleistung (SUNDRUM 1997b).

Das größte Einsparpotenzial bezüglich der Ausscheidungsmengen von Stickstoff ergibt sich, wenn niedrige Milchleistungen angehoben werden, z. B. bei einer Anhebung von 3 000 kg auf 6 000 kg Jahresdurchschnittsleistung. Diese kann bereits durch eine Änderung der Fütterung und durch ein verbessertes Management erreicht werden und bedarf beim derzeitigen genetischen Leistungspotenzial der Milchkühe in der Regel weder der züchterischen Bemühungen noch des Einsatzes von Leistungsförderern. Eine Steigerung von 8 000 auf 9 000 kg Milch/Tier und Jahr dürfte dagegen in der gesamtbetrieblichen Betrachtung kaum mit einer Einsparung an N-Ausscheidungsmengen einhergehen. Zum einen verringern sich die N-Gehalte in den Ausscheidungen pro kg Milch auf diesem Leistungsniveau nur noch geringfügig, zum anderen müssen für entsprechende Leistungen hohe Krafffuttermengen aufgebracht werden, die sowohl bei der Futtererzeugung als auch beim Transport mit erheblichen Umweltbelastungen zu Buche schlagen.

Bedarfsorientierte Futtererzeugung

Die Erzeugung wirtschaftseigener Futtermittel, die in Quantität und Qualität auf die spezifischen Nährstoffansprüche der Herde abgestimmt sind, geht auf betrieblicher Ebene mit einer hohen Effizienz bei der N-Umsetzung und mit einer Verringerung der N-Verluste einher. Allerdings wird in der landwirtschaftlichen Praxis das Ziel einer engen Abstimmung zwischen Futtererzeugung und Nährstoffbedarf aus diversen Gründen nur selten erreicht. Voraussetzung für eine entsprechende Abstimmung sind genaue Ertragsdaten, Nährstoffanalysen sowie die Erstellung von Futterbilanzen.

Die Bereitstellung von Grundfutter in hoher Qualität erhöht

- die Grundfutteraufnahme,
- die Verwertung der Nährstoffe (Verdaulichkeit) und
- führt zu Einsparungen an Ausgleichs- bzw. Milchleistungskrafffutter.

Die Grundfutterqualität wird wesentlich vom Energie- und Rohfasergehalt bestimmt. Bei Grünaufwüchsen werden beide Qualitätskriterien wesentlich vom Schnitzeitpunkt beeinflusst.

Energiereiche Grundfuttermittel wie Silomais oder Futterrüben stehen auf ökologisch bewirtschafteten Betrieben häufig nicht oder nur in geringen Mengen zur Verfügung (KRUTZINNA et al. 1996). Auf vielen Betrieben kann sich der Anbau trotz diverser Mehraufwendungen und Problemen bei der Unkrautregulierung lohnen, da bereits eine geringfügige Verbesserung der Energieversorgung die Verdaulichkeit der Gesamtration und das N-Verhältnis von Kot und Harn deutlich positiv beeinflussen kann. Auch hier greift das Gesetz des abnehmenden Grenznutzens, wonach der Einsatz spezifischer Produktionsmittel (hier Energiefuttermittel) bei ungünstigen Ausgangsbedingungen einen höheren Wirkungsgrad besitzt als bei einer bereits auf hohem Niveau befindlichen Situation.

Bedarfsangepasste Rationsgestaltung

Der Ausgangspunkt von Ammoniak-Emissionen in der Nutztierhaltung ist der Harnstoff im Harn bzw. das daraus entstehende Ammoniak in Stallmist, Jauche oder Gülle. Während der Rinderharn zu etwa 90 % Harnstoff enthält, liegen im Kot nur ca. 25 % lösliche N-Verbindungen vor. Die Rohprotein- und die Energieversorgung sowie Effekte der einzelnen Milchkuh sind signifikante Einflussfaktoren auf die Variation der Merkmale der Stickstoffausscheidungen (BOCKMANN et al. 1997).

Das N-Kot/N-Urin-Verhältnis wird durch

- eine über dem Bedarf liegende Rohproteinversorgung gesenkt (N-Erhöhung im Harn) und durch
- eine verbesserte Energieversorgung erhöht.

Mittelwerte und Schwankungsbereiche unterschiedlicher Merkmale der täglichen Stickstoffausscheidung sind in der Tabelle 24 wiedergegeben.

Eine Reduzierung von N-Ausscheidungsmengen ist in erster Linie durch die Vermeidung von Rohproteinüberschüssen in der Ration zu erzielen. Bei einer überhöhten Rohproteinaufnahme kommt es nicht nur zu einer Erhöhung der N-Konzentration im Harn, sondern auch zu einem

Anstieg des Harnvolumens. Eine grobe Überprüfung der Rohproteinversorgung kann leicht anhand der Harnstoffgehalte in der Milch erfolgen (FEDDERSEN 1986). Neben einer bedarfsdeckenden Rohproteinversorgung kommt der maximalen mikrobiellen N-Fixierung im Pansen sowie der Pansenpassage von Protein Bedeutung bei der Senkung der N-Ausscheidung zu (FLACHOWSKY 1993). Die mikrobielle N-Fixierung ist eine Funktion der zur Verfügung stehenden Energie, während die Durchflussrate von unabgebautem Protein durch den Pansen von den einzelnen Futtermitteln und einer eventuell durchgeführten Hitzebehandlung abhängt. Die in der Ökologischen Tierhaltung zum Einsatz kommenden heimischen Körnerleguminosen weisen in der Regel eine hohe und damit ernährungsphysiologisch ungünstige Proteinabbaurate auf.

Tab. 24: Mittelwerte und Schwankungsbereiche verschiedener Merkmale der Stickstoffausscheidung (nach BOCKMANN et al. 1997)

Ausscheidungsmerkmale		Mittelwert	Schwankungsbereich ($\pm s$)
Milch-Stickstoff	g N/Tag u. Tier	150	117–188
Urin-Stickstoff	g N/Tag u. Tier	164	121–207
Kot-Stickstoff	g N/Tag u. Tier	142	119–165
Gülle-Stickstoff	g N/Tag u. Tier	306	248–364
Harnstoff	g N/Tag u. Tier	110	69–151
Harnstoff/Gülle	%	35	27–43
Kot- N/Urin- N- Verhältnis		0,9	0,7–1,1
Gülle- N/Milch	g/kg	11,5	8,3–14,8
N-Verwertung	%	30,4	25,1–35,8

Optimierung der Lagerung von Exkrementen im Stall

Stickstoffverluste bei der Lagerung entstehen in erster Linie durch Emissionen von

- Ammoniak und
- Lachgas.

Grundsätzlich stellt die Art und Menge der mit dem Kot und Harn ausgeschiedenen Stickstoffverbindungen das Ausgangssubstrat für die nachfolgende Freisetzung dar. Die Umwandlung der Stickstoffverbindungen in Kot und Harn unterliegt enzymatischen und mikrobiellen Prozessen (HARTUNG 2002). Die Ammoniak-Emissionen im Stall ergeben sich aus dem Zusammenwirken verschiedener Einflussfaktoren. Die maßgeblichen sind

- $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ -Gehalt,
- pH-Wert,
- Temperatur,
- Grenzfläche zwischen der Flüssigkeit und der umgebenden Luft,
- Turbulenz in der Flüssigkeit und Luftgeschwindigkeit über der Grenzfläche.

Die Vorgänge sind sehr komplex und einer permanenten Veränderung unterworfen. So können saisonale Schwankungen und Aktivitäten wie Umtrieb, Entmisten und Füttern die gemessene Gaskonzentration drastisch verändern. Als Haupteinflussfaktoren auf den tages- und

jahreszeitlichen Verlauf der Ammoniak-Emissionen können die Witterung bzw. die Lufttemperatur und die damit verbundene Substrattemperatur von Kot und Harn sowie die Abluffvolumenströme angesehen werden. Aufgrund der Verschiedenheit der untersuchten Haltungssysteme und wegen der unterschiedlichen messmethodischen Untersuchungsdurchführungen weisen die in der Literatur gefundenen Werte eine große Spannweite auf und können nur bedingt miteinander verglichen werden. So liegen die Ammoniak-Emissionen aus der Haltung in Liegeboxenlaufställen in einem Bereich von ca. 5 g bis 58 g je GV und Tag (HARTUNG 2002). Angesichts der enormen Schwankungen können folglich nur grobe Einschätzungen und Orientierungsgrößen hinsichtlich des absoluten Emissionspotenzials gegeben werden. Spezifische Angaben, die allerdings unter den Bedingungen der konventionellen Wirtschaftsweise erarbeitet wurden, können u. a. der KTBL-Schrift 406 (2002a) entnommen werden.

Tab. 25: Ammoniak- und Lachgas-Emissionen verschiedener Stallssysteme (nach AMON et al. 1998)

Stallsystem	mg pro GV und Stunde		Anmerkung
	NH ₃	N ₂ O	
Flüssigmistsystem	167–250	6–50	
Festmistsystem (Anbindehaltung)	160–310	12–47	keine signifikanten Unterschiede zum Flüssigmistsystem
Tretmiststall	bis 690	bis 84	Höhere Emissionen vermutlich auf die größere emittierende Oberfläche zurückzuführen

Möglichkeiten zur Reduzierung von N-Verlusten bestehen vor allem

- in einer schnellen Separierung von Harn und Kot und
- durch Aufbewahrung der Flüssigphase in Form von Jauche oder Gülle in abgedeckten Behältnissen.

Die mit Harn und Kot kontaminierte Fläche sollte möglichst gering gehalten bzw. großräumige Flächen durch Spülung gesäubert werden. Um den Anfall der Güllemenge zu minimieren, ist die Nutzung von Spülwasser aus dem Melkbereich in Betracht zu ziehen. Ca. 5–7 % der Exkreme fallen im Laufhof und ca. 80 % im Stall an; von den im Stall ausgeschiedenen Exkrementen wird etwa die Hälfte auf dem Laufgang abgesetzt (KECK 1997).

Jedes Haltungssystem hat spezifische Optimierungspotenziale. So wird die Verminderung von N-Emissionen aus Boxenlaufställen in hohem Maße durch die Bodengestaltung sowie durch Reinigungsmaßnahmen und durch die Gabe von Zusätzen zu den Exkrementen beeinflusst. Entgegen landläufiger Auffassung mindert ein Schieber den emittierenden Film auf einer planbefestigten Fläche oder auf Spaltenböden nur geringfügig (VOORBURG und KROODSMA 1992). METZ et al. (1995) ermittelten in einem Boxenlaufstall unterschiedliche Emissionsminderungen in Abhängigkeit von verschiedenen Maßnahmen in Relation zum Referenzsystem „Spaltenboden“ (siehe Tab. 26). Die Einzelmaßnahmen wurden nur separat und nicht in Kombination bewertet.

Tab. 26: Reduktion der Stickstoffemissionen im Boxenlaufstall durch verschiedene Maßnahmen (mod. nach METZ et al. 1995)

Stalleinrichtung	Maßnahmen	Relative Emissionsminderung (%)
Bodenbeschaffenheit	Spaltenboden	Referenzsystem
	Spalten mit Epoxidbeschichtung	3
Spülung des Spaltenbodens	Planbefestigte und geneigte Lauffläche	50
	19 l Wasser/Kuh u. Tag	17
Güllelagerung	42 l Wasser/Kuh u. Tag	28
	Ansäuerung (pH < 4,5)	37
	Ansäuerung der Gülle und des Spülwassers	61

ANDERSSON et al. (1994) untersuchten die Emissionsraten in verschiedenen Haltungssystemen und ermittelten die in Tabelle 27 angegebenen Emissionspotenziale. In einer ähnlich angelegten Untersuchung von KROODSMA et al. (1993) fiel die Reihenfolge nur leicht modifiziert aus.

Tab. 27: Emissionspotenziale verschiedener Haltungssysteme in absteigender Reihenfolge

Nach ANDERSSON et al. (1994)		nach KROODSMA et al. (1993)
Laufstall/Spaltenboden		verschmutzter planbefestigter Boden
Laufstall/Spaltenboden plus Schieber		planbefestigter Boden nach Schieberlauf
Tiefstreu/Langstroh		verschmutzter Spaltenboden
Laufstall/Spaltenboden plus Schieber plus Spülung		abgeschobene Spalten
Tiefstreu/Häckselstroh		gespülter planbefestigter Boden
Anbindestall/Gitterroste		
Laufstall/Spaltenboden plus Schieber plus Hochdruckspülung		

3.2.2 Schweinehaltung

(ALBERT SUNDRUM)

3.2.2.1 Größenordnung der anfallenden Stickstoffmengen

N-Inputgrößen

Vereinfachte Bilanz mittels einer Grobschätzung

Die Grundsätze einer vereinfachten Stickstoff-Bilanz wurden bereits in Kapitel 2.3.1 und Kapitel 3.2.1.1 für die Rinderhaltung ausführlich dargestellt. Die dort beschriebene Vorgehensweise kann analog auf die Schweinehaltung übertragen werden. Die Nährstoffgehalte in den bei Schweinen zum Einsatz kommenden Futtermitteln unterliegen ähnlichen Schwankungen, in Abhängigkeit von Standort, Sortenwahl und Betriebsmanagement, wie sie beim Grundfutter für Rinder anzutreffen sind. Deshalb sind einzelbetrieblich erhobene Analysedaten immer

sinnvoll. Stehen solche nicht zur Verfügung, stellen die in den Tabellen 10–12 (Kap. 3.1) dargestellten Nährstoffkonzentrationen Näherungswerte, basierend auf Untersuchungen ökologisch bewirtschafteter Flächen, dar.

Das Mastschwein ist in ökologisch bewirtschafteten Betrieben ein guter Verwerter für fast alle anfallenden Nebenprodukte des Pflanzenbaus. Daraus resultiert eine enorme Vielschichtigkeit in der Rationsgestaltung dieser landwirtschaftlichen Nutztierart. Verbunden mit einer unzureichenden Erfassung betriebseigener Futtermengen und deren Inhaltsstoffen kann jedoch bei dem primären Einsatz betriebseigener Futtermittel das genetische Leistungspotenzial der Schweine nicht ausgeschöpft werden. Schwer einzuschätzen sind insbesondere die Stickstoffgehalte von Ausputzware.

Eine einfache Mengenerfassung ist bei Einsatz eines Lohnmischers möglich, der über eine exakte Wiegung der zugeführten Einzelfuttermengen verfügt und über die Mischfuttermenge abrechnet. Wird selbst gemischt (ohne integrierte Wiegestation), sollten die exakten Mengen über Wiegungen der für die Mischung benutzten Behältnisse (Eimer, Schubkarren etc.) erfasst werden. Danach wird die Anzahl der Behältnisse pro Mischung gezählt und der Verbrauch auf entsprechende Zeitabschnitte hochgerechnet. Wird ausschließlich Alleinfuttermittel eingesetzt, lassen sich die Mengen über die Rechnungen erfassen. Die Angaben der Inhaltsstoffe der Alleinfuttermittel sollten jedoch nicht bedenkenlos übernommen werden. Es empfiehlt sich, pro Jahr mindestens eine Futtermittelanalyse durchzuführen.

Die gewissenhafte Erfassung von Erntemengen einzelner Kulturen bzw. die Messung der Rauminhalte von Lagerbehältnissen sind wichtige und einfach umsetzbare Voraussetzungen, um den möglichen Futter-Input vorab zu bestimmen. Ergänzt durch die Wiegung von Teilmengen des Futters, das in einer Zeiteinheit von einer Tiergruppe aufgenommen wird, lässt sich ein erster Überblick über das vorhandene Nährstoffpotenzial und den Stickstoff-Input gewinnen. Die Multiplikation der Verbrauchsmengen mit den N-Gehalten aus den Tabellen 10–12 (Kap. 3.1) ergeben Schätzgrößen über den Anteil von Stickstoff am Futterimport in den Stall.

Der N-Input über zugekaufte Tiere wird im Zusammenhang mit den N-Exporten über tierische Produkte thematisiert.

Erweiterte Bilanz mittels Präzisierung der Schätzgrößen

Eine verbesserte Einschätzung des tatsächlichen Futtereinsatzes ist nur durch die mehrtägige Wiegung (mindestens drei Tage) der eingesetzten Futtermengen an die verschiedenen Tierkategorien erreichbar. Je größer die Anzahl der Messwiederholungen und der einbezogenen Tiergruppen, desto genauer fällt die Schätzung aus. Der Landwirt sollte entsprechende Wiegungen nicht nur unter dem Gesichtspunkt der Stallbilanz regelmäßig vornehmen. Mit Hilfe dieser Methode können darüber hinaus wichtige Informationen zur Futterakzeptanz und zum Futtermittelverbrauch in der betrieblichen Schweinehaltung gewonnen werden, die letztendlich auch eine wirtschaftliche Bewertung der Futterbereitstellung nach sich ziehen sollten.

Eine genauere Erfassung der N-Inputgrößen darf sich daher nicht auf die Berechnung der angebotenen Futtermengen beschränken. Um einen effizienten Umgang mit innerbetrieblichen Nährstoffressourcen, insbesondere Stickstoff, zu erreichen, müssen die angebotenen Futtermengen mit dem Futteraufnahmevermögen in den jeweiligen Lebensabschnitten im Ein-

klang stehen. Es empfiehlt sich daher, auch das von den Tieren verworfene Futter über denselben Zeitraum aufzunehmen und abzuwiegen. Praxiserfahrungen zeigen, dass solche Plausibilitätsprüfungen sehr hilfreich sind, weil die von den Tieren verworfenen Futtermengen häufig unterschätzt werden. Eine grobe Einschätzung des Futteraufnahmenvermögens kann anhand der nachfolgenden Tabelle 28 für Mastschweine und Tabelle 29 für Sauen im Reproduktionsbereich vorgenommen werden.

Tab. 28: Futteraufnahme bei getreidereicher Hofmischung in der Schweinemast (mod. nach BURGSTALLER 1991)

Mastwoche	Lebendmasse (kg)	Zuwachs (g je Tag)	Futtermenge (kg FM je Tag)
1-2	20,0-27,0	515	1,1
3-4	27,0-35,5	595	1,5
5-6	35,5-44,5	685	1,8
7-8	44,5-54,5	715	2,0
9-10	54,5-64,5	745	2,3
11-12	64,5-75,0	765	2,5
13-14	75,0-86,0	765	2,7
15-16	86,0-96,5	745	2,9
17-18	96,5-106,5	725	3,0
19-20	106,5-116,0	700	3,0

Bei einem Angebot von Grassilage an Mastschweine, wie in der ökologischen Haltung häufig vorzufinden, kann je Tier mit einer Aufnahme von

- ca. 0,5 kg Frischmasse pro Tag in der Anfangsmast und
- ca. 1 kg Frischmasse pro Tag in der Endmast

kalkuliert werden (BELLOF et al. 1998).

Dies entspricht einer Gesamtmenge von rund 1 dt Silage (35 % TS) pro erzeugtes Mastschwein oder 5 % des Energiebedarfes (HANSEN et al. 2000, KELLY 2002).

Tab. 29: Futteraufnahme (Frischmasse) von Sauen im Reproduktionsbereich (mod. nach BURGSTALLER 1991)

Bereich	Futtertage	Ergänzungsfutter		Grundfutter
		kg/Tag	kg gesamt	
Niedertragend (1-12. Woche)	84	1,0	84	satt 4 kg
Hochtragend (13.-16. Woche)	32	2,0	64	
Säugend (10 Ferkel)	42	5,5 (3-6,5)	232	
Absetzen bis Belegen	10	2,7	27	2
Je Wurf	168		407	356

Die in den Tabellen dargestellten Werte sind Schätzgrößen, die nur als Anhaltspunkte für die betriebliche Fütterungspraxis verwendet werden sollten. Rassespezifische Abweichungen im Futteraufnahmevermögen auf Grund verschiedenartiger genetischer Herkünfte bleiben hier unberücksichtigt.

Die Analyse der eingesetzten Mischfütterationen in den verschiedenen Produktionsabschnitten sollte zur Routine eines ökologisch bewirtschafteten Schweinebetriebes gehören. Angesichts der limitierten Nährstoffressourcen lassen sich nur auf diese Weise ausgewogene Rationen realisieren und optimieren sowie gesundheitlich bedenkliche Nährstoffimbalancen vorab vermeiden.

Das Verfahren der Nah-Infra-Rot-Spektroskopie (NIRS) bietet auch für kleinere Schweinebestände die Möglichkeit, Analysen von Futtermitteln preiswert und schnell durchzuführen. Neben der Untersuchung fertiger Mischungen, sollte auch eine regelmäßige Analyse der Einzelkomponenten erfolgen. Nur so lassen sich eventuell auftretende Fehlmischungen korrigieren. Dem geringen Aufwand für eine genaue Mengenerfassung und eine Analyse der Einzelfuttermittel steht ein vergleichsweise hoher Nutzen für ein gezieltes Futter- und Nährstoffmanagement gegenüber. Erst durch die Kenntnisse der tatsächlichen Futteraufnahme der angebotenen Futtermittel und durch die Analyse der Einzelkomponenten kann eine Ration erstellt werden, die sowohl im Hinblick auf die Umweltverträglichkeit als auch hinsichtlich der Tiergesundheit, der Schlachtkörper- und Produktqualität sowie der angestrebten Produktionsleistungen optimiert werden kann.

In der Ökologischen Tierhaltung sind strohlose Haltungsverfahren nicht zulässig. Daher darf der Einsatz von Stroh als weiterer N-Lieferant nicht unbeachtet bleiben. Auch hier sollte eine gelegentliche Überprüfung des tatsächlichen Strohverbrauches anhand der Wiegung von repräsentativen Einzelballen sowie der Zeiterfassung bis zum Verbrauch entsprechender Strohmenge erfolgen. Entsprechende Daten sind unerlässlich für die Erstellung einer Strohbilanz und Voraussetzung für eine optimierte Nutzung dieser häufig auf ökologisch bewirtschafteten Betrieben limitierten Ressource.

N-Exporte über tierische Produkte

Der Stickstoff-Export aus dem Stall über Tiere, die den Betrieb verlassen, kann anhand der Lebendmasse der Tiere gut abgeschätzt werden. Sowohl bei Zukauf als auch bei Verkauf von Schweinen liegen in der Regel Wiegedaten vor, so dass eine hinreichende Genauigkeit der Kalkulationen sichergestellt werden kann.

Als Kalkulationsgröße für den N-Im- und Export von Stickstoff über die Schweine können 2,56 kg N je 100 kg Lebendmasse veranschlagt werden (HEGE und WEIGELT 1991).

Diese Faustzahl unterstellt bei erwachsenen Schweinen einen Proteingehalt des Gesamtkörpers von ca. 16 %. Ferkel weisen hingegen einen Proteingehalt von ca. 20 % auf. Dies entspricht 3,2 kg N je 100 kg Lebendmasse. Entsprechend der Schwankungsbreite sind je nach Alter der Tiere die Kalkulationsgrößen anzupassen.

N-Ausscheidungsmengen

Die aus dem Stall verbrachten Mengen an Wirtschaftsdüngern können in der Regel nur grob anhand des Fassungsvermögens von Transportbehältnissen ermittelt werden. Wesentlich ist jedoch, dass aufgrund der großen Variabilität der Futterkomponenten die Stickstoffgehalte von Wirtschaftsdüngern erheblichen Streuungen unterliegen. Durchschnittliche Stickstoffgehalte von Festmist, Jauche und Gülle, die der Orientierung dienen können, sind im Kapitel 3.3.1.1 aufgeführt. Eine genauere Einschätzung der N-Ausscheidungsmengen kann nur über eine Berücksichtigung der aufgenommenen und verdauten Futtermengen erfolgen.

Beim Schwein hängt die Menge an ausgeschiedenem Stickstoff

- von der Nutzungsrichtung,
- der Nährstoffverwertung,
- dem Rohproteingehalt der Ration sowie
- dem Fütterungsregime

ab (ROHR 1992).

Eine Sau mit 2,1 Würfen je Jahr und 19 aufgezogenen Ferkeln bis 25 kg Lebendmasse scheidet ca. 36 kg N/Jahr aus.

Pro Mastschweineplatz (Mastphase 25–108 kg LM, 640 g Tageszunahme und 2,0 bis 2,5 Umtriebe/Jahr) sind ca. 10 bis 13 kg N/Jahr zu veranschlagen.

Die Größenordnungen der N-Ausscheidungen bei Mastschweinen und Sauen in Abhängigkeit vom Produktionsabschnitt und vom Rohprotein-Gehalt des Futters sind in den Tabellen 30 und 31 aufgeführt.

Der Harn-Stickstoff besteht zu großen Anteilen aus Harnstoff. Dieser wird rasch durch das in der Umwelt vorhandene Enzym Urease in NH_4^+ gespalten, welches je nach pH-Wert in das leichtflüchtige NH_3 umgewandelt wird. Demgegenüber besteht der Kot-Stickstoff nur zu etwa 10 % aus wasserlöslichem Stickstoff. Soweit die betrieblichen Voraussetzungen eine getrennte Lagerung von Flüssig- und Festmist ermöglichen, ist eine Differenzierung zwischen den Stickstoffgehalten im Kot und im Harn sinnvoll, da es im Harn zu einer wesentlich schnelleren Umsetzung zum leicht flüchtigen Ammoniak kommt als dies im Kot der Fall ist. Emissionspotenziale sind in der Jauche um ein Mehrfaches höher anzusetzen als im Kot.

Für die Übertragbarkeit der Daten ist zu beachten, dass in der aktuellen Ökoschweinmast mindestens Lebendgewichte von 120 kg angestrebt werden, um eine optimale Teilstückvermarktung zu ermöglichen.

Tab. 30: N-Ausscheidung bei Mastschweinen pro Mastdurchgang in Abhängigkeit vom Rohprotein-Gehalt des Futters (nach ROHR 1992)

	Lebendmasse kg	Rohprotein im Futter %	N-Ausscheidung	
			kg	%
a) Praxisübliche Fütterung				
1. Abschnitt	25–35	18,8		
2. Abschnitt	35–105	17,5		
Insgesamt			5,10	100
b) Angepasster Rohproteingehalt				
1. Abschnitt	25–35	17,0		
2. Abschnitt	35–105	15,5		
Insgesamt			4,31	84
c) Angepasster Proteingehalt und Mehrphasenfütterung				
1. Abschnitt	25–50	17,0		
2. Abschnitt	50–80	15,5		
3. Abschnitt	80–105	13,0		
Insgesamt			4,02	79

Tab. 31: N-Ausscheidung bei Sauen mit Ferkeln in Abhängigkeit vom Produktionsabschnitt und vom Rohprotein-Gehalt des Futters (ROHR 1992)

	Rohprotein im Futter %	N-Ausscheidung	
		kg	%
a) Universalfutter mit praxisüblichem Proteingehalt			
Güste/trächtige Sau	18,2	18,2	
Laktierende Sau	18,2	6,1	
Ferkel	19,5	13,7	
Insgesamt		38,0	100
b) Phasenfutter mit praxisüblichem Proteingehalt			
Güste/trächtige Sau	16,2	15,9	
Laktierende Sau	19,0	6,6	
Ferkel	19,5	13,7	
Insgesamt		36,2	95
c) Phasenfutter mit dem Bedarf angepasstem Proteingehalt			
Güste/trächtige Sau	12,0	11,1	
Laktierende Sau	16,0	4,7	
Ferkel	18,5	12,2	
Insgesamt		28,0	75

In welcher Größenordnung Stickstoff während der Lagerung im Stall emittiert, hängt folglich in hohem Maße von dem Verhältnis Harn-N zu Kot-N ab. Die Relationen zwischen der Stickstoffaufnahme mit dem Futter und den Stickstoffgehalten im Harn und im Kot sind in der Tabelle 32 am Beispiel der Mastschweinefütterung anhand von Durchschnittswerten wiedergegeben.

Tab. 32: Weg des Stickstoffs durch den Organismus bei einer Mastphase von 20–100 kg Lebendmasse (ROTH 1990).

Kenngrößen	N-Mengen (XP/6,25)
N-Aufnahme (240 kg Futter x 16% XP = 38,4 kg XP)	6,1 kg
Verdaul. N-Aufnahme (VQ von XP = 80%)	4,9 kg
Ausscheidung von Kot-N	1,2 kg
N im Körper (80 kg x 15,5% XP = 12,4 kg XP)	2,0 kg
Ausscheidung an Harn-N	2,9 kg
N-Verwertung (Körper-N/Futter-N x 100)	33 %
N-Ausscheidung/N-Aufnahme x 100	67 %

Bei den obigen Angaben ist zu berücksichtigen, dass sie in erster Linie unter optimierten Fütterungsbedingungen gelten. Angesichts einer schlechteren Futtermittelverwertung und eines höheren Futteraufwandes in der ökologischen Schweinehaltung müssen in Abhängigkeit vom Rohproteingehalt der Ration entsprechende Zuschläge berücksichtigt werden.

Das Verhältnis von Harn-N zu Kot-N kann nicht als fixe Größe angesehen werden. Es unterliegt großen Schwankungen und kann durch geeignete betriebliche Managementmaßnahmen in Richtung Kot-N verändert werden. Folgende Faktoren haben einen maßgeblichen Einfluss auf dieses Verhältnis

- die Rohproteinmenge in der jeweiligen Ration,
- die Anteile an limitierenden Aminosäuren in Relation zum jeweiligen Bedarf der Tiere und
- der Gehalt an bakteriell fermentierbarer Substanz.

Bakteriell fermentierbare Substanz (BFS) ist der ausschließlich durch die Darmmikroben im Dickdarm des Schweins verdauliche Anteil an Inhaltsstoffen eines Futtermittels. Abbildung 3 zeigt die Rohnährstoffe der Weender Analyse und die BFS-Fraktion.

Die bakteriell fermentierbaren Substanzen entgehen weitgehend der enzymatischen Verdauung im Dünndarm und werden teilweise mikrobiell im Dickdarm abgebaut. Dabei entstehen kurzkettige Fettsäuren. Im Vergleich zur Glukose ist eine geringere energetische Effizienz der absorbierten Fettsäuren im Intermediärstoffwechsel des Schweines zu erwarten. Die BFS beschränkt sich nicht nur auf die Gerüstsubstanzen (v. a. Cellulose, Hemicellulose), sondern betrifft auch teilweise die Stärke. Bei rohen Kartoffeln werden beispielsweise 50 % Stärke als BFS berücksichtigt (JEROCH et al. 1993).

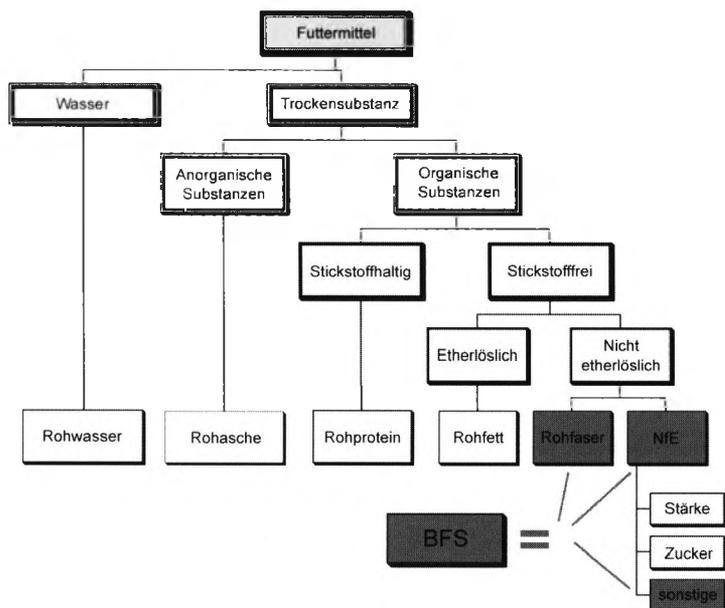


Abb. 3: Rohnährstofffraktionen der Weender-Analyse sowie die Zusammensetzung der BFS

Durch eine Erhöhung des Anteiles von bakteriell fermentierbaren Substanzen in der Futtermitteln, z. B. durch Silagefütterung, kann das Mikrobewachstum im Dickdarm und damit die Menge an organisch gebundenem Kot-N maßgeblich gesteigert werden (KIRCHGESSNER et al. 1991, KREUZER et al. 1998). Die N-Exkretion verschiebt sich dadurch vom Harn zum Kot, wodurch die Menge an leicht emittierbarem Harnstickstoff deutlich reduziert wird. Der mit dem Kot ausgeschiedene Stickstoff ist überwiegend im bakteriellen Eiweiß gebunden und gegenüber Abbauprozessen deutlich widerstandsfähiger (CANH et al. 1998).

In der Ökologischen Tierhaltung können BFS-haltige Futtermittel durch die vorgeschriebene tägliche Raufuttermittelvorgabe fütterungstechnisch leicht in die Rationsgestaltung einbezogen werden. Bedeutung erhält dieser Aspekt insbesondere bei tragenden Sauen und bei Mastschweinen in der Endmastphase, da in diesen Lebens- und Produktionsabschnitten relevante Mengen an Raufutter aufgenommen werden können, ohne die Leistung maßgeblich zu beeinträchtigen.

Tabelle 33 gibt wieder, in welcher Größenordnung bei Absatzferkeln mit zunehmendem Rohfasergehalt die prozentuale N-Ausscheidung im Kot steigt und die N-Ausscheidung über den Harn sinkt.

Tab. 33: Wirkungen von erhöhten Rohfasergehalten auf die Stickstoff-Ausscheidung des Absatzferkels (nach BOLDUAN und JUNG 1990).

Rohfasergehalt des Futters in %	2,5	5,0	7,5
Stickstoff-Ausscheidung in %			
im Kot	38	53	62
im Harn	62	47	38

Eine Berechnung der phasenspezifischen Ausscheidungsmengen an Kot und Harn unter Berücksichtigung der jeweiligen Rohprotein-Gehalte im Futter ist geeignet, den Aussagegehalt von Stallbilanzen in der Schweinehaltung wesentlich zu erhöhen und dadurch entsprechende Voraussetzungen für deren Beeinflussung zu schaffen. Auch kann die Einschätzung potenzieller Emissionsverluste anhand der Differenzierung zwischen Kot-N und Harn-N sowie durch die Berücksichtigung des Anteiles der bakteriell fermentierbaren Substanz in der Ration optimiert werden.

3.2.2.2 Akkumulation von Stickstoff in Wirtschaftsdüngern

In der konventionellen Tierproduktion gehört eine bedarfsorientierte Nährstoffversorgung der Schweine mittels Mehrphasenfütterung verknüpft mit dem Einsatz von synthetischen Aminosäuren und Enzymen zu den wichtigsten Strategien einer umweltverträglichen Produktion (FLACHOWSKY 1993, KIRCHGESSNER et al. 1993, HOEGEN und PFEFFER 1996). Darüber hinaus wird jede Verbesserung der Futter- und Nährstoffverwertung als Maßnahme zur Verringerung des Gülle-Anfalles und damit des Nährstoffaustrages interpretiert. Eine hohe Nährstoffverwertung ist danach insbesondere mit Tieren möglich, die ein hohes Leistungsniveau aufweisen.

In der Ökologischen Tierhaltung sind dagegen die Möglichkeiten der Bedarfsanpassung durch den vorrangigen Einsatz wirtschaftseigener Futtermittel (Körnerleguminosen als Rohproteinlieferant) sowie durch den Verzicht auf synthetische Aminosäuren eingeschränkt. Auch wird das genetische Leistungsvermögen der Tiere und das darin liegende Potenzial zur Senkung der Ausscheidungsmengen pro Produkteinheit in der Regel nicht ausgeschöpft (RUBELOWSKI und SUNDRUM 1999). Wie bereits in Kapitel 3.2.1 mit Bezug zur Rinderhaltung angemerkt, scheinen die ökologischen Rahmenrichtlinien einer umweltverträglichen Nutztierhaltung diametral entgegen zu stehen. Aus gesamtbetrieblichen Erwägungen und angesichts einer generellen Stickstoffmangelsituation auf ökologisch bewirtschafteten Betrieben kann eine Anreicherung von Stickstoff in den wirtschaftseigenen Düngemitteln jedoch durchaus Sinn machen. Eine solche Anreicherung von Stickstoff in den Wirtschaftsdüngern zur Erhöhung der pflanzenverfügbaren N-Menge kann auf verschiedenen Wegen erreicht werden.

Erhöhung der Tierzahlen

Zur Akkumulation von Stickstoff in Wirtschaftsdüngern wäre eine Erhöhung der Tierzahlen im Schweinebestand denkbar. Der Spielraum für eine Aufstockung des Tierbestandes ist unter anderem durch die Verfügbarkeit von Stallfläche und von Futtermitteln sowie durch betriebsökonomische Aspekte stark eingeschränkt.

Erhöhung der N-Gehalte in der Ration

Verglichen mit einer Aufstockung des Tierbestandes erscheint ein über dem Bedarf liegender Rohproteingehalt in der Ration durch den Einsatz von heimischen Körnerleguminosen ohne weiteres möglich. Allerdings setzen regionale Unterschiede in der Ertragsfähigkeit der Flächen bzw. in der Preiswürdigkeit von zugekauften Körnerleguminosen Grenzen. In der Ration von Mastschweinen können insbesondere in der Endmast beträchtliche Mengen an heimischen

Körnerleguminosen eingesetzt und dennoch für die Ökologische Landwirtschaft akzeptable Leistungen erzielt werden (SUNDRUM et al. 1999). Leistungsbegrenzender Faktor ist in der Regel die Versorgung mit essenziellen Aminosäuren. Die heimischen Körnerleguminosen enthalten im Vergleich zur Sojabohne deutlich geringere Gehalte, insbesondere an Lysin und Methionin. Eine Rohproteinübersversorgung in der Ration von Schweinen kann allerdings nur toleriert werden, wenn damit keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen der Tiere einhergehen und gleichzeitig umfangreiche Maßnahmen zur Verminderung von N-Emissionen aus den Ausscheidungen getroffen werden.

3.2.2.3 Maßnahmen zur Reduzierung von Stickstoffverlusten im Stall

Bedarfsangepasste Rationsgestaltung

Maßnahmen der Fütterung zur Reduzierung des Emissionspotenzials aus wirtschaftseigenen Düngemitteln haben primär das Ziel

- den N-Input zu vermindern bzw.
- die N-Effizienz unter Beibehaltung der Produktionsleistung zu erhöhen.

Vorrangige Maßnahme ist die Vermeidung von Über- und Unterversorgung der Tiere mit Rohprotein, die sowohl in der konventionellen als auch in der Ökologischen Landwirtschaft in erheblichem Umfang anzutreffen sind (BRINKER et al. 1994, THIELEN und KIENZLE 1995, RUBELOWSKI und SUNDRUM 1999). Auf mögliche Zielkonflikte mit anderen Aspekten eines ökologisch bewirtschafteten Betriebes wurde bereits im Kapitel 3.2.2.2 hingewiesen.

Durch die Einführung von Phasenfütterungsverfahren in der Schweinemast, bei der die Mast in zwei- oder drei Mastphasen unterteilt wird, kann die Versorgung besser an die sich im Verlauf der Mast ändernden Nährstoffansprüche angepasst werden. Nach HOEGEN UND PFEFFER (1996) kann dadurch ein Einsparpotenzial von ca. 10 % erzielt werden.

Die Kombination geeigneter Futtermittel zu einer bedarfsorientierten Ration wird mit einem Einsparpotenzial von 20 % veranschlagt (HOEGEN und PFEFFER 1996). Dies gilt in gleicher Weise für eine zweiphasige Fütterung von Zuchtsauen (ROTH 1990).

Wie bereits in Kapitel 3.2.2.1 erörtert, trägt die Erhöhung des BFS-Gehaltes im Futter wesentlich zur N-Akkumulation im Kot bei. Auf der anderen Seite senkt ein erhöhter BFS-Gehalt die Verdaulichkeit der Rohnährstoffe und wirkt dadurch leistungsmindernd. Die Möglichkeiten der BFS-Nutzung müssen mit dem jeweils angestrebten Leistungsniveau abgeglichen werden. Bei tragenden Sauen sowie in der Endmast spielt die leistungsmindernde Wirkung nur eine untergeordnete Rolle. In dieser Phase kann eine BFS-haltige Ration neben der organischen N-Bindung wesentliche gesundheitliche Wirkungen entfalten (Vorbeuge gegen Mastitis-Metritis-Agalactiae-Komplex, Vorbeuge gegen Enterotoxämie, Sättigung bei restriktiver Fütterung).

Optimierung der Lagerung von Exkrementen im Stall

Neben der Beeinflussung durch die Fütterung sind N-Emissionen wesentlich von den Lagerbedingungen des Fest- oder Flüssigmistes im Stall und in den Ausläufen abhängig. Innerhalb und zwischen den verschiedenen Stallhaltungssystemen für Schweine bestehen hinsichtlich des N-Emissionspotenzials sehr große Schwankungen. Spezifische Angaben, die unter den Bedin-

gungen der konventionellen Wirtschaftsweise erarbeitet wurden, können u. a. z. B. der KTBL-Schrift 406 (2002a) entnommen werden.

Bei eingestreuten Haltungssystemen gibt es keine generelle (positive oder negative) Aussage zum Emissionspotenzial. Hier kommt es insbesondere auf die Einstreumenge, die Substrattemperatur und das C/N-Verhältnis an (VAN DEN WEGHE 2002). Rein rechnerisch bedingt das gegenüber der konventionellen Schweinehaltung größere Flächenangebot (bis zu 100 %) eine größere Emissionsfläche pro Tier und damit eine schlechtere Bewertung der Emissionspotenziale. Dabei wird in der Regel nicht berücksichtigt, dass die Tiere auf dem größten Teil der Flächen nicht koten und harnen, sondern bei geschickter Gestaltung der Stall- und Auslaufflächen feste Kot- und Harnplätze anlegen. Entsprechend kann durch die Anlage getrennter Funktionsbereiche das Emissionspotenzial deutlich minimiert werden. Allgemein ist davon auszugehen, dass eine richtlinienkonforme Reduktion der emissionsaktiven Flüssigmistoberfläche zu Gunsten eines erhöhten Anteiles an planbefestigten Bodenoberflächen in Zucht- und Mastschweineeställen nur dann zu einer insgesamt niedrigen Ammoniakemission pro Tierplatz und Jahr führen wird, wenn die Verschmutzung bzw. Vernässung solcher Flächen zeitlich und räumlich begrenzt werden kann. Die Verschmutzungsgefahr ist sowohl mit dem Gewicht der Tiere als auch mit der vorherrschenden Raumlufttemperatur positiv korreliert. Literaturangaben zum Emissionspotenzial von Ammoniak und Lachgas in Abhängigkeit von spezifischen Haltungsbedingungen sind in der Tabelle 34 wiedergegeben. Diese können jedoch nur als Orientierungsgrößen angesehen werden. Zu den spezifischen Einflussgrößen hinsichtlich der Ammoniakfreisetzung wird auf Kapitel 3.2.1.3 Optimierung der Lagerung von Exkrementen im Stall verwiesen.

Tab. 34: Literaturangaben zu Emissionsmittelwertangaben von Ammoniak und Lachgas bei Mastschweinen

Autoren	Haltungsverfahren	Berechnete Emission kg Schadgas/Tierplatz u. Jahr
OLDENBURG (1989)	Vollspaltenboden	3,1 NH ₃
	Teilspaltenboden	1,8 NH ₃
MÜLLER (1994)	Vollspaltenboden	2,7–3,7 NH ₃
	Teilspaltenboden	6,5 NH ₃
HESSE et al. (1995)	Vollspaltenboden	3,9 NH ₃ ; 14,8 N ₂ O
	Teilspaltenboden	5,1 NH ₃ ; 10,5 N ₂ O
	Tiefstreu	4,9 NH ₃ ; 16,4 N ₂ O
	Schrägmist	5,7 NH ₃ ; 7,78 N ₂ O

3.2.2.4 Optimierungsstrategien in der Schweinehaltung

Unter den Bedingungen der konventionellen Schweinemast werden Emissionsminderungen in erster Linie durch Investition in Verfahrenstechniken erkaufte. Das Konzept der ökologischen Schweinehaltung mit seinem Gebot des erhöhten Flächenangebots pro Tier im Stall und der Pflicht zur Gewährung von Auslauf bietet grundsätzlich andere Rahmenbedingungen.

Die Verfahrenstechnik tritt hier hinter den Anforderungen an das Management zurück. Haltungssysteme mit Spaltenböden funktionieren bei Anwesenheit von Stroh und bei geringen Besatzdichten nicht. Dadurch können emissionssteigernde Effekte eintreten.

Fasst man die vorstehend aufgeführten Punkte zu einem Haltungskonzept zusammen, so sollte ein Stall, der vergleichsweise geringe Schadgasemissionen verursacht, folgendermaßen aussehen

- Koten und Harnen der Schweine sollte im Auslauf stattfinden. Dieser ist so zu gestalten, dass eine möglichst hohe Entmistungsfrequenz unter Minimierung des Arbeitseinsatzes realisiert werden kann. Der Auslauf ist mindestens zweimal wöchentlich abzuschieben und der anfallende Festmist unter optimalen Verhältnissen zu lagern. Die Stroheinstreumenge und -art ist der Zahl der Tiere, ihrem Gewicht und der Entmistungsfrequenz anzupassen. Die Tränken sollten grundsätzlich im Auslauf angebracht werden.
- Nach Möglichkeit sollten keine Tiefstreusysteme genutzt werden, da in Strohmattzen die Temperatur und damit die N-Emission (vor allem Lachgas) ansteigt. In Tiefstreusystemen wird die Emission deutlich vermindert, wenn überdachte Ausläufe angeboten werden, da die Tiere nur noch in Einzelfällen im Stall abkoten und harnen.
- In der Ration sollte ein hinreichender Anteil bakteriell fermentierbarer Substanz (BFS) enthalten sein, damit es zur organischen N-Bindung im Kot durch Bakterien und Reduzierung der Stickstoffausscheidungen über den Harn kommt.
- Es sollte eine Spezialberatung in Anspruch genommen werden, um im Vorfeld geplanter Investitionen und in laufenden Produktionsprozessen das Optimierungspotenzial zum Wohl der Umwelt und zur betrieblichen Wertschöpfung nutzen zu können.

3.2.2.5 Optimierung des Nährstoffmanagements in der ökologischen Rinder- und Schweinehaltung (Zusammenfassende Betrachtung)

In der Ökologischen Tierhaltung resultiert das Potenzial zur Verringerung von Umweltbelastungen aus der spezifischen Organisation des Betriebes und erschließt sich folglich nur im Gesamtkontext. Mit der Umsetzung eines weitgehend in sich geschlossenen Betriebskreislaufes werden Umweltbelastungen deutlich reduziert. Zwangsläufig auftretende Zielkonflikte bei der Nutzung begrenzt verfügbarer Ressourcen werden innerhalb der Systemgrenze gelöst. Gleichzeitig wird vermieden, dass der Ressourcenverbrauch und die Umweltbelastungen bei der Futtererzeugung und beim Futtertransport auf andere Futterbauregionen verlagert werden. In der Ökologischen Tierhaltung sind Nährstoffimporte sehr teuer, weshalb für den Landwirt ein großer ökonomischer Anreiz zur Verlustminimierung und zur Umsetzung emissionsmindernder Maßnahmen besteht.

Die begrenzte Verfügbarkeit von Düngemitteln führt dazu, dass jede Verringerung von Nährstoffverlusten eine Erhöhung des ertrags- und einkommenswirksamen Düngereinsatzes bedeutet. Dieser Aspekt markiert einen wesentlichen Unterschied in der Motivation der Landwirte zwischen der konventionellen und der ökologischen Wirtschaftsweise. Die bei einem optimierten Nährstoffmanagement zu realisierenden Ertragssteigerungen in der Ökologischen Landwirtschaft lassen es sogar sehr lohnend erscheinen, eine Spezialberatung in Anspruch zu nehmen, da diese Aufwendungen sich voraussichtlich schnell amortisieren.

Gegenwärtig kann davon ausgegangen werden, dass das innerbetriebliche N-Potenzial in vielen Betrieben bei weitem nicht ausgeschöpft ist. Insbesondere stehen der effizienten Nutzung unzureichende Kenntnisse über Wirkenszusammenhänge und fehlende Daten über das N-Potenzial des jeweiligen Betriebes entgegen. Als ein erster Schritt ist die Umsetzung von Futter- und Stallbilanzen auf den Betrieben dringend anzuraten. Aufgrund der vielfältigen Wechselbeziehungen sind nur betriebsspezifische Lösungen erfolgsversprechend.

3.2.3 Hühnerhaltung

(ROBBY ANDERSSON)

Aufgrund rechtlicher Vorgaben muss in der ökologischen Hühnerhaltung eine Bodenhaltung in Kombination mit Auslauf angeboten werden. Da Hühner kein gezieltes Ausscheidungsverhalten zeigen, werden Teilflächen in sehr unterschiedlicher Intensität mit Exkrementen kontaminiert, weshalb die Nährstoffverteilung und -konzentration schwer einzuschätzen ist. Nährstoffeinträge in das Haltungssystem sind aber nicht gleichbedeutend mit einer Umweltbelastung bzw. als Verlust für den Betriebskreislauf zu sehen. Unerwünschte Austräge aus dem Haltungssystem finden an Stellen statt, die intensiv und in kurzen Zeitintervallen mit frischen Exkrementen kontaminiert werden, feucht bzw. direkt der Witterung ausgesetzt sind und nicht regulär entmistet oder gereinigt werden. Für den Umweltschutz ist die chemische Form (NH_3 , N_2 , N_2O , NO_3^- ...) der N-Fracht aus dem Haltungssystem von Bedeutung, für den Betrieb ist jeder Verlust ein entgangener Düngernutzen im System Boden-Pflanze.

MEIERHANS et al. (1996) schätzen, dass 15–25 % des anfallenden Kotes im Auslauf ausgeschieden werden. Im stallnahen Bereich der Ausläufe sind höhere Nährstoffkonzentrationen im Boden/Bodenbelag vorzufinden als im stallfernen Bereich. Besonders kritisch ist die Zone in der Nähe der Auslauföffnungen zu werten. Der Verbleib der im Auslauf ausgeschiedenen Nährstoffe, insbesondere von Stickstoff, ist sehr schwer abzuschätzen.

Das Fehlen aussagekräftiger Studien zum Nährstoffmanagement im Auslauf, insbesondere mit Bezug auf Stickstoff, lässt sich durch die zahlreichen, schwer quantifizierbaren Einflüsse wie Witterung, ggf. Abwaschungen aufgrund von Neigung, Boden- und Vegetationsverhältnissen etc. erklären. Auch im Rahmen dieser Zusammenstellung wird auf Aussagen zur Situation im Auslauf verzichtet.

Das Potenzial für N-Verluste, bezogen auf die Menge Stickstoff, die über das Futter in den Stall kommt, lässt sich über den Saldo aus Stickstoff im Futter minus Stickstoff im Tier bzw. Ei kalkulieren.

Das Verlust- bzw. Emissionspotenzial für Stickstoff resultiert aus

- Futter-N, der nicht durch die Tiere in Körpermasse, Federn oder Eier fixiert wird,
- Kot/ Harn-N, der durch Umsetzungsprozesse im Stall, in der Einstreu freigesetzt wird,
- Kot/Harn-N, der nach Absetzen von Kot im Auslauf freigesetzt wird.

Die nachfolgenden Einschätzungen der Größenordnung für Verluste aus dem Kot-Harnmisch bzw. für verlustreduzierende Maßnahmen beziehen sich auf eine ganztägige Stallhaltung.

3.2.3.1 Größenordnung der anfallenden Stickstoffmengen

N-Inputgrößen

Stickstoff ist Bestandteil des Proteins und kommt als Futtereweiß in die Hühnerhaltung. Die Einträge über die Luft sind gering und werden vernachlässigt. Ein Teil des gefütterten Stickstoffs wird in Form von Körperprotein im Tier fixiert bzw. bei Legehennen zusätzlich im Ei gebunden, der Rest wird ausgeschieden und in die Umwelt des Huhnes verbracht.

Die Menge an Protein, die gefüttert wird, richtet sich nach dem Bedarf der Tiere. Trotz intensiver Bemühungen ist die Zucht eines speziell für die Anforderungen des Ökologischen Landbaus geeigneten Huhns bislang nicht gelungen. D. h. die eingesetzten Hühner haben ähnliche Leistungen wie in der konventionellen Hühnerhaltung und somit auch einen entsprechenden Nährstoffbedarf.

Die genetische Veranlagung der Tiere bestimmt bei Masthühnern (Broilern) das Proteinansatzvermögen und damit den Grad der potenziellen N-Retention im Tierkörper. Für Legehennen gilt das Gleiche in Bezug auf die Legeleistung und bis ca. zur 30. Lebenswoche für die Körpergewichtsentwicklung. Das Leistungsvermögen, die potenzielle N-Retention, kann nur ausgeschöpft werden, wenn die Futterqualität dieses zulässt. Die Nutzung des im Futtereweiß enthaltenen Stickstoffs für Körperansatz und Eibildung wird vom Rohproteingehalt und der Proteinqualität bestimmt. Entscheidend für eine bedarfsgerechte Eiweißversorgung der Hühner ist die Wahrung bestimmter Relationen und Mindestgehalte an Aminosäuren. Bei bedarfsgerechter Aminosäureversorgung kann der Rohproteingehalt im Futter gesenkt werden.

Die Anforderungen an die Nährstoffgehalte der Futtermittel unterscheiden sich für die verschiedenen Nutzungsformen erheblich:

Tab. 35: Alleinfuttermittel für verschiedene Nutzungsformen bei Hühnern

Nutzungsform (Mastdauer/Bezeichnung)	ME	RP	Autor
	bei 88 % TM MJ/kg	%	
Broiler (84 Tage)	10,9–13,3	15–25	PETER et al. (1998)
Broiler (Kükenstarter, bis 10 Tage)	12,6–13	22–23	JEROCH UND DÄNICKE (2003)
Broiler (Mastfutter, 11–32.Tag)	13–13,4	21–22	DAMME UND HILDEBRAND (2002)
Broiler (Mastfutter RAM ¹⁾)	13–13,4	20,5	LWK Weser-Ems (1998)
Broiler (Endmastfutter, bis 42 Tage)	13,2–13,8	18–21	DAMME UND HILDEBRAND (2002)
Broiler (Endmastfutter RAM)	13–13,4	19,5	LWK Weser-Ems (1998)
Legehennen	11,2–11,6	17,5 (17 bei RAM ¹⁾)	BOHNENKEMPER (2000)
Legehennen (EM ²⁾ /Tag <52g)	11	15,5–16	DAMME UND HILDEBRAND (2002)

¹⁾ Rohproteinarmes Mischfutter ²⁾ Eimasse

Die Rohproteingehalte sind in Rationen für ökologisch gehaltene Hühner i. d. R. 1,5–3 % höher als in Tabelle 35 angegeben. Hierfür ist in erster Linie die bedarfsgerechte Versorgung mit Aminosäuren, insbesondere mit Methionin und Lysin verantwortlich. Viele konventionelle Futtermittel, die reich an Methionin bzw. Lysin sind, dürfen im Ökologischen Landbau nicht

eingesetzt werden, wie z. B. Extraktionsschrote oder synthetische Aminosäuren. Um dem Tier die benötigte Menge an essenziellen Aminosäuren zur Verfügung zu stellen, muss also entsprechend mehr Protein gefüttert werden.

Der für 2005 angestrebte weitere Verzicht auf konventionelle Futterkomponenten in der ökologischen Fütterung wird das Problem erheblich vergrößern.

N-Einträge in den Stall durch Masthühner (Broiler)

In der VO (EG)1804/99 wird für Masthühner eine Mastdauer von 81 Tagen vorgesehen. Dieses setzt entsprechend langsam wachsende Herkünfte mit dazu passender Körpergewichtsentwicklung und Schlachtkörperausbildung voraus. Weil diese Herkünfte/Rassen (noch) nicht verfügbar sind, wird z. Zt. in der Praxis eine Mast von 56 bis 70 Tagen durchgeführt.

Nach einer 70-tägigen Mast kann ein Körpergewicht von ca. 2 100 bis 2 500 g angenommen werden. Bei einem durchschnittlichen Endgewicht von 2 300 g und einem Futteraufwand (Futterverwertung plus Futterverlust) zwischen 1: 2,6 bis 1: 2,9 werden 5 980 bis ca. 6 670 g Futter verfüttert.

Der Rohproteingehalt des ökologischen Mastfutters liegt zwischen 20 und 24 %. Somit sind nach 70 Tagen ca. 1 196 bis 1 600 g Rohprotein, bzw. 191 bis 256 g N verfüttert worden. Pro Tag entspricht das einem N-Eintrag von ca. 2,7 bis 3,6 g N/Tier.

Tab. 36: Vergleich von Broiler Herkünften hinsichtlich Mastleistung bei einer 70-tägigen Mast mit Bio-Futter (BAUER et al. 1996)

Mastdauer: 70 Tage	Legehybride (männl.)	ISA J 457	RedBro	Sena	Ross Mini
		Langsam wachsende Linien		Schnell wachsende Linien	
Lebendgewicht (g)	1 243	2 233	2 261	3 481	3 667
Tageszunahme (g/d)	17	31	32	49	52
Futteraufwand (1:)	2,848	2,638	2,831	2,567	2,663
Tierverluste insg. (%)	2	2	6,5	10,2	6

N-Einträge in den Stall durch Legehennen

Werden Legehennen in Bodenhaltung gehalten, so ist der Futterverbrauch bei gleichen Herkünften um 10–20 % gegenüber der Käfighaltung erhöht. Es ist mit Futtergaben von 125–150 g/Tier und Tag zu rechnen.

Bei einem Rohproteingehalt von 18 bis 20 % im Futter werden ca. 3,6 bis 4,8 g N an jede Henne pro Tag verfüttert.

N-Exporte über tierische Produkte

Die Stickstoffverwertung (N-Retention) im Tier erfolgt durch Bildung körpereigener Proteine wie Muskulatur (Fleisch), Eier, Federn, Blut etc..

Broiler

Der Anteil des Rohproteins am Ganzkörper wird in der Literatur für Masthühner mit einer Spanne von 17–21 % angegeben (VOGT 1991, LIEBERT 1995, HADORN UND WENK 1996, KIRCHGESSNER 1997, JEROCH et al. 1999).

Die Schwankungen der Rohproteingehalte im Tierkörper sind innerhalb einer Tiergruppe, aber auch zwischen den Durchgängen, sehr groß (LIEBERT 1995). Hierfür ist u. a. das genetisch bedingte Proteinansatzvermögen verantwortlich. Die Ausschöpfung des vorhandenen Potenzials hängt von der Höhe der Proteinversorgung und der Proteinqualität ab. Anzustreben sind ausreichende Rohproteingehalte im Futter bei entsprechender Ausstattung mit essenziellen Aminosäuren. Bei einer nicht-bedarfsgerechten Versorgung mit einzelnen Aminosäuren sinkt der Proteinansatz, die Tageszunahme und damit die N-Retention. Eine Unterversorgung mit Energie führt dazu, dass Aminosäuren desaminiert und zur Energiegewinnung genutzt werden, was letztlich zu einer erhöhten N-Ausscheidung führt.

Das Energie-Rohproteinverhältnis im Futter muss auf das Alter abgestimmt werden, da sich der Bedarf mit dem Alter ändert.

Tab. 37: Chemische Zusammensetzung wachsender männlicher Broiler (KIRCHGESSNER 1997)

Alter	Wasser (%)	Rohprotein (%)	Fett (%)
Eintagsküken	74,5	16,0	5,3
2 Wochen	69,1	17,0	10,4
5 Wochen	67,2	19,1	10,2
6 Wochen	63,7	20,4	11,9
8 Wochen	62,2	19,0	15,8

Abbildung 4 (KIRCHGESSNER 1997) veranschaulicht den Zusammenhang zwischen dem Energiegehalt des Futters, der Rohproteinversorgung und der Verfettung bei 5 Wochen alten Broilern bei konventioneller Haltung. Danach ist eine entsprechende Menge Rohprotein nötig, um eine gute Schlachtkörperzusammensetzung zu realisieren.

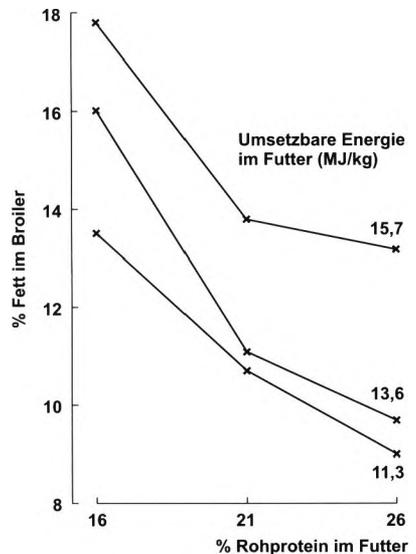


Abb. 4: Fettgehalt 5 Wochen alter Broiler (KIRCHGESSNER 1997, S. 520)

Legehennen

Im Ei liegt der Rohproteingehalt relativ stabil bei 12,1 % (PETERSEN 2003).

Die Eimasse kann in Maßen über die Fütterung beeinflusst werden. Zunehmende Lebendmasse geht mit zunehmender Einzeleimasse einher. Bei einer Unterversorgung mit Aminosäuren oder der Fettsäure Linolsäure ist eine reduzierte Einzeleimasse zu erwarten.

Ein Teil der Futternährstoffe wird in der Körpermasse festgelegt. Nachdem der Körperproteinansatz bei der Henne im Alter von ca. 32 bis 36 Wochen abgeschlossen ist, resultiert ab dann die Gewichtszunahme im Wesentlichen aus Zunahmen im Fettdepot.

PRIESMANN et al. (1991) fanden bei Legehennen zwischen 32,7 und 41,1 % des mit dem Futter aufgenommenen Stickstoffs in den tierischen Produkten wieder. Entsprechende Werte werden auch von JEROCH et al. (1999) und NESER (2001) angegeben.

Tab. 38: Mittlere Stickstoffverwertung von Legehennen und Broilern

Nutzungsrichtung	N-Verwertung in % von Futter-N		Autoren
	Ganzkörper	verzehrbarer Anteil	
Legehenne (Ei + Körpermassezuwachs, Federn)	33		JEROCH et al. 1999
Broiler (männlich)	50	26	
Legehenne (nur Eimasse)		Bodenhaltung: 25,7 Volierenhaltung: 35,8	NESER 2001

N-Ausscheidungsmengen

Der Stickstoff, der im Futterprotein enthalten ist und nicht im Tier fixiert wird, wird ausgeschieden. Entsprechend der o. g. Fixierungsrate von gerundeten 30 bis 50 % wird also 50 bis 70 % des mit dem Futter aufgenommenen Stickstoffs wieder ausgeschieden.

Dementsprechend werden bei Masthühnern in einer konventionellen 37-tägigen Mast 1,1 bis 1,6 g N/Tier und Tag ausgeschieden, bei Legehennen sind es pro Tag im Durchschnitt 2,1 bis 2,9 g N pro Tier und Tag (NESER 2001, JEROCH et al. 1999, FLÜGGE 1994, PRIESMANN et al. 1991).

Die Literaturlauswertungen von FLÜGGE (1994) und PRIESMANN et al. (1991) verdeutlichen die erheblichen Spannen der N-Ausscheidungen (Tab. 39).

Diese Zahlen beziehen sich auf konventionelle Haltungssysteme. Bei Legehennen ist der Unterschied zum Ökologischen Landbau gering, in der Mast bestehen allerdings erhebliche Unterschiede.

Tab. 39: Frischkotsausscheidungen von Legehennen, Junghennen, Broilern (nach PRIESMANN et al. 1991, FLÜGGE 1994)

Nutzungsrichtung	Kotausscheidung FM	TM-Gehalt	Kot-TM	Stickstoff	N-Gehalt TM
	g/Tier u. Tag	%	g/Tier u. Tag	g/Tier u. Tag	%
Legehennen	172–211	24–25	41–53	2,22–2,74	5,16
Legehennen (leicht)	161–173	22–24	35,4–41,5	2,30–2,88	6,50–6,94
Legehennen					5,01–6,24 (ø ca. 5,6)
Junghennen (20 Wo. Aufzucht)	76			0,67	
Broiler (37 Masttage)	121			1,51	

N-Ausscheidung: Broiler

In der ökologischen Mast führen die gegenüber konventionellen Rationen um ca. 2 % höheren Rohproteingehalte im Futter, die verlängerte Mastdauer und der daraus resultierende erhöhte Futteraufwand (statt des konventionell erreichten Verhältnisses von 1: 1,7 muss mit 1: 2,2 bis 1:2,9 gerechnet werden) zu einer N-Verwertung, die bei ca. 33–42 % liegt.

Die N-Ausscheidung bei Broilern ist entsprechend mit ca. 2,0 bis 2,5 g N pro Tier und Tag zu kalkulieren.

Tab. 40: N-Saldo in der ökologischen 2-phasigen Hühnermast. Mastdauer 56 Tage (ANDERSSON et al. 1999) bzw. Mastdauer 70 Tage (BAUER et al. 1996)

	Mastdauer 56 Tage	Mastdauer 70 Tage
	1–28 Tag: 22,7 % XP/13,62 MJ ME 29–56 Tag: 23,4 % XP/13,5 MJ ME Herkunft ISA 257	1–28 Tag: 23,3 % XP/12,0 MJ ME 29–70 Tag: 21,8 % XP/12,0 MJ ME Herkunft ISA J 457
Körpergewicht Mastende (g)	2 310	2 233
Futterverbrauch gesamt (g)	5 558	5 784
N-Verzehr gesamt (g)	204	204 (nach Autorenangaben geschätzt)
N-Retention im Tier (g)	70	67 (nach Autorenangaben geschätzt)
N-Ausscheidung g/Tier	134	137 (nach Autorenangaben geschätzt)
N- Ausscheidung g/Tier und Tag	2,4	2,0
N-Verwertung (%) (scheinbare N-Retention)	34	33 (nach Autorenangaben geschätzt)

Scheinbare N-Retention: Futter-N der im Tierkörper wiedergefunden ist, ohne Beachtung der Futterverluste

N-Ausscheidung: Legehennen

Legehennen haben aufgrund der spezifischen Aufzuchtbedingungen im Ökologischen Landbau ein gegenüber konventioneller Fütterung erhöhtes Futteraufnahmevermögen.

Dadurch ist die bedarfsgerechte Nährstoffversorgung der Tiere trotz geringerer Konzentrationen der Komponenten im Futter möglich.

Die N-Verwertung für Eibildung und Bildung von Körperprotein (Federn, Muskulatur) liegt bei ca. 30–33 %.

Die N-Ausscheidung bei Legehennen ist mit ca. 2,5–2,7 g N pro Tier und Tag anzusetzen.

Verbleib des ausgeschiedenen Stickstoffs

Der nicht im Tier fixierte Stickstoff wird zu ca. 75 % mit dem Harn und zu ca. 25 % mit dem Kot ausgeschieden. Ein Anteil von 60–70 % des Gesamtstickstoffs liegt im Kot-Harngemisch als Harnsäure vor (Abb. 5).

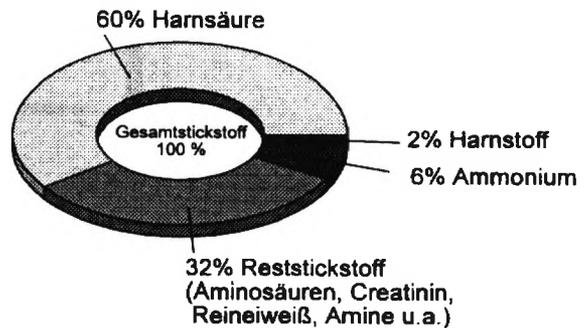


Abb. 5: Zusammensetzung der Gesamtstickstofffraktion in frischen Geflügelexkrementen (FLÜGGE 1994)

Nach der Ausscheidung des Stickstoffs beeinflussen die Umweltbedingungen die weitere Bindungsform des Stickstoffs und somit dessen Verbleib (Abb. 6).

Trockenmasse, Temperatur, das C/N Verhältnis, der pH-Wert, das Konzentrationsgefälle zur Umgebungsluft und die Sauerstoffverfügbarkeit in der Einstreu bzw. auf dem Boden sind wesentliche Faktoren für die Umsetzungsprozesse in den Ausscheidungen. Die N-Fracht aus dem Haltungssystem ergibt sich aus den freigesetzten gasförmigen N-Verbindungen, der Größe der mit Kot verschmutzten Oberfläche (= Emissionsfläche) und dem Luftstrom.

3.2.3.2 Maßnahmen zur Reduzierung von Stickstoffverlusten im Stall

Die Höhe der Gesamt-N-Verluste wird durch folgende Faktoren wesentlich bestimmt:

- der Menge des Stickstoffs in den Exkrementen, bzw. nicht im Tier fixierten Stickstoffs,
- den Bedingungen für mikrobielle Aktivität in der Einstreu bzw. auf den mit Exkrementen kontaminierten Flächen,
- den Stallklimaverhältnissen,
- (Bedingungen des Auslaufs: Vegetation etc., im Folgenden nicht bearbeitet).

N-Retention

Der im Futterprotein enthaltene Stickstoff, der in tierisches Protein umgewandelt wird, kann nicht als Emission auftreten. Eine Steigerung der direkten N-Retention beim Tier bzw. die Senkung der Futterverluste reduziert folglich das Emissionspotenzial für N-Verbindungen.

Futterverluste bei Broilern

Broiler-Herkünfte, die unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus gehalten werden, zeigen eine deutlich höhere Bewegungsaktivität als es von Broilern in der Intensivmast bekannt ist (ANDERSSON et al. 1998, 1999). Hierfür ist insbesondere die Besatzdichte und die höhere Vitalität aufgrund niedrigerer Tageszunahmen verantwortlich; bestätigende Hinweise liefert BESSEI (1993, 1996). Zwar führt hohe Bewegungsaktivität oft zu den Nachteilen eines erhöhten Futteraufwandes, es muss aber deutlich unterstrichen werden, dass vitale und somit aktivere, gesündere Tiere ein erwünschtes Ziel der Ökologischen Tierhaltung sind.

Eine erhöhte Bewegungsaktivität hat direkten Einfluss auf den Futterbedarf der Tiere, indirekt kann diese Aktivität aufgrund von Sandbadeversuchen im Futter zu erheblichen Futterverlusten führen. Es wird zwar berichtet, dass die Hühner diese Verhaltensweise wenn möglich in der Bodeneinstreu ausüben, aber dennoch ist zu beobachten, dass sie trotzdem für die Gefieder- und Hautpflege nach einem geeigneten Substrat suchen. Wenn Automaten-Futter-Rundtröge verwendet werden, finden immer wieder Versuche des Sandbadens im Futter statt. Eine Konsequenz kann das Angebot einer attraktiven zusätzlichen Sandbademöglichkeit sein. Allein durch das Angebot von Schalen, die mit trockenem Mineralsand gefüllt sind, kann die Nutzung des Futtertroges für Sandbadeversuche reduziert werden. Die Futterverluste können durch diese Maßnahme um ca. 3 % gesenkt werden (ANDERSSON et al. 2002). Neben der ökonomischen Bedeutung ist der reduzierte N-Eintrag von ca. 4,5–5,6 g pro Tier hervorzuheben.

Weitere Ansätze zur Reduzierung der Futterverluste durch Sandbaden bietet die Verwendung von Futtertrögen mit integrierten Abstreifern oder das Angebot von Futter in einer solchen Form, dass es als Substrat für das Sandbaden nicht attraktiv ist, z. B. Pellets. Mit knappem Futterangebot, in Verbindung mit häufigen Futterzeiten, bei gleichzeitiger hoher Futterakzeptanz kann die Vermeidung der Verluste ergänzt werden.

Futtermittelverluste bei Legehennen

Bei Legehennen ist in der Praxis die Fütterungstechnik weitgehend optimiert. Werden Rundautomaten eingesetzt, treten ähnliche Probleme mit Futtermittelverlusten auf wie beim Broiler. Sind trotz optimierter Fütterungstechnik erhebliche Futtermittelverluste festzustellen, so kann hierfür u. a. eine geringe Futterakzeptanz verantwortlich sein.

N-Fixierung in tierischen Produkten (Broiler)

Beim Broiler ändert sich mit zunehmendem Alter die Körperzusammensetzung und somit der Nährstoffbedarf (vgl. Tab. 41). Entsprechend muss die Fütterung dem wechselnden Bedarf angepasst werden. Eine Phasenfütterung mit verändertem Rohproteingehalt und Aminosäuremuster kann die N-Ausscheidung um ca. 5 bis 15 % senken (MENNICKEN 2001, VAN DEN WEGHE 2000, DAMME und HILDEBRAND 2002, NIEB 1993)

Tab. 41: N-Verluste bei unterschiedlicher N-Retention in der ökologischen Broilermast (eigene Untersuchungen), Werte gemittelt und gerundet

	Daten umgerechnet pro Tier, ohne Auslauf (720 Tiere/Gruppe; 10 Tiere/m ² ; Einstreu: Hobelspäne)	
Gewicht bei Ausstallung (g)	1 956	2 160
Futtermenge (g)	5 871	4 316
N-Input [bei 23 % XP; 13,6 MJ ME im Futter] (g)		159
N-Input [bei 20 % XP; 11,8 MJ ME im Futter] (g)	188	
N-Output bei 19 % XP [Annahme] im Schlachtkörper (g)	59	65
N- Überschuss (g) = N-Ausscheidung des Tieres	129	94
Wiedergefundener N im Mist bei Ausstallung (g/Tier)	76	56
Futtermittelaufwand 1:	3	2
(scheinbare) N-Retention	32 %	41 %
weder im Tier noch im Mist gefundener N (g/Tier)	53	37
= > = Verlust (% des Kot-N)	41 % des Kot-N	40 % des Kot-N
nach 56 Tagen Mast, TM-Gehalt der Einstreu bei Mastende zwischen 45 u. 65 %		
Differenz	16 g/Tier bzw. 30 %	

Unterschiedliche Bewegungsaktivitäten infolge verschiedener Besatzdichten spielen ebenfalls eine große Rolle für die Verwertung des Futterproteins. Bei einer Besatzdichte von 3 Tieren/m² ermittelte der Autor eine N-Fixierung von 30 %, bei 10 Tieren/m² konnte eine Fixierung von 47 % errechnet werden. Es handelt sich um die scheinbare Retention, da die exakten Futtermittelverluste nicht ermittelt werden konnten. Diese Tatsache ist jedoch für die Saldierung und den Vergleich nicht relevant, da in allen Gruppen bei ansonsten identischen Haltungsbedingungen

gen sowohl die Einstreu bei Versuchsbeginn als auch der Mist bei Ausstallung auf den N-Gehalt untersucht wurden.

Durch Managementmaßnahmen, z. B. kontrolliert rationierte Fütterung, Vermeidung von Futtermitteln, lässt sich die (scheinbare) N-Retention steigern. Wird die N-Retention von 32 % auf 41 % gesteigert, führt dies zu einer Reduzierung des N-Verlustes von ca. 16 g/Tier bzw. 30 %.

Durch Optimierung der Ration und Einsatz geeigneter Herkünfte könnte die N-Retention bei einer 56-tägigen Mast auf ca. 50 % angehoben werden. Geht man von identischen Bedingungen wie im o. g. Versuch aus, würde sich der Verlust auf 32 g N/Tier und Mastdauer reduzieren lassen.

N-Fixierung in tierischen Produkten (Legehennen)

Im Gegensatz zum Masthuhn ist der Proteinbedarf, genauer der Aminosäurebedarf und schließlich der N-Ansatz bei der Legehenne bzw. im Ei relativ stabil. Eine Unterversorgung mit Protein wird kurzfristig durch Bereitstellung von Aminosäuren aus dem Körperpool überbrückt. Mittelfristig sinken die Eigewichte.

Bei Legehennen und Broilern ist die bedarfsgerechte Versorgung mit Methionin und teilweise auch mit Lysin schwierig. Die am Markt gut verfügbaren Futtermittel in ökologischer Qualität haben i. d. R. relativ geringe Gehalte an wertvollen Aminosäuren. Folglich wird der Gesamtproteingehalt in der Ration erhöht. In einigen Futtermitteln, z. B. Sonnenblumenkuchen, schwankt der Rohproteingehalt und der Aminosäuregehalt erheblich, so dass Sicherheitszuschläge für die Proteinversorgung notwendig sind.

Es wird zwar an der Bereitstellung methioninreicher Futterkomponenten in ökologischer Qualität gearbeitet, aber kurzfristig ist in der Praxis bei Einsatz der derzeitigen Herkünfte nicht mit der Möglichkeit einer erheblichen Rohproteinabsenkung zu rechnen.

Tab. 42: Einfluss der Rohproteinabsenkung bei ausschließlicher Verwendung ökologisch erzeugter Futterkomponenten (100 % Bio-Futter) auf den N-Saldo bei Legehennen nach 10-wöchiger Legezeit (eigene Untersuchungen)

Herkunft Tetra, Aufstallung in Bodenhaltung mit Wintergarten	Ration A 17,9 % Rohprotein	Ration B 17,1 % Rohprotein
Futteraufwand (g/Tier und Tag)	133	137
Eigewicht (g)	60,5	61,5
N-Verzehr g/Tier und Tag	3,82	3,74
N-Retention im Ei	1,1	1,13
N-Retention im Tier (Zunahmen an Körpermasse)	0,06	0,06
N-Verwertung (%)	30,38	31,95
N-Ausscheidung g/Tier und Tag	2,66	2,54
Differenz der Ausscheidung		<5 %

Wie die erste Auswertung eines Legehennenversuches mit 100 % Bio-Futter zeigt, treten mit den sehr begrenzten Möglichkeiten der Rationsgestaltung kaum Effekte hinsichtlich der N-Bilanz auf.

Eine deutliche Absenkung des Rohproteingehaltes würde das Risiko einer gravierenden Aminosäureunterversorgung zur Folge haben. Bei Legehennen ist dann mit einer negativen Leistungsentwicklung, dem erhöhten Risiko für Federpicken und Kannibalismus bzw. (Leber-) Stoffwechselstörungen zu rechnen.

Optimierung der Lagerung von Exkrementen im Stall

Nicht genutztes Futterprotein, welches als Kot/Harn-Stickstoff ausgeschieden wird oder als Futtermittelverlust in die Einstreu gelangt, muss dem Betrieb nicht verloren gehen. Es besteht kein linearer Zusammenhang zwischen der Menge an Stickstoff in den Ausscheidungen bzw. in der Einstreu und der Emissionsrate. Wesentlich für die Emission, dem gasförmigen Verlust von Stickstoff, sind die mikrobiellen Umsetzungsprozesse. Die intensive Scharraktivität der Hühner fördert diese Prozesse erheblich.

Bezogen auf die Käfighaltung liegen zahlreiche Studien zu N-Emissionen vor. Für die im Ökologischen Landbau vorgesehenen Haltungssysteme dagegen sind sehr wenige belastbare Daten vorhanden. Für quantitative Abschätzungen emittierter N-Frachten sind neben der N-Konzentration in der Stallluft auch Angaben zum Luftvolumen des Gebäudes und zum Luftdurchsatz erforderlich. Solche Daten sind nahe liegender Weise aber nur bei Ställen mit Zwangsbelüftung zu erhalten. Die wenigen vorliegenden Ergebnisse aus der Bodenhaltung sind außerdem nicht gleichgerichtet, teilweise sogar widersprüchlich. Eine Literaturzusammenstellung und Auswertung hat NESER (2001) durchgeführt.

FALTER (1999, mündl. Mitteilung) und auch BOYER (2000) empfehlen den Einsatz von Mineralien, bevorzugt Zeolithe, um eine N-Fixierung in der Einstreu zu fördern. Allerdings gibt es dazu noch keine zuverlässigen Studien.

Mit fortschreitender Aufstalldauer wird der Mist durch die zunehmenden Ausscheidungsmengen feuchter, dadurch steigt auch das Emissionspotenzial für NH_3 . Ob durch zusätzliches Einbringen an Einstreu der Trockenmassegehalt erhöht werden kann, muss einzelbetrieblich geprüft werden. Nach HOY (2001) ist eine Reduzierung der Ammoniak-Emissionen durch Nachstreuen auf mehrschichtiger Tiefstreu kaum möglich. Eine Trockenmasseerhöhung durch Belüftung würde jedoch die NH_3 -Abgasung erhöhen und ist nicht zu empfehlen.

3.2.3.3 Optimierungsstrategien in der Hühnerhaltung

Der Bedarf an Aminosäuren, insbesondere Methionin und Lysin, kann zur Zeit bei Hühnern mit den Futtermitteln in ökologischer Qualität nur gedeckt werden, wenn hohe Rohproteingehalte in der Ration vorliegen. Gelingt die Verbesserung der Aminosäureversorgung in erster Linie mit Methionin, würde die N-Verwertung deutlich steigen, der Rohproteingehalt in den Rationen könnte sinken und das Emissionspotenzial für Stickstoff wäre geringer.

Allerdings lässt sich durch Phasenfütterung mit optimierter Aminosäureversorgung und Senkung der Futterverluste in der Broilerhaltung die N-Retention (N-Fixierung von Futterprotein in Körperprotein) von 33 % auf 48 % steigern. Die N-Verluste aus dem Stall würden durch eine 15 %-ige Steigerung der Retention bei identischen Stallverhältnissen um ca. 10–30 % sinken.

Bei Legehennen liegen derzeit keine effizienten Konzepte bezüglich einer Senkung der Rohproteingehalte im Futter während der Legeperiode vor.

Es besteht ein Züchtungsbedarf für Hühner, die mit einem langsameren Wachstum und geringeren Leistungen eher an das Futterangebot im Ökologischen Landbau angepasst sind. Dadurch könnten solche Futterkomponenten in der Rationsgestaltung Beachtung finden, die zu einer Reduzierung des Rohproteingehalts und entsprechend geringeren N-Ausscheidungen führen.

Je länger die Tiere im Haltungssystem sind, desto geringer wird der Trockenmassegehalt in der Einstreu im Kotlager. Daraus ergeben sich, mit zunehmender Verweildauer der Tiere im Haltungssystem, steigende Anforderung an das Management bezüglich Fütterung und Tränke, Lüftung und Einstreupflege.

3.3 Wirtschaftsdünger

(KARIN STEIN-BACHINGER, THOMAS DEWES)

Den Wirtschaftsdüngern kommt in viehhaltenden ökologisch bewirtschafteten Betrieben ein besonderer Stellenwert zu. Einerseits müssen Tierbesatz und Produktionsintensität eng mit den standort- und betriebspezifischen Produktionsbedingungen im Pflanzenbau abgestimmt werden, weshalb die Menge anfallender Wirtschaftsdünger konzeptionsbedingt limitiert ist. Andererseits sind die Wirtschaftsdünger im ökologisch bewirtschafteten Betrieb die noch am ehesten flexibel einsetzbare Nährstoffquelle. Im Hinblick auf eine pflanzen- und umweltgerechte Düngung unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte der Düngerlagerung und -aufbereitung ist von entscheidender Bedeutung, Nährstoffverluste bzw. -austräge im gesamten Bereich der Wirtschaftsdünger-Kette zu minimieren und gegebenenfalls auszuschließen.

Die Umweltverträglichkeit gilt als erweitertes Kriterium für die Bewertung landwirtschaftlicher Produktionsschritte auch für die Behandlung der im Betrieb anfallenden Wirtschaftsdünger. Innerhalb der EU besteht politischer Konsens, versauernd wirkende Schadstoffe (SO_2 , NO_x , NH_3) wegen ihrer Klimarelevanz zu reduzieren. Insofern ist die aus Gründen der Nährstoffeffizienz geforderte Verlustminimierung beim Umgang mit Wirtschaftsdüngern auch aus Sicht der Umweltverträglichkeit unabdingbar. Neben der Vermeidung bzw. Minimierung von Verlusten (vgl. Kap. 3.3.1.2 und 3.3.2) steht im Hinblick auf einen weitgehend geschlossenen Kreislauf des Gemischtbetriebes (Tier- und Pflanzenproduktion) auch die gleichmäßige Verteilung der Wirtschaftsdünger zur Sicherung bzw. Steigerung von Ertrag und Qualität der angebauten Kulturen im Zentrum (SCHMITT und DEWES 1997a, STEIN-BACHINGER 1993). Dabei ist die Berücksichtigung der langfristigen Nachwirkung mindestens ebenso wichtig wie die Wirkung im Anwendungsjahr (vgl. Kap. 3.3.1.3).

Die nachfolgend dargestellten Ausführungen beziehen sich auf die wirtschaftseigenen Dünger Stallmist, Gülle und Jauche. Der Stellenwert pflanzlicher Komposte ist in landwirtschaftlich ausgerichteten Betrieben sehr gering (DEWES 1999). Anders ist es bei Gärtnereien. In landwirtschaftlichen Betrieben mit Gemüsebau kann es auch Mischkomposte geben (tierische und pflanzliche Reststoffe). Wegen deren großer Variabilität sind jedoch in absehbarer Zeit hierfür keine zuverlässigen Daten zu erwarten. Verwiesen werden kann daher nur auf die bislang verfügbaren Datenquellen für pflanzliche Komposte (z. B. FAUSTZAHLEN FÜR LANDWIRTSCHAFT UND GARTENBAU 1993).

Eine Befragung von Beratern zeigte, dass mit einigen regionalen Unterschieden Daten zur Wirtschaftsdünger-Kette (u. a. Anwendungsmenge, Lagerungsart, -dauer, Wasserzusatz zu Jauche/Gülle) in der Regel nur als Schätzwerte vorliegen. Nährstoffanalysen von Wirtschaftsdüngern werden seitens der Betriebsverantwortlichen nur sehr selten in Auftrag gegeben. Nach Einschätzung der Berater hat die Stallmistpflege in kleineren Betrieben (v. a. Süddeutschland) eine wesentlich höhere Bedeutung als in größeren Betrieben, so dass dort entsprechend bewusster über Lagerungsart und -dauer sowie Ausbringung nachgedacht wird.

Verschiedene Untersuchungen ergaben, dass die Nährstoffgehalte von Wirtschaftsdüngern aus ökologisch bewirtschafteten Betrieben – insbesondere bei Stallmist – durchschnittlich geringer sind als in üblichen Faustzahlen (z. B. FAUSTZAHLEN FÜR LANDWIRTSCHAFT UND GARTENBAU 1993) angegeben (DEWES und HÜNSCHE 1998, NOLTE 1989, PIORR et al. 1991, STEIN-BACHINGER 1993). Dies liegt an einem insgesamt geringeren Nährstofflevel auf gesamtbetrieblicher Ebene, da sowohl die Zufuhr an systemexternen Düngemitteln, als auch der Zukauf von Futter durch rechtsrelevante Regelungen (EU-VO 2092/91 sowie Richtlinien der Anbau-

verbände) begrenzt sind. Auch zeigte sich, dass die Nährstoffgehalte bei derselben Düngerart außerordentlich unterschiedlich sein können, weil die Dünger in der Praxis unterschiedlich lange gelagert bzw. in unterschiedlicher Art behandelt werden, so dass auch unterschiedlich hohe Verluste auftreten können. Die in Kapitel 3.3.1 gemachten Angaben stammen, soweit keine anderen Quellen angegeben wurden, aus Untersuchungen in ökologisch bewirtschafteten Betrieben (DEWES und HÜNSCHE 1998, STEIN-BACHINGER 1993). Wichtig erschien außerdem, die Ergebnisse einer verhältnismäßig breit angelegten Untersuchung in ökologisch bewirtschafteten Betrieben zu den Auswirkungen verschiedener Haltungsbedingungen sowie Behandlungsarten auf die Nährstoffgehalte (DEWES und HÜNSCHE 1998) darzustellen, um Orientierungshilfen für die Praxis geben zu können.

3.3.1 Systembezogene Kennzahlen, Koeffizienten, Schätzverfahren

Fragen der wirtschaftseigenen Düngung sind wichtig zur Erstellung von Feld-Stallbilanzen sowie Schlag- und Fruchtfolgebilanzen. Hinsichtlich der Bilanzierung ist jedoch zu berücksichtigen, dass verschiedene Grunddaten wegen der Schwierigkeiten der Erfassung oft nur mit einer geringen Genauigkeit abgeschätzt werden können. Unterschiede bestehen sowohl zwischen verschiedenen Betrieben als auch saisonal auf einem Betrieb. Außerdem treten insbesondere durch die sehr unterschiedliche Behandlung der Wirtschaftsdünger in der Praxis Abweichungen von den Schätzwerten auf.

3.3.1.1 Wirtschaftsdüngeranfall und Nährstoffgehalte

Nach der DÜNGEVERORDNUNG (1996) ist gemäß § 4, Abs. 5 der Gehalt der auszubringenden Wirtschaftsdünger an Gesamtstickstoff, Phosphor und Kalium, im Falle von Gülle zusätzlich Ammoniumstickstoff

- auf der Grundlage von Untersuchungen oder
- durch Anwendung geeigneter Berechnungs- und Schätzverfahren oder
- durch Richtwerte, die auf fachmännischen Erkenntnissen beruhen und die Verhältnisse des Einzelbetriebes berücksichtigen,

zu ermitteln.

Wirtschaftsdüngeranfall

Eine genaue Ermittlung der anfallenden Wirtschaftsdüngermengen ist unter Praxisbedingungen schwer möglich. Da z. Zt. keine vergleichbaren Datengrundlagen aus ökologischer Bewirtschaftung vorliegen, wird empfohlen, für die Kalkulation des Wirtschaftsdüngeranfalls auf die Angaben aus den FAUSTZAHLEN FÜR LANDWIRTSCHAFT UND GARTENBAU (1993) zurückzugreifen.

In Tabelle 43 ist der mittlere Anfall an Wirtschaftsdüngern bei verschiedenen Tierarten in Abhängigkeit der Anzahl der Stalltage sowie der Haltungsform dargestellt. Die Menge anfallender Dünger kann damit auf unterschiedlich lange gewährte Zeiten von Auslauf bzw. Weidengang umgerechnet werden.

Tab. 43: Mittlerer Anfall an Wirtschaftsdüngern je Jahr bei verschiedenen Tierarten (nach FAUSTZAHLEN 1993)

Anzahl und Art der Tiere	Anzahl Stalltage	Stallmist dt *)	TM %	Jauche m ³	Gülle m ³	TM %
1 Rind >2 Jahre	200–280	54–75	22	2,5–3,5	10–14	8
	365	98		4,5	18	
1 Jungling 1–2 Jahre	200–280	32–45	22	1,4–2,0	6–8	8
	365	59		2,6	10	
1 Kalb	200–280	9–12	22	0,35–0,5	1,4–2	8
	365	16		0,65	2,6	
1 Zuchtsau mit Ferkeln	365	20	22	1,5	6	5
10 Mastschweine	365	80	22	6	19	6
100 Legehennen-Frischkot	365	60	22,5	-	8	14

*) [bei geringer bis mittlerer Menge an Einstreu: 2–4 kg/Tier und Tag]

Nährstoffgehalte

Den in den Tabellen 44 und 45 aufgeführten Nährstoffgehalten liegen eine Reihe von Untersuchungsergebnissen aus ökologisch bewirtschafteten Betrieben zugrunde. Anhand der Wertespannen ist zu ersehen, in welchem Bereich diese Kenngrößen real schwanken können. Dies muss bedacht werden, wenn für praktische Fragestellungen Durchschnittswerte eingesetzt werden. Wenn genauere Aussagen erforderlich sind, müssen Nährstoffanalysen des Einzelfalles vorgenommen werden.

Zu den Ergebnissen der Schweinejauche (Tab. 45) muss einschränkend gesagt werden, dass nur die Jauchen von 7 Betrieben Datengrundlage sind. Da aber konventionelle Faustzahlen für Schweinejauche 5-fach höhere N- und P-Gehalte angeben und für K 2,5-fach höhere Werte, wurde es vorgezogen, die Daten aus ökologischer Schweinehaltung darzustellen (mit obigen Einschränkungen). Dies erscheint auch plausibel und deckt sich mit den Erfahrungen der Autoren, da nahezu alle Nährstoffgehalte (N, P, K) bei ökologischer Bewirtschaftung niedriger ausfallen als bei konventioneller. Schweinegülle fällt im System Ökologische Landwirtschaft so gut wie nicht an, da es mit den gewünschten Haltungsbedingungen nicht kompatibel ist.

Tab. 44: Nährstoffgehalte von Stallmist (kg/dt), (nach DEWES und HÜNSCHE 1998) (Mittelwerte; Werte in Klammern = Minimum/Maximum)

Tierart	Dungart	Nährstoffgehalte in kg/dt FM				
		TM % Mittelwert (von...bis)	N _i Mittelwert (von...bis)	NH ₄ ⁺ -N Mittelwert (von...bis)	P Mittelwert (von...bis)	K Mittelwert (von...bis)
Rind	Frischmist	20 (15–24)	0,4 (0,3–0,5)	0,03 (0,005–0,06)	0,12 (0,08–0,2)	0,46 (0,25–0,66)
	Rottemist	22 (10–39)	0,5 (0,2–1,0)	0,04 (0,001–0,37)	0,12 (0,02–0,3)	0,66 (0,06–1,9)
Schwein	Rottemist	23 (13–38)	0,6 (0,4–1,0)	0,06 (0,01–0,3)	0,25 (0,09–0,47)	0,5 (0,26–1,15)

Tab. 45: Nährstoffgehalte von Gülle und Jauche (kg/m³), (nach HÜNSCHE 1995, DEWES und HÜNSCHE 1998) (Mittelwerte; Werte in Klammern = Minimum/Maximum)

Tierart	Dungart	Nährstoffgehalte in kg/m ³				
		TM %	N _i	NH ₄ ⁺ -N	P	K
		Mittelwert (von...bis)	Mittelwert (von...bis)	Mittelwert (von...bis)	Mittelwert (von...bis)	Mittelwert (von...bis)
Rind	Gülle	6,4 (2,4–13,8)	2,2 (1,1–3,5)	0,86 (0,3–1,9)	0,4 (0,2–0,9)	2,5 (1,4–4,0)
	Jauche	1 (0,1–4,2)	0,5 (0,1–2,1)	0,3 (0,1–2,0)	0,07 (0,04–0,44)	1,6 (0,1–3,7)
Schwein	Jauche	0,57 (0,1–1,0)	1,0 (0,1–2,4)	0,8 (0,1–1,9)	0,08 (0,04–0,22)	1,2 (0,2–2,6)

Eine besondere Schwierigkeit besteht darin, die Nährstoffgehalte unterschiedlich behandelter Stallmistarten in der Praxis einzuschätzen. Dies ist jedoch wichtig im Hinblick auf leicht umzusetzende Veränderungen in der Verfahrenskette des Betriebes, die geeignet sind, um Nährstoffverluste bei der Wirtschaftsdüngerbehandlung/-lagerung zu minimieren.

In den folgenden Tabellen (46–47) sind einige Kenngrößen und Nährstoffgehalte unterschiedlich gewonnener bzw. behandelter Rindermiste dargestellt. Zugrunde liegen Untersuchungen in ökologisch bewirtschafteten Betrieben, deren Wirtschaftsdünger von den Betriebsleitern als anwendungsbereit bezeichnet wurden. Diese Untersuchungsergebnisse sollen verdeutlichen, in welchen Größenordnungen die Gehalte bei derselben Mistart in Abhängigkeit verschiedener Bedingungen schwanken können.

In Tabelle 46 sind die Nährstoffgehalte unterschiedlich alter Rindermistkomposte dargestellt. Dabei zeigt sich zum einen, dass Mistkomposte in den häufigsten Fällen bis zu 9 Monaten gelagert wurden. Ältere Miste waren bei der betreffenden Ringuntersuchung nur in Ausnahmefällen zu finden. Die an ihnen gewonnenen Daten sind aufgrund der geringen Stichprobenumfänge weniger hinsichtlich der absoluten Werte von Nutzen, sondern um die Tendenz zur Richtung von Veränderungen der jeweiligen Parameter auch über längere Lagerzeiten sichtbar zu machen.

Bis zu der Lagerdauer von einem Jahr stiegen die Nährstoffgehalte sowie auch die Trockenmasse und der Aschegehalt im Mittel an, das C:N-Verhältnis wurde enger. Die Veränderungen bei Aschegehalt und C:N-Verhältnis deuten auf einen steigenden Abbau der organischen Substanz bei fortschreitender Lagerdauer hin. Außerdem fällt auf, dass die Veränderungen bei den K-Konzentrationen im Verlaufe der Zeit weniger stark waren als die der Ascheanteile. Da Kalium im Mist (analytisch) ein Teil des Aschegehaltes ist, werfen die ungleichen Verläufe beider ein Licht auf das besondere Problem hoher K-Verluste während der Lagerung von Festmist.

Tab. 46: Kenngrößen und Nährstoffgehalte unterschiedlich alter Rindermistkomposte (nach DEWES und HÜNSCHE 1998) (Mittelwerte in % bzw. kg/dt FM, n = Anzahl der Proben, Werte in Klammern = s = Standardabweichung)

	1-3 Monate n = 16	4-6 Monate n = 22	7-9 Monate n = 44	10-12 Monate n = 3	13-15 Monate n = 2	16-18 Monate n = 1	19-21 Monate n = 7	32 Monate n = 1
TM (%)	19 (4,4)	21 (4,1)	22 (5,6)	26 (8,5)	21 (9,5)	18	29 (7,5)	28
Asche (%)	3,7 (1,8)	5,6 (3,2)	7,7 (5,3)	10,6 (5,0)	8,6 (6,8)	5,4	17 (7,5)	16,6
N _{total} (kg/dt)	0,42 (0,1)	0,50 (0,15)	0,51 (0,15)	0,57 (0,17)	0,45 (0,06)	0,53	0,43 (0,09)	0,41
NH ₄ ⁺ -N (kg/dt)	0,06 (0,03)	0,05 (0,05)	0,04 (0,03)	0,01 (0,01)	0,02 (0,01)	0,01	0,01 (0,01)	<0,01
P (kg/dt)	0,09 (0,03)	0,13 (0,06)	0,12 (0,05)	0,19 (0,10)	0,20 (0,12)	0,11	0,16 (0,08)	0,10
K (kg/dt)	0,52 (0,33)	0,76 (0,41)	0,71 (0,42)	0,79 (0,40)	0,56 (0,03)	0,68	0,47 (0,29)	0,12

Tabelle 47 zeigt Kenngrößen von Rindermist aus verschiedenen Stallsystemen. Dabei werden ältere Untersuchungen von KOLENBRANDER und DE LA LANDE CREMER (1967) dahingehend bestätigt, dass Tiefstallmist besonders reich an Kalium ist, bedingt durch den darin enthaltenen Urin. Der Gesamt-Stickstoffgehalt ist ebenfalls bei Tiefstallmistern am höchsten. Entsprechend der Angaben der Landwirte wurden im Tiefstall ca. 6,2 kg Stroh pro Tag und GV eingestreut, im Tretmiststall ca. 5 kg und bei Anbindehaltung ca. 2,6 kg.

Tab. 47: Kenngrößen und Nährstoffgehalte von Rindermist aus verschiedenen Stallsystemen (nach DEWES und HÜNSCHE 1998) (Mittelwerte in % bzw. kg/dt FM, n = Anzahl der Proben, Werte in Klammern = s = Standardabweichung)

	Tiefstall n = 46	Anbindestall n = 39	Tretmiststall n = 2
TM (%)	23,7 (5,6)	19,9 (4,6)	14,3 (5,5)
N _{total} (kg/dt)	0,53 (0,16)	0,43 (0,08)	0,36 (0,19)
NH ₄ ⁺ -N (kg/dt)	0,06 (0,06)	0,03 (0,02)	0,05 (0,02)
P (kg/dt)	0,12 (0,07)	0,12 (0,04)	0,06 (0,03)
K (kg/dt)	0,86 (0,42)	0,46 (0,21)	0,48 (0,30)

In Tabelle 48 sind die Kenngrößen von Rindermist in Abhängigkeit von der Umsetzungshäufigkeit dargestellt. Mit dem Begriff ‚Umsetzen‘ ist in diesem Falle jedes Bewegen des Mistes, also auch z. B. der Transport des Stallmistes aus dem Stall gemeint (1-mal Umsetzen, vgl. DEWES und HÜNSCHE 1998). In der ersten Spalte („ohne Umsetzen“) beziehen sich die Werte auf Beprobungen im Stall (z. B. Frischmist im Anbindestall und älterer Mist im Tieflaufstall). Mit steigender Umsetzungshäufigkeit fällt der C_{org} -Gehalt ab. Der Gesamt-Stickstoffgehalt bleibt weitgehend unverändert, so dass ein engeres C:N-Verhältnis resultiert.

Anhand des Aschegehaltes wird deutlich, dass – und in welchem starkem Maße – mit zunehmender Häufigkeit des Umsetzens der Abbau der organischen Substanz angeregt wird. Das Umsetzen von Mist geht immer mit einer Vergrößerung der Oberflächen und einer Belüftung einher. Dies regt den mikrobiellen Abbau stark an, wofür auch die unmittelbar danach ansteigenden Temperaturen im Haufen ein Indiz sind. Am Aschegehalt sieht man, dass bereits eine zweimalige Bewegung zur Verminderung des Volumens – also zu einem Masseabbau – um etwa 50 % führt. Wenn die N-Konzentration im Mist dabei unverändert bleibt, heißt das, dass auch etwa 50 % des N verloren gegangen/abgegast sind. Die Konzentration an NH_4^+ -N vermindert sich aber sogar mit zunehmender Umsetzhäufigkeit: Insofern entgast überproportional viel N, im o. a. Beispiel mehr als 50 %. Der TM-Gehalt steigt, was auf eine überproportional starke Wasserverdunstung schließen lässt, die durch die mit dem Umsetzen einhergehende Wärmeentwicklung bedingt ist.

Tab. 48: Kenngrößen und Nährstoffgehalte von Rindermist in Abhängigkeit von der Umsetzungshäufigkeit (ohne Umsetzen = Tiefstall-Mistmatratzen oder im Stall entnommene Proben; 1-mal Umsetzen = außerhalb des Stalls aufgesetzte/gelagerte Miste) (nach DEWES und HÜNSCHE 1998) (Mittelwerte in % bzw. kg/dt FM, n = Anzahl der Proben, Werte in Klammern = s = Standardabweichung)

	Ohne Umsetzen n = 20	1-mal Umsetzen n = 54	2-mal Umsetzen n = 20	3-mal Umsetzen n = 2
TM	22,2	20,4	24,4	30,3
(%)	(5,7)	(5,0)	(6,7)	(1,9)
Asche	5,2	6,1	11,8	19,9
(%)	(5,7)	(3,7)	(6,3)	(2,8)
N_{total}	0,46	0,50	0,48	0,44
(kg/dt)	(0,11)	(0,16)	(0,12)	(0,04)
NH_4^+ -N	0,09	0,03	0,02	0,01
(kg/dt)	(0,05)	(0,02)	(0,01)	(0,01)
P	0,08	0,13	0,14	0,14
(kg/dt)	(0,03)	(0,06)	(0,06)	(0,01)
K	0,69	0,66	0,66	0,36
(kg/dt)	(0,31)	(0,44)	(0,35)	(0,07)

In den meisten Fällen wird eine Lagerungsdauer von bis zu 6 Monaten ausreichend sein und nicht überschritten werden müssen. Speziell bei der Lagerung von Mist auf unbefestigtem Boden wird in den Merkblättern bzw. Erlassen der zuständigen Behörden in den meisten Bundesländern die Ausbringung zum nächstmöglichen, pflanzenbaulich sinnvollen Zeitpunkt gefordert.

3.3.1.2 Nährstoffverluste bei Lagerung und Ausbringung

Nährstoffverluste treten bei allen Schritten der Sammlung, Lagerung, Aufbereitung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern auf, wobei zwischen atmosphärischen (gasförmigen) und hydrosphärischen Verlusten (solchen mit Sickersaft) zu unterscheiden ist. Betroffen sind davon neben Kohlenstoff in erster Linie Stickstoff, Phosphor und Kalium (DEWES 1997c). Andere Emissionen aus der Tierhaltung, wie CO₂ und CH₄, sind hinsichtlich ihrer ökologischen Relevanz ebenfalls von Bedeutung, werden aber hier nicht näher diskutiert, weil es keine Verluste von Nährstoffen im engeren Sinne sind.

Während der Sammlung, Lagerung und Aufbereitung unterliegen die Wirtschaftsdünger einem mikrobiellen Ab- und Umbau. Bei der Kompostierung wird durch besondere Maßnahmen der biologische Rotteprozess in Gegenwart von Luftsauerstoff induziert. Dabei führt die freiwerdende Stoffwechselenergie zur Selbsterwärmung des Substrates, was gasförmige Verluste begünstigt.

- Gasförmige Verluste kommen bei allen Formen von Wirtschaftsdüngern vor (fest, flüssig, auch unabhängig vom Stallsystem), betreffen nicht nur N (ganz überwiegend in Form von NH₃, weniger N₂, N₂O, NO_x), sondern auch C (Kohlenstoff) und insofern also die organische Substanz. Sie beginnen unmittelbar nach der Ausscheidung und enden erst, wenn die Dünger im Boden eingearbeitet sind.
- Sickerwasserverluste können nur bei festen Wirtschaftsdüngern vorkommen (flüssige werden in dichten Behältern gelagert), sofern Sickerwässer an einzelnen Stellen der Verfahrenskette nicht aufgefangen werden (Feldrandzwischenlager!). Betroffen sind N, P, K und andere Mineralstoffe. Sickerwasserbedingte Verluste treten in der Regel erst bei TM-Gehalten ≤25 % auf. Da die Nährstoffkonzentration in den Sickerwässern zu Beginn der Lagerung höher ist als nach längerer Lagerzeit, sind die Nährstoffausträge mit Sickerwasser anfangs überproportional hoch (vgl. DEWES 1997b).

Gemäß DÜNGEVERORDNUNG (1996) sind die in Tabelle 49 angegebenen gasförmigen N-Verluste unter Berücksichtigung der gesamten Verfahrensketten bei Stallmist, Gülle und Jauche maximal tolerierbar.

Tab. 49: Maximal tolerierbare gasförmige N-Verluste (NH₃) in % des Gesamtstickstoffs bei Gülle und Stallmist (nach DÜNGEVERORDNUNG 1996)

Art	Stall und Lager	Ausbringung	Gesamt ¹⁾
Gülle, Jauche	10	20	28
Festmist	25	20	40

¹⁾ Beispielsrechnung für Gülle:

100 kg N-Ausscheidung minus 10 % gasförmige Verluste im Stall und Lager = 90 kg N,

90 kg N minus 20 % gasförmige Verluste bei der Ausbringung = 72 kg N.

Die maximal anrechenbaren Gesamtverluste betragen folglich 28 %.

In Tabelle 50 sind einige Einflussfaktoren auf die Zunahme bzw. Verringerung der NH₃-Emissionen bei Fest- und Flüssigmist dargestellt.

Tab. 50: Einflussfaktoren auf gasförmige NH₃- Verluste bei Fest- und Flüssigmist (zusammengestellt nach einer Literaturübersicht von DEWES 1997c)

	Einflussfaktoren		NH ₃ -Emissionen
Im Stall	Tierart (Emissionspotenzial je GV)	Rind → Schwein → Huhn	Zunahme
	Fütterung	steigendes Proteinangebot in der Futtermischung	Zunahme
	Stall- bzw. Entmistungssystem	Teilspaltenboden → Vollspaltenboden	Zunahme
	Be- und Entlüftungssystem	hohe Luftgeschwindigkeiten über emissionsaktiven Oberflächen	Zunahme
	Lufttemperatur	Niedrig → Hoch	Zunahme
Bei der Bevorratung	Flüssigmist	≥ pH 7,5	Zunahme
		Steigende Temperatur	Zunahme
		fortschreitende Lagerdauer	proportionale Zunahme
		NH ₃ -Partialdruck in der Flüssigkeit größer als in der Luft	Zunahme
		Schwimmschicht (entsteht nur bei Rindergülle)	Verringerung
		Belüftung	Zunahme
	Festmist	flache Lagerbehälter mit großer Oberfläche	Zunahme
		steigende Luftgeschwindigkeit über der Gülloberfläche	Zunahme
		steigende Temperatur durch Selbsterwärmung (mikrobieller Abbau)	kurzfristige Zunahme
		anaerobe Lagerung fortschreitende Lagerdauer	Verringerung geringe Zunahme
Bei der Aufbereitung	Flüssigmist	Belüftung	Zunahme
		Biogas (Faulung)	Verringerung
		Zuschlagstoffe (v. a. Tonminerale)	geringe Verringerung
	Festmist	anaerobe Rotte → aerobe Rotte	Zunahme
		Umsetzen	Zunahme

Tab. 50: Einflussfaktoren auf gasförmige NH₃- Verluste bei Fest- und Flüssigmist (zusammengestellt nach einer Literaturübersicht von DEWES 1997c) (Fortsetzung)

	Einflussfaktoren		NH ₃ -Emissionen
Bei und nach der Ausbringung	Flüssigmist	Dauer bis zur Einarbeitung	bis zu 90 % der NH ₃ -Verluste in den ersten 24 h
		Einarbeitung	starke Verringerung
		Rindergülle → Schweinegülle	Zunahme
		Anwendungszeitpunkt/Witterung: geringe Sonneneinstrahlung und hohe Luftfeuchtigkeit, „trübes Wetter“	Verringerung
		Anwendungszeitpunkt/Witterung: zunehmende Temperatur und Windgeschwindigkeit	Zunahme
		Beschaffenheit des Bodens: Bewuchs oder Verdichtung	Zunahme
	Lehm-/Tonböden → Sandböden	Zunahme	
	Festmist	Dauer bis zur Einarbeitung	Zunahme

In den Tabellen 51–53 werden ausgewählte Behandlungsverfahren (Abdeckung, Unterflursicherung und Zuschlagstoffe) für Festmist hinsichtlich ihrer Zweckmäßigkeit zur Verlustminimierung dargestellt. Hierbei wird eine qualitative Einschätzung für die Verwendung bestimmter Materialien gegeben.

Abdeckungen

Das Abdecken von Stallmistmieten (Tab. 51) wird empfohlen bzw. verlangt, um Auswaschungsverluste bei einer Lagerung auf unbefestigtem Boden (Zwischenlagerung am Feld) zu minimieren. Durch eine Abdeckung soll weniger Niederschlag in den Haufen gelangen und sich folglich auch weniger Sickerwasser bilden. Da ein großer Teil, insbesondere des zu Beginn der Lagerung anfallenden Sickerwassers, auf die Neubildung von Wasser im Zuge des aeroben Abbaus organischer Substanz zurückgeht und unabhängig von Niederschlägen ist, kann eine Reduktion sickersaftbedingter Stoffausträge durch Abdeckung nur beschränkt erwartet werden (vgl. DEWES et al. 1991).

Allerdings nimmt die Bedeutung von Sickerwasserverlusten mit steigenden Niederschlagsmengen und bei geringen TM-Gehalten im Mist zu, so dass insgesamt entsprechend differenzierte Empfehlungen gemäß Tabelle 51 gegeben werden können. Je höher die Niederschlagsmenge, unter der der Mist exponiert wird, umso feuchtigkeitsdichter sollte das Material zur Abdeckung sein. In Regionen mit bis zu 500 mm Jahresniederschlag ist eine Abdeckung mit Stroh ausreichend. Sie empfiehlt sich aber auch bei weniger Niederschlägen, weil anzunehmen ist, dass das Stroh, wenn es feucht und schon anfänglich mikrobiell aufgeschlossen ist (C wird verfügbar), auch gasförmig entweichendes NH₃ bindet. Untersuchungen hierzu liegen an Festmistmieten nicht vor, allerdings wurde bei der Lagerung von Rindergülle wiederholt festgestellt, dass eine Schwimmschicht aus C-reichen Futterresiduen die NH₃-

Abgasung reduziert (SOMMER 1992, SOMMER et al. 1993, DE BODE 1990). Demgegenüber wurde bei Mistmieten, die unter Folientunneln – also vollständig wasserdicht – lagerten, eine erhöhte NH_3 -Emission festgestellt (DEWES et al. 1991), weil der Mist austrocknete (NH_4^+ bleibt nur in wässriger Lösung gebunden!).

Vlies- bzw. Folienabdeckungen sind in Regionen mit hohen Jahresniederschlägen nach der Phase der Selbsterhitzung generell zu empfehlen (ca. 4 Wochen nach Aufsetzen).

Tab. 51: Empfehlenswerte Abdeckungen von Stallmist unterschiedlichen Trockenmassegehaltes in Abhängigkeit vom durchschnittlichen Jahresniederschlag zwecks Reduzierung von Auswaschungsverlusten auf unbefestigtem Boden

Trockenmasse [%]	bis 500 mm Jahresniederschlag	500–1000 mm Jahresniederschlag	> 1000 mm Jahresniederschlag
<25 %	Stroh (sinnvoll, aber nicht unbedingt nötig)	Vlies	Vlies, nach der Phase der Selbsterhitzung auch Folie
>25 %	Stroh (sinnvoll, aber nicht unbedingt nötig)	Stroh oder Vlies	Vlies

Unterflursicherung

Stallmist wird vor seiner Verwendung häufig am Feldrand gelagert, da in beengten Hoflagen die Kapazität hierzu nicht ausreicht, in der Nähe von Siedlungen Geruchsbelastungen beanstandet werden oder sein Transport zu hoffernen, später zu düngenden Schlägen außerhalb von Arbeitsspitzen abgewickelt werden soll. Darüber hinaus werden Stallmistmieten im Feld aber auch angelegt, um eine Rotte einzuleiten und damit den Düngewert des Materials zu beeinflussen (DEWES et al. 1996). Diese Stallmistzwischenlager befinden sich in der Regel auf unbefestigtem Boden.

Aus Gründen des vorbeugenden Gewässerschutzes sowie aus wirtschaftlichen Überlegungen sind potenzielle sickerwasserbedingte Stofffrachten (insbesondere N und K) durch geeignete Unterflursicherungen einer Rückführung in den Nährstoffkreislauf des Betriebes zugänglich zu machen. Dies kann erreicht werden mit (vgl. DEWES et al. 1996)

- betonierten Mistplatten als stationäre Lagermöglichkeit. Dies schließt aber eine flexible Kapazitätsanpassung weitgehend aus, bindet in erheblichem Maße Kapital und versiegelt den Boden dauerhaft,
- Bentonit (Tonmineral v. a. aus Montmorillonit) oder auch Stroh als semipermeable, temporär installierte Unterflursicherung. Stroh hat sich im Unterschied zu Bentonit für diesen Zweck als weitaus weniger geeignet erwiesen.

In Tabelle 52 sind in Abhängigkeit der Höhe der Niederschläge und Trockenmassegehalte von Stallmist Empfehlungen zur Unterflursicherung zwecks Reduzierung von Auswaschungsverlusten dargestellt.

Tab. 52: Empfehlungen zur Unterflursicherung von Stallmistmieten mit Bentonit in Abhängigkeit vom durchschnittlichen Jahresniederschlag zwecks Reduzierung von Auswaschungsverlusten auf unbefestigtem Boden

Trockenmasse [%]	bis 500 mm Jahresniederschlag	500–1000 mm Jahresniederschlag	> 1000 mm Jahresniederschlag
<25 %	+	++	++ ¹⁾
>25 %	-	+	++

(- nicht nötig, + sinnvoll, ++ erforderlich)

¹⁾ außerdem: Mist erst auf einer befestigten Dungplatte vorrotten lassen

Zuschlagstoffe

In Tabelle 53 sind verschiedene Zuschlagstoffe bei der Stallmistlagerung zur Verlustminimierung bewertet. Es werden allerdings nur Tendenzen dargestellt, da die Unsicherheit, konkrete Zahlen bzw. Wertebereiche zu nennen, aufgrund der hohen Variabilität sowie der Schwierigkeit exakter Messungen unter den Bedingungen der Praxis sehr groß ist. Für die Nährstoffbilanz sind diese daher kaum wesentlich, aber in Bezug auf mögliche Umweltwirkungen mit zu berücksichtigen.

Tab. 53: Bewertung von Zuschlagstoffen zu Stallmist im Hinblick auf die Verlustminimierung

Zuschlagstoff (Gew.-%)	zur Verlustminimierung			andere Wirkungen
	sehr günstig	günstig	ungünstig	
Erde (2–10 %)		x		
Gesteinsmehl (1–3 %)		(x)		je nach Herkunft und Zusammensetzung: Anreicherung mit Mineralstoffen und Spurenelementen
reifer Mistkompost (0,5–1 %)				Animpfen mit Mikroflora bzw. Fauna, rottebeschleunigend
Kalk (0,2–0,5 %)			x	rottebeschleunigend
Laub, Holzhäcksel (0,5–1 %)		x		Erweiterung des C:N-Verhältnisses: langsamerer Abbau im Boden
Bentonit (1–3 %)	x			
Stroh (nur bei nassem Mist)		x		Erweiterung des C:N-Verhältnisses: langsamerer Abbau im Boden

Konkrete Angaben über tatsächliche Nährstoffverluste bei Wirtschaftsdüngern in Abhängigkeit von

- verschiedenen Haltungsformen,
- Lagerungsart,
- Behandlungsverfahren,
- Ausbringungsart und
- Zeitdauer bis zur Einarbeitung,

sind aufgrund der Komplexität der Verfahrensschritte und der wechselseitigen Abhängigkeiten zwischen den jeweiligen chemischen, biochemischen, mikrobiologischen und physikalischen Bedingungen sehr schwierig zu machen.

Zu manchen Aspekten liegen zwar viele Daten vor, wobei diese aber zum Teil stark voneinander abweichen. Dies hängt jeweils mit den zugrundeliegenden Bedingungen während des Untersuchungszeitraumes zusammen. In den Tabellen 54 und 55 wird daher sowohl eine qualitative als auch, wo es möglich erscheint, eine quantitative Einschätzung der Nährstoffverlustpotenziale in Abhängigkeit unterschiedlicher Einflussgrößen gegeben.

In der Spalte „verfügbare Daten“ sind Spannbreiten genannt. Wichtig ist zu berücksichtigen, dass an dieser Stelle nicht die Einzeldaten entsprechend der jeweiligen Bedingungen angegeben werden können. Die dargestellten Spannbreiten ergeben sich aus der fachlichen Bewertung der relevanten Publikationen, was bedeuten kann, dass einige publizierte „Extrem“-Werte nicht berücksichtigt sind, weil die dort zugrunde liegenden Bedingungen aus fachlicher Sicht, z. B. in Bezug zum Ökologischen Landbau, als nicht relevant angesehen werden.

Die beiden Spalten am rechten Rand der Tabellen 54 und 55 geben an, ob es sich um

- Sickerwasserverluste (S) oder um
- gasförmige Verluste (G) handelt.

In Tabelle 55 werden Gülle und Jauche gemeinsam behandelt, da es sich um flüssige Wirtschaftsdünger handelt, die mit gleicher Technik ausgebracht werden können und außerdem beide in mehrerer Hinsicht deutlich von Festmist verschieden sind:

- keine Sickerwasser-Verluste
- meist anaerobe Lagerung
- nach Ausbringen teilweise Eindringen in den Boden.

Etwa vorhandene Unterschiede zwischen Gülle und Jauche in Bezug auf Emissionspotenziale sind bisher nicht genau genug an aktuellen Daten festzumachen. Neuere Daten gibt es nur zu Gülle, nicht jedoch zu Jauche. Die älteren, teilweise etwa 100 Jahre zurückliegenden Untersuchungen an Jauche basieren überwiegend auf anderen als heute üblichen methodischen und analytischen Verfahren und sind insofern nicht direkt mit neueren Daten vergleichbar (DEWES 1997c).

Tab. 54: Qualitative/quantitative Einschätzung der Nährstoffverlustpotenziale bei Stallmist
 [S = Sickerwasserverluste, G = gasförmige Verluste] gering: <10 %, mittel: 10–25 %, hoch: >25 %

Stallmist Einflussgrößen	Gesamt-Verluste (S und G)					
	qualitativ, Nährstoffart			quantitativ, verfügbare Daten	S	G
gering	mittel	hoch				
Festmistverfahren im Stall						
Tiefstall	N					G
Anbindestall	N					G
Tretmiststall		N				G
Größenordnung der N-Emission				0,2–2 g N/h/GV bzw. ca. 8 kg N/GV/Jahr		G
Lagerungsart ¹⁾						
Mietenkompostierung, mind. 1 m Höhe						
anaerob	P, N (S)	K, N (G)		N: 7–20 % in 3–6 Monaten	S	G
aerob/Umsetzung	P	N (S)	K, N (G)	in 3–6 Monaten: N (S+G): 18–33 % in 6 Monaten: N (S): 4–6% des N, P (S): 3–3,4 % K (S): 18–20 %		
Behandlungsverfahren						
Umsetzen ²⁾						
einmal	P, K	N		6–25 %	S	G
mehrmals		P, K	N	20–80 %	S	G
Unterflursicherung ³⁾						
ohne Bentonit	N	K N	K	K: 20–50 % N: 7–20 %	S	G
mit Bentonit	K N	K N		K: 5–15 % N: 5–18 %	S	G
Abdeckung						
ohne	N	K N	K	K: 20–50 % N: 7–20 %	S	G
mit	K N	K N	K	K: 5–45 % N: 5–20 %	S	G
Ausbringungsart/Einarbeitungsdauer						
Temp.		Witterung		nur N !		G
ohne Einarbeitung						
<20°C	bedeckt sonnig	N	N	ca. 10 % ca. 15 %		G G
>20°C	bedeckt sonnig		N N	ca. 30 % ca. 30 %		G G
mit Einarbeitung						
<20°C	bedeckt sonnig	N N				G G
>20°C	bedeckt sonnig	N N	(N) (N)			G G

Erläuterungen 1)–3) siehe Seite 96

Erläuterungen zu Tabelle 54

1) Lagerungsart

Grundsätzlich gilt:

Je länger die Lagerung, desto höher die Verluste, und zwar sowohl in Form der Sickerwasser- als auch der gasförmigen Verluste. Sickerwasserbedingte Verluste treten in der Regel erst bei TM-Gehalten ≤ 25 % auf. Da die Nährstoffkonzentration in den Sickerwässern zu Beginn der Lagerung höher ist als nach längerer Lagerzeit, sind die Nährstoffausträge mit Sickerwasser anfangs überproportional hoch. Ein großer Teil, insbesondere des zu Beginn der Lagerung anfallenden Sickerwassers, geht auf die Neubildung von Wasser im Zuge des aeroben Abbaus organischer Substanz zurück. Daher fallen hydrosphärische Stoffausträge, unabhängig von Niederschlägen, in der Phase der Selbsterhitzung an (vgl. DEWES 1997b, DEWES et al. 1991). Je höher die Niederschläge, desto höher sind die insgesamt anfallenden Sickerwasserverluste zu kalkulieren.

Lagert der Mist auf einer befestigten Dungplatte mit einer Vorrichtung zum Auffangen der Sickerwässer (Grube), führen Stoffausträge mit Sickersaft nicht zwangsläufig zu Verlusten, denn alle nicht gasförmig entweichenden Elemente bleiben erhalten und können durch Düngung mit dieser Flüssigkeit im Betrieb recycelt werden; nur N entgast auch aus dieser Flüssigkeit.

Demgegenüber gilt für die Mistlagerung auf unbefestigtem Boden: Alle mit Sickersaft austretenden Nährstoffe gehen dem geordneten Düngerregime (Mist) verloren, es sei denn, es wurde eine Unterflursicherung aus Tonmineralen (Bentonit) angelegt. In diesem Fall können vor allem K und NH_4^+ gebunden werden; wird die Unterflursicherung beim Aufladen des Mistes mit aufgenommen und ausgebracht, bleiben diese Nährstoffe im Betriebskreislauf weitgehend erhalten.

2) Umsetzen

Dieser Einfluss alleine auf die Höhe der Verluste ist aus bisherigen Daten nicht eindeutig zu extrahieren, denn mehrmals umgesetzte Miste sind immer auch älter. Lagerdauer und Umsetzhäufigkeit hängen in der Praxis zusammen und wirken hinsichtlich der Verluste in dieselbe Richtung. Besonders deutlich ist dies aus den Daten der Erhebungen von DEWES und HÜNSCHE (1998) zu sehen, denn in der Praxis wird immer erst wieder nach ‚einigen‘ Monaten umgesetzt/bewegt. In Exaktversuchen (MARTINS und DEWES 1992), bei denen immer dann umgesetzt wurde, wenn die Temperatur unter 30°C gefallen war, führten die ersten Umsetz-Aktivitäten zu stärkerer Stimulierung der N-Entgasung als darauf folgende Umsetz-Aktivitäten. Dies war umso deutlicher der Fall, je N-reicher der Mist war. Mehr als 70 % der gasförmigen Verluste (insgesamt 20 % des Gesamt-Stickstoffgehaltes) traten in den ersten 10 Tagen der Kompostierung in Form von Ammoniak auf. Ein hoher pH-Wert von > 8 begünstigte außerdem die gasförmigen Verluste.

3) Unterflursicherung

Eine Unterflursicherung wirkt nur auf die Sickerwasserverluste. Im Falle von N, wo die Gesamt-Verluste von gasförmigen Emissionen dominiert sind, ist ihr Effekt deshalb nur auf den geringeren, sickerwasserbedingten Anteil reduziert. Bei allen anderen Nährstoffen kommt es ausschließlich zu sickerwasserbedingten Emissionen, von denen insbesondere K-Emissionen mit geeigneten Unterflursicherungen aus Bentonit wirksam zurückgehalten werden können.

Tab. 55: Qualitative/quantitative Einschätzung der Nährstoffverlustpotenziale bei Gülle und Jauche [S = Sickerwasserverluste, G = gasförmige Verluste] gering: < 10 %, mittel: 10-25 %, hoch: >25 %

Gülle/Jauche Einflussgrößen				Gesamt-Verluste (S und G)					
				qualitativ			quantitativ, verfügbare Daten	S	G
				gering	mittel	hoch			
Lagerung ⁴⁾									
ohne Belüftung ⁵⁾				(N)	N		3-30 %		G
mit Belüftung ⁵⁾					(N)	N	16-40 %		G
Zuschlagstoffe: Gesteinsmehl				N	N				G
Bentonit (ca. 2 % Zusatz)				N	N		3-25 %		G
Ausbringungsart/Einarbeitungsdauer									
		Temperatur	Witterung	Einarbeitungsdauer					
boden- ferne Geräte	<20°C	bedeckt	2 Std.	N	N		5-15 %		G
			2 Tage		N	N	15-30 %		G
		sonnig	2 Std.		N	N	10-40 %		G
	2 Tage				N	35-50 %		G	
	>20°C	bedeckt	2 Std.		N		10-20 %		G
			2 Tage		N	N	15-30 %		G
sonnig		2 Std.		N	N	20-45 %		G	
			2 Tage			N	35-55 %		G
Acker	<20°C	bedeckt	2 Std.	N					G
			2 Tage		N		Reduktion gegenüber bodenfernen Geräten		G
		sonnig	2 Std.		N				G
	2 Tage				N		(Prallverteiler, Schwenkdüse, etc.) um	G	
	>20°C	bedeckt	2 Std.	N					G
			2 Tage		N	N	15-20 %		G
sonnig		2 Std.		N	N			G	
			2 Tage			N		G	
Bodeninjektion				N			0,5-2 %		G
boden- ferne Geräte	<20°C	bedeckt			N	N	20-30 %		G
			sonnig			N	30-50 %		G
	>20°C	bedeckt			N	N	20-30 %		G
			sonnig			N	40-55 %		G
Grün- land	<20°C	bedeckt		N			Reduktion gegenüber bodenfernen Geräten um	G	
			sonnig		N			G	
	>20°C	bedeckt		N				G	
			sonnig		N		15-20 %		G

Erläuterungen 4)-5) siehe Seite 98

Erläuterungen zu Tabelle 55

4) Lagerung

Bei der Lagerung wird nicht innerhalb und außerhalb des Stalls unterschieden, da die sich daraus ergebenden Unterschiede in ähnlicher Spanne variieren wie jeweils bei verschiedenen Bedingungen innerhalb eines Verfahrens. Die Lagerung im Stall wird hauptsächlich wegen der Tiergesundheit diskutiert; sie gilt wegen der Belastung der Atemwege als problematisch.

5) Belüftung

Von den verschiedenen Behandlungsverfahren hat insbesondere die Belüftung Einfluss auf die Nährstoffgehalte. Belüftung führt zu einer Beschleunigung des Abbaus organischer Substanz und meist auch zu deutlich verminderten Trockenmassegehalten. Stickstoff wird dabei stark ausgetrieben. Da meist gleichzeitig ein (überproportional) starker Abbau organischer Substanz (C-Verlust) einsetzt und außerdem Wasser verdunstet, was beides zu einem Massechwund führt, kann die N-Konzentration (% der FM) während der Belüftung trotzdem unverändert bleiben, oder es kann in Einzelfällen sogar zu einer relativen Anreicherung kommen. Aufgrund dessen wird das Verfahren der Belüftung oft fälschlicherweise als N-schonend angesehen, und in Einzelfällen sogar eine N-Bindung diskutiert. Auf die damit gegebene Gefahr der Fehlinterpretationen haben erstmals VOGTMANN und BESSON (1978) hingewiesen. Näheres zu diesem Problem findet sich bei DEWES und AHRENS (1989). Bei allen anderen Nährstoffen, die nicht gasförmig entweichen, führt Belüftung zwar zu einer relativen Anreicherung (Werte in „% der FM“ steigen), dies ist aber bilanzneutral.

3.3.1.3 Düngewirkung der Wirtschaftsdünger

In ökologischen Anbausystemen wird die Bedeutung der organischen Düngung in erster Linie in der Stimulierung der biologischen Bodenprozesse gesehen (DEWES und AHRENS 1990). Damit erfolgt die Nährstoffversorgung der Kulturpflanzen indirekt über stoffwechselabhängige Mineralisationsvorgänge des Bodenlebens aus organischer Düngung, Pflanzensubstanzen und dem Humuspool.

Die in den wirtschaftseigenen Düngern enthaltenen Nährstoffe sind nicht vollständig pflanzenverfügbar. Fruchtfolgen mit einem entsprechenden Leguminosenanteil sowie der Anwendung organischer Dünger müssen hinsichtlich der N-Nachlieferung anders beurteilt werden als Fruchtfolgen mit rein mineralischer Düngung (RAUHE 1969). Unter Berücksichtigung der Langzeitwirkung bei Stallmistapplikation auf Humus- und Nährstoffstatus ist es daher wichtig, dass über das Anwendungsjahr hinaus Nachwirkungen einkalkuliert werden.

Die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Wirkung organischer Düngung sind

- Bodenart,
- Anwendungstermin,
- Witterung (Wärme, [Boden-]Feuchtigkeit),
- Fruchtart,
- Wassergehalt vor allem bei Gülle,
- Lagerungsart/-dauer vor allem bei Festmist,
- mikrobielle Verfügbarkeit bzw. Abbaubarkeit der organischen Substanz, C:N-Verhältnis,

- Adaptation der Bodenfauna und -mikroflora durch längerfristige Wirtschaftsdüngeranwendung.

Die kurzfristige Wirkung des Stickstoffs aus Wirtschaftsdüngern hängt wesentlich von dem Anteil an Ammonium-N am Gesamt-Stickstoff ab. Entsprechend der verschiedenen Düngerarten, sind die in Tabelle 56 wiedergegebenen Ammoniumanteile zu veranschlagen. Nitrat-N, der ebenfalls direkt pflanzenverfügbar wäre, kommt in praxisüblich behandelter Gülle und Jauche allenfalls in Spuren und auch in Festmist nur in untergeordneter Menge vor, es sei denn, der Festmist wäre durch geeignete Zuschlagstoffe und intensives Umsetzen aerob kompostiert worden.

Tab. 56: Prozentualer Ammoniumanteil am Gesamtstickstoff (a: konventioneller Landbau, b: Untersuchungen unter ökologischer Bewirtschaftung)

Wirtschaftsdünger	% Ammonium-N vom N _t (a) (FAUSTZAHLEN FÜR ... 1993)	% Ammonium-N vom N _t (b) (DEWES und HÜNSCHE 1998)
Rinderstallmist	zwischen 10 und 25 %	0,4–37 % (Ø 8 %)
Rindergülle	zwischen 40 und 60 %	25–55 % (Ø 39 %)
Schweinegülle	zwischen 50 und 70 %	
Jauche	zwischen 70 und 90 %	20–90 % (Ø 56 %)

Angaben zur Stickstoffausnutzung aus Stallmist schwanken in einem weiten Bereich. In Abhängigkeit der Standortbedingungen, des Witterungsverlaufs und vor allem der Fruchtfolgegestaltung ist eine Übertragbarkeit nur in eingeschränktem Maße möglich. Untersuchungen in Produktionssystemen des Ökologischen Landbaus zeigen, dass die direkte N-Ausnutzung offenbar geringer angesetzt werden muss als im konventionellen Landbau.

Tab. 57: N-Ausnutzungsgrade von Wirtschaftsdüngern im Ökologischen Landbau im Anwendungsjahr (in % vom Gesamt-N) (SCHMITT und DEWES 1997a, STEIN-BACHINGER 1993)

Wirtschaftsdünger	N _t -Ausnutzung
Frischmist	15–25 %
Rottemist (mit/ohne Jauche)	5–20 %
Kompost	5–10 %
Rindergülle	40–60 %
Schweinegülle	50–70 %
Jauche	20–90 %

Die N-Ausnutzung von Jauche hängt deutlich vom Zeitpunkt ihrer Applikation ab; in diesbezüglichen Untersuchungen mit Winterweizen von SCHMITT und DEWES (1997a) zeigte sich, dass Jauchegaben zum Ährenschieben und noch zur Blüte am effizientesten waren. Unter Berücksichtigung der derzeit verfügbaren technischen Ausstattung in der Landwirtschaft kann eine Empfehlung zu einer solchen Kopfdüngung mit Jauche im Ökologischen Landbau allerdings nicht gegeben werden. Abzuleiten ist nur, dass hier eine Optimierung des Verfahrens Weizenanbau unter dem Gesichtspunkt der Nährstoffeffizienz möglich wäre, die allerdings zunächst eine geeignete Technik voraussetzt.

Wirkung der im Festmist enthaltenen Nährstoffe

Stickstoff

Der Anteil des anrechenbaren pflanzenverfügbaren Stickstoffs am Gesamtstickstoff beträgt bei Festmist im Anwendungsjahr nach Untersuchungen in ökologisch bewirtschafteten Produktionssystemen zwischen 5 und 25 % (vgl. Tab. 57). Langfristig ist der im Festmist enthaltene Gesamtstickstoff zu 60 bis 70 % verfügbar (KTBL 1999, 2002b). Zur Kalkulation der pflanzenverfügbaren Stickstoffmenge müssen neben der Mineralisierung auch die durch Ammoniakverflüchtigung entstehenden Verluste berücksichtigt werden. Insbesondere wenn Festmist nicht eingearbeitet wird (z. B. auf Grünland!) kann der ohnehin recht geringe Anteil an pflanzenverfügbarem NH_4^+ im Mist (vgl. Tab. 56) vollständig verloren gehen. In der Praxis ist dies spätestens dann der Fall, wenn die ausgebrachten Mistpartikel ausgetrocknet sind. Der Wert einer solchen Mistgabe beschränkt sich dann nahezu auf die Ernährung des Bodenlebens (vor allem mit Kohlenstoff).

Phosphor

Bei Phosphor kann davon ausgegangen werden, dass ca. 50 % der Gesamtmenge, also die Hälfte, im Anwendungsjahr pflanzenverfügbar ist. Die andere Hälfte wird wegen der geringen Auswaschungsgefahr und auch sonst fehlender Verlustneigung später innerhalb der Fruchtfolge pflanzenverfügbar, so dass in der langfristigen Bilanzierung die zugeführte Phosphormenge zu 100 % angerechnet werden kann (KTBL 1999, 2002b).

Kalium

Die im Stallmist enthaltenen Kaliummengen liegen fast ausschließlich in anorganischer Form vor und sind daher leicht pflanzenverfügbar. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass die Wirkung von Kalium stark abhängig ist von der jeweiligen Bodenart und dem ausgewählten Ausbringungstermin. Bei einer Herbstdüngung auf Sandböden ist aufgrund der Auswaschungsgefahr mit einer Wirksamkeit von nur noch 60 bis 80 %, auf lehmigen Sandböden von immerhin 80 % zu rechnen (KTBL 1999, 2002b).

Wirkung der im Flüssigmist enthaltenen Nährstoffe

Stickstoff

Der Anteil des sofort verfügbaren Ammoniumstickstoffs am Gesamtstickstoff beträgt bei Rindergülle ca. 50 %, bei Schweinegülle ca. 60 % und bei Rinder- und Schweinejauche bis zu 90 % (vgl. Tab. 57).

In verschiedenen Untersuchungen auf ökologisch bewirtschafteten Betrieben war insbesondere bei Gülle die N-Ausnutzung sehr gering. In Brutversuchen wurde festgestellt, dass bei Applikation von C-haltigen Düngern die heterotrophe Bodenmikroflora zu einem starken Konkurrenten für die Pflanze wird: Sowie verfügbare C-Quellen gedüngt werden, wird der dabei mitapplizierte N sofort von der Mikroflora aufgenommen (SCHMITT und DEWES 1995). Dies dürfte wahrscheinlich insbesondere bei ökologisch bewirtschafteten Betrieben deutlich zu Buche schlagen, weil hier insgesamt ein niedrigeres N-Niveau vorliegt. Insofern ist es wahrscheinlich, dass die N-Ausnutzung im ersten Jahr geringer ist als in konventionellen Betrieben. Der von der Bodenmikroflora abgeschöpfte N muss jedoch nicht verloren gehen, sondern kann im weiteren zeitlichen Verlauf mit dem Absterben der Mikroflora wieder verfügbar wer-

den, so dass bei längerfristiger Betrachtung nicht mit geringeren N-Ausnutzungsraten zu rechnen ist.

Auch bei Jauche können die N-Ausnutzungsgrade (bezogen auf den Korn-N-Ertrag) u. a. in Abhängigkeit vom Düngungszeitpunkt sowie vom Aussaattermin niedrig liegen. So hatte zum Beispiel bei Winterweizen eine Düngung zu späterem Entwicklungsstadium immer eine höhere N-Effizienz als bei frühen Jauchegaben. Zu frühen Stadien wurde durch die Düngung hauptsächlich Sprossmasse generiert, die dann eine N-Senke ergab, welche später nicht mehr zu füllen war (SCHMITT und DEWES 1997a).

Der organisch gebundene Stickstoff wird erst im Laufe mehrerer Jahre mineralisiert und damit pflanzenverfügbar. Die Abbauraten des organisch gebundenen N sind relativ gering und betragen bei Gülle im Anwendungsjahr etwa 10–15 %, im Jahr nach der Anwendung ca. 5 % und in den folgenden Jahren nur etwa 2–5 % des insgesamt ausgebrachten organischen Stickstoffs (KTBL 1999, 2002b).

Zur Kalkulation der pflanzenverfügbaren Stickstoffmenge müssen neben der Mineralisierung auch die durch Ammoniakverflüchtigung entstehenden Verluste berücksichtigt werden. Die NH₃-Verluste betragen bei Rindergülle durchschnittlich 40 % und bei Schweinegülle durchschnittlich 20 % des ausgebrachten Ammonium-Stickstoffs (KTBL 1999, 2002b).

Phosphor und Kalium

Für diese im Flüssigmist enthaltenen Nährstoffe kann von den gleichen Wirkungen wie im Festmist ausgegangen werden (KTBL 1999, 2002b).

3.3.1.4 Hilfen zur Datenerhebung/-dokumentation unter Praxisbedingungen

In den folgenden beiden Tabellen wird eine Einschätzung der Wichtigkeit der einzelnen Daten sowie deren potenzielle Genauigkeit für die Erstellung von Nährstoffbilanzen dargestellt.

Tab. 58: Qualitative Grundeinschätzung: Stallmist

Art der Daten	Ermittlungsart	Wichtigkeit ¹⁾				potenzielle Genauigkeit der Datengrundlage ¹⁾		
		sw	w	ww	zu	g	m	h
Dünger-/Nährstoffanfall: ²⁾	Berechnung		x				x	
Tierbesatz	Aufzeichnung	x						x
Haltungssystem:	Aufzeichnung	x						x
Einstreumenge	Aufzeichnung	x					x	
Einstreuart	Aufzeichnung		x					x
Stallhaltungstage	Aufzeichnung		x					x
Entmistungsart	Aufzeichnung		x				x	
Nährstoffgehalte ³⁾	Schätzung	x					x	
	Messung	x						x
Trockenmassegehalt ⁴⁾	Schätzung		x				x	
	Messung		x					x

Fortsetzung der Tabelle 58 auf Seite 102

Tab. 58: Qualitative Grundeinschätzung: Stallmist (Fortsetzung)

Art der Daten	Ermittlungsart	Wichtigkeit ¹⁾				potenzielle Genauigkeit der Datengrundlage ¹⁾		
		sw	w	ww	zu	g	m	h
Lagerung								
Lagerungsart	Aufzeichnung		x					x
Behandlungen während Lagerung	Aufzeichnung	x						x
Lagerungsdauer	Aufzeichnung		x					x
Lagerungsverluste	Schätzung	x					x	
Ausbringung								
Ausbringungsart	Aufzeichnung		x					x
Ausbringungszeitpunkt	Aufzeichnung		x					x
Ausbringungsmenge	Aufzeichnung		x				x	
Witterung bei Ausbringung	Aufzeichnung		x				x	
Dauer bis Einarbeitung	Aufzeichnung		x					x
Ausbringungsverluste (nur N)	Schätzung		x			x		
Nährstoffverfügbarkeit ⁶⁾	Schätzung		x			x		

Erläuterungen zu ¹⁾ – ⁶⁾ nach Tabelle 59

Tab. 59: Qualitative Grundeinschätzung: Gülle und Jauche

Art der Daten	Ermittlungsart	Wichtigkeit ¹⁾				potenzielle Genauigkeit der Datengrundlage ¹⁾		
		sw	w	ww	zu	g	m	h
Dünger-/Nährstoffanfall: ²⁾								
	Berechnung		x				x	
Tierbesatz	Aufzeichnung	x						x
Haltungssystem	Aufzeichnung			x				x
Stallhaltungstage	Aufzeichnung		x					x
Entmistungsart	Aufzeichnung		x				x	
Nährstoffgehalte ³⁾	Schätzung		x				x	
	Messung		x					x
Trockenmassegehalt ⁴⁾	Schätzung		x				x	
Lagerung								
Verdünnung mit Wasser	Schätzung		x			x		
Lagerungsart	Aufzeichnung				x			x
Behandlungen während Lagerung ⁵⁾	Aufzeichnung	x						x
Lagerungsdauer	Aufzeichnung		x					x
Lagerungsverluste (nur N)	Schätzung	x					x	

Tab. 59: Qualitative Grundeinschätzung: Gülle und Jauche (Fortsetzung)

Art der Daten	Ermittlungsart	Wichtigkeit ¹⁾				potenzielle Genauigkeit der Datengrundlage ¹⁾		
		sw	w	ww	zu	g	m	h
Ausbringung								
Ausbringungsart	Aufzeichnung	x						x
Ausbringungszeitpunkt	Aufzeichnung	x						x
Ausbringungsmenge	Aufzeichnung		x				x	
Witterung bei Ausbringung	Aufzeichnung	x					x	
Dauer bis Einarbeitung	Aufzeichnung	x						x
Ausbringungsverluste (nur N)	Schätzung		x			x		
Nährstoffverfügbarkeit ⁶⁾	Schätzung		x				x	

Erläuterungen zu Tabelle 58 und 59

- 1) Voraussetzung: Betriebe legen Wert auf gute Aufzeichnungen
 Wichtigkeit: sw = sehr wichtig; w = wichtig; ww = weniger wichtig, zu = Zusatzinformation
 potenzielle Genauigkeit der Datengrundlage (einfach/schwer zu erfassende Daten, Messungen/Schätzungen): g = gering, m = mittel, h = hoch
- 2) Daten zum Düngeranfall/GV werden als wichtig angesehen, weil Wirtschaftsdünger aufgrund der Limitierung im Viehbesatz immer als ‚knappes Gut‘ angesehen werden und insofern auch ressourcenschonend behandelt werden sollten. Informationen, die zur Menge an Dünger erforderlich sind, lassen sich aus dem Tierbesatz mit Hilfe üblicher Faustzahlen genau genug schätzen.
- 3) In der Praxis können Nährstoffgehalte in den meisten Fällen mit vertretbarem Aufwand wohl nur geschätzt werden. Messungen bergen folgende Probleme in sich: repräsentative Probenahme, Zeitpunkt und Kosten der Untersuchung, Ergebnis ist nur Momentaufnahme und müsste, wenn Datenlage auf Messungen gestützt wird, zu jeder Düngung neu eingeholt werden.
- 4) Kenntnisse zum TM-Gehalt sind bei festen und flüssigen Wirtschaftsdüngern wichtig, allerdings aus unterschiedlichen Gründen:
 Festmist: Ab TM-Gehalten unter 25 % kommt es zu sickersaftbedingten N-Verlusten.
 Gülle: Es bestehen verhältnismäßig enge Beziehungen zwischen dem TM-Gehalt und solchen Nährstoffen, die überwiegend mit dem Kot (Feststoffe) ausgeschieden werden (vor allem P, aber auch N_i). Die Beziehung TM : K ist dagegen nicht eng korreliert.
 Jauche: Hier ist die Kenntnis des TM-Gehaltes nicht wichtig.
- 5) Von den verschiedenen Behandlungsverfahren hat insbesondere die Belüftung Einfluss auf die Nährstoffgehalte. N wird stark ausgetrieben. Da meist gleichzeitig ein (überproportional) starker Abbau organischer Substanz (C-Verluste!) einsetzt und außerdem Wasser verdunstet, was beides zu einem Masseschwund führt, kann sich N trotz hoher Entgasungsverluste aber relativ anreichern.

Wird Stickstoff als „% in der FM“ gemessen, kommt es durch Belüftung zu entweder kaum abnehmenden oder sogar steigenden Werten, weshalb Belüftung oft fälschlicherweise als N-schonend angesehen wird. Bei allen anderen Nährstoffen, die nicht gasförmig emittieren, führt Belüftung zwar generell zu einer relativen Anreicherung (Werte in „% der FM“ steigen), dies ist aber Bilanz-neutral.

6) Bei langfristiger Betrachtung weniger wichtig.

3.3.2 Maßnahmen zur Erhöhung der Nährstoffeffizienz

Bei Anfall, Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern sind Ammoniakverflüchtigungen unvermeidbar. N-Abgasungen müssen jedoch aus Umweltschutzaspekten sowie im Interesse des landwirtschaftlichen Betriebes soweit wie möglich verringert werden. In den Richtlinien der Ökologischen Anbauverbände ist eine Verpflichtung zur Aufbereitung aller Wirtschaftsdünger festgeschrieben, und zwar unter besonderer Beachtung von Nährstoffverlusten durch Ausgasung oder Auswaschung.

In den Tabellen 60 und 61 sind einige Risikofaktoren zusammengestellt sowie Maßnahmen zur Erhöhung der Nährstoffeffizienz aufgeführt, die vom Landwirt relativ einfach berücksichtigt werden können.

Tab. 60: Maßnahmen zur Begrenzung der Ammoniakverflüchtigung bei Stallmist

Stallmist				
Kriterien	Verhältnisse		Risiko der Ammoniakverflüchtigung	Maßnahmen zur Verringerung von Ammoniakverlusten
Lagerung				
	warm, trocken, windig		hoch	Mist in dieser Zeit nicht umsetzen/bewegen
Miete	flache Mieten, große Oberfläche		hoch	Mist höher aufsetzen, dabei auch stärkere Erwärmung in Kauf nehmen, Strohabdeckung
	Selbsterhitzung (nach Aufsetzen) ¹⁾		nur kurzzeitig hoch	Erwärmten Mist nicht bewegen, nicht flach ziehen
Ausbringung				
Acker: Bodenbedeckung/ Witterung	ohne Bodenbedeckung	hohe Lufttemperatur, trockene Luft, windig	hoch	sofortige Einarbeitung
		kühl, feucht, windstill	gering	Einarbeitung sobald wie möglich
	mit Pflanzenbestand	hohe Lufttemperatur, trockene Luft, windig	hoch	Ausbringung unterlassen
		kühl, feucht, windstill	mittel	möglichst mit Striegelmaßnahme kombinieren
Grünland: (nur zu Vegetationsbeginn)	hohe Lufttemperatur, trockene Luft, windig		hoch	Ausbringung unterlassen
	kühl, feucht, windstill		mittel	

1) Selbsterhitzung nach dem Aufsetzen von Mist sollte, wenn sie auftritt, toleriert werden. Kurzzeitig sind die Entgasungsraten dabei zwar hoch, da sich die Mikroflora unter diesen Bedingungen aber stark vermehrt, entsteht in deren Biomasse auch eine N-Senke, in die NH_4^+ zum Aufbau von Körpereiweiß fließt (vgl. DEWES 1996a, 1996b, 1997a).

Ganz schlecht wäre es, wenn versucht würde, einen „heißen Mist“ dadurch zu vermeiden, dass man den Mist in der Phase hoher Temperatur auseinanderziehen und flach aufsetzen würde!

Tab. 61: Maßnahmen zur Begrenzung der Ammoniakverflüchtigung bei Gülle und Jauche

Kriterien	Verhältnisse	Gülle/Jauche	
		Risiko der Ammoniakverflüchtigung	Maßnahmen zur Verringerung von Ammoniakverlusten
Lagerung			
Gülle-, Jauchebehälter	offen	hoch	Schwimmschicht erhalten bzw. mit Häckselstroh aufbringen
	abgedeckt, Keller	gering	ggf. Bentonit-Zusatz
Belüftung		sehr hoch	nach Möglichkeit unterlassen oder technische Lösung mit Abluftbehandlung erwägen
Zuschlagstoffe	Gesteinsmehl, Bentonit	kaum gemindert, erst ab 2 % Zusatz geringer	Bentonit zu diesem Zweck günstiger als Gesteinsmehl
Biogasgewinnung, Vergärung		sehr gering	Faulschlamm/Gärgülle nach Ausbringung rasch einarbeiten
Ausbringung			
Witterung	hohe Lufttemperatur, trockene Luft, windig	sehr hoch	oberflächiges Ausbringen unterlassen
	kühl, feucht, windstill	gering-mittel-hoch	baldmöglichst einarbeiten, Schleppschläuche verwenden
Einsickerungsverhältnisse	verkrustete, verschlämmte, verdichtete Bodenoberfläche	hoch	Boden zuvor lockern. Am wirksamsten: Gülle/Jaucheinjektion
Bodenbedeckung	ohne Bodenbedeckung	mittel	verdünnen, baldmöglichst einarbeiten
	mit Pflanzenbestand	mittel bis hoch	verdünnen, ggf. mit Striegelmaßnahme kombinieren, Schleppschläuche verwenden
	mit Strohecke	sehr hoch	Stroh vor dem Güllen einmischen (z. B. Spatenrollegge), nach Güllen Grundbodenbearbeitung

3.4 Symbiotische N₂-Fixierung

Die symbiotische N₂-Fixierung stellt die wichtigste Stickstoffquelle ökologisch bewirtschafteter Betriebe dar. Die Abschätzung der fixierten N-Menge von Feldfutter, legumen Zwischenfrüchten, Körnerleguminosen sowie Grünland bildet daher die wesentlichste Input-Größe im Rahmen von Stickstoffbilanzen auf gesamtbetrieblicher Ebene. Dabei ist zu berücksichtigen, dass zum einen die fixierte N-Menge nicht mit einfachen Messmethoden auf Schlagebene ermittelt werden kann, zum anderen die Fixierungsleistung von vielen Faktoren abhängig ist. Diese sind u. a.

- Witterungs- und Standortfaktoren,
- acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen inklusive der Einflüsse der Sorten,
- Gemengeanteil der Leguminosen sowie Nutzungsart und -frequenz (Futternutzung, Rotationsbrache) bei Feldfutterbau und Grünland.

Für die zu erarbeitenden Empfehlungen ist daher wichtig, dass eine Schätzung der N₂-Fixierungsmenge auf der Basis einfach zu erhebender Grunddaten erfolgen kann. Zu berücksichtigen ist außerdem, dass die o. a. Wirkungsmechanismen, die die Stickstoffbindung der Leguminosen bestimmen, noch nicht ausreichend geklärt sind, so dass durch die unterschiedlichen Schätzverfahren nur eine näherungsweise Bestimmung der fixierten N-Menge möglich ist. Die Angabe von Kalkulations-Spannen unter Variation wichtiger Eingabeparameter ist daher sinnvoll für großflächige Abschätzungen.

Allgemein sollte bei der Abschätzung der N₂-Fixierungsmenge als Planungsgrundlage zur Sicherstellung einer ausreichenden Stickstoffversorgung auf Schlag oder Betriebsebene im Zweifelsfall mit dem jeweils niedrigeren Wert kalkuliert werden.

Symbiotisch fixierter Stickstoff ist gebunden in

- Sprossmasse,
- Stoppeln und Bestandesabfall,
- Wurzeln, Knöllchen

und findet sich auch als

- in den Boden, an Gemengepartner und in die Luft abgegebenen N wieder.

Daher ist es wichtig, bei den Schätzverfahren die Pflanzenorgane anzugeben, die bei der Bestimmung der N₂-Fixierungsleistung einbezogen wurden (SCHMIDTKE 1997). Neuere Untersuchungen legen nahe, dass relevante Mengen an fixiertem Stickstoff von der Pflanze über die Rhizodeposition (Feinwurzeln und Wurzelausscheidungen organischer Verbindungen) während des Wachstums bereits an den Boden abgeben werden. Zu Körnerleguminosen liegen bisher nur Ergebnisse aus Gefäßversuchen vor (MAYER 2003, SCHMIDTKE 2004). Erste Untersuchungen bei Futterleguminosen von HØGH-JENSEN und SCHJOERRING (2001) lassen auf eine im Vergleich zu Körnerleguminosen deutlich höhere Rhizodeposition schließen.

3.4.1 Kennzahlen, Koeffizienten, Schätzverfahren

Ziel des im Folgenden dargestellten ist es, verschiedene methodische Verfahren für die Kulturen

- Feldfutterbau, Zwischenfrüchte, Grünbrache (Kap. 3.4.1.1) und
- Körnerleguminosen (Kap. 3.4.1.2) sowie
- Grünland (Kap. 3.4.1.3)

anzubieten, die eine Abschätzung des N-Inputs über Leguminosen in Abhängigkeit der Datenlage auf dem Betrieb ermöglichen. Dabei gilt für die Interpretation bzw. Bewertung der Ergebnisse, dass alle Schätzverfahren ohne analytische Begleitmessung „nur“ Näherungswerte angeben können. Je genauer die erforderlichen Bonituren/Schätzungen/Messungen erfolgen können (vgl. Kap. 3.4.1.4), umso größer wird die Aussagesicherheit.

Neben den vorzuschlagenden Schätzverfahren werden außerdem Empfehlungen zur Erhöhung der Fixierungsleistung/N-Effizienz dargestellt (Kap. 3.4.2).

3.4.1.1 Feldfutterbau, Zwischenfrüchte, Grünbrache

Vorbemerkungen

- Eine Unterscheidung in Rotklee-Gras, Luzerne-Gras, Luzerne-Klee-Gras wird nicht als sinnvoll erachtet, da in der Praxis meist Mischungen vorliegen und sich die Anteile der Gemeengepartner während der Vegetation auch verändern können. Eine Schätzung des Leguminosenanteils im Bestand ist allerdings eine Grundvoraussetzung für eine genaue, über die Vegetationsperiode gemittelte Kalkulation der fixierten N-Menge.
- Eine Unterscheidung zwischen legumen Sommer- bzw. Winterzwischenfrüchten ist erforderlich, wenn sich die daraus zu erwartende Ertragsleistung deutlich unterscheidet. Z. B. wenn beim Winterzwischenfruchtanbau ein Umbruch erst ab Mitte April stattfindet und somit unter klimatisch günstigen Bedingungen noch Ertrag gebildet und Stickstoff symbiotisch fixiert wird.

Günstig wäre außerdem zu unterscheiden, ob die Zwischenfrucht aus Unter-/oder Blank-/Stoppelsaat erwachsen ist, da hierdurch die Zwischenfruchterträge, insbesondere der Futterleguminosen, deutlich beeinflusst werden. Hierzu liegen jedoch im Moment nur vereinzelt Daten vor. Auch kann die Fixierleistung einzelner Arten für repräsentative Standort- und Anbaubedingungen nur schwer abgeschätzt werden, weshalb keine Differenzierung in einzelne Pflanzenarten erfolgt.

- Die Genauigkeit der Bilanzgröße „fixierte N-Menge“ hängt ganz wesentlich von der Genauigkeit der Ertragschätzung der Leguminosen ab. In den meisten Fällen liegen jedoch keine schlagbezogenen Ertragsmessungen bzw. Leguminosenanteilsschätzungen im Bereich Feldfutterbau auf den Betrieben vor. Hilfen zur Ertragschätzung des Gesamtbestandes werden in Kapitel 3.1.1.2 gegeben.

Die Ertragsanteile der Leguminosen können praktikabel nur über Bonituren geschätzt werden. Hierzu werden einige Vorschläge zur praktischen Durchführung bzw. Übung angeboten (s. Anhang – visuelles Trainingstool auf HTML-Basis, als CD verfügbar in Zusammenhang mit dem Handbuch). Angaben zur Ertragsentwicklung aus früheren Jahren sowie regionale Erfahrungen/Angaben können als Anhaltspunkte dienen.

- Stickstoffgehalte sind entweder aus eigenen Untersuchungen (z. B. Futterqualitätsanalysen) bzw. aus den vorgeschlagenen Kennzahlen in Tabelle 12, Kapitel 3.1.1.1 zu entnehmen.
- Aufgrund der Tatsache, dass die Datendokumentation sowie die Güte der erforderlichen Daten auf den Betrieben unterschiedlich ist, werden für die Abschätzung der N₂-Fixierungsmenge verschiedene Verfahren vorgeschlagen sowie jeweils eine Beurteilung der Methodik hinsichtlich
 - Datenanforderung,
 - pauschaler Annahmen,
 - Berechnungsaufwand und Aussagefähigkeit angeschlossen.

Vereinfachte Schätzverfahren (Grobanalyse) (A)

Im Folgenden sind Vorschläge zur Abschätzung der N₂-Fixierungsleistung dargestellt, die ohne größeren Datenerfassungs- bzw. -dokumentationsaufwand möglich sind. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass diese Angaben als grobe Orientierungswerte fungieren können und damit Einschränkungen bei der Interpretation der Ergebnisse gemacht werden müssen.

Es sollte auf jeden Fall eine Ertragsanteilsschätzung der Leguminosen im Gemenge in der Praxis durchgeführt werden, da die Menge an symbiotisch fixiertem Stickstoff mit sinkendem Leguminosenanteil deutlich abnimmt.

Erweiterte Schätzverfahren (B)

Zur Erhöhung der Genauigkeit des Bilanzergebnisses ist es erforderlich, neben der Ertragsleistung des Bestandes bestimmte weitere Größen im Rahmen der N₂-Fixierungsabschätzung einzubeziehen. Diese sind u. a.

- N-Gehalt in Spross und Ernte-Wurzelrückständen (EWR),
- Verhältnis EWR zum oberirdischen Aufwuchs,
- Anteil Stickstoff in Leguminosen, der aus der Luft stammt (N_{dfc}: **N**itrogen **d**erived from the **a**tmosphere),
- Angebot an bodenbürtigem Stickstoff.

Daher werden im Folgenden verschiedene Verfahren dargestellt, die unterschiedliche Anforderungen an die Datengrundlagen stellen. Gleichzeitig kann aber auch ersehen werden, welche Daten notwendig sind, um eine Abschätzung genauer vornehmen zu können. Hierdurch soll eine zielgerichtete Datendokumentation ermöglicht bzw. erleichtert werden.

Die Genauigkeit der Schätzung der symbiotisch fixierten N-Menge wird in der Praxis viel stärker durch die Probleme einer zutreffenden Ermittlung des Ertrages und vor allem des Leguminosenanteils begrenzt werden (WEIBBACH 1995).

Bei den im Folgenden dargestellten Verfahren wird das Angebot aus bodenbürtigem Stickstoff nicht eingebunden. Daher ist zu berücksichtigen, dass bei hohem N_{\min} -Angebot im Boden die prozentuale Fixierungsleistung geringer ist.

A) Vereinfachtes Verfahren der N_2 -Fixierungsabschätzung von Futterleguminosen

Leguminosen-Trockenmasseertrag multipliziert mit festem Faktor

Entsprechend der Düngeverordnung (1996, § 5 Nährstoffvergleiche) sollen Angaben über die Zufuhr von Stickstoff aus der N_2 -Fixierung von Leguminosen im Ackerbau gemacht werden. Zur Umsetzung dieser Maßgabe wurden von den zuständigen Behörden der einzelnen Bundesländer konkrete Richtwerte für die anzurechnende symbiotische N-Bindung durch Leguminosen erarbeitet, die als Orientierungswerte empfohlen werden und dort nachzuschlagen sind (z. B. LANDWIRTSCHAFTSKAMMER HANNOVER 2004).

Aus der Literatur sind unterschiedliche Methoden bzw. Schätzformeln zur Bestimmung der fixierten N-Menge (in Bezug auf Rotklee, Weißklee und Luzerne) (BOLLER 1988, WEIßBACH 1995, NEUENDORFF 1996, LOPOTZ 1996, DYCKMANS 1986) bekannt. Da es sich bei Feldfutterbeständen in der Praxis häufig um Mischungen von zwei bis drei Leguminosen-Gemegepartnern handelt, ist es auf Einzelschlagebene bzw. unter Berücksichtigung aller Futterschläge für die Bilanzberechnung nur möglich, die verschiedenen Ertragsanteile der Leguminosenarten im Mittel zu schätzen. Anhand der vorliegenden Daten wird in Anlehnung an o. a. Literaturquellen folgendes Berechnungsverfahren vorgeschlagen:

Bruttotrockenmasseertrag multipliziert mit dem prozentualen Leguminosenanteil ergibt den Leguminosen-Trockenmasseertrag (in dt Trockenmasse pro ha). Dieser wird mit einem mittleren Faktor von 3,5 multipliziert und damit die fixierte N-Menge errechnet. In diesem Faktor finden N-Mengen der Stoppel- und Wurzelmasse Berücksichtigung. Der Bruttoertrag des Gesamtbestandes kann, falls keine gemessenen Ertragsangaben vorhanden sind, auf Grundlage der in Kapitel 3.1.1.2 vorgeschlagenen Ertragsabschätzungen kalkuliert werden.

Faustregel:

3,5 kg fixierter N pro dt Leguminosen-Trockenmasseertrag (oberirdischer Aufwuchs)

Zur Einschätzung des Leguminosenertragsanteils im Bestand werden zwei Vorschläge unterbreitet, die eine großflächige Abschätzung bzw. Bonitur je nach Zeitaufwand bzw. Kenntnisstand ermöglichen sollen:

- eine einfache Variante als dreistufige Skala, sowie
- eine differenziertere 5-stufige Skala, die jedoch auch eine genauere Kenntnis bzw. Bonitur der Leguminosenertragsanteile auf den gesamten Schlägen erfordert. Auf beigefügter CD befindet sich ein visuelles Trainingstool, mit dem die Schätzung der Leguminosenertragsanteile einfach erübt werden kann.

Tab. 62: Skala zur Einschätzung der Leguminosenertragsanteile

3-stufige Skala			5-stufige Skala		
Leguminosenertragsanteil					
gering	<	30 %	sehr gering	<	20 %
mittel	ca.	50 %	gering	ca.	21–40
hoch	>	70 %	mittel	ca.	41–60
			hoch	ca.	61–80
			sehr hoch	>	80 %

Anhand dieser Einstufung kann, wie an dem Beispiel in Tabelle 63 dargestellt, die fixierte N-Menge berechnet werden.

Tab. 63: Beispiel: Menge fixierten Stickstoffs für Luzerne-Klee gras-Gemenge in Abhängigkeit des Leguminosenertragsanteils

Bruttoertrag TM dt/ha und a	N _{fix} in kg/ha und a bei einem Leguminosen-Ertragsanteil von				
	10 %	30 %	50 %	70 %	90 %
40	14	42	70	98	126
60	21	63	105	147	189
80	28	84	140	196	252
100	35	105	175	245	315

Beurteilung der Methode	
Datenanforderung	Bonitur der Leguminosenertragsanteile im Bestand (3- oder 5-stufige Skala, s. Tab. 62) durch eine differenzierte Bonitur der Leguminosen- /Nichtleguminosenanteile z. B. bei der Ernte kann das Schätzergebnis deutlich verbessert werden. Der hierzu notwendige Zeitaufwand steigt in Abhängigkeit der Schlag- bzw. Betriebsgröße und der Genauigkeit der Bonitur. Schätzung/Messung der Gesamterträge (Trockenmasse dt/ha), Hilfen zur Ertragsschätzung s. Kap. 3.1, Tabellen 13 und 15
Pauschale Annahmen	Leguminosenertragsanteil (dt TM) x Faktor 3,5
Berechnungsaufwand	gering
Aussagefähigkeit	eingeschränkt, indirekte Berücksichtigung der N-Mengen in der Stoppel- und Wurzelmasse in dem vorgeschlagenen Faktor, keine Einbindung des bodenbürtigen N-Angebotes, bei neu angesäten Beständen werden die anfangs geringen N ₂ -Fixierungsraten überschätzt.

B) Erweiterte Verfahren der N₂-Fixierungsabschätzung von Futterleguminosen

Eine Verbesserung des Schätzergebnisses kann erfolgen, wenn bestimmte pflanzenbauliche und bodenkundliche Parameter zusätzlich erhoben werden können. Dies setzt jedoch einen höheren insbesondere zeitlichen Aufwand auch im Hinblick auf mögliche Zusatzuntersuchungen voraus. In der Regel ist es nicht möglich, die hierzu notwendigen Parameter exakt zu erheben, so dass die Kalkulation auf der Basis geeigneter Schätzgrößen erfolgen muss.

In Anlehnung an BIERMANN (1995) sowie REENTS (2003, mündl. Mitteilung) werden folgende Grunddaten bzw. Annahmen für die Berechnung vorgeschlagen:

- Gesamtertrag (TM),
- Leguminosenertragsanteil,
- N-Gehalt in Spross und Ernte-Wurzelrückständen (EWR),
- Verhältnis EWR zum oberirdischen Aufwuchs: 0,6-0,9 : 1,
- N_{dfa} : 70–95 %.

Schätzformel

$$N_{\text{fix}} \text{ in kg/ha und } a = (\text{kg } N_{\text{Spross}} + \text{kg } N_{\text{EWR}}) \cdot \text{Leguminosenertragsanteil} \cdot N_{\text{dfa}}$$

Erläuterung:

kg N im Spross = dt/ha TM-Ertrag oberirdischer Aufwuchs • % N in TM
(Ertragsangaben s. Tab. 13 Kapitel 3.1.1.2; N-Gehalte s. Tab. 12 Kapitel 3.1.1.1)

kg N in EWR = 0,6–0,9 • dt TM-Ertrag des oberirdischen Aufwuchses • % N in EWR
(N-Gehalte der EWR = 1,5–2,0 %)

N_{dfa} = Anteil der symbiotischen N-Bindung am Gesamt-N-Gehalt der Pflanze
= ca. 70–95 %

N_{dfa} = Nitrogen derived from the atmosphere

Da der Anteil der in der Sprossmasse der Leguminosen befindlichen Stickstoffmenge aus der Luft (N_{dfa}) auf Betriebsebene nicht messtechnisch bestimmt werden kann, ist es erforderlich, begründete Annahmen zu treffen, unter welchen Bedingungen (u. a. Anbauform (Gemenge oder Reinsaat), Nährstoff- und Wasserversorgung, Witterungsbedingungen) niedrigere bzw. höhere Faktoren verwendet werden sollten.

- Bei Leguminosenreinbeständen ist tendenziell von einem geringeren N_{dfa} auszugehen (Faktor: 70 %) (SCHMIDTKE 1997).
- Niedrige pH-Werte im Boden (<5) hemmen die symbiotische N₂-Fixierungsleistung.
- Höhere Gehalte an Nitrat-Stickstoff im Boden können die symbiotische Stickstofffixierung hemmen.

- Hohe Ertragsanteile an Leguminosen in Gemengen steigern im Grundsatz die Menge an symbiotisch fixiertem Stickstoff, wobei Leguminosenreinbestände zu tendenziell niedrigeren Fixierungsleistungen führen können.
- In Leguminosen-Gras-Beständen vermindern die Nichtleguminosen den Vorrat an pflanzenverfügbarem Stickstoff, so dass die Leguminosen in stärkerem Maße gezwungen sind, ihren Stickstoffbedarf aus der Symbiose zu decken. Die N₂-Fixierungsleistung und der Anteil Stickstoff aus der Luft in der Leguminose können daher im Gemenge höher liegen als in Reinsaat (N_{dfa}-Faktor: >80–95 %).

Tab. 64: Beispielskalkulation der fixierten N-Menge im Feldfutterbau bei einem Leguminosen-ertragsanteil von 70 % und einem Bruttoertrag von 60 dt TM pro ha

Ernteprodukt		Ernte-Wurzelrückstände		Leguminosen-anteil	N _{dfa}	N _{fix} in kg/ha/a
TM-Ertrag	N in TM	TM-Ertrag	N in TM			
[dt/ha]	[%]	[dt/ha]	[%]	[%]	[%]	
60	2,7	42	1,5	70	80	
=	((60 • 2,7)	+	(42 • 1,5))	• 70/100	• 80/100	= 126

Beurteilung der Methode	
Datenanforderung	Bonitur der Leguminosenertragsanteile im Bestand (3- oder 5-stufige Skala s. Tab. 62) Schätzung/Erhebung der Gesamterträge (Trockenmasse dt/ha), s. Kap. 3.1, Tabellen 13 und 15 Schätzung/Messung des N-Gehaltes in Aufwuchs (s. Kap. 3.1, Tab. 12 bzw. Futtermittelanalysen) und EWR
Pauschale Annahmen	Berücksichtigung der: N-Gehalte der Ernte- und Wurzelrückstände (Schätzwerte) N _{dfa} -Anteile (Schätzwerte)
Berechnungsaufwand	mittel
Aussagefähigkeit	verbesserte Orientierungswerte indirekte Einbindung des bodenbürtigen N-Angebotes über N _{dfa} -Anteil keine Berücksichtigung der Bröckelverluste bei der Ernte

Erweitertes PC-gestütztes Schätzverfahren

Im Folgenden wird ein PC-gestütztes Schätzverfahren (N-Saldo-Rechner; MS Excel, siehe CD) auf Grundlage des Ertrages und Leguminosenanteils sowie weiterer geschätzter Eingangsdaten in Anlehnung an das vorhergehende Kapitel vorgeschlagen. Der Ertrag kann entweder direkt eingegeben werden (vgl. Kap. 3.1.1.2, Tab. 13) bzw. eine Schätzung des Bruttoertrages über die mittlere Bestandeshöhe vorgenommen werden, sofern es sich um dichte Bestände handelt (siehe Schätzverfahren Kap. 3.1.1.2, Tab. 15).

Auf Grundlage des Brutto-Trockenmasseertrages von Luzerne-Kleegrassbeständen und in Abhängigkeit des Leguminosenanteils (visuell geschätzt (s. Schätztrainer auf CD) oder ange-

nommen) wird die N-Fixierungsleistung des Aufwuchses errechnet. Zur Ermittlung der N-Flächenbilanz können zusätzlich Bröckel- bzw. Ernteverluste berücksichtigt werden. Das Schätzverfahren umfasst die Abschätzung der N₂-Fixierung bei unterschiedlicher Futter- bzw. Mulchnutzung (Stilllegung).

Formeln und Schätzwerte sind aus der Literatur abgeleitet (u. a. BIERMANN 1995, SCHMIDT 1997, HØGH-JENSEN et al. 2003). Die in den Eingabemasken vorgeschlagenen Schätzwerte kann man durch eigene Mess- oder Schätzwerte ersetzen bzw. variieren, um deren Einfluss auf die N₂-Fixierungsleistung und den N-Flächenbilanzsaldo zu visualisieren. Der Anteil des Stickstoffs aus der N₂-Fixierung, getrennt nach Leguminosen und Gras (Transfer-N), kann durch eine lineare Anpassung beider Anteile auf dem Arbeitsblatt „erweiterte Eingaben“ verändert werden. In diesem Arbeitsblatt kann man in Abhängigkeit des Futtererwerbverfahrens auch den TM-Gehalt und die Bröckelverluste bzw. bei Mulchnutzung den TM-Gehalt sowie den Anteil der gasförmigen N-Verluste (5–15 %) variieren.

Die Bröckelverluste können je nach Art der Futterwerbung geschätzt bzw. aus Kapitel 3.1.1.3 entnommen werden. Dies ist bei Heuwerbung von besonderer Bedeutung, da u. U. viel N-reiches Blattmaterial auf der Fläche zurückbleibt, was wie eine Düngung anzusehen ist. Bröckelverluste haben einen deutlich positiven Einfluss auf den N-Flächensaldo und können eine Hemmung der Fixierungsleistung ähnlich wie bei Mulchung im Gegensatz zur Schnittnutzung bewirken (SCHMITT und DEWES 1997b, LOGES und TAUBE 1999).

Graphisch dargestellt werden neben Brutto- bzw. Nettoertrag die gesamte fixierte N-Menge, deren Anteil in Stoppel, Wurzel und Boden, die N-Abfuhr (Erntegut) sowie der N-Saldo pro ha.

Dateneingabe (Basis)			
mittlere Bestandeshöhe	[cm]	45	
Ernte-Ertrag (eigene Ermittl.)	[dt FM/ha]		
Art der Nutzung (aus Liste rechts auswählen) <i>Bsp.: Mulchnutzung Kommentar beachten!</i>		<input type="checkbox"/> Grünfütter <input checked="" type="checkbox"/> Anweklage <input type="checkbox"/> Bodenheue <input type="checkbox"/> Mulch	
Ernte-/Bröckelverluste (eigene Schätz.)	[%]		
Leguminosenanteil	[%]	70	
Dateneingabe (erweitert)			
N-Gehalt in Leguminosen (im Bruttoertrag)	[% N in TM]	3	
N-Gehalt in Gras	[% N in TM]	2,5	
Verhältnis N in Brutto-Ertrag der Leguminosen zu N in Leguminosenstoppel-/wurzel und Boden	1 :	0,8	
N-Gehalt der Bröckelverluste:	in Leguminosen [% N in TM]	4	
	in Gras [% N in TM]	3	
Ergebnisse			
Trockenmasse-Ertrag (brutto) bei 5 cm Schnitthöhe	[dt/ha TM]	40	
Trockenmasse-Ertrag (geerntet)	[dt/ha TM]	32	
N ₂ -Fixierungsleistung	[kg N / ha]	138	
	[kg N / dt TM]	3,4	
N-Saldo	[kg N / ha]	54	

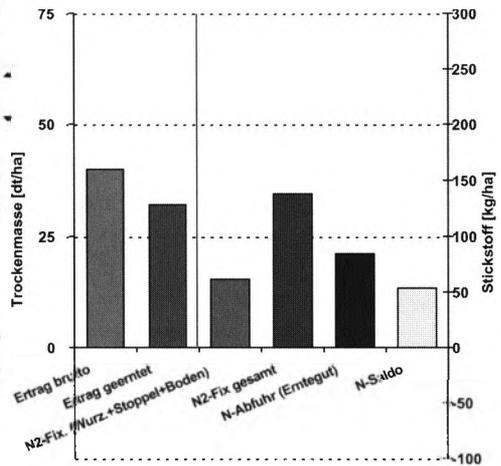


Abb. 7: Ein-/Ausgabemaske des Kalkulationswerkzeuges (N-Saldo-Rechner) zur Berechnung der fixierten N-Menge und des N-Saldos

Beurteilung der Methode	
Daten-Anforderung	Erfassung der mittleren Bestandeshöhe (Ertragsabschätzung, vgl. Kap. 3.1.1.2, Tab. 15) Bonitur der Leguminosenertragsanteile im Bestand (5-stufige Skala, s. Tab. 62) durch eine differenzierte Bonitur der Leguminosen-/Nichtleguminosenertragsanteile (z. B. bei der Ernte) kann das Schätzergebnis deutlich verbessert werden. Der hierzu notwendige Zeitaufwand steigt in Abhängigkeit der Schlag- bzw. Betriebsgröße und der Genauigkeit der Bonitur. Schätzung der Ernte- und Bröckelverluste in %
Pauschale Annahmen	N-Gehalt in Leguminosen: 3 % (variierbar) N-Gehalt im Gras: 2,5 % (variierbar) Verhältnis der N-Mengen in Leguminosen-Aufwuchs zu Stoppel + Wurzel + Boden von 0,6 (variierbar) N-Gehalt der Ernte- und Bröckelverluste: Leguminosen 4 %, Gras 3 % (variierbar)
Berechnungsaufwand	mittels EDV gering
Aussagefähigkeit	abhängig von Güte der Schätzwerte Angaben zu fixierter N-Menge, N-Entzug und N-Saldo pro Fläche indirekte Berücksichtigung des bodenbürtigen N-Angebotes über N _{dfo} -Anteile Angaben zu Rohproteingehalt im Erntegut insbesondere für Berater nutzbar zur Planung bzw. prognostischen Abschätzung von Bewirtschaftungsänderungen etc.

3.4.1.2 Körnerleguminosen

Vorbemerkungen

- Eine sortenspezifische Unterscheidung in Bezug auf die N₂-Fixierung bei den verschiedenen Körnerleguminosen erfolgt aufgrund der z. Z. noch zu geringen Kenntnisse nicht.
- Der Einfluss von Untersaaten auf die N₂-Fixierung von Körnerleguminosen, die erst nach Ansaat der Körnerleguminosen in die Bestände eingesät werden, ist als gering einzuschätzen.
- Nährstoffgehalte sind entweder aus eigenen Untersuchungen bzw. aus den vorgeschlagenen Kennzahlen in Kapitel 3.1.1.1 zu entnehmen.
- Körnerleguminosen, deren Ertrag geerntet und verkauft wird, tragen nicht nennenswert zur N-Bilanz bei.

Vereinfachtes Schätzverfahren (Grobanalyse) (A)

Im Folgenden sind Vorschläge zur Abschätzung der N₂-Fixierungsleistung dargestellt, die ohne großen Datenerfassungs- bzw. -dokumentationsaufwand möglich sind. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass Einschränkungen bei der Interpretation der Ergebnisse gemacht werden müssen. Betriebs- und standortspezifische Besonderheiten finden keine Berücksichtigung.

Erweitertes Schätzverfahren (B)

Zur Erhöhung der Genauigkeit des Bilanzergebnisses ist es erforderlich, neben der Ertragsleistung des Bestandes bestimmte weitere Größen im Rahmen der N₂-Fixierungsabschätzung mit einzubeziehen:

- N-Gehalte in Korn und Ernte-Wurzelrückständen (EWR) (in kg/ha)
- Anteil Stickstoff in der Leguminose, der aus der Luft stammt (N_{dfa}: Nitrogen derived from the atmosphere)
- Angebot an bodenbürtigem Stickstoff
- Niederschläge in der Kornfüllungsphase
- Kornverluste beim Drusch

Daher werden verschiedene Verfahren dargestellt, die unterschiedliche Anforderungen an die Datengrundlagen stellen. Gleichzeitig kann aber auch ersehen werden, welche Daten notwendig sind, wenn die vorgenommene Abschätzung genauer werden soll.

A) Vereinfachtes Verfahren der N₂-Fixierungsabschätzung von Körnerleguminosen

Die Menge symbiotisch fixierten Stickstoffs entspricht rechnerisch in etwa der mit den Körnern vom Felde abgeführten N-Menge (zu ermitteln über Kornertrag und N-Gehalt der Körner) (HAUSER 1987, KÖPKE 1987). Wie in Kapitel 3.4.1.1 bereits dargestellt, werden zur Umsetzung der DÜNGEVERORDNUNG (1996) von den zuständigen Behörden der einzelnen Bundesländer Richtwerte für die anzurechnende symbiotische N-Bindung durch Körnerleguminosen zur groben Orientierung dargelegt. Tabelle 65 gibt hierzu einen Überblick.

Tab. 65: Höhe der N-Bindung durch Körnerleguminosen (in Anlehnung an empfohlene Kalkulation der einzelnen Bundesländer)

Fruchtart	Ertrag [dt/ha Frischmasse]	N-Bindung	
		kg/dt	kg/ha
Ackerbohnen	35	3,7	130
Erbsen	30	3,5	105
Blaue Lupine	25	3,5	88

Beurteilung der Methode

Datenanforderung	Messung/Schätzung der Gesamterträge
Pauschale Annahmen	N-Gehalt wie angegeben bzw. aus Tabelle 11, Kapitel 3.1.1.1, Erfahrungswerte
Berechnungsaufwand	gering
Aussagefähigkeit	Orientierungswerte für Ackerbohnen, Erbsen und Lupinen, Angaben für Gemengeanbau mit Getreide fehlen, keine Berücksichtigung des bodenbürtigen N-Angebotes.

B) Erweitertes Verfahren der N₂-Fixierungsabschätzung von Körnerleguminosen

analog zu Futterbau (in Anlehnung an BIERMANN 1995 und SCHMIDTKE 2004)

Berücksichtigung von

- Gesamtertrag (TM)
- N-Gehalt in Korn und Ernte-Wurzelrückständen (EWR),
- Verhältnis Kornertrag zu EWR: 1 : 1,5
- N_{dfa} : 60–90 %.

Schätzformel

$$N_{\text{fix}} \text{ in kg/ha und } a = (\text{kg } N_{\text{Korn}} + \text{kg } N_{\text{EWR}}) \cdot N_{\text{dfa}}$$

Erläuterung:

$$\text{kg N im Korn} = \text{dt/ha TM-Kornertrag} \cdot \% \text{ N in TM}$$

(Ertragsangaben s. Kapitel 3.1.1.2; N-Gehalte s. Kapitel 3.1.1.1)

$$\text{kg N in EWR} = 1,4\text{--}2 \cdot \text{dt/ha TM-Kornertrag} \cdot \% \text{ N in EWR}$$

(N-Gehalte der EWR = ca. 1,2 – 1,6 %)

$$N_{\text{dfa}} = \text{Anteil der symbiotischen N}_2\text{-Bindung am Gesamt-N-Gehalt der Pflanze} = \text{ca. } 60\text{--}90 \%$$

$$N_{\text{dfa}} = \text{Nitrogen derived from the atmosphere}$$

Beurteilung der Methode

Datenanforderung	Schätzung/Messung der Kornerträge (TM dt/ha) Schätzung/Messung des N-Gehaltes in Korn und EWR
Pauschale Annahmen	Berücksichtigung der: - N-Gehalte der Ernte- und Wurzelrückstände (Schätzwerte) - N _{dfa} -Anteile (Schätzwerte)
Berechnungsaufwand	mittel
Aussagefähigkeit	verbesserte Orientierungswerte keine direkte Einbindung des bodenbürtigen N-Angebotes keine Berücksichtigung der Druschverluste bei der Ernte

Der N-Bilanzsaldo von Körnerleguminosen wird nach SCHMIDTKE (2004) deutlicher als die N₂-Fixierungsleistung durch die Witterung während der Blüh- und Kornfüllungsphase beeinflusst. Trockene und warme Bedingungen führen zu einer effektiven N-Verlagerung ins Korn, so dass ein nur leicht positiver bis negativer N-Saldo resultiert. Feucht-kühle Bedingungen führen u. a. vermehrt zu vegetativem Wachstum und damit zu deutlich positiven N-Salden.

3.4.1.3 Grünland

Für die Höhe der N-Bindung im Grünland wird häufig pauschal der Wert 30 kg/ha angegeben. Hierbei werden weder der Gesamtertrag noch der Leguminosen-Ertragsanteil im Bestand berücksichtigt.

Ähnlich wie beim Feldfutterbau (vgl. Kap. 3.4.1.1) kann auch für Grünlandbestände eine verbesserte Schätzung der N₂-Fixierung vorgenommen werden. Da es sich bei Grünlandbeständen in der Praxis meist um Weißklee als Gemeengepartner handelt, wird zur Schätzung der fixierten N-Menge vorgeschlagen, den Leguminosenertragsanteil (dt Trockenmasse pro ha) mit dem Faktor 3,0 zu multiplizieren (ELSÄBER 1999). Wichtig dabei ist, dass im Mittel aller Aufwüchse der Leguminosenanteil geschätzt wird.

Faustregel für Grünlandbestände:
 3,0 kg fixierter N pro dt Weißklee-Trockenmasseertrag (oberirdischer Aufwuchs)

Tab. 66: Beispiel: Menge fixierten Stickstoffs für Grünland in Abhängigkeit des Leguminosenertragsanteils

Bruttoertrag TM dt/ha/a	N in kg/ha und a bei einem Weißkleeanteil von					
	5 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
40	6	12	24	36	48	60
60	9	18	36	54	72	90
80	12	24	48	72	96	-
100	15	30	60	90	120	-

Beurteilung der Methode	
Datenanforderung	Messung/Schätzung der Gesamterträge entsprechend Kapitel 3.1.1.2, Tabelle 15 Schätzung der Weißklee-Ertragsanteile
Pauschale Annahmen	Leguminosenertragsanteil (TM) x Faktor 3,0
Berechnungsaufwand	gering
Aussagefähigkeit	zufriedenstellend keine Berücksichtigung der N-Gehalte in Spross, Ernte- und Wurzelrückständen je nach Nutzung: - bei Futterwerbung keine Berücksichtigung der Bröckelverluste - bei Beweidung: keine Berücksichtigung von Verlusten und Kot-/Harneinträgen

3.4.1.4 Hilfe zur Datenerhebung/-dokumentation unter Praxisbedingungen

Im Folgenden wird eine Einschätzung der Wichtigkeit der erforderlichen Daten für die Erstellung von Nährstoffbilanzen gegeben. Hiermit sollen auch Hilfestellungen zur Verbesserung der Datendokumentation auf den Betrieben gegeben werden.

Art der Daten	Ermittlungsart	Wichtigkeit
Feldfutterbau		
Gesamtertrag und Leguminosenertragsanteil	Schätzung/Messung	sehr wichtig
N-Gehalt im Erntegut	Schätzung/Messung (Futteranalysen)	wichtig
Ernteverluste	Schätzung	wichtig
Bodenbürtiges N-Angebot	Schätzung/Messung	Zusatzinformation
Körnerleguminosen		
Ertrag	Messung/Schätzung	sehr wichtig
N-Gehalt im Erntegut	Schätzung/Messung	wichtig
Ernteverluste	Schätzung	wichtig
Bodenbürtiges N-Angebot	Schätzung/Messung	Zusatzinformation
Grünland		
Gesamtertrag und Leguminosenertragsanteil	Schätzung/Messung	sehr wichtig
Ernteverluste	Schätzung	wichtig
Nutzungsform	Aufzeichnung	wichtig

3.4.2 Maßnahmen zur Erhöhung der Stickstoffeffizienz

In den folgenden Empfehlungen zur Erhöhung der N₂-Fixierungsleistung sowie zur Reduktion der N-Verluste wurden Angaben verschiedener Autoren (u. a. BACHINGER et al. 1996, HAAS 2003, HEB 1989, 1990, JUSTUS und KÖPKE 1991, 1995, KÖPKE 1990, SCHELLER und Vogtmann 1995, SCHMIDTKE 1997, 2004, SCHMITT und DEWES 1997b, SIMON 1996, WEBER et al. 2000) berücksichtigt.

Erhöhung der N₂-Fixierungsleistung

- Im Feldfutterbau ist ein Leguminosenertragsanteil im Bestand zwischen 70 und 80 % (bezogen auf Frischmasse) zur Erzielung einer positiven N-Flächenbilanz anzustreben.
- Eine Erhöhung des Leguminosenanteils in Gemengen wird durch Schnittnutzung begünstigt. Gräser werden im Gemengeanbau durch Düngung (Stilllegung, Mulch, Bröckelverluste) und hohe Niederschläge gefördert.
- Eine Erhöhung der Etablierungssicherheit ist anzustreben (z. B. Leguminosen einmal zur Blüte kommen lassen. In Gegenden mit Vorsommertrockenheit sind bei Etablierung von Leguminosengras als Untersaat in Wintergetreide Ansaatverfahren mit ausreichender Bodenbedeckung des Saatgutes zu verwenden!).
- Die N-Fixierungsleistung wird reduziert durch Düngung (Mulch, Bröckelverluste) und hohe bodenbürtige Mineralisierungsraten.

- Schnittnutzung (Futterwerbung) führt zu deutlich höherer Fixierungsleistung von Luftstickstoff als Mulchen (Grünbrache). Vor allem mehrmaliges Mulchen wirkt auf die N_2 -Fixierung zweifach negativ. Die Düngewirkung hemmt direkt die N_2 -Fixierung und erhöht außerdem den Gemengepartner Gras.
- Die höchsten Fixierungsraten werden zur Zeit der Blüte und Hülsenbildungsphase (bei Körnerleguminosen) erreicht. Deshalb Ernte- und Mulchmaßnahmen erst danach durchführen.
- Futterleguminosen-Brachen erst ab Zeitpunkt ‚Mitte Blüte‘ der Futterleguminose mulchen, da dann der Jahres-N-Ertrag am höchsten ist.
- Wenn möglich Leguminosen-Zwischenfruchtanbau in die Fruchtfolge integrieren; bei Blank- oder Stoppelsaaten Körnerleguminosen-Zwischenfrüchte anbauen im Gemenge mit Nichtleguminosen.
- Die N_2 -Assimilation der Leguminosen ist abhängig von der Bodentemperatur ($>6\text{ }^\circ\text{C}$) und der Vegetationsdauer: Legume Stoppelfrüchte beginnen in der Regel erst nach >5 Wochen mit der N-Selbstversorgung. Bis dahin wird zum Stoffaufbau mehr N verbraucht als assimiliert. Saatzeiten nach dem 1. August bringen deshalb nur noch wenig N-Gewinn.
- Erhöhung der N_2 -Fixierung von Körnerleguminosen: Erhöhung des Kornertrages anstreben. Zur Sicherstellung geringer N-Mineralisationsraten und damit verbunden hoher N-Fixierungsraten Anbau in abtragender Fruchtfolgestellung. Gleichzeitig kann hierdurch ein positiver N-Flächenbilanzsaldo erzielt werden.
- Bei Anbau von Körnerleguminosen-Getreide-Gemenge auf besseren Standorten (AZ >50): Saatanteil des Getreides nicht höher als 10–15 % der Reinsaatstärke des Getreides wählen (hohe Verdrängung der Körnerleguminose durch das Getreide).
- In viehlosen Betrieben, die über eine Biogasanlage verfügen, kann zur Verwertung des Grünmasseertrages von Leguminosengrasgemenge auf Stilllegungsflächen und aus dem Zwischenfruchtanbau aus mehrfacher Hinsicht die N-Effizienz der Betriebe erhöht werden:
 1. Reduzierung der N-Verluste aus Mulchmaterial.
 2. Keine Reduzierung der N_2 -Fixierungsleistung durch N-Rezyklierung bei mehrmaligem Mulchen.
 3. Stickstoffreiche Rückstände aus der Vergärung als flexibel handhabbarer organischer N-Dünger.

Reduktion der N-Verluste

- Soll auf sandigen Böden nach Körnerleguminosen als Nachfrucht eine Sommerung (z. B. Mais) gebaut werden, so ist eine Grasuntersaat zu etablieren oder eine Winterzwischenfrucht anzubauen. Soll als Nachfrucht eine Winterung, z. B. Winterroggen, gebaut werden, so ist diese früh zu säen (ab Ende August).
- Auf auswaschungsgefährdeten Standorten sollten Untersaaten (Gras, Kruziferen) in Körnerleguminosen zum Abschöpfen von bodenbürtigem Stickstoff, der sich hauptsächlich in der Abreifungsphase bilden kann, eingesät werden. Kruziferen sind hierbei wegen ihrer besseren Nitratverwertung und ihres höheren Vorfruchtwertes gegenüber Gräsern überlegen. In trockenen Gegenden sind (Gras-)Untersaaten Stoppelsaaten wegen der deutlich höheren Etablierungssicherheit vorzuziehen.

- Auf leichten Böden sollte der Leguminosenumbruch so spät wie möglich erfolgen (Spätwinter/Vorfrühjahr). Es sollte eine möglichst tiefe Einarbeitung erfolgen (≥ 20 cm tief) mit dem Vorschäler. Ein Verfaulen oder Verschimmeln der eingearbeiteten Grünmasse ist nicht zu befürchten. Dadurch wurzelt die Folgefrucht tiefer (bildet im Zerfallsbereich der organischen Substanz die größte Wurzelmasse) und ist selber besser dürregeschützt.
- Werden auf leichten Böden überwinternde Nachfrüchte angebaut, so ist der Leguminosenumbruch direkt vor der Saat durchzuführen (keine pfluglose Einarbeitung), mit Packer und Walzen.
- Auf leichten Standorten vermindert eine Verschiebung des Umbruchzeitpunktes auf den Spätherbst, den Winter oder das Frühjahr die Gefahr von Stickstoffausträgen deutlich. Sowohl die Reduzierung der Arbeitsgänge als auch der Arbeitstiefe vermindert die Vorwintermineralisation. (Ideal: heiler Umbruch) Das Abernten des letzten Aufwuchses vor dem Umbruch (Futterbau) minimiert das Mineralisationspotenzial erheblich.
- Legume Gemenge sollten immer auch einen Ertragsanteil an nichtlegumen Partnern (Gräser/Kruziferen) von etwa 20 bis 25 % haben. Dies stabilisiert nicht nur die Ertragsicherheit, sondern minimiert auch das Auswaschungsrisiko, da mineralisierter Stickstoff gleich aufgenommen wird.
- Viehlose Betriebe sollten berücksichtigen, dass bei der Zersetzung von Pflanzenmulch (Stilllegung) Ammoniakverluste bis zu 3,4 kg NH₃-N je ha und Mulchen entstehen können.

3.5 Weitere Quellen für Stickstoffausträge und -einträge im Feld

Stickstoffverluste im Feld setzen sich zusammen aus Denitrifikation, Erosion und Auswaschung. Dem stehen N-Einträge aus der Atmosphäre (Immission) sowie der asymbiotischen N₂-Fixierung gegenüber. Aufgrund der vielen Einflussfaktoren sowie methodischer Probleme und des hohen analytischen Aufwandes ist eine Messung dieser Verlust- und Inputgrößen auf Betriebsebene im Rahmen des vorgestellten Bilanzansatzes nicht möglich.

Die Größenordnungen für die Denitrifikation, Immission und asymbiotische N₂-Fixierung an der Bodenbilanz kann daher nur aus Literaturdaten entnommen werden (vgl. Kap. 3.5.1–3.5.3). Vielfach werden zur Vereinfachung der Bilanzrechnung folgende Bilanzglieder gleichgesetzt:

$$\begin{array}{l} \text{N-Eintrag über die Atmosphäre} \\ + \\ \text{asymbiotische N-Bindung} \end{array} = \text{N-Verlust durch Denitrifikation}$$

Nach diesem Modell bleiben sie somit bilanzmäßig außer Ansatz (HEGE 1995).

Zu Fragen der Minimierung von Auswaschungsverlusten werden in den Kapiteln 3.1, 3.3 und 3.4 Handlungsempfehlungen zur Erhöhung der Stickstoffeffizienz gegeben bzw. auf einschlägige Literatur verwiesen (u. a. HAAS 2000, BUND und AGÖL 1997).

3.5.1 Denitrifikation

Durch mikrobielle und chemische Prozesse im Boden können Nitrate unter anaeroben Bedingungen zu gasförmigen Stickstoffverbindungen wie NO, N₂O, N₂ reduziert werden (u. a. SCHLEGEL 1985, FREDE et al. 1975). Hohe Bodenfeuchte mit Sauerstoffmangel sowie Bodentemperaturen >15 °C und eine neutrale Bodenreaktion sowie ein höheres Angebot an leicht umsetzbarer organischer Substanz begünstigen die Reduktionsprozesse (FREDE et al. 1975, JAGNOW 1979, OTTOW 1982).

Nach SCHOLLMAYER und NIEDER (1988) werden im gemäßigten Klima während der Vegetationszeit nicht mehr als 20–30 kg N/ha gasförmig durch Denitrifikation entbunden. SCHNEIDER und HAIDER (1992) bestimmten die jährlichen volatilen N-Verluste mit 6–20 kg N/ha. BENKISER et al. (1987) ermittelten bei direkt im Feld durchgeführten Messungen, dass die jährlichen Verluste 10–30 kg N/ha und Jahr nicht überschreiten. Allgemein ist die N₂O-Emission auf mineralischen Böden wesentlich geringer als auf organischen (ANDERSON und DOMSCH 1980).

Die Denitrifikation ist aufgrund der vielen Einflussfaktoren und der Probleme in der Methodik bisher schwer zu quantifizieren. Im Rahmen der hier vorgestellten Bilanzmethoden kann nur eine grobe Abschätzung erfolgen. Da ihr Anteil an der Stickstoffbilanzierung vergleichsweise gering einzuschätzen ist, wird sie häufig entsprechend o. a. Gleichung mit dem N-Eintrag sowie der asymbiotischen N₂-Bindung gleichgesetzt und erscheint somit nicht in der Bilanzrechnung. Sollte jedoch mit einer festen Größe kalkuliert werden, so wird vorgeschlagen, die u. a. Größe zu verwenden.

Bilanzierung:

Vorgeschlagene N-Verluste durch Denitrifikation: 10–20 kg N/ha und a

3.5.2 Immissionen (nasse und trockene N-Deposition)

Der Eintrag bzw. die Ablagerung von Stoffen aus der Atmosphäre auf die Vegetation, den Boden oder die Gewässer wird als Immission bzw. N-Deposition bezeichnet. Sie setzt sich zusammen aus der nassen Deposition (u. a. Regen, Schnee, Nebel) und der trockenen Deposition (u. a. Sedimentation von Partikeln, Adsorption von Gasen) (DÄMMGEN et al. 1996). Hohe N-Depositionen beeinträchtigen u. a. naturnahe terrestrische und aquatische Ökosysteme (Eutrophierung).

Zur Höhe des Stickstoffeintrages aus Niederschlägen und trockener Deposition gibt es keine flächendeckenden Messungen (NOLTE und WERNER 1991). Untersuchungen einzelner Standorte zeigen Schwankungen zwischen 10 und 40 kg N/ha und a bezogen auf Gesamtdeutschland (Tab. 67).

Tab. 67: N-Depositionsraten (Literaturzusammenstellung: gemessene und angenommene (*) Werte)

Bezugsraum	Autoren	Immission und trockene Deposition	
		kg N/ha und a	Gebiet
Neue Bundesländer	BUFE (1984)	32	Bad Lauchstädt
		33	Brandis
		27	Seehausen
		33	Bernburg
		32	Groß-Kreutz
		28	Potsdam
		18	Thyrow
		14	Müncheberg
	NOLTE und WERNER (1991) (Literaturauswertung)	40–>60	Erzgebirge
		19	sächsisches Hügelland
		45	Seehausen
		27	Seehausen
		13–41	Gesamtgebiet (NBL)
HÜLSBERGEN (1990)	30	(*)	
BIERMANN (1995)	30	(*)	
DÄMMGEN et al. (1996)	10	Raum Müncheberg, trockene und nasse Deposition	
Alte Bundesländer	BACH (1987)	20	(*)
	BAHR (1987)	14–22	Essen
	ISERMANN (1992)	30	(*)

In ländlichen Regionen mit geringen Viehdichten ist davon auszugehen, dass die N-Immissionen ca. 10–20 kg N/ha und a betragen, während in Industriegebieten sowie Regionen mit hohen Viehdichten etwa doppelt so hohe N-Immissionen auftreten können. Wenn im Rahmen der N-Bilanzierung mit einer festen Größe kalkuliert werden soll, so wird vorgeschlagen, die unten angegebenen Größen zu verwenden.

Bilanzierung:

Vorgeschlagene N-Menge aus Immissionen:

Industrieregionen: bis 30 kg N/ha und a

Ländliche Regionen: bis 15 kg N/ha und a

3.5.3 Asymbiotische N₂-Fixierung

Über die Höhe der asymbiotischen N₂-Fixierung liegen unterschiedliche Literaturangaben vor (Werte zwischen 0,8 bis 50 kg N/ha und a) (SCHUMANN et al. 1997). JAGNOW (1979) sowie MENGEL und KIRKBY (1987) geben 5–10 kg N/ha und a Zufuhr durch die asymbiotische N₂-Assimilation an. KAFFKA und KOEPF (1989) kalkulieren mit 5 kg N/ha und a.

Flächendeckende Messungen zur standortspezifischen Höhe der fixierten N-Menge liegen nicht vor, jedoch ist allgemein betrachtet die Höhe des N-Inputs über asymbiotische N₂-Fixierung vergleichsweise als gering einzuschätzen und vom Landwirt nicht beeinflussbar. Wenn im Rahmen der N-Bilanzierung eine Größenordnung angenommen werden soll, so kann die u. a. Spanne als Orientierung dienen.

Bilanzierung:

Vorgeschlagene N-Menge aus asymbiotischer N₂-Fixierung: 5 kg N/ha und a

4 Literatur

- AMON, B., T. AMON UND T. BOXBERGER (1998): Untersuchungen der Ammoniakemissionen in der Landwirtschaft Österreichs zur Ermittlung der Reproduktionspotentiale und Reduktionsmöglichkeiten. Forschungsprojekt Nr. L883/94, Institut für Land-, Umwelt- und Energietechnik der Universität für Bodenkultur, Wien
- ANDERSON, J.P.E. und K.H. DOMSCH (1980): Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. *Soil Sci.* 130: 211–216
- ANDERSSON, M., K.H. JEPSON and E. VON WACHENFELT (1994): Ammonia emission from different surfaces in livestock buildings. *Proc. of Int. Conf. on Agricultural Engineering, Milano.* 29.08.–1.09.1994: 185–186
- ANDERSSON, R., H. WESTENDARP, D. WALTER und B. LEHMANN (1998): Einfluß der Besatzdichte sowie des Auslaufes auf die Mastleistung bei Broilern. Tagungsband Nieders. Min. für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bez. Reg. Weser-Ems, Tierschutzdienst Niedersachsen. 1998: 92–94
- ANDERSSON, R., H. WESTENDARP und B. LEHMANN (1999): Ansätze und Folgen einer tiergerechteren Masthühnerhaltung. In: HOFFMANN, H. und S. MÜLLER (Hrsg.): Beiträge zur 5. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Berlin, 1999: 291–294
- ANDERSSON, R., L. LEON und J. BAUMEISTER (2002): Notwendigkeit und Akzeptanz des Sandangebotes in der ökologischen Broilermast. 4. Niedersächsisches Tierschutzsymposium. 21.–22.2.2002. Posterpräsentation
- AROGO, J., R.H. ZHANG, G.L. RISKOWSKI, L.L. CHRISTIANSON und D.L. DAY (1999): Mass transfer coefficient of ammonia in liquid swine manure and aqueous solutions. *J. Agricultural Engineering Research* 73: 77–86
- BACH, M. (1987): Die potenzielle Nitratbelastung des Sickerwassers durch die Landwirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland. *Gött. Bodenkundl. Ber.* 93: 186 S.
- BACHINGER, J., R. ROTH und A. WURBS (1996): Strategien der N-Verlustminimierung beim Körnerleguminosenanbau auf Sandstandorten Nordostdeutschlands in Anbausystemen des organischen und integrierten Landbaus. *Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges.* 79: 239–242
- BAHR, R. (1987): Stickstoffausträge aus Agrarökosystemen. *LÖLF-Jahresbericht*: 35–36
- BAUER, M., A. HEISSENHUBER, K. DAMME und M. KÖHLER (1996): Alternative Hähnchenmast welche Broilerherkunft eignet sich? *DGS 1996*, (44): 24–26
- BELOF, G., C. GAUL, K. FISCHER und H. LINDERMAYER (1998): Der Einsatz von Grassilage in der Schweinemast. *Züchtungskunde* 70: 372–388
- BENKISER, G., G. GANS, K.M. SYRING, K. HAIGER und D. SAUERBECK (1987): Denitrification losses from an inceptisol field treated with mineral fertilizer or sewage sludge. *Z. Pflanzenern. Bodenkde.* 150: 241–248
- BESSEI, W. (1993): Der Einfluss der Besatzdichte auf Leistung, Verhalten und Gesundheit von Broilern - Literaturübersicht. *Arch. f. Geflügelk.* 57: 97–102
- BESSEI, W. (1996): Verhalten von Broilern. *Jahrbuch für die Geflügelwirtschaft* 1996: 92–96
- BIERMANN, S. (1995): Flächendeckende, räumlich differenzierte Untersuchung von Stickstoffflüssen für das Gebiet der neuen Bundesländer. *Diss. Univ. Halle*: 123 S.

- BMVEL/UBA (Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft/ Umweltbundesamt) (2001): Abschlussbericht zum Projekt: Anpassung der deutschen Methodik zur rechnerischen Emissionsermittlung an internationale Richtlinien sowie Erfassung und Prognose der Ammoniak-Emissionen der deutschen Landwirtschaft und Szenarien zu deren Minderung bis zum Jahr 2010. UBA F + E Vorhaben FKZ 299 42 245/02
- BOCKMANN, H.-C., W. JUNGE und E. KALM (1997): Einflussfaktoren auf die Stickstoffausscheidung von Milchkühen. In: KÖPKE, U. & J.A. EISELE (Hrsg.): Beiträge zur 4. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Bonn: 502–509
- BOHNENKEMPER, O. (2000): Nährstoffangepasste Fütterung für Junghennen und Legehennen. Baubriefe Landwirtschaft 41: 23–26
- BOLDUAN, G. und H. JUNG (1990): Fütterungsmaßnahmen zur Stabilisierung der Magen-Darmflora beim Schwein. Lohmann-Information 9/10: 1–8
- BOLLER, B. (1988): Biologische Stickstoff-Fixierung von Weiß- und Rotklee unter Feldbedingungen. Landwirtschaft Schweiz 1: 251–253
- BOLLER, B. and J. NOESBERGER (1987): Symbiotically fixed nitrogen from field-grown white and red clover mixed with ryegrass at low levels of N-15-fertilization. Plant and Soil Vol. 104 (2): 219–227
- BOLLER, B., L. NESHEIM, J. LEHMANN und U. WALTER (1992): Einfluss von Gülle und mineralischer N-Düngung auf die Stickstoff-Fixierung von Weißklee. Landwirtschaft Schweiz, Band 5 (4): 149–151
- BOYER, J. (2000): Undergraduate Seminar: Zeolite in animal nutrition.
http://animsci.agrenv.mcgill.ca/courses/ugradsem/00_01/abstracts3.pdf
- BRINKER, S., H. SPIEKERS und E. PFEFFER (1994): Untersuchungen zur ökologischen und ökonomischen Ausrichtung der Schweinehaltung durch Wissenstransfer und planmäßige Fütterungsberatung. Schriftenreihe des Lehr- und Forschungsschwerpunktes „Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft“. Heft Nr. 17
- BUFE, J. (1984): Entwicklung einer Bilanzmethodik zur Quantifizierung der potenziellen Stickstoffbelastung der Gewässer durch die landwirtschaftliche Produktion für größere territoriale Einheiten in Abhängigkeit von Düngungs- und Ertragsniveau sowie experimentelle Untersuchungen zum Stickstoffeintrag durch die Niederschläge. Diss. Leipzig
- BUND und AGÖL (1997): Wasserschutz durch Ökologischen Landbau. Leitfaden für die Wasserwirtschaft. ISBN 3-00-001770-4: 148 S. Gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt
- BURGSTALLER, G. (1991): Praktische Schweinefütterung. Ulmer Verlag, Stuttgart
- CANH, T.T., A.J. AARNINK, M.W. VERSTEGEN and J.W. SCHRAMA (1998): Influence of dietary factors on the pH and ammonia emission of slurry from growing-finishing pigs. J. Animal Sci. 76: 1123–1130
- CHIUMENTI, R., F. DA BORSO and M. PINOSA (1992): Layer keeping systems with manure drying on belts: environmental effects. Proc. 19th world's poultry congress. Amsterdam 19–24 Sept. 1992, Vol 2: 282–287
- DÄMMGEN, U., L. GRÜNHAGE, A. KÜSTERS, W. MAX und H.-J. JÄGER (1996): Entwicklung und Erprobung eines Sammel-systems zur Erfassung sedimentierender Niederschläge. In

- DÄMMGEN, U. (Hrsg.): Untersuchungen zum chemischen Klima in Südostniedersachsen. Landbauforschung Völkenrode, SH 170
- DAMME, K. und R.-A. HILDEBRAND, (2002): Geflügelhaltung. Verlag Eugen Ulmer, 2002
- DE BODE, M.J.C. (1990): Vergleich der Ammoniakemissionen aus verschiedenen Flüssigmist-lagersystemen. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft & Verein deutscher Ingenieure (Hrsg.): Ammoniak in der Umwelt, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup: 34.1–34.13
- DEUTSCHE BODENKUNDLICHE GESELLSCHAFT (DBG) (1992): Strategien zur Reduzierung standort- und nutzungsbedingter Belastungen des Grundwassers mit Nitrat. Hrsg.: DBG, AG Bodennutzung in Wasserschutz- und -schongebieten: 42 S.
- DEWES, T. und E. AHRENS (1989): Einfluß der Berechnungsbasis auf die Interpretation von Daten zum C_{org} - und N_f -Umsatz bei Rotteprozessen unter besonderer Berücksichtigung des Einsatzes von Zuschlagstoffen. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 152: 1–6
- DEWES, T. und E. AHRENS (1990): Wechselwirkungen zwischen organischer Düngung und der Anwendung des biologisch-dynamischen Präparates P500 im aeroben Inkubationsversuch. Agribiol. Res. 43,(1): 65–73
- DEWES, T., E. AHRENS und O. WILLING (1991): Sickersaft-Austrag und Stickstoff-Fracht aus Mistmieten. J. Agronomy & Crop Science, 166: 145–151
- DEWES, T. (1996a): Biotisch und abiotisch bedingte NH_3 - Emissionen während der Lagerung von Stallmist. I. Einfluß von H- Ionenkonzentration und Temperatur. Agribiol. Res., 49: 203–210
- DEWES, T. (1996b): Effect of pH, temperature, amount of litter and storage density on ammonia emissions from stable manure. J. Agricultural Science, 127: 501–509
- DEWES, T., A. PETERSEN und L. SCHMITT (1996): Zur Frage der Unterflursicherung nichtstationärer Stallmistzwischenlagerung mit Bentonit oder Stroh. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 159: 337–342
- DEWES, T. (1997a): Biotisch und abiotisch bedingte NH_3 - Emissionen während der Lagerung von Stallmist. II. Einfluß der Menge an Einstreu und der Lagerdichte. Agribiol. Res., 50 : 17–25
- DEWES, T. (1997b) : Zusammensetzung und Eigenschaften von Sickerwasser aus Stallmiststapeln. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 160: 97–101
- DEWES, T. (1997c): Nährstoffverluste aus Wirtschaftsdüngern. Atmosphärische und hydro-sphärische Emissionen unter besonderer Berücksichtigung der Bevorratung von Festmist, unveröffentlicht
- DEWES, T. and E. HÜNSCHE (1998): Composition and microbial degradability in the soil of farmyard manure from ecologically-managed farms. Biol agri hort 16: 251–268
- DEWES, T. (1999): Ammonia emissions during the initial phase of degradation of solid and liquid cattle manure. Bioresource Technology: 1–4
- DÜNGEVERORDNUNG (1996): Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen. BGBl I 1996: 118

- DYCKMANS, A. (1986): Die Bedeutung des Weißklee (*Trifolium repens* L.) im Dauergrünland – sein Beitrag zur Ertragsleistung und N-Versorgung bei abgestufter intensiver Nutzung. Diss. Univ. Hohenheim
- ELSÄBER, M. (1984): Auswirkungen der Heubelüftung mit solarerwärmter Trocknungsluft auf Qualitätseigenschaften von Weidefutter. Diss. Univ. Hohenheim
- ELSÄBER, M. (1998): Düngung von Wiesen und Weiden. Merkblätter für die umweltgerechte Landbewirtschaftung, Nr. 13. Hrsg. Landesanstalt für Pflanzenbau, Forchheim, Rheinstetten: 8 S.
- ELSÄBER, M. (1999): Auswirkungen reduzierter Stickstoffdüngung auf Erträge, Futterwert und botanische Zusammensetzung von Dauergrünland sowie Nährstoffverhältnisse im Boden. Habil.-Schrift Univ. Hohenheim. Wiss.Verlag Dr. Fleck, Giessen
- FALTER, H. (1999): Fa. Iko-Erbslöh, Vertreiber von Zeolithen (mündl. Mitteilung)
- FAUSTZAHLEN FÜR LANDWIRTSCHAFT UND GARTENBAU (1993): HRSG. HYGRO AGRI DÜLMEN. 12. Auflage Verlags-Union Agrar. Frankfurt/Main
- FEDDERSEN, E. (1986): Untersuchungen zur Fruchtbarkeit und Konstitution in der Rinderzucht in Schleswig-Holstein. Diss. agr., Kiel
- FLACHOWSKY, G. (1993): Beiträge der Tierernährung zur Senkung der Umweltbelastung. Lohmann-Information 1993 (4): 1–9
- FLÜCKIGER, E. und J.M. BESSON (1989): Stickstoff- und Mineralstoffumsatz von Milchkühen in Abhängigkeit von Rationentyp und Produktionsphase unter besonderer Berücksichtigung umweltrelevanter Aspekte, ETH Zürich, Diss.
- FLÜGGE, C. (1994): Anteil von emittiertem Ammoniakgas an den Gesamtstickstoffverlusten bei der Lagerung von Legehennenkot. Diss. Bonn
- FREDE, H.-G., H. GEBHARDT und B. MEYER (1975): Größen, Ursachen und Bedingungen von Boden- und Dünger-N-Verlusten durch Denitrifikation aus dem Ap-Horizont einer Acker-Parabraunerde aus Löß. Göttinger Bodenkundl. Ber. 34: 69–213
- FRENKEN, A. (1989): Stickstoffverluste aus verschiedenen Stickstoffverbindungen des Legehennenkotes während der Lagerung in unterschiedlichen Haltungssystemen. Diss. agr. Universität Bonn
- HAAS, G. (1995): Betriebsbedingte Nährstoffbilanzen am Beispiel des Organischen Landbaus. In: Bundesarbeitskreis Düngung (Hrsg.), Nährstoffbilanz im Blickfeld von Landwirtschaft und Umwelt, Frankfurt: 93–110
- HAAS, G. (2000): Organischer Landbau in Grundwasserschutzgebieten. Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau, Habil. Schrift, Verlag. Dr. Köster, Berlin: 152 S.
- HAAS, G. (2003): Leistungsfähigkeit von Winter-Zwischenfrucht-Leguminosen. In: FREYER, B. (Hrsg.): Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Wien: 515–516
- HADORN, R. und C. WENK (1996): Einfluß verschiedenartiger Nahrungsfaserträger auf die Verwertung der Nährstoffe und der Energie beim Broiler. Teil 1: Futtereigenschaften, Mastleistung und Nährstoffumsetzung. Arch. f. Geflügelk. 60, 1996: 14–21, Teil 2: Energie- und N-Bilanz sowie Gesamtkörperzusammensetzung Arch. f. Geflügelk. 60 : 22–29

- HANSEN, L.L., C. BEJERHOLM, C. CLAUDI-MAGNUSSEN and H.J. ANDERSEN (2000): Effects of feeding including roughage on pig performance, technological meat quality and eating quality of pork. Proceedings of the 13th International IFOAM Scientific Conference, Geneva, Switzerland
- HARTUNG, E. (2002): Ammoniak-Emissionen der Rinderhaltung und Minderungsmaßnahmen. In: KTBL (Hrsg.) Emissionen der Tierhaltung – Grundlagen, Wirkungen und Minderungsmaßnahmen. KTBL-Schrift 406: 63–72
- HAUSER, S. (1987): Schätzung der symbiotisch fixierten Stickstoffmenge von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) mit erweiterten Differenzmethoden. Diss. agr. Univ. Göttingen
- HEGE, U. (1995): Nährstoffbilanz als Kontrollinstrument ordnungsgemäßer Landwirtschaft. In: Bundesarbeitskreis Düngung (Hrsg.), Nährstoffbilanz im Blickfeld von Landwirtschaft und Umwelt, Frankfurt: 129–137
- HEGE, U. und WEIGELT, H. (1991): Nährstoffbilanzen alternativ bewirtschafteter Betriebe. Landwirtschaftliches Jahrbuch 68: 403–407
- HEINDL, U., F.J. SCHWARZ und M. KIRCHGESSNER (1996): Zur Schätzung der Futtermittelaufnahme von Masttrindern. Züchtungskunde 68: 357–368
- HEISSENHUBER, A. und T. REITMAYR (1992): Beurteilung von Leistungssteigerungen in der Milchproduktion hinsichtlich Stoffausscheidung und ökonomische Effekte. Ber. Ldw. 70: 95–116
- HEB, J. (1989): Kleeergrasumbruch im Organischen Landbau – Stickstoffdynamik im Fruchtfolgeglied Kleeergras – Kleeergras – Weizen – Roggen. Dissertation Bonn
- HEB, J. (1990): Acker- und pflanzenbauliche Strategien zum verlustfreien Stickstofftransfer beim Anbau von Kleeergras im Organischen Landbau. Mitteiln. Gesellsch. Pflanzenbauwissenschaft. 3: 241–244
- HESSE, D., T. JAKISCH und H. VAN DEN WEGHE (1995): Aspekte zur artgerechten und umweltverträglichen Mastschweinehaltung unter Beachtung der Wirtschaftlichkeit. Bau und Technik in der landwirtschaftlichen Tierhaltung; Beiträge zur 2. Internationalen Tagung vom 14. und 15. März 1995 in Potsdam; Institut für Agrartechnik Bornim e.V., Humboldt-Universität zu Berlin: 373–380
- HØGH-JENSEN, H. and J. K. SCHJOERRING (2001): Rhizodeposition of nitrogen by red clover, white clover and ryegrass leys. Soil Biol. Biochem. 33: 439–448
- HØGH-JENSEN, H., LOGES, R., JENSEN, E. S., JØRGENSEN, F.V. and VINTHER, F. P. (2003): Empirical model for quantification of symbiotic nitrogen fixation in leguminous crops. www.orgprints.org/00000316/
- HOEGEN, B. und E. PFEFFER (1996): Nährstoffangepasste Fütterung – Möglichkeiten und Grenzen. Forschungsbericht; Heft Nr. 41. Lehr- und Forschungsschwerpunkt "Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft", Landw. Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
- HOY, S. (2001): Möglichkeiten zur Minimierung von gasförmigen Emissionen aus Mastgeflügelställen. In: Jahrbuch für die Geflügelwirtschaft: 44–48

- HÜLSBERGEN, K.J. (1990): Methodik zur Quantifizierung von Stoffflüssen im System Boden-Pflanze-Tier und Ableitung von Parametern des natürlichen Reproduktionsprozesses als Grundlage rechnergestützter Analysen in Landwirtschaftsbetrieben. Diss. Halle Wittenberg
- HÜLSBERGEN, K.-J. und W. DIEPENBROCK (1997): Das Modell REPRO zur Analyse und Bewertung von Stoff- und Energieflüssen in Landwirtschaftsbetrieben. In: Initiativen zum Umweltschutz 5. Umweltverträgliche Pflanzenproduktion. Deutsche Bundesstiftung Umwelt. Zeller Verlag Osnabrück: 159–183
- HÜNSCHE, E. (1995): Nährstoffgehalte in Wirtschaftsdüngern ökologisch bewirtschafteter landwirtschaftlicher Betriebe und ihre Einflußfaktoren – Erhebungsuntersuchung in Schleswig-Holstein. Diplomarbeit Univ. Kiel, unveröffentlicht
- ISERMANN, K. (1992): Nährstoffbilanzen und aktuelle Nährstoffversorgung der Böden. Berichte über Landwirtschaft. Sonderband 1992
- JAGNOW, G. (1979): Der Stickstoffkreislauf im Ackerbau als Ergebnis mikrobieller Stoffumwandlungen; Möglichkeiten zur Erfassung und Beeinflussung der Denitrifikation und biologischer Stickstoffbindung. Landbauforsch. Völkenrode, Sonderh. 47: 78–91
- JEROCH, H., G. FLACHOWSKY und F. WEIBBACH (1993): Futtermittelkunde. Gustav Fischer Verlag, Jena
- JEROCH, H., W. DROCHNER, W. UND O. SIMON (1999): Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere. Ulmer Verlag
- JEROCH, H. und S. DÄNICKE (2003): Faustzahlen zur Geflügelfütterung. In: Petersen: Jahrbuch für die Geflügelwirtschaft 2003. Ulmer: 107–133
- JUSTUS, M. und U. KÖPKE (1991): Ackerbohnen: Anbauverfahren zur Reduzierung von Nitratverlusten und Steigerung der Vorfruchtwirkung. Mitteilgn. Gesellsch. Pflanzenbauwissensch. 4: 331–334
- JUSTUS, M. und U. KÖPKE (1995): Strategies to reduce nitrogen losses via leaching and to increase precrop effect when growing faba beans. Biol. agric.hortic. 11: 145–155
- KAISER, S., M. SCHLÜTER und H.F. VAN DEN WEGHE (1998): Auswirkungen eiweißreduzierter Multiphasenfütterung auf Ammoniakemissionen, Nährstoffbilanz und Wirtschaftlichkeit in einem einstreulosen Mastschweineestall. In: Umweltverträgliche Mastschweineeställe, KTBL-Arbeitspapier 259: 66–90
- KAFFKA, S. and H. KOEPF (1989): A Case Study on the Nutrient Regime in Sustainable Farming. Biological Agriculture Horticulture, VL 6: 89–106
- KECK, M. (1997): Beeinflussung von Raumluftqualität und Ammoniakemissionen aus der Schweinehaltung durch Verfahrenstechnische Maßnahmen., Diss. Universität Hohenheim Stuttgart
- KELLY, H. (2002): Breeding and feeding pigs for organic production. In Proceedings of the 4th NAWWOA Workshop, Wageningen, NL, 24–27 March, 2001
- KIRCHGESSNER, M. (1997): Tierernährung. 10. Aufl., DLG-Verl. Frankfurt/M.: 582 S.
- KIRCHGESSNER, M., F.X. ROTH und W. WINDISCH (1993): Verminderung der Stickstoff- und Methanausscheidung von Schwein und Rind durch die Fütterung. Übers. Tierernährg. 21: 89–120

- KIRCHGESSNER, M., M. KREUZER, D.A. ROTH-MAIER, F.X. ROTH und H.L. MÜLLER (1991): Bestimmungsfaktoren der Güllecharakteristik beim Schwein. 2. Einfluss von Fütterungsintensität und den Anteilen an unverdaulichen sowie an bakteriell fermentierbaren Substanzen (BFS) im Futter. *Agribiol. Res.* 44: 325–344
- KOEPP, H., S. KAFFKA und F. SATTLER (1988): Nährstoffbilanz und Energiebedarf im landwirtschaftlichen Betriebsorganismus. Verlag Freies Geistesleben: 62 S.
- KOLENBRANDER, G. und J. DE LA LANDE CREMER (1967): *Stalmet en Gier*. Veenmann u. Zonen, Wageningen
- KÖPKE, U. (1990): Pflanzenbauliche Strategien für einen umweltverträglichen und standortgerechten Landbau – Vortrag auf der 42. Hochschultagung der Landwirtschaftlichen Fakultät der Univ. Bonn am 20. Februar 1990
- KÖPKE, U. (1993): Nährstoffmanagement durch acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen. *Berichte über Landwirtschaft, Sonderheft 207*: 181–203
- KREUZER, M., A. MACHMÜLLER, M.M. GERDEMANN, H. HANNEKEN and M. WITTMANN (1998): Reduction of gaseous nitrogen loss from pig manure using feeds rich in easily-fermentable non-starch polysaccharides. In: *Animal Feed Science and Technology* 73: 1–19
- KROODSMA, W., J.W.H. HUIS IN 'T VELD and R. SCHOLTENS (1993): Ammonia emission and its reduction from cubicle houses by flushing. *Livestock Production Sciences* 35: 293–302
- KRUTZINNA, C., E. BOEHNCKE und H.-J. HERRMANN (1996): Die Milchviehhaltung im ökologischen Landbau. *Ber.Ldw.* 74: 461–480
- KTBL (1999): *Betriebsplanung 1999/2000*, 16. Auflage, ISBN: 3-7843-2106-2
- KTBL (2002a): *Datensammlung: Emissionen der Tierhaltung – Grundlagen, Wirkungen und Minderungsmaßnahmen*. ISBN 3-7843-2143-7: 374 S.
- KTBL (2002b): *Ökologischer Landbau, Kalkulationsdaten*. Sonderveröffentlichung 043. 1. Auflage. 48084 Münster: 359 S.
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER HANNOVER (2004): <http://www.lwk-hannover.de/>
- LIEBERT, F. (1995): Der Einfluss einer abgestuften Energieversorgung auf Nährstoff- und Energieverwertung beim Broiler. *Arch. f. Geflügelk.* 59: 269–273
- LOGES, R. und F. TAUBE (1999): Ertrag und N₂-Fixierungsleistung unterschiedlich bewirtschafteter Futterleguminosenbestände. In: *Beiträge zur 5. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau*, Berlin: 101–104
- LOPOTZ, H. (1996): Biologische N₂-Fixierung von Klee-Reinbeständen und Klee-Grasgemengen unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses der N-Nachlieferung des Bodens. *Diss. Univ. Bonn*: 143 S.
- LWK Weser- Ems (1998): *Landwirtschaftskammer Weser-Ems. Institut für Tierzucht, Tierhaltung und Tiergesundheit. Informationsbroschüre Hähnchenmast in Weser- Ems. Referat T3*, 1998
- MARTINS, O. and T. DEWES (1992): Loss of nitrogenous compounds during composting of animal wastes. *Bioresource Technology*, 42: 103–111

- MAYER, J., F. BUEGGER, E., S. JENSEN, M. SCHLOTER, and J. HESS (2003): Residual nitrogen contribution from grain legumes to succeeding wheat and rape and related microbial process. *Plant and Soil* 255: 541–554
- MEIERHANS, D., H. WIDMER und H. MENZI (1996): Kotbelastung des Auslaufes bei der Freilandhaltung von Legehennen. In: Petersen, J. (Hrsg.) *Jahrbuch für die Geflügelwirtschaft* 1996, Ulmer Verlag: 43–48
- MENGEL, K. and E.A. KIRKBY (1987): *Principles of Plant Nutrition*. Int. Potash Inst. Bern, 4. edit
- MENNICKEN, L. (2001): Möglichkeiten der Minimierung gasförmiger Emissionen in Legehennenställen. In: *Jahrbuch für die Geflügelwirtschaft*: S. 37
- METZ, J.H., N.W. OGINK and M.C. SMITS (1995): Research on housing systems and manure treatment to reduce ammonia emissions in a dairy husbandry. In: LUTEN, W., SNOEK, H.;SCHUKKING, S., VERBOON, M.C. (eds.), *Applied Research for Sustainable Dairy Farming*. Research Station for Cattle, Sheep and Horse Husbandry, Lelystad: 36–39
- MÜLLER, H.-J. (1994): Geruchs- und Schadgasemissionsströme aus Tierhaltung. *Landtechnik* 49 (6): 360–361
- MÜLLER, J. und T. EILER (1995): Betriebsbedingte Nährstoffbilanzen am Beispiel eines Futterbaubetriebes. In: *Nährstoffbilanz im Blickfeld von Landwirtschaft und Umwelt*. Hrsg. Bundesarbeitskreis Düngung (BAD), Frankfurt/Main: 44–58
- NESER, S. (2001): *Gasförmige Emissionen aus Haltungssystemen für Legehennen*. Dissertation am Institut für Landtechnik der Technischen Universität München, 2001
- NEUENDORFF, J. (1996): Beitrag des Weißklee (*Trifolium repens* L.) zur Ertragsbildung von Grünlandnarben unter besonderer Berücksichtigung von Methoden zur Quantifizierung seiner Stickstoff-Fixierungsleistung. Diss. GHK Kassel: 131 S.
- NIEß, E. (1993): Strategien zur Minderung der Stickstoffeinträge in der Fütterung von Masthähnchen und Legehennen. In: 6. Wissenschaftliche Fachtagung für umweltverträgliche und standortgerechte Tierproduktion. Forschungsbericht, Heft 2, Bonn, 1993
- NOLTE, CH. (1989): Bilanzierung des Nährstoffkreislaufes auf dem biologisch-dynamisch bewirtschafteten ‚Boschheidehof‘ sowie Untersuchungen zum Phosphor- und Kaliumhaushalt in drei ausgewählten Böden im Vergleich zu drei Böden eines benachbarten konventionellen Betriebes. Diss. Univ. Bonn : 175 S.
- NOLTE, CH. und W. WERNER (1991): Stickstoff- und Phosphateintrag über diffuse Quellen in Fließgewässern des Elbeeinzugsgebietes im Bereich der ehemaligen DDR. *Schriftenreihe Agrarspectrum*, Band 19: 118 S.
- OLDENBURG, J. (1989): Geruchs- und Ammoniakemissionen aus der Tierhaltung. *KTBL-Schrift* 333
- OTTOW, J.C.G. (1982): Bedeutung des Reduktionspotenzials für die Reduktion von Eisen (III)-Oxiden und Nitrat in Böden. *Z. Pflanzenernähr. u. Bodenkd.* 145: 91–93
- PETER, W., S. DÄNICKE und H. JEROCH. (1998): Einfluß des Rohprotein- u. Energiegehaltes der Futtermittel auf die Entwicklung der chemischen Tierkörperzusammensetzung sowie des Abdominalfettanteils französischer „Lager“-Broiler. *Arch. Geflügelk.* 62: 132–140

- PETERSEN, J. (2003): Faustzahlen zur Eiqualität. In: Petersen, J. (Hrsg.) Jahrbuch für die Geflügelwirtschaft 2003, Ulmer Verlag: 157–162
- PIORR, A., M. BERG und W. WERNER (1991): Stallmistkompost im Ökologischen Landbau: Erhebungsuntersuchung zu Nährstoffgehalten und deren Beziehung zu Aufbereitungsverfahren. VDLUFA-Schriftenreihe, 34, Kongressband: 335–340
- PRIESMANN, T., J. PETERSEN, A. FRENKEN und W. SCHMITZ (1991): Stickstoffverluste aus Geflügelkot bei verschiedenen Haltungssystemen. Arch. Geflügelk. 55 (3): 97–104
- RAUHE, K. (1969): Der Einfluß des Futterbaus sowie der organischen und mineralischen Düngung auf C- und N-Gehalte des Bodens im Fruchtfolgeversuch Seehausen. Albrecht-Thaer-Archiv 13: 455–462
- REENTS, H.-J. (1991): Luftstickstoffbindung von Rotklee bei biologisch-dynamischen Maßnahmen. Schriftenreihe des Instituts für biologisch-dynamische Forschung e.V., Darmstadt, Band 1: 156 S.
- REINING, E., J. Bachinger und K. Stein-Bachinger (1999): Verfahren zur Abschätzung der symbiotisch fixierten N-Menge von Futter- und Körnerleguminosen als Grundlage von Planungswerkzeugen zur schlag- und fruchtfolgebezogenen N-Bilanzierung. In: Beiträge zur 5. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Berlin: 230–233
- ROHR, K. (1992): Verringerung der Stickstoffausscheidung bei Rind, Schwein und Geflügel. Landbauforschung Völkenrode. Sonderheft 132: 39–53
- ROTH, F.X. (1990): Möglichkeiten zur Minimierung der Stickstoffausscheidung bei Schwein und Rind. Tagungsbericht, Landbautechnik Weihenstephan: 51–57
- RUBELOWSKI, I. und A. SUNDRUM (1999): Zur Bedeutung der Schweinehaltung im Ökologischen Landbau. In HOFFMANN, H. & S. MÜLLER (Hrsg.): Beiträge zur 5. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Berlin: 218–221
- SHELLER, E. and H. VOGTMANN (1995): Case studies on nitrate leaching in arable fields of organic farms. Biological Agriculture & Horticulture 11: 91–102
- SCHLEGEL, H.-G. (1985): Allgemeine Mikrobiologie. Thieme-Verlag, Stuttgart
- SCHMIDT, H. (1997): Viehlose Fruchtfolgen im Ökologischen Landbau. Auswirkungen systemeigener und systemfremder Stickstoffquellen auf Prozesse im Boden und die Entwicklung der Feldfrüchte. Diss. Univ. Giessen: 171 S.
- SCHMIDTKE, K. (1997): Selbstregelung der N-Zufuhr im Ökologischen Landbau – ein Wirkungsmechanismus zum Schutz des Grundwassers? In: KÖPKE, U. und J. EISELE (Hrsg.): Beiträge zur 4. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau, Verlag Dr. Köster, Bonn: 21–27
- SCHMIDTKE, K. (2004): Stickstoffwirkung von Körnerleguminosen als Druschfrucht und von Zwischenfrucht-Leguminosen. In: SCHMIDT, H. (Hrsg.): Viehloser Öko-Ackerbau, Berlin: 26–29
- SCHMITT, L. und T. DEWES (1995): Düngungsstrategien zu Backweizen für Festmist und Flüssigmist erzeugende, ökologisch wirtschaftende Betriebe. In: DEWES T. und L. SCHMITT (Hrsg.): Beiträge zur 3. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Wiss. Fachverlag P. Fleck, Niederkleen: 301–304

- SCHMITT, L. und T. DEWES (1996): Sortenwahl und Wirtschaftsdüngung als Elemente zur Erzeugung von Qualitätsweizen im Ökologischen Landbau. In: Versuchsbericht Ökologischer Landbau 1995, Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein: 44–50
- SCHMITT, L. und T. DEWES (1997a): N-Effizienz verschiedener, unterschiedlich terminierter Wirtschaftsdüngung im Backweizenanbau. In: KÖPKE, U. und J. EISELE (Hrsg.): Beiträge zur 4. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau, Verlag Dr. Köster: 295–301
- SCHMITT, L. und T. DEWES (1997b): N₂-Fixierung und N-Flüsse in und unter Klee grasbeständen bei viehloser und viehhaltender Bewirtschaftung. In: KÖPKE, U. und J. EISELE (Hrsg.): Beiträge zur 4. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau, Verlag Dr. Köster: 258–264
- SCHOLLMAYER, G. und R. NIEDER (1988): Bedingungen und Ausmaße denitrifikativer Stickstoff-Verluste aus dem durchwurzelbaren Bereich landwirtschaftlich genutzter Böden. Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges. 57: 223–229
- SCHNEIDER, U. und K. HAIDER (1992): Denitrification- and nitrate leaching losses in an intensively cropped watershed. Z. Pflanzenernähr. und Bodenkde. 155: 135–141
- SCHUMANN, M., M. KÜCKE und E. SCHNUG (1997): Fallstudien und Konzeption zur Einführung bilanzorientierter Düngung in der deutschen Landwirtschaft. Studie im Auftrag des UBA Berlin, Sonderheft 180, Landbauforschung Völknerode
- SCHWARZ, F.J., U. HEINDL und M. KIRCHGESSNER (1996): Zur Schätzung der Grundfutteraufnahme von Milchkühen. Züchtungskunde 68: 65–76
- SIMON, W. (1996): Pflanzenbauliche Probleme der ökologischen Sandboden-Bewirtschaftung: Funktion der Leguminosen, Queckenbekämpfung. Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges. 79: 235–238
- SOMMER, S.G. (1992): Ammonia volatilization from slurry during storage and in the field. In: HELCOM nitrogen and agriculture international workshop, 9–12 April 1991, Schleswig. Balt. Sea Environ. Proc., 44: 17–27
- SOMMER, S.G., B.T. CHRISTENSEN, N.E. NIELSEN and J.K. SCHJØRRING (1993): Ammonia volatilization during storage of cattle and pig slurry: Effect of surface cover. J. Agric. Sci., 121: 63–71
- STEIN-BACHINGER, K. (1993): Optimierung der zeitlich und mengenmäßig differenzierten Anwendung von Wirtschaftsdüngern im Rahmen der Fruchtfolge organischer Anbausysteme. Diss. Univ. Bonn: 160 S.
- STEIN-BACHINGER, K. und J. BACHINGER (1997): Nährstoffbilanzen als Grundlage von Optimierungsstrategien für ökologisch wirtschaftende Großbetriebe Nord-Ostdeutschlands. In: KÖPKE, U. und J. EISELE (Hrsg.): Beiträge zur 4. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau, Verlag Dr. Köster: 109–114
- SUNDRUM, A. (1997a): Beurteilung der Auswirkung überhöhter Rohproteinversorgung beim Rind mit biochemischen und immunologischen Blutparametern. Habil.-Schrift, Köster-Verlag, Berlin
- SUNDRUM, A. (1997b): Stickstoffbilanzierung in der Milchviehhaltung am Beispiel von Betriebstypen. In: KÖPKE, U. und J. EISELE (Hrsg.): Beiträge zur 4. Wissenschaftstagung zum

- Ökologischen Landbau, Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau, Verlag Dr. Köster: 495–501
- SUNDRUM, A., E. PFEFFER und U. KÖPKE (1997): Beurteilung der Überversorgung mit Rohprotein für Leistung und Gesundheit von Mastbullen im Organischen Landbau. Forschungsberichte/Lehr- und Forschungsschwerpunkt „Umweltverträgliche und standortgerechte Landwirtschaft“ an der Landwirtschaftl. Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelm-Universität, Heft Nr. 43
- SUNDRUM, A., A. VALLE ZARATE; S. ROEB, I. RUBELOWSKI, U. SCHONE und R. WEBER (1999): Auswirkung von Grundfutter in der Schweinemast auf Tiergesundheit, Verhalten, Leistung und Produktionskosten unter den Prämissen des Organischen Landbaus. Forschungsbericht des Lehr- und Forschungsschwerpunktes „Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft der Universität Bonn, Nr. 71
- THIELEN, C. und E. KIENZLE (1995): Fütterungspraxis bei alternativ gehaltenen Mastschweinen - eine Feldstudie. . In: DEWES T. und L. SCHMITT (Hrsg.): Beiträge zur 3. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Wiss. Fachverlag P. Fleck, Niederkleen: 65–68
- Umweltbundesamt (1997): Daten zur Umwelt 1997. <http://www.umweltbundesamt.org/dzu>
- VAN DEN WEGHE, H. (2000): Umweltrelevante Aspekte der Hähnchenmast. Baubriefe Landwirtschaft, 41: 2000.
- VAN DEN WEGHE, H. (2002): Ammoniak-Emissionen der Schweinehaltung und Minderungsmaßnahmen. In: KTBL (Hrsg.) Emissionen der Tierhaltung – Grundlagen, Wirkungen und Minderungsmaßnahmen. KTBL-Schrift 406: 73–93
- VOGT (1991): Strategien für die N- und P-Ausscheidungen. In: JEROCH, H.: Faustzahlen zur Geflügelfütterung. Jahrbuch für die Geflügelwirtschaft, Ulmer, 1997: S. 123
- VOGTMANN, H. and J. M. BESSON (1978): European Composting Methods: Treatment and use of farm yard manure and slurry. Compost Science, Vol. 19 (1) : 15–19
- VOIGTLÄNDER, G. (1987): Weideführung, Weideerträge und Weideleistungen. In: Grünland und Futterbau. Hrsg.: VOIGTLÄNDER, G., JACOB, H., Verlag Eugen Ulmer GmbH und Co., Stuttgart
- VOORBURG J.H. and W. KROODSMA (1992): Volatile emissions of housing systems for cattle. Livestock Production Science 31: 57–70
- WEBER, A., R. GUTSER, U.SCHMIDHALTER und G. HENKELMANN (2000): Unvermeidbare NH₃-Emissionen aus mineralischer Düngung (Harnstoff) und Pflanzenmulch unter Verwendung einer modifizierten Messtechnik. VDLUFA-Schriftenreihe 55, Teil 2: 175–182
- WEIßBACH, F. (1995): Über die Schätzung des Beitrags der symbiontischen N₂-Fixierung durch Weißklee zur Stickstoffbilanz von Grünlandflächen. Landbauforschung Völknerode, Heft 2: 67–74

Anhang

Erläuterungen zum Inhalt der beigefügten CD:

1. PC-gestützter N-Saldo-Rechner von Klee-Luzerne-Grasgemengen unter Berücksichtigung von Leguminosenanteil und Ernteverlusten (Kalkulation und grafische Darstellung auf Basis von EXCEL),
2. Schätztrainer für den Leguminosenanteil von Klee-Luzerne-Grasgemengen (visuelles Trainingstool auf HTML-Basis).

Beide Werkzeuge im Verbund erleichtern dem Landwirt die Bewertung seiner Klee-Luzerne-Gras-Bestände in Hinblick auf N_2 -Fixierungsleistung und N-Saldo.

Zu 1):

Der N-Saldo-Rechner kalkuliert auf Grundlage des Brutto-Trockenmasseertrags und des Leguminosenanteils (visuell geschätzt (siehe Schätztrainer) oder angenommen) die N-Fixierungsleistung des Aufwuchses von Klee-Luzerne-Grasbeständen bei Schnitt- bzw. Mulchnutzung. Der Ertrag kann entweder direkt eingegeben (vgl. Kap. 3.1.1.2, Tab. 13) bzw. eine Schätzung des Bruttoertrages über die mittlere Bestandeshöhe vorgenommen werden, sofern es sich um dichte Bestände handelt (siehe Schätzverfahren Kap. 3.1.1.2, Tab. 15).

Zur Ermittlung des N-Flächenbilanz-Saldos werden zusätzlich Bröckel- bzw. Ernteverluste berücksichtigt. Die in den Eingabemasken vorgeschlagenen Schätzwerte kann man durch eigene Mess- bzw. Schätzwerte ersetzen bzw. variieren, um deren Einfluss auf die N_2 -Fixierungsleistung und den N-Flächenbilanzsaldo zu visualisieren. Der Anteil des Stickstoffs aus der N_2 -Fixierung, getrennt nach Leguminosen und Gras (Transfer-N), kann durch eine lineare Anpassung beider Anteile auf dem Arbeitsblatt „erweiterte Eingaben“ verändert werden. In diesem Arbeitsblatt kann man in Abhängigkeit des Futterwerbeverfahrens auch den TM-Gehalt und die Bröckelverluste bzw. bei Mulchnutzung den TM-Gehalt sowie den Anteil der gasförmigen N-Verluste (5–15 %) variieren.

Die Bröckelverluste können je nach Art der Futterwerbung geschätzt bzw. aus Kapitel 3.1.1.3 entnommen werden. Dies ist bei Heuwerbung von besonderer Bedeutung, da u. U. viel stickstoffreiches Blattmaterial auf der Fläche zurückbleibt, was einen deutlich positiven Einfluss auf den N-Flächensaldo hat.

Graphisch darstellt werden u.a.

- Brutto- bzw. Nettoertrag,
- die gesamte fixierte N-Menge,
- die fixierte N-Menge in Stoppel, Wurzel und Boden,
- N-Abfuhr/gasförmige N-Verluste aus Mulchmaterial sowie
- der N-Saldo pro ha.

Falls beim Öffnen der Excel-Datei die Meldung „Makros können Viren enthalten“ erscheint, bitte „Makros aktivieren“ auswählen! Es besteht keine Virengefahr.

Zu 2):

Der Leguminosenanteil im Aufwuchs bedingt neben dem Ertrag im Wesentlichen die Fixierungsleistung von Klee-Luzerne-Grasgemengen. Da die Schätzung des Leguminosenanteils im Bestand unter Praxisbedingungen schwierig ist, liegen in der Regel dem Landwirt hierzu keine Angaben vor.

Eine praktische Hilfe stellt das Schätztraining an Bildmaterial von Beständen mit ermittelten Masseanteilen dar. Das dem Buch auf CD beigefügte PC-gestützte Trainingsprogramm bietet eine kostengünstige und unterhaltsame Alternative zu Farbdrucken. Grundlage bildet eine umfangreiche Bilddatenbank (über 200 Bilder). Das Programm wurde in HTML programmiert und kann damit auf die Programmoberfläche der heute üblichen und auf den meisten PCs bereits installierten Internetbrowser zurückgreifen. Optimiert wurde das Programm für Internet Explorer >5.5 und Netscape >6.2.

Nach Mausklick werden per Zufallsgenerator Bilder ausgewählt und mit Zusatzinformationen wie Gesamtfrisch- und -trockenmasse am Bildschirm angezeigt. Mit Hilfe eines eingeblendeten Tastenfeldes mit Leguminosenanteilen in 20 %-Schritten kann eine Schätzung eingegeben werden (vgl. Kap. 3.4.1.1 Tab. 62). Erst nach Mausklick auf die richtige Bereichstaste wird eine Erfolgsmeldung mit dem gemessenen Trockenmasseanteil eingeblendet. Ein neues Bild wird nach Mausklick auf die Taste „neues Bild“ aufgerufen.

Zusätzliche Informationen zur Stickstofffixierung der abgebildeten Bestände können auf Wunsch (Pop-Up-Menü am linken Bildrand) eingeblendet werden. Dabei erscheinen Wertespannen (Minimum- und Maximumwert) der N₂-Fixierungsleistung, der Stickstoffzüge durch die Ernte (5 % bzw. 20 % kalkulierte N-Ernteverluste) und der daraus sich ergebende N-Saldo. Die zugrundeliegende Formeln bilden auch die Grundlage des oben beschriebenen N-Saldo-Rechners.

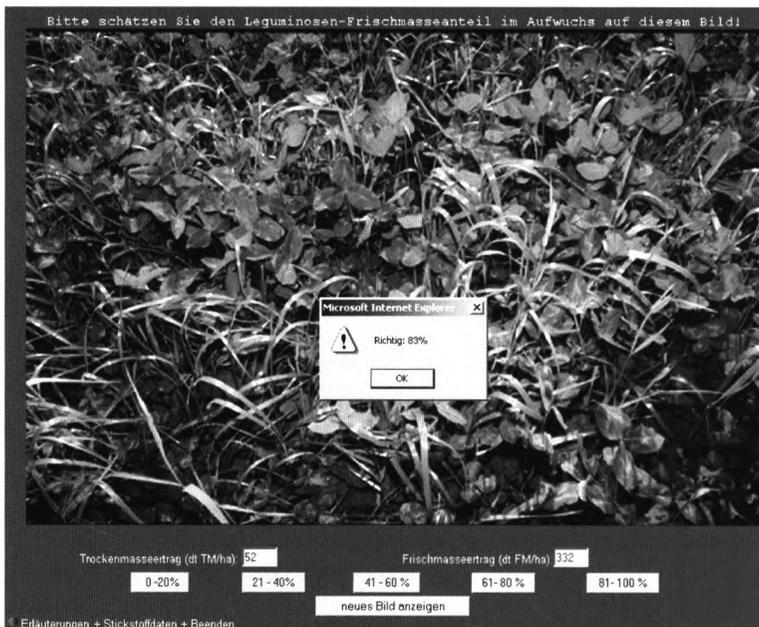


Abb. 8: Bildschirmansicht des Schätztrainers

Weitere KTBL-Veröffentlichungen



Datensammlungen, Betriebsführung

Taschenbuch Landwirtschaft 2002/03. Daten für betriebliche Kalkulationen in der Landwirtschaft. 2002, 21. Aufl., 279 S., mit CD-ROM, 24 €, ISBN 3-7843-2140-2 (Best.-Nr. 19473)

Taschenbuch Gartenbau. Daten für die Betriebskalkulation im Gartenbau. 1999, 5. Aufl., 256 S., 17 €, ISBN 3-7843-2105-4 (Best.-Nr. 19459)

Datensammlung Betriebsplanung Landwirtschaft 2002/2003. Daten für die Betriebsplanung in der Landwirtschaft zu Produktionsverfahren in der Außenwirtschaft. 2002, 18. Auflage, 379 S., mit CD-ROM, 22 €, ISBN 3-7843-2141-0 (Best.-Nr. 19470)

Datensammlung Bewirtschaftung großer Schläge. 2002, 2. Auflage, 268 S., 18 €, ISBN 3-7843-2142-9 (Best.-Nr. 19471)

Ökologischer Landbau. Kalkulationsdaten zu Ackerfrüchten, Feldgemüse, Rindern, Schafen und Geflügel zu Produktionsverfahren der Außenwirtschaft. 2002, 360 S., mit CD-ROM, 20 € (Best.-Nr. 19043)

Redelberger, H.: Management – Handbuch für die ökologische Landwirtschaft – Daten und Informationen für Analyse, Planung und Steuerung. 2004, 2 Bände, Preis auf Anfrage (Best.-Nr. 11425 und 11426)

Datensammlung Freilandgemüsebau. Daten zur Kalkulation der Arbeitswirtschaft und der Deckungsbeitrags- und Gewinnermittlung. 2002, 6. Auflage, 120 S., 22 €, ISBN 3-7843-2146-1 (Best.-Nr. 19474)

Datensammlung Heil- und Gewürzpflanzen. 2001, 77 S., mit CD-ROM, 16 €, ISBN 3-7843-2135-6 (Best.-Nr. 19469)

Pflanzenproduktion

Bodenbearbeitung und Unkrautregulierung im ökologischen Landbau. KTBL, SÖL und BTQ-Tagung am 15.11.2002. 2003, 116 S., 22 €, ISBN 3-7843-2159-3 (Best.-Nr. 11416)

Bewertung von Umweltschutzleistungen in der Pflanzenproduktion. KTBL-Tagung vom 3.–4. April 2003 in Halle/Saale. 2003, 140 S., 20 €, ISBN 3-7843-2152-6 (Best.-Nr. 11415)

Brunotte, J.; Wagner, M.: Bodenschonung und Kosteneinsparung. Einführung technischer Lösungskonzepte zur Minderung und Vorbeugung von Bodenschutzproblemen in der Pflanzenproduktion. 2001, 118 S., 19 €, ISBN 3-7843-2129-1 (Best.-Nr. 11398)

Landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm, Gülle und anderen Düngern unter Berücksichtigung des Umwelt- und Verbraucherschutzes. BMU/BMVEL Wissenschaftliche Anhörung. 2002, 405 S., 25 €, ISBN 3-7843-2138-0 (Best.-Nr. 11404)

Verfahrenstechnik zur Ausbringung fester Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdünger. Rechtliche Rahmenbedingungen – Stand des Wissens – Anforderungen an die Technik – Defizite und Handlungsbedarf. 2001, 44 S., 10 € (Best.-Nr. 40276)

Tierhaltung, Umwelt

Neue Wege in der Tierhaltung. KTBL-Tagung 2002 in Potsdam. 2002, 188 S., 20 €, ISBN 3-7843-2137-2 (Best.-Nr. 11408)

Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. 2003. 6. Tagung am 25.–27. März 2003 in Vechta. 2003, 551 S., 25 €, ISBN 3-7843-2151-8 (Best.-Nr. 19000)

Ganzjährige Freilandhaltung von Fleischrindern. Baulich-technische Anforderungen an tier- und standortgerechte Verfahren. 2002, 105 S., 18 €, ISBN 3-7843-2136-4 (Best.-Nr. 11409)

Außenklimaställe für Schweine. 2004, 2. Überarb. Auflage, 75 S., ISBN 3-7843-2166-6 (Best.-Nr. 11422). In Vorbereitung.

Sauen in Gruppenhaltung. Ergebnisse des Bundeswettbewerbs „Landwirtschaftliches Bauen“ 2001/02. 2002, 139 S., 20 €, ISBN 3-7843-2149-6 (Best.-Nr. 11411)

Medienpaket Sauen in Gruppenhaltung mit KTBL-Schrift 411, aid/KTBL-Video 8506, aid-Heft. 2002, 30 € (Best.-Nr. 15411)

Tiergerechte und umweltverträgliche Legehennenhaltung. BMVEL-Modellvorhaben. 2002, 161 S., 20 €, ISBN 3-7843-2139-9 (Best.-Nr. 11399)

Fütterungsstrategien zur Verminderung von Spurenelementen/Schwermetallen in Wirtschaftsdüngern. KTBL-Tagung 23.–24. April 2002 in Göttingen. 2002, 162 S., 20 €, ISBN 3-7843-2148-8 (Best.-Nr. 11410)

Auslaufhaltung von Legehennen. 2002, 68 S., 13 € (Best.-Nr. 40279)

Porto- und Verpackungskosten werden gesondert in Rechnung gestellt. Preisänderungen vorbehalten.

Wir freuen uns auf Ihre Bestellung. Senden Sie diese bitte an

KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH ■ 48084 Münster
Tel.: 02501 801-300 ■ Fax: 02501 801-351 ■ E-Mail: service@lv-h.de
www.landwirtschaftsverlag.de

Für weitere Fragen steht Ihnen das KTBL gern zur Verfügung.

KTBL ■ Bartningstraße 49 ■ 64289 Darmstadt
Tel.: 06151/7001-189 ■ Fax: 06151/7001-123
E-Mail: vertrieb@ktbl.de ■ www.ktbl.de

Gerne senden wir Ihnen unser aktuelles Veröffentlichungsverzeichnis.

Wesentliche Ziele im Ökologischen Landbau sind eine umwelt- und ressourcenschonende Wirtschaftsweise bei gleichzeitiger Ertrags- und Qualitätsoptimierung. Dies erfordert u. a. eine möglichst effiziente Ausnutzung der innerbetrieblichen Nährstoffflüsse. Besonderes Augenmerk muss dabei dem Stickstoff gelten, weil er der wichtigste ertragsbildende Faktor und besonders verlustgefährdet ist.

Erstmals wurden auf Expertenebene abgestimmte Kennzahlen und Schätzverfahren für die Nährstoffbilanzierung, die den spezifischen Bedingungen der Ökologischen Landwirtschaft Rechnung tragen, zusammengestellt. Mit dem Handbuch sollen Beratern und Landwirten Hilfen für die Erstellung von Nährstoffbilanzen sowie zur Optimierung des Stickstoffmanagements gegeben werden.

Das Handbuch wird ergänzt durch PC-gestützte Versionen für die N-Saldoberechnung von Klee-Luzerne-Grasgemengen sowie durch einen Schätztrainer zur Bestimmung des Leguminosenanteils.

ISBN 3-7843-2 168-2



9 783784 321684

0 2 6 9 0