

Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
Lehrstuhl für Allgemeinen Pflanzenbau
Direktor: Prof. Dr. W. Kühbauch

**Untersuchungen zum Nährstoffkreislauf, zur Leistung des
Grünlands und der Rinder bei Nährstoff-extensiver
Mutterkuhhaltung und ausschließlicher
Grünlandnutzung im Mittelgebirge**

I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n

zur

Erlangung des Grades

Doktor der Agrarwissenschaften (Dr. agr.)

der

Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität

zu Bonn

vorgelegt am 02.09.2005

von

Dipl.-Ing. agr. Arno Lellmann

aus Löff

Referent: Prof. Dr. W. Kühbauch

Korreferent: Prof. Dr. H. W. Scherer

Tag der mündlichen Prüfung: 07.11.2005

Siegel der Deutschen Zentralbibliothek für Landbauwissenschaften: D 98

Erscheinungsjahr: 2005

Diese Dissertation ist auf dem Hochschulschriftenserver der ULB Bonn

(http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online) elektronisch publiziert.

Untersuchungen zum Nährstoffkreislauf, zur Leistung des Grünlands und der Rinder bei Nährstoff-extensiver Mutterkuhhaltung und ausschließlicher Grünlandnutzung im Mittelgebirge

Seit Einführung der Milchquotenregelung im Jahre 1984 ist die Anzahl der Mutterkühe deutlich angestiegen. Mutterkuhhaltung gilt allgemein als ökologisch vorteilhafte Form der Rinderhaltung. Zum Nährstoffkreislauf und zu ökologisch nachteiligen Emissionen der Mutterkuhhaltung existieren aber kaum experimentelle Daten. Im Gegensatz zum Milchviehbetrieb findet nur eine geringe Nährstoffausfuhr statt. Der größte Anteil der aufgenommenen Nährstoffe wird wieder ausgeschieden und damit in eine chemisch labile Bindungsform mit hohem Emissionspotential gebracht.

Auf dem Standort der Lehr- und Forschungsstation Rengen (Daun/Eifel) wurde vom Frühjahr 1999 bis Herbst 2001 der Nährstoffkreislauf der Elemente N, P, K und Mg und die Leistungen des Grünlands sowie der Rinder bei Mutterkuhhaltung mit ganztägiger Sommerweide und Winterstallhaltung untersucht. Dabei wurden zwei Teilbetriebe (TB) verglichen. Ein TB mit niedrigerem Nährstoffniveau und ohne (O) Nährstoffzufuhr und ein TB mit höherem Nährstoffniveau und mit (M) Nährstoffzufuhr. Jeder Teilbetrieb erstreckte sich über etwa 19 ha Grünland mit je 20 Mutterkühen und 20 Kälbern der Rasse Limousin.

Ziel war es, ein besseres Verständnis zu erlangen über die externe sowie die interne Nährstoffbewegung zwischen Boden, Weidefutter, Exkrementen auf der Weide, Silage, Stallmist und Tierkörper. Im Mittelpunkt der Untersuchung stand das Element Stickstoff wegen seines vergleichsweise hohen Austragspotentials und seiner hohen Bedeutung für die abiotische und biotische Umwelt.

Der mittlere Weidebrutto- und Silageertrag lag zwischen 60 bis 73 (O) und 52 bis 82 (M) dt T ha⁻¹ a⁻¹. Die mittlere Futteraufnahme betrug im Stall in beiden TB 7,4 und auf der Weide 8,9 bis 10,9 (O) und 8,4 bis 12,1 (M) kg T GV⁻¹ d⁻¹. Die Lebendmassenzunahme der Kälber je kg T-Aufnahme der Herde betrug im Stall 89 (O, beide Jahre) und 94 bzw. 85 (M) g und auf der Weide mit 39 bis 64 (O) und 47 bis 71 (M) g deutlich weniger. Im Mittel der TB und Jahre wurden im Stall 26, 5, 31, 3 und auf der Weide 55, 6, 57, 4 kg N, P, K, Mg GV⁻¹ ha⁻¹ ausgeschieden. Die Ausscheidungsraten betragen bei N 90 bis 96, bei P 83 bis 90, bei K und Mg 99 bzw. 98 %. Die Nutzungseffizienz des Futter-N war auf der Weide etwa um den Faktor 2,8 niedriger als im Stall. Die Tierexkremente bei Weidegang trugen zu über 50 % an den insgesamt entstandenen N-Verlusten von 62 bzw. 57 (O) und 108 bzw. 66 (M) kg ha⁻¹ a⁻¹ bei. Der Weißklee trug bei mittleren Ertragsanteilen von 12 und 7 (O) und 22 und 9 (M) % und einer symbiotisch fixierten N-Menge von 40 und 23 (O) und 80 und 30 (M) kg ha⁻¹ a⁻¹ entscheidend zum N-Saldo bei. Die Bilanzierung aller Teilflächen ergab unter Berücksichtigung der Verluste eine weite Spanne der N-Saldos von -78 bis -13 (O) und von -34 bis 84 (M) kg ha⁻¹. Es wurden um den Faktor 2,4 bis 7,9 wesentlich mehr Nährstoffe intern bewegt als extern zugeführt. Mehrere Agrarumweltindikatoren und Möglichkeiten zur Verringerung der N-Verluste wurden vorgestellt.

Aufgrund der beachtlichen N-Verluste bei Weidegang ist Nährstoff-extensive Mutterkuhhaltung selbst ohne Nährstoffzufuhr über Futter- und Düngemittel nicht unbedingt ökologisch verträglich. Entscheidend ist, wieviel Nährstoffe intern und zwar vor allem über das Weidefutter bewegt werden, also von den Rindern aufgenommen und über Urin und Kot wieder ausgeschieden werden.

Nutrient cycling, grassland productivity and animal performance on a suckler farm system on extensively fertilised grassland in the Eifel mountains

Since the introduction of the milk quota in 1984, the number of suckler cows has increased significantly. In general, suckler production on grassland is considered as ecologically advantageous. However, suckler production has hardly been investigated in regard to nutrient cycling. It is evident that suckler farms export less nutrients than dairy farms. Therefore, on these farms the major fraction of nutrient uptake is excreted, hence potentially increasing the risk of nutrient release to the environment.

On Rengen Experimental Farm of the University of Bonn (Eifel mountains, Germany), the nutrient cycling of N, P, K and Mg, as well as grassland productivity and animal performances were investigated between spring 1999 and autumn 2001. Two farming systems were compared: a more extensive one (O) without nutrient input, and a less extensive one (M) with nutrient input. Each system consisted of approximately 19 ha pasture with 20 Limousin suckler cows and their calves.

The objective of this study was to gain a better understanding of external and internal nutrient flows among soil, grazed forage, excreta on pastures, silage, farmyard manure and the animal product, as influenced by the level of input. Particular focus was on nitrogen, due to its potentially high impact on the environment.

The annual gross yield from pastures (grass uptake and silage) varied between 6.0 to 7.3 (O) and 5.2 to 8.2 (M) tons of dry matter (DM) ha⁻¹. The average daily forage intake per livestock unit was 7.4 kg (cowshed in winter) in both systems and 8.9 to 10.9 (O) and 8.4 to 12.1 (M) kg (pasture in summer). The mean live weight increase of the suckler calves per kg DM intake of cows and calves was 89 (O, both years) and 94 and 85 (M) g while kept in the cowshed, and 39 to 64 (O) and 47 to 71 (M) g on pastures during summer. The related nutrient excretions of N, P, K and Mg in kg ha⁻¹ were 26, 5, 31 and 3 during winter, and 55, 6, 57 and 4 during summer, respectively. The nutrient excretion per cent was highest for K and Mg (99 and 98 %), followed by P (83-90 %) and N (90-96 %).

The nitrogen use efficiency was 2.8 times higher in the cowshed than on pasture. The excretion of nitrogen on pasture contributed to over 50 % to the total N losses, which were 62 and 57 (O) and 108 and 66 (M) kg ha⁻¹. White clover significantly contributed with 12 and 7 (O) and 22 and 9 (M) % to the nitrogen gross yield, representing an estimated N₂ fixation of 40 and 23 (O) and 80 and 30 (M) kg N ha⁻¹ yr⁻¹. Considering losses, N-balances of all paddocks ranged from -78 to -13 (O) and from -34 to 84 (M) kg ha⁻¹. This study indicated that the amounts of nutrients circulating internally within the system were 2.4 to 7.9 higher as compared to the amounts of nutrients imported. Some agro-environmental indicators and options to reduce N-losses were discussed.

It was concluded that due to considerable nutrient losses on pasture, particularly in regards to nitrogen, extensive suckler cow production is not necessarily environmentally sustainable, even if there is no nutrient input through forage and fertilisers. The crucial point is rather the amount of nutrients that are cycling internally via pasture uptake and related excreta.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Verzeichnis der Abbildungen	X
Verzeichnis der Tabellen.....	XI
Verzeichnis der Abkürzungen.....	XII
1 EINLEITUNG	1
2 LITERATURÜBERSICHT	2
2.1 Nährstoffkreislauf	2
2.1.1 Untersuchungen zum Nährstoffkreislauf im Grünlandbetrieb	2
2.1.2 Nährstoffbilanzierung und Nährstoffnutzungseffizienz	3
2.1.3 Nährstoffdeposition.....	5
2.1.4 Nährstoffverluste.....	5
2.1.4.1 Stickstoff.....	5
2.1.4.2 Phosphor, Kalium und Magnesium.....	14
2.1.5 Einfluss des Weißkleees auf den Stickstoffkreislauf.....	16
2.2 Leistungen.....	18
2.2.1 Grünlandertrag und Futteraufnahme	18
2.2.1.1 Methoden der Ertragserfassung und Schätzung der Futteraufnahme auf Weiden	18
2.2.1.2 Einflussfaktoren auf den Grünlandertrag.....	20
2.2.2 Futterqualität und Futteraufnahme	21
2.2.3 Tierische Leistungen.....	23
3 FRAGESTELLUNG	25
4 MATERIAL UND METHODEN	26
4.1 Standort.....	26
4.2 Versuchsaufbau und Versuchsflächen	27
4.3 Versuchsdurchführung	31
4.3.1 Düngung	31
4.3.2 Tier- und Weidemanagement	32
4.3.3 Fütterung	34
4.4 Datenerfassung.....	34
4.4.1 Bodenuntersuchung.....	36
4.4.2 Floristische Zusammensetzung.....	36
4.4.3 Weideertrag, Silageertrag und Futteraufnahme	36
4.4.4 Futterqualität.....	40
4.4.5 Weißklee-Ertragsanteile und Gesamt-N-Zufuhr durch symbiotische N ₂ -Fixierung.....	41
4.4.6 Lebendmasse	43
4.4.7 Einstreu und Stallmist.....	45
4.4.8 Analyseverfahren.....	48

4.5	Weideleistung	48
4.6	Ermittlung der Stickstoffverluste	50
4.7	Bilanzierung der Nährstoffbewegungen.....	53
4.8	Statistische Auswertung.....	56
5	ERGEBNISSE	58
5.1	Bodenuntersuchung.....	58
5.2	Floristische Zusammensetzung vor Weideauftrieb.....	59
5.3	Weißkleeertragsanteile und symbiotische N₂-Fixierung in der Weideperiode ...	60
5.4	Weidebrutto- und Silageertrag	61
5.5	Futterqualität des Weideaufwuchses und des kalkulierten aufgenommenen Weidefutters sowie Futterqualität und Nährstoffgehalte der Silage.....	63
5.6	Lebendmasseentwicklung der Kälber	66
5.7	Lebendmasseentwicklung der Kühe	68
5.8	Viehbesatz der Teilbetriebe	69
5.9	Gesundheit und Fruchtbarkeit	70
5.10	Futter-, Rohprotein-, Energie- und Nährstoffaufnahme, Nährstoffretention und Nährstoffausscheidung.....	70
5.11	Nutzungseffizienzen des Futters.....	75
5.12	Weideleistung	77
5.13	Einstreumengen und Stallmistanfall.....	79
5.14	Stickstoffverluste.....	81
5.15	Nährstoffbilanzen	91
	5.15.1 Hoftorbilanzen.....	91
	5.15.2 Gesamtflächenbilanzen	94
	5.15.3 Koppelbilanzen	96
	5.15.4 Stallbilanzen	99
	5.15.5 Bilanz der Mistlagerung	101
5.16	Übersicht über die Nährstoff-Bewegungen.....	102
5.17	Beziehung zwischen N-Saldo und N-Verlust	111
5.18	Nutzungseffizienz der Nährstoffe.....	115
6	DISKUSSION.....	120
6.1	Versuchsaufbau.....	120

6.2	Bodenuntersuchung.....	121
6.3	Grünlandertrag, Futterqualität und Futter-, Rohprotein-, Energie- und Nährstoffaufnahme sowie Nährstoffausscheidung der Tiere	121
6.4	Lebendmasse.....	126
6.5	Gesundheit und Fruchtbarkeit	130
6.6	Nutzungseffizienzen des Futters.....	131
6.7	Weideleistung	132
6.8	Symbiotische N₂-Fixierung	133
6.9	Stickstoffverluste.....	133
6.10	Nährstoffbilanzen	136
	6.10.1 Hoftorbilanzen.....	137
	6.10.2 Flächenbilanzen.....	138
	6.10.3 Stallbilanzen	141
	6.10.4 Bilanz der Mistlagerung	143
6.11	Beziehung zwischen N-Saldo und N-Verlust	145
6.12	Gesamtschau der Nährstoffbewegungen.....	146
7	ZUSAMMENFASSUNG.....	153
8	LITERATURVERZEICHNIS.....	158
9	ANHANG	185
9.1	Tabellen	185
9.2	Abbildungen.....	257
9.3	Berechnungen.....	266

Verzeichnis der Abbildungen

	Seite
Abb. 4-1: Karte der Versuchsflächen.....	31
Abb. 4-2: Skizze der Stallabteile.....	32
Abb. 4-3: Übersicht über die Datenerfassung.....	35
Abb. 4-4: Schema der Weidekäfigmethode.	39
Abb. 4-5: Ansicht des automatischen Elektronik-Wiegesystems	43
Abb. 4-6: N-Ausscheidung über Urin und Kot.....	50
Abb. 4-7: Nitrat- und Ammoniak-Austrag aus Urin- und Kot-N	52
Abb. 4-8: N-Verluste aus der Stallmistkette	52
Abb. 4-9: Nährstoffbewegungen, Zufuhr- und Ausfuhrposten der Bilanzarten und innerbetrieblicher Nährstoffkreislauf am Beispiel des Stickstoffs.	55
Abb. 5-1: Nährstoffgehalte der Böden an P, K und Mg in 0-10 cm Bodentiefe.....	58
Abb. 5-2: Mittlere Weißkleeertragsanteile und mittlere symbiotische N ₂ -Fixierung in den Weideperioden	60
Abb. 5-3: Erträge an Silage, Weideaufwuchs brutto und Gesamtertrag	62
Abb. 5-4: Nährstoffaufnahme, Nährstoffretention und Nährstoffausscheidung in den Stallperioden	73
Abb. 5-5: N-Aufnahme, N-Retention und N-Ausscheidung über Kot und Urin in den Weideperioden aus Weidefutter, Silage, Kraft- und Mineralfutter ..	74
Abb. 5-6: Aufnahme, Retention und Ausscheidung der Elemente P, K und Mg in den Weideperioden aus Weidefutter, Silage, Kraft- und Mineralfutter ..	75
Abb. 5-7: Frischmassemengen des Tiefstreumistes.....	80
Abb. 5-8: Funktionale Zusammenhänge im Stickstoffweg Futterangebot - Futteraufnahme - Stickstoffaufnahme -Stickstoffverlust auf der Weide	82
Abb. 5-9: N-Verluste nach Nutzungsform	88
Abb. 5-10: N-Verluste nach Bindungsform	90
Abb. 5-11 bis 5-26: Schemata der Nährstoffbewegungen	103
Abb. 5-27: N-Saldo der Hoftorbilanz und N-Verlust.	111
Abb. 5-28 und 5-29: Beziehung zwischen N-Verlust und N-Saldo 2 der Weiden- und Mähweidenbilanzen sowie der Wiesenbilanzen	113
Abb. 5-30: Stickstoffeffizienz 2 der Hoftorbilanz und N-Verlust.	117
Abb. 5-31: Vergleich der Beziehungen zwischen N-Verlust aus der Fläche und Stickstoffeffizienz 2 der Weiden, Mähweiden und Wiesen.	118

Verzeichnis der Tabellen

	Seite
Tab. 2-1 bis 2-4: N-Verluste aus dem Mist im Stall, aus der Lagerung und nach der Ausbringung von Festmist sowie N-Verluste auf Schnittgrünland.....	8
Tab. 2-5: Phosphor-, Kalium- und Magnesium- Verluste	15
Tab. 2-6: Tageszunahmen von Mutterkuh-Kälbern während der Säugephase.....	24
Tab. 4-1: Temperatur und Niederschlag	27
Tab. 4-2: Versuchsaufbau	28
Tab. 4-3: Zeitlicher Ablauf des Versuchs	30
Tab. 5-1: Ertragsanteile der Pflanzengruppen im Frühjahr vor Weideauftrieb	59
Tab. 5-2 bis 5-4: Qualität des Weideaufwuchses, des kalkulierten aufgenommenen Weidefutters und der im Winter angebotenen Silage	63
Tab. 5-5: Nährstoffgehalte der im Winterhalbjahr im Stall angebotenen Silage.....	65
Tab. 5-6 und 5-7: Lebendmasseentwicklung und Tageszunahmen der Kälber	66
Tab. 5-8: Viehbesatz der Teilbetriebe	69
Tab. 5-9: Futter-, Rohprotein- und Energieaufnahme	71
Tab. 5-10 u. 5-11: Nutzungseffizienz der Futtertrockenmasse und Futternährstoffe	76
Tab. 5-12: Vergleich der Teilbetriebe in der Weideleistung, dem Energieertrag und der Relation von Weideleistung zu Energieertrag	78
Tab. 5-13 u. 5-14: Nährstoffgehalt von Tiefstreumist, Stroh sowie Einstreumengen	79
Tab. 5-15: N-Verluste aus den Exkrementen bei Beweidung	84
Tab. 5-16: N-Verluste aus der Stallmistkette	85
Tab. 5-17: Nitrat-N-Verluste aus symbiotisch fixiertem Stickstoff	86
Tab. 5-18 und 5-13: Hoftor- und Gesamtflächenbilanzen, Nährstoff-Saldos der Koppelbilanzen sowie Schätzwert- und Messwert-Stallbilanz	93
Tab. 5-24: Bilanz der Mistlagerung von Teilbetrieb M im Jahr 1999/2000	102
Tab. 5-25: Vergleich von Stickstoffnutzungseffizienz 1 und 2.....	116
Tab. 5-26: Nutzungseffizienz der Nährstoffe	116
Tab. 6-1: Vergleich der bestimmten Energieaufnahme mit dem Energiebedarf	123
Tab. 6-2: Vergleich von einmaligem Wiegen der Mutterkühe am 1., 2. und 3. Tag mit der Wiegung an drei aufeinander folgenden Tagen	128
Tab. 6-3: Nährstoff-Saldos der Hoftorbilanzen ohne Misttransfer	138
Tab. 6-4: Vergleich der analysierten Stallmist-Nährstoffgehalte mit Literaturdaten .	143
Tab. 6-5: Vergleich von Tiefstreu- und Stapelmist.....	145

Verzeichnis der Abkürzungen

a	Jahr	neg.	negativ
Abb.	Abbildung	NEL	Nettoenergie-Laktation
Abb. A	Abbildung im Anhang	N	Stickstoff
Abk.	Abkürzung	N ₂	Distickstoff
bspw.	beispielsweise	N ₂ O	Distickstoffmonoxid, Lachgas
bzw.	beziehungsweise	NH ₃	Ammoniak
C	Kohlenstoff	NH ₄ ⁺	Ammonium
ca.	circa	NO ₃ ⁻	Nitrat
CaCl ₂	Calciumchlorid	Nr.	Nummer
CAL	Calcium-Acetat-Lactat	NS	Nährstoff
CH ₄	Methan	Neff	Nutzungseffizienz
CO ₂	Kohlendioxid	NRW	Nordrhein-Westfalen
d	Tage	n.v.	nicht vorhanden
dt	Dezitonne (100 kg)	O	Teilbetrieb ohne Nährstoff-Zufuhr
Dep.	Deposition	o.a.	oben angegebenen
dest.	destilliert	p	Irrtumswahrscheinlichkeit
d.h.	das heißt	P	Phosphor
DLG	Deutsche Landwirtschafts- Gesellschaft	PARCOM	Paris Convention for the Prevention of Marine Pollution
DVO	Düngeverordnung	pH	pH-Wert
f.	folgende Seite	R ² , r ²	Bestimmtheitsmaß
ff.	folgende Seiten	s	Standardabweichung
FG	Freiheitsgrad	S	Schnittnutzung
Fix.	Fixierung	S.	Seite
FM	Frischmasse	s.	siehe
Gb	Gasbildung	SAS	Statistical Analysis System
GfB	Gesamtflächenbilanz	SW	Sickerwasser
GIS	Geographic Information System	s.o.	siehe oben
GPS	Global Positioning System	s.u.	siehe unten
GV	Großvieheinheit	symb	symbiontisch
ha	Hektar	t	Tonne
H ₂ O	Wasser	T	Trockenmasse
HFT	Hohenheimer Futterwerttest	Tab.	Tabelle
inkl.	inklusive	Tab. A	Tabelle im Anhang
IT	Trockenmasseaufnahme	u.	und
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	u.a.	unter anderem
K	Kalium	ü. NN	über Normal Null
k.A.	keine Angabe	vgl.	vergleiche
Kap.	Kapitel	Vj.	Versuchsjahr
KF	Kraffutter	Vol.	Volumen
LM	Lebendmasse	VQOS	Verdaulichkeit der organischen Substanz
LMZ	Lebendmassezunahme, - zuwachs	WA	Weideauftrieb
LUFA	Landwirtschaftliche Untersu- chungs- und Forschungsanstalt	WK	Weidekäfig
M	Teilbetrieb mit Nährstoff-Zufuhr	Wp.	Weideperiode
ME	Umsetzbare Energie	WR	Weiderest
MF	Mineralfutter	\bar{x}	Mittelwert
Mg	Magnesium	XA	Rohasche
mind.	mindestens	XL	Rohfett
MJ	Megajoule	XP	Rohprotein
MW	Mähweide	z.B.	zum Beispiel
n	Anzahl Beobachtungen		
NaCl	Natrium-Clorid		

1 Einleitung

Die landwirtschaftlich genutzte Fläche Deutschlands beträgt etwa 54 % der Landesfläche (BML, 1999). Das Dauergrünland umfasst in Deutschland und in NRW mit etwa 30 % einen hohen Anteil an der landwirtschaftlich genutzten Fläche (STATISTISCHES BUNDESAMT, 1997). Dies entspricht etwa 16,5 % der Gesamtfläche Deutschlands (BML, 1999). Das Grünland wird zum größten Teil von Milch- und Mutterkuhhaltern genutzt. Seit Einführung der Milchquotenregelung 1984 ging mit steigender Milchleistung die Anzahl an Milchkühen zurück. Die dadurch freigesetzten Grünlandflächen wurden zunehmend mit Mutterkühen genutzt (BUCHWALD, 1994; ACHLER, 1994; GOLZE et al., 1997). So stieg der Anteil der Mutter- und Ammenkühe am gesamten Kuhbestand von 2 % im Jahr 1989 (PEPER, 2000) auf 13,2 % im Jahr 2003 (Statistisches Bundesamt, 2003).

In der Mutterkuhhaltung ist die Umwandlung des aufgenommenen Futterstickstoffs in tierische Produkte (N-Verwertung) etwa um den Faktor 2 bis 4 geringer als in der Milchviehhaltung. Somit wird je Mutterkuh-Kalb-Paar vom aufgenommenen Futterstickstoff relativ mehr emissionsgefährdenden Stickstoffs über die Exkremente ausgeschieden.

Obwohl die Anzahl an Mutterkühen stark angestiegen ist, existieren bezüglich des Nährstoffumsatzes und ökologisch nachteiliger Emissionen fast keine experimentellen Daten (ESTERMANN, 2001). Die Menge, die Zustandsform und die Bewegung der Nährstoffe sind jedoch von Bedeutung für das Ausmaß möglicher Umweltbelastungen. Mit der Darstellung des Nährstoffkreislaufes am Beispiel einer Nährstoffextensiven Mutterkuhhaltung im Mittelgebirge soll die vorliegende Untersuchung einen Beitrag dazu leisten, diese Lücke zu schließen. Insbesondere mit der Untersuchung der innerbetrieblichen Nährstoffbewegungen sollen Nährstoffverluste quantifiziert und Möglichkeiten ihrer Minderung aufgezeigt werden.

2 Literaturübersicht

2.1 Nährstoffkreislauf

2.1.1 Untersuchungen zum Nährstoffkreislauf im Grünlandbetrieb

In bisherigen Arbeiten wurden vielfach betriebliche Teilaspekte des Nährstoffkreislaufs in der Grünlandwirtschaft untersucht (s. Kap. 2.1.4 bis 2.2.3), Modellsimulationen zu Teilaspekten entwickelt und angewendet oder der Nährstoffkreislauf und die Nährstoffbilanzen meist für Milchviehhaltung dargestellt (MOHTAR et al., 1997a; MOHTAR et al., 1997b; ESTAVILLO et al., 1997; AARTS et al., 2000; SCHELLBERG und RADEMACHER, 2003; WACHENDORF et al., 2003; VAN BEEK et al., 2003).

In der Milchviehhaltung befassen sich einige Arbeiten mit einem Vergleich zwischen biologischer und konventioneller Wirtschaftsweise (STEINWENDER et al., 2000; GRUBER et al., 2001a; GRUBER et al., 2001b; SCHERINGER und ISSELSTEIN, 2001). Umfassende betriebliche Untersuchungen zu den Nährstoffbewegungen im Grünland, insbesondere in der Mutterkuhhaltung des Mittelgebirges, wurden bislang kaum durchgeführt. Nach ESTERMANN (2001) werden auf alpinen Weiden und auch auf anderen weniger bevorzugten Standorten zunehmend Mutterkühe mit Kälbern gehalten, von denen jedoch fast keine experimentellen Daten bezüglich des Nährstoffumsatzes und ökologisch nachteiliger Emissionen existieren.

In der Mutterkuhhaltung ist die Umwandlung des aufgenommenen Futterstickstoffs in tierische Produkte (N-Verwertung) mit 6 bis 9 % (RYDEN et al., 1987; SUTTER et al., 1998b; ESTERMANN, 2001) etwa um den Faktor 2 bis 4 wesentlich geringer als in der Milchviehhaltung mit 15 bis 30 % (WHITEHEAD et al., 1986; RYDEN et al., 1987; AARTS et al., 1992; WEIßBACH und ERNST, 1992; SUTTER et al., 1998b). Somit wird je Mutterkuh-Kalb-Paar vom aufgenommenen Futterstickstoff relativ mehr Stickstoff über die Exkrememente ausgeschieden. Eine wesentlich höhere Ausscheidung emissionsgefährdeter Harn-Stickstoffs je Mutterkuh-Kalb-Paar im Vergleich zur Milchkuh ermittelten SUTTER et al. (1998a, 1998b) in einem einwöchigen Vergleich

zur Stickstoffverwertung auf einer Alpweide. Sie verglichen Milchkühe der Rasse Simmental — mittleres Laktationsstadium und durchschnittliche Leistung von 17,5 kg Milch je Tag — mit Mutterkühen der Rasse Aberdeen Angus bei hohen Tageszunahmen von 1.290 g je Kalb unter Verzicht auf mineralische Stickstoffdüngung und bei ähnlicher Trockenmasse- und Stickstoff-Aufnahme. Ursächlich ist für das höhere Emissionspotential vor allem der doppelte Transformationsverlust des Futterstickstoffs über den Weg Futter, Milch der Mutterkuh, Kalb.

2.1.2 Nährstoffbilanzierung und Nährstoffnutzungseffizienz

Eine überschüssige Zufuhr von Pflanzennährstoffen kann zu Umweltbelastungen führen (KÖSTER et al., 1988). In besonderem Maße trifft dies auf Stickstoff (N) zu, da sich dieser Nährstoff nur begrenzt im Boden anreichert (BACH, 1987). Übersteigt die N-Zufuhr deutlich den Entzug, muss häufig mit Risiken für die Umwelt durch Nitrat-Auswaschung ins Grundwasser oder in Oberflächengewässer sowie durch erhöhte gasförmige Verluste in Form von NH_3 und N_2O in die Atmosphäre gerechnet werden (WEIßBACH, 1995).

Zur Kontrolle dieser Risiken und der Prüfung unterschiedlicher Wirtschaftsformen auf ihre Umweltverträglichkeit gewinnen betriebs- und flächenbezogene Nährstoffbilanzen an Bedeutung (AARTS et al., 1992; WEIßBACH und ERNST, 1994; QUIRIN, 2004). In den Niederlanden werden Landwirte bei Überschreitung bestimmter Hoftorbilanzgrenzwerte für Stickstoff und Phosphor zur Zahlung von Abgaben herangezogen (ANONYMUS; 2001). Insbesondere vor dem Hintergrund der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie und den Beschlüssen der Umweltkonferenzen in Rio und Kyoto werden Nährstoffbilanzen bzw. deren Saldos als Schätzgröße für das Emissionspotential verwendet und dienen als Umweltindikator einer nachhaltigen Landnutzung (BROUWER, 1998; HAAS et al., 2001; OECD, 2001; VAN BEEK et al., 2003; FREDE und BACH, 2004).

In ökologisch wirtschaftenden Betrieben kann eine Analyse des internen Nährstoffkreislaufs dazu dienen, eine hohe Systemproduktivität, d.h. umweltfreundliche Produktionsprozesse, sicher zu stellen (HAAS et al., 2002). Für ökologisch wirtschaftende Betriebe ist die Untersuchung des internen Nährstoffkreislaufs auch deshalb wich-

tig, weil mit der Beschränkung der Düngemittel- und Futtermittelzufuhr eine möglichst effiziente Nährstoffausnutzung angestrebt werden muss (KAFKA und KOEPF, 1989; FOWLER et al., 1993; NOLTE und WERNER, 1994).

Nährstoffbilanzen werden für das gesamte Bundesgebiet, für Regionen sowie für Betriebe als Hoftor-, Flächen- und Stallbilanzen aufgestellt (HARENZ et al., 1992; ANGER et al., 1997; BACH et al., 1997; BACH und FREDE, 1998; BROUWER, 1998; HAAS et al., 2002; QUIRIN, 2004). Nährstoffbilanzen für Mutterkuhbetriebe, erstellt aus Daten von Betriebsbefragungen, wurden von ANGER und KÜHBAUCH (1998) publiziert.

Aus Nährstoffbilanzen können Nutzungseffizienzen für Nährstoffe abgeleitet, Nährstoffanreicherungen in einem Teil des Betriebes auf Kosten eines anderen Teils auffindig gemacht und das Potential für Nährstoffverluste geschätzt werden. Im Gegensatz zur gewöhnlichen Hoftor- und Flächenbilanzierung wird selten eine Bilanzierung auf Stallebene durchgeführt, obwohl dadurch ein wesentlicher Nährstoffverlust in der Nährstoffflusskette „Futter- und Strohzufuhr – Stall – Stallmistausfuhr“ aufgedeckt werden kann (HAAS et al., 2002). Saldos aus Nährstoffzufuhr über Futter und Stroh, sowie Nährstoffausfuhr über Stallmist und die Nährstoffretention im Lebendmassenzuwachs der Tiere sind oft negativ. Literaturdaten zu Stallbilanzen sind häufig nicht konsistent, da die Untersuchungen gewöhnlich nicht alle Nährstoffbewegungen im Stall umfassen (HAAS et al., 2002).

Die Nährstoffnutzungseffizienz wird oft als ein wichtiger Indikator für eine nachhaltige Landnutzung benannt (BACH und FREDE, 1998). Nach den PARCOM-Richtlinien (PARCOM, 1993) wird die Nährstoffeffizienz berechnet aus der Relation der Nährstoffe in pflanzlichen und tierischen Verkaufsprodukten zu den insgesamt zugeführten Nährstoffen. BACH und FREDE (1998) erwähnen, dass die Veränderung des Bodennährstoff-Pools berücksichtigt werden sollte. Sonst führt einerseits im Zeitraum der Anreicherung des Bodennährstoff-Pools eben diese Anreicherung zu geringeren Effizienzen. Andererseits ergeben sich rechnerisch höhere Effizienzen, wenn die Nährstoffausfuhr mit den Marktfrüchten nicht ausschließlich auf die Nährstoffzufuhr im selben Jahr zurückgeht, sondern über die Mineralisation des Boden-N auch auf die Nährstoffzufuhr aus den Vorjahren.

2.1.3 Nährstoffdeposition

Über die Niederschläge gelangen in Deutschland regionalabhängig jährlich etwa 4 bis 30 kg Stickstoff ha⁻¹, 0,2 bis 2 kg P ha⁻¹, 2 bis 6 kg K ha⁻¹ und 2 bis 6 kg Mg ha⁻¹ in den Boden; höhere Werte treten in Meeresnähe sowie in der Nähe von Wohn- und Industriegebieten auf (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1992). Für die Mittelgebirge Eifel, Siegerland und Bergisches Land werden ähnliche Depositionen in Höhe von jährlich 10 bis 30 kg N ha⁻¹ angegeben (FÜHRER, 1988; ANONYMUS, 1990; MÜLLER et al., 1990; BROUWER et al., 1995; KÜHBAUCH et al., 1996).

2.1.4 Nährstoffverluste

2.1.4.1 Stickstoff

Gegenüber anderen Nährstoffen besteht für Stickstoff ein deutlich erhöhtes umweltrelevantes Austragsrisiko, weshalb der Stickstoff von allen Nährstoffen am stärksten in das Blickfeld der öffentlichen Diskussion gerückt ist (WERNER und BRENK, 1997).

Stickstoff-Verlust nach chemischer Bindungsform:

Stickstoff-Verluste treten in flüssiger Form vorwiegend als Nitrat (NO₃⁻) und nachgeordnet als Ammonium (NH₄⁺), sowie gasförmig als Ammoniak (NH₃), elementarer Stickstoff (N₂), Lachgas (N₂O) und Stickstoffoxide (NO_x) auf (MENGEL, 1991; AHLGRIMM, 1997). Nach ANGER (2001) wird auf Grünland hauptsächlich NO₃⁻ ausgewaschen. Eine Verlagerung von NH₄⁺ (FOERSTER, 1988) und von gelöstem organischen Stickstoff (HAWKINS und SCHOLEFIELD, 2000) sowie N-Verluste durch Oberflächenabfluss oder Erosion haben auf den meisten Grünlandstandorten eine untergeordnete Bedeutung (STEENVOORDEN et al., 1986; JARVIS et al., 1987; STEELE und VALLIS, 1988; SCHOLEFIELD und STONE, 1995). Stickstoffoxide (NO und NO₂) entstehen bei Verbrennungsprozessen und sind hauptsächlich dem Verkehr sowie der Verbrennung von Kohle und Heizöl zuzuordnen (SCHWEDT, 1996).

Nitrat

NO_3^- entsteht im Prozess der Nitrifikation durch die mikrobielle Umwandlung von NH_4^+ durch die aerob lebenden autotrophen Bakterien Nitrosomonas und Nitrobacter (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1992).

Die Landwirtschaft stellt die wesentliche Ursache für erhöhte NO_3^- -Gehalte im Grundwasser dar (LAWA, 1995). An der Stickstoff-Belastung der Fließgewässer ist die landwirtschaftliche Nutzung zu etwa 46 % beteiligt (WERNER, 1990).

Die NO_3^- -Auswaschung mit dem Bodenwasser ist — abgesehen vom ökonomischen N-Verlust für den Betrieb — von besonderer Bedeutung für die Trinkwassergewinnung. Im Zeitraum von 1950 bis 1992 ist die mittlere NO_3^- -Belastung des Rohwassers in Deutschland im Mittel von 13 mg l^{-1} auf 21 mg l^{-1} gestiegen (FUCHS et al., 1995). Zum Schutz des Trinkwassers gilt in der Europäischen Union ein Richtwert von $25 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$ und ein Grenzwert von $50 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$ (EU-Nitratrichtlinie 91/676/EWG). Einige Brunnen und Quellen mussten bereits wegen Grenzwertüberschreitung geschlossen werden (SAUER und HARRACH, 1996). Auch Untersuchungen, z.B. in Nordrhein-Westfalen, weisen ansteigende NO_3^- -Gehalte im Grundwasser nach (OVERATH, 1997; WOLF, 1996).

Ammoniak

NH_3 entsteht bei der Hydrolyse des Harnstoffs und wird in der Regel durch das Enzym Urease katalysiert, welches von Pflanzen und einer Vielzahl von Mikroorganismen gebildet wird (LARSON und KALLIO, 1954).

In Westeuropa stammen im Durchschnitt 92 % aller NH_3 -Emissionen aus der Landwirtschaft (KIRCHMANN et al., 1998). BUIJSMAN (1987) schätzt den Anteil der Viehhaltung an den NH_3 -Emissionen in Deutschland auf etwa 89 %. Wesentliche gasförmige Stickstoff-Verluste treten in Form von NH_3 im Stall, bei der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern sowie durch die Beweidung auf (DEUTSCHER BUNDESTAG, 1994; ANGER, 2001) — im Mittel sind dies 30 % der Stickstoff-Ausscheidung der Tiere (KIRCHMANN et al., 1998). Auf die Fläche bezogen entgasen in Westeuropa im Mittel jährlich $12 \text{ kg NH}_3 \text{ ha}^{-1}$, die Benelux-Länder liegen mit durchschnittlich $45 \text{ kg NH}_3 \text{ ha}^{-1}$ an der Spitze (KIRCHMANN et al., 1998).

NH_3 trägt zur Eutrophierung natürlicher und naturnaher Ökosysteme bei (BOBBINK et al., 1992; Kirchmann et al., 1998) und verstärkt die Freisetzung von NO_x und N_2O bzw. führt durch Versauerung der Böden zur Schädigung der Ökosysteme (z.B. Wälder) (DEUTSCHER BUNDESTAG, 1994; KIRCHMANN et al., 1998). KIRCHMANN et al. (1998) geben für sensible Elemente unserer Umwelt bezüglich ihrer N-Exposition eine kritische Belastung für Wälder von 3 bis 20 kg N ha^{-1} , für naturnahes Grünland 3 bis 10 kg N ha^{-1} und für höchst sensible Vegetation 3 bis 5 kg N ha^{-1} an.

Lachgas

N_2O entsteht sowohl bei der Oxidation von NH_4^+ im Nitrifikationsprozess (POTH und FOCHT, 1985; HOPPER et al., 1990) als auch bei der Reduktion von NO_3^- im Prozess der Denitrifikation (FIRESTONE und DAVIDSON, 1989).

Global hat die Landwirtschaft an den anthropogenen N_2O -Emissionen einen Anteil von etwa 28 % (HOUGHTON et al., 1996), in Deutschland von etwa 33 % (BMU, 1993). Nach AMON (1998) liegt der Anteil sogar zwischen 45-65 %.

Die Bedeutung der N_2O -Emissionen für die Umwelt beruht auf ihrem großen Treibhauspotential. Auf einen Zeithorizont von 100 Jahren bezogen übertrifft das Treibhauspotential von N_2O jenes von Kohlendioxid (CO_2) um etwa das 270-fache. Durch anthropogene N_2O -Emissionen steigt die N_2O -Konzentration in der Atmosphäre und damit deren Einwirkung auf den Strahlungshaushalt der Erde an und verstärkt so den natürlichen Treibhauseffekt. Die Landwirtschaft ist mit etwa 15 % am anthropogenen Treibhauseffekt beteiligt (DEUTSCHER BUNDESTAG, 1994). Zusätzlich trägt N_2O wesentlich zum Abbau von stratosphärischem Ozon und damit zur Zerstörung der vor ultravioletter Sonnenstrahlung schützenden Ozonschicht bei (DEUTSCHER BUNDESTAG, 1994). Der atmosphärische N_2O -Gehalt steigt um etwa 0,3 % jährlich an (DEUTSCHER BUNDESTAG, 1994; AHLGRIMM, 1997; MOSIER, 1998).

Elementarer Stickstoff: Die aus der Denitrifikation resultierenden N_2 -Verluste werden für Grünland in einer sehr weiten Spanne von 1 bis 40 kg N ha^{-1} angegeben (RYDEN, 1983; RYDEN, 1986; JORDAN, 1989; COLBOURN, 1993; RUZ-JEREZ et al. 1994; SCHWARZ et al., 1994; KAISER et al., 1996; MOGGE et al., 1999). Da sie

zudem nicht ökologisch belastend sind, werden sie in dieser Arbeit nicht weiter berücksichtigt.

Stickstoff-Verlust nach Entstehungsort:

Stallmistkette

Die Stallmistkette umfasst die Bereiche Stall sowie Lagerung und Ausbringung von Mist und Mistsickerwasser.

Auf die Höhe der NH_3 -Emissionen wirken die Parameter pH-Wert, Temperatur, C/N-Verhältnis und Einstreumenge, Wassergehalt, Luftporenvolumen und Lagerdichte, Lagerungsdauer und NH_4^+ -Gehalt (SCHUCHARDT, 1990; DEWES, 1996, 1997a und 1997c; MENZI et al., 1997; KOSCH, 2003). Zusätzlich bestimmen die Tierart, die Produktionsrichtung und die Fütterung die Inhaltsstoffe der Exkremente und damit das Emissionspotential. Die Vielzahl der Einflussfaktoren und die Komplexität der Vorgänge führen zu einer großen Variation der Emissionen der einzelnen Gase (BERG et al., 2002) (Tab. 2-1). Zudem kann eine Verringerung der NH_3 -Verluste eine Erhöhung der N_2O -Verluste zur Folge haben (GROENESTEIN et al., 1993; AMON et al., 2002).

Tab. 2-1: N-Verluste aus dem Mist im Stall

Autor	N-Form	N-Verlust	Anmerkung
DEMMERS et al., 1997	NH_3	6 %	der N-Ausscheidung
ASTERAKI et al., 1997	NH_3	11 bis 16 %	der N-Ausscheidung
AMON und BOXBERGER, 1998	NH_3	6 % 5 % 4 %	der N-Ausscheidung, Tretmist, Milchkühe Masttiere, 2,5 kg Stroh $\text{GV}^{-1} \text{d}^{-1}$ Masttiere, 5,0 kg Stroh $\text{GV}^{-1} \text{d}^{-1}$
AMON et al., 2001	N_2O	5 bis 10 %	der gesamten N-Emissionen
AMON et al., 2002		8,9 g $\text{NH}_3 \text{GV}^{-1} \text{d}^{-1}$ 144 mg $\text{N}_2\text{O} \text{GV}^{-1} \text{d}^{-1}$ 12,0 g $\text{NH}_3 \text{GV}^{-1} \text{d}^{-1}$ 89 mg $\text{N}_2\text{O} \text{GV}^{-1} \text{d}^{-1}$	Tretmist, Mastbullen, Einstreu: 5 kg Stroh $\text{GV}^{-1} \text{d}^{-1}$ 5 kg Stroh $\text{GV}^{-1} \text{d}^{-1}$ 2,5 kg Stroh $\text{GV}^{-1} \text{d}^{-1}$ 2,5 kg Stroh $\text{GV}^{-1} \text{d}^{-1}$

DÖHLER et al. (2002a) geben NH_3 -Emissionsfaktoren für Milchvieh unabhängig vom Leistungsniveau mit 12 (Tiefstreustall) bzw. 13 (Tretmiststall) kg NH_3 je Tierplatz an.

Die Datengrundlage zu Tiefstreu- und Tretmistverfahren ist jedoch sehr gering und wird als nicht gesichert angesehen. Angaben zur Mutterkuhhaltung fehlen.

Nach BERG et al. (2002) ist die Datengrundlage zu Festmist noch geringer als bei Flüssigmist. Sie folgern aus den bisherigen Untersuchungsergebnissen, dass die Höhe der NH_3 -Emissionen aus Festmistlagern mindestens der aus Güllelagunen — nach DÖHLER et al. (2002a) im Mittel 15 % des Gesamt-N — entspricht. Hierbei wird allerdings nicht zwischen Stapel- und Rottemist, wie bspw. bei KOSCH (2003) erfolgt, unterschieden (Tab. 2-1 bis Tab. 2-3, S. 8-10). Ein weiteres Defizit liegt in der Übertragbarkeit auf praxisnahe Verhältnisse, denn häufig wurden Untersuchungen im Labor oder mit kurzer Lagerdauer durchgeführt (bspw. HÜTHER, 1999; DEWES, 1997a und 1997c; KÜLLING et al., 2003).

Angaben über NH_3 -Verluste bei der Lagerung und Ausbringung von Mistsickerwasser wurden in der Literatur nicht gefunden. So können Schätzwerte für diese N-Verluste nur aus Erkenntnissen mit Jauche abgeleitet werden. Für Rinderjauche werden bei offener Lagerung mittlere Verluste von 10 % am Gesamt-N (DÖHLER et al., 2002a) und Ausbringungsverluste zwischen 14 und 19 % des applizierten NH_4^+ (DÖHLER et al., 2002b) angegeben.

In Deutschland werden etwa 50 % der Rinder in eingestreuten Ställen gehalten (SÖNTGERATH et al., 1992) und in Nordrhein-Westfalen wird die Einführung oder Beibehaltung der Festmistwirtschaft in Betrieben finanziell gefördert (Kulturlandschaftsprogramm). Insbesondere vor diesem Hintergrund sind weitere experimentelle Untersuchungen erforderlich, da die gegenwärtige Datengrundlage nur eine grobe Abschätzung der NH_3 -Emissionen während der Lagerung von Festmist gestattet. In der Festmistlagerung fehlt es an wirksamen Maßnahmen zur Emissionsminderung (BERG et al., 2002). Unbefriedigend ist auch, dass nur wenige Arbeiten (bspw. AMON et al., 2001; KÜLLING et al., 2003) neben NH_3 auch die direkt klimawirksamen Spurengase N_2O und CH_4 berücksichtigen.

Tab. 2-2: N-Verluste während der Lagerung von Stallmist

Autor	N-Form	N-Verlust ^a	Anmerkung
ZIMMERMANN, 1993		16 bzw. 21 % 8,6 %	30 bzw. 180 d, gasförmige und flüssige Verluste 90 d, gasförmige Verluste
SIBBESEN und LIND, 1993	N ₂ O	0,8 %	des Gesamt-N
DEWES, 1995	NH ₃ und NO ₃ ⁻	28,2 %	177 d
DEWES, 1995 u. 1997a		2,5 bis 3,4 %	N-Austrag mit dem Sickerwasser, 180 d
MOSIER et al., 1998	N ₂ O	2 (0,5 bis 3,0) %	des Exkrement-N
HÜTHER, 1999	N ₂ O	0,3 bis 1,5 %	des Gesamt-N
AMON et al., 2001	NH ₃ N ₂ O	3,2 % 0,6 %	Stapelmist, 80 d, Sommer, Ø 15 °C, 6,4 kg N t ⁻¹ FM, 1,2 kg NH ₄ ⁺ t ⁻¹ FM (18,3 % des Gesamt-N)
AMON et al., 2001	NH ₃ N ₂ O	3,0 % 0,8 %	Stapelmist, 80 d, Winter, Ø 10 °C, 6,3 kg N t ⁻¹ FM, 0,4 kg NH ₄ ⁺ t ⁻¹ FM (6,8 % des Gesamt-N)
AMON et al., 2001	N ₂ O	0,3 bis 1,0 %	des Exkrement-N
AMON et al., 2001		2,7 bis 4,0 %	Stapelmist, N-Austrag mit dem Sickerwasser, 80 d
KOSCH, 2003	NH ₃ , N ₂ O, NO ₃ ⁻	Insgesamt 15 %	Stapelmist, 120 d, 6,8 kg N t ⁻¹ FM, 0,74 kg NH ₄ ⁺ t ⁻¹ FM (10,9 % des Gesamt-N)
KOSCH, 2003	NH ₃ , N ₂ O, NO ₃ ⁻	Insgesamt 9 %	Rottemist, 120 d, 6,3 kg N t ⁻¹ FM, 0,54 kg NH ₄ ⁺ t ⁻¹ FM (8,6 % des Gesamt-N)
KÜLLING et al. 2003	N ₂ O N ₂ O	Insgesamt 18,3 % davon 7,1 % Insgesamt 10,1 % davon 8,5 %	des N _t , 49 d, 3,8 kg N t ⁻¹ FM, 0,6 kg NH ₄ ⁺ t ⁻¹ FM des N _t , 49 d, 3,2 kg N t ⁻¹ FM, 0,2 kg NH ₄ ⁺ t ⁻¹ FM

^a: wenn keine andere Angabe, dann N-Verlust bezogen auf Gesamt-N

Tab. 2-3: N-Verluste nach der Ausbringung von Festmist

Autor	N-Form	N-Verlust ^a	Anmerkung
DÖHLER und BISKUPEK, 1993	NH ₃	bis zu 60 %	des NH ₄ ⁺ , bei Ausbringung frischen Tiefstallmists
CHAMBERS et al., 1997	NH ₃	30 %	des NH ₄ ⁺
FRICK und MENZI, 1997	NH ₃	55 % 10 %	des NH ₄ ⁺ , Stapelmist des Gesamt-N

Fortsetzung von Tab. 2-3:

Autor	N-Form	N-Verlust ^a	Anmerkung
AMON et al., 2001	NH ₃	4,5 %	des NH ₄ ⁺ , Stapelmist, Sommer, Ø 15 °C, 6,39 kg N t ⁻¹ FM, 1,17 kg NH ₄ ⁺ t ⁻¹ FM (18,3 % des Gesamt-N)
AMON et al., 2001	NH ₃	2,2 %	des NH ₄ ⁺ , Stapelmist, Winter, Ø 10 °C, 6,31 kg N t ⁻¹ FM, 0,43 kg NH ₄ ⁺ t ⁻¹ FM (6,8 % des Gesamt-N)
KOSCH, 2003	NH ₃	8,7 % ^b	frischer Tiefstreumist, 6,7 % NH ₄ ⁺ , 15 °C Lufttemperatur
KOSCH, 2003	NH ₃	0,75 % ^b	Rottemist, 1,0 % NH ₄ ⁺ , 15 °C Lufttemperatur

^a: wenn keine andere Angabe, dann N-Verlust bezogen auf Gesamt-N;

^b: auf Ackerland ohne Einarbeitung

Schnittgrünland

Auf Schnittgrünland verbleibt, sofern die N-Düngung an die Leistungsfähigkeit der Grünlandnarbe angepasst ist, nur eine geringe N_{min}-Menge vor der Sickerwasserperiode auswaschungsgefährdet im Boden (SIMON, 1989; THEIß, 1989; MANNETJE und JARVIS, 1990). So ist das Risiko erhöhter NO₃⁻-Auswaschung auf Schnittgrünland, im Gegensatz zur Weide, eher als gering anzusehen. Über den Einfluss des Weißklee auf den NO₃⁻-Austrag wird in Kap. 2.1.5 berichtet. In quantitativ geringem Umfang treten NH₃- und N₂O-Emissionen auf ungedüngtem Schnittgrünland auf (Tab. 2-4, S. 12). Auf Schnittgrünland werden wesentliche NH₃-Verluste nur unmittelbar nach Düngungsmaßnahmen festgestellt (ANGER, 2001). Die NH₃-Verluste nach der Mistausbringung betragen nur etwa 1 bis 10 % des Gesamt-Stickstoff (Tab. 2-3, S. 10). Dies ist bedingt durch den niedrigen NH₄⁺-Anteil im Stallmist von etwa 10 %; bei Gülle beträgt er etwa 50 % (SLUIJSMANS und KOLENBRANDER, 1977; CHAMBERS et al., 1997). Einflussfaktoren auf die Bildung und Freisetzung von N₂O beschreibt HOFFMANN (1999). Während auf Mineralböden selbst bei hoher Düngung (bis 400 kg N ha⁻¹) maximal 5 kg N₂O ha⁻¹ emittieren, werden auf Niedermoorstandorten (480 kg N ha⁻¹) bis zu 16 kg N₂O ha⁻¹ gemessen (WEBSTER und DOWDELL, 1982; VELTHOF et al., 1996; HOFFMANN und ANGER, 1997; AUGUSTIN et al., 1998).

Tab. 2-4: N-Verluste auf Schnittgrünland

Autor	N-Form	N-Verlust (kg N ha ⁻¹)	Anmerkung
LOW, 1973; WEBSTER und DOWDELL, 1984; FOERSTER et al., 1985; STRATMANN und KÜHBAUCH, 1987; BENKE, 1992	NO ₃ ⁻	5	ungedüngt
BARACLOUGH et al., 1984; RYDEN, 1984; STRATMANN und KÜHBAUCH, 1987; STRATMANN, 1989; FOERSTER, 1988; BENKE, 1992; ELSAESSER, 1994	NO ₃ ⁻	7 bis 10	mineralische N-Düngung bis 250 kg N ha ⁻¹ a ⁻¹
VERTREGT und RUDGERS, 1988; WHITEHEAD et al., 1989	NH ₃	1 bis 3 (absterben-des Pflanzenmaterial)	ungedüngt
HOFFMANN, 1999	N ₂ O	bis zu 0,5	ungedüngt bis 120 kg Gülle-N ha ⁻¹ a ⁻¹ (Rengen)
WEBSTER und DOWDELL, 1982; VELTHOF et al., 1996	N ₂ O	0,5 bis 1,2	ungedüngt

Beweidung

Nitrat

Ein wesentlicher Unterschied zum Schnittgrünland ist der auf Weiden vorhandene direkte Nährstoffrückfluss über die Exkremente der Weidetiere. Im Gegensatz zum Kot-N, der zu 99 % aus organischen N-Verbindungen besteht, die zu etwa 78 % nicht wasserlöslich sind (KIRCHMANN und WITTER, 1992), liegt der N im Urin bis zu 90 % als Harnstoff vor (LANTINGA et al., 1987; BRISTOW et al., 1992). Daher wird Urin-N rascher in pflanzenverfügbare N-Formen mineralisiert als Kot-N. Vorrangig sind es die Urinstellen, die für den NO₃⁻-Austrag eine entscheidende Rolle spielen (RYDEN et al., 1984; WHITEHEAD und BRISTOW, 1990; CUTTLE et al., 1992). Unmittelbar unter Urinflecken werden N-Einträge in den Boden von umgerechnet über 1000 kg ha⁻¹ nachgewiesen (RYDEN, 1984), die besonders unter spätbeweideten Flächen austragsgefährdet sind (SAUER und HARRACH, 1996). Die Höhe der NO₃⁻-Auswaschungsverluste wird auf Weiden wesentlich von der Anzahl der Exkrementstellen bestimmt, die von der Beweidungsdauer und der Besatzdichte abhängen (HOGLUND, 1985; MORTON und BAIRD, 1990; ANDERSON et al., 1992). Auch die Boden- und Witterungsbedingungen, insbesondere das Sickerwasseraufkommen,

wirken sich auf die Höhe der NO_3^- -Austräge aus (ANGER, 2001). Die große Spanne an Austragsmengen von 3 bis $88 \text{ kg NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ auf nicht mit Stickstoff gedüngten Weiden ergeben sich offenbar auch vor dem Hintergrund unterschiedlicher Anteile von *Trifolium repens* im Bestand (STEELE et al., 1984; GARWOOD und RYDEN, 1986; MCDUFF et al., 1990; WATSON et al., 1991; BENKE, 1992; CUTTLE et al., 1992; TYSON et al., 1997) (s. auch Kap. 2.1.5). Zur Kalkulation der NO_3^- -Austräge unter Weiden gibt ANGER (2001) Schätzgleichungen (s. Kap. 4.6) an.

Ammoniak

Auf Weideflächen gehen die NH_3 -Verluste von den ausgeschiedenen Exkrementen der Weidetiere aus und sind jahreszeitlichen Einflüssen unterworfen (ANGER, 2001). Zwischen der Intensität der NH_3 -Freisetzung und der N-Konzentration im Futter besteht eine enge Beziehung (JARVIS et al., 1989; BUSSINK, 1992; MCKENZIE und TANTON, 1993). Für Weideflächen der gemäßigten Breiten können im Mittel NH_3 -Emissionen von 7 bis 15 % des Urin-Stickstoffs und 1 bis 5 % des Kot-Stickstoffs veranschlagt werden (WHITEHEAD, 1995; BUSSINK, 1996). In der kühleren, meist niederschlagsreichen Jahreszeit fallen geringere Emissionen an, während höhere Temperaturen im Sommer die NH_3 -Verluste deutlich ansteigen lassen (RYDEN et al., 1987; JARVIS et al., 1989; SUGIMOTO et al., 1993; BUSSINK, 1996). Unmittelbar nach dem Abtrieb der Weidetiere sinken die NH_3 -N-Verluste, da die Emissionen von NH_3 meist zu 70 bis 90 % innerhalb von 2 bis 3 Tagen nach der Exkrementausscheidung auftreten (JARVIS et al., 1989; MCKENZIE und TANTON, 1993; BUSSINK, 1996). ANGER (2001) ermittelt für die Exkrementstellen eine lineare Beziehung zwischen NH_3 -Verlusten und dem Nutzungstermin. Mit Hilfe dieser Beziehung können unter Einbezug des ausgeschiedenen Exkrement-N die NH_3 -Verluste geschätzt werden (s. Kap. 4.6). Auf Weideflächen ohne zusätzliche Düngung entweichen im Mittel 3 % des kalkulierten Leguminosen-Stickstoffs (JARVIS et al., 1989).

Lachgas

Unter Weidenutzung spielt für die N_2O -Entgasung der Termin des mit den Exkrementen von den Rindern ausgeschiedenen Stickstoffs eine gewisse Rolle. Allerdings kann nach ANGER (2001) keine sichere Korrelation zwischen N_2O -Entgasung und dem Termin der Exkrementausscheidung angegeben werden. Zur Kalkulation der N_2O -Verluste aus Exkrementstellen gibt er die in Kap. 4.6 aufgeführten Formeln an.

2.1.4.2 Phosphor, Kalium und Magnesium

Phosphor ist aufgrund seiner geringen Mobilität im Boden und der damit verbundenen niedrigen Verlagerungsraten in Grund- und Oberflächengewässer in der Regel ein bedeutender wachstumsbegrenzender Faktor für aquatische Ökosysteme. Durch den Einsatz von P-Dünger und den Zukauf P-haltiger Futtermittel sind in den letzten Jahrzehnten die Böden zunehmend mit Phosphor angereichert worden. Mittlerweile hat die Landwirtschaft einen erheblichen Anteil vor allem an den aus diffusen Quellen in die Gewässer eingetragenen P-Frachten (MOHAUPT et al., 1995; WERNER und WODSAK, 1994), die jedoch vorwiegend der ackerbaulichen Nutzung entstammen.

Unter Weide- und Wiesennutzung sind die P-Verluste mit 0,1 bis 1,7 kg ha⁻¹ sehr gering (Tab. 2-5, S. 15). Die Niederschlagsmenge und das Ausmaß der jährlichen P-Düngung beeinflussen die P-Verluste offenbar kaum. Dies liegt an der festen Bindung von Phosphor (PARFITT, 1978) und der somit nur geringen Verlagerung in tiefere Bodenschichten (PFAFF, 1963a; HOFFMANN, 1967; COPPENET, 1969). Für die landwirtschaftliche Nutzung haben die P-Verluste keine Bedeutung, obwohl sie eine beträchtliche Gewässereutrophierung verursachen können (TUNNEY et al., 1997).

Nach WERNER und BRENK (1997) hat Kalium im Vergleich zu Stickstoff und Phosphor eine deutlich geringere Umweltrelevanz. Schädigungen nichtagrarischer Ökosysteme durch K-Austräge aus der Landwirtschaft sind bislang nicht bekannt. Dennoch besteht bezüglich des Ressourcenschutzes die Veranlassung, zur Schonung der weltweiten K-Vorräte die verwendeten Düngemittelmengen aus den K-Lagerstätten möglichst effektiv einzusetzen.

Für Kalium werden bei einer Düngung von 0 bis 118 kg K ha⁻¹ mit 2 bis 19 kg K ha⁻¹ höhere Verluste als für Phosphor angegeben (Tab. 2-5, S. 15 f). ALFARO et al. (2004) stellten mit steigender K-Düngung eine Zunahme der K-Verluste fest; dies allerdings bei sehr hohen Gaben von über 300 bis über 500 kg K ha⁻¹ in Kombination von mineralischer und organischer Düngung.

Die Mg-Verluste übersteigen in der Regel die an Kalium und werden mit 9 bis 32 kg ha⁻¹ angegeben. Die vertikale Verlagerung und damit die Auswaschung der Kationen

ist umso geringer, je größer der Gehalt der Böden an Ton- und Humuskolloiden — an denen Kalium und Magnesium adsorbiert werden — ist. Magnesium wird aufgrund seiner dickeren Wasserhülle etwas weniger fest adsorbiert und unterliegt daher eher der Auswaschung als Kalium (MENGEL, 1991). Magnesium wird nach BEER (1995) in höherem Maße mit dem Sickerwasser in tiefere Bodenschichten verlagert als Phosphor und Kalium.

Tab. 2-5: Phosphor-, Kalium- und Magnesium-Verluste unter Grünlandnutzung

Autor	Standort	Nutzung	Düngung (kg ha ⁻¹)	Verlust (kg ha ⁻¹)	Anmerkung
STEELE et al., 1984	Neuseeland, Typic Haplohumult, 1840 mm	Weide (8 Ochsen - Absetzer ha ⁻¹)	118 K	14 K, 32 Mg	Drainage, 1 Versuchsjahr
COOPER und THOMSEN, 1988	Neuseeland, Typic Vitransept, 1580 mm	Weide (Rind und Schaf)	30 P	1,7 P	Drainage, 2 Versuchsjahre
EDER, 1993	Österreich, lehmiger Sand, 1033 mm	Wiese		19,3 K, 21,2 Mg	Lysimeter, 5 Versuchsjahre
HAYWARD et al., 1993	Irland, 500 bis 879 mm	Überwiegend Grünland		0,24 bis 0,84 P	P-Bilanz zweier Seen, Einzugsgebieten von 35 und 110 km ²
KOPEC, 1993	Polen, feinsandiger Lehm, 892 mm	Wiese		0,05 P 1,6 K, 9 Mg	Lysimeter, 4 Versuchsjahre
TUNNEY et al., 1997	Neuseeland, Gley, 572 mm	Wiese		0,15 P	Drainage und Oberflächenabfluss, 1 Versuchsjahr
EARLY et al., 1998	Neuseeland, schluffiger Lehm	Weide	550 K	10 K, 49 Mg	Verlust unter simuliertem Urin-Spot, Lysimeter, 1 Versuchsjahr
EARLY et al., 1998	Neuseeland, schluffiger Lehm	Weide (3 GV ha ⁻¹)		2 K, 11 Mg	23 % der Weidefläche mit Urin benetzt
MONAGHAN et al., 2000	Neuseeland, schluffiger Lehm, 1000 mm	Weide (2 Kühe ha ⁻¹)		< 0,5 P 11 K, 9 Mg	Drainage, 2 Versuchsjahre

Fortsetzung von Tab. 2-5:

Autor	Standort	Nutzung	Düngung (kg ha ⁻¹)	Verlust (kg ha ⁻¹)	Anmerkung
OWENS et al., 2003	USA, schluffiger Lehm, 1121 mm	Weide (1,5 Mutterkühe ha ⁻¹)	56 N	0,5 P, 8,1 K, 24,8 Mg	Frühjahrskalbung, Absetzen Ende Okt., Oberflächen- u. Untergrundabfluss, 5 bzw. 10 Versuchsjahre
OWENS et al., 2003	USA, schluffiger Lehm, 1065 mm	Weide (~1,7 Mutterkühe ha ⁻¹)	168 N	0,2 P, 10,4 K, 29,9 Mg	
ALFARO et al., 2004	England, Typic Haplaquept, 1249 mm	Weide	26 P, 50 K	7 K bzw. 9 K	Mit bzw. ohne Drainage, 2 Versuchsjahre
ALFARO et al., 2004	England, Typic Haplaquept, 1231 mm	Mähweide	Min.: 280 N, 200 K, Mist: 85 N, 122 K	7 K bzw. 19 K	Mit bzw. ohne Drainage, 1 Versuchsjahr
ALFARO et al., 2004	England, Typic Haplaquept, 1266 mm	Mähweide	Min.: 280 N, 200 K, Mist: 168 N, 304 K	23 K bzw. 31 K	Mit bzw. ohne Drainage, 1 Versuchsjahr

Min.: mineralische Düngung

2.1.5 Einfluss des Weißklee auf den Stickstoffkreislauf

Weißklee hat aufgrund seiner Fähigkeit zur biologischen N₂-Fixierung einen erheblichen Einfluss auf den N-Kreislauf. Es ergeben sich Auswirkungen auf die Umsetzung von Stickstoff im Boden, auf die N-Akkumulation im oberirdischen Aufwuchs und auf die Nitratauswaschung (SCHNOTZ, 1995).

NEUENDORF (1996) gibt eine ausführliche Literaturübersicht zur N₂-Fixierungsleistung von Weißklee. Darin werden für Deutschland ohne N-Düngung bis 210 kg N ha⁻¹ (LÖBBECKE, 1988) aufgeführt. Nach einer Übersicht von KÜHBAUCH et al. (1996) variiert die N₂-Fixierung der Grünlandleguminosen — i.d.R. Weißklee — von 3 bis 7 kg N ha⁻¹ je Prozent Trockenmasse-Ertragsanteil (BOLLER et al., 1992; WILHELMY, 1993; SCHNOTZ, 1995; NEUENDORF und SPATZ, 1995). RIEDER (1983) gibt ebenfalls eine weite Spanne von 3 bis 5 kg N ha⁻¹ je Prozentpunkt Weißkleeanteil an.

Zur Quantifizierung der N-Zufuhr aus der symbiotischen N₂-Fixierung sind diese Angaben jedoch sehr ungenau, einerseits weil die Spannen sehr groß sind und ander-

rerseits weil die Ertragsanteile unabhängig vom absoluten Kleeertrag sind. Demnach würden die gleichen Ertragsanteile bei niedrigem und bei hohem Ertrag zur gleichen Schätzung der N₂-Fixierungsleistung führen.

Der bekannte Rückgang der N₂-Fixierungsleistung eines Klee-Gras-Bestandes mit zunehmender N-Düngung vollzieht sich überwiegend durch die Verminderung des Kleeanteils und viel weniger durch eine Reduktion der N₂-Fixierungseffizienz des Klees (WEIßBACH, 1995). Daher kann die N₂-Fixierungsleistung innerhalb bestimmter Grenzen ohne Berücksichtigung des N-Düngungsniveaus aus dem Kleeertrag geschätzt werden. Nach WEIßBACH (1995) kann bei sehr hohem Düngungsniveau der Düngungseffekt allerdings nicht vernachlässigt werden. Er schätzt im Dauergrünland die N-Menge im Erntegut, die auf der symbiotischen N₂-Fixierungsleistung beruht:

$$y \text{ (kg N ha}^{-1}\text{)} = (4,0 * x_1 - 0,01 * x_1^2) * (1 - 0,000036 * x_2^2) \quad [1]$$

Darin: x_1 = Weißkleeertrag in (dt T ha⁻¹)
 x_2 = Düngungsniveau in (kg N ha⁻¹ Nutzung⁻¹)

Zur Schätzung der Gesamt-N-Zufuhr aus symbiotischer Herkunft schlägt WEIßBACH (1995) vor, die angegebene Gleichung mit dem Faktor 1,25 zu multiplizieren. Dadurch wird zusätzlich zur symbiotisch gebundenen N-Menge im Erntegut die durch die NO₃⁻-Auswaschung aus der Rhizosphäre verlorengewandene symbiotisch gebundene N-Menge berücksichtigt. Diese Größe ist für die Aufstellung einer N-Bilanz zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit von Wirtschaftsformen notwendig.

Hohe Weißkleeanteile können hohe N-Austräge mit dem Sickerwasser verursachen (LOISEAU et al., 2001; SCHOLEFIELD et al., 2002). Nach SCHOLEFIELD et al. (2002) bestehen in Abhängigkeit von Standort, Leguminosenart, Anteil der Leguminose in der Grasnarbe und ihres Trockenmasseertrags große Unterschiede im Potential des auswaschungsgefährdeten Stickstoffs. Unter ungedüngtem Schnittgrünland wird von Austrägen von etwa 28 kg N ha⁻¹ berichtet (VERTÈS et al., 1994; KAYSER et al., 2003), bei Beweidung von 12 bis 16 kg N ha⁻¹ (VERTÈS et al., 1994). Einige Untersuchungen zeigen Austräge bei Beweidung von über 30 kg NO₃⁻ ha⁻¹, wenn der Weißkleeanteil in der Grünlandnarbe über 30% beträgt (LOW und ARMIT-

AGE, 1970; WATSON et al., 1991; BENKE, 1992; CUTTLE et al., 1992 und 1998; LEDGARD et al., 1999).

2.2 Leistungen

2.2.1 Grünlandertrag und Futteraufnahme

2.2.1.1 Methoden der Ertragserfassung und Schätzung der Futteraufnahme auf Weiden

Während die Ertragsbestimmung auf Schnittgrünland problemlos möglich ist, bereitet die Ertragsbestimmung und damit auch die Ermittlung der Futteraufnahme auf Weiden methodische Schwierigkeiten, denn das unmittelbar von den Tieren verzehrte Futter kann nicht direkt gewogen und beprobt werden.

Die Schätzung der Erträge (Brutto-Erträge) und der Futteraufnahme (Netto-Erträge) kann über den Schnitt und die Wiegung des Weidefutters vor Auftrieb und nach Abtrieb erfolgen. Wenn dabei eine Fresszeit von 2 Tagen überschritten wird, sind Weidekäfige als Schutz des Weidefutterzuwachses (Fresszeitzuwachs) vor dem Verbiss der Weidetiere einzusetzen (Weidekäfig-Methode nach VOIGTLÄNDER und VOSS, 1979). Dabei wird der Weidefutteraufwuchs während eines Umtriebes durch Addition des Futterangebotes zur Zeit des Auftriebs mit dem Fresszeitzuwachs während des Umtriebes errechnet. Die Futteraufnahme der Tiere erhält man durch Subtraktion des unmittelbar nach Abtrieb bestimmten Weiderestes vom Weidefutteraufwuchs (Differenzmethode).

Zu Ungenauigkeiten bei dieser Differenzbildung trägt ein möglicher Mehrertrag von bis zu 1 % je Tag bei, der wegen mikroklimatisch veränderter Bedingungen unter den Käfigen entstehen kann (KLAPP, 1963). Einen weiteren Einfluss auf die Genauigkeit haben mögliche Trockenmasseverluste infolge Futteralterung insbesondere bei überständigem Futter. Nach BAKKER (1989) ist das Ausmaß des Trockenmasseabbaus pflanzenartspezifisch und verläuft bis zu einem Abbau von 40 % besonders schnell

bei *Holcus lanatus* (220 d) und *Agrostis stolonifera* (190 d). Die Verwendung von Weidekäfigen ist nach PARSONS et al. (1983) allerdings die einzige Methode zur großflächigen Anwendung.

Alternativ können die Netto-Erträge (Futteraufnahme) auch mit der Methode der Weideleistungsermittlung geschätzt werden. Bei der Weideleistung werden aus der Leistung der Weidetiere Rückschlüsse auf die Graserträge einer bestimmten Fläche in (MJ NEL) gezogen. Zusätzliche Gras-, Heu- und Silageernten werden in derselben Energieeinheit hinzuaddiert (VOIGTLÄNDER und VOSS, 1979).

Wird die Weideleistung in Relation zum gemessenen Energieertrag der Weide gesetzt, so erhält man eine Verhältniszahl, welche die Umwandlung der Energieerträge in tierische Nutzleistung angibt (VOIGTLÄNDER et al., 1989). Um die Futteraufnahme aus der Weideleistung zu ermitteln, bedarf es der Bestimmung des Energiegehaltes im verzehrten Futter. Dies kann über die Kot-Stickstoff-Methode erfolgen, die zudem die Möglichkeit bietet, die Futteraufnahme tierindividuell zu ermitteln. Die tierindividuelle Ermittlung setzt allerdings eine kontinuierliche Kotsammlung mit Sammel-taschen voraus und ist wegen des enormen Aufwands nur bei sehr kurzer Versuchsdauer möglich (STRODTHOFF und ISSELSTEIN, 2001).

Mit Indikator-Methoden (u.a. Chromoxid- (MESSIKOMMER, 1987) und n-Alkan-Methode (SCHMIDT et al., 2004a) wird mit einer dem Rind bspw. über eine Schlundsonde verabreichten Indikatorsubstanz, die im Verdauungstrakt nicht oder in bekanntem Ausmaße veränderbar ist, sowie speziellen im Futter natürlich vorkommenden Leitsubstanzen sowohl die Kotmenge als auch die Verdaulichkeit des Futters ermittelt und aus diesen beiden der Futterverzehr berechnet (MESSIKOMMER, 1987). Da die Indikatorsubstanzen den Tieren täglich einzeln verabreicht und Kotproben gewonnen werden müssen, eignen sich die Indikator-Methoden für Versuche mit kurzen Messperioden, geringer Tierzahl und vornehmlich zahmen, an den Menschen gewöhnten Rinder. Zur Untersuchung der Futteraufnahme und der Stickstoffausscheidung zur Schätzung der Stickstoffemissionen von 40 Mutterkühen und 40 Kälbern über einen Zeitraum von drei Weideperioden — wie in der vorliegenden Arbeit erfolgt — sind die Indikatormethoden aufgrund des enormen Aufwandes nicht geeignet.

2.2.1.2 Einflussfaktoren auf den Grünlandertrag

Aufgrund des bedeutenden Einflusses der Erträge, der Futterqualität und der Futteraufnahme auf den Nährstoffkreislauf sind auch viele indirekte Faktoren von Bedeutung, welche sich auf die genannten Parameter auswirken.

Zunächst prägt der Standort über den Boden, das Klima und die Witterung das natürliche Ertragspotential. Dies wird besonders bei einem Verzicht auf N-Düngung deutlich, denn das Ausmaß des damit verbundenen Ertragsrückgangs ist wesentlich von den Standortbedingungen abhängig (HAND, 1991). So berichtet HAND (1991) bei viermaliger Nutzung und Verzicht auf N-Düngung im Vergleich zur Düngung mit 300 kg N ha⁻¹ von einem relativen Ertragsrückgang von 35 % auf humosem Sandboden gegenüber 55 % auf schluffigem Lehmboden. Mit der Bestätigung der Abhängigkeit zwischen Niederschlagsmenge und Weideertrag belegen KÖNEKAMP et al. (1959) eine ertragssteigernde Wirkung zunehmender Sommerniederschläge.

Auch die Nutzungsart, der Nutzungstermin und die Nutzungsfrequenz haben einen Einfluss auf den Grünlandertrag. Auf eine Überlegenheit der Schnittnutzung im Gesamtertrag gegenüber Beweidung weisen BLUME (1958) und HART und NORTON (1988) hin. Bei den Weideformen ist die Umtriebsweide der intensiven Standweide bei hohem Viehbesatz im Ertrag überlegen, ebenso auf trockenen Standorten, in Trockenperioden und häufig gegen Ende der Weideperiode (VOIGTLÄNDER et al., 1989).

Der Beitrag des Weißklees zum Ertrag einer Weidelgras-Weißklee-Weide kann über einen weiten Bereich durch verschiedene Bewirtschaftungsmaßnahmen gesteuert werden (FRAME und NEWBOULD, 1986; HAYNES, 1980). Bei Verzicht auf N-Düngung erhöht Weißklee den Grünlandertrag (FRAME und BOYD, 1984; DYCKMANS, 1986; EVANS et al., 1990). Die Weißkleeertragsanteile sind im Frühjahr und Herbst geringer, da Weißklee im Vergleich zu Gräsern höhere Temperaturansprüche stellt (FRAME und BOYD, 1984). Mit der Steigerung der Nutzungshäufigkeit wird der Gesamtertrag gesenkt, jedoch der Weißkleeertragsanteil gefördert (MENZI und NÖSBERGER, 1988). Höhere Weißkleeerträge und höhere Gesamterträge ermittelten BOYD et al. (1982) bei geringer (2,5 cm) im Vergleich zu hoher (6-7,5 cm) Schnitthöhe. Neben der Beweidungsintensität hat auch die Weideform einen großen

Einfluss auf den Weißkleeertragsanteil (WOLTON et al., 1970; LAIDLAW und MCBRATNEY, 1982). Auf Mähweiden erhöhten zwei Schnitte im Frühjahr im Gegensatz zu nur einem Schnitt den Kleeanteil und die fixierte N-Menge nachhaltig (TROTT, 2003; TROTT et al., 2003).

In 25 Jahresernten ermittelte JÜLG (1958) je dt FM Stallmist im Vergleich zur ungedüngten Kontrolle auf Mineralboden einen Mehrertrag von ca. 9 kg Heu. Die Bodenwerte der ungedüngten Kontrolle lagen zwischen pH 6,7 bis 6,9 und 3,1 bis 4,6 mg P, 7,5 bis 10,0 mg K und sind für P und K in die Gehaltsklasse B einzustufen. Die Wirkung einer Stallmistdüngung auf Wiesen hält mindestens 3 bis 4 Jahre an. Im Mittel von 15 Jahren und dreijähriger Wirkungsdauer wurden keine gesicherten Unterschiede in der Leistung von Stallmist- und Mineraldüngung festgestellt. Die Gesamtwirkung innerhalb der drei Jahre bei einer Düngung von 20 t FM ha⁻¹ Kurzstrohmist teilte sich auf das Düngungsjahr mit ca. 54 % und auf das 2. und 3. Jahr mit je etwa 23 % auf. Die Nährstoffgehalte des Stallmistes bei einem Trockenmassegehalt von 20,5 % betragen für Stickstoff 0,52 %, Phosphor 0,10 % und Kalium 0,58 %. Die Stallmistdüngung führte zu keinen wesentlichen Veränderungen in den Anteilen der Artengruppen (Gräser, Leguminosen, Kräuter).

Während auf Wiesen in vier Jahren eine ähnliche Ausnutzung des Stallmist-N wie bei Handelsdüngern festzustellen ist, sind bei Weiden auch sehr niedrige Angaben von 5 bis 60 % zu finden (KLAPP, 1971). Die kurzfristige Kalium-Effizienz von Stallmist ist oft niedrig. In Langzeit-Versuchen zeigt sich eine gleiche Wirkung von Kalium aus Stallmist und aus Mineraldünger (SMITH et al., 1987).

2.2.2 Futterqualität und Futteraufnahme

Die Futterqualität wird im Wesentlichen von der Verdaulichkeit der Zellwandbestandteile beeinflusst, die mit steigenden Temperaturen infolge zunehmender Lignifizierung abnimmt (DEINUM und DIRVEN, 1976).

Die Tatsache, dass die Stängel (Kriechtriebe) der Weißkleepflanze - im Gegensatz zu den Gräsern - nicht geerntet werden, verhilft dem erntbaren Rest des Weißkleees, trotz zunehmenden Alters, seine hohe Verdaulichkeit zu behalten. Blätter ändern sich

in ihrer Zusammensetzung nur wenig und alte Blätter und Blattstiele werden durch neue ersetzt (KÜHBAUCH und PLETL, 1981). Somit wird die Nutzungselastizität durch Weißklee erhöht (SPIEKERS et al., 1998). Beim Weißklee existieren Unterschiede in der Qualität einzelner Pflanzenteile. So fanden STUTZ und LEHMANN (1999) in einer Untersuchung deutlich mehr Rohasche, verdauliche organische Substanz und Energie in den Blättern und mehr Rohfaser in den Blüten. Der größte Unterschied bestand in der Energiedichte mit etwa $5,0 \text{ MJ NEL kg T}^{-1}$ in den Blüten gegenüber etwa $6,3 \text{ MJ NEL kg T}^{-1}$ in den Blättern.

Die Futteraufnahme des Weidetieres wird durch die Faktoren Futterqualität, Futterangebotsmenge, Struktur des Pflanzenbestandes, Topographie der Weide, Bedarf des Tieres und den klimatischen Verhältnissen beeinflusst (MESSIKOMMER, 1987). Die Futteraufnahme der Mutterkühe ist zunächst vom Futteraufnahmevermögen abhängig. Dieses hängt ab vom Gewicht, dem physiologischen Stadium und der Milchleistung. So nimmt es in den letzten zwei Wochen der Trächtigkeit leicht ab, steigt nach der Kalbung stark an und erreicht sein Maximum in den ersten ein bis vier Monaten der Laktation. Erstlaktierende Kühe haben ein um 20 % geringeres Futteraufnahmevermögen während der Trächtigkeit und frühen Laktation (PETIT und AGABRIEL, 1989). Einen weiteren Einflussfaktor stellt die Rasse dar. Das Futteraufnahmevermögen von Kühen der Rasse Limousin ist um 10 % niedriger als das der Rassen Charolais und Salers (PETIT und AGABRIEL, 1989).

SCHMIDT et al. (1995) ermittelten in Brandenburg mit der Differenzmethode auf extensiv bewirtschafteten Weideflächen bei einer niedrigen mittleren Energiedichte von $4,8 \text{ MJ NEL kg T}^{-1}$ tägliche Futteraufnahmen bei Mutterkühen der Rassen Salers von $8,0 \text{ kg T GV}^{-1}$, Schwarzbuntes Milchrind von $9,0 \text{ kg T GV}^{-1}$ und Galloway von $7,0 \text{ kg T GV}^{-1}$. SUTTER et al. (1998a) bestimmten Futteraufnahmen über einen Zeitraum von 3 Wochen mit der doppelten Indikatormethode nach MESSIKOMMER (1987) auf einer Bergweide zu Beginn der Alpsaison. Je Tier lag die Futteraufnahme bei Aberdeen-Angus-Mutterkühen bei $11,3 \text{ kg T}$ und ihren Kälbern (250 kg Lebendmasse) bei $3,8 \text{ kg T}$. Zusammen verzehrten sie mit $15,1 \text{ kg T}$ die gleiche Futtermenge wie die Vergleichsgruppe Simmentaler Milchkühe.

Auf einer sehr artenreichen Alpweide mit Deckungsgraden von 45 % an Gräsern, 25 % an Leguminosen und 30 % an Kräutern ermittelten SUTTER et al. (1998a) eine deutliche Bevorzugung der Gräser, eine leichte Diskriminierung der Kräuter und eine starke Diskriminierung der Leguminosen. Dagegen wiesen BAADE et al. (2001) bei Milchvieh eine Selektion von Kräutern und Leguminosen gegenüber Gräsern nach und zwar in einem Pflanzenbestand mit Ertragsanteilen von 63 % Gräsern, 33 % Kräutern und 4 % Weißklee. Rassenbedingte Unterschiede in der Futterselektion wurden von SCHMIDT et al. (2004b) zwischen Galloway- und Charolais-Ochsen sowie Färsen der Rassen Holstein Friesian und Deutsche Rotbunte nicht festgestellt.

2.2.3 Tierische Leistungen

Viele Untersuchungen zeigen, dass die Milchleistung der Mutterkuh der wichtigste Faktor für die täglichen Zunahmen der Kälber vor dem Absetzen ist (BRELIN, 1979). Die tägliche Milchleistung der Mutterkühe ist vom genetischen Potential, der Ernährung und der Körperkondition der Kühe sowie von der Aufnahmefähigkeit des Kalbes abhängig (CHESTNUTT, 1986-87). PETIT und AGABRIEL (1989) geben tägliche Milchleistungen für den Zeitraum der ersten drei Monate der Laktation für die Rassen Charolais mit 7 bis 8 kg, für Limousin mit 6 bis 7 kg und für Salers mit 8 bis 9 kg an. Nach HOLLOWAY et al. (1975) beträgt die tägliche Milchleistung von Kühen der Rassen Hereford 6 kg und Charolais 9 kg.

Seit langem bekannt und häufig bestätigt ist der Einfluss des Geschlechts auf das Wachstum der Kälber, wobei männliche Kälber höhere Tageszunahmen erreichen als weibliche Kälber (VAN MARLE, 1964).

Durch Zufütterung (ad libitum) von gequetschter Gerste ($2,7 \text{ kg Kalb}^{-1} \text{ d}^{-1}$) während der Weideperiode erzielten männliche Kälber aus der Anpaarung Charolais x Deutsch Angus und Fleischfleckvieh bei einer Tageszunahme von $1.728 \text{ g Kalb}^{-1} \text{ d}^{-1}$ eine um 15,4 % höhere tägliche Lebendmassezunahme (SCHOLZ et al., 2002). Dieser Untersuchung liegt bei einer Fläche von 1,4 ha je Mutterkuh-Kalb-Paar ein Ertrag von 79 dt T ha^{-1} und eine mittlere Energiedichte von $6,1 \text{ MJ NEL kg T}^{-1}$ im Weidefutter zugrunde. Diese sehr hohe Zunahme ist neben der Zufütterung und einem Heterosis-effekt wohl zu einem großen Teil auf die ermittelte relativ hohe mittlere Milchleistung von $12,2 \text{ kg d}^{-1}$ zurückzuführen. GOLZE et al. (1997) berichtet von durch Zufütterung

erzielten höheren Zunahmen bei Saugkälbern der Rasse Limousin in Höhe von 15 %, bei Deutsch Angus um 25 % und bei Fleckvieh um 21 %. Die Zunahmen der leichteren Robustrassen wie Galloway und Highland-Cattle liegen unterhalb der in Tab. 2-6 aufgeführten intensiveren Rassen.

Tab. 2-6: Tageszunahmen von Mutterkuh-Kälbern während der Säugephase; ohne Zufütterung

Autor / Land	Rasse / Kreuzung	Tageszunahme (g Kalb ⁻¹ d ⁻¹)
BRELIN (1979), Schweden	Charolais, Hereford	1.098 (m), 984 (w), 832 (m), 753 (w)
JANS (1990), Schweiz	Aberdeen Angus x (Eringer x Braunvieh), Trockenstandort	689 bis 1.006, [109 bis 145] ^a
SCHWARK et al. (1991), Deutschland	Fleischfleckvieh bzw. (Charolais x Fleckvieh) x SMR bzw. F1 daraus	920 (w), 995 (m), [184] ^b
ESTERMANN et al. (2001)	Aberdeen Angus, Aberdeen Angus x Simmental	971, 1.124
SCHOLZ et al. (2002), Deutschland	Charolais x Deutsch Angus oder Fleischfleckvieh	1.498 (m), [155] ^a
MAKULSKA et al. (2003), Polen	Limousin, Charolais	995 , 1.000

^a: Weidetage; ^b: Säugetage; w: weiblich; m: männlich; SMR: Schwarzbuntes Milchrind

Ohne Zufütterung erreichen Kälber während der Säugephase in Abhängigkeit ihrer genetischen Herkunft und des Geschlechts Tageszunahmen zwischen 753 und 1498 g Kalb⁻¹ (Tab. 2-6). Die große Spanne in den Tageszunahmen kann zusätzlich auf topographisch und witterungsbedingten Unterschieden im Energiebedarf beruhen (VOIGTLÄNDER und VOSS, 1979), als auch auf Unterschieden in der Ernährung (Futterangebot und Futterqualität).

Der Einfluss der Abkalbesaison spielt ebenfalls eine Rolle für die Höhe der Tageszunahmen auf der Weide. Im Vergleich zur Herbst-Kalbung zeigten Kälber aus der Winter-Kalbung auf der Weide um 146 g d⁻¹ höhere Zunahmen (ESTERMANN et al., 2001). Kälber aus einer Frühjahrskalbung weisen bei geringfügig höheren Tageszunahmen geringere Absetzgewichte auf als Winterkälber (PABST und LANGHOLZ, 1977; BAGLEY et al., 1987; AVERBECK, 1988; SCHWARK, 1992).

3 Fragestellung

Mit der vorliegenden Arbeit sollen die Auswirkungen einer Nährstoff-extensiven Mutterkuhhaltung bei ausschließlicher Grünlandnutzung im Mittelgebirge auf den Nährstoffkreislauf, die Leistung des Grünlands und die tierischen Leistungen untersucht werden. Dabei werden zwei im Nährstoffniveau unterschiedliche Teilbetriebe, einer ohne (O) und einer mit (M) Nährstoffzufuhr (Stallmist, Stroh, Krafffutter), verglichen.

Von besonderem Interesse sind folgende Fragen:

1. Welche Grünlandleistung (Ertrag, Qualität, Weideleistung) und welche Leistung der Rinder sind bei unterschiedlichem Nährstoffniveau und unterschiedlicher Weideintensität möglich? Wie hoch sind Nutzungs- und Nährstoffeffizienz des Futters? (Kapitel 5.4 bis 5.12)
2. Wieviel Stallmist fällt an und wie hoch ist die symbiotische N_2 -Fixierung in den Teilbetrieben? Ergeben sich Unterschiede zwischen den Teilbetrieben in den Bodennährstoffgehalten und in der botanischen Zusammensetzung der Grünlandnarbe? (Kapitel 5.1 bis 5.3 und 5.13)
3. In welcher Höhe entstehen in den Teilbetrieben Stickstoff-Verluste nach Bindungsformen (Nitrat, Ammoniak, Lachgas) in der Stallmiskette (Stall, Lagerung, Ausbringung) und auf den Flächen? (Kapitel 5.14)
4. In welcher Höhe werden in den Teilbetrieben Stickstoff, Phosphor, Kalium und Magnesium im Nährstoffkreislauf zwischen Boden/Atmosphäre, Pflanze, Rind und Exkrementen innerhalb eines Jahres bewegt, mit Produktionsmitteln zugeführt und mit Produkten ausgeführt (Nährstoffbilanzen)? (Kapitel 5.15 und 5.16)
5. Korreliert die Art der N-Saldierung mit den Stickstoff-Verlusten? Eignen sich Stickstoff-Saldos als Schätzwerte für Stickstoff-Verluste? (Kapitel 5.17)
6. Wie hoch sind die aus den Nährstoffbilanzen ableitbaren Effizienzen der Nährstoffe Stickstoff, Phosphor, Kalium und Magnesium? Besteht eine Beziehung zwischen der als Agrarumweltindikator häufig verwendeten Stickstoff-Effizienz und dem Stickstoff-Verlust? (Kapitel 5.18)

4 Material und Methoden

4.1 Standort

Der Versuch fand in der Lehr- und Forschungsstation Rengen der Universität Bonn statt. Der Standort befindet sich in der Eifel in der Nähe der Stadt Daun in Rheinland-Pfalz. Er ist geologisch dem Rheinischen Schiefergebirge zuzuordnen. Die Flächen erstrecken sich von 405 bis 507 m ü. NN.

Die Böden der Versuchsflächen sind aus devonischen Tonschiefern, Grauwacken und Sandsteinen entstanden. Die Ausgangsgesteine waren verschiedenen Verwitterungsprozessen ausgesetzt. So entstanden im Tertiär unter feucht-heißen Klimabedingungen „fossile Verwitterungsdecken“ (MÜCKENHAUSEN, 1953), die heute den Unterboden mit vorwiegend tonigen Bodenarten (toniger Lehm bis lehmiger Ton und Ton) bilden. Dagegen wurde der heutige Oberboden mit stark bis fein-sandigem Lehm unter den Verwitterungsbedingungen des Pleistozäns und Holozäns gebildet. Die fossilen Verwitterungsdecken bilden durch ihre Dichtlagerung häufig eine Stauschicht und fördern damit die Bildung von Pseudogleyen. Eine mangelnde Trittfestigkeit der Grasnarbe und damit verbunden ein häufig später Weideauftrieb im Frühjahr sind die Folge. Staukörper und Niederschlag sowie die Inklination und die Exposition beeinflussen den Wasserhaushalt des Standorts. Während der Sommermonate können längere Trockenphasen auftreten.

Die Pflanzenbestände aller Versuchsflächen lassen sich in die Pflanzengesellschaft der Weidelgras-Weißkleeweide (*Lolio-Cynosuretum*) einordnen. Die floristische Zusammensetzung der Grasnarben ist in Tab. A 4 (S. 188) dargestellt.

Im Vergleich zur langjährigen Jahresmitteltemperatur von 6,9 °C war es in den Jahren 1999-2001 mit 7,7 bis 8,1 °C wärmer (Tab. 4-1, S. 27). Im Jahr 2000 regnete es mit 945 mm deutlich mehr im Vergleich zum Jahresniederschlag des langjährigen Mittels von 811 mm und zu den übrigen Jahren (1999: 820 mm; 2001: 794 mm). Während 1999 von Sommertrockenheit geprägt war, gab es in 2000 reichlich Niederschlag (Tab. 4-1, S. 27). Der Sommer in 2001 war im Vergleich zum Sommer 1999

bei ähnlichen Niederschlagsmengen in der Vegetationsperiode aufgrund einer höheren Niederschlagsmenge in der vorhergehenden Sickerwasserperiode und niedrigerer Temperaturen nicht so trocken. Der ausführliche Witterungsverlauf der Jahre 1999-2001 ist im Anhang in Abb. A 3 (S. 258) dargestellt.

Tab. 4-1: Jahresmitteltemperatur, Jahresniederschlag sowie Niederschlags-summen der Sickerwasser- und Vegetationsperioden

Jahr	Jahresmitteltemperatur (°C)	Jahresniederschlag (mm)	Niederschlag in der Sickerwasserperiode von Oktober des Vorjahres bis März (mm)	Niederschlag in der Vegetationsperiode von April bis September (mm)
1999	7,9	820	491	330
2000	8,1	945	488	484
2001	7,7	784	531	334

Die Vorbewirtschaftung der Flächen erfolgte ebenfalls durch Mutterkuhhaltung. Im Mittel der Jahre 1994 bis 1997 wurden zusätzlich zu den anfallenden Wirtschaftsdüngern jährlich 89 kg N ha^{-1} , 18 kg P ha^{-1} und 21 kg K ha^{-1} mineralisch gedüngt. In dieser Zeit betragen die mittleren Hoftorbilanzsaldos $+82 \text{ kg N ha}^{-1}$, $+18 \text{ kg P ha}^{-1}$ und $+25 \text{ kg K ha}^{-1}$. Mit der Umstellung des Betriebes auf Ökologischen Landbau wurde seit 1997 die mineralische Stickstoffdüngung eingestellt und das Haltungssystem von Gülle auf Tiefstreumist geändert. Die Hoftorbilanzsaldos für die Nährstoffe N, P und K verringerten sich im ersten Jahr der Umstellung auf $+4$, $+2$ bzw. $+10 \text{ kg ha}^{-1}$.

4.2 Versuchsaufbau und Versuchsf Flächen

Der Versuchsbetrieb wurde in zwei Teilbetriebe, ohne (O) und mit (M) Nährstoffzufuhr, unterteilt. Beide Teilbetriebe hatten gemeinsame Grundprinzipien: Die Mutterkühe wurden im Sommer Tag und Nacht auf der Weide und im Winter im Tieflaufstall gehalten. Die über Winter verfütterte Silage stammte von den jeweiligen Teilbetriebsflächen. Die Kalbungen erfolgten im Winter. Die Absetzer wurden zum Zeitpunkt des Weideabtriebs verkauft. Jeder Teilbetrieb von je etwa 19 ha Grünlandfläche bestand aus 20 Mutterkühen und 20 Kälbern. Die Besatzstärke betrug in Teilbetrieb O $1,8 \text{ GV ha}^{-1}$, in Teilbetrieb M $2,0 \text{ GV ha}^{-1}$ (Tab. 4-2, S. 28). Die Versuchsf lächen wurden seit 1998 im Rahmen des Ökologischen Landbaus nach den Richtlinien des Bioland-Verbandes bewirtschaftet. Die zur Zeit der Versuchsdurchführung gültigen Richtlinien

begrenzten u.a. den Viehbesatz auf maximal 1,4 Dungeinheiten je ha und schlossen den Einsatz von mineralischen Stickstoffdüngern aus. Obwohl auch in Teilbetrieb O Stroh für den Tieflaufstall zugeführt werden musste, kann er als Betrieb ohne (Netto-) Nährstoffzufuhr bezeichnet werden, da die mit dem Stroh zugeführten Nährstoffe über eine entsprechende Menge Stallmist wieder ausgeführt wurden.

Tab. 4-2: Versuchsaufbau

	Teilbetrieb	
	O	M
Tierzahl	20 Kühe mit 20 Kälbern	20 Kühe mit 20 Kälbern
Grünlandfläche (ha)	19,3 (100 %)	18,8 (100 %)
Weiden und Mähweiden (ha)	18,2 (94 %)	12,2 (65 %)
Wiesen (ha)	1,1 (6 %)	6,6 (35 %)
Besatzstärke (GV ha ⁻¹ Grünlandfläche)	1,8	2,0
GV je ha Weide- und Mähweidefläche	2,2	3,4
Nährstoffzufuhr am Hoftor	-	Stallmist ^a
	Stroh	Stroh
	-	Krafftfutter ^b
Nährstoffausfuhr am Hoftor	Absetzer Stallmist ^c	Absetzer

^a aus Teilbetrieb O; ^b für Kälber; ^c im ersten Versuchsjahr komplett, im zweiten Versuchsjahr entsprechend der strohkaliumäquivalenten Mistmenge, s. Text

Im ersten Versuchsjahr wurde der ganze in Teilbetrieb O angefallene Stallmist und im zweiten Versuchsjahr eine Teilmenge des Stallmistes ausgeführt. Diese Teilmenge entsprach — am Nährstoff Kalium orientiert — der Menge des zugekauften Strohs und wurde als „strohkaliumäquivalente“ Mistmenge bezeichnet. Die Berechnung der auszuführenden Stallmistmenge erfolgte deshalb an Hand des Nährstoffs Kalium, weil Modellrechnungen zeigen, dass allein der Zukauf von Stroh in einen reinen Grünlandbetrieb zu Kaliumüberschüssen von bis zu 65 kg ha⁻¹ in der Hoftorbilanz führen kann (LELLMANN et al., 2000). Der anfallende Stallmist wurde teilweise auf den Flächen von Teilbetrieb M ausgebracht, so dass eine innerbetriebliche Nährstoffverlagerung von Teilbetrieb O zu Teilbetrieb M stattfand. Die O-Flächen erhielten

im ersten Versuchsjahr keinen Stallmist. Im zweiten Versuchsjahr wurden sie mit der verbliebenen Stallmistmenge (3 t FM ha^{-1} ; s. Berechnung A 1, S. 266) versehen.

Auf den Flächen von Teilbetrieb M wurde in beiden Versuchsjahren eine vergleichsweise hohe Menge von etwa 20 t Frischmasse Rottemist je ha ausgebracht. Auf noch höhere Ausbringmengen wurde verzichtet, um nicht Verunreinigungen des Silageschnittes durch nicht abgebauten Mist zu riskieren. Daher konnte nur ein Teil des aus Teilbetrieb O exportierten Mistes zusätzlich ausgebracht werden.

Aufgrund der begrenzten Versuchsdauer und der langsamen Nährstofffreisetzung aus dem Stallmist wurde die Nährstoffintensität auf einigen Flächen des Teilbetriebs M zusätzlich erhöht. Dies erfolgte, um mögliche, im Laufe der Zeit sich entwickelnde Unterschiede im Grünlandertrag, in der Besatzstärke und in den Nährstoffbewegungen zwischen den Teilbetrieben früher erkennen zu können. Hierzu wurde die Mähweidefläche des Teilbetriebs M verringert und zwar durch Umwandlung eines Teils der Mähweiden (6,6 ha) in Wiesen. Somit erhöhte sich die Besatzdichte auf der verbliebenen Weidefläche von $2,0 \text{ GV ha}^{-1}$ auf $3,4 \text{ GV ha}^{-1}$. Dadurch war das Weidefutterangebot in Teilbetrieb M geringer und wurde auf der reduzierten Weidefläche durch Silage von den benachbarten Schnittflächen ergänzt. Den Kälbern wurde zeitgleich zur Silagebeifütterung zusätzlich Krafffutter angeboten. So gelangten über die Nährstoffkette Beifutter - Rind - Exkremete - Boden zusätzliche Nährstoffe auf die beweideten Flächen von Teilbetrieb M.

Bis auf die Lagerung des Mistsickerwassers, die aus technischen Gründen nur für beide Teilbetriebe gemeinsam möglich war, wurden alle Nährstoffbewegungen zwischen den Teilbetrieben getrennt erfasst. Der Zeitraum der Mistsickerwasserlagerung stimmte nicht mit dem Zeitraum der Mistlagerung überein, da das Sickerwasser erst bis zu 4 Monate später ausgefahren werden konnte. Innerhalb dieser 4 Monate wurde bereits neuer Mist gelagert, von dem auch neues Sickerwasser zu dem bereits aus der Vorperiode stammenden Sickerwasser floss.

Das erste Versuchsjahr umfasste die Stallperiode im Winterhalbjahr 1999/2000 sowie die Weideperiode im Sommer 2000, das zweite Versuchsjahr die Stallperiode 2000/2001 sowie die Weideperiode 2001 (Tab. 4-3, S. 30). Beide Versuchsjahre be-

gannen mit der Einstallung im Herbst und endeten mit dem Weideabtrieb im Folgejahr. Diese Zeiträume wurden gewählt, obwohl die vorliegende Untersuchung mit Beginn der Weideperiode 1999 begann, um die Herden der Teilbetriebe von der Kalbung im Winter bis zum Absetzen der Jungtiere bei Weideabtrieb beobachten zu können.

Tab. 4-3: Zeitlicher Ablauf des Versuchs

	Teilbetrieb O		Teilbetrieb M	
	Zeitspanne	Dauer (d)	Zeitspanne	Dauer (d)
1. Versuchsjahr 1999/2000				
Winter (Stall)	25.10.99 – 18.04.00	176	25.10.99 – 19.04.00	177
Sommer (Weide)	18.04.00 – 02.11.00*	189	19.04.00 – 02.11.00*	189
2. Versuchsjahr 2000/2001				
Winter (Stall)	11.10.00* – 08.05.01	196	12.10.00* – 08.05.01	195
Sommer (Weide)	08.05.01 – 31.10.01	176	08.05.01 – 31.10.01	176

* Nach dem Absetzen der Kälber im ersten Versuchsjahr am 11.10.2000 in Teilbetrieb O bzw. am 12.10.2000 in Teilbetrieb M wurden die Mutterkühe nach 9 bzw. 8 Tagen Einstallung bis zum 02.11.2000 wieder auf die Weide getrieben.

Zusätzlich zu den beiden Versuchsjahren wurde die Weideperiode 1999 ausgewertet. In Teilbetrieb M gab es keine reine Schnittnutzung (Wiese); alle Flächen wurden als Mähweiden genutzt. Im Winter 1998/1999 wurde im Gegensatz zu Teilbetrieb O auf den M-Flächen Stallmist und Mistsickerwasser ausgebracht.

Die Lage und Aufteilung der Koppeln ist in Abb. 4-1 (S. 31) dargestellt.

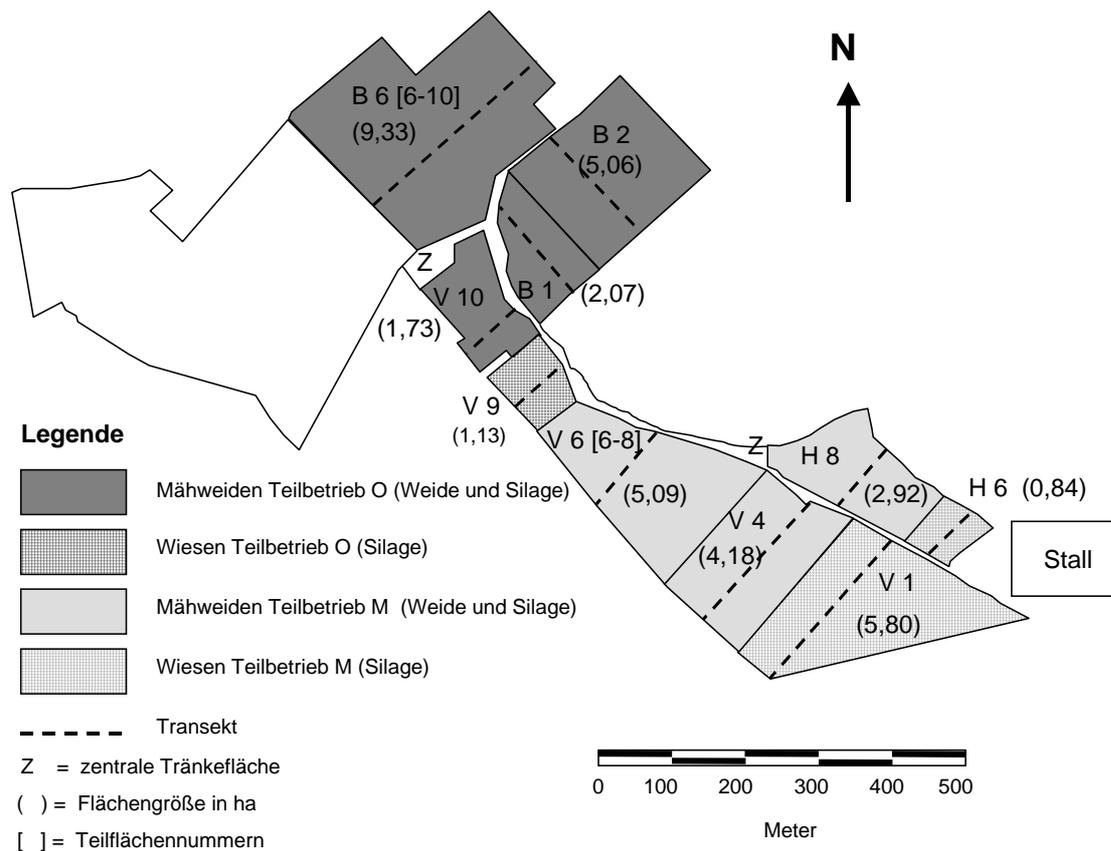


Abb. 4-1: Karte der Versuchsfelder für die beiden Versuchsjahre (Quelle: Grünland-GIS von Rengen; SCHELLBERG und HELMERT, 2000)

Auf jeder Koppel wurden mit einem GPS lineare Transekte eingemessen, um festgelegte Punkte zur jährlichen Datenerhebung wieder auffinden zu können. Im ersten Versuchsjahr waren die Tränkestellen außerhalb der Versuchsfelder auf zentral gelegenen Stellen (Z) und im zweiten Versuchsjahr auf den eigentlichen Versuchsfelder aufgebaut. Eine Versuchsfeld von Teilbetrieb O (V9) konnte nur als Wiese genutzt werden, da diese für spätere Versuche weder beweidet, noch gedüngt werden durfte.

4.3 Versuchsdurchführung

4.3.1 Düngung

Die Ausbringung der Stallmistmengen (s. Kapitel 4.2) erfolgte im November 1999 und Dezember 2000 nur auf Flächen mit nachfolgender Schnittnutzung. Die Flächen, die bereits zu Weideauftrieb beweidet wurden, blieben aus hygienischen Gründen ohne

Stallmistgabe. Das Mistsickerwasser konnte erst im April ausgefahren werden, da die Düngeverordnung nach §3 [(4)1] eine Ausbringung in der Zeit vom 15.11. bis 15.01. und auf tiefgefrorenen und vernässten Böden untersagt (KLUGE und EMBERT, 1996). Zum Zeitpunkt der Sickerwasserausbringung befand sich jedoch bereits seit etwa zwei Monaten der neue Stallmist aus dem Folgejahr auf der Mistlagerplatte, von dem ebenfalls Sickerwasser in den gemeinsamen Sammelbehälter gepumpt wurde. Daher war das ausgebrachte Mistsickerwasser nicht ausschließlich einem Versuchsjahr zuzuordnen.

4.3.2 Tier- und Weidemanagement

Die Versuchsherden wurden im Winter in einem Außenklima-Laufstall mit zwei getrennten Tiefstreuabteilen untergebracht (Abb. 4-2). Die Abteile waren unterteilt in je eine Liegefläche, einen Fressgang und einen Kälberschlupf. Jeder Herde stand insgesamt eine Fläche von 252 m² (12,6 m² je Kuh inkl. Kalb) zur Verfügung. Der Fressgang war bis auf zwei äussere Durchgänge mit Absperrgittern von der Liegefläche getrennt.

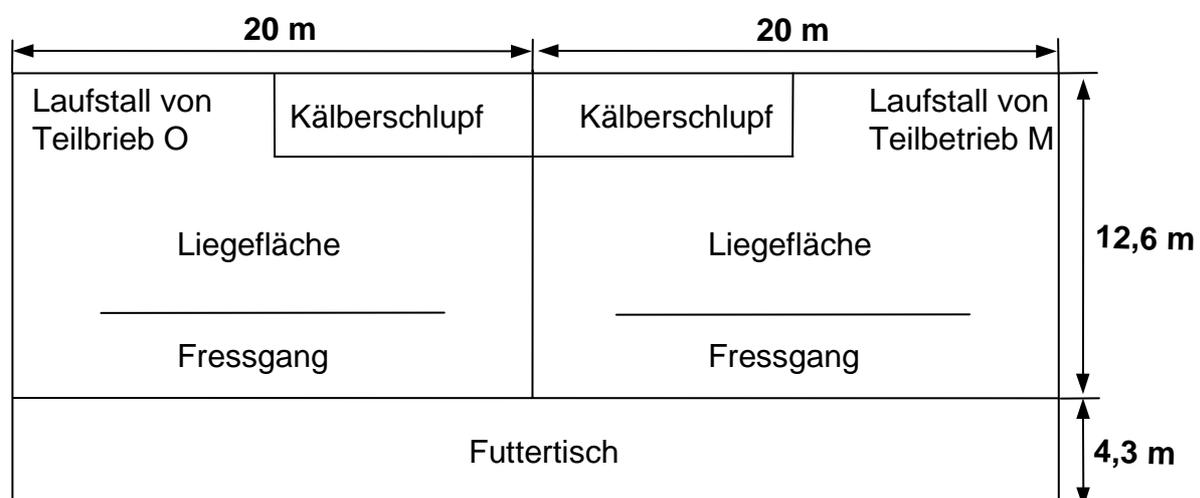


Abb. 4-2: Skizze der Stallabteile der Teilbetriebe

Während der Versuchszeit wurden die bereits zuvor auf den Winter konzentrierten Abkalbetermine zeitlich noch enger auf die Monate November und Dezember gelegt. Dabei wurde das Ziel verfolgt, das Alter und die Lebendgewichte der Kälber betreffend, homogene Herden zu erhalten. In jeder Herde beider Versuchsjahre wurde ein Deckbulle der Rasse Limousin von Februar an eingesetzt, in 2000 bis Weideauftrieb

und in 2001 bis Anfang Juni. Im Winter 1998/1999 erfolgten die Kalbungen in der Zeit von September bis Mai. In beiden Versuchsjahren kalbten die Kühe mit Schwerpunkt im Dezember. Versuchstiere, die bspw. auf Grund einer Erkrankung ersetzt werden mussten, wurden durch Tiere aus dem übrigen Tierbestand des Betriebes ausgetauscht, welche den ausgeschiedenen Tieren in Gewicht, Alter und Herkunft vergleichbar waren.

Innerhalb der Versuchszeit wurde der Rengener Mutterkuhbestand von einer Dreirassenkreuzung Charolais x (Aberdeen Angus x Deutsche Rotbunte oder Schwarzbunte) bis etwa zur Hälfte auf Limousin-Reinzucht umgestellt. Zu Beginn der Weideperiode 1999 wurden die Versuchsherden nach den Kriterien Herkunft und Gewicht der Kühe gemischt. Zu Beginn jeden Versuchsjahres wurden die Herden beider Teilbetriebe nach erfolgter Trächtigkeitsuntersuchung der Kühe aus den beiden Versuchsherden und dem übrigen Tierbestand neu eingeteilt, um den Einfluss des Vaters auf die Wachstumsleistung der Kälber auszuschalten. In beiden Versuchsjahren wurden die Herden der Teilbetriebe nach den Kriterien der Herkunft der Kühe und Deckbullen sowie dem Gewicht der Kühe eingeteilt. Im zweiten Versuchsjahr fand zusätzlich das Kriterium der Tageszunahme der Absetzer aus dem Vorjahr Berücksichtigung. Die Tabellen A 51 (S. 227) bis A 53 geben Auskunft über die Herdenzusammenstellung.

Die in beiden Teilbetrieben praktizierte Weideform steht der Koppelweide nach VON BOBERFELD (1994) sehr nahe, hat jedoch mit teils langen Fresszeiten Standweidecharakter. Die Zeiten der Koppelumtriebe, Fresstage, Besatzdichten, Weide- und Stalltage sind im Anhang (Tab. A 20 (S. 212) und 21) aufgeführt. Die Erstlingsweide — jene Weide, die unmittelbar nach der Ausstallung zu Weideauftrieb beweidet wurde — wechselte jedes Jahr auf eine andere Koppel. Nach jedem Umtrieb wurden die Weiden abgeschleppt. Zur Winterfuttermittelgewinnung wurde auf den Mähweiden Ballensilage gewonnen. Koppelspezifische Termine der Silagewerbung sind der Tab. A 19 (S. 211) zu entnehmen.

Eine Schwachstelle in der vorliegenden Untersuchung waren die zentralen Tränkeflächen, die zwangsweise durchgängig genutzt werden mussten. Auf diesen trittbelasteten, weitgehend grasnarbenfreien sowie teils verunkrauteten und von Schlep-

perspuren belasteten Flächen konnte die Futteraufnahme nicht ermittelt werden. Dies dürfte nach Abzug der grasnarbenfreien Areale bei einer beweideten Restfläche von etwa 3.000 m² (O) bzw. 1.000 m² (M) zu einer leichten Unterschätzung der Futteraufnahme der Versuchsherden beigetragen haben. Auch im Sommer 2001 wurden die zentralen Tränkeflächen Z (Abb. 4-1, S. 31) beweidet.

4.3.3 Fütterung

Das Grundfutter bestand während der Winterfütterung ausschließlich aus Grassilage von den den beiden Herden zugeordneten Versuchsflächen. Die Silage wurde den Tieren zur freien Aufnahme morgens und abends (*ad libitum*) vorgelegt. Die Kälber erhielten im Kälberschlupf die Möglichkeit zur Silageaufnahme.

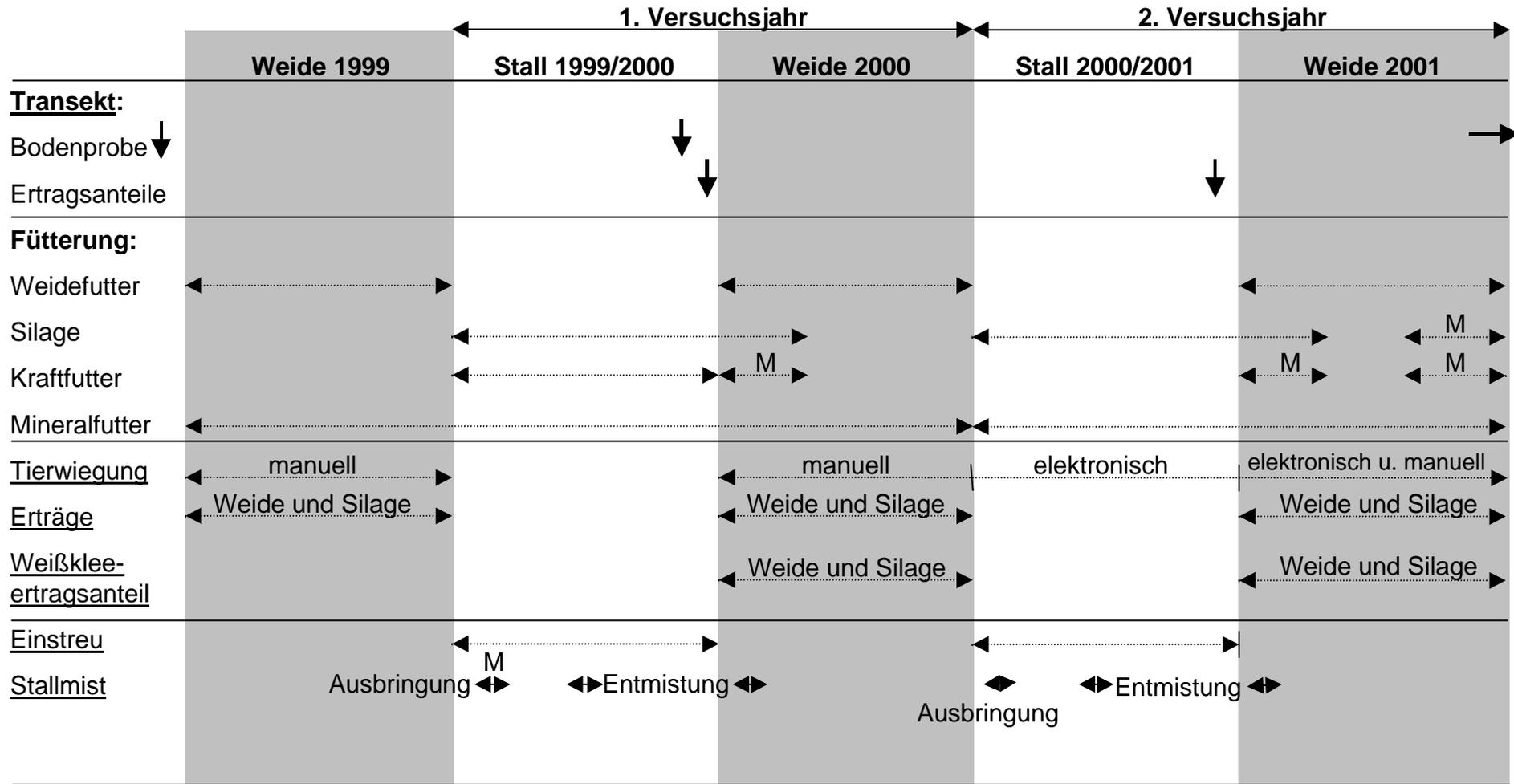
Zur Herdenbetreuung und Tierkontrolle wurde im ersten Winter etwas Kraftfutter eingesetzt (O: 120 g Kuh⁻¹ d⁻¹, 135 g Kalb⁻¹ d⁻¹; M: 120 g Kuh⁻¹ d⁻¹, 160 g Kalb⁻¹ d⁻¹). Die Energiedichte, Inhaltsstoffe und die Zusammensetzung des Kraftfutters der Firma Reudink sind in Tab. A 48 (S. 227) aufgeführt.

Während der Sommermonate hatten alle Versuchstiere Tag und Nacht Weidegang. Beim Übergang von der Stallfütterung zum Weidegang wurde beiden Herden Silage in Futterraufen angeboten. In der übrigen Weidezeit wurde nur bei unzureichendem Futterangebot Silage zugefüttert. Die Kälber von Teilbetrieb M erhielten dann Kraftfutter in Automaten, wenn Silage aufgrund unzureichenden Weidefutterangebots zugefüttert wurde. Dadurch sollte ein Rückgang der täglichen Zunahmen der Kälber, bedingt durch die im Vergleich zum frischen Weidefutter schlechtere Futterqualität der Silage, vermieden werden.

Eine Mineralstoffergänzung erfolgte über NaCl-Lecksteine und Minerallecksteine auf Algenkalkbasis. Die Inhalts- und Zusatzstoffe der Mineralsteine zeigt Tab. A 47 (S. 226). Vor Weideauftrieb wurden Mineralsteine mit erhöhtem Mg-Gehalt angeboten.

4.4 Datenerfassung

Eine Übersicht über die auf den Versuchsflächen und im Stall erhobenen Daten gibt Abb. 4.3 (S. 35).



Zeitraum: ◀.....▶, Zeitpunkt: ↓; Bodenprobe Ende Stallperiode 2001/2002: →; M: nur in Teilbetrieb M

Abb. 4-3: Übersicht über die Datenerfassung

4.4.1 Bodenuntersuchung

Entlang der in Kapitel 4.2 genannten Transekte wurden im Frühjahr der Jahre 1999, 2000 und 2002 im Abstand von 20 m Bodenproben in 0 bis 10 cm Tiefe gezogen. Mit Blick auf eine Fortführung der Untersuchung wurden in den Jahren 2000 und 2002 zusätzlich Bodenproben aus 10 bis 20 cm und 20 bis 30 cm Tiefe entnommen. Je 9 Einzelproben wurden für jede Bodentiefe zu einer Mischprobe vereinigt. Die Proben wurden bei 40 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, gebrochen, gesiebt und auf Stickstoff, P, K, Mg (bei Mg außer 1999), C und pH-Wert analysiert.

4.4.2 Floristische Zusammensetzung

In beiden Versuchsjahren wurden vor Weideauftrieb bei einer Wuchshöhe von etwa 10 cm die Ertragsanteile der Gräser, Kräuter und der Leguminosen entlang der Transekte im Abstand von 20 m nach KLAPP und STÄHLIN (1936) auf einer Fläche von je 1 m² mit Hilfe eines Schätzrahmens geschätzt. Bei den Leguminosen handelte es sich fast ausschließlich um Weißklee (*Trifolium repens*). Zur Weißkleeertragsanteil-schätzung während des Sommers siehe Kapitel 4.4.5.

4.4.3 Weideertrag, Silageertrag und Futteraufnahme

Beim Weideertrag wurde unterschieden zwischen Brutto- und Nettoertrag. Der Bruttoertrag entspricht dem Futterangebot als Summe des Weideaufwuchses zu Weideauftrieb und des Zuwachses während der Fresszeit eines Umtriebes und schließt den Weiderest zu Ende eines Umtriebes oder zu Weideabtrieb ein. Der Nettoertrag schließt diesen Weiderest aus und entspricht der Futteraufnahme.

Weidebruttoertrag

Zur Ermittlung des Weidebruttoertrages (Futterangebot) wurden Weidekäfige (VOIGTLÄNDER und VOSS, 1979) eingesetzt. Auf jeder Versuchsfläche (Koppel) kamen bis zu 10 Käfige mit einer Grundfläche von je 3 m² zum Einsatz. Kurz vor dem Auftrieb wurde das Futterangebot auf bis zu 10 zufällig verteilten Stellen bestimmt. Dann wurden die Käfige in der Nähe dieser Stellen im Boden verankert. Um den

Weidecharakter der Grasnarbe unter den Weidekäfigen zu erhalten, wurden die Käfige alle 7 bis 10 Tage (Weidekäfigperiode) an eine andere Stelle versetzt und dabei der Aufwuchs unter den Käfigen gemäht. Das häufige Versetzen diente auch der Schonung der Grasnarbe in unmittelbarer Nähe der Weidekäfige, da diese gerne von den Tieren zum Ruhen aufgesucht wurden. Beim Versetzen der Käfige wurden zeitgleich auch die Weidereste in der Umgebung und in ausreichendem Abstand von den Käfigen auf ebenfalls bis zu 10 zufällig verteilten Stellen bestimmt. Die Ermittlung der Grünfuttermasse erfolgte durch Mahd mit einem Agria-Einachsmäher in einer Schnitthöhe von etwa 3 cm, Wiegung der geschnittenen Frischmasse und einer Stichprobenentnahme von 500 g Frischmasse. Diese Proben wurden bei 60 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und zur Untersuchung der Futterqualität incl. des Gesamt-N bei 1 mm Siebdurchmesser vermahlen. Davon wurde ein Aliquot bei 105 °C zur Bestimmung der Restfeuchte getrocknet.

Für die Berechnung des Weidebruttoertrages einer Weidekäfigperiode nach der Differenzmethode (VOIGTLÄNDER und VOSS, 1979) wurde folgende Formel verwendet (Abb. 4-4, S. 39):

$$\text{Futterangebot} = \sum_{i=1}^n \text{WK}_i - \sum_{i=1}^n \text{WR}_{i-1} \quad [2]$$

Darin sind:

WK	Grünfuttermasse zu Ende der Weidekäfigperiode unter den Käfigen,
WR	Weiderest zu Ende der Weidekäfigperiode außerhalb der Käfige,
n	Anzahl der Weidekäfigperioden.

In einigen Weidekäfigperioden konnten die Daten von WR und WK wegen zu nasser Grasnarben oder Arbeitskräftemangel nicht erhoben werden. Daher war es nicht möglich, das Futterangebot für einige Umtriebe mit der oben angegebenen Gleichung zu ermitteln. Um dennoch für die gesamte Weideperiode die erforderlichen Weidebruttoerträge angeben zu können, wurden die Erträge dieser Weidekäfigperioden über ein indirektes Verfahren der Nettoweideleistungsschätzung durch Rückschluss von der tierischen Leistung auf den Weideertrag berechnet (Berechnung A 2, S. 268).

Weidenettoertrag

Zur Schätzung des Weidenettoertrages (Futteraufnahme) wurde ebenfalls das unter Weidebruttoertrag beschriebene Weidekäfigverfahren angewendet. In Abhängigkeit von der Zeitspanne (Weidekäfigperiode) zwischen Weideauftrieb und der ersten Weidekäfigbeerntung bzw. zwischen zwei aufeinander folgenden Weidekäfigbeerntungen innerhalb eines Umtriebes wurden folgende Gleichungen verwendet (s. auch Abb. 4-4, S. 39):

Weidekäfigperiode 3 - 7 Tage (LANTINGA, 1985):

$$\text{Futteraufnahme} = (\text{WA} - \text{WR}) + (1 - \text{WR} * \text{WA}^{-1}) * (-\ln(\text{WR} * \text{WA}^{-1}))^{-1} * (\text{WK} - \text{WA}) \quad [3]$$

Weidekäfigperiode > 7 Tage (FRAME, 1993):

$$\text{Futteraufnahme} = \text{WK} - \text{WR} \quad [4]$$

Darin sind:

- WA Weideaufwuchs zu Weideauftrieb zum Startzeitpunkt der Weidekäfigperiode außerhalb der Käfige,
- WR Weiderest zu Ende der Weidekäfigperiode außerhalb der Käfige,
- WK Grünfuttermasse zu Ende der Weidekäfigperiode unter den Käfigen.

Die Futteraufnahme wurde jeweils für eine Weidekäfigperiode berechnet. Wurde die Futteraufnahme für einen längeren Zeitraum (bspw. Umtrieb, Jahr) ermittelt, dann wurden die Futteraufnahmen aus allen Weidekäfigperioden dieses Zeitraums aufsummiert.

Bei der Ermittlung der Weidefutteraufnahme mit Hilfe der Weidekäfigmethode handelt es sich um eine Schätzung. Dabei wurde nicht die tatsächliche Futteraufnahme ermittelt, wie dies im Stall durch Ein- und Rückwaage erfolgte. Vielmehr handelt es sich bei diesem indirekten Verfahren der Weidefutteraufnahmeermittlung um eine Kalkulation der Futteraufnahme. Dies wird in den folgenden Kapiteln nicht ständig betont, sondern meist von Futteraufnahme gesprochen.

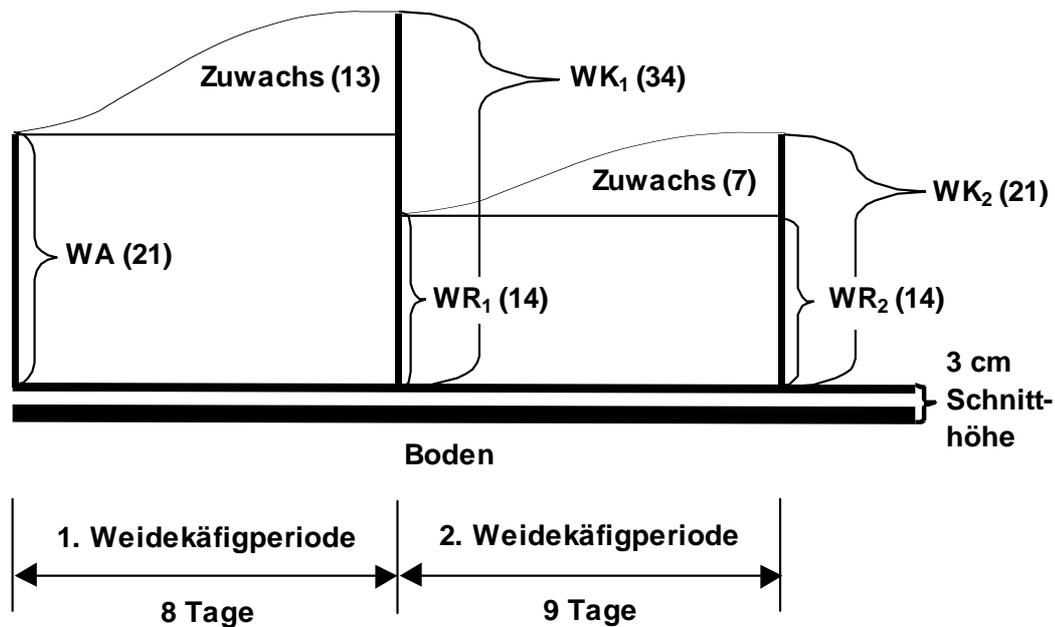


Abb. 4-4: Schema der Weidekäfigmethode. Abgebildet sind die ersten beiden Weidekäfigperioden auf der Koppel B2 des Teilbetriebes O im Jahr 2001. Die Zahlen in Klammern geben die zugehörige Trockenmasse in dt ha^{-1} an. WA: Weideaufwuchs zu Weideauftrieb zum Startzeitpunkt der Weidekäfigperiode außerhalb der Käfige. Die Bedeutung der übrigen Symbole ist der Erläuterung zur Formel des Weideertrags (s. o.) zu entnehmen. Beispielrechnung (dt T ha^{-1}): Weidebruttoertrag (41) = WK_1 (34) + WK_2 (21) - WR_1 (14); Weidenettoertrag (27) = WK_1 (34) - WR_1 (14) + WK_2 (21) - WR_2 (14).

Silageertrag

Nach der Silagewerbung wurden die Silageballen getrennt gelagert, 1999 nach Teilbetrieben und Nutzung und ab 2000 zusätzlich nach der Versuchsfläche. Die geernteten Silageballen von 1999 und 2000 wurden vor der Fütterung mit einer Frontladerwaage (Woltermann, GS 320, Nordhorn-Germany), in deren Hydraulikleitung ein Drucksensor eingebaut ist, gewogen. Von jedem Silageballen wurde eine Probe aus verschiedenen Schichten entnommen. Das Probenmaterial wurde, wie unter Weideertrag beschrieben, aufbereitet. Im Jahr 2001 erfolgte die Wiegung der Silageballen direkt nach deren Pressung. Zuvor wurden aus dem Schwad etwa 25 Einzelproben je ha entnommen und der gleichen Aufbereitung wie der vor der Fütterung gewonnenen Proben unterzogen. Nach der Vermahlung wurden aus den Einzelproben 6 Mischproben je ha hergestellt, um den Aufwand im Labor für die Analysen auf Stickstoff, P, K und Mg zu verringern.

Silagefutteraufnahme

Die zur Bestimmung des Silageertrages vor der Fütterung gewogenen und beprobten Silageballen dienten ebenfalls der Bestimmung der Silagefutteraufnahme und zwar sowohl während der Stallfütterung im Winter als auch während der sommerlichen Silagebeifütterung auf den Weiden. Aus der Differenz zwischen der Futtervorlage und dem Futterrest — im Stall auf dem Futtertisch, auf der Weide in der Futterraufe — wurde die Futteraufnahme ermittelt. Die für den Silageertrag aufbereiteten Futterproben wurden zusätzlich auf ihre Futterqualität hin untersucht.

Die Erfassung der Krafftutteraufnahme erfolgte durch Differenzbildung zwischen den gewogenen Angebots- und Restmengen. Zur Berechnung der Energie- und Nährstoffzufuhr wurden die vom Futtermittelhersteller deklarierten Gehaltsangaben verwendet. Ebenso wurde die Nährstoffzufuhr über das in Lecksteinen angebotene Mineralfutter ermittelt.

4.4.4 Futterqualität

Die Schätzung der Energiedichte in Silage und Weidefutter erfolgte mit Hilfe des Hohenheimer Futterwerttests (STEINGASS und MENKE, 1986). Bei dieser *in-vitro* Methode wurde der Pansensaft von Hammeln mit der Futterprobe vermischt und 24 Stunden im Brutschrank bei 39 °C mikrobiell umgesetzt. Aus der Gasbildung wurde die Energiedichte unter Einbeziehung der Rohnährstoffgehalte Rohprotein (XP) und Rohfett (XL) nach MENKE und STEINGASS (1987; Regressionsgleichung 16 e) berechnet. Dabei wurde der Gehalt von Rohfett nicht analysiert, sondern den DLG-Futterwerttabellen (Faustzahlen) mit 42 g XL kg T⁻¹ für Silage und 43 g XL kg T⁻¹ für den ersten Weideaufwuchs bzw. 45 g XL kg T⁻¹ für die folgenden Weideaufwüchse entnommen (DLG, 1997). Eine Änderung des Rohfettgehaltes um 1 g kg T⁻¹ hätte eine Änderung der NEL-Dichte um 0,015 MJ kg T⁻¹ bewirkt.

$$\text{NEL} = 0,54 + 0,0959 \text{ Gb} + 0,0038 \text{ XP} + 0,0001733 \text{ XL}^2 \quad [5]$$

- NEL: Energiedichte als Nettoenergie-Laktation in (MJ kg T⁻¹)
- Gb: Gasbildung in (ml 200 mg T⁻¹)
- XP: Rohproteingehalt in (g kg T⁻¹)
- XL: Rohfettgehalt in (g kg T⁻¹)

Die Energiewerte wurden durchgängig in NEL-Werten dargestellt, wie auch bei WEIßBACH (1993), TERÖRDE (1997) und STEINWIDDER (2004) für Mutterkühe geschehen. Obwohl für Kälber und Jungrinder üblicherweise die umsetzbare Energie (ME) Verwendung findet, wurde in der vorliegenden Arbeit darauf verzichtet, da die Futteraufnahme nur für die Einheit „Mutterkuh und Kalb“ gemeinsam erfasst werden konnte. Die Berechnungen zur Futter-, Energie- und Nährstoffaufnahme wurden daher auf eine Großvieheinheit (GV) der Einheit „Mutterkuh und Kalb“ bezogen. Der Anteil des Zuchtbullen ging dabei in die Berechnung der GV ein.

Die Berechnung der Energiedichte im aufgenommenen Weidefutter erfolgte durch Division der Energieerträge durch die Trockenmasseerträge. Beide Erträge wurden analog der unter Kap. 4.4.3 aufgeführten Formeln zur Ermittlung des Futterangebotes und der Futteraufnahme berechnet.

Die Berechnung der Verdaulichkeit der organischen Substanz erfolgte nach MENKE und STEINGASS (1987; Regressionsgleichung 43 e):

$$\mathbf{VQOS = 15,38 + 0,8453 Gb + 0,0595 XP + 0,0675 XA} \quad \mathbf{[6]}$$

VQOS:	Verdaulichkeit der organischen Substanz in (%)
Gb:	Gasbildung in (ml 200 mg T ⁻¹)
XP:	Rohproteingehalt in (g kg T ⁻¹)
XA:	Rohasche in (g kg T ⁻¹)

Die Rohproteingehalte wurden errechnet durch Multiplikation der Stickstoffgehalte (s. Kap. 4.4.8) mit dem Faktor 6,25. Die Rohproteingehalte im angebotenen und aufgenommenen Weidefutter wurden ebenso wie die Verdaulichkeit der organischen Substanz und die Rohaschegehalte analog zur Energiedichte ermittelt.

4.4.5 Weißklee-Ertragsanteile und Gesamt-N-Zufuhr durch symbiotische N₂-Fixierung

Die **Ertragsanteile** des Weißkleees wurden vor der Schnittnutzung und während der Beweidung nach KLAPP und STÄHLIN (1936) in den Sommern 2000 und 2001 geschätzt.

Vor der Schnittnutzung erfolgten die Schätzungen auf 10 je ha zufällig über die Flächen verteilten Stellen von je 1 m² Größe. Auf den Koppeln B6, B7 und V1 wurden statt dessen vor dem ersten Silageschnitt im Jahr 2000 jeweils 5 Pflanzenproben aus dem Schwad genommen und einer botanischen Trennanalyse unterzogen. Nach getrennter Trocknung und Wiegung von Weißklee und der restlichen Pflanzenarten wurden die Ertragsanteile errechnet.

Während der Beweidung wurden die Ertragsanteile zum Startzeitpunkt der Weidekäfigperiode bei Weideauftrieb (WA) und bei der Weidekäfigbeerntung unter dem Käfig (WK) über die Dauer der Weideperiode geschätzt. In Teilbetrieb O mussten die Weißkleeertragsanteile in einer und in Teilbetrieb M in zwei Weidekäfigperioden anderweitig geschätzt werden, da zu diesen Terminen keine Ertragsanteil-Schätzungen vorlagen. Zur Schätzung wurden Regressionsfunktionen herangezogen, die aus dem Verlauf der vorhandenen Weißkleeertragsanteile gebildet wurden (Abb. A 1 (S. 257) und Abb. A 2).

Für die Schätzung der **Gesamt-N-Zufuhr aus symbiotischer N₂-Fixierung** des Weißklees wurde folgende Formel nach WEIßBACH (1995, verändert) verwendet:

$$\text{Gesamt-N-Zufuhr (kg ha}^{-1}\text{)} = 1,333 * [(4,0 x_1 - 0,01 x_1^2) * (1 - 0,000036 x_2^2)] \quad [7]$$

- x_1 : Weißkleeertrag in (dt T ha⁻¹),
 x_2 : Düngungsniveau in (kg NH₄⁺-N ha⁻¹ Nutzung⁻¹),
 Faktor 1,333: Dieser berücksichtigt einen NO₃⁻-Verlust von 25 % der Menge an fixiertem N₂.

Zur Berechnung der NH₄⁺-N-Mengen in den Wirtschaftsdüngern dienen Faustzahlen der Literatur zu NH₄⁺-N-Anteilen am Gesamt-N. Unterstellt wurden ein NH₄⁺-N-Anteil im Stallmist von 10 % (SLUIJSMANS und KOLENBRANDER, 1977; CHAMBERS et al., 1997), im Mistsickerwasser von 66 % (DEWES, 1997a) und für Kot und Harn bei Weidegang im Mittel ähnliche Werte wie bei Gülle (ANONYMUS, 1993) mit einem NH₄⁺-N-Anteil von 41 %.

4.4.6 Lebendmasse

Die Erfassung der Lebendmasse erfolgte in der Weideperiode 1999 und 2000 (erstes Versuchsjahr) vom Weideauftrieb bis zur Einstellung alle 3 bis 5 Wochen auf einer manuellen Viehwaage im Stall mit einer Messgenauigkeit von 1 kg und zwar meist zwischen 9 und 13 Uhr.

Im zweiten Versuchsjahr wurden die Tiergewichte in jedem Teilbetrieb im Stall und auf der Weide über ein automatisches Elektronik-Wiegesystem (Abb. 4-5) aufgezeichnet. Dieses Wiegesystem bestand aus einer elektronischen Brückenwaage, einem Käfig um die Waage zur Einzeltierwiege, einem Lesegerät zur Tiererkennung über elektronische Ohrmarken und einem Computer zur Datenerfassung. Nach AUERSWALD et al. (2001) beträgt die absolute Messgenauigkeit eines solchen Wiegesystems 200 g. Zur Aufnahme von Mineralfutter oder Tränkwasser betraten die Tiere die Waage und lösten mit ihren elektronischen Ohrmarken den Wiegevorgang aus. Datenlücken entstanden während der automatischen Messungen durch einen Ausfall der elektronischen Wiegesysteme oder durch Fehler bei der Datenspeicherung.

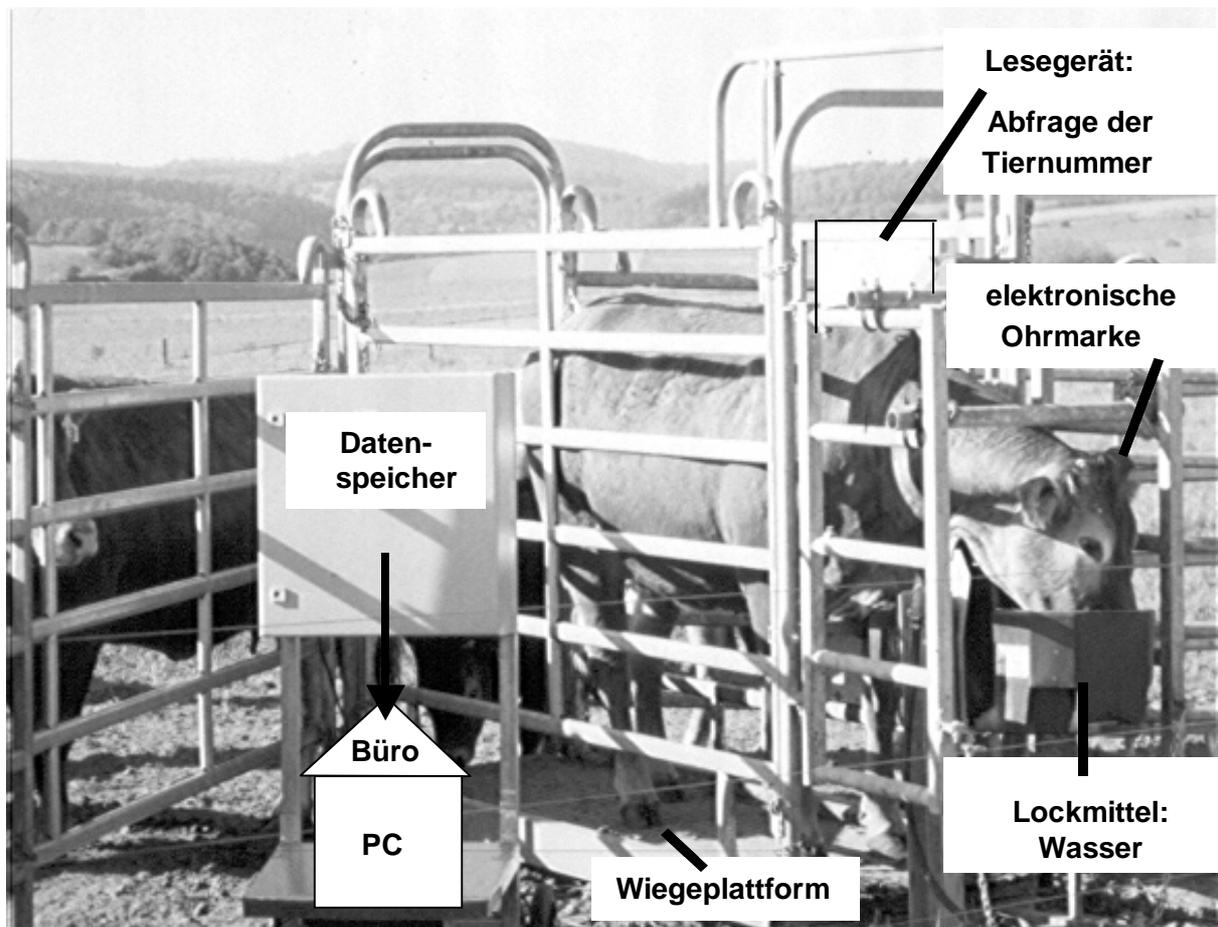


Abb. 4-5: Ansicht des automatischen Elektronik-Wiegesystems

Berechnung der Lebendmassezunahme (LMZ) für die Nährstoffbilanzierung:

Diese erfolgte für die Stallperiode durch Differenzbildung zwischen Ausstallungs- und Einstallungsgewicht. Bei der Ermittlung des mittleren Herdengewichts sowie des GV-Mittels für eine Stallperiode wurde die Anzahl der Stalltage jedes einzelnen Tieres berücksichtigt. Unterschiede in der Anzahl der Stalltage traten bspw. zwischen Kühen und Kälbern auf.

Die LMZ war in den Weideperioden nicht wie in den Stallperioden über eine einfache Differenzbildung zu ermitteln. Weder waren die manuellen Wiegetermine identisch mit den Terminen der Koppelumtriebe, noch lagen an diesen Terminen aufgrund der teils geringen Datendichte der elektronischen Wiegungen ausreichend Tiergewichte vor. Jedoch konnten aus den manuellen und elektronischen Wiegedaten polynomi-sche Funktionen zweiten Grades an die mittlere Lebendmasseentwicklung der Kälber und Kühe angepasst werden (Tab. A 54, S. 231). Hierzu wurden bei manueller Wie-gung je Wiegetermin alle Tiere einbezogen. Bei elektronischer Wiegung besuchten nicht alle Tiere täglich die Wiegeeinrichtung. So wurde eine Mindestanzahl an Tieren gesucht, mit denen das mittlere Endgewicht bei Weideabtrieb mit Hilfe der oben ge-nannten Funktion am Besten beschrieben wurde. Daraus resultierten Funktionen, die an Tagesmittelwerte von mindestens 10 Kälbern und 15 (M) bzw. 18 (O) Kühen an-gepasst wurden. Eine weitere Erhöhung der Anzahl hatte keine bessere Beschrei-bung des mittleren Weideabtriebgewichts ergeben. Mit diesen Funktionen wurde die LMZ der Kühe und Kälber für die Koppeln und die Weideperioden berechnet. Ein Vergleich von manuell und elektronisch erhobenen Wiegedaten an verschiedenen Terminen ergab statistisch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Wiegeme-thoden (Tab. A 55, S. 231). Somit konnten die Tiergewichte aus den manuellen Ver-gleichswiegungen in den elektronischen Datensatz einbezogen werden. Auf diese Weise wurden Datenlücken des elektronischen Datensatzes für die Berechnung der LMZ geschlossen. Das GV-Mittel für die Stall- und Weideperioden und für die Kop-pelumtriebe wurde durch Division des mittleren Herdengewichts durch das Gewicht einer GV von 500 kg ermittelt.

4.4.7 Einstreu und Stallmist

Einstreu

Als Einstreu diente Weizen-, Gersten-, Roggen-, Triticale- und Haferstroh, das vom Versuchsgut Dikopshof der Universität Bonn bezogen wurde. Alle Strohballen wurden vor dem Einstreuen mit einer Frontladerwaage gewogen. In der ersten Stallperiode wurden insgesamt 18 Stichproben, in der zweiten Stallperiode 57 Stichproben von je 500 g gezogen, bei 60 °C getrocknet und für die Analyse der Nährstoffe Stickstoff, P, K, Mg und C vermahlen (1 mm). Die Restfeuchtebestimmung erfolgte bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz.

In der ersten Stallperiode wurden die aus Versuchen des Dikopshofs ermittelten Trockenmassegehalte verwendet. Die Nährstoff- und Trockenmassegehalte wurden mit den Anteilen der Stroharten bei Lieferung gewichtet und daraus abgeleitete Gehaltswerte für das gesamte Stroh errechnet. Allerdings wurde dabei unterstellt, dass in beiden Teilbetrieben die Anzahl der nach Stroharten eingestreuten Strohballen ähnlich war. Aus der Multiplikation der eingestreuten Strohmenge mit den gewichteten Trockenmasse- und Nährstoffgehalten ergab sich die Zufuhr von Nährstoffen für die Hoftor- und Stallbilanz. In der zweiten Stallperiode wurden die Strohmenge nach Stroharten getrennt erfasst. Für jede Strohart wurden mittlere Trockenmasse- und Nährstoffgehalte ermittelt und mit den Strohmenge für die Hoftor- und Stallbilanz verrechnet.

Stallentmistung

Die Datenerfassung der Frischmassenmengen des Tiefstreumists und die Nährstoffgehaltsermittlung wurde für die Teilbetriebe in die Stallabteile Liegefläche, Kälberschlupf und Fressgang unterteilt (Abb. 4-2, S. 32). Bis auf die wöchentlich durchgeführte Entmistung des Fressgangs in den letzten 5 Wochen im Winter 1999/2000 sowie im gesamten Winter 2000/2001 wurde der gesamte Mist der übrigen Stallabteile zweimal im Winter aus dem Stall entfernt. Bei der wöchentlichen Entmistung des Fressgangs wurde der Mist beprobt und mit einer Frontladerwaage gewogen.

Die Gewichtsermittlung des zweimal jährlich entfernten Mistes erfolgte durch Verrechnung von Volumen und Raumgewicht. Die Anzahl der Messpunkte zur Volumen-

berechnung betrug im ersten Winter bei der ersten Entmistung 44 und bei der zweiten 76 sowie im zweiten Winter bei jeder Entmistung 46. Bei den Entmistungen wurde in den drei Stallabteilen jeden Teilbetriebes ein Raumgewicht durch Messung und Wiegung eines abgestochenen Quaders ermittelt.

Bei der Beprobung während der ersten Entmistung beider Jahre wurden Mischproben mit der Hand aus verschiedenen Schichten der angeschnittenen „Mistmatratze“ hergestellt. Bei der zweiten Entmistung des ersten Jahres diente ein Silagebohrer (6,5 cm Durchmesser) zur Probengewinnung und im zweiten Jahr eine motorgetriebene Schnecke (Stielbohrer mit 8 cm Durchmesser). Aus den im Winter 1999/2000 der Tiefstreu entnommenen 47 Proben wurden Mittelwerte zu jeder Entmistung und jedem Stallabteil für die Trockensubstanz und die Nährstoffgehalte berechnet und auf die errechneten Mistgewichte bezogen. Durch Summierung der Einzelmengen aus den Stallabteilen ergaben sich die im Stallmist enthaltenen Nährstoffmengen. Im zweiten Winter wurden 80 Proben aus der in 24 Quadern unterteilten „Mistmatratze“ gewonnen, Mittelwerte für Nährstoffgehalte zu jedem Quader aus 3 bis 4 Einzelwerten gebildet und auf das errechnete Quadergewicht bezogen sowie durch Summierung der in den Quadern enthaltenen Nährstoffmengen auf den gesamten Stallmist hochgerechnet.

Lagerung von Stallmist und Mistsickerwasser

Die Frischmasse- und Nährstoffmengen entsprachen zu Beginn der Lagerung des Mists denen bei Entmistung des Stallmists (Tiefstreumist) und zu Ende der Lagerung denen des mit dem Frontlader gestapelten Mists (Stapelmist) bei der Ausbringung. Während der Stallmist getrennt gelagert werden konnte, musste das Sickerwasser aus beiden Mistlagern gemeinsam in einem offenen Auffangbehälter gesammelt werden.

Düngung der Versuchsflächen

Bei der Beladung des Miststreuers wurde der Stapelmist mit der Frontladerwaage gewogen und eine Mischprobe entnommen. Die auf die Flächen ausgebrachten Nährstoffmengen ergaben sich aus der Verrechnung der Nährstoffgehalte mit den gewogenen Mistmengen. In der Vorperiode 1998/1999 wurden die Flächen von Teil-

betrieb O nicht gedüngt. Für den auf den M-Flächen mit $11,6 \text{ t FM ha}^{-1}$ ausgebrachten Mist wurden die Nährstoffgehalte aus 1999/2000 unterstellt.

Die Menge des auf den Flächen verteilten Sickerwassers resultierte aus der Multiplikation der Anzahl entleerter Gülletankwaagen von je 6 m^3 Fassungsvermögen. Die Nährstoffgehalte des Sickerwassers wurden analysiert und zur Schätzung der Düngemenge für die Flächenbilanzen herangezogen.

Stallmistausfuhr in Teilbetrieb O im Jahr 1999-2000 (Hoftorbilanz)

In Teilbetrieb O wurde im Jahr 1999-2000 der gesamte Stapelmist ausgeführt. Die Stapelmistmenge in Teilbetrieb O wurde nicht komplett erfasst, da die Mistlagerplatte bei Ausbringung 2000-2001 wegen schlechter Witterung nicht ganz geleert werden konnte. Die FM-Mengen des Stallmists beider Stallperioden unterschieden sich zwischen den Teilbetrieben mit im Mittel $0,2 \%$ kaum. Daher wurde die in Teilbetrieb M erzeugte Stapelmistmenge mit der in Teilbetrieb O ausgeführten Menge gleichgesetzt.

Aufbereitung der Proben von Stallmist und Mistsickerwasser

Die Proben von Stallmist und Mistsickerwasser wurden unmittelbar nach der Probenahme eingefroren. Die Aufbereitung der Stallmistproben erfolgte in Anlehnung an NEUBAUER (1928). Die gefrorenen Proben wurden mit einem Beil in Splitter zerkleinert. Eine Teilmenge, etwa 150 g , wurde entnommen, im Einmachglas eingewogen und mit Weinsäure (100 g l^{-1} dest. H_2O) zur Vermeidung der Ammoniakverflüchtigung und mit destilliertem Wasser in noch gefrorenem Zustand aufgefüllt. Nach mindestens vierstündiger Auftauzeit wurden die Proben nach erfolgter Kontrolle des pH-Wertes ($\leq 3,7$) bei $60 \text{ }^\circ\text{C}$ bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und mit einem Siebdurchmesser von 1 mm vermahlen. Die Restfeuchte wurde bei $105 \text{ }^\circ\text{C}$ bestimmt. Durch die CO_2 -Entgasung aus den Mistproben während der etwa 3 bis 4 wöchigen Trocknungsdauer trat eine nicht quantifizierbare Verringerung der Trockenmasse auf. Aufgrund dessen musste auf die Berechnung von Trockensubstanzgehalten verzichtet werden.

Das beprobte Sickerwasser wurde im Kühlschrank aufgetaut, ein Aliquot mit $18,5 \%$ iger Salzsäure zur Senkung des pH-Wertes auf $1,6$ versetzt und anschließend ge-

friergetrocknet. Bei der Berechnung der Trockensubstanz- und Nährstoffgehalte (Stickstoff, P, K, Mg) wurde die Zugabe der Salzsäure sowie bei Stallmist das Gewicht der zugesetzten Weinsäure und der Verlust von Weinsäuretrockensubstanz während der Trocknung berücksichtigt.

4.4.8 Analyseverfahren

Die pH-Wert-Messung der Bodenproben erfolgte mit einem geeichten pH-Meter nach Herstellung einer Bodensuspension in 0,01 molarer CaCl_2 -Lösung. Alle Stickstoff- und C- Analysen wurden mit dem NA 1500-Analyzer der Firma Carlo-Erba unter Verwendung eines Bodenstandards bzw. Pflanzenstandards durchgeführt (Elementaranalyse).

Der Aufschluss der Bodenproben für die Untersuchung auf Phosphor, K und Mg wurde nach der CAL-Methode (SCHÜLLER, 1969) vorgenommen. Die Pflanzen-, Mist- und Mistsickerwasserproben wurden für den Aufschluss von Phosphor, K und Mg verascht, mit Ammoniumnitrat und 18,5 %-iger HCl bei 250 °C gekocht und filtriert.

Die Aufschlüsse der Proben von Boden, Pflanzen, Mist und Mistsickerwasser wurden im Spektralphotometer auf Phosphor untersucht. Dies erfolgte bei einer Wellenlänge von 578 nm nach Anfärbung der Bodenaufschlüsse mit Ammoniumheptamolybdat und Ascorbinsäure sowie nach Anfärbung der Aufschlüsse von Pflanzen, Mist und Mistsickerwasser mit Ammoniummonovanadat. Die Untersuchung auf Kalium erfolgte mit dem Flammenphotometer bei einer Wellenlänge von 766 nm und auf Magnesium mit der Atomabsorptionsspektrometrie.

4.5 Weideleistung

Die Weideleistung wurde in Anlehnung an VOIGTLÄNDER und VOSS (1979) und WEIßBACH (1993) berechnet. Unter Weideleistung wird der tierische Nutzertrag einer Grünlandfläche, ausgedrückt in Einheiten des energetischen Futterwertes (MJ NEL ha^{-1}), verstanden (WEIßBACH, 1993). Die Weideleistung (WL) wurde wie folgt ermittelt:

- als Vergleichsgröße der Teilbetriebe (TB) für das Ertragspotential der gesamten Fläche

$$\text{WL}_{\text{TB gesamt}} \text{ (MJ NEL ha}^{-1}\text{)} = ((1,15 * B_E + B_L) * \text{Zahl der Weidetage ha}^{-1}\text{)} + \text{Schnittertrag} * 0,70 \text{ (MJ NEL ha}^{-1}\text{)} - \text{Beifuttermenge (MJ NEL ha}^{-1}\text{)} \quad [8]$$

- als Vergleichsgröße der Teilbetriebe (TB) für das Ertragspotential des beweideten Anteils der Flächen (Weidenutzung)

$$\text{WL}_{\text{TB Weide}} \text{ (MJ NEL ha}^{-1}\text{)} = ((1,15 * B_E + B_L) * \text{Zahl der Weidetage ha}^{-1}\text{)} - \text{Beifuttermenge (MJ NEL ha}^{-1}\text{)} \quad [9]$$

Darin sind:

B_E (MJ NEL d^{-1}) Erhaltungsbedarf aller Tiere = Kuh und Zuchtbullen (anteilig) $(0,293 * \text{Lebendmasse (LM)}^{0,75} \text{ (GFE, 2001)}) + \text{Erhaltungsbedarf des Kalbes } (0,317 * \text{LM}^{0,75} \text{ (GFE, 2001))}$,

B_L (MJ NEL d^{-1}) Leistungsbedarf aller Tiere = Kalb $(0,2007 * \text{LM}^{0,75} * \text{Tageszunahme}^{1,53} + 1,2 \text{ (GEH, 1986)}) + \text{Leistungsbedarf der Kuh (Änderung der LM für Ansatz } (25,5 \text{ MJ NEL je kg LM-Zunahme (GFE, 2001)}) + \text{Milchenergiebedarf des Kalbes. (Da die Milchleistung der Kuh unbekannt ist, wurde vereinfacht angenommen, dass das Kalb seinen Energiebedarf ausschließlich über die Milchaufnahme deckt, während die Kuh ihren daraus folgenden Energiebedarf über eine zusätzliche Futteraufnahme bestreitet; Bedarf für die Milchbildung: } 3,3 \text{ MJ NEL je kg Milch bei einem Energiegehalt der Milch von } 3,2 \text{ MJ NEL je kg (GFE, 2001) – diese Vorgehensweise ist möglich, da nach KIRCHGESSNER (1992) im Bewertungssystem NEL der Energiebedarf für die Milchbildung gleich dem Energiegehalt der Milch zuzüglich eines Zuschlages von } 0,07 \text{ MJ NEL je kg Milch ist)}$,

Faktor 1,15 zusätzlicher Bedarf von 15 % wegen höherer Bewegungsaktivität auf der Weide gegenüber den bei Stallfütterung ermittelten Normen (GFE, 2001),

Faktor 0,70 zur Vergleichbarkeit mit der eigentlichen Weidenutzung wurde der Schnittertrag um einen normierten Weiderest von 30 % verringert (WEIßBACH, 1993).

4.6 Ermittlung der Stickstoffverluste

Die N_{gesamt} -Verluste wurden als Summe der umweltbelastenden Bindungsformen Nitrat (NO_3^-), Ammoniak (NH_3) und Lachgas (N_2O) ermittelt. Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO_2) wurden nicht einbezogen. Sie treten in noch geringerem Umfange auf als N_2O (ANGER, 2001). Der bei der Denitrifikation entstehende elementare Luftstickstoff (N_2) ist nicht umweltbelastend und blieb daher unberücksichtigt. Zum N-Verlust aus symbiotisch fixiertem Stickstoff siehe Formel [7], Kap. 4.4.5.

N-Verluste aus den Exkrementen der Weidetiere

Die N-Verluste wurden getrennt für Urin und Kot ermittelt. Hierzu wurde die N-Ausscheidung über Urin und Kot in Abhängigkeit von der N-Aufnahme nach SCHELLBERG (2004) wie folgt berechnet:

- **Urin-N ($\text{g GV}^{-1} \text{d}^{-1}$) = $1,0042 x - 80,426$; $r^2 = 0,977$ [10]**
- **Kot-N ($\text{g GV}^{-1} \text{d}^{-1}$) = $-0,0042 x + 67,426$; $r^2 = 0,0007$ [11]**

x: N-Aufnahme je GV und Tag

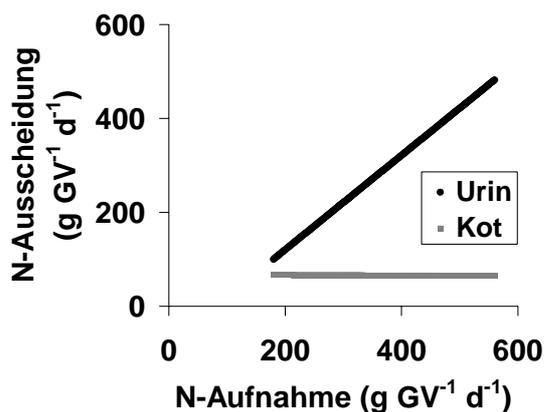


Abb. 4-6: N-Ausscheidung über Urin und Kot in Abhängigkeit von der N-Aufnahme (nach SCHELLBERG, 2004)

Während die N-Ausscheidung über Kot weitgehend konstant, d.h. unabhängig von der N-Aufnahme bleibt, steigt die N-Ausscheidung über Urin mit der N-Aufnahme stark an. Die Gleichungen [10] und [11] wurden empirisch am Standort Rengen abgeleitet.

Die N-Verluste aus den N-Ausscheidungen über Urin und Kot wurden getrennt für die Bindungsformen NO_3^- , NH_3 und N_2O aus empirisch am Standort Rengen abgeleiteten Schätzgleichungen (1994 bis 1997) nach ANGER (2001) ermittelt:

Nitrat

Aus Urin-N in (%) (bei Düngung bis $120 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) (Abb. 4-7, S. 52):

$$y = -0,0002 x^2 + 0,383 x - 38,14; r^2 = 0,673 \quad [12]$$

Aus Kot-N (kg NO_3^- -N):

$$y = 0,01 * \text{Kot-N} \quad [13]$$

Ammoniak

Aus Urin-N in (%) (Abb. 4-7, S. 52):

$$y = -0,0524 x + 19,770; r^2 = 0,867 \quad [14]$$

Aus Kot-N in (%) (Abb. 4-7, S. 52):

$$y = -0,0168 x + 6,303; r^2 = 0,906 \quad [15]$$

Lachgas

Aus Urin-N ($\text{kg N}_2\text{O}$ -N):

$$y = 0,01 * \text{Urin-N} \quad [16]$$

Aus Kot-N ($\text{kg N}_2\text{O}$ -N):

$$y = 0,003 * \text{Kot-N} \quad [17]$$

mit x als dem Kalendertag des mittleren Nutzungstermins (Weideumtrieb)

Die NO_3^- - und die NH_3 -N-Verluste wurden in Abhängigkeit vom Nutzungstermin kalkuliert. Dies bedeutet am Beispiel des Urin-N, dass aus der gleichen Menge ausgeschiedenen Urin-N im Verlauf der Vegetationsperiode von Frühjahr bis Herbst zunehmende Nitrat- und abnehmende Ammoniak-Verluste resultieren (Abb. 4-7, S. 52). Faktoren, die, wie bspw. die Bodentemperatur, der Niederschlag und das Pflanzenwachstum in direktem ursächlichem Zusammenhang zu den N-Verlusten stehen, wurden nicht berücksichtigt. Dennoch besteht über den Kalendertag eine indirekte Beziehung zu diesen Faktoren. Dem mit dem Urin im Frühjahr ausgeschiedenen Stickstoff bleibt noch ein großer Teil der Wachstumstage der Vegetationsperiode, in der dieser Stickstoff in pflanzlichen Protein-N umgewandelt werden kann. Dieser An-

teil der Umwandlung in pflanzlichen Protein-N ist bei einer N-Ausscheidung im Herbst geringer, so dass ein umso größerer Anteil des im Herbst ausgeschiedenen Stickstoffs in Form von Nitrat in der nachfolgenden Sickerwasserperiode ausgewaschen werden kann.

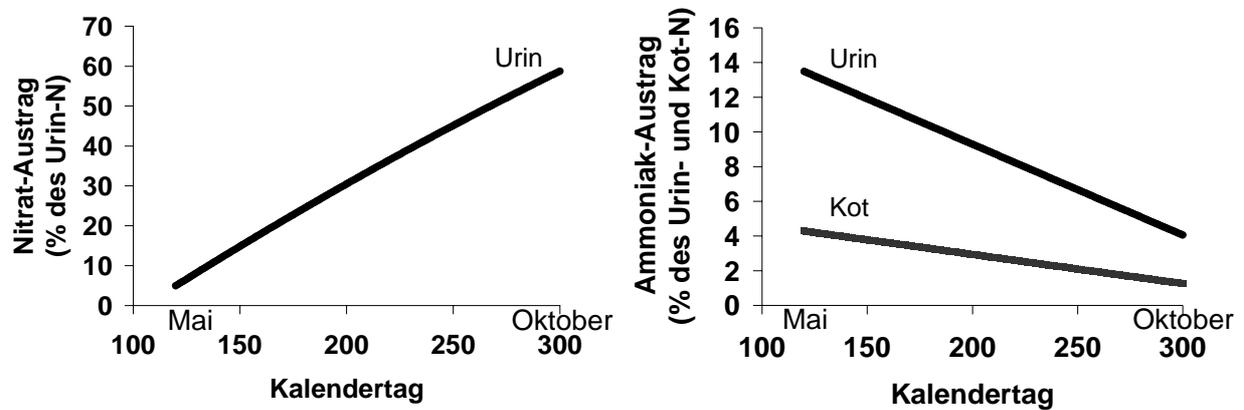


Abb. 4-7: Nitrat- und Ammoniak-Austrag aus Urin- und Kot-N im Verlauf der Vegetationsperiode (Kalendertag) (nach ANGER, 2001).

N-Verluste aus der Stallmiskette

Die N-Verluste aus der Stallmiskette Stall – Lagerung – Ausbringung wurden mit Hilfe von Literaturangaben ermittelt (Abb. 4-8).

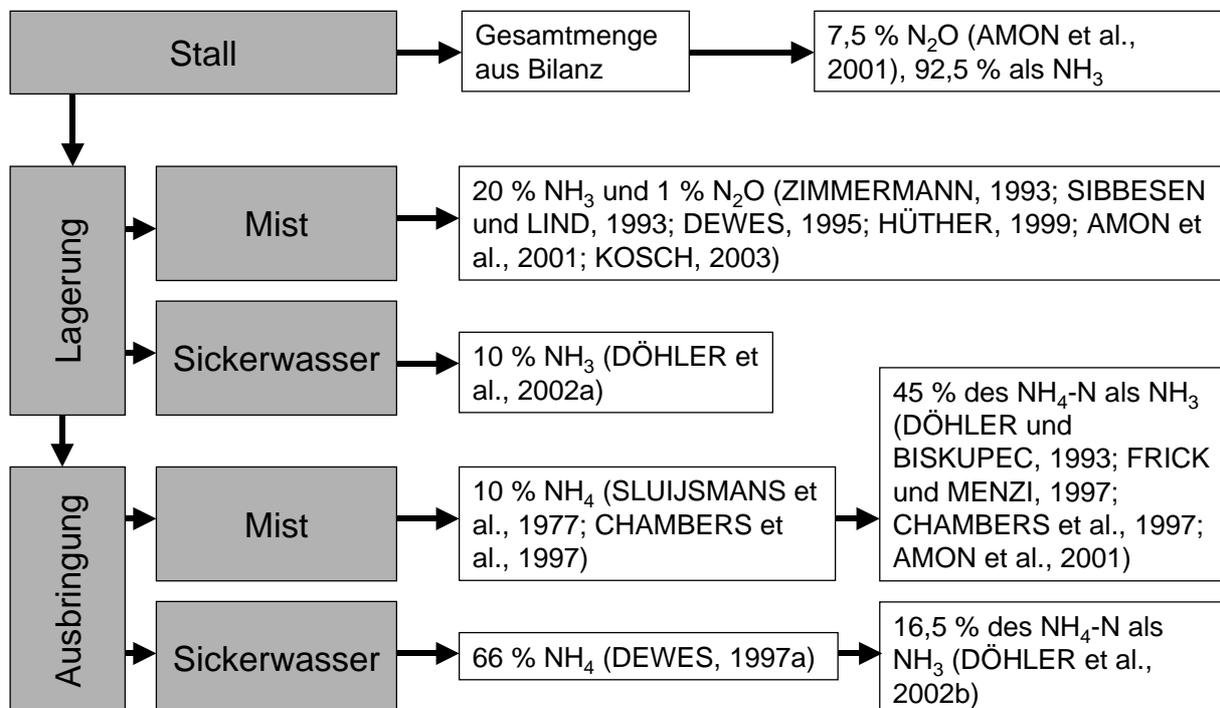


Abb. 4-8: Ermittlung der N-Verluste aus der Stallmiskette Stall – Lagerung – Ausbringung.

4.7 Bilanzierung der Nährstoffbewegungen

Zur Bilanzierung der Nährstoffbewegungen wurden 5 Bilanzarten herangezogen:

- Hoftorbilanz
- Stallbilanz
- Bilanz der Mistlagerung
- Gesamtflächenbilanz
- Teilflächenbilanz (Koppelbilanz: Weiden, Mähweiden und Wiesen)

In der Hoftorbilanz, in der Gesamtflächen- und der Koppelbilanz wurden drei Saldos ausgewiesen. Saldo 1 basiert auf der Zufuhr von Produktionsmitteln und der Ausfuhr von Produkten. Saldo 2 beinhaltet darüber hinaus den N-Beitrag des Weißklee aus der symbiotischen-N₂-Fixierung und die Nährstoffdeposition. In Saldo 3 wurden zusätzlich die Nährstoffverluste berücksichtigt, so dass Saldo 3 auf eine Veränderung des Boden-Nährstoffpools hinweist. Dabei ist zu beachten, dass der nicht umweltbelastende elementare N-„Verlust“ aus der Denitrifikation nicht im aufgeführten N-Verlust enthalten ist (Kap. 4.6).

Die **Bilanzierungszeiträume** erstreckten sich in der Hoftorbilanz, in der Gesamtflächenbilanz sowie in der Koppelbilanz von der Einstellung bis zum Weideabtrieb des Folgejahres, in der Stallbilanz von der Einstellung bis zur Ausstallung und in der Bilanz der Mistlagerung von der Stallentmistung bis zur Ausbringung des gelagerten Mists.

Die Aufstellung der **Stallbilanz** erfolgte auf zwei Wegen. Die auf Messwerten basierte Stallbilanz (Messwert-Stallbilanz) wurde ergänzt um die auf einer Schätzung der Stallmistmasse basierten Stallbilanz (Schätzwert-Stallbilanz). Ein Schwachpunkt in der Messwert-Stallbilanz stellte die aus Volumen und Raumgewichten berechnete Stallmistmasse im Vergleich zu den übrigen gewogenen Bilanzposten (Futter, Stroh und Tiere) dar. Eine Überprüfung von fünf Raumgewichten ergab eine Über- bzw. Unterschätzung des Mittelwertes durch den höchsten bzw. niedrigsten Einzelwert von bis zu 8 %. Da in der Methodik der Messwert-Stallbilanz nur ein Raumgewicht ermittelt wurde (Kap. 4.4.7), wurde in der Schätzwert-Stallbilanz eine geringe Über-

bzw. Unterschätzung der für die Messwert-Stallbilanz berechneten Stallmistmasse angenommen. Das Ausmaß der dabei angenommenen Über- oder Unterschätzung leitete sich ab von der „Null-Saldo-Logik“ der Stallbilanz für die Elemente Phosphor, K und Mg. Da diese Elemente im Stall keine Verluste (kein Sickerwasser, keine Entgasung) aufweisen, betragen die Saldos der Logik nach Null. Liegt diese Voraussetzung vor, kann der N-Saldo als Verlustgröße gewertet werden. In der Schätzwert-Stallbilanz wurden Phosphor-, K- und Mg-Gehalte (%) für den Stallmist nach folgender Formel am Beispiel von Phosphor berechnet:

$$\text{P-Gehalt (\%)} = \frac{((\text{P-Zufuhr aus Futter und Stroh (kg)} - \text{P im Lebendmassezuwachs der Tiere (kg)}) / \text{Stallmist (kg)}) * 100}{[18]}$$

Darin wurde die Stallmistmasse aus der Messwert-Stallbilanz in dem Maße geringfügig verringert oder erhöht, dass die errechneten Nährstoffgehalte den analysierten Nährstoffgehalten entsprachen oder zumindest innerhalb deren Streuung lagen. Die Elemente Phosphor, K und Mg dienten somit der Überprüfung der Stallmistmasse. Für Stickstoff wurde kein Gehaltswert berechnet, sondern über den Analysenwert das N-Saldo mit der geschätzten Stallmistmasse ermittelt und daraus die N-Verluste in kg ha^{-1} und in % der N-Zufuhr während der Stallzeit abgeleitet.

Der Literatur wurde die Deposition entnommen, und zwar von Stickstoff mit 20 kg je ha (FÜHRER, 1988; ANONYMUS, 1990; MÜLLER et al., 1990; SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1992; BROUWER et al., 1995) und von Phosphor, K und Mg mit 1, 4 und 4 kg ha^{-1} (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1992). Die Schätzung der Phosphor-, K- und Mg-Aufnahme der Tiere auf der Weide und nach Abzug der Retention auch der Ausscheidung wurde mit Hilfe von Mittelwerten aus dem ersten bis dritten Aufwuchs nach den DLG-Futterwerttabellen geschätzt (g kg T^{-1} ; 4,0 P, 31 K, 1,9 Mg) (Tab. A 67, S. 238) (DLG, 1973). Die Nährstoffretention im Lebendmassezuwachs der Tiere wurde mit 2,50 % N (ANONYMUS, 1996), 0,75 % P, 0,22 % K und mit 0,05 % Mg (SCHWARZ et al., 1995) angesetzt. Unter Berücksichtigung der in Tab. 2-5 (S. 15) aufgeführten Daten im Abgleich mit den Eigenschaften des Standorts Rengen wurden für Phosphor, K und Mg Verluste in Höhe von 1, 8 und 16 kg ha^{-1} angenommen. Zur Ermittlung der N-Verluste siehe Kapitel 4.6.

Abb. 4-9 gibt am Beispiel des Stickstoffs für beide Teilbetriebe eine Übersicht über die Nährstoffbewegungen, den innerbetrieblichen Nährstoffkreislauf und die Zufuhr- und Ausfuhrposten der Bilanzarten.

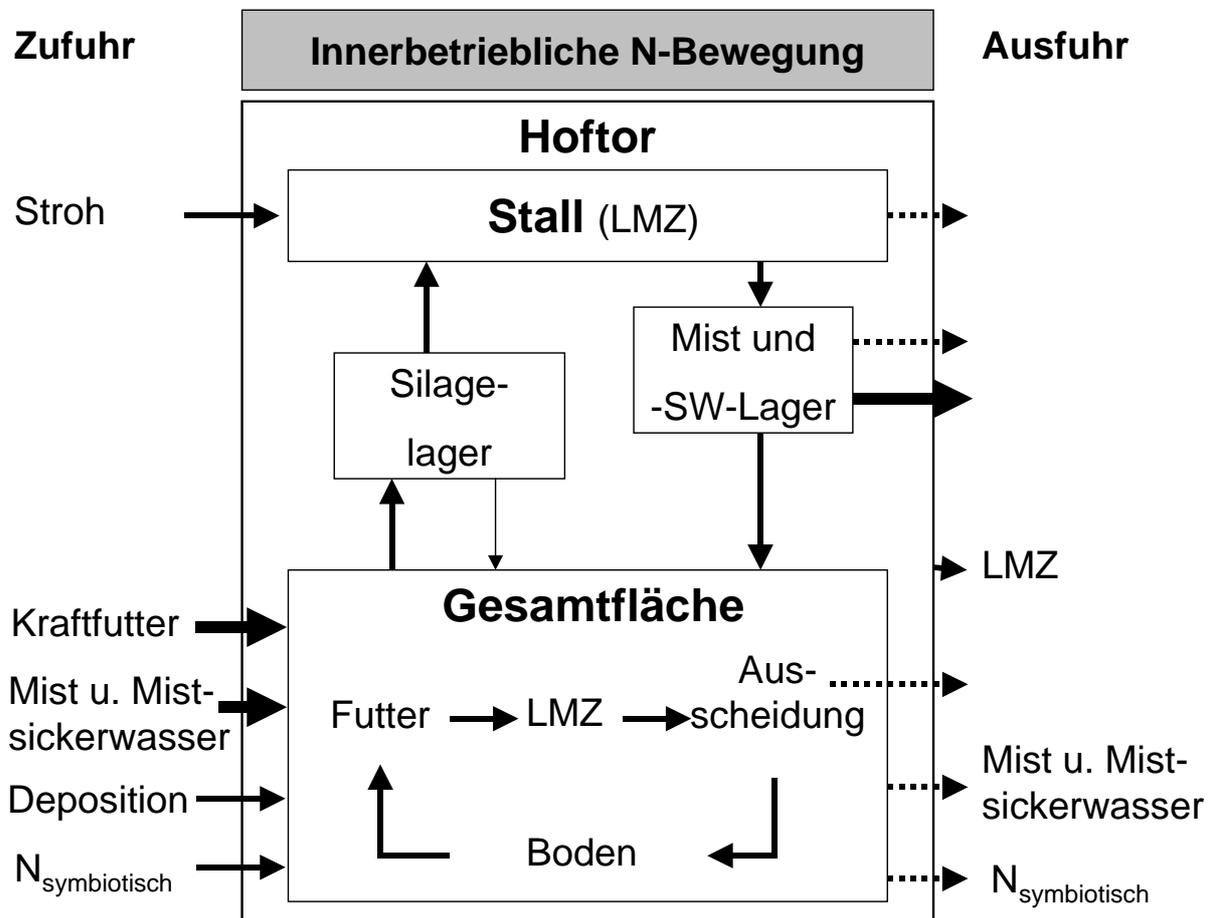


Abb. 4-9: Nährstoffbewegungen, Zufuhr- und Ausfuhrposten der Bilanzarten und innerbetrieblicher Nährstoffkreislauf am Beispiel des Stickstoffs. Zusätzliche Bilanzposten in Teilbetrieb M in der Zufuhr und in Teilbetrieb O in der Ausfuhr sind mit kräftigen Pfeilen gekennzeichnet. Die gepunkteten Pfeile stehen für N-Verluste. LMZ: Lebendmassezunahme der Tiere, SW: Sickerwasser.

4.8 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mit dem Statistikprogramm SAS, Version 8.02, durchgeführt.

Varianzanalyse

Die Daten wurden zunächst unter Verwendung der SAS-Prozedur UNIVARIATE auf Abweichung von der Normalverteilung mit Hilfe des Shapiro-Wilk-Tests sowie auf Anwesenheit von Ausreißern geprüft. Mit der Prozedur GLM wurden die fixen Effekte auf annähernd normalverteilte Merkmale mit der Methode der kleinsten Quadrate (LSQ-Verfahren) varianzanalytisch untersucht. Die statistischen Modelle können aus den Ergebnistabellen der varianzanalytischen Signifikanzprüfung abgeleitet werden (Tab. A 56 bis A 59, S. 232ff.).

Wilcoxon-Test für Paardifferenzen

Bei nicht normalverteilten Merkmalsdaten wurde der Wilcoxon-Test für Paardifferenzen — Prozedur NPAR1WAY — angewendet.

Multiple lineare Regressionsrechnung

Zur Schätzung der N-Verluste aus Weidetierexkrementen wurden Regressionsgleichungen [19] (S. 83) und [20] aus mehreren Variablen entwickelt. Neben dem Bestimmtheitsmaß zur Prüfung der Stärke des Zusammenhangs wurden der F-Test und der t-Test bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit Alpha von 0,05 (t-Test bei Variable N-Gehalt in Formel [20] (S. 83) Alpha = 0,10) angewendet.

Tierdaten

Die Wiegedaten der Kälber aus der Weideperiode 1999 konnten aufgrund einer unterschiedlichen Anzahl von Kälbern und Kühen eines Teilbetriebes nicht varianzanalytisch untersucht werden. Aus den unterschiedlichen Geburtsterminen der Kälber in beiden Versuchsjahren resultierten Differenzen im Lebensalter, bspw. zu Weideauftrieb. Daher erfolgte die varianzanalytische Untersuchung auf Unterschiede der Lebendmassen und Tageszunahmen zwischen den Teilbetrieben in beiden Versuchsjahren auf der Basis gleicher Lebensstage. Hierzu wurde für die Entwicklung der Lebendmasse je Kalb eine polynomische Kurvenanpassung zweiten Grades vorge-

nommen. Aus diesen Funktionen wurden für alle Kälber Lebendmassen bei gleichem Lebensalter berechnet (Tab. A 60 und A 61, S. 234f.). Beispielhaft sind im Anhang für einige Kälber die aus den elektronischen Wiegedaten ermittelten Funktionen der Lebendmasseentwicklung dargestellt (Abb. A 9 und A 10, S 262). Da die Geburtsgewichte der Kälber im zweiten Versuchsjahr zwischen den Teilbetrieben signifikant verschieden waren und einen Einfluss auf die täglichen Zunahmen zeigten, wurde das Geburtsgewicht als Kovariable in das statistische Modell aufgenommen. In Teilbetrieb M wurde ein Kalb (Nr. 24) von der statistischen Auswertung für die täglichen Zunahmen ausgeschlossen, weil es in der Lebendmasseentwicklung (Abb. A 10, S. 262) so stark aus dem Rahmen fiel, dass eine gesundheitliche Störung angenommen wurde.

Boden- und Silagedaten

Ein Test auf signifikante Unterschiede zwischen den Teilbetrieben wurde mit dem Wilcoxon-Test für Paardifferenzen — Vergleich der Mediane — durchgeführt. Zusätzlich wurde die Standardabweichung der Einzelwerte vom Mittelwert angegeben. Die Koppeln dienten in der statistischen Auswertung aufgrund der unterschiedlichen Behandlungen (Düngung: mit und ohne Mist; Nutzungsart: Weide, Mähweide, Wiese; Besatzdichte) nicht als Wiederholung.

Sonstige statistische Verfahren

Als weitere statistische Verfahren wurden das arithmetische Mittel, das gewogene arithmetische Mittel, der Median, die Standardabweichung, der Standardfehler und der Variationskoeffizient verwendet. Die Regressions- und Korrelationsrechnung wurden mit Excel 97 und SigmaPlot 5.0 durchgeführt.

5 Ergebnisse

5.1 Bodenuntersuchung

Die Böden waren in Teilbetrieb M vor Versuchsbeginn im Frühjahr 1999 mit Phosphor und Kalium um 23 bzw. 67 % signifikant höher versorgt als in Teilbetrieb O (Abb. 5-1). Die Böden der M-Flächen sind für das Jahr 1999 bei Phosphor in Versorgungsklasse C, die Böden der O-Flächen in Versorgungsklasse B einzuordnen. Die Böden beider Teilbetriebe lagen bei Kalium in Versorgungsklasse D und zwar in Teilbetrieb M am oberen Ende und in Teilbetrieb O am unteren Ende der Versorgungsklasse. Bei Magnesium wurde meist die Versorgungsklasse B erreicht.

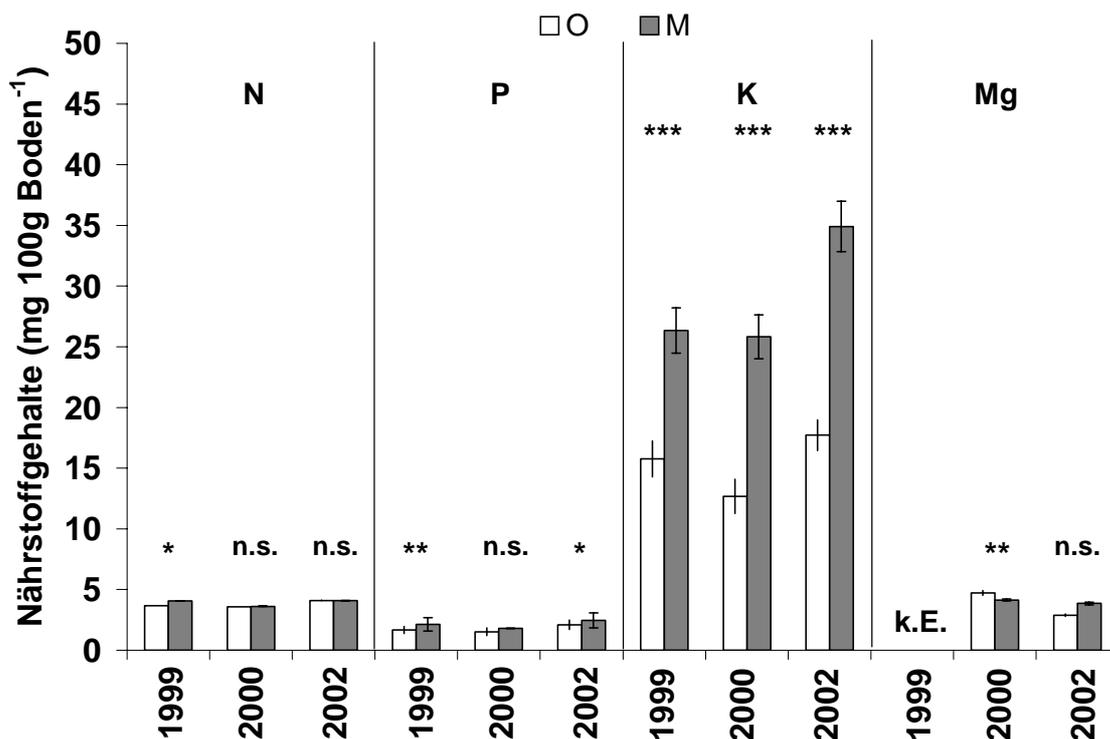


Abb. 5-1: Mittlere Nährstoffgehalte der Böden der Teilbetriebe an P, K und Mg in 0-10 cm Bodentiefe. Gemittelt über alle Einzelwerte aller Koppeln; Signifikanz: n.s.: nicht signifikant; *: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$; ***: $p \leq 0,001$; \pm Standardfehler; k.E.: keine Erhebung; die Signifikanzen geben Unterschiede zwischen den in Tab. A 96 (S. 253) aufgeführten Medianen (Wilcoxon-Test) an; eine Varianzanalyse auf signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten erfolgte wegen nicht normalverteilter Daten nicht. Zur Probenanzahl siehe n-Tabelle (Tab. A 95, S. 253).

Der N-Gehalt von 0,4 % (O und M) in 0 bis 10 cm Bodentiefe entspricht bei einer Bodendichte von 1,3 t je m³ einer Gesamtmenge von etwa 5.000 kg N ha⁻¹. Die Menge des durch NH₄⁺ austauschbaren Kaliums in den oberen 10 cm des Bodens, abgeleitet vom CAL-Wert nach SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (1992) bei einem Tongehalt von etwa 10% (KERPEN, 1960), betrug in den Teilbetrieben etwa 460 (M) bzw. 244 kg K ha⁻¹ (O). Die Mengen an Phosphor (CAL) und Magnesium (CAL) betrugen in der Bodentiefe bis 10 cm je ha 46 (O) bzw. 55 kg P (M) und 49 (O) bzw. 52 kg Mg (M). Der Kohlenstoffgehalt des Bodens in 0 bis 10 cm Tiefe lag in den Jahren 1999 bis 2002 bei 4,2 % (O) bzw. 4,3 % (M). Dies entspricht in beiden Teilbetrieben einem Humusgehalt von ca. 7,3 %. Die Böden sind mit einem pH von 5,6 (O) bzw. 5,7 (M) mäßig sauer und bei einem mittleren C/N-Verhältnis von 11 (O und M) nach FINCK (1976) als N-reich anzusehen. Die mittleren Nährstoffgehalte und die mittleren pH-Werte der Böden der einzelnen Koppeln sind mit ihren Streuungen im Anhang aufgeführt (Tab. A 1 bis A 3, S. 185ff.). Danach nehmen alle Nährstoffgehalte und auch die pH-Werte erwartungsgemäß mit der Bodentiefe ab.

5.2 Floristische Zusammensetzung vor Weideauftrieb

Über die Zusammensetzung der Grasnarben nach Pflanzenarten im Jahre 1999 informiert Tab. A 4 (S. 188). In beiden Teilbetrieben und allen Koppeln kann der Pflanzenbestand als Weidelgras-Weißkleeweide (*Lolio-Cynosuretum*) eingeordnet werden. In Teilbetrieb O traten im Frühjahr 2000 in den Ertragsanteilen der Pflanzengruppen höhere Ertragsanteile an Kräutern und geringere an Gräsern auf (Tab. 5-1). Ansonsten bestanden keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Teilbetrieben. Die Ertragsanteile variierten mit Variationskoeffizienten bis zu über 100 % (Weißklee) sehr stark.

Tab. 5-1: Ertragsanteile der Pflanzengruppen Gräser, Kräuter und Weißklee im Frühjahr vor Weideauftrieb (Mittelwerte und Variationskoeffizienten)

Jahr	Pflanzen- gruppe	O		M	
		\bar{x} (%)	cv (%)	\bar{x} (%)	cv (%)
2000	Gräser	77	21	82	11
	Kräuter	18	87	14	50
	Weißklee	5	92	4	90
2001	Gräser	78	7	76	17
	Kräuter	18	31	19	66
	Weißklee	4	92	5	119

5.3 Weißkleeertragsanteile und symbiotische N₂-Fixierung in der Weideperiode

Die Abb. 5-2 gibt die mittleren Weißkleeertragsanteile und die symbiotische N₂-Fixierung an. Die Weißkleeertragsanteile waren in Teilbetrieb M im Jahr 2000 um 10 Prozentpunkte und im Jahr 2001 um 2 Prozentpunkte höher als in Teilbetrieb O. Innerhalb der Teilbetriebe waren die Unterschiede zwischen den Jahren mit 13 Prozentpunkten (M) und 5 Prozentpunkten (O) größer als zwischen den Teilbetrieben. In Teilbetrieb M wurde im Jahr 2000 mit 80 kg N ha⁻¹ doppelt so viel Stickstoff fixiert, im Jahr 2001 dagegen nur geringfügig mehr als in Teilbetrieb O.

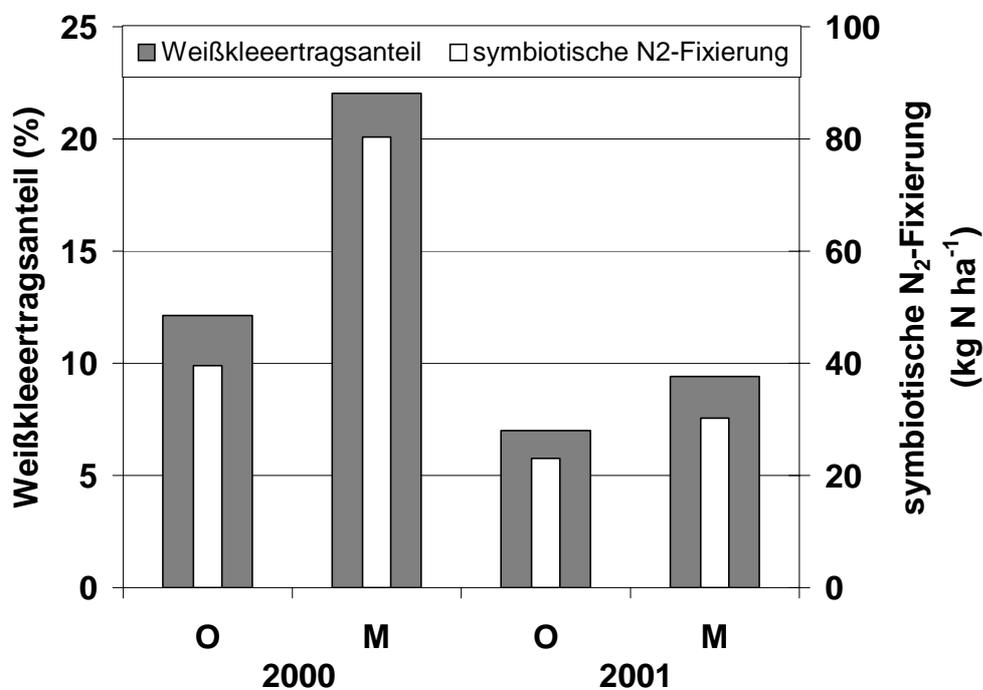


Abb. 5-2: Mittlere Weißkleeertragsanteile und mittlere symbiotische N₂-Fixierung in den Weideperioden (gewichtet um den Weißkleeertrag und die Flächengröße)

Die Koppelmittelwerte der Weißkleeertragsanteile und der symbiotischen N₂-Fixierung sind dem Anhang zu entnehmen (Tab. A 10 und A 11, S. 193f.). Die Weißkleeertragsanteile variierten zwischen den Koppeln von 2 bis 50 % (M) bzw. von 2 bis 25 % (O), die N₂-Fixierung — berechnet nach WEIßBACH (1995) (s. Kap. 4.4.5) — von 15 bis 117 kg N ha⁻¹ (M) bzw. von 15 bis 45 kg N ha⁻¹ (O). Die im Weidekäfigver-

fahren ermittelten Ertragsanteile und Erträge des Weißklees können den Anhangtabellen A 6 (S. 188) bis A 9 entnommen werden.

5.4 Weidebrutto- und Silageertrag

Die Abb. 5-3 (S. 62) gibt Aufschluss darüber, wieviel Trockenmasse mit Silage von den Schnittflächen (Wiesen und Mähweiden) geerntet wurde und wieviel Trockenmasse mit dem Weideaufwuchs den Rindern auf den Weiden und Mähweiden zur Verfügung stand. In Abbildung 5-3 B ist der Gesamtertrag je ha auf die Teilbetriebsfläche (Weiden, Mähweiden und Wiesen) bezogen und daher nicht als Summe von Weide- und Silageertrag zu verstehen. Zudem ist bei der Interpretation der Abbildung der unterschiedliche Flächenumfang von Schnittflächen und beweideten Flächen zwischen den Teilbetrieben zu beachten (Tab. A 18, S. 211). Abb. 5-3 stellt keinen Vergleich zwischen Nutzungsformen dar.

Auf die Höhe der Erträge wirkten sich u.a. die Niederschlagsverteilung (Tab. 4-1, S. 27), der Temperaturverlauf, (Abb. A 3, S. 258) und der Weißkleeertragsanteil (Abb. 5-2, S. 60) aus. Alle Faktoren wirkten differenzierend auf die Erträge zwischen den Jahren. Der Weißkleeertragsanteil wirkte differenzierend auf die Erträge zwischen den Teilbetrieben. Es ist allerdings schwierig, die einzelnen Faktoren für Ertragsunterschiede ursächlich zu beschreiben, da sich auch die Nutzung mancher Koppeln zwischen Weide und Mähweide jedes Jahr änderte und somit sich auch die Koppel als ertragsbeeinflussender Faktor auf die jeweilige Höhe der Silage- und Weideerträge auswirkt.

Zwischen den Jahren erscheinen die Unterschiede im Ertrag größer als zwischen den Teilbetrieben. Der positive Einfluss des frühen und kontinuierlichen Temperaturanstiegs auf den Silageertrag je ha im Jahr 2000 wird im Jahresvergleich in Teilbetrieb O ersichtlich, da dort im Wesentlichen nur ein Silageschnitt zur ersten Nutzung erfolgte (Temperatursumme bis zum ersten Schnitt (°C); im Jahr 1999: 720, im Jahr 2000: 815, im Jahr 2001: 707).

Der Gesamtertrag unterscheidet sich von den übrigen Jahren aufgrund des geringeren Schnittflächenumfangs nicht. In Teilbetrieb M wurde der Effekt der Temperatur-

summe durch den Effekt der Flächenumnutzung ab dem Jahr 2000 mit 2 bis 3 Schnitten auf den Wiesen überdeckt, so dass letztere zu höheren Silageerträgen, auch gegenüber Teilbetrieb O führte. Die Weiden profitierten in den Jahren 2000 und 2001 von höheren Niederschlägen, besonders die von Teilbetrieb M in Kombination mit wesentlich höheren Weißkleeertragsanteilen im Jahr 2000.

Aus den Gesamterträgen (Abb. 5-3 A) wird deutlich, dass der Mutterkuhherde M im Jahr 2000 trotz höherer Flächenerträge (Abb. 5-3 B) in etwa die gleiche Menge an Weideaufwuchs und im Jahr 2001 eine deutlich geringere Menge zur Verfügung stand. Ein Ausgleich erfolgte im Jahr 2001 über Beifutter (Silage und Kraftfutter; Tab. A 74, S. 242). Obwohl im Jahr 2001 die Silage- und Weideerträge von Teilbetrieb M über denen von Teilbetrieb O lagen (+ 919 kg T ha⁻¹ und + 439 kg T ha⁻¹ in Teilbetrieb M respektive O), war der Gesamtertrag in Teilbetrieb M um 278 kg T ha⁻¹ niedriger. Dies ist bedingt durch den deutlich höheren Anteil beweideter Fläche in Teilbetrieb O (Tab. 4.2, S. 28), der bei einem geringfügig niedrigeren Hektarertrag (Abb. 5-3 B) zu einem insgesamt höheren Weideertrag (Abb. 5-3 A) führte. Die Schnittflächenanteile unterschieden sich dagegen nicht zwischen den Teilbetrieben, sodass bei der Silage diese Situation nicht auftrat.

Die jährlichen Koppelerträge (Tab. A 22, S. 214) und die Erträge in den Weidekäfigperioden (Tab. A 12 bis A 17, S. 194ff.) sind dem Anhang zu entnehmen.

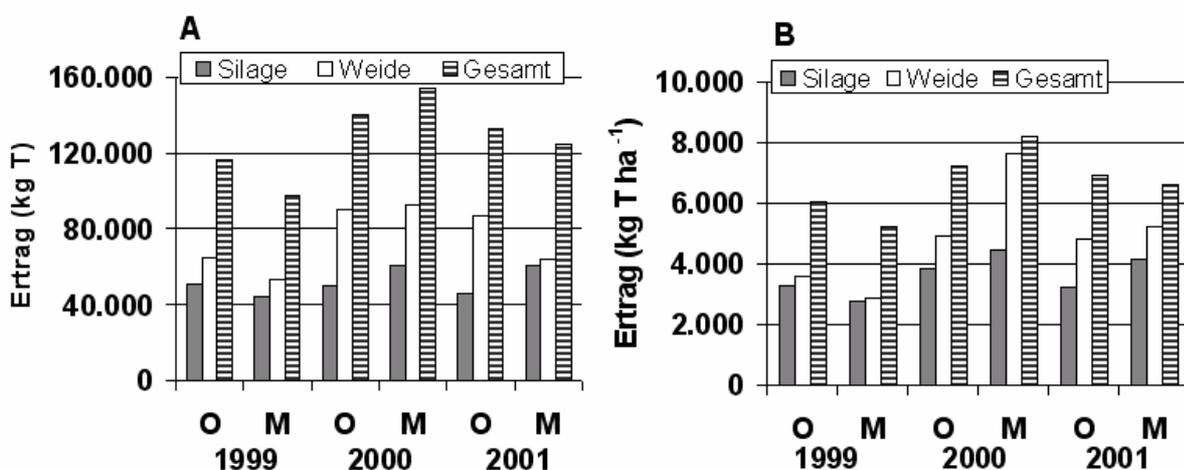


Abb. 5-3: Erträge an Silage (Wiesen, Mähweiden), Weideaufwuchs brutto (Mähweiden, Weiden) und Gesamtertrag (A) sowie Mittelwerte je ha (B).

5.5 Futterqualität des Weideaufwuchses und des kalkulierten aufgenommenen Weidefutters sowie Futterqualität und Nährstoffgehalte der Silage

Futterqualität des Weideaufwuchses

Der Weideaufwuchs in Teilbetrieb M zeigt in allen Parametern der Futterqualität aller Weideperioden deutlich höhere Werte als der Weideaufwuchs in Teilbetrieb O (+0,2 bis 0,4 MJ NEL kg T⁻¹; +2,5 bis 6,8 % VQOS; +1,9 bis 4,2 % XP; +0,3 bis 1,2 % XA) (Tab. 5-2). Bei den Werten in Tab. 5-2 handelt es sich um Mittelwerte für jeweils eine gesamte Weideperiode. Daher sind diese Werte niedriger als Werte aus Messungen an Terminen mit hoher Energiedichte, bspw. von jungem Aufwuchs im Frühjahr. Zu bedenken ist auch, dass es sich bei den zumeist beweideten Flächen um Mähweiden nach dem ersten Schnitt handelt. Frühjahrsbeweidung gab es nur auf der reinen Weide. Die Futterqualität der einzelnen Aufwüchse vor Weideauftrieb, unter den Weidekäfigen und im Weiderest enthalten die Tab. A 12 bis A 17 (S. 194ff.).

Tab. 5-2: Mittlere Qualität des Weideaufwuchses

	Weideperiode					
	1999		2000		2001	
	O	M	O	M	O	M
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,9	6,3	6,1	6,3	5,6	6,0
VQOS (% T)	69	72	74	76	68	75
XP (% T)	15,0	16,8	19,5	23,8	17,3	19,8
XA (% T)	8,2	8,7	9,3	10,5	9,1	9,3

Futterqualität des kalkulierten aufgenommenen Weidefutters

In Teilbetrieb M nahmen die Tiere in den drei Weideperioden mit mittleren Energiedichten von 6,1 bis 6,6 MJ NEL kg T⁻¹ um 0,2 bis 0,5 MJ NEL kg T⁻¹ deutlich energiereicheres Futter auf als die Tiere in Teilbetrieb O (Tab. 5-3, S. 64). Ihr Weidefutter wies eine höhere Verdaulichkeit (+2,1 bis 6,0 Prozentpunkte) und einen höheren Rohproteingehalt (+1,4 bis 3,9 Prozentpunkte) sowie in 1999 und 2000 einen höheren Rohaschegehalt (+0,4 bis 1,0 Prozentpunkte) auf.

Tab. 5-3: Mittlere Qualität des kalkulierten aufgenommenen Weidefutters

		Weideperiode					
		1999		2000		2001	
		O	M	O	M	O	M
NEL	(MJ kg T ⁻¹)	6,0	6,5	6,4	6,6	5,7	6,1
VQOS	(%, T)	70	75	76	78	68	74
XP	(%, T)	15,2	16,6	20,3	24,2	16,9	19,6
XA	(%, T)	8,1	8,6	9,1	10,1	8,9	9,0

In beiden Teilbetrieben traten die höchste Energiedichte, Verdaulichkeit der organischen Substanz, Rohprotein- und Rohaschegehalte im Jahr 2000 auf. Im Vergleich zur Futterqualität des Weideaufwuchses war die Qualität des aufgenommenen Weidefutters höher. Dies gründet auf der Tatsache, dass die Weidetiere nicht den gesamten Weideaufwuchs verzehrten, sondern einen Weiderest übrig ließen, der in der Qualität geringer war. Im Anhang informieren die Tabellen A 28 (S. 216) bis A 31 über die mittlere Qualität des auf den einzelnen Koppeln aufgenommenen Weidefutters.

Futterqualität und Nährstoffgehalte der angebotenen Silage

Deutliche Unterschiede in der Energiedichte und in der Verdaulichkeit mit signifikant höheren Werten in Teilbetrieb M traten im Jahr 1999/2000 auf (Tab. 5-4). Die Rohprotein- und Rohaschegehalte waren in Teilbetrieb M in beiden Jahren signifikant höher. Die mittleren Trockenmassegehalte der Silage nahmen Werte um 50 % ein.

Tab. 5-4: Futterqualität der im Winterhalbjahr im Stall angebotenen Silage (Mittelwerte und Standardabweichung)

		1999/2000		2000/2001	
		O	M	O	M
		\bar{x} (s)	\bar{x} (s)	\bar{x} (s)	\bar{x} (s)
NEL	(MJ kg T ⁻¹)	6,2 (0,4)	6,6 (0,4)	6,1 (0,3)	6,0 (0,3)
VQOS	(%, T)	71 (3,6)	75 (3,5)	70 (2,8)	71 (3,2)
XP	(%, T)	12,9 (1,3)	14,0 (1,5)	12,6 (1,3)	13,9 (2,7)
XA	(%, T)	7,2 (1,0)	8,2 (1,1)	8,2 (1,7)	9,9 (1,8)

Signifikanz nach Wilcoxon-Test zum Vergleich der Mediane (Tab. A 97): *: $p \leq 0,05$; ***: $p \leq 0,001$

Analog zu den höheren Rohproteingehalten waren auch die N-Gehalte in Teilbetrieb M signifikant höher (Tab. 5-5, S. 65). Auch bei Phosphor und K wies Teilbetrieb M signifikant höhere Gehalte auf. Besonders deutlich fielen die um 26 % bzw. 39 % hö-

heren K-Gehalte auf. Dagegen waren die Mg-Gehalte ähnlich (1999/2000) bzw. im Jahr 2000/2001 in Teilbetrieb M um 9 % niedriger als in Teilbetrieb O.

Tab. 5-5: Nährstoffgehalte der im Winterhalbjahr im Stall angebotenen Silage (Mittelwerte und Standardabweichung)

		1999/2000		2000/2001	
		O	M	O	M
		\bar{x} (s)	\bar{x} (s)	\bar{x} (s)	\bar{x} (s)
N	(%, T)	2,10 (0,2)	*** 2,23 (0,2)	2,01 (0,2)	*** 2,23 (0,4)
P	(%, T)	0,36 (0,1)	*** 0,41 (0,2)	0,35 (0,1)	*** 0,38 (0,1)
K	(%, T)	2,35 (0,4)	*** 2,96 (0,6)	1,94 (0,4)	*** 2,70 (0,5)
Mg	(%, T)	0,20 (0,1)	° 0,19 (0,1)	0,22 (0,1)	*** 0,20 (0,1)

Signifikanz nach Wilcoxon-Test zum Vergleich der Mediane (Tab. A 97): *: $p \leq 0,05$; ***: $p \leq 0,001$

Während die Qualität der den Tieren in Teilbetrieb M auf der Weide zugeführten Silage weitgehend der Futterqualität der im Stall angebotenen Silage entsprach, war die Futterqualität der auf der Weide in Teilbetrieb O zugefütterten Silage niedriger (Tab. A 49, S. 227). Dies beruhte auf der geringen Anzahl an Silageballen, die in Teilbetrieb O zugefüttert wurden, so dass sich eher Abweichungen von den Mittelwerten der im Stall angebotenen Silage ergaben.

Die Nährstoffgehalte der auf den einzelnen Koppeln geernteten und zugefütterten Silage ist den Koppelbilanzen zu entnehmen (Tab. A 75 - A 94, S. 243ff.).

Bei Kraft- und Mineralfutter wurden die Angaben des Herstellers verwendet (Tab. A 47 und A 48, S. 226f.).

5.6 Lebendmasseentwicklung der Kälber

Weideperiode 1999

In Teilbetrieb M waren in der Weideperiode 1999 im Gegensatz zu Teilbetrieb O mehr Kälber als Kühe vorhanden (M: 20 Kühe, 22 Kälber; O: 20 Kühe, 20 Kälber). Somit stand einem Kalb im Mittel Milch von weniger als einer Kuh zur Verfügung. Aus diesem Grund konnte eine statistische Analyse auf signifikante Unterschiede in der Lebendmasse und der täglichen Zunahme der Kälber zwischen den Teilbetrieben nicht durchgeführt werden. Daher wird die Lebendmasseentwicklung und die tägliche Zunahme mit dem arithmetischen Mittel angegeben (Tab. 5-6).

Bis zum 5. Wiegetermin zeigten die Kälber beider Teilbetriebe tendenziell eine Verringerung der Tageszunahmen. Die Kälber von Teilbetrieb O erreichten während der gesamten Weideperiode eine mittlere Tageszunahme von 1.011 g je Kalb. In Teilbetrieb M war die mittlere Tageszunahme mit 963 g je Kalb geringer, vermutlich aufgrund der höheren Kälberanzahl.

Tab. 5-6: Lebendmasseentwicklung und tägliche Zunahme der Kälber im Weideabschnitt 1999 (Mittelwerte aus manueller Wiegung)

Wiege- termin	Lebendmasse		Tageszunahme				
	O ^a	M ^a	O	M			
Lebenstag	(kg Kalb ⁻¹)		(g Kalb ⁻¹ d ⁻¹)				
1	127	131	164	137			
2	159	159	201	164	1-2	1.141	1.029
3	194	193	236	200	2-3	1.011	1.039
4	224	231	266	239	3-4	1.000	1.020
5	258	257	296	259	4-5	884	794
6	280	280	316	283	5-6	898	1.036
7	298	298	337	296	6-7	1.175	745
					1-7	1.011	963

Wiegetermin 1: Weideauftrieb; Wiegetermin 7: Weideabtrieb; ^a: nach Kalendertagen

Erstes und Zweites Versuchsjahr

Die Lebendmasse je Kalb in Teilbetrieb M war zu fast jedem Zeitpunkt höher als in Teilbetrieb O, am 300. Lebenstag in jedem Jahr auch signifikant (Tab. 5-7). Im Lebenstagsabschnitt 0-300 erzielten die Kälber von Teilbetrieb M signifikant höhere tägliche Zunahmen.

Tab. 5-7: Lebendmasseentwicklung und Tageszunahmen der Kälber in den Jahren 1999/2000 und 2000/2001

	Lebens- tag	Lebendmasse (LSM)		Lebenstag- abschnitt	Tageszunahme (LSM)			
		O (kg Kalb ⁻¹)	M		O	M		
Manuelle Wiegung								
1999 / 2000	0	39,8	39,3 °					
	150	193	203 °	0-150	1.022	1.093 °		
	200	246	261 °	150-200	1.080	1.167 **		
	250	300	319 °	200-250	1.099	1.193 **		
	300	355	379 *	250-300	1.118	1.219 *		
				150-300	1.084	1.177 **		
				0-300	1.050	1.131 *		
Elektronische Wiegung								
2000 / 2001	0	45	45 °					
	50	101	103 °	0-50	1.130	1.180 °		
	100	155	160 °	50-100	1.099	1.159 °		
	150	210	215 °	100-150	1.077	1.111 °		
				0-150	1.103	1.135 °		
		200	261	271 °	150-200	1.039	1.093 °	
		250	310	323 °	200-250	990	1.067 °	
		300	356	375 *	250-300	879	1.119 **	
			150-300	975	1.030 °			
			0-300	1.031	1.100 *			

LSM: Least Square Mean; Signifikanz: °: $p > 0,05$; *: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$

□ :Stall ■ :Weide ■ :Stall und Weide

Die Lebenstagsabschnitte 0-150 und 150-300 entsprechen in etwa der Stall- und der Weideperiode. Bei den Kälbern von Teilbetrieb O lagen im Jahr 2000/2001 die Tageszunahmen ab dem 200. Lebenstag unter $1000 \text{ g Kalb}^{-1} \text{ d}^{-1}$. Dies führt auch im Lebenstagsabschnitt 150-300 zu deutlich geringeren Tageszunahmen von nur $975 \text{ g Kalb}^{-1} \text{ d}^{-1}$. Die Tageszunahmen der Kälber beider Herden verhielten sich im Verlauf der Zunahmen weitgehend synchron. Während im Jahr 1999/2000 eine Steigerung

der täglichen Zunahmen in der Weideperiode zu beobachten war, verringerten sich die Tageszunahmen im darauf folgenden Jahr 2000/2001.

Die Lebendmasse der männlichen (m) Kälber war zum 300. Lebenstag signifikant höher als die der weiblichen (w) Kälber (Tab. A 63, S. 236), entsprechend waren auch ihre täglichen Zunahmen im Lebenstagsabschnitt 0-300 signifikant höher (in g Kalb⁻¹ d⁻¹; Jahr 1999/2000: 1139 (m), 1042 (w); Jahr 2000/2001: 1121 (m), 1011 (w); beide Jahre: 1117 (m), 1024 (w)).

Ein statistisch gesicherter Einfluss der Herkunft der Mutter (Kreuzung, Limousin) auf die Lebendmasseentwicklung der Kälber lässt sich nicht nachweisen (Tab. A 56 bis 59, S. 232f.). Die Herkunft des Vaters ist im Jahr 1999/2000 wegen Unkenntnis über die Väter einiger Kälber nicht im statistischen Modell (Tab. A 56, S. 232) enthalten. Eine einfaktorielle Varianzanalyse unter Ausschluss der unbekanntem Väter dieser Kälber ergibt allerdings in diesem Jahr keinen signifikanten Einfluss des Vaters auf die Lebendmasse und die Tageszunahme der Kälber. Für das Jahr 2000/2001 ergibt sich zwar ein signifikanter Einfluss der Herkunft des Vaters auf die Tageszunahme im Lebenstagsabschnitt 150-300, doch ist dieser aufgrund der geringen Anzahl der Nachkommen von Vater Nr. 3 als unsicher anzusehen (Tab. A 59 u. A 62, S. 233ff.).

Im Lebenstagsabschnitt 150-300 (Weideperiode) des Jahres 1999/2000 trat eine Interaktion im Merkmal Tageszunahme der Kälber zwischen den Faktoren Geschlecht des Kalbes und Herkunft der Mutter auf (Abb. A 4, S. 259). Sie besagt, dass aus Kreuzungskühen gegenüber reinrassigen Limousinkühen bei Anpaarung mit Limousinbulln männliche (weibliche) Kälber mit höheren (niedrigeren) Tageszunahmen im Lebenstagsabschnitt 150-300, d.h. während der Weideperiode, hervorgehen.

5.7 Lebendmasseentwicklung der Kühe

Die Entwicklung der mittleren Lebendmasse der Kühe innerhalb der Teilbetriebe kann aufgrund der jedes Jahr erfolgten neuen Zusammenstellung der Versuchsherden nicht für die gesamte Versuchszeit, sondern nur für jedes Jahr getrennt betrachtet werden. Die Tab. A 64 (S. 237) und Tab. A 65 enthalten die Daten der manuellen Wiegeungen aus der Weideperiode 1999 und dem Jahr 1999/2000. Die mit

den elektronischen Wiegen und manuellen Vergleichswiegen dokumentierte Entwicklung der Lebendmasse im Jahr 2000/2001 ist in Abb. A 5 bis Abb. A 8 (S. 261ff.) und in Tab. A 66 (S. 238) dargestellt.

In den drei Weideperioden erhöhte sich die mittlere Lebendmasse der Kühe beider Teilbetriebe (in kg Kuh⁻¹; Jahr 1999: +44 (O), +60 (M); Jahr 2000: +74 (O), +38 (M); Jahr 2001: +71 (O), +67 (M)), während in den zwei Stallperioden die mittlere Lebendmasse — wesentlich bedingt durch die Kalbung — mit Ausnahme von Teilbetrieb M (1999/2000) abnahm (in kg Kuh⁻¹; Jahr 1999/2000: -26 (O), +19 (M); Jahr 2000/2001: -47 (O), -43 (M)).

5.8 Viehbesatz der Teilbetriebe

Der Viehbesatz im Stall und die Besatzstärke waren in beiden Teilbetrieben ähnlich (Tab. 5-8). Bei gleicher Tierzahl lagen in Teilbetrieb M aufgrund eines geringeren Flächenumfangs etwas höhere Werte vor. Der Viehbesatz auf der beweideten Fläche war gegenüber der Vorperiode 1999 in beiden Versuchsjahren in Teilbetrieb M aufgrund einer kleineren Weidefläche deutlich höher.

Tab. 5-8: Viehbesatz der Teilbetriebe

	Teilbetrieb	
	O	M
	(GV ha ⁻¹)	
1999		
Weide ^a	1,8	1,9
1999/2000		
Stall ^b	1,6	1,7
Weide ^a	2,1	3,3
Besatzstärke	1,8	1,9
2000/2001		
Stall ^b	1,7	1,8
Weide ^a	2,3	3,4
Besatzstärke	1,9	2,0

GV = 500 kg Lebendmasse; ^a: auf die beweidete Fläche bezogen; ^b auf die Teilbetriebsfläche bezogen

5.9 Gesundheit und Fruchtbarkeit

In der Fruchtbarkeit existierten keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Mutterkühen der Teilbetriebe. Die Konzeptionsraten der Kühe betragen in der Weideperiode 1999 und im Jahr 2000/2001 in beiden Herden jeweils 95 % sowie in 1999/2000 85 % (O) bzw. 80 % (M).

Krankheitsbedingte Abgänge waren in beiden Teilbetrieben zu verzeichnen. Es ist allerdings zu beachten, dass ein Teilbetriebseffekt nicht abgelesen werden kann, da die Herden bei Weideabtrieb zu Beginn des neuen Bilanzierungszeitraumes neu eingeteilt wurden. Ein Teilbetrieb enthielt also Kühe aus beiden Teilbetrieben des Vorjahres. Während des Versuchszeitraumes sind wegen Paratuberkulose 2 Kühe (O) bzw. 1 Kuh (M) und wegen einer Magen-Darmentzündung 1 Kuh (M) ausgeschieden. In Teilbetrieb O wurde ein Kalb aufgrund eines Mastdarmvorfalls notgeschlachtet, eines verendete mit unklarer Todesursache. Es war nicht als krank aufgefallen und hatte in den letzten 22 Lebenstagen noch tägliche Zunahmen von etwa 1170 g.

5.10 Futter-, Rohprotein-, Energie- und Nährstoffaufnahme, Nährstoffretention und Nährstoffausscheidung

Futter-, Rohprotein- und Energieaufnahme

Die Futteraufnahme wurde im Stall durch Differenzbildung zwischen Futtermittelvorrat und Futterrest ermittelt. (Weidefutteraufnahme s. Kap. 4.4.3).

In den Stallperioden unterschieden sich die Teilbetriebsherden in der Futtertrockenmasseaufnahme der Herden nicht (Tab. 5-9, S. 72). Die Ration bestand überwiegend aus Silage. Kraftfutter und Mineralfutter waren in den Stallperioden für die Futter-, Rohprotein- und Energieaufnahme unbedeutend. Aufgrund eines höheren N-Gehaltes in der Silage des Teilbetriebes M war die Rohproteinaufnahme gegenüber Teilbetrieb O um 93 bis 99 g $\text{GV}^{-1} \text{d}^{-1}$ höher. Ursache für die in Teilbetrieb M im Jahr 1999/2000 um 3,5 MJ NEL $\text{GV}^{-1} \text{d}^{-1}$ höhere Energieaufnahme war die um 0,4 MJ NEL kg T^{-1} höhere Energiedichte der Silage (vgl. Tab. 5-4, S. 64).

In den Weideperioden bestand die Futteraufnahme fast ausschließlich aus Weidefutter (Tab. 5-9, S. 72). Die zugefütterten Silage- und Kraftfuttermengen trugen nur in Teilbetrieb M im Jahr 2000/2001 einen nennenswerten Beitrag zur Futter- (17 %), Rohprotein- (12 %) und Energieaufnahme (16 %) bei.

Die geringsten Unterschiede zwischen den Teilbetrieben traten in der Weideperiode 1999 auf. Hier war die Weidefläche in Teilbetrieb M noch nicht verkleinert (Kap. 4.2). Bedingt durch die höhere Futterqualität (Tab. 5-3, S. 64) war die Rohprotein- und Energieaufnahme in Teilbetrieb M dennoch geringfügig höher. In den Weideperioden 2000 und 2001 lag die Futteraufnahme deutlich über der aus der Weideperiode 1999. Im niederschlagsreichen Jahr 1999/2000 war in Teilbetrieb M bei wesentlich höheren Weißkleeertragsanteilen die Futter-, Rohprotein- und Energieaufnahme mit dem Weidefutter höher als in Teilbetrieb O, im Jahr 2000/2001 dagegen niedriger. Die zusätzliche Aufnahme an Silage und Kraftfutter führte in Teilbetrieb M (2000/2001) nicht zu einem Ausgleich der durch die geringere Weidefutteraufnahme bedingten Unterschiede in der Futter-, Rohprotein- und Energieaufnahme.

Tab. 5-9: Futter-, Rohprotein- und Energieaufnahme

Aufnahme von		1999		1999/2000		2000/2001		
		O	M	O	M	O	M	
Stallperiode	Futter (kg T GV ⁻¹ d ⁻¹)	Silage			7,4	7,4	7,3	7,3
		Krafftfutter			0,1	0,1	0,0	0,0
		Gesamt			7,5	7,6	7,3	7,3
	Rohprotein (g XP GV ⁻¹ d ⁻¹)	Silage			951	1.037	911	1.010
		Krafftfutter			12	19	0	0
		Gesamt			963	1.056	911	1.010
	Energie (MJ NEL GV ⁻¹ d ⁻¹)	Silage			45,3	48,7	44,4	43,8
		Krafftfutter			0,7	0,8	0,0	0,0
		Gesamt			46,0	49,5	44,4	43,8
Weideperiode	Futter (kg T GV ⁻¹ d ⁻¹)	Weidefutter	8,8	8,3	10,7	11,8	10,6	7,9
		Silage	0,0	0,1	0,1	0,3	0,3	1,4
		Krafftfutter	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
		Gesamt	8,9	8,4	10,8	12,1	10,9	9,4
	Rohprotein (g XP GV ⁻¹ d ⁻¹)	Weidefutter	1.338	1.375	2.177	2.850	1.800	1.542
		Silage	0	10	11	35	30	171
		Krafftfutter	0	0	0	7	0	32
		Gesamt	1.338	1.385	2.188	2.891	1.830	1.746
	Energie (MJ NEL GV ⁻¹ d ⁻¹)	Weidefutter	52,9	53,8	68,6	77,5	60,2	47,9
		Silage	0,0	0,5	0,6	1,6	1,5	8,1
		Krafftfutter	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	1,3
		Gesamt	52,9	54,3	69,1	79,4	61,8	57,2

Nährstoffaufnahme, Nährstoffretention und Nährstoffausscheidung

In den Stallperioden traten in Teilbetrieb M aufgrund der höheren Nährstoffgehalte der Silage — Mg ausgenommen — höhere Nährstoffaufnahmen auf (Abb. 5-4). Mit einer um 28 bis 36 % höheren K-Aufnahme der M-Herde — bei ähnlichen Mg-Aufnahmen — hob sich Kalium von den übrigen Nährstoffen deutlich ab. Es wird auch deutlich, dass neben Stickstoff beachtliche Mengen an Kalium aufgenommen und ausgeschieden wurden. Die P- und Mg-Aufnahme mit dem Mineralfutter war bspw. im Stall bei Anteilen an der gesamten P- und Mg-Aufnahme von 2,4 bis 3,4 % P und 2,9 bis 4,3 % Mg in beiden Teilbetrieben gering.

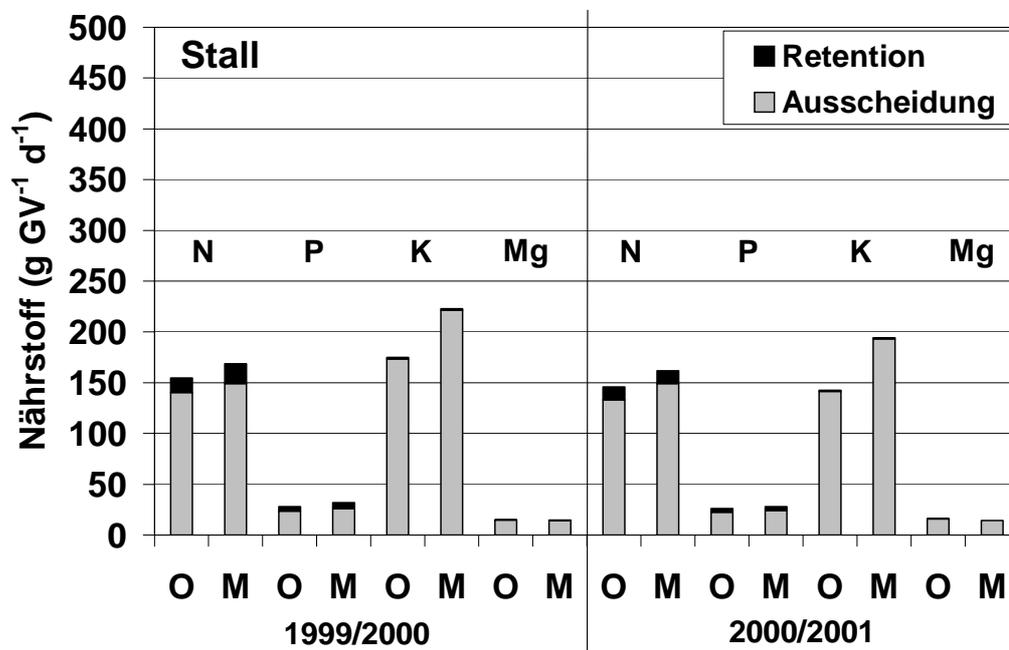


Abb. 5-4: Nährstoffretention, Nährstoffausscheidung und Nährstoffaufnahme (Retention plus Ausscheidung) in den Stallperioden

Die Nährstoffretention im Tierkörper ist abhängig von der Lebendmassezunahme der Herden, die in Teilbetrieb M im ersten Versuchsjahr aufgrund einer höheren Energieaufnahme größer war. Mit dem Futter aufgenommenes Kalium und Magnesium wurde zu etwa 99 und 98 % wieder über die Exkremente ausgeschieden. Die Ausscheidungsraten für Stickstoff und Phosphor waren niedriger (beide Versuchsjahre: 91 % N (O) und 85 % P (O) bzw. 90 % N (M) und 84 % P (M)) und unterschieden sich zwischen den Teilbetrieben kaum.

In den Weideperioden lag die N-Aufnahme im Jahr 2000 in Teilbetrieb M deutlich über der N-Aufnahme in Teilbetrieb O (Abb. 5-5). Zwischen den Jahren 1999 bis 2001 variierte die N-Aufnahme stark entsprechend dem Rohproteingehalt (Tab. 5-3, S. 64) und der Futterraufnahme von 214 bis 350 g N GV⁻¹ d⁻¹ (O) bzw. von 222 bis 463 g N GV⁻¹ d⁻¹ (M). Damit war die N-Aufnahme und ebenso die N-Ausscheidung auf der Weide einer wesentlich größeren Variation unterworfen als im Stall.

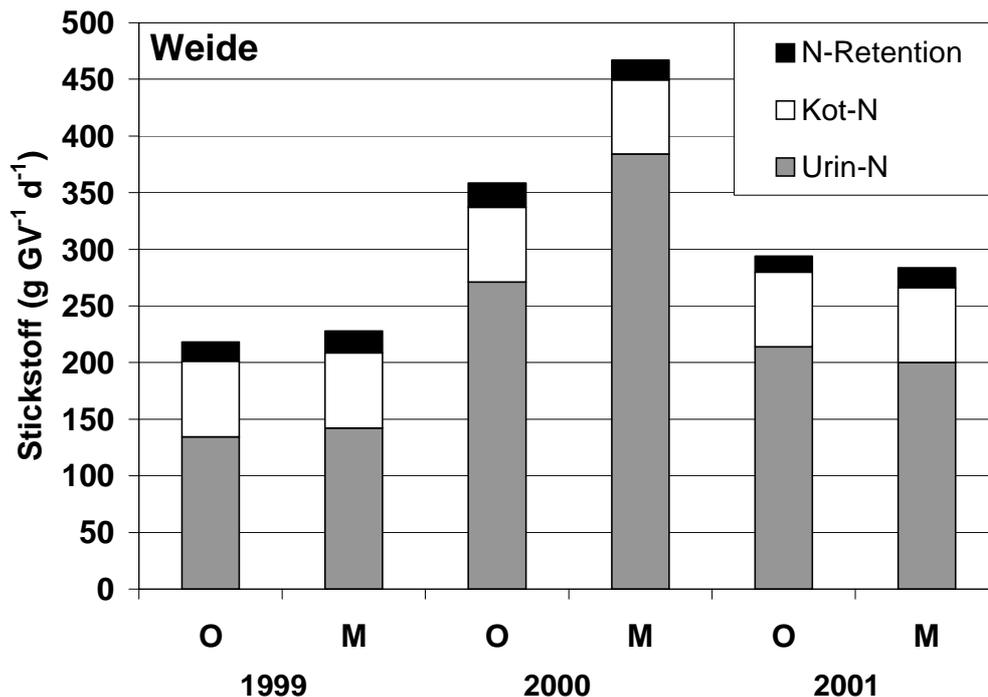


Abb. 5-5: N-Retention, N-Ausscheidung über Kot und Urin und N-Aufnahme (Retention plus Ausscheidung) in den Weideperioden aus Weidefutter, Silage, Kraft- und Mineralfutter

In den drei Weideperioden variierte die N-Aufnahme in Abhängigkeit vom Futterangebot und vom Rohproteingehalt des aufgenommenen Futters deutlich stärker als während der Stallfütterung mit qualitativ annähernd einheitlicher Futterqualität. Mit Erhöhung der N-Aufnahme stieg der Anteil des mit dem Urin ausgeschiedenen Stickstoffs rechnerisch stark an (Formel [10] (S. 50) und [11]). Im Mittel wurde schließlich zwischen 91 und 96 % des aufgenommenen Stickstoffs ausgeschieden.

Die Phosphor-, K- und Mg-Aufnahme der Tiere mit dem Weidefutter wurde mit Hilfe von Faustzahlen zu den entsprechenden Nährstoffgehalten ermittelt (vgl. Kap. 4.7). Gehaltsbedingte Unterschiede in der Aufnahme und Ausscheidung dieser Elemente

konnten daher im Gegensatz zu Stickstoff nicht hervortreten. Die Unterschiede zwischen den Teilbetrieben spiegelten daher die Differenzen in der Futteraufnahme wider (vgl. Tab. 5-9, S. 72). Die Kalium-Aufnahme überstieg die P- und Mg-Aufnahme deutlich. Die Ausscheidungsraten betragen bei Phosphor 83 bis 90 %, bei K 99 bis < 100 % und bei Mg 98 bis 99 %.

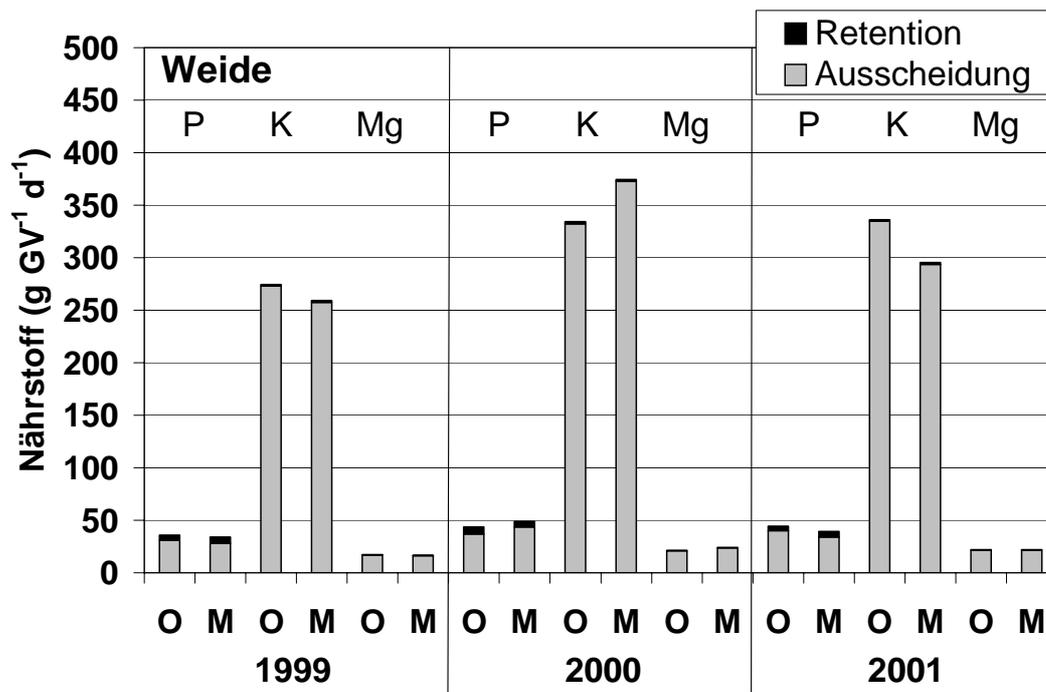


Abb. 5-6: Aufnahme, Retention und Ausscheidung der Elemente P, K und Mg in den Weideperioden aus Weidefutter, Silage, Kraft- und Mineralfutter

5.11 Nutzungseffizienzen des Futters

Die **Nutzungseffizienz der Futtertrockenmasse** (Neff_T) ist definiert als das Verhältnis aus Aufnahme der Futtertrockenmasse in (kg) zu dem daraus erwachsenen Lebendmassezuwachs (LMZ) in (kg) (Tab. 5-10, S. 76). Häufig wird dessen reziproker Wert angegeben.

Während die M-Herde in der Stallperiode 1999/2000 zur Bildung von 1 kg Lebendmassezuwachs (LMZ) durchschnittlich nur 9,8 kg T aufnahm, nahm die O-Herde bei geringerer Futterqualität (Tab. 5-4, S. 64) 3,3 kg T mehr auf. Im Jahr darauf lagen bei ähnlichen Futterqualitäten die Neff_T eng beieinander. Die Kälber nahmen im Mittel

beider Jahre und Teilbetriebe etwa 89 g Lebendmasse je von der Herde aufgenommenen kg Futtertrockenmasse zu.

Tab. 5-10: Nutzungseffizienz der Futtertrockenmasse (Neff_T)

		1999		1999/2000		2000/2001	
		O	M	O	M	O	M
Stallperiode	Neff _T der Herde (Kühe und Kälber)						
	(kg IT kg LMZ ⁻¹)			13,1	9,8	14,3	14,9
	(g LMZ kg IT ⁻¹)			76	110	70	67
	Neff _T der Kälber						
(kg IT _{Herde} kg LMZ _{Kälber} ⁻¹)			11,2	10,7	11,2	11,7	
(g LMZ _{Kälber} kg IT _{Herde} ⁻¹)			89	94	89	85	
Weideperiode	Neff _T der Herde (Kühe und Kälber)						
	(kg IT kg LMZ ⁻¹)	13,1	10,8	12,5	17,4	19,3	13,4
	(g LMZ kg IT ⁻¹)	76	93	80	57	52	74
	Neff _T der Kälber						
	(kg IT _{Herde} kg LMZ _{Kälber} ⁻¹)	15,6	14,1	17,8	21,5	25,8	19,2
	(g LMZ _{Kälber} kg IT _{Herde} ⁻¹)	64	71	56	47	39	52

LMZ: Lebendmassezunahme; IT: Futteraufnahme an Trockenmasse

In den Weideperioden variierten die Neff_T wesentlich stärker als in den Stallperioden. Ursächlich hierfür war die größere Variation in der Futteraufnahme (Tab. 5-9, S. 72). Je kg von der Herde aufgenommener Futtertrockenmasse nahmen die Kälber zwischen 39 und 71 g Lebendmasse zu. Dies ist weniger als in den Stallperioden, da in den nachfolgenden Weideperioden einerseits die Kälber älter und schwerer geworden waren und zur Deckung ihres höheren Erhaltungsbedarfs eine größere Energiemenge über das Weidefutter aufnahmen. Andererseits nahmen die Kühe auf der Weide an Lebendmasse zu (Kap. 5.7). Somit wurde ein Teil des von der Herde aufgenommenen Futters auch in Lebendmassezunahme der Kühe umgesetzt.

Die Unterschiede in der **Nutzungseffizienz der Futternährstoffe** (Neff_{NSFutter}) wurden wesentlich durch die Nährstoffaufnahme und weniger durch die Nährstoffretention hervorgerufen (Tab. 5-11, S. 77), denn die Nährstoffretention unterscheidet sich zwischen den Teilbetrieben kaum (Abb. 5-4 (S. 73) und Abb. 5-5). Die Stickstoff-Nutzungseffizienz für das Weidefutter war etwa um den Faktor 2,8 kleiner als die für das Stallfutter. Dies gründet auf einer entsprechend höheren Stickstoffaufnahme (Abb. 5-4 (S. 73) und Abb. 5-5).

Tab. 5-11: Nutzungseffizienz der Futternährstoffe ($N_{\text{eff}_{\text{NSFutter}}}$; Nährstoffretention der Kälber in Relation zur Nährstoffaufnahme der Herde) (%)

	1999		1999/2000		2000/2001	
	O	M	O	M	O	M
$N_{\text{eff}_{\text{NSFutter}}}$ Stall						
N			10,8	10,5	11,2	9,7
P			17,7	16,2	18,5	16,5
K			0,8	0,7	1,0	0,7
Mg			2,1	2,3	2,0	2,1
$N_{\text{eff}_{\text{NSFutter}}}$ Weide						
N	6,6	6,7	4,3	3,0	3,6	4,4
P	11,9	13,1	10,5	8,7	7,2	9,4
K	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4
Mg	1,6	1,8	1,4	1,2	1,0	1,1

5.12 Weideleistung

In den Weideleistungen ist der tierische Nutzertrag der Fläche der Teilbetriebe in Energieeinheiten ausgedrückt (Tab. 5-12, S. 78). In der Weideperiode 1999 waren die Weideleistungen der Teilbetriebe bei Weidenutzung und insgesamt (Weide- und Schnittnutzung) etwa gleich. Unterschiede in den Weideleistungen der Teilbetriebe bei Schnittnutzung gehen auf unterschiedliche Silageerträge zurück (vgl. Kap. 5.4). In den Weideperioden 2000 und 2001, in denen die Weidefläche in Teilbetrieb M gegenüber 1999 verringert wurde (Tab. A 18, S. 211), unterschieden sich die Teilbetriebe in den Weideleistungen deutlich. Sie verhielten sich im Jahr 2000 wie 100:147 (O:M) und im Jahr 2001 wie 100:130 (O:M).

Das Verhältnis zwischen Weideleistung und Energieertrag, also die Umwandlung der Pflanzenerträge in tierische Nutzleistung, war bei ähnlicher Weideleistung dann besonders hoch (niedrig), wenn der Energieertrag niedrig (hoch) war (Tab. 5-12, S. 78). Der Energieertrag allerdings ist ein Produkt aus dem Trockenmasseertrag und der Energiedichte in der Trockenmasse und wird wesentlich von den Witterungsverhältnissen beeinflusst. Diese waren zwischen den Jahren sehr unterschiedlich (Tab. 4-1, S. 27).

Der höchste Grad an Umwandlung der Pflanzenerträge in tierische Nutzleistung errechnet sich im trockensten (1999) und der niedrigste Grad im niederschlagsreichsten Jahr (2000). Eine in 1999 bei Weidenutzung ähnliche Weideleistung der Teilbetriebe trotz niedrigerer Energieerträge in Teilbetrieb M mit einer daraus resultierenden höheren Umwandlung der Pflanzenerträge in tierische Nutzleistung (O: 77 %; M: 89 %) scheint wesentlich verursacht zu sein durch eine höhere Energiedichte (+ 0,5 MJ NEL kg T⁻¹) im aufgenommenen Weidefutter.

In den Weideperioden 2000 und 2001 wurden die Pflanzenerträge zu 62 (O) bzw. 57 % (M) und zu 70 (O) bzw. 78 % (M) in tierische Nutzleistung umgewandelt. Betrachtet man alle drei Weideperioden zusammen, so sind die Umwandlungsraten der Pflanzenerträge beider Teilbetriebe mit 69 % (O) und 71 % (M) etwa gleich. Die Relation der Weideleistung zu Ertrag bei Schnittnutzung in Höhe von 70 % ist bedingt durch die Verwendung des normierten Weiderestes (vgl. Kap. 4.5).

Tab. 5-12: Vergleich der Teilbetriebe in der Weideleistung, dem Energieertrag und der Relation von Weideleistung zu Energieertrag

Weideperiode	Nutzung der Flächen	Weideleistung ^a Teilbetrieb		Ertrag Teilbetrieb		Weideleistung / Ertrag Teilbetrieb	
		O	M	O	M	O	M
		(MJ NEL ha ⁻¹)		(MJ NEL ha ⁻¹)		(%)	
1999	Schnitt	14.011	12.791	20.016	18.272	70	70
	Weide	16.330 ^b	15.967 ^b	21.221	18.016	77	89
	Gesamt	26.638	26.779	36.069	33.461	74	80
2000	Schnitt	16.213	18.632	23.161	26.617	70	70
	Weide	18.728 ^b	27.511 ^b	29.976	48.110	62	57
	Gesamt	28.622	31.408	43.921	50.571	65	62
2001	Schnitt ^c						
	Weide	18.919 ^b	24.550 ^b	26.904	31.418	70	78
	Gesamt						

^a: berechnet nach Formel [8](S.49,Gesamt), Formel [9](S.49, Weide) und Ertrag*0,7 (Schnitt);

^b: Beifutter abgezogen; ^c:keine Energiedichtebestimmung vorgenommen

5.13 Einstreumengen und Stallmistanfall

Die Einstreumengen unterscheiden sich zwischen den Teilbetrieben kaum (Tab. 5-13). Die Nährstoffgehalte und deren Streuungen waren im ersten Versuchsjahr in beiden Teilbetrieben gleich, da bei der Beprobung des Strohs nicht getrennt nach Teilbetrieben vorgegangen wurde. Die Ergebnisse aus der getrennten Probennahme im zweiten Versuchsjahr zeigen jedoch nur minimale, vernachlässigbare Unterschiede zwischen den Teilbetrieben und lassen vermuten, dass auch im ersten Versuchsjahr kaum Unterschiede vorhanden gewesen sein dürften. Zwischen den Jahren unterscheiden sich die Nährstoffgehalte bei Stickstoff und K jedoch deutlich. Die N- und K-Gehalte sind auch zwischen den Stroharten, insbesondere des zweiten Versuchsjahres sehr verschieden (Tab. A 68, S. 238).

Tab. 5-13: Mittlere Nährstoffgehalte der Einstreu und Einstreumengen

		1999/2000		2000/2001	
		O	M	O	M
		\bar{x} (s)	\bar{x} (s)	\bar{x} (s)	\bar{x} (s)
N	(%, T)	0,47 (0,18)	0,47 (0,18)	0,66 (0,18)	0,67 (0,18)
P	(%, T)	0,09 (0,03)	0,09 (0,03)	0,09 (0,02)	0,09 (0,02)
K	(%, T)	1,51 (0,24)	1,51 (0,24)	0,98 (0,31)	0,99 (0,31)
Mg	(%, T)	0,07 (0,04)	0,07 (0,04)	0,05 (0,01)	0,05 (0,01)
T	(kg)	29.901	31.381	32.481	33.257
	(kg GV ⁻¹ d ⁻¹)	5,7	5,5	5,0	5,1

In den Gesamtmengen des erzeugten Tiefstremistes unterscheiden sich die Teilbetriebe in beiden Jahren nur um etwa 3 % (Abb. 5-7, S. 80). Die Mistmengen im Jahr 2000/2001 sind aufgrund einer um 19 Tage längeren Stallperiode größer als im Jahr zuvor. Die größten Mistmengen wurden in der Liegefläche produziert, da sich die Tiere dort die meiste Zeit aufhielten. Insgesamt wurden je GV und Tag im Winter 1999/2000 27 kg FM (O) bzw. 26 kg FM (M) und im Winter 2000/2001 31 kg FM (O) bzw. 30 kg FM (M) erzeugt. Die entsprechenden Nährstoffmengen sind Tab. A 70 (S. 239) zu entnehmen.

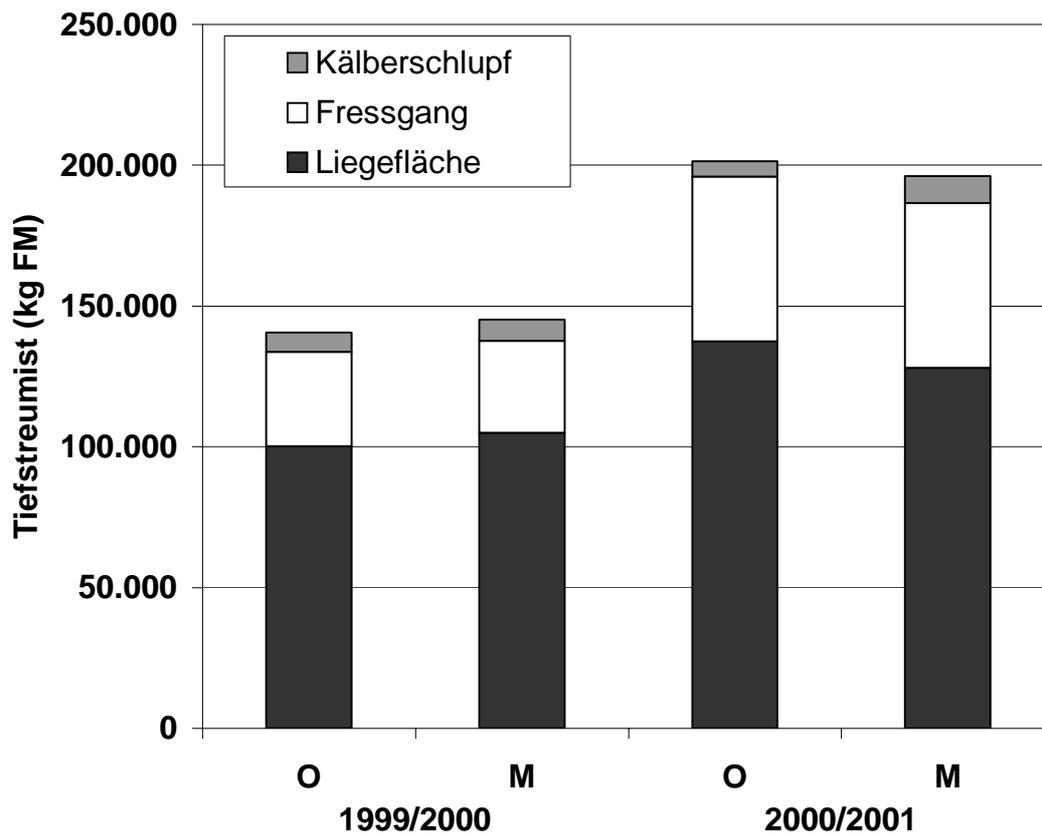


Abb. 5-7: Frischmassen des Tiefstreumistes, getrennt nach Liegefläche, Fressgang und Kälberschlupf

Sowohl in den Mittelwerten als auch in den Streuungen der Nährstoffgehalte des Tiefstreumistes unterscheiden sich die Teilbetriebe kaum (Tab. 5-14). Die höheren K-Gehalte in der Silage von Teilbetrieb M führten gegenüber Teilbetrieb O zu etwas höheren K-Gehalten im Tiefstreumist. Auch die höheren Mg-Gehalte in der Silage von Teilbetrieb O erscheinen ursächlich für den höheren Mg-Gehalt im Mist des Jahres 2000/2001.

Tab. 5-14: Nährstoffgehalte des Tiefstreumistes (Mittelwerte und Standardabweichungen, gewichtet)

	1999/2000		2000/2001	
	O	M	O	M
	\bar{x} (s)	\bar{x} (s)	\bar{x} (s)	\bar{x} (s)
N (% FM)	0,55 (0,06)	0,55 (0,07)	0,57 (0,07)	0,57 (0,06)
P (% FM)	0,11 (0,02)	0,11 (0,01)	0,10 (0,02)	0,09 (0,01)
K (% FM)	0,91 (0,16)	0,95 (0,19)	0,72 (0,14)	0,75 (0,18)
Mg (% FM)	0,07 (0,01)	0,07 (0,01)	0,08 (0,02)	0,07 (0,01)

5.14 Stickstoffverluste

In diesem Kapitel werden zunächst die N-Verluste aus den Weidetierexkrementen, aus der Stallmistkette — Stall, Lagerung und Ausbringung — und aus der symbiotischen N_2 -Fixierung dargestellt. Danach folgen Zusammenstellungen über die gesamten N-Verluste nach Nutzungsform, Entstehungsort und Bindungsform.

N-Verlust aus Weidetierexkrementen

Die N-Verluste wurden ermittelt aus der N-Ausscheidung getrennt nach Urin und Kot (SCHELLBERG, 2004) unter Verwendung der Gleichungen [12] bis [17] von ANGER (2001) (s. Kap. 4.6). Die N-Ausscheidung ergab sich aus der N-Aufnahme (analysierte N-Gehalte im Weidefutter, Futteraufnahme geschätzt mit der Weidekäfigmethode) abzüglich der N-Retention im Lebendmassezuwachs der Tiere.

Zum Verständnis der Unterschiede in der Höhe der N-Verluste aus den Weidetierexkrementen werden zunächst die funktionalen Zusammenhänge geschildert, die den Stickstoff auf seinem Weg über das Futterangebot, die Futteraufnahme, die Stickstoffaufnahme bis hin zum N-Verlust auf der Weide beeinflussen:

- Die flächenbezogene Futteraufnahme stieg mit dem Futterangebot in einer engen linearen Beziehung an (Abb. 5-8 A, S. 82). Etwa 88 % des angebotenen Futters wurde von den Rindern aufgenommen und etwa 12 % als Weiderest nicht genutzt. Die Streuung, die sich in den unterschiedlichen Weideresten zeigt, war wesentlich durch das Management bedingt. Über dieses wurde in Abhängigkeit vieler Faktoren, bspw. in Erwartung eines bestimmten Witterungs- und damit Zuwachsverlaufs oder bei begrenzter Arbeitszeit, die Fresszeit und damit die Schärfe der Beweidung, also die Weidereste, festgelegt. Natürlich spielte auch die Qualität des angebotenen Futters eine Rolle.
- Die N-Aufnahme stieg mit der Futteraufnahme je ha bei einem mittleren N-Gehalt in der Trockenmasse von 2,9 % (18,1 % XP) linear an (Abb. 5-8 B, S. 82). Die Streuung entstand durch die Variation im N-Gehalt (1,4 bis 4,6 %).

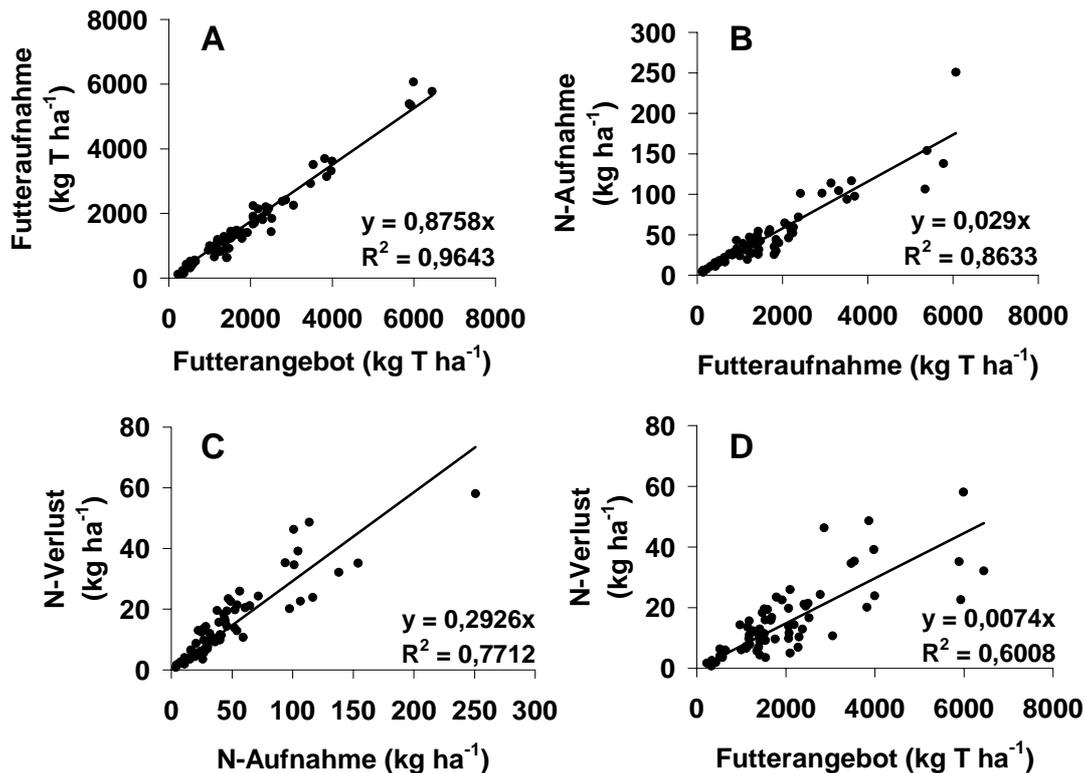


Abb. 5-8: Funktionale Zusammenhänge im Stickstoffweg Futterangebot - Futteraufnahme - Stickstoffaufnahme - Stickstoffverlust auf der Weide.

Das Beifutter (Silage und Kraftfutter) wurde ebenfalls berücksichtigt, da ohne dieses eine Berechnung der N-Verluste teils nicht möglich gewesen wäre. In diesem Fall hätte die N-Aufnahme außerhalb des Geltungsbereichs der zur getrennten Berechnung der N-Ausscheidung über Urin und Kot verwendeten Gleichungen [10 und 11] gelegen.

- Die N-Verluste je ha als Summe aus NO_3^- , NH_3 und N_2O stiegen mit der N-Aufnahme linear an (Abb. 5-8 C). Dabei gingen etwa 29 % des aufgenommenen Futter-N verloren. Der Zeitpunkt der N-Aufnahme ist von Bedeutung für die Streuung der N-Verluste, da eine in der Weideperiode spätere N-Aufnahme und damit N-Ausscheidung höhere N-Verluste verursacht (s. Kap. 4-6). Die Ursache für die Zunahme der Streuung bei zunehmender N-Aufnahme je ha besteht in der Variation des N-Gehaltes in Verbindung mit dem starken Anstieg der Urin-N-Ausscheidung bei steigender N-Aufnahme je GV und Tag. Die Beziehung zwischen N-Verlust und N-Aufnahme verläuft dem funktionalen Zusammenhang nach eigentlich steigend exponentiell. Jedoch werden die N-Verluste bei Verwendung einer Exponentialfunktion ($y = -3495,12 + 3495,12e^{0,0001x}$; $R^2 = 0,76$) stark überschätzt, wie ein Plot aus N-Verlust-Daten und exponentiell geschätzten N-

Verlusten ergibt. Eine lineare Funktion beschreibt die Beziehung besser. Dies gilt auch für Grafik 5-8 D (S. 82).

- Die N-Verluste je ha als Summe aus Nitrat, Ammoniak und Lachgas stiegen linear mit dem Futterangebot an (Abb. 5-8 D, S. 82). Etwa 0,74 % der angebotenen Futtertrockenmasse entwichen als N-Verlust in die Umwelt. Die Streuung ist in Grafik D am größten, da sich hier alle zu den Grafiken (A) bis (C) genannten Streuungsfaktoren auswirken. Zur Kurvenanpassung siehe (C).

Die N_{gesamt} -Verluste aus Weidetierexkrementen können unter Einbezug mehrerer Variablen nach bestandenem F- und t-Test geschätzt werden (Abb. A 13, Abb. A 14, S. 264):

$$y = - 32,0012 + 0,008817x_1 + 6,746833x_2 + 0,053210x_3; R^2 = 0,81 \quad [19]$$

- y: N-Verlust in kg ha^{-1} ,
 x₁: Futteraufnahme in kg T ha^{-1} ,
 x₂: N-Gehalt im Weideaufwuchs %,
 x₃: Kalendertag der Exkretion, bspw. der mittlere Kalendertag eines Umtriebes.

$$y = - 31,2014 + 0,008417x_1 + 6,640909x_2 - 0,005439x_3 + 0,048775x_4; R^2 = 0,81 \quad [20]$$

- y: N-Verlust in kg ha^{-1} ,
 x₁: Futterangebot in kg T ha^{-1} ,
 x₂: N-Gehalt im Weideaufwuchs %,
 x₃: Weiderest in kg T ha^{-1} ,
 x₄: Kalendertag der Ausscheidung von Kot und Urin, bspw. der mittlere Kalendertag eines Umtriebes.

Neben den oben genannten Faktoren Futterangebot, Futteraufnahme und N-Gehalt wird in beiden Schätzgleichungen auch der Kalendertag der Ausscheidung von Kot und Urin einbezogen, da von der gleichen Menge ausgeschiedenen Stickstoffs im Herbst höhere N-Verluste entstehen als im Frühjahr. In Gleichung [20] wurde die Futteraufnahme durch das Futterangebot und den Weiderest ersetzt. Diese Gleichung bietet den Vorteil, dass neben dem Kalendertag nur gemessene Faktoren berücksichtigt werden und auf die aufwendige Berechnung der Futteraufnahme verzichtet werden kann.

Die Unterschiede zwischen den N_{gesamt} -Verlusten der beiden Teilbetriebe (Tab. 5-15, S. 84) lassen sich durch den in Abb. 5-8 (S. 82) dargestellten Zusammenhang zwi-

schen Futterangebot und N-Verlust, sowie den Unterschieden im absoluten Futterangebot je ha (Abb. 5-3, S. 62) und im N-Gehalt (Tab. 5-2 und 5-3, S. 63) erklären.

Die höchsten Anteile an der gesamten N-Emission aus den Weidetierexkrementen stellten die NO_3^- -Austräge mit 74 bis 79 %, gefolgt von NH_3 mit 19 bis 23 % und N_2O mit 2 bis 3 %.

Tab. 5-15: N-Verluste aus den Exkrementen bei Beweidung (geschätzt) (kg ha^{-1})

	Teilbetrieb O			Teilbetrieb M		
	1999 \bar{x} (s)	2000 \bar{x} (s)	2001 \bar{x} (s)	1999 \bar{x} (s)	2000 \bar{x} (s)	2001 \bar{x} (s)
beweidete Fläche						
NO_3^-	15,0 (7,8)	31,9 (13,3)	31,5 (11,8)	13,9 (12,2)	49,6 (31,3)	42,0 (25,4)
NH_3	4,7 (5,6)	9,9 (4,2)	7,7 (5,6)	4,1 (6,2)	14,5 (14,1)	11,2 (9,3)
N_2O	0,5 (0,5)	1,1 (0,4)	0,9 (0,5)	0,5 (0,5)	1,6 (1,3)	1,3 (1,0)
N_{gesamt}	20,2 (13,7)	42,9 (16,6)	40,1 (15,9)	18,5 (8,4)	65,7 ^a (46,1)	54,5 (35,6)
Teilbetriebsfläche						
N_{gesamt}	19,1	40,4	37,8	18,5	65,7	35,3

^a: mit Nachbeweidung der Wiesen V1 und H6 (auf den Weiden und Mähweiden betrug die Verluste 94 kg ha^{-1})

N-Verlust aus der Stallmistkette „Stall - Lagerung - Ausbringung“

Die Ermittlung der N-Verluste erfolgte mit Hilfe von Literaturwerten (Kap. 4.6) in Verbindung mit den im Mist analysierten N-Gehalten und berechneten N-Mengen. Da die N-Verluste aus dem Stall für die Gesamtschau von Bedeutung sind, wird auf sie bereits in Tab. 5-16 (S. 85) vorgegriffen, obwohl sie ein Ergebnis der in Kapitel 5.15.4 dargestellten Stallbilanz sind.

In den Jahren 1998/1999 und 1999/2000 wurde in Teilbetrieb O kein Mist ausgebracht. Für diese Zeiträume sind also keine N-Ausbringungs-Verluste anzusetzen. Die Ermittlung der N_2O -Verluste während der Lagerung des Mistsickerwassers und nach der Ausbringung von Mist und -sickerwasser konnte aufgrund mangelnder Literaturangaben nicht geschätzt werden. Es ist jedoch zu erwarten, dass die N_2O -Emissionen im Vergleich zu NH_3 in wesentlich geringeren Emissionsstärken auftreten, so dass die gesamten N-Verluste als Summe von NH_3 und N_2O nur geringfügig unterschätzt sein dürften.

Die Teilbetriebe unterschieden sich in der Höhe der N-Verluste aus der Stallmiskette deutlich und zwar im Jahr 1999/2000 (2000/2001) mit etwa 22 (23) (M) bzw. mit 12 (14) kg ha⁻¹ (O) (Tab. 5-16). Diese Unterschiede beruhen im Wesentlichen auf den in Teilbetrieb M höheren N-Emissionen im Stall und auf dem Mist-Transfer von Teilbetrieb O zu Teilbetrieb M. Auch ohne diesen Transfer waren die N-Verluste in Teilbetrieb M höher und zwar in 1999/2000 mit etwa 19 kg N ha⁻¹ um 5 kg N ha⁻¹ und in 2000/2001 mit etwa 21 kg N ha⁻¹ um 6 kg N ha⁻¹. Die höheren N-Emissionen in Teilbetrieb M wurden verursacht durch die höheren Rohproteingehalte (Tab. 5-4, S. 64) der im Stall angebotenen Silage, der um 15 g N GV⁻¹ d⁻¹ höheren N-Aufnahme und um 13 g N GV⁻¹ d⁻¹ höheren N-Ausscheidung (Abb. 5-5, S. 74) der Herde von Teilbetrieb M.

Tab. 5-16: N-Verluste aus der Stallmiskette - Stall, Lagerung und Ausbringung von Mist und Mistsickerwasser (geschätzt)

	Teilbetrieb O			Teilbetrieb M		
	NH ₃ -N	N ₂ O-N	N _{gesamt}	NH ₃ -N	N ₂ O-N	N _{gesamt}
	(kg ha ⁻¹)			(kg ha ⁻¹)		
Ausbringung 1998-1999						
Mist	0,0	k.A.	0,0	3,4	k.A.	3,4
Sickerwasser	0,0	k.A.	0,0	0,8	k.A.	0,8
Gesamt	0,0	0,0	0,0	4,2	0,0	4,2
1999/2000						
Stall	2,7	0,2	3,0	7,0	0,6	7,6
Lagerung						
Mist	8,5	0,4	9,0	9,1	0,5	9,5
Sickerwasser	0,3	k.A.	0,3	0,3	k.A.	0,3
Ausbringung						
Mist	0,0	k.A.	0,0	3,6	k.A.	3,6
Sickerwasser	0,0	k.A.	0,0	0,8	k.A.	0,8
Gesamt	11,5	0,6	12,2	20,8	1,0	21,8
2000/2001						
Stall	1,1	0,1	1,2	5,8	0,5	6,3
Lagerung						
Mist	11,0	0,6	11,6	11,5	0,6	12,0
Sickerwasser	0,3	k.A.	0,3	0,3	k.A.	0,3
Ausbringung						
Mist	0,5	k.A.	0,5	3,7	k.A.	3,7
Sickerwasser	0,2	k.A.	0,2	0,3	k.A.	0,3
Gesamt	13,2	0,6	13,8	21,7	1,0	22,7

k.A.: keine Angabe

Die Lagerung des Mists verursachte im Jahr 1999/2000 (2000/2001) mit 74 (84) % (O) bzw. 44 (53) % (M) den weitaus größten Anteil an den gesamten N-Emissionen in der Stallmistkette. In Teilbetrieb O war der Anteil wegen fehlender oder geringerer Ausbringung höher. Die Anteile für den Emissionsort Stall lagen im Jahr 1999/2000 (2000/2001) bei 24 (9) % (O) bzw. 35 (28) % (M) und für die Ausbringung des Mistes bei (4) % (O, keine Ausbringung im Jahr 1999/2000) bzw. 17 (16) % (M). Die N-Verluste bei Lagerung und Ausbringung des Mistsickerwassers waren aufgrund des niedrigen N-Gehaltes ($0,34 \text{ kg N m}^{-3}$) und der geringen N-Mengen sehr klein.

N-Verlust aus symbiotisch fixiertem Stickstoff

Wesentliche Unterschiede traten bei den NO_3^- -Verlusten aus symbiotisch fixiertem Stickstoff zwischen den Teilbetrieben im Jahr 1999/2000 mit etwa 10 kg N ha^{-1} (O) und 20 kg N ha^{-1} (M) auf (Tab. 5-17). Auffällig waren in diesem Jahr auch die Unterschiede zwischen den Koppeln in Teilbetrieb M. Die Wiesen H6 und V1 wiesen deutlich geringere NO_3^- -Verluste auf als die Weide V6 und die Mähweiden H8 und V4. Die Unterschiede in den NO_3^- -Verlusten zwischen den Teilbetrieben und den Koppeln sind allein zurückzuführen auf unterschiedliche Weißkleeerträge. Das Düngungsniveau spielte aufgrund der geringen NH_4^+ -Mengen und des kleinen Faktors in der verwendeten Formel [7] (S. 42) zur Schätzung der Gesamt-N-Zufuhr aus symbiotischer N_2 -Fixierung eine untergeordnete Rolle.

Tab. 5-17: Nitrat-N-Verluste aus symbiotisch fixiertem Stickstoff (geschätzt) (in kg N ha^{-1})

Koppel	Teilbetrieb O		Koppel	Teilbetrieb M	
	1999/2000	2000/2001		1999/2000	2000/2001
B1	11,0	5,2	V1	11,5	6,0
B2	11,3	3,7	V4	29,3	4,8
B6	9,9	7,1	H6	4,4	3,9
V9	5,1	4,7	H8	19,6	6,2
V10	7,9	5,9	V6	25,1	12,9
Mittelwert^a	9,9	5,8	Mittelwert^a	20,1	7,5

^a: gewichtet mit der Flächengröße der Koppeln

N-Verlust nach Nutzungsform

Die gesamten N-Verluste als Summe aus den Entstehungsorten Weidetierexkremate, Stall, Ausbringung und Lagerung von Mist und Mistsickerwasser sowie N-Verlust aus symbiotisch fixiertem N_2 waren in beiden Versuchsjahren in Teilbetrieb M mit 108 bzw. 66 kg N ha⁻¹ höher als in Teilbetrieb O mit 62 bzw. 57 kg N ha⁻¹ (Abb. 5-9, S. 88). Dies ist u.a. zurückzuführen auf teils höhere T-Erträge, höhere Weißkleeertragsanteile, höhere N-Gehalte im Weidefutter und in der Silage sowie auf eine höhere Menge ausgebrachten Mistes in Teilbetrieb M.

Bei der Interpretation der N-Verluste in Abb. 5-9 ist zu beachten, dass den Nutzungsformen unterschiedliche T-Erträge und N-Gehalte im Weide- und Silagefutter zu Grunde lagen. Diese sind nicht ausschließlich auf die Nutzungsform zurückzuführen, sondern auch auf die unterschiedliche Ertragsfähigkeit der einzelnen Koppeln.

Die entsprechenden Faktoren wie bspw. der Boden (u.a. N-Mineralisation), die Exposition und der Pflanzenbestand konnten nicht in die Auswertung einbezogen werden. Ferner ist zu beachten, dass die Weiden und Mähweiden nicht in beiden Versuchsjahren die selben Koppeln umfassten, da jedes Jahr eine andere Koppel — u.a. zur besseren Führung der Pflanzenbestände — als Weide genutzt wurde. Die im Stall und während der Lagerung des Mistes und Mistsickerwassers entgasten N-Mengen sind bei der Schnittnutzung berücksichtigt und zwar entsprechend dem Anteil des N-Entzugs mit der Silage von den Wiesen und Mähweiden.

Abb. 5-9 (S. 88) zeigt eine Abnahme der durch die Weidetierexkremate bedingten N-Verluste bei abnehmender Weide- und zunehmender Schnittnutzung. Da die N-Verluste aus den Weidetierexkrementen (Abb. 5-10, S. 90) den größten Anteil an den gesamten N-Verlusten haben, wirkt sich dies entsprechend auf die gesamten N-Verluste aus. Diese sinken tendenziell mit abnehmender Weide- und zunehmender Schnittnutzung.

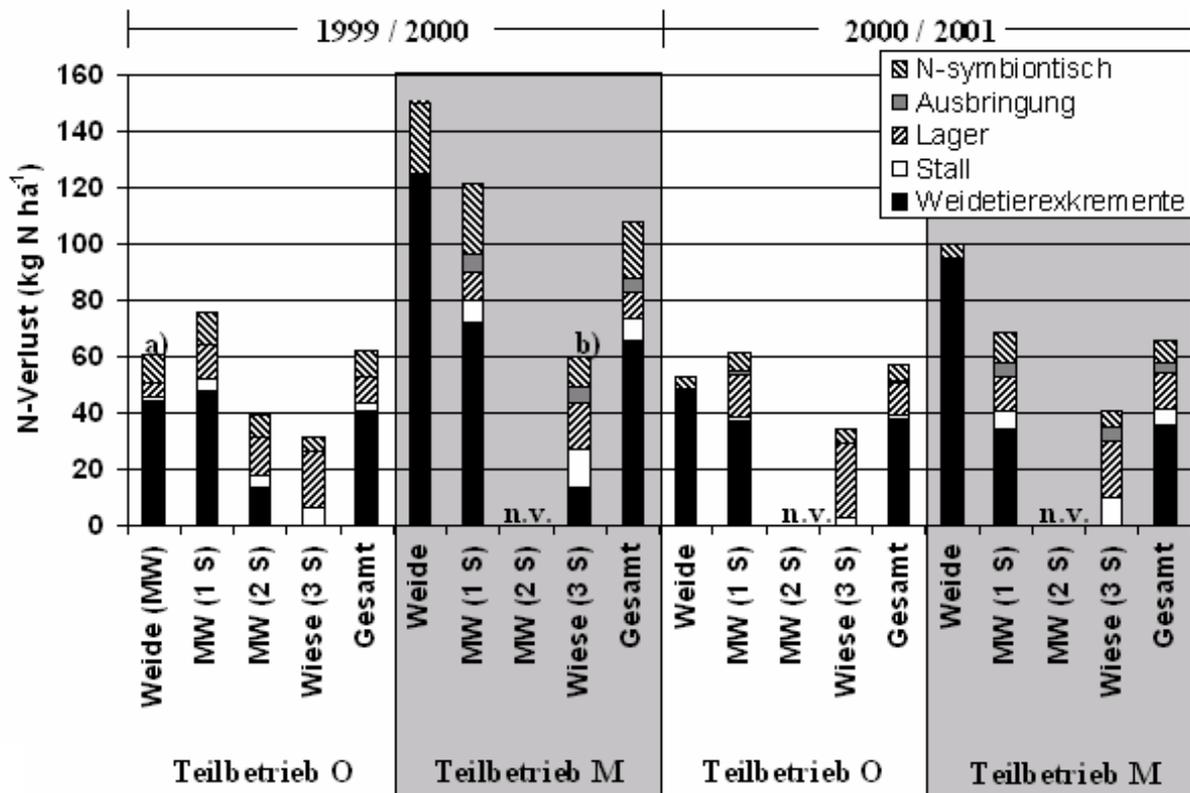


Abb. 5-9: N-Verluste der Teilbetriebe nach Nutzungsform, Jahr und Entstehungsort. Die N-Verluste aus Mist und Mistsickerwasser sind anteilig entsprechend der N-Abfuhr mit der Silageernte bei den Mähweiden und Wiesen berücksichtigt. Erläuterung: a) Die große Koppel B6 (9,33 ha) wurde teils als Weide (B6-7) und teils als Mähweide (B8-10) genutzt. b) 9 tägige Nachbeweidung nach dem Absetzen der Kälber im Herbst. n.v.: nicht vorhanden; MW: Mähweide; S: Schnittnutzung.

N-Verlust nach Entstehungsort und Bindungsform

Die Betrachtung der N-Verluste nach ihrem Entstehungsort ergibt folgende Rangordnung im Mittel beider Versuchsjahre und Teilbetriebe (Anteil am gesamten N-Verlust) (Abb. 5-10 (S. 90), Tab. A 71 (S. 240)):

1. Weidetierexkrememente (61 %)
2. Lagerung von Mist und Mistsickerwasser (15 %)
3. Symbiotische N₂-Fixierung (15 %)
4. Stall (6 %)
5. Ausbringung von Mist und Mistsickerwasser (3 %)

Der N-Austrag aus den Weidetierexkrementen und aus dem symbiotisch fixierten N₂ fand überwiegend in der Bindungsform NO₃⁻ statt, während in der Stallmistkette NH₃-N-Verluste überwogen. Auch auf der Ebene der Teilbetriebe entweichen die meisten N-Mengen als NO₃⁻ in die Umwelt. Im Mittel beider Jahre entweichen aus den Teilbetrieben etwa 61 % der N-Verluste als NO₃⁻ mit dem Sickerwasser sowie 36 % als NH₃ und 3 % als N₂O in die Atmosphäre (Abb. A 12, S. 263).

In Teilbetrieb O wurden im Jahr 1999/2000 kein und in 2000/2001 nur geringe Mengen Mist und Mistsickerwasser ausgebracht, so dass keine bzw. wenig N-Verluste nach der Ausbringung vorlagen (Abb. 5-10, S. 90). Teilbetrieb M wies im Jahr 1999/2000 bis auf die N-Verluste bei der Lagerung deutlich höhere N-Verluste auf als Teilbetrieb O. Im Jahr 2000/2001 dagegen waren die N-Verluste nur im Stall und nach der Ausbringung wesentlich höher. Dies kann einerseits mit den in der Weideperiode 2001 vergleichsweise geringen Unterschieden im T-Ertrag und in den Weißkleeertragsanteilen begründet werden. Andererseits wurde aber in der Stallperiode 2000/2001 Silage aus der Vegetationsperiode 2000 angeboten, in der wesentlich höhere Weißkleeertragsanteile in Teilbetrieb M und auch höhere N-Gehalte in der Silage vorlagen.

Die Differenzen in den NO₃⁻-Verlusten zwischen den Teilbetrieben gehen zurück auf die Unterschiede im T-Ertrag und in den Weißkleeertragsanteilen (Abb. 5-2, S. 60), denn der Weißklee erhöhte den N-Gehalt im Aufwuchs, der in der Weideperiode 2000 mit 3,2 % (O) bzw. 3,9 % (M) seinen höchsten Wert erreichte (Tab. 5-3, S. 64). Höhere Weißkleeertragsanteile trugen zu einer höheren N-Aufnahme und N-Ausscheidung mit der Folge höherer N-Verluste aus den Exkrementen der Rinder bei. Zudem stiegen die NO₃⁻-Verluste aus der symbiotischen N₂-Fixierung mit zunehmenden Weißkleeertragsanteilen.

Die höheren Ammoniak- und Lachgas-Verluste in Teilbetrieb M beruhen auf höheren Verlusten im Stall und nach der Ausbringung. Im Stall sind sie auf den höheren N-Gehalt in der Silage und nach der Ausbringung auf die höhere Menge ausgebrachten Stickstoffs zurückzuführen.

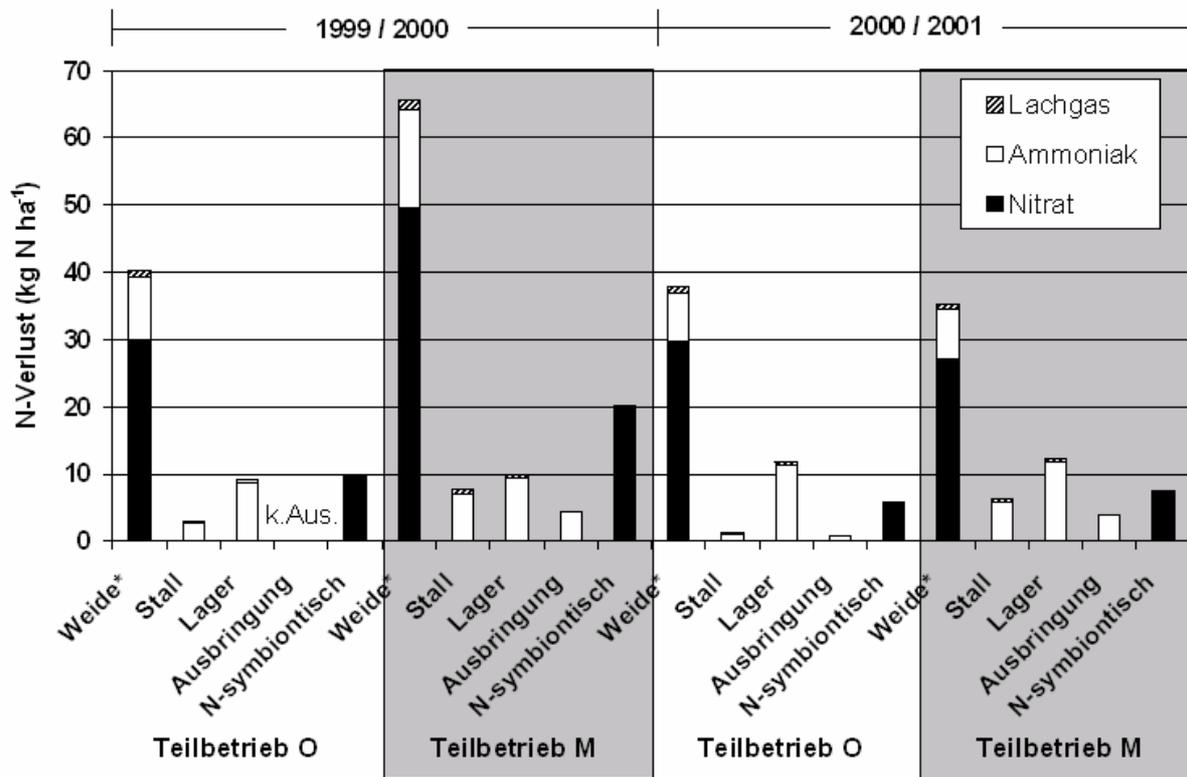


Abb. 5-10: N-Verluste der Teilbetriebe nach Entstehungsort, Jahr und Bindungsform. *: aus Exkrementen, k.Aus: keine Ausbringung

Zusammengefasst zeigen die Ergebnisse zu den Stickstoffverlusten, dass

- die gesamten N-Verluste in Teilbetrieb M höher waren als in Teilbetrieb O und zwar am deutlichsten im ersten Versuchsjahr aufgrund wesentlich höherer T- Erträge, N-Gehalte im Futter und Weißkleeertragsanteile,
- der Umfang der N-Verluste je ha und Jahr ganz wesentlich vom Futterangebot, der Futteraufnahme, dem N-Gehalt und damit der N-Aufnahme der Tiere bestimmt wird,
- die gesamten N-Verluste aus den Weidetierexkrementen sowohl aus der Futteraufnahme, dem N-Gehalt und dem Kalendertag der Ausscheidung von Kot und Urin als auch aus dem Futterangebot, dem N-Gehalt, dem Weiderest und dem Kalendertag geschätzt werden können,
- mehr als die Hälfte der gesamten N-Verluste in beiden Teilbetrieben allein auf den Entstehungsort Weidetierexkremeunte zurückzuführen ist,

- die anteiligen N-Verluste aus der Ausbringung von Mist- und Mistsickerwasser vergleichsweise vernachlässigbar sind,
- mit abnehmender Weide- und zunehmender Schnittnutzung die gesamten N-Verluste sinken,
- mit etwa 61 % der größte Anteil an den gesamten N-Verlusten auf Nitrat entfällt, gefolgt von Ammoniak mit etwa 36 % und von Lachgas mit etwa 3 %.

5.15 Nährstoffbilanzen

In den Hoftor-, Gesamtflächen- und Koppelbilanzen wurden Werte für die Deposition an Stickstoff, P, K und Mg von 20, 1, 4 und 4 kg ha⁻¹ sowie für die Verluste an Phosphor, K und Mg von 1, 8 und 16 kg ha⁻¹ aus der Literatur abgeleitet (Kap. 4.7). Eine Differenzierung bspw. in Abhängigkeit vom Nährstoffniveau der Teilbetriebe und der Flächen ist aus der gegenwärtigen Datenlage nicht möglich.

5.15.1 Hoftorbilanzen

Die Hoftorbilanzen der Teilbetriebe werden sehr stark von der Ausfuhr eines großen Teils des in Teilbetrieb O erzeugten Mists und der Zufuhr von Mist in Teilbetrieb M geprägt (Tab. 4-2, S. 28). Die Nährstoffzufuhr befand sich in Teilbetrieb O auf einem sehr niedrigen Niveau und wurde fast ausschließlich über die Strohzufuhr (%; Mittel beider Jahre; N: 96, P: 69, K: 99, Mg: 72) bestimmt (Tab. 5-18, S. 93). In Teilbetrieb M wurde der überwiegende Teil der Nährstoffe mit Stapelmist zugeführt (%; Mittel beider Jahre; N: 64, P: 63, K: 57, Mg: 61). Die Nährstoffzufuhr über Mineral- und Kraftfutter war vernachlässigbar gering.

Die Nährstoffausfuhr bestand in Teilbetrieb O im Mittel beider Jahre größtenteils aus Stapelmist (%; N: 71, P: 69, K: 82, Mg: 79). In Teilbetrieb O wurde 1999/2000 der gesamte Stapelmist und 2000/2001 etwa die Hälfte nach Abschluss der Lagerung ausgeführt. In Teilbetrieb M erfolgte die Nährstoffausfuhr in sehr geringen Mengen über die Lebendmassezunahme der Kälber.

In der Hoftorbilanz haben den größten Einfluss auf die Bewegung der Nährstoffmengen die Bilanzposten Stapelmist und Weißklee-N₂-Fixierung. Die P-Ausfuhr mit den Tieren wurde über die P-Zufuhr mit dem Stroh ausgeglichen.

Im Nährstoff-Saldo 1 unterscheiden sich die Teilbetriebe mit stark negativen Saldos in Teilbetrieb O und positiven Saldos, insbesondere bei Kalium, in Teilbetrieb M. Diese Unterschiede sind fast ausschließlich auf den oben beschriebenen Transfer des Stapelmistes zurückzuführen. Die größeren Mengen symbiotisch fixierten Stickstoffs in Teilbetrieb M führen zu einer Vergrößerung der Unterschiede im N-Saldo 2 zwischen den Teilbetrieben. Nach Abzug der Nährstoffverluste entstehen in Saldo 3 hohe Defizite in Teilbetrieb O. Diese weisen auf eine Verringerung des Boden-Nährstoff-Pools hin. In Teilbetrieb M ist die Bilanz bei Stickstoff, P und Mg weitgehend ausgeglichen. Bei Kalium findet, bedingt durch die Mist- und Strohzufuhr, eine Anreicherung im Boden statt.

Die Höhe der Bilanzposten und deren Nährstoffgehalte können Tab. A 72 (S. 240) entnommen werden.

Tab. 5-18: Hoftorbilanzen beider Teilbetriebe und Versuchsjahre (in kg ha⁻¹). Die angegebenen Werte wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit gerundet, Werte unter 0,5 ergeben Null.

	Teilbetrieb O								Teilbetrieb M							
	1999/2000				2000/2001				1999/2000				2000/2001			
	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Zufuhr																
Stapelmist	0	0	0	0	0	0	0	0	18	4	27	3	28	7	45	5
Mistsickerwasser	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	11	2	0	0	0	0
Stroh	7	1	23	1	11	2	16	1	8	2	25	1	12	2	18	1
Kraftfutter	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	1	1	0
Mineralfutter	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Summe Zufuhr	8	2	24	2	11	2	16	1	30	7	64	7	42	10	64	7
Ausfuhr																
Stapelmist	61	14	95	10	28	7	44	5	0	0	0	0	0	0	0	0
Mistsickerwasser	3	1	11	2	2	0	5	1	0	0	0	0	1	0	3	1
Silage	12	2	13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tiere (LMZ)	10	3	1	0	10	3	1	0	11	3	1	0	10	3	1	0
Summe Ausfuhr	86	20	119	13	39	10	50	6	11	3	1	0	11	3	4	1
Saldo 1	-78	-17	-95	-11	-28	-8	-34	-5	20	4	63	6	31	6	59	6
+ Deposition	20	1	4	4	20	1	4	4	20	1	4	4	20	1	4	4
+ N _{symbiotisch}	40				23				80				30			
Saldo 2	-18	-16	-91	-7	15	-7	-30	-1	120	5	67	10	81	7	63	10
- Verluste	62	1	8	16	57	1	8	16	108	1	8	16	66	1	8	16
Saldo 3	-81	-17	-99	-23	-42	-8	-38	-17	12	4	59	-6	16	6	55	-6

5.15.2 Gesamtflächenbilanzen

Die Gesamtflächenbilanzen sind noch stärker als die Hoftorbilanzen vom Versuchsaufbau — Mistausfuhr in Teilbetrieb O und Mistzufuhr in Teilbetrieb M — geprägt. Im Gegensatz zur Hoftorbilanz, die den ganzen Teilbetrieb mit Stall und Fläche beschreibt, besteht in der Flächenbilanz ein direkter Bezug zum Boden. Hier wirkte sich der Misttransfer unmittelbar auf das Düngungsniveau der Teilbetriebsflächen aus. Daher war die Nährstoffzufuhr in Teilbetrieb O sehr niedrig und in Teilbetrieb M sehr hoch (Tab. 5-19, S. 95).

In der Nährstoffausfuhr dominierte in beiden Teilbetrieben die von der Fläche geerntete Silage. In Teilbetrieb M war in den Jahren 2000 und 2001 die mit der Silage ausgeführte Nährstoffmenge aufgrund höherer T-Erträge (Abb. 5-3, S. 62) und bei Stickstoff, P und K zusätzlich aufgrund höherer Nährstoffgehalte (Tab. A 74, S. 242) größer. Die Lebendmassezunahme der Mutterkühe und ihrer Kälber war für die Nährstoffausfuhr unbedeutend.

Im Nährstoff-Saldo 1 als Differenz zwischen Zufuhr und Ausfuhr unterscheiden sich die Teilbetriebe im Wesentlichen gemäß der unterschiedlichen Nährstoffzufuhr mit negativen Saldos in Teilbetrieb O und positiven Saldos in Teilbetrieb M.

Der symbiotische N-Beitrag des Weißklee bewirkt im N-Saldo 2 eine deutliche Steigerung des Saldo und eine Zunahme im Unterschied zwischen den Teilbetrieben.

Nach Abzug der Verluste ergeben sich für alle Elemente in Teilbetrieb O meist stark negative Saldos (Saldo 3). Diese weisen auf eine Verringerung des Nährstoff-Pools im Boden hin. Dagegen weist Saldo 3 für P und K in Teilbetrieb M einen Überschuss aus, der zu einer Anreicherung des Nährstoff-Pools im Boden führt. Bei Magnesium ist die Bilanz weitgehend ausgeglichen. Dies gilt nach Abzug der Verluste auch für Stickstoff, da der bei der Denitrifikation entstehende elementare Luftstickstoff (N_2) nicht umweltbelastend ist und daher beim N-Verlust unberücksichtigt blieb.

Die wichtigsten Bilanzposten sind Mistzufuhr, Silageausfuhr und der symbiotische N-Beitrag des Weißklee.

Tab. 5-19: Gesamtflächenbilanzen beider Teilbetriebe und Versuchsjahre (in kg ha⁻¹). Die angegebenen Werte wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit gerundet, Werte unter 0,5 ergeben Null.

	Teilbetrieb O												Teilbetrieb M											
	1999				2000				2001				1999				2000				2001			
	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Zufuhr																								
Stapelmist	0	0	0	0	0	0	0	0	11	3	15	2	76	17	118	12	80	18	124	13	83	19	128	14
Mistsickerwasser	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	6	1	7	2	22	4	7	2	22	4	2	1	7	1
Beifutter Silage	0	0	0	0	1	0	1	0	2	0	2	0	1	0	1	0	2	0	3	0	12	2	19	1
Kraffutter	0	0	0	0					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0
Mineralfutter ^a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Summe Zufuhr	0	0	0	0	1	0	1	0	15	4	22	3	83	20	140	16	90	21	149	17	99	23	155	16
Ausfuhr																								
Tiere (LMZ)	5	2	0	0	7	2	1	0	5	2	0	0	6	2	1	0	7	2	1	0	7	2	1	0
Silage	54	9	61	5	52	9	51	6	49	7	46	5	53	10	70	5	71	12	90	6	75	11	87	7
Summe Ausfuhr	59	11	62	5	59	11	51	6	54	9	46	5	59	12	71	5	78	14	91	6	82	13	87	7
Saldo 1	-59	-11	-61	-5	-58	-11	-51	-6	-39	-5	-24	-2	25	8	70	12	12	7	59	11	17	10	68	9
+ Deposition	20	1	4	4	20	1	4	4	20	1	4	4	20	1	4	4	20	1	4	4	20	1	4	4
+ N _{symbiotisch}	^b				40				23				^b				80				30			
Saldo 2	-10	-57	-1		1	-10	-47	-2	4	-4	-20	2	9	74	16		112	8	63	15	67	11	72	13
- Verluste		1	8	16	50	1	8	16	44	1	8	16	1	8	16		90	1	8	16	47	1	8	16
Saldo 3	-11	-65	-17		-49	-11	-55	-18	-41	-5	-28	-14	8	66	0		22	7	55	-1	20	10	64	-3

^a: Die Mineralfuttermengen sind sehr gering und bewegen sich nur im Grammbereich

^b: 1999 wurden keine Weißkleeertragsanteile geschätzt, so dass die gesamten N-Verluste nicht angegeben werden können

5.15.3 Koppelbilanzen

Wie in den Saldos der Gesamtflächenbilanzen unterscheiden sich die Teilbetriebe auch in den Koppelbilanzen deutlich. In Teilbetrieb O treten überwiegend negative, in Teilbetrieb M überwiegend positive Saldos auf (Tab. 5-20 (S. 97) und 5-21).

Innerhalb der Teilbetriebe weichen die Saldos der Koppelbilanzen vom Saldo der Gesamtflächenbilanz als gewogenem Mittelwert der Koppelbilanzsaldos zum Teil erheblich ab. Die Streuung von Saldo 1 ist bedingt durch Unterschiede in der Düngung (Stapelmist und Mistsickerwasser), der Nutzung (Wiese, Mähweide, Weide) und der Beifütterung (Silage). Die Zufütterung von Kraft- und Mineralfutter ist dabei nicht von Bedeutung.

In Saldo 2 ergeben sich zusätzliche Unterschiede durch die Variation des symbiotischen N-Beitrags des Weißklee. Saldo 3 kennzeichnet Veränderungen des Boden-Nährstoff-Pools. Während sich in Teilbetrieb O mit Ausnahme von Weide B2 (2000/2001) in beiden Jahren eine deutliche Abnahme des Boden-Nährstoff-Pools aller Elemente ergibt, zeigen die Saldos in Teilbetrieb M mit Ausnahme der Weiden V6 (1999/2000) und V4 (2000/2001) überwiegend Anreicherungen im Nährstoffvorrat an.

Weiden haben im Vergleich zu Wiesen und Mähweiden eine gänzlich andere Nährstoffbewegung. Einerseits werden weder Nährstoffe mit Silage abgeführt, noch Nährstoffe mit Stapelmist zugeführt. Andererseits wird der größte Teil der mit dem Weidefutter aufgenommenen Nährstoffe wieder über Urin und Kot ausgeschieden. Dies wirkt sich sehr stark auf die N-Verluste aus, weshalb N-Saldo 2 und N-Saldo 3 auch in Abhängigkeit von anderen Faktoren (u.a. Ertrag und N-Gehalt) bei Weiden weiter auseinander liegen als bei Wiesen und Mähweiden.

Die ausführlichen Koppelbilanzen mit Mengenangaben und Nährstoffgehalten zu den Bilanzposten in Zufuhr und Ausfuhr sind im Anhang aufgeführt (Tab. A 75 (S. 243) bis 94).

Tab. 5-20: Nährstoff-Saldos der Koppelbilanzen in Teilbetrieb O. Saldo 1 = Zufuhr - Ausfuhr, Saldo 2 = Saldo 1 + Deposition + N₂-Fixierung, Saldo 3 = Saldo 2 - Verluste. (in kg ha⁻¹)

		Koppel					Gesamt	
Saldo	V9	V10	B1	B2	B6			
		Nutzungsform						
1999 / 2000	N	Wiese	Mähweide	Mähweide	Mähweide	Weide ^a		
		1	-111	-82	-58	-82	-35	-58
		2	-71	-30	6	-16	24	1
		3	-76	-52	-48	-78	-30	-49
	P	1	-19	-15	-11	-15	-7	-11
		2	-18	-14	-10	-14	-6	-10
		3	-19	-15	-11	-15	-7	-11
	K	1	-116	-95	-51	-69	-24	-51
		2	-112	-91	-47	-65	-20	-47
		3	-120	-99	-55	-73	-28	-55
	Mg	1	-13	-8	-6	-8	-3	-6
		2	-9	-4	-2	-4	1	-2
3		-25	-20	-18	-20	-15	-18	
		Nutzungsform						
2000 / 2001	N	Wiese	Mähweide	Mähweide	Weide	Mähweide		
		1	-111	-48	-55	5	-49	-39
		2	-72	-5	-14	40	-1	4
		3	-76	-41	-33	-13	-53	-41
	P	1	-15	-6	-7	1	-7	-5
		2	-14	-5	-6	2	-6	-4
		3	-15	-6	-7	1	-7	-5
	K	1	-82	-38	-31	29	-41	-24
		2	-78	-34	-27	33	-37	-20
		3	-86	-42	-35	25	-45	-28
	Mg	1	-13	-2	-5	5	-3	-2
		2	-9	2	-1	9	1	2
3		-25	-14	-17	-7	-15	-14	

^a: Teilfläche von 3 ha als Weide und 6,33 ha als Mähweide

Tab. 5-21: Nährstoff-Saldos der Koppelbilanzen in Teilbetrieb M. Saldo 1 = Zufuhr - Ausfuhr, Saldo 2 = Saldo 1 + Deposition + N₂-Fixierung, Saldo 3 = Saldo 2 - Verluste. (in kg ha⁻¹)

		Koppel					Gesamt	
Saldo	V1	H6	V4	H8	V6			
		Nutzungsform						
1999 / 2000	N	Wiese ^a	Wiese ^b	Mähweide	Mähweide	Weide		
		1	-4	-3	64	0	-4	12
		2	62	34	202	99	116	112
	3	32	6	84	16	-34	22	
	P	1	9	4	17	4	-2	7
		2	10	5	18	5	-1	8
		3	9	4	17	4	-2	7
	K	1	57	24	137	44	11	59
		2	61	28	141	48	15	63
		3	53	20	133	40	7	55
	Mg	1	15	4	19	9	1	11
		2	19	8	23	13	5	15
3		3	-8	7	-3	-11	-1	
		Nutzungsform						
2000 / 2001	N	Wiese	Wiese	Weide	Mähweide	Mähweide		
		1	-23	20	43	32	32	17
		2	21	55	82	76	104	67
	3	11	47	-18	37	49	20	
	P	1	6	12	8	13	12	10
		2	7	13	9	14	13	11
		3	6	12	8	13	12	10
	K	1	34	67	106	92	61	68
		2	38	71	110	96	65	72
		3	30	63	102	88	57	64
	Mg	1	5	11	11	13	11	9
		2	9	15	15	17	15	13
3		-7	-1	-1	1	-1	-3	

^a: 6 Tage bzw. ^b: 3 Tage Beweidung Ende Oktober ohne Kälber

5.15.4 Stallbilanzen

Die wichtigsten Bilanzposten in den Stallbilanzen sind die Silage in der Zufuhr und der Stallmist in der Ausfuhr (Tab. 5-22, S. 100). In Teilbetrieb M war die Nährstoffzufuhr aufgrund höherer Nährstoffgehalte in der Silage größer (Tab. A 73, S. 241). Im Jahr 2000/2001 waren die Nährstoffzufuhr und die Stallmistausfuhr bedingt durch eine längere Stallperiode höher als im Jahr zuvor.

Die Saldos der Messwert-Stallbilanz weisen nur zum Teil auf eine ausgeglichene Stallbilanz (Zufuhr = Ausfuhr) hin (Tab. 5-22, S. 100). So werden bspw. bei Kalium (Teilbetrieb M, 1999/2000) 21 % der zugeführten K-Menge nicht in der K-Ausfuhr wiedergefunden. Dies entspricht etwa 19 kg K ha^{-1} bzw. 361 kg K insgesamt. Dagegen werden in Teilbetrieb O (2000/2001) eine um 17 % die K-Zufuhr übersteigende K-Ausfuhr ermittelt. Weder Defizite noch Überhänge sind bei den Elementen Phosphor, K und Mg - schon gar nicht in der für Kalium geschilderten Größenordnung - realistisch. Wie bereits im Methodenteil erläutert (Kap. 4.7), sollte die Stallbilanz aufgrund der Null-Saldo-Logik für die Elemente Phosphor, K und Mg im Stall ausgeglichen sein, d.h. Nullsaldos ausweisen.

Die Schätzwert-Stallbilanzen ergeben eine Unterschätzung der Stallmistmasse der Messwert-Stallbilanz in 1999/2000 um 5,7 % (O) bzw. 5,0 % (M) und eine Überschätzung in 2000/2001 um 5,9 % (O) bzw. 3,1 % (M) (Tab. 5-23, S. 101). Die in der Schätzwert-Stallbilanz für P, K und Mg berechneten Gehaltswerte stimmen größtenteils gut mit den analysierten Gehaltswerten überein (vgl. Tab. A 73, S. 241). Die N-Verluste während der Stallperiode betragen der Schätzwert-Stallbilanz zufolge im Jahr 1999/2000 etwa 6 (O) bzw. 13 % (M) und im Jahr 2000/2001 etwa 2 (O) bzw. 9 % (M) des zugeführten Stickstoffs. Dies entsprach einem N-Verlust zwischen etwa 1 bis 8 kg ha^{-1} und war damit sehr niedrig.

Tab. 5-22: Messwert-Stallbilanzen beider Teilbetriebe und Versuchsjahre (in kg ha⁻¹). Die angegebenen Werte wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit gerundet, Werte unter 0,5 ergeben Null.

	Teilbetrieb O								Teilbetrieb M							
	1999/2000				2000/2001				1999/2000				2000/2001			
	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Zufuhr																
Silage	42	7	47	4	49	9	48	5	50	9	67	4	56	10	67	5
Stroh	7	1	23	1	11	2	16	1	8	2	25	1	12	2	18	1
Krafftutter	1	0	0	0					1	0	0	0	0	0	0	0
Mineralfutter	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Summe Zufuhr	50	9	71	5	61	11	65	6	59	11	93	6	68	11	85	6
Ausfuhr																
Stallmist	40	8	66	5	60	11	75	9	42	8	73	5	59	10	78	7
Tiere (LMZ)	4	1	0	0	4	1	0	0	6	2	1	0	4	1	0	0
Summe Ausfuhr	44	9	67	5	64	12	76	9	48	10	73	5	63	11	79	7
Saldo (kg ha ⁻¹)	5	0	4	0	-4	-1	-11	-2	11	1	19	0	5	0	6	-1
Saldo (kg gesamt)	103	6	85	1	-70	-26	-208	-42	206	26	361	7	86	6	118	-16
Saldo (in % der Zufuhr)	11	4	6	1	-6	-13	-17	-34	19	12	21	6	7	3	7	-14

Tab. 5-23: Schätzwert-Stallbilanz: Saldos, Mistmassen und Mistnährstoffgehalte. Alle übrigen Bilanzposten und -werte sind mit denen der Messwert-Stallbilanzen identisch.

	Teilbetrieb O					Teilbetrieb M				
	Stallmist		Saldo			Stallmist		Saldo		
	(kg FM ha ⁻¹)	(%)	(kg ha ⁻¹)	(kg)	(%)	(kg FM ha ⁻¹)	(%)	(kg ha ⁻¹)	(kg)	(%)
1999/2000	7.715					8.326				
	Element					Element				
	N	0,55	3	57	6	N	0,55	8	143	13
	P	0,11	0	0	0	P	0,13	0	0	0
	K	0,92	0	0	0	K	1,11	0	0	0
	Mg	0,07	0	0	0	Mg	0,07	0	0	0
2000/2001	9.596					10.105				
	Element					Element				
	N	0,57	1	23	2	N	0,57	6	119	9
	P	0,10	0	0	0	P	0,11	0	0	0
	K	0,67	0	0	0	K	0,84	0	0	0
	Mg	0,07	0	0	0	Mg	0,06	0	0	0

Zwischen den Jahren traten die höheren N-Verluste in 1999/2000 bei einer gleichzeitig etwas höheren Einstreumenge (+ 0,6 kg GV⁻¹ d⁻¹) und weitgehend gleichen N-Gehalten der Silage auf. Die unterschiedliche Einstreustärke beruht darauf, dass im Jahr 1999/2000 der Fressgang im Gegensatz zu 2000/2001 eingestreut wurde. Die kürzere Verweildauer von Harn und Kot im Fressgang in 2000/2001 aufgrund der wöchentlichen Entfernung (Kap. 4.4.7) führte zu geringeren Emissionen im Stall. Es ist allerdings zu erwarten, dass die N-Emissionen während der anschließenden Lagerung entsprechend erhöht waren.

5.15.5 Bilanz der Mistlagerung

Die Bilanz der Mistlagerung von Teilbetrieb M weist gegenüber der Zufuhr eine höhere Ausfuhr an Masse und Nährstoffmengen (Tab. 5-24, S. 102) aus. Dadurch ergeben sich negative Saldos.

Tab. 5-24: Bilanz der Mistlagerung von Teilbetrieb M im Jahr 1999/2000 außerhalb des Stalls auf einer betonierten Dungplatte (in kg ha⁻¹)

	FM	N	P	K	Mg
Zufuhr					
Tiefstreumist ^a	8.326	45,4	9,9	92,1	5,8
Ausfuhr					
Stapelmist	9.561	54,6	12,0	82,8	8,3
Sickerwasser		3,5	2,0	10,8	1,8
Saldo	-1.235	-12,6	-4,1	-1,5	-4,4
Saldo (%)^b	-14,8	-27,8	-42,0	-1,7	-75,9

^a: aus der Schätzwert-Stallbilanz; ^b: in % der Zufuhr

Eine Bilanz der Mistlagerung für Teilbetrieb O konnte nicht aufgestellt werden, da im Jahr 2000/2001 der Stapelmist von der Dungplatte wegen schlechter Witterung nicht ganz ausgefahren und somit nicht die gesamte Stapelmistmenge erfasst wurde.

5.16 Übersicht über die Nährstoff-Bewegungen

Die Abbildungen 5-11 (S. 103) bis 5-26 (S. 110) geben einen Überblick über die jährlichen Nährstoffbewegungen in beiden Teilbetrieben. Sie ergänzen die Nährstoffbilanzen in Kapitel 5.15 und geben zusätzlich zu den Nährstoffmengen der Zu- und Ausfuhrposten der Hoftor-, Stall- und Gesamtflächenbilanz die innerbetriebliche Nährstoffbewegung zwischen dem Stall, dem Wirtschaftsdüngerlager, den Flächen und dem Silagelager sowie die interne Nährstoffbewegung der beweideten Fläche an.

Solch einfache, eher statische und auf ein Jahr reduzierte Schemata bilden nicht ganz die „Realität“ einer über Jahre dynamischen Nährstoffbewegung ab. In den Abbildungen wurde mit der Nährstoffbewegung bei der Einstallung begonnen. Die in der geernteten Silage gebundenen Nährstoffe gelangten nicht im selben Bilanzierungsjahr auf die Silagefläche zurück, sondern erst im darauf folgenden Jahr. Die Nährstoffausfuhr aus dem Stall wurde den Schätzwert-Stallbilanzen entnommen (Tab. A 69, S. 239). Die Ausfuhr aus dem Mist- und Mistsickerwasserlager wurde auf die vom Vorjahr gelagerte Nährstoffmenge bezogen.

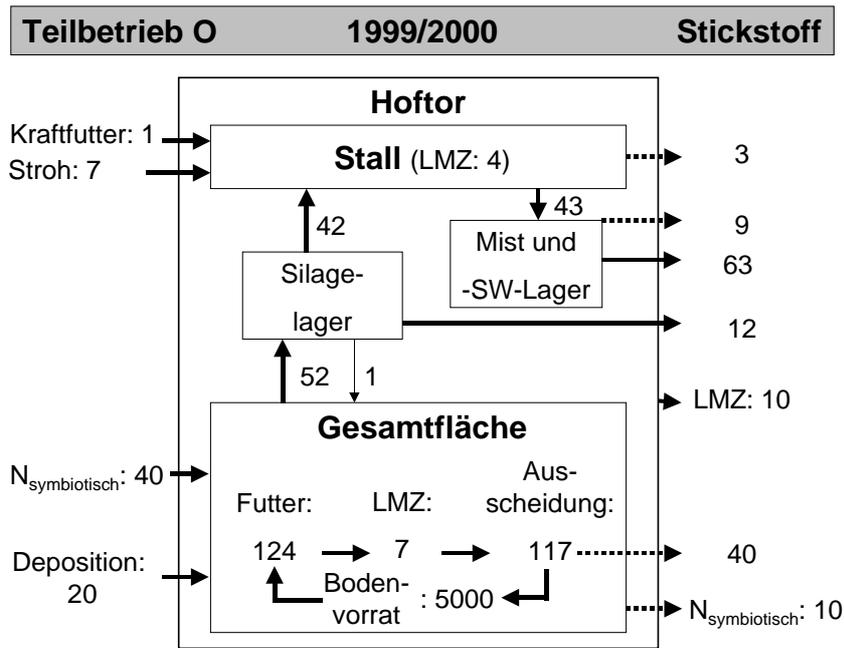


Abb. 5-11: Stickstoff-Bewegung im Jahr 1999/2000 in Teilbetrieb O. Abk.: LMZ: Lebendmassezunahme, SW: Sickerwasser, gepunktete Striche: N-Verluste, alle Werte in kg N ha⁻¹, Bodenvorrat: Gesamt-N in 0-10 cm Bodentiefe, Werte < 0,5 sind nicht aufgeführt.

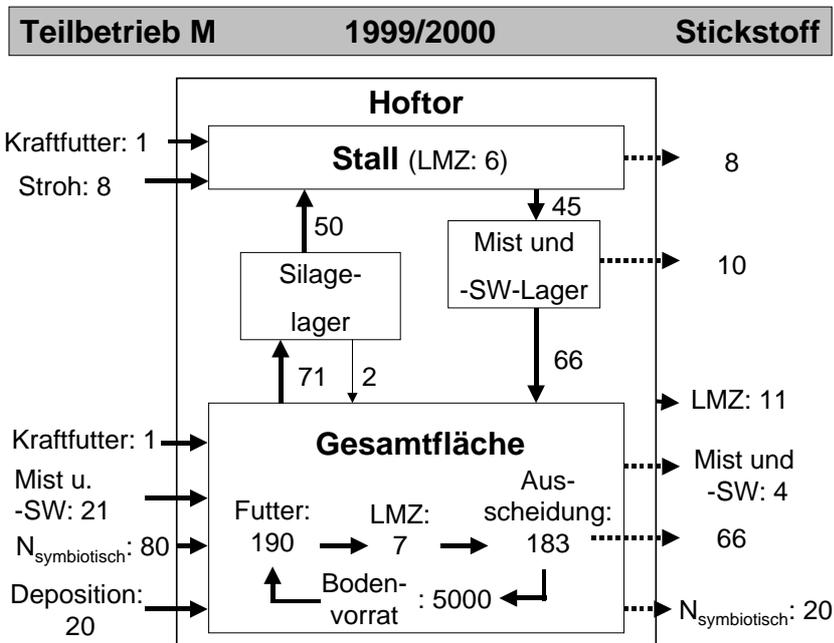


Abb. 5-12: Stickstoff-Bewegung im Jahr 1999/2000 in Teilbetrieb M. Abkürzungen und Erläuterungen siehe Abb. 5-11.

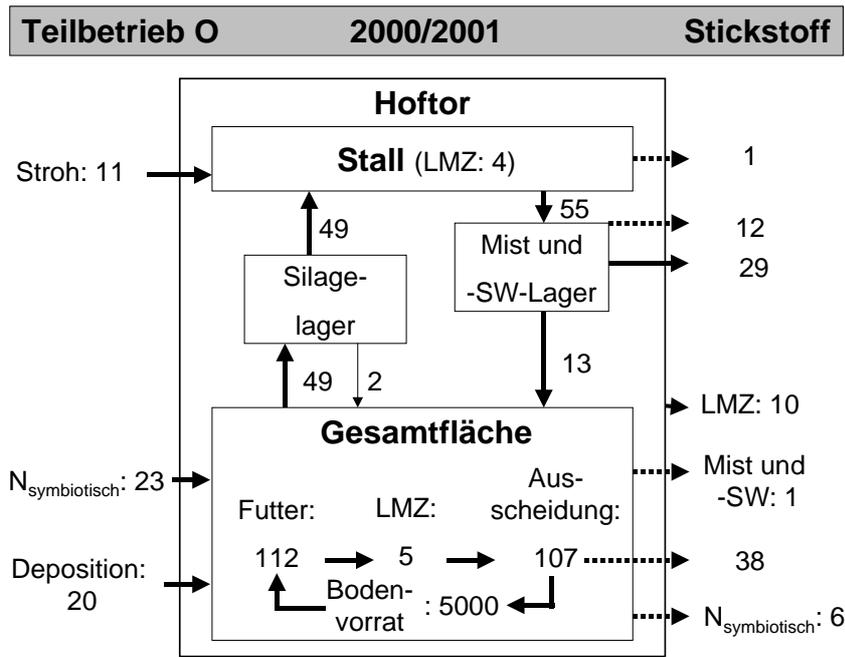


Abb. 5-13: Stickstoff-Bewegung im Jahr 2000/2001 in Teilbetrieb O. Abkürzungen und Erläuterungen siehe Abb. 5-11.

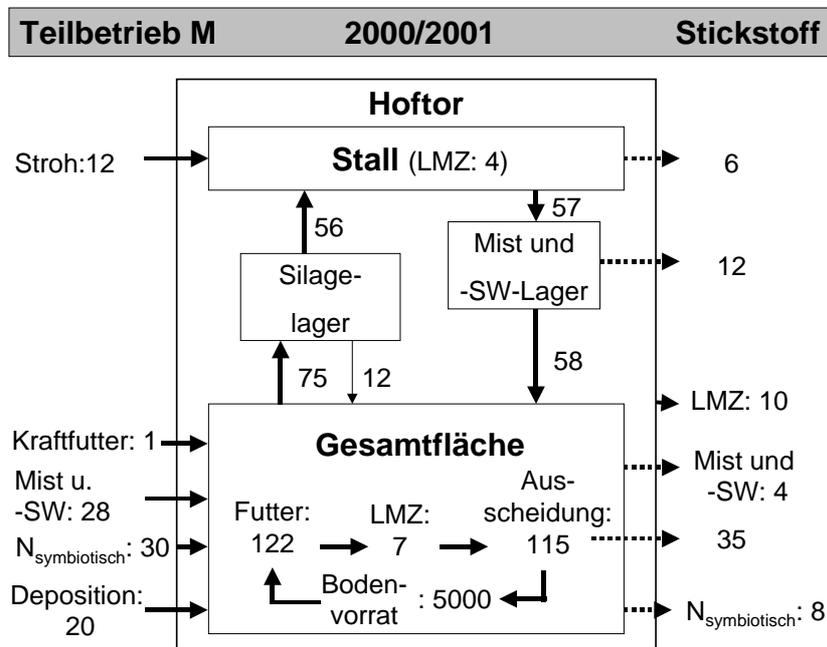


Abb. 5-14: Stickstoff-Bewegung im Jahr 2000/2001 in Teilbetrieb M. Abkürzungen und Erläuterungen siehe Abb. 5-11.

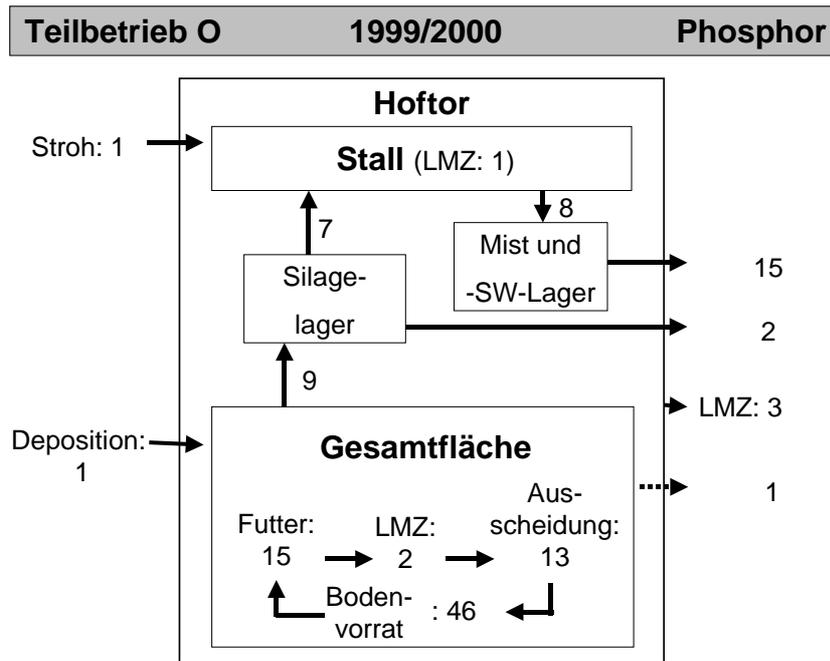


Abb. 5-15: Phosphor-Bewegung im Jahr 1999/2000 in Teilbetrieb O. Abk.: LMZ: Lebendmassezunahme, SW: Sickerwasser, gepunktete Striche: P-Verluste, alle Werte in kg P ha⁻¹, Bodenvorrat: P(CAL) in 0-10 cm Bodentiefe, Werte < 0,5 sind nicht aufgeführt.

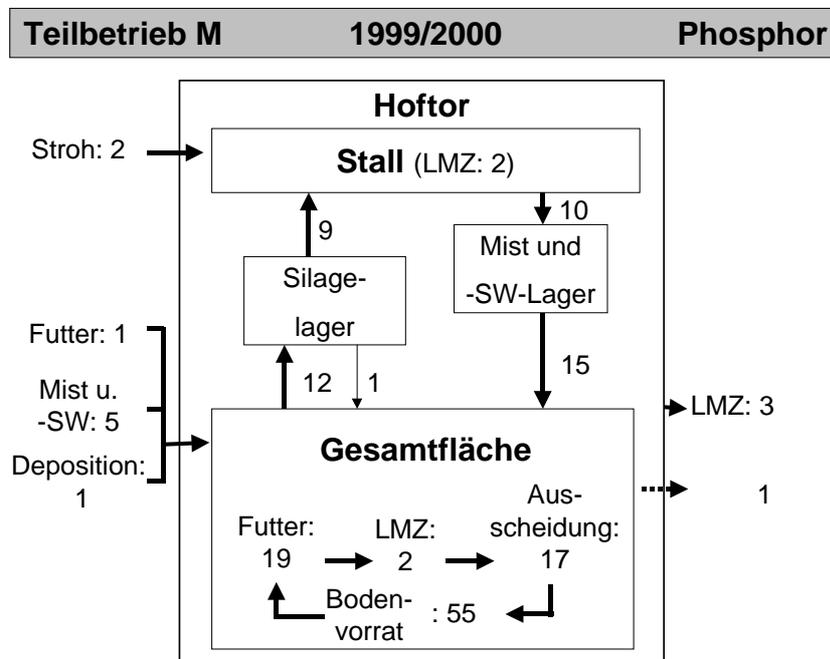


Abb. 5-16: Phosphor-Bewegung im Jahr 1999/2000 in Teilbetrieb M. Abkürzungen und Erläuterungen siehe Abb. 5-15.

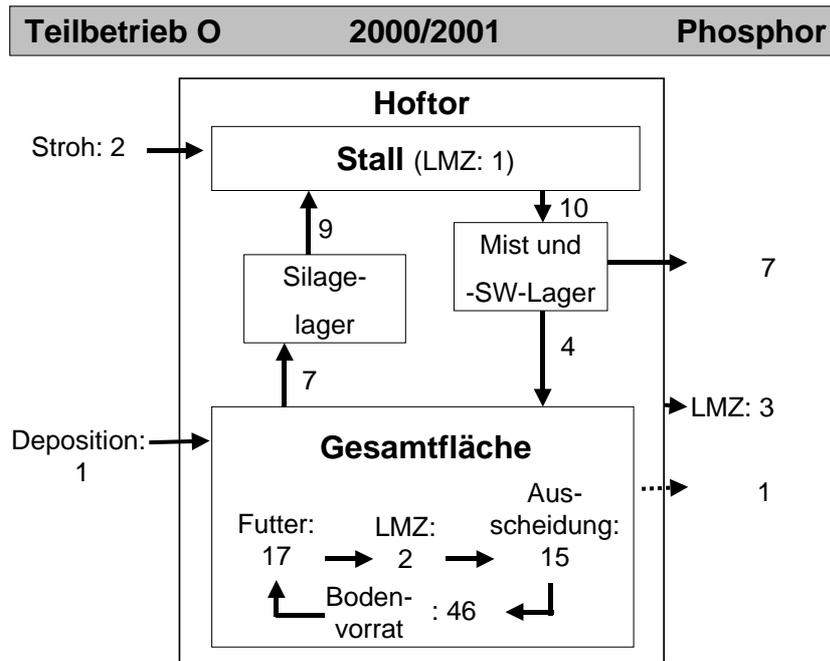


Abb. 5-17: Phosphor-Bewegung im Jahr 2000/2001 in Teilbetrieb O. Abkürzungen und Erläuterungen siehe Abb. 5-15.

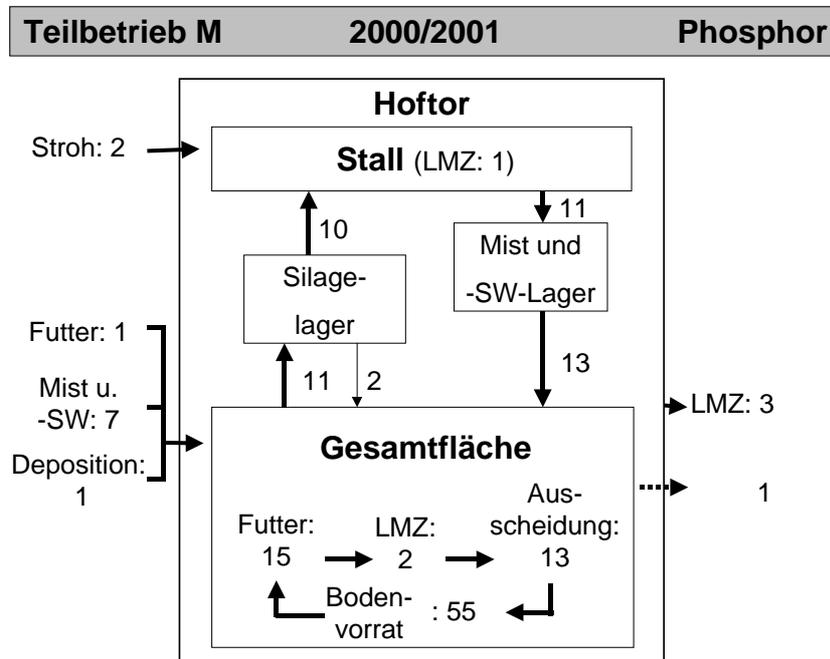


Abb. 5-18: Phosphor-Bewegung im Jahr 2000/2001 in Teilbetrieb M. Abkürzungen und Erläuterungen siehe Abb. 5-15.

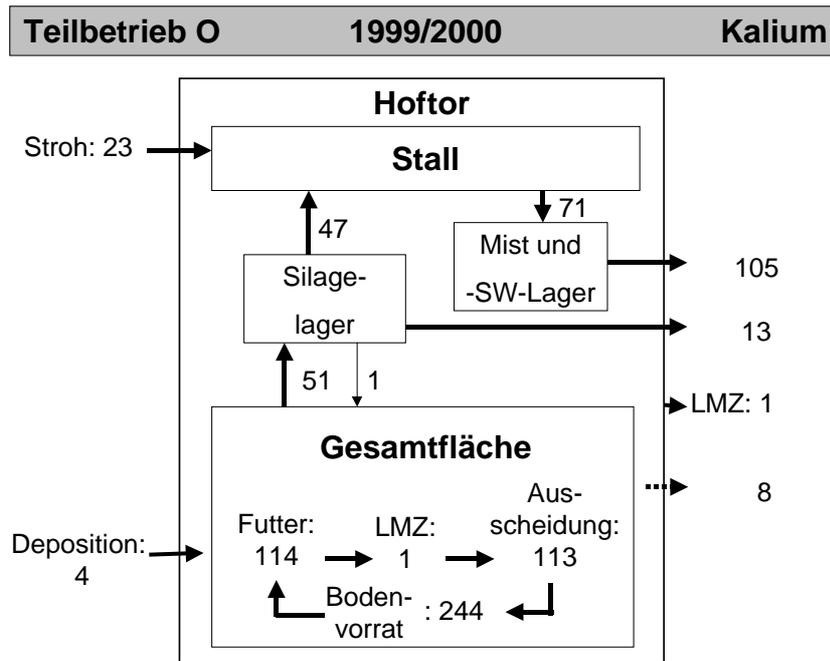


Abb. 5-19: Kalium-Bewegung im Jahr 1999/2000 in Teilbetrieb O. Abk.: LMZ: Lebendmassezunahme, SW: Sickerwasser, gepunktete Striche: K-Verluste, alle Werte in kg K ha⁻¹, Bodenvorrat: K(NH₄⁺) in 0-10 cm Bodentiefe, Werte < 0,5 sind nicht aufgeführt.

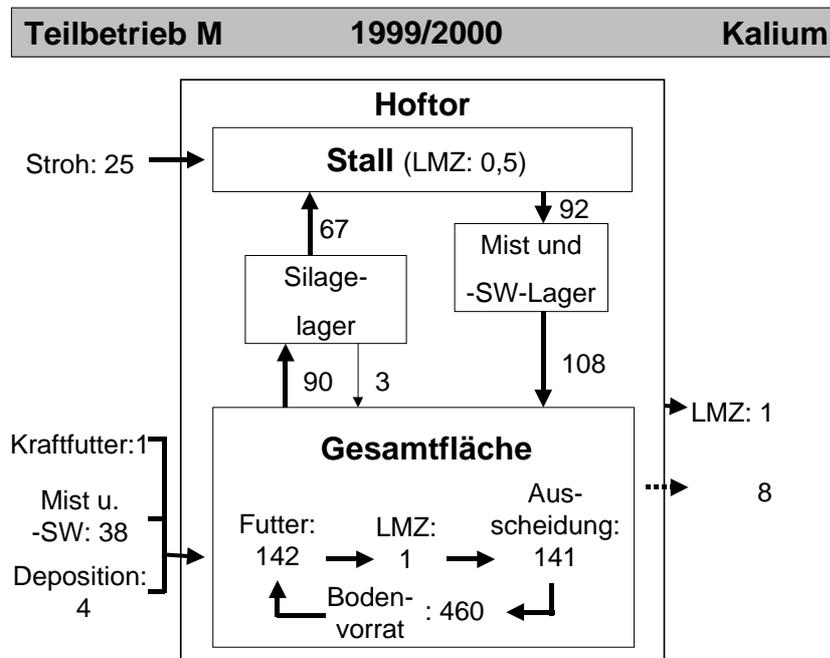


Abb. 5-20: Kalium-Bewegung im Jahr 1999/2000 in Teilbetrieb M. Abkürzungen und Erläuterungen siehe Abb. 5-19.

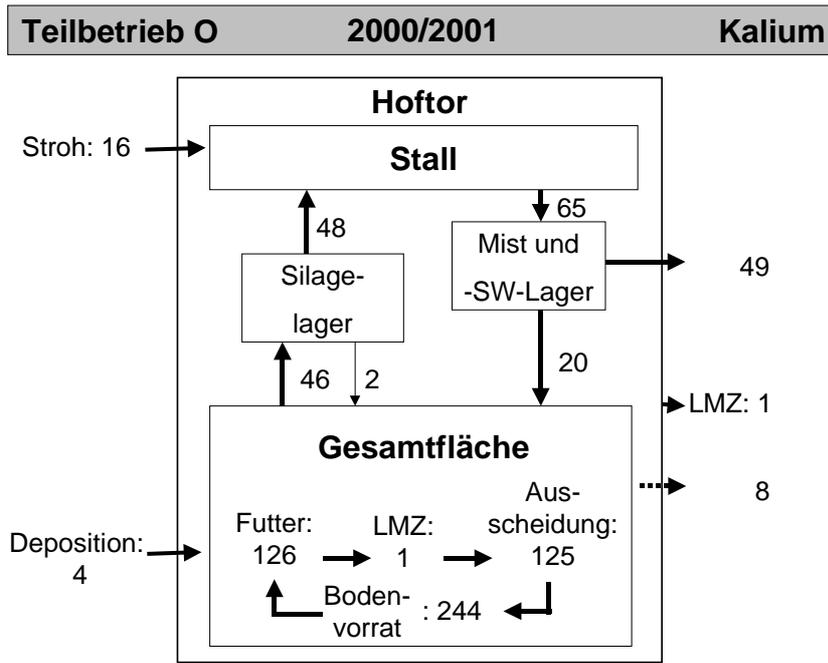


Abb. 5-21: Kalium-Bewegung im Jahr 2000/2001 in Teilbetrieb O. Abkürzungen und Erläuterungen siehe Abb. 5-19.

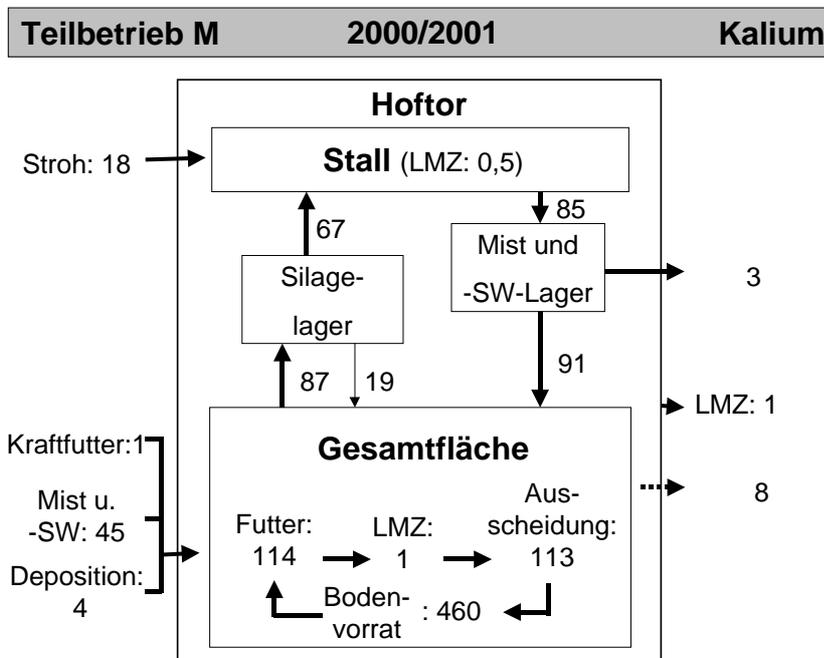


Abb. 5-22: Kalium-Bewegung im Jahr 2000/2001 in Teilbetrieb M. Abkürzungen und Erläuterungen siehe Abb. 5-19.

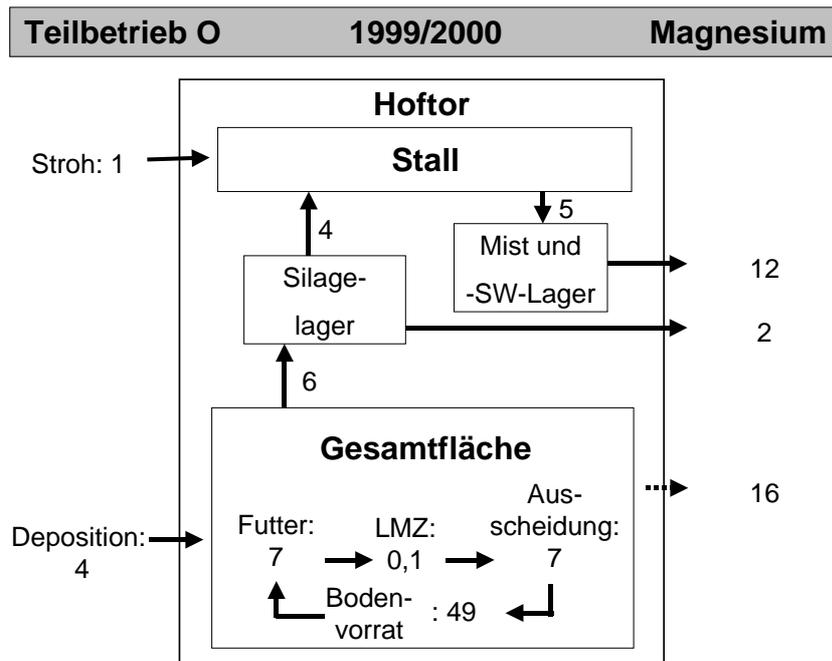


Abb. 5-23: Magnesium-Bewegung im Jahr 1999/2000 in Teilbetrieb O. Abk.: LMZ: Lebendmassezunahme, SW: Sickerwasser, gepunktete Striche: Mg-Verluste, alle Werte in kg Mg ha^{-1} , Boden: Mg(CAL) in 0-10 cm Bodentiefe, Werte $< 0,5$ sind nicht aufgeführt.

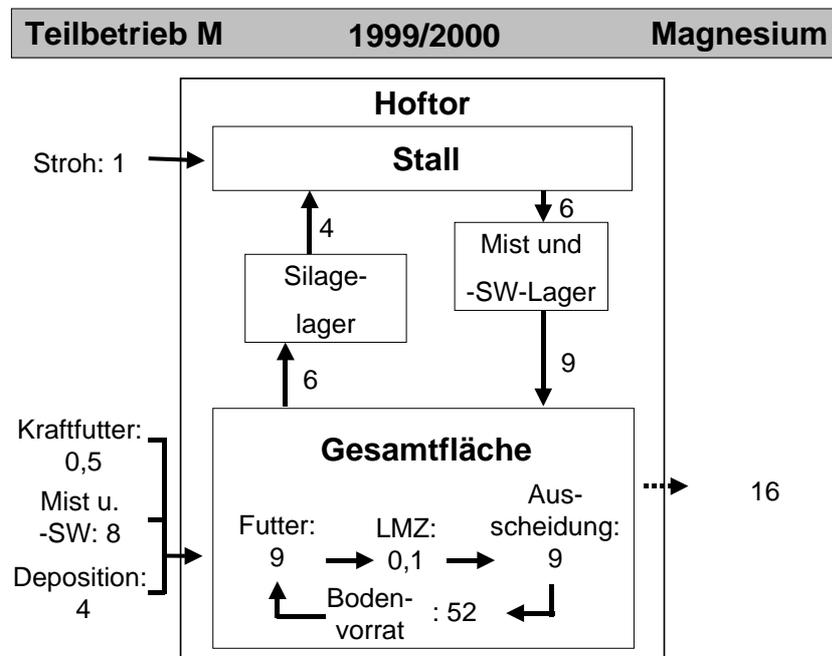


Abb. 5-24: Magnesium-Bewegung im Jahr 1999/2000 in Teilbetrieb M. Abkürzungen und Erläuterungen siehe Abb. 5-23.

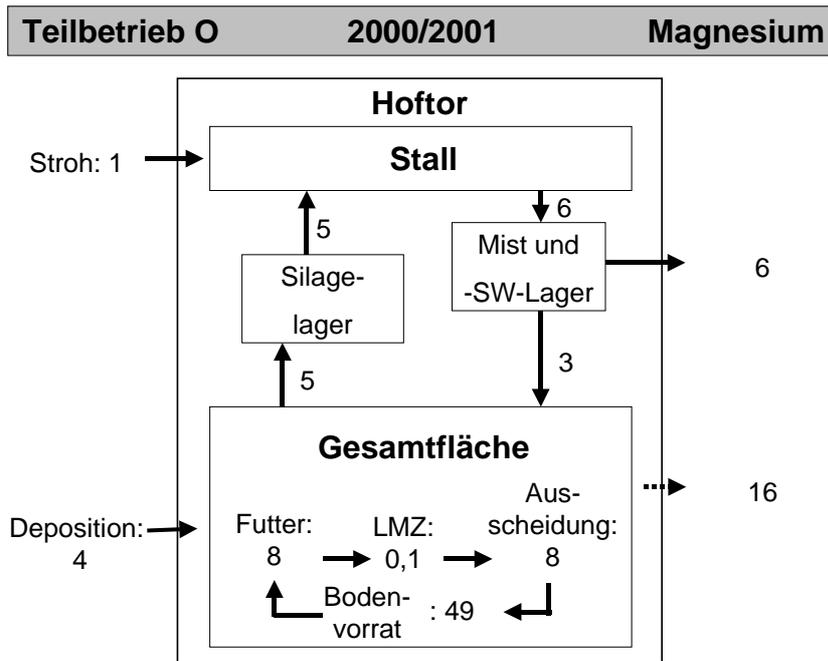


Abb. 5-25: Magnesium-Bewegung im Jahr 2000/2001 in Teilbetrieb O.
 Abkürzungen und Erläuterungen siehe Abb. 5-23.

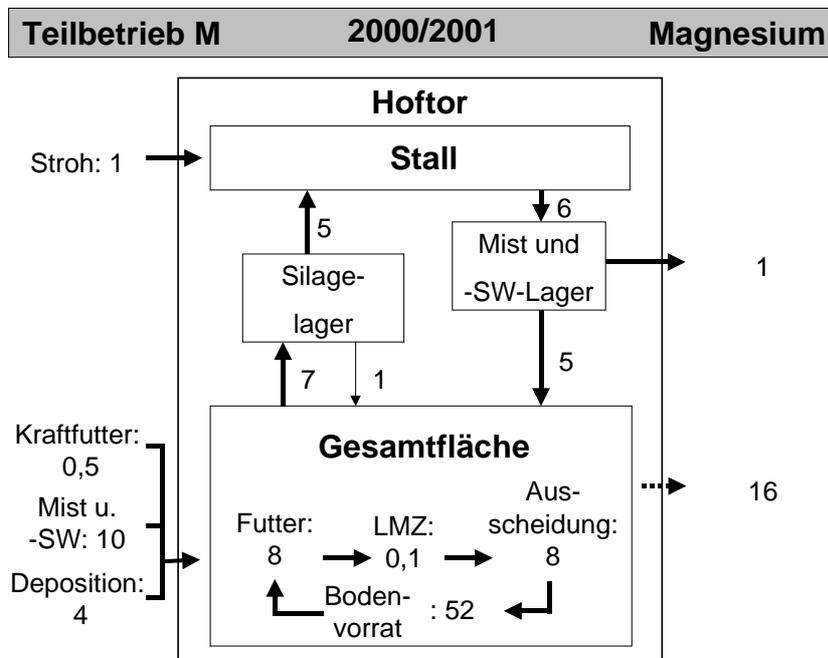


Abb. 5-26: Magnesium-Bewegung im Jahr 2000/2001 in Teilbetrieb M.
 Abkürzungen und Erläuterungen siehe Abb. 5-23.

5.17 Beziehung zwischen N-Saldo und N-Verlust

Hoftorbilanz

Der Mist in Teilbetrieb O wurde nach der Lagerung ausgeführt. Daher wurden die im Stall und während der Lagerung entstandenen N-Verluste Teilbetrieb O zugerechnet und die vergleichsweise geringen N-Ausbringungsverluste Teilbetrieb M. Dadurch hatte der Transfer des Mistes so gut wie keine Auswirkung auf den N-Verlust, jedoch eine große Auswirkung auf den Saldo, da sich in diesem die gesamte N-Menge des ausgeführten Mistes bemerkbar macht. In Abb. 5-27 ist dies in der linken Grafik, die den Misttransfer berücksichtigt, dargestellt. Die unterschiedliche Auswirkung des Mistes auf Saldo und Verlust führt bei ähnlicher N-Verlusthöhe zu einer weiten Spanne des N-Saldo von -17 bis +82 kg ha⁻¹ (Abb. 5-27, links).

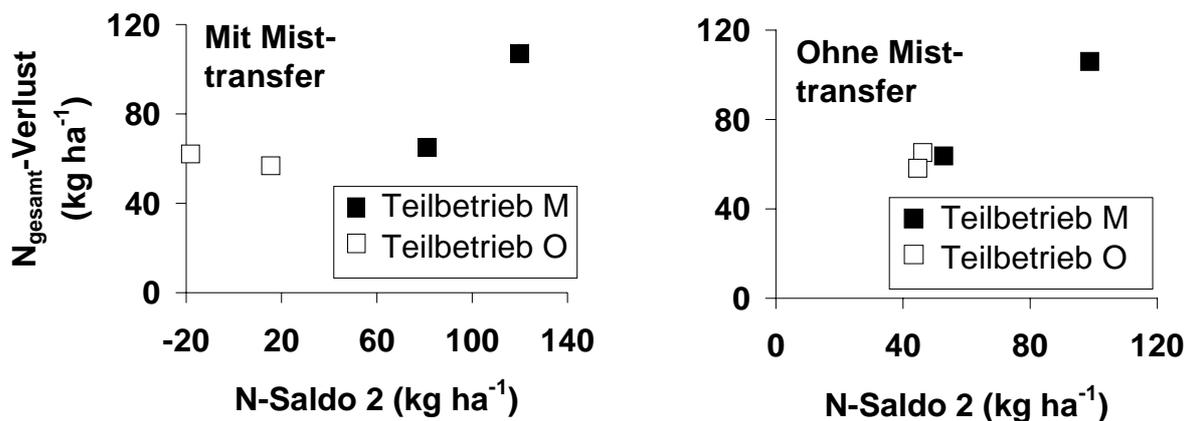


Abb. 5-27: N-Saldo der Hoftorbilanz und N-Verlust als Summe der Verluste aus Stallmistkette, Weidetierexkrementen sowie symbiotisch fixiertem N₂ beider Teilbetriebe und Jahre mit und ohne Transfer von Stapelmist.

Der höchste N-Verlust bei höchstem Saldo ist nicht auf die Mistzufuhr zurückzuführen, sondern auf die höhere Menge symbiotisch fixierten N₂ in Teilbetrieb M in der Weideperiode 2000 (Abb. 5-2, S. 60). In Praxisbetrieben findet in der Regel kein Misttransfer statt. Diese Situation ist in der rechten Grafik von Abb. 5-27 dargestellt. Hier zeigt sich deutlicher, dass mit zunehmendem N-Saldo unter Einbezug der N₂-Fixierung steigende N-Verluste verbunden waren.

Flächenbilanz

Zwischen dem N-Verlust und N-Saldo 1 der Weiden und Mähweiden besteht nur eine sehr schwache Beziehung (Abb. 5-28 A, S. 113). Unter Berücksichtigung des Zusammenhangs zwischen symbiotisch fixiertem Stickstoff und N-Verlust (B) wird die Beziehung des N-Verlustes zu Saldo 2 (C) deutlich enger. So wird offensichtlich, dass auf den symbiotisch gebundenen Stickstoff in der N-Bilanzierung nicht verzichtet werden kann, wenn der N-Saldo als Schätzwert für den N-Verlust dienen soll. Mit der Ermittlung von Saldo 2 zur praktischen Nutzung als Agrarumweltindikator (Schätzwert für die Höhe der N-Verluste) ist die schwierige Erfassung der mit dem Mist applizierten N-Mengen verbunden. Die N-Verluste nach der Mist- und Mistsickerwasserausbringung nehmen nur einen Anteil von 4 % an den gesamten N-Verlusten (Mittel beider Teilbetriebe und Jahre) ein. Wenn man sich von der üblichen Vorgehensweise, den Mist in die Bilanzierung einzubeziehen, löst, kann auf die Berücksichtigung von Mist und Mistsickerwasser verzichtet werden, wenn für die Weiden und Mähweiden der N-Saldo 2 als Schätzwert für die Höhe der N-Verluste herangezogen werden soll (D). Die Beziehung wird dann enger, da die unterschiedliche Auswirkung des Mistes auf den Saldo und den Verlust, wie unter Hoftorbilanz beschrieben, ausbleibt.

Für die Wiesen bzw. das Wiesenmanagement kann auf die Erstellung eines Schätzwertes für die N-Verluste verzichtet werden, da sich die N-Verluste über eine weite Spanne des N-Saldo aufgrund einer sehr geringen Steigung der Regressionsgeraden (Abb. 5-29, S. 114) unwesentlich ändern und insgesamt sehr niedrig sind. Es ist allerdings zu beachten, dass es sich bei den Wiesenbilanzen um Flächenbilanzen handelt, bei denen die von der Wiesen-Silage im Stall und Mistlager verursachten N-Verluste nicht enthalten sind. Ein Vergleich der Nutzungsformen ist also hiermit nicht gegeben.

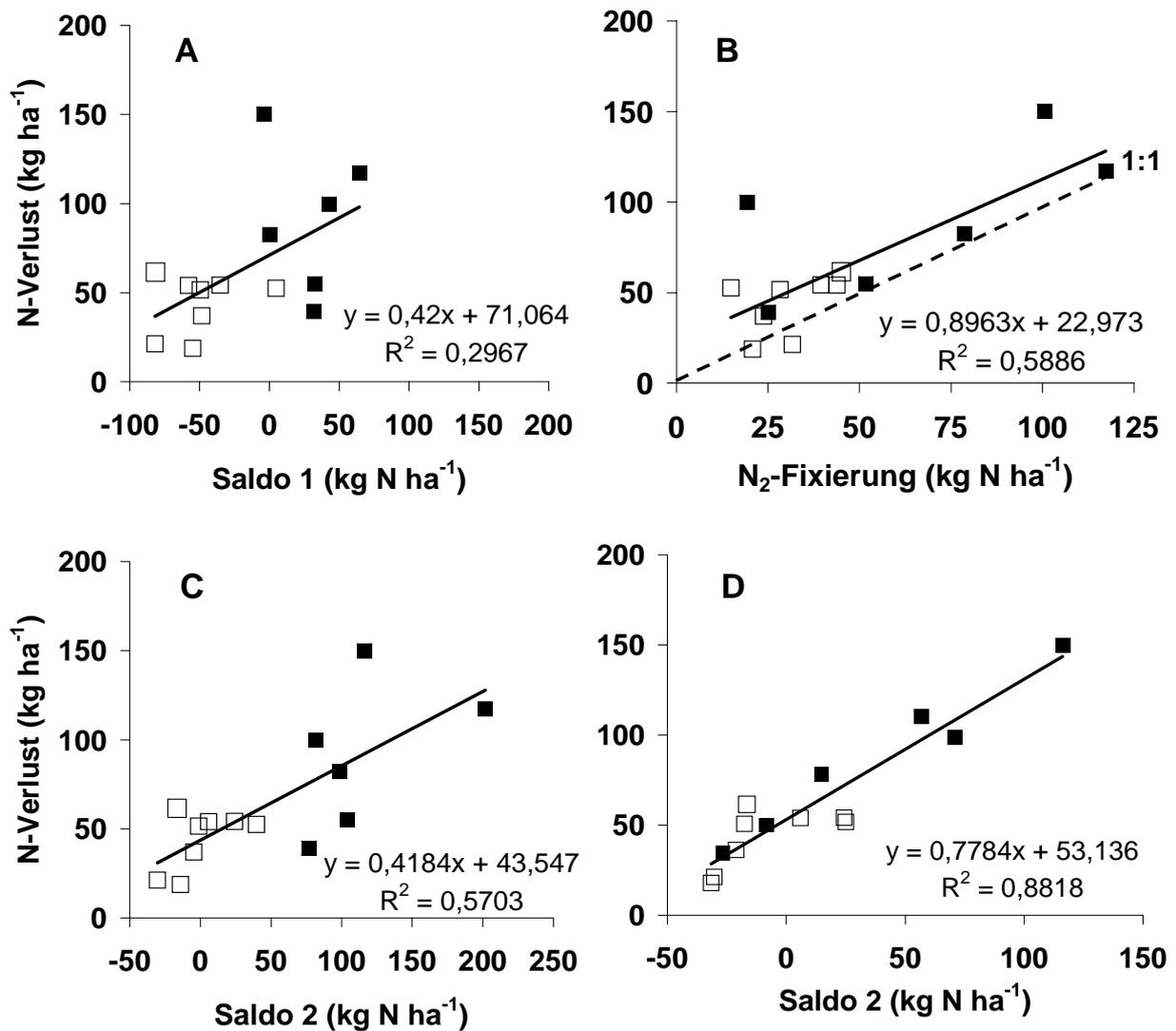


Abb. 5-28: Beziehung zwischen N-Verlust als Summe der Verluste aus Weidetierexkrementen sowie symbiotisch fixiertem N₂ und N-Saldo 1 (A), N₂-Fixierung (B), N-Saldo 2 mit Mistausbringung (C) und N-Saldo 2 ohne Mistausbringung (D) der Weiden- und Mähweidenbilanzen bei der Teilbetriebe und Jahre. Helle Symbole: Teilbetrieb O, dunkle Symbole: Teilbetrieb M.

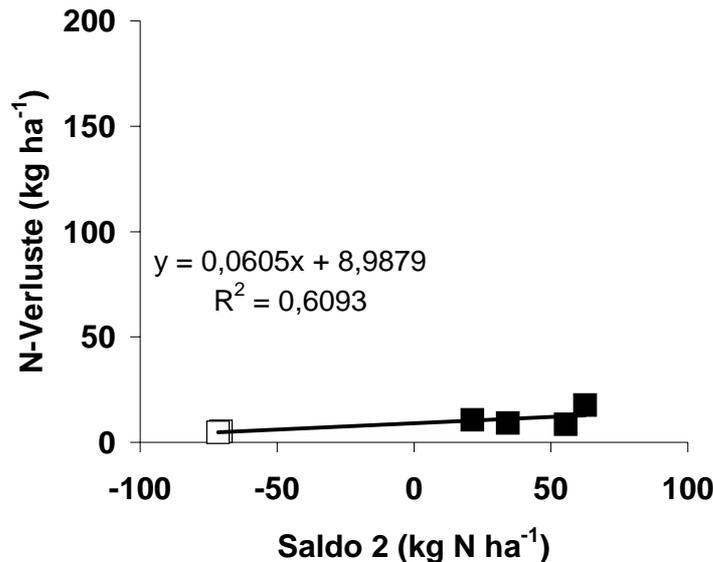


Abb. 5-29: Beziehung zwischen N-Verlust als Summe der Verluste aus Weidetierexkrementen sowie symbiotisch fixiertem N₂ und N-Saldo 2 der Wiesenbilanzen. Helle Symbole: Teilbetrieb O, dunkle Symbole: Teilbetrieb M.

Zusammengefasst zeigen die Ergebnisse zur Beziehung zwischen N-Saldo und N-Verlust, dass

- die N-Verluste mit dem Stickstoff-Saldo ansteigen,
- ohne Einbezug des N aus der symbiotischen N₂-Fixierung nur eine sehr schwache Beziehung ($r^2 = 0,30$) zwischen N-Saldo (Saldo 1) und N-Verlust aus den Weiden- und Mähweidenbilanzen besteht,
- auf die Berücksichtigung des symbiotisch fixierten N aufgrund seiner Beziehung zum N-Verlust ($r^2 = 0,59$) in der Bilanzierung nicht verzichtet werden kann,
- sich der Zusammenhang zwischen N-Saldo (Saldo 2) und N-Verlust aus den Weiden- und Mähweidenbilanzen unter Berücksichtigung der N₂-Fixierung deutlich erhöht ($r^2 = 0,57$) und
- unter Verzicht auf die Berücksichtigung von Mist und Mistsickerwasser in der Flächenbilanzierung der Zusammenhang zwischen N-Saldo (Saldo 2) und N-Verlust deutlich gesteigert werden kann ($r^2 = 0,88$).

5.18 Nutzungseffizienz der Nährstoffe

Die Nutzungseffizienz der Nährstoffe ($N_{eff_{NS}}$) wird wie der N-Saldo häufig als Agrarumweltindikator verwendet, um das Ausmaß der Umweltfreundlichkeit einer Landwirtschaft anzugeben. Konkret jedoch wird die Umweltfreundlichkeit durch die Höhe der Nährstoff-Verluste deutlich. Dies legt eine Prüfung der Beziehung zwischen $N_{eff_{NS}}$ und Nährstoff-Verlust nahe. In dieser Untersuchung ist dies für Stickstoff möglich, da der N-Verlust in Abhängigkeit von der Intensität der Bewirtschaftung variiert, während für Phosphor, K und Mg konstante Verlustwerte angenommen wurden.

Nach den PARCOM-Richtlinien (PARCOM, 1993) wird die Nährstoffeffizienz berechnet aus der Relation der Nährstoffe in pflanzlichen und tierischen Verkaufsprodukten (Ausfuhr) zu den insgesamt zugeführten Nährstoffen. In der Mutterkuhhaltung zählen zu den Verkaufsprodukten im engeren Sinne nur die Absetzer. Bei Teilbetrieb O wurde jedoch auch zusätzlich der ausgeführte Mist berücksichtigt.

Ermittelt wurde $N_{eff_{NS\ 1}}$ aus der Relation von Nährstoff-Ausfuhr (Hoftor: Wirtschaftsdünger, Retention und Silage; Weide: Retention; Mähweide: Silage und Retention; Wiese: Silage) zur Summe aus Nährstoff-Zufuhr, Nährstoff-Deposition und bei Stickstoff zuzüglich des $N_{symbiotisch}$ [22]. Bei $N_{eff_{NS\ 2}}$ wurde zusätzlich die Veränderung des Boden-Nährstoff-Pools durch Subtraktion des Saldo 3 von der Nährstoff-Zufuhr berücksichtigt [23].

$$N_{eff_{NS\ 1}} (\%) = (\text{Nährstoff(NS)- Ausfuhr} * (\text{NS- Zufuhr} + \text{NS-Deposition} + N_{symbiotisch})^{-1}) * 100 \quad [22]$$

$$N_{eff_{NS\ 2}} (\%) = (\text{NS- Ausfuhr} * (\text{NS- Zufuhr} + \text{NS-Deposition} + N_{symbiotisch} - \text{Saldo 3})^{-1}) * 100 \quad [23]$$

Die $N_{eff_{NS\ 1}}$ benachteiligt Teilbetrieb M, der bei positivem N-Saldo 3 den N-Pool des Bodens rechnerisch erhöht, gegenüber Teilbetrieb O, der bei negativem N-Saldo 3 eine Abnahme des N-Pools im Boden herbeiführt. Auch die in Saldo 3 ausgewiesene N-Menge, die bei negativem Saldo eine Verringerung des N-Pools bedeutet, führt über den N-Pfad Boden-Pflanze-Tier-Exkrement zu N-Verlusten und sollte in die Effizienzberechnung einbezogen werden. Die Berücksichtigung von N-Saldo 3 in $N_{eff_{NS\ 2}}$

führt zu einem fairen Vergleich, wie Tab. 5-25 zeigt. Obwohl sich die Teilbetriebe im N-Verlust der Hoftor- und Wiesenbilanz kaum unterscheiden, errechnen sich deutliche Unterschiede in der $\text{Neff}_{\text{N}1}$. Wird die Veränderung des Boden-N-Pools (Saldo 3) mit $\text{Neff}_{\text{N}2}$ berücksichtigt, so ergibt sich ein realistischerer Effizienzvergleich.

Tab. 5-25: Vergleich von Stickstoffnutzungseffizienz 1 und 2

		Hoftorbilanz		Wiesenbilanz	
		O	M	O	M
N-Verlust	(kg N ha ⁻¹)	62	66	5	8
Saldo 3	(kg N ha ⁻¹)	-81	16	-76	47
$\text{Neff}_{\text{N}1}$	(%)	127	12	272	60
$\text{Neff}_{\text{N}2}$	(%)	58	15	96	91

Hoftorbilanz

Die Teilbetriebe unterscheiden sich erheblich in der aus der Hoftorbilanz abgeleiteten $\text{Neff}_{\text{NS}2}$ (Tab. 5-26). Diese Unterschiede sind bedingt durch die neben der Tierausfuhr in Teilbetrieb O zusätzlichen Ausfuhr von Wirtschaftsdünger und Silage, während in Teilbetrieb M 1999/2000 ausschließlich mit den Tieren geringe Nährstoffmengen den Betrieb verließen und in 2000/2001 zusätzlich etwas Mistsickerwasser, das auf anderen Flächen außerhalb des Versuchs ausgebracht wurde. Die $\text{Neff}_{\text{P}2}$ ist mit 76 bzw. 77 % auch in Teilbetrieb M hoch, da im Verhältnis zur geringen P-Zufuhr relativ viel Phosphor mit den Tieren ausgeführt wurde.

Tab. 5-26: Nutzungseffizienz der Nährstoffe ($\text{Neff}_{\text{NS}2}$), abgeleitet aus der Hoftorbilanz (%)

	1999/2000		2000/2001	
	O	M	O	M
N	58	9	40	15
P	95	76	91	77
K	94	11	86	35
Mg	45	1	27	5

Es wird deutlich, dass zwar die Effizienz durch die Ausfuhr des Mistes in Teilbetrieb O gesteigert werden kann, die N-Verluste dadurch allerdings kaum reduziert werden, da die N-Ausbringungsverluste marginal sind (Abb. 5-30). Ein funktionaler Zusammenhang zwischen dem N-Verlust und der $N_{eff_{N_2}}$ ist in der Hoftorbilanz durch den symbiotisch fixierten Stickstoff gegeben. Steigende Mengen symbiotisch fixierten Stickstoffs wirken steigernd auf den Ertrag, den N-Gehalt im Futter, die N-Aufnahme und die N-Ausscheidung der Tiere und somit auch auf den N-Verlust.

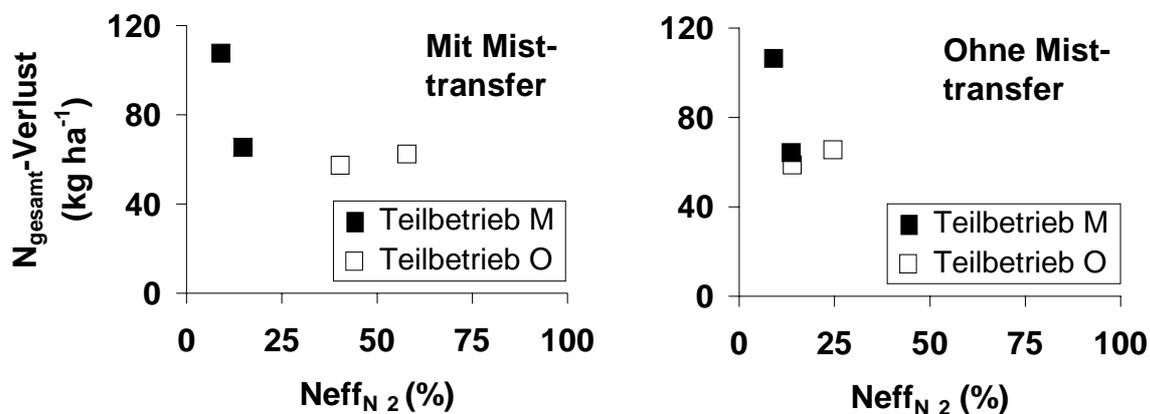


Abb. 5-30: Stickstoffeffizienz 2 ($N_{eff_{N_2}}$) der Hoftorbilanz und N-Verlust als Summe der Verluste aus Stallmistkette, Weidetierexkrementen sowie symbiotisch fixiertem N_2 beider Teilbetriebe und Jahre mit und ohne Transfer von Stapelmist.

Flächenbilanz

Die Beziehung zwischen der N_{eff_N} und dem N-Verlust folgt einer inversen Potenzfunktion mit asymptotischem Verlauf gegen Null (Abb. 5-31, S. 118). Mit zunehmender N_{eff_N} sind geringere N-Verluste in der Fläche verbunden.

Die $N_{eff_{N_2}}$ der Nutzungsformen sind sehr verschieden und steigen mit zunehmender Silagestickstoffausfuhr in der Reihenfolge Weide (10 bis 18 %), Mähweide (45 bis 80 %) und Wiese (81 bis 96 %) an (Abb. 5-31, S. 118). Durch die auf den Weiden alleinige Ausfuhr der N-Retention im Tierkörper ist die $N_{eff_{N_2}}$ sehr niedrig und auf den Wiesen durch die hohe N-Ausfuhr mit der Silage sehr hoch. Gleichzeitig sind die N-Verluste auf der Weide sehr hoch und auf den Wiesen sehr niedrig, denn je mehr Stickstoff mit Silage von der Fläche transportiert wird, desto weniger Stickstoff kann

von den Tieren auf der Fläche aufgenommen und ausgeschieden werden. Die $N_{\text{eff}_{N_2}}$ der Mähweiden liegt in Abhängigkeit vom Silage-N näher an den Weiden oder an den Wiesen. Es ist zu beachten, dass hier die Nutzungsformen in der Stickstoffeffizienz aus den Flächenbilanzen verglichen werden und es sich nicht um einen gesamtbetrieblichen Nutzungsformvergleich handelt (s. Abb. 5-9, S. 88).

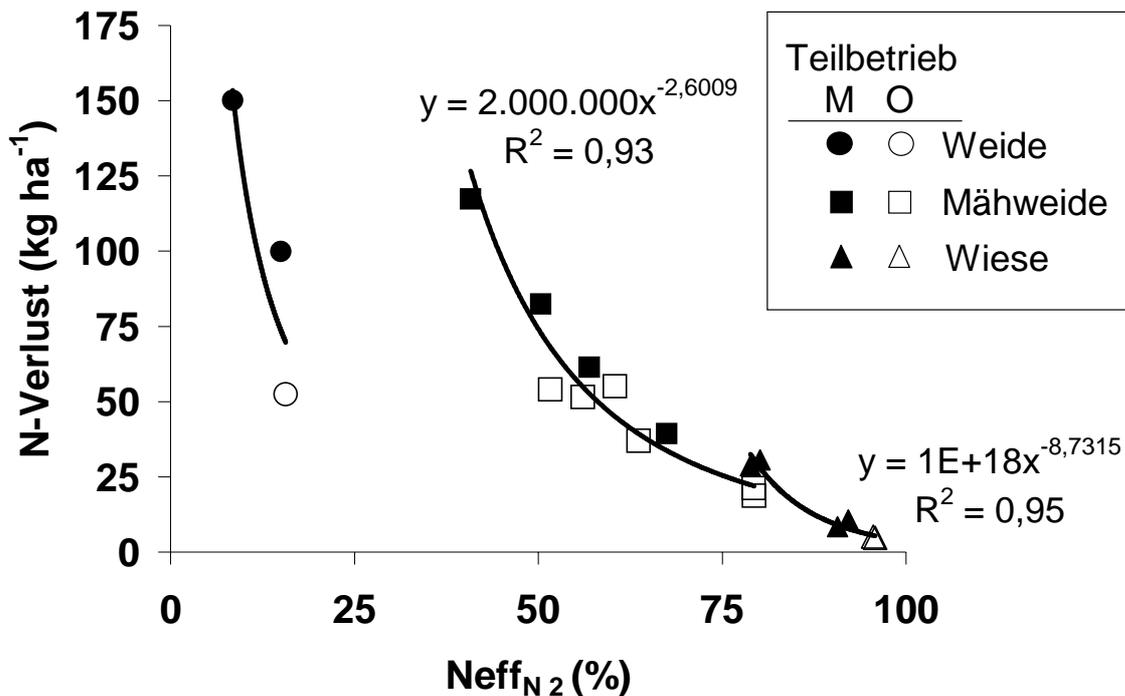


Abb. 5-31: Vergleich der Beziehungen zwischen N-Verlust aus der Fläche und $N_{\text{eff}_{N_2}}$ der Weiden, Mähweiden und Wiesen.

Zusammengefasst zeigen die Ergebnisse zur Nutzungseffizienz der Nährstoffe, dass

- die gesamtbetriebliche N-Effizienz über die symbiotisch fixierte N-Menge in einem funktionalen Zusammenhang mit den N-Verlusten steht,
- enge Beziehungen zwischen den N-Effizienzen und den N-Verlusten in der Flächenbilanz bestehen,
- die $N_{\text{eff}_{N_2}}$ aus den Flächenbilanzen mit Abnahme der Weidenutzung von der Weide über die Mähweide bis zur Wiese steigt,

- die Neff ohne Berücksichtigung der Veränderung des Boden-Nährstoff-Pools (Neff_{NS 1}) Betriebe rechnerisch günstiger erscheinen lässt, die den Nährstoff-Pool verringern und andererseits Betriebe benachteiligt, die den Nährstoff-Pool aufbauen. Daher eignet sich Neff_{NS 1} nicht als Agrarumweltindikator.
- die Neff mit Berücksichtigung der Veränderung des Boden-Nährstoff-Pools (Neff_{NS 2}) als Agrarumweltindikator geeignet ist. Allerdings setzt seine Ermittlung die Schätzung der Nährstoff-Verluste voraus, mit der dann allerdings auch direkt die Emissionen der jeweiligen Landwirtschaftung angegeben werden können.

6 Diskussion

6.1 Versuchsaufbau

Bei dem hier vorgestellten Versuch handelt es sich um einen großflächigen Praxisversuch, bei dem es, anders als im kleinflächigen Exaktversuch, schwierig war, Ceteris paribus-Bedingungen herzustellen. Nicht alle Ausgangsbedingungen waren zu Versuchsbeginn für beide Teilbetriebe gleich. So waren die Böden der Koppeln von Teilbetrieb M bereits im Frühjahr 1999 höher mit Phosphor und Kalium versorgt (Abb. 5-1, S. 58), woraus höhere P- und K-Gehalte in der Silage resultierten. Zudem sind die Koppeln der Teilbetriebe unterschiedlich exponiert. Gegenüber den weitgehend Süd-Ost und Süd exponierten Flächen in Teilbetrieb O sind die Flächen in Teilbetrieb M Nord-Ost exponiert. Auch dies wirkte sich in Abhängigkeit von Witterung und Bodenfeuchte auf Unterschiede in der Energiedichte im Futter aus. Die Pflanzenbestände in Teilbetrieb O wiesen im Frühjahr 1999 vor Weideauftrieb etwas geringere Deckungsgrade an wertvollen Futterpflanzen – *Lolium perenne*, *Trifolium repens* – auf (Tab. A 4, S. 188). Bei *Trifolium repens* zeigte sich dies auch in den Weideperioden beider Versuchsjahre in geringeren Ertragsanteilen (Tab. A 10, S. 193).

Diese Unterschiede zu Versuchsbeginn waren bedingt durch die Zuordnung der Versuchsflächen zu den Teilbetrieben (Abb. 4-1, S. 31) und waren nicht verursacht durch die Bewirtschaftung der Teilbetriebe. Eine andere Zuordnung der Versuchsflächen wäre ohne eine völlige Umgestaltung der fest eingezäunten Koppeln und des Tränkesystems nicht möglich gewesen. Zu Versuchsbeginn stand je Teilbetrieb lediglich eine Tränkestelle zur Verfügung.

Durch die langsame und langfristige N-Wirkung des Stallmistes (JÜLG, 1958) und die Massenbegrenzung bei der Applikation lag nur eine geringfügige kurzfristige N-Wirkung vor. Die Realisierung einer schnellen N-Wirkung, z.B. über Kalkammonsalpeter in Teilbetrieb M mit entsprechend höheren Erträgen und in der Folge höheren Besatzdichten und daraus resultierend größeren Unterschieden zwischen den Teilbetrieben war aufgrund der ökologischen Bewirtschaftung der Lehr- und Forschungsstation Rengen nicht vorgesehen. Aufgrund der oben geschilderten standörtlichen

Unterschiede zu Versuchsbeginn und der langfristigen N-Wirkung des Stallmistes sowie einer geringen Kraffuteraufnahme (Tab. 5-9, S. 72), kann Teilbetrieb M — wenn auch bei anderer Standortkonstellation (Nährstoffversorgung, Exposition, Pflanzenbestand) — als eine zweite Variante einer Nährstoff-extensiven, aber dennoch Nutzungs-intensiven Mutterkuhhaltung angesehen werden.

6.2 Bodenuntersuchung

Die vergleichsweise geringen Mengen an Phosphor (CAL), K (NH_4^+) und Mg (CAL) in der Bodentiefe bis 10 cm dürfen nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Gesamtmengen an Phosphor, K und Mg wesentlich höher sind. Von FINCK (1976) werden sie für die oberen 20 cm in Mineralböden mit 300 bis 3.000 kg P ha⁻¹, mit 6.000 bis 90.000 kg K ha⁻¹ und mit 3.000 bis 30.000 kg Mg ha⁻¹ angegeben.

Aufgrund häufig hoher Schwankungen der Lactatwerte von Jahr zu Jahr ist eine Phosphor-, K- und Mg-Bilanzierung über die Bodenuntersuchung zur Kontrolle der Nährstoffbilanzen nur in langen Zeitabständen möglich (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1992) und scheidet daher für den Zeitraum der vorliegenden Untersuchung aus. Für die Ernährung der Pflanzenbestände ist nicht nur die mit der angewendeten Methodik bestimmte Menge an Phosphor, K und Mg entscheidend. So vermögen Pflanzen auch nichtaustauschbares Kalium aufzunehmen sowie den P-Bedarf teilweise über das leichtverfügbare Phosphat in den Auskleidungen der Regenwurmröhren zu decken (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1992).

6.3 Grünlandertrag, Futterqualität und Futter-, Rohprotein-, Energie- und Nährstoffaufnahme sowie Nährstoffausscheidung der Tiere

Die Werte der genannten Parameter wurden für die Weide alle mit Hilfe der unter Kapitel 4.4.3 beschriebenen Weidekäfigmethode ermittelt. Die Futter- und damit auch die Stickstoffaufnahme im innerbetrieblichen N-Kreislauf bestimmen die N-Ausscheidung und somit auch die unter Kapitel 5.14 aufgeführten N-Verluste. Der Weidekäfigmethode kommt demnach eine zentrale Bedeutung in der vorliegenden Untersuchung zu.

Hinsichtlich der Genauigkeit der Weidekäfigmethode werden in der Literatur die fehlende Erfassung von Trockenmasseverlusten durch Tritt und Faulen sowie während der Futteralterung diskutiert (VORMANN, 1998). Die fehlende Erfassung dieser Trockenmasseverluste, die nicht mit dem Weiderest erfasst werden, kann zu einer Überschätzung der Futteraufnahme beitragen. Um der „Wahrheit“ näher zu kommen, wurde zunächst der im Versuch bestimmten Energieaufnahme der normgerechte Energiebedarf der Tiere gegenübergestellt, wie es auch VON SPRECKELSEN (1954), SALVADORI (1955), MESSIKOMMER (1987) und SCHMIDT et al. (2004) vornahmen (Tab. 6-1, S. 123).

Der Energiebedarf ist von solchen Trockenmasseverlusten unabhängig. Allerdings sind mit dem Energiebedarf nach Richtwerten andere Ungenauigkeiten verbunden. So wird dabei außer Acht gelassen, dass ein höheres Futterangebot eine höhere Futteraufnahme (Abb. A 11 (S. 263); PEYRAUD et al. (2004)) bedingt. Es wird also nicht berücksichtigt, ob die Weidetiere durch hohes Futterangebot Luxuskonsum treiben können, also mehr Energie aufnehmen, als sie für Erhaltung und Leistung benötigen (VON SPRECKELSEN, 1954; KÖHNLEIN und WEISSENBERG, 1955; VOIGTLÄNDER und VOSS, 1979). Zusätzlich besteht Unkenntnis über die genaue Höhe des auf der Weide zusätzlichen Energiebedarfs, denn die Richtwerte wurden bei Stallfütterung ermittelt (WEIßBACH, 1993).

Zwischen der bestimmten Energieaufnahme und dem Energiebedarf ergibt sich eine gute Übereinstimmung in den Stallperioden sowie in der Weideperiode 1999 (Tab. 6-1, S. 123). Dagegen treten in den Weideperioden der Jahre 1999/2000 und 2000/2001 große Abweichungen auf. Die Energieaufnahme auf der Weide — Zufutter inbegriffen — liegt hier mit 15 bis 63 % bei weitem über dem Bedarf nach Richtwerten. Ein ähnliches Bild ergibt sich bei dem Vergleich der im Versuch ermittelten mit der nach Richtwerten abgeleiteten Futter-, Rohprotein- und Nährstoffaufnahme sowie der Nährstoffausscheidung (Tab. A 36 (S. 221) bis A 39). Ebenfalls deutliche Abweichungen, aber auch gute Übereinstimmungen zwischen der nach Differenzmethoden ermittelten Energieaufnahme und dem Energiebedarf ermitteln SALVADORI (1955), VON SPRECKELSEN (1954) und KÖHNLEIN und WEISSENBERG (1955).

Ziel der Gegenüberstellung in Tab. 6-1 ist es, der oben genannten „Wahrheit“ näher zu kommen. Die tatsächliche vom Tier auf der Weide aufgenommene Futter- und Energiemenge sowie die aufgenommene und ausgeschiedene Nährstoffmenge befindet sich in der Spanne zwischen dem an der Energie orientierten Bedarf als unterem Wert und der im Versuch über die Weidekäfigmethode geschätzten Aufnahme bzw. Ausscheidung als oberem Wert. Dabei ist der untere Wert der Spanne der tatsächlichen Futteraufnahme aufgrund eines anzunehmenden Luxuskonsums eher unterschätzt, der obere Wert aufgrund unterschätzter Weidereste eher überschätzt. Dies betrifft neben der Energieaufnahme auch die Futter- und Nährstoffaufnahme, sowie die Nährstoffausscheidung und den Stickstoffverlust, ebenso wie die Nutzungseffizienz der Futtertrockenmasse und die Stickstoffbilanz. Dies wird in den entsprechenden Kapiteln diskutiert.

Tab. 6-1: Vergleich der im Versuch bestimmten Energieaufnahme mit dem Energiebedarf nach GEH (1986), WEIßBACH (1993) und GfE (2001)

Teil- betrieb	1999 Weide	1999/2000		2000/2001	
		Stall	Weide	Stall	Weide
Energieaufnahme, im Versuch ermittelt (MJ NEL GV⁻¹ d⁻¹)					
O	52,9 (100)	46,0 (100)	69,1 (100)	44,4 (100)	61,8 (100)
M	54,3 (100)	49,5 (100)	79,4 (100)	43,8 (100)	57,2 (100)
Energiebedarf, nach Richtwerten ermittelt (MJ NEL GV⁻¹ d⁻¹)					
O	49,4 (93)	45,3 (98)	52,2 (76)	43,7 (98)	48,8 (79)
M	51,6 (95)	47,9 (97)	48,8 (61)	43,2 (99)	49,6 (87)

GfE: Ausschuß für Bedarfsnormen der GEH (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie); Werte in (): %

Der Energiebedarf wurde entsprechend den Formeln in Kap. 4.5 berechnet. Im Stall wurde ein zusätzlicher Bedarf für die letzten 6 Wochen vor dem Kalben mit 13 MJ NEL d⁻¹ von der 6. bis zur 4. Woche und mit 18 MJ NEL d⁻¹ ab der 3. Woche bis zur Kalbung berücksichtigt. Für die Kalbung wurden 1.500 MJ NEL je Kalb angesetzt.

Das Auftreten der höchsten Erträge in beiden Teilbetrieben im niederschlagsreichsten Jahr 2000 mit den höchsten Sommerniederschlägen geht einher mit dem von KÖNEKAMP et al. (1959) nachgewiesenen Zusammenhang einer ertragssteigernden Wirkung zunehmender Sommerniederschläge. Ertragssteigernd wirkt auch der Weißklee (FRAME und BOYD, 1984; DYCKMANS, 1986; EVANS et al., 1990), der von den beiden Versuchsjahren im ertragsreichsten Jahr 2000 die höchsten Ertragsanteile zeigt. Die Nährstoffzufuhr mit Stalmist unterscheidet sich zwischen den

Jahren kaum (vgl. Tab. 5-22, S. 100) und kann aufgrund der geringen Ertragssteigerung von etwa 10 Prozentpunkten (WEISE, 1961) die Jahresunterschiede kaum erklären.

Die geringere Futteraufnahme im Stall von 7,3 bis 7,6 kg T GV⁻¹ d⁻¹ gegenüber der Futteraufnahme auf der Weide von 8,4 bis 12,1 kg T GV⁻¹ d⁻¹ ist einerseits auf den höheren Energiebedarf während der Weideperiode (Tab. 6-1, S. 123) und andererseits auf die Möglichkeit der Futterselektion während des Weideganges zurückzuführen. Letzteren Grund benennt auch STEINWIDDER (2001) für die bei Weidegang mit Milchkühen im Vergleich zu Stallgrünfütterung höhere Grünfutteraufnahme. Zudem besteht zwischen dem Futterangebot und der Weidefutteraufnahme ein positiver Zusammenhang (STEHR, 1974; PEYRAUD et al., 2004), der sich auch in der eigenen Untersuchung einstellt (Abb. A 11, S. 263). In diesem Zusammenhang wurde der Luxuskonsum bereits oben erwähnt.

In der täglichen Futteraufnahme wurde eine weite Spanne von 3 bis 18 kg T GV⁻¹ ermittelt. MESSIKOMMER (1987) gelangt mit Hilfe der Differenzmethode ebenfalls zu einer sehr weiten Spanne in der Futteraufnahme von 7,7 bis 25,7 kg organische Substanz (OS) je Milchkuh und Tag. In ihren Untersuchungen erreicht die Futteraufnahme im Mittel aller Koppeln nach der Differenzmethode mit 14,9 kg OS Kuh⁻¹ d⁻¹ das gleiche Niveau, wie die nach den Indikatorverfahren bestimmten Futteraufnahmen von 15,1 und 15,3 kg OS Kuh⁻¹ d⁻¹. Allerdings sind die Schwankungen zwischen den Koppeln dreimal höher als beim Indikatorverfahren. Dies kann in den sich im Jahresverlauf teilweise kompensierenden Störfaktoren wie Fresszeitzuwachs oder ungleiche Produktivität von Angebots- und Weiderestflächen begründet sein (VOIGTLÄNDER und VOSS, 1979).

Die Mannigfaltigkeit der Einflussfaktoren auf die ermittelte Futteraufnahme (s. Kap. 2.2.2) erschwert den Vergleich mit der Literatur, der nur eine grobe Orientierung geben kann. Über ähnliche Futteraufnahmen wie in der vorliegenden Untersuchung berichten SUTTER et al. (1998) und BERRY et al. (2002). SUTTER et al. (1998) ermitteln mit der Indikatormethode auf einer Alpweide bei Aberdeen Angus Mutterkühen je Mutterkuh-Kalb-Paar eine tägliche Futteraufnahme von 9,6 kg T GV⁻¹. In einer Untersuchung von BERRY et al. (2002) mit der Alkan-Indikatormethode auf Alpwei-

den nehmen schottische Hochlandrinder je Mutterkuh-Kalb-Paar bei intensiver Beweidung (7 Kühe ha⁻¹) 12,8 kg T GV⁻¹ d⁻¹ und bei extensiver Beweidung (0,4 Kühe ha⁻¹) 10,6 kg T GV⁻¹ d⁻¹ auf.

Die N-Retention mit etwa 14 bis 22 g GV⁻¹ d⁻¹ nimmt mit 4 bis 9 % einen sehr geringen Anteil an der N-Aufnahme ein. Dabei ist die Höhe des Anteils fast ausschließlich durch die N-Aufnahme bedingt. Der der Literatur entnommene N-Gehalt im Tierkörper liefert nur einen geringen Erklärungsbeitrag. Dies trifft ebenso auf Phosphor und vor allem auf K und Mg zu, denn K und Mg werden nach der Aufnahme mit dem Futter zu etwa 99 und 98 % über die Exkremente wieder ausgeschieden.

In einer nur einwöchigen Versuchsperiode ermitteln SUTTER et al. (1998b) auf einer Alpweide für Mutterkuh und Kalb eine N-Aufnahme von 291 g je Tag. Sie berechnen bei einer hohen Tageszunahme der Kälber von 1.290 g eine N-Verwertung von 11,5 %. Diese liegt deutlich über der in der eigenen Untersuchung errechneten mittleren N-Verwertung beider Versuchsjahre in Höhe von 5,5 % (O) und 4,7 % (M). Die Unterschiede resultieren auf einer deutlich höheren N-Aufnahme mit dem Weidefutter in der eigenen Untersuchung. Die Ergebnisse sind allerdings nicht direkt miteinander vergleichbar, da zum einen die Versuchszeiträume sehr verschieden sind und zum anderen die N-Aufnahme innerhalb einer Vegetationsperiode vom sich verändernden N-Gehalt des Weidefutters sowie dem Futterangebot abhängt. Auch zwischen den Jahren können bspw. witterungsbedingt Unterschiede auftreten. So war die N-Verwertung in der Weideperiode 1999 bei geringerem Weideertrag und N-Gehalt mit 7,9 % (O) bzw. 8,7 % (M) höher als in den beiden nachfolgenden Versuchsjahren.

Die unterschiedliche Exposition der Koppeln beider Teilbetriebe trug in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte über eine raschere Erwärmung des Bodens zu einem Entwicklungsvorsprung der Pflanzen von Teilbetrieb O gegenüber den weitgehend Nord-Ost exponierten Flächen von Teilbetrieb M bei. Dies kann in der trockenen Vegetationsperiode 1999 u.a. ursächlich gewesen sein für die um 0,4 MJ NEL kg T⁻¹ deutlich niedrigere Energiedichte in der Silage von Teilbetrieb O. Im Jahr darauf ist dieser Unterschied nicht erkennbar. Dies ist vermutlich zurückzuführen auf die Flächennutzung in Teilbetrieb M, durch die auf den Wiesen ein später zweiter und dritter Schnitt entstand (Tab. A 19, S. 211). Den DLG-Futterwerttabellen zufolge ist die E-

nergiedichte in späten Folgeaufwüchsen geringer als im ersten Schnitt, so dass dadurch im Vergleich zu Teilbetrieb O mit weiterhin überwiegend einem Schnitt die mittlere Energiedichte in der Silage vergleichsweise geringer ausfiel (DLG, 1997). Der Futterwert des Weidefutters wird nach Untersuchungen von WEISE (1961) durch Stallmistdüngung erhöht. In den eigenen Untersuchungen wurde insbesondere *Lolium perenne* dadurch gefördert. So ist die Energiedichte im Weidefutter der mit Mist gedüngten M-Koppeln bereits 1999 um $0,5 \text{ MJ NEL kg T}^{-1}$ wesentlich größer.

In allen drei Weideperioden wurde für das scheinbar aufgenommene Weidefutter eine höhere Futterqualität ermittelt als im angebotenen Weideaufwuchs. Zu ähnlichen Ergebnissen gelangen SCHMIDT et al. (1999). Die Autoren führen die Unterschiede auf Futterselektion zurück. In der vorliegenden Arbeit war die Qualität des Weideaufwuchses deshalb geringer als die des aufgenommenen Weidefutters, weil der Aufwuchs auch die unteren weniger wertvollen Pflanzenteile beinhaltet, die von den Tieren als Weiderest übrig gelassen wurden und daher nicht im aufgenommenen Weidefutter erschienen. SCHMIDT et al. (2004b) ermitteln im aufgenommenen Futter mit Hilfe der n-Alkan- und Kotstickstoff-Methode in 5 Messperioden von 7 bis 15 Tagen eine um durchschnittlich 6 bis 7 Einheiten höhere Verdaulichkeit sowie eine um etwa 1 MJ kg T^{-1} höhere umsetzbare Energie. Auch MANUSCH et al. (1993) ermitteln im aufgenommenen Futter eine um $0,4$ bis $0,5 \text{ MJ NEL kg T}^{-1}$ höhere Energiedichte, einen höheren Rohprotein- und geringeren Rohfasergehalt als im angebotenen Futter.

6.4 Lebendmasse

Datenerfassung

In der Literatur wird mehrfach erwähnt, dass Wiegungen an drei aufeinanderfolgenden Tagen eine größere Genauigkeit liefern als einmalige Wiegungen (BARTLETT, 1926; LUSH und BLACK, 1927; LUSH et al., 1928; BARTSCH, 1988; HUTH et al., 1988). Nach BARTSCH (1988) ist diese Methode besonders dann zweckdienlicher, wenn nicht, wie in der vorliegenden Untersuchung, die durchschnittliche Gewichtsveränderung von Tiergruppen (Herden), sondern von Einzeltieren im Vordergrund

steht. Andere Autoren sehen keine Vorteile bei dreimaligem Wiegen (HODGSON und KNOTT, 1942; BAKER et al., 1946 und 1947).

Nach Ergebnissen von BARTSCH (1988) beträgt bei einem Kuhgewicht von 600 kg die mittlere Abweichung bei einmaliger Wiegung 3,4 kg und bei Wiegung an drei aufeinanderfolgenden Tagen 1,4 kg. Die geringsten täglichen Gewichtsschwankungen haben Kälber, die höchsten haben Kühe mit hoher Milchleistung, denn mit steigender Futter- und Wasseraufnahme erhöht sich die absolute Gewichtsschwankung im Tagesverlauf (BARTSCH; 1988). HUGHES (1976) hält unter den Umständen, dass wiederholtes Wiegen durch die zusätzlichen Störungen zu einer Gewichtsabnahme führen kann, Mehrfachwiegen bei Tieren, die oft mit ihrem Betreuungspersonal zu tun haben, für angebrachter, als für Tiere, die weniger an Menschen gewöhnt sind. Für eine einmalige Wiegung der Tiere in der eigenen Untersuchung sprach, dass die Tiere anfangs noch recht scheu waren und über eine weite Strecke von bis zu 2,5 km von den Weiden zur manuellen Wiegung in den Stall getrieben werden mussten. Außerdem interessierte bei den Kühen nur der Durchschnittswert der Lebendmasse; wichtiger war die Gewichtsmessung der Kälber, welche geringeren Gewichtsschwankungen unterliegen.

Zur Klärung der Frage, ob das einmalige manuelle Wiegen in der eigenen Untersuchung genau genug war, wurden die individuellen Kuhgewichte aus dem Datensatz der elektronischen Wiegung von drei aufeinander folgenden Tagen zur jeweils ähnlichen Uhrzeit gegen den Mittelwert der Gewichte dieser drei Tage auf signifikante Unterschiede geprüft. (Tab. 6-2, S. 128). Danach unterscheiden sich die Gewichte bei einmaliger Wiegung nicht signifikant vom Mittelwert der Wiegung an drei aufeinander folgenden Tagen. Da sich zudem die Tiergewichte aus manueller und elektronischer Wiegung am gleichen Tag nicht signifikant unterscheiden (Tab. A 55, S. 231), kann die angewendete einmalige manuelle Wiegung (Kap. 4.4.6) zur Erfassung des mittleren Tiergruppengewichts als ausreichend genau angesehen werden.

Tab. 6-2: Vergleich der Mediane bei einmaligem Wiegen der Mutterkühe am 1., 2. und 3. Tag mit der Wiegung an drei aufeinander folgenden Tagen (Mittelwert vom 1. bis 3. Tag) aus elektronischen Wiegungen in Teilbetrieb O der Weideperiode 2001

Anzahl Wiegungen	Wiegetag			Mittelwert 1. bis 3. Tag (kg)	Signifikanz
	1 (kg)	2 (kg)	3 (kg)		
186	736	737	744	739	n.s.
20	727	729	726	725	n.s.
20	735	746	743	741	n.s.

n.s.: nicht signifikant; Die Prüfung auf signifikante Unterschiede zwischen jeweils dem 1., 2. bzw. 3. Tag und dem Mittelwert aus diesen Tagen wurde mit dem Wilcoxon-Test für Paardifferenzen aufgrund nicht normalverteilter Kuhgewichte durchgeführt.

Lebendmasseentwicklung der Kühe

Die Lebendmasseveränderung der Kühe in den Stallperioden ist sehr stark geprägt von der mit der Kalbung verbundenen Verringerung des Körpergewichts. Eine Mutterkuh der Rasse Charolais wird durch die Geburt eines 45 kg schweren Kalbes um 60 kg leichter (PETIT und AGABRIEL, 1989). Unter Berücksichtigung der durch die Kalbung bedingten Gewichtsverringern nehmen die Kühe in den Stallperioden an Lebendmasse zu ($\text{g Kuh}^{-1} \text{d}^{-1}$; 1999/2000: 193 (O), 446 (M); 2000/2001: 66 (O), 87 (M)). Dabei dürfte die höhere Tageszunahme der Kühe in Teilbetrieb M im Jahre 1999/2000 auf eine höhere Energiedichte der Silage von + 0,4 MJ NEL kg T^{-1} zurückzuführen sein.

Nach STEINHARDT et al. (1995) haben Muttertiere in der ersten und zweiten Laktation neben der Gravidität und der Laktationsleistung noch eine beträchtliche Körperwachstumsleistung zu erbringen. Zu Beginn der Datenerhebungen im Sommer 1999 waren 55 % der Kühe in beiden Teilbetrieben erstlaktierend, im ersten Versuchsjahr noch 43 % und im zweiten Versuchsjahr 0 %. Daher sind die Unterschiede zwischen den Jahren in der Lebendmassezunahme der Kühe zum Teil auch altersbedingt.

Einerseits ist deshalb eine gleiche Verteilung der Kühe nach Laktationsnummer von Bedeutung, andererseits aber auch weil die mittleren Wachstumsraten der Kälber von Mutterkühen in der ersten Laktation kleiner sind als die von Mutterkühen in höheren Laktationen (STEINHARDT et al., 1995). Die Autoren berichten, dass sich die Wachstumsleistung der Kälber von Kühen in der zweiten und in höheren Laktationen

nur wenig unterscheiden. Mit der Einteilung der Kühe in beide Herden nach dem Kriterium der Herkunft wurde die Laktationsnummer indirekt berücksichtigt, da die zugekauften reinrassigen Limousintiere erstlaktierend und die Kreuzungstiere überwiegend mehr als eine Laktation erbracht hatten.

Lebendmasseentwicklung der Kälber

Im Winter — Lebensalterabschnitt 0 bis 150 — des zweiten Versuchsjahres 2000/2001 zeigten die Kälber beider Herden eine höhere Zunahme als im ersten Versuchsjahr. Dies ist vermutlich zurückzuführen auf die im ersten Versuchsjahr noch jüngeren und im Wachstum befindlichen Kühe mit einer niedrigeren Laktationsnummer und folglich einer niedrigeren Laktationsleistung. Dies bestätigen Untersuchungen bei Milchvieh, wonach Kühe mit der 3., 4. und 5. Laktation sowohl gegenüber jüngeren als auch gegenüber älteren Kühen die höchsten Laktationsleistungen erzielen (SCHWARK und OEHLER, 1972). Diesem Effekt wirkt in Teilbetrieb M eine Verringerung der Energiedichte in der Silage entgegen, weshalb die Steigerung in der Zunahme mit $+ 42 \text{ g Kalb}^{-1} \text{ d}^{-1}$ geringer ausgefallen sein dürfte als in Teilbetrieb O ($+ 81 \text{ g Kalb}^{-1} \text{ d}^{-1}$).

Auf der Weide des zweiten Versuchsjahres — Lebensalterabschnitt 150 bis 300 — traten im Vergleich zum ersten Versuchsjahr trotz einer höheren Laktationsnummer der Kühe geringere Zunahmen auf als im Winter. Dies hatte mehrere Gründe. Einerseits waren die Energiedichte und die Erträge in Teilbetrieb M im zweiten Versuchsjahr geringer als im ersten und andererseits hatten die im zweiten Versuchsjahr schwereren Kühe einen um etwa 8 % höheren Erhaltungsbedarf. Ähnlich der Weideperiode 1999 verringern sich bei Sommertrockenheit auch in der Weideperiode 2001 die täglichen Zunahmen. Bereits ARENS (1963) ermittelte auf dem damaligen Versuchsgut Rengen bei Jungvieh geringere tägliche Zunahmen in Trockenjahren und höhere in Nässejahren. In Teilbetrieb M ist der Witterungseinfluss durch die Zufütterung von Silage und Kraftfutter überdeckt. Offenbar konnten im Vergleich zur Weideperiode 2000 die Kühe ihr Milchleistungspotential nicht voll ausschöpfen und/oder die Kälber waren nicht in der Lage, zur Aufrechterhaltung der täglichen Zunahmen genügend Energie aus dem Weidefutter aufzunehmen. Dies ist besonders mit zunehmendem Lebensalter ausgeprägt, wenn sich einerseits saisonbedingt die Weideerträge verringern, sich andererseits aber vom vierten bis zum neunten Lebensmonat

der tägliche Energiebedarf wesentlich erhöht, bspw. bei intensiv wachsenden Fleckviehbulenkälbern um 49 % (SCHOLZ et al., 2002). Parallel dazu verringert sich die Milchleistung der Mutterkühe (RUPERT et al., 1999), und so zeigt sich in älteren Lebensaltersabschnitten der Kälber eine Abhängigkeit der Tageszunahmen von der Menge und der Qualität des Weidefutters (SCHOLZ et al., 2002). Dies wird auch deutlich, wenn man die Energiebedarfsdeckung der Kälber nach BAILEY et al. (1981) betrachtet, wonach die Kälber am 44. Lebenstag ihren Energiebedarf zu 86 % und mit etwa 7 Monaten nur noch zu 19 % über die Milch sichern.

Die Zufütterung von 0,4 kg Kraftfutter je Kalb und Weidetag in Teilbetrieb M des zweiten Versuchsjahres ist im Vergleich zu den bei SCHOLZ et al. (2002) verabreichten 2,7 kg Getreide sehr niedrig. Die Absicht lag mit der Zufütterung nicht in der Herbeiführung höherer Zunahmen, sondern in Übereinstimmung mit anderen Autoren (MARTIN und REHBOCK, 1997; WAGNER et al., 1998; WARZECHA, 1999) in einem Ausgleich, wenn die Milchleistung der Mutterkühe bzw. der Weideaufwuchs nicht für die Ausschöpfung des Wachstumsvermögens als ausreichend erscheinen. So wurde bei Weidefutterknappheit während der Zufütterung von Silage auch Kraftfutter angeboten. Dies erfolgte aber nur in Teilbetrieb M, da hier die Weidefläche gegenüber Teilbetrieb O verringert war.

6.5 Gesundheit und Fruchtbarkeit

In Untersuchungen von WENDT (1992) zur Eignung von Vatrassen in der Rindfleischherzeugung kam die Rasse Limousin auf die beste Normalgeburtenrate von 97,3 %. Nach WENDT (1992) verweisen auch viele andere Autoren bei Limousin-Genträgern auf leichte Geburtenverläufe. Auch im eigenen Versuch erfolgten die Kalbungen problemlos.

Zu Beginn der Stallperiode 1999/2000 wurde ein etwas dünnerer Kot in beiden Herden beobachtet. Die Tiere zeigten darüber hinaus keine Auffälligkeiten. Möglicherweise besteht ein Zusammenhang mit der Aufnahme K-reichen Futters, bei dem mit Ausnahme eines höheren Kotwassergehaltes und einer gesteigerten renalen Exkretion keine gesundheitlichen Störungen zu erwarten sind (JEROCH et al., 1999). Aller-

dings kann eine überschüssige K-Aufnahme eine gestörte Mg-Resorption und damit Tetanie auslösen (KIRCHGESSNER, 1992). Hohe Kaliumgehalte fördern die Magnesiumausscheidung wie auch hohe Phosphor- und Kalziumgehalte im Futter (CHICCO et al., 1973). Typische Symptome der Tetanie, wie Appetitlosigkeit, Gleichgewichtsstörungen und Muskelkrämpfe wurden nicht beobachtet.

Im Mittel beider Versuchsjahre nahmen die Tiere in den Stallperioden täglich je GV 27 (O) bzw. 30 (M) g P, 157 (O) bzw. 208 (M) g K und 16 (O) bzw. 15 (M) g Mg auf. Die GfE (2001) empfiehlt für Milchkühe bei einer Milchleistung von 10 kg d⁻¹ eine tägliche Aufnahme von 32 g P, 125 g K und 18 g Mg je GV, womit die K-Aufnahme über den Versorgungsempfehlungen liegt. Dabei ist zu beachten, dass die Nährstoffaufnahme auf die Mutterkuh-Kalb-Paar-GV bezogen ist und die Mutterkuh-GV mehr Nährstoffe mit dem Stallfutter aufnimmt als die Kalb-GV.

6.6 Nutzungseffizienzen des Futters

Die im Vergleich zum Stall geringere Nutzungseffizienz der auf der Weide aufgenommenen Futtertrockenmasse (N_{eff_T}) kann zum Teil methodisch begründet sein und zwar in einer gewissen Überschätzung der mit der Weidekäfigmethode ermittelten Weidefutteraufnahme (s. Kap. 6.3). Unter Berücksichtigung der vom Energiebedarf abgeleiteten Futteraufnahme ergibt sich eine Spanne für die Nutzungseffizienz des Weidefutters (Tab. A 45, S. 225).

Bei niedrigerem Futterangebot (1999; Abb. 5-3, S. 62) ist die Spanne in der Nutzungseffizienz klein, d.h. die nach den beiden Methoden (Weidekäfig und Energiebedarf) berechneten Nutzungseffizienzen unterscheiden sich wenig. Bei zunehmendem Futterangebot und dadurch steigender Futteraufnahme (Abb. A 11, S. 263) wird die Spanne zwischen den Nutzungseffizienzen beider Methoden infolge Luxuskonsums - Energieaufnahme überschreitet den Energiebedarf - größer. Um die N_{eff_T} der Herde auf der Weide auf einem ähnlichen Niveau zu halten wie im Stall, wäre es bspw. in witterungsbedingt ertragsreichen Jahren erforderlich, Luxuskonsum zu vermeiden. Das überschüssige Futter sollte dann von der Fläche entfernt und evtl. einer anderen Verwertung zugeführt werden.

6.7 Weideleistung

Zu ähnlichen Ergebnissen der Umwandlung der Pflanzenerträge in tierische Nutzleistungen kommen VOIGTLÄNDER et al. (1989). Sie verglichen die Weideformen Standweide und Umtriebsweide bei Beweidung mit Rindern der Rasse Fleckvieh (312 kg Auftriebsgewicht; 742 bzw. 809 g Tageszunahme je Rind; 9 Rinder auf 1,44 ha) und ermittelten Umwandlungsraten von 61 % auf der Standweide und von 70 % auf der Umtriebsweide.

Die Weideleistung als Ausdruck der natürlichen Produktivität eines Standortes sagt nichts aus über die Qualität des Weidefutters, denn dieselbe Weideleistung kann sowohl durch hohe Erträge und schlechte Ausnutzung des Futters als auch durch niedrige Erträge und gute Ausnutzung erzielt werden (VOITGLÄNDER und VOSS, 1979). Zudem wird die Produktivität des Standortes dann unterschätzt, wenn die Tiere Luxuskonsum treiben können. Dies kann ursächlich sein für die im Jahr 2000 ermittelten niedrigen Umwandlungsraten von 62 % (O) und 57 % (M). Aus der Kalbinnenaufzucht ist bekannt, dass Luxuskonsum schlecht verwertet wird (MÜNGER, 2002).

Die in Teilbetrieb M etwas höhere Weideleistung im Jahr 2000 gegenüber 2001 spiegelt nicht den wesentlich höheren Ertrag im Jahr 2000 wider. Die Weideleistungen verhalten sich wie 112:100 (2000:2001), die Energieerträge dagegen wie 153:100 (2000:2001). Dies zeigt sich auch im Vergleich der Energieaufnahme mit dem Futter und dem Energiebedarf (Tab. 6-1, S. 123). So liegt in Teilbetrieb M im Jahr 2000 die Energieaufnahme mit dem Futter auf der Weide um 63 % über dem Energiebedarf, in 1999 und 2001 dagegen nur um 5 % und 15 %. Möglicherweise hat ein Luxuskonsum in 2000 den vermutlich positiven Effekt der höheren Energiedichte auf die Umwandlungsrate überdeckt, denn in 1999 und 2001 treten in Teilbetrieb M sowohl höhere Energiedichten als auch höhere Umwandlungsraten auf.

Zu beachten ist auch, dass die zur Berechnung der Weideleistung verwendeten Energiebedarfsnormen bei Stallhaltung ermittelt wurden (VOIGTLÄNDER und VOSS, 1979; WEIßBACH, 1993). Möglicherweise ist der in der vorliegenden Arbeit berücksichtigte Sicherheitszuschlag von 15 % zum Erhaltungsbedarf der Rinder auf der Weide zu niedrig. Dies kann aus den vorliegenden Daten allerdings nicht mit Sicher-

heit gefolgert werden, da die Unterschiede zwischen Energieaufnahme und Energiebedarf sowohl auf einer möglichen Ungenauigkeit im Sicherheitszuschlag, auf einem Luxuskonsum und auch in der zur Schätzung der Futteraufnahme verwendeten Weidekäfigmethode selbst liegen können (s. Kap. 6.3).

6.8 Symbiotische N₂-Fixierung

Die Schätzgleichung [7] zur Quantifizierung der N₂-Fixierungsleistung basiert auf Ergebnissen, die unter Schnittnutzung gewonnen wurden. Es stellt sich daher die Frage nach der Übertragbarkeit auf Weidenutzung, denn durch den Rückfluss von Stickstoff mit den Exkrementen könnten sich Abweichungen ergeben (WEIßBACH, 1995). Solange allerdings keine besseren Ergebnisse speziell für Weidenutzung vorliegen, wird empfohlen, die N₂-Fixierungsleistung unabhängig von der Nutzungsart zu schätzen.

Die mit Gleichung [7] für die Koppeln geschätzte fixierte N-Menge variiert zwischen 2,3 und 4,2 kg N je Ertragsanteilsprozent Weißklee und liegt damit im unteren Bereich der in der Literatur angegebenen Menge fixierten Stickstoffs von 3 bis 7 kg N je Ertragsanteilsprozent (s. Kap. 2.1.5).

6.9 Stickstoffverluste

In Kapitel 6.3 wurde die Genauigkeit der Weidekäfigmethode im Vergleich mit der Methode des Energiebedarfs nach Richtlinien bezüglich der Futter- und Stickstoffaufnahme und -ausscheidung diskutiert. Dabei ergaben sich teilweise deutliche Abweichungen. Dies betrifft ebenso die N-Verluste aus Weidetierexkrementen (Tab. A 40, S. 223). Dabei ist der untere Wert (Bedarf) eher unterschätzt, der obere Wert (Weidekäfigmethode) eher überschätzt. Die vom Energiebedarf abgeleiteten N-Verluste sind mehr vom N-Gehalt im aufgenommenen Futter als von der tierischen Leistung abhängig. Sie betragen zwischen 54 und 92 % der über die Weidekäfigmethode ermittelten N-Verluste. Die tatsächlichen N-Verluste aus den Weidetierexkrementen lagen innerhalb dieser Spanne zwischen Bedarf und Weidekäfigmethode.

In Kapitel 5.14 wurde erwähnt, dass mehr als die Hälfte der gesamten betrieblichen N-Verluste auf den Entstehungsort Weidetierexkreme und auf die Bindungsform Nitrat entfallen. Da dies eine sehr wichtige Aussage ist, wird folgend geprüft, wie sich die Anteile der N-Verluste nach Entstehungsort und Bindungsform verändern, wenn die N-Verluste aus den Weidetierexkrementen nicht nach der Weidekäfigmethode eher überschätzt, sondern vom Energiebedarf der Tiere abgeleitet eher unterschätzt berücksichtigt werden (Tab. A 41 (S. 223) bis A 44).

Dabei wird zusätzlich geprüft, wie sich die N-Verluste nach Entstehungsort und Bindungsform ändern, wenn ein höherer NH₃-Verlust aus der Lagerung des Mists von 30 statt 20 % angesetzt wird. Denn möglicherweise sind die 20 % NH₃-Verlust zu niedrig angenommen. In der Literatur wurde von NH₃-Verlusten zwischen 3 bis über 20 % berichtet (ZIMMERMANN, 1993; DEWES, 1995; AMON et al., 2001; KOSCH, 2003). Die dabei vorhandenen Lagerungszeiten zwischen 80 und 177 Tagen sind allerdings wesentlich kürzer als die im eigenen Versuch mit etwa 270 Tagen.

Nach einer von DEWES (1995) aus Literaturdaten abgeleiteten Regressionsgleichung ergeben sich Gesamt-N-Verluste von 34 % bei einer Lagerung von 270 Tagen. Die Werte streuen allerdings stark, einerseits aufgrund der unterschiedlich ausgeprägten Einflussfaktoren (bspw. pH-Wert, NH₄⁺-N), andererseits aufgrund unterschiedlicher Wege der Kalkulation des N-Verlusts (DEWES, 1995). Aus Untersuchungen von ZIMMERMANN und SCIBORSKI (1987) zu N_{gesamt}-Verlusten aus Dungstapeln ergibt sich bereits nach 30 Lagerungstagen ein nur noch geringfügiger Anstieg der Verluste von 27 % auf 30 % nach 150 Tagen.

Die Prüfung ergibt, dass selbst wenn die vom Energiebedarf nach Richtlinien abgeleiteten N-Verluste aus den Weidetierexkrementen unterschätzt und die N-Verluste aus der Lagerung des Mists mit 30 % hoch angesetzt werden, immerhin noch etwa die Hälfte der gesamtbetrieblichen N-Verluste auf die Weidetierexkreme entfällt und Nitrat weiterhin den größten Umfang unter den Bindungsformen einnimmt.

Nitrat-Verluste nach der Ausbringung von Mist- und Mistsickerwasser konnten nicht geschätzt werden, da keine Literaturdaten vorlagen. Es ist jedoch nicht anzunehmen, dass diese einen bedeutenden Anteil an den gesamten Nitrat- und N-Verlusten ha-

ben, denn einerseits ist der N-Gehalt im Mistsickerwasser mit $0,34 \text{ kg N m}^{-3}$ sehr niedrig und andererseits wurden nur sehr geringe Mengen Stickstoff mit dem Sickerwasser ausgebracht. Im Stallmist liegt Stickstoff überwiegend organisch gebunden vor, so dass die ausgebrachte NH_4^+ -Menge sehr niedrig ist. Zudem wurde der Mist im Winter ausgebracht, in dem der Nitrifikationsprozess zu NO_3^- , bedingt durch niedrige Temperaturen, gering ist (HOLLAND und DURING, 1977). Mit dem Ansteigen der Temperatur und der Nitrifikation im Frühjahr steigt zugleich auch die N-Aufnahme des Pflanzenbestandes. Somit dürfte eine mögliche Verlagerung von Nitrat aus der Nitrifikation von Stallmist-N eher zu vernachlässigen sein.

Dennoch ist zu beachten, dass eine mögliche Nitratverlagerung nach der Wirtschaftsdüngerausbringung, ebenso wie mögliche Lachgasemissionen aus der Lagerung und Ausbringung der Wirtschaftsdünger sowie aus symbiotisch fixiertem Stickstoff, über die keine ausreichenden Literaturdaten vorlagen, eine wenn auch geringe Auswirkung auf die Prozentangaben in Tab. A 71 (S. 240) sowie auf die Diagramme in den Abb. 5-9 (S. 88) und Abb. 5-10 (S. 90) haben können. Quantitativ sehr geringe N_2O -Emissionen von 0,2 % des applizierten N wurden nach der Ausbringung von Rindermist gemessen (CHADWICK et al., 2000).

Zwischen dem Leguminosen-Ertrag in gemischten Grasnarben und der Höhe des akkumulierten mineralischen Boden-N im Herbst besteht eine positive Korrelation (HALLING und SCHOLEFIELD, 2001). Mit steigendem mineralischen Boden-N gegen Ende der Vegetationszeit nimmt die NO_3^- -Fracht zu (WACHENDORF et al., 2004). Dies weist auf steigende NO_3^- -Verluste bei zunehmenden Weißkleeerträgen hin. In Gleichung [7] zur Schätzung der Nitrat-Verluste wurden 25 % N-Verlust aus symbiotisch fixiertem N_2 nach WEIßBACH (1995) angenommen. Bei der Ableitung dieser Verlustgröße wurde die — wenn auch geringe — Nitratauswaschung, die selbst unter ungedüngtem reinem Grasbestand entsteht, der Fixierung zugeschrieben (WEIßBACH, 1995). Somit dürften einerseits die Nitrat-Verluste aus symbiotisch fixiertem N_2 eher etwas überschätzt als unterschätzt sein. Andererseits ist die fixierte N-Menge, von der die NO_3^- -Verluste berechnet wurden, im Vergleich mit der Literatur niedrig geschätzt (Kap. 6.8).

Die berechneten NH_3 -Verluste aus dem Mist im Stall mit einem mittleren Anteil an der N-Ausscheidung von etwa 9 % liegen innerhalb der in der Literatur (s. Tab. 2-1, S. 8) berichteten Werte.

Über ähnliche Verluste wie aus den vorgestellten Mutterkuh-Weiden und -Mähweiden von 20 bis 94 kg N ha^{-1} berichtet LEDGARD (2001) in Neuseeland aus Milchkuh-Weiden. Auf diesen Milchkuh-Weiden liegen die N-Verluste bestehend aus Denitrifikation, NH_3 -Entgasung und NO_3^- -Auswaschung zwischen 30 und 98 kg ha^{-1} bei einer Besatzstärke von 3,3 Kühen ha^{-1} und unter Verzicht auf N-Düngung. Umgerechnet auf den Tierbesatz in der vorliegenden Arbeit, ungeachtet sonstiger Unterschiede, sind die Verluste mit 14 bis 46 kg N ha^{-1} aus diesen Milchkuh-Weiden geringer. Allerdings entstehen in intensiv genutzten Milchkuh-Weiden bei einem Besatz von 4,4 Kühen ha^{-1} und einer N-Düngung von 410 kg ha^{-1} , wie bei LEDGARD (2001), mit bis zu 223 kg N ha^{-1} wesentlich höhere Verluste. Dabei sind aber auch zur Ernährung der hochleistenden Milchkühe erhebliche zugeführte Kraftfuttermengen notwendig, die sich ebenfalls in den Verlusten niederschlagen.

6.10 Nährstoffbilanzen

In Kapitel 6.3 werden die Unterschiede zwischen der im Versuch ermittelten höheren und der nach Energiebedarf niedrigeren theoretischen Futter- und N-Aufnahme, N-Ausscheidung und N-Verluste auf der Weide diskutiert und für die einzelnen Parameter eine Spanne mit Minimum und Maximum angegeben. Aufgrund der unterschiedlichen N-Verluste werden auch in den Hof- und Gesamtflächenbilanzen zu Saldo 3 Minimum- und Maximumwerte aufgeführt (Tab. A 46, S. 226).

Nach zusätzlicher Berücksichtigung der elementaren N-Verluste aus der Denitrifikation in Höhe von etwa 20 kg ha^{-1} (SCHOLLMAYER und NIEDER, 1988) ergeben sich lediglich in Teilbetrieb M leicht positive Saldos, in Teilbetrieb O dagegen deutliche Defizite. Diese werden über die Mineralisierung aus dem Boden-N-Pool ausgeglichen (Netto-N-Mineralisierung). RÜCK und STAHR (1995) belegen durch Untersuchung der Mineralisierung, dass eine erhebliche Nachlieferung aus dem organischen N-Pool des Bodens im Grünland stattfindet und das Schlagbilanzdefizit ausgleicht. Ne-

gative N-Saldos der Flächenbilanzen von ESTAVILLO et al. (1997) weisen nach Abzug der Verluste auf eine erhebliche Netto-Mineralisierung von bis zu 256 kg ha^{-1} hin.

Die mit 20 kg N ha^{-1} angenommene Deposition als Summe aus anorganischem und organischem Stickstoff stimmt gut überein mit neueren Untersuchungen von QUIRIN (2004) in Verbindung mit der für das Bundesgebiet von FÜHRER (1988) angegebenen organischen N-Deposition von 1 bis 10 kg ha^{-1} . QUIRIN (2004) ermittelte für die Jahre 2000 und 2001 in der Eifel nasse und trockene N-Depositionen von 9 bzw. $8 \text{ kg anorganischem N ha}^{-1}$.

6.10.1 Hoftorbilanzen

Mit der Stapelmistausfuhr in Teilbetrieb O (2000-2001) wurden mehr Nährstoffe ausgeführt als geplant (Berechnung - A 1, S. 265). Es sollte nur soviel Kalium mit dem Stapelmist ausgeführt werden, wie über das Stroh zugeführt wurde. Da der Kaliumgehalt für das im Winter 2000/2001 eingestreute Stroh zur Planung der Mistausfuhr vom Vorjahr abgeleitet werden musste — zu diesem Zeitpunkt waren die K-Gehalte im Stroh und auch die Strohmenge noch nicht bekannt — und die K-Analyse des Strohs aber wesentlich geringere Gehalte als im Vorjahr ergab (Tab. 5-13, S. 79), trat eine deutliche Überschätzung der auszuführenden Mistmenge ein. Dies steht der Definition von Teilbetrieb O jedoch nicht entgegen, da mehr Nährstoffe aus- als zugeführt wurden.

Um die Hoftorbilanz-Saldos beider Teilbetriebe mit Ergebnissen aus der Literatur zu vergleichen, ist zunächst die Kenntnis der Saldos ohne Misttransfer — wie es in der Praxis in der Regel zu erwarten ist — erforderlich (Tab. 6-3, S. 138).

Die von ANGER und KÜHBAUCH (1998) durchgeführte Bilanzierung von 12 Mutterkuhbetrieben im Mittelgebirge Nordrhein-Westfalens ergab Nährstoff-Saldos in Höhe von 12 kg N , 10 kg P und 13 kg K ha^{-1} . Diese Saldos sind methodisch mit Saldo 1 der eigenen Untersuchung vergleichbar, in der die N_2 -Fixierung, die Deposition und die Nährstoffverluste keine Berücksichtigung finden. Auch die Saldos der 12 Mutterkuhbetriebe befinden sich auf niedrigem Niveau. Unterschiede ergeben sich bei

Stickstoff und P durch einen geringen Zukauf an Düngemitteln, der in der eigenen Untersuchung ausblieb.

Tab. 6-3: Nährstoff-Saldos der Hoftorbilanzen ohne Misttransfer. Saldo 1 = Zufuhr - Ausfuhr, Saldo 2 = Saldo 1 + Deposition + N₂-Fixierung, Saldo 3 = Saldo 2 - Verluste. (in kg ha⁻¹)

Teilbetrieb O								
	1999/2000				2000/2001			
	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Saldo 1	-13	-3	10	0	2	1	16	1
Saldo 2	46	-2	14	4	45	2	20	5
Saldo 3	-19	-3	6	-12	-14	1	12	-11
Teilbetrieb M								
	1999/2000				2000/2001			
	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Saldo 1	-2	-1	25	2	4	1	17	1
Saldo 2	99	0	29	6	54	2	21	5
Saldo 3	-8	-1	21	-10	-10	1	13	-11

Im Vergleich zu Milchviehbetrieben weisen die Hoftorbilanzen der Mutterkuhbetriebe im Mittelgebirge Nordrhein-Westfalens bedingt durch eine geringere Futter- und Düngemittelzufuhr niedrigere N-, P- und teils auch K-Saldos auf. Dies zeigen Bilanzierungen von ANGER et al. (1997), die für 27 konventionell wirtschaftende Milchviehbetriebe Nährstoff-Saldos (Saldo 2) von 149 kg N ha⁻¹, 23 kg P ha⁻¹ und 46 kg K ha⁻¹ sowie für 31 extensivierte Milchviehbetriebe (Grünlandextensivierungsprogramm) von 97 kg N ha⁻¹, 12 kg P ha⁻¹ und 18 kg K ha⁻¹ ermittelten. Der Grünlandanteil dieser Betriebe lag im Mittel bei 93 %.

6.10.2 Flächenbilanzen

Mit der Bilanzierung von Teilflächen (Koppelbilanzen) werden Informationen über die Nährstoffbewegungen innerhalb der Gesamtfläche gewonnen. So ergeben sich abhängig vom Versuchsaufbau (Düngung) und der Nutzung (Wiese, Mähweide, Weide) deutliche Unterschiede zwischen den Koppeln. Diese Informationen sind hilfreich, um das Nährstoffniveau der verschiedenen Teilflächen gezielt zu kontrollieren und zu führen, bspw. um Nährstoffüberschüsse oder -defizite zu beseitigen.

Auch LEDGARD (2001) berichtet bei einem mittleren N-Saldo (Saldo 3) von -16 kg N ha^{-1} über eine weite Spanne von -74 bis 47 kg N ha^{-1} . Diese wird hauptsächlich verursacht durch die großen Unterschiede im Beitrag der symbiotischen N_2 -Fixierung, die von den Autoren mit 80 bis 210 kg N ha^{-1} angegeben werden. Die teils stark negativen Nährstoff-Saldos der Koppelbilanzen von Teilbetrieb O, insbesondere der Wiese auf Koppel V9 in Rengen mit bis zu $-120 \text{ kg K ha}^{-1}$, sind zwar mittelfristig aufgrund des vergleichsweise hohen K-Vorrates des Bodens weniger problematisch, langfristig allerdings keineswegs als nachhaltig zu bewerten. Dieses Defizit, das auf dem Verzicht an Mistzufuhr gründet, führt nämlich an anderer Stelle in Teilbetrieb M durch eine entsprechend höhere Mistzufuhr zu einem deutlichen Überschuss an Kalium.

Da die von den Pflanzen nicht aufgenommenen Elemente Phosphor und Kalium fast ausschließlich im Boden angereichert werden, sind schlagbezogene P- und K-Bilanzen in Bezug auf das Umweltbelastungspotential und die Ressourcenschonung nur eingeschränkt aussagekräftig und können erst in Verbindung mit den P- und K-Gehalten des Bodens bewertet werden (QUIRIN, 2004).

Auf tonarmen, humosen Sandböden, wie sie in Norddeutschland verbreitet sind, sind K-Überschüsse allerdings auch bei niedrigen Gehalten im Boden zu vermeiden, denn Kalium wird fast ausschließlich von Tonmineralen sorbiert, während dagegen die Bindung an organische Substanz gering ist (KÖSTER, 1990). So sind, ausgenommen auf sehr tonarmen Böden, Beeinträchtigungen der Umwelt bei Phosphor und Kalium wegen starker Bindung an die Sorptionsträger weitgehend auf die Erosion beschränkt.

Die Mg-Verluste wurden unabhängig von der Nutzungsform des Grünlands angenommen. Auf den Urinstellen wurden im Mittel beider Versuchsjahre und Teilbetriebe umgerechnet mit bis zu $1.400 \text{ kg K ha}^{-1}$ wesentlich mehr Kalium als Magnesium mit etwa 110 kg ha^{-1} ausgeschieden. Da Mg-Ionen von den Bodenkolloiden durch K-Ionen verdrängt werden (EARLY et al, 1998), ist anzunehmen, dass die Mg-Austräge mit zunehmender Weidenutzung ansteigen.

In Teilbetrieb M wurden mit Mist und Mistsickerwasser hohe Mengen an Kalium mit 135 bis 146 kg ha⁻¹ ausgebracht, wodurch in den Koppeln Überschüsse bis zu 133 kg K ha⁻¹ auftraten. In der Literatur wurden bei K-Gaben in Höhe von 176 kg bis 454 kg ha⁻¹ als Kombination aus Mineraldünger und Stallmist auf Weiden und Mähweiden vor der Sickerwasserperiode Verluste zwischen 19 und 31 kg ha⁻¹ ermittelt, wobei der überwiegende Teil der Verluste bis 30 Tage nach der Ausbringung auftrat (ALFARO et al., 2004).

Nach KOOP (1994) sind durch Regenfälle nach K-Düngung K-Stoßbelastungen in kleineren Fließgewässern zu erwarten, wobei der Umfang und der Einfluss solcher Stoßbelastungen auf die Biozönose kleiner Fließgewässer bislang nicht untersucht ist. Zur Vermeidung der K-Sättigung des Bodens werden mehrere Gaben in Abstimmung mit dem Bedarf der Pflanzen während der Vegetationsperiode empfohlen (ALFARO et al., 2004). Dies ist für den Versuchsstandort witterungsbedingt nicht möglich, da der Stallmist im Sommer aufgrund des geringen Niederschlags vermutlich nicht rechtzeitig bis zur nächsten Nutzung abgebaut wäre und zu einer Futterverschmutzung führen würde. Eine Aufteilung der Nährstoffgaben ließe sich mit Gülle an Stelle von Mist besser realisieren, was dann bei der Ausbringung allerdings auch mit höheren NH₃-Verlusten verbunden wäre.

Die Salzzufuhr der K-Düngung kann, auch wenn das K-Ion selbst im Oberboden sorbiert wird, zu einer Aufsalzung des Grundwassers, meist mit Calcium- und Cloridionen führen, wodurch Grund- und Oberflächengewässer geschädigt werden (AUERSWALD, 1993).

Bei den Flächenbilanzen handelt es sich nicht um einen Systemvergleich zwischen den Nutzungsformen Weide, Mähweide und Wiese, da die aus der im Stall verfütterten Silage über den tierischen Verdauungstrakt entstehenden Verluste aus Urin und Kot nicht in den Flächenbilanzen, sondern in den Stallbilanzen enthalten sind.

6.10.3 Stallbilanzen

In allen vier Messwert-Stallbilanzen (2 Teilbetriebe, 2 Jahre) sind im Gegensatz zur „Null-Saldo-Logik“ (Kapitel 4.7) für die Elemente Phosphor, K und Mg negative und positive Saldos zum Ausgleich der Bilanz erforderlich. Der Saldo, prozentual auf die Zufuhr bezogen, erreicht Werte bis zu -34 %. Auch HAAS et al. (2002) berichten von positiven und negativen Saldos, bspw. bei Phosphor von -7 % bis 23 %. Die Autoren führen an, dass solche Ungenauigkeiten möglicherweise durch eine höhere Probenzahl und eine verbesserte Probennahmestrategie für Bilanzposten mit hohem Nährstoffgehalt und/oder einem großen Beitrag zum Massenfluss reduziert werden könnten. Gerade aufgrund der hohen Ausscheidungsrate bei K von 94,9% bis 99,5% vermuten sie diese Ungenauigkeiten in einer zu geringen Probenzahl. Die Abweichungen der Saldos von Null können allerdings auch auf einer Über- und/oder Unterschätzung der Massen der Bilanzposten beruhen.

In der eigenen Untersuchung wird der größte Einfluss auf die Genauigkeit der Stallbilanz in der Unsicherheit des Bilanzposten Stallmist gesehen, da alle anderen Bilanzposten gewogen und dicht beprobt wurden. Die berechneten Nährstoffmengen im Stallmist basieren auf der Ermittlung der Massen und der Nährstoffgehalte. Die Streuungen der Nährstoffgehalte unterscheiden sich zwischen den Teilbetrieben und beiden Jahren kaum (N: 0,06 bis 0,07 %, P: 0,01 bis 0,02 %, K: 0,14 bis 0,19 %; Mg: 0,01 %) (Tab. A 70, S. 239). Die Variationskoeffizienten betragen für die Elemente N: 10,0 bis 12,0 %, P: 13,6 bis 17,5 %, K: 17,8 bis 24,3 % und Mg: 12,3 bis 20,1 %. Eine Erhöhung der auf der „Mistmatratze“ verteilten Probenahmepunkte um 69 % auf insgesamt 93 Punkte im Jahr 2000/2001 führt im Vergleich zum Vorjahr zu keiner wesentlichen Veränderung der Streuungen und Variationskoeffizienten.

Das Ergebnis der durch höhere Rohproteingehalte in der Silage von Teilbetrieb M verursachten höheren N-Verluste unterstützen KIRCHGESSNER et al. (1991), SMITS et al. (1995) und KÜLLING et al. (2003) bei Stallmist und Gülle. Die Autoren berichten von einer Verringerung der NH_3 -Verluste durch eine fütterungsbedingte Verringerung der N-Ausscheidung. Damit ist auch eine Verringerung der NH_3 -Verluste während der Lagerung und nach der Ausbringung verbunden (ANGER, 2001). Die ähnlich hohen N-Gehalte im Stallmist der Teilbetriebe können zusätzlich

zu den höheren N-Verlusten auch an den in Teilbetrieb M etwas höheren Einstreumengen gelegen haben (Verdünnungseffekt).

Der Stickstoff im Stallmist kann in die Phasen fest, flüssig und gasförmig unterteilt werden (HÜTHER, 1999). NH_3 liegt in der flüssigen Phase mit NH_4^+ in einem Dissoziationsgleichgewicht. Je nach Lage dieses Gleichgewichts in Abhängigkeit von pH-Wert, Temperatur sowie dem NH_3 -Partialdruck in flüssiger und gasförmiger Phase liegt mehr NH_3 oder NH_4^+ vor (PAAß, 1993). Während NH_3 gasförmig entweichen kann, könnte NH_4^+ zumindest in der oberen Schicht des Tiefstreumists, in der sowohl anaerobe und aerobe Bedingungen vorliegen, der Nitrifikation mit Bildung von NO_3^- und N_2O ausgesetzt sein. NO_3^- wiederum könnte denitrifiziert werden.

Die meisten Untersuchungen zur Ermittlung von N-Verlusten aus Stallmist erfolgten außerhalb des Stalls bei der Aufbereitung bzw. Lagerung und bei der Ausbringung, und selten wurden NH_3 und N_2O gemeinsam betrachtet (ASMUS, 1990; BLESS und SATTELMACHER, 1991; BERNAL und KIRCHMANN, 1992; RÖMER et al., 1994; CHAMBERS et al., 1997; MENZI et al., 1997; KIRCHMANN et al., 1998; SOMMER, 2001; KOSCH, 2003). Zur Beurteilung der N-Verluste einer Stallmiskette, bestehend aus den Gliedern Stall, Lager und Ausbringung, sollten alle drei Glieder berücksichtigt werden, da geringere Verluste im Stall höhere Verluste in Lager und nach der Ausbringung nach sich ziehen können. Außerdem ist es nach AMON et al. (1997) und GRONAUER et al. (1997) zur Beurteilung der Umweltrelevanz eines Verfahrens notwendig, umwelt- und klimawirksame Gase gemeinsam zu betrachten, da sowohl synergistische als auch antagonistische Beziehungen zwischen den verschiedenen Gasen bestehen. So konnten GROENESTEIN et al. (1993) die NH_3 -Emissionen zwar um 50 % senken, ermittelten jedoch zugleich sehr hohe N_2O -Emissionen in Höhe von 15 bis 21 % des Gesamt-N vom Ausgangsmaterial, während SIBBESEN und LIND (1993) nur 0,8 % des Gesamt-N an jährlichen N_2O -Verlusten feststellten.

Vor dem Hintergrund der Vereinbarungen zur Verringerung der Emissionen an NH_3 und NO_x (Genfer Luftreinhalteabkommen zur Bekämpfung der Versauerung, der Eutrophierung und des bodennahen Ozons im Multikomponentenprotokoll, UN/ECE (2002)) sowie der Lachgasemissionen (Kyoto-Protokoll; UNFCCC (2002)) und zur Einhaltung der Selbstverpflichtung der Bundesrepublik Deutschland zur Verringerung

umwelt- und klimarelevanter Emissionen sind weitere Untersuchungen in der Festmistkette in allen drei Gliedern, insbesondere jedoch im Stall, erforderlich. Die Festmistwirtschaft wird im Land NRW innerhalb des Kulturlandschaftsprogramms finanziell gefördert (KULAP, 2001). Hierbei wäre es zukünftig sinnvoll, die Finanzierung an die Höhe der Emissionen der umwelt- und klimawirksamen Gase zu koppeln.

Im Vergleich der analysierten Nährstoffgehalte mit Literaturwerten ergeben sich recht gute Übereinstimmungen (Tab. 6-4). Gewisse Abweichungen bestehen aufgrund von Unterschieden in der Art, den Nährstoffgehalten und der Menge der eingesetzten Futtermittel und der Einstreu.

Tab. 6-4: Vergleich der analysierten Stallmist-Nährstoffgehalte mit Literaturdaten

	N	P	K	Mg
	(% , Frischmasse)			
KTBL182, Rindermist frisch (n=312)	0,54	0,12	0,52	0,07
KTBL182, Rindermist 90 Tage gelagert (n=259)	0,60	0,15	0,55	0,09
Stallmist, Tiefstreu, Mastbullen (HAAS et al., 2002) (n=12)	0,50	0,10	0,95	-
Stallmist, Tretmist, Mutterkühe (HAAS et al., 2002) (n=26)	0,38	0,07	0,78	-
Tiefstallmist (ANONYMUS, 1983)	0,75	0,15	0,62	0,13
Eigene Untersuchungen, Tiefstreu, Mutterkühe				
Teilbetrieb O, erstes Versuchsjahr (n=28)	0,55	0,11	0,91	0,07
Teilbetrieb O, zweites Versuchsjahr (n=27)	0,57	0,10	0,72	0,08
Teilbetrieb M, erstes Versuchsjahr (n=46)	0,55	0,11	0,95	0,07
Teilbetrieb M, zweites Versuchsjahr (n=47)	0,57	0,09	0,75	0,07

6.10.4 Bilanz der Mistlagerung

Die Bilanz der Mistlagerung weist zum Teil stark negative Saldos auf. Das im Vergleich zum Tiefstremmist höhere FM-Gewicht des Stapelmists ist mit der Bindung von Niederschlagswasser erklärbar. Etwa 40 % des Niederschlags treten nach einer gewissen zeitlichen Verzögerung als Sickersaft aus der Mietensohle wieder aus (BERNER, 1987; DEWES, 1991), während etwa 60 % des Niederschlags im gelagerten Mist verbleiben bzw. zum Teil wieder verdunsten.

HÜMBELIN et al. (1980) stellten in Kompostierungsversuchen eine N₂-Fixierung von bis zu 12 % des Gesamt-N fest, während CSEHI (1997) bei der Kompostierung von

Festmist sogar eine N-Anreicherung von bis zu 39 % feststellte. KOSCH (2003) erwähnt in diesem Zusammenhang die Bakteriengruppe *Azotobacter*, für die Feuchtigkeit und leicht verfügbare Kohlenhydrate wichtige Lebensbedingungen darstellen. Diese sind vor allem nach dem Einsetzen des Abbaus hochmolekularer Verbindungen im Anschluss an die thermophile Phase im Festmistsubstrat vorhanden. So kann die etwa 28 %-ige Erhöhung (etwa 13 kg N ha^{-1}) der zu Lagerungsbeginn vorhandenen N-Menge auf der Tätigkeit N_2 -fixierender Bakterien beruhen. Da während der Lagerung erwartungsgemäß gasförmige N-Verluste (NH_3 , N_2O) auftreten, ist der N-Betrag aus der N_2 -Fixierung entsprechend größer. Mit der angewendeten Bilanzmethode kann keine Aussage über die Höhe der gasförmigen N-Verluste während der Lagerung getroffen werden. Auch wenn die N-Ausfuhr die N-Zufuhr unterschreitet, ist dies nicht möglich, solange die Menge des fixierten Stickstoff unbekannt ist. Dieses Problem besteht ebenfalls bei der von SCIBORSKI et al. (1989) vorgestellten Bilanzmethode mit Netzbeuteln.

Bei Kalium ist die Bilanz der Mistlagerung weitgehend ausgeglichen. Etwa 12 % des im Stallmist bei Lagerungsbeginn enthaltenen K werden mit dem Sickerwasser ausgetragen. Dies stimmt gut mit den von DEWES (1997b) genannten 10 % überein. Höhere K-Austräge gibt ULÉN (1993) während 6-monatiger Stallmistkompostierung mit 18 % im Sommer und 28 % im Winter an.

Die Variationskoeffizienten der Nährstoffgehalte des Stapelmists sind größer als die des Tiefstreumists (Tab. 6-5, S. 145). Durch das Entnehmen von Teilstücken der Mistmatratze des Tiefstreus mit dem Frontlader und das Stapeln auf der Dungplatte scheint die Heterogenität zugenommen zu haben. Möglicherweise beruht die errechnete P- und Mg-Mengenerhöhung auf einer zu niedrigen Probenanzahl bei der Entfernung des Stapelmists von der Dungplatte.

Tab. 6-5: Vergleich der mittleren Nährstoffgehalte, der Streuung und der Variationskoeffizienten des Tiefstreu- und Stapelmists aus Teilbetrieb M des ersten Versuchsjahres (in %)

Mistart	n	N			P			K			Mg		
		\bar{x}	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv
Tiefstremist	27	0,55	0,07	12,0	0,11	0,01	13,6	0,95	0,19	20,3	0,07	0,02	24,5
Stapelmist	31	0,57	0,14	25,3	0,25	0,07	28,5	0,87	0,27	31,1	0,17	0,07	38,5

6.11 Beziehung zwischen N-Saldo und N-Verlust

BACH und FREDE (1998) diskutieren den Bilanz-Saldo, der häufig als quantitative Schätzgröße für das Emissionspotential eines Nährstoffs betrachtet wird, kritisch. Die fachlichen Voraussetzungen hierfür seien nicht erfüllt, da sich die Nährstoffvorräte innerhalb des Bilanzierungszeitraumes ändern. NIEDER et al. (1995) ermittelten N-Saldos von 60-80 kg ha⁻¹ bei einer N-Anreicherung im Boden von 30 kg ha⁻¹. Die Differenz von 30-50 kg N ha⁻¹ ist also emittiert, keineswegs jedoch die gesamte N-Menge des N-Saldo. Allerdings kann die Anreicherung nicht unendlich lange erfolgen, da die Aufnahmekapazität begrenzt ist (BACH und FREDE, 1998). In den eigenen Untersuchungen wurden deutliche Korrelationen zwischen dem mit steigendem N-Saldo steigenden N-Verlust ermittelt (Abb. 5-28, S. 113). Dies bestätigen Untersuchungen von WACHENDORF et al. (2002, 2004) und VAN BEEK et al. (2003).

6.12 Gesamtschau der Nährstoffbewegungen

Die Gesamtschau der Nährstoffbewegungen erfolgt unter der Prämisse eines Grünland-Mutterkuhbetriebes, der neben seinem Grünlandfutter keine anderen Futtermittel zur Verfügung hat und bei dem Futterzukauf minimal ist. Beide Teilbetriebe und Jahre werden im Folgenden zusammen betrachtet als ein Betrieb mit 40 Mutterkühen und Kälbern auf insgesamt 38 ha. Darin werden die Nährstoffbewegungen extern (NS_{ext} : Zu- und Ausfuhr), intern (NS_{int}) und gesamtbetrieblich (NS_{Gesamt}) bewertet, wobei in die Berechnung von NS_{Gesamt} jedes bewegte Atom eines Nährstoffs nur einmal eingeht (Tab. A 98 (S. 254) und A 99). Es wird eine Spanne für die einzelnen Bilanzposten mit Minimum und Maximum angegeben, die sich ergibt aus den Unwägbarkeiten um die Futter- und Nährstoffaufnahme auf der Weide, den N-Verlusten sowie den Unterschieden zwischen den Teilbetrieben und Jahren.

Im untersuchten Mutterkuhbetrieb werden insgesamt (NS_{Gesamt}) die weitaus größten Mengen mit im Mittel 186 kg ha^{-1} und 187 kg ha^{-1} an Stickstoff und K bewegt, bei Phosphor und Mg mit 27 bzw. 14 kg ha^{-1} wesentlich weniger (Tab. A 98 (S. 254) und A 99). Es werden wesentlich mehr Nährstoffe intern bewegt als extern zugeführt und zwar um den Faktor 2,4 bis 7,9. Dies ist bei der auf verschiedene Art und Weise ermittelbaren Nutzungseffizienz der Nährstoffe zu beachten.

Mit der Nutzungseffizienz der zugeführten Nährstoffe ($Neff_{NSZufuhr 1}$) wird ignoriert, dass auch der Boden-Pool und die Wirtschaftsdünger im innerbetrieblichen Nährstoffkreislauf sowohl an der Erzeugung des Produktes als auch an den Verlusten beteiligt sind und das umso mehr, je geringer die Zufuhr ist. Je Nährstoff-extensiver ein Betrieb also wirtschaftet, je weniger Nährstoffe zugeführt werden, umso bedeutender wird die innerbetriebliche Nährstoffbewegung. Dieser Gedanke führt einerseits zum Einbezug der Netto-Mineralisation (Saldo 3) in die Nutzungseffizienz der zugeführten Nährstoffe ($Neff_{NSZufuhr 2}$) und andererseits zu den Nutzungseffizienzen der eingesetzten Futternährstoffe ($Neff_{NSFutter}$) und der insgesamt bewegten Nährstoffe ($Neff_{NSGesamt}$). Da der überwiegende Teil der insgesamt bewegten Nährstoffe mit dem Futter intern bewegt wird, ist die $Neff_{NSFutter}$ nur geringfügig größer als die $Neff_{NSGesamt}$. Die innerbetrieblich und insgesamt bewegten P-, K- und Mg-Mengen stimmen überein, da sämtliche zugeführten und ausgeführten Atome dieser Elemente auch intern be-

wegt werden. Bei Stickstoff umfasst die NS_{Gesamt} zusätzlich zur NS_{int} die N-Verluste aus der symbiotischen N_2 -Fixierung, da diese aus der Rhizosphäre mit dem Sickerwasser als Nitrat ausgetragen und nicht intern mit dem Futter bewegt werden.

Die Nährstoff-Ausfuhr wird bei Stickstoff, K und Mg mit einem mittleren Anteil von 74 %, 66 % und 97 % sehr stark von den Verlusten bestimmt (Verlust-Ausfuhr-Relation). Ein weiterer Umweltindikator ist die Produkt(Tier)-Verlust-Relation. Sie beträgt für Stickstoff, P, K und Mg etwa 17 %, 300 %, 11 % und 1 %. Da die Nährstoffretention im Tierkörper im Mutterkuhbetrieb nur marginal verändert werden kann, wird die Produkt-Verlust-Relation maßgeblich von der Höhe der Verluste beeinflusst.

Da die $Neff_{NSZufuhr\ 2}$ nur eine Auswirkung auf die innerbetriebliche Nährstoffbewegung hat, diese jedoch nicht umfasst, eignet sich die $Neff_{NSZufuhr\ 2}$ nur dann als Umweltindikator, wenn die innerbetriebliche Nährstoffbewegung der zu vergleichenden Betriebe auf ähnlichem Niveau erfolgt. Die vier Umweltindikatoren $Neff_{NSFutter}$, $Neff_{NSGesamt}$, Verlust-Ausfuhr-Relation und Produkt-Verlust-Relation eignen sich sowohl für einen Betriebsvergleich innerhalb eines wie auch zwischen verschiedenen Produktionsverfahren, da sie die zentralen Bilanzposten Produkt und Verlust, wie auch die wesentlichen Nährstoffbewegungen, insbesondere die innerbetriebliche Nährstoffbewegung, berücksichtigen. Diese Eignung besteht allerdings nur unter der Erwartung, dass die innerbetrieblich und über die Verluste bewegten Nährstoffmengen zukünftig auch auf den Betrieben ermittelt werden können. Die $Neff_{NSZufuhr\ 1}$ hat neben ihrem Nachteil, die innerbetriebliche Nährstoffbewegung weitgehend zu ignorieren, eben gerade aus diesem Grunde den Vorteil, von allen hier vorgestellten Umweltindikatoren gegenwärtig auch unter Praxisverhältnissen ermittelbar zu sein.

In der Literatur wird die Nutzungseffizienz des aufgenommenen Futterstickstoffs für Mutterkuhhaltung mit 6 bis 9 % angegeben (RYDEN et al., 1987; SUTTER et al., 1998b; ESTERMANN, 2001). Dies stimmt gut mit den eigenen Ergebnissen zur Nutzungseffizienz der aufgenommenen Futternährstoffe ($Neff_{NSFutter}$) von im Mittel mit 6,0 % für Stickstoff überein. Bei Phosphor beträgt sie im Mittel 11,9 %, bei K 0,5 % und bei Mg 1,6 %. Die $Neff_{NSFutter}$ ist für Phosphor höher als für N, weil wesentlich geringere Mengen mit dem Futter aufgenommen werden.

Im Vergleich zur Mutterkuhhaltung ist die $Neff_{NSFutter}$ für Stickstoff in der Milchviehhaltung mit 15 bis 30 % deutlich höher (WHITEHEAD et al., 1986; RYDEN et al., 1987;

AARTS et al., 1992; WEIßBACH und ERNST, 1992; SUTTER et al., 1998b; SCHE-RINGER und ISSELSTEIN, 2001; JONKER et al., 2002). Vom aufgenommenen Fut-ter-N werden bei Milchkühen zwischen 36 und 39 % über Kot und zwischen 39 und 32 % über Urin, also insgesamt 71 bis 74 % ausgeschieden (KIRCHGESSNER et al., 1991 und ESTERMANN, 2001). Eng an diesen Werten liegt das Modell zum N-Metabolismus der laktierenden Milchkuh von KEBREAB et al. (2002). Dagegen wer-den je Mutterkuh und Kalb etwa 90 % des aufgenommenen Futter-N ausgeschieden und zwar zu etwa 55 % über Urin und zu etwa 35 % über Kot (Abb. A 15, S. 265) (ESTERMANN, 2001). Dies bedeutet, dass bei gleicher N-Aufnahme im Vergleich zur Milchkuh je Mutterkuh und Kalb ein größeres urinbedingtes N-Emis-sionspotential vorliegt (SUTTER et al., 1998a und 1998b; ESTERMANN et al., 2001).

Verursacht wird die höhere Urin-N-Ausscheidung von Mutterkuh und Kalb einerseits dadurch, dass die erzeugte Milch der Mutterkuh vom Kalb aufgenommen und der darin enthaltene Stickstoff bis auf die geringe N-Retention zum größten Teil wieder ausgeschieden wird und damit auf der Fläche verbleibt. Andererseits ist die höhere Urin-N-Ausscheidung bei gleicher N-Aufnahme bedingt durch die geringere Milchlei-stung der Mutterkuh, denn überschüssiger Stickstoff, der nicht mit der Milch den N-Kreislauf der Kuh verlässt, wird als Harnstoff im Urin ausgeschieden (GRUBER und STEINWIDDER, 1996; JEROCH et al., 1999). Dies ist einerseits ursächlich für die von SPATZ et al. (1992) bei Mutterkühen ermittelten höheren N_{\min} -Werte unter U-rinflecken gegenüber niedrigeren N_{\min} -Werten unter Urinflecken von Milchkühen und zwar bei ähnlichem N-Gehalt im Weidefutter. Zusätzlich wirkt sich die Ausgleichsfüt-terung der Milchkühe im Stall senkend auf die N-Ausscheidung aus.

Die geringere N-Ausscheidung der Milchkuh zeigt sich auch in einem Vergleich der Stickstoffausfuhr von Milch- und Mutterkuhbetrieben. Während im Mittelgebirge Nord-rhein-Westfalens in Milchviehbetrieben bei Nährstoff-extensiver Bewirtschaftung ohne mineralische Stickstoffdüngung 23 kg N ha⁻¹ mit der Milch ausgeführt werden, be-trägt in Mutterkuhbetrieben die Ausfuhr über das eigentliche Verkaufsprodukt „Abset-zer“ nur etwa 5,5 kg N ha⁻¹ (ANGER und KÜHBAUCH, 1998). Dies ist auch ursäch-lich für die geringere Nutzungseffizienz der zugeführten Nährstoffe ($N_{\text{eff}_{\text{NSZufuhr } 1}}$) von 9 bis 19 % für Stickstoff der untersuchten Mutterkuhhaltung im Vergleich zur Milch-viehhaltung von 16 bis 49 % (LEDGARD, 2001).

Die Nutzungseffizienz der im gesamten Betrieb bewegten Nährstoffe ($N_{\text{eff}_{\text{NSBeweg}}}$), also das Verhältnis der im Produkt (Tiere) gebundenen und ausgeführten Nährstoffe zu den insgesamt bewegten Nährstoffen, ist im Mutterkuhbetrieb sehr gering. Sie beträgt bei Stickstoff 5,5 %, bei P 10,8 % und bei Kalium und Mg nur 0,5 bzw. 0,8 %. Die Ursache hierfür ist darin zu sehen, dass von der bspw. bei Stickstoff mit 183 kg ha^{-1} insgesamt bewegten Menge nur 10 kg ha^{-1} mit den Tieren, dem einzigen Produkt des Mutterkuhbetriebes, ausgeführt werden. Für die Umwelt bedeutet dies, dass der überwiegende Teil der bewegten Nährstoffe von einer stabilen chemischen Bindungsform im Futter über den Verdauungstrakt der Tiere in eine labile Bindungsform mit entsprechendem Austragspotential überführt wird. Dies trifft besonders für Stickstoff — auf weniger sorptionsreichen Böden im übrigen auch für Kalium und Mg — zu, da diese Elemente überwiegend über den Urin (N und K) ausgeschieden werden.

Da die N-Verluste in verschiedenen Bindungsformen auftreten, ist neben der Quantität auch die Qualität der N-Verluste von Bedeutung. Gesamtbetrieblich betrachtet entstehen Nitrat-Verluste überwiegend auf der Weide, Ammoniak-Verluste dagegen überwiegend in der Stallmistkette. Lachgas-Verluste sind vergleichsweise gering, dennoch sind sie aufgrund ihres im Vergleich zu CO_2 um den 270-fach höheren Treibhausfaktor ökologisch von Bedeutung (DEUTSCHER BUNDESTAG, 1994).

Im Gegensatz zu Stickstoff erfolgt die P-Ausscheidung über den Kot organisch und damit chemisch stabil gebunden. Während vom N-Überschuss der rheinland-pfälzischen Landwirtschaft über die Hälfte in die Atmosphäre entwischt und der Rest in die Hydrosphäre ausgetragen wurde, wurden 91 % des P-Überschusses im Boden gespeichert und nur 9 % durch Bodenerosion in die Hydrosphäre eingetragen (QUIRIN et al., 1999). Obwohl die geringen P-Verluste für die landwirtschaftliche Nutzung kaum von Bedeutung sind, sind sie aus ökologischer Sicht für die Gewässerentrophierung von großer Bedeutung (TUNNEY et al., 1997).

Kaliumeinträge in Gewässer stellen im Gegensatz zu Stickstoff und P bundesweit kein wasserwirtschaftliches Problem dar (FREDE und DABBERT, 1999). Hohe K-Gehalte können die Strukturstabilität des Bodens verschlechtern und in der Folge durch eine schnellere Verschlammung die Bodenerosion und den P-Austrag in die Gewässer fördern (QUIRIN, 2004). Dies ist allerdings mehr für Ackerland als für den

ganzjährig mit dichter Grasnarbe bedeckten und dicht durchwurzelten Oberboden des Grünlands von Bedeutung.

Eine Steigerung der retinierten und mit den Tieren ausgeführten Nährstoffmenge ist nur in sehr geringem Umfang möglich und daher als Minderungsmaßnahme für Nährstoffverluste durch Verringerung der Ausscheidung labiler Nährstoffverbindungen unbedeutend. Eine um 100 g erhöhte tägliche Zunahme der Kälber hätte eine zusätzliche Ausfuhr je ha von lediglich 0,79 kg N, 0,24 kg P, 0,07 kg K und 0,02 kg Mg zur Folge.

Eine Verringerung der Besatzstärke ist zur Verringerung der gesamtbetrieblichen Verluste sehr effektiv, führt allerdings auch zur Verringerung der Anzahl an Absetzern als einzigem Verkaufsprodukt des reinen Mutterkuhbetriebes.

Folgende Möglichkeiten zur Verringerung von Nährstoffverlusten, insbesondere von N-Verlusten durch Verringerung der N-Ausscheidung und zwar vor allem auf der Weide als dem Ort mit den höchsten Verlusten, wurden geprüft:

- Vermeidung von Luxuskonsum:

Die im Versuch ermittelte Futterraufnahme ist höher als die theoretische Futterraufnahme nach Energiebedarf. Wenn man annimmt, dass diese Differenz ausschließlich auf einen Luxuskonsum zurückzuführen ist, hätten durch Vermeidung dieses Luxuskonsums im Mittel der Versuchsjahre die N-Verluste um maximal 34 % (15 kg ha^{-1}) reduziert werden können. Unter der Maßgabe, dass es zukünftig gelingt, Luxuskonsum zu vermeiden, kann die N-Verlustmenge aus Weidetierexkrementen um etwa ein Drittel reduziert werden. Zur Vermeidung von Luxuskonsum, also der Orientierung des Weidemanagements am Energiebedarf der Herde, ist einerseits dessen Kenntnis als Summe aus Erhaltungs- und Leistungsbedarf und andererseits die Kenntnis sowohl des Futterangebots als auch des Futterzuwachses und der Futterqualität erforderlich.

- Verkürzung der Weideperiode im Frühjahr:

Werden alle Flächen als Mähweiden mit Auftrieb nach dem ersten Schnitt genutzt, entfällt zu Vegetationsbeginn die Aufnahme des im Vergleich zum

Sommer N-reicheren Weidefutters. Stattdessen ist die Stallperiode verlängert und das sonst auf der Weide aufgenommene Weidefutter wird im Stall als Silage mit geringerem N-Gehalt von den Tieren verzehrt. Da die in der verlängerten Stallperiode zusätzlich entstehenden N-Verluste in der Stallmiskette von etwa 6 kg N ha^{-1} der Verringerung der N-Verluste aus den Weidetierexkrementen von etwa 9 kg N ha^{-1} entgegenstehen, ergibt sich für den gesamten Betrieb eine Einsparung von nur etwa 3 kg N ha^{-1} . Da in der Stallmiskette die NH_3 -Verluste und auf der Weide die NO_3^- -Verluste überwiegen, ergibt sich eine Verschiebung in der Qualität der N-Verluste nach Bindungsformen und zwar bei NO_3^- von 61 auf 57 % und bei NH_3 von 36 auf 40 %. Die Lachgasverluste ändern sich nur marginal.

- Verkürzung der Weideperiode im Herbst:

Nach KÜHBAUCH et al. (1997) ist die Verkürzung der Weideperiode mit Beweidung bis zum Sommer und anschließender Mahd eine nachhaltige Methode zur Senkung der NO_3^- -Verluste. Bei Abtrieb der Tiere Ende August/Anfang September verlängert sich die Stallperiode entsprechend der verkürzten Weidedauer. Auf der Weide entstehen aus den Exkrementen insgesamt etwa 15 kg ha^{-1} weniger, im Stall dagegen etwa 4 kg ha^{-1} mehr N-Verluste, so dass sich eine Einsparung von 11 kg N ha^{-1} ergibt. Dabei entsteht eine Verschiebung in den Anteilen der Bindungsformen am gesamten N-Verlust von 61 auf 49 % bei NO_3^- und von 36 auf 48 % bei NH_3 . Absolut bedeutet dies eine Verringerung der NO_3^- -Verluste von 45 auf 31 kg ha^{-1} bei einer Erhöhung der NH_3 -Verluste von 26 auf 30 kg ha^{-1} . Dabei ändern sich die Lachgasverluste kaum.

- Verzicht auf Weidehaltung — ganzjährige Stallhaltung:

Ohne Weidehaltung entstehen keine Verluste aus Weidetierexkrementen, wodurch ein Verlust von etwa 45 kg N ha^{-1} eingespart wird. Aufgrund der längeren Stalldauer ergeben sich etwa um 18 kg N ha^{-1} zusätzliche Verluste. In der Differenz entstehen etwa 27 kg N ha^{-1} weniger N-Verluste. Dabei ergibt sich eine Verschiebung in den Anteilen der Bindungsformen am gesamten N-Verlust von 61 auf 24 % NO_3^- , von 36 auf 73 % NH_3 und von 3 auf 4 % N_2O . Dies entspricht einer Verringerung der NO_3^- -Menge von 45 auf 11 kg ha^{-1} , ei-

ner Erhöhung der NH_3 -Menge von 26 auf 34 kg ha^{-1} sowie einer kaum veränderten Lachgasmenge.

- Einführung der Ammenkuhhaltung:

Etwa 48 % des Gesamtenergiebedarfs von Mutterkuh und Kalb entfallen in der Weideperiode allein auf den Erhaltungsbedarf der Mutterkuh. Bei Ammenkuhhaltung mit zwei Kälbern je Kuh kann die Anzahl der Kühe um die Hälfte von bspw. 40 Mutterkühen auf 20 Ammenkühe bei gleicher Anzahl von Absetzern verringert werden. Dadurch läßt sich zum einen der Erhaltungsbedarf von 20 Kühen einsparen und zum anderen auch die mit der Energieaufnahme zur Deckung des Erhaltungsbedarfs verbundene N-Aufnahme, N-Ausscheidung sowie die daraus entstehenden N-Verluste. Unter der Annahme, dass Mutter- bzw. Ammenkühe nach Bedarf versorgt werden, d.h. Luxuskonsum vermieden wird, können die N-Verluste durch Umstellung auf Ammenkuhhaltung um etwa 25 % (6 kg ha^{-1}) verringert werden (Tab. A 100, S. 256).

Forschungsbedarf besteht in der Erarbeitung von Methoden zur am Energiebedarf orientierten Versorgung der Tiere auf der Weide mit möglichst N-armen Weidefuttermitteln. Zusätzlich besteht Forschungsbedarf in der Entwicklung von Methoden zur Verringerung der N-Verluste während der Mistlagerung, wobei neben Ammoniak und Lachgas auch Methan als klimawirksames Gas Beachtung finden sollte.

7 Zusammenfassung

Seit Einführung der Milchquotenregelung im Jahre 1984 ist die Anzahl der Mutterkühe deutlich angestiegen. Mutterkuhhaltung gilt allgemein als ökologisch vorteilhafte Form der Rinderhaltung. Zum Nährstoffkreislauf und zu ökologisch nachteiligen Emissionen der Mutterkuhhaltung existieren aber kaum experimentelle Daten. Im Gegensatz zum Milchviehbetrieb findet nur eine geringe Nährstoffausfuhr statt. Der größte Anteil der aufgenommenen Nährstoffe wird wieder ausgeschieden und damit in eine chemisch labile Bindungsform mit hohem Emissionspotential gebracht. Dieses ist höher als in der Milchviehhaltung, da mit der Milch mehr Nährstoffe die Fläche verlassen als mit dem Kalb der Mutterkuh.

Auf dem Standort der Lehr- und Forschungsstation Rengen (Daun/Eifel) wurden vom Frühjahr 1999 bis Herbst 2001 der Nährstoffkreislauf der Elemente N, P, K und Mg und die Leistungen des Grünlands sowie der Rinder bei Mutterkuhhaltung mit ganztägiger Sommerweide und Winterstallhaltung untersucht. Dabei wurden zwei Teilbetriebe (TB) verglichen, ein TB mit niedrigerem Nährstoffniveau und ohne (O) Nährstoffzufuhr und ein TB mit höherem Nährstoffniveau und mit (M) Nährstoffzufuhr. Jeder Teilbetrieb erstreckte sich über etwa 19 ha Grünland mit je 20 Mutterkühen und 20 Kälbern der Rasse Limousin.

Ziel war es, ein besseres Verständnis zu erlangen über die externe und interne Nährstoffbewegung zwischen Boden, Weidefutter, Exkrementen auf der Weide, Silage, Stallmist und Tierkörper. Im Mittelpunkt der Untersuchung stand Stickstoff wegen seines vergleichsweise hohen Austragspotentials und seiner hohen Bedeutung für die abiotische und biotische Umwelt.

Die Dokumentation der Nährstoffbewegung beruhte auf:

- **Faustzahlen** über (i) die Nährstoffgehalte im Lebendmassezuwachs der Tiere, (ii) die Gehalte an P, K und Mg im Weidefutter, (iii) die Nährstoffdeposition, (iv) die Verluste an P, K und Mg und (v) N-Verlusten (NH_3 , N_2O) aus dem Mist und Mistsickerwasser in der Stallmistkette;
- **empirisch ermittelten Daten:** (i) Trockenmasseertrag und (ii) Futteraufnahme, methodisch ermittelt durch Wiegen der Silage und durch Anwendung der Diffe-

renzmethode mit Weidekäfigen auf der Weide, (iii) Weißkleeertragsanteile und Weißkleeertrag, (iv) Schätzung des symbiotisch fixierten N-Beitrags des Weißkleees aus dem Weißkleeertrag, (v) Ermittlung der Lebendmassezunahmen der Rinder durch manuelle und elektronische Wiegung, (vi) Wiegung der Einstreumengen, (vii) Wiegung und Schätzung der Mistmengen über Raumgewichte, (viii) Wiegung der Beifuttermengen auf der Weide, (ix) Erfassung des zugefütterten Mineralfutters, (x) analytische Bestimmung der N-, P-, K- und Mg-Gehalte des Bodens, der Silage, des Stroh, des Mists und Mistsickerwassers und (xi) Schätzung der N-Verluste auf der Weide mit Hilfe vorhergehender Arbeiten auf demselben Standort. Darin wurden empirisch abgeleitet: Beziehungen zwischen der N-Aufnahme der Rinder mit dem Weidefutter und der N-Ausscheidung mit Kot und Urin sowie der N-Ausscheidung mit Kot und Urin und den N-Verlusten aus Kot- und Urinstellen nach Bindungsformen (NO_3 , NH_3 , N_2O).

Wesentliche Ergebnisse sind:

1. Der mittlere **Weidebruttoertrag** je ha beweideter Fläche lag zwischen 36 und 50 (O) bzw. 28 und 76 (M) dt T a⁻¹, der mittlere **Silageertrag** je ha Schnittfläche zwischen 32 und 38 (O) bzw. 28 und 45 (M) dt T a⁻¹. Der Weide- und Silageertrag je ha Gesamtfläche lag zwischen 60 bis 73 (O) bzw. 52 bis 82 (M) dt T a⁻¹.
2. Die mittlere **Energiedichte** des Weideaufwuchses nahm Werte zwischen 5,6 und 6,1 (O) bzw. 6,0 und 6,3 (M) MJ NEL kg T⁻¹ an und war damit etwas niedriger als die mittlere Energiedichte des kalkulierten von den Rindern aufgenommenen Weidefutters mit 5,7 bis 6,4 (O) bzw. 6,1 bis 6,6 (M) MJ NEL kg T⁻¹. Die mittlere Energiedichte der in beiden Stallperioden angebotenen Silage betrug 6,2 bzw. 6,1 (O) und 6,6 bzw. 6,0 (M) MJ NEL kg T⁻¹.
3. In beiden Stallperioden unterschied sich die mittlere **Futteraufnahme** der Rinder beider TB mit 7,5 bzw. 7,3 (O) und 7,6 bzw. 7,3 (M) kg T je GV und Tag kaum. Dagegen nahm sie auf der Weide neben generell höheren Werten eine wesentlich größere Spanne von 8,9 bis 10,9 (O) und 8,4 bis 12,1 (M) kg T je GV und Tag ein. Ursächlich für diese große Spannbreite ist u.a. die Abhängigkeit der Futteraufnahme vom Futterangebot. Dieses führte teils zu einer Futter- und damit Ener-

gieaufnahme, die über dem Energiebedarf nach Richtlinien lag und damit auf einen Luxuskonsum hindeutet.

4. Die Kälber von TB M erreichten in den Jahren 1999/2000 und 2000/2001 mit 379 und 375 kg je Kalb signifikant höhere mittlere **Lebendmassen** zum 300. Lebens- tag als die Kälber von TB O mit 355 und 356 kg je Kalb. Die entsprechenden mitt- leren **Tageszunahmen** waren in TB M mit 1.131 und 1.100 g je Kalb signifikant höher als in TB O mit 1.050 und 1.031 g je Kalb.
5. Die **Nutzungseffizienz der Futtertrockenmasse** stieg im Stall mit der Energie- dichte der Silage an. In den Stallperioden nahmen die Kälber 89 bzw. 89 (O) und 94 bzw. 85 (M) g Lebendmasse je kg aufgenommener Futtertrockenmasse (Kühe und Kälber) zu. Dagegen waren es auf der Weide bei wesentlich größerer Span- ne deutlich weniger, und zwar in TB O mit 39 bis 64 und in TB M mit 47 bis 71 g.
6. Die **Nährstoffaufnahme** mit dem Futter und die **Nährstoffausscheidung** über Urin und Kot war im Stall und in höherem Umfang auf der Weide mit Abstand bei N und K am größten. Die Nährstoffausscheidung betrug im Mittel der Jahre und Teilbetriebe in kg je GV und ha im Stall etwa 26 N, 5 P, 31 K und 3 Mg sowie auf der Weide etwa 55 N, 6 P, 57 K und 4 Mg. Während vom aufgenommenen N 90 bis 96 % und vom P 83 bis 90 % wieder ausgeschieden wurden, lagen die Aus- scheidungsraten für K und Mg sogar bei etwa 99 und 98 %. TB M unterschied sich mit einer höheren Nährstoffaufnahme von TB O nur bei N und K, im Stall aufgrund wesentlich höherer Nährstoffgehalte in der Silage und auf der Weide in Abhängigkeit von der Futteraufnahme.
7. Entsprechend der hohen Nährstoff-Ausscheidungsraten ergaben sich im Mittel beider TB und Jahre für N (4,1 bis 7,3 %) und P (9,9 bis 14,6 %) eine geringe und für K (0,4 bis 0,6 %) und Mg (1,4 bis 1,8 %) eine sehr niedrige **Nutzungseffizienz der Futternährstoffe**. Diese war auf der Weide aufgrund der höheren Nährstoff- aufnahme niedriger als im Stall, und zwar bei Stickstoff mit 3,6 bis 6,7 % etwa um den Faktor 2,8.

8. **Weideleistung:** In den Versuchsjahren unterschieden sich die TB in den Weideleistungen deutlich: 100:147 bzw. 100:130 (O:M). Die Umwandlung der Pflanzenerträge (MJ NEL ha⁻¹) in tierische Nutzleistung (MJ NEL ha⁻¹) erfolgte mit 57 bis 89 %.
9. Die mittleren **Weißkleeertragsanteile** betragen in den Versuchsjahren 12 bzw. 7 (O) und 22 bzw. 9 (M) % und führten zu einer **symbiotisch fixierten Stickstoffmenge** von 40 bzw. 23 (O) und 80 bzw. 30 (M) kg ha⁻¹. Diese trug entscheidend zum N-Saldo bei.
10. **Stickstoffverluste:** Die gesamten jährlichen N-Verluste der Teilbetriebe aus dem Weidegang, der Stallmistkette und dem symbiotisch fixierten Stickstoff lagen in den Versuchsjahren bei 62 bzw. 57 (O) und 108 bzw. 66 (M) kg ha⁻¹. Die Tierexkremate bei Weidegang trugen zu über 50 % an den insgesamt entstandenen N-Verlusten bei, und zwar je ha beweideter Fläche in einer Größenordnung von 11 bis zu 125 kg N. Dabei war die Höhe des N-Verlustes im Wesentlichen abhängig von der N-Aufnahme, dem Futterangebot, der Futteraufnahme, dem N-Gehalt im Weidefutter, sowie dem Zeitraum der Beweidung. Der größte Teil der N-Verluste verließ die Teilbetriebe in Form von NO₃⁻.
11. **Nährstoffbilanzierung:** Aufgrund des Misttransfers von TB O nach TB M traten in der Hoftorbilanz (incl. Verluste) in beiden Versuchsjahren negative Saldos in TB O und leicht positive Saldos in TB M auf, bspw. bei N -81 bzw. -42 (O) und 12 bzw. 16 (M) kg ha⁻¹. Die Teilflächenbilanzen zeigten, bedingt durch Unterschiede in der Düngung, Nutzung und Beifütterung, eine große Spanne in den NährstoffsalDOS, bspw. bei N in TB O von -78 bis -13 und in TB M von -34 bis 84 kg ha⁻¹. Von den vier untersuchten Elementen wurden die weitaus größten Mengen bei N und K bewegt. Aus der Stallbilanzierung ergaben sich N-Verluste in Höhe von 3 bzw. 1 (O) und 8 bzw. 6 (M) kg ha⁻¹.
12. **Agrarumweltindikatoren:** Aus den Teilflächenbilanzen ergab sich einerseits ein eindeutig positiver Zusammenhang zwischen dem N-Saldo und dem N-Verlust und andererseits ein Anstieg der Nutzungseffizienz der zugeführten Nährstoffe

mit Abnahme der Weidenutzung. Neben dem N-Saldo wurden sechs weitere Agrarumweltindikatoren in der Gesamtschau diskutiert.

13. Folgende **Möglichkeiten zur Verringerung der N-Verluste** wurden geprüft: Vermeidung von Luxuskonsum, Verkürzung der Weideperiode im Frühjahr, Verkürzung der Weideperiode im Herbst, Verzicht auf Weidehaltung (= ganzjährige Stallhaltung), Ammenkuhhaltung.

Aufgrund der beachtlichen N-Verluste bei Weidegang ist Nährstoff-extensive Mutterkuhhaltung selbst ohne Nährstoffzufuhr über Futter- und Düngemittel nicht unbedingt ökologisch verträglich. Entscheidend ist, wieviel Nährstoffe intern und zwar vor allem über das Weidefutter bewegt werden, also von den Rindern aufgenommen und über Urin und Kot wieder ausgeschieden werden.

8 Literaturverzeichnis

- AARTS, H. F.H., BIEWINGA, G. and H. VAN KEULEN, 1992: Dairy farming systems based of efficient nutrient management. – Netherlands J. of Agric. Sci. 40, 285-299.
- AARTS, H.F.M., HABEKOTTÉ, B. and H. VAN KEULEN, 2000: Nitrogen (N) management in the 'De Marke' dairy farming system. – Nutrient Cycling in Agroecosystems 56, 231-240.
- ACHLER, B., 1994: Boom bei den Fleischrindern und wer daran verdienen kann. – top agrar extra, Fleischrinderproduktion, Münster, 8-12.
- AHLGRIMM, H.-J., 1997: Klimarelevante Emissionen aus der Landwirtschaft – gibt es Möglichkeiten zur Reduktion? – Tagungsband des Fachverbandes „Agrar- und Ökosystemphysik“ der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Münster/Westfalen, 17.-19.03.1997.
- ALFARO, A.M., GREGORY, P.J. and S.C. JARVIS, 2004: Dynamics of Potassium Leaching on a Hillslope Grassland Soil. - Landscape and Watershed Processes, Technical Reports, J. Environ. Qual. 33, 192-200.
- AMBERGER, A., 1988: Pflanzenernährung. - 3. Auflage, UTB – Ulmer - Verl. Stuttgart, 264 S.
- AMBERGER, A., 1990: NH₃-Verluste aus der Anwendung organischer und anorganischer Dünger. – VDLUFA-Schriftenreihe 30, Kongreßband 1989, 103-108.
- AMON, B., 1998: NH₃-, N₂O- und CH₄-Emissionen aus der Festmistabdehnung für Milchvieh. Stall – Lagerung – Ausbringung. – Diss., Univ. Bonn, 182 S.
- AMON, B., BOXBERGER, J., AMON, TH, ZAUSINGER, A. und A. PÖLLINGER, 1997: Einsatz eines mobilen Emissionsmeßraumes zur Emissionsratenbestimmung umwelt- und klimarelevanter Gase aus der Rinderhaltung (Stall, Festmistlagerung und –kompostierung). – Tagungsband zur 3. Internationalen Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, Kiel, 11.-12.03., 344-351.
- AMON, B.T. und J. BOXBERGER, 1998: Untersuchungen der Ammoniakemissionen in der Landwirtschaft Österreichs zur Ermittlung der Reduktionspotentiale. Institut für Land-, Umwelt und Energietechnik, Wien.
- AMON, B., AMON, TH., BOXBERGER, J. and CH. ALT, 2001: Emissions of NH₃, N₂O and CH₄ from dairy cows housed in a farmyard manure tying stall (housing, manure storage, manure spreading). – Nutrient Cycling in Agroecosystems 60, 103-113.
- AMON, B., WAGNER-ALT, C., AMON, T., BOXBERGER, J. und A. PÖLLINGER, 2002: Wirkung der Einstreu auf umwelt- und klimarelevante Emissionen aus einem Tretmiststall für Mastbullen. - In: EURICH-MENDEN, B., DÖHLER, H. u. E. GRIMM, 2002: Emissionen der Tierhaltung. Grundlagen, Wirkungen, Minderungsmaßnahmen. – KTBL/UBA-Symposium, 3.-5. Dezember 2001, Bildungszentrum Kloster Banz, KTBL-Schrift 406, 374 S.
- ANDERSON, D.L., HANLON, E.A., MILLER, D.P., HOGE, V.R. and O.A. DIAZ, 1992: Soil sampling and nutrient variability in dairy animal holding areas. – Soil Sci. 153, 314-321.
- ANGER, M., 1993: Zur Dynamik der Nmin-Werte unter Grünland unter besonderer Berücksichtigung von Urin- und Kotflecken. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 6, 321-324.

- ANGER, M., HOFFMANN, U. und W. KÜHBAUCH, 1997: Hoftorbilanzen von Grünlandbetrieben des Mittelgebirges. – Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Band 27, 147-153.
- ANGER, M. und W. KÜHBAUCH, 1998: Effizienzkontrolle der Grünlandextensivierungsprogramme im Mittelgebirge Nordrhein-Westfalens. I. Einfluss der Grünlandextensivierungsprogramme auf die Grünlandbewirtschaftung. A. Bewertung des nachhaltigen Nährstoffeinsatzes anhand von Hoftorbilanzierung. – Im Rahmen des Lehr- und Forschungsschwerpunktes „Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft“ der landwirtschaftlichen Fakultät der Univ. Bonn, 69 S.
- ANGER, M., 2001: Kalkulation umweltrelevanter Stickstoffverluste auf Dauergrünland und Bewertung des nachhaltigen Stickstoffeinsatzes im Grünlandbetrieb.- Habilitationsschrift, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, 290 S.
- ANGER, M., HOFFMANN, C. and W. KÜHBAUCH, 2003: Nitrous oxide emissions from artificial urine patches applied to different N-fertilized swards and estimated annual N₂O emissions for differently fertilized pastures in an upland location in Germany. – Soil Use and Management 19, S. 104-111.
- ANONYMUS, 1983: Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau. – Ruhr-Stickstoff Aktiengesellschaft (Hrsg.), 10. Aufl., Bochum, 584 S.
- ANONYMUS, 1990: Emissionen von Ammoniak. – Arbeitsmaterialien des Bundesamtes für Ernährung und Forstwirtschaft (BEF), Frankfurt a. M., 116 S.
- ANONYMUS, 1992: Potassium in Ecosystems. Biogeochemical Fluxes of Cations in Argo- and Forest-Systems. – Proceedings of the 23rd Colloquium of the International Potash Institute held at Prague / Czechoslovakia, 457 S.
- ANONYMUS, 1993: Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau. – Hydro Agri Dülmen GmbH (Hrsg.), 12. Aufl., Landwirtschaftsverlag Münster, 618 S.
- ANONYMUS, 1996: Leitfaden zur Umsetzung der Düngeverordnung in Nordrhein-Westfalen. Landwirtschaftskammern Westfalen-Lippe und Rheinland, Münster und Bonn, 109 S.
- ANONYMUS, 2001: Dünger und Umweltschutz. Das niederländische Konzept gegen Nährstoffüberschuss und Ammoniakemission. – 2. edition, Niederländisches Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Fischerei, Den Haag, 21 S.
- ARENS, R., 1963: Jungvieh-Gewichtszunahmen aus 30 Jahren in Rengen (Hocheifel). – Das wirtschaftseigene Futter, Band. 9, 106-112.
- ASLAN, S., 1980: Verlagerung von Pflanzennährstoffen (Ammonium- und Nitratstickstoff, Kalium Phosphat, Calcium, Magnesium) im Bodenprofil unter natürlichen Anbaubedingungen nach Düngung mit Kalkammonsalpeter bzw. N-Lignin. – Diss. Univ. Gießen, 146 S.
- ASMUS, F., 1990: N-Verluste durch Ammoniakverflüchtigung nach dem Ausbringen von Stallmist und Gülle. Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde 34/2, 123-130.
- ASTERAKI, E.J., MATTHEWS, R.A. and B.F. PAIN, 1997: Ammonia emissions from beef bedded on straw. – Proceedings of the International Symposium Ammonia and Odour Control from Animal Production Facilities, Vinkeloord, NL, S. 347.
- AUERSWALD, K., 1993: Realisierung durch die Landwirtschaft – Gewässerschutz durch Bodenschutz. – In: THOROE, C., FREDE, H.-G., LANGHOLZ, H.-J., SCHUMACHER, W. und WERNER, W., 1993: Belastungen der Oberflächengewässer aus der Landwirtschaft - gemeinsame Lösungsansätze zum Gewässerschutz -. Schriftenreihe Agrarspectrum, Band 21, S. 150-160.
- AUERSWALD, K., SCHNYDER, H. und P. RIEDEL, 2001: Hochauflösende Wiegung von Weidetieren zur Erfassung von Weideverhalten und Mastleistung - Genau-

- igkeit einer automatischen Weidewaage. – In ARBEITSGEMEINSCHAFT GRÜNLAND UND FUTTERBAU: Kurzfassungen der Referate und Poster. Bd. 3, 45. Jahrestagung, 137-138.
- AUGUSTIN, J., W. MERBACH, L. STEFFENS und B. SNELINSKI, 1998: Nitrous oxide fluxes of disturbed minerotrophic peatlands. – *Agric. Res.* 51, 47-57.
- AVERBECK, F., 1988: Interessantes aus der Feldprüfung – Kalbemonat und Alter der Mutter beeinflussen das Absetzgewicht. – *Fleischrinder-Journal* Heft 2, 4-5.
- BAADE, J., WACHENDORF, M. und F. TAUBE, 2001: Selektive Futterraufnahme durch Milchkühe auf Umtriebsweiden – Auswirkungen auf Ertrag und Futterqualität. – *Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau in der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften*, 45. Jahrestagung, 23. bis 25. August in Gumpenstein, 139-141.
- BACH, M., 1987: Die potentielle Nitratbelastung des Sickerwassers durch die Landwirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland. – *Diss. Univ. Göttingen*, 186 S.
- BACH, M., FREDE, H.-G. und G. LANG, 1997: Handbuch N-, P-, K-Bilanzierung. Berechnung der nationalen Sektor-, Flächen- und Stallbilanz nach PARCOM-Richtlinie für die Elemente Stickstoff, Phosphor und Kalium für die Landwirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland. – *Gesellschaft für Boden- und Gewässerschutz e.V., Wettengel*, 19 S.
- BACH, M. and H.-G. FREDE, 1998: Agricultural nitrogen, phosphorus and potassium balances in Germany – Methodology and trends 1970 to 1995. – *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 161, 385 – 393.
- BAGLEY, C. P., CARPENTER, J. C., FEAZEL, J. I., HEMBRY, F. G., HUFFMAN, D. C. and K. L. KOONCE, 1987: Influence of calving season and stocking rate on beef cow-calf productivity. – *J. Anim. Sci.* 64, 687-694.
- BAILEY, C.B. and J.E. LAWSON, 1981: Estimated water and forage intake in nursing beef calves. – *Can. J. Anim. Sci.* 61, 415-424
- BAKER, A. L., PHILLIPS, R. W. and W. H. BLACK, 1946: The accuracy of one-day and three-day weights of calves. – *J. Anim. Sci.* 5, 396.
- BAKER, A. L., PHILLIPS, R. W. and W. H. BLACK, 1947: The relative accuracy of one-day and three-day weaning weights of calves. – *J. Anim. Sci.* 6, 56.
- BAKKER, J. P., 1989: Nature management by grazing and cutting. On the ecological significance of grazing and cutting regimes applied to restore former species-rich grassland communities in the Netherlands. – *Geobotany* 14, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 400 S.
- BARACLOUGH, D., GEENS, E.L. and J.M. MAGGS, 1984: Fate of fertilizer nitrogen applied to grassland. II. Nitrogen-15 leaching results. – *J. Soil Sci.* 35, 191-199.
- BARTLETT, S., 1926: Variations in the live weight of dairy cows. – *J. Agric. Sci.* 16, 383.
- BARTSCH, D., 1988: Untersuchungen zur täglichen Gewichtsschwankung beim Rind. – *Diss. Univ. – Göttingen*, 189 S.
- BEEK, C.L. VAN, BROUWER, L. and O. OENEMA, 2003: The use of farmgate balances and soil surface balances as estimator for nitrogen leaching to surface water. – *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 67, 233-244.
- BEER, W., 1995: Methodische und standortsökologische Untersuchungen zum Nährstoffumsatz im Grünland. *Dissertationes Botanicae*, J.Cramer Verl., Berlin u. Stuttgart, Band 242, 216 S.
- BENKE, M., 1992: Untersuchungen zur Nitratauswaschung unter Grünland mittels der Saugkerzen-Methode in Abhängigkeit von der Nutzungsart (Schnitt/Weide), der Nutzungshäufigkeit, der Bestandeszusammensetzung (mit (ohne Weißklee) und der Stickstoffdüngung. – *Diss. Univ. Kiel*, 125 S.

- BERG, W., HÖRNIG, G. und U. WANKA, 2002: Ammoniak-Emissionen bei der Lagerung von Fest- und Flüssigmist sowie Minderungsmaßnahmen. – KTBL-Schrift 406, 151-163.
- BERNAL, M.P. and H. KIRCHMANN, 1992: Carbon and nitrogen mineralization and ammonia volatilization from fresh, aerobically and anaerobically treated pig manure. – *Biology and fertility of soils* 13, 135-141.
- BERNER, A., 1987: Einfluss des Sickersaftes von Kompostmieten auf die Umwelt. Forschungsinstitut für biologischen Landbau, CH-Oberwil.
- BERNER, A., 1990: Einfluss von Kompostmieten auf die Umwelt. – *Landw. Schweiz* 3, 95-99.
- BERRY, N.R., JEWELL, P.L., SUTTER, F., EDWARDS, P.J. and M. KREUZER, 2002: Selection, intake and excretion of nutrients by Scottish Highland suckler beef cows and calves, and Brown Swiss dairy cows in contrasting Alpine grazing systems. – *Journal of Agricultural Science* 139, 437-453.
- BESSON, J.-M., 1991: Le compostage de fumiers.- In: *L'Azote en question. Colloque de l'Association pour la promotion industrie agriculture (APRIA) à Paris (29-30 janvier 1991)*. Ed. APRIA, 93-106.
- BLESS, H.G. und B. SATTELMACHER, 1991: Ammoniakverluste nach der Ausbringung von Gülle und Stallmist. *VDLUFA Schriftenreihe* 33, 81-86.
- BLUME, F., 1958: Untersuchungen über Ertragsdifferenzen zwischen beweideten und gemähten Flächen. – *Diss. Univ. Bonn*, 72 S.
- BML (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN), 1999: *Agrarbericht 1999*.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (Hrsg.), 1993: *Klimaschutz in Deutschland – Nationalbericht der Bundesregierung für die Bundesrepublik Deutschland im Vorgriff auf Artikel 12 des Rahmenabkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen*. Bonn
- BOBBINK, R. GERRIT, W.H. and M.B.A.G. RAESSEN, 1992: Atmospheric deposition and canopy exchange process in heathland ecosystems. – *Environ. Pollut.* 75, 29-37.
- BOBERFELD, O. VON., 1994: *Grünlandlehre*. – UTB-Ulmer-Verl. Stuttgart, 336 S.
- BOBRITZKAYA, M. A., 1969: Mögliche Verluste von N, P und K mit durchsickernden Wassern in Böden. – *Geoderma* 3, 63-68.
- BOLLER, B., NESHEIM, L., LEHMANN, J. und U. WALTHER, 1992: Einfluß von Gülle und mineralischer N-Düngung auf die Stickstoff-Fixierung von Weißklee. – *Landwirtschaft Schweiz* 5, 149-151.
- BOYD, A.G. and J. FRAME, 1982: Response of white clover to various management factors. – *Proc. 9th Gen. Meeting Europ. Grassl. Fed., Reading*, 213-216.
- BRAUN-BLANQUET, J., 1964 : *Pflanzensoziologie, Grundzüge der Vegetationskunde*. – Springer Verl., Berlin, Wien & New York, 865 S.
- BRELIN, B., 1979: Suckler Cows of Charolais, Hereford and SRB – a Comparison of Productive Traits. – *Swedish J. agric. Res.* 9, 139-149.
- BRISTOW, A.W., WHITEHEAD D.C. and J. E. COCKBURN, 1992: Nitrogenous constituents in the urine of cattle, sheep and goats. – *J. Sci. Food and Agric.* 59, 387-394.
- BROUWER, F.M., GODESCHALK, F.E., HELLEGERS, P.J.G.J. and H.J. KELHOLT, 1995: Mineral balances at farm level in the European Union. – *Agricultural Economics Research Institute (LEI-DLO), The Hague*, 141 S.
- BROUWER, F., 1998: Nitrogen balances at farm level as a tool to monitor effects of agri-environmental policy. – *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 52, 303-308.

- BUCHWALD, J., 1994: Extensive Mutterkuh- und Schafhaltung. – KTBL-Schrift 358, Darmstadt, 227 S.
- BUIJSMAN, E., 1987: Ammonia emission calculation – fiction and reality -. – In: AS-MAN, W.A.H. and H.S.M.A. DIEDERSEN (eds.): Ammonia and Acidification, Proc. Symp. of the European Association for the Science of Air Pollution (EURASAP), Bilthoven (The Netherlands), 13. - 15.04., 13-27.
- BUSSINK, D.W., 1992: Ammonia volatilization from grassland receiving nitrogen fertilizer and rotationally grazed by dairy cattle. – Fert. Res. 33, 257-265.
- BUSSINK, D. W., 1996: Ammonia volatilization from intensively managed dairy pastures. – Diss. Landbouwniversiteit Wageningen (NL), 176 S.
- CHADWICK, D.R., PAIN, B.F. and S.K.E. BROOKMAN, 2000: Nitrous Oxide and Methane Emissions following Application of Animal Manures to Grassland. – J. Environ. Qual. 29, 277-287.
- CHAMBERS, B. J., SMITH, K. A. and T. J. VAN DER WEERDAN, 1997: Ammonia emissions following the land spreading of solid manures. – In: JARVIS, S.C. and B.F. PAIN (eds.): Gaseous nitrogen emission from grasslands. CAB International, Oxon, New York, 275-280.
- CHESTNUTT, D. M. B., 1986-87: Milk Yield of the Suckler Cow and its Effect on Calf Performance. – Annual Report, 32-38.
- CHICCO, C. F., AMMERMAN, C. B. and P. E. LOGGINS, 1973: Effect of age and dietary magnesium on voluntary feed intake and plasma magnesium in ruminants. – J. Dairy Sci. 56, 822-824.
- COLBOURN, P., 1993: Limits to denitrification in two pasture soils in a temperate maritime climate. – Agric. Ecosyst. Environ. 43, 49-68.
- COOPER, A. B. and THOMSEN, C. E., 1988: Nitrogen and Phosphorus in streamwater from adjacent pasture, pine and native forest catchments. New Zealand Journal of Marine and Fresh Water Research 22, 279-291.
- COPPENET, M., 1969: Résultats de douze années d'observations lysimétriques à Quimper (1954/65). Ann. agron. 20, 111-143.
- CSEHI, K., 1997: Ammoniakemission bei der Kompostierung tierischer Exkrememente in Mieten und Kompostqualität. – Diss. Univ. Hohenheim, 156 S.
- CUTTLE, S.P., HALLARD, M., DANIEL, G. and R.V. SCURLOCK, 1992: Nitrate leaching from sheep grazed grass / clover and fertilized grass pastures. – J. Agric. Sci. Camb. 119, 335-343.
- CUTTLE, S.P., SCURLOCK, R.V. and B.M.S. DAVIES, 1998: A 6-year comparison of nitrate leaching from grass / clover and N-fertilized grass pasture grazed by sheep. – J. Agric. Sci. Camb. 131, 39-50.
- DEINUM, B. and J.G.P. DIRVEN, 1976: Climate, nitrogen and grass. 7. Comparison of production and chemical composition of *Brachiaria ruziziensis* and *Setaria sphacelata* grown at different temperatures. – Neth. J. agric. Sci. 24, 67-78.
- DEMMERS, T.G.M., PHILLIPS, V.R., SHORT, L.S., BURGESS, L.R., HOXEY, R.P. and C.M. WATHES, 1997: Validation of ventilation rate measurement methods and the ammonia emission from a naturally ventilated UK dairy and beef Unit. Proceedings of the International Symposium Ammonia and Odour Control from Animal Production Facilities, Vinkeloord, NL, 230 S.
- DEUTSCHER BUNDESTAG, 1994: Schutz der Grünen Erde. Klimaschutz durch umweltgerechte Landwirtschaft und Erhalt der Wälder. – Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" des deutschen Bundestages (Hrsg.), Economica Verl., Bonn, 702 S.
- DEWES, T., 1991: Sickersaft-Austrag und Stickstoff-Fracht aus Mistmieten. – J. Agronomy & Crop Science 166, 145-151.

- DEWES, T., 1995: Nitrogen losses from manure heaps. – *Biol. Agriculture and Horticulture*, 11, 309-317.
- DEWES, T., 1996: Biotisch und abiotisch bedingte NH_3 -Emissionen während der Lagerung von Stallmist. I. Einfluß von H^+ -Ionenkonzentration und Temperatur. – *Agrobiol. Res.* 49, 2-3, 203-210.
- DEWES, T., 1997a: Zusammensetzung und Eigenschaften von Sickerwasser aus Stallmiststapeln. – *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 160, 97-101.
- DEWES, T., 1997b: Ökologische Relevanz und Bewertung der Stallmistlagerung auf unbefestigtem Boden. – In: KÖPKE, U. und J.-A. EISELE, 1997: Beiträge zur 4. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, 3.-4. März an der Rheinischen Friedrich-Wilhelm-Universität Bonn, Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau, 488-494.
- DEWES, T., 1997c: Biotisch und abiotisch bedingte NH_3 -Emissionen während der Lagerung von Stallmist. II. Einfluß der Menge an Einstreu und der Lagerdichte. – *Agrobiol. Res.* 50, 1, 17-25.
- DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft), 1973: DLG-Futterwerttabellen. Mineralstoffgehalte in Futtermitteln. – *Arbeiten der DLG*, Band 62, 2. Aufl., DLG-Verl., Frankfurt / Main, 199 S.
- DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft), 1997: DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer. – 7. Aufl., DLG-Verl., Frankfurt / Main, 212 S.
- DÖHLER, H. und B. BISKUPEK, 1993: Vergleichende Bewertung von Fest- und Flüssigmistverfahren. – *Umweltverträgliche Verwertung von Festmist*, KTBL Arbeitspapier 182, 153 S.
- DÖHLER, H., DÄMMGEN, U., EURICH-MENDEN, B., OSTERBURG, B., LÜTTICH, M., BERG, W., BERG-SCHMIDT, A. und R. BRUNSCH, 2002a: 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 Jahre 2010. Abschlussbericht im Auftrag von BMVEL und UBA, UBA-Texte 05/02.
- DÖHLER, H., MENZI, H. und M. SCHWAB, 2002b: Emissionen bei der Ausbringung von Fest- und Flüssigmist und Minderungsmaßnahmen. – In: EURICH-MENDEN, B., DÖHLER, H. u. E. GRIMM, 2002: Emissionen der Tierhaltung. Grundlagen, Wirkungen, Minderungsmaßnahmen. – *KTBL/UBA-Symposium*, 3.-5. Dezember 2001, Bildungszentrum Kloster Banz, *KTBL-Schrift* 406, 374 S.
- DOU, Z., R.A. KOHN, J.D. FERGUSON, R.C. BOSTON and J.D. NEWBOLD, 1996: Managing nitrogen on dairy farms: an integrated approach. I. Model description. *J. Dairy Sci.* 79, 2071-2080.
- DYCKMANS, A., 1986: Die Bedeutung des Weißklee (*Trifolium repens* L.) im Dauergrünland – Sein Beitrag zur Ertragsleistung und Stickstoffversorgung bei abgestuft intensiver Nutzung. – *Diss. Univ. Hohenheim*, 144 S.
- EARLY, M.S.B., K.C. CAMERON and P.M. FRASER, 1998: The fate of potassium, calcium and magnesium in simulated urine patches on irrigated dairy pasture soil. – *New Zealand Journal of Agricultural Research*, Vol. 41, 117-124.
- EDER, G., 1993: Auswaschung von Na, K, Ca und Mg im Grünland nach Düngung mit Rindergülle. – 3. Gumpensteiner Lysimetertagung „Lysimeter und ihre Hilfe zur umweltschonenden Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Nutzflächen“, BAL (Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft) Gumpenstein (Österreich), 20.-21. April, 53-58.
- ELSAESSER, M., 1994: Effects of reduced N application on mineral N contents, DM yield and botanical composition of permanent grassland. – *Proc. 15th Gen. Meet. Europ. Grassl. Fed. in Wageningen (NL)*, 434-437.

- ESTAVILLO, J.M., RODRIGUEZ, M., LACUESTA, M. and C. GONZALEZ-MURUA, 1997: Effects of cattle slurry and mineral N fertilizer applications on various components of the nitrogen balance of mown grassland. – *Plant and Soil* 188, 49-58.
- ESTERMANN, B. L., 2001: Nutrient cycling in suckler beef systems including alpine grazing. – *Schriftenreihe Nachhaltige Land- und Forstwirtschaft im Alpenraum*, Band 2, Wissenschaftsverlag Vauk Kiel KG, 118 S.
- ESTERMANN, B. L., WETTSTEIN, H.-R., SUTTER, F., ERDIN, D. and M. KREUZER, 2001: Effect of calving period on herbage intake and nutrient turnover of Simmental and Angus suckler cows with Angus sired calves grazing subalpine and alpine pastures. – In: ESTERMANN, B. L., 2001: Nutrient cycling in suckler beef systems including alpine grazing. *Schriftenreihe Nachhaltige Land- und Forstwirtschaft im Alpenraum*, Band 2, Wissenschaftsverlag Vauk Kiel KG, 55-76.
- EVANS, D.R., WILLIAMS, T.A. and S.A. MASON, 1990: Contribution of white clover varieties to total sward production under typical farm management. – *Grass and forage Science* 45, 129-134.
- FINCK, A., 1976: Pflanzenernährung in Stichworten. *Hirts Stichwörterbücher*, 3. Aufl., Verl. Ferdinand Hirt, 200 S.
- FINCK, A., 1992: Dünger und Düngung. Grundlagen und Anleitung zur Düngung der Kulturpflanzen. 2. Aufl., VCH-Verl., Weinheim, 488 S.
- FIRESTONE, M.K. and E.A. DAVIDSON, 1989: Microbiological Basis of NO and N₂O production and consumption in soil. – In: ANDREAE, M.O. and D.S. SCHIMMEL (eds.): Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. John Wiley and Sons Ltd., Chichester, 7-21.
- FÖRSTER, P., 1988: Stoffgehalte und Stoffausträge im Dränwasser bei Grünland- und Ackernutzung in der nordwestdeutschen Geest. – *Kali-Briefe* 19, 169-184.
- FÖRSTER, P., SCHEFFER, B. und H. NEUHAUS, 1985: Drainwassergüte und Nährstoffaustrag im norddeutschen Raum auf Marsch, Moor und Geest. – *Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges.* 41, 497-504.
- FOWLER, S.M., C.A. WATSON and D. WILMAN, 1993: N, P and K on organic farms: herbage and cereal production, purchases and sales. *J. Agric. Sci.* 120, 353-360.
- FRAME, J. and A.G. BOYD, 1984: Response of white clover to climatic factors. – *Proc. of the 10th Gen. Meet. of the Europ. Grassl. Fed.*, 171-175.
- FRAME, J. and P.I. NEWBOULD, 1986: Agronomy of white clover. – *Adv. Agron.*, 40, 1-88.
- FRAME, J., 1993: Herbage mass. – In DAVIS, A. et al.: *Sward Measurement Handbook*, 2nd Edition, 39-68.
- FREDE, H.-G. und St. DABBERT (Hrsg.), 1999: *Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft*. Landsberg, 451 S..
- FREDE, H.-G. und M. BACH, 2004: Wie weit können wir runter? – In: Stellen Sie sich auf neue Grenzen ein. – *DLG-Mitteilungen* 3, 13-16.
- FRICK, R. und H. MENZI, 1997: Hofdüngeranwendung: Wie Ammoniakverluste vermindern? – *FAT-Bericht*, Nr. 496, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, Tänikon, 12 S.
- FUCHS, C., GOLL, G. und J. ZEDDIES, 1995: Trinkwasserversorgung im Spannungsfeld zwischen Landwirtschaft und Wasserwerken – eine ökonomische Beurteilung. In: ARNDT, U., BÖCKER, R. und A. KOHLER (Hrsg.): *Grenzwerte und Grenzwertproblematik im Umweltbereich* (27. Hohneheimer Umwelttagung), ISBN: 3-9803862-2-8.

- FÜHRER, H.-W., 1988: Ergebnisse von neuen Depositionsmessungen in der Bundesrepublik Deutschland und im benachbarten Ausland. – Mitteilungen des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (DVWK) 14, 122 S.
- GARWOOD, E.A. and J.C. RYDEN, 1986: Nitrate loss through leaching and surface runoff from grassland effects of water supply, soil type and management. – In: MEER, H.G. VAN DER, RYDEN, J.C. and G.C. ENNIK (Hrsg.): Nitrogen fluxes in intensive grassland systems. M. Nijhoff Publ., Dordrecht (NL), 99-113.
- GEH (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie der Haustiere: Ausschuss für Bedarfsnormen), 1986: Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. – Nr. 3, Milchkühe und Aufzuchttrinder, DLG-Verl., Frankfurt / Main, 92 S.
- GfE (Ausschuß für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie), 2001: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. – Nr. 8, DLG-Verl., Frankfurt / Main, 136 S.
- GISIGER, L., 1962: Vom Anfall der Mistgülle, ihrem Wert und Gehalt. Mittl Schweiz. Landw. Jb. Schweiz 101, 285-311.
- GOLZE, M., BALLIET, U., BALTZER, J., GÖRNER, Chr., POHL, G., STOCKINGER, Chr., TRIPHAUS, H. und J. ZENZ, 1997: Extensive Rinderhaltung. Fleischrinder-Mutterkühe. Rassen, Herdenmanagement, Wirtschaftlichkeit. – Verlags-Union-Agrar, München, 159 S.
- GRANT, G., KRONVANG, B. and LAUBEL A., 1997: Catchment Studies of the Loss of Phosphorus from Agriculture to surface water. In CAB INTERNATIONAL (Hrsg.): TUNNEY, H., O.T. CARTON, P.C. BROOKES and A.E. JOHNSTON, 1997: Phosphorus Loss from Soil to water. 383-385.
- GRÖNESTEIN, C.M., OOSTHOEK, J. and H.G. VAN FAASEN, 1993: Microbial processes in deep-litter systems for fattening pigs and emissions of ammonia, nitrous oxide and nitric oxide. – In: VERSTEGEN, M.W.A. (eds.) et al.: Nitrogen flow in pig production and environmental consequences. Proceedings of First International Symposium on Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences, Pudoc Scientific Publishers, Wageningen (NL), 307-312.
- GRONAUER, A., CLAASSEN, N., EBERTSEDER, T., FISCHER, P., GUTSER, R., HELM, M., POPP, L. und H. SCHÖN, 1997: Bioabfallkompostierung. – Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.), Schriftenreihe Heft 139.
- GRUBER, L. und A. STEINWIDDER, 1996: Einfluss der Fütterung auf die Stickstoff- und Phosphorausscheidung landwirtschaftlicher Nutztiere – Modellkalkulationen auf der Basis einer Literaturübersicht. – Die Bodenkultur 47 (4), 255-277.
- GRUBER, L., STEINWENDER, R., GUGGENBERGER, T., HÄUSLER, J. und A. SCHAUER, 2001a: Vergleich zwischen biologischer und konventioneller Wirtschaftsweise im Grünlandbetrieb. 2. Mitteilung: Futteraufnahme, Milchleistung, Gesundheit und Fruchtbarkeit. - Bodenkultur 52 (1), 55-70.
- GRUBER, L., STEINWENDER, R., GUGGENBERGER, T., HÄUSLER, J. und A. SCHAUER, 2001b: Vergleich zwischen biologischer und konventioneller Wirtschaftsweise im Grünlandbetrieb. 3. Mitteilung: Nährstoffbilanzen auf Feld/Stall-Basis und Hoftor-Basis. - Bodenkultur 52 (2), 183-195.
- HAAS, G., WETTERICH, F. and U. KÖPKE, 2001: Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. *Agricult. Ecosyst. Environ.* 83, 43-53.
- HAAS, G., B. CASPARI and U. KÖPKE, 2002: Nutrient cycling in organic farms: stall balance of a suckler cow herd and beef bulls. – *Nutrient cycling in Agroecosystems* 64, 225-230.

- HÄHNER, I., 1996: Untersuchungen zur Milchviehfütterung bei Verzicht auf mineralische N-Düngung von Mähweiden. – Diss. Univ. Bonn, 118 S.
- HÄLLING, M. and D. SCHOLEFIELD, 2001: Correlation between yield of forage legumes in grass mixtures and accumulation of soil mineral nitrogen in Sweden. – Proceedings of the XIX International Grassland Congress, Brazil, 109-111.
- HÄMILTON, B. A., K. J. HUTCHINSON, P.C. ANNIS and J. B. DONNELLY, 1973: Relationships between the diet selected by grazing sheep and the herbage on offer. – Australian Journal of Agriculture Research 24, 271-277.
- HÄND, K. D., 1991: Mittelfristige Auswirkungen einer extensiven Grünlandbewirtschaftung auf Ertrags- und Futterqualitätsparameter sowie den Pflanzenbestand. – Diss., Univ. Kiel, 231 S.
- HÄRENZ, H., KÖSTER, W. und D. MERKEL, 1992: Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumbilanzen der Landwirtschaft der Bundesrepublik Deutschland und der ehemaligen DDR von 1950 bis 1988. – Agribiol. Res. 45, 4, 285-293.
- HÄRT, R. H. and B. E. NORTON, 1988: Grazing management and vegetation response. – In: Handbook of vegetation science. Vol. 14, 493-525: In: TÜLLER, P. T. (Hrsg.), 1988: Vegetation science applications for rangeland analysis and management. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Bosten und London, 642 S.
- HÄWKINS, J. and D. SCHOLEFIELD, 2000: Leaching of dissolved organic N from grass-clover pasture in SW England. – 18h Gen. Meet. Europ. Grassl. Fed. in Aalborg (DK), Grassl. Sci. in Europe 5, 378-380.
- HÄYNES, R.J., 1980: Competitive aspects of the grass-legume association. Adv. Agron. 33, 227-261.
- HÄYWARD, J., FOY, R.H. and C.E. GIBSON, 1993: Nitrogen and phosphorus budgets in the Erne System, 1974-89. – Biology and Environment. Proceedings of the Royal Irish Academy 93B, 33-44.
- HÖDGSON, R. E. and J. C. KNOTT, 1942: Accuracy of live weights of dairy cows on pasture. – J. Dairy Sci. 25, 161.
- HÖFFMANN, C.L., 1999: Lachgasemissionen auf Dauergrünland unterschiedlicher Standorte mit Schnittnutzung und differenzierter Stickstoffdüngung. – Diss. Univ. Bonn, 109 S.
- HÖFFMANN, C. und M. ÄNGER, 1997: N₂O-Freisetzung auf gemähtem Dauergrünland in Abhängigkeit von Bewirtschaftung und Standort. – VDLUFA-Schriftenreihe 46, 703-706.
- HÖFFMANN, G., 1967: Die Versickerung von Wasser und Nährstoffen in drei verschiedenen Bodenarten nach Messungen am Lysimeter des Agrikulturchemischen Institutes Weißenstephan. Bayer. Landw. Jahrb., Sonderh. 3, 44, 258-263.
- HÖGLUND, J.H., 1985: Grazing intensity and soil nitrogen accumulation. – Proc. N.Z. Grassl. Ass. 46, 65-69.
- HÖLLÄND, P.T. and C. DURING, 1977: Movement of Nitrate-N and Transformation of urea-N under field conditions. – N.Z.J. Agric. Res. 20, 479-488.
- HÖLLÖWAY, J. W., STEPHENS, D. F., WHITEMAN, J. V. and B. TOTUSEK, 1975: Performance of 3-year-old Hereford, Hereford x Holstein and Holstein cows on range and in dry lot. - J. Anim. Sci. 40, 114-125.
- HÖPPER, A.B., ARCIERO, D.M. DISPIRITO, A.A., FUCHS, J., JOHNSON, M., LAQUIER, F., MUNDFROM, G. and H. MCTAVISH, 1990: Production of nitrite and N₂O by ammonia-oxidizing nitrifiers. In: GRESSHOFF, A., ROTH, A., STACEY, C. and H. NEWTON (eds.): Nitrogen fixation: Schivements and objectives. Chapman and Hall, London, 387-392.

- HORN, H.H. VAN, G.L. NEWTON and W.E. KUNKLE, 1996: Ruminant nutrition from an environmental perspective: factors affecting whole-farm nutrient balance. *J. Anim. Sci.* 74, 3082-3102.
- HOUGHTON, J.T., MEIRA FILHO, L.G., CALLANDER, B.A., HARRIS, N., KATTENBERG, A. and K. MASKELL (eds.), 1996: *Climate change 1995 – the Science of climate change.* – Cambridge University Press, Cambridge.
- HÜGING, H., 1997: Auswirkungen unterschiedlicher Weideverfahren im Bergischen Land auf den Nitrataustrag, die Futterproduktion und die Weideleistung. – Diss. Univ. Bonn, 90 S.
- HÜMBELIN, M., MEYER, M. und H. STICHER, 1980: Stickstoff-Fixierung bei der Kompostierung von Rindermist. – Schweizerische landwirtschaftliche Forschung 19, 85-90.
- HÜTHER, L., 1999: Entwicklung analytischer Methoden und Untersuchung von Einflussfaktoren auf Ammoniak-, Methan- und Distickstoffmonoxidemissionen aus Flüssig- und Festmist. – Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 200, Diss. Univ. Braunschweig, 225 S.
- HUGHES, J. G., 1976: Short-term variation in animal live weight and reduction of its effect in weighing. – *Anim. Breed. Abstr.* 44, 111.
- HUTH, F.-W., W.v. SCHUTZBAR, D. BARTSCH und Z. PASIERBSKI, 1988: Ursachen und Wirkung der Gewichtsvariationen beim Rind. – Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 96.
- HUTTON, J.B., JURY, K.E. and E.B. DAVIES, 1967: Studies of the nutritive value of New Zealand dairy pastures. V. The intake and utilisation of potassium, sodium, calcium, phosphorus and nitrogen by lactating dairy cattle. *New Zealand Journal of agricultural research* 10, 367-388.
- JAMES, T., MEYER, D., ESPARZA, E., DEPETERS, E.J. and H. PEREZ-MONTI, 1999: Effects of dietary nitrogen manipulation on ammonia volatilization from manure from holstein heifers. – *J. Dairy Sci.* 82/11, 2430-2439.
- JANS, F., 1990: Weidenutzung und Landschaftspflege an Trockenstandorten mit Mutterkühen oder Schafen. – *Landwirtschaft Schweiz*, Band 3 (6), 311-314.
- JARVIS, S.C., M. SHERWOOD and J.H.A.M. STEENVOORDEN, 1987: Nitrogen losses from animal manures: from grazed pastures and from applied slurry. – In: MEER, H.G. VAN DER, UNWIN, R.J., ENNIK, G.C. and T.A. VAN DIJK (eds.): *Animal manure on grassland and fodder crops. Fertilizer or waste?* M. Nijhoff, Dordrecht (NL), 195-212.
- JARVIS, S.C., HATCH, D.J. and D.R. LOCKYER, 1989: Ammonia fluxes from grazed grassland: annual losses from cattle production systems and their relation to nitrogen inputs. – *J. Agric. Sci. Camb.* 113, 99-108.
- JARVIS, S.C., HATCH, D.J. and D.H. ROBERTS, 1989: The effects of grassland management on nitrogen losses from grazed swards through ammonia volatilization; the relationship to excretal N returns from cattle. – *J. agric. Sci. Cam.*, 112, 205-216.
- JEROCH, H. DROCHNER, W. und O. SIMON, 1999: Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere, Ulmer, 544 S.
- JONKER, J.S., KOHN, R.A. and J. HIGH, 2002: Dairy Herd Management Practices that Impact Nitrogen Utilization Efficiency. – *J. Dairy Sci.* 85, 1218-1226.
- JORDAN, C., 1989: The effect of fertilizer type and application rate on denitrification losses from cut grassland in Northern Ireland. – *Fert. Res.* 19 45-55.
- JÜLG, G., 1958: Untersuchungen über die Wirkung organischer Dünger auf Wiesen unter besonderer Berücksichtigung von Stallmist bei verschiedener Anwendungszeit, Menge und Form. – Diss. Univ. Hohenheim, 120 S.

- KAFKA, S. and H. KOEPF, 1989: A case study of the nutrient regime in sustainable farming. *Biological Agriculture and Horticulture* 6, 89-106.
- KAISER, E.A., MUNCH, J.C. and O. HEINEMEYER, 1996: Importance of soil cover box area for the determination of N₂O emissions from arable soils. – *Plant and Soil* 181, 185-192.
- KAYSER, M., MÜLLER, J. und M. BENKE, 2003: Vergleich von Weißklee-basierten Grünlandflächen mit mineralisch N-versorgten Grasbeständen im Hinblick auf Parameter des Nährstoffaustrages. – *Mitt. Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau*, Band 5, 283-286.
- KEBREAB, E., FRANCE, J., MILLS, J.A.N., ALLISON, R. and DIJKSTRA, 2002: A dynamic model of N metabolism in the lactating dairy cow and an assessment of impact of N excretion on the environment. – *J. Anim. Sci.* 80, 248-259.
- KERPEN, W., 1960: Die Böden des Versuchsgutes Rengen, Kartierung, Eigenschaften und Standortwert. – *Forschung und Beratung*, Reihe B 5, 316 S.
- KIRCHGEßNER, M., W. WINDISCH und M. KREUZER, 1991: Stickstoffemission laktierender Milchkühe über die Gülle in Abhängigkeit von der Leistungsintensität. *Agrobiol. Res.* 44, 1-13.
- KIRCHGEßNER, M., 1992: Tierernährung. – 8. Aufl., DLG-Verl. Frankfurt / M., 533 S.
- KIRCHGEßNER, M., WINDISCH, W. and M. KREUZER, 1991: Stickstoffemissionen aus der Milchviehhaltung in Abhängigkeit von der Leistung. – *Agrobiol. Res.* 44, 1-13.
- KIRCHMANN, H., 1985: Losses, plant uptake and utilization of manure nitrogen during a production cycle. – *Acta Agric. Scand. Suppl.* 24, 1-77.
- KIRCHMANN, H. and E. WITTER, 1992: Composition of fresh, aerobic and anaerobic farm animal dungs. – *Bioresource Technol.* 40, 137-142.
- KIRCHMANN, H. and A. LUNDVALL, 1998: Treatment of solid animal manures: identification of low NH₃ emission practices. – *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51, 64-71.
- KIRCHMANN, H., ESALA, M., MORKEN, J., FERM, M., BUSSINK, W., GUSTAVSSON, J. and C. JAKOBSSON, 1998: Ammonia emissions from agriculture. Summary of the Nordic seminar on ammonia emission, science and policy. – *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51, 1-3.
- KLAPP, E., 1963: Verfahren zur Ermittlung des Grünlandertrages – Eine Literaturübersicht. – *Das wirtschaftseigene Futter* 9, 249-269.
- KLAPP, E., 1971: Wiesen und Weiden. Eine Grünlandlehre. – Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg, 620 S.
- KLAPP, E. und A. STÄHLIN, 1936: Standorte, Pflanzengesellschaften und Leistungen des Grünlandes. – Verl. Eugen Ulmer, Stuttgart, 122 S.
- KLUGE, G. und G. EMBERT, 1996: Das Düngemittel Recht mit fachliche Erläuterungen. – *Landwirtschaftsverlag GmbH*, Münster Hiltrup, 219 S.
- KLUTH, H., GABEL, M., VOIGT, J. und U. SCHÖNHUSEN, 2000: The use of endogenous nitrogen for microbial crude protein synthesis in the rumen of growing bulls. – *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 84, 136-147.
- KÖNEKAMP, A. H., BLATTMANN, W., WEISE, F. und A. GUTMANN, 1959: Erträge deutscher Dauerweiden. - *Boden und Pflanze*, Landwirtschaftliche Schriftenreihe, Ruhr-Stickstoff, Bochum.
- KÖHNLEIN, J. und H. WEISSENBERG, 1955: Vereinfachung und Verbesserung der Weideertragsermittlung. - *Z. Acker- und Pflanzenbau* 100, 53-67.
- KÖPKE, U., 1995: Nutrient management in organic farming systems: the case of nitrogen. *Biological Agriculture and Horticulture* 11, 15-29.

- KÖSTER, W., SEVERIN, K., MÖHRING, D. und H.D. ZWIEBEL, 1988: Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumbilanzen landwirtschaftlich genutzter Böden der Bundesrepublik Deutschland von 1950-1986. – LUFA (Landwirtschaftliche Forschungs- und Untersuchungsanstalt) Hameln, 1-162.
- KÖSTER, W., 1990: Nährstoffbilanzen landwirtschaftlich genutzter Böden und Auswirkungen auf die Düngung. – Wasser und Boden 5, 331-336.
- KOOP, J.H.E., 1994: Akute und Subakute Einflüsse von Kaliumchlorid-Belastungen in Fließgewässern auf den Energiestoffwechsel von *Gammarus pulex* (L.) und *Gammarus tigrinus* (Sexton). – Diss. Univ. Düsseldorf, 106 S.
- KOPEC, St., 1993: Der Einfluss von Grünland- und Ackernutzung auf die Nährstoffauswaschung in den polnischen Karpaten. – 3. Gumpensteiner Lysimetertagung „Lysimeter und ihre Hilfe zur umweltschonenden Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Nutzflächen“, BAL (Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft) Gumpenstein (Österreich), 20.-21. April, 49-52.
- KOSCH, R., 2003: Einfluss der Festmistaufbereitung und -anwendung auf die Stickstoffflüsse im ökologisch wirtschaftenden Futterbaubetrieb. – Göttinger Agrarwissenschaftliche Beiträge, Band 12, 108 S.
- KÜHBAUCH, W., 1981: Die Veränderung der Futterqualität in grasreichen Beständen während des Wachstums. Tierzüchter 33, 439-441.
- KÜHBAUCH, W. und L. PLETL, 1981: Berechnung der Futterqualität bei Weißklee, Rotklee und Luzerne nach morphologischen Kriterien und/oder aus Pflanzeninhaltsstoffen. 1. Mitteilung: Berechnung der Futterqualität aus der Stengellänge oder aus dem Zellwandgehalt der Stengel. – Z. Acker- und Pflanzenbau 150, 271-280.
- KÜHBAUCH, W., J. SCHELLBERG, M. ANGER und H. HÜGING, 1996: Nährstoffreduzierte Grünlandwirtschaft. – In: Lehr und Forschungsschwerpunkt „Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft“ an der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn, Forschungsberichte H. 34, 37-49.
- KÜHBAUCH, W., ANGER, M. und A. ROTH, 1997: Wirkung von Exkrementstellen auf die Nitratverlagerung unter beweidetem Grünland in Abhängigkeit vom Nutzungstermin und Standort. – Forschungsberichte Univ. Bonn, Lehr- und Forschungsschwerpunkt „Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft“, Heft Nr. 54, 176 S.
- KÜLLING, D.R., MENZI, H., KRÖBER, T.F., NEFTEL, A., SUTTER, F., LISCHER, P. and M. KREUZER, 2001: Emission of ammonia, nitrous oxide and methane from different types of dairy manure during storage as affected by dietary protein content. – J. of Agric. Sci. 137, 235-250.
- KÜLLING, D.R., MENZI, H., SUTTER, F., LISCHER, P. and M. KREUZER, 2003: Ammonia, nitrous oxide and methane emissions from differently stored dairy manure derived from grass- and hay-based rations. – Nutrient Cycling in Agroecosystems 65, 13-22.
- KULAP (KULTURLANDSCHAFTSPROGRAMM DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN), 2001: Wegweiser durch das Kulturlandschaftsprogramm Nordrhein-Westfalens. Fördermöglichkeiten für die Landwirtschaft.
- LAIDLAW, A.S. and J. MCBRATNEY, 1982: The effect of grazing system and stocking rate on development of white clover in mixed swards grazed by sheep. Proc. 9th Gen. Meeting Europ. Grassl. Fed., Reading, 275-278.
- LAMPE, C., DITTERT, K. SATTELMACHER, B., WACHENDORF, M. und F. TAUBE, 2003: N₂O-Emissionen aus Mähweiden. – Mitteilungen Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau, Band. 5, 267-270.

- LANTINGA, E. A., 1985: Simulation of herbage production and herbage intake during a rotational grazing period: An evaluation of Linehan's formula. – *Netherlands Journal of Agricultural Science* 33, 385 – 403.
- LANTINGA, E.A., KEUNING, J.A., GROENWOLD, J. and P.J.A.G. DEENEN, 1987: Distribution of excreted nitrogen by grazing cattle and its effects on sward quality, herbage production and utilization. In: VAN DER MEER, H.G., UNWIN, R.J., VAN DIJK, T.A. and G.C. ENNIK (eds.): *Animal manure on grassland and fodder crops: Fertiliser or waste?* M. Nijhoff Publ., Dordrecht (NL), 103-117.
- LARSON, A.D. and E. KALLIO, 1954: Purification and properties of bacterial urease. – *J. Bacteriol.* 68, 67-73.
- LAWA (LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER), 1995: Bericht zur Grundwasserbeschaffenheit Nitrat. Stuttgart, Eigenverl..
- LEDGARD, S.F., PENNO, J.W. and M.S. SPROSEN, 1999: Nitrogen inputs and losses from clover / grass pastures grazed by dairy cows, as affected by nitrogen fertilizer application. – *J. Agric. Sci. Camb.* 132, 215-225.
- LEDGARD, S.F., 2001: Nitrogen cycling in low input legume-based agriculture, with emphasis on legume/grass pastures. – *Plant and Soil* 228, 43-59.
- LELLMANN, A., SCHELLBERG, J. und W. KÜHBAUCH, 2000: Bedeutung des Strohzukaufs für die Kalium-Hoftorbilanz in reinen Grünland-Mutterkuhbetrieben. *VDLUFA-Schriftenreihe*, Vol. 55, T. 4, 121-125.
- LELLMANN, A., SCHELLBERG, J. and W. KÜHBAUCH, 2002: Assessing nitrogen circulation on a grassland farm experiment. – In: DURAND, J.-L., EMILE, J.-C., HUYGHE, C. and G. LEMAIRE: *Multi-function Grasslands. Quality Forages, Animal Products and Landscapes. Grassland Science in Europe*, Volume 7, 704-705.
- LÖBBECKE, H., 1988: Der Einfluss des Weißklee auf die Ertragsbildung von Grünland bei variiertem Stickstoffdüngung. – *Jahrestagung AG Grünland & Futterbau i. d. Ges. f. Pfl.bauwiss.*, Kiel/Eckernförde, 193-195.
- LOISEAU, P., CARRERE, P., LAFARGE, M., DELPY, R. and J. DUBLANCHET, 2001: Effect of soil-N and urine-N on nitrate leaching under pasture grass, pure clover and mixed grass/clover swards. – *European Journal of Agronomy* 14, 113-121.
- LOW, A. J. and E. E. ARMITAGE, 1970: The composition of the leachate through cropped and uncropped soil in lysimeters compared with that of the rain. - *Plant and Soil* 33, 393-411.
- LOW, A.J., 1973: Nitrate and ammonium concentration in water draining through soil monoliths in lysimeters cropped with grass or clover or uncropped. – *J.Sci. Food* 24, 1489-1495.
- LUSH, J. L. and W. H. BLACK, 1927: How much accuracy is gained by weighing cattle three days instead of one at the beginning and end of the feeding experiment? – *Proceedings of the American Society of Animal Production* 1925 – 1926, 206.
- LUSH, J. L., CHRISTENSEN, F. W., WILSON, C. V. and W. H. BLACK, 1928: The accuracy of cattle weights. – *J. Agric. Res.* 36, 551.
- MAKULSKA, J., WEGLARZ, A. and P. ZAPLETAL, 2003: Beef production from Limousine and Charolaise suckler cows under various climatic conditions in Poland. - *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* 51, 3, 69-74.
- MANNETJE, L.T. and J.C. JARVIS, 1990: Nitrogen flows and losses in grassland. – *Proc. 13th Gen. Meet. Europ. Grassl. Fed. in Banska Bystrica (CSSR)*, 1, 114-143.

- MANUSCH, P., F.J. SCHWARZ und M. KIRCHGESSNER, 1993: Vergleichende Untersuchungen zur Nährstoffversorgung von Milchkühen bei Weidegang oder Grasfütterung im Stall. - 1. Mitteilung: Versuchsplan, Futterqualität und Futteraufnahme. *Wirtschaftseigene Futter* 39, 87-100.
- MARTIN, J. und F. REHBOCK, 1997: Zuchtleistung von Mutterkühen unter Berücksichtigung des Erstkalbealters. – *Arch. Tierz.* 40, Sonderheft 201.
- MCDUFF, J.A., STEENVOORDEN, J.H.A.M., SCHOLEFIELD, D. and S.P. CUTTLE, 1990: Nitrate leaching from grazed grassland. – *Proc. 13th Gen. Meet. Europ. Grassl. Fed. in Banska Bystrica (CSSR)* 2, 18-24.
- MCKENZIE, F.R. and N.M. TAINTON, 1993: Pattern of volatilized nitrogen loss from dryland Kikuyu pastures after fertilization. – *African J. Range Forage Sci.* 10, 86-91.
- MEER, H.G. VAN DER, 1982: Effective use of nitrogen on grassland farms. – In: A.J. Corall (eds.): *Efficient grassland farming*. – *Proc. of the 9th Gen. Meet. of the European Grassl. Fed., Occ. Symp. No. 14, Brit. Grassl. Soc.*, 61-68.
- MENGEL, K., 1991: *Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze*. 7. Aufl., Gustav Fischer Verl. Jena, 466 S.
- MENKE, K. H. und H. STEINGASS, 1987: Schätzung des energetischen Futterwerts aus der in-vitro mit Pansensaft bestimmten Gasbildung und der chemischen Analyse. II. Regressionsgleichungen. – *Übers. Tierernährg.* 15, 59 – 94.
- MENZI, H. und NÖSBERGER, J., 1988: Einfluß der Witterung auf die Zuwachsrates verschiedener Wiesenbestände. – *Mitt. Ges. Pflanzenbauwissenschaften*, 1, 140-141.
- MENZI, H., KATZ, P.E., FRICK, R., FAHRNI, M. and M. KELLER, 1997: Ammonia emissions following the application of solid manure to grassland. – In: JARVIS, S.C. and B.F. PAIN (eds.): *Gaseous nitrogen emissions from grassland*. CAB Intern., Oxon, New York, 265-274.
- MESSIKOMMER, R., 1987: Schätzung des Futtermittelsverzehrs von Kühen auf der Alpweide. – *Diss. ETH (Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich)*, Nr. 8282. 149 S.
- MOGGE, B., KAISER, E.A. and J.C. MUNCH, 1999: Nitrous oxide emissions and denitrification N losses from agricultural soils in the Bornhöved Lake region: influence of organic fertilizers and land use. – *Soil Biol. Biochem.* 31, 1245-1252.
- MOHAUPT, V., BEHRENDT, H. und N. FELDWISCH, 1995: Die aktuelle Nährstoffbelastung der Gewässer in Deutschland und der Stand der Belastungsvermeidungen in den Kommunen und der Landwirtschaft. *Tagungsbericht der Deutschen Gesellschaft für Limnologie*, 376-383.
- MOHTAR, R.H., BUCKMASTER, D.R. and S.L. FALES, 1997a: A Grazing Simulation Model: GRASIM. A: Model Development. – *American Society of Agricultural Engineers*, Vol. 40, 5, 1483-1493.
- MOHTAR, R.H., JABRO, J.D. and D.R. BUCKMASTER, 1997b: A Grazing Simulation Model: GRASIM. B: Field Testing. – *American Society of Agricultural Engineers*, Vol. 40, 5, 1495-1500.
- MONAGHAN, R.M., R.J. PATON, L.C. SMITH and C. BINET, 2000: Nutrient losses in drainage and surface runoff from a cattle pasture in Southland. – *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 62, 99-104.
- MORTON, J.D. and D.B. BAIRD, 1990: Spatial distribution of dung patches under sheep grazing. – *N.Z. J. Agric. Res.* 33, 285-294.
- MOSIER, A.R., 1998: Soil processes and global change. – *Biology and Fertility of Soils* 27, 221-229.

- MOSIER, A.R., KROEZE, C., NEVISON, C., OENEMA, O., SEITZINGER, S. and O. VAN CLEEMPUT, 1998: Closing the global N₂O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle: OECD / IPCC/ IEA phase II development of IPCC guidelines for national greenhouse gas inventory methodology. – Nutrient cycling in Agroecosyst. 52, 225-248.
- MÜCKENHAUSEN, E., 1953: Fossile Böden in der nördlichen Eifel. – Geol. Rdsch. 41, 253-268.
- MÜLLER, C., LEPSCHY, J., SÜSS, A. und A. WURZINGER, 1990: Atmosphärischen Stoffdepositionen in agrarischen Ökosystemen. Erste Ergebnisse aus dem bayrischen Beobachtungsprogramm. – VDLUFA-Schriftenreihe 32, 147-152.
- MÜNGER, A., 2002: Optimale Intensität der Kalbinnenaufzucht. – 29. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 24.-25. April 2002, BAL (Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, 5 S.
- MURPHY, W.E., 1986: Nutrient Cycling in Different Pasture Systems. – In: Nutrient Balances and the Need for Potassium. Proc. 13th IPI-Congress, Reims, France, 25-28 August 1986. International Potash Institute, Berne-Worblaufen, 227-232.
- NEUBAUER, H., 1928: Methoden zur Bestimmung der Zusammensetzung der Nahrungsmittel der Pflanzen. – In E. ABDERHALDEN : Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden. Abt. XI, TL. 3, 611. Urban und Schwarzenberg, Berlin und Wien.
- NEUENDORFF, J. und G. SPATZ, 1995: Methoden zur Quantifizierung der Stickstoff-Fixierung von Weißklee in Grünlandnarben. – Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 8, 105-108.
- NEUENDORFF, J., 1996: Beitrag des Weißklee (*Trifolium repens* L.) zur Ertragsbildung von Grünlandnarben unter besonderer Berücksichtigung von Methoden zur Quantifizierung seiner Stickstoff-Fixierungsleistung. – Ökologie und Umweltsicherung 11/96, Diss. Univ. Kassel, 179 S.
- NIEDER, R., KERSEBAUM, K. C. and J. RICHTER, 1995: Significance of nitrate leaching and long term N immobilization after deepening the plough layers for the N regime of arable soils in N.W. Germany. – Plant and Soil 173, 167-175.
- NOLTE, C., 1989: Bilanzierung des Nährstoffkreislaufes auf dem biologisch-dynamisch bewirtschafteten Boschheidhof sowie Untersuchungen zum Phosphor- und Kaliumhaushalt in drei ausgewählten Böden im Vergleich zu drei Böden eines benachbarten konventionellen Betriebes. – Diss. Univ. Bonn, 209 S.
- NOLTE, C. and W. WERNER, 1994: Investigations on the Nutrient Cycle and its Components of a Biodynamically-Managed Farm. – Biological Agriculture 10, 235-254.
- OECD (ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT), 2001: Environmental indicators for agriculture. – In: Methods and Results, Vol. 3, Paris, France, 400 S.
- OPITZ VON BOBERFELD, W., 1994: Grünlandlehre. – UTB – Ulmer - Verl. Stuttgart, 336 S.
- OOMEN, G.J.M., 1995: Nitrogen cycling and nitrogen dynamics in ecological agriculture. – In: KRISTENSEN, L., STOPE, C., KOLSTER P., GRANDSTEDT, A. and D. HODGES (eds.): Nitrogen leaching in ecological agriculture. Acad. Publ. Bicester (UK), 183-192.
- OOSTHOEK, J., KROODSMA, W. und P. HOEKSMAN, 1990: Betriebliche Maßnahmen zu Minderung der Ammoniakemissionen aus Ställen. – In: KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) und VDI (Verein Deutscher Ingenieure) (Hrsg.): Ammoniak in der Umwelt. Landwirtschaftsverl. Münster, 29.1-29.23.

- OVERATH, H., 1997: Trend in der Entwicklung der Rohwasserbeschaffenheit am Beispiel ausgewählter Brunnen. In: IWW (RHEINISCH-WESTFÄLISCHES INSTITUT FÜR WASSERCHEMIE UND WASSERTECHNOLOGIE) 1997: Kooperativer Gewässerschutz in Nordrhein-Westfalen – Sachstand, Trends, Strategien. 7. Fachkolloquium, 3. Dez. 1996, Eigenverl., Mühlheim/R.
- OWENS, L.B., R.W. VAN KEUREN and W.M. EDWARDS, 2003: Non-nitrogen nutrient inputs and outputs for fertilized pastures in silt loam soils in four small Ohio watersheds. – *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 97, 117-130.
- PAAß, F., 1993: Ammoniakemissionen nach Gülledüngung auf Grünland. – Diss. Univ. Bonn, 128 S.
- PABST, W. und H.-J. Langholz, 1977: Feldprüfung von Jungtieren in der Fleischrinderzucht Großbritanniens. – *Der Tierzüchter* 29, Heft 7, 286-288.
- PARCOM (Paris Convention for the Prevention of Marine Pollution), 1993: Third meeting of the ad hoc working group on measures to reduce the nutrient load from agriculture (The Hague, 15-18 Feb. 1993). Annex 5: PARCOM guidelines for calculating mineral balances, 8 S.
- PARFITT, R.L., 1978: Anion adsorption by soils and soil materials. - *Adv. Agron.* 30, 1-50.
- PARSONS, A. J., COLETT, B. and J. LEWIS, 1983: Changes in the structure and physiology of a perennial ryegrass sward when released from a continuous stocking management: implikations of the use of exclusion cages in continuously stocked swards. – *Grass Forage Sci.* 39, 1-9.
- PEPER, F., 2000: Hoffnungsträger Mutterkühe – Möglichkeiten und Grenzen. – In: Hat das Grünland noch eine Chance? Deutscher Grünlandtag 2000, Deutscher Grünlandverband e.V., Schriftenreihe 2/2000, 54-57.
- PETIT, M. and J. AGABRIEL, 1989: Beef cows. – In: JARRIGE, E. (eds.), 1989: Ruminant Nutrition. Recommended allowances & feed tables. – INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), Paris, 389 S.
- PEYRAUD, J.L., MOSQUERA-LOSADA, R. and L. DELABY, 2004: Challenges and tools to develop dairy systems based on grazing: how to meet animal performance and grazing management. – In: Land Use Systems in Grassland Dominated Regions. – European Grassland Federation, Grassland Science in Europe, Volume 9, 373-384.
- PFAFF, C., 1963a: Über die Auswaschung von Calcium, Magnesium, Chlorid und Sulfat aus dem Boden (Lysimeterversuche). *Z. Acker- und Pflanzenbau* 117, 117-128.
- PFAFF, C., 1963b: Über die Auswaschung von Calcium, Magnesium, Chlorid und Sulfat aus dem Boden (Lysimeterversuche). *Z. Acker- und Pflanzenbau* 117, 117-128.
- POTH, M. and D.D. FOCHT, 1985: ¹⁵N kinetic of N₂O production by nitrosomonas europea: an examination of nitrifier denitrification. – *Appl. Environ. Microbiol.* 49 (5), 1134-1141.
- QUIRIN, M., ISERMANN, K. und SCHRÖDER, D., 1999: Die Stickstoff (N)- und Phosphor (P)-Bilanzen der Landwirtschaft von Rheinland-Pfalz und der Bundesrepublik Deutschland im Vergleich. – VDLUFA-Schriftenreihe 52, 155-158.
- QUIRIN, M. (2004): Nährstoffbilanzen und Energiekenngrößen konventionell, integriert und biologisch bewirtschafteter Acker- und Grünlandschläge in einem Mittelgebirgsraum (Region Trier). – Diss. Univ. Trier, Trierer Bodenkundliche Schriften, Band 8, 183 S.
- REKOLAINEN, S., 1997: Contribution of Agriculture to the Phosphorus in Surface Waters in Finland and Measures to Reduce it. In CAB INTERNATIONAL (eds.):

- TUNNEY, H., O.T. CARTON, P.C. BROOKES and A.E. JOHNSTON, 1997: Phosphorus Loss from Soil to water. 389-391.
- RIEDER, J., 1983: Dauergrünland. – BLV-Verlagsgesellschaft, München, S. 118.
- RODHE, L., SALAMON, E. and S. JOHANNSON, 1997: Spreading of cattle urine to leys: techniques, ammonia emissions and crop yields. – In: JARVIS, S.C. and B.F. PAIN (Hrsg.): Gaseous nitrogen emissions from grasslands. CAB Intern, Oxon, New York, 109-114.
- RÖMER, G., BOEKER, P. und P. SCHULZE LAMMERS, 1994: Ammoniakemissionen von Festmist. – Landtechnik 49/2, 72-73.
- ROTZ, C.A., MERTENS, D.R., BUCKMASTER, D.R., ALLEN, M.S. und HARRISON, J.H., 1999: A dairy herd model for use in whole farm simulations. - Journal of Dairy Science 82 (12), 2826-2840.
- RÜCK, F. und K. STAHR, 1995: Beitrag der Stickstoffmineralisierung zur N-Bilanz auf Wirtschaftsgrünland und Streuwiesen im Allgäu. – Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 76, 923-926.
- RUPERT, S.D., BUCHANAN, D. S., MINICK, J.A. and L. KNORI, 1999: Use of milk EPDs to predict differences in milk production of range beef cows. – Oklahoma State Univ., Anim. Sci. Res. Rep., 9-12.
- RUZ-JEREZ, B.E., WHITE, R.E. and P.R. BALL, 1994: Long-term measurement of denitrification in three contrasting pastures grazed by sheep. – Soil Biol. Biochem. 26, 29-39.
- RYDEN, J.C., 1983: Denitrification loss from a grassland soil in the field receiving different rates of nitrogen as ammonium rate. – J. Soil Sci. 34, 355-365.
- RYDEN, J.C., 1984: The flow of nitrogen in grassland. – Proc. Fert. Soc. Engl. 229, 1-44.
- RYDEN, J.C., BALL, P.R. and E. A. GARWOOD, 1984: Leaching losses from cut and grazed swards. – Annual Rep. 31, Grassl. Res. Inst., Hurley (UK).
- RYDEN, J.C., 1986: Gaseous losses of nitrogen from grassland. - In: MEER, H.G. VAN DER, J.C. RYDEN and G.C. ENNIK (eds.): Nitrogen fluxes in intensive grassland systems. M. Nijhoff Publ., Dordrecht (NL), 59-73.
- RYDEN, J.C., WHITEHEAD, D.C., LOCKYER, D.C., THOMPSON, R.B., SKINNER, J.H. and E.A. GARWOOD, 1987: Ammonia Emission from Grassland and Livestock Production Systems in the UK. – Environmental Pollution 48, 173-184.
- SAILER, R., 1930: Der Einfluß verschiedenartiger Stallmistlagerung auf die Größe der Lagerungsverluste und die Verwertung des Stallmistes durch die Pflanze. – Diss. Univ. Jena, 95 S.
- SALVADORI, C., 1955: Prüfung verschiedener Verfahren der Weideertragsermittlung. – Das Grünland, Nr. 4, 74-78.
- SAUER, S., 1996: Wasserhaushalt und Stickstoffaustrag repräsentativer Grünlandböden in einem Wasserschutzgebiet bei Bad Wildungen (Nordhessen). – Boden und Landschaft, Schriftenreihe zur Bodenkunde, Landeskultur und Landschaftsökologie, Bd. 13, 202 S.
- SAUER, S. und T. HARRACH, 1996: Stickstoffverlagerung unter spätbeweidetem Grünland. – Z. Pflanzenernähr. Bpdenk. 159, 31-35.
- SAUNDERS, W.M.H., 1984: Mineral composition of soil and pasture from areas of grazed paddocks, affected and unaffected by dung and urine.- New Zealand J. Agric. Res. 27, 405-412.
- SCHEERSCHMIDT, G., 1984: Untersuchungen zur Weideleistung von Mutterkühen mit Kälbern. – Diss., Univ.-Leipzig, 108 S.
- SCHEFFER, F. und P. SCHACHTSCHABEL, 1989: Lehrbuch der Bodenkunde. 12. Aufl., Enke Verl., Stuttgart, 491 S.

- SCHEFFER, F. und P. SCHACHTSCHABEL, 1992: Lehrbuch der Bodenkunde. 13. Aufl., Enke Verl., Stuttgart, 491 S.
- SCHELLBERG, J. und M. HELMERT, 2000: Darstellung und Analyse ortsbezogener Daten im Grünlandversuchsbetrieb mittels GIS. – Berichte 44. Jahrestagung Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau in der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften in Kiel, 237-240.
- SCHELLBERG, J. and RADEMACHER, I.F., 2003: Modelling the nutrient cycle on grassland dairy farms. - Precision livestock farming Wageningen, Wageningen Academic Publishers, 137-142.
- SCHELLBERG, J., 2004: persönliche Mitteilung.
- SCHERINGER, J. and J. ISSELSTEIN, 2001: Nitrogen Budgets of Organic and Conventional Dairy Farms in North-West Germany. – Grassland Science in Europe 6, 284-288.
- SCHILLING, G., 2000: Pflanzenernährung und Düngung. – Verl. Eugen Ulmer, Stuttgart, 464 S.
- SCHMIDT, A., MÜNCHOW, H., HASSELMANN, L., V. MANZKE. und B. BETZIN, 1995: Ermittlung der Futteraufnahme bei drei Rinderrassen (Salers, Schwarzbuntes Milchrind und Galloway) unter extensiven Weidebedingungen und Schätzung des daraus resultierenden Leistungspotentials. – VDLUFA-Schriftenreihe 40, Kongressband 1995, 421-424.
- SCHMIDT, L., WEIßBACH, F., HOPPE, T. and A. KLAN, 1999: Low-input grassland use and pasture management. – In: Contributions of grassland and forage research to the development of systems of sustainable land use: Internat Symposium in Braunschweig, 5. bis 6. Mai 1999, Landbauforschung Völkenrode 54 (1), 27-34.
- SCHMIDT, L., WEIßBACH, F., LEBZIEN, P. und T. HOPPE, 2004a: Methodische Untersuchungen zur Verwendung von n-Alkanen als Marker zur Ermittlung der Futteraufnahme bei Rindern. - Landbauforschung Völkenrode 1 (54), 27-34.
- SCHMIDT, L., HOPPE, T. und F. WEIßBACH, 2004b: Anwendung der Kotstickstoff- und der n-Alkan-Methode zur Ermittlung der Futter- und Energieaufnahme von Jungrindern auf der Weide. - Landbauforschung Völkenrode 1 (54), 35-44.
- SCHNOTZ, G., 1995: Stickstoff-Fixierungsvermögen mehrjähriger Leguminosen des Dauergrünlandes. – Diss. Univ. Hohenheim, 128 S.
- SCHOLEFIELD, D. and A.C. STONE, 1995: Nutrient losses in runoff water following application of different fertilizers to grassland cut for silage. – Agriculture Ecosyst. Environ. 55, 181-191.
- SCHOLEFIELD, D., HALLING, M., TUORI, M., ISOLAHTI, M., SOELTER, U. and A.C. STONE, 2002: Assessment of nitrate leaching from beneath forage legumes. In: WILKINS, R.J. (eds.): Legume silage for animal production: LEGSIL. – Landbauforschung Völkenrode: Sonderheft 234, FAL, Braunschweig, 17-25.
- SCHOLLMAYER, G. und R. NIEDER, 1988: Bedingungen und Ausmaße denitrifikativer Stickstoff-Verluste aus dem durchwurzelbaren Bereich landwirtschaftlich genutzter Böden. – Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 57, 223-228.
- SCHOLZ, H., MÖRCHEN, F., SCHÄFER, S. und FAHR R.-D., 2002: Zufütterung von Getreide an männliche Kälber aus der Mutterkuhhaltung während der Weideperiode. – Arch. Tierz., Dummerdorf 45, 6, 511-521.
- SCHUCHARDT, F., 1990: Ammoniakverluste bei der Kompostierung tierischer Exkrementen. – In: KTBL (Hrsg.): Ammoniak in der Umwelt. Landwirtschaftsverl., Münster-Hiltrup.

- SCHÜLLER, H., 1969: Die CAL - Methode, eine neue Methode zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphates in Böden. – Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 123, 48-63.
- SCHWARK, H.-J. und H. OEHLER, 1972a: Die Geburtssmasse des Kalbes als Ergebnis des intrauterinen Wachstums und die Ursachen ihrer Variabilität. 1. Mitteilung: Beziehungen zwischen dem Geschlecht des Kalbes, der Tragezeit und der Geburtssmasse. – Arch. Tierzucht 15, 239-249.
- SCHWARK, H.-J. und H. OEHLER, 1972b: Die Geburtssmasse des Kalbes als Ergebnis des intrauterinen Wachstums und die Ursachen ihrer Variabilität. 2. Mitteilung: Der Einfluß der Zwillingsträchtigkeit, der Abkalbnummer und des Erstkonzeptionsalters bzw. der Erstkonzeptionsmasse auf die Geburtssmasse beim Deutschen Schwarzbunten Rind. – Arch. Tierz. 15, 307-324.
- SCHWARK, H.-J., 1992: Kalbeperioden mit entscheidend. Mutterkuhhaltung – Bedingungen und Erfordernisse, Möglichkeiten und Grenzen (Teil III). – Neue Landwirtschaft 4, Heft 3, 83-86.
- SCHWARK, H.-J., GOLZE, M. und R. SCHMALFUß, 1991: Mutterkuhhaltung bringt bestes Fleisch. Mast- und Schlachtleistung sowie Schlachtkörperwert von Jungmastrindern aus der Mutterkuhhaltung. – Tierzucht 45, 156-158.
- SCHWARZ, F.J., HEINDL, U. und M. KIRCHGESSNER, 1995: Gehalte und Ansatz von Mengenelementen in Geweben und im Ganzkörper von wachsenden Jungbullen der Rasse Fleckvieh. – Arch. Anim. Nutr. 48, 183-199.
- SCHWARZ, J., KAPP, M., BENCKISER, B. and J.C.G. OTTOW, 1994: Evaluation of denitrification losses by the acetylene inhibition technique in a permanent ryegrass field (*Lolium perenne* L.) fertilized with animal slurry or ammonium nitrate. – Biol. Fert. Soils 18, 327-333.
- SCHWEDT, G., 1996: Taschenatlas der Umweltchemie. – Georg Thieme Verl., Stuttgart und New York, 248 S.
- SCIBORSKI, J., HISCHOFF, H. und K.-H. ZIMMERMANN, 1989: Inhaltsstoffe und Lagerungsverluste des Stalldung – Untersuchungsmethodik. – Arch. Acker-Pflanzenbau Bodenk., Berlin 33, 2, 97-104.
- SIBBESEN, E. and A.M. LIND, 1993: Loss of nitrogen oxide from animal manure in dung-heaps. – Acta Agric. Scand., Section B: Soil and Plant Science 43, 16-20.
- SIMON, J.C., 1989: Azote et equilibre de l'association ray-grass anglais-trefle blanc. [Nitrogen and the balance of perennial ryegrass / white clover swards]. – Proc. 16th Intern. Grassl. Congr. in Nice (France), 471-472.
- SIMON, W., HUWE, B. und R. R. VAN DER PLOEG, 1988: Die Abschätzung von Nitratausträgen aus landwirtschaftlichen Nutzflächen mit Hilfe von Nmin-Daten. – Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 151, 289-294.
- SLUIJSMANS, C.M.J. and G.J. KOLENBRANDER, 1977: The Significance of Animal Manure as a Source of Nitrogen in Soils. – In: Proceedings of the International Seminar on Soil Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture. Society of the Soil and Manure (eds.), Tokio, 403-411.
- SMITH, K.A. and T.A. VAN DIJK, 1987: Utilization of phosphorus and potassium from animal manures on grassland and forage crops. In: VAN DER MEER, H.G., UNWIN, R.J., VAN DIJK, T.A. and G.C. ENNIK (eds.), 1987: Animal Manure on Grassland and Fodder Crops. Fertilizer or Waste? Martinus Nijhoff Publisher, Dordrecht, 87-102.
- SMITS, M.C.J., VALK, H., ELZING, A. and A. KEEN, 1995: Effect of protein nutrition on ammonia emissions from a cubicle house for dairy cattle. – Livestock Prod. Sci. 44, 147-156.

- SMITS, M.C.J., VALK, H., MONTENY, G.J. and A.M. VAN VUUREN, 1997: Effect of Protein Nutrition on Ammonia Emissions from Cow Houses. – In: JARVIS, S.C. and B.F. PAIN, (eds.): Gaseous nitrogen Emissions following the land spreading of solid manures, CAB International, Oxon, UK.
- SÖNTGERATH, B. DÖHLER, H. und E. KUHN, 1992: Wirtschaftsdüngeranfall – Jährliche Anfallmengen von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft in der Bundesrepublik Deutschland. – Landtechnik 47, 389-392.
- SOMMER, S.G., 2001: Effect of composting on nutrient loss and nitrogen availability of cattle deep litter. - European Journal of Agronomy 14, 123-133.
- SPATZ, G., NEUENDORF, J., PAPE, A. und C. SCHRÖDER, 1992: Zur Stickstoffdynamik unter Exkrementflecken bei Weidegang. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 155, 301-305.
- SPIEKERS, H., ERNST, P. und M. RODEHUTSCORD, 1998: Einfluß des Kleeanteils auf den Futterwert von Mähweide. – VDLUFA-Schriftenreihe 49, Kongreßband, 525-527.
- SPRECKELSEN, R., VON, 1954: Untersuchungen zur Weideertragsermittlung. - Z. Acker- und Pflanzenbau, 98.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (Hrsg.), 1997: Land- und Forstwirtschaft, Fischerei: Landwirtschaftliche Bodennutzung und pflanzliche Erzeugung. – Verlag Metzler-Poeschel, Stuttgart.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (Hrsg.), 2003: Land- und Forstwirtschaft, Fischerei: Viehbestand und tierische Erzeugung. Fachserie 3, Reihe 4, als pdf-Datei bei www.destatis.de
- STEELE, K.W., JUDD, M.J. and P.W. SHANNON, 1984: Leaching of nitrate and other nutrients from a grazed pasture. – N.Z.J. of Agric. Res. 27, 5-11.
- STEELE, K.W. and I. VALLIS, 1988: The nitrogen cycle in pasture. – In: WILSON, J.R. (eds.): Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems. CAB Intern., Wallingford (UK), 274-291.
- STEENVOORDEN, J.H.A.M., H. FONCK and H.P. OOSTEROM, 1986: Losses of nitrogen from intensive grassland systems by leaching and surface runoff. – In: MEER, H.G. VAN DER, J.C. RYDEN and G.C. ENNIK (eds.): Nitrogen fluxes in intensive grassland systems. M. Nijhoff Publ., Dordrecht (NL), 85-96.
- STEHR, W., 1974: Untersuchungen zur Futteraufnahme von Milchkühen auf der Weide in Abhängigkeit von Angebot, Nährstoffgehalt und Verdaulichkeit des Grases. – Diss., Univ.-München, Fachbereich Landwirtschaft und Gartenbau.
- STEINGASS, H. und K:H. MENKE, 1986: Schätzung des energetischen Futterwerts aus der in vitro mit Pansensaft bestimmten Gasbildung und der chemischen Analyse. 1. Untersuchungen zur Methode. – Übers. Tierern. 14, 251-270.
- STEINHARDT, M., THIELSCHER, H.-H., BÖNNER, S. und D. SMIDT, 1995: Studien zum maternalen Milchtransfer und Wachstum von Saugkälbern der DRB, DSB und der Kreuzung Galloway x Holstein Friesian: Alter des Muttertieres und Merkmale des Kalbes. – Landbauforschung Völkenrode, 45. Jahrgang, Heft 4, 177-190.
- STEINWENDER, R., GRUBER, L., SCHAUER, A., GUGGENBERGER, T., HÄUSLER, J. und M. SOBITIK, 2000: Vergleich zwischen biologischer und konventioneller Wirtschaftsweise im Grünlandbetrieb. 1. Mitteilung: Grünlandertrag, Futterwert und Gülleanfall. - Bodenkultur 51 (4), 267-281.
- STEINWIDDER, A., 2001: Aspekte zur Weidehaltung von Milchkühen. – 28. Viehwirtschaftliche Fachtagung „Milchviehfütterung – Grundlagen und Praxisempfehlungen“, BAL (Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft) Gumpenstein, 2. bis 3. Mai 2001, 53-68.

- STEINWIDDER, A., 2004: Anforderungen an die Fütterung im Mutterkuhbetrieb. – 31. Viehwirtschaftliche Fachtagung „Kälberaufzucht, Mutterkuhhaltung, Milchviehfütterung. Bericht BAL (Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft) Gumpenstein, 27. und 28. April 2004, 5-20.
- STRATMANN, B., 1989: Toleranzgrenzen von Gülle auf Dauergrünland. – Diss. Univ. Bonn, 131 S.
- STRATMANN, B. und W. KÜHBAUCH, 1987: Einfluss der Gülledüngung auf die Stickstoffverlagerung in hängigem Grünland. – *Das Wirtschaftseigene Futter* 33, 162-172.
- STRODTHOFF, J. und J. ISSELSTEIN, 2001: Zur Schätzung der Futteraufnahme auf extensiven Standweiden über Tierwägung und Kot-Stickstoff-Bestimmung. – Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau in der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, 45. Jahrestagung, 23. bis 25. August 2001 in Gumpenstein, S. 153-154.
- STUTZ, C. und J. LEHMANN, 1999: Sind Weisskleeblüten minderwertig? – *Die Grüne*, 10, 16-19.
- SUGIMOTO, Y., INOUE, K., NAGAMATU, K. and M. UENO, 1993: Nitrogen dynamics of urine in pasture: 1. Volatilization of ammonia from cattle urine patches. – *J. Japan. Soc. Grassl. Sci.* 39, 162-168.
- SUTTER, F., WELTER, C. und M. KREUZER, 1998a: Vergleichende Untersuchung zur Nutzung des Futterangebotes auf einer hochalpinen Weide durch Milchkühe und Mutterkühe. – In: SUTTER, F., WELTER, C. und M. KREUZER (Hrsg.), 1998: *Gesunde Nutztiere – Umdenken in der Tierernährung?* – Schriftenreihe Institut für Nutztierwissenschaften, ETH Zürich, Heft 18, 150-151.
- SUTTER, F., SCHELLENBERG, N. und M. KREUZER, 1998b: Stickstoffverwertung von Milchkühen und Mutterkühen während der Alpung auf 2000 m. – In: SUTTER, F., WELTER, C. und M. KREUZER (Hrsg.), 1998: *Gesunde Nutztiere – Umdenken in der Tierernährung?* – Schriftenreihe Institut für Nutztierwissenschaften, ETH Zürich, Heft 18, 152-153.
- TERÖRDE, H., 1997: Untersuchungen zur Nähr- und Mineralstoffversorgung von Mutterkuhherden auf ausgesuchten Standorten in Mecklenburg-Vorpommern. – Diss. Univ. Berlin, 223 S.
- THEIß, H., 1989: Zur Dynamik der Nitrat- und Wasservorräte verschiedener Bodenschichten in Abhängigkeit von Hauptbestandbildner, Narbendichte und N-Düngung. – Diss. Univ. Gießen, 164 S..
- THOMAS, R.J., LOGAN, K.A.B., IRONSIDE, A.D. and G.R. BOLTON, 1988: Transformations and fate of sheep urine-N applied to an upland UK pasture at different times during the growing season. *Plant and Soil* 107, 173-181.
- TROTT, H., 2003: Mittelfristige Auswirkungen einer variierten Bewirtschaftungsform und N-Intensität auf Leistungsparameter und die Stickstoffbilanz von Dauergrünland. – Diss. Univ. Kiel, Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung 28. Zit. in: WACHENDORF, M., 2003.
- TROTT, H., WACHENDORF, M. und F. TAUBE, 2003: Effekte einer variierten Grünlandbewirtschaftung auf Ertrag, Futterqualität und Weißkleeleistung. – Mitt. Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau, Band.5, 95-98.
- TUNNEY, H., T. O'Donnell and A. FANNING, 1997: Phosphorus Loss to Water from a Small Low-Intensity Grassland Catchment. – In CAB INTERNATIONAL (eds.): TUNNEY, H., O.T. CARTON, P.C. BROOKES and A.E. JOHNSTON, 1997: *Phosphorus Loss from Soil to water.* 358-359.

- TYSON, K.C., SCHOLEFIELD, D., JARVIS, S.C. and A.C. STONE, 1997: A comparison of animal output and nitrogen leaching losses recorded from drained fertilized grass and grass / clover pasture. – *J. Agric. Sci. Camb.* 129, 315-323.
- ULÉN, B., 1993: Losses of nutrients through leaching and surface runoff from manure containing composts. – *Biological Agriculture and Horticulture*, 10, 29-37.
- UN/ECE, 2002: United Nations Economic Commission for Europe (1999). Protokoll to the 1979 convention on long-range transboundary Air Pollution to abate Acidification, Eutrophication and Ground-Level Ozone.
- UNFCCC, 2002: United Nations Framework Convention on Climate Change, 1992/1997. The Convention and the Kyoto Protokoll (www.unfccc.de/resource/convkp.html). United Nations, New York.
- VELTHOF, G.L., BRADER, A.B. and O. OENEMA, 1996: Seasonal variations in nitrous oxide losses from managed grasslands in The Netherlands. – *Plant and Soil* 181, 263-274.
- VERTÈS, F., SIMON, J.C. and L. LECORRE, 1994: Nitrate leaching under pastures: Study of the plant soil system in a lysimeter experiment. – *Proc. 15th General Meeting of the Europ. Grassl. Federation*. Wageningen (NL), 466-470.
- VERTREGT, N. and B. RUDGERS, 1988: Ammonia volatilization from urine patches in grassland. – In: NIELSEN, V.C., VOORBURG, J.H. and P.L. HERMITE (eds.): *Volatile emissions from livestock farming and sewage operations*. Proc. Workshop in Uppsala (Schweden), 1987, 85-91.
- VÖMEL, A., 1969-66: Der Versuch einer Nährstoffbilanz am Beispiel verschiedener Lysimeterböden. I. Mitteilung: Wassersickerung und Nährstoffhaushalt. *Z. Acker- und Pflanzenbau* 123, 155-188.
- VOIGTLÄNDER, G. und N. VOSS, 1979: Methoden der Grünlanduntersuchung und -bewertung. – *Verl. Eugen Ulmer, Stuttgart*.
- VOIGTLÄNDER, G., BAUER, J. und F. MÄDEL, 1989: Ein Leistungsvergleich zwischen intensiver Standweide und Umtriebsweide mit Mastfärsen auf weidelgrasem Dauergrünland in acht Versuchsjahren. – *Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch*, 2, 207-217.
- VORMANN, M., 1998: Auswirkungen einer extensiven Beweidung von Feuchtgrünland des westlichen Münsterlandes auf Vegetation, Ertrag, Futterqualität und Lebendgewichtszunahme der Weidetiere. – *Diss. Univ. Bonn*, 175 S.
- WACHENDORF, M., BÜCHTER, M., INGWERSEN, B. und F. TAUBE, 2002: Management impacts on nitrogen fluxes and nitrogen losses in grassland systems: results from an integrated project. – In: DURAND J.-L. (eds.): *Mutli-function Grasslands*. – *Grassland Science in Europe*, Vol. 7, 746-747.
- WACHENDORF, M., ROTZ, C.A., HERMANN, A., KORNER, A. und F. TAUBE, 2003: eine modellgestützte Analyse der Stickstoffflüsse in spezialisierten Milchvieh-/Futterbaubetrieben – Erste Ergebnisse. – *Mitt. Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau*, Band. 5, 271-274.
- WACHENDORF, M., BÜCHTER, M., TROTT, H. und F. TAUBE, 2004: Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. II. Impact of defoliation system and nitrogen input on nitrate leaching losses – *Grass and Forage Science*, 59 (1), 56-68.
- WAGNER, D. G., GILL, D. and K. S. LUSBY, 1998: Feeding cattle on grass. – *Oklahoma State Univ., Extension Facts No.* 3011.
- WAGNER-RIDDLE, C., THURTELL, G.W., KIDD, G.K., BEACHAMP, E.G. and R. SWEETMAN, 1997: Estimates of nitrous oxide emissions from agricultural fields over 28 month. – *Can. J. Soil Sci.* 77, 135-144.

- WALTER, H., HARNICKELL, E. und D. MÜLLER-DOMBOIS, 1975: Klimadiagramm-Karten der einzelnen Kontinente und die ökologische Klimagliederung der Erde. – Verl. G. Fischer, Stuttgart, 1-2.
- WARZECHA, H., 1999: Aktuelle Probleme in der Jungrinderaufzucht bei Weidenutzung in Thüringen. – 2. Thüringer Nutztierforum „Kälber- und Jungrinderaufzucht“, Heft 8, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft.
- WATSON, C.J., JORDAN, C., TAGGART, P.J., STEEN, R.W.J., LAIDLAW, A.S., SMITH, R.V., CHRISTIE, P., STEVENS, R.J., GARRETT, M.K. and D.A. STEWARD, 1991: Nitrogenverluste auf Weideland. – VDLUFA-Schriftenreihe 33, Kongressband 1990, 245-249.
- WEBSTER, C.P. and R.J. DOWDELL, 1982: Nitrous oxide emission from permanent grass swards. – J. Sci. Food Agric. 33, 227-230.
- WEBSTER, C.P. and R.J. DOWDELL, 1984: Effect of draught and irrigation on the fate of nitrogen applied to cut permanent grass swards in lysimeters: leaching losses. – J. Sci. Food Agric. 35, 1105-1111.
- WEIßBACH, F., 1993: Energiebedarf von Weidetieren und zweckmäßiger Weidetierbesatz. – Der Tierzüchter 11, 18 – 21.
- WEIßBACH, F., 1995: Über die Schätzung des Beitrags der symbiotischen N₂-Fixierung durch Weißklee zur Stickstoffbilanz von Grünlandflächen. – Landbau-forschung Völkenrode, Wiss. Mitt. der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig Völkenrode (FAL), 45 (2), 67-74.
- WEIßBACH, F. und P. ERNST, 1992: Düngung auf Dauergrünland dem Stickstoffkreislauf anpassen. – Der Tierzüchter 44, 30-33.
- WEIßBACH, F. and P. ERNST, 1994: Nutrient budgets and farm management to reduce nutrient emissions. – Proc. 15th General Meeting of the Europ. Grassl. Federation. Wageningen (NL), 343-360.
- WEISE, F., 1961: Beitrag zur Frage der Stallmistdüngung auf Dauergrünland. – Das Grünland, 10, Nr. 1, 47-48.
- WENDT, M., 1992: Ergebnisse über Untersuchungen zur Eignung der Vaterrassen Hereford, Ungarisches Graues Steppenrind, Limousin und Fleckvieh zur Rindfleischerzeugung unter den Bedingungen eines hohen Grobfuttereinsatzes und der Weidehaltung. – Diss., Univ.-Rostock, 130 S.
- WERNER, W., 1990: Der Beitrag der „Pflanzenernährung“ zur Ordnungsgemäßen Landwirtschaft. VDLUFA-Schriftenr. 30, Kongressbd. 1990, 13-21.
- WERNER, W. und H.-P. WODSAK, 1994: Stickstoff- und Phosphateintrag in die Fließgewässer Deutschlands unter besonderer Berücksichtigung des Eintraggeschehens im Lockergesteinsbereich der ehemaligen DDR. - agrarspectrum, Band 22, Verlagsunion Agrar, Frankfurt.
- WERNER, W. und CH. BRENK, 1997: Regionalisierte und Einzelbetriebliche Nährstoffbilanzierung als Informationsgrundlage zur gezielten Quantifizierung der Wirkungspotentiale von Maßnahmen zur Vermeidung auftretender Überschüsse. – Forschungsberichte des Lehr- und Forschungsschwerpunktes „Umweltverträgliche und standortgerechte Landwirtschaft“, Heft 46, Univ. Bonn, 75 S.
- WILHELMY, B., 1993: Untersuchungen zur Ertragsbildung und zur Veränderung ausgewählter Qualitätsparameter im Zuwachsverlauf von Grünlandbeständen in Abhängigkeit von der botanischen Zusammensetzung (Mit/Ohne Weissklee), der Stickstoffdüngung und der Nutzungshäufigkeit. – Diss. Univ. Kiel, 271 S.
- WILLIAMS, P.H., GREGG, P.E.H. and M.J. HEDLEY, 1990: Mass balance modelling of potassium losses from grazed dairy pasture. – New Zealand Journal of Agricultural Research, Vol. 33, 661-668.

- WHITEHEAD, D.C., GARWOOD, E. A. and J.C. RYDEN, 1986: The efficiency of nitrogen use in relation to grassland productivity. – Annual Report 1985-86, Animal and Grassland Research Institute, Swindon Press Ltd, Swindon, 86-89.
- WHITEHEAD, D.C. and D.R. LOCKYER, 1989: Decomposing grass herbage as a source of ammonia in the atmosphere. – Atmospheric Environm. 23, 1867-1869
- WHITEHEAD, D.C. and A.W. BRISTOW, 1990: Transformations of nitrogen following the application of ¹⁵N-labelled cattle urin to an established grass sward. – J. Appl. Ecol. 27, 667-678.
- WHITEHEAD, D.C, 1995: Grassland nitrogen. – CAB Intern., Wallingford (UK), 397 S
- WOLF, A., 1996: Untersuchung zur grundwasserschonenden Landwirtschaft unter Berücksichtigung der Forderungen der Wasserwirtschaft im Einzugsgebiet des Wasserwerkes Weiler der Gas-, Elektrizitäts- und Wasserwerke Köln AG (GEW), Forschungsbericht Umweltbundesamt Nr. 10904001, Berlin.
- WOLTON, K.M., BROCKMANN, J.S. and P.G. SHAW, 1970: The effect of stage of growth at defoliation on white clover in mixed swards. – J. Brit. Grassl. Soc. 25, 113-118.
- ZIMMERMANN, K.-H. und J. SCIBORSKI, 1987: Nährstoffgehalte und Lagerungsverluste des Stalldung. – Feldwirtschaft 28, 8, 349-351.
- ZIMMERMANN, K.-H., 1993: Stoffflüsse bei der Lagerung und Ausbringung von Stallmist. – In: KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft). Umweltverträgliche Verwertung von Festmist – Arbeitspapier 182, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup, 153 S.

Verzeichnis der Tabellen im Anhang

	Seite
Tab. A 1 bis A 3: Chemische Bodenparameter.....	185 - 187
Tab. A 4 bis A 11: Vegetationsaufnahmen und Ertragsanteile der Pflanzen- gruppen im Frühjahr sowie Weißkleeertragsanteile und symbio- tisch fixierte N-Menge während der Weideperiode.....	188 - 193
Tab. A 12 bis A 17: T-Ertrag und Qualität des Weidefutters	194 - 210
Tab. A 18: Flächenumfang der Schnitt- und Weidenutzung	211
Tab. A 19: Termine der Silagewerbung	211
Tab. A 20 und A 21: Umtriebe, Stallperioden, Fresstage und Besatzdichten	212 - 213
Tab. A 22: Weidebruttoertrag und Silageertrag	214
Tab. A 23 bis A 26: Qualität des angebotenen Weidefutters und der Silage .	214 - 216
Tab. A 27: Weidefutteraufnahme.....	216
Tab. A 28 bis A 31: Qualität des aufgenommenen Weidefutters	217 - 218
Tab. A 32 bis A 35: Nährstoffgehalte der Silage und des Weidefutters	219 - 220
Tab. A 36 bis Tab. A 46: Vergleich der Weidekäfigmethode mit der Methode des Energiebedarfs nach Richtlinien	221 - 226
Tab. A 47 und A 48: Kenndaten des Mineral- und Kraffutters	226 - 227
Tab. A 49: Futterqualität der auf der Weide angebotenen Silage	227
Tab. A 50: Nährstoffgehalte der auf der Weide angebotenen Silage.....	227
Tab. A 51 bis Tab. A 53: Einteilung der Kühe in die Teilbetriebe.....	228 - 230
Tab. A 54: Funktionen der Lebendmasseentwicklung nach Kalendertagen	231
Tab. A 55: Vergleich der manuellen und elektronischen Wiegemethode	231
Tab. A 56 bis Tab. A 59: Varianztabelle	232 - 233
Tab. A 60 und Tab. A 61: Lebendmassen der Kälber zu gleichen Lebens- tagen	234 - 235
Tab. A 62: Einfluss der Herkunft des Vaters auf die Lebendmasseentwick- lung und auf die Tageszunahme der Kälber im zweiten Ver- suchsjahr.....	236
Tab. A 63 bis A 66: Lebendmasseentwicklung der Kühe und Kälber, Tageszunahmen der Kälber und manuelle Ergänzungswieg- ungen der Kühe.....	236 - 238
Tab. A 67: Nährstoffgehalte in Weideaufwüchsen nach DLG (1973)	238
Tab. A 68: Nährstoffgehalte der Einstreu nach Strohart	238

Tab. A 69: Nährstoffmengen im Tiefstreumist nach der Schätzwert-Stallbilanz	239
Tab. A 70: Bestimmte Frischmassenmengen u. Nährstoffgehalte im Tiefstreumist...	239
Tab. A 71: Anteile der N-Verluste vom Entstehungsort am N-Verlust der Teilbetriebe insgesamt und nach Bindungsformen	240
Tab. A 72 und Tab. A. 74: Mengen und Nährstoffgehalte der Bilanzposten in den Hoftor-, Messwert-Stallbilanzen und Gesamtflächenbilanzen	240 - 242
Tab. A 75 bis Tab. A 94: Teilflächenbilanzen (Koppelbilanzen).....	243 -252
Tab. A 95: Übersicht über die Anzahl der Proben	253
Tab. A 96 und Tab. A 97: Mediane zur statistischen Auswertung der Boden- und Silagedaten mit dem Wilcoxon-Test.....	253
Tab. A 98: Extern und intern bewegte Stickstoff- und Phosphormengen	254
Tab. A 99: Extern und intern bewegte Kalium- und Magnesiummengen.....	255
Tab. A 100: Vergleich der N-Verluste aus Weidetierexkrementen zwischen Mutterkuh- und Ammenkuhhaltung	256

Verzeichnis der Abbildungen im Anhang

	Seite
Abb. A 1 und Abb. A 2: Weißkleeertragsanteile in der Weideperiode 2000.....	257
Abb. A 3: Klimadiagramme.....	258
Abb. A 4: Wechselwirkung zwischen dem Geschlecht des Kalbes und der Herkunft der Mutter im Merkmal Tageszunahme	259
Abb. A 5 bis Abb. A 8: Lebendmasseentwicklung der Kühe im Jahr 2000/2001.....	260 - 261
Abb. A 9 und Abb. A 10: Entwicklung der Lebendmasse der Kälber im Jahr 2000/2001	262
Abb. A 11: Beziehung zwischen Angebot und Aufnahme von Weidefutter.....	263
Abb. A 12: N-Verluste nach Bindungsform, Jahr und Entstehungsort.	263
Abb. A 13 und Abb. A 14: Plot zwischen den N-Verlust-Daten der angewen- deten Methodik und den über die mehrfaktorielle Regression ge- schätzten N-Verlusten aus der Futteraufnahme bzw. dem Futter- angebot	264
Abb. A 15: Vergleich der N-Bewegung von Milchkuh und Mutterkuh	265

9 Anhang

9.1 Tabellen

Tab. A 1: Mittlere Gehalte an Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor und Kalium und pH-Werte der Böden der Koppeln beider Teilbetriebe im Frühjahr 1999 in 0-10 cm Bodentiefe

	Teilbetrieb O																		
	V9			V10			B1			B2			B6			Gesamt			Gk
	\bar{x}	s	cv (%)	\bar{x}	s	cv (%)	\bar{x}	s	cv (%)	\bar{x}	s	cv (%)	\bar{x}	s	cv (%)	\bar{x}	s	cv (%)	
C (%)	3,7	0,4	11	3,5	0,2	6	3,9	0,5	13	3,9	0,4	11	4,4	0,4	9	4,0	0,5	12	
N (%)	0,3	0,0	11	0,3	0,0	7	0,4	0,0	12	0,4	0,0	10	0,4	0,0	9	0,4	0,0	12	
P (mg 100g ⁻¹)	2,3	0,9	41	2,9	0,7	24	3,0	1,0	32	4,1	0,8	19	3,6	0,8	22	3,4	1,0	29	B
K (mg 100g ⁻¹)	13,6	3,5	26	33,5	16,7	50	11,6	5,4	47	12,7	5,5	44	15,1	6,2	41	15,8	9,7	62	D
pH	5,4	0,1	1	6,1	0,5	8	5,5	0,2	3	5,5	0,2	4	5,6	0,2	3	5,6	0,3	5	
	Teilbetrieb M																		
	V1			V4			V6			H6			H8			Gesamt			Gk
	\bar{x}	s	cv (%)	\bar{x}	s	cv (%)	\bar{x}	s	cv (%)	\bar{x}	s	cv (%)	\bar{x}	s	cv (%)	\bar{x}	s	cv (%)	
C (%)	4,1	0,8	20	4,4	0,3	7	4,0	0,3	8	4,2	0,4	10	4,6	1,2	25	4,2	0,7	16	
N (%)	0,4	0,1	20	0,4	0,0	11	0,4	0,0	11	0,4	0,0	9	0,5	0,1	26	0,4	0,1	18	
P (mg 100g ⁻¹)	3,6	2,0	55	4,1	1,3	31	5,0	1,4	29	5,0	2,4	47	4,9	2,2	44	4,2	1,8	42	C
K (mg 100g ⁻¹)	21,0	13,3	63	27,0	12,1	45	32,9	10,3	31	27,8	8,4	30	29,6	13,3	45	26,3	12,4	47	D
pH	5,6	0,1	2	5,7	0,2	3	5,7	0,2	3	5,5	0,1	2	6,0	0,4	7	5,7	0,2	4	

Gk: Gehaltsklasse

Tab. A 2: Mittlere Gehalte an Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor und Kalium und pH-Werte der Böden der Koppeln beider Teilbetriebe im Frühjahr 2000 in den Bodentiefen 0-10, 10-20 und 20-30 cm

	Teilbetrieb O															Gk			
	Vg ^{a)}			V10			B1			B2			B6				Gesamt		
	\bar{x}	s	cv (%)	\bar{x}	s	cv (%)	\bar{x}	s	cv (%)	\bar{x}	s	cv (%)	\bar{x}	s	cv (%)		\bar{x}	s	cv (%)
Bodentiefe 0-10 cm																			
C (%)				3,9	0,4	10	4,0	0,4	10	3,8	0,5	14	4,1	0,7	16	4,0	0,5	14	
N (%)				0,4	0,0	9	0,4	0,0	10	0,3	0,0	11	0,4	0,1	17	0,4	0,0	14	
P (mg 100g ⁻¹)				3,6	1,0	28	2,8	1,0	36	3,3	1,3	39	2,8	0,8	28	3,0	1,0	34	B
K (mg 100g ⁻¹)				29,9	14,4	48	9,7	2,1	21	8,9	3,7	41	11,0	2,9	26	12,7	8,8	69	C
Mg (mg 100g ⁻¹)				5,6	0,7	13	5,2	1,3	25	4,7	1,1	22	4,1	0,7	18	4,7	1,3	27	B
pH				5,9	0,4	8	5,5	0,2	3	5,4	0,2	4	5,5	0,2	3	5,5	0,3	5	
Bodentiefe 10-20 cm																			
C (%)				2,7	0,4	16	2,5	0,4	17	2,5	0,6	24	3,0	0,5	18	2,7	0,5	20	
N (%)				0,2	0,0	14	0,2	0,0	17	0,2	0,0	20	0,3	0,0	17	0,2	0,0	20	
P (mg 100g ⁻¹)				1,7	0,4	24	1,2	0,5	42	1,7	0,6	36	1,5	0,5	35	1,5	0,5	36	
K (mg 100g ⁻¹)				23,3	12,8	55	5,3	1,8	35	5,3	2,9	54	6,3	3,0	49	8,0	7,7	96	
Mg (mg 100g ⁻¹)				4,6	2,4	53	4,3	0,5	11	4,0	0,4	10	3,6	0,4	10	4,0	0,9	24	
pH				5,8	0,4	7	5,4	0,2	3	5,4	0,2	4	5,4	0,2	3	5,4	0,3	5	
Bodentiefe 20-30 cm																			
C (%)				1,1	0,2	16	0,9	0,1	15	1,1	0,3	24	1,0	0,2	19	1,0	0,2	20	
N (%)				0,1	0,0	14	0,1	0,0	12	0,1	0,0	19	0,1	0,0	13	0,1	0,0	15	
P (mg 100g ⁻¹)				0,5	0,1	15	0,1	0,1	87	0,5	0,3	53	0,3	0,1	53	0,3	0,2	69	
K (mg 100g ⁻¹)				15,1	11,2	74	3,7	1,4	38	3,9	2,7	69	4,3	2,9	69	5,4	5,7	105	
Mg (mg 100g ⁻¹)				3,6	1,2	33	4,1	0,8	21	3,5	0,5	14	3,3	0,4	11	3,6	0,7	20	
pH				5,6	0,4	7	5,2	0,3	5	5,4	0,3	6	5,3	0,2	3	5,3	0,3	5	
	Teilbetrieb M															Gk			
	V1			V4			V6			H6			H8				Gesamt		
	\bar{x}	s	cv (%)	\bar{x}	s	cv (%)	\bar{x}	s	cv (%)	\bar{x}	s	cv (%)	\bar{x}	s	cv (%)		\bar{x}	s	cv (%)
Bodentiefe 0-10 cm																			
C (%)	3,5	0,7	20	4,4	0,4	9	3,8	0,3	7	3,8	0,5	12	4,0	1,1	26	4,0	0,7	17	
N (%)	0,3	0,1	18	0,4	0,0	10	0,3	0,0	8	0,4	0,0	12	0,4	0,1	25	0,4	0,1	17	
P (mg 100g ⁻¹)	3,3	1,5	47	4,2	1,0	23	3,3	0,8	24	4,2	2,1	51	3,3	2,1	65	3,6	1,5	40	B
K (mg 100g ⁻¹)	18,6	7,5	40	37,8	11,5	30	20,7	8,0	39	25,2	7,9	31	26,3	10,7	41	25,8	11,9	46	D
Mg (mg 100g ⁻¹)	3,7	0,5	14	4,2	0,3	7	4,3	0,4	10	4,0	0,1	3	4,9	0,3	6	4,1	0,5	13	B
pH	5,5	0,1	2	5,6	0,2	3	5,4	0,1	2	5,6	0,1	2	6,0	0,2	3	5,6	0,2	4	
Bodentiefe 10-20 cm																			
C (%)	2,3	0,7	31	2,7	0,3	13	2,3	0,3	11	2,4	0,4	15	3,1	0,9	28	2,6	0,6	23	
N (%)	0,2	0,1	30	0,2	0,0	10	0,2	0,0	13	0,2	0,0	16	0,3	0,1	28	0,2	0,1	24	
P (mg 100g ⁻¹)	1,9	0,9	44	2,1	0,6	31	1,3	0,4	32	1,8	1,0	55	2,0	1,4	70	1,9	0,9	46	
K (mg 100g ⁻¹)	9,2	5,2	57	16,4	7,2	44	13,0	5,0	39	16,2	5,9	37	16,7	8,3	50	13,3	6,7	51	
Mg (mg 100g ⁻¹)	3,1	0,2	8	3,4	0,1	4	3,5	0,3	7	3,4	0,2	6	4,5	0,2	4	3,5	0,5	14	
pH	5,4	0,2	3	5,4	0,2	4	5,3	0,1	2	5,5	0,1	1	5,9	0,2	3	5,5	0,2	4	
Bodentiefe 20-30 cm																			
C (%)	1,1	0,3	28	1,4	0,3	19	0,9	0,2	18	0,9	0,3	33	1,4	0,6	45	1,2	0,4	34	
N (%)	0,1	0,0	26	0,1	0,0	14	0,1	0,0	12	0,1	0,0	23	0,1	0,0	38	0,1	0,0	28	
P (mg 100g ⁻¹)	0,6	0,3	59	0,7	0,3	44	0,2	0,1	40	0,3	0,1	43	0,3	0,2	61	0,5	0,3	65	
K (mg 100g ⁻¹)	5,7	3,3	58	7,9	3,8	49	6,3	3,2	51	9,4	4,5	47	8,0	3,4	43	7,1	3,6	51	
Mg (mg 100g ⁻¹)	2,7	0,3	11	3,1	0,3	10	2,9	0,2	8	3,1	0,0	1	3,5	0,5	16	3,0	0,4	13	
pH	5,1	0,3	5	5,5	0,2	4	5,2	0,3	5	5,0	0,3	7	5,5	0,1	1	5,3	0,3	6	

a) nicht erhoben; Gk: Gehaltsklasse

Tab. A 3: Mittlere Gehalte an Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor und Kalium und pH-Werte der Böden der Koppeln beider Teilbetriebe im Frühjahr 2002 in den Bodentiefen 0-10, 10-20 und 20-30 cm

	Teilbetrieb O															Gk			
	Vg ^{a)}			V10			B1			B2			B6				Gesamt		
	\bar{x}	s	cv (%)	\bar{x}	s	cv (%)	\bar{x}	s	cv (%)	\bar{x}	s	cv (%)	\bar{x}	s	cv (%)		\bar{x}	s	cv (%)
Bodentiefe 0-10 cm																			
C (%)				4,4	0,5	11	4,7	0,5	11	4,4	0,6	13	4,9	0,6	12	4,7	0,6	12	
N (%)				0,4	0,0	10	0,4	0,0	11	0,4	0,0	13	0,4	0,1	12	0,4	0,1	12	
P (mg 100g ⁻¹)				3,9	1,4	37	4,0	1,3	32	4,8	1,6	34	4,0	1,0	24	4,2	1,3	31	B
K (mg 100g ⁻¹)				27,3	12,1	44	13,4	2,0	15	20,3	6,7	33	15,5	6,8	44	17,7	8,0	45	D
Mg (mg 100g ⁻¹)				4,3	1,3	30	3,9	0,6	15	3,7	0,4	10	3,4	0,4	13	3,7	0,7	18	A
pH				5,8	0,3	6	5,5	0,2	3	5,6	0,1	2	5,5	0,1	2	5,6	0,2	3	
Bodentiefe 10-20 cm																			
C (%)				2,7	0,3	11	2,9	0,4	15	2,7	0,6	22	3,1	0,3	9	2,9	0,4	15	
N (%)				0,2	0,0	10	0,3	0,0	15	0,2	0,0	20	0,3	0,0	11	0,3	0,0	16	
P (mg 100g ⁻¹)				1,8	0,9	49	2,1	0,9	45	2,3	1,1	46	1,6	0,5	33	1,9	0,8	44	
K (mg 100g ⁻¹)				15,4	10,1	66	5,0	2,2	44	5,4	3,1	58	3,7	3,6	97	5,9	5,7	97	
Mg (mg 100g ⁻¹)				3,5	1,5	43	2,8	0,4	15	2,9	0,2	8	2,7	0,2	9	2,9	0,7	23	
pH				5,7	0,5	8	5,5	0,2	3	5,5	0,2	3	5,5	0,2	3	5,5	0,2	4	
Bodentiefe 20-30 cm																			
C (%)				1,3	0,2	13	1,3	0,3	21	1,4	0,4	32	1,2	0,2	17	1,3	0,3	23	
N (%)				0,1	0,0	14	0,1	0,0	19	0,1	0,0	27	0,1	0,0	17	0,1	0,0	23	
P (mg 100g ⁻¹)				0,3	0,2	60	0,5	0,5	97	0,4	0,4	96	0,3	0,2	49	0,4	0,3	81	
K (mg 100g ⁻¹)				9,9	9,4	94	2,7	1,1	40	2,4	1,4	58	3,9	3,2	83	4,1	4,5	110	
Mg (mg 100g ⁻¹)				2,7	0,8	30	2,5	0,5	18	2,7	0,8	31	2,3	0,1	5	2,5	0,6	23	
pH				5,7	0,3	5	5,5	0,2	4	5,4	0,3	5	5,5	0,1	2	5,5	0,2	4	
Teilbetrieb M																			
	V1			V4			V6			H6			H8			Gesamt			GK
	\bar{x}	s	cv (%)	\bar{x}	s	cv (%)	\bar{x}	s	cv (%)	\bar{x}	s	cv (%)	\bar{x}	s	cv (%)	\bar{x}	s	cv (%)	
Bodentiefe 0-10 cm																			
C (%)	3,9	0,8	20	5,2	0,4	7	4,8	0,4	8	4,4	0,7	15	4,8	0,9	18	4,6	0,8	18	
N (%)	0,3	0,1	19	0,5	0,0	8	0,4	0,0	8	0,4	0,1	16	0,4	0,1	19	0,4	0,1	19	
P (mg 100g ⁻¹)	4,1	2,2	53	5,6	1,4	25	5,9	1,1	19	5,5	2,7	48	4,3	2,6	62	4,9	2,0	41	C
K (mg 100g ⁻¹)	22,3	6,0	27	46,3	13,6	29	42,7	7,1	17	34,3	6,0	17	36,9	12,3	33	34,9	13,6	39	E
Mg (mg 100g ⁻¹)	3,0	0,5	17	4,1	0,4	9	4,6	0,6	14	3,6	0,3	7	4,7	0,3	7	3,9	0,8	21	B
pH	5,6	0,1	2	5,7	0,1	2	5,7	0,2	3	5,8	0,1	2	5,9	0,3	4	5,7	0,2	3	
Bodentiefe 10-20 cm																			
C (%)	2,5	0,7	30	3,1	0,4	13	2,8	0,3	12	2,9	0,5	16	2,9	1,0	32	2,8	0,7	23	
N (%)	0,2	0,1	29	0,3	0,0	11	0,3	0,0	12	0,2	0,0	12	0,3	0,1	29	0,3	0,1	23	
P (mg 100g ⁻¹)	2,2	1,3	60	2,9	1,0	34	2,5	0,9	37	2,7	1,7	64	2,9	3,4	118	2,6	1,6	62	
K (mg 100g ⁻¹)	7,3	3,8	53	17,3	11,5	67	16,0	5,2	32	15,1	6,0	40	19,3	9,2	48	13,1	8,2	63	
Mg (mg 100g ⁻¹)	3,3	2,0	60	2,9	0,2	7	3,0	0,5	15	2,7	0,3	9	3,7	0,6	15	3,2	1,2	38	
pH	5,4	0,1	2	5,6	0,1	2	5,5	0,2	3	5,4	0,1	2	5,8	0,2	4	5,5	0,2	3	
Bodentiefe 20-30 cm																			
C (%)	1,5	0,5	30	1,6	0,3	16	1,4	0,2	13	1,1	0,4	39	1,7	0,6	37	1,5	0,4	28	
N (%)	0,1	0,0	28	0,2	0,0	12	0,1	0,0	13	0,1	0,0	40	0,1	0,1	38	0,1	0,0	27	
P (mg 100g ⁻¹)	0,9	0,7	75	0,9	0,6	69	0,4	0,3	72	0,6	0,3	58	0,3	0,3	87	0,7	0,6	83	
K (mg 100g ⁻¹)	6,7	3,8	58	9,3	4,4	48	7,6	2,4	32	9,8	6,4	66	8,4	5,3	62	8,0	4,2	53	
Mg (mg 100g ⁻¹)	2,4	0,3	11	2,6	0,4	14	2,4	0,2	7	2,5	0,3	11	3,0	0,7	25	2,5	0,4	17	
pH	5,2	0,1	3	5,7	0,2	4	5,5	0,2	4	5,2	0,3	6	5,6	0,2	3	5,4	0,3	5	

a) nicht erhoben; Gk: Gehaltsklasse

Tab. A 4: Vegetationsaufnahmen auf den Versuchsfeldern im Mai 1999 (Bearbeiter: Helmert M.); Aufnahmen auf je 25m², transformiert aus der Skala von WILLMANN'S (1993) in die Skala von BRAUN-BLANQUET (1964)

	Teilbetrieb O										Teilbetrieb M									
	28	15	14	13	26	27	23	24	25		17	18	19	20	21	22	1	2	3	16
Aufnahme-Nummer	B1	B2	B2	B2	B6	B6	V9	V9	V10		V1	V1	V4	V4	V6	V6	H8	H8	H8	H6
Versuchsfläche	9	3	3	3	8	8	8	8	8		8	8	8	8	8	8	1	1	1	7
Tag	100	90	97	100	100	100	100	99	99		99	98	99	100	100	100	99	98	99	100
Gesamtdeckung [%]	20	12	25	20	37	30	25	20	25		25	15	25	28	27	30	10	12	15	28
Vegetationshöhe [cm]	15	11	18	17	18	11	13	15	16		14	18	14	12	15	10	14	13	14	11
Artenzahl																				
lateinischer Name	deutscher Name																			
Kenn- und Trennarten des																				
Cynosuretum u. Cynosurion																				
<i>Lolium perenne</i>	Ausdauerndes Weidelgras																			
<i>Trifolium repens</i>	Weiß-Klee																			
<i>Bellis perennis</i>	Gänseblümchen																			
<i>Veronica serpyllifolia</i>	Thymianblättriger Ehrenpreis																			
<i>Phleum pratense</i>	Wiesen-Lieschgras																			
<i>Cynosurus cristatus</i>	Wiesen-Kammgras																			
Kennarten der Arrhenatheretalia																				
<i>Taraxacum officinalis</i>	Wiesen-Löwenzahn																			
<i>Dactylis glomerata</i>	Wiesen-Knäuelgras																			
<i>Achillea millefolium</i>	Wiesen-Schafgarbe																			
<i>Bromus hordeaceus</i>	Weiche Trespe																			
<i>Anthriscus sylvestris</i>	Wiesen-Kerbel																			
Kennarten der Molinio-Arrhenatheretea																				
<i>Poa pratensis</i>	Wiesen-Rispengras																			
<i>Holcus lanatus</i>	Wolliges Honiggras																			
<i>Leontodon autumnalis</i>	Herbst-Löwenzahn																			
<i>Cerastium holosteoides</i>	Gewöhnliches Hornkraut																			
<i>Rumex acetosa</i>	Großer Sauerampfer																			
<i>Ranunculus acris</i>	Scharfer Hahnenfuß																			
<i>Festuca pratensis</i>	Wiesen-Schwingel																			
<i>Festuca rubra</i>	Rot-Schwingel																			
<i>Poa trivialis</i>	Gewöhnliches Rispengras																			
<i>Cardamine Pratensis</i>	Wiesen-Schaumkraut																			
<i>Plantago lanceolata</i>	Spitz-Wegerich																			
Trennarten der Subassoziation von																				
Alopecurus geniculatus																				
<i>Alopecurus pratensis</i>	Wiesen-Fuchsschwanz																			
<i>Alopecurus geniculatus</i>	Knick-Fuchsschwanz																			
Störzeiger bzw. Arten der Plantagineetea																				
<i>Plantago major</i>	Breit-Wegerich																			
<i>Ranunculus repens</i>	Kriechender Hahnenfuß																			
<i>Poa annua</i>	Einjähriges Rispengras																			
<i>Stellaria media</i>	Gewöhnliche Vogelmiere																			
<i>Capsella bursa pastoris</i>	Gewöhnliches Hirtentäschel																			
Begleiter																				
<i>Elymus repens</i>	Kriech-Quecke																			
<i>Rumex obtusifolius</i>	Stumpfbättriger Ampfer																			
<i>Agrostis stolonifera</i>	Weißes Straußgras																			
<i>Ceratium glomeratum</i>	Knäueliges Hornkraut																			
<i>Veronica arvensis</i>	Feld-Ehrenpreis																			
<i>Rumex crispus</i>	Krauser Ampfer																			
<i>Erophila verna</i>	Frühlings-Hungerblümchen																			

Legende:

- r = nur ganz wenige Individuen (1-5 Pflanzen), sehr geringer Deckungsgrad
- + = wenige Individuen, geringer Deckungsgrad
- 1 = reichlich vorhanden, aber Deckungsgrad < 5%
- 2 = Deckungsgrad 5-25% oder sehr zahlreiche Individuen, aber Deckungsgrad < 5%
- 3 = Deckungsgrad 25-50%
- 4 = Deckungsgrad 50-75 %
- 5 = Deckungsgrad 75-100%

Tab. A 5: Mittlere Ertragsanteile, Standardabweichungen und Variationskoeffizienten der Pflanzengruppen Gräser, Kräuter und Weißklee entlang der Transekte (in %)

	Teilbetrieb O			Teilbetrieb M		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
Frühjahr 2000						
Gräser	77	16	21	82	9	11
Kräuter	18	16	87	14	7	50
Weißklee	5	4	92	4	4	89
Frühjahr 2001						
Gräser	78	6	7	76	13	17
Kräuter	18	5	31	19	13	66
Weißklee	4	4	92	5	6	119

Tab. A 6: Weißkleeerträge (WKE) und Weißkleeertragsanteile (WKEA) bei Weidenutzung im Futterangebot bei Weideauftrieb (WA) und im Futteraufwuchs unter den Weidekäfigen (WK) - Teilbetrieb O, Weideperiode 2000

Koppel	B1 WA	B1 WK	B1 WA	B2 WK	B2 WK
Datum	28.07.	08.08.	02.10.	12.07.	18.07.
	\bar{x} s cv	\bar{x} s cv	\bar{x} s cv	\bar{x} s cv	\bar{x} s cv
WKE (dt TM ha ⁻¹)	5,1 2,5 48,7	1,0 0,7 66,1	3,0 1,3 43,3	3,1 1,0 32,4	2,1 0,9 45,3
WKEA (%)	21,0 9,9 47,2	17,3 7,4 42,8	16,7 6,3 37,7	18,2 4,4 24,1	16,2 6,0 37,3
Koppel	B2 WK	B2 WK	B2 WK	B9-10 WK	B8-10 WK
Datum	25.07.	28.07.	28.09.	15.11.	25.04.
	\bar{x} s cv	\bar{x} s cv	\bar{x} s cv	\bar{x} s cv	\bar{x} s cv
WKE (dt TM ha ⁻¹)	0,6 0,5 76,5	0,1 0,1 58,3	2,3 1,2 51,7	0,7 0,5 70,3	1,0 1,5 147,6
WKEA (%)	6,0 3,0 50,6	4,3 1,7 38,7	20,7 7,0 33,8	4,6 2,8 60,1	11,4 5,7 49,9
Koppel	B8-10 WK	B8-10 WK	B8-10 WK	B8-10 WK	B8-10 WK
Datum	02.05.	09.05.	16.05.	23.05.	30.05.
	\bar{x} s cv	\bar{x} s cv	\bar{x} s cv	\bar{x} s cv	\bar{x} s cv
WKE (dt TM ha ⁻¹)	0,7 0,9 119,1	1,1 1,3 118,6	0,7 0,8 113,1	0,9 0,6 64,5	0,6 0,5 80,7
WKEA (%)	6,6 4,5 67,4	10,3 8,8 85,5	6,3 8,0 127,8	8,0 7,4 91,8	8,7 5,9 67,7
Koppel	B8-10 WK	B8-10 WK	B8-10 WK	B8-10 WK	B8-10 WK
Datum	06.06.	13.06.	20.06.	16.08.	22.08.
	\bar{x} s cv	\bar{x} s cv	\bar{x} s cv	\bar{x} s cv	\bar{x} s cv
WKE (dt TM ha ⁻¹)	0,6 0,6 103,9	0,4 0,5 143,2	0,2 0,3 183,7	7,6 4,6 61,0	4,1 1,9 46,5
WKEA (%)	13,8 19,8 143,3	10,1 10,7 105,6	6,3 5,5 87,4	32,1 13,1 40,9	20,5 10,3 50,3
Koppel	B8-10 WK	V10 WK	B6+7 WK	B6+7 WK	B6+7 WK
Datum	30.08.	06.07.	30.06.	06.09.	11.09.
	\bar{x} s cv	\bar{x} s cv	\bar{x} s cv	\bar{x} s cv	\bar{x} s cv
WKE (dt TM ha ⁻¹)	3,0 1,6 51,8	2,8 2,1 72,3	1,5 0,7 49,5	3,9 2,1 53,5	1,3 0,6 48,4
WKEA (%)	20,9 8,7 41,7	20,5 7,5 36,5	10,5 4,3 40,8	18,3 8,7 47,5	14,7 5,0 34,2
Koppel	B6+7 WK				
Datum	14.09.				
	\bar{x} s cv				
WKE (dt TM ha ⁻¹)	0,5 0,2 51,5				
WKEA (%)	10,6 4,9 46,4				

Tab. A 7: Weißkleeerträge (WKE) und Weißkleeertragsanteile (WKEA) bei Weidenutzung im Futterangebot bei Weideauftrieb (WA) und im Futteraufwuchs unter den Weidekäfigen (WK) - Teilbetrieb M, Weideperiode 2000

Koppel	H8 WK			H8 WK			V4 WA			V4 WK			V4 WK		
Datum	02.08.			10.08.			04.07.			12.07.			18.07.		
	\bar{x}	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv
WKE (dt TM ha ⁻¹)	8,2	4,7	57,1	5,3	1,8	34,5	5,7	2,0	35,4	5,6	1,3	23,4	3,3	1,4	43,0
WKEA (%)	25,3	13,8	54,7	36,8	8,4	22,7	40,1	16,2	40,4	26,5	3,6	13,7	20,9	9,8	47,0
Koppel	V4 WK			V4 WK			V4 WK			H6 WK			V6 WK		
Datum	25.07.			11.09.			18.09.			27.10.			25.04.		
	\bar{x}	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv
WKE (dt TM ha ⁻¹)	0,8	0,3	41,9	11,7	3,3	28,7	7,8	2,3	29,8	0,7	0,5	76,1	1,2	0,8	68,3
WKEA (%)	9,4	2,5	26,2	49,1	13,3	27,0	51,0	7,1	13,8	4,5	3,4	76,0	10,8	7,8	71,6
Koppel	V6 WK			V6 WK			V6 WK			V6 WK			V6 WK		
Datum	02.05.			09.05.			16.05.			23.05.			30.05.		
	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	\bar{x}	s	cv
WKE (dt TM ha ⁻¹)	2,0	1,6	83,0	2,4	1,9	78,6	3,6	1,9	52,8	2,8	1,3	46,2	1,8	1,7	92,5
WKEA (%)	17,2	10,2	59,4	14,2	9,6	67,5	19,6	7,3	37,5	20,9	6,9	33,2	21,7	13,4	61,6
Koppel	V6 WK			V6 WK			V6 WK			V6 WK			V6 WK		
Datum	06.06.			13.06.			20.06.			16.08.			22.08.		
	\bar{x}	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv
WKE (dt TM ha ⁻¹)	0,6	0,3	49,6	0,5	0,3	53,1	0,9	0,6	62,7	13,6	2,7	19,8	9,0	6,1	68,3
WKEA (%)	17,0	13,1	77,3	11,5	9,7	84,6	28,8	9,0	31,4	42,6	12,4	29,1	42,5	16,4	38,6
Koppel	V6 WK			V6 WK			V6 WK			V6 WK					
Datum	30.08.			04.09.			16.10.			24.10.					
	\bar{x}	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv			
WKE (dt TM ha ⁻¹)	5,6	2,9	52,6	3,2	1,2	36,7	3,8	1,3	33,2	1,1	0,6	50,8			
WKEA (%)	31,5	10,1	32,1	29,8	10,8	36,1	25,8	8,7	33,7	13,2	6,3	47,5			

Tab. A 8: Weißkleererträge (WKE) und Weißkleerertragsanteile (WKEA) bei Weidenutzung im Futterangebot bei Weideauftrieb (WA) und im Futteraufwuchs unter den Weidekäfigen (WK) - Teilbetrieb O, Weideperiode 2001

Koppel	B2 WK			B2 WK			B2 WK			B2 WK			B2 WK		
Datum	15.05.			22.05.			29.05.			07.06.			13.06.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
WKE (dt TM ha ⁻¹)	0,9	0,4	41,6	0,6	0,3	45,2	1,4	0,6	44,2	1,3	0,4	34,8	0,3	0,2	78,1
WKEA (%)	2,6	1,3	51,5	2,9	1,7	57,2	5,7	2,4	42,7	8,4	2,9	34,2	2,6	1,3	48,2
Koppel	B2 WK			B2 WK			B2 WK			B2 WA			B2 WK		
Datum	19.06.			29.06.			05.07.			03.09.			10.09.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
WKE (dt TM ha ⁻¹)	0,6	0,4	57,8	0,2	0,2	78,3	0,0	0,0	105,0	1,1	0,8	76,2	0,8	0,5	62,8
WKEA (%)	7,4	2,8	38,3	2,7	1,2	44,2	0,6	0,8	133,4	9,5	6,7	70,9	5,6	3,5	62,7
Koppel	B2 WK			B6+7 WR			B6+7 WK			B6+7 WK			V10 WA		
Datum	17.09.			05.07.			13.07.			19.07.			23.07.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
WKE (dt TM ha ⁻¹)	0,2	0,2	103,0	4,0	0,9	22,6	4,6	2,1	45,5	1,4	0,4	29,7	2,1	0,9	43,6
WKEA (%)	2,1	1,8	85,5	21,1	3,1	14,8	24,7	8,0	32,5	15,4	4,6	30,0	8,3	3,5	42,2
Koppel	V10 WK			V10 WK			V10 WA			V10 WK			B1 WA		
Datum	30.07.			02.08.			10.10.			17.10.			02.08.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
WKE (dt TM ha ⁻¹)	4,3	3,3	77,5	0,4	0,2	53,8	0,2	0,1	75,9	0,2	0,2	76,9	1,3	0,7	53,0
WKEA (%)	26,1	14,4	55,1	4,5	2,1	45,7	1,5	1,1	76,0	1,9	1,3	67,3	8,3	4,0	48,0
Koppel	B1 WK			B1 WK			B1 WA			B1 WK			B8-10 WA		
Datum	09.08.			13.08.			04.10.			10.10.			13.08.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
WKE (dt TM ha ⁻¹)	0,5	0,2	34,2	0,1	0,1	73,8	0,1	0,1	70,8	0,1	0,1	49,7	1,4	0,8	57,7
WKEA (%)	3,4	1,3	37,1	2,8	1,2	40,7	2,1	0,7	32,0	2,2	1,2	53,1	6,4	1,9	30,3
Koppel	B8-10 WK			B8-10 WK			B8-10 WK			B6-10 WA			B6-10 WA		
Datum	20.08.			27.08.			03.09.			24.09.			18.10.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
WKE (dt TM ha ⁻¹)	1,1	1,1	99,5	1,3	0,8	60,1	0,1	0,1	111,0	0,3	0,1	56,5	0,2	0,2	98,5
WKEA (%)	4,6	3,8	82,6	7,6	4,9	64,3	1,4	1,0	72,5	2,8	2,1	76,4	2,9	1,5	51,2
Koppel	B6-10 WK														
Datum	26.10.														
	\bar{x}	s	cv												
WKE (dt TM ha ⁻¹)	0,4	0,3	73,9												
WKEA (%)	4,6	3,6	78,5												

Tab. A 9: Weißkleeerträge (WKE) und Weißkleeertragsanteile (WKEA) bei Weidenutzung im Futterangebot bei Weideauftrieb (WA) und im Futteraufwuchs unter den Weidekäfigen (WK) - Teilbetrieb M, Weideperiode 2001

Koppel	V4			V4			V4			V4			V4		
Datum	WK			WK			WK			WK			WK		
	15.05.			22.05.			29.05.			07.06.			13.06.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
WKE (dt TM ha ⁻¹)	1,3	0,8	57,7	1,1	0,3	28,7	1,3	0,5	41,3	1,0	0,5	51,8	0,2	0,2	93,8
WKEA (%)	4,5	3,1	69,1	5,8	1,7	28,9	6,8	2,4	35,5	11,1	2,5	22,8	2,4	1,3	55,9
Koppel	V4			V4			V4			V4			V4		
Datum	WK			WK			WK			WA			WK		
	19.06.			29.06.			06.07.			10.08.			20.08.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
WKE (dt TM ha ⁻¹)	0,4	0,3	78,0	0,4	0,3	95,0	0,1	0,1	95,3	1,1	0,4	39,1	1,9	1,0	52,3
WKEA (%)	6,8	4,4	64,0	6,8	4,0	58,7	1,9	0,8	43,8	8,3	3,7	43,9	10,6	6,2	58,6
Koppel	V4			V4			V4			V6			V6		
Datum	WK			WA			WK			WA			WK		
	27.08.			19.10.			26.10.			06.07.			13.07.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
WKE (dt TM ha ⁻¹)	0,9	0,6	58,7	0,3	0,2	69,1	0,3	0,2	51,7	2,9	1,4	49,0	5,5	3,9	71,1
WKEA (%)	11,5	5,5	47,5	3,0	1,4	46,1	2,4	1,3	53,0	20,4	4,4	21,6	30,1	11,4	37,7
Koppel	V6			V6			V6			V6			V6		
Datum	WK			WK			WA			WK			WK		
	19.07.			27.07.			10.09.			17.09.			25.09.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
WKE (dt TM ha ⁻¹)	1,8	0,5	28,0	0,7	0,3	37,2	0,9	0,7	75,1	1,2	0,6	53,0	0,5	0,2	47,1
WKEA (%)	17,9	4,9	27,4	10,2	1,9	18,4	11,3	4,8	42,4	11,8	3,3	28,3	7,3	3,1	42,1
Koppel	H8			H8			H8			H8			H8		
Datum	WA			WK			WK			WA			WK		
	27.07.			02.08.			10.08.			05.10.			12.10.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
WKE (dt TM ha ⁻¹)	1,9	2,0	105,4	1,2	0,6	51,7	0,6	0,4	64,9	0,3	0,1	25,2	0,3	0,2	69,5
WKEA (%)	10,2	6,6	64,8	6,0	2,3	37,3	6,0	3,0	50,4	2,9	0,8	28,1	3,1	1,7	53,4

Tab. A 10: Mittlere Weißkleeertragsanteile der Koppeln, gewichtet (in %)

Koppel	2000										2001											
	Nutzung										Mittelwert	Nutzung										Mittelwert
	S 1	S 2	S 3	W 1	W 2	W 3	W 4	S 1	S 2	S 3		W 1	W 2	W 3								
Teilbetrieb O	V 9	3	12	12							7	4	18	5						8		
	V 10	6	18		20	14 ^a					12	7			13	2				8		
	B 1	7			20	17					14	9			5	2				7		
	B 2	5			14	21					11				4	5				4		
	B 6-10															3	4			8		
	B 6-7	14			10	17					14	7			19							
	B 8-10				9	25	5 ^b				13	10			5							
Gesamtmittel											12											7
Teilbetrieb M	V 1	9	25	19	9 ^a						14	9	12	4						9		
	H 6	2	9	9	4						5	5	14							7		
	V 4	18			25	50					29				6	5	3			5		
	V 6				19	38	26	13			25	15			20	9				16		
	H 8	9			29	23 ^a					19	8			7	3				7		
	Gesamtmittel											22											9

S: Schnitt; W: Beweidung; ^a: Dieser Wert wurde geschätzt mit Hilfe der auf Versuchsdaten basierten Beziehung zwischen dem Weißkleeertragsanteil und dem Kalendertag (Abb. A1 u. A2); ^b: Teilfläche B9-10; Mittelwertbildung: S (arithmetisches Mittel), W und Mittelwert der Koppeln (gewogenes arithmetisches Mittel)

Tab. A 11: N-Mengen aus symbiotischer N₂-Fixierung (in kg N ha⁻¹)

Koppel	Teilbetrieb O		Teilbetrieb M		
	2000	2001	Koppel	2000	2001
B1	44	21	V1	46	24
B2	45	15	V4	117	19
B6	39	28	H6	18	15
V9	21	19	H8	79	25
V10	32	24	V6	100	52
Gesamt	40	23	Gesamt	80	30

Tab. A 12: T-Ertrag und Qualität des Weidefutters - ermittelt im Weidekäfigverfahren - zu Beginn des Weideauftriebs (WA) und zu Ende einer Weidekäfigperiode unter den Weidekäfigen (WK) und im Weiderest (WR) in Teilbetrieb O der Weideperiode 1999. Die Klammern () geben die Anzahl der Probenahmestellen an.

Koppel	V10			V10			V10			V10			V10		
	WA (5)			WK (5)			WR (5)			WK (5)			WR (5)		
	21.05.			31.05.			31.05.			11.06.			11.06.		
Datum	\bar{x}	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	42,4	7,7	18,1	46,8	9,9	21,2	10,8	4,5	42,2	23,3	5,8	24,7	5,9	4,2	70,7
XP (%)	15,1	1,2	8,0	12,1	1,8	15,2	11,8	1,7	14,2	12,5	1,8	14,7	10,7	0,8	7,7
Verd. (%)	75,3	0,8	1,0	71,6	0,8	1,1	73,1	1,2	1,7	67,9	2,2	3,3	63,8	2,9	4,5
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,8	0,2	1,7	10,5	0,2	1,9	10,8	0,1	0,8	9,9	0,3	3,5	9,3	0,4	4,1
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,6	0,1	2,0	6,3	0,1	2,3	6,5	0,1	1,0	5,9	0,2	4,1	5,5	0,3	4,9
XA (%)	8,5	0,8	9,0	7,3	0,9	12,0	6,9	1,1	16,6	6,7	0,6	8,2	7,1	0,8	11,2
Koppel	V10			V10			V10			V10			V10		
Datum	WA (5)			WK (5)			WR (5)			WA (5)			WK (5)		
	30.07.			09.08.			09.08.			30.09.			06.10.		
Datum	\bar{x}	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	12,3	4,1	33,1	10,0	4,1	40,8	0,0			9,2	2,3	25,0	11,7	5,4	46,1
XP (%)	16,2	2,2	13,8	14,8	1,1	7,5				18,7	1,0	5,2	19,3	0,7	3,6
Verd. (%)	70,7	3,2	4,6	66,5	3,2	4,8				70,5	1,1	1,6	71,6	1,7	2,4
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,1	0,4	4,5	9,6	0,5	5,2				9,9	0,3	2,8	9,9	0,3	2,7
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,0	0,3	5,3	5,6	0,4	6,3				5,9	0,2	3,4	5,9	0,2	3,2
XA (%)	8,9	1,0	11,0	7,9	0,4	4,6				9,4	1,1	11,8	10,4	0,8	7,3
Koppel	V10			B1			B1			B1			B1		
Datum	WR (5)			WA (5)			WK (5)			WR (5)			WK (5)		
	06.10.			07.05.			14.05.			14.05.			21.05.		
Datum	\bar{x}	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	2,0	1,9	95,2	17,6	2,1	11,7	24,5	6,2	25,2	11,4	1,5	13,1	16,5	3,4	20,4
XP (%)	15,9	0,9	5,6	17,0	1,6	9,4	15,6	1,1	6,8	15,0	1,2	7,7	16,9	2,6	15,4
Verd. (%)	68,5	3,2	4,7	76,9	1,3	1,8	76,2	0,9	1,1	73,9	2,3	3,1	74,9	4,1	5,4
ME (MJ kg T ⁻¹)	9,4	0,6	6,5	11,1	0,2	1,7	11,1	0,2	1,6	10,4	0,6	5,5	10,6	0,3	3,1
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,5	0,4	7,8	6,8	0,1	1,9	6,7	0,1	1,9	6,3	0,4	6,5	6,4	0,2	3,7
XA (%)	11,9	2,1	17,7	7,5	0,7	9,6	7,3	0,9	12,8	10,2	2,9	28,4	9,5	4,4	46,6
Koppel	B1			B1			B1			B1			B1		
Datum	WR (5)			WA (5)			WK (5)			WR (5)			WA (10)		
	21.05.			10.06.			24.06.			24.06.			09.09.		
Datum	\bar{x}	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	5,1	2,0	39,9	17,5	3,1	18,0	23,7	7,8	33,1	1,7	0,4	23,2	13,2	4,3	32,5
XP (%)	14,9	2,0	13,6	16,6	1,7	10,3	14,3	2,9	20,2	11,2	1,2	10,4	17,1	1,9	11,3
Verd. (%)	71,5	1,7	2,4	70,5	3,0	4,3	68,6	4,0	5,8	63,0	2,4	3,7	73,2	4,6	6,3
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,2	0,3	3,2	10,1	0,4	3,5	9,9	0,5	5,0	9,2	0,4	4,2	10,4	0,6	6,2
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,1	0,2	3,8	6,0	0,2	4,1	5,9	0,3	5,9	5,4	0,3	5,0	6,3	0,5	7,2
XA (%)	9,1	0,9	10,2	8,3	0,8	9,1	7,8	1,0	13,1	7,3	0,5	7,0	9,0	0,5	6,1
Koppel	B1			B1			B1			B1			B1		
Datum	WK (9)			WR (8)			WA (5)			WK (5)			WR (5)		
	16.09.			16.09.			15.10.			18.10.			18.10.		
Datum	\bar{x}	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	9,2	4,8	52,0	0,7	0,4	55,7	2,9	0,5	15,4	5,2	2,6	50,4	1,4	1,1	75,8
XP (%)	17,0	2,2	13,2	11,9	1,0	8,8	22,5	2,5	11,0	20,4	2,9	14,4	14,7	1,1	7,3
Verd. (%)	69,7	2,4	3,5	64,7	4,1	6,3	68,6	4,1	5,9	72,0	3,8	5,2	63,3	1,2	2,0
ME (MJ kg T ⁻¹)	9,9	0,3	2,9	9,3	0,6	6,6	9,4	0,6	6,0	10,1	0,5	4,6	8,8	0,2	2,5
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,9	0,2	3,4	5,5	0,4	7,9	5,5	0,4	7,2	6,0	0,3	5,4	5,1	0,2	3,1
XA (%)	9,0	0,5	5,5	8,7	2,2	25,4	10,0	1,7	17,5	9,3	1,0	10,3	10,3	1,8	17,7

Fortsetzung von Tab. A 12:

Koppel	B2 WA (9)			B2 WK (9)			B2 WR (9)			B2 WK (9)			B2 WR (9)		
	23.06.			01.07.			01.07.			08.07.			08.07.		
Datum	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	5,3	1,6	30,5	12,1	2,8	23,4	5,4	1,5	27,3	8,2	3,1	38,4	2,8	1,4	51,4
XP (%)	18,3	1,3	7,1	16,7	1,8	10,7	15,9	1,0	6,6	17,9	1,2	6,7	15,1	2,3	15,1
Verd. (%)	75,8	3,0	3,9	75,3	2,3	3,1	73,7	2,2	3,0	74,6	1,7	2,3	72,3	2,9	4,0
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,9	0,5	4,3	10,9	0,3	2,8	10,7	0,3	3,0	10,7	0,3	2,4	10,5	0,4	4,0
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,6	0,3	5,0	6,6	0,2	3,3	6,5	0,2	3,5	6,5	0,2	2,9	6,3	0,3	4,7
XA (%)	7,9	0,4	5,1	7,8	0,2	3,1	7,4	0,2	3,1	8,2	0,3	3,1	7,9	0,5	6,5
Koppel	B2 WK (9)			B2 WR (9)			B2 WA (9)			B2 WK (9)			B2 WR (9)		
Datum	16.07.			16.07.			16.09.			23.09.			23.09.		
Datum	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	3,0	1,4	47,4	0,0			5,9	1,6	27,6	6,4	2,7	43,0	3,0	1,1	35,7
XP (%)	19,6	2,7	13,8				17,8	0,9	4,9	18,6	1,7	9,0	15,6	0,7	4,2
Verd. (%)	73,3	2,8	3,8				71,1	1,2	1,7	72,3	2,0	2,7	68,3	1,1	1,7
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,3	0,3	3,2				10,1	0,2	2,3	10,3	0,3	2,8	9,9	0,2	1,7
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,2	0,2	3,7				6,0	0,2	2,7	6,2	0,2	3,3	5,9	0,1	2,0
XA (%)	9,0	0,5	5,6				8,5	0,4	5,0	8,0	0,6	6,8	7,3	0,3	3,7
Koppel	B2 WK (9)			B2 WR (9)			B2 WA (8)			B2 WK (5)			B2 WR (5)		
Datum	01.10.			01.10.			21.10.			25.10.			25.10.		
Datum	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	3,0	1,3	41,9	1,2	1,0	82,7	3,9	1,4	35,1	2,2	1,1	50,3	1,6	1,0	60,9
XP (%)	21,3	3,6	17,0	17,3	2,6	15,2	20,9	3,3	15,6	21,7	3,5	16,2	18,7	2,6	14,1
Verd. (%)	71,7	5,7	8,0	65,8	3,6	5,5	75,1	3,1	4,2	75,3	4,3	5,8	73,1	2,1	2,9
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,1	0,7	7,3	9,1	0,7	7,3	10,6	0,4	3,4	10,3	0,7	6,4	10,0	0,4	4,0
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,0	0,5	8,6	5,3	0,5	8,9	6,4	0,2	3,9	6,2	0,5	7,4	5,9	0,3	4,6
XA (%)	8,5	1,5	17,9	10,4	2,4	23,2	8,6	0,6	7,2	11,5	0,9	7,9	12,3	3,1	24,9
Koppel	B6 WA (5)			B6 WK (5)			B6 WR (5)			B7 WA (4)			B7 WK (4)		
Datum	15.07.			26.07.			26.07.			23.07.			02.08.		
Datum	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	16,3	2,1	12,6	20,6	5,4	26,3	1,5	0,5	31,9	21,3	5,5	26,0	22,9	9,5	41,3
XP (%)	12,7	1,6	12,4	12,9	0,9	7,2	11,2	1,2	10,7	11,5	1,8	16,1	10,8	1,5	14,0
Verd. (%)	71,6	1,8	2,5	70,1	2,1	3,0	64,7	3,0	4,6	64,6	2,5	3,9	63,3	1,2	2,0
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,4	0,3	2,8	10,2	0,3	3,0	9,3	0,4	3,8	9,3	0,3	3,1	9,2	0,1	1,1
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,3	0,2	3,4	6,1	0,2	3,5	5,5	0,3	4,6	5,5	0,2	3,6	5,4	0,1	1,4
XA (%)	8,3	0,6	7,1	8,4	0,4	5,1	8,9	2,5	27,7	8,4	1,1	13,3	8,0	0,6	8,0
Koppel	B7 WR (4)			B6+7 WA (8)			B6+7 WK (8)			B6+7 WR (7)			B8 WA (7)		
Datum	02.08.			06.10.			15.10.			15.10.			06.08.		
Datum	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	4,0	1,4	35,8	9,0	1,7	19,4	5,7	2,5	44,3	0,8	0,5	66,6	18,1	2,2	12,2
XP (%)	8,4	0,8	9,0	16,8	2,3	13,9	19,6	2,3	11,7	14,8	3,2	21,8	8,9	0,5	5,2
Verd. (%)	60,6	0,9	1,4	63,1	3,5	5,6	68,7	3,8	5,5	62,1	3,5	5,7	62,0	1,8	2,9
ME (MJ kg T ⁻¹)	8,9	0,2	2,2	8,7	0,5	5,8	9,6	0,5	5,2	8,5	0,7	7,9	8,9	0,3	3,3
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,2	0,1	2,6	5,0	0,3	7,0	5,6	0,3	6,1	4,9	0,5	9,7	5,2	0,2	4,0
XA (%)	7,2	0,9	11,9	10,5	1,3	12,8	9,4	1,0	10,2	11,2	2,5	22,6	9,2	0,8	9,2

Fortsetzung von Tab. A 12:

Koppel Datum	B8 WK (7) 20.08.			B8 WR (7) 20.08.			B8 WA (6) 18.10.			B8 WK (6) 22.10.			B8 WR (6) 22.10.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv
	T (dt ha ⁻¹)	20,9	1,4	6,5	2,9	1,4	49,3	5,9	1,6	26,7	11,1	1,8	16,3	3,4	1,0	30,3
XP (%)	8,7	0,7	7,6	7,7	0,5	7,0	15,7	1,7	11,1	14,9	1,7	11,5	12,6	1,0	8,0
Verd. (%)	60,1	1,5	2,5	58,9	3,4	5,8	62,9	3,2	5,0	61,5	3,4	5,6	58,8	1,8	3,1
ME (MJ kg T ⁻¹)	8,7	0,2	2,4	8,5	0,4	5,2	8,7	0,6	6,5	8,3	0,6	7,5	7,9	0,4	4,8
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,1	0,1	2,9	4,9	0,3	6,4	5,0	0,4	7,9	4,8	0,4	9,1	4,5	0,3	5,9
XA (%)	8,2	0,5	5,8	9,5	1,5	16,4	10,1	2,3	22,9	11,9	2,6	21,7	12,5	3,5	27,8
Koppel Datum	B9-10 WA (10) 19.08.			B9-10 WK (10) 27.08.			B9-10 WR (10) 27.08.			B9-10 WK (10) 03.09.			B9-10 WR (10) 03.09.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv
	T (dt ha ⁻¹)	16,5	6,5	39,5	16,0	3,7	23,0	10,3	4,7	45,6	11,1	4,7	42,6	6,0	2,0	33,8
XP (%)	8,6	1,5	17,6	11,2	1,6	14,5	9,6	1,5	15,2	13,4	2,0	15,0	10,1	1,3	13,0
Verd. (%)	61,7	3,7	6,1	62,1	2,6	4,1	62,8	3,2	5,1	65,4	3,3	5,1	63,8	8,2	12,9
ME (MJ kg T ⁻¹)	9,2	0,5	5,1	9,0	0,4	4,3	9,3	0,4	4,1	9,4	0,5	5,1	9,4	1,4	15,3
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,4	0,3	6,1	5,3	0,3	5,1	5,5	0,3	4,9	5,6	0,3	6,0	5,5	1,0	18,3
XA (%)	6,6	1,0	14,6	7,6	0,4	4,9	7,1	1,1	15,3	7,9	0,8	10,5	7,3	1,0	13,6
Koppel Datum	B9-10 WK (10) 09.09.			B9-10 WR (10) 09.09.											
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv									
	T (dt ha ⁻¹)	6,8	4,3	62,6	2,7	1,6	61,4								
XP (%)	9,5	1,2	12,6	7,7	2,0	25,8									
Verd. (%)	57,9	2,4	4,2	54,8	4,0	7,2									
ME (MJ kg T ⁻¹)	8,5	0,3	3,8	8,0	0,4	4,8									
NEL (MJ kg T ⁻¹)	4,9	0,2	4,7	4,6	0,3	5,9									
XA (%)	7,3	0,9	12,0	6,9	2,5	36,3									

Tab. A 13: T-Ertrag und Qualität des Weidefutters - ermittelt im Weidekäfigverfahren - zu Beginn des Weideauftriebs (WA) und zu Ende einer Weidekäfigperiode unter den Weidekäfigen (WK) und im Weiderest (WR) in Teilbetrieb M der Weideperiode 1999. Die Klammern () geben die Anzahl der Probenahmestellen an.

Koppel	V1 WA (8)			V1 WK (9)			V1 WR (9)			V1 WA (8)			V1 WK (8)		
	Datum 10.06.			Datum 24.06.			Datum 24.06.			Datum 26.08.			Datum 03.09.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	4,4	1,8	40,4	3,9	0,9	24,5	0,0			10,0	4,1	41,6	12,1	2,6	21,3
XP (%)	16,9	1,7	10,2	16,2	1,9	11,8				17,1	2,5	14,8	18,4	1,3	6,9
Verd. (%)	75,4	1,6	2,1	77,6	1,7	2,2				71,1	1,9	2,7	74,0	2,2	3,0
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,8	0,2	2,1	11,3	0,3	2,5				10,2	0,2	2,4	10,4	0,5	5,0
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,5	0,2	2,5	6,8	0,2	2,9				6,1	0,2	2,7	6,2	0,4	5,8
XA (%)	8,6	0,6	7,4	8,2	0,6	7,1				8,0	0,7	9,1	10,0	4,5	45,4
Koppel	V1 WR (8)			V1 WK (8)			V1 WR (8)			V1 WK (3)			V1 WR (8)		
Datum	03.09.			10.09.			10.09.			17.09.			17.09.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	5,2	1,6	30,5	5,4	2,8	52,8	2,5	1,6	65,0	3,1	1,8	59,9	4,7	2,0	42,6
XP (%)	14,4	0,9	6,3	14,0	2,0	14,4	10,5	1,5	14,2	13,3	2,0	14,7	12,6	1,3	10,5
Verd. (%)	68,8	2,4	3,4	65,8	10,3	15,6	62,5	4,4	7,0	65,6	4,4	6,7	63,4	1,6	2,5
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,0	0,3	3,3	9,5	1,6	16,8	9,2	0,6	6,6	9,6	0,6	6,7	9,2	0,3	3,0
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,0	0,2	3,9	5,6	1,1	20,1	5,4	0,4	7,9	5,7	0,5	8,0	5,4	0,2	3,6
XA (%)	7,1	0,8	11,2	7,5	0,5	6,4	6,7	0,5	8,1	6,9	0,7	9,7	7,3	0,7	9,2
Koppel	V1 WK (3)			V1 WR (8)			V1 WK (3)			V1 WR (8)			V1 WA (5)		
Datum	24.09.			24.09.			30.09.			30.09.			20.10.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	3,5	2,4	69,6	3,6	1,4	39,5	3,0	1,2	39,4	3,1	1,3	43,3	4,5	1,9	42,7
XP (%)	14,7	0,4	2,6	14,3	2,0	14,1	16,9	3,3	19,7	13,8	1,4	10,4	18,2	2,9	15,9
Verd. (%)	65,3	1,3	1,9	64,2	2,1	3,2	65,1	2,3	3,5	61,9	2,3	3,8	69,2	2,7	3,9
ME (MJ kg T ⁻¹)	9,5	0,2	1,7	9,4	0,3	3,2	9,3	0,3	2,7	8,9	0,3	3,6	9,8	0,4	4,0
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,6	0,1	2,1	5,5	0,2	3,8	5,5	0,2	3,2	5,2	0,2	4,3	5,8	0,3	4,7
XA (%)	6,6	0,4	5,4	6,5	0,4	5,5	7,3	1,0	13,1	7,1	0,6	9,1	8,6	1,5	17,4
Koppel	V1 WK (2)			V1 WR (5)			V4 WA (8)			V4 WK (8)			V4 WR (8)		
Datum	25.10.			25.10.			23.06.			01.07.			01.07.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	3,3	1,8	54,0	3,0	1,1	35,8	6,3	4,3	67,1	9,2	4,7	51,2	2,2	1,7	77,2
XP (%)	21,1	3,5	16,6	18,7	1,6	8,5	15,5	2,9	18,7	13,3	1,1	8,2	13,7	1,7	12,0
Verd. (%)	68,4	5,2	7,6	69,4	3,1	4,5	77,0	2,3	3,0	73,4	2,1	2,8	73,6	1,9	2,5
ME (MJ kg T ⁻¹)	9,5	0,5	5,4	9,2	0,6	7,0	11,2	0,2	2,0	10,7	0,3	2,4	10,8	0,3	3,0
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,6	0,4	6,3	5,4	0,5	8,4	6,8	0,2	2,2	6,5	0,2	2,7	6,5	0,2	3,5
XA (%)	9,1	1,8	19,5	14,0	5,9	42,1	7,7	1,0	12,4	7,9	0,6	8,2	7,1	0,5	7,5
Koppel	V4 WK (8)			V4 WR (8)			V4 WA (8)			V4 WK (5)			V4 WR (8)		
Datum	09.07.			09.07.			10.09.			17.09.			17.09.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	4,9	2,2	43,6	0,0			9,5	3,0	31,7	11,4	2,0	17,9	3,4	1,0	28,7
XP (%)	19,8	1,5	7,5				21,0	2,0	9,5	20,4	1,0	5,1	16,1	2,2	13,6
Verd. (%)	73,1	1,1	1,5				78,5	1,6	2,1	77,8	2,1	2,7	74,7	2,3	3,1
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,4	0,2	1,5				11,1	0,3	2,3	11,0	0,3	2,6	10,8	0,3	3,1
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,2	0,1	1,8				6,7	0,2	2,6	6,7	0,2	3,0	6,5	0,2	3,6
XA (%)	8,0	0,5	5,6				9,1	0,4	4,4	9,3	0,7	7,2	8,1	0,5	6,1

Fortsetzung von Tab. A 13:

Koppel	V4 WK (5)			V4 WR (8)			V4 WK (5)			V4 WR (8)			V4 WA (5)		
Datum	24.09.			24.09.			30.09.			30.09.			20.10.		
	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	3,9	1,2	30,1	2,8	1,2	43,9	2,7	0,5	17,6	1,8	0,9	50,9	4,3	2,5	57,6
XP (%)	17,3	1,4	7,9	15,0	2,7	17,9	19,7	1,0	5,3	19,3	3,2	16,3	20,5	1,9	9,1
Verd. (%)	72,3	1,7	2,3	69,1	3,4	4,8	67,1	1,4	2,1	69,1	4,3	6,2	73,2	1,2	1,7
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,4	0,3	2,8	10,0	0,4	4,2	9,4	0,2	2,2	9,8	0,5	5,4	10,3	0,3	3,2
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,2	0,2	3,3	5,9	0,3	4,9	5,5	0,1	2,6	5,8	0,4	6,3	6,2	0,2	3,8
XA (%)	8,1	0,9	11,6	7,8	0,8	10,6	8,3	1,0	11,6	8,3	1,0	11,5	8,8	1,1	12,3
Koppel	V4 WK (2)			V4 WR (5)			V6 WA			V6 WK (8)			V6 WR (8)		
Datum	25.10.			25.10.			12.08.			19.08.			19.08.		
	\bar{x}	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	3,4	0,9	27,8	2,0	0,6	30,9	23,0	4,4	19,3	20,6	4,3	21,0	7,5	2,7	36,6
XP (%)	22,1	1,7	7,8	21,0	4,1	19,7	11,5	1,4	12,3	12,5	1,9	14,9	10,4	0,6	6,1
Verd. (%)	71,6	0,5	0,7	71,4	2,1	2,9	67,0	1,7	2,6	67,7	2,3	3,4	62,7	2,6	4,1
ME (MJ kg T ⁻¹)	9,9	0,0	0,4	9,5	0,6	6,0	9,8	0,2	2,3	9,9	0,4	3,8	9,2	0,4	4,3
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,8	0,0	0,5	5,6	0,4	7,1	5,8	0,2	2,7	5,9	0,3	4,6	5,4	0,3	5,1
XA (%)	10,1	0,4	4,3	13,9	4,8	34,2	7,4	0,5	7,2	7,4	0,7	10,0	6,9	0,6	8,2
Koppel	V6 WK (8)			V6 WR (8)			V7 WA (6)			V7 WK (6)			V7 WR (6)		
Datum	27.08.			27.08.			03.08.			13.08.			13.08.		
	\bar{x}	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	8,7	3,8	44,2	1,4	0,7	55,0	20,3	3,3	16,4	15,4	2,4	15,4	1,1	0,5	45,3
XP (%)	13,6	1,1	8,0	10,2	1,4	13,4	10,7	0,6	5,4	11,1	0,8	7,6	7,9	0,8	10,4
Verd. (%)	63,4	2,1	3,3	58,1	3,3	5,7	65,7	3,5	5,4	65,5	1,8	2,7	59,1	2,0	3,4
ME (MJ kg T ⁻¹)	9,1	0,5	5,0	8,2	0,3	3,5	9,6	0,6	5,8	9,6	0,3	2,7	8,7	0,4	4,8
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,3	0,3	6,1	4,7	0,2	4,3	5,7	0,4	6,9	5,7	0,2	3,2	5,0	0,3	5,8
XA (%)	8,2	1,7	20,8	9,8	3,9	39,9	8,2	0,4	4,5	7,2	0,2	2,8	7,8	2,5	32,7
Koppel	V8 WA (5)			V8 WK (5)			V8 WR (5)			V6-8 WA (3)			V6-8 WK (3)		
Datum	28.07.			03.08.			03.08.			15.10.			21.10.		
	\bar{x}	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	18,4	6,1	33,0	22,7	4,6	20,2	0,0			2,8	2,1	75,4	3,7	1,8	49,3
XP (%)	10,2	1,2	11,3	10,3	2,0	20,0				20,8	1,7	7,9	21,7	2,1	9,7
Verd. (%)	68,1	2,2	3,3	66,0	1,3	1,9				67,6	1,0	1,5	71,8	6,5	9,0
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,1	0,3	3,2	9,7	0,2	1,9				9,5	0,3	2,9	9,9	0,6	6,1
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,0	0,2	3,8	5,8	0,1	2,3				5,6	0,2	3,5	5,9	0,4	7,2
XA (%)	7,3	0,6	8,3	7,3	1,3	17,4				8,0	0,7	9,1	10,5	3,7	35,1
Koppel	V6-8 WR (3)			V7-8 WA (6)			V7-8 WK (6)			V7-8 WR (5)			H6 WA (4)		
Datum	21.10.			11.10.			15.10.			15.10.			22.07.		
	\bar{x}	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	2,2	1,0	45,6	7,8	1,5	19,9	12,6	3,0	23,8	2,4	0,5	21,5	13,3	1,2	9,2
XP (%)	18,6	2,7	14,6	21,0	2,3	11,1	17,6	2,2	12,6	13,6	1,5	11,3	11,1	1,2	11,1
Verd. (%)	69,0	4,8	7,0	72,7	4,5	6,1	73,0	3,1	4,3	68,1	2,4	3,6	70,8	1,9	2,7
ME (MJ kg T ⁻¹)	9,7	0,5	5,6	10,2	0,7	6,6	10,1	0,7	7,0	9,5	0,4	3,9	10,4	0,3	2,7
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,7	0,4	6,6	6,1	0,5	7,7	6,0	0,5	8,3	5,6	0,3	4,7	6,2	0,2	3,2
XA (%)	9,3	1,3	13,7	9,0	1,0	11,1	11,5	4,9	42,1	11,7	3,2	27,2	8,2	0,7	8,8

Fortsetzung von Tab. A 13:

Koppel Datum	H6 WK (4) 28.07.			H6 WR (4) 28.07.			H6 WA (2) 28.09.			H6 WK (2) 11.10.			H6 WR (2) 11.10.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
	T (dt ha ⁻¹)	14,1	4,6	32,5	1,9	0,6	32,7	6,1	0,5	8,6	6,3	0,6	9,1	0,8	0,2	27,1
XP (%)	9,2	0,9	9,5	9,2	1,0	10,7	16,3	1,6	9,9	18,5	0,6	3,3	10,4	1,6	15,4
Verd. (%)	67,0	2,9	4,3	64,6	0,7	1,0	71,8	0,9	1,3	69,2	1,1	1,5	62,9	1,9	3,0
ME (MJ kg T ⁻¹)	9,9	0,4	4,0	9,5	0,1	1,3	10,3	0,3	3,3	9,4	0,4	3,9	6,7	0,9	12,8
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,9	0,3	4,7	5,6	0,1	1,5	6,2	0,2	3,9	5,6	0,3	4,7	3,6	0,6	16,6
XA (%)	7,5	0,5	7,0	7,5	0,4	5,2	8,2	1,2	14,5	11,8	1,6	13,4	30,6	11,2	36,7
Koppel Datum	H8 WA (6) 10.05.			H8 WK (6) 21.05.			H8 WR (6) 21.05.			H8 WK (6) 31.05.			H8 WR (6) 31.05.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
	T (dt ha ⁻¹)	20,6	5,6	27,3	31,8	9,7	30,4	11,5	3,5	30,5	13,7	7,2	52,6	5,0	2,7	54,6
XP (%)	18,4	1,3	6,9	15,9	1,3	8,4	15,6	0,8	5,3	16,9	2,2	12,8	15,8	1,0	6,5
Verd. (%)	78,1	1,2	1,6	86,4	7,6	8,8	76,2	2,0	2,6	77,7	3,7	4,8	72,7	2,8	3,9
ME (MJ kg T ⁻¹)	11,1	0,2	1,9	12,6	1,1	8,6	10,9	0,3	3,0	11,0	0,6	5,3	10,3	0,4	4,1
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,7	0,2	2,3	7,8	0,8	9,8	6,6	0,2	3,5	6,7	0,4	6,2	6,2	0,3	4,8
XA (%)	9,3	0,6	6,8	8,4	1,0	12,0	9,5	0,7	7,1	9,6	0,5	5,2	9,5	0,9	9,7
Koppel Datum	H8 WK (6) 11.06.			H8 WR (6) 11.06.			H8 WA (6) 09.07.			H8 WK (6) 28.07.			H8 WR (2) 28.07.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
	T (dt ha ⁻¹)	9,2	3,6	38,5	1,9	1,0	51,3	8,2	4,0	48,2	13,5	7,8	58,1	0,7	0,2	23,9
XP (%)	17,8	2,2	12,1	15,6	2,5	15,7	17,1	2,4	14,2	13,8	2,6	18,8	12,2	0,8	6,5
Verd. (%)	72,4	1,3	1,8	67,9	2,9	4,2	71,2	1,7	2,3	67,3	2,9	4,3	66,8	1,5	2,3
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,3	0,1	1,1	9,6	0,4	4,3	10,2	0,2	2,0	9,7	0,5	4,7	9,8	0,2	2,2
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,2	0,1	1,4	5,7	0,3	5,1	6,1	0,1	2,3	5,7	0,3	5,5	5,8	0,1	2,5
XA (%)	8,4	0,7	7,8	9,0	0,8	8,7	8,4	0,6	7,3	8,3	1,0	12,1	7,1	0,0	0,5
Koppel Datum	H8 WA (6) 28.09.			H8 WK (6) 11.10.			H8 WR (6) 11.10.								
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv						
	T (dt ha ⁻¹)	7,8	2,5	32,5	11,7	3,7	31,4	2,6	1,3	48,8					
XP (%)	19,3	2,3	11,7	22,5	2,7	12,1	18,8	2,2	11,6						
Verd. (%)	70,3	3,0	4,3	71,5	3,7	5,2	68,2	4,2	6,2						
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,0	0,4	3,9	9,8	0,6	6,0	8,9	0,7	7,8						
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,0	0,3	4,5	5,8	0,4	7,1	5,2	0,5	9,5						
XA (%)	7,7	0,5	6,8	10,4	1,2	11,2	15,3	2,7	17,3						

Tab. A 14: T-Ertrag und Qualität des Weidefutters - ermittelt im Weidekäfigverfahren - zu Beginn des Weideauftriebs (WA) und zu Ende einer Weidekäfigperiode unter den Weidekäfigen (WK) und im Weiderest (WR) in Teilbetrieb O der Weideperiode 2000. Die Klammern () geben die Anzahl der Probenahmestellen an.

Koppel	V10 WA (5)			V10 WK (5)			V10 WR (5)			V10 WA (5)			V10 WK (0)		
	30.06.			06.07.			06.07.			08.10.			11.10.		
Datum	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	7,2	2,5	35,1	13,9	4,5	32,1	1,4	0,7	52,1	25,7	4,5	17,4	n.v.	n.v.	n.v.
XP (%)	19,1	3,6	18,9	19,0	2,8	14,9	15,0	2,7	17,7	19,5	1,2	6,3	n.v.	n.v.	n.v.
Verd. (%)	72,9	4,6	6,3	74,1	2,2	3,0	70,6	2,1	3,0	69,8	1,8	2,6	n.v.	n.v.	n.v.
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,4	0,6	5,5	10,5	0,2	2,2	10,0	0,3	3,0	9,7	0,3	3,0	n.v.	n.v.	n.v.
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,2	0,4	6,4	6,3	0,2	2,5	5,9	0,2	3,6	5,7	0,2	3,6	n.v.	n.v.	n.v.
XA (%)	8,2	0,6	7,0	9,0	0,5	5,9	10,1	1,9	18,4	10,0	0,4	4,5	n.v.	n.v.	n.v.
Koppel	V10 WR (0)			B1 WA (10)			B1 WK (10)			B1 WR (10)			B1 WK (10)		
Datum	11.10.			28.07.			04.08.			04.08.			08.08.		
Datum	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	n.v.	n.v.	n.v.	24,3	5,1	21,1	27,1	5,5	20,2	8,6	2,8	32,5	5,9	1,8	31,5
XP (%)	n.v.	n.v.	n.v.	16,5	2,0	12,4	17,9	2,1	12,0	17,6	0,9	5,1	18,8	1,5	8,0
Verd. (%)	n.v.	n.v.	n.v.	69,8	2,1	2,9	71,5	2,1	2,9	71,2	1,4	1,9	65,1	2,0	3,0
ME (MJ kg T ⁻¹)	n.v.	n.v.	n.v.	10,0	0,3	3,0	10,1	0,3	3,0	10,0	0,2	1,7	9,0	0,3	2,8
NEL (MJ kg T ⁻¹)	n.v.	n.v.	n.v.	5,9	0,2	3,6	6,1	0,2	3,5	6,0	0,1	2,1	5,2	0,2	3,4
XA (%)	n.v.	n.v.	n.v.	8,4	0,5	5,4	8,8	0,5	5,2	9,6	1,1	11,2	9,8	1,5	15,0
Koppel	B1 WR (10)			B1 WA (10)			B1 WK (10)			B1 WR (10)			B2 WA (10)		
Datum	08.08.			02.10.			09.10.			09.10.			06.07.		
Datum	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	2,9	1,1	39,1	18,3	5,3	29,2	19,2	5,1	26,8	4,7	2,3	49,1	12,8	3,0	23,1
XP (%)	16,5	1,5	9,3	22,2	1,3	6,1	19,9	1,1	5,3	18,0	1,5	8,4	19,2	1,0	5,2
Verd. (%)	61,3	1,3	2,1	72,5	1,9	2,6	71,3	1,1	1,6	70,9	1,9	2,7	74,2	1,6	2,2
ME (MJ kg T ⁻¹)	8,5	0,1	1,5	9,8	0,4	3,6	9,8	0,2	1,9	9,3	0,4	4,5	10,6	0,3	2,5
NEL (MJ kg T ⁻¹)	4,9	0,1	1,8	5,8	0,2	4,3	5,8	0,1	2,2	5,5	0,3	5,3	6,4	0,2	2,9
XA (%)	9,5	1,4	14,7	11,6	2,2	19,0	11,2	1,8	15,8	15,4	3,8	24,9	8,2	0,5	6,5
Koppel	B2 WK (10)			B2 WR (10)			B2 WK (10)			B2 WR (10)			B2 WK (10)		
Datum	12.07.			12.07.			18.07.			18.07.			25.07.		
Datum	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	17,1	3,4	19,8	6,5	3,1	48,2	12,8	3,0	23,6	4,8	1,5	31,9	9,9	2,8	28,4
XP (%)	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	17,2	1,4	7,9	15,8	1,3	8,0	17,4	2,2	12,8
Verd. (%)	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	69,0	2,2	3,2	68,3	1,5	2,1	69,7	1,3	1,9
ME (MJ kg T ⁻¹)	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	9,8	0,3	3,3	9,6	0,4	3,7	9,9	0,2	2,2
NEL (MJ kg T ⁻¹)	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	5,8	0,2	3,9	5,7	0,2	4,4	5,9	0,2	2,6
XA (%)	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	8,6	0,7	8,3	9,9	1,9	19,6	8,8	0,8	9,0
Koppel	B2 WR (10)			B2 WK (10)			B2 WR (10)			B2 WA (10)			B2 WK (10)		
Datum	25.07.			28.07.			28.07.			14.09.			21.09.		
Datum	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	4,0	1,9	45,9	3,3	1,3	39,3	2,6	1,6	64,2	17,9	2,8	15,4	18,8	2,8	14,7
XP (%)	15,5	1,5	9,5	17,8	1,8	9,9	15,1	0,9	6,1	20,9	0,9	4,2	20,9	1,7	8,2
Verd. (%)	68,6	1,8	2,6	69,2	1,7	2,5	67,8	2,4	3,5	72,1	1,5	2,1	69,1	3,8	5,5
ME (MJ kg T ⁻¹)	9,6	0,3	2,9	9,6	0,2	2,3	9,5	0,3	3,5	10,1	0,3	2,6	9,6	0,5	5,5
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,7	0,2	3,5	5,7	0,2	2,8	5,6	0,2	4,2	6,0	0,2	3,0	5,7	0,4	6,5
XA (%)	10,3	1,7	16,2	10,2	2,2	21,1	10,0	1,4	14,0	9,2	1,8	19,2	8,9	0,4	4,6

n.v.: nicht vorhanden

Fortsetzung von Tab. A 14:

Koppel Datum	B2 WR (10) 21.09.			B2 WK (10) 28.09.			B2 WR (10) 28.09.			B2 WK (10) 02.10.			B2 WR (10) 02.10.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
	T (dt ha ⁻¹)	9,2	4,4	48,1	10,9	2,8	25,6	4,7	2,1	44,5	5,2	1,9	36,3	3,2	2,1	64,4
XP (%)	20,5	1,1	5,4	19,5	0,4	1,8	18,8	1,6	8,3	19,9	1,7	8,5	19,1	1,4	7,5
Verd. (%)	66,6	4,3	6,5	72,5	1,5	2,1	68,9	2,7	3,9	70,2	2,8	3,9	70,5	1,6	2,3
ME (MJ kg T ⁻¹)	9,2	0,7	7,8	9,9	0,2	2,5	9,2	0,5	5,9	9,4	0,4	4,1	9,1	0,3	2,8
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,4	0,5	9,4	5,9	0,2	3,0	5,4	0,4	7,0	5,5	0,3	4,8	5,3	0,2	3,3
XA (%)	9,5	0,5	5,7	12,3	0,4	3,6	13,0	2,3	17,6	13,1	2,6	20,1	16,1	3,1	19,1
Koppel Datum	B6+7 WA (10) 20.06.			B6+7 WK (10) 30.06.			B6+7 WR (10) 30.06.			B6+7 WA (10) 30.08.			B6+7 WK (10) 06.09.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
	T (dt ha ⁻¹)	6,9	1,8	25,4	14,0	2,5	17,6	1,5	1,2	81,2	20,6	2,4	11,5	21,3	3,8	17,7
XP (%)	8,2	10,6	129,2	18,6	1,6	8,5	13,6	5,3	39,0	17,5	2,2	12,6	19,3	2,4	12,4
Verd. (%)	64,8	6,6	10,1	73,5	2,9	4,0	69,3	4,3	6,2	70,9	1,0	1,5	73,7	1,7	2,4
ME (MJ kg T ⁻¹)	9,3	0,7	7,8	10,4	0,5	4,8	10,0	0,6	5,8	10,1	0,2	1,7	10,4	0,2	2,0
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,5	0,5	8,9	6,3	0,4	5,7	5,9	0,4	6,7	6,0	0,1	2,0	6,2	0,1	2,3
XA (%)	10,3	1,2	11,3	8,7	0,4	4,2	8,7	1,3	14,6	8,7	0,6	7,3	9,5	0,7	7,3
Koppel Datum	B6+7 WR (9) 06.09.			B6+7 WK (10) 11.09.			B6+7 WR (10) 11.09.			B6+7 WK (10) 14.09.			B6+7 WR (10) 14.09.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
	T (dt ha ⁻¹)	9,6	5,0	51,9	8,5	2,7	32,0	3,9	1,4	35,3	4,3	1,5	35,1	4,0	1,9	46,5
XP (%)	18,1	2,6	14,4	17,9	1,5	8,1	18,2	3,0	16,5	19,0	1,4	7,2	16,7	2,0	11,7
Verd. (%)	71,1	2,1	3,0	70,9	3,1	4,4	72,4	3,2	4,4	66,6	3,5	5,2	62,9	3,4	5,3
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,1	0,3	2,9	10,0	0,4	4,4	10,1	0,4	3,8	9,1	0,5	5,3	8,6	0,5	5,3
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,0	0,2	3,4	5,9	0,3	5,1	6,0	0,3	4,4	5,3	0,3	6,3	5,0	0,3	6,5
XA (%)	8,8	0,3	3,9	9,4	0,7	7,4	10,7	1,2	11,7	10,7	1,2	11,7	10,7	1,2	11,7
Koppel Datum	B8-10 WA (9) 18.04.			B8-10 WK (9) 25.04.			B8-10 WR (9) 25.04.			B8-10 WK (9) 02.05.			B8-10 WR (9) 02.05.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
	T (dt ha ⁻¹)	4,0	1,4	33,6	9,0	4,5	49,8	4,1	1,5	37,2	10,8	3,2	29,6	6,2	2,6	42,2
XP (%)	19,4	2,1	11,0	19,0	1,9	10,0	16,6	1,4	8,3	19,7	1,1	5,6	17,8	2,6	14,7
Verd. (%)	79,5	1,9	2,4	78,6	3,8	4,9	80,4	8,5	10,5	80,4	1,6	2,0	81,3	2,0	2,4
ME (MJ kg T ⁻¹)	11,0	0,4	3,2	11,3	0,6	5,4	11,5	1,4	12,1	11,4	0,3	2,8	11,4	0,4	3,6
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,7	0,3	3,7	6,9	0,4	6,2	7,0	1,0	14,0	6,9	0,2	3,3	7,0	0,3	4,1
XA (%)	11,8	3,3	27,7	8,4	1,1	12,7	10,2	2,0	19,3	9,7	1,3	13,7	11,6	3,7	31,5
Koppel Datum	B8-10 WK (9) 09.05.			B8-10 WR (9) 09.05.			B8-10 WK (9) 16.05.			B8-10 WR (9) 16.05.			B8-10 WK (8) 23.05.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
	T (dt ha ⁻¹)	10,5	3,4	32,7	6,7	1,6	23,2	11,5	3,3	28,9	6,0	3,4	56,9	11,8	4,7	39,5
XP (%)	22,2	4,0	18,2	19,4	2,0	10,2	7,5	9,1	120,5	16,3	2,6	15,7	16,4	1,3	8,2
Verd. (%)	81,1	1,2	1,5	80,1	1,6	2,0	71,0	9,1	12,9	75,3	3,1	4,2	73,9	1,8	2,4
ME (MJ kg T ⁻¹)	11,5	0,3	2,2	11,4	0,2	1,6	10,5	1,0	9,6	10,6	0,5	4,7	10,6	0,3	2,4
NEL (MJ kg T ⁻¹)	7,0	0,2	2,6	6,9	0,1	1,8	6,4	0,7	10,9	6,4	0,4	5,5	6,4	0,2	2,8
XA (%)	8,8	1,3	14,2	9,4	2,3	24,3	8,0	2,1	25,6	10,5	2,1	20,4	8,8	1,0	12,0

Fortsetzung von Tab. A 14:

Koppel	B8-10			B8-10			B8-10			B8-10			B8-10		
	WR (8)			WK (9)			WR (9)			WK (9)			WR (9)		
	23.05.			30.05.			30.05.			06.06.			06.06.		
Datum	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	4,7	2,7	57,6	7,4	4,2	56,2	2,4	0,8	33,2	4,3	2,8	65,3	2,0	1,0	47,3
XP (%)	15,9	1,5	9,4	14,6	2,0	13,5	13,6	2,0	14,9	14,6	1,5	10,1	12,7	1,0	7,9
Verd. (%)	72,0	2,8	3,9	71,2	1,6	2,3	70,7	2,0	2,9	63,2	18,0	28,4	62,8	17,2	27,3
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,2	0,4	3,7	9,9	0,4	4,5	9,6	0,4	3,7	8,7	2,4	27,3	8,4	2,1	24,6
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,1	0,3	4,4	5,9	0,3	5,4	5,7	0,2	4,3	5,1	1,7	33,0	4,8	1,4	30,1
XA (%)	9,9	1,3	13,5	11,9	4,5	37,9	13,7	4,6	33,2	12,4	5,2	41,8	15,8	3,9	24,7
Koppel	B8-10			B8-10			B8-10			B8-10			B8-10		
	WK (9)			WR (9)			WK (9)			WR (9)			WA (10)		
	13.06.			13.06.			20.06.			20.06.			08.08.		
Datum	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	3,5	3,0	86,4	2,4	1,1	47,8	2,6	2,4	89,9	1,7	1,1	65,8	19,5	5,0	25,9
XP (%)	15,7	2,7	17,4	13,0	2,4	18,1	17,5	3,4	19,4	14,1	1,8	12,8	18,1	2,6	14,2
Verd. (%)	71,4	4,1	5,8	69,8	5,6	8,0	61,8	6,9	11,1	64,1	3,5	5,4	68,5	3,2	4,7
ME (MJ kg T ⁻¹)	9,9	0,8	7,6	9,8	1,0	9,7	8,3	1,0	11,9	8,8	0,4	5,0	9,6	0,5	4,9
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,9	0,5	8,9	5,8	0,7	11,5	4,8	0,7	14,5	5,1	0,3	6,1	5,6	0,3	5,8
XA (%)	11,0	2,7	24,9	10,6	2,2	20,5	13,0	1,8	14,2	11,5	2,0	17,5	9,7	0,9	9,1
Koppel	B8-10			B8-10			B8-10			B8-10			B8-10		
	WK (10)			WR (10)			WK (10)			WR (10)			WK (10)		
	16.08.			16.08.			22.08.			22.08.			30.08.		
Datum	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	23,8	6,7	28,3	18,1	9,1	50,1	20,0	6,0	30,3	15,1	5,8	38,6	14,5	4,7	32,2
XP (%)	18,8	2,5	13,4	18,1	2,9	16,2	17,1	2,3	13,3	16,4	2,9	17,5	19,7	3,5	17,9
Verd. (%)	71,2	4,1	5,7	69,5	4,7	6,8	64,7	2,3	3,5	66,1	3,3	5,0	67,1	3,2	4,8
ME (MJ kg T ⁻¹)	9,6	0,4	4,4	9,3	0,5	5,2	9,0	0,3	3,3	9,3	0,5	4,8	9,3	0,4	4,2
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,7	0,3	5,3	5,5	0,3	6,2	5,3	0,2	4,0	5,5	0,3	5,7	5,5	0,3	5,0
XA (%)	13,1	2,4	18,6	13,3	2,5	18,6	9,4	0,9	10,1	8,8	1,7	19,8	9,1	0,9	10,3
Koppel	B8-10			B9-10			B9-10			B9-10					
	WR (10)			WA (10)			WK (6)			WR (2)					
	30.08.			18.10.			15.11.			15.11.					
Datum	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv			
T (dt ha ⁻¹)	10,5	4,6	43,5	16,2	5,3	32,6	14,2	1,7	11,8	6,3	2,5	40,0			
XP (%)	16,5	2,8	17,3	20,2	0,7	3,5	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.			
Verd. (%)	63,0	2,6	4,1	70,7	1,8	2,5	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.			
ME (MJ kg T ⁻¹)	8,7	0,6	6,6	9,8	0,2	2,2	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.			
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,0	0,4	8,0	5,8	0,2	2,6	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.			
XA (%)	10,1	2,5	24,3	9,8	1,1	11,0	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.			

n.v.: nicht vorhanden

Tab. A 15: T-Ertrag und Qualität des Weidefutters - ermittelt im Weidekäfigverfahren - zu Beginn des Weideauftriebs (WA) und zu Ende einer Weidekäfigperiode unter den Weidekäfigen (WK) und im Weiderest (WR) in Teilbetrieb M der Weideperiode 2000. Die Klammern () geben die Anzahl der Probenahmestellen an.

Koppel	V1 WA (10)			V1 WK (4)			V1 WR (4)			V4 WA (10)			V4 WK (10)		
Datum	27.10.			02.11.			02.11.			04.07.			12.07.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	14,2	1,6	11,4	14,1	3,1	22,0	7,8	1,7	22,2	14,1	4,6	32,7	20,9	3,6	17,3
XP (%)	22,7	1,7	7,6	19,8	1,4	6,9	19,5	2,4	12,4	19,3	1,5	7,7	20,9	1,5	7,0
Verd. (%)	74,8	3,2	4,3	69,3	6,3	9,1	72,5	4,6	6,4	75,3	1,1	1,5	74,2	1,7	2,3
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,1	0,5	4,6	8,5	0,7	8,5	8,5	1,0	11,8	10,7	0,2	1,8	10,4	0,2	2,3
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,0	0,3	5,4	4,9	0,5	10,4	4,9	0,7	14,4	6,5	0,1	2,1	6,2	0,2	2,8
XA (%)	12,3	2,7	21,7	19,8	3,5	17,5	24,8	7,3	29,2	8,7	0,5	6,1	9,5	0,4	4,4
Koppel	V4 WR (10)			V4 WK (10)			V4 WR (10)			V4 WK (10)			V4 WR (10)		
Datum	12.07.			18.07.			18.07.			25.07.			25.07.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	6,9	1,7	25,1	16,0	7,0	43,8	4,1	1,9	47,8	8,5	2,9	33,9	2,5	0,9	35,8
XP (%)	18,2	1,2	6,5	20,2	1,4	6,8	17,4	2,3	13,0	21,3	2,5	11,7	18,2	1,6	8,9
Verd. (%)	72,9	1,4	2,0	73,5	1,9	2,6	73,4	2,4	3,2	73,9	2,0	2,7	71,1	2,1	3,0
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,3	0,3	2,5	10,2	0,4	4,1	10,3	0,2	1,5	10,1	0,3	3,2	9,2	0,6	6,9
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,1	0,2	2,9	6,1	0,3	4,9	6,1	0,1	1,8	6,0	0,2	3,8	5,4	0,4	8,3
XA (%)	9,7	1,7	17,7	10,8	2,0	18,2	10,7	2,8	26,4	11,8	2,2	18,6	16,8	7,5	44,4
Koppel	V4 WA (10)			V4 WK (10)			V4 WR (10)			V4 WK (10)			V4 WR (10)		
Datum	04.09.			11.09.			11.09.			18.09.			18.09.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	24,0	3,9	16,3	23,8	4,1	17,2	12,4	5,1	40,8	15,4	3,5	22,9	7,9	4,8	61,4
XP (%)	23,7	1,3	5,4	25,2	2,1	8,4	24,1	1,9	7,8	25,1	1,3	5,3	22,3	2,5	11,2
Verd. (%)	76,5	2,9	3,7	76,3	3,6	4,8	77,8	4,1	5,3	74,5	1,9	2,5	73,5	1,8	2,5
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,5	0,4	3,7	10,5	0,5	5,0	10,7	0,7	6,7	10,0	0,5	4,9	9,7	0,6	6,3
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,3	0,3	4,3	6,3	0,4	5,8	6,4	0,5	7,9	5,9	0,3	5,9	5,8	0,4	7,5
XA (%)	10,4	0,7	6,5	10,3	0,6	5,4	11,0	1,7	15,3	12,4	3,6	28,8	14,0	6,0	43,0
Koppel	V4 WK (10)			V4 WR (9)			V6 WA (8)			V6 WK (8)			V6 WR (8)		
Datum	25.09.			25.09.			19.04.			25.04.			25.04.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	9,7	4,8	49,3	3,2	2,7	82,8	4,0	1,3	31,8	11,3	2,0	18,0	5,6	2,8	50,6
XP (%)	25,5	2,4	9,3	21,1	2,2	10,5	24,6	2,9	11,6	24,2	2,1	8,8	21,5	1,7	8,0
Verd. (%)	71,9	3,0	4,2	65,0	11,1	17,1	79,1	2,3	2,9	79,7	1,4	1,8	80,2	1,6	2,0
ME (MJ kg T ⁻¹)	9,5	0,4	4,4	7,7	2,0	25,3	11,0	0,4	3,3	11,1	0,2	2,2	11,0	0,4	3,3
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,6	0,3	5,2	4,4	1,4	31,8	6,6	0,2	3,8	6,7	0,2	2,6	6,7	0,3	3,9
XA (%)	12,8	1,8	13,8	20,1	3,6	18,0	9,7	1,8	18,8	9,1	1,0	10,9	11,6	2,7	22,9
Koppel	V6 WK (8)			V6 WR (8)			V6 WK (8)			V6 WR (8)			V6 WK (8)		
Datum	02.05.			02.05.			09.05.			09.05.			16.05.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	11,5	3,4	29,5	7,4	3,2	43,7	17,1	4,1	23,9	10,6	2,3	21,6	18,6	4,9	26,6
XP (%)	25,5	1,4	5,7	21,3	1,3	6,0	24,7	2,2	9,0	23,3	1,8	7,8	22,9	1,9	8,2
Verd. (%)	79,5	2,0	2,6	61,3	1,5	2,4	79,2	1,4	1,8	78,2	1,7	2,2	76,8	1,7	2,2
ME (MJ kg T ⁻¹)	11,0	0,3	3,0	7,9	0,2	2,0	11,0	0,3	2,5	10,9	0,2	2,0	10,6	0,3	2,5
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,7	0,2	3,5	4,5	0,1	2,6	6,6	0,2	2,9	6,6	0,2	2,3	6,4	0,2	2,9
XA (%)	9,4	1,3	14,2	12,8	1,9	14,6	9,7	0,7	6,8	9,5	0,8	8,1	10,2	0,8	8,1

Fortsetzung von Tab. A 15:

Koppel Datum	V6 WR (8) 16.05.			V6 WK (8) 23.05.			V6 WR (8) 23.05.			V6 WK (8) 30.05.			V6 WR (8) 30.05.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
	T (dt ha ⁻¹)	6,3	4,0	63,3	13,5	5,2	38,9	4,6	1,5	31,9	8,4	4,3	51,3	2,4	1,7	69,8
XP (%)	23,6	2,8	12,0	24,6	2,5	10,0	22,5	1,5	6,8	19,8	3,3	16,6	18,0	1,1	6,1
Verd. (%)	77,6	2,2	2,8	77,9	1,1	1,4	77,6	1,7	2,2	75,6	1,8	2,4	72,4	1,3	1,8
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,8	0,3	2,6	10,6	0,4	4,1	10,3	0,4	3,9	10,5	0,3	3,0	9,7	0,4	3,8
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,5	0,2	3,0	6,4	0,3	4,7	6,2	0,3	4,6	6,3	0,2	3,6	5,7	0,3	4,5
XA (%)	9,6	0,6	6,7	11,0	3,9	34,9	14,0	2,7	18,9	10,5	2,3	22,0	14,0	2,8	19,7
Koppel Datum	V6 WK (8) 06.06.			V6 WR (8) 06.06.			V6 WK (8) 13.06.			V6 WR (8) 13.06.			V6 WK (8) 20.06.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
	T (dt ha ⁻¹)	3,7	1,7	47,4	2,0	1,0	47,4	4,4	3,7	84,3	1,3	1,1	85,4	3,1	1,2	39,7
XP (%)	21,1	3,0	14,1	17,2	1,8	10,4	21,2	2,0	9,2	17,7	2,1	12,1	26,9	2,9	10,8
Verd. (%)	75,3	2,1	2,8	71,5	2,5	3,4	71,0	2,2	3,2	69,4	3,0	4,4	70,8	3,0	4,3
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,2	0,8	7,7	9,5	0,6	6,2	9,3	0,5	5,8	9,2	0,5	5,8	9,2	0,4	4,2
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,1	0,6	9,1	5,6	0,4	7,3	5,5	0,4	6,9	5,4	0,4	7,0	5,4	0,3	5,0
XA (%)	12,6	5,7	45,1	14,7	5,7	38,5	14,2	4,7	33,2	14,2	3,7	25,8	12,7	1,2	9,6
Koppel Datum	V6 WR (8) 20.06.			V6 WK (8) 04.07.			V6 WR (8) 04.07.			V6 WA 10.08.			V6 WK (10) 16.08.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
	T (dt ha ⁻¹)	2,8	1,6	56,8	7,5	4,4	58,3	0,0			26,0	8,6	33,0	31,9	10,0	31,2
XP (%)	20,2	2,6	13,1	26,1	2,3	8,9				22,9	3,0	12,9	20,6	3,3	16,1
Verd. (%)	66,1	2,8	4,2	71,6	2,9	4,0				73,1	3,5	4,7	74,2	3,6	4,9
ME (MJ kg T ⁻¹)	8,3	0,8	9,5	9,6	0,5	5,2				10,1	0,5	4,5	10,4	0,5	5,3
NEL (MJ kg T ⁻¹)	4,8	0,6	11,6	5,7	0,4	6,2				6,0	0,3	5,3	6,2	0,4	6,2
XA (%)	16,2	8,0	49,4	10,1	2,2	21,8				9,7	0,6	6,0	9,9	0,7	7,6
Koppel Datum	V6 WR (10) 16.08.			V6 WK (10) 22.08.			V6 WR (10) 22.08.			V6 WK (10) 30.08.			V6 WR (10) 30.08.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
	T (dt ha ⁻¹)	16,2	7,7	47,6	21,1	6,8	32,4	15,5	7,5	48,4	17,6	7,0	39,6	10,9	4,7	43,2
XP (%)	21,0	2,7	12,9	22,2	2,4	11,0	20,9	2,3	11,0	21,5	2,4	11,2	19,7	2,5	12,7
Verd. (%)	64,2	9,2	14,4	71,3	1,9	2,7	70,9	1,8	2,5	71,1	2,0	2,9	69,0	3,8	5,5
ME (MJ kg T ⁻¹)	8,8	1,6	17,7	9,9	0,3	3,0	9,9	0,4	3,7	9,9	0,3	3,1	9,7	0,5	5,5
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,1	1,1	21,6	5,9	0,2	3,5	5,9	0,3	4,5	5,9	0,2	3,7	5,7	0,4	6,5
XA (%)	9,4	0,8	8,8	9,5	0,8	7,9	8,9	0,7	7,8	8,8	0,3	3,8	8,6	0,6	6,9
Koppel Datum	V6 WK (10) 04.09.			V6 WR (10) 04.09.			V6 WA (10) 06.10.			V6 WK (10) 16.10.			V6 WR (10) 16.10.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
	T (dt ha ⁻¹)	10,6	6,1	57,5	6,0	3,5	57,8	13,6	4,6	33,8	14,7	3,8	25,8	8,3	3,3	39,3
XP (%)	24,8	3,0	12,0	19,5	1,6	8,0	28,3	2,1	7,6	26,1	3,3	12,7	22,6	1,9	8,2
Verd. (%)	71,1	4,1	5,8	68,2	2,5	3,7	77,8	3,6	4,6	76,6	3,8	5,0	73,4	6,0	8,1
ME (MJ kg T ⁻¹)	9,7	0,6	6,5	9,4	0,3	3,6	10,7	0,4	3,7	10,4	0,5	4,6	9,6	0,5	5,5
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,7	0,4	7,7	5,5	0,2	4,3	6,4	0,3	4,4	6,2	0,3	5,3	5,6	0,4	6,5
XA (%)	9,9	1,2	12,2	10,1	0,8	7,6	9,7	2,1	21,8	11,3	0,9	7,6	15,1	5,0	33,5

Fortsetzung von Tab. A 15:

Koppel Datum	V6 WK (10) 24.10.			V6 WR (10) 24.10.			H6 WA (4) 24.10.			H6 WK (4) 27.10.			H6 WR (4) 27.10.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
	T (dt ha ⁻¹)	8,3	2,7	32,3	5,5	3,0	54,4	14,3	1,1	7,6	15,1	2,5	16,2	2,4	0,5	21,7
XP (%)	23,6	1,1	4,8	21,3	1,9	8,8	18,7	1,3	6,9	18,8	2,1	11,3	16,2	2,4	15,0
Verd. (%)	75,8	4,3	5,7	75,2	2,7	3,6	76,3	2,7	3,5	76,2	1,8	2,4	74,6	0,8	1,0
ME (MJ kg T ⁻¹)	9,3	0,5	5,4	9,0	0,7	7,2	10,5	0,4	3,9	10,4	0,3	3,0	9,0	0,3	3,6
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,4	0,4	6,6	5,3	0,5	8,7	6,3	0,3	4,6	6,2	0,2	3,5	5,3	0,2	4,3
XA (%)	21,0	4,4	20,8	23,1	7,1	30,9	12,4	0,8	6,3	13,5	2,5	18,5	24,5	4,5	18,3
Koppel Datum	H8 WA (10) 25.07.			H8 WK (10) 02.08.			H8 WR (10) 02.08.			H8 WK (10) 10.08.			H8 WR (10) 10.08.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
	T (dt ha ⁻¹)	25,7	4,3	16,7	32,4	2,6	7,9	7,2	2,5	35,3	14,5	3,1	21,3	3,7	1,7	47,5
XP (%)	17,6	2,0	11,4	18,8	1,3	7,0	17,1	2,0	11,7	20,9	2,1	9,8	18,0	2,5	14,1
Verd. (%)	69,8	1,2	1,7	72,3	2,3	3,1	71,4	1,1	1,5	70,8	2,9	4,1	68,1	0,9	1,3
ME (MJ kg T ⁻¹)	9,8	0,1	1,5	10,1	0,3	3,2	9,9	0,2	1,7	9,7	0,4	4,2	9,1	0,3	3,4
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,8	0,1	1,8	6,0	0,2	3,7	5,9	0,1	2,0	5,7	0,3	5,0	5,3	0,2	4,1
XA (%)	9,7	0,8	8,5	10,0	0,3	3,4	11,3	1,3	11,8	10,9	0,4	3,8	13,0	3,7	28,7
Koppel Datum	H8 WA (10) 25.09.			H8 WK (10) 09.10.			H8 WR (10) 09.10.								
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
	T (dt ha ⁻¹)	20,2	2,6	12,8	15,9	5,6	35,2	2,6	1,0	38,3					
XP (%)	23,1	2,6	11,5	20,6	2,7	13,0	17,3	3,3	18,9						
Verd. (%)	72,6	5,1	7,0	76,0	5,9	7,8	73,8	1,2	1,6						
ME (MJ kg T ⁻¹)	9,9	0,8	8,2	10,2	1,0	9,9	9,1	1,0	10,8						
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,9	0,6	9,7	6,1	0,7	11,6	5,3	0,7	12,9						
XA (%)	10,9	1,3	11,6	13,8	3,0	21,8	22,5	11,7	52,3						

Tab. A 16: T-Ertrag und Qualität des Weidefutters - ermittelt im Weidekäfigverfahren - zu Beginn des Weideauftriebs (WA) und zu Ende einer Weidekäfigperiode unter den Weidekäfigen (WK) und im Weiderest (WR) in Teilbetrieb O der Weideperiode 2001. Die Klammern () geben die Anzahl der Probenahmestellen an.

Koppel	V10			V10			V10			V10			V10		
	WA (5)			WK (5)			WR (5)			WK (5)			WR (5)		
	23.07.			30.07.			30.07.			02.08.			02.08.		
Datum	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	25,4	3,8	14,8	16,4	4,4	26,9	6,6	1,8	27,4	7,9	3,1	39,4	2,2	1,1	49,0
XP (%)	15,5	1,1	6,8	15,6	1,5	9,9	13,8	1,9	13,5	14,1	1,9	13,4	11,0	1,6	14,7
Verd. (%)	70,4	1,7	2,4	69,3	1,5	2,1	66,3	1,5	2,3	64,9	2,1	3,3	62,9	2,4	3,8
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,0	0,2	1,9	9,9	0,2	1,8	9,7	0,3	2,7	9,2	0,3	3,6	9,1	0,3	3,7
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,0	0,1	2,2	5,9	0,1	2,2	5,7	0,2	3,2	5,4	0,2	4,3	5,3	0,2	4,5
XA (%)	9,3	0,6	6,1	8,9	0,8	8,6	6,9	0,4	6,0	8,6	0,5	6,2	8,2	0,7	8,4
Koppel	V10			V10			V10			B1			B1		
Datum	WA (5)			WK (5)			WR (5)			WA (10)			WK (10)		
Datum	10.10.			17.10.			17.10.			02.08.			09.08.		
Datum	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	12,5	3,6	28,7	11,7	2,5	21,3	1,4	0,9	65,9	15,4	3,3	21,7	16,0	2,9	18,0
XP (%)	22,1	1,2	5,2	22,4	1,9	8,5	16,9	4,4	25,9	15,0	1,5	10,0	16,1	0,9	5,6
Verd. (%)	72,7	1,3	1,8	74,1	6,4	8,6	68,2	3,7	5,4	68,9	1,1	1,7	64,8	2,2	3,4
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,0	0,2	2,2	9,7	0,2	2,3	8,8	0,7	8,2	9,9	0,2	2,3	9,1	0,4	3,9
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,9	0,2	2,6	5,8	0,2	2,6	5,1	0,5	9,7	5,9	0,2	2,7	5,3	0,3	4,7
XA (%)	10,6	0,8	7,5	14,8	7,0	47,7	16,9	4,2	25,1	8,0	0,4	5,1	8,8	0,6	6,7
Koppel	B1			B1			B1			B1			B1		
Datum	WR (10)			WK (10)			WR (3)			WA (10)			WK (10)		
Datum	09.08.			13.08.			13.08.			04.10.			10.10.		
Datum	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	3,9	2,0	50,3	3,4	2,2	66,6	1,3	0,2	11,4	4,9	2,2	46,1	5,7	2,4	42,5
XP (%)	13,6	1,2	8,7	13,8	0,9	6,8	11,2	4,0	36,0	19,9	3,0	14,9	25,1	1,8	7,2
Verd. (%)	64,2	2,5	3,9	65,6	2,5	3,9	58,4	2,1	3,5	71,4	2,1	2,9	73,5	1,8	2,4
ME (MJ kg T ⁻¹)	8,9	0,6	6,6	9,3	0,6	6,3	8,2	0,8	10,1	9,9	0,3	3,0	10,0	0,3	2,5
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,2	0,4	8,0	5,5	0,4	7,6	4,7	0,6	12,3	5,9	0,2	3,5	5,9	0,2	3,0
XA (%)	11,0	4,0	36,1	9,1	2,6	28,7	9,6	6,0	63,0	10,2	1,1	10,4	10,6	0,6	5,6
Koppel	B1			B2			B2			B2			B2		
Datum	WR (5)			WA (10)			WK (10)			WR (10)			WK (10)		
Datum	10.10.			08.05.			15.05.			15.05.			22.05.		
Datum	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	1,2	0,9	77,7	21,2	6,0	28,4	33,6	5,7	16,8	13,7	5,5	40,0	21,2	9,3	43,7
XP (%)	23,3	2,0	8,6	16,9	0,8	4,5	16,9	1,0	5,7	16,9	2,0	11,7	16,2	1,7	10,5
Verd. (%)	73,0	2,5	3,5	74,7	2,5	3,4	71,5	1,7	2,3	73,1	1,8	2,5	73,2	3,3	4,5
ME (MJ kg T ⁻¹)	9,4	0,3	3,3	10,9	0,4	3,8	10,3	0,3	2,5	10,6	0,3	2,8	10,6	0,6	6,0
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,5	0,2	3,9	6,6	0,3	4,4	6,2	0,2	2,9	6,4	0,2	3,3	6,4	0,4	7,0
XA (%)	15,5	2,0	13,1	6,4	0,3	4,6	6,8	0,7	9,8	6,9	0,7	9,8	7,3	1,6	22,1
Koppel	B2			B2			B2			B2			B2		
Datum	WR (10)			WK (10)			WR (10)			WK (10)			WR (10)		
Datum	22.05.			29.05.			29.05.			07.06.			07.06.		
Datum	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	13,5	6,3	46,5	23,6	11,2	47,4	12,2	9,0	73,7	15,1	6,4	42,7	9,4	7,0	74,3
XP (%)	14,9	1,8	12,2	13,7	2,1	15,6	12,6	1,5	12,0	12,6	1,6	12,6	12,0	1,0	8,6
Verd. (%)	73,2	2,4	3,3	65,5	4,2	6,4	64,7	2,6	4,0	66,6	2,1	3,1	66,5	2,9	4,3
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,7	0,4	3,8	9,5	0,5	5,5	9,4	0,4	4,4	9,7	0,3	2,9	9,8	0,5	4,6
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,5	0,3	4,4	5,6	0,4	6,6	5,6	0,3	5,2	5,7	0,2	3,4	5,8	0,3	5,5
XA (%)	6,8	0,6	8,4	6,8	0,9	13,8	6,6	0,7	10,6	7,3	2,1	29,3	6,2	0,9	14,7

Fortsetzung von Tab. A 16:

Koppel	B2 WK (10)			B2 WR (10)			B2 WK (10)			B2 WR (10)			B2 WK (10)		
Datum	13.06.			13.06.			19.06.			19.06.			29.06.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	10,3	7,1	69,0	6,5	6,1	93,5	8,6	4,0	46,2	4,8	5,1	106,1	8,2	5,6	68,3
XP (%)	12,2	2,2	18,1	12,1	1,0	8,1	13,6	2,7	20,0	11,0	2,4	21,3	12,4	2,3	18,4
Verd. (%)	63,7	2,2	3,4	62,9	2,4	3,8	62,1	4,3	7,0	60,9	5,9	9,7	64,6	3,5	5,5
ME (MJ kg T ⁻¹)	9,4	0,4	4,0	9,3	0,4	4,0	9,0	0,6	6,3	8,8	0,8	8,6	9,4	0,5	4,8
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,5	0,3	4,8	5,4	0,3	4,8	5,3	0,4	7,6	5,2	0,5	10,4	5,5	0,3	5,8
XA (%)	5,9	1,1	18,2	5,8	0,4	7,3	7,4	2,4	32,7	7,0	1,5	21,1	7,2	1,4	18,9
Koppel	B2 WR (7)			B2 WK (9)			B2 WR (10)			B2 WA (10)			B2 WK (10)		
Datum	29.06.			05.07.			05.07.			03.09.			10.09.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	3,9	4,1	104,7	4,2	2,6	61,9	3,3	3,3	98,3	11,4	6,3	55,6	13,6	5,2	38,1
XP (%)	10,7	2,8	26,1	12,4	1,9	15,5	11,6	2,3	19,7	15,1	1,1	7,6	17,9	3,0	16,7
Verd. (%)	63,0	3,9	6,3	59,1	2,8	4,8	58,2	4,1	7,1	66,6	2,3	3,5	68,7	3,7	5,3
ME (MJ kg T ⁻¹)	9,3	0,4	4,6	8,6	0,5	5,4	8,5	0,5	5,8	9,5	0,3	2,9	9,9	0,6	5,6
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,5	0,3	5,5	5,0	0,3	6,6	4,9	0,4	7,2	5,6	0,2	3,5	5,9	0,4	6,6
XA (%)	6,4	1,4	21,6	6,2	1,8	29,6	5,9	2,4	40,4	8,5	2,4	28,3	7,1	1,0	13,7
Koppel	B2 WR (10)			B2 WK (10)			B2 WR (10)			B2 WK (9)			B2 WR (10)		
Datum	10.09.			17.09.			17.09.			24.09.			24.09.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	5,3	3,7	70,0	7,9	4,6	59,0	2,5	2,7	106,7	2,9	1,5	50,2	0,0		
XP (%)	15,1	1,9	12,4	17,9	1,6	8,9	14,9	2,8	18,4	15,8	2,4	15,4			
Verd. (%)	69,0	2,5	3,6	66,3	3,2	4,8	64,5	4,7	7,4	64,3	6,5	10,1			
ME (MJ kg T ⁻¹)	9,8	0,5	5,5	9,4	0,5	4,8	9,1	0,7	7,3	9,1	0,9	10,3			
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,8	0,4	6,5	5,5	0,3	5,7	5,4	0,5	8,7	5,3	0,7	12,3			
XA (%)	9,3	2,4	25,8	7,8	0,5	6,5	8,8	1,6	18,7	8,5	0,7	8,4			
Koppel	B6+7 WR (10)			B6+7 WK (10)			B6+7 WR (10)			B6+7 WK (10)			B6+7 WR (10)		
Datum	05.07.			13.07.			13.07.			19.07.			19.07.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	19,1	4,0	20,8	18,7	3,2	17,3	7,5	2,4	32,1	9,4	1,8	19,6	1,9	0,8	44,4
XP (%)	15,0	2,4	15,9	14,3	1,0	6,7	13,1	1,1	8,8	15,0	1,1	7,6	12,9	0,7	5,4
Verd. (%)	72,3	2,8	3,9	68,5	0,8	1,2	67,0	2,0	3,0	68,1	3,4	4,9	65,3	1,0	1,5
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,5	0,5	4,6	9,9	0,1	1,3	9,7	0,3	3,0	9,7	0,2	1,9	9,4	0,2	1,9
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,3	0,3	5,4	5,9	0,1	1,5	5,8	0,2	3,6	5,7	0,1	2,3	5,5	0,1	2,2
XA (%)	7,5	0,6	8,2	7,7	0,3	3,8	7,5	0,7	9,2	9,2	4,7	50,7	8,2	0,7	8,7
Koppel	B8-10 WA (10)			B8-10 WK (10)			B8-10 WR (10)			B8-10 WK (10)			B8-10 WR (10)		
Datum	13.08.			20.08.			20.08.			27.08.			27.08.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	21,6	6,7	31,2	23,9	6,0	25,1	15,6	8,6	54,8	17,1	7,4	43,0	9,9	5,4	54,3
XP (%)	13,4	1,4	10,6	14,2	1,7	12,0	13,5	1,7	12,6	12,5	1,2	9,8	11,0	1,0	9,1
Verd. (%)	66,8	2,6	3,8	66,4	3,8	5,7	66,2	1,4	2,1	63,1	2,1	3,3	62,6	2,5	4,0
ME (MJ kg T ⁻¹)	9,7	0,4	4,2	9,5	0,6	6,4	9,6	0,1	1,5	9,0	0,4	4,1	9,0	0,3	3,7
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,7	0,3	5,0	5,6	0,4	7,6	5,7	0,1	1,8	5,3	0,3	5,0	5,3	0,2	4,4
XA (%)	7,9	1,0	12,5	8,1	0,8	9,7	7,7	1,0	13,1	8,5	0,7	8,3	8,3	1,7	20,9

Fortsetzung von Tab. A 16:

Koppel	B8-10 WK (10)			B8-10 WR (10)			B6-10 WA (10)			B6-10 WK (10)			B6-10 WR (8)		
	03.09.			03.09.			24.09.			04.10.			04.10.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	9,7	5,0	51,5	6,1	3,4	56,3	9,0	3,5	38,8	9,7	5,9	60,6	1,1	0,7	63,5
XP (%)	12,3	1,2	9,9	11,1	1,1	10,2	19,2	2,0	10,5	23,2	2,0	8,8	20,1	1,8	9,1
Verd. (%)	60,9	1,9	3,1	61,1	2,4	3,9	70,5	2,4	3,3	71,4	1,8	2,5	69,2	3,2	4,6
ME (MJ kg T ⁻¹)	8,7	0,3	3,8	8,8	0,4	4,2	9,9	0,4	4,0	9,8	0,3	2,6	9,4	0,4	3,9
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,1	0,2	4,6	5,1	0,3	5,1	5,9	0,3	4,7	5,8	0,2	3,1	5,5	0,3	4,7
XA (%)	8,4	0,9	10,5	8,1	1,3	15,8	9,0	0,9	9,8	10,6	3,2	30,1	11,3	1,3	11,9
Koppel	B6-10 WA (10)			B6-10 WK (10)			B6-10 WR (10)			B6-10 WK			B6-10 WR (10)		
	17.10.			26.10.			26.10.			31.10.			31.10.		
	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	7,0	6,1	87,9	9,1	5,3	58,5	3,4	2,6	75,9	n.v.	n.v.	n.v.	3,9	3,0	76,5
XP (%)	19,8	4,4	22,0	22,2	2,6	11,8	19,5	2,1	11,0	n.v.	n.v.	n.v.	20,6	2,2	10,6
Verd. (%)	71,6	3,2	4,5	73,5	2,1	2,9	71,9	2,2	3,0	n.v.	n.v.	n.v.	72,6	3,1	4,2
ME (MJ kg T ⁻¹)	9,6	0,9	9,8	9,7	0,5	4,9	9,5	0,2	2,6	n.v.	n.v.	n.v.	9,7	0,5	4,8
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,6	0,7	11,7	5,8	0,3	5,8	5,6	0,2	3,1	n.v.	n.v.	n.v.	5,7	0,3	5,7
XA (%)	13,7	7,0	51,2	14,0	2,3	16,6	14,9	2,6	17,6	n.v.	n.v.	n.v.	14,0	2,8	20,1

n.v.: nicht vorhanden

Tab. A 17: T-Ertrag und Qualität des Weidefutters - ermittelt im Weidekäfigverfahren - zu Beginn des Weideauftriebs (WA) und zu Ende einer Weidekäfigperiode unter den Weidekäfigen (WK) und im Weiderest (WR) in Teilbetrieb M der Weideperiode 2001. Die Klammern () geben die Anzahl der Probenahmestellen an.

Koppel	V4 WA (10)			V4 WK (10)			V4 WR (10)			V4 WK (10)			V4 WR (10)		
	08.05.			15.05.			15.05.			22.05.			22.05.		
	\bar{x}	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	17,9	6,1	34,1	29,7	6,5	21,8	14,0	3,2	23,2	19,6	4,5	22,9	12,9	6,2	47,7
XP (%)	19,1	1,7	9,1	18,4	2,0	10,7	17,5	0,8	4,6	16,7	1,6	9,4	15,3	1,4	9,0
Verd. (%)	80,6	2,2	2,8	73,9	4,1	5,5	75,9	1,4	1,9	72,4	2,1	2,9	71,9	1,7	2,3
ME (MJ kg T ⁻¹)	11,6	0,3	2,6	10,5	0,6	5,9	10,9	0,3	2,7	10,3	0,3	2,9	10,3	0,4	3,8
NEL (MJ kg T ⁻¹)	7,1	0,2	3,0	6,3	0,4	7,0	6,6	0,2	3,1	6,2	0,2	3,4	6,1	0,3	4,5
XA (%)	8,1	1,0	11,9	8,6	1,4	16,8	7,9	0,7	9,0	8,5	0,7	7,7	8,7	2,4	27,5
Koppel	V4 WK (10)			V4 WR (10)			V4 WK (10)			V4 WR (10)			V4 WK (10)		
	29.05.			29.05.			07.06.			07.06.			13.06.		
	\bar{x}	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	19,3	6,0	31,1	10,1	5,3	52,9	8,6	4,5	52,4	5,1	2,1	40,5	7,8	3,9	49,9
XP (%)	16,4	2,7	16,4	14,4	2,1	14,6	15,7	3,2	20,4	13,2	1,6	12,0	15,1	2,4	16,1
Verd. (%)	73,4	1,7	2,3	70,8	2,3	3,3	72,6	3,8	5,2	71,8	2,1	3,0	73,0	2,0	2,8
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,5	0,3	2,8	10,2	0,3	3,0	10,5	0,6	5,4	10,5	0,3	2,8	10,6	0,3	2,6
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,3	0,2	3,3	6,1	0,2	3,5	6,3	0,4	6,3	6,3	0,2	3,3	6,4	0,2	3,0
XA (%)	8,8	0,6	6,9	8,3	0,8	9,0	7,3	0,6	8,1	7,4	0,8	10,2	7,4	0,9	11,5

Fortsetzung von Tab. A 17:

Koppel	V4			V4			V4			V4			V4		
	WR (10)			WK (10)			WR (10)			WK (10)			WR (9)		
	13.06.			19.06.			19.06.			29.06.			29.06.		
Datum	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	4,9	2,1	42,1	6,2	2,1	33,8	4,9	3,0	60,7	5,4	2,9	52,7	3,1	1,5	47,7
XP (%)	12,6	1,5	11,6	19,0	1,8	9,5	15,7	1,5	9,7	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.
Verd. (%)	71,3	2,0	2,8	70,4	2,4	3,3	70,0	0,7	0,9	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,4	0,3	3,3	10,0	0,4	3,7	10,0	0,2	1,9	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,3	0,2	3,8	5,9	0,3	4,3	6,0	0,1	2,3	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.
XA (%)	7,1	0,6	8,5	8,0	0,5	6,0	8,2	1,8	21,9	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.
Koppel	V4			V4			V4			V4			V4		
	WK (10)			WR (10)			WA (10)			WK (10)			WR (10)		
	06.07.			06.07.			10.08.			20.08.			20.08.		
Datum	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	6,3	4,3	67,9	2,7	2,1	79,5	13,2	4,7	35,6	17,5	5,3	30,5	6,7	4,5	67,5
XP (%)	17,3	3,4	19,8	13,1	2,9	21,9	21,5	2,2	10,3	19,8	1,5	7,8	16,8	1,5	8,7
Verd. (%)	70,8	2,8	3,9	68,7	2,2	3,2	72,2	1,9	2,6	72,0	1,4	1,9	68,9	2,1	3,0
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,1	0,3	2,8	9,9	0,2	2,0	10,0	0,2	2,2	10,1	0,2	2,0	9,9	0,3	3,1
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,0	0,2	3,2	5,9	0,1	2,3	6,0	0,2	2,6	6,0	0,1	2,4	5,9	0,2	3,7
XA (%)	7,9	0,9	11,6	7,8	2,0	25,0	9,8	1,2	12,2	9,3	0,8	8,3	8,1	0,5	6,1
Koppel	V4			V4			V4			V4			V4		
	WK (10)			WR (10)			WA (10)			WK (10)			WR (10)		
	20.08.			20.08.			19.10.			26.10.			26.10.		
Datum	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	8,2	4,8	58,3	4,5	3,6	78,7	8,4	3,6	42,4	13,0	5,0	38,8	7,4	4,6	61,9
XP (%)	17,2	1,4	8,1	14,2	2,2	15,8	27,4	2,5	9,3	26,6	2,2	8,3	23,8	1,9	8,1
Verd. (%)	67,8	2,7	4,0	64,6	2,8	4,3	n.v.	n.v.	n.v.	75,5	2,2	2,9	75,7	3,4	4,5
ME (MJ kg T ⁻¹)	9,6	0,4	3,8	9,3	0,3	3,6	n.v.	n.v.	n.v.	10,1	0,3	2,9	9,9	0,3	3,1
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,7	0,3	4,5	5,5	0,2	4,2	n.v.	n.v.	n.v.	6,0	0,2	3,4	5,9	0,2	3,7
XA (%)	8,7	0,7	8,5	7,7	0,9	11,8	10,4	0,5	4,8	12,0	1,5	12,8	14,7	4,6	31,0
Koppel	V6			V6			V6			V6			V6		
	WA (10)			WK (10)			WR (10)			WK (10)			WR (10)		
	06.07.			13.07.			13.07.			19.07.			19.07.		
Datum	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	14,4	3,7	25,9	18,1	5,1	28,2	6,9	2,4	35,0	10,3	1,4	13,9	4,7	1,7	35,6
XP (%)	18,0	2,2	12,4	16,8	1,0	6,1	16,1	1,1	6,8	17,9	2,0	11,2	15,8	1,4	9,1
Verd. (%)	73,6	2,2	3,0	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	71,8	1,6	2,2	69,6	1,8	2,5
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,5	0,2	2,0	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	10,3	0,3	3,0	10,0	0,2	2,1
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,3	0,2	2,4	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	6,2	0,2	3,6	6,0	0,1	2,5
XA (%)	8,3	0,9	10,9	8,2	0,5	6,6	7,7	0,4	4,6	7,8	0,4	4,9	7,9	0,9	11,4
Koppel	V6			V6			V6			V6			V6		
	WK (10)			WR (10)			WA (10)			WK (10)			WR (10)		
	27.07.			27.07.			10.09.			17.09.			17.09.		
Datum	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv	\bar{x}	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	7,2	2,3	32,0	2,5	1,4	55,1	8,4	2,6	30,4	10,3	2,9	28,3	5,1	1,2	23,4
XP (%)	22,5	3,0	13,5	19,8	1,5	7,8	18,5	1,5	7,9	22,4	1,2	5,5	20,6	1,6	7,8
Verd. (%)	72,1	1,9	2,7	70,6	2,5	3,5	71,6	2,0	2,8	74,2	2,0	2,8	74,1	1,7	2,2
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,0	0,2	2,2	9,8	0,4	3,8	10,1	0,4	3,6	10,4	0,3	3,0	10,3	0,3	2,9
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,9	0,2	2,6	5,8	0,3	4,5	6,0	0,3	4,2	6,3	0,2	3,6	6,2	0,2	3,4
XA (%)	9,6	0,7	7,5	9,6	1,1	11,4	8,9	1,0	10,7	8,3	0,7	8,2	10,0	1,5	14,8

n.v.: nicht vorhanden

Fortsetzung von Tab. A 17:

Koppel	V6			V6			V6			V6			H8		
	WK (10)			WR (10)			WK (10)			WR (10)			WA (10)		
	25.09.			25.09.			05.10.			05.10.			27.07.		
Datum	\bar{x}	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	6,6	1,4	20,7	3,9	1,7	43,5	5,8	2,4	40,8	1,7	1,2	70,3	18,9	4,3	22,8
XP (%)	20,3	2,6	12,7	18,8	1,5	7,8	23,2	2,7	11,4	22,1	2,5	11,4	12,6	2,1	16,6
Verd. (%)	72,7	2,4	3,3	73,6	1,1	1,4	74,2	1,5	2,1	73,8	1,7	2,3	67,8	1,2	1,8
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,1	0,6	5,6	10,1	0,4	4,3	10,2	0,2	2,3	9,8	0,7	7,2	9,7	0,2	2,1
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,0	0,4	6,6	6,0	0,3	5,1	6,1	0,2	2,6	5,8	0,5	8,5	5,8	0,1	2,6
XA (%)	10,4	4,3	41,8	11,1	3,2	29,1	10,6	2,2	20,5	14,1	5,6	39,7	8,8	0,5	5,2
Koppel	H8			H8			H8			H8			H8		
Datum	WK (10)			WR (10)			WK (10)			WR (10)			WA (10)		
	02.08.			02.08.			10.08.			10.08.			05.10.		
	\bar{x}	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	19,4	4,6	23,6	8,1	4,3	53,1	9,4	2,1	22,0	1,9	0,9	46,5	9,1	2,3	25,0
XP (%)	13,3	2,5	18,7	13,1	1,0	7,4	13,2	2,9	22,3	9,5	0,2	2,4	22,8	2,6	11,3
Verd. (%)	71,9	2,7	3,8	72,3	1,4	1,9	66,7	3,6	5,4	62,3	2,4	3,9	75,5	2,1	2,8
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,4	0,4	3,5	10,5	0,2	1,6	9,6	0,6	6,2	8,9	0,5	5,1	10,5	0,3	2,7
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,3	0,3	4,1	6,3	0,1	1,9	5,7	0,4	7,4	5,2	0,3	6,1	6,3	0,2	3,2
XA (%)	8,6	0,4	4,5	8,7	0,7	8,2	8,1	0,5	5,6	9,9	2,4	24,5	9,4	0,5	4,8
Koppel	H8			H8			H8			H8					
Datum	WK (10)			WR (10)			WK (10)			WR (5)					
	12.10.			12.10.			19.10.			19.10.					
	\bar{x}	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv
T (dt ha ⁻¹)	9,8	2,8	28,2	3,4	2,2	64,9	5,4	4,0	74,4	2,9	1,7	57,8			
XP (%)	24,5	2,1	8,8	20,7	2,3	11,2	21,9	2,4	11,2	20,1	2,3	11,2			
Verd. (%)	77,4	1,8	2,4	75,3	3,0	4,0	70,4	2,2	3,2	69,5	2,8	4,0			
ME (MJ kg T ⁻¹)	10,7	0,2	2,2	10,3	0,5	4,5	9,4	0,2	2,5	9,1	0,4	4,7			
NEL (MJ kg T ⁻¹)	6,5	0,2	2,6	6,2	0,3	5,3	5,5	0,2	3,0	5,3	0,3	5,7			
XA (%)	9,8	1,3	13,1	12,0	1,5	12,8	12,4	2,4	19,3	15,1	1,0	6,3			

Tab. A 18: Flächenumfang der Schnitt- und Weidenutzung der Koppeln

Weide- periode	Nutzung der Flächen	Teilbetrieb	
		O	M
		(ha)	
1999	Schnitt ^a	15,5	15,9
	Weide ^a	18,2	18,8
	Gesamt ^b	19,3	18,8
2000	Schnitt ^a	13,1	13,7
	Weide ^a	18,2	12,2
	Gesamt ^b	19,3	18,8
2001	Schnitt ^a	14,3	14,7
	Weide ^a	18,2	12,2
	Gesamt ^b	19,3	18,8

^a: Flächensumme der Koppeln von mindestens einer Schnitt- bzw. Weidenutzung; ^b: gesamte Teilbetriebsfläche

Tab. A 19: Termine der Silagewerbung auf den Koppeln

Jahr	Schnitt	Teilbetrieb O		Teilbetrieb M	
		Datum	Koppel	Datum	Koppel
1999	1.	27.05.	V9, B2, B6	01.06.	V1, V4, V6, H6
1999	2.	31.08.	V9		
2000	1.	24.05.	B6-7	26.05.	V4
		03.06	B1, B2, V9,V10	04.06.	H6, H8, V1
2000	2.	10.08.	V9, V10	10.08.	V1, H6
2000	3.	27.09.	V9	27.09.	V1, H6
2001	1.	24.05.	B6-7, V9, V10	30.05.	V1, V6, H6, H8
		30.05.	B8-10, B1		
2001	2.	25.07.	V9	25.07.	V1, H6
2001	3.	12.10.	V9	12.10.	V1

Tab. A 20: Datum der Koppelumtriebe und Stallperioden, Fresstage und Besatzdichten in Teilbetrieb O

Jahr	Auf- bzw. Abtrieb	Koppel / Stall	Datum		Fress-tage	Koppel-größe (ha)	Besatzdichte GV ha ⁻¹
			von	bis			
1999	Auftrieb	B1	07.05.	21.05.	14	2,1	15,2
		V10	21.05.	11.06.	21	1,7	18,7
		B1	11.06.	24.06.	13	2,1	16,1
		B2	24.06.	16.07.	22	5,1	6,8
		B6	16.07.	25.07.	9	1,4	25,0
		B7	25.07.	01.08.	7	1,6	22,1
		V10	01.08.	08.08.	7	1,7	20,7
		B8	08.08.	20.08.	12	2,1	17,2
		B9-10	20.08.	09.09.	20	4,2	8,7
		B1	09.09.	16.09.	7	2,1	18,1
		B2	16.09.	30.09.	14	5,1	7,5
		V10	30.09.	06.10.	6	1,7	22,2
		B6-7	06.10.	16.10.	10	3,0	12,9
		B1	15.10.	18.10.	3	2,1	18,9
		B8	18.10.	22.10.	4	2,1	18,5
B2	22.10.	25.10.	3	5,1	7,7		
1999/2000	Abtrieb	Stall	25.10.	18.04.	176		
2000	Auftrieb	B8-10	18.04.	20.06.	63	6,3	5,3
		B6-7	20.06.	30.06.	10	3,0	12,0
		V10	30.06.	06.07.	6	1,7	21,2
		B2	06.07.	28.07.	22	5,1	7,4
		B1	28.07.	08.08.	11	2,1	18,7
		B8-10	08.08.	30.08.	22	6,3	6,3
		B6-7	30.08.	14.09.	15	3,0	13,6
		B2	14.09.	01.10.	17	5,1	8,3
		B1	01.10.	08.10.	7	2,1	20,6
		V10	08.10.	11.10.	3	1,7	24,8
		Stall¹	11.10.	20.10.	9		
		B9-10 ²	20.10.	02.11.	13	4,2	
2000/2001	Abtrieb	Stall	02.11.	08.05.	187		
2001	Auftrieb	B2	08.05.	05.07.	58	5,1	7,6
		B6-7	05.07.	23.07.	18	3,0	13,4
		V10	23.07.	02.08.	10	1,7	23,7
		B1	02.08.	13.08.	11	2,1	20,1
		B8-10	13.08.	03.09.	21	6,3	6,7
		B2	03.09.	24.09.	21	5,1	8,5
		B6-10	24.09.	04.10.	10	9,3	4,7
		B1	04.10.	10.10.	6	2,1	21,3
		V10	10.10.	17.10.	7	1,7	25,7
		B6-10	17.10.	31.10.	14	9,3	4,8
Weideperiode	Tage	GV	Stallperiode		Tage		
1999	172	35,1	1999/2000		176		
2000	176 (189) ²	37,4	2000/2001		187 (196) ²		
2001	176	41,2					

¹: Nach dem Absetzen der Kälber am 12.10. wurden die Kühe einige Tage zur Gewöhnung an die neue Situation "ohne Kälber" eingestallt, bevor sie wieder auf die Weide getrieben wurden. ²: Kühe

Tab. A 21: Datum der Koppelumtriebe und Stallperioden, Fresstage und Besatzdichten in Teilbetrieb M

Jahr	Auf- bzw. Abtrieb	Koppel / Stall	Datum von	Datum bis	Fresstage	Koppelgröße (ha)	Besatzdichte GV ha ⁻¹
1999	Auftrieb	H8	11.05.	11.06.	31	2,9	10,9
		V1	11.06.	24.06.	13	5,8	5,7
		V4	24.06.	09.07.	15	4,2	8,2
		H8	09.07.	24.07.	15	2,9	12,0
		H6	24.07.	27.07.	3	0,8	42,2
		V8	27.07.	03.08.	7	1,3	27,6
		V7	03.08.	12.08.	9	1,3	27,9
		V6	12.08.	27.08.	15	2,5	14,8
		V1	27.08.	10.09.	14	5,8	6,5
		V4	10.09.	29.09.	19	4,2	9,1
		H6+H8	29.09.	11.10.	12	3,8	10,4
		V7-8	11.10.	15.10.	4	2,6	15,1
		V6-8	15.10.	20.10.	5	5,1	7,8
V1+V4	20.10.	25.10.	5	10,0	4,0		
1999/2000	Abtrieb	Stall	25.10.	19.04.	177		
2000	Auftrieb	V6	19.04.	04.07.	76	5,1	7,3
		V4	04.07.	25.07.	21	4,2	9,5
		H8	25.07.	10.08.	16	2,9	14,0
		V6	10.08.	04.09.	25	5,1	8,2
		V4	04.09.	25.09.	21	4,2	10,3
		H8	25.09.	06.10.	11	2,9	15,2
		V6	06.10.	12.10.	6	5,1	8,8
		Stall¹	12.10.	20.10	8		
		V6 ²	20.10.	24.10.	4	5,1	
		H6 ²	24.10.	27.10.	3	0,8	
V1 ²	27.10.	02.11.	6	5,8			
2000/2001	Abtrieb	Stall	02.11.	08.05.	187		
2001	Auftrieb	V4	08.05.	06.07.	59	4,2	9,0
		V6	06.07.	27.07.	21	5,1	7,8
		H8	27.07.	10.08.	14	2,9	14,0
		V4	10.08.	10.09.	31	4,2	10,1
		V6	10.09.	05.10.	25	5,1	8,6
		H8	05.10.	19.10.	14	2,9	15,4
		V4	19.10.	31.10.	12	4,2	11,0
Weideperiode	Tage	GV	Stallperiode	Tage			
1999	167	35,2	1999/2000	177			
2000	176 (189) ²	40,5	2000/2001	187 (195) ²			
2001	176	41,3					

¹ : Nach dem Absetzen der Kälber am 12.10. wurden die Kühe einige Tage zur Gewöhnung an die neue Situation "ohne Kälber" eingestallt, bevor sie wieder auf die Weide getrieben wurden. ² : Kühe

Tab. A 22: Weidebruttoertrag (Futterangebot) und Silageertrag (in dt T ha⁻¹)

Koppel	Jahr 1999						Jahr 2000						Jahr 2001									
	Nutzung					Gesamt	Nutzung					Gesamt	Nutzung					Gesamt				
	S ^a	W 1	W 2	W 3	W 4	W S ^a +W	S	W 1	W 2	W 3	W 4	W S+W	S 1	S 2	S 3	W 1	W 2	W 3	S	W	S+W	
Teilbetrieb O																						
V 9							52,6						52,6	23,8	13,4	6,4				43,6	43,6	
V 10		59,3	4,1	11,7		75,1	37,8	13,9	5,2			19,1	56,9	24,1		17,7	9,5		24,1	27,2	51,3	
B 1		29,6	18,6	11,5	4,5	64,2	26,2	24,5	16,3			40,7	66,9	36,3		15,4	4,4		36,3	19,8	56,1	
B 2		15,2	6,5	1,0		22,7	38,9	27,7	18,4			46,1	85,0			60,7	13,3			74,0	74,0	
B 6-10																						
B 6-7		21,9	2,9			24,8	39,8	14,0	19,1			33,1	72,9	28,5		20,6	9,7	10,3	28,5	40,6	69,1	
B 8-10		20,9 ^b	17,6 ^a	8,2 ^b		21,4		39,0	23,3	14,2 ^a		62,3	62,3	32,9		25,2	9,7	10,3	32,9	45,2	78,1	
Gesamtmittel	32,8					35,9	60,2	38,2				49,7	72,7						32,2	47,8	68,9	
Teilbetrieb M																						
V 1		3,9	11,0	0,2		15,1	55,9	14,1				14,1	70,0	30,6	13,2	7,0			50,9		50,9	
H 6		14,1	4,4			18,5	54,7	15,1				15,1	69,8	30,5	10,2				40,7		40,7	
V 4		11,9	11,8	1,6		25,3	32,5	34,4	26,1			60,5	93,1			47,9	24,9	15,4		88,2	88,2	
V 6-8		20,4	12,0 ^c	2,7		29,3		56,0	38,6	8,7 ^d		103,4	103,4	32,9		24,1	11,1		32,9	35,2	68,1	
H 8		38,2	11,6	11,1		60,9	37,3	39,7	12,2			52,0	89,3	37,8		20,7	9,9		37,8	30,6	68,4	
Gesamtmittel	27,8					28,4	52,0	44,5				76,4	81,9						41,4	52,2	66,1	

W 1-4: 1.-4. Weidenutzung; S: Schnittnutzung; ^a: B9-10; ^b: B8; ^c: V 7-8; ^d: Nachbeweidung; kursiv und fett gedruckte Werte im Jahr 2000: Nutzung der Koppeln nur mit den Kühen nach dem Absetzen der Kälber

Tab. A 23: Mittlere Energiedichte des angebotenen Weidefutters und der Silage, gewichtet (in MJ NEL kg T⁻¹)

Koppel	Jahr 1999					Jahr 2000					Jahr 2001							
	Nutzung					Mittelwert	Nutzung					Mittelwert	Nutzung					Mittelwert
	S ^a	W 1	W 2	W 3	W 4	W	S	W 1	W 2	W 3	W 4	W	S ^e	W 1	W 2	W 3	W	
Teilbetrieb O																		
V 9							6,2											
V 10		6,1	5,6	5,9		6,1	6,0	6,3				6,2		5,7	5,8		5,8	
B 1		6,7	6,0	6,2	5,9	6,4	6,0	5,9	5,8			5,9		5,4	5,9		5,6	
B 2		6,5	6,2	6,0		6,4	6,1	6,1	5,9			6,1		5,8	5,7		5,8	
B 6-10																		
B 6-7		5,7	5,5			5,7	5,9	6,3	6,0			6,2		5,9	5,1	5,7	5,4	
B 8-10		5,1 ^c	5,2 ^b	4,8 ^c		5,1		6,7	5,5	5,8 ^b		5,8		5,2	5,1	5,7	5,2	
Gesamtmittel	6,1					5,9	6,1					6,1					5,6	
Teilbetrieb M																		
V 1		6,8	6,4	5,5		6,5	6,0	5,0				5,0						
H 6		5,9	5,5			5,8	5,8	6,2				6,2						
V 4		6,3	6,5	5,8		6,4	6,1	6,1	6,0			6,1		6,2	5,8	5,9	6,0	
V 6-8		5,8	6,0 ^d	5,9		5,6		6,8	6,1	6,0		6,5		5,9	6,2		6,0	
H 8		7,6	5,6	5,8		6,9	6,0	5,9	6,2			6,0		6,0	6,1		6,1	
Gesamtmittel	6,6					6,3	6,0					6,3					6,0	

^a: Im Jahr 1999 kann der Silageertrag nur für den ganzen Teilbetrieb angegeben werden; S: Schnitt; W: Beweidung;

^b: B9-10; ^c: B8; ^d: V7-8; ^e: keine Untersuchung durchgeführt; S 1- S 4 bzw. W 1- W 4: 1. bis 4. Schnitt- bzw. Weidenutzung; kursiv-fett gedruckte Werte im Jahr 2000: Nutzung der Koppeln nur mit den Kühen nach dem Absetzen der Kälber

Tab. A 24: Rohproteingehalt des angebotenen Weidefutters und der Silage, gewichtet (in %)

Koppel	Jahr 1999						Jahr 2000						Jahr 2001									
	Nutzung					Mittelwert	Nutzung					Mittelwert	Nutzung					Mittelwert				
	S ^a	W 1	W 2	W 3	W 4		S	W 1	W 2	W 3	W 4		W	S 1	S 2	S 3	W 1			W 2	W 3	S	W
Teilbetrieb O																						
V 9						12,9												16,5	13,2	18,9		15,8
V 10		12,3	15,1	19,4		13,9	13,1	19,4			19,4				15,4			15,7	22,4		15,4	19,0
B 1		16,5	15,0	17,0	20,0	16,6	12,1	18,0	19,9		19,0				11,7			16,2	25,3		11,7	19,2
B 2		18,6	21,5	20,9		19,7	12,1	18,6	20,4		19,7							15,8	18,5			16,5
B 6-10																						
B 6-7		11,9	18,9			13,0	13,0	18,4	19,7		19,6				13,9			15,1	20,7	22,1	13,9	17,6
B 8-10		8,7 ^c	13,3 ^b	14,9 ^c		12,4		18,8	20,4	20 ^b	19,6				11,7			14,2	20,7	22,1	11,7	14,2
Gesamtmittel	12,7					15,0	12,6				19,5										12,9	17,3
Teilbetrieb M																						
V 1		16,1	19,8	20,2		20,1	14,1	19,9			19,9				14,2	14,5	23,0					15,5
H 6		9,1	18,5			12,3	12,3	18,6			18,6				12,0	14,9						12,7
V 4		15,7	21,7	22,3		19,2	14,6	21,5	26,3		23,9							18,9	17,7	25,6		19,9
V 6-8		12,1	17,2 ^d	22,3		13,7		25,6	25,6	26,4	24,7				14,8			19,3	23,2		14,8	20,8
H 8		16,5	13,1	22,1		16,9	12,9	19,8	21,0		20,3				12,4			13,3	24,6		12,4	17,9
Gesamtmittel	14,0					16,8	13,8				23,8										14,6	19,8

^a: Im Jahr 1999 kann der Silageertrag nur für den ganzen Teilbetrieb angegeben werden; S: Schnitt; W: Beweidung;

^b: B9-10; ^c: B8; ^d: V7-8; S 1- S 4 bzw. W 1- W 4: 1. bis 4. Schnitt- bzw. Weidenutzung; kursiv-fett gedruckte

Werte im Jahr 2000: Nutzung der Koppeln nur mit den Kühen nach dem Absetzen der Kälber

Tab. A 25: Verdaulichkeit der organischen Substanz des angebotenen Weidefutters und der Silage, gewichtet (in %)

Koppel	Jahr 1999						Jahr 2000						Jahr 2001									
	Nutzung					Mittelwert	Nutzung					Mittelwert	Nutzung					Mittelwert				
	S ^a	W 1	W 2	W 3	W 4		S	W 1	W 2	W 3	W 4		W	S ^e	W 1	W 2	W 3			W		
Teilbetrieb O																						
V 9																						
V 10		70	66	72		70	64	74			74				68	73						71
B 1		76	69	73	71	73	64	70	71		71				65	74						68
B 2		75	73	74		75	65	74	72		73				68	67						68
B 6-10																						
B 6-7		66	67			67	63	74	72		74				69	64	77					67
B 8-10		60 ^c	62 ^b	61 ^c		62		77	68	79 ^b	74				63	64	77					63
Gesamtmittel	65					69	64				74											68
Teilbetrieb M																						
V 1		77	69	67		72	64	70			70											
H 6		67	69			68	62	76			76											
V 4		69	77	72		75	65	74	74		74				73	72	79					74
V 6-8		66	73 ^d	73		64		81	73	77	78				78	74						77
H 8		84	66	71		79	63	72	76		73				69	75						72
Gesamtmittel	69					72	64				76											75

^a: Im Jahr 1999 kann der Silageertrag nur für den ganzen Teilbetrieb angegeben werden; S: Schnitt; W: Beweidung;

^b: B9-10; ^c: B8; ^d: V7-8; ^e: keine Untersuchung durchgeführt; S 1- S 4 bzw. W 1- W 4: 1. bis 4. Schnitt- bzw. Weidenutzung; kursiv-fett gedruckte Werte im Jahr 2000: Nutzung der Koppeln nur mit den Kühen nach dem Absetzen der Kälber

Tab. A 26: Rohaschegehalt im angebotenen Futter und in der Silage, gewichtet (in %)

Koppel	Jahr 1999					Jahr 2000					Jahr 2001						
	S ^a	Nutzung				Mittelwert	S	Nutzung				Mittelwert	S ^e	Nutzung			Mittelwert
		W 1	W 2	W 3	W 4			W	W 1	W 2	W 3			W 4	W	W 1		W 2	W 3	W
Teilbetrieb O																	
V 9						8,0											
V 10		7,2	8,0	9,6		7,8	8,3	9,1			9,4		9,4	14,5			11,7
B 1		6,9	8,0	9,0	8,9	7,7	7,9	8,8	11,3		9,9		8,5	10,8			9,1
B 2		8,2	8,0	8,3		8,6	7,3	8,4	10,6		9,3		7,0	6,6			6,9
B 6-10																	
B 6-7		8,3	9,1			8,3	9,8	8,7	9,8		9,2		8,5	11,8	14,5		10,7
B 8-10		8,1 ^c	8,1 ^b	12,0 ^c		8,8		8,4	10,2	10,0^b	9,1		8,5	11,8	14,5		8,5
Gesamtmittel	7,2					8,2	8,2				9,3						9,1
Teilbetrieb M																	
V 1		8,2	9,0	8,6		9,3	10,2	20,1			20,1						
H 6		7,4	11,9			8,9	10,2	13,5			13,5						
V 4		3,3	9,5	10,2		8,9	10,0	10,6	10,3		10,2		8,8	8,8	13,4		9,7
V 6-8		7,5	12,4 ^d	11,3		8,2		9,7	10,1	14,4	10,5		8,7	8,8			8,7
H 8		8,3	8,7	10,3		8,8	8,8	10,1	13,4		11,0		8,4	10,8			9,2
Gesamtmittel	8,2					8,7	10,0				10,5						9,3

^a: Im Jahr 1999 kann der Silageertrag nur für den ganzen Teilbetrieb angegeben werden; S: Schnitt; W: Beweidung;

^b: B9-10; ^c: B8; ^d: V7-8; ^e: keine Untersuchung durchgeführt; S 1- S 4 bzw. W 1- W 4: 1. bis 4. Schnitt- bzw. Weidenutzung; kursiv-fett gedruckte Werte im Jahr 2000: Nutzung der Koppeln nur mit den Kühen nach dem Absetzen der Kälber

Tab. A 27: Weidefutteraufnahme der Teilbetriebs-Herden (in dt T ha⁻¹)

Koppel	Jahr 1999					Jahr 2000					Jahr 2001			
	Nutzung				Gesamt	Nutzung				Gesamt	Nutzung			Gesamt
	W 1	W 2	W 3	W 4		W 1	W 2	W 3	W 4		W 1	W 2	W 3	
Teilbetrieb O														
V 9														
V 10	53,4	10,0	8,5		71,9	9,1	5,4			14,5	19,6	10,8		30,3
B 1	21,6	22,0	11,2	3,1	58,0	21,6	14,1			35,6	14,0	4,1		18,2
B 2	14,5	5,1	1,2		20,8	24,0	17,0			41,0	54,0	15,1		69,1
B 6-10														
B 6-7	18,6	5,0			23,6	12,5	16,7			29,2	22,5	8,6	7,6	38,7
B 8-10	18,0 ^b	14,5 ^a	6,5 ^b		17,8	35,2	14,3	6,3 ^a		53,7	18,5	8,6	7,5	34,6
Gesamtmittel					29,3					40,3				42,5
Teilbetrieb M														
V 1	3,9	9,2	1,4		14,5	12,5				12,5				
H 6	11,7	5,5			17,3	12,4				12,4				
V 4	11,9	9,3	2,3		23,5	29,0	24,2			53,2	42,8	27,8	10,0	80,7
V 6-8	18,9	8,2 ^c	1,4		24,5	56,8	31,4	6,4	2,7	97,4	20,5	10,9		31,4
H 8	36,3	12,8	7,6		56,7	33,2	13,3			46,5	18,7	8,5		27,2
Gesamtmittel					25,9					47,8				47,0

W 1-4: 1-4. Weidenutzung; ^a: B9-10; ^b: B8; ^c: V 7-8; kursiv und fett gedruckte Werte im Jahr 2000: Nutzung der Koppeln nur mit den Kühen nach dem Absetzen der Kälber

Tab. A 28: Mittlere Energiedichte im aufgenommenen Weidefutter, gewichtet (in MJ NEL kg T⁻¹)

Koppel	Jahr 1999					Jahr 2000					Jahr 2001			
	Nutzung				Mittelwert	Nutzung				Mittelwert	Nutzung			Mittelwert
	W 1	W 2	W 3	W 4		W 1	W 2	W 3	W 4		W 1	W 2	W 3		W
Teilbetrieb O														
V 9														
V 10	6,2	5,6	6,0		6,1	6,3	5,7			6,1	5,9	5,9	5,9	
B 1	6,8	6,0	6,2	6,1	6,4	6,1	5,9			6,0	5,8	6,0	5,8	
B 2	6,5	6,4	6,8		6,5	6,1	6,0			6,1	5,9	5,7	5,8	
B 6-10														
B 6-7	5,8	5,6			5,8	6,4	6,2			6,3	5,8	5,0	5,7	
B 8-10	5,1 ^b	5,3 ^a	4,8 ^b		5,2	7,1	5,9	5,8^a		6,7	5,3	5,0	5,7	
Gesamtmittel					6,0					6,4				5,7
Teilbetrieb M														
V 1	6,8	6,3	6,9		6,5	5,6				5,6				
H 6	6,1	5,8			6,0	6,4				6,4				
V 4	6,3	6,6	6,7		6,5	6,1	6,2			6,2	6,1	5,8	6,2	
V 6-8	5,9	6,1 ^c	6,0		5,9	7,4	6,1	6,8	5,8	6,9	6,2	6,2	6,2	
H 8	7,7	5,6	6,0		7,0	5,9	6,3			6,0	5,9	6,3	6,0	
Gesamtmittel					6,5					6,6				6,1

W 1-4: 1-4. Weidenutzung;^a: B9-10; ^b: B8; ^c: V 7-8; kursiv und fett gedruckte Werte im Jahr 2000: Nutzung der Koppeln nur mit den Kühen nach dem Absetzen der Kälber

Tab. A 29: Mittlerer Rohproteingehalt im von den Teilbetriebs-Herden aufgenommenen Weidefutter, gewichtet (in %)

Koppel	Jahr 1999					Jahr 2000					Jahr 2001			
	Nutzung				Mittelwert	Nutzung				Mittelwert	Nutzung			Mittelwert
	W 1	W 2	W 3	W 4		W 1	W 2	W 3	W 4		W 1	W 2	W 3		W
Teilbetrieb O														
V 9														
V 10	12,5	15,1	19,6		13,7	19,1	19,5			19,2	16,3	22,8	18,6	
B 1	16,6	15,3	17,6	21,7	16,6	17,7	21,7			19,3	16,1	23,4	17,8	
B 2	17,8	22,1	23,9		19,2	18,9	20,8			19,7	15,2	17,9	15,8	
B 6-10														
B 6-7	12,6	19,3			14,0	18,9	19,6			19,3	14,5	20,7	22,1	
B 8-10	8,9 ^b	13,7 ^a	15,4 ^b		12	20,4	23,7	20^a		21,4	14,9	20,7	22,1	
Gesamtmittel					15,2					20,3				16,9
Teilbetrieb M														
V 1	16,1	19,7	16,6		18,4	21,8				21,8				
H 6	10,3	19,8			13,4	19,1				19,1				
V 4	15,7	22,0	20,9		18,7	21,7	26,1			23,7	19,0	17,7	26,9	
V 6-8	12,1	19,1 ^c	26,8		14,2	26,6	22,7	29,8	28,3	25,6	19,7	23,0	20,8	
H 8	16,5	13,2	21,9		16,5	19,7	21,5			20,2	13,5	25,3	17,2	
Gesamtmittel					16,6					24,2				19,6

W 1-4: 1-4. Weidenutzung;^a: B9-10; ^b: B8; ^c: V 7-8; kursiv und fett gedruckte Werte im Jahr 2000: Nutzung der Koppeln nur mit den Kühen nach dem Absetzen der Kälber

Tab. A 30: Mittlere Verdaulichkeit der organischen Substanz des von den Teilbetriebs-Herden aufgenommenen Weidefutters, gewichtet (in %)

Koppel	Jahr 1999					Jahr 2000					Jahr 2001					
	Nutzung				Mittelwert	Nutzung				Mittelwert	Nutzung			Mittelwert		
	W 1	W 2	W 3	W 4		W 1	W 2	W 3	W 4		W 1	W 2	W 3			
Teilbetrieb O																
V 9																
V 10	70	66	72		70	74	78		75	70	74		72			
B 1	77	70	73	73	73	71	72		72	68	73		69			
B 2	75	75	79		75	75	72		74	68	67		68			
B 6-10																
B 6-7	62	68			68	74	73		74	69	63	77	69			
B 8-10	60 ^b	63 ^a	62 ^b		62	83	73	78^a	80	64	63	77	67			
Gesamtmittel						70						76				68
Teilbetrieb M																
V 1	77	75	75		76	74			74							
H 6	70	70			70	77			77							
V 4	73	78	75		75	74	75		75	73	72	85	74			
V 6-8	68	74 ^c	77		69	87	74	79	78	82	77	74	76			
H 8	85	66	72		79	71	77		73	68	76		71			
Gesamtmittel						75						78				74

W 1-4: 1-4. Weidenutzung; ^a: B9-10; ^b: B8; ^c: V 7-8; kursiv und fett gedruckte Werte im Jahr 2000: Nutzung der Koppeln nur mit den Kühen nach dem Absetzen der Kälber

Tab. A 31: Mittlerer Rohaschegehalt des von den Teilbetriebs-Herden aufgenommenen Weidefutters, gewichtet (in %)

Koppel	Jahr 1999					Jahr 2000					Jahr 2001					
	Nutzung				Mittelwert	Nutzung				Mittelwert	Nutzung			Mittelwert		
	W 1	W 2	W 3	W 4		W 1	W 2	W 3	W 4		W 1	W 2	W 3			
Teilbetrieb O																
V 9																
V 10	7,2	8,0	9,6		7,6	8,9	10,0		9,3	9,9	11,9		10,7			
B 1	6,9	8,0	9,0	8,9	7,8	8,6	10,0		9,1	8,2	9,3		8,5			
B 2	8,2	8,0	8,3		8,1	8,2	9,4		8,7	7,2	7,1		7,2			
B 6-10																
B 6-7	8,3	9,1			8,5	8,7	9,1		8,9	8,2	11,8	14,9	11,7			
B 8-10	8,1 ^b	8,1 ^a	12,0 ^b		9	8,7	10,7	9,8^a	9,3	8,5	11,8	14,9	11,2			
Gesamtmittel						8,1						9,1				8,9
Teilbetrieb M																
V 1	8,2	10,1	3,5		8,9	15,6			15,6							
H 6	7,9	8,9			8,2	10,9			10,9							
V 4	7,9	9,6	3,7		8,2	10,4	9,4		10,0	8,9	8,8	12,8	9,3			
V 6-8	7,6	12,0 ^c	13,9		8,7	10,4	10,0	6,7	19,1	10,2	8,5	8,4	8,4			
H 8	8,3	8,7	9,4		8,5	9,9	12,2		10,5	8,3	9,5		8,7			
Gesamtmittel						8,6						10,1				9,0

W 1-4: 1-4. Weidenutzung; ^a: B9-10; ^b: B8; ^c: V 7-8; kursiv und fett gedruckte Werte im Jahr 2000: Nutzung der Koppeln nur mit den Kühen nach dem Absetzen der Kälber

Tab. A 32: Mittlerer Stickstoffgehalt der Silage und des von den Teilbetriebs-Herden aufgenommenen Weidefutters, gewichtet (in %)

Koppel	Jahr 1999					Jahr 2000					Jahr 2001								
	Nutzung				Mittelwert W	Nutzung				Mittelwert W	Nutzung			Nutzung			Mittelwert		
	S ^a	W 1	W 2	W 3		W 4	S	W 1	W 2		W 3	W 4	S 1	S 2	S 3	W 1	W 2	W 3	S	W
Teilbetrieb O																			
V 9						2,0							2,6	2,1	3,0				2,5
V 10		2,0	2,4	3,1	2,2	2,1	3,1	3,1			3,1		2,5			2,6	3,6		2,5 3,0
B 1		2,7	2,5	2,8	3,5	2,7	1,9	2,8	3,5		3,1		1,9			2,6	3,7		1,9 2,8
B 2		2,8	3,5	3,8		3,1	1,9	3,0	3,3		3,1					2,4	2,9		2,5
B 6-10																			
B 6-7		2,0	3,1			2,2	2,1	3,0	3,1		3,1		2,2			2,3	3,3	3,5	2,2 3,1
B 8-10		1,4 ^b	2,2 ^a	2,5 ^b		2,0		3,3	3,8	3,2^a		3,4	1,9			2,4	3,3	3,5	1,9 3,0
Gesamtmittel	2,0					2,4	2,0				3,3								2,1 2,7
Teilbetrieb M																			
V 1		2,6	3,2	2,7		3,0	2,2	3,5			3,5		2,3	2,3	3,7				2,5
H 6		1,7	3,2			2,1	1,9	3,1			3,1		1,9	2,4					2,0
V 4		2,5	3,5	3,3		3,0	2,3	3,5	4,2		3,8					3,0	2,8	4,3	3,1
V 6-8		1,9	3,1 ^c	4,3		2,3		4,3	3,6	4,8	4,5	4,1	2,4			3,1	3,7		2,4 3,3
H 8		2,6	2,1	3,5		2,6	2,1	3,1	3,4		3,2		2,0			2,2	4,1		2,0 2,8
Gesamtmittel	2,2					2,7	2,2				3,9								2,3 3,1

^a: Im Jahr 1999 kann der Silageertrag nur für den ganzen Teilbetrieb angegeben werden; S: Schnitt; W: Beweidung

W 1-4: 1-4. Weidenutzung; S 1-3: 1-3. Schnittnutzung; ^a: B9-10; ^b: B8; ^c: V 7-8; kursiv und fett gedruckte Werte im Jahr 2000:

Nutzung der Koppeln nur mit den Kühen nach dem Absetzen der Kälber

Tab. A 33: Mittlerer Phosphorgehalt der Silage (in %)

Koppel	Jahr 1999	Jahr 2000	Jahr 2001			Mittelwert
	S ^a	S	Nutzung			
			S 1	S 2	S 3	
Teilbetrieb O						
V 9		0,35	0,38	0,24	0,37	0,33
V 10		0,36	0,35			0,35
B 1		0,35	0,27			0,27
B 2		0,34				
B 6-10						
B 6-7		0,37	0,36			0,36
B 8-10			0,29			0,29
Gesamtmittel	0,35	0,35				0,31
Teilbetrieb M						
V 1		0,37	0,35	0,31	0,49	0,36
H 6		0,34	0,29	0,31		0,30
V 4		0,40				
V 6-8			0,35			0,35
H 8		0,35	0,30			0,30
Gesamtmittel	0,42	0,37				0,34

^a: Im Jahr 1999 kann der Silageertrag nur für den ganzen Teilbetrieb angegeben werden und ^b somit ist die Angabe der Koppelmittelwerte

Tab. A 34: Kaliumgehalt der Silage (in %)

Koppel	Jahr 1999	Jahr 2000	Jahr 2001			Mittelwert
			Nutzung			
			S 1	S 2	S 3	
Teilbetrieb O	S ^a	S				
V 9		2,1	2,5	1,0	1,5	1,9
V 10		2,5	2,5			2,5
B 1		1,9	1,5			1,5
B 2		1,8				
B 6-10						
B 6-7		1,9	1,7			1,7
B 8-10			2,0			2,0
Gesamtmittel	2,3	2,0				1,9
Teilbetrieb M						
V 1		2,6	2,9	1,8	2,7	2,6
H 6		2,4	2,7	1,9		2,5
V 4		3,3				
V 6-8			3,1			
H 8		2,8	2,4			
Gesamtmittel	3,0	2,8				2,7

^a: Im Jahr 1999 kann der Silageertrag nur für den ganzen Teilbetrieb angegeben werden und ^b somit ist die Angabe der Koppelmittelwerte nicht möglich, S: Schnitt; Mittelwerte der Nutzungen sind gewichtet

Tab. A 35: Magnesiumgehalt der Silage (in %)

Koppel	Jahr 1999	Jahr 2000	Jahr 2001			Koppelmittel
			Nutzung			
			S 1	S 2	S 3	
Teilbetrieb O	S ^a	S				
V 9		0,23	0,24	0,31	0,46	0,29
V 10		0,20	0,20			0,20
B 1		0,21	0,21			0,21
B 2		0,21				
B 6-10						
B 6-7		0,24	0,21			0,21
B 8-10			0,20			0,20
Gesamtmittel	0,20	0,22				0,21
Teilbetrieb M						
V 1		0,20	0,19	0,23	0,40	0,23
H 6		0,20	0,17	0,25	-	0,19
V 4		0,20				
V 6-8			0,21			
H 8		0,18	0,16			
Gesamtmittel	0,19	0,19				0,21

^a: Im Jahr 1999 kann der Silageertrag nur für den ganzen Teilbetrieb angegeben werden und ^b somit ist die Angabe der Koppelmittelwerte nicht möglich, S: Schnitt; Mittelwerte der Nutzungen sind gewichtet

Tab. A 36: Vergleich der im Versuch bestimmten Futteraufnahme mit der zur Energiebedarfsdeckung nach Richtlinien erforderlichen Futteraufnahme auf der Weide

Teil- betrieb	1999 Weide	1999/2000		2000/2001	
		Stall	Weide	Stall	Weide
Futteraufnahme, im Versuch ermittelt (kg T GV ⁻¹ d ⁻¹)					
O	8,9 (100)	7,5 (100)	10,8 (100)	7,3 (100)	10,9 (100)
M	8,4 (100)	7,6 (100)	12,1 (100)	7,3 (100)	9,4 (100)
Futteraufnahme zur Sicherung des Energiebedarfs nach Richtlinien (kg T GV ⁻¹ d ⁻¹) ^a					
O	8,3 (93)	7,3 (97)	8,2 (75)	7,2 (98)	8,6 (79)
M	7,9 (95)	7,3 (96)	7,4 (61)	7,2 (98)	8,2 (87)

^a: ermittelt wurde die Futteraufnahme durch Division des in Tab.6-1 ausgewiesenen Energiebedarfs nach Richtwerten durch die ermittelte Energiedichte (Tab. 5-3 und 5-4) nach Subtraktion der Aufnahme von Silage und Kraftfutter; Werte in (): %

Tab. A 37: Vergleich der im Versuch bestimmten Rohproteinaufnahme mit der vom Energiebedarf nach Richtlinien abgeleiteten Rohproteinaufnahme auf der Weide

Teilbetrieb	Weideperioden		
	1999	2000	2001
Rohproteinaufnahme, im Versuch ermittelt (g XP GV ⁻¹ d ⁻¹)			
O	1338 (100)	2188 (100)	1830 (100)
M	1385 (100)	2891 (100)	1746 (100)
Rohproteinaufnahme entsprechend Energiebedarf nach Richtlinien (g XP GV ⁻¹ d ⁻¹) ^a			
O	1251 (93)	1653 (76)	1445 (79)
M	1315 (95)	1777 (61)	1514 (87)

GV: Großvieheinheit (500 kg); ^a: berechnet durch Multiplikation der N-Aufnahme mit dem Faktor 6,25; Werte in (): %

Tab. A 38: Vergleich der im Versuch bestimmten Nährstoffaufnahme mit der vom Energiebedarf nach Richtlinien abgeleiteten Nährstoffaufnahme auf der Weide; Werte in () in % (in g GV⁻¹ d⁻¹)

Teilbetrieb	Weideperioden											
	1999				2000				2001			
	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Ergebnisdaten - Nährstoffaufnahme der Weidetiere ermittelt (Weidekäfigmethode)^b												
O	214	36	274	17	350	43	334	21	293	44	336	22
	(100)				(100)				(100)			
M	222	34	259	17	463	49	374	24	279	39	295	22
	(100)				(100)				(100)			
Nährstoffaufnahme der Weidetiere nach geschätztem Energiebedarf (Richtlinien)^{a, b}												
O	200	34	257	16	264	33	253	16	231	35	265	17
	(93)				(76)				(79)			
M	210	32	246	16	284	30	230	15	242	34	256	19
	(95)				(61)				(87)			

^a: berechnet aus der vom Energiebedarf nach Richtlinien abgeleiteten Futtermenge; ^b: Futtermenge multipliziert mit dem im aufgenommenen Futter enthaltenen N (empirisch bestimmt) und Faustzahlen zum P-, K- und Mg-Gehalt im Weidefutter (DLG, 1973)

Tab. A 39: Vergleich der im Versuch ermittelten Nährstoffausscheidung mit der vom Energiebedarf nach Richtlinien abgeleiteten Nährstoffausscheidung auf der Weide; Werte in () in % (in g GV⁻¹ d⁻¹)

Teilbetrieb	Weideperioden											
	1999				2000				2001			
	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Ergebnisdaten - Nährstoffausscheidung der Weidetiere ermittelt (Weidekäfigmethode)^b												
O	197	31	273	17	328	37	332	21	279	40	335	22
	(100)				(100)				(100)			
M	202	28	257	16	445	44	373	24	262	34	294	22
	(100)				(100)				(100)			
Nährstoffausscheidung der Weidetiere nach geschätztem Energiebedarf (Richtlinien)^{a, b}												
O	183	28	255	16	243	26	251	16	217	31	264	17
	(93)	(92)	(93)	(93)	(74)	(71)	(75)	(75)	(78)	(77)	(79)	(79)
M	191	26	244	15	267	25	229	14	225	29	255	19
	(94)	(94)	(95)	(95)	(60)	(57)	(61)	(61)	(86)	(85)	(87)	(87)

^a: berechnet aus der vom Energiebedarf nach Richtlinien abgeleiteten Futtermenge; ^b: Futtermenge multipliziert mit dem im aufgenommenen Futter enthaltenen N (empirisch bestimmt) und Faustzahlen zum P-, K- und Mg-Gehalt im Weidefutter (DLG, 1973) abzüglich der Nährstoffretention

Tab. A 40: Vergleich der im Versuch ermittelten Stickstoffverluste mit den vom Energiebedarf nach Richtlinien abgeleiteten Stickstoffverlusten auf der Weide

Teilbetrieb	Weideperioden		
	1999	2000	2001
Stickstoffverluste, im Versuch ermittelt (kg N ha ⁻¹ Teilbetrieb)			
O	19 (100)	40 (100)	38 (100)
M	19 (100)	66 (100)	35 (100)
Stickstoffverluste entsprechend Energiebedarf nach Richtlinien (kg N ha ⁻¹ Teilbetrieb)			
O	17 (90)	28 (69)	27 (72)
M	19 (92)	34 (52)	29 (82)

Werte in (): %

Tab. A 41: Vergleich der im Versuch ermittelten Stickstoffverluste mit den vom Energiebedarf nach Richtlinien abgeleiteten Stickstoffverlusten nach Entstehungsort bei 20 (30) % NH₃-N-Lagerungsverlust des Mists (relativ)

TB	Versuchsjahr	N-Verlust (kg)	N-Verlust nach Entstehungsort (%)				
			Weidetier- exkremente	Lagerung ¹⁾	symbiotische N ₂ -Fixierung	Stall Aus- bringung ¹⁾	
Ergebnisdaten - N-Aufnahme der Weidetiere ermittelt (Weidekäfigmethode)							
O	1999/2000	1206 (1292)	65 (60)	15 (20)	16 (15)	5 (4)	0 (0)
	2000/2001	1109 (1215)	66 (60)	21 (28)	10 (9)	2 (2)	1 (1)
M	1999/2000	2032 (2118)	61 (58)	9 (13)	19 (18)	7 (7)	4 (4)
	2000/2001	1237 (1245)	54 (49)	19 (25)	12 (11)	10 (9)	6 (6)
Gesamt		5584 (5970)	61 (57)	15 (20)	15 (14)	6 (6)	3 (3)
N-Aufnahme der Weidetiere nach geschätztem Energiebedarf (Richtlinien)							
O	1999/2000	969 (1051)	56 (51)	18 (25)	20 (18)	6 (5)	0 (0)
	2000/2001	890 (997)	57 (51)	26 (34)	13 (11)	3 (2)	2 (1)
M	1999/2000	1441 (1526)	45 (42)	13 (18)	27 (25)	10 (9)	6 (5)
	2000/2001	1120 (1228)	49 (45)	21 (28)	13 (12)	11 (10)	7 (6)
Gesamt		4420 (4802)	51 (47)	19 (25)	19 (17)	8 (7)	4 (4)

¹⁾ von Stallmist

Tab. A 42: Vergleich der im Versuch ermittelten Stickstoffverluste mit den vom Energiebedarf nach Richtlinien abgeleiteten Stickstoffverlusten nach Entstehungsort bei 20 (30) % NH₃-N-Lagerungsverlust des Mists (absolut)

TB	Versuchsjahr	N-Verlust (kg ha ⁻¹)	N-Verlust nach Entstehungsort (kg ha ⁻¹)				
			Weidetier- exkremente	Lagerung ¹⁾	symbiotische N ₂ -Fixierung	Stall	Aus- bringung ¹⁾
Ergebnisdaten - N-Aufnahme der Weidetiere ermittelt (Weidekäfigmethode)							
O	1999/2000	62 (67)	40 (40)	9 (13)	10 (10)	3 (3)	0 (0)
	2000/2001	57 (63)	38 (38)	12 (17)	6 (6)	1 (1)	1 (1)
M	1999/2000	108 (112)	66 (66)	10 (14)	20 (20)	8 (8)	4 (4)
	2000/2001	66 (71)	35 (35)	12 (18)	8 (8)	6 (6)	4 (4)
Gesamt		73 (78)	45 (45)	11 (16)	11 (11)	4 (4)	2 (2)
N-Aufnahme der Weidetiere nach geschätztem Energiebedarf (Richtlinien)							
O	1999/2000	50 (54)	28 (28)	9 (13)	10 (10)	3 (3)	0 (0)
	2000/2001	46 (52)	26 (26)	12 (17)	6 (6)	1 (1)	1 (1)
M	1999/2000	77 (81)	34 (34)	10 (14)	20 (20)	8 (8)	4 (4)
	2000/2001	60 (65)	29 (29)	12 (18)	8 (8)	6 (6)	4 (4)
Gesamt		58 (63)	29 (29)	11 (16)	11 (11)	4 (4)	2 (2)

¹⁾ von Stallmist

Tab. A 43: Vergleich der im Versuch ermittelten Stickstoffverluste mit den vom Energiebedarf nach Richtlinien abgeleiteten Stickstoffverlusten nach Bindungsform bei 20 (30) % NH₃-N-Lagerungsverlust des Mists (relativ)

TB	Versuchsjahr	N-Verlust (kg)	N-Verlust nach Bindungsform (%)		
			Nitrat	Ammoniak	Lachgas
Ergebnisdaten - N-Aufnahme der Weidetiere ermittelt (Weidekäfigmethode)					
O	1999/2000	1206 (1292)	64 (60)	33 (38)	3 (3)
	2000/2001	1109 (1215)	62 (56)	35 (41)	3 (2)
M	1999/2000	2032 (2118)	65 (62)	33 (35)	2 (2)
	2000/2001	1237 (1245)	53 (49)	44 (49)	3 (3)
Gesamt		5584 (5970)	61 (58)	36 (40)	3 (2)
N-Aufnahme der Weidetiere nach geschätztem Energiebedarf (Richtlinien)					
O	1999/2000	969 (1051)	62 (57)	35 (40)	3 (2)
	2000/2001	890 (997)	57 (51)	40 (47)	3 (2)
M	1999/2000	1441 (1526)	62 (57)	35 (41)	3 (2)
	2000/2001	1120 (1228)	57 (46)	40 (51)	3 (3)
Gesamt		4420 (4802)	58 (53)	40 (45)	3 (2)

Tab. A 44: Vergleich der im Versuch ermittelten Stickstoffverluste mit den vom Energiebedarf nach Richtlinien abgeleiteten Stickstoffverlusten nach Bindungsform bei 20 (30) % $\text{NH}_3\text{-N}$ -Lagerungsverlust des Mists (absolut)

TB	Versuchsjahr	N-Verlust (kg ha^{-1})	N-Verlust nach Bindungsform (kg ha^{-1})		
			Nitrat	Ammoniak	Lachgas
Ergebnisdaten - N-Aufnahme der Weidetiere ermittelt (Weidekäfigmethode)					
O	1999/2000	62 (67)	40 (40)	21 (25)	2 (2)
	2000/2001	57 (63)	36 (36)	20 (26)	2 (2)
M	1999/2000	108 (112)	70 (70)	35 (40)	3 (3)
	2000/2001	66 (71)	35 (35)	29 (35)	2 (2)
Gesamt		73 (78)	45 (45)	26 (31)	2 (2)
N-Aufnahme der Weidetiere nach geschätztem Energiebedarf (Richtlinien)					
O	1999/2000	50 (54)	31 (31)	18 (22)	1 (1)
	2000/2001	46 (52)	26 (26)	19 (24)	1 (1)
M	1999/2000	77 (81)	47 (46)	27 (33)	2 (2)
	2000/2001	60 (65)	34 (30)	24 (33)	2 (2)
Gesamt		58 (63)	34 (33)	23 (28)	2 (1)

Tab. A 45: Nutzungseffizienz der Futtertrockenmasse (Neff_T) auf der Weide unter Berücksichtigung der im Vergleich zur Weidekäfigmethode nach Energiebedarf geringeren Futteraufnahme¹

	1999		2000		2001	
	O	M	O	M	O	M
Neff _T der Herde (Kühe und Kälber)						
(kg IT kg LMZ^{-1})	12,3-13,1	10,2-10,8	9,5-12,5	10,7-17,4	15,2-19,3	11,7-13,4
(g LMZ kg IT^{-1})	82-76	98-93	106-80	93-57	66-52	86-74
Neff _T der Kälber						
($\text{kg IT}_{\text{Herde}} \text{ kg LMZ}_{\text{Kälber}}^{-1}$)	14,5-15,6	13,4-14,1	13,4-17,8	13,2-21,5	20,4-25,8	16,6-19,2
($\text{g LMZ}_{\text{Kälber}} \text{ kg IT}_{\text{Herde}}^{-1}$)	69-64	75-71	74-56	76-47	49-39	60-52

¹: Der erste Wert in der angegebenen Spanne stammt aus der Rückrechnung von der tierischen Leistung auf die Weidefutteraufnahme entsprechend dem Energiebedarf nach Richtlinien (Beifutter berücksichtigt), der zweite Wert entspricht dem vorgestellten Ergebnis in Kapitel 5; LMZ: Lebendmassezunahme; IT: aufgenommene Futtertrockenmasse

Tab. A 46: N-Verlust und N-Saldo 3 in der Hoftorbilanz und Gesamtflächenbilanz unter Berücksichtigung der im Vergleich zur Weidekäfigmethode nach Energiebedarf geringeren Futtermittelaufnahme¹

	1999/2000		2000/2001	
	O	M	O	M
Hoftorbilanz				
N-Verlust (kg ha ⁻¹)	50 - 62	76 - 107	45 - 57	59 - 65
N-Saldo 3 (kg ha ⁻¹)	-68 - -80	44 - 13	-30 - -41	22 - 16
Gesamtflächenbilanz				
N-Verlust (kg ha ⁻¹)	38 - 50	59 - 90	33 - 44	41 - 47
N-Saldo 3 (kg ha ⁻¹)	-28 - -41	68 - 36	-23 - -34	31 - 25

¹: Der erste Wert in der angegebenen Spanne stammt aus der Rückrechnung von der tierischen Leistung auf die Weidefuttermittelaufnahme entsprechend dem Energiebedarf nach Richtlinien (Beifutter berücksichtigt) und dem daraus resultierenden N-Verlust, der zweite Wert entspricht dem vorgestellten Ergebnis in Kapitel 5

Tab. A 47: Mineralstoffgehalte der eingesetzten Minerallecksteine

Element	Einheit	Sorte 1	Sorte 2
Natrium	(%)	11	27
Calcium	(%)	17	4,8
Phosphor	(%)	6,0	0
Magnesium	(%)	2,2	2,5
Zink	(mg kg ⁻¹)	3.150	10.500
Mangan	(mg kg ⁻¹)	2.625	8.500
Kupfer	(mg kg ⁻¹)	250	1.550
Eisen	(mg kg ⁻¹)	0	400
Jod	(mg kg ⁻¹)	100	300
Kobalt	(mg kg ⁻¹)	40	120
Selen	(mg kg ⁻¹)	10	30

Tab. A 48: Energiedichte, Inhaltstoffe und Zusammensetzung des eingesetzten Kraftfutters (Firma Reudink)

	NEL	ME	N	P	K	Mg
	(MJ kg T ⁻¹)			(g kg T ⁻¹)		
Energie und Inhaltsstoffe	6,8	10,6	24	6,5	10	4,5
Komponenten:	Triticale, Leinkuchen, Roggen, Grasgrünmehl, Lupinen, Melasse, Mineralstoffe, Spurenelement-Vitamin-Vormischung					

Tab. A 49: Futterqualität der im Sommerhalbjahr auf der Weide angebotenen Silage (Mittelwerte und Standardabweichung)

	1999/2000		2000/2001	
	O	M	O	M
	\bar{x} (s)	\bar{x} (s)	\bar{x} (s)	\bar{x} (s)
NEL (MJ kg T ⁻¹)	5,8 (k.A.)	6,5 (k.A.)	5,8 (0,3)	6,0 (0,3)
VQOS (% T)	70 (k.A.)	74 (k.A.)	68 (2,5)	71 (3,1)
XP (% T)	11,2 (k.A.)	14 (k.A.)	12,5 (1,2)	13,6 (1,9)
XA (% T)	11,8 (k.A.)	8,0 (k.A.)	8,4 (0,9)	9,7 (1,4)

k.A.: keine Angabe möglich

Tab. A 50: Nährstoffgehalte der im Sommerhalbjahr 1999/2000 und 2000/2001 auf der Weide angebotenen Silage (Mittelwerte und Standardabweichung)

	1999/2000		2000/2001	
	O	M	O	M
	\bar{x} (s)	\bar{x} (s)	\bar{x} (s)	\bar{x} (s)
N (% T)	1,80 (k.A.)	2,24 (k.A.)	2,00 (0,2)	2,17 (0,3)
P (% T)	0,31 (k.A.)	0,42 (k.A.)	0,36 (0,1)	0,35 (0,1)
K (% T)	2,07 (k.A.)	3,06 (k.A.)	2,02 (0,5)	3,18 (0,5)
Mg (% T)	0,21 (k.A.)	0,19 (k.A.)	0,24 (0,03)	0,19 (0,03)

k.A.: keine Angabe möglich

Tab. A 51: Einteilung der Kühe in die Teilbetriebe zu Weideauftrieb 1999

Teilbetrieb O			Teilbetrieb M		
Kuh- nummer	Herkunft	Gewicht (kg)	Kuh- nummer	Herkunft	Gewicht (kg)
3	L	590	1	L	695
6	L	630	2	L	630
8	L	660	4	L	640
10	L	580	5	L	630
11	L	530	7	L	620
12	L	540	9	L	650
13	L	595	26	L	600
57	K	580	51	K	600
58	K	525	54	K	650
59	K	580	60	K	460
63	K	520	65	K	640
68	K	680	79	K	710
77	K	560	84	K	460
78	K	720	85	K	590
80	K	700	93	K	650
81	K	770	95	K	615
86	K	620	96	K	630
88	K	550	97	K	640
90	K	530	98	K	680
94	K	680	100	K	550

K: Kreuzung; L: Limousin

Tab. A 52: Einteilung der Kühe in die Teilbetriebe für das erste Versuchsjahr

Ifd. Nr.	Teilbetrieb O				Teilbetrieb M			
	Kuh- nummer	Herkunft	Gewicht [kg]	Deckbulle Nr.	Kuh- nummer	Herkunft	Gewicht [kg]	Deckbulle Nr.
1	89	K	660	2	82	K	770	2
2	90	K	585	2	51	K	740	3
3	92	K	700	2	62	K	670	3
4	57	K	700	3	87	K	780	3
5	58	K	630	3	96	K	750	3
6	59	K	730	3	53	K	660	1
7	91	K	770	3	55	K	730	1
8	63	K	590	1	56	K	730	1
9	83	K	680	1	60	K	580	1
10	86	K	670	1	65	K	750	1
11	88	K	630	1	76	K	700	1
12	7	L	670		97	K	730	1
13	25	L	660	4	27	L	610	2
14	22	L	630	2	28	L	620	2
15	15	L	650	1	29	L	610	2
16	24	L	650	1	31	L	660	2
17	19	L	650		14	L	670	1
18	20	L	640		16	L	700	1
19	21	L	640		18	L	670	1
20	23	L	630		32	L	610	

K: Kreuzung; L: Limousin

Tab. A 53: Einteilung der Kühe in die Teilbetriebe für das zweite Versuchsjahr

Nr.	Kuh		Deckbulle Nr.	Tageszunahme Kalb, Weideperiode 2000 (g Kalb ⁻¹ d ⁻¹)
	Herkunft	Gewicht [kg]		
Teilbetrieb O				
63	K	628	1	1.271
83	K	672	1	1.254
89	K	603	1	1.017
71	K	648	1	904
97	K	754	1	887
59	K	730	1	864
96	K	720	4	1.395
51	K	799	4	1.316
55	K	773	4	966
82	K	785	4	932
25	L	739	1	1.079
15	L	731	1	994
4	L	894	1	-
11	L	683	2	-
9	L	842	2	-
10	L	814	2	-
13	L	839	3	-
28	L	745	4	1.237
31	L	720	4	1.130
14	L	712	4	904
Teilbetrieb M				
57	K	753	1	1.260
86	K	691	1	1.181
91	K	780	1	1.011
58	K	697	1	876
90	K	595	1	893
65	K	826	4	1.034
87	K	757	4	1.379
75	K	711	4	1.299
73	K	687	4	1.000
19	L	679	1	1.249
23	L	705	1	1.158
22	L	699	1	1.071
24	L	804	1	983
7	L	811	1	-
8	L	906	2	-
6	L	814	2	-
12	L	765	2	-
17	L	746	3	-
32	L	738	3	-
18	L	748	4	1.136

K: Kreuzung; L: Limousin

Tab. A 54: Funktionen der mittleren Lebendmasseentwicklung (in kg) und Bestimmtheitsmaße der Kühe und Kälber nach Kalendertagen (x)

Teilbetrieb	Jahr	Kühe bzw Kälber	Funktionen der Lebendmasseentwicklung	Bestimmtheitsmaß
Weide				
<u>Aus manuellen Wiegungen:</u>				
O	1999	Kühe	$y = -0,0009x^2 + 0,5698x + 550,78$	0,8707
O	1999	Kälber	$y = -0,0005x^2 + 1,2164x + 19,538$	0,9992
M	1999	Kühe	$y = -0,0017x^2 + 1,0512x + 509,37$	0,9216
M	1999	Kälber	$y = -0,0011x^2 + 1,4194x - 32,097$	0,9971
<u>Aus manuellen Wiegungen:</u>				
O	2000	Kühe	$y = 0,0002x^2 + 0,3947x + 566,98$	0,9533
O	2000	Kälber	$y = -0,0004x^2 + 1,2551x + 37,424$	0,9988
M	2000	Kühe	$y = 0,0012x^2 - 0,247x + 705,36$	0,8155
M	2000	Kälber	$y = 0,00005x^2 + 1,0835x + 64,971$	0,9981
<u>Aus elektronischen und manuellen Wiegungen:</u>				
O	2001	Kühe	$y = -0,0011x^2 + 0,7691x + 623,2$	0,7004
O	2001	Kälber	$y = -0,0002x^2 + 0,9586x + 96,557$	0,9895
M	2001	Kühe	$y = 0,0007x^2 + 0,1353x + 670,17$	0,6763
M	2001	Kälber	$y = -0,0006x^2 + 1,2753x + 45,937$	0,9814
Stall				
<u>Aus elektronischen Wiegungen</u>				
O	2000/2001	Kühe	$y = -0,0052x^2 + 0,6764x + 695,48$	0,7095
O	2000/2001	Kälber	$y = 0,0004x^2 + 1,0176x + 77,462$	0,9779
M	2000/2001	Kühe	$y = -0,0313x^2 + 5,5796x + 502,72$	0,8453
M	2000/2001	Kälber	$y = 0,0005x^2 + 0,9064x + 79,598$	0,9883

Tab. A 55: Vergleich der manuellen und elektronischen Wiegemethode nach dem Wilcoxon-Test aus Wiegedaten der Weideperiode 2001

Kälber bzw. Kühe	Kühe	Kälber	Kälber	Kälber	Kälber
Wiegedatum	10.09.	10.08.	13.08.	03.09.	10.09.
Anzahl Tiere	24	38	30	16	40
Mittelwerte (kg)					
Manuelle Wiegung	750	303	296	317	342
Elektronische Wiegung	747	299	283	317	338
Signifikanz nach Wilcoxon	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

n.s.: nicht signifikant

Tab. A 56: Ergebnis der varianzanalytischen Signifikanzprüfung der Lebendmasseentwicklung der Kälber im ersten Versuchsjahr 1999/2000

Varianzursache	FG	Lebendmasse zur Geburt	Lebendmasse am Lebenstag			
			150	200	250	300
Teilbetrieb	1	°	°	°	0,07	*
Geschlecht (G)	1	°	°	°	°	*
Herkunft Mutter (HM)	1	°	°	°	°	°
G x HM	1	°	°	°	°	0,13
Rest	37					
RMSE		5,4	27,6	31,5	33,7	34,9
B		0,07	0,05	0,08	0,17	0,31

FG: Freiheitsgrad; RMSE: Root Mean Square Error; B: Bestimmtheitsgrad;
Signifikanz: °: $p > 0,05$ (nicht signifikant); *: $p \leq 0,05$; ***: $p \leq 0,001$

Tab. A 57: Ergebnis der varianzanalytischen Signifikanzprüfung der Tageszunahme der Kälber im ersten Versuchsjahr 1999/2000

Varianzursache	FG	Tageszunahme im ... Lebenstagabschnitt					
		0-150	150-200	200-250	250-300	150-300	0-300
Teilbetrieb	1	0,17	**	**	*	**	*
Geschlecht (G)	1	°	***	***	***	***	*
Herkunft Mutter (HM)	1	°	°	°	°	°	°
G x HM	1	°	*	**	**	**	0,15
Rest	37						
RMSE		163,2	98,8	97,7	123,3	96,3	107,6
B		0,07	0,5	0,7	0,72	0,7	0,33

FG: Freiheitsgrad; RMSE: Root Mean Square Error; B: Bestimmtheitsgrad;
Signifikanz: °: $p > 0,05$ (nicht signifikant); *: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$; ***: $p \leq 0,001$

Tab. A 58: Ergebnis der varianzanalytischen Signifikanzprüfung der Lebendmasseentwicklung der Kälber im zweiten Versuchsjahr 2000/2001

Varianzursache	FG	Lebendmasse am Lebenstag					
		50	100	150	200	250	300
Kovariablen (GG)	1						
Teilbetrieb	1	°	°	°	0,1	*	*
Geschlecht	1	°	°	0,15	*	**	**
Herkunft der Mutter	1	°	°	0,18	°	°	°
Herkunft des Vaters	3	°	°	°	°	°	°
Rest an FG		31	31	31	31	31	29
RMSE		8,2	13,9	16,2	17,5	18	20,8
B		0,53	0,47	0,47	0,56	0,63	0,65

FG: Freiheitsgrad; GG: Geburtsgewicht; RMSE: Root Mean Square Error; B: Bestimmtheitsgrad;
Signifikanz: °: $p > 0,05$ (nicht signifikant); *: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$; ***: $p \leq 0,001$

Tab. A 59: Ergebnis der varianzanalytischen Signifikanzprüfung der Tageszunahme der Kälber im zweiten Versuchsjahr 2000/2001

Varianzursache	FG	Tageszunahme im Lebenstagabschnitt								
		0-50	50-100	100-150	150-200	200-250	250-300	0-150	150-300	0-300
Kovariable (GG)	1									
Teilbetrieb	1	°	°	°	0,054	0,065	**	°	°	*
Geschlecht	1	°	°	**	***	**	***	0,16	***	**
Herkunft Mutter	1	°	°	0,11	°	°	°	0,13	°	°
Herkunft Vater	3	°	°	°	*	*	**	°	*	°
Rest		31	31	30	30	31	27	31	28	27
RMSE		165	123,6	88,2	75,4	118,9	122,8	104,7	116,5	69,8
B		0,23	0,37	0,49	0,58	0,49	0,66	0,35	0,5	0,61

FG: Freiheitsgrad; GG: Geburtsgewicht; RMSE: Root Mean Square Error; B: Bestimmtheitsgrad;

Signifikanz: °: $p > 0,05$ (nicht signifikant); *: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$; ***: $p \leq 0,001$

Tab. A 60: Lebendmassen der Kälber im ersten Versuchsjahr 1999/2000 zu gleichen Lebenstagen, berechnet mit Hilfe polynomischer Funktionen zweiten Grades aus elektronischen Wiegedaten

Teil- betrieb	Tier- nummer	GG (kg)	LM150 (kg)	LM200 (kg)	LM250 (kg)	LM300 (kg)
O	15	46	201	253	305	358
O	19	43	224	285	347	409
O	20	40	171	223	280	342
O	22	35	119	161	210	266
O	23	41	210	269	328	388
O	24	38	170	220	273	329
O	25	36	188	241	296	353
O	38	47	220	270	315	357
O	57	41	208	270	335	403
O	58	35	200	250	297	342
O	59	30	180	225	268	308
O	63	37	192	254	321	392
O	70	25	187	238	289	339
O	71	36	175	220	265	310
O	83	53	230	294	359	426
O	86	40	205	265	327	392
O	88	44	222	271	315	354
O	91	47	229	283	333	380
O	92	44	157	205	258	316
O	891	41	204	256	307	357
O	892	35	163	213	266	323
M	14	39	205	254	301	344
M	16	41	212	268	324	380
M	18	38	221	279	337	394
M	28	40	231	295	359	423
M	29	36	196	247	297	346
M	31	39	209	266	324	382
M	51	37	162	224	296	378
M	53	35	184	240	298	360
M	55	35	194	244	292	339
M	56	46	213	266	319	371
M	60	37	188	247	309	376
M	62	45	227	290	356	422
M	65	45	236	292	343	391
M	69	40	198	254	311	370
M	73	35	198	251	302	353
M	74	27	136	180	229	281
M	75	41	218	281	346	412
M	76	41	191	236	279	319
M	82	41	234	286	332	372
M	87	42	245	315	386	457
M	96	42	188	254	328	411

GG: Geburtsgewicht (manuelle Wiegung); LM: Lebendmasse

Tab. A 61: Lebendmassen der Kälber im zweiten Versuchsjahr 2000/2001 zu gleichen Lebensstagen, berechnet mit Hilfe polynomischer Funktionen zweiten Grades aus elektronischen Wiegedaten

Teil- betrieb	Tier- nummer	GG (kg)	LM50 (kg)	LM100 (kg)	LM150 (kg)	LM200 (kg)	LM250 (kg)	LM300 (kg)
O	4	47	120	184	241	290	330	363
O	5	49	113	172	226	274	318	357
O	9	47	112	174	232	287	338	386
O	10	42	100	155	208	257	303	346
O	11	45	96	143	187	228	264	298
O	13	53	118	181	241	300	357	412
O	14	45	110	170	226	278	325	367
O	15	43	105	162	214	260	300	335
O	25	42	95	145	191	233	273	308
O	28	52	124	187	241	286	322	349
O	31	50	97	147	200	256	315	377
O	51	42	92	144	199	257	317	379
O	59	42	78	119	167	220	280	345
O	63	41	88	122	.	.	.	.
O	71	44	106	165	219	269	315	358
O	74	44	.	.	214	263	308	348
O	82	50	104	157	208	258	306	353
O	83	51	122	188	249	306	359	407
O	89	42	106	162	212	254	290	318
O	96	50	118	181	240	293	341	384
O	97	38	87	136	183	230	276	.
M	6	38	104	164	219	268	312	350
M	7	45	108	170	231	293	354	414
M	8	41	104	164	219	271	318	362
M	12	40	99	156	212	267	320	371
M	17	38	90	144	199	255	313	373
M	18	49	110	171	231	291	350	409
M	19	43	99	152	202	249	293	334
M	22	40	92	144	196	247	298	348
M	23	42	106	165	219	268	312	351
M	24	42	69	100	137	178	225	276
M	32	51	112	171	229	286	341	394
M	56	55	.	.	.	322	381	437
M	57	43	98	153	207	261	314	366
M	58	38	87	135	182	228	273	317
M	65	44	109	172	233	292	349	405
M	73	44	85	130	178	230	285	.
M	75	41	104	153	188	.	.	.
M	86	43	92	141	188	234	279	324
M	87	51	110	166	219	270	319	365
M	90	40	101	158	210	257	300	339
M	91	44	110	170	224	271	311	345

GG: Geburtsgewicht (manuelle Wiegung); LM: Lebendmasse; .: In diesem Lebensalter war dieses Tier nicht im Teilbetrieb, da es bspw. ausgetauscht wurde oder zu jung war, um den 300. Lebenstag zu erreichen.

Tab. A 62: Einfluss der Herkunft des Vaters auf die Lebendmasseentwicklung und auf die Tageszunahme der Kälber im zweiten Versuchsjahr 2000/2001

n (LM / TZ)				Lebens- tage	Lebendmasse (LSM) (kg Kalb ⁻¹)				Lebenstag- abschnitt	Tageszunahme (g Kalb ⁻¹ d ⁻¹)			
1	2	3	4		1	2	3	4		1	2	3	4
20/19	7/7	3/3	12/10	0	45	45	45	45	0-50	1179	1208	1089	1144
19/19	7/7	3/3	10/10	50	103	105	99	102	50-100	1145	1143	1118	1109
19/18	7/7	3/3	10/10	100	159	161	154	156	100-150	1104	1064	1150	1058
18/18	7/7	3/3	11/10	150	214	213	212	209	150-200	1035 ^{ab}	997 ^a	1172 ^b	1060 ^{ab}
18/18	7/7	3/3	11/11	200	266	265	269	264	200-250	975 ^{ab}	928 ^a	1181 ^b	1031 ^{ab}
18/16	7/7	3/3	11/9	250	314	311	327	314	250-300	891 ^a	827 ^a	1164 ^b	914 ^a
17/18	7/7	3/3	10/11	300	359	353	386	364	0-150	1133	1127	1117	1098
/17	7/7	3/3	/9						150-300	966 ^{ab}	894 ^a	1166 ^b	985 ^{ab}
/16	7/7	3/3	/9						0-300	1043	1022	1131	1067

1,2,3 und 4: unterschiedliche Väter der Rasse Limousin; LSM: Least Square Mean; n: Anzahl Beobachtungen;
Signifikanz: Dargestellt durch unterschiedliche Hochbuchstaben mit $p \leq 0,05$; LM: Lebendmasse; TZ: Tageszunahme

Tab. A 63: Lebendmasseentwicklung und Tageszunahmen der Kälber in den Stall- und Weideperioden von 1999-2001 nach Geschlechtern

	Lebens- tag	Lebendmasse (LSM) (kg Kalb ⁻¹)		Lebenstag- abschnitt	Tageszunahme (LSM) (g Kalb ⁻¹ d ⁻¹)			
		w	m		w	m		
Manuelle Wiegung								
1999 / 2000	0	38,9	40,2	°				
	150	200	197	°	0-150	1.073	1.043	
	200	251	255	°	150-200	1.053	1.195	
	250	302	317	°	200-250	1.032	1.261	
	300	351	382	*	250-300	1.011	1.327	
					150-300	1.018	1.244	
					0-300	1.042	1.139	
Elektronische Wiegung								
2000 / 2001	0	45	45	°				
	50	102	102	°	0-50	1.152	1.158	
	100	156	159	°	50-100	1.094	1.164	
	150	208	217	°	100-150	1.034	1.154	
					0-150	1.087	1.150	
		200	259	273	*	150-200	1.001	1.131
		250	305	328	**	200-250	949	1.109
	300	350	381	**	250-300	819	1.079	
					150-300	909	1.097	
					0-300	1.011	1.121	

LSM: Least Square Mean; Signifikanz: °: $p > 0,05$; *: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$; ***: $p \leq 0,001$

□ :Stall ■ :Weide ■ :Stall und Weide m: männlich; w: weiblich

Tab. A 64: Lebendmasseentwicklung der Kühe in der Weideperiode 1999, Mittelwerte aus manueller Wiegung

Wiege- termin	n		Lebendmasse					
			Teilbetrieb O			Teilbetrieb M		
	O	M	(kg Kuh ⁻¹)	s	cv (%)	(kg Kuh ⁻¹)	s	cv (%)
1	20	20	607	73	12	617	65	10
2	20	20	621	76	12	636	62	10
3	20	20	633	73	11	647	64	10
4	20	20	639	70	11	670	66	10
5	20	20	633	66	10	658	72	11
6	20	20	640	67	10	674	76	11
7	20	20	651	68	10	677	75	11

Wiegetermin 1: Auftrieb; 7: Abtrieb; n: Anzahl Kühe; s: Standardabweichung; cv: Variationskoeffizient

Tab. A 65: Lebendmasseentwicklung der Kühe im ersten Versuchsjahr 1999/2000, Mittelwerte aus manueller Wiegung

Wiege- termin	n		Lebendmasse					
			Teilbetrieb O			Teilbetrieb M		
	O	M	(kg Kuh ⁻¹)	s	cv (%)	(kg Kuh ⁻¹)	s	cv (%)
1	20	20	645	44	8	680	60	7
2	20	20	619	59	9	699	60	9
3	20	20	616	50	8	680	56	8
4	20	20	633	52	8	703	54	8
5	20	20	659	54	8	705	54	8
6	20	20	665	61	9	712	51	7
7	20	20	675	57	8	713	53	7
8	20	20	696	57	8	722	54	7
9	20	20	693	56	8	737	57	8
Veränderung der LM im Stall			- 26			+ 19		
Zunahme der LM auf der Weide			74			38		

Wiegetermin 1: Einstellung 1999, 2: Auftrieb 2000, 9: Abtrieb 2000; n: Anzahl Kühe; s: Standardabweichung; cv: Variationskoeffizient; LM: Lebendmasse

Tab. A 66: Manuelle Ergänzungswiegungen zur elektronischen Wiegung der Kühe im zweiten Versuchsjahr

Wiege- datum O / M	n		Lebendmasse					
	O	M	Teilbetrieb O			Teilbetrieb M		
			(kg Kuh ⁻¹)	s	cv (%)	(kg Kuh ⁻¹)	s	cv (%)
Einstellung	20	20	744	76	10	747	68	9
Auftrieb ^a	20	20	697	66	9	704	74	11
13.08. / 10.08.	20	20	732	61	8	761	72	9
03.09. / 10.09.	20	20	745	62	8	770	73	9
31.10.(Abtrieb)	20	20	768	60	8	771	78	10
Veränderung der LM im Stall			- 47			- 43		
Zunahme der LM auf der Weide			71			67		

n: Anzahl Kühe; s: Standardabweichung; cv: Variationskoeffizient; LM: Lebendmasse

^a: aus elektronischer Wiegung

Tab. A 67: Mittlere Nährstoffgehalte im ersten, zweiten und dritten Weideaufwuchs nach DLG (1973)

Aufwuchs	P			K			Mg		
	(g kg T ⁻¹)	n	s	(g kg T ⁻¹)	n	s	(g kg T ⁻¹)	n	s
1	3,9	(979)	0,7	30	(845)	6	1,9	(665)	0,5
2	3,8	(107)	0,5	31	(99)	5	1,8	(43)	0,1
3	4,2	(260)	0,9	32	(202)	7	2,0	(79)	0,4

n: Einzeluntersuchungen, s: Streuung

Tab. A 68: Nährstoffgehalte der Einstreu nach Strohart (Mittelwerte und Standardabweichungen)

Strohart	Probenzahl	N (%)		P (%)		K (%)		Mg (%)	
		\bar{x} (s)							
1999/2000	Hafer	5	0,53 (0,14)	0,10 (0,04)	2,36 (0,16)	0,07 (0,04)			
	Weizen	10	0,45 (0,20)	0,10 (0,03)	1,30 (0,27)	0,08 (0,04)			
	Sommerroggen	3	0,45 (0,01)	0,06 (0,01)	1,10 (0,03)	0,04 (0,00)			
2000/2001	Gerste	17	0,81 (0,29)	0,11 (0,03)	1,27 (0,32)	0,06 (0,01)			
	Hafer	1	0,73	0,09	2,26	0,05			
	Weizen	27	0,61 (0,15)	0,08 (0,02)	0,61 (0,33)	0,04 (0,02)			
	Triticale	12	0,43 (0,09)	0,09 (0,02)	1,00 (0,36)	0,03 (0,01)			

Tab. A 69: Nährstoffmengen im Tiefstremist, abgeleitet aus der Schätzwert-Stallbilanz

	1999/2000		2000/2001	
	O	M	O	M
(kg ha ⁻¹ Teilbetriebsfläche)				
N	43	45	55	57
P	8	10	10	11
K	71	92	65	85
Mg	5	6	6	6
(g GV ⁻¹ d ⁻¹)				
N	156	150	162	165
P	31	35	29	31
K	259	305	190	244
Mg	19	19	19	17

Tab. A 70: Bestimmte Frischmassemengen und Nährstoffgehalte im Tiefstremist (Mittelwerte und Standardabweichungen)

	Abteil	FM (kg)	n	N (%)		P (%)		K (%)		Mg (%)	
				\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
1999 / 2000	O										
	Kälberschlupf	6.777	3	0,69 (0,01)	0,13 (0,03)	1,11 (0,09)	0,09 (0,02)				
	Fressgang	33.564	13	0,47 (0,08)	0,09 (0,01)	0,75 (0,26)	0,06 (0,01)				
	Liegefläche	100.229	12	0,57 (0,05)	0,11 (0,02)	0,95 (0,13)	0,07 (0,01)				
	Gesamt	140.569	28	0,55 (0,06)	0,11 (0,02)	0,91 (0,16)	0,07 (0,01)				
	M										
	Kälberschlupf	7.606	3	0,67 (0,10)	0,12 (0,03)	0,90 (0,18)	0,08 (0,00)				
	Fressgang	32.597	13	0,50 (0,07)	0,10 (0,01)	0,77 (0,28)	0,07 (0,01)				
Liegefläche	104.989	11	0,55 (0,06)	0,11 (0,01)	1,00 (0,17)	0,07 (0,01)					
Gesamt	145.192	27	0,55 (0,07)	0,11 (0,01)	0,95 (0,19)	0,07 (0,01)					
2000 / 2001	O										
	Kälberschlupf	5.541	10	0,52 (0,01)	0,10 (0,00)	0,67 (0,02)	0,07 (0,00)				
	Fressgang	58.471	6	0,41 (0,03)	0,10 (0,02)	0,43 (0,13)	0,07 (0,01)				
	Liegefläche	137.440	30	0,64 (0,01)	0,10 (0,00)	0,85 (0,01)	0,09 (0,00)				
	Gesamt	201.452	46	0,57 (0,07)	0,10 (0,02)	0,72 (0,14)	0,08 (0,01)				
	M										
	Kälberschlupf	9.708	10	0,61 (0,01)	0,10 (0,00)	0,78 (0,01)	0,07 (0,00)				
	Fressgang	58.330	7	0,47 (0,04)	0,09 (0,01)	0,56 (0,19)	0,06 (0,00)				
Liegefläche	128.149	30	0,61 (0,01)	0,10 (0,00)	0,83 (0,02)	0,07 (0,00)					
Gesamt	196.187	47	0,57 (0,06)	0,09 (0,01)	0,75 (0,18)	0,07 (0,01)					

Tab. A 71: Anteile der N-Verluste vom Entstehungsort am N-Verlust der Teilbetriebe insgesamt und nach Bindungsformen

TB	Versuchsjahr	N-Verlust (kg)	N-Verlust nach Entstehungsort (%)				Ausbringung ¹⁾
			Weidetier- exkremente	Lagerung ¹⁾	symbiontische N ₂ -Fixierung	Stall	
Anteil des N-Verlustes vom Entstehungsort am Gesamt-N-Verlust des TB's							
O	1999/2000	1209	64	15	16	5	0
	2000/2001	1109	66	21	10	2	1
M	1999/2000	2032	61	9	19	7	4
	2000/2001	1237	54	19	12	10	6
Anteil des NO₃⁻-N-Verlustes vom Entstehungsort am Gesamt- NO₃⁻-N-Verlust							
O	1999/2000	774	75	0	25	0	0
	2000/2001	686	84	0	16	0	k.A.
M	1999/2000	1319	71	0	29	0	k.A.
	2000/2001	656	78	0	22	0	k.A.
Anteil des NH₃-N-Verlustes vom Entstehungsort am Gesamt-NH₃-N-Verlust							
O	1999/2000	403	45	42	k.A.	13	0
	2000/2001	393	35	56	k.A.	5	3
M	1999/2000	664	41	27	k.A.	20	12
	2000/2001	545	25	41	k.A.	20	14
Anteil des N₂O-N-Verlustes vom Entstehungsort am Gesamt-N₂O-N-Verlust							
O	1999/2000	32	61	26	k.A.	13	k.A.
	2000/2001	29	58	36	k.A.	6	k.A.
M	1999/2000	50	61	17	k.A.	22	k.A.
	2000/2001	36	45	30	k.A.	25	k.A.

TB: Teilbetrieb; ¹⁾: von Mist und Mistsickerwasser; k.A.: keine Angabe

Tab. A 72: Mengen und Nährstoffgehalte der Bilanzposten in den Hofterbilanzen

	1999/2000					2000/2001				
	Menge (kg ha ⁻¹)	Nährstoffgehalte (%)				Menge (kg ha ⁻¹)	Nährstoffgehalte (%)			
	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg		
Teilbetrieb O										
Zufuhr										
Stapelmist (FM)	0					0				
Mistsickerwasser (T)	0					0				
Stroh (T)	1.548	0,47	0,09	1,51	0,07	1.682	0,66	0,09	0,98	0,05
Kraffutter (T)	28	2,62	0,71	1,09	0,49	0				
Mineralfutter	15	0,00	3,00	0,00	2,35	14	0,00	5,18	0,00	2,24
Ausfuhr										
Stapelmist (FM)	9.323	0,65	0,15	1,01	0,11	5.081	0,54	0,13	0,87	0,10
Mistsickerwasser (T)	79	4,31	1,25	13,43	2,24	37	4,31	1,25	13,43	2,24
Silage (T)	574	2,03	0,33	2,23	0,19	0				
Tiere (LMZ)	391	2,50	0,75	0,22	0,05	381	2,50	0,75	0,22	0,05
Teilbetrieb M										
Zufuhr										
Stapelmist (FM)	2.708	0,65	0,15	1,01	0,11	5.211	0,54	0,13	0,87	0,10
Mistsickerwasser (T)	81	4,31	1,25	13,43	2,24	0				
Stroh (T)	1.666	0,47	0,09	1,51	0,07	1.766	0,67	0,09	0,99	0,05
Kraffutter (T)	49	2,62	0,71	1,09	0,49	75	2,62	0,71	1,09	0,49
Mineralfutter	15	0,00	3,00	0,00	2,35	14	0,00	5,18	0,00	2,24
Ausfuhr										
Stapelmist (FM)	0					0				
Mistsickerwasser (T)	0					25	4,31	1,25	13,43	2,24
Silage (T)	0					0				
Tiere (LMZ)	427	2,50	0,75	0,22	0,05	406	2,50	0,75	0,22	0,05

FM: Frischmasse; T: Trockenmasse; LMZ: Lebendmassezunahme

Tab. A 73: Mengen und Nährstoffgehalte der Bilanzposten in den Messwert-Stallbilanzen

	1999/2000					2000/2001				
	Menge (kg ha ⁻¹)	Nährstoffgehalte (%)				Menge (kg ha ⁻¹)	Nährstoffgehalte (%)			
		N	P	K	Mg		N	P	K	Mg
Teilbetrieb O										
Zufuhr										
Silage (T)	2.030	2,05	0,36	2,34	0,20	2.481	1,99	0,35	1,95	0,22
Stroh (T)	1.548	0,47	0,09	1,51	0,07	1.682	0,66	0,09	0,98	0,05
Krafftfutter (T)	28	2,62	0,71	1,09	0,49	0				
Mineralfutter	7	0,00	3,00	0,00	2,35	7	0,00	4,36	0,00	2,28
Ausfuhr										
Stallmist (FM)	7.278	0,55	0,11	0,91	0,07	10.431	0,57	0,10	0,72	0,08
Tiere (LMZ)	157	2,50	0,75	0,22	0,05	173	2,50	0,75	0,22	0,05
Teilbetrieb M										
Zufuhr										
Silage (T)	2.248	2,23	0,42	2,98	0,19	2.538	2,21	0,38	2,65	0,19
Stroh (T)	1.666	0,47	0,09	1,51	0,07	1.766	0,67	0,09	0,99	0,05
Krafftfutter (T)	34	2,62	0,71	1,09	0,49	0				
Mineralfutter	8	0,00	3,00	0,00	2,35	7	0,00	4,36	0,00	2,28
Ausfuhr										
Stallmist (FM)	7.709	0,55	0,11	0,95	0,07	10.417	0,57	0,09	0,75	0,07
Tiere (LMZ)	234	2,50	0,75	0,22	0,05	170	2,50	0,75	0,22	0,05

FM: Frischmasse; T: Trockenmasse; LMZ: Lebendmassezunahme

Tab. A 74: Mengen und Nährstoffgehalte der Bilanzposten in den Gesamtflächenbilanzen

	1999					2000					2001				
	Menge (kg ha ⁻¹)	Nährstoffgehalte (%)				Menge (kg ha ⁻¹)	Nährstoffgehalte (%)				Menge (kg ha ⁻¹)	Nährstoffgehalte (%)			
		N	P	K	Mg		N	P	K	Mg		N	P	K	Mg
Teilbetrieb O															
Zufuhr															
Stapelmist (FM)	0					0					2.055	0,55	0,13	0,71	0,10
Mistsickerwasser	0					0					42	4,31	1,25	13,43	2,24
Beifutter Silage (T)	11	2,04	0,35	2,31	0,20	36	1,80	0,31	2,07	0,21	110	1,84	0,36	2,04	0,24
Kraftfutter (T)	0					0					0				
Mineralfutter	7	0,00	3,00	0,00	2,35	7	0,00	3,00	0,00	2,35	7	0,00	6,00	0,00	2,20
Ausfuhr															
Tiere (LMZ)	211	2,50	0,75	0,22	0,05	294	2,50	0,75	0,22	0,05	213	2,50	0,75	0,22	0,05
Silage (T)	2.640	2,04	0,35	2,31	0,20	2.591	2,00	0,35	1,96	0,22	2.380	2,06	0,31	1,91	0,21
Teilbetrieb M															
Zufuhr															
Stapelmist (FM)	11.627	0,65	0,15	1,01	0,11	12.269	0,65	0,15	1,01	0,11	14.772	0,56	0,13	0,87	0,09
Mistsickerwasser	161	4,31	1,25	13,43	2,24	161	4,31	1,25	13,43	2,24	55	4,31	1,25	13,43	2,24
Beifutter Silage (T)	25	2,23	0,42	2,98	0,19	105	2,24	0,42	3,05	0,19	580	2,03	0,37	3,25	0,19
Kraftfutter (T)	0	0,00	0,00	0,00	0,00	15	2,62	0,71	1,09	0,49	75	2,62	0,71	1,09	0,49
Mineralfutter	8	0,00	3,00	0,00	2,35	8	0,00	3,00	0,00	2,35	7	0,00	6,00	0,00	2,20
Ausfuhr															
Tiere (LMZ)	242	2,50	0,75	0,22	0,05	262	2,50	0,75	0,22	0,05	271	2,50	0,75	0,22	0,05
Silage (T)	2.353	2,23	0,42	2,98	0,19	3.247	2,20	0,37	2,78	0,19	3.224	2,33	0,34	2,69	0,21

FM: Frischmasse; T: Trockenmasse; LMZ: Lebendmassezunahme

Tab. A 75: Nährstoffbilanz der Koppel V9 (Wiese) – Teilbetrieb O, erstes Versuchsjahr 1999/2000

	Menge (kg ha ⁻¹)	Nährstoffgehalt (%)				Nährstoffmenge (kg ha ⁻¹)			
		N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Zufuhr									
Stapelmist (FM)	0					0	0	0	0
Mistsickerwasser	0					0	0	0	0
Beifutter Silage (T)	0					0	0	0	0
Krafftutter (T)	0					0	0	0	0
Mineralfutter	0					0	0	0	0
Summen						0	0	0	0
Ausfuhr									
Tiere (LMZ)	0					0	0	0	0
Silage (T)	5.604	1,98	0,35	2,07	0,23	111	19	116	13
Summen						111	19	116	13
Saldo 1						-111	-19	-116	-13
+ Deposition						20	1	4	4
+ N _{symbiotisch}						21			
Saldo 2						-71	-18	-112	-9
- Verluste						5	1	8	16
Saldo 3						-76	-19	-120	-25

LMZ: Lebendmassezunahme; FM: Frischmasse; T: Trockenmasse

Tab. A 76: Nährstoffbilanz der Koppel V10 (Mähweide) – Teilbetrieb O, erstes Versuchsjahr 1999/2000

	Menge (kg ha ⁻¹)	Nährstoffgehalt (%)				Nährstoffmenge (kg ha ⁻¹)			
		N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Zufuhr									
Stapelmist (FM)	0					0	0	0	0
Mistsickerwasser	0					0	0	0	0
Beifutter Silage (T)	0					0	0	0	0
Krafftutter (T)	0					0	0	0	0
Mineralfutter	4	0,00	3,00	0,00	2,35	0	0	0	0
Summen						0	0	0	0
Ausfuhr									
Tiere (LMZ)	165	2,50	0,75	0,22	0,05	4	1	0	0
Silage (T)	3.782	2,06	0,36	2,49	0,20	78	14	94	8
Summen						82	15	95	8
Saldo 1						-82	-15	-95	-8
+ Deposition						20	1	4	4
+ N _{symbiotisch}						32			
Saldo 2						-30	-14	-91	-4
- Verluste						21	1	8	16
Saldo 3						-52	-15	-99	-20

LMZ: Lebendmassezunahme; FM: Frischmasse; T: Trockenmasse

Tab. A 77: Nährstoffbilanz der Koppel B1 (Mähweide) – Teilbetrieb O, erstes Versuchsjahr 1999/2000

	Menge (kg ha ⁻¹)	Nährstoffgehalt (%)				Nährstoffmenge (kg ha ⁻¹)			
		N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Zufuhr									
Stapelmist (FM)	0					0	0	0	0
Mistsickerwasser	0					0	0	0	0
Beifutter Silage (T)	0					0	0	0	0
Krafftutter (T)	0					0	0	0	0
Mineralfutter	7	0,00	3,00	0,00	2,35	0	0	0	0
Summen						0	0	0	0
Ausfuhr									
Tiere (LMZ)	273	2,50	0,75	0,22	0,05	7	2	1	0
Silage (T)	2.619	1,95	0,35	1,93	0,21	51	9	51	6
Summen						58	11	51	6
Saldo 1						-58	-11	-51	-6
+ Deposition						20	1	4	4
+ N _{symbiotisch}						44			
Saldo 2						6	-10	-47	-2
- Verluste						54	1	8	16
Saldo 3						-48	-11	-55	-18

LMZ: Lebendmassezunahme; FM: Frischmasse; T: Trockenmasse

Tab. A 78: Nährstoffbilanz der Koppel B2 (Mähweide) – Teilbetrieb O, erstes Versuchsjahr 1999/2000

	Menge (kg ha ⁻¹)	Nährstoffgehalt (%)				Nährstoffmenge (kg ha ⁻¹)			
		N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Zufuhr									
Stapelmist (FM)	0					0	0	0	0
Mistsickerwasser	0					0	0	0	0
Beifutter Silage (T)	0					0	0	0	0
Krafftutter (T)	0					0	0	0	0
Mineralfutter	6	0,00	3,00	0,00	2,35	0	0	0	0
Summen						0	0	0	0
Ausfuhr									
Tiere (LMZ)	241	2,50	0,75	0,22	0,05	6	2	1	0
Silage (T)	3.892	1,94	0,34	1,76	0,21	76	13	69	8
Summen						82	15	69	8
Saldo 1						-82	-15	-69	-8
+ Deposition						20	1	4	4
+ N _{symbiotisch}						45			
Saldo 2						-16	-14	-65	-4
- Verluste						61	1	8	16
Saldo 3						-78	-15	-73	-20

LMZ: Lebendmassezunahme; FM: Frischmasse; T: Trockenmasse

Tab. A 79: Nährstoffbilanz der Koppel B6 („Mähweide“) – Teilbetrieb O, erstes Versuchsjahr 1999/2000

	Menge (kg ha ⁻¹)	Nährstoffgehalt (%)				Nährstoffmenge (kg ha ⁻¹)			
		N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Zufuhr									
Stapelmist (FM)	0					0	0	0	0
Mistsickerwasser	0					0	0	0	0
Beifutter Silage (T)	75	1,80	0,31	2,07	0,21	1	0	2	0
Krafftfutter (T)	0								
Mineralfutter	10	0,00	3,00	0,00	2,35	0	0	0	0
Summen						1	1	2	0
Ausfuhr									
Tiere (LMZ)	387	2,50	0,75	0,22	0,05	10	3	1	0
Silage (T)	1.294	2,08	0,37	1,93	0,24	27	5	25	3
Summen						37	8	26	3
Saldo 1						-35	-7	-24	-3
+ Deposition						20	1	4	4
+ N _{symbiotisch}						39			
Saldo 2						24	-6	-20	1
- Verluste						54	1	8	16
Saldo 3						-30	-7	-28	-15

LMZ: Lebendmassezunahme; FM: Frischmasse; T: Trockenmasse

Tab. A 80: Nährstoffbilanz der Koppel V1 (Wiese) – Teilbetrieb M, erstes Versuchsjahr 1999/2000

	Menge (kg ha ⁻¹)	Nährstoffgehalt (%)				Nährstoffmenge (kg ha ⁻¹)			
		N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Zufuhr									
Stapelmist (FM)	17.249	0,63	0,15	0,96	0,11	109	26	165	20
Mistsickerwasser	278	4,31	1,25	13,43	2,24	12	3	37	6
Beifutter Silage (T)	0					0	0	0	0
Krafftfutter (T)	0					0	0	0	0
Mineralfutter	1	0,00	3,00	0,00	2,35	0	0	0	0
Summen						121	30	202	26
Ausfuhr									
Tiere (LMZ)	13	2,50	0,75	0,22	0,05	0	0	0	0
Silage (T)	5.586	2,22	0,37	2,60	0,20	124	21	145	11
Summen						125	21	145	11
Saldo 1						-4	9	57	15
+ Deposition						20	1	4	4
+ N _{symbiotisch}						46			
Saldo 2						62	10	61	19
- Verluste						31	1	8	16
Saldo 3						32	9	53	3

LMZ: Lebendmassezunahme;^a: Nachbeweidung mit den Mutterkühen nach dem Absetzen;
FM: Frischmasse; T: Trockenmasse

Tab. A 81: Nährstoffbilanz der Koppel H6 (Wiese) – Teilbetrieb M, erstes Versuchsjahr 1999/2000

	Menge (kg ha ⁻¹)	Nährstoffgehalt (%)				Nährstoffmenge (kg ha ⁻¹)			
		N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Zufuhr									
Stapelmist (FM)	14.384	0,72	0,16	1,07	0,11	104	23	154	15
Mistsickerwasser	0					0	0	0	0
Beifutter Silage (T)	0					0	0	0	0
Krafftutter (T)	0					0	0	0	0
Mineralfutter	3	0,00	3,00	0,00	2,35	0	0	0	0
Summen						104	23	154	15
Ausfuhr									
Tiere (LMZ) ^a	46	2,50	0,75	0,22	0,05	1	0	0	0
Silage (T)	5.467	1,94	0,34	2,38	0,20	106	19	130	11
Summen						107	19	130	11
Saldo 1						-3	4	24	4
+ Deposition						20	1	4	4
+ N _{symbiotisch}						18			
Saldo 2						34	5	28	8
- Verluste						29	1	8	16
Saldo 3						6	4	20	-8

LMZ: Lebendmassezunahme;^a: Nachbeweidung mit den Mutterkühen nach dem Absetzen;

FM: Frischmasse; T: Trockenmasse

Tab. A 82: Nährstoffbilanz der Koppel V4 (Mähweide) – Teilbetrieb M, erstes Versuchsjahr 1999/2000

	Menge (kg ha ⁻¹)	Nährstoffgehalt (%)				Nährstoffmenge (kg ha ⁻¹)			
		N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Zufuhr									
Stapelmist (FM)	19.229	0,71	0,15	1,11	0,11	136	29	214	21
Mistsickerwasser	215	4,31	1,25	13,43	2,24	9	3	29	5
Beifutter Silage (T)	0					0	0	0	0
Krafftutter (T)	24	2,62	0,71	1,09	0,49	1	0	0	0
Mineralfutter	8	0,00	3,00	0,00	2,35	0	0	0	0
Summen						146	32	244	26
Ausfuhr									
Tiere (LMZ)	288	2,50	0,75	0,22	0,05	7	2	1	0
Silage (T)	3.166	2,34	0,40	3,34	0,20	74	13	106	6
Summen						81	15	106	6
Saldo 1						64	17	137	19
+ Deposition						20	1	4	4
+ N _{symbiotisch}						117			
Saldo 2						202	18	141	23
- Verluste						117	1	8	16
Saldo 3						84	17	133	7

LMZ: Lebendmassezunahme; FM: Frischmasse; T: Trockenmasse

Tab. A 83: Nährstoffbilanz der Koppel V6 (Weide) – Teilbetrieb M, erstes Versuchsjahr 1999/2000

	Menge (kg ha ⁻¹)	Nährstoffgehalt (%)				Nährstoffmenge (kg ha ⁻¹)			
		N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Zufuhr									
Stapelmist (FM)	0					0	0	0	0
Mistsickerwasser	0					0	0	0	0
Beifutter Silage (T)	389	2,24	0,42	3,05	0,19	9	2	12	1
Krafftfutter (T)	36	2,62	0,71	1,09	0,49	1	0	0	0
Mineralfutter	17	0,00	3,00	0,00	2,35	0	0	0	0
Summen						10	2	12	1
Ausfuhr									
Tiere (LMZ)	555	2,50	0,75	0,22	0,05	14	4	1	0
Silage (T)	0					0	0	0	0
Summen						14	4	1	0
Saldo 1						-4	-2	11	1
+ Deposition						20	1	4	4
+ N _{symbiotisch}						100			
Saldo 2						116	-1	15	5
- Verluste						150	1	8	16
Saldo 3						-34	-2	7	-11

LMZ: Lebendmassezunahme; FM: Frischmasse; T: Trockenmasse

Tab. A 84: Nährstoffbilanz der Koppel H8 (Mähweide) – Teilbetrieb M, erstes Versuchsjahr 1999/2000

	Menge (kg ha ⁻¹)	Nährstoffgehalt (%)				Nährstoffmenge (kg ha ⁻¹)			
		N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Zufuhr									
Stapelmist (FM)	13.192	0,58	0,13	0,94	0,09	76	17	124	12
Mistsickerwasser	179	4,31	1,25	13,43	2,24	8	2	24	4
Beifutter Silage (T)	0					0	0	0	0
Krafftfutter (T)	0					0	0	0	0
Mineralfutter	7	0,00	3,00	0,00	2,35	0	0	0	0
Summen						84	19	148	16
Ausfuhr									
Tiere (LMZ)	269	2,50	0,75	0,22	0,05	7	2	1	0
Silage (T)	3.734	2,07	0,35	2,79	0,18	77	13	104	7
Summen						84	15	105	7
Saldo 1						0	4	44	9
+ Deposition						20	1	4	4
+ N _{symbiotisch}						79			
Saldo 2						99	5	48	13
- Verluste						82	1	8	16
Saldo 3						16	4	40	-3

LMZ: Lebendmassezunahme; FM: Frischmasse; T: Trockenmasse

Tab. A 85: Nährstoffbilanz der Koppel V9 (Wiese) – Teilbetrieb O, zweites Versuchsjahr 2000/2001

	Menge (kg ha ⁻¹)	Nährstoffgehalt (%)				Nährstoffmenge (kg ha ⁻¹)			
		N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Zufuhr									
Stapelmist (FM)	0					0	0	0	0
Mistsickerwasser	0					0	0	0	0
Beifutter Silage (T)	0					0	0	0	0
Krafftutter (T)	0					0	0	0	0
Mineralfutter	0					0	0	0	0
Summen						0	0	0	0
Ausfuhr									
Tiere (LMZ)	0					0	0	0	0
Silage (T)	4.361	2,53	0,33	1,89	0,29	111	15	82	13
Summen						111	15	82	13
Saldo 1						-111	-15	-82	-13
+ Deposition						20	1	4	4
+ N _{symbiotisch}						19			
Saldo 2						-72	-14	-78	-9
- Verluste						5	1	8	16
Saldo 3						-76	-15	-86	-25

LMZ: Lebendmassezunahme; FM: Frischmasse; T: Trockenmasse

Tab. A 86: Nährstoffbilanz der Koppel V10 (Mähweide) – Teilbetrieb O, zweites Versuchsjahr 2000/2001

	Menge (kg ha ⁻¹)	Nährstoffgehalt (%)				Nährstoffmenge (kg ha ⁻¹)			
		N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Zufuhr									
Stapelmist (FM)	3.105	0,53	0,13	0,71	0,09	17	4	22	3
Mistsickerwasser	0					0	0	0	0
Beifutter Silage (T)	0					0	0	0	0
Krafftutter (T)	0					0	0	0	0
Mineralfutter	7	0,00	6,00	0,00	2,20	0	0	0	0
Summen						17	4	22	3
Ausfuhr									
Tiere (LMZ)	217	2,50	0,75	0,22	0,05	5	2	0	0
Silage (T)	2.408	2,47	0,35	2,47	0,20	59	8	60	5
Summen						65	10	60	5
Saldo 1						-48	-6	-38	-2
+ Deposition						20	1	4	4
+ N _{symbiotisch}						24			
Saldo 2						-5	-5	-34	2
- Verluste						37	1	8	16
Saldo 3						-41	-6	-42	-14

LMZ: Lebendmassezunahme; FM: Frischmasse; T: Trockenmasse

Tab. A 87: Nährstoffbilanz der Koppel B1 (Mähweide) – Teilbetrieb O, zweites Versuchsjahr 2000/2001

	Menge (kg ha ⁻¹)	Nährstoffgehalt (%)				Nährstoffmenge (kg ha ⁻¹)			
		N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Zufuhr									
Stapelmist (FM)	3.155	0,56	0,12	0,80	0,09	18	4	25	3
Mistsickerwasser	0					0	0	0	0
Beifutter Silage (T)	0					0	0	0	0
Krafftutter (T)	0					0	0	0	0
Mineralfutter	6	0,00	6,00	0,00	2,20	0	0	0	0
Summen						18	4	25	3
Ausfuhr									
Tiere (LMZ)	181	2,50	0,75	0,22	0,05	5	1	0	0
Silage (T)	3.625	1,87	0,27	1,54	0,21	68	10	56	7
Summen						72	11	56	8
Saldo 1						-55	-7	-31	-5
+ Deposition						20	1	4	4
+ N _{symbiotisch}						21			
Saldo 2						-14	-6	-27	-1
- Verluste						19	1	8	16
Saldo 3						-33	-7	-35	-17

LMZ: Lebendmassezunahme; FM: Frischmasse; T: Trockenmasse

Tab. A 88: Nährstoffbilanz der Koppel B2 (Weide) – Teilbetrieb O, zweites Versuchsjahr 2000/2001

	Menge (kg ha ⁻¹)	Nährstoffgehalt (%)				Nährstoffmenge (kg ha ⁻¹)			
		N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Zufuhr									
Stapelmist (FM)	0					0	0	0	0
Mistsickerwasser (T)	159	4,31	1,25	13,43	2,24	7	2	21	4
Beifutter Silage (T)	419	1,84	0,36	2,04	0,24	8	2	9	1
Krafftutter (T)	0					0	0	0	0
Mineralfutter	12	0,00	6,00	0,00	2,20	0	1	0	0
Summen						15	4	30	5
Ausfuhr									
Tiere (LMZ)	391	2,50	0,75	0,22	0,05	10	3	1	0
Silage (T)	0								
Summen						10	3	1	0
Saldo 1						5	1	29	5
+ Deposition						20	1	4	4
+ N _{symbiotisch}						15			
Saldo 2						40	2	33	9
- Verluste						52	1	8	16
Saldo 3						-13	1	25	-7

LMZ: Lebendmassezunahme; FM: Frischmasse; T: Trockenmasse

Tab. A 89: Nährstoffbilanz der Koppel B6 (Mähweide) – Teilbetrieb O, zweites Versuchsjahr 2000/2001

	Menge (kg ha ⁻¹)	Nährstoffgehalt (%)				Nährstoffmenge (kg ha ⁻¹)			
		N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Zufuhr									
Stapelmist (FM)	2.982	0,55	0,13	0,66	0,11	16	4	20	3
Mistsickerwasser (T)	0					0	0	0	0
Beifutter Silage (T)	0					0	0	0	0
Krafftutter (T)	0					0	0	0	0
Mineralfutter	5	0,00	6,00	0,00	2,20	0	0	0	0
Summen						16	4	20	3
Ausfuhr									
Tiere (LMZ)	148	2,50	0,75	0,22	0,05	4	1	0	0
Silage (T)	3.150	1,97	0,31	1,93	0,20	62	10	61	6
Summen						66	11	61	7
Saldo 1						-49	-7	-41	-3
+ Deposition						20	1	4	4
+ N _{symbiotisch}						28			
Saldo 2						-1	-6	-37	1
- Verluste						52	1	8	16
Saldo 3						-53	-7	-45	-15

LMZ: Lebendmassezunahme; FM: Frischmasse; T: Trockenmasse

Tab. A 90: Nährstoffbilanz der Koppel V1 (Wiese) – Teilbetrieb M, zweites Versuchsjahr 2000/2001

	Menge (kg ha ⁻¹)	Nährstoffgehalt (%)				Nährstoffmenge (kg ha ⁻¹)			
		N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Zufuhr									
Stapelmist (FM)	17.741	0,58	0,13	0,93	0,10	103	24	165	17
Mistsickerwasser (T)	0					0	0	0	0
Beifutter Silage (T)	0					0	0	0	0
Krafftutter (T)	0					0	0	0	0
Mineralfutter	0					0	0	0	0
Summen						103	24	165	17
Ausfuhr									
Tiere (LMZ)	0								
Silage (T)	5.085	2,48	0,36	2,58	0,23	126	18	131	12
Summen						126	18	131	12
Saldo 1						-23	6	34	5
+ Deposition						20	1	4	4
+ N _{symbiotisch}						24			
Saldo 2						21	7	38	9
- Verluste						11	1	8	16
Saldo 3						11	6	30	-7

LMZ: Lebendmassezunahme; FM: Frischmasse; T: Trockenmasse

Tab. A 91: Nährstoffbilanz der Koppel H6 (Wiese) – Teilbetrieb M, zweites Versuchsjahr 2000/2001

	Menge (kg ha ⁻¹)	Nährstoffgehalt (%)				Nährstoffmenge (kg ha ⁻¹)			
		N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Zufuhr									
Stapelmist (FM)	19.018	0,54	0,13	0,89	0,10	103	25	169	19
Mistsickerwasser (T)	0					0	0	0	0
Beifutter Silage (T)	0					0	0	0	0
Krafftutter (T)	0					0	0	0	0
Mineralfutter	0					0	0	0	0
Summen						103	25	169	19
Ausfuhr									
Tiere (LMZ)	0					0	0	0	0
Silage (T)	4.074	2,04	0,30	2,51	0,19	83	12	102	8
Summen						83	12	102	8
Saldo 1						20	12	67	11
+ Deposition						20	1	4	4
+ N _{symbiotisch}						15			
Saldo 2						55	13	71	15
- Verluste						8	1	8	16
Saldo 3						47	12	63	-1

LMZ: Lebendmassezunahme; FM: Frischmasse; T: Trockenmasse

Tab. A 92: Nährstoffbilanz der Koppel V4 (Weide) – Teilbetrieb M, zweites Versuchsjahr 2000/2001

	Menge (kg ha ⁻¹)	Nährstoffgehalt (%)				Nährstoffmenge (kg ha ⁻¹)			
		N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Zufuhr									
Stapelmist (FM)	0					0	0	0	0
Mistsickerwasser (T)	249	4,31	1,25	13,43	2,24	11	3	34	6
Beifutter Silage (T)	2.181	2,07	0,38	3,32	0,19	45	8	72	4
Krafftutter (T)	165	2,62	0,71	1,09	0,49	4	1	2	1
Mineralfutter	18	0,00	6,00	0,00	2,20	0	1	0	0
Summen						60	14	108	11
Ausfuhr									
Tiere (LMZ)	706	2,50	0,75	0,22	0,05	18	5	2	0
Silage (T)	0					0	0	0	0
Summen						18	5	2	0
Saldo 1						43	8	106	11
+ Deposition						20	1	4	4
+ N _{symbiotisch}						19			
Saldo 2						82	9	110	15
- Verluste						100	1	8	16
Saldo 3						-18	8	102	-1

LMZ: Lebendmassezunahme; FM: Frischmasse; T: Trockenmasse

Tab. A 93: Nährstoffbilanz der Koppel V6 (Mähweide) – Teilbetrieb M, zweites Versuchsjahr 2000/2001

	Menge (kg ha ⁻¹)	Nährstoffgehalt (%)				Nährstoffmenge (kg ha ⁻¹)			
		N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Zufuhr									
Stapelmist (FM)	20.380	0,55	0,12	0,79	0,08	113	24	161	17
Mistsickerwasser (T)	0					0	0	0	0
Beifutter Silage (T)	59	1,94	0,34	3,02	0,18	1	0	2	0
Krafftutter (T)	122	2,62	0,71	1,09	0,49	3	1	1	1
Mineralfutter	7	0,00	6,00	0,00	2,20	0	0	0	0
Summen						117	26	164	18
Ausfuhr									
Tiere (LMZ)	263	2,50	0,75	0,22	0,05	7	2	1	0
Silage (T)	3.292	2,36	0,35	3,10	0,21	78	12	102	7
Summen						84	14	103	7
Saldo 1						32	12	61	11
+ Deposition						20	1	4	4
+ N _{symbiotisch}						52			
Saldo 2						104	13	65	15
- Verluste						55	1	8	16
Saldo 3						49	12	57	-1

LMZ: Lebendmassezunahme; FM: Frischmasse; T: Trockenmasse

Tab. A 94: Nährstoffbilanz der Koppel H8 (Mähweide) – Teilbetrieb M, zweites Versuchsjahr 2000/2001

	Menge (kg ha ⁻¹)	Nährstoffgehalt (%)				Nährstoffmenge (kg ha ⁻¹)			
		N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Zufuhr									
Stapelmist (FM)	19.018	0,54	0,13	0,89	0,10	103	25	169	19
Mistsickerwasser (T)	0					0	0	0	0
Beifutter Silage (T)	515	1,79	0,32	2,87	0,18	9	2	15	1
Krafftutter (T)	36	2,62	0,71	1,09	0,49	1	0	0	0
Mineralfutter	7	0,00	6,00	0,00	2,20	0	0	0	0
Summen						113	27	184	20
Ausfuhr									
Tiere (LMZ)	279	2,50	0,75	0,22	0,05	7	2	1	0
Silage (T)	3.780	1,98	0,30	2,41	0,16	75	11	91	6
Summen						82	14	92	6
Saldo 1						32	13	92	13
+ Deposition						20	1	4	4
+ N _{symbiotisch}						25			
Saldo 2						76	14	96	17
- Verluste						39	1	8	16
Saldo 3						37	13	88	1

LMZ: Lebendmassezunahme; FM: Frischmasse; T: Trockenmasse

Tab. A 95: Übersicht über die Anzahl der Proben

Probenart	Jahr	Analyse auf	Teilbetrieb	
			O	M
			Anzahl Proben	
Boden	1999	N, P, K, C, pH	46	44
	2000	N, P, K, Mg, C, pH	123	132
	2002	N, P, K, Mg, C, pH	123	132
Silage	1999	T, NEL, VQOS, XP, XA, N, P, K, Mg	171	131
	2000	T, NEL, VQOS, XP, XA, N, P, K, Mg	150	165
	2001	T, (NEL, VQOS, XP, XA, N, P, K, Mg)	339 (84)	397(98)
Stroh	1999/2000	T, N, P, K, Mg	18 ^a	
	2000/2001	T, N, P, K, Mg	25	32
Mist und Mist-sickerwasser	1999/2000	FM, N, P, K, Mg	28 ^b	44
	2000/2001	FM, N, P, K, Mg	53	95
Weideaufwuchs	1999	T, NEL, VQOS, XP, XA, N	408	396
	2000	T, NEL, VQOS, XP, XA, N	595	549
	2001	T, NEL, VQOS, XP, XA, N	524	495

(): Mischproben^a: Beprobung für beide Teilbetriebe zusammen, ^b: keine Mistausbringung, sonstige Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis

Tab. A 96: Mediane zur statistischen Auswertung der Bodendaten mit dem Wilcoxon-Test (in mg 100g Boden⁻¹)

	Teilbetrieb O			Teilbetrieb M		
	1999	2000	2002	1999	2000	2002
N	3,7	3,6	4,0	4,0	3,6	4,4
P	3,3	3,0	4,0	4,1	3,8	5,1
K	12,3	10,4	15,3	26,1	25,0	34,7
Mg		4,5	3,6		4,0	3,9

Tab. A 97: Mediane zur statistischen Auswertung der Silagedaten mit dem Wilcoxon-Test

		1999/2000		2000/2001	
		O	M	O	M
NEL	(MJ kg T ⁻¹)	6,2	6,6	6,1	6
VQOS	(%, T)	70	75	70	71
XP	(%, T)	12,7	14,1	12,4	13,3
XA	(%, T)	7,1	8,3	7,9	9,7
N	(%, T)	2,03	2,25	1,98	2,12
P	(%, T)	0,17	0,20	0,17	0,19
K	(%, T)	2,30	2,92	1,91	2,60
Mg	(%, T)	0,10	0,10	0,11	0,09

Tab. A 98: Extern und intern bewegte Stickstoff- und Phosphormengen im Mittel beider Teilbetriebe und Versuchsjahre ohne Misttransfer (in kg ha⁻¹)

	N			P		
	\bar{x}	Min	Max	\bar{x}	Min	Max
Extern						
Zufuhr						
Deposition	20,0	20,0	20,0	1,0	1,0	1,0
N _{symbiotisch}	43,1	23,0	80,3			
Stroh	9,5	7,2	11,9	1,5	1,5	1,6
Krafftutter	1,0	1,3	2,0	0,3	0,0	1,6
Mineralfutter	0,0	0,0	0,0	0,6	0,5	0,7
Summe	73,6	51,6	114,2	3,4	2,9	4,9
Ausfuhr						
Verluste, davon	57,6	47,7	73,7	1,0	1,0	1,0
N-Stallmist	4,5	1,2	7,6			
N-Mistlager	10,8	9,2	12,4			
N-Mistausbringung	2,1	1,8	1,8			
N-Weidetierexkremente	37,1	26,5	65,7			
N _{symbiotisch}	10,8	5,8	20,1			
Silage	2,9	0,0	11,6	0,5	0,0	1,9
Tiere	10,0	9,8	9,8	3,0	2,9	3,2
Summe	78,3	54,2	129,0	4,5	3,9	6,1
Externe Nährstoffbewegung (NS_{ext})	151,9	105,8	243,2	7,9	6,9	11,0
Hoftorbilanz-Saldo 1	-2,5	-1,2	-7,5	-1,1	-1,0	-1,1
Hoftorbilanz-Saldo 2	60,7	41,8	92,8	-0,1	0,0	-0,1
Hoftorbilanz-Saldo 3 (Änderung des Boden-NS-Pools)	3,0	-5,8	19,1	-1,1	-1,0	-1,1
Intern						
Boden → Weidefutter → Retention _{Weide}	6,5	5,3	7,4	1,9	1,6	2,2
Boden → Weidefutter → Urin und Kot _{Weide}	104,7	81,5	168,5	12,3	9,4	16,5
Boden → Silage → Retention _{Stall}	4,6	4,3	5,8	1,4	1,3	1,8
Boden → Silage → Urin und Kot _{Stall}	49,3	41,6	56,1	8,7	7,4	9,5
Stroh im Mist → Boden	9,5	7,2	11,9	1,5	1,5	1,6
Kraft- u. Mineralfutter → Tier → Mist, Boden	1,0	1,3	2,0	0,9	0,5	2,3
Summe	175,6	141,3	251,6	26,8	21,5	33,9
Interne Nährstoffbewegung (NS_{int})	175,6	141,3	251,6	26,8	21,5	33,9
Gesamte Nährstoffbewegung (NS_{Gesamt})						
Nutzungs-Effizienz-NS_{Zufuhr 1} (Neff_{NSZufuhr 1}) (%)	13,6	18,9	8,6	88,5	100,1	64,7
Nutzungs-Effizienz-NS_{Zufuhr 2} (Neff_{NSZufuhr 2}) (%)	14,2	17,0	10,3	67,1	74,5	52,7
Nutzungs-Effizienz-NS_{Futter} (Neff_{NSFutter}) (%)	6,0	7,3	4,1	11,9	14,6	9,9
Nutzungs-Effizienz-NS_{Gesamt} (Neff_{NSGesamt}) (%)	5,4	6,6	3,6	11,2	13,6	9,4
Verlust-Ausfuhr-Relation (%)	73,6	87,9	57,1	22,3	25,5	16,5
Produkt (Tiere)-Verlust-Relation (%)	17,4	20,5	13,2	300,9	292,9	320,0

NS_{ext} = Zufuhr + Ausfuhr; NS_{int} = Summe INTERN; NS_{Gesamt} = NS_{int} + Verlust-N_{symbiotisch}; Saldo 1 = Zufuhr (Stroh, Kraft- und Mineralfutter) - Ausfuhr (Silage und Tiere); Saldo 2 = Saldo 1 + Deposition + N_{symbiotisch}; Saldo 3 = Saldo 2 - Verluste; Neff_{NSZufuhr 1} = Tiere * Zufuhr⁻¹ * 100; Neff_{NSZufuhr 2} = Tiere * (Zufuhr - Saldo 3)⁻¹ * 100; Neff_{NSFutter} = Tiere * (Weide-, Silage-, Kraft- u. Mineralfutter)⁻¹ * 100; Neff_{NSGesamt} = Tiere * (NS_{Gesamt})⁻¹ * 100

Tab. A 99: Extern und intern bewegte Kalium- und Magnesiummengen im Mittel beider Teilbetriebe und Versuchsjahre ohne Misttransfer (in kg ha⁻¹)

	K			Mg		
	\bar{x}	Min	Max	\bar{x}	Min	Max
Extern						
Zufuhr						
Deposition	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Stroh	20,7	16,5	25,2	1,1	1,0	1,0
Krafftutter	0,4	0,0	0,8	0,2	0,0	0,4
Mineralfutter	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,4
Summe	25,1	20,5	30,0	5,6	5,3	5,7
Ausfuhr						
Verluste	8,0	8,0	8,0	16,0	16,0	16,0
Silage	3,2	0,0	12,8	0,3	0,0	1,1
Tiere	0,9	0,8	0,9	0,2	0,2	0,2
Summe	12,1	8,8	21,8	16,5	16,2	17,3
Externe Nährstoffbewegung (NS_{ext})						
Hoftorbilanz-Saldo 1	16,9	15,6	12,3	1,1	1,1	0,4
Hoftorbilanz-Saldo 2	20,9	19,6	16,3	5,1	5,1	4,4
Hoftorbilanz-Saldo 3 (Änderung des Boden-NS-Pools)	12,9	11,6	8,3	-10,9	-10,9	-11,6
Intern						
Boden → Weidefutter → Retention _{Weide}	0,6	0,5	0,6	0,1	0,1	0,1
Boden → Weidefutter → Urin und Kot _{Weide}	107,9	85,5	141,1	7,1	5,5	9,0
Boden → Silage → Retention _{Stall}	0,4	0,3	0,5	0,1	0,1	0,1
Boden → Silage → Urin und Kot _{Stall}	57,4	47,5	67,3	4,6	4,3	4,9
Stroh im Mist → Boden	20,7	16,5	25,2	1,1	1,0	1,0
Kraft- u. Mineralfutter → Tier → Mist, Boden	0,4	0,0	0,8	0,5	0,3	0,7
Summe	187,4	150,2	235,5	13,6	11,3	15,8
Interne Nährstoffbewegung (NS_{int})						
Gesamte Nährstoffbewegung (NS_{Gesamt})	187,4	150,2	235,5	13,6	11,3	15,8
Nutzungs-Effizienz-NS _{Zufuhr 1} (Neff _{NSZufuhr 1}) (%)	3,5	4,1	3,1	3,6	3,6	3,7
Nutzungs-Effizienz-NS _{Zufuhr 2} (Neff _{NSZufuhr 2}) (%)	7,3	9,5	4,3	1,2	1,2	1,2
Nutzungs-Effizienz-NS _{Futter} (Neff _{NSFutter}) (%)	0,5	0,6	0,4	1,6	1,8	1,4
Nutzungs-Effizienz-NS _{Gesamt} (Neff _{NSGesamt}) (%)	0,5	0,6	0,4	1,5	1,7	1,3
Verlust-Ausfuhr-Relation (%)	66,0	90,5	36,8	97,1	98,8	92,3
Produkt-Verlust-Relation (%)	11,0	10,5	11,7	1,3	1,2	1,3

NS_{ext} = Zufuhr + Ausfuhr; NS_{int} = Summe INTERN; NS_{Gesamt} = NS_{int} + Verlust-N_{symbiotisch}; Saldo 1 = Zufuhr (Stroh, Kraft- und Mineralfutter) - Ausfuhr (Silage und Tiere); Saldo 2 = Saldo 1 + Deposition + N_{symbiotisch}; Saldo 3 = Saldo 2 - Verluste; Neff_{NSZufuhr 1} = Tiere * Zufuhr⁻¹ * 100; Neff_{NSZufuhr 2} = Tiere * (Zufuhr - Saldo 3)⁻¹ * 100; Neff_{NSFutter} = Tiere * (Weide-, Silage-, Kraft- u. Mineralfutter)⁻¹ * 100; Neff_{NSGesamt} = Tiere * (NS_{Gesamt})⁻¹ * 100

Tab. A 100: Vergleich der N-Verluste aus Weidetierexkrementen zwischen Mutterkuh- und Ammenkuhhaltung nach geschätztem Energiebedarf mit Hilfe der in Kapitel 4.5 angegebenen Gleichungen zum Erhaltungs- und Leistungsbedarf der Tiere

Jahr	Teilbetrieb O				Teilbetrieb M			
	N _{gesamt}	NO ₃ ⁻ -N	NH ₃ -N	N ₂ O-N	N _{gesamt}	NO ₃ ⁻ -N	NH ₃ -N	N ₂ O-N
20 Mutterkühe mit 20 Kälbern, (in kg ha⁻¹)								
1999	17,4	13,1	3,8	0,4	18,9	14,4	4,0	0,5
2000	27,9	21,0	6,2	0,7	34,3	25,9	7,6	0,9
2001	26,5	20,3	5,5	0,6	29,1	22,4	6,0	0,7
10 Ammenkühe mit 20 Kälbern, (in kg ha⁻¹)								
1999	13,3	10,1	2,9	0,3	14,4	11,0	3,0	0,4
2000	20,9	15,7	4,6	0,5	26,2	19,8	5,7	0,6
2001	19,4	15,0	4,0	0,5	21,7	16,8	4,4	0,5
Reduktion der N-Verluste im Vergleich zur Mutterkuhhaltung (in %)								
1999	23,5	23,1	24,8	24,7	23,9	23,5	25,1	25,1
2000	25,3	25,0	26,0	25,9	23,6	23,4	24,4	24,4
2001	26,5	26,3	27,3	27,2	25,4	25,1	26,2	26,2

9.2 Abbildungen

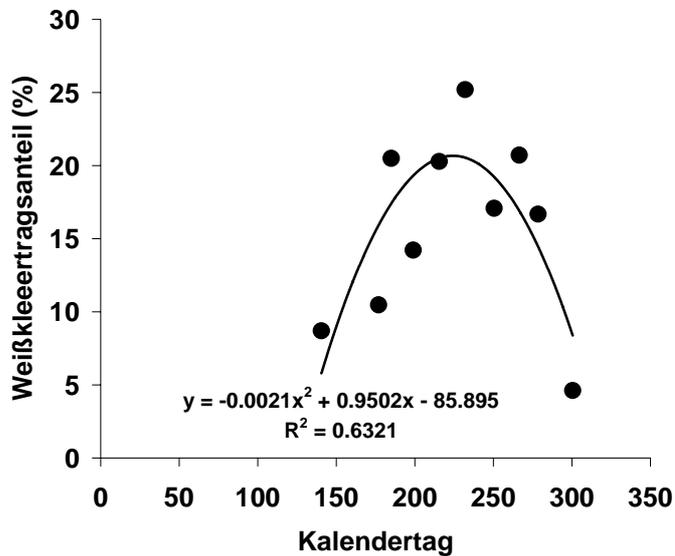


Abb. A 1: Mittlere Weißkleeertragsanteile je Koppelumtrieb in der Weideperiode 2000 in Teilbetrieb O

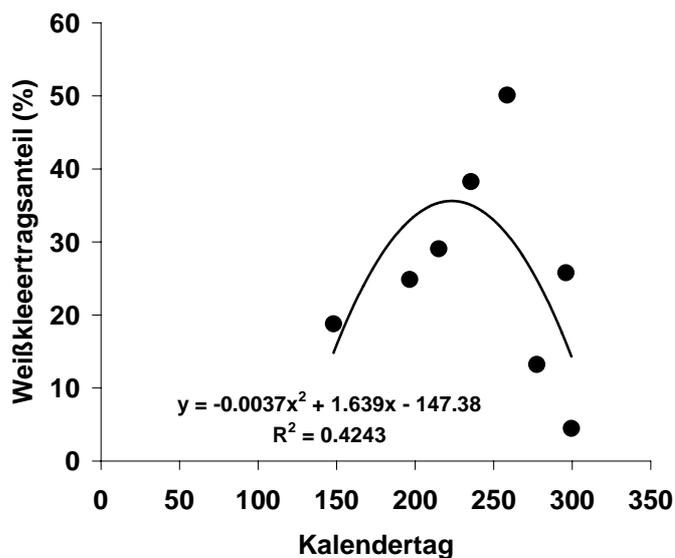


Abb. A 2: Mittlere Weißkleeertragsanteile je Koppelumtrieb in der Weideperiode 2000 in Teilbetrieb M

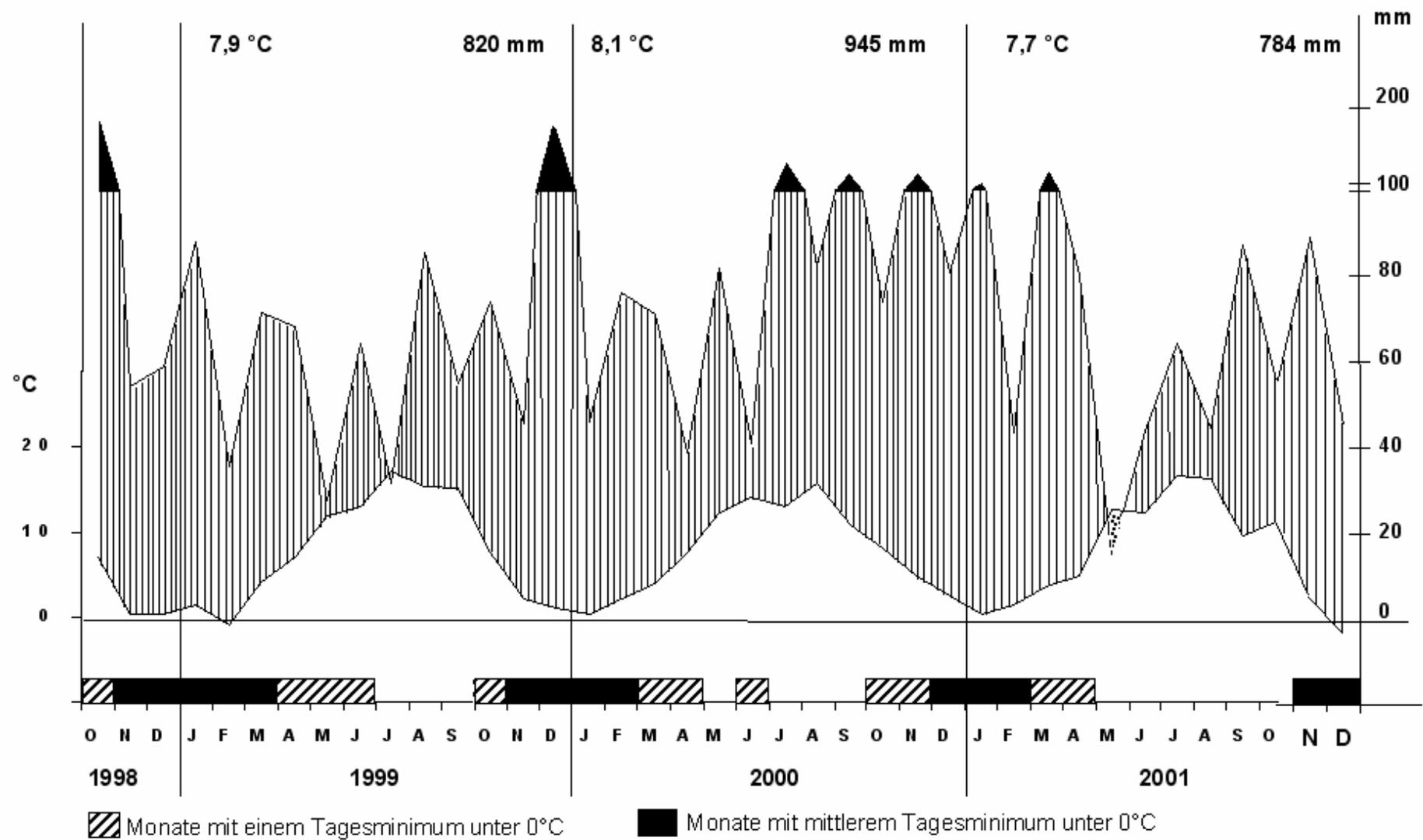


Abb. A 3: Klimadiagramme von Oktober 1998 bis Dezember 2001 nach WALTER (1975)

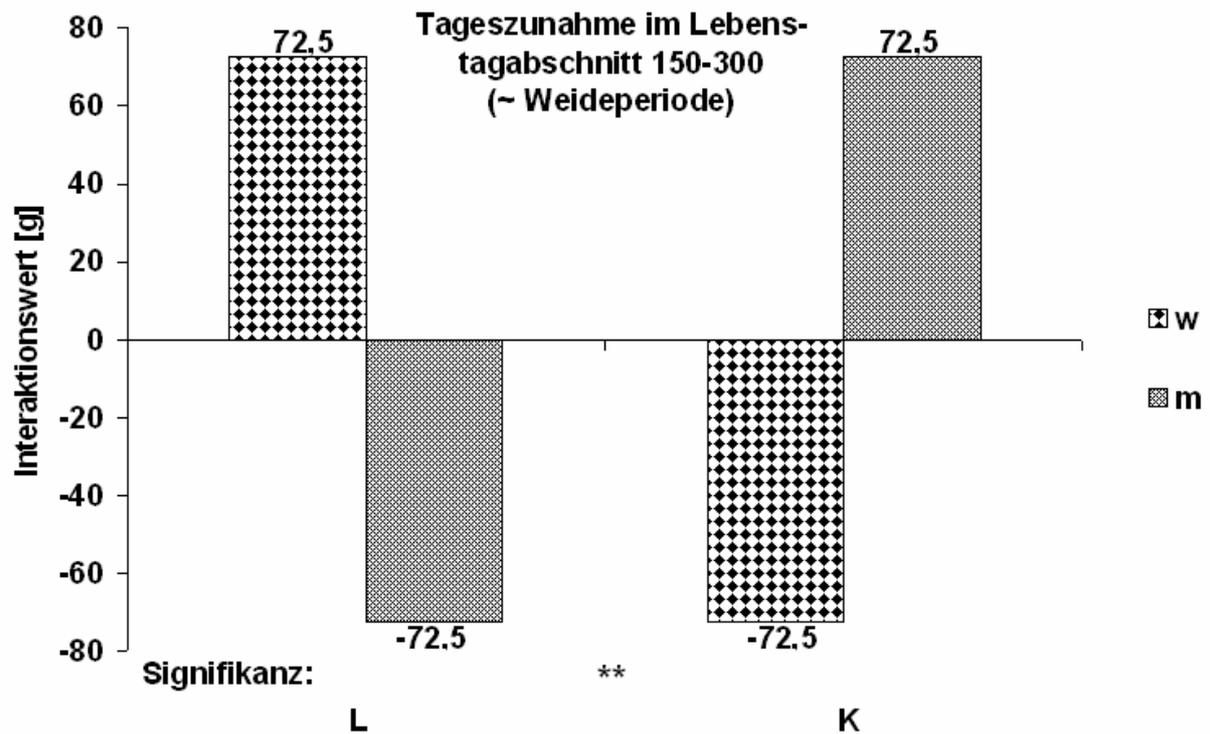


Abb. A 4: Wechselwirkung zwischen dem Geschlecht des Kalbes und der Herkunft der Mutter im Merkmal Tageszunahme im Lebenstagabschnitt 150-300 im Jahr 1999/2000, LSM. Abk.: w: weiblich; m: männlich; L: Limousin; K: Kreuzung; die Interaktion ist nach Ausschaltung der linearen Effekte in Interaktionswerten dargestellt. Die Interaktionswerte ergeben sich durch Subtraktion der zu einem Merkmalswert zugehörigen Mittelwerte aus den linearen Effekten unter Addition des Totalmittels.

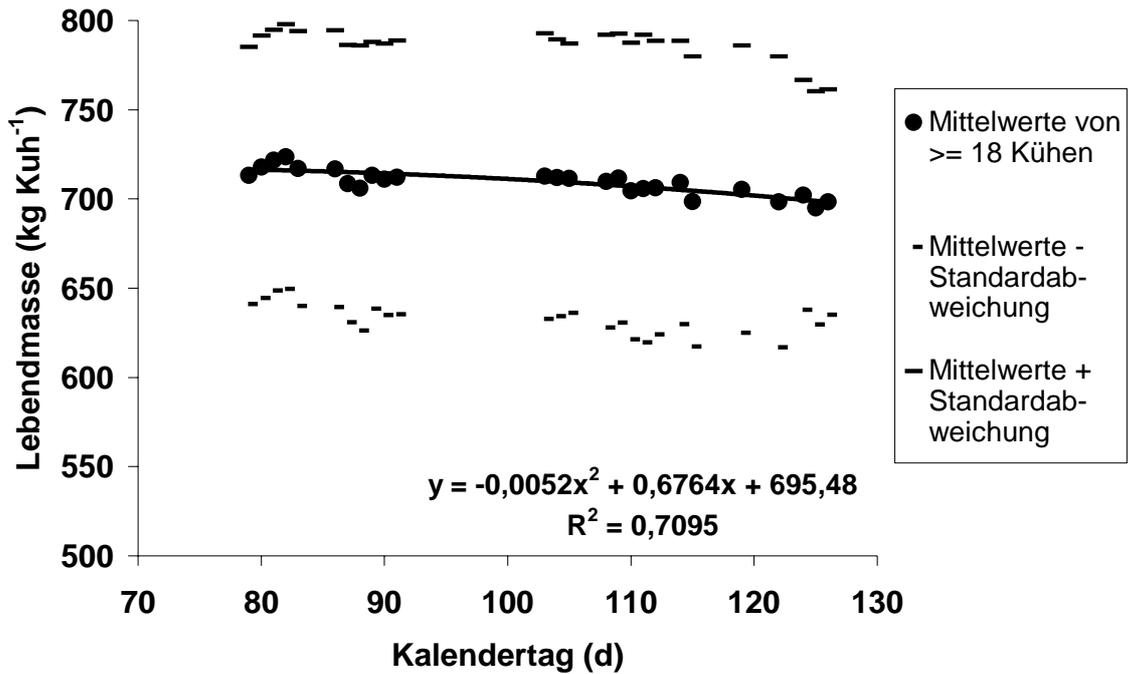


Abb. A 5: Lebendmasseentwicklung der Kühe von Teilbetrieb O im Stall des zweiten Versuchsjahres. Die Wiegung begann mit Inbetriebnahme des automatischen Elektronik-Wiegesystems am 79. Kalendertag des Jahres 2001.

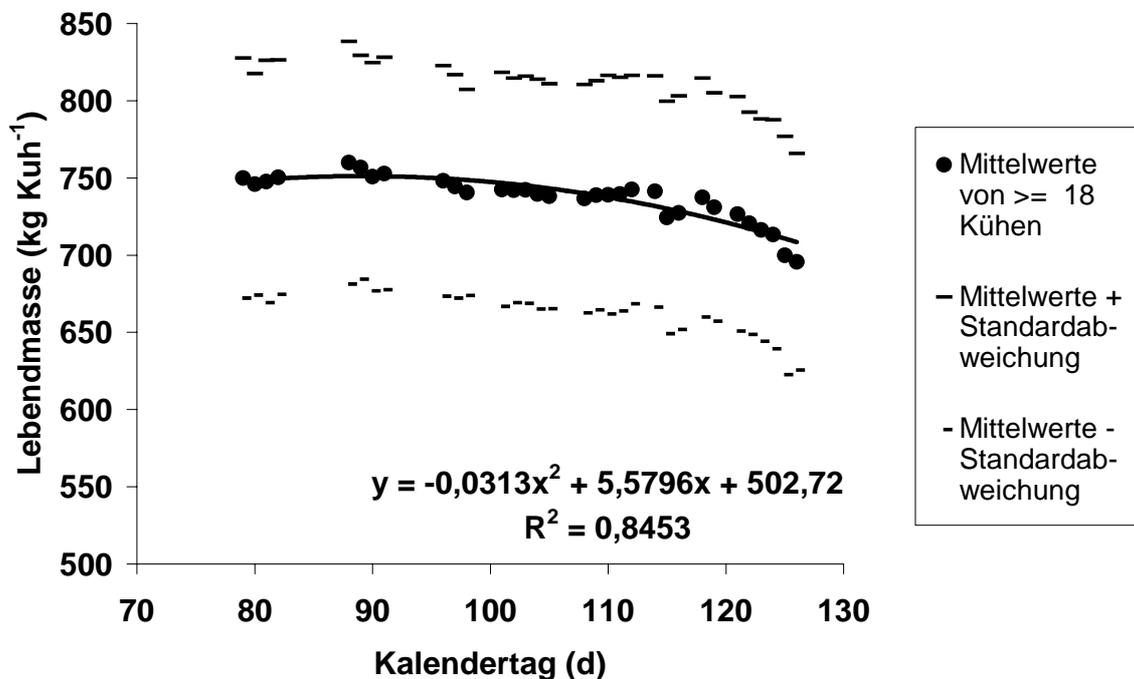


Abb. A 6: Lebendmasseentwicklung der Kühe von Teilbetrieb M im Stall des zweiten Versuchsjahres. Die Wiegung begann mit Inbetriebnahme des automatischen Elektronik-Wiegesystems am 79. Kalendertag des Jahres 2001.

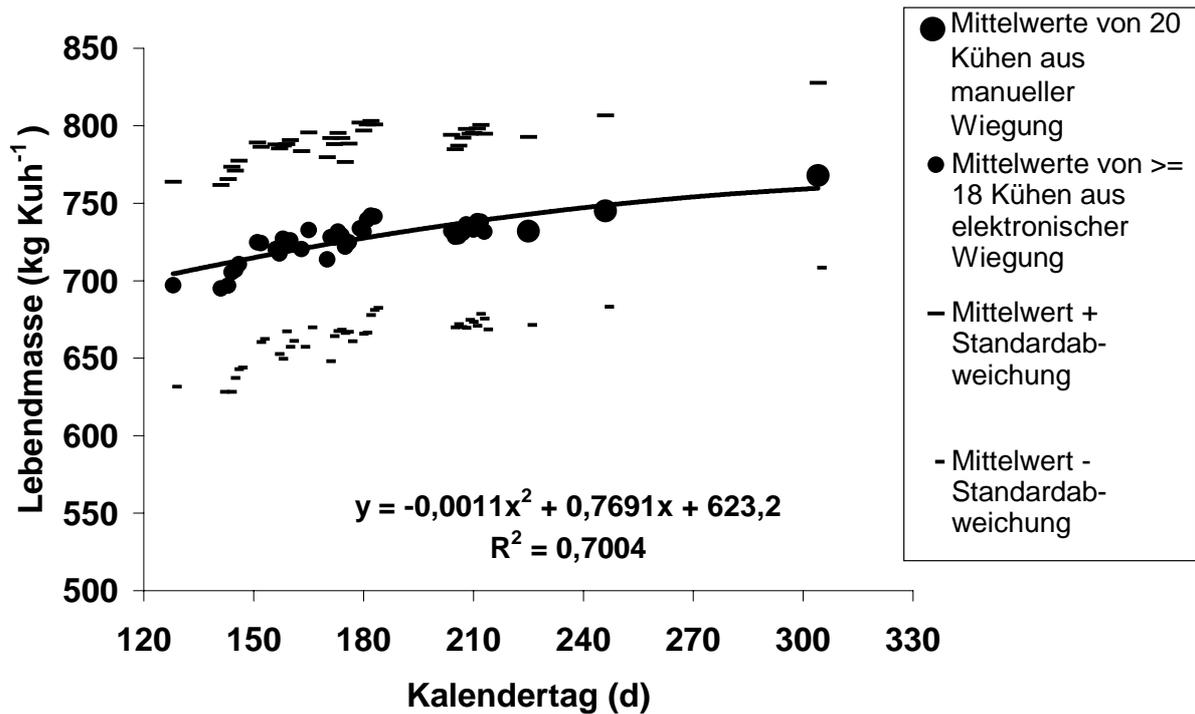


Abb. A 7: Lebendmasseentwicklung der Kühe von Teilbetrieb O in der Weideperiode des zweiten Versuchsjahres 2000/2001.

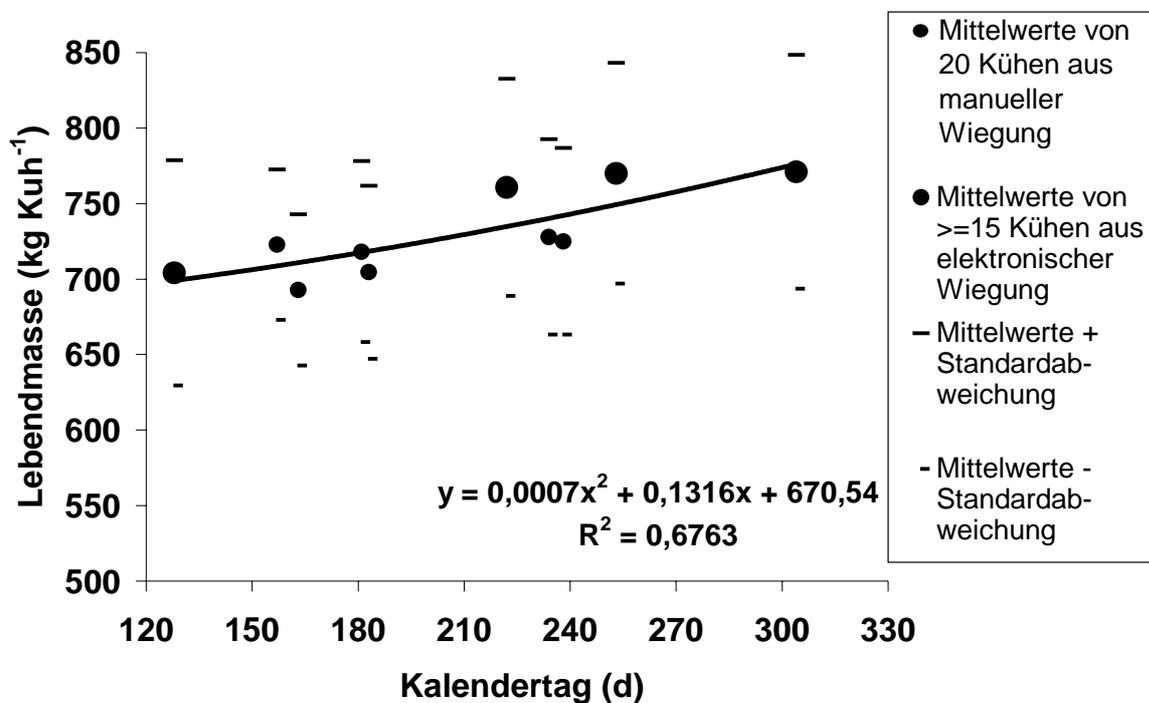


Abb. A 8: Lebendmasseentwicklung der Kühe von Teilbetrieb M in der Weideperiode des zweiten Versuchsjahres 2000/2001.

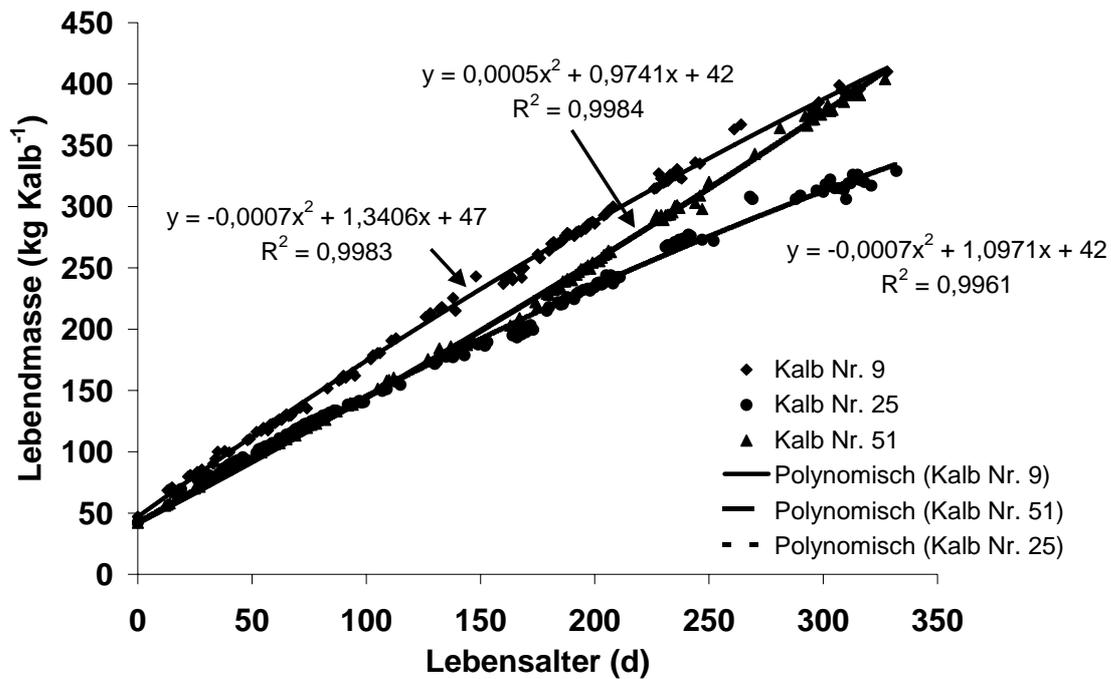


Abb. A 9: Entwicklung der Lebendmasse der Kälber in Teilbetrieb O im zweiten Versuchsjahr 2000/2001 von der Geburt im Stall bis zum Absetzen bei Weideabtrieb. Abgebildet sind Tagesmittelwerte von mindestens 2 Wiegungen.

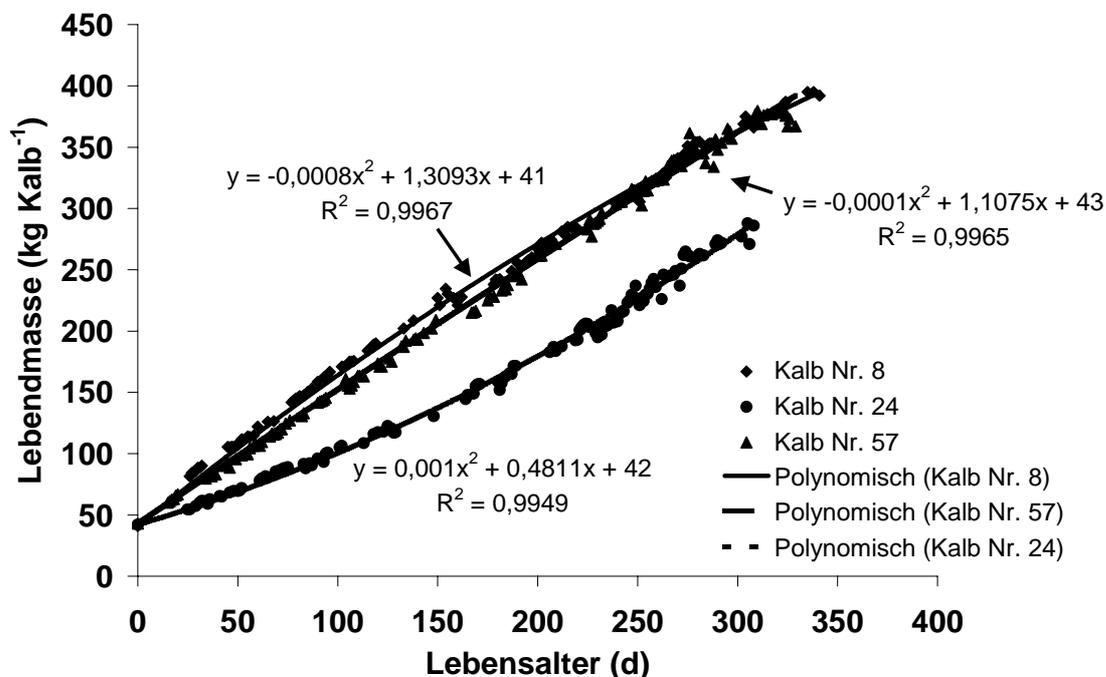


Abb. A 10: Entwicklung der Lebendmasse der Kälber in Teilbetrieb M im zweiten Versuchsjahr 2000/2001 von der Geburt im Stall bis zum Absetzen bei Weideabtrieb. Abgebildet sind Tagesmittelwerte von mindestens 2 Wiegungen.

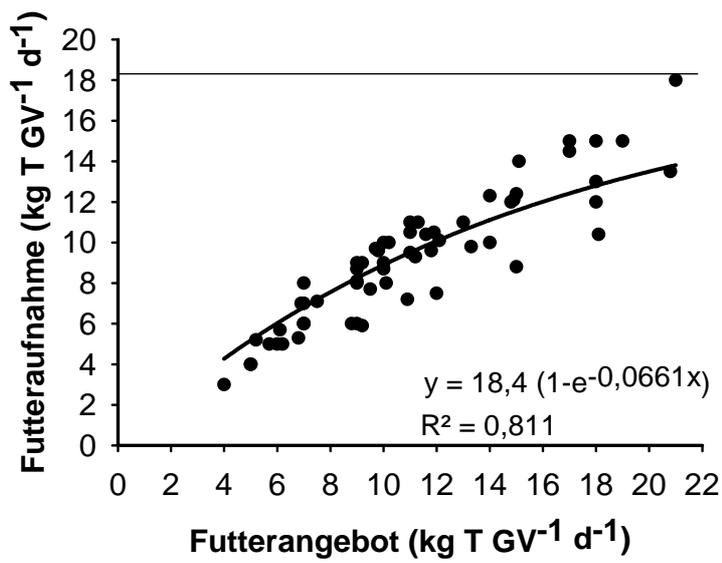


Abb. A 11: Beziehung zwischen Futteraufnahme und Futterangebot auf der Weide beider Teilbetriebe von 1999 bis 2001.

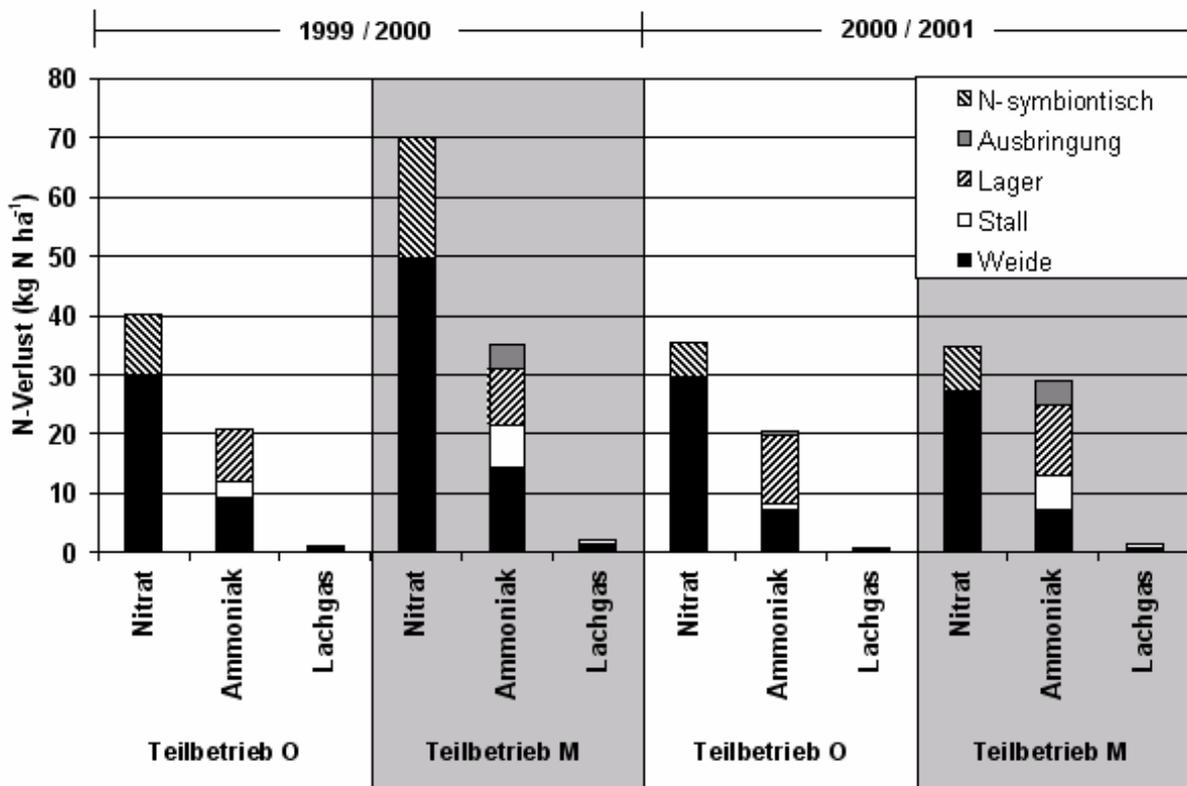


Abb. A 12: N-Verluste der Teilbetriebe nach Bindungsform, Jahr und Entstehungsort.

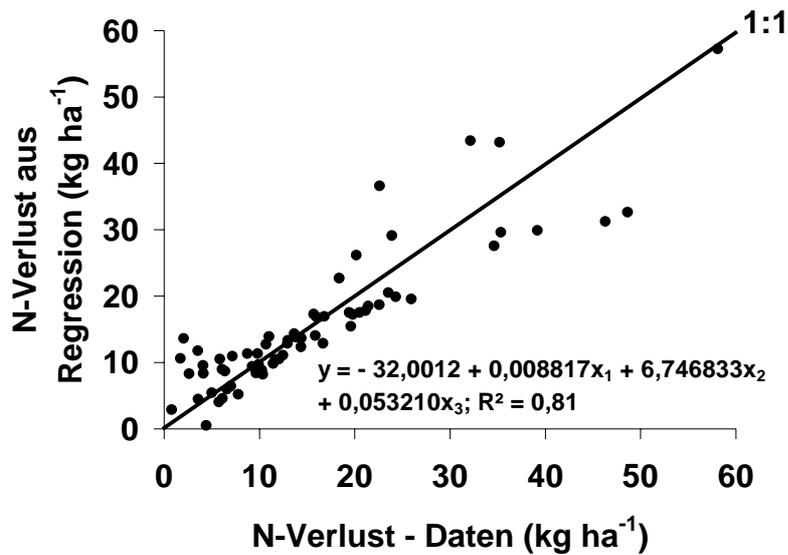


Abb. A 13: Plot zwischen den N-Verlust-Daten als Ergebnis der angewendeten Methodik und den über die mehrfaktorielle Regression geschätzten N-Verlusten aus der Futteraufnahme in kg T ha⁻¹ (x_1), dem N-Gehalt in % (x_2) und dem Kalendertag der Exkretion (x_3).

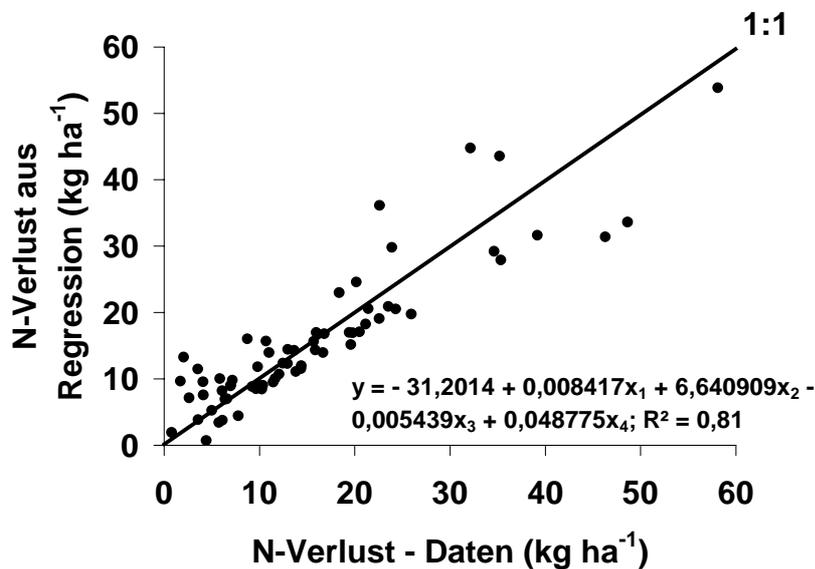


Abb. A 14: Plot zwischen den N-Verlust-Daten als Ergebnis der angewendeten Methodik und den über die mehrfaktorielle Regression geschätzten N-Verlusten aus dem Futterangebot in kg T ha⁻¹ (x_1), dem N-Gehalt in % (x_2), dem Weiderest in kg T ha⁻¹ (x_3) und dem Kalendertag der Exkretion (x_4).

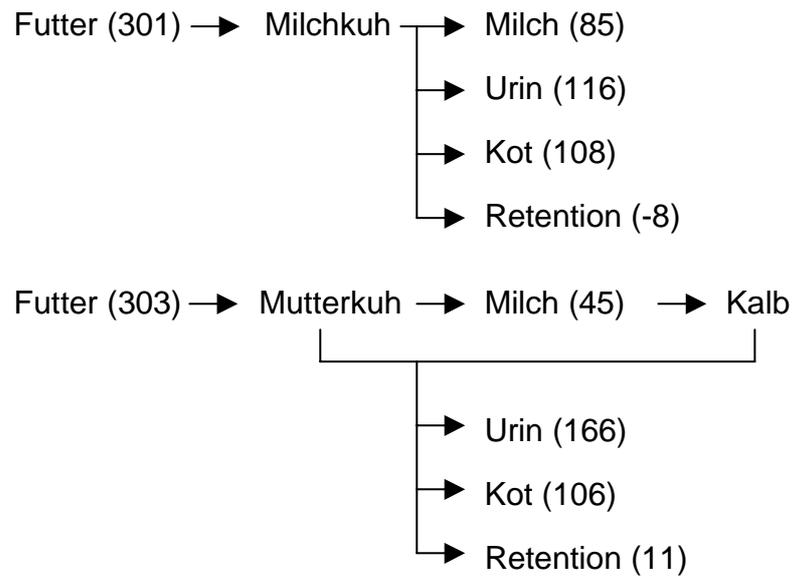


Abb. A 15: Vergleich der N-Bewegung zwischen Milchkuh und Mutterkuh mit Kalb vom aufgenommenen Futter-N zum N in Milch, Urin und Kot sowie zur N-Retention. Daten in () in g N d⁻¹ nach ESTERMANN (2001).

9.3 Berechnungen

Berechnung A 1: Herleitung der im zweiten Versuchsjahr (2000/2001) in Teilbetrieb O auszubringenden Stapelmistmenge von 3 t FM je ha:

In Kapitel 4.2 wurde erwähnt, dass die im zugekauften Stroh enthaltenen Nährstoffe den Teilbetrieb O in einer strohkaliumäquivalenten Mistmenge wieder verlassen. Die Höhe dieser strohkaliumäquivalenten Mistmenge sowie die je ha auszubringende Menge an Stapelmist wird nachfolgend hergeleitet.

Dafür wird zunächst der in Teilbetrieb O vorhandene Vorrat an Stapelmist für die Düngung im zweiten Versuchsjahr geschätzt, und zwar mit Hilfe der im ersten Versuchsjahr (1999/2000) bei der Mistdüngung gewogenen Stapelmistmengen aus dem Vorjahr (Winter 1998/1999), der im Vorjahr auf Stroh gehaltenen GV-Zahl und der Einstreumenge. Von diesem Vorrat wurde jene Mistmenge subtrahiert und auf Flächen außerhalb von Teilbetrieb O verteilt, die auf Kalium bezogen der Einstreumenge entsprach.

Berechnung des Vorrats an Stapelmist in Teilbetrieb O für die Düngung im Winter 2000/2001

In 1999/2000 wurde bei der Mistausbringung eine Stapelmistmenge für beide Varianten von 2040 dt FM gewogen. Diese Menge stammte aus der Entmistung vom Winter 1998/1999, in dem 54 GV auf Stroh gehalten und $11,1 \text{ kg Stroh GV}^{-1} \text{ d}^{-1}$ eingestreut wurden. Der Stapelmist für das Ausbringungsjahr 2000/2001 entstand im Winter 1999/2000 mit einer Einstreustärke von $6,2 \text{ kg Stroh GV}^{-1} \text{ d}^{-1}$. Die Differenz von $4,9 \text{ kg Stroh GV}^{-1} \text{ d}^{-1}$ wurde im Winter 1999/2000 weniger eingestreut und konnte sich demnach nicht im Stapelmist für das zweite Versuchsjahr befinden. Dies entsprach einer Strohmenge von 464 dt (Rechengang: $4,9 \text{ kg Stroh GV}^{-1} \text{ d}^{-1} * 54 \text{ GV} * 176 \text{ Stalltage} = 464 \text{ dt Stroh}$). Zur Berechnung des Stapelmistvorrats für die Ausbringung im zweiten Versuchsjahr wurde diese Strohmenge vom Stapelmistvorrat des ersten Versuchsjahrs abgezogen. Dabei wurde unterstellt, dass das Stroh während der Mistlagerung zu mindestens 20 % abgebaut wurde (Rechengang: 2040 dt FM Sta-

pelmist - $(464 \text{ dt Stroh} * 0,80) = 1669 \text{ dt FM Stapelmist}$. Dies entsprach dem Vorrat für beide Teilbetriebe. Der rechnerische Vorrat für Teilbetrieb O von 834 dt FM Stapelmist ergab sich durch Halbierung dieser Menge von 1669 dt FM.

Berechnung der strohkaliumäquivalenten Mistmenge

1) Die LUFA-Untersuchung des Stapelmists im Winter 1999/2000 ergab einen Kaliumgehalt von $1,33 \text{ kg dt}^{-1} \text{ FM}$. Da jedoch zur Entstehung dieses Mists im Winter 1998/1999 mehr Stroh eingestreut wurde als im Winter 1999/2000 für den Stapelmist im Jahr 2000/2001, wurde ein niedrigerer Kaliumgehalt von $1,1 \text{ kg K dt}^{-1} \text{ FM Stapelmist}$ angenommen.

2) Die Einstreumenge in Teilbetrieb O im Winter 1999/2000 betrug 329 dt Stroh. Da Stroh verschiedener Getreidearten Verwendung fand, wurde ein Mittelwert für den Kaliumgehalt zur Berechnung der Kaliummenge im Stroh von Weizen-, Roggen-, Gersten- und Triticalestroh von $1,41 \text{ kg K dt}^{-1} \text{ Stroh}$ gebildet (Rechengang: $329 \text{ dt Stroh} * 1,41 \text{ kg K dt}^{-1} \text{ Stroh} = 464 \text{ kg K}$).

3) Die strohkaliumäquivalente Mistmenge ergab sich aus der Division der Strohkaliummenge durch den Kaliumgehalt im Stapelmist (Rechengang: $464 \text{ kg K} / 1,1 \text{ kg K dt}^{-1} \text{ FM Rottemist} = 422 \text{ dt FM Rottemist}$).

Berechnung der in Teilbetrieb O je ha auszubringenden Rottemistmenge

1) Die auf den Flächen von Teilbetrieb O auszubringende Mistmenge wurde berechnet durch Subtraktion der strohkaliumäquivalenten Mistmenge vom Stapelmistvorrat in Teilbetrieb O (Rechengang: $834 \text{ dt FM Rottemist} - 422 \text{ dt FM Rottemist} = 412 \text{ dt FM Stapelmist}$).

2) Mit der Division dieser Menge durch die Fläche der zu düngenden Koppeln ergab sich die Ausbringmenge von etwa $3 \text{ t FM Stapelmist ha}^{-1}$ im zweiten Versuchsjahr (Rechengang: $412 \text{ dt FM Rottemist} / 14,33 \text{ ha} = 29 \text{ dt FM Stapelmist ha}^{-1}$).

Berechnung A 2: Indirekte Methode zur Schätzung der Weideleistung (Rückschluss von der tierischen Leistung auf den Weidenettoertrag) in Anlehnung an VOIGTLÄNDER und VOSS (1979):

Zunächst wurde zur Vereinfachung eine strikte Trennung der Nahrungsaufnahme der Kühe und Kälber unterstellt. Danach bestand die Nahrungsaufnahme der Kühe aus Weidefutter, die der Kälber nur aus Milch. Unter dieser Annahme mussten die Kühe aus der gesamten Weidefutteraufnahme, also auch aus der realen Weidefutteraufnahme der Kälber, für das Wachstum der Kälber ausreichend Milch zur Verfügung stellen. Diese Vereinfachung hat den Vorteil, die Energieaufnahme der Kälber nicht durch Annahmen auf einen mit zunehmendem Alter der Kälber und abnehmender Milchleistung der Kühe sinkenden Milchbeitrag und einen steigenden Beitrag des Weideaufwuchses zur Energieversorgung der Kälber aufteilen zu müssen. Dieses Vorgehen ist möglich, da nach KIRCHGESSNER (1992) im NEL-Bewertungssystem der Energiebedarf der Kuh zur Bildung von 1 kg Milch annähernd dem Energiegehalt in 1 kg Milch entspricht.

Rechenweg:

- 1) Ermittlung des Energiebedarfs der Kälber (GfE, 1986):

$$\text{Erhaltungsbedarf (MJ NEL d}^{-1}\text{)} = 0,317 * \text{LM (kg)}^{0,75} * 1,15^{\text{a}}$$

$$\text{Leistungsbedarf (MJ NEL d}^{-1}\text{)} = (0,2007 * \text{LM (kg)}^{0,75} * \text{LMZ (kg)}^{1,53}) + 1,2$$

^{a)} Zuschlag für Weide, LM: Lebendmasse, LMZ: Lebendmassezunahme

- 2) Ermittlung von Ansatz bzw. Abbau von Körperenergie der Kühe (GfE, 2001):

$$\text{Ansatz (MJ NEL d}^{-1}\text{)} = 25 \text{ MJ NEL} * (\text{kg LMZ})^{-1}$$

$$\text{Abbau (MJ NEL d}^{-1}\text{)} = 20,5 \text{ MJ NEL} * (\text{kg LM-Abnahme})^{-1}$$

- 3) Ermittlung des Milchbedarfs der Kälber:

$$\text{Milchbedarf (kg d}^{-1}\text{)} = (\text{Erhaltungs-} + \text{Leistungsbedarf der Kälber (MJ NEL d}^{-1}\text{)}) * 3,2 \text{ MJ NEL kg Milch}^{-1} \text{ (Energiegehalt einer Standardmilch; GfE, 2001)}$$

- 4) Ermittlung des Leistungsbedarfs der Kühe:

$$\text{Leistungsbedarf (MJ NEL d}^{-1}\text{)} = \text{Milchbedarf der Kälber (kg d}^{-1}\text{)} * 3,3 \text{ MJ NEL kg Milch}^{-1} \text{ (Energiebedarf für die Milchbildung; GfE, 2001)} + \text{Ansatz (MJ NEL d}^{-1}\text{)} - \text{Abbau (MJ NEL d}^{-1}\text{)}$$

- 5) Ermittlung des Erhaltungsbedarfs der Kühe (GfE, 2001):

$$\text{Erhaltungsbedarf (MJ NEL d}^{-1}\text{)} = 0,293 * \text{LM (kg)}^{0,75} * 1,15^{\text{a}}$$

a) s.o.

- 6) Ermittlung des aus dem Weideaufwuchs bereitzustellenden Gesamtenergiebedarfs der Kühe und Kälber:

$$\text{Gesamtenergiebedarf (MJ NEL d}^{-1}\text{)} = \text{Erhaltungs-} + \text{Leistungsbedarf der Kühe}$$

- 7) Ermittlung der Energieaufnahme der Herde aus dem Beifutter:

$$\begin{aligned} \text{Energieaufnahme aus Beifutter (MJ NEL ha}^{-1}\text{)} &= \text{Energie aus Silage (MJ NEL ha}^{-1}\text{)} \\ &+ \text{Energie aus Kraftfutter (MJ NEL ha}^{-1}\text{)} \end{aligned}$$

- 8) Ermittlung des Energieertrags einer Koppel:

$$\begin{aligned} \text{Energieertrag (MJ NEL ha}^{-1}\text{)} &= \text{Gesamtenergiebedarf der Kühe und Kälber (MJ NEL d}^{-1}\text{)} * \text{Weidedauer (d)} * \text{Flächengröße (ha)}^{-1} \\ &- \text{Energieaufnahme aus Beifutter (MJ NEL ha}^{-1}\text{)} \end{aligned}$$

In den Weidekäfigperioden, in denen nicht alle Weidekäfigdaten vorhanden waren, fehlten die Daten vom Ende der Weidekäfigperiode außerhalb (WR) und unterhalb (WK) der Käfige. Die Daten vom Beginn (WA) der Weidekäfigperiode waren vorhanden. Im weiteren Verlauf der Rechnung wird der Energiegehalt des Weidefutters vom Beginn der Weidekäfigperiode als Schätzwert für den Mittelwert aus der Weidekäfigperiode herangezogen.

- 9) Ermittlung des Trockenmasseertrags auf einer Koppel:

$$\text{Trockenmasseertrag (dt T ha}^{-1}\text{)} = \text{Energieertrag (MJ NEL ha}^{-1}\text{)} * (\text{Energiegehalt im Weidefutter von WA (MJ NEL kg T}^{-1}\text{)})^{-1}$$

Danksagung

Herrn Prof. Dr. W. Kühbauch danke ich für die Überlassung des Themas, sein großzügiges Entgegenkommen und die mir gewährte Freiheit in der Forschung.

Herrn Dr. J. Schellberg danke ich für seine wissenschaftliche Betreuung, die wertvollen Diskussionen und Anregungen beim Verfassen dieser Arbeit.

Herrn Prof. Dr. H. W. Scherer danke ich für die Übernahme des Korreferates.

Den Mitarbeitern der Lehr- und Forschungsstation Rengen danke ich für ihren unermüdlenden Arbeitseinsatz bei der Durchführung der Versuche, unser freundschaftlich-kollegiales Verhältnis und ihre große Hilfsbereitschaft und zwar Herrn M. Schwickerath, Frau E. und Herrn G. Reichel, Herrn R. Schun, Herrn M. Müller, Herrn T. Schlimpen, Herrn W. Marx, Herrn B. Mayer, Herrn D. Hoffmann-Gaber und Herrn V. Jax.

Den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern im Labor, Frau V. Förterer, Herrn H. Schmitz, Frau I. Zelinka, Frau S. Damm und Frau I. Hanitsch danke ich für ihre Geduld bei der Untersuchung der vielen tausenden von Proben. Auch danke ich Frau H. v. Quistorp und Frau P. Weber vom Lehrstuhl für Speziellen Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung für ihre Hilfsbereitschaft, bspw. am Carlo Erba.

Herrn PD Dr. M. Anger und Dr. T. Gebbing danke ich für ihre wertvollen Anregungen.

Frau A. Reinders, Herrn Dr. I. Rademacher, Herrn Dr. E. Tholen und Herrn C. Günster danke ich für ihre Beratung in statistischen Methoden.

Danke auch an alle studentischen Hilfskräfte sowie Lehrlinge der Lehr- und Forschungsstation Rengen für die wertvolle Hilfe bei der Probengewinnung, Probenaufbereitung und Laborarbeit, namentlich Frau J. Krawinkel, Frau S. Duengelhof, Herrn J. Stalter, Frau I. Schmalenbach, Frau A. Bauer, Frau A. v. Königsmark, Frau K. Bürling, Frau J. Oest und Herrn M. Großmann.

Vielen Dank auch an die hilfsbereiten Mitarbeiter vom Versuchsfeld Poppelsdorf und der Lehr- und Forschungsstation Dikopshof, insbesondere Herrn Dr. H. Hüging.

Dem Institut für Pflanzenernährung, namentlich Herrn Prof. Dr. H. W. Scherer, danke ich für die Möglichkeit, die Mg-Analyse der Proben am AAS durchführen zu können, dem Institut für Bodenkunde, namentlich Herrn PD Dr. G. Welp, für die Beratung in methodischen Fragen sowie Herrn Dr. E. Niess für die Beratung in Fragen der Tierernährung.

Allen Kolleginnen und Kollegen vom Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz danke ich für das freundliche Miteinander während meiner Zeit als Doktorand. Ein ganz besonderer Dank gilt meiner Bürokollegin B. Schilling für ihre moralische Unterstützung sowie meinem Bürokollegen K. Hünting und Kartoffelhauskollegen PD Dr. M. Anger für die angenehme Arbeitsatmosphäre.

Ein besonderer Dank gilt Herrn Dr. F. Wetterich, Frau Dr. M. Sonntag, Herrn S. Fröhmel, Frau M. Hernandez, Frau B. Jost, Frau J. Lellmann und Herrn M. Lellmann für das aufmerksame Korrekturlesen der Arbeit.

Ein herzliches Dankeschön an meine Eltern für ihre allzeit gewährte Unterstützung.

Meinen Freunden danke ich für ihre unschätzbare große Hilfe.

Vielen Dank auch für die Finanzierung der Arbeit. Das erste Jahr wurde vom MURL im Rahmen des Lehr- und Forschungsschwerpunktes „Umweltverträgliche und standortgerechte Landwirtschaft“ gefördert. Vom zweiten Jahr an erfolgte die Finanzierung durch das Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz.