

Technische Universität München

Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt

Department für Tierwissenschaften
Bereich Tierernährung

Zum Einfluss einer unterschiedlichen Schwefelversorgung auf Leistungsparameter, Verdaulichkeit und Spurenelementgehalte in verschiedenen Geweben bei wachsenden Rindern

Anke Wessels

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Agrarwissenschaften
(Dr. agr.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender:

Univ.-Prof. Dr. J. Schnyder

Prüfer der Dissertation:

1. apl. Prof. Dr. F.J. Schwarz
2. Univ.-Prof. Dr. J. Bauer
3. apl. Prof. Dr. H. Schenkel,
Universität Hohenheim

Die Dissertation wurde am 18.03.2002 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 27.05.2002 angenommen.

meinen Eltern

Die vorliegende Arbeit wurde durch ein Stipendium der
H. Wilhelm Schaumann Stiftung gefördert.

Danksagung

Herrn Prof. Dr. F.J. Schwarz danke ich sehr herzlich für die Überlassung des Themas, die wissenschaftliche Anleitung, die mir stets gewährte Unterstützung und besonders für die freundliche Betreuung der Arbeit.

Weiterhin danke ich Herrn Prof. Dr. H. Schenkel, Leiter der Landesanstalt für landwirtschaftliche Chemie, Universität Hohenheim, für die freundliche Zusammenarbeit, die Erstellung der Futtermittelanalysen und die Bereitstellung der Arbeitsmöglichkeiten.

Mein besonderer Dank gilt der H. Wilhelm Schaumann Stiftung für die finanzielle Förderung der Arbeit.

Herrn Georg Zehetmeier danke ich sehr herzlich für die zuverlässige, tatkräftige und jederzeit freundliche Hilfe bei der praktischen Versuchsdurchführung.

Weiterhin möchte ich mich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Versuchsgutes Hirschau und der Versuchsanlage für Tierernährung für ihre jederzeit gewährte Unterstützung bedanken.

Herrn Dr. T. Ettle danke ich für die Mithilfe bei der statistischen Auswertung der Daten und die stete Gesprächsbereitschaft.

Freising-Weihenstephan, im Februar 2002

Anke Wessels

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Material und Methodik	3
2.1	Versuchsplanung und Versuchsaufbau	3
2.1.1	Versuchsreihe 1: Ammoniumsulfat-Zulage bei hoher S-Dosierung	3
2.1.1.1	Fütterungsversuch mit Mastbullen	3
2.1.1.2	Verdaulichkeitsversuch mit Hammeln	4
2.1.2	Versuchsreihe 2: Niedrige bis mittlere S-Dosierung durch Calciumsulfat-Zulage	5
2.1.2.1	Fütterungsversuch mit Mastbullen	5
2.1.2.2	Verdaulichkeitsversuch mit Mastbullen	5
2.1.3	Versuchsreihe 3: Calciumsulfat- und Ammoniumsulfat-Zulage bei stärker gestaffelter S-Dosierung	6
2.1.3.1	Fütterungsversuch mit Mastbullen	6
2.1.3.2	Verdaulichkeitsversuch mit Mastbullen	7
2.2	Versuchsdurchführung	8
2.2.1	Fütterungsversuche der Versuchsreihen 1 - 3	8
2.2.1.1	Tiermaterial und Tierhaltung	8
2.2.1.2	Rationsgestaltung	8
2.2.1.2.1	Fütterungsversuch 1	12
2.2.1.2.2	Fütterungsversuch 2	13
2.2.1.2.3	Fütterungsversuch 3	14
2.2.1.3	Fütterungstechnik und Fütterungsablauf	16
2.2.1.4	Ermittlung der Messkriterien	16
2.2.1.4.1	Futtermittelaufnahme, Lebendmasseentwicklung, Organprobenentnahme und Schlachtkörperqualität	16
2.2.2	Verdaulichkeitsversuche der Versuchsreihen 1 - 3	17
2.2.2.1	Verdaulichkeitsversuch mit Hammeln	17
2.2.2.2	Verdaulichkeitsversuche mit Mastbullen	17
2.3	Analytik	18
2.3.1	Futtermittel- und Gewebeproben	18
2.3.1.1	Trockensubstanz- und Roh Nährstoffgehalte sowie TiO ₂ - Gehalt der Futtermittel und Kotproben	18
2.3.1.2	Bestimmung der Gehalte an umsetzbarer Energie	20

2.3.1.3	Bestimmung der Mengenelementgehalte in Futtermittel- und Gewebeprobe	21
2.3.1.4	Bestimmung der Spurenelementgehalte in Futtermittel- und Gewebeprobe	22
2.4	Statistische Auswertung	23
3	Ergebnisse	25
3.1	Versuchsreihe 1: Hohe S-Dosierung durch Ammoniumsulfat-Zulage	25
3.1.1	Fütterungsversuch mit Mastbullen	25
3.1.1.1	Energie- und Nährstoffgehalte der Futtermittel	25
3.1.1.2	Futter-, Energie- und Nährstoffaufnahme	28
3.1.1.2.1	Maissilage- und Gesamtfutteraufnahme	29
3.1.1.2.2	Energie- und Rohproteinaufnahme	30
3.1.1.2.3	Schwefel- und Spurenelementgehalte der Ration	32
3.1.1.3	Lebendmasseentwicklung im Versuchsverlauf	33
3.1.1.4	Schlachtkörperqualität	35
3.1.1.5	Schwefel- und Spurenelementgehalte in Leber, Niere, Plasma und Gallenflüssigkeit	36
3.1.2	Verdaulichkeitsversuch mit Hammeln	39
3.2	Versuchsreihe 2: Niedrige bis mittlere S-Dosierung durch Calciumsulfat-Zulage	41
3.2.1	Fütterungsversuch mit Mastbullen	41
3.2.1.1	Energie- und Nährstoffgehalte der Futtermittel	41
3.2.1.2	Futter-, Energie- und Nährstoffaufnahme	45
3.2.1.2.1	Maissilage- und Gesamtfutteraufnahme	46
3.2.1.2.2	Energie- und Rohproteinaufnahme	48
3.2.1.2.3	Schwefel- und Spurenelementgehalte der Ration	51
3.2.1.3	Lebendmasseentwicklung im Versuchsverlauf	52
3.2.1.4	Schlachtkörperqualität	54
3.2.1.5	Schwefel- und Spurenelementgehalte in Leber, Niere, Plasma und Gallenflüssigkeit	55
3.2.2	Verdaulichkeitsversuch mit Mastbullen	58
3.3	Versuchsreihe 3: Stärker gestaffelte S-Dosierung durch Calciumsulfat- und Ammoniumsulfat-Zulage	60
3.3.1	Fütterungsversuch mit Mastbullen	60

3.3.1.1	Energie- und Nährstoffgehalte der Futtermittel	60
3.3.1.2	Futter-, Energie- und Nährstoffaufnahme.....	64
3.3.1.2.1	Maissilage- und Gesamfutteraufnahme.....	65
3.3.1.2.2	Energie- und Rohproteinaufnahme	67
3.3.1.2.3	Schwefel- und Spurenelementgehalte der Ration.....	70
3.3.1.2.4	Kationen-Anionen Bilanz der Ration.....	72
3.3.1.3	Lebendmasseentwicklung im Versuchsverlauf.....	73
3.3.1.4	Schlachtkörperqualität	75
3.3.2	Verdaulichkeitsversuch mit Mastbullen	77
4	Diskussion	79
4.1	Zur Bedeutung des Schwefels in der Wiederkäuerernährung.....	79
4.2	Schwefel im Boden, in Pflanzen und in Futtermitteln	80
4.2.1	Schwefeleintrag in den Boden und Auswirkungen auf die Pflanze	80
4.2.2	Schwefel in Pflanzen	83
4.2.3	Schwefel in Futtermitteln	84
4.3	Schwefel und seine Bedeutung für die Mikroorganismen des Pansens	93
4.3.1	Schwefelverbindungen und deren Verfügbarkeit im Pansen	93
4.3.2	Einfluss von Schwefel auf die Pansenfermentation	98
4.4	Bedarfsorientierte Schwefelzufuhr bei Wiederkäuern	108
4.4.1	Niedrige Schwefelzufuhr.....	108
4.4.2	Hohe Schwefelzufuhr.....	120
4.5	Interaktionen von Schwefel mit Kupfer, Selen und Zink.....	126
4.5.1	Interaktionen von Schwefel mit Kupfer	126
4.5.2	Interaktionen von Schwefel mit Selen	133
4.5.3	Interaktionen von Schwefel mit Zink.....	136
4.5.4	Schlussbetrachtung der Interaktionen	136
5	Schlussfolgerungen	138
6	Zusammenfassung	142
7	Literaturverzeichnis.....	147
8	Tabellenanhang	8-1

Verzeichnis der Übersichten

Übersicht 1: Versuchsplan zu Fütterungsversuch 1	4
Übersicht 2: Versuchsplan zum Verdaulichkeitsversuch mit Hammeln.....	4
Übersicht 3: Versuchsplan zu Fütterungsversuch 2	5
Übersicht 4: Versuchsplan zum Verdaulichkeitsversuch mit Mastbullen.....	6
Übersicht 5: Versuchsplan zu Fütterungsversuch 3	7
Übersicht 6: Versuchsplan zum Verdaulichkeitsversuch mit Mastbullen.....	7
Übersicht 7: Nährstoff- und Energiegehalte der Einzelkomponenten des Kraftfutters und der Maissilage der Fütterungsversuche 1-3 (DLG 1997)	10
Übersicht 8: Mengen- und Spurenelementgehalte der Kraftfutterkomponenten und der Maissilage der Fütterungsversuche 1-3 (DLG 1973)	10
Übersicht 9: Analysierte S-Gehalte der wichtigsten Kraftfutterkomponenten und einiger Maissilagen	11
Übersicht 10: Mengenelementgehalte der anorganischen Kraftfutterkomponenten und des Mineralfutters der Fütterungsversuche 1-3.....	11
Übersicht 11: Vitamin- und Spurenelementgehalte der Mineralfutter (Angaben laut Hersteller)	12
Übersicht 12: Mittlere Kraftfutterzusammensetzung in % der T in Versuch 1	13
Übersicht 13: Mittlere Kraftfutterzusammensetzung in % der T in Versuch 2	14
Übersicht 14: Mittlere Kraftfutterzusammensetzung in % der T in Versuch 3	15
Übersicht 15: Verdaulichkeit der organischen Substanz, des Rohfettes, des Rohproteins und der Rohfaser der Maissilage (DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer 1997)	20
Übersicht 16: Trockenmasse und Energiegehalte der Kraftfutterkomponenten (DLG- Futterwerttabellen für Wiederkäuer 1997)	20
Übersicht 17: T-, Nährstoff- und Energiegehalte der Maissilagen in Fütterungs- versuch 1	25
Übersicht 18: S-Gehalte der Maissilage in Fütterungsversuch 1.....	26
Übersicht 19: Mittlere Mengen- und Spurenelementgehalte der Maissilage in Fütterungsversuch 1	26
Übersicht 20: Mittlere T-, Nährstoff- und Energiegehalte der Kraftfuttermischungen in Fütterungsversuch 1	27
Übersicht 21: S-Gehalte der Kraftfuttermischungen in Fütterungsversuch 1	27

Übersicht 22: Mittlere Mengen- und Spurenelementgehalte der Krafffuttermischungen in Fütterungsversuch 1	28
Übersicht 23: Unterteilung der Mast in drei Mastabschnitte in Fütterungsversuch 1	28
Übersicht 24: Mittlere Maissilageaufnahme (kg T/Tier und Tag) in den 3 Mastabschnitten und in der gesamten Mast in Fütterungsversuch 1	29
Übersicht 25: Mittlere Gesamfutteraufnahme (kg T/Tier und Tag) in den 3 Mastabschnitten und in der gesamten Mast in Fütterungsversuch 1	30
Übersicht 26: Mittlere Energieaufnahme (MJ ME/Tier und Tag) in den 3 Mastabschnitten und in der gesamten Mast in Fütterungsversuch 1	31
Übersicht 27: Mittlere Rohproteinaufnahme (g/Tier und Tag) in den 3 Mastabschnitten und in der gesamten Mast in Fütterungsversuch 1	32
Übersicht 28: Mittlere S-Gehalte der Ration (in % d. T) in Fütterungsversuch 1.....	32
Übersicht 29: Mittlere Gehalte an Cu, Se, Zn und Mo der Ration (in mg/kg T) in Fütterungsversuch 1	33
Übersicht 30: Lebendmasseentwicklung im Versuchsverlauf in Fütterungsversuch 1	34
Übersicht 31: Mittlere tägliche Zunahmen (g) in den 3 Mastabschnitten und in der gesamten Mast in Fütterungsversuch 1.....	35
Übersicht 32: Schlachtkörpergewicht, Ausschachtungsgrad und Nierenfettgewicht in Fütterungsversuch 1	35
Übersicht 33: Schwefel- und Spurenelementgehalte in Leber, Niere, Gallenflüssigkeit und Plasma in Fütterungsversuch 1	38
Übersicht 34: T-, Nährstoff- und Energiegehalte der Ration im Verdaulichkeitsversuch mit Hammeln.....	39
Übersicht 35: Verdaulichkeiten (%) der Rationen im Verdaulichkeitsversuch mit Hammeln.....	39
Übersicht 36: Mittlere tägliche S-Ausscheidung und Retention sowie S-Verdaulichkeit	40
Übersicht 37: Mittlere T-, Nährstoff- und Energiegehalte der Maissilage in Fütterungsversuch 2	41
Übersicht 38: S-Gehalte der Maissilage in Fütterungsversuch 2.....	42
Übersicht 39: Mittlere Mengen- und Spurenelementgehalte der Maissilage in Fütterungsversuch 2	42

Übersicht 40: Mittlere T-, Nährstoff- und Energiegehalte der Krafffuttermischungen in Fütterungsversuch 2	43
Übersicht 41: S-Gehalte (in % der T) der Krafffuttermischungen in Fütterungsversuch 2	44
Übersicht 42: Mittlere Mengen- und Spurenelementgehalte der Krafffuttermischungen in Fütterungsversuch 2	45
Übersicht 43: Unterteilung der Mast in drei Mastabschnitte in Fütterungsversuch 2	45
Übersicht 44: Mittlere Maissilageaufnahme (kg T/Tier und Tag) in den 3 Mastabschnitten und in der gesamten Mast in Fütterungsversuch 2	47
Übersicht 45: Mittlere Gesamfutteraufnahme (kg T/Tier und Tag) in den 3 Mastabschnitten und in der gesamten Mast in Fütterungsversuch 2	48
Übersicht 46: Mittlere Energieaufnahme (MJ ME/Tier und Tag) in den 3 Mastabschnitten und in der gesamten Mast in Fütterungsversuch 2	49
Übersicht 47: Mittlere Rohproteinaufnahme (g T/Tier und Tag) in den 3 Mastabschnitten und in der gesamten Mast in Fütterungsversuch 2	50
Übersicht 48: Mittlere S-Gehalte der Ration (in % d. T) in Fütterungsversuch 2.....	51
Übersicht 49: Mittlere Gehalte an Cu, Se, Zn und Mo der Ration (in mg/kg T) in Fütterungsversuch 2	52
Übersicht 50: Lebendmasseentwicklung im Versuchsverlauf in Fütterungsversuch 2	53
Übersicht 51: Mittlere tägliche Zunahmen (g) in den 3 Mastabschnitten und in der gesamten Mast in Fütterungsversuch 2.....	54
Übersicht 52: Schlachtkörpergewicht, Ausschlachtungsgrad und Nierenfettgewicht in Fütterungsversuch 2	55
Übersicht 53: Schwefel- und Spurenelementgehalte in Leber, Niere, Gallenflüssigkeit und Plasma in Fütterungsversuch 2	57
Übersicht 54: Gehalte an T, OS und XF der Ration im Verdaulichkeitsversuch mit Mastbullen.....	58
Übersicht 55: Verdaulichkeit (%) der OS und der XF im Verdaulichkeitsversuch mit Mastbullen.....	59
Übersicht 56: T-, Nährstoff- und Energiegehalte der Maissilage in Fütterungsversuch 3	60
Übersicht 57: S-Gehalte der Maissilage in Fütterungsversuch 3.....	61

Übersicht 58: Mittlere Mengen- und Spurenelementgehalte der Maissilage in Fütterungsversuch 3	61
Übersicht 59: Mittlere T-, Nährstoff- und Energiegehalte der Kraffttermischungen in Fütterungsversuch 3	62
Übersicht 60: S-Gehalte der Kraffttermischungen in Fütterungsversuch 3	63
Übersicht 61: Mittlere Mengen- und Spurenelementgehalte der Kraffttermischungen in Fütterungsversuch 3	64
Übersicht 62: Unterteilung der Mast in drei Mastabschnitte in Fütterungsversuch 3	64
Übersicht 63: Mittlere Maissilageaufnahme (kg T/Tier und Tag) in den 3 Mastabschnitten in Fütterungsversuch 3	65
Übersicht 64: Mittelwerte und Randmittelwerte der Maissilageaufnahme (kg T/Tier und Tag) in der gesamten Mast in Fütterungsversuch 3	66
Übersicht 65: Mittlere Gesamtfuttermittelaufnahme (kg T/Tier und Tag) in den 3 Mastabschnitten in Fütterungsversuch 3	66
Übersicht 66: Mittelwerte und Randmittelwerte der Gesamtfuttermittelaufnahme (kg T/Tier und Tag) in der gesamten Mast in Fütterungsversuch 3	67
Übersicht 67: Mittlere Energieaufnahme (MJ ME/Tier und Tag) in den 3 Mastabschnitten in Fütterungsversuch 3	68
Übersicht 68: Mittelwerte und Randmittelwerte der Energieaufnahme (MJ ME/Tier und Tag) in der gesamten Mast in Fütterungsversuch 3	68
Übersicht 69: Mittlere Rohproteinaufnahme (g/Tier und Tag) in den 3 Mastabschnitten in Fütterungsversuch 3	69
Übersicht 70: Mittelwerte und Randmittelwerte der Rohproteinaufnahme (g/Tier und Tag) in der gesamten Mast in Fütterungsversuch 3	69
Übersicht 71: Mittlere S-Gehalte der Ration (in % d. T) in den drei Mastabschnitten in Fütterungsversuch 3	70
Übersicht 72: Mittelwerte der S-Gehalte der Ration (in % d. T) in der Gesamtmast in Fütterungsversuch 3	71
Übersicht 73: Mittlere Gehalte an Cu, Se, Zn und Mo der Ration (in mg/kg T) in Fütterungsversuch 3	71
Übersicht 74: Mittlere Gehalte Na, K, Cl und S der Ration (in g/kg T) in Fütterungsversuch 3	72
Übersicht 75: Mittlere Kationen-Anionen-Differenz der Ration (in meq/kg T) in Fütterungsversuch 3	73

Übersicht 76: Lebendmasseentwicklung im Versuchsverlauf in Fütterungsversuch 3	73
Übersicht 77: Mittlere tägliche Zunahmen (g) in den 3 Mastabschnitten in Fütterungsversuch 3	74
Übersicht 78: Mittelwerte und Randmittelwerte der täglichen Zunahmen (g) in der gesamten Mast in Fütterungsversuch 3.....	75
Übersicht 79: Mittelwerte und Randmittelwerte der Schlachtkörpergewichte, der Ausschlachtung und der Nierenfettgewichte in Fütterungsversuch 3	76
Übersicht 80: Gehalte an T, OS und XF der Ration im Verdaulichkeitsversuch mit Mastbullen.....	77
Übersicht 81: Mittelwerte und Randmittelwerte der Verdaulichkeit (%) der OS und der XF im Verdaulichkeitsversuch mit Mastbullen	78
Übersicht 82: Schwefelgehalte verschiedener Futtermittel.....	88
Übersicht 83: Literaturangaben zum Einfluss von Schwefel auf die Verdaulichkeit der Nährstoffe	99
Übersicht 84: Literaturangaben zum Einfluss einer niedrigen S-Zufuhr	115
Übersicht 85: Literaturangaben zum Einfluss einer hohen S-Zufuhr	124

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Verdaulichkeit der OS (%) bei verschiedenen Calciumsulfat-Zulagen in VR 2 und VR 3a	102
Abbildung 2: Verdaulichkeit der XF (%) bei verschiedenen Calciumsulfat-Zulagen in VR 2 und VR 3a	102
Abbildung 3: Verdaulichkeit der OS (%) bei verschiedenen Ammoniumsulfat-Zulagen in VR 1 und VR 3b	105
Abbildung 4: Verdaulichkeit der XF (%) bei verschiedenen Ammoniumsulfat-Zulagen in VR 1 und VR 3b	105
Abbildung 5: Tägliche Zunahmen (g) bei Calciumsulfat-Zulage (Versuchsreihe 2 und 3 a).....	118

Abbildung 6: Tägliche Futteraufnahme (kg T) bei Calciumsulfat-Zulage (Versuchsreihe 2 und 3 a)	120
Abbildung 7: Tägliche Futteraufnahme(kg T) in Versuchsreihe 1.....	123
Abbildung 8: Tägliche Zunahmen (g) in Versuchsreihe 1.....	123
Abbildung 9: Cu-Gehalte (mg/kg T) in der Leber in Versuchsreihe 1	131
Abbildung 10: Cu-Gehalte (mg/kg T) in der Leber in Versuchsreihe 2.....	131
Abbildung 11: Se-Gehalte in der Leber (mg/kg T) in Versuchsreihe 1	135
Abbildung 12: Se-Gehalte in der Leber (mg/kg T) in Versuchsreihe 2.....	136

Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole

AAS	Atomabsorptionsspektrometer
Beh.	Behandlung
Ca	Calcium
CaSO ₄	Calciumsulfat
Cl	Chlorid
cm	Zentimeter
Co	Kobald
Cu	Kupfer
d	Tag
DOM	verdauliche organische Masse
DXF	verdauliche Rohfaser
DXL	verdauliches Rohfett
Fe	Eisen
FM	Frischmasse
g	Gramm
h	Stunde
H ₂ O	Wasser
H ₂ O ₂	Wasserstoffperoxid
HCl	Salzsäure
HNO ₃	Salpersäure
i.d.	in der
I.E.	internationale Einheit
J	Jod
K	Kalium
kg	Kilogramm
l	Liter
MA	Mastabschnitt
ME	umsetzbare Energie
meq	Milliäquivalent
mg	Milligramm
(NH ₄) ₂ SO ₄	Ammoniumsulfat
min	Minute
MJ	Megajoule
ml	Milliliter
mm	Millimeter
Mn	Mangan

Mo	Molybdän
Na	Natrium
NfE	Stickstofffreie Extraktstoffe
Ni	Nickel
nm	Nanometer
Nr.	Nummer
OS	organische Substanz
P	Phosphor
S	Schwefel
Se	Selen
SO ₂	Schwefeldioxid
T	Trockensubstanz
t	Tonne
TiO ₂	Titandioxid
VR	Versuchsreihe
XA	Rohasche
XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein
Zn	Zink
°C	Grad Celsius
µg	Mikrogramm
%	Prozent

1 Einleitung

Bei den Wiederkäuern wird Schwefel neben Calcium, Phosphor, Magnesium, Natrium und Chlor zu den lebensnotwendigen Mengenelementen gezählt. Der S-Bedarf der Mikroorganismen im Vormagen kann durch Sulfat oder andere S-haltige Verbindungen gedeckt werden (WHANGER, 1972, HUNTER und SIEBERT, 1980, GOODRICH und THOMPSON, 1981, MORRISON et al., 1990, 1994). Hier besteht ein Unterschied zu Nicht-Wiederkäuern, bei denen eine über die in den Aminosäuren Methionin und Cystein enthaltenen Mengen hinausgehende Versorgung mit Schwefel nicht für erforderlich gehalten wird. In den Bedarfsempfehlungen für Milchkühe und Aufzuchtrinder der GfE werden keine Empfehlungen zur Versorgung von Wiederkäuern mit Schwefel angegeben, da zur Zeit hierfür keine genügend gesicherte experimentelle Basis vorhanden ist (GfE, 2001). In den Bedarfsempfehlungen für Milchkühe wird vom NRC (2001) ein S-Gehalt von 0,2 % in der T der Ration empfohlen. In den Bedarfsempfehlungen für Fleischrinder des NRC (2000) ist der S-Bedarf nicht genau definiert. Es wird jedoch ein Gehalt von 0,15 % Schwefel in der Ration für notwendig gehalten. Insgesamt gesehen ist die zur Thematik einer bedarfsgerechten S-Versorgung der Wiederkäuer vorliegende Literatur eher spärlich. International wird eine Forschungsintensivierung in Zusammenhang mit einer Optimierung der Mikroorganismenaktivität des Pansens bei extensiver Futtergrundlage und mangelhafter S-Versorgung (MORRISON et al., 1994, GUTIERREZ et. al. 1996) gefordert. Des Weiteren wird auch im Zusammenhang mit einer hohen S-Zufuhr, der Wechselwirkung zu Thiamin und einem möglichen Auftreten von Polioencephalomalacie (GOULD, 1998) und weiterer Interaktionen mit Spurenelementen Forschungsbedarf als dringlich angesehen. Publikationen zur Toxizität von Schwefel orientieren sich häufig an veterinärmedizinisch dargestellten Einzelfällen oder an extremen S-Belastungen, ausgelöst durch spezifische native Bedingungen im Futter. Für die Tierernährung ist jedoch vielmehr der tolerable Gehalt von Schwefel in der Ration von Bedeutung, der noch keine Gesundheits- und Leistungsdepressionen auslöst. Gezielte Untersuchungen zum tolerablen S-Gehalt in der Ration von Wiederkäuern liegen nur in geringem Umfang vor. Auch in der aktuellen, intensiven Diskussion um die Veränderung der Kationen-Anionen-Bilanz von Milchkühen durch die Einführung von Calciumsulfat und Magnesiumsulfat in die Ration spielt der tolerable S-Gehalt in der Ration eine wichtige Rolle, da neben der Kationen-Anionen-Bilanz auch der S-Haushalt beein-

flusst wird. Durch die hohe S-Aufnahme kann es dabei auch zu Interaktionen mit anderen Mengen- und Spurenelementen kommen.

Im deutschsprachigen Raum wird die Diskussion um das Mengenelement Schwefel auch von Seiten der Pflanzenernährung geführt. Dabei stand zunächst die S-Versorgung von Raps und Getreide im Vordergrund (BLOEM, 1998). Mittlerweile wurde die Frage aber auch auf den Ertrag und die Qualität des Dauergrünlandes ausgedehnt (TAUBE et al. 1997, 2000). Hinweise auf eine verbesserte Verdaulichkeit von Silagen nach S-Düngung und einem damit ausgelösten engeren N:S-Verhältnis in der Pflanze liegen vor (AHMAD et al., 1995).

In der vorliegenden Arbeit sollte in drei Versuchsreihen der Einfluss einer unterschiedlichen S-Versorgung auf die tierischen Leistungsparameter und auf die Spurenelementgehalte in verschiedenen Geweben bei wachsenden Rindern sowie auf die Verdaulichkeit der Ration überprüft werden. Die Fütterungsversuche sollten unter den in der Praxis üblichen Bedingungen in der Rindermast durchgeführt werden, wobei gleichzeitig die S-Ergänzung durch die Zulage von Ammoniumsulfat oder Calciumsulfat variiert wurde.

2 Material und Methodik

2.1 Versuchsplanung und Versuchsaufbau

Für die vorliegende Arbeit wurden drei Versuchsreihen mit wachsenden Rindern durchgeführt. Ziel war es, die Auswirkungen einer geringen und einer hohen Schwefelzufuhr auf die Leistungsmerkmale Futteraufnahme und Gewichtsentwicklung zu untersuchen. Gleichzeitig sollten Interaktionen einer unterschiedlichen Schwefelzufuhr mit verschiedenen Spurenelementen anhand von nach der Schlachtung entnommenen Organproben und deren Spurenelementgehalten überprüft werden. Bei der Schlachtung wurden zudem Merkmale der Schlachtkörperqualität festgehalten. Für den Fütterungsversuch 1 standen 36 Tiere zur Verfügung, für die Versuche 2 und 3 jeweils 72 Tiere. Des Weiteren wurden zu den jeweiligen Versuchsreihen Verdauungsversuche durchgeführt, um den Einfluss der S-Versorgung auf die Verdaulichkeit der Nährstoffe zu bestimmen. Zur S-Supplementierung wurden sowohl Ammoniumsulfat als auch Calciumsulfat eingesetzt, um Rückschlüsse auf die Verfügbarkeit des Schwefels aus unterschiedlichen Quellen ziehen zu können.

2.1.1 Versuchsreihe 1: Ammoniumsulfat-Zulage bei hoher S-Dosierung

2.1.1.1 Fütterungsversuch mit Mastbullen

Übersicht 1 zeigt den Versuchsplan zu Fütterungsversuch 1. Ziel dieses Versuches war es, eine hohe S-Versorgung zu erreichen. Der Versuch wurde faktoriell mit der Modifikation der S-Zufuhr angelegt. Die S-Versorgung wurde über das Kraftfutter variiert. Die Zusammensetzung des Kraftfutters aus Trockenschnitzeln, Sojaextraktionsschrot, Weizen und Mineralfutter entsprach weitestgehend der Zusammensetzung praxisüblicher Ergänzungskraftfutter in der Bullenmast. Die Kontrollration ohne S-Ergänzung wies einen S-Gehalt von 0,17 % in der Trockenmasse (T) der Gesamtration auf. In drei Zulagestufen wurde Schwefel mit Ammonium als Kation gestaffelt zugelegt. Auf diese Weise konnten die Rationen auf einen S-Gehalt von 0,32, 0,52 und 0,72% in der T eingestellt werden. Die Tiere erhielten neben dem Kraftfutter als Grundfutter Maissilage zur freien Aufnahme. Die Versuchsreihe 1 wur-

de im Zeitraum von Anfang Februar 99 bis Mitte Juli 99 durchgeführt. Die Versuchsdauer erstreckte sich über 21 Wochen.

Übersicht 1: Versuchsplan zu Fütterungsversuch 1

	Behandlung			
	1 Kontrolle	2	3	4
		Ammoniumsulfat-Zulage		
% S i. d. T. der Ration	0,17	0,32	0,52	0,72

2.1.1.2 Verdaulichkeitsversuch mit Hammeln

Um den Einfluss einer hohen S-Versorgung auf die Verdaulichkeit der Nährstoffe zu überprüfen wurde parallel zu Fütterungsversuch 1 ein Verdaulichkeitsversuch mit Hammeln durchgeführt. Bei diesem Versuch wurde die Kraftfuttermischung ohne S-Ergänzung der mit der höchsten S-Dosierung gegenübergestellt. Die Kombination von Maissilage und Kraftfutter erfolgte in Anlehnung an die Rationszusammensetzung in Fütterungsversuch 1 bei einem Lebendmassebereich von 550-650 kg, um eine identische S-Versorgung zu erzielen. Die Kraftfuttermischungen entsprachen den Beh. 1 und 4 aus dem Fütterungsversuch 1. Die eingesetzte Maissilage war identisch mit der aus Fütterungsversuch 1. Es standen 12 Tiere zur Verfügung. Der Versuchsplan ist Übersicht 2 zu entnehmen.

Übersicht 2: Versuchsplan zum Verdaulichkeitsversuch mit Hammeln

	Behandlung	
	1 Kontrolle	4 Ammoniumsulfat-Zulage
% S i. d. T d. Ration	0,17	0,72
Hammel (Nummer)	1, 2, 3, 4, 5, 6	7, 8, 9, 10, 11, 12

2.1.2 Versuchsreihe 2: Niedrige bis mittlere S-Dosierung durch Calciumsulfat-Zulage

2.1.2.1 Fütterungsversuch mit Mastbullen

In Fütterungsversuch 2 sollte eine niedrige bis mittlere S-Versorgung erzielt werden. Dazu wurde die Kraftfuttermischung so konzipiert, dass sie einen geringen nativen S-Gehalt aufwies. Erreicht wurde dies durch die Auswahl S-armer Komponenten und den Einsatz von Harnstoff als Hauptstickstoffquelle. Die Kontrollgruppe 1 erhielt diese Ausgangsmischung. In 5 Zulagestufen wurde Schwefel als Sulfat mit Calcium als Kation gestaffelt dem Kraftfutter zugelegt. Calciumsulfat wurde zunehmend im Austausch gegen Futterkalk in die Ration eingebracht. Da Harnstoff als Hauptstickstoffquelle in den Behandlungen 1 - 6 diente, erhielt eine „Positiv“ Kontrollgruppe (Kontrolle 2) im Austausch gegen Harnstoff Sojaextraktionsschrot ohne weitere S-Ergänzung. Um Hinweise zum Einfluss des Kations zu erhalten, wurde in einer weiteren Behandlungsgruppe Ammoniumsulfat als S-Quelle und Harnstoff zur Stickstoffergänzung eingesetzt. Neben dem Kraftfutter erhielten die Tiere als Grundfutter Maissilage zur freien Aufnahme. Der Versuchsplan ist Übersicht 3 zu entnehmen. Die Versuchsreihe 2 wurde in der Zeit von Anfang Februar 99 bis Ende Oktober 99 durchgeführt. Sie dauerte 37 Wochen.

Übersicht 3: Versuchsplan zu Fütterungsversuch 2

	Behandlung								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	Kontrolle 1 ohne S- Ergänzung		Calciumsulfat-Zulage					Kontrolle 2 Sojaschrot	Ammonium- sulfat-Zul.
% S i. d. T d. Ration	0,11	0,14	0,19	0,25	0,32	0,40	0,16	0,22	

2.1.2.2 Verdaulichkeitsversuch mit Mastbullen

Anhand eines Verdaulichkeitsversuches, bei dem die Indikatormethode Anwendung fand, wurde der Einfluss der S-Versorgung auf die Verdaulichkeit der Nährstoffe überprüft. Der Verdauungsversuch mit Titanoxyd als Marker wurde unmittelbar an den im Fütterungsversuch 2 stehenden Tieren durchgeführt. Diese Vorgehensweise

wurde gewählt, da parallele Arbeiten an Schafen aufgrund der erst nach längerer Fütterungsdauer mit unterschiedlicher S-Versorgung zu erwartenden Effekten nicht aussagekräftig genug erschienen. Der Versuch wurde so angelegt, dass die Kontrolle 1 den Calciumzulagestufen 3 und 5 (Beh. 4 und 6) gegenübergestellt wurde. Der Versuchsplan ist Übersicht 4 zu entnehmen.

Übersicht 4: Versuchsplan zum Verdaulichkeitsversuch mit Mastbullen

	Behandlung		
	1	4	6
	Kontrolle 1	Calciumsulfat-Zulage	
% S i. d. T der Ration	0,11	0,25	0,40
Anzahl der Tiere	9	9	9

2.1.3 Versuchsreihe 3: Calciumsulfat- und Ammoniumsulfat-Zulage bei stärker gestaffelter S-Dosierung

2.1.3.1 Fütterungsversuch mit Mastbullen

In Übersicht 5 ist der Versuchsplan für den Fütterungsversuch 3 dargestellt. Dieser Versuch wurde zweifaktoriell angelegt. Sowohl die Höhe der S-Versorgung als auch die S-Quelle wurden über das Kraftfutter variiert. Die weitere Nährstoffversorgung in der Gesamtration war für alle Behandlungen gleich. Allerdings wurde der Ausgangs-S-Gehalt im Kraftfutter durch die Auswahl S-armer Komponenten und den Einsatz von Harnstoff als Hauptstickstoffquelle möglichst niedrig gehalten. Da Calciumsulfat und Ammoniumsulfat als S-Zulage dienten, wurden zwei jeweils auf die S-Quelle abgestimmte Ausgangskraftfuttermischungen konzipiert. Die Kontrollgruppen 1 und 2 erhielten jeweils die Ausgangsmischung ohne S-Ergänzung und wiesen somit eine marginale S-Versorgung auf. In je 3 Zulagestufen wurde Schwefel als Sulfat gestaffelt zugelegt. Auf diesem Wege wurden S-Gehalte von 0,20, 0,40 und 0,60 % der T der Gesamtration eingestellt. Dabei wurde bei den Behandlungen 2, 3 und 4 Calciumsulfat zunehmend im Austausch gegen Futterkalk in die Ration gebracht. Bei den Behandlungen 6, 7 und 8 wurde Ammoniumsulfat zunehmend im Austausch gegen Harnstoff in die Ration eingemischt. Maissilage wurde ad libitum vorgelegt. Die dritte

Versuchsreihe begann im Februar 00 und wurde Ende Oktober 00 beendet. Sie umfasste 37 Wochen.

Übersicht 5: Versuchsplan zu Fütterungsversuch 3

% S i. d. T d. Ration	Kontrolle		Sulfat-Zulage	
	0,10	0,20	0,40	0,60
Calciumsulfat-Zulage	Beh. 1	Beh. 2	Beh. 3	Beh. 4
Ammoniumsulfat-Zulage	Beh. 5	Beh. 6	Beh. 7	Beh. 8

2.1.3.2 Verdaulichkeitsversuch mit Mastbullen

Analog zu dem Verdaulichkeitsversuch mit Mastbullen in Versuchsreihe 2 wurde in Versuchsreihe 3 ein Verdauungsversuch mit Titanoxyd als Marker unmittelbar an den im Fütterungsversuch 3 stehenden Tieren durchgeführt. In diesem Versuch wurde der Einfluss einer geringen, einer mittleren und einer hohen S-Versorgung auf die Verdaulichkeit der Nährstoffe überprüft. Außerdem wurde die S-Quelle ($\text{CaSO}_4/(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) berücksichtigt. Die Kontrollgruppen 1 und 2 (Beh. 1 und 5), wurden dazu denen der ersten und dritten Zulagestufe (Beh. 2, 4, 6 und 8) gegenübergestellt.

Übersicht 6: Versuchsplan zum Verdaulichkeitsversuch mit Mastbullen

% S i. d. T d. Ration	Kontrolle		Sulfat-Zulage	
	0,10	0,20	0,60	
Calciumsulfat-Zulage	Beh. 1	Beh. 2	Beh. 4	
Ammoniumsulfat-Zulage	Beh. 5	Beh. 6	Beh. 8	
Anzahl der Tiere	8	8	8	

2.2 Versuchsdurchführung

2.2.1 Fütterungsversuche der Versuchsreihen 1 - 3

2.2.1.1 Tiermaterial und Tierhaltung

Für Fütterungsversuch 1 standen 36 Jungbullen der Rasse Fleckvieh zur Verfügung. Für den Versuch 2 und 3 waren es jeweils 72 Fleckviehbullen. Damit waren alle Behandlungsgruppen jeweils mit 9 Tieren besetzt. Alle Tiere wurden als Kälber vom Kälbermarkt Miesbach zugekauft. Bei der Auswahl der Tiere wurde auf ein möglichst einheitliches Gewicht besonderer Wert gelegt. Die Aufzucht und Haltung der Kälber, die in allen drei Versuchsreihen gleich war, erfolgte im Kälberaufzuchtstall des Versuchsbetriebes. Die Kälber wurden in Tieflaufbuchten mit Stroheinstreu in Gruppen von 8 – 10 Tieren gehalten, wo sie entwöhnt und auf die Mast vorbereitet wurden. Mit einem durchschnittlichen Gewicht von 200 kg erfolgte die Umstallung in den Versuchsstall.

Für die Versuche standen zwei Bullenmastställe mit 72 Mastplätzen zur Verfügung. Die speziell für Versuchszwecke ausgelegten Ställe sind in 12 gleich große Buchten mit je 6 Freß -und Liegeplätzen unterteilt. Die Buchtenabmessung betrug 3,08 x 4,56 m. Die Haltung der Tiere erfolgte auf einem Vollspaltenboden aus Doppelsegmenten, die Balkenbreite betrug 14 cm, die Spaltenweite 3,5 cm. Die Ställe wurden über 5 Abluftschächte mit thermostatgesteuerten Ventilatoren und 2 Gebläsekonvektoren klimatisiert. Um die Futteraufnahme des Einzeltieres exakt erfassen zu können, wurde jeder Fressplatz durch ein elektromagnetisch gesteuertes Einzeltierererkennungssystem der Firma CALAN INDUSTRIES gesichert. Die Verteilung der Tiere im Stall erfolgte so, dass in Versuch 1 alle 4 Behandlungen, in Versuch 2 und 3 jeweils 6 unterschiedliche Behandlungen in jeder Bucht vertreten waren.

2.2.1.2 Rationsgestaltung

Die Rationsgestaltung der drei Fütterungsversuche basierte auf den Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Mastrinder des Ausschusses für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (1995). Die für die Rationsberechnung erforderlichen Nährstoffgehalte der Futtermittel wurden den DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer (1997) (siehe dazu Übersicht 7) sowie der DLG-

Tabelle Mineralstoffe in Futtermitteln (1973) (siehe dazu Übersicht 8) entnommen. Zusätzlich wurden vor Versuchsbeginn die S-Gehalte der wichtigsten Rationskomponenten analytisch bestimmt. Die Analysenergebnisse sind Übersicht 9 zu entnehmen. In Übersicht 10 sind die Mineralstoffgehalte der anorganischen Rationskomponenten aufgeführt. Übersicht 11 zeigt die Vitamin- und Spurenelementgehalte der Mineralfuttermischungen. Alle Mineralfuttermischungen enthielten bis auf eine sehr geringe Menge Kobaltsulfat keine weiteren Sulfatverbindungen. Ein Auswahlkriterium für die Krafftutterkomponenten (bis auf Trockenschnitzel und S-Quellen) war ein möglichst geringer nativer S-Gehalt. Auf diesem Wege wurde eine marginale S-Versorgung erreicht. Durch die Sulfat-Zulage konnte dann eine dem jeweiligen Versuchsplan entsprechende S-Versorgung über das Krafftutter eingestellt werden. In Anlehnung an die in der Praxis üblichen Verhältnisse in der Jungbullentintensivmast wurde als Grundfutter qualitativ hochwertige Maissilage (Erntezeitpunkt Ende der Teigreife) ad libitum vorgelegt. Da sich die in den Versuchsplänen angestrebte S-Versorgung jeweils auf den S-Gehalt in der T der Gesamtration bezog, war die Grundfutteraufnahme ein entscheidendes Kriterium für die Höhe der Sulfat-Zulage zu den Kraffttermischungen. Bei wachsenden Rindern ist die Schätzung der Futteraufnahme über den gesamten Versuchszeitraum im voraus relativ problematisch. Daher wurde die S-Versorgung über das Krafftutter im laufenden Versuchsgeschehen den jeweils vorherrschenden Futteraufnahmesituationen angepasst. Aus diesem Grund wurde von den Versuchsmischungen jeweils nur 1 t gemischt, um eine schnelle Anpassung der S-Gehalte einer Mischung an die Grundfutteraufnahme zu erreichen. Eine Mischung reichte für ca. 6 Wochen. Vor Herstellung einer neuen Mischung wurde die S-Versorgung überprüft und gegebenenfalls angepasst. Auf diesem Wege wurden eine höhere Schätzgenauigkeit der Futteraufnahme und der Versorgungssituation erreicht, da die Zeiträume auf die sich die Schätzungen bezogen, verkürzt wurden.

Übersicht 7: Nährstoff- und Energiegehalte der Einzelkomponenten des Kraftfutters und der Maissilage der Fütterungsversuche 1-3 (DLG 1997)

Futtermittel	T	XA	OS	XP	XL	XF	NfE	ME
	g/kg			g/kg T				MJ/kg T
Sojaextraktionsschrot	880	67	933	510	15	67	341	13,75
Winterweizen	880	19	981	138	20	29	794	13,37
Körnermais	880	17	983	106	45	26	806	13,29
Trockenschnitzel	900	54	946	99	9	205	633	11,93
Maissilage	380	43	957	80	34	177	666	11,06

Übersicht 8: Mengen- und Spurenelementgehalte der Kraftfutterkomponenten und der Maissilage der Fütterungsversuche 1-3 (DLG 1973)

Futtermittel	Ca	P	Na	K	Cl	S	Cu	Zn	Mo	Se
	g/kg T						mg/kg T			
Sojaextraktionsschrot	3,1	7,0	0,23	22	0,5	4,8	19,1	70	4,28	0,25
Winterweizen	0,7	3,8	0,17	5	0,8	1,5	7,0	65	0,32	0,12
Körnermais	0,4	3,2	0,26	3	0,5	1,7	3,8	31	0,28	0,10
Trockenschnitzel	9,7	1,1	2,41	9	1,4	3,8	13,9	22	0,46	0,18
Futterkalk	381	0,4	-	-	0,9	-	-	-	-	0,17
Harnstoff	-	0,3	0,20	1	-	-	6,6	1	-	-
Maissilage	3,9	2,6	0,4	16	7,4	1,6	7,6	32	0,34	0,18

Übersicht 9: Analytierte S-Gehalte der wichtigsten Kraffutterkomponenten und einiger Maissilagen

	g/kg T
Wintergerste	1,49
Winterweizen	1,49
Körnermais	0,87
Sojaextraktionsschrot	3,93
Maissilagen (Erntejahr 98)	
Mischprobe verschiedener Maissilagen der Versuchs- station Hirschau	0,89
Sorte Facet	0,90
Sorte Helix	0,95

Übersicht 10: Mengenelementgehalte der anorganischen Kraffutterkomponenten und des Mineralfutters der Fütterungsversuche 1-3

	Ca	Mg	P	Na	Cl	S
Futtermittel	g/kg T					
Calciumsulfat	240	-	-	-	-	190
Ammoniumsulfat	-	-	-	-	-	240
Natriumhydrogen- carbonat	-	-	-	265	-	-
Viehsalz	-	-	-	397	603	-
Mineralfutter 1 (Versuchsreihe 1)	-	20	65	50	-	-
Mineralfutter 2 (Versuchsreihen 2 und 3)	210	20	100	33	-	-

Übersicht 11: Vitamin- und Spurenelementgehalte der Mineralfutter (Angaben laut Hersteller)

Bindungsform		Zusatzstoffe je kg in Mineralfuttermittel 1 und 2
Vitamin A		800.000 IE
Vitamin D3		80.000 IE
Vitamin E		1.000 mg
Zn	Zinkoxid	6.000 mg
Cu	Kupferoxid	750 mg
Mn	Manganoxid	3.000 mg
J	Calciumjodat	100 mg
Co	Kobaltsulfat	30 mg
Se	Natriumselenit	15 mg

2.2.1.2.1 Fütterungsversuch 1

In diesem Versuch wurde eine hohe S-Dosierung angestrebt. Durch die gestaffelte Zulage von Ammoniumsulfat zum Kraftfutter wurden S-Gehalte in der T der Gesamtration von 0,32, 0,52 und 0,72% erzielt. Die Kontrollgruppe ohne Ammoniumsulfat-Zulage wies einen S-Gehalt von 0,17 % in der T der Gesamtration auf und repräsentierte somit eine mittlere S-Versorgung.

In der Zuckerindustrie fallen bei der Zuckergewinnung aus Zuckerrüben Trockenschnitzel als Nebenprodukt an. Aus technologischen Gründen enthalten Trockenschnitzel gewisse Mengen an SO₂. Der Gehalt kann in weiten Grenzen schwanken, je nach der technischen Behandlung. Mengen von 300 bis 2000 mg je kg T wurden gemessen. Als mittlerer Gehalt wird 810 mg SO₂ /kg mit 50 mg SO₂ Streuung angegeben (KLING und WÖHLBIER, 1983). Vor diesem Hintergrund wurden bei diesem Versuch, in dem eine hohe S-Versorgung angestrebt war, Trockenschnitzel in die Kraftfuttermischungen eingemischt.

Da sich die im Versuchsplan angestrebte S-Versorgung jeweils auf den S-Gehalt in der T der Gesamtration bezog, war die Grundfutteraufnahme ein entscheidendes Kriterium für die Berechnung der Höhe der Sulfat-Zulage zu den Kraftfuttermischun-

gen. Daher wurde die S-Zulage zum Kraftfutter im laufenden Versuchsgeschehen den jeweils vorherrschenden Futteraufnahmesituationen angepasst. Für die Berechnung der Zusammensetzung der Ausgangsmischung wurde bei einer durchschnittlichen Lebendmasse von 400 kg mit einer Maissilageaufnahme von 4,4 kg T kalkuliert. Die mittlere Zusammensetzung der Kraftfuttermischungen im Versuchsverlauf ist in Übersicht 12 dargestellt. Die Kraftfutternorm betrug bei der Kontrollgruppe 2,80 kg FM. Durch die gestaffelte Sulfat-Zulage erhöhte sich bei den Zulagegruppen die vorgelegte Kraftfuttermenge geringfügig.

Übersicht 12: Mittlere Kraftfutterzusammensetzung in % der T in Versuch 1

Komponente in % d. T	Behandlung			
	1	2	3	4
	Kontrolle	Ammoniumsulfat-Zulage		
Trockenschnitzel	42,7	41,6	40,5	39,4
Sojaextraktionsschrot	39,1	38,1	37,1	36,2
Weizen	14,2	13,9	13,5	13,1
Mineralfutter	4,0	3,9	3,8	3,7
Ammoniumsulfat	-	2,6	5,0	7,5

2.2.1.2.2 Fütterungsversuch 2

In Fütterungsversuch 2 wurde der Einfluss einer geringen bis mittleren S-Versorgung überprüft. Aus diesem Grund wurden für die Kraftfuttermischungen zum einen Komponenten ausgewählt, die einen geringen nativen S-Gehalt aufwiesen. Bei diesen Komponenten handelte es sich um Körnermais, Weizen und Sojaextraktionsschrot sowie ein Mineralfutter, welches keine Sulfatverbindungen enthielt. Zum anderen wurde als Hauptstickstoffquelle Harnstoff eingesetzt. Dadurch konnte in Beh. 1 (Kontrolle 1) eine marginale S-Versorgung erzielt werden. Durch die gestaffelte Zulage von Calciumsulfat bei den Beh. 2 - 6 konnten die geplanten prozentualen S-Gehalte der Rationen eingestellt werden. Als Kontrolle diente eine praxisübliche, bedarfsgerechte Mischung mit Sojaschrot als Hauptstickstoffquelle (Kontrolle 2). Die Behandlungsgruppe 8 erhielt zur S-Ergänzung Ammoniumsulfat, um Hinweise auf den Ein-

fluss des Kations zu erhalten. Die mittlere Zusammensetzung der Krafffuttermischungen im Versuchsverlauf ist Übersicht 13 zu entnehmen.

Die S-Zulage zum Krafffutter wurde im laufenden Versuchsgeschehen den jeweils vorherrschenden Futteraufnahmesituationen angepasst. Es wurde täglich eine Kraftfuttermenge von 2,3 kg FM pro Tier vorgelegt.

Übersicht 13: Mittlere Krafffutterzusammensetzung in % der T in Versuch 2

Komponente in % d. T	Behandlung							
	1 Kontrolle 1 Ohne S- Ergänzung	2	3	4	5	6	7 Kontrolle 2 Sojaschrot	8 Ammonium- sulfat-Zul.
Sojaschrot	10,5	10,4	10,4	10,4	10,3	10,2	44,0	10,8
Körnermais	49,6	49,5	49,4	49,1	48,5	48,2	24,1	49,0
Weizen	27,3	27,2	27,6	27,0	26,7	26,6	24,7	27,1
Mineralfutter	3,9	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,9	3,8
Futterkalk	2,7	2,3	1,9	1,0	0,6	-	2,7	2,7
Calcium- sulfat	-	0,6	1,2	2,6	4,0	5,2	0,5	-
Harnstoff	5,7	5,8	5,2	5,6	5,6	5,5	-	4,5
Viehsalz	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	-	0,5
Ammonium- sulfat	-	-	-	-	-	-	-	1,6

2.2.1.2.3 Fütterungsversuch 3

In diesem Versuch sollten unterschiedliche S-Versorgungsstufen mit unterschiedlichen S-Quellen erreicht werden. Daher wurde auch hier durch die Wahl der Kraftfutterkomponenten der native S-Gehalt der Mischungen gering gehalten, um eine marginale S-Versorgung zu erreichen. Die verwendeten Komponenten Sojaextraktionsschrot, Körnermais, Weizen und Mineralfutter ohne Sulfatverbindungen entsprachen denen der Versuchsreihe 2. Der Einsatz von Harnstoff als Hauptstickstoffquelle diente ebenfalls dem Zweck, den nativen S-Gehalt im Krafffutter möglichst gering zu halten. Durch gestaffelte Sulfat-Zulagen konnten dann mittlere, erhöhte und hohe S-Gehalte in den Rationen erzielt werden. Ausgehend von den Versuchsreihen 1 und 2

wurden Calciumsulfat und Ammoniumsulfat als S-Quellen gewählt. Da zwei verschiedene S-Quellen vorgesehen waren, wurden zwei unterschiedliche, auf die jeweilige S-Quelle abgestimmte Ausgangsmischungen konzipiert. Die Gestaltung der einzelnen Mischungen erwies sich als schwierig, da der Versuchsplan ausbalancierte Kationen-Anionen-Bilanzen der einzelnen Rationen vorsah und isonitrogene Mischungen mit möglichst vergleichbaren Komponenten angestrebt wurden. Demzufolge sollte auch die N- Zufuhr als Ammonium der Ammoniumsulfat-Zulagegruppen in den Calciumsulfat-Zulagegruppen wiederum als Ammonium verabreicht werden. Zu diesem Zweck wurde bei den Beh. 1 - 4 Ammoniumhydrogencarbonat zugelegt. Um gleichzeitig den Carbonatgehalt auszugleichen, wurde bei den Beh. 5 - 8 noch Natriumhydrogencarbonat zugelegt. Weiterhin wurde in diesen Mischungen Futterkalk eingesetzt, um den Calciumgehalt der Calciumsulfat-Zulagegruppen auszugleichen.

Die mittlere Zusammensetzung der Mischungen im Versuchsverlauf ist in Übersicht 14 dargestellt. Die S-Zulage zum Kraftfutter wurde im laufenden Versuchsgeschehen den jeweils vorherrschenden Futteraufnahmesituationen angepasst. Die tägliche Kraftfuttermenge betrug für die Beh. 1, 2, 5 und 6 2,4 kg FM, für die Beh. 3, 4, 7 und 8 waren es 2,5 kg FM.

Übersicht 14: Mittlere Kraftfutterzusammensetzung in % der T in Versuch 3

Komponente in % d. T	Behandlung							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Kontrolle 1	Calciumsulfat- Zulage			Kontrolle 2	Ammoniumsulfat- Zulage		
Sojaschrot	9,2	9,2	9,0	9,4	9,3	9,2	9,0	8,7
Körnermais	46,9	46,6	45,7	45,9	47,3	46,9	45,6	44,4
Weizen	26,1	25,9	25,4	25,0	26,3	26,1	25,3	24,7
Mineralfutter	3,6	3,6	3,6	3,5	3,7	3,7	3,5	3,5
Harnstoff	4,5	4,5	4,4	4,9	6,0	5,3	4,2	3,0
Natrium- hydrogencarbonat	1,4	1,4	1,8	2,1	2,8	2,7	3,5	4,3
Ammonium- hydrogencarbonat	3,6	3,6	3,6	3,2	-	-	-	-
Futterkalk	4,7	3,2	1,4	-	4,7	4,2	4,6	4,4
Calciumsulfat	-	2,1	5,3	6,1	-	-	-	-
Ammoniumsulfat	-	-	-	-	-	1,8	4,4	7,0

2.2.1.3 Fütterungstechnik und Fütterungsablauf

Zur Futtermischung wurde morgens Maissilage aus den Hochsilos entnommen und in einem selbstfahrenden Futtermischwagen in den Stall gefahren. Anschließend wurde die gesamte Tagesportion an Maissilage für jedes Tier in die Futterwannen eingewogen. Die individuelle Einwaage orientierte sich jeweils an der Verzehrleistung der Vortage. Da die Maissilage ad libitum angeboten werden sollte, wurde bei der Mengenermittlung stets darauf geachtet, dass ein kleiner Futterrest in der Wanne zurückblieb. Die Einwaage der Silage erfolgte im Stall mit Hilfe einer elektronischen Waage. Die Wiegegenauigkeit betrug bei der Silage ± 50 g. Alle Kraftfuttermischungen wurden mit der Mahl- und Mischanlage des Versuchsgutes Hirschau (Siebgröße 4 mm) hergestellt. Das Kraftfutter wurde in Eimern vorgewogen und zweimal täglich auf die Maissilage gegeben. Die Genauigkeit der Kraftfuttermischung betrug ± 10 g. Die Futterreste wurden dreimal pro Woche für jedes Tier einzeln zurückgewogen. Die Rückwaage erfolgte jeweils am Morgen vor der Fütterung.

2.2.1.4 Ermittlung der Messkriterien

2.2.1.4.1 Futteraufnahme, Lebendmasseentwicklung, Organprobenentnahme und Schlachtkörperqualität

Die Futteraufnahme (kg T/d) wurde täglich bestimmt. Sie errechnete sich aus der Differenz von Ein- und Rückwaage, multipliziert mit den T-Gehalten.

Um die Gewichtsentwicklung im Versuch verfolgen zu können, wurden die Tiere 14-tägig in jeweils gleicher Reihenfolge morgens vor der Fütterung auf einer fest installierten Waage im Stall gewogen. Anhand der ermittelten Gewichte wurden die täglichen Zunahmen errechnet.

Zu Versuchsende wurden die Tiere im Schlachthof der Firma Südfleisch in Waldkraiburg geschlachtet. Es wurden dort Proben von Blut, Leber, Gallenflüssigkeit, Niere und Pansensaft genommen. Das Nierenfett wurde verwogen. Außerdem wurde am Schlachthof das Schlachtkörpergewicht, die prozentuale Ausschachtung und die Handelsklasse festgestellt.

2.2.2 Verdaulichkeitsversuche der Versuchsreihen 1 - 3

2.2.2.1 Verdaulichkeitsversuch mit Hammeln

Der Verdaulichkeitsversuch mit der in Fütterungsversuch 1 eingesetzten Silage und den Kraftfuttern der Behandlungen 1 und 4 wurde in der Versuchsanlage Tierernährung des Departments für Tierwissenschaften der TU München durchgeführt. Dabei fand die konventionelle Kotsammelmethode Anwendung. Der Versuch gliederte sich in eine 8-tägige Vorperiode und eine 10-tägige Sammelperiode.

Als Versuchstiere standen 12 einjährige Hammel der Rasse Merinolandschaf zur Verfügung. Das Durchschnittsgewicht betrug zu Versuchsbeginn $62,0 \pm 3,8$ kg. Die in Stoffwechselläufigen untergebrachten Tiere wurden während der gesamten Versuchsperiode zweimal täglich gefüttert. Wasser stand ihnen ständig zur Verfügung.

Die Rationsgestaltung erfolgte in Anlehnung an die Verhältnisse der Bullenmastration in Fütterungsversuch 1. Diese setzte sich im Lebendmassebereich von 550 - 650 kg aus 75% Maissilage und 25% Kraftfutter zusammen. Die Energieversorgung der Hammel entsprach etwa dem 1,3-fachen energetischen Erhaltungsbedarf. So errechnete sich ein Energiebedarf von 12,7 MJ ME pro Tier und Tag. Den DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer (1997) folgend wurde von einem Energiegehalt der Maissilage von 11,0 MJ ME/kg T und von den Kraftfuttermitteln von 11,4 MJ ME/kg T ausgegangen. In Anlehnung an die Relationen der Bullenmastration ergab sich für die Hammel ein Angebot von 0,82 kg T Maissilage und 0,31 kg T Kraftfutter pro Tier und Tag. So errechnete sich eine Energieaufnahme von 12,6 MJ ME.

Der von den Hammeln abgesetzte Kot wurde während der Versuchsperiode täglich zweimal entfernt und in einem Kühlraum aufbewahrt. Der Harn wurde ebenfalls gesammelt, die tägliche Menge wurde verwogen, ein Aliquot von 10 % des Harngewichtes entnommen und in einem Sammelbehälter pro Tier und Versuch bis zur weiteren Bearbeitung eingefroren. Zu Versuchsende wurde die gesamte Kotmenge eines Tieres gemischt, ein Aliquot von etwa 1 kg entnommen, gefriergetrocknet und vermahlen.

2.2.2.2 Verdaulichkeitsversuche mit Mastbullen

Parallel zu den Fütterungsversuchen 2 und 3 wurde jeweils ein Verdauungsversuch mit Titandioxyd als Marker unmittelbar an den im Fütterungsversuch stehenden

Rindern durchgeführt. Arbeiten an Schafen schienen insbesondere bei geringer S-Versorgung aufgrund der möglicherweise erst nach längerer Fütterungsdauer mit unterschiedlicher S-Versorgung zu erwartenden Effekte nicht aussagekräftig genug. Die Versuche gliederten sich jeweils in eine 14-tägige Vorperiode und eine 5-tägige Sammelperiode. In Versuch 2 wurden je 9 Tiere der Behandlungsgruppen 1, 4, und 6 in den Verdauungsversuch genommen. In Versuch 3 waren es je 8 Tiere der Behandlungen 1, 2, 4, 5, 6 und 8.

Die Rationen in beiden Versuchen entsprachen denen der Fütterungsversuche. Maissilage wurde jedoch nicht ad libitum vorgelegt, sondern nur 90 % ad libitum, um den vollständigen Verzehr der Ration zu gewährleisten. Der Marker wurde zu Beginn des Versuchs in das Kraftfutter eingemischt. Die Zulage an TiO_2 wurde so berechnet, dass der Markergehalt der Ration bei ca. 0,1% lag. Daraus ergab sich eine mit dem Futter zu verabreichende Menge von 7 g pro Tier und Tag.

Morgens vor der Fütterung wurden rektal Kotproben gezogen. Dazu wurden die zu beprobenden Tiere im Stall auf der Großviehwaage fixiert. Anschließend wurden die Proben gut durchmischt und je 200g Material in den Sammelbehälter des entsprechenden Tieres eingewogen und eingefroren. Die während der Sammelperiode angefallenen Futterrückwaagen wurden bis zum Versuchsende gesammelt und eingefroren. Zu Versuchsende wurde die gesamte Kotprobe je Tier gefriergetrocknet und vermahlen. Die Rückwaagen wurden zur Trockensubstanzbestimmung im Umluft-trockenschrank bei 60°C getrocknet und anschließend gemahlen.

2.3 Analytik

2.3.1 Futtermittel- und Gewebeproben

2.3.1.1 Trockensubstanz- und Rohnährstoffgehalte sowie TiO_2 - Gehalt der Futtermittel und Kotproben

Zur Bestimmung von T und Inhaltsstoffen wurden von allen Futtermitteln Proben entnommen. Von der Maissilage wurde wöchentlich eine einheitliche Menge als Probe genommen, in Plastikbeutel luftdicht verpackt und bei -20°C bis zur weiteren Aufbereitung gelagert. Bei Kraftfuttermitteln wurden die Proben je Mischung gezogen.

Die Trockensubstanzbestimmung der Maissilagen erfolgte in einem Umlufttrockenschrank bei 60°C. Dabei wurden etwa 500 g der Probe auf ein vorgewärmtes Blech eingewogen und nach 24 Stunden Trocknung warm zurückgewogen. Die Trockensubstanz berechnete sich dann aus dem Verhältnis von Rückwaage (g) zu Einwaage (g), wobei das Restwasser pauschal durch einen Korrekturfaktor von 0,98 berücksichtigt wurde. Nach der Trocknung wurden die Proben in einer Analysenmühle (Retsch) über ein 1,5 mm- Sieb vermahlen und in Polyethylenflaschen abgefüllt. Bei den Kraftfuttermitteln erfolgte die Trockensubstanzbestimmung durch dreistündige Trocknung bei 105°C.

Die Maissilagen wurden zu jeweils vierwöchigen Mischproben zusammengefasst, an denen die Rohnährstoffgehalte durch das Verfahren der Weender Analyse bestimmt wurden (NAUMANN und BASSLER, 1976). Der Gehalt an N- freien Extraktstoffen wurde aus den Analysenwerten errechnet. Die Stärkegehalte der Maissilagen wurden polarimetrisch (Sucromat, Optik Elektronik Automation) bestimmt (NEHRING, 1960).

Bei den Kraftfuttermitteln wurden die Rohproteingehalte in jeder Einzelmischung bestimmt (NAUMANN und BASSLER, 1976). Die Rohnährstoffgehalte wurden an jeweils einer Mischprobe je Versuch mittels der Weender Analyse ermittelt (NAUMANN und BASSLER, 1976). Die Inhaltsstoffe der Kotproben und der Rückwaagen aus den Verdauungsversuchen wurden ebenfalls durch das Verfahren der Weender Analyse ermittelt. Bei den Kotproben und den im Verdauungsversuch verfütterten Futtermitteln wurde der Gesamtfettgehalt bestimmt.

Der TiO₂-Gehalt im Kraftfutter, in den Futterrückwaagen und in den Kotproben aus den Verdauungsversuchen mit Mastbullen wurde nach der Methode von BRANDT und ALLAM (1987) bestimmt. Die Methode beruht auf folgendem Prinzip: TiO₂ ist in heißer, konzentrierter Schwefelsäure langsam löslich und bildet in schwefelsauren Lösungen mit Wasserstoffperoxid einen stabilen, gelben Farbkomplex. Dieser Farbkomplex wird bei 405 nm gemessen.

2.3.1.2 Bestimmung der Gehalte an umsetzbarer Energie

Der Energiegehalt der Maissilagen konnte nach folgender Gleichung (GfE, 1995) berechnet werden:

$$\text{ME (MJ)} = 0,0312 \times \text{gDXL} + 0,0136 \times \text{gDXF} + 0,0147 \times \text{g(DOM - DXL - DXL)} \\ + 0,00234 \times \text{gXP}$$

Die zur Bestimmung der umsetzbaren Energie nötigen Verdaulichkeitswerte wurden den Futterwerttabellen für Wiederkäuer (1997) entnommen (Übersicht 15).

Übersicht 15: Verdaulichkeit der organischen Substanz, des Rohfettes, des Rohproteins und der Rohfaser der Maissilage (DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer 1997)

Futtermittel	Verdaulichkeit (%)			
	OS	XL	XP	XF
Maissilage (Ende der Teigreife, Kolbenanteil hoch)	75	74	61	63

Die Energiegehalte der Kraftfuttermischungen wurden anhand der Werte aus den DLG- Futterwerttabellen für Wiederkäuer (1997) aus den geplanten Anteilen der Komponenten errechnet (Übersicht 16).

Übersicht 16: Trockenmasse und Energiegehalte der Kraftfutterkomponenten (DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer 1997)

Futtermittel	T (g/kg)	ME (MJ/kg T)
Sojaextraktionsschrot	880	13,75
Winterweizen	880	13,37
Körnermais	880	13,29
Trockenschnitzel	900	11,93

2.3.1.3 Bestimmung der Mengenelementgehalte in Futtermittel- und Gewebeproben

Die Bestimmung der Gehalte an Ca, P, Na, K, Cl und S in den Futtermitteln sowie der S-Gehalte in den Gewebeproben erfolgte in der Landesanstalt für landwirtschaftliche Chemie der Universität Hohenheim.

Alle Proben wurden einem Nassaufschluss unter Druck (VDLUFA, 1996) unterzogen. Die Methode dient dem Zweck, Elemente aus der begleitenden Matrix freizusetzen und in Lösung zu bringen. In der Lösung lassen sich die Gehalte der Mengenelemente mit geeigneten Meßmethoden wie Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) und Plasmaemissionsspektrometrie (ICP-OES) bestimmen. Für den Aufschluss der Futterproben wurde das feingemahlene Probenmaterial in einem Druckaufschlussbehälter mit einem Gemisch aus Salpetersäure und Wasserstoffperoxid versetzt. Anschließend wurden die verschlossenen Behälter in die Mikrowelle MLS 1200 mega der Firma Milestone-MLS gestellt. In diesem Gerät erfolgte der Druckaufschluss des Probenmaterials.

Die Leber- und Nierenproben wurden zunächst gefriergetrocknet und vermahlen. Für den Druckaufschluss wurde ca. 0,5 g des Probenmaterials in einen Druckaufschlussbehälter eingewogen und mit 8 ml HNO₃ (Baker intra-analyzed 70%) und 2 ml H₂O₂ versetzt und dem Druckaufschluss unterzogen. Nach dem Abkühlen der Proben wurden diese mit H₂O reinst in 20 ml Kolben überspült, mit H₂O reinst aufgefüllt und schließlich durch einen spurenelementfreien Filter in Aufbewahrungsfläschchen aus Kunststoff überführt. Für die Messung des S-Gehaltes in Leber und Niere wurden die Aufschlüsse mit H₂O reinst 1 / 5 verdünnt.

Die Massenkonzentrationen an Ca, P, Na, K, Cl und S in den Aufschlusslösungen wurden mit einem Atomemissionsspektrometer mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES der Firma Leeman, Typ PS 1000) gemessen (in Anlehnung an EN ISO 11885, 1997).

2.3.1.4 Bestimmung der Spurenelementgehalte in Futtermittel- und Gewebeproben

Die Bestimmung der Gehalte an Cu, Zn, Mo und Se in den Futtermitteln sowie der Gehalte an Cu, Zn und Se in den Gewebeproben erfolgte ebenfalls in der Landesanstalt für landwirtschaftliche Chemie der Universität Hohenheim.

Die oben beschriebenen Aufschlusslösungen dienten auch der Spurenelementbestimmung. Für den Aufschluss der Gallenflüssigkeit wurden 5 ml der Flüssigkeit mit 3 ml HNO₃ und 2 ml H₂O₂ versetzt. Die weitere Vorgehensweise entsprach der oben beschriebenen. Das Plasma wurde nicht aufgeschlossen, sondern mit H₂O reinst 1 / 10 verdünnt.

Die Bestimmung der Cu-Gehalte in den Futtermitteln und in den Gewebeproben erfolgte in Anlehnung an die Methode EN ISO 11885 (1997). Die Aufschlusslösungen wurden am ICP-OES der Firma Leeman, Typ PS 1000 sequentiell, gemessen. Der Aufschluss der Gallenflüssigkeit wurde unverdünnt am ICP OES gemessen.

Die Zn-Gehalte der Futtermittel, der Gallenflüssigkeit und des Plasmas wurden entsprechend den Cu-Gehalten ebenfalls in Anlehnung an die Methode EN ISO 11885 (1997) ermittelt.

Die Messung der Se-Gehalte der Futtermittel, der Leber, der Niere und der Gallenflüssigkeit erfolgte mittels der Hydrid-AAS Methode (in Anlehnung an VDLUFA, 2000). Zunächst wurde eine Vorreduktion von Se⁶⁺ zu Se⁴⁺ durchgeführt.

Für die Bestimmung der Se-Gehalte der Futtermittel wurde in einem 25-ml-Messkolben 5 ml Extraktionslösung mit 2,5 ml HCl 1:1 (intra-analyzed) und 2,5 ml Wasser versetzt. Der offene Messkolben wurde in einem Wasserbad 60 min auf 70 °C erwärmt. Nach dem Abkühlen auf Raumtemperatur wurde mit Wasser zur Marke aufgefüllt und am Hydrid-AAS der Firma Perkin Elmer, Typ 1100b gemessen.

Für die Messung des Se-Gehaltes der Leber wurden 2 ml des Druckaufschlusses mit 5 ml HCl 1:1 (intra-analyzed) versetzt. Von den Aufschlüssen des Nierenmaterials wurden 0,5 ml mit 2,5 ml HCl versetzt und für die Messung des Se-Gehaltes der Gallenflüssigkeit waren es 4 ml des Aufschlusses und 2,5 ml HCL (37 %ig). Die weitere Vorgehensweise entsprach derjenigen bei den Futtermitteln.

Für die Bestimmung des Molybdängehaltes der Futtermittel wurde die Extraktionslösung am Graphitrohr-AAS gemessen.

2.4 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung des Datenmaterials erfolgte mit einer PC-Version des Statistical Analysis System (Release 6.04 SAS-Institute Inc., USA 1996). Die Daten wurden zunächst varianzanalytisch ausgewertet. Bei signifikanten F-Werten ($p \leq 0,05$) wurde mit dem Student-Newmann-Keuls-Test (KEULS, 1952) überprüft, welche Mittelwerte sich bei einer individuellen Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % unterscheiden. Für den Vergleich der Mittelwerte innerhalb einer Messgröße wurde das Modell der einfaktoriellen Varianzanalyse zugrunde gelegt.

Modell der einfaktoriellen Varianzanalyse:

$$Y_{ij} = \mu + A_i + \varepsilon_{ij}$$

Y_{ij} = Beobachtungswert am Tier j in der i-ten Behandlung

μ = Gesamtmittelwert

A_i = Effekt der i-ten Behandlung

ε_{ij} = Restfehler

Signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen sind durch hochgestellte Kleinbuchstaben gekennzeichnet.

Für die zweifaktorielle Auswertung der Datensätze der Versuchsreihe 3 erfolgte die Darstellung der Ergebnisse in einer zweigeteilten Übersicht. So wurden im Mittelteil der Übersicht die Mittelwerte der einzelnen Behandlungen, im unteren und seitlichen Teil die jeweiligen Mittelwerte über einen Faktor bzw. die Randmittelwerte für einen Faktor dargestellt. Hier erfolgte eine Auswertung nach dem Modell der zweifaktoriellen Varianzanalyse.

Modell der zweifaktoriellen Varianzanalyse:

$$Y_{ij} = \mu + A_i + B_j + \varepsilon_{ij}$$

Y_{ij} = Beobachtungswert am Tier x in der i-ten Behandlung unter Berücksichtigung des Einflusses von Behandlung j

μ = Gesamtmittelwert

A_i = Effekt der i-ten Behandlung

B_j = Effekt der j-ten Behandlung

ε_{ij} = Restfehler

Waren signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten statistisch nachweisbar, so wurden diese mit kleinen Hochbuchstaben für die Behandlungseinzelwerte, mit großen Hochbuchstaben innerhalb einer Spalte und mit griechischen Hochbuchstaben innerhalb einer Zeile für den betreffenden Faktor gekennzeichnet.

Im Ergebnissteil wurden die Mittelwerte und die dazugehörigen Standardabweichungen sämtlicher Daten tabellarisch aufgelistet, die dazugehörigen Einzelwerte sind im Tabellenanhang dargestellt.

Zur genaueren Differenzierung der Futter-, Energie- und Nährstoffaufnahme sowie der täglichen Zunahmen wurden die drei Fütterungsversuche in drei Mastabschnitte unterteilt. In Fütterungsversuch 1 konnten aufgrund von drei Abgängen nach dem ersten Mastabschnitt für die folgenden zwei Abschnitte und die Gesamtmast bei den Behandlungsgruppen 1, 3 und 4 nur Daten von jeweils 8 Tieren ausgewertet werden. In Fütterungsversuch 2 konnten bei der Berechnung der Ergebnisse der Beh. 8 nur die Daten von 8 Tieren verwendet werden, da ein Tier in seiner Entwicklung weit hinter den anderen zurückblieb. In den Ergebnissen des ersten und zweiten Mastabschnitts der Beh. 1 bis 7 sind die Daten aller Tiere verrechnet worden. Aufgrund von zwei Abgängen nach dem zweiten Mastabschnitt konnten für den dritten Abschnitt und die Gesamtmast bei den Beh. 7 und 8 nur Daten von 8 bzw. 7 Tieren ausgewertet werden.

In die Berechnung der Ergebnisse der Behandlungsgruppe 2 in Fütterungsversuch 3 fließen nur die Daten von 8 Tieren ein, da ein Tier in seiner Entwicklung weit hinter den anderen zurückblieb und somit nicht berücksichtigt werden konnte. Im dritten Mastabschnitt und in der Gesamtmast basieren die Ergebnisse der Beh. 3 und 7 aufgrund von Abgängen nur auf den Daten von 8 Tieren.

3 Ergebnisse

3.1 Versuchsreihe 1: Hohe S-Dosierung durch Ammoniumsulfat-Zulage

3.1.1 Fütterungsversuch mit Mastbullen

3.1.1.1 Energie- und Nährstoffgehalte der Futtermittel

Die in Fütterungsversuch 1 eingesetzte Maissilage stammte von den betriebseigenen Flächen des Versuchsgutes Hirschau. In Übersicht 17 sind die T-, Nährstoff- und Energiegehalte der Maissilage im Versuchsverlauf dargestellt.

Übersicht 17: T-, Nährstoff- und Energiegehalte der Maissilagen in Fütterungsversuch 1

	T	XA	OS	XP	XL	XF	NfE	Stärke	ME
	g/kg				g/kg T				MJ/kg T
Woche 1 - 4	359	32,2	969	73,1	32,1	198	664	206	11,0
Woche 5 - 8	436	33,3	967	77,5	28,8	178	683	260	11,0
Woche 9 - 12	397	33,1	967	76,7	33,1	172	685	341	11,1
Woche 13 - 16	389	33,4	967	75,6	31,8	184	675	251	11,0
Woche 17 - 21	419	30,8	969	74,5	28,7	151	713	345	11,0
Mittel	400	32,6	967	75,5	30,9	177	684	281	11,0
	± 29	$\pm 1,1$	± 1	$\pm 1,7$	$\pm 2,0$	± 17	± 18	± 60	$\pm 0,0$

Der mittlere T-Gehalt der Silage von 400 g/kg kann als sehr hoch eingestuft werden. Dieser hohe Gehalt ist zum einen auf den Erntezeitpunkt zum Ende der Teigreife und zum anderen auf einen hohen Kolbenanteil zurückzuführen. Bei einem mittleren Rohaschegehalt von 32,6 g/kg T wies die Silage einen mittleren Gehalt an organischer Substanz von 967 g/kg T auf. Der Rohprotein- und Rohfettgehalt lag im Mittel bei 75,5 bzw. bei 30,9 g/kg T. Der hohe NfE- Gehalt von im Mittel 684 g/kg T lässt in Verbindung mit dem relativ niedrigen Rohfasergehalt von 177 g/kg T ebenfalls auf einen sehr hohen Kolbenanteil der Silage schließen. Dafür spricht auch der hohe Energiegehalt von im Mittel 11,0 MJ/kg T. Der Stärkegehalt lag im Versuchsmittel bei 281 g/kg T.

Bei der Betrachtung der S-Gehalte der Maissilage im Versuchsverlauf zeigten sich nur geringfügige Unterschiede. Der S-Gehalt lag im Mittel bei 0,11 % der T (Übersicht 18). In Übersicht 19 sind die mittleren Mengen- und Spurenelementgehalte der Maissilage aufgeführt. Mit 3,65 bzw. 20,4 mg/kg T wies die Silage sehr geringe Gehalte an Cu und Zn auf.

Übersicht 18: S-Gehalte der Maissilage in Fütterungsversuch 1

Maissilage	S-Gehalt in % der T
Woche 1 - 4	0,13
Woche 5 - 8	0,12
Woche 9 - 12	0,11
Woche 13 - 16	0,10
Woche 17 - 21	0,10
Mittel	0,11 ± 0,01

Übersicht 19: Mittlere Mengen- und Spurenelementgehalte der Maissilage in Fütterungsversuch 1

	Ca	P	Na	K	Cl	Cu	Zn	Mo	Se
	g/kg T					mg/kg T			
Maissilage	2,1	2,3	<0,1	10,5	0,8	3,65	20,4	0,43	0,02

In Übersicht 20 sind die mittleren T-, Nährstoff- und Energiegehalte der Kraftfuttermischungen dargestellt. Im Durchschnitt konnte für alle Mischungen ein T-Gehalt von 903 g/kg ermittelt werden. Bei einem mittleren Rohaschegehalt von 100 g/kg T wiesen die Mischungen im Mittel einen Gehalt an organischer Substanz von 900 g/kg T auf. Der Rohproteingehalt der Mischungen, errechnet aus den N-Gehalten, stieg, bedingt durch die gestaffelte Zulage von Ammoniumsulfat, von Beh. 1 (274 g/kg T) bis 4 (344 g/kg T) kontinuierlich an. Der Rohfett- und Rohfasergehalt lag im Mittel bei 5,8 bzw. bei 88,2 g/kg T. Anhand der analysierten Rohnährstoffgehalte errechnete sich ein Energiegehalt von durchschnittlich 11,9 MJ ME/kg T.

Übersicht 20: Mittlere T-, Nährstoff- und Energiegehalte der Kraftfuttermischungen in Fütterungsversuch 1

	T	XA	OS	XP	XL	XF	NfE	ME
	g/kg	g/kg T						MJ/kg T
Beh. 1	898	93,9	906	274	6,5	85,7	540	12,3
Beh. 2	900	97,2	903	298	5,7	91,9	507	12,1
Beh. 3	907	106,9	893	320	5,7	84,7	483	11,8
Beh. 4	908	102,2	898	344	5,3	90,3	458	11,4
Mittel	903	100,1	900	309	5,8	88,2	497	11,9
	± 5	± 5,7	± 6	± 30	± 0,5	± 3,5	± 35	± 0,4

In Übersicht 21 sind die Analysenergebnisse der S-Bestimmung der einzelnen Mischungen dargestellt. Die S-Gehalte der einzelnen Mischungen im Versuchsverlauf entsprechen weitestgehend dem Versuchsplan. So blieben die S-Gehalte der Kontrollgruppe relativ konstant bei im Mittel 0,33% der T. Bei den drei Zulagestufen zeigte sich, bedingt durch die im Versuchsplan angestrebte Anpassung des S-Gehaltes der Mischungen an die Grundfutteraufnahme eine Zunahme des S-Gehaltes im Versuchsverlauf. Er lag für Beh. 2 im Mittel bei 0,95, für Beh. 3 bei 1,58 und für Beh. 4 bei 2,25 % der T.

Übersicht 21: S-Gehalte der Kraftfuttermischungen in Fütterungsversuch 1

	Behandlung			
	1	2	3	4
	Kontrolle	Ammoniumsulfat-Zulage		
% S i. d. T. d. Ration	0,17	0,32	0,52	0,72
S % (i. d. T)				
1. Mischung	0,30	0,76	1,48	1,90
2. Mischung	0,33	0,86	1,40	2,34
3. Mischung	0,36	1,04	1,45	2,03
4. Mischung	0,35	0,92	1,65	2,48
5. Mischung	0,32	1,16	1,93	2,51
Mittel	0,33	0,95	1,58	2,25
	(± 0,02)	(± 0,16)	(± 0,22)	(± 0,27)

Übersicht 22 zeigt die analysierten Mengen- und Spurenelementgehalte der Kraftfuttermischungen in Fütterungsversuch 1. Hinsichtlich dieser Gehalte unterschieden sich die vier Mischungen nur geringfügig.

Übersicht 22: Mittlere Mengen- und Spurenelementgehalte der Kraftfuttermischungen in Fütterungsversuch 1

	Ca	P	Na	K	Cl	Cu	Zn	Mo	Se
	g/kg T					mg/kg T			
Beh. 1	14,9	6,8	3,0	17,8	2,0	42,8	257	3,95	0,57
Beh. 2	14,1	6,2	2,3	16,7	2,3	36,3	229	3,08	0,58
Beh. 3	15,7	6,6	2,5	17,4	2,2	40,7	296	3,19	0,59
Beh. 4	13,7	6,0	2,4	18,3	2,4	32,9	199	2,96	0,51
Mittel	14,6	6,4	2,6	17,6	2,2	38,2	245	3,30	0,56
	± 0,9	± 0,4	± 0,3	± 0,7	± 0,2	± 4,4	± 41	± 0,45	± 0,04

3.1.1.2 Futter-, Energie- und Nährstoffaufnahme

Zur genaueren Differenzierung der Futter-, Energie- und Nährstoffaufnahme wurde die 140 Tage umfassende Mast in drei Mastabschnitte unterteilt. Dabei wurden die Wiegeabschnitte 1 - 2, 3 - 6 und 7 - 10 zu je einem Mastabschnitt zusammengefasst (Übersicht 23).

Übersicht 23: Unterteilung der Mast in drei Mastabschnitte in Fütterungsversuch 1

	Mastabschnitt		
	1	2	3
Lebendmassebereich (kg)	420 - 480	480 - 550	550 - 650
Wiegeabschnitt	1 - 2	3 - 6	7 - 10
Masttage	28	56	56

3.1.1.2.1 Maissilage- und Gesamfutteraufnahme

Der Verlauf der Maissilageaufnahme während des Versuches ist in Übersicht 24 dargestellt. Die Grundfutteraufnahme erhöhte sich fortlaufend vom ersten Mastabschnitt mit im Mittel 6,41 kg T auf 7,00 kg T in Mastabschnitt 2 und 7,74 kg T in Abschnitt 3. Auf die gesamte Mast bezogen lag die Maissilageaufnahme im Mittel der Behandlungen bei 7,0 kg T, wobei kein signifikanter Unterschied in der Grundfutteraufnahme bei unterschiedlicher S-Zufuhr deutlich wurde. Allerdings war in allen Mastabschnitten sowie in der gesamten Mast die Maissilageaufnahme der Gruppe, deren Ration 0,52 % Schwefel enthielt (Beh. 3), tendenziell geringer als die der Gruppen mit 0,17 und 0,32 % Schwefel in der Ration (Beh.1 und 2). Bezogen auf die Gesamtmast wiesen die Tiere, deren Ration 0,32 % Schwefel enthielt, mit im Mittel 7,19 kg T die höchste Maissilageaufnahme auf, während die Tiere mit 0,52 % Schwefel in der Ration nur 6,87 kg T aufnahmen.

Übersicht 24: Mittlere Maissilageaufnahme (kg T/Tier und Tag) in den 3 Mastabschnitten und in der gesamten Mast in Fütterungsversuch 1

	Behandlung			
	1 Kontrolle	2	3	4
% S i. d. T. d. Ration	0,17	0,32	0,52	0,72
MA 1	6,44 ± 0,84	6,38 ± 0,62	6,34 ± 0,62	6,46 ± 0,85
MA 2	7,03 ± 0,99	7,28 ± 0,84	6,93 ± 0,43	6,79 ± 0,98
MA 3	8,32 ± 1,04	7,88 ± 1,70	7,19 ± 0,67	7,56 ± 0,68
gesamte Mast	7,10 ± 0,97	7,19 ± 0,73	6,87 ± 0,44	6,97 ± 0,71

Die Gesamfutteraufnahme (Summe aus Maissilage- und Krafftutteraufnahme) ist in Übersicht 25 dargestellt. Im Versuchsmittel erhielten die Tiere der Behandlungsgruppe 1 2,51 kg T Krafftutter pro Tier und Tag, wobei sich durch die Zulage von Ammoniumsulfat die Krafftutteraufnahme leicht erhöhte. Somit erhielten die Tiere der Behandlungsgruppen 2, 3 und 4 2,57, 2,66 kg und 2,71 kg T/Tier und Tag. Die Gesamt-

futteraufnahme während der gesamten Mast lag im Mittel über alle Behandlungen bei 9,65 kg T, wobei keine Differenzen statistisch abgesichert werden konnten.

Übersicht 25: Mittlere Gesamtfutteraufnahme (kg T/Tier und Tag) in den 3 Mastabschnitten und in der gesamten Mast in Fütterungsversuch 1

	Behandlung			
	1 Kontrolle	2	3	4
% S i. d. T. d. Ration	0,17	0,32	0,52	0,72
MA 1	8,95 ± 0,84	8,94 ± 0,62	8,98 ± 0,62	9,15 ± 0,85
MA 2	9,54 ± 0,99	9,84 ± 0,84	9,57 ± 0,43	9,48 ± 0,98
MA 3	10,83 ± 1,04	10,48 ± 1,70	9,89 ± 0,67	10,33 ± 0,68
gesamte Mast	9,61 ± 0,97	9,76 ± 0,73	9,53 ± 0,44	9,68 ± 0,71

3.1.1.2.2 Energie- und Rohproteinaufnahme

In Übersicht 26 ist die Aufnahme an umsetzbarer Energie in den drei Mastabschnitten und in der Gesamtmast aufgeführt. Im Verlauf des Versuches erhöhte sich durch die zunehmende Aufnahme an Maissilage die tägliche Energieaufnahme kontinuierlich. Im ersten Mastabschnitt lag sie im Mittel der Behandlungen bei 102,1 MJ ME. Sie erhöhte sich in den beiden folgenden Abschnitten auf 108,2 MJ ME bzw. auf 116,6 MJ ME. Bezogen auf die gesamte Mast wurde eine mittlere Energieaufnahme von 109,1 MJ ME pro Tier und Tag erreicht. Im gesamten Versuchsverlauf konnten keine signifikanten Differenzen bei unterschiedlicher S-Zufuhr festgestellt werden. Dennoch zeichnete sich auch hier, wie schon zuvor bei der Grundfutteraufnahme, eine tendenzielle Überlegenheit der Gruppe mit 0,32 % Schwefel in der Ration (Beh. 2) ab, deren Energieaufnahme in der Gesamtmast mit 110,2 MJ ME pro Tag geringfügig über der der restlichen Gruppen lag.

Übersicht 26: Mittlere Energieaufnahme (MJ ME/Tier und Tag) in den 3 Mastabschnitten und in der gesamten Mast in Fütterungsversuch 1

	Behandlung			
	1 Kontrolle	2	3	4
% S i. d. T. d. Ration	0,17	0,32	0,52	0,72
MA 1	102,5 ± 8,9	101,2 ± 6,9	101,8 ± 8,8	102,7 ± 11,0
MA 2	108,5 ± 10,9	111,1 ± 9,2	107,5 ± 4,7	105,6 ± 10,9
MA 3	122,8 ± 11,5	118,1 ± 18,7	110,8 ± 7,4	114,8 ± 7,5
gesamte Mast	109,9 ± 9,9	110,2 ± 8,1	107,8 ± 6,6	108,6 ± 9,1

Die Rohproteinaufnahme der Bullen nahm in den drei Mastabschnitten und in der Gesamtmast, bedingt durch die gestaffelte Ammoniumsulfat-Zulage im Kraftfutter, von Behandlungsgruppe 1 bis Behandlungsgruppe 4 kontinuierlich zu (siehe Übersicht 27). Auf die Gesamtmast bezogen nahm die Kontrollgruppe 1225 g Rohprotein/Tier und Tag auf, bei der Gruppe mit 0,32 % Schwefel in der Ration (Beh. 2) waren es 1306 g pro Tier und Tag, bei der Gruppe mit 0,52 % Schwefel in der Ration (Beh. 3) waren es 1366 g pro Tier und Tag und die Gruppe mit der höchsten S-Zulage (Beh. 4) nahm 1435 g Rohprotein pro Tier und Tag auf. Die Differenzen in der Rohproteinaufnahme konnten statistisch abgesichert werden.

Übersicht 27: Mittlere Rohproteinaufnahme (g/Tier und Tag) in den 3 Mastabschnitten und in der gesamten Mast in Fütterungsversuch 1

	Behandlung			
	1 Kontrolle	2	3	4
% S i. d. T. d. Ration	0,17	0,32	0,52	0,72
MA 1	1169 ^d ± 62	1240 ^c ± 47	1321 ^b ± 51	1391 ^a ± 65
MA 2	1227 ^c ± 76	1321 ^b ± 64	1376 ^{ab} ± 33	1429 ^a ± 76
MA 3	1311 ^b ± 77	1353 ^b ± 127	1383 ^b ± 50	1474 ^a ± 51
gesamte Mast	1225^d ± 73	1306^c ± 56	1366^b ± 36	1435^a ± 54

3.1.1.2.3 Schwefel- und Spurenelementgehalte der Ration

Die mittleren S-Gehalte in der Ration in den drei Mastabschnitten und in der Gesamtmast sind Übersicht 28 zu entnehmen. Entsprechend dem Versuchsplan belief sich in der Gesamtmast der S-Gehalt der Ration der Beh. 1 auf 0,17%, derjenige der Beh. 2 auf 0,34%, derjenige der Beh. 3 auf 0,55% und derjenige der Beh. 4 auf 0,74%.

Übersicht 28: Mittlere S-Gehalte der Ration (in % d. T) in Fütterungsversuch 1

	Behandlung			
	1 Kontrolle	2	3	4
% S i. d. T. d. Ration	0,17	0,32	0,52	0,72
MA 1	0,18 ± 0,00	0,32 ± 0,01	0,52 ± 0,02	0,73 ± 0,05
MA 2	0,18 ± 0,01	0,34 ± 0,03	0,51 ± 0,02	0,73 ± 0,07
MA 3	0,16 ± 0,07	0,37 ± 0,06	0,61 ± 0,06	0,75 ± 0,04
gesamte Mast	0,17 ± 0,01	0,34 ± 0,04	0,55 ± 0,05	0,74 ± 0,05

Die vier Rationen zeigten kaum Unterschiede hinsichtlich der Gehalte an Cu, Se und Mo (siehe Übersicht 29). So lag der mittlere Cu-Gehalt über alle Rationen bei 13,1 mg/kg T, der mittlere Se-Gehalt bei 0,17 mg/kg T und der mittlere Mo-Gehalt bei 1,22 mg/kg T. Die Zn-Gehalte der Rationen waren nicht einheitlich. Die Ration mit 0,52 % Schwefel i. d. T. wies mit 98,8 mg/kg T den höchsten Gehalt auf, die Ration mit 0,72 % Schwefel i. d. T. mit 71,7 mg/kg T den geringsten. Im Mittel über alle Rationen lag der Zn-Gehalt bei 82,3 mg/kg T.

Übersicht 29: Mittlere Gehalte an Cu, Se, Zn und Mo der Ration (in mg/kg T) in Fütterungsversuch 1

	Behandlung				Mittel
	1 Kontrolle	2	3	4	
% S i. d. T. d. Ration	0,17	0,32	0,52	0,72	
		Ammoniumsulfat-Zulage			
Cu	13,9	12,5	14,2	12,0	13,1
	± 1,3	± 1,4	± 1,1	± 1,0	± 1,1
Se	0,16	0,17	0,18	0,16	0,17
	± 0,02	± 0,02	± 0,02	± 0,02	± 0,01
Zn	82,2	76,6	98,8	71,7	82,3
	± 8,0	± 8,7	± 8,5	± 6,2	± 11,8
Mo	1,35	1,14	1,22	1,16	1,22
	± 0,12	± 0,11	± 0,09	± 0,09	± 0,09

3.1.1.3 Lebendmasseentwicklung im Versuchsverlauf

Die Tiere im Fütterungsversuch 1 wiesen zu Versuchsbeginn ein einheitliches Gewicht von 419 kg auf (siehe Übersicht 30). Auch zu Beginn des zweiten Mastabschnitts waren die Gewichte der Behandlungsgruppen mit im Mittel 478 kg relativ einheitlich. Zu Beginn des dritten Mastabschnitts und zu Versuchsende war zu beobachten, dass die Gewichtsentwicklung der Gruppen mit 0,17, 0,52 und 0,72 % Schwefel i. d. T. (Beh.1, 3, 4) sehr ähnlich verlief, während die Tiere der Gruppe mit 0,32 % Schwefel i. d. T. d. Ration (Beh. 2) ein etwas höheres Gewicht aufwiesen. Die Gruppen mit 0,17, 0,52 und 0,72 % Schwefel i. d. T. d. Ration hatten zu Versuchsende ein mittleres Gewicht von 632 kg gegenüber der Gruppe mit 0,32 % Schwefel i. d. T. d. Ration (Beh. 2) mit einem mittleren Gewicht von 668 kg.

Übersicht 30: Lebendmasseentwicklung im Versuchsverlauf in Fütterungsversuch 1

	Behandlung			
	1 Kontrolle	2	3 Ammoniumsulfat-Zulage	4
% S i. d. T. d. Ration	0,17	0,32	0,52	0,72
Versuchsbeginn	414,8 ± 18,9	416,4 ± 22,6	420,8 ± 22,3	422,8 ± 24,6
Anfang MA 2	473,0 ± 19,0	478,9 ± 25,8	476,4 ± 25,4	482,8 ± 27,6
Anfang MA 3	550,9 ± 22,7	568,8 ± 24,9	555,4 ± 28,2	555,8 ± 41,01
Versuchsende	627,6 ± 40,0	667,9 ± 25,9	633,3 ± 32,5	636,1 ± 50,1

In Übersicht 31 sind die täglichen Zunahmen im Versuchsverlauf aufgeführt. Bei der Betrachtung der drei Mastabschnitte wird deutlich, dass die Bullen mit 0,32 % Schwefel i. d. T. d. Ration (Beh. 2) in jedem Abschnitt tendenziell höhere Zunahmen aufwiesen als die übrigen Gruppen. Die Zunahmen der Kontrollgruppe und die der Gruppen mit 0,52 und 0,72 % Schwefel i. d. T. d. Ration befanden sich in der Gesamtmast auf einem sehr einheitlichen Niveau von im Mittel 1521 g. Die täglichen Zunahmen der Gruppe mit 0,32 % Schwefel i. d. T. der Ration (Beh. 2) lagen mit 1796 g um 275 g über diesem Mittel. Aufgrund der großen Streuung in den einzelnen Behandlungsgruppen ließ sich das höhere Zunahmeniveau der Behandlungsgruppe 2 jedoch statistisch nicht sichern.

Übersicht 31: Mittlere tägliche Zunahmen (g) in den 3 Mastabschnitten und in der gesamten Mast in Fütterungsversuch 1

	Behandlung			
	1 Kontrolle	2	3	4
% S i. d. T d. Ration	0,17	0,32	0,52	0,72
MA 1	1969 ± 209	2153 ± 367	1927 ± 262	2084 ± 181
MA 2	1391 ± 440	1605 ± 332	1411 ± 217	1304 ± 415
MA 3	1395 ± 436	1802 ± 168	1416 ± 243	1461 ± 515
gesamte Mast	1521 ± 343	1796 ± 204	1518 ± 164	1524 ± 278

3.1.1.4 Schlachtkörperqualität

Das Schlachtkörpergewicht, der Ausschachtungsgrad und das Nierenfettgewicht der Bullen aus Fütterungsversuch 1 wiesen bei der Schlachtung zu Versuchsende keine signifikanten Unterschiede zwischen den Behandlungen auf. Im Durchschnitt aller Behandlungen betrug das Schlachtkörpergewicht 363 kg, der Ausschachtungsgrad 57,5 % und das Nierenfettgewicht 10,7 kg. Die Gruppe mit 0,32 % Schwefel i. d. T d. Ration (Beh. 2) wies mit 374 kg bzw. 12,2 kg die höchsten Werte für das Schlachtgewicht bzw. das Nierenfettgewicht auf (siehe Übersicht 32).

Übersicht 32: Schlachtkörpergewicht, Ausschachtungsgrad und Nierenfettgewicht in Fütterungsversuch 1

	Behandlung			
	1 Kontrolle	2	3	4
% S i. d. T d. Ration	0,17	0,32	0,52	0,72
Schlachtkörpergewicht (kg)	353 ± 22	374 ± 17	363 ± 19	360 ± 31
Ausschlachtung (%)	57,1 ± 1,3	57,1 ± 0,8	58,1 ± 1,1	57,7 ± 1,4
Nierenfett (kg)	10,5 ± 4,2	12,2 ± 4,0	10,8 ± 1,6	9,2 ± 3,1

3.1.1.5 Schwefel- und Spurenelementgehalte in Leber, Niere, Plasma und Gallenflüssigkeit

In Übersicht 33 sind die analysierten S- und Spurenelementgehalte in der Leber, der Niere, dem Plasma und der Gallenflüssigkeit dargestellt. Wie zu erwarten war zeigte sich in den analysierten Organproben kein Einfluss der Höhe der S-Versorgung auf den S-Gehalt in diesen Organen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Großteil des Schwefels in die schwefelhaltigen Aminosäuren eingebaut wird. Die signifikanten Unterschiede im S-Gehalt in der Niere sind keinem gerichteten Effekt zuzuordnen.

Der Cu-Gehalt in der Leber wurde durch die Höhe der S-Versorgung signifikant beeinflusst. Durch die Sulfat-Zulage wurde der S-Gehalt in der Leber im Vergleich zur Kontrollgruppe ohne Zulage drastisch reduziert. Der Cu-Gehalt der Kontrollgruppe ohne S-Ergänzung lag mit 231 mg/kg T deutlich über den Gehalten der Ammonium-Sulfat-Zulagegruppen, die im Mittel einen Cu-Gehalt von 132 mg/kg T aufwiesen. Der Cu-Gehalt der Leber der drei Sulfat-Zulagegruppen bewegte sich auf einem relativ einheitlichen Niveau, wobei jedoch die Gruppe mit der höchsten S-Zulage (Beh. 4) mit 115 mg/kg T den geringsten Cu-Gehalt aufwies. Ähnlich verhielt es sich mit dem Cu-Gehalt der Gallenflüssigkeit, wobei sich jedoch keine signifikanten Unterschiede zeigten. Der Cu-Gehalt der Kontrollgruppe lag bei 0,42 mg/l und verringerte sich durch die Sulfat-Zulage im Mittel aller Zulagestufen auf 0,25 mg/l, wobei die Gehalte mit steigender Zulage abnahmen. Der Cu-Gehalt in der Niere wurde durch die Zulage von Sulfat leicht reduziert, aber auch hier konnten keine Differenzen statistisch abgesichert werden. Die Kontrollgruppe wies mit 22,3 mg/kg einen etwas höheren Gehalt auf als die Zulagegruppen, die im Mittel einen Gehalt von 19,8 mg/kg aufwiesen. Auch am Cu-Gehalt des Plasmas konnte ein Effekt der S-Versorgung beobachtet werden, wobei dieser jedoch auch nicht signifikant war. Dennoch lag der Gehalt der Kontrollgruppe mit 1,01 mg/l über dem Niveau der Zulagegruppen, die im Mittel einen Gehalt von 0,85 mg/l aufwiesen.

Die Se-Gehalte in den untersuchten Organen wurden zum Teil durch die unterschiedliche S-Dosierung beeinflusst. So konnte bei der Kontrollgruppe mit 1,17 mg/kg T ein signifikant höherer Se-Gehalt in der Leber festgestellt werden als bei den Gruppen mit S-Ergänzung, die einen mittleren Se-Gehalt von 0,98 mg/kg T aufwiesen.

In der Gallenflüssigkeit und in der Niere war bei den Sulfat-Zulagegruppen ein leichter Anstieg der Se-Gehalte gegenüber der Kontrollgruppe zu beobachten. Allerdings

konnten diese Effekte statistisch nicht gesichert werden. In der Gallenflüssigkeit lag der Se-Gehalt der Kontrollgruppe bei 8,56 µg/l und der der Zulagegruppen im Durchschnitt bei 8,78 µg/l. In der Niere waren es 6,32 mg/kg in der Kontrollgruppe gegenüber durchschnittlich 6,89 mg/kg T in den Zulagegruppen.

In der Gallenflüssigkeit nahm der Zinkgehalt mit zunehmender S-Versorgung tendenziell zu und erhöhte sich von 0,66 mg/l in der Kontrollgruppe auf 0,90 mg/l bei der höchsten Zulagestufe. Der Zinkgehalt im Plasma bewegte sich auf zwei verschiedenen Niveaus. So enthielt das Plasma der Tiere der Kontrollgruppe und der Gruppe mit 0,32 % Schwefel i. d. T d. Ration im Mittel 0,80 mg Zink pro l Plasma während das Plasma der Tiere der beiden Gruppen mit der höheren S-Zulage (Beh. 3 und 4) im Mittel 1,02 mg/l enthielt.

Übersicht 33: Schwefel- und Spurenelementgehalte in Leber, Niere, Gallenflüssigkeit und Plasma in Fütterungsversuch 1

	Behandlung			
	1 Kontrolle	2	3	4
% S i. d. T d. Ration	0,17	0,32	0,52	0,72
Leber				
S (g/kg T)	7,96 ± 0,34	7,86 ± 0,31	7,83 ± 0,21	8,09 ± 0,40
Cu (mg/kg T)	231 ^a ± 85	138 ^b ± 42	142 ^b ± 43	115 ^b ± 40
Se (mg/kg T)	1,17 ^a ± 0,14	1,00 ^b ± 0,10	0,97 ^b ± 0,11	0,97 ^b ± 0,08
Niere				
S (g/kg T)	9,58 ^{ab} ± 0,25	10,16 ^a ± 0,79	9,66 ^{ab} ± 0,70	9,33 ^b ± 0,30
Cu (mg/kg T)	22,3 ± 7,1	20,2 ± 2,1	20,0 ± 1,4	19,3 ± 1,3
Se (mg/kg T)	6,32 ± 0,74	6,43 ± 0,40	7,23 ± 1,00	7,00 ± 0,86
Gallenflüssigkeit				
Cu (mg/l)	0,42 ± 0,22	0,30 ± 0,09	0,24 ± 0,10	0,22 ± 0,07
Se (µg/l)	8,56 ± 2,36	8,23 ± 2,04	8,72 ± 1,26	9,38 ± 1,95
Zn (mg/l)	0,66 ± 0,25	0,71 ± 0,21	0,72 ± 0,22	0,90 ± 0,46
Plasma				
Cu (mg/l)	1,01 ± 0,27	0,75 ± 0,25	0,81 ± 0,22	0,98 ± 0,30
Zn (mg/l)	0,85 ^{ab} ± 0,11	0,74 ^b ± 0,27	1,02 ^a ± 0,22	1,01 ^a ± 0,22

3.1.2 Verdaulichkeitsversuch mit Hammeln

Die im Verdaulichkeitsversuch mit Hammeln eingesetzten Futtermittel (Maissilage und Kraftfuttermischungen Beh. 1 und 4) entsprechen den im Rindermastversuch eingesetzten Futtermitteln. Die Hammel, die die Kraftfuttermischung Beh. 1 erhielten nahmen täglich 1,81 g Schwefel auf. Die andere Gruppe, die die Kraftfuttermischung Beh. 4 erhielt, nahm täglich 8,60 g Schwefel auf. Im Mittel über beide Gruppen nahmen die Tiere täglich 1075 g OS, 329 g XP, 24,7 g XL und 180 g XF sowie 12,7 MJ ME auf (siehe Übersicht 34).

Übersicht 34: T-, Nährstoff- und Energiegehalte der Ration im Verdaulichkeitsversuch mit Hammeln

	T	XA	OS	XP	XL	XF	S	ME	
								g	MJ
Beh. 1	1130	55,3	1075	303	24,6	184	1,81	12,8	
Beh. 4	1130	54,8	1075	354	24,7	175	8,60	12,5	

Übersicht 35 zeigt die im Hammelversuch gemessenen Verdaulichkeiten der Rationen. Die Verdaulichkeit der organischen Substanz wurde durch die unterschiedliche S-Zufuhr nur geringfügig beeinflusst. So lag die Verdaulichkeit der organischen Substanz der Kontrollgruppe (Beh. 1) bei 77,9 % und die der Zulagegruppe (Beh. 4) bei 76,2 %. Die Rohfaserverdaulichkeit der Kontrollgruppe war mit 64,0 % numerisch höher als die der Zulagegruppe (Beh. 4) mit 59,0 %. Die Rohfettverdaulichkeit bei der Zulagegruppe lag mit 58,5 % etwas höher als die der Kontrollgruppe mit 53,9 %. Aufgrund der großen Differenzen innerhalb der Behandlungsgruppen konnten die unterschiedlichen Verdaulichkeiten statistisch nicht gesichert werden.

Übersicht 35: Verdaulichkeiten (%) der Rationen im Verdaulichkeitsversuch mit Hammeln

	OS	XF	XL
0,17 % S i. d. T d. Ration (Beh. 1)	77,9 ± 2,2	64,0 ± 7,1	53,9 ± 15,2
0,72 % S i. d. T d. Ration (Beh. 4)	76,2 ± 2,0	59,0 ± 6,0	58,5 ± 5,1

Übersicht 36 zeigt die im Verdaulichkeitsversuch mit Hammeln ermittelte mittlere tägliche S-Ausscheidung in Kot und Harn (GUTSER, mündliche Mitteilung, 2001) sowie die daraus errechnete S-Retention und S-Verdaulichkeit. Die S-Ausscheidung über den Harn war bei der Gruppe mit 0,72 % Schwefel i. d. T d. Ration über das 20fache höher als bei der Kontrollgruppe. Die Ausscheidung über den Kot unterschied sich nur unwesentlich. Die S-Retention der Gruppe mit 0,72 % Schwefel i. d. T d. Ration war über doppelt so hoch wie die der Gruppe mit 0,17 % Schwefel i. d. T d. Ration. Bei der Betrachtung der S-Verdaulichkeit fällt sofort auf, dass die S-Verdaulichkeit der Gruppe ohne Sulfat-Zulage mit 84,24 % fast doppelt so hoch war wie die der Gruppe mit Sulfat-Zulage mit 44,21 %. Bis auf die S-Ausscheidung im Kot waren alle Differenzen signifikant.

Übersicht 36: Mittlere tägliche S-Ausscheidung und Retention sowie S-Verdaulichkeit

	S-Ausscheidung mg/Tag		S-Retention mg/Tag	S-Verdaulichkeit %
	Harn	Kot		
0,17 % S i. d. T d. Ration (Beh. 1)	197 ^b ± 262	88 ± 35	1524 ^b ± 291	84,24 ^a ± 16,06
0,72 % S i. d. T d. Ration (Beh. 4)	4689 ^a ± 366	108 ± 29	3802 ^a ± 363	44,21 ^b ± 4,22

3.2 Versuchsreihe 2: Niedrige bis mittlere S-Dosierung durch Calciumsulfat-Zulage

3.2.1 Fütterungsversuch mit Mastbullen

3.2.1.1 Energie- und Nährstoffgehalte der Futtermittel

Entsprechend der Maissilage aus Versuchsreihe 1 stammte die Maissilage von betriebseigenen Flächen des Versuchsbetriebes Hirschau. Im Versuchsmittel wies die Maissilage mit 405 g/kg einen sehr hohen T-Gehalt auf (siehe Übersicht 37). Bei einem durchschnittlichen Rohaschegehalt von 30,8 g/kg T errechnete sich ein mittlerer Gehalt an organischer Substanz von 969 g/kg T. Die Gehalte an Rohprotein, Rohfett und Rohfaser lagen im Versuchsmittel bei 74,0, 30,4 und 176 g/kg T. Der Stärkegehalt betrug im Mittel 330 g/kg T. Mit 11,0 MJ ME/kg T wies die Silage im Mittel des Versuches einen sehr hohen Energiegehalt auf

Übersicht 37: Mittlere T-, Nährstoff- und Energiegehalte der Maissilage in Fütterungsversuch 2

	T	XA	OS	XP	XL	XF	NfE	Stärke	ME
	g/kg			g/kg T					MJ/kg T
Woche 1 - 4	359	32,2	968	73,1	32,1	199	664	206	11,0
Woche 5 - 8	436	33,3	967	77,5	28,8	178	683	260	11,0
Woche 9 - 12	398	33,1	967	76,7	33,1	172	685	341	11,1
Woche 13 - 16	389	33,4	967	75,6	31,8	184	675	251	11,0
Woche 17 - 20	419	30,8	969	74,5	28,7	151	715	345	11,0
Woche 21 - 24	407	27,0	973	68,1	30,0	170	705	436	11,1
Woche 25 - 28	382	30,4	967	74,3	30,0	174	692	395	11,0
Woche 29 - 32	502	29,4	971	77,4	28,6	169	703	380	11,0
Woche 33 - 37	350	27,5	972	68,5	30,8	186	687	356	11,1
Mittel	405	30,8	969	74,0	30,4	176	690	330	11,0
	± 46	± 2,4	± 2	± 3,5	± 1,6	± 13	± 16	± 75	± 0,1

Der S-Gehalt der Maissilage lag im Mittel bei 0,11 % in der T, wobei sich im Versuchsverlauf nur geringfügige Veränderungen ergaben (Übersicht 38).

Übersicht 38: S-Gehalte der Maissilage in Fütterungsversuch 2

Maissilage	S-Gehalt in % d. T
Woche 1 - 4	0,13
Woche 5 - 8	0,12
Woche 9 - 12	0,11
Woche 13 - 16	0,10
Woche 17 - 20	0,10
Woche 21 - 24	0,10
Woche 25 - 28	0,10
Woche 29 - 32	0,10
Woche 33 - 37	0,10
Mittel	0,11 ± 0,01

Übersicht 39 zeigt die mittleren analysierten Mengen- und Spurenelementgehalte der Maissilage. Hier fällt auf, dass die Gehalte an Cu und Zn mit 3,65 bzw. 20,4 mg/kg T sehr gering waren.

Übersicht 39: Mittlere Mengen- und Spurenelementgehalte der Maissilage in Fütterungsversuch 2

Maissilage	Ca	P	Na	K	Cl	Cu	Zn	Mo	Se
	g/kg T					mg/kg T			
	2,1	2,3	<0,1	10,5	0,8	3,65	20,4	0,43	0,02

In Übersicht 40 sind die mittleren T-, Nährstoff- und Energiegehalte der Kraftfuttermischungen aufgeführt. Die Mischungen wiesen einen einheitlichen T-Gehalt von im Mittel 891 g/kg auf. Aufgrund eines mittleren Rohaschegehaltes von 81,8 g/kg T ergab sich ein Gehalt an organischer Substanz von im Mittel 918 g/kg T. Die acht verschiedenen Mischungen erwiesen sich, wie im Versuchsplan gefordert, als isonitrogen. Der mittlere Rohproteingehalt lag bei 313 g/kg T. Der durchschnittliche Rohfett-

und Rohfasergehalt betrug 22,6 bzw. 36,4 g/kg T. Die Krafffuttermischungen waren weitestgehend isoenergetisch und wiesen einen Energiegehalt von im Mittel 11,7 MJ ME/kg T auf.

Übersicht 40: Mittlere T-, Nährstoff- und Energiegehalte der Krafffuttermischungen in Fütterungsversuch 2

	T	XA	OS	XP	XL	XF	NfE	ME
	g/kg			g/kg T				MJ/kg T
Beh. 1	891	84,1	916	314	23,8	37,2	432	11,7
Beh. 2	891	84,8	915	320	23,6	29,6	433	11,7
Beh. 3	890	81,3	919	313	17,9	32,9	445	11,6
Beh. 4	888	83,6	916	318	24,8	30,4	432	11,6
Beh. 5	894	88,7	911	305	25,6	31,6	443	11,6
Beh. 6	891	87,2	913	315	23,0	35,6	431	11,4
Beh. 7	889	76,4	924	298	17,3	54,4	442	12,5
Beh. 8	893	68,1	932	317	24,4	39,1	445	11,6
Mittel	891	81,8	918	313	22,6	36,4	438	11,7
	± 2	± 6,7	± 7	± 7	± 3,2	± 8,0	± 6	± 0,4

Die S-Gehalte der Krafffuttermischungen nahmen gemäß dem Versuchsplan von Beh. 1 bis Beh. 6 kontinuierlich zu. Bei den S-Zulagegruppen zeigte sich, bedingt durch die im Versuchsplan angestrebte Anpassung des S-Gehaltes der Mischungen an die Maissilageaufnahme, eine Zunahme des S-Gehaltes im Versuchsverlauf. Im Mittel des Versuches lag der S-Gehalt der Beh. 1 bei 0,17 % der T, bei Beh. 2 waren es 0,27 %, bei Beh. 3 0,43 %, bei Beh. 4 0,63 %, bei Beh. 5 0,84 % und Beh. 6 wies mit 1,14% Schwefel in der T den höchsten S-Gehalt auf. Die Mischungen der Kontrolle 2 (Beh.7) enthielten im Mittel 0,30 % Schwefel in der T. Bei den Mischungen der Beh. 8, bei denen Ammoniumsulfat als S-Quelle zugelegt wurde, betrug der S-Gehalt im Mittel 0,57 % in der T (Übersicht 41).

Übersicht 41: S-Gehalte (in % der T) der Krafffuttermischungen in Fütterungsversuch 2

	Behandlung							
	1 Kontrolle 1 ohne S- Ergänzung	2	3 Calciumsulfat-Zulage	4 .	5	6	7 Kontrolle 2 Sojaschrot	8 Ammonium- sulfat-Zul.
% S i. d. T d. Ration	0,11	0,14	0,19	0,25	0,32	0,40	0,16	0,22
1. Mischung	0,15	0,24	0,36	0,60	0,56	0,79	0,26	0,29
2. Mischung	0,15	0,25	0,31	0,50	0,60	0,84	0,30	0,56
3. Mischung	0,22	0,25	0,37	0,53	0,66	0,90	0,29	0,63
4. Mischung	0,17	0,22	0,42	0,51	0,78	1,03	0,32	0,63
5. Mischung	0,18	0,29	0,49	0,80	1,04	1,48	0,34	0,77
6. Mischung	0,16	0,31	0,54	0,73	1,18	1,53	0,30	0,55
7. Mischung	0,18	0,32	0,52	0,74	1,03	1,39	0,31	0,62
Mittel	0,17 (± 0,02)	0,27 (± 0,04)	0,43 (± 0,09)	0,63 (± 0,12)	0,84 (± 0,25)	1,14 (± 0,32)	0,30 (± 0,02)	0,57 (± 0,15)

Die Mengen- und Spurenelementgehalte der Krafffuttermischungen sind in Übersicht 42 dargestellt. Die Gehalte der Beh. 7 (Kontrolle 2, Sojaschrot) wichen versuchsplanbedingt zum Teil deutlich von den mittleren Gehalten der anderen Mischungen ab. So betrug der Cu-Gehalt der Beh. 7 58,3 mg/kg T, während derjenige der übrigen Mischungen im Mittel bei 42,0 mg/kg lag. Der Mo- bzw. K- Gehalt betrug bei Beh.7 mit 3,66 mg/kg T bzw. 14,7 g/kg T mehr als das Doppelte der Gehalte der restlichen Behandlungen. Hier lag der mittlere Mo-Gehalt bei 1,73 mg/kg T und der mittlere K-Gehalt bei 6,73 g/kg T. Demgegenüber zeigten sich die Zn- und Se-Gehalte mit 294 und 0,61 mg/kg T im Mittel über alle Behandlungen relativ einheitlich.

Übersicht 42: Mittlere Mengen- und Spurenelementgehalte der Kraftfuttermischungen in Fütterungsversuch 2

	Ca	P	Na	K	Cl	Cu	Zn	Mo	Se
	g/kg T					mg/kg T			
Beh. 1	20,2	8,0	3,7	6,5	3,5	48,2	323	2,02	0,62
Beh. 2	22,0	8,3	3,6	6,2	3,6	36,7	333	2,11	0,60
Beh. 3	19,1	7,3	3,5	6,3	4,0	32,5	237	1,79	0,57
Beh. 4	20,3	7,9	3,2	7,1	3,7	42,3	302	1,56	0,56
Beh. 5	20,6	8,0	3,2	6,8	3,5	49,1	262	1,45	0,59
Beh. 6	18,8	7,6	3,6	7,0	3,5	43,0	264	1,54	0,69
Beh. 7	23,4	9,6	3,9	14,7	3,8	58,3	365	3,66	0,71
Beh. 8	18,4	7,7	3,8	7,2	3,8	42,3	268	1,97	0,53
Mittel	20,4	8,1	3,6	7,7	3,7	44,1	294	2,01	0,61
	± 1,7	± 0,7	± 0,3	± 2,8	± 0,2	± 7,9	± 44	± 0,71	± 0,06

3.2.1.2 Futter-, Energie- und Nährstoffaufnahme

Fütterungsversuch 2 wurde zur genaueren Differenzierung der Futter-, Energie- und Nährstoffaufnahme sowie der täglichen Zunahmen in drei Mastabschnitte unterteilt. Die 252 Tage andauernde Mast umfasste 19 Wiegeabschnitte, die jeweils 14 Tage beinhalteten. Der Mastabschnitt 1 umfasste Wiegeabschnitt 1 - 3, der folgende die Wiegeabschnitte 4 - 9 und der dritte Mastabschnitt schloss die Wiegeabschnitte 10 - 18 ein (Übersicht 43).

Übersicht 43: Unterteilung der Mast in drei Mastabschnitte in Fütterungsversuch 2

	Mastabschnitt		
	1	2	3
Lebendmassebereich (kg)	280 - 350	350 - 475	475 - 600
Wiegeabschnitt	1 - 3	4 - 9	10 - 19
Masttage	42	84	126

3.2.1.2.1 Maissilage- und Gesamfutteraufnahme

Die in Übersicht 44 dargestellte Maissilageaufnahme der Tiere wies in den drei Mastabschnitten und in der Gesamtmast keine signifikanten Unterschiede zwischen den acht Behandlungen auf. Allerdings zeichnete sich bereits in den ersten beiden Mastabschnitten ab, dass die Grundfutteraufnahme der Gruppen mit 0,25, 0,32 und 0,40 % Schwefel i. d. T d. Ration (Beh. 4, 5, und 6) tendenziell geringer war als die der Gruppen ohne bzw. mit geringerer S-Zulage (Beh. 1, 2, 3). So lag die Maissilageaufnahme der Gruppen mit der höheren S-Zulage (Beh. 4, 5, und 6) im Mittel bei 4,12 kg T und die der Gruppen ohne und mit geringer Zulage (Beh. 1, 2, 3) bei 4,61 kg T im ersten Mastabschnitt. Im zweiten Abschnitt waren es im Mittel 5,78 kg T bei den Gruppen mit der höheren S-Zulage und 6,19 kg T bei den Gruppen ohne und mit geringerer S-Zulage.

Im dritten Mastabschnitt verschob sich das Bild dahingehend, dass hier die Grundfutteraufnahme schon ab einem S-Gehalt von 0,19 % Schwefel i. d. T d. Ration (Beh. 3) tendenziell geringer war als bei den Gruppen mit 0,11 und 0,14 % Schwefel i. d. T d. Ration (Beh. 1 und 2). Diese erreichten im Durchschnitt eine Maissilageaufnahme von 6,76 kg T, während die Gruppen mit den höheren Zulagen (Beh. 3 – 6) im Mittel 6,33 kg T aufnahmen.

Die Maissilageaufnahme in der Gesamtmast ließ einen gerichteten Rationseinfluss erkennen, da mit zunehmender Sulfat-Zulage die Grundfutteraufnahme tendenziell zurückging. Es war zu beobachten, dass sich das Niveau der Grundfutteraufnahme ab einem S-Gehaltes von 0,25 % i. d. T d. Ration (Beh. 4) etwas absenkte. Im Mittel über alle Behandlungen lag die Maissilageaufnahme in der Gesamtmast bei 5,82 kg T.

Übersicht 44: Mittlere Maissilageaufnahme (kg T/Tier und Tag) in den 3 Mastabschnitten und in der gesamten Mast in Fütterungsversuch 2

	Behandlung							
	1 Kontrolle 1 ohne S- Ergänzung	2	3	4	5	6	7 Kontrolle 2 Sojaschrot	8 Ammonium- sulfat-Zul.
% S i. d. T d. Ration	0,11	0,14	0,19	0,25	0,32	0,40	0,16	0,22
MA 1	4,71 ± 0,93	4,48 ± 0,49	4,64 ± 0,60	3,99 ± 0,97	4,02 ± 0,79	4,35 ± 0,81	4,53 ± 0,73	4,61 ± 0,51
MA 2	6,27 ± 0,78	6,01 ± 0,77	6,19 ± 0,45	5,92 ± 0,77	5,56 ± 0,68	5,87 ± 0,59	5,99 ± 0,75	6,11 ± 0,72
MA 3	6,75 ± 0,96	6,77 ± 0,73	6,47 ± 0,80	6,39 ± 0,70	6,34 ± 0,88	6,11 ± 0,80	6,21 ± 0,74	6,69 ± 1,09
Ges. Mast	6,10 ± 0,77	6,00 ± 0,65	5,94 ± 0,54	5,67 ± 0,62	5,52 ± 0,66	5,61 ± 0,50	5,71 ± 0,62	6,00 ± 0,77

Die Gesamfutteraufnahme entspricht der Summe aus Maissilage- und Kraftfutteraufnahme. Die Kraftfutterzuteilung war für alle Behandlungsgruppen identisch und belief sich auf eine Menge von 2,05 kg T. In der Gesamfutteraufnahme wiederholen sich die Tendenzen, die bereits in der Grundfutteraufnahme zu erkennen waren. In den Mastabschnitten 1 und 2 ist die Gesamfutteraufnahme der Gruppen mit 0,25, 0,32 und 0,40 % Schwefel i. d. T d. Ration (Beh. 4, 5 und 6) tendenziell geringer als die der Gruppen ohne und mit geringerer S-Zulage (Beh. 1, 2 und 3). Im dritten Mastabschnitt stellt sich die tendenzielle Verringerung der Futteraufnahme mit höherem S-Gehalt in der Ration bereits ab einem Gehalt von 0,19 % Schwefel i. d. T d. Ration ein. Auf die Gesamtmast bezogen ist wiederum ab einem S-Gehalt von 0,25 % i. d. T d. Ration eine Absenkung des Futteraufnahmeniveaus zu beobachten. Hier lag die Gesamfutteraufnahme der Gruppen mit 0,11, 0,14 und 0,19 % Schwefel i. d. T d. Ration im Mittel bei 8,11 kg T, während es bei den Gruppen mit 0,25, 0,32 und 0,40 % Schwefel i. d. T d. Ration 7,65 kg T waren.

Übersicht 45: Mittlere Gesamtfutteraufnahme (kg T/Tier und Tag) in den 3 Mastabschnitten und in der gesamten Mast in Fütterungsversuch 2

	Behandlung							
	1 Kontrolle 1 ohne S- Ergänzung	2	3 Calciumsulfat-Zulage	4	5	6	7 Kontrolle 2 Sojaschrot	8 Ammonium- sulfat-Zul.
% S i. d. T d. Ration	0,11	0,14	0,19	0,25	0,32	0,40	0,16	0,22
MA 1	6,76 ± 0,93	6,61 ± 0,46	6,69 ± 0,60	6,03 ± 0,97	6,08 ± 0,79	6,40 ± 0,81	6,58 ± 0,73	6,66 ± 0,51
MA 2	8,32 ± 0,78	8,06 ± 0,77	8,24 ± 0,45	7,96 ± 0,77	7,62 ± 0,68	7,92 ± 0,59	8,04 ± 0,75	8,16 ± 0,72
MA 3	8,80 ± 0,96	8,80 ± 0,78	8,52 ± 0,80	8,43 ± 0,70	8,39 ± 0,88	8,16 ± 0,80	8,26 ± 0,74	8,74 ± 1,09
Ges. Mast	8,15 ± 0,77	8,18 ± 0,56	7,99 ± 0,54	7,71 ± 0,62	7,58 ± 0,66	7,66 ± 0,50	7,76 ± 0,62	8,05 ± 0,77

3.2.1.2.2 Energie- und Rohproteinaufnahme

In Übersicht 46 ist die mittlere Energieaufnahme pro Tier und Tag in den Mastabschnitten sowie in der Gesamtmast dargestellt. Die bezüglich der Maissilage- und Gesamtfutteraufnahme beschriebenen Tendenzen in den drei Mastabschnitten gelten ebenfalls für die Energieaufnahme der Tiere. Bei der Betrachtung der Energieaufnahme in der Gesamtmast ist ein Einfluss der S-Zufuhr zu erkennen, da mit zunehmender S-Zufuhr die Energieaufnahme tendenziell zurückgeht. Mit im Mittel 91,2 MJ ME/Tier und Tag lag die Energieaufnahme der Gruppen mit 0,11, 0,14 und 0,19 % Schwefel i. d. T d. Ration (Beh. 1, 2 und 3) tendenziell über der der Gruppen mit 0,25, 0,32 und 0,40 % Schwefel i. d. T d. Ration (Beh. 4, 5 und 6), die im Mittel 86,2 MJ ME/Tier und Tag aufnahmen.

Übersicht 46: Mittlere Energieaufnahme (MJ ME/Tier und Tag) in den 3 Mastabschnitten und in der gesamten Mast in Fütterungsversuch 2

	Behandlung							
	1 Kontrolle 1 ohne S- Ergänzung	2	3 Calciumsulfat-Zulage	4	5	6	7 Kontrolle 2 Sojaschrot	8 Ammonium- sulfat-Zul.
% S i. d. T d. Ration	0,11	0,14	0,19	0,25	0,32	0,40	0,16	0,22
MA 1	75,8 ± 10,3	73,3 ± 5,4	74,8 ± 6,6	66,8 ± 12,1	67,9 ± 8,7	71,2 ± 8,9	75,5 ± 8,0	74,5 ± 5,6
MA 2	93,3 ± 8,6	91,4 ± 8,3	92,1 ± 4,9	89,0 ± 8,5	85,1 ± 7,5	88,1 ± 6,6	91,9 ± 8,3	91,3 ± 7,9
MA 3	100,9 ± 10,9	101,1 ± 8,2	97,2 ± 9,3	96,5 ± 8,1	95,9 ± 10,0	92,9 ± 9,3	96,3 ± 8,3	99,9 ± 12,4
Ges. Mast	92,3 ± 8,6	91,1 ± 7,2	90,1 ± 6,0	86,9 ± 7,6	85,5 ± 7,4	86,1 ± 5,6	89,5 ± 6,9	90,9 ± 8,6

Übersicht 47 zeigt die Rohproteinaufnahme in den drei Mastabschnitten und in der Gesamtmast. Die oben aufgezeigten Tendenzen gelten auch für die Rohproteinaufnahme, da auch hier mit zunehmendem S-Gehalt in der Ration die Rohproteinaufnahme tendenziell zurückgeht. In der Gesamtmast war eine Absenkung des Rohproteinaufnahmeniveaus ab einem S-Gehalt von 0,25 % Schwefel i. d. T d. Ration (Beh. 4) zu beobachten. Die mittlere Rohproteinaufnahme der Gruppen mit 0,11, 0,14 und 0,19 % Schwefel i. d. T d. Ration (Beh. 1, 2 und 3) lag mit im Durchschnitt 1093 g/Tier und Tag tendenziell über der der Gruppen mit 0,25, 0,32 und 0,40 % Schwefel i. d. T d. Ration (Beh. 4, 5 und 6), die im Mittel 1055 g/Tier und Tag aufnahmen.

Übersicht 47: Mittlere Rohproteinaufnahme (g T/Tier und Tag) in den 3 Mastabschnitten und in der gesamten Mast in Fütterungsversuch 2

	Behandlung							
	1 Kontrolle 1 ohne S- Ergänzung	2	3 Calciumsulfat-Zulage	4	5	6	7 Kontrolle 2 Sojaschrot	8 Ammonium- sulfat-Zul.
% S i. d. T d. Ration	0,11	0,14	0,19	0,25	0,32	0,40	0,16	0,22
MA 1	999 ± 71	994 ± 37	992 ± 45	948 ± 82	929 ± 59	974 ± 61	954 ± 55	997 ± 38
MA 2	1117 ± 59	1116 ± 57	1109 ± 34	1098 ± 58	1045 ± 51	1088 ± 45	1064 ± 57	1111 ± 54
MA 3	1133 ^{ab} ± 70	1148 ^a ± 54	1111 ^{ab} ± 59	1114 ^{ab} ± 51	1086 ^{ab} ± 64	1089 ^{ab} ± 59	1062 ^b ± 54	1134 ^{ab} ± 80
Ges. Mast	1096 ± 57	1100 ± 48	1082 ± 40	1069 ± 50	1035 ± 49	1061 ± 37	1036 ± 46	1094 ± 57

3.2.1.2.3 Schwefel- und Spurenelementgehalte der Ration

Der S-Gehalt in der Ration in der Gesamtmast nahm von Behandlungsgruppe 1 bis 6, wie im Versuchsplan gefordert, kontinuierlich zu. Die mittleren S-Gehalte lagen bei 0,12, 0,15, 0,20, 0,25, 0,29 und 0,38 % Schwefel in der T. Bei den Behandlungsgruppen 7 und 8 betragen die S-Gehalte in der Gesamtmast 0,16 bzw. 0,23 % in der T (Übersicht 48).

Übersicht 48: Mittlere S-Gehalte der Ration (in % d. T) in Fütterungsversuch 2

	Behandlung							
	1 Kontrolle 1 ohne S- Ergänzung	2	3 Calciumsulfat-Zulage	4	5	6	7 Kontrolle 2 Sojaschrot	8 Ammonium- sulfat-Zul.
% S i. d. T d. Ration	0,11	0,14	0,19	0,25	0,32	0,40	0,16	0,22
MA 1	0,13 ± 0,00	0,16 ± 0,00	0,19 ± 0,01	0,28 ± 0,05	0,27 ± 0,05	0,35 ± 0,04	0,18 ± 0,01	0,22 ± 0,01
MA 2	0,13 ± 0,00	0,13 ± 0,00	0,17 ± 0,00	0,21 ± 0,01	0,26 ± 0,04	0,33 ± 0,02	0,15 ± 0,01	0,24 ± 0,01
MA 3	0,12 ± 0,00	0,15 ± 0,00	0,20 ± 0,00	0,26 ± 0,01	0,32 ± 0,07	0,45 ± 0,04	0,16 ± 0,01	0,23 ± 0,02
Ges. Mast	0,12 ± 0,00	0,15 ± 0,00	0,20 ± 0,01	0,25 ± 0,02	0,29 ± 0,05	0,38 ± 0,02	0,16 ± 0,01	0,23 ± 0,01

Die Gehalte an Cu, Se, Zn und Mo in der Ration sind Übersicht 49 zu entnehmen. Die Spurenelementgehalte der acht Rationen waren insgesamt relativ ausgeglichen. So lag der mittlere Cu-Gehalt bei 14,6 mg/kg T, der mittlere Se-Gehalt bei 0,18 mg/kg T, der Zn-Gehalt bei 94,5 mg/kg T und der Mo-Gehalt bei 0,85 mg/kg T.

Übersicht 49: Mittlere Gehalte an Cu, Se, Zn und Mo der Ration (in mg/kg T) in Fütterungsversuch 2

	Behandlung							
	1 Kontrolle 1 ohne S- Ergänzung	2	3	4 5 6 Calciumsulfat-Zulage			7 Kontrolle 2 Sojaschrot	8 Ammonium- sulfat-Zul.
% S i. d. T d. Ration	0,11	0,14	0,19	0,25	0,32	0,40	0,16	0,22
Cu	15,2 ± 2,20	12,2 ± 1,51	11,3 ± 1,35	14,6 ± 3,93	16,6 ± 3,70	14,5 ± 2,11	18,8 ± 4,39	13,8 ± 1,9
Se	0,18 ± 0,03	0,17 ± 0,03	0,17 ± 0,03	0,17 ± 0,05	0,18 ± 0,05	0,20 ± 0,04	0,21 ± 0,06	0,15 ± 0,02
Zn	98,6 ± 14,9	102,3 ± 14,4	77,5 ± 10,2	99,2 ± 23,5	89,1 ± 19,7	87,7 ± 13,1	115,8 ± 27,7	85,5 ± 12,0
Mo	0,84 ± 0,08	0,87 ± 0,08	0,79 ± 0,06	0,75 ± 0,09	0,72 ± 0,08	0,74 ± 0,06	1,32 ± 0,26	0,76 ± 0,06

3.2.1.3 Lebendmasseentwicklung im Versuchsverlauf

Zu Versuchsbeginn wiesen die Tiere in Fütterungsversuch 2 ein einheitliches Gewicht von 303 kg auf. Zu Beginn des zweiten Mastabschnitts lag das Durchschnittsgewicht bei 348 kg, zu Beginn des folgenden Abschnitts betrug das Durchschnittsgewicht 478 kg und bei Versuchsende betrug das mittlere Gewicht 595 kg. Zu Versuchsende wies die Gruppe mit 0,40 % Schwefel i. d. T d. Ration (Beh. 6) mit 574 kg das geringste und die Gruppe mit der Ammoniumsulfat-Zulage und 0,16 % Schwefel i. d. T d. Ration (Beh. 8) mit 617 kg das höchste Gewicht auf. Mit im Durchschnitt 609 kg bewegt sich die Gruppe mit 0,14 % Schwefel i. d. T d. Ration (Beh. 2) in etwa auf dem Niveau der Behandlungsgruppe 8 (Übersicht 50).

Übersicht 50: Lebendmasseentwicklung im Versuchsverlauf in Fütterungsversuch 2

	Behandlung							
	1 Kontrolle 1 ohne S- Ergänzung	2	3 Calciumsulfat-Zulage	4	5	6	7 Kontrolle 2 Sojaschrot	8 Ammonium- sulfat-Zul.
% S i. d. T d. Ration	0,11	0,14	0,19	0,25	0,32	0,40	0,16	0,22
Versuchsbeginn	306 ± 32	304 ± 18	301 ± 18	296 ± 39	298 ± 26	301 ± 30	305 ± 34	309 ± 17
Beginn MA 2	351 ± 37	347 ± 21	348 ± 19	342 ± 40	344 ± 26	345 ± 36	353 ± 34	357 ± 18
Beginn MA 3	474 ± 44	480 ± 33	483 ± 23	465 ± 48	469 ± 27	480 ± 32	479 ± 48	491 ± 32
Versuchsende	583 ± 43	609 ± 44	590 ± 32	590 ± 53	597 ± 40	574 ± 45	596 ± 55	617 ± 64

In Übersicht 51 sind die täglichen Zunahmen der Tiere dargestellt. Im gesamten Versuchsverlauf ließen sich keine Differenzen in der täglichen Zunahme statistisch sichern. Bezogen auf die Gesamtmast lag die tägliche Zunahme im Mittel über alle Behandlungen bei 1292 g. Allerdings zeigte die Gruppe mit 0,40 % Schwefel i. d. T d. Ration (Beh. 6) mit 1205 g im Versuchsmittel die geringste Zunahme, gefolgt von der Kontrollgruppe 1 mit 0,11 % Schwefel i. d. T d. Ration, die eine tägliche Zunahme von 1228 g erreichte. Die Gruppen mit 0,14 und 0,16 % Schwefel i. d. T d. Ration erreichten mit 1349 bzw. 1362 g/Tag das höchste Zunahmenniveau.

Übersicht 51: Mittlere tägliche Zunahmen (g) in den 3 Mastabschnitten und in der gesamten Mast in Fütterungsversuch 2

	Behandlung							
	1 Kontrolle 1 ohne S- Ergänzung	2	3 Calciumsulfat-Zulage	4	5	6	7 Kontrolle 2 Sojaschrot	8 Ammonium- sulfat-Zul.
% S i. d. T d. Ration	0,11	0,14	0,19	0,25	0,32	0,40	0,16	0,22
MA 1	1544 ± 354	1479 ± 223	1613 ± 197	1590 ± 195	1601 ± 304	1517 ± 422	1551 ± 338	1629 ± 187
MA 2	1472 ± 146	1577 ± 183	1603 ± 153	1467 ± 273	1489 ± 169	1598 ± 418	1497 ± 289	1603 ± 200
MA 3	965 ± 203	1147 ± 152	950 ± 210	1111 ± 164	1133 ± 224	832 ± 367	1039 ± 233	1115 ± 349
Ges. Mast	1228 ± 137	1349 ± 138	1278 ± 120	1305 ± 168	1325 ± 169	1205 ± 151	1286 ± 171	1362 ± 231

3.2.1.4 Schlachtkörperqualität

Das mittlere Schlachtkörpergewicht lag bei 342 kg, der Ausschachtungsgrad bei 57,4 % und das Nierenfettgewicht bei 10,18 kg (siehe Übersicht 52). Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Behandlungen festgestellt werden. Die Kontrollgruppe 1 mit 0,11 % Schwefel i. d. T d. Ration (Beh. 1) wies mit 329 kg bzw. 56,6 % die geringsten Werte für Schlachtkörpergewicht und Ausschachtungsgrad auf, während die höchsten Werte mit 357 kg und 58,5 % bei der Ammoniumsulfatgruppe mit 0,16 % Schwefel i. d. T d. Ration zu finden waren. Die Kontrollgruppe 1 ohne S-Ergänzung (Beh. 1) verfügte mit 11,27 kg über das höchste Nierenfettgewicht während die Gruppe mit der höchsten Calciumsulfat-Zulage (Beh. 6) mit 8,27 kg das geringste Nierenfett aufwies.

Übersicht 52: Schlachtkörpergewicht, Ausschlagungsgrad und Nierenfettgewicht in Fütterungsversuch 2

	Behandlung							
	1 Kontrolle 1 ohne S- Ergänzung	2	3 Calciumsulfat-Zulage	4	5	6	7 Kontrolle 2 Sojaschrot	8 Ammonium- sulfat-Zul.
% S i. d. T d. Ration	0,11	0,14	0,19	0,25	0,32	0,40	0,16	0,22
Schlacht- körper- gewicht (kg)	329 ± 23	352 ± 27	338 ± 24	339 ± 34	342 ± 21	336 ± 25	342 ± 34	357 ± 33
Ausschlach- tung (%)	56,6 ± 1,24	57,1 ± 2,68	58,2 ± 1,02	57,3 ± 1,50	56,8 ± 2,13	57,6 ± 1,63	57,3 ± 2,16	58,5 ± 1,74
Nieren- fett (kg)	11,3 ± 4,1	10,7 ± 2,1	9,7 ± 3,8	10,5 ± 1,8	11,2 ± 2,0	8,3 ± 2,4	10,0 ± 3,5	9,8 ± 2,5

3.2.1.5 Schwefel- und Spurenelementgehalte in Leber, Niere, Plasma und Gallenflüssigkeit

Übersicht 53 zeigt die analysierten Mengen- und Spurenelementgehalte der bei der Schlachtung entnommenen Organproben. Die S-Gehalte in den untersuchten Organproben ließen wie zu erwarten keine Rückschlüsse auf die Höhe der S-Versorgung zu, da der Schwefel zum größten Teil in die schwefelhaltigen Aminosäuren eingebaut wird.

Mit zunehmender S-Versorgung nahm der Cu-Gehalt in der Leber deutlich ab. Mit 271 mg/kg T war der Cu-Gehalt der Leber der Kontrollgruppe 1 ohne S-Ergänzung (Beh. 1) signifikant höher als die Cu-Gehalte der S-Zulagegruppen. Auch der Cu-Gehalt der Leber der ersten Zulagegruppe mit 0,14 % Schwefel i. d. T d. Ration (Beh. 2) lag mit 190 mg/kg T signifikant über dem der beiden Gruppen mit höherer S-Zulage (Beh. 4 und 6), die Gehalte von 122 und 114 mg Cu/kg T aufwiesen. Analog dazu verhielt es sich mit dem Cu-Gehalt der Gallenflüssigkeit. Die Kontrolle 1 ohne S-Ergänzung (Beh. 1) wies mit 0,52 mg/l einen signifikant höheren Cu-Gehalt auf als die Gruppen mit 0,25 und 0,40 % Schwefel i. d. T d. Ration (Beh. 4 und 6) mit 0,36 bzw. 0,21 mg Cu/l. Auch der Cu-Gehalt der Gruppe mit 0,14 % Schwefel i. d. T d.

Ration (Beh. 2) war mit 0,44 mg/l signifikant höher als derjenige der Gruppe mit 0,40 % Schwefel i. d. T d. Ration (Beh. 6). Die Differenz im Cu-Gehalt zwischen Gruppen mit 0,25 und 0,40 % Schwefel i. d. T d. Ration (Beh. 4 und 6) ließ sich statistisch sichern. Mit zunehmender S-Zulage nahm der Cu-Gehalt in der Niere ab. Die Cu-Gehalte der Gruppen mit 0,11, 0,14 und 0,25 % Schwefel i. d. T d. Ration (Beh. 1, 2 und 4) waren mit durchschnittlich 21,6 mg/kg T signifikant höher als derjenige der Gruppe mit der höchsten Sulfat-Zulage (Beh. 6) mit 19,8 mg Cu/kg T. Am Cu-Gehalt des Plasmas war kein Einfluss der S-Versorgung abzulesen. Er lag im Mittel bei 1,13 mg/l.

Der Se-Gehalt der Leber nahm mit zunehmender S-Versorgung ab. Dabei waren die Gehalte der Kontrollgruppe ohne S-Ergänzung und die der Gruppe mit der niedrigsten Sulfat-Zulage (Beh. 1 und 2) mit 0,99 bzw. 0,98 mg signifikant höher als die der Gruppen mit den höheren S-Zulagen (Beh. 4 und 6) mit 0,78 bzw. 0,74 mg Se/kg T. Der Se-Gehalt in der Gallenflüssigkeit der Kontrollgruppe 1 (Beh. 1) war mit 9,04 µg/l signifikant höher als der der Gruppen mit 0,25 und 0,40 % Schwefel i. d. T d. Ration (Beh. 4 und 6) mit 6,70 bzw. 6,44 µg/l. In der Niere sanken die Se-Gehalte mit zunehmender S-Versorgung. So war der Gehalt der Gruppe mit der höchsten S-Zulage (Beh. 6) mit 6,21 mg/kg T deutlich geringer als die Gehalte der Kontrollgruppe ohne S-Ergänzung und die der Gruppen mit der niedrigsten Sulfat-Zulage (Beh. 1 und 2) mit 7,29 bzw. 7,02 mg/kg T.

Der Zn-Gehalt in der Gallenflüssigkeit nahm mit steigender S-Versorgung kontinuierlich ab. Aufgrund der großen Streuung innerhalb der einzelnen Behandlungsgruppen ließ sich die Abnahme des Zn-Gehaltes statistisch nicht sichern. Der Zn-Gehalt lag für die Beh. 1, 2, 4, und 6 bei 0,62, 0,58, 0,49 und 0,28 mg/l. Der Zn-Gehalt des Plasmas der Gruppe mit der höchsten S-Zulage (Beh. 6) lag mit 0,83 mg/l deutlich unter den Gehalten der beiden anderen S-Zulagegruppen (Beh. 2 und 4) mit im Mittel 1,03 mg/l.

Übersicht 53: Schwefel- und Spurenelementgehalte in Leber, Niere, Gallenflüssigkeit und Plasma in Fütterungsversuch 2

	Behandlung			
	1 Kontrolle 1	2	4 Calciumsulfat-Zulage	6
% S i. d. T d Ration	0,11	0,14	0,25	0,40
Leber				
S (g/kg T)	7,58 ^b ± 0,25	8,26 ^a ± 0,28	7,37 ^b ± 0,36	7,33 ^b ± 0,25
Cu (mg/kg T)	271 ^a ± 87,1	190 ^b ± 42,0	122 ^c ± 36,4	114 ^c ± 43,7
Se (mg/kg T)	0,99 ^a ± 0,09	0,98 ^a ± 0,11	0,78 ^b ± 0,11	0,74 ^b ± 0,10
Niere				
S (g/kg T)	9,10 ± 0,24	9,62 ± 1,70	9,21 ± 0,27	9,23 ± 0,21
Cu (mg/kg T)	21,6 ^a ± 1,45	21,9 ^a ± 2,39	21,2 ^a ± 1,13	19,8 ^b ± 0,83
Se (mg/kg T)	7,29 ^a ± 0,39	7,02 ^a ± 1,21	6,86 ^{ab} ± 0,70	6,21 ^b ± 0,59
Gallenflüssigkeit				
Cu (mg/l)	0,52 ^a ± 0,11	0,44 ^{ab} ± 0,13	0,36 ^b ± 0,17	0,21 ^c ± 0,12
Se (µg/l)	9,04 ^a ± 1,67	7,71 ^{ab} ± 2,05	6,70 ^b ± 1,92	6,44 ^b ± 1,89
Zn (mg/l)	0,62 ± 0,36	0,58 ± 0,28	0,49 ± 0,33	0,28 ± 0,14
Plasma				
Cu (mg/l)	1,16 ± 0,18	1,10 ± 0,26	1,10 ± 0,13	1,17 ± 0,27
Zn (mg/l)	0,93 ^{ab} ± 0,14	1,03 ^a ± 0,14	1,02 ^a ± 0,09	0,83 ^b ± 0,11

3.2.2 Verdaulichkeitsversuch mit Mastbullen

Die im Verdaulichkeitsversuch mit Mastbullen eingesetzten Futtermittel entsprachen denen im Fütterungsversuch 2. Übersicht 54 zeigt die Gehalte an T, OS und XF der Ration. Im Mittel über alle Behandlungen nahmen die Tiere 7563 g T, 7227 g OS und 1113 g XF auf.

Übersicht 54: Gehalte an T, OS und XF der Ration im Verdaulichkeitsversuch mit Mastbullen

	T	OS g	XF
0,11 % S i. d. T d. Ration (Beh. 1)	8249 ± 1421	7932 ± 1376	1182 ± 177
0,25 % S i. d. T d. Ration (Beh.4)	7283 ± 1336	6954 ± 1295	1088 ± 62,6
0,40 % S i. d. T d. Ration (Beh.6)	7156 ± 1004	6796 ± 974	1070 ± 72,6
Mittel	7563 ± 598	7227 ± 615	1113 ± 60,1

Die Verdaulichkeit der OS wurde durch die unterschiedliche S-Zufuhr nur gering beeinflusst. Die Tiere der Calciumsulfat-Zulagegruppen mit 0,25 und 0,40 % Schwefel i. d. T d. Ration (Beh. 4 und 6) verdauten die in der Ration enthaltene OS mit 67,3 bzw. 68,2 % tendenziell besser als die Tiere der Kontrollgruppe, bei der die Verdaulichkeit 66,7 % betrug (siehe Übersicht 55). Deutlicher wurden die Differenzen zwischen den Gruppen mit unterschiedlicher S-Zufuhr bei der Betrachtung der Verdaulichkeit der XF. Auch hier nahm die Verdaulichkeit mit zunehmender S-Versorgung tendenziell zu. Die Kontrollgruppe zeigte eine XF- Verdaulichkeit von 44,7% gegenüber den beiden S-Zulagegruppen deren XF- Verdaulichkeit bei 48,6 und 51,9 % lag. Es konnten jedoch keine Unterschiede in der Verdaulichkeit statistisch abgesichert werden.

Übersicht 55: Verdaulichkeit (%) der OS und der XF im Verdaulichkeitsversuch mit Mastbullen

	OS	XF
0,11 % S i. d. T d. Ration (Beh. 1)	66,7 ± 5,26	44,7 ± 6,60
0,25 % S i. d. T d. Ration (Beh.4)	67,3 ± 7,28	48,6 ± 6,23
0,40 % S i. d. T d. Ration (Beh.6)	68,2 ± 5,39	51,9 ± 12,08

3.3 Versuchsreihe 3: Stärker gestaffelte S-Dosierung durch Calciumsulfat- und Ammoniumsulfat-Zulage

3.3.1 Fütterungsversuch mit Mastbullen

3.3.1.1 Energie- und Nährstoffgehalte der Futtermittel

Die in Fütterungsversuch 3 eingesetzte Maissilage wies im Versuchsmittel mit 413 g/kg einen sehr hohen T-Gehalt auf. Bei einem mittleren Rohaschegehalt von 31,8 g/kg T wies die Silage einen durchschnittlichen Gehalt an organischer Substanz von 968 g/kg T auf. Die Gehalte an Rohprotein, Rohfett und Rohfaser lagen bei 72,0, 32,7 und 165 g/kg T. Der Energiegehalt betrug im Versuchsmittel 11,1 MJ ME/kg T. Auffällig ist der hohe Stärkegehalt mit im Mittel 396 g/kg T (Übersicht 56).

Übersicht 56: T-, Nährstoff- und Energiegehalte der Maissilage in Fütterungsversuch 3

	T	XA	OS	XP	XL	XF	NfE	Stärke	ME
	g/kg				g/kg T				MJ/ kg T
Woche 1 - 4	386	32,4	968	55,5	30,6	178	703	365	11,0
Woche 5 - 8	388	34,1	966	67,6	32,3	169	698	383	11,0
Woche 9 - 12	396	34,0	966	72,6	33,6	172	688	401	11,0
Woche 13 - 16	423	32,4	968	65,9	31,7	170	703	410	11,0
Woche 17 - 20	433	29,2	971	68,7	34,7	153	715	429	11,1
Woche 21 - 24	414	28,2	972	67,4	32,9	163	709	413	11,1
Woche 25 - 28	433	31,5	969	68,5	33,4	151	716	420	11,1
Woche 29 - 32	416	29,8	970	85,6	30,9	162	692	367	11,1
Woche 33 - 37	424	34,8	965	96,4	34,5	169	665	379	11,0
Mittel	413	31,8	968	72,0	32,7	165	699	396	11,1
	± 18	± 2,3	± 2,4	± 12,0	± 1,5	± 9	± 16	± 24	± 0,0

Der S-Gehalt der Maissilage war im Versuchsverlauf relativ ausgeglichen. Im Versuchsmittel lag der Gehalt bei 0,09 % Schwefel in der T (Übersicht 57). Damit lag der S-Gehalt erheblich niedriger als die S-Gehalte in Versuchsreihe 1 und 2.

Übersicht 57: S-Gehalte der Maissilage in Fütterungsversuch 3

Maissilage	S-Gehalt in % d. T.
Woche 1 - 4	0,07
Woche 5 - 8	0,08
Woche 9 - 12	0,08
Woche 13 - 16	0,08
Woche 17 - 20	0,10
Woche 21 - 24	0,10
Woche 25 - 28	0,10
Woche 29 - 32	0,09
Woche 33 - 38	0,09
Mittel	0,09 ± 0,01

In Übersicht 58 sind die analysierten mittleren Mengen- und Spurenelementgehalte der Maissilage dargestellt. Auffällig sind hier, wie auch in Versuchsreihe 1 und 2, der Na-, der Cu- und der Zn-Gehalt, da die Gehalte dieser Elemente sehr gering waren. So lag der Na- Gehalt bei <0,1 g/kg T, der Cu-Gehalt bei 3,08 mg/kg T und der Zn-Gehalt bei 20,2 mg/kg T.

Übersicht 58: Mittlere Mengen- und Spurenelementgehalte der Maissilage in Fütterungsversuch 3

	Ca	P	Na	K	Cl	Cu	Zn	Mo	Se
	g/kg T					mg/kg T			
Maissilage	2,3	2,2	<0,1	8,7	0,7	3,08	20,2	7,9	1,4

Die 8 Kraftfuttermischungen wiesen im Mittel einen T-Gehalt von 887 g/kg auf. Aus einem mittleren Rohaschegehalt von 121 g/kg T errechnete sich ein mittlerer Gehalt an organischer Substanz von 879 g/kg T. Die Gehalte an Rohprotein, Rohasche und

Rohfett beliefen sich im Mittel auf 30,0, 24,8 und 28,1 g/kg T. Der Energiegehalt der Mischungen betrug im Versuchsmittel 12,6 MJ ME (Übersicht 59).

Übersicht 59: Mittlere T-, Nährstoff- und Energiegehalte der Kraftfuttermischungen in Fütterungsversuch 3

	T	XA	OS	XP	XL	XF	NfE	ME
	g/kg							MJ/kg T
				g/kg T				
Beh. 1	877	103	897	296	28,0	28,1	688	13,0
Beh. 2	875	117	883	300	26,5	30,0	672	13,1
Beh. 3	874	126	874	292	24,8	26,5	665	12,5
Beh. 4	869	142	858	284	24,3	29,5	645	12,6
Beh. 5	892	118	882	312	26,2	24,6	692	12,8
Beh. 6	899	119	881	320	22,2	26,5	699	12,7
Beh. 7	903	119	881	303	23,3	29,3	705	12,1
Beh. 8	904	124	876	293	23,3	30,0	697	12,1
Mittel	887	121	879	300	24,8	28,1	683	12,6
	$\pm 14,4$	$\pm 10,9$	$\pm 10,9$	$\pm 11,6$	$\pm 1,95$	$\pm 2,0$	$\pm 20,5$	$\pm 0,4$

Übersicht 60 zeigt die S-Gehalte der einzelnen Kraftfuttermischungen im Versuchsverlauf. Die im Versuchsverlauf ansteigenden S-Gehalte sind durch die Anpassung an die Grundfutteraufnahme bedingt. Die S-Gehalte der beiden Kontrollmischungen ohne Sulfat-Zulage (Beh. 1 und 5) lagen im Versuchsmittel bei je 0,16 % Schwefel i. d. T. Die Mischungen der ersten Sulfat-Zulagestufe (Beh. 2 und 6) wiesen mittlere S-Gehalte von 0,51 bzw. 0,52 % Schwefel i. d. T auf. Bei der zweiten Sulfat-Zulagestufe waren es 1,14 % Schwefel i. d. T bei der Calciumsulfatmischung (Beh. 3) und 1,01 % Schwefel i. d. T bei der Ammoniumsulfatmischung (Beh. 7). Bei der höchsten Sulfat-Zulagestufe enthielt die Mischung mit der Calciumsulfat-Zulage im Mittel 1,71 % Schwefel i. d. T und die Mischung mit der Ammoniumsulfat-Zulage 1,59 % Schwefel i. d. T.

Übersicht 60: S-Gehalte der Kraffuttermischungen in Fütterungsversuch 3

	Behandlung							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Kontrolle	Calciumsulfat-Zulage			Kontrolle	Ammoniumsulfat-Zulage		
% S i. d. T d. Ration	0,10	0,20	0,40	0,60	0,10	0,20	0,40	0,60
S % (i. d. T)								
1. Mischung	0,17	0,45	1,00	1,35	0,15	0,53	0,93	1,54
2. Mischung	0,17	0,53	0,97	1,40	0,18	0,62	1,14	1,71
3. Mischung	0,16	0,48	1,02	1,56	0,16	0,50	1,01	1,54
4. Mischung	0,13	0,56	1,29	2,07	0,14	0,41	0,72	1,51
5. Mischung	0,14	0,49	1,28	1,95	0,14	0,51	1,14	1,63
6. Mischung	0,16	0,54	1,29	1,93	0,20	0,56	1,14	1,63
Mittel	0,16	0,51	1,14	1,71	0,16	0,52	1,01	1,59
	(± 0,20)	(± 0,04)	(± 0,16)	(± 0,31)	(± 0,02)	(± 0,07)	(± 0,17)	(± 0,08)

Die Mengen- und Spurenelementgehalte der acht Mischungen sind in Übersicht 61 dargestellt. Hinsichtlich der Mengenelementgehalte unterschieden sich die Mischungen mit Calcium- und Ammoniumsulfat-Zulage in ihren Na- Gehalten. So lag dieser bei den Calciumsulfat- Mischungen (Beh. 1 - 4) im Durchschnitt bei 7,2 g/kg T und bei den Ammoniumsulfat- Mischungen (Beh. 5 - 8) bei 12,8 g/kg T. Die Spurenelementgehalte der einzelnen Mischungen wichen insgesamt nur geringfügig voneinander ab.

Übersicht 61: Mittlere Mengen- und Spurenelementgehalte der Kraftfuttermischungen in Fütterungsversuch 3

	Ca	P	Na	K	Cl	Cu	Zn	Mo	Se
	g/kg T					mg/kg T			
Beh. 1	30,9	6,9	5,2	5,8	0,4	61,4	551	2,12	1,12
Beh. 2	29,9	7,2	5,6	5,6	0,4	64,9	527	1,57	1,28
Beh. 3	32,1	7,5	7,6	5,0	0,4	65,9	510	1,45	0,90
Beh. 4	33,4	6,9	10,2	5,7	0,3	62,2	473	1,44	0,88
Beh. 5	30,1	7,8	11,7	5,6	0,4	72,9	588	1,77	0,98
Beh. 6	28,0	7,5	11,1	5,6	0,4	69,4	547	1,76	0,99
Beh. 7	34,4	7,8	14,7	5,0	0,4	71,7	553	1,66	1,17
Beh. 8	29,1	7,0	13,7	4,5	0,4	61,4	456	1,64	0,96
Mittel	31,0	7,3	10,0	5,4	0,4	66,2	526	1,68	1,04
	± 2,18	± 0,4	± 9,9	± 0,5	± 0,0	± 4,6	± 44	± 0,22	± 0,14

3.3.1.2 Futter-, Energie- und Nährstoffaufnahme

Zur genaueren Differenzierung der Leistungsparameter Futteraufnahme und Lebendmasseentwicklung wurde die Mast in drei Mastabschnitte unterteilt (siehe Übersicht 62). Dabei wurden jeweils die Wiegeabschnitte 1 - 5, 6 - 12 und 13 - 19 zu je einem Mastabschnitt zusammengefasst.

Übersicht 62: Unterteilung der Mast in drei Mastabschnitte in Fütterungsversuch 3

	Mastabschnitt		
	1	2	3
Lebendmassebereich (kg)	250 - 350	350- 480	480 - 550
Wiegeabschnitt	1 - 5	6 - 12	13 - 18
Masttage	70	98	84

3.3.1.2.1 Maissilage- und Gesamfutteraufnahme

Die Maissilageaufnahme erhöhte sich fortlaufend vom ersten bis zum dritten Mastabschnitt (siehe Übersicht 63). Im ersten Abschnitt waren es im Mittel über alle Behandlungen 3,9 kg T, im Zweiten 5,21 kg T und im Dritten 5,59 kg T.

Übersicht 63: Mittlere Maissilageaufnahme (kg T/Tier und Tag) in den 3 Mastabschnitten in Fütterungsversuch 3

	Behandlung							
	1 Kontrolle	2 Calciumsulfat-Zulage	3	4	5 Kontrolle	6	7	8 Ammoniumsulfat-Zulage
% S i. d. T d. Ration	0,10	0,20	0,40	0,60	0,10	0,20	0,40	0,60
MA 1	4,32 ± 0,66	4,23 ± 0,57	3,85 ± 0,64	3,84 ± 0,78	3,53 ± 0,64	3,68 ± 0,47	3,90 ± 0,49	3,88 ± 0,56
MA 2	4,97 ± 1,08	5,77 ± 0,43	4,84 ± 1,00	5,00 ± 1,26	5,31 ± 0,80	5,29 ± 0,69	5,38 ± 0,88	5,14 ± 0,53
MA 3	4,93 ± 1,03	6,02 ± 0,83	4,98 ± 1,59	5,70 ± 0,77	5,93 ± 0,67	5,52 ± 0,74	5,76 ± 1,02	5,89 ± 0,79

In Übersicht 64 sind die Mittelwerte und Randmittelwerte der Maissilageaufnahme in der Gesamtmast dargestellt. Die mittlere Grundfutteraufnahme der Tiere der Calciumsulfat-Zulage-Behandlungsgruppen war mit 4,94 kg T nahezu identisch mit der für die Ammoniumsulfat-Zulage-Behandlungsgruppen ermittelten Grundfutteraufnahme von 5,00 kg T. Mit steigender Sulfat-Zulagehöhe konnte keine signifikante Veränderung der Maissilageaufnahme beobachtet werden. Auffällig war jedoch die Maissilageaufnahme der Calciumsulfat-Zulagegruppe mit 0,20 % Schwefel i. d. T d. Ration, die sich mit 5,43 kg T von allen anderen Gruppen abhob.

Übersicht 64: Mittelwerte und Randmittelwerte der Maissilageaufnahme (kg T/Tier und Tag) in der gesamten Mast in Fütterungsversuch 3

% S i. d. T. d. Ration	Kontrolle				Sulfat-Zulage				Mittel
	0,10	0,20	0,40	0,60	0,10	0,20	0,40	0,60	
Calciumsulfat-Zulage	4,78 ± 0,69	5,43 ± 0,50	4,59 ± 0,95	4,92 ± 0,84					4,94 ± 0,76
Ammoniumsulfat-Zulage	5,04 ± 0,59	4,92 ± 0,51	5,03 ± 0,73	5,05 ± 0,45					5,00 ± 0,56
Mittel	4,91 ± 0,64	5,16 ± 0,55	4,81 ± 0,85	4,99 ± 0,66					

Die Gesamtfutteraufnahme entspricht der Summe aus Maissilageaufnahme und Krafffutteraufnahme. In Übersicht 65 ist die Grundfutteraufnahme in den drei Mastabschnitten dargestellt. Im Versuchsdurchschnitt erhielten die Tiere eine tägliche Krafffuttermenge von 2,17 kg T. Es konnte kein signifikanter Einfluss der S-Zufuhr auf die Gesamtfutteraufnahme festgestellt werden

Übersicht 65: Mittlere Gesamtfutteraufnahme (kg T/Tier und Tag) in den 3 Mastabschnitten in Fütterungsversuch 3

% S i. d. T d. Ration	Behandlung							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Kontrolle	Calciumsulfat-Zulage			Kontrolle	Ammoniumsulfat-Zulage		
	0,10	0,20	0,40	0,60	0,10	0,20	0,40	0,60
MA 1	6,43 ± 0,66	6,33 ± 0,57	6,03 ± 0,64	6,01 ± 0,78	5,67 ± 0,64	5,84 ± 0,47	6,16 ± 0,49	6,14 ± 0,56
MA 2	7,08 ± 1,08	7,87 ± 0,43	7,02 ± 1,00	7,17 ± 1,26	7,45 ± 0,80	7,45 ± 0,69	7,64 ± 0,88	7,40 ± 0,53
MA 3	7,04 ± 1,03	8,12 ± 0,83	7,16 ± 1,59	7,87 ± 0,77	8,07 ± 0,67	7,68 ± 0,74	8,02 ± 1,02	8,15 ± 0,79

Übersicht 66 zeigt die Mittelwerte und Randmittelwerte der Gesamfutteraufnahme in der Gesamtmast. Ein gesicherter Einfluss auf die Gesamfutteraufnahme konnte weder durch die S-Quelle, noch durch die variierenden S-Dosierungen festgestellt werden. Im Mittel über alle Behandlungen betrug die Gesamfutteraufnahme 7,14 kg T.

Übersicht 66: Mittelwerte und Randmittelwerte der Gesamfutteraufnahme (kg T/Tier und Tag) in der gesamten Mast in Fütterungsversuch 3

% S i. d. T. d. Ration	Kontrolle		Sulfat-Zulage		Mittel
	0,10	0,20	0,40	0,60	
Calciumsulfat-Zulage	6,89 ± 0,69	7,53 ± 0,50	6,77 ± 0,95	7,09 ± 0,84	6,98 ± 0,88
Ammoniumsulfat-Zulage	7,18 ± 0,59	7,08 ± 0,51	7,29 ± 0,73	7,31 ± 0,45	7,21 ± 0,57
Mittel	7,02 ± 0,64	7,14 ± 0,84	7,03 ± 0,85	7,19 ± 0,66	

3.3.1.2.2 Energie- und Rohproteinaufnahme

Die Energieaufnahme betrug im ersten Mastabschnitt im Mittel der Behandlungen 70,1 MJ ME/Tier und Tag. Sie erhöhte sich im zweiten Mastabschnitt auf durchschnittlich 84,6 MJ ME/Tier und Tag. Dieses Niveau stellte sich mit im Mittel 84,8 MJ ME auch im dritten Mastabschnitt ein. Im Versuchsverlauf war kein gerichteter rationsbedingter Einfluss zu beobachten (Übersicht 67).

Übersicht 67: Mittlere Energieaufnahme (MJ ME/Tier und Tag) in den 3 Mastabschnitten in Fütterungsversuch 3

% S i. d. T d. Ration	Behandlung							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Kontrolle	Calciumsulfat-Zulage	Kontrolle	Ammoniumsulfat-Zulage	Kontrolle	Ammoniumsulfat-Zulage	Kontrolle	Ammoniumsulfat-Zulage
	0,10	0,20	0,40	0,60	0,10	0,20	0,40	0,60
MA 1	74,8	72,6	69,5	69,3	65,7	68,0	70,4	70,2
	± 7,9	± 7,1	± 7,6	± 8,6	± 8,4	± 5,1	± 5,4	± 6,2
MA 2	82,6	87,1	80,9	82,7	86,3	86,1	87,0	84,4
	± 12,0	± 13,4	± 11,1	± 14,0	± 8,8	± 7,6	± 9,8	± 5,9
MA 3	78,7	85,2	78,9	86,5	88,9	84,7	87,3	88,4
	± 10,7	± 16,2	± 16,4	± 8,0	± 7,2	± 7,6	± 10,5	± 8,3

Übersicht 68 zeigt die Mittelwerte und Randmittelwerte der Energieaufnahme in der Gesamtmast. Weder die S-Quelle noch die Höhe der Sulfat-Zulage hatte einen Effekt auf die Energieaufnahme der Tiere in der Gesamtmast. Im Mittel über alle Behandlungen betrug die Energieaufnahme 80,6 MJ ME/Tier und Tag.

Übersicht 68: Mittelwerte und Randmittelwerte der Energieaufnahme (MJ ME/Tier und Tag) in der gesamten Mast in Fütterungsversuch 3

% S i. d. T. d. Ration	Kontrolle		Sulfat-Zulage		Mittel
	0,10	0,20	0,40	0,60	
Calciumsulfat-Zulage	79,3	82,4	77,2	80,3	80,1
	± 7,4	± 11,96	± 10,0	± 9,14	± 9,0
Ammoniumsulfat-Zulage	81,4	80,6	81,9	81,8	81,4
	± 6,7	± 5,5	± 7,7	± 4,9	± 5,9
Mittel	80,4	81,5	79,5	81,1	
	± 6,9	± 9,1	± 9,0	± 7,16	

In Übersicht 69 ist die mittlere Rohproteinaufnahme je Tier und Tag in den drei Mastabschnitten dargestellt. Im ersten Abschnitt lag die Rohproteinaufnahme im Mittel über alle Behandlungen bei 887 g und erhöhte sich dann im zweiten und dritten Ab-

schnitt auf 984, bzw. auf 1150 g. Die in den einzelnen Abschnitten auftretenden Signifikanzen waren keinem gerichteten Effekt zuzuordnen. Auf die Gesamtmast bezogen lag die Rohproteinaufnahme im Mittel über alle Behandlungen bei 1011 g/Tier und Tag.

Übersicht 69: Mittlere Rohproteinaufnahme (g/Tier und Tag) in den 3 Mastabschnitten in Fütterungsversuch 3

% S i. d. T d. Ration	Behandlung							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Kontrolle 0,10	Calciumsulfat-Zulage 0,20 0,40		Kontrolle 0,60	Ammoniumsulfat-Zulage 0,10 0,20 0,40 0,60			
MA 1	911 ^a ± 50	872 ^{ab} ± 42	901 ^{ab} ± 47	861 ^{ab} ± 51	848 ^b ± 49	896 ^{ab} ± 32	905 ^{ab} ± 32	899 ^{ab} ± 35
MA 2	935 ^c ± 73	967 ^{abc} ± 82	947 ^{bc} ± 68	925 ^c ± 85	1033 ^{ab} ± 54	1013 ^{abc} ± 47	1040 ^a ± 60	1013 ^{abc} ± 36
MA 3	1068 ^b ± 87	1151 ^{ab} ± 128	1060 ^b ± 135	1132 ^{ab} ± 64	1196 ^a ± 59	1223 ^a ± 63	1204 ^a ± 87	1167 ^{ab} ± 67

Aus Übersicht 70 wird ersichtlich, dass die Ammoniumsulfat-Zulagegruppen in der Gesamtmast mit im Mittel 1044 g eine signifikant höhere Rohproteinaufnahme erreichten als die Calciumsulfat-Zulagegruppen mit 992 g. Demgegenüber hatte die Dosierung der Sulfat-Zulage keinen Einfluss auf die Rohproteinaufnahme.

Übersicht 70: Mittelwerte und Randmittelwerte der Rohproteinaufnahme (g/Tier und Tag) in der gesamten Mast in Fütterungsversuch 3

% S i. d. T. d. Ration	Kontrolle				Sulfat-Zulage	Mittel
	0,10	0,20	0,40	0,60		
Calciumsulfat-Zulage	976 ± 54	1002 ± 80	968 ± 73	977 ± 59		992^β ± 65
Ammoniumsulfat-Zulage	1035 ± 44	1050 ± 37	1047 ± 64	1034 ± 33		1044^α ± 46
Mittel	1006 ± 57	1026 ± 66	1008 ± 78	1006 ± 55		

3.3.1.2.3 Schwefel- und Spurenelementgehalte der Ration

Die S-Gehalte der Rationen in den drei Mastabschnitten sind Übersicht 71 zu entnehmen. Die S-Gehalte entsprechen weitestgehend den im Versuchsplan geforderten Gehalten.

Übersicht 71: Mittlere S-Gehalte der Ration (in % d. T) in den drei Mastabschnitten in Fütterungsversuch 3

	Behandlung							
	1 Kontrolle	2 Calciumsulfat-Zulage	3	4	5 Kontrolle	6	7 Ammoniumsulfat-Zulage	8
% S i. d. T d. Ration	0,10	0,20	0,40	0,60	0,10	0,20	0,40	0,60
MA 1	0,11 ± 0,00	0,22 ± 0,01	0,41 ± 0,05	0,56 ± 0,06	0,11 ± 0,01	0,26 ± 0,02	0,42 ± 0,03	0,65 ± 0,06
MA 2	0,11 ± 0,00	0,22 ± 0,04	0,42 ± 0,05	0,62 ± 0,11	0,11 ± 0,00	0,21 ± 0,01	0,34 ± 0,03	0,54 ± 0,03
MA 3	0,11 ± 0,00	0,22 ± 0,04	0,49 ± 0,15	0,61 ± 0,05	0,11 ± 0,00	0,22 ± 0,01	0,40 ± 0,04	0,53 ± 0,04

Die S-Gehalte der beiden Kontrollgruppen ohne Sulfat-Zulage (Beh. 1 und 5) wiesen in der Gesamtmast einen einheitlichen S-Gehalt von 0,11 % Schwefel i. d. T d. Ration auf (siehe Übersicht 72). Die Gruppen der ersten Sulfat-Zulagestufe (Beh. 2 und 6) wiesen mittlere S-Gehalte von 0,22 bzw. 0,23 % Schwefel i. d. T auf. Bei der zweiten Sulfat-Zulagestufe wichen die S-Gehalte der beiden Gruppen etwas voneinander ab. So waren es 0,44 % Schwefel i. d. T bei der Calciumsulfat-Zulagegruppe (Beh. 3) und 0,38 % Schwefel i. d. T bei der Ammoniumsulfat-Zulagegruppe (Beh. 7). Im Mittel der beiden Gruppen waren es somit 0,41 % Schwefel i. d. T d. Ration. Bei der höchsten Sulfat-Zulagestufe enthielt die Ration mit der Calciumsulfat-Zulage (Beh. 4) 0,60 % Schwefel i. d. T und die Ration mit der Ammoniumsulfat-Zulage (Beh. 8) 0,57 % Schwefel i. d. T. Im Mittel ergab sich daraus ein Gehalt von 0,58 % Schwefel i. d. T d. Ration.

Übersicht 72: Mittelwerte der S-Gehalte der Ration (in % d. T) in der Gesamtmast in Fütterungsversuch 3

% S i. d. T d. Ration	Kontrolle		Sulfat-Zulage	
	0,10	0,20	0,40	0,60
Calciumsulfat-Zulage	0,11 ± 0,00	0,22 ± 0,03	0,44 ± 0,07	0,60 ± 0,07
Ammoniumsulfat-Zulage	0,11 ± 0,00	0,23 ± 0,01	0,38 ± 0,03	0,57 ± 0,03
Mittel	0,11 ± 0,002	0,22 ± 0,02	0,41 ± 0,058	0,58 ± 0,053

Die Gehalte an Cu, Se, Zn und Mo der acht Versuchsrationen waren nahezu identisch (siehe Übersicht 73). Der Cu-Gehalt beläuft sich im Mittel auf 23,3 mg/kg T, der Se-Gehalt auf 1,28 mg/kg T, der Zn-Gehalt auf 182 mg/kg T und der Mo-Gehalt auf 5,90 g/kg T.

Übersicht 73: Mittlere Gehalte an Cu, Se, Zn und Mo der Ration (in mg/kg T) in Fütterungsversuch 3

% S i. d. T d. Ration	Behandlung							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Kontrolle	Calciumsulfat-Zulage	Kontrolle	Calciumsulfat-Zulage	Kontrolle	Ammoniumsulfat-Zulage	Ammoniumsulfat-Zulage	Kontrolle
	0,10	0,20	0,40	0,60	0,10	0,20	0,40	0,60
Cu	21,6 ± 4,30	22,1 ± 5,76	24,2 ± 5,42	22,0 ± 4,15	25,1 ± 6,37	24,0 ± 4,26	25,4 ± 4,19	22,2 ± 3,5
Se	1,31 ± 0,02	1,36 ± 0,01	1,23 ± 0,04	1,23 ± 0,03	1,27 ± 0,04	1,27 ± 0,03	1,32 ± 0,01	1,26 ± 0,03
Zn	188 ± 39	176 ± 47	184 ± 42	166 ± 31	196 ± 42	186 ± 33	193 ± 32	163 ± 26
Mo	6,07 ± 0,43	5,95 ± 0,59	5,73 ± 0,56	5,83 ± 0,45	5,97 ± 0,56	5,96 ± 0,39	5,87 ± 0,38	5,85 ± 0,38

3.3.1.2.4 Kationen-Anionen Bilanz der Ration

Die Na- Gehalte der beiden Gruppen Calciumsulfat-Zulage (Beh. 1 - 4) und Ammoniumsulfat-Zulage (Beh. 5 - 8) unterschieden sich deutlich aufgrund der verschiedenen Kraftfutterzusammensetzungen (siehe Übersicht 74). Im Mittel lag der Na- Gehalt bei den Gruppen mit der Calciumsulfat-Zulage (Beh. 1 - 4) bei 2,37 g/kg T und der der Gruppen mit der Ammoniumsulfat-Zulage bei 4,12 g/kg T. Die K- und Cl- Gehalte aller Gruppen waren insgesamt recht einheitlich und lagen im Mittel bei 7,63 bzw. bei 0,60 g/kg T. Gemäß der Versuchsanstellung nahmen die S-Gehalte der beiden Gruppen Calciumsulfat-Zulage (Beh. 1 - 4) und Ammoniumsulfat-Zulage (Beh. 5 - 8) von der Kontrollgruppe bis zur höchsten S-Zulage kontinuierlich zu.

Übersicht 74: Mittlere Gehalte Na, K, Cl und S der Ration (in g/kg T) in Fütterungsversuch 3

	Behandlung							
	1 Kontrolle	2 Calciumsulfat-Zulage	3	4	5 Kontrolle	6 Ammoniumsulfat-Zulage	7	8
% S i. d. T d. Ration	0,10	0,20	0,40	0,60	0,10	0,20	0,40	0,60
Na	1,72 ± 0,37	1,80 ± 0,51	2,62 ± 0,65	3,33 ± 0,68	3,76 ± 1,06	3,57 ± 0,71	4,76 ± 0,90	4,39 ± 0,78
K	7,78 ± 0,21	7,75 ± 0,29	7,46 ± 0,32	7,74 ± 0,20	7,72 ± 0,28	7,72 ± 0,20	7,52 ± 0,23	7,38 ± 0,24
Cl	0,61 ± 0,02	0,61 ± 0,03	0,60 ± 0,03	0,57 ± 0,03	0,61 ± 0,03	0,61 ± 0,02	0,60 ± 0,02	0,61 ± 0,02
S	1,09 ± 0,05	2,17 ± 0,40	4,40 ± 1,09	6,01 ± 1,26	1,11 ± 0,07	2,26 ± 0,34	3,81 ± 0,64	5,64 ± 0,84

Anhand der oben aufgeführten Gehalte an Na, K, Cl und S in den Rationen wurden die Kationen-Anionen Bilanzen der Rationen berechnet. Mit zunehmender Sulfat-Zulage nahm die Kationen-Anionen-Differenz der Ration fortlaufend ab. In den Calciumsulfat-Zulagegruppen verringerte sie sich von +189 meq/kg T in der Kontrolle auf -48 meq/kg T in der höchsten Zulagestufe. In den Ammoniumsulfat-Zulagegruppen verringerte sie sich von +275 meq/kg T in der Kontrolle auf +10 meq/kg T in der höchsten Zulagestufe (siehe Übersicht 75). Aufgrund der höheren Na-Gehalte in der

Ration waren die Bilanzen der vier Ammoniumsulfat-Zulagegruppen insgesamt höher als die der Calciumsulfat-Zulagegruppen.

Übersicht 75: Mittlere Kationen-Anionen-Differenz der Ration (in meq/kg T) in Fütterungsversuch 3

	Behandlung							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Kontrolle	Calciumsulfat-Zulage			Kontrolle	Ammoniumsulfat-Zulage		
% S i. d. T d. Ration	0,10	0,20	0,40	0,60	0,10	0,20	0,40	0,60
meq/kg T	+189	+124	+13	-48	+275	+195	+145	+10
	± 10	± 13	± 51	± 64	± 38	± 13	± 30	± 26

3.3.1.3 Lebendmasseentwicklung im Versuchsverlauf

Zu Versuchsbeginn wiesen die Tiere ein einheitliches Gewicht von 256 kg auf (Übersicht 76). Zu Beginn des zweiten und dritten Abschnitts betrug das durchschnittliche Gewicht 356 bzw. 480 kg. Zu Versuchsende erreichten die Tiere ein mittleres Gewicht von 552 kg.

Übersicht 76: Lebendmasseentwicklung im Versuchsverlauf in Fütterungsversuch 3

	Behandlung							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Kontrolle	Calciumsulfat-Zulage			Kontrolle	Ammoniumsulfat-Zulage		
% S i. d. T d. Ration	0,10	0,20	0,40	0,60	0,10	0,20	0,40	0,60
Versuchsbeginn	256	257	257	255	253	254	256	256
	± 18	± 22	± 26	± 20	± 23	± 10	± 19	± 15
Beginn MA 2	366	359	350	353	351	346	362	358
	± 32	± 35	± 36	± 37	± 34	± 18	± 20	± 27
Beginn MA 3	478	487	456	475	486	468	498	490
	± 47	± 59	± 50	± 55	± 50	± 29	± 28	± 32
Versuchsende	550	579	525	544	552	550	558	556
	± 54	± 30	± 58	± 50	± 51	± 21	± 38	± 50

In Übersicht 77 sind die mittleren täglichen Zunahmen in den drei Mastabschnitten dargestellt. In allen Abschnitten war kein signifikanter Rationseinfluss zu beobachten. Die durchschnittliche tägliche Zunahme betrug im ersten Mastabschnitt 1437 g, im zweiten 1293 g, im dritten 992 g und in der Gesamtmast 1229 g.

Übersicht 77: Mittlere tägliche Zunahmen (g) in den 3 Mastabschnitten in Fütterungsversuch 3

	Behandlung							
	1 Kontrolle	2 Calciumsulfat-Zulage	3	4	5 Kontrolle	6 Ammoniumsulfat-Zulage	7	8
% S i. d. T d. Ration	0,10	0,20	0,40	0,60	0,10	0,20	0,40	0,60
MA 1	1570	1527	1328	1411	1392	1325	1485	1460
	± 283	± 103	± 304	± 277	± 273	± 190	± 217	± 231
MA 2	1230	1403	1150	1244	1380	1243	1333	1364
	± 140	± 132	± 274	± 260	± 276	± 270	± 233	± 243
MA 3	1002	1028	953	949	912	1133	937	1022
	± 168	± 153	± 296	± 293	± 244	± 421	± 121	± 276

Aus Übersicht 78 wird ersichtlich, dass die täglichen Zunahmen der Calciumsulfat-Zulagegruppen und der Ammoniumsulfat-Zulagegruppen nahezu identisch waren. Auch die Höhe der Sulfat-Zulage hatte keinen signifikanten Einfluss auf die täglichen Zunahmen. Allerdings wiesen die Gruppen der ersten Zulagestufe mit 0,20 % Schwefel i. d. T d. Ration mit im Mittel 1278 g die höchsten Zunahmen auf, im Gegensatz zu den Gruppen der zweiten Zulagestufe mit 0,40 % Schwefel i. d. T d. Ration, die mit 1175 die niedrigsten Zunahmen erreichten.

Übersicht 78: Mittelwerte und Randmittelwerte der täglichen Zunahmen (g) in der gesamten Mast in Fütterungsversuch 3

% S i. d. T. d. Ration	Kontrolle		Sulfat-Zulage		Mittel
	0,10	0,20	0,40	0,60	
Calciumsulfat-Zulage	1227 ± 198	1327 ± 81	1107 ± 185	1204 ± 138	1216 ± 169
Ammoniumsulfat-Zulage	1243 ± 184	1234 ± 84	1244 ± 125	1249 ± 197	1242 ± 148
Mittel	1235 ± 186	1278 ± 93	1175 ± 168	1227 ± 166	

3.3.1.4 Schlachtkörperqualität

Aus Übersicht 79 geht hervor, dass weder die S-Quelle, noch die Höhe der Sulfat-Zulage einen signifikanten Einfluss auf das Schlachtgewicht, den Ausschachtungsgrad und das Nierenfettgewicht hatten. Das mittlere Schlachtkörpergewicht betrug 322 kg, der mittlere Ausschachtungsgrad lag bei 57,1 % und das Nierenfettgewicht betrug im Mittel 8,73 kg. Allerdings fiel bei der Betrachtung des Schlachtkörpergewichtes auf, dass die beiden Gruppen mit 0,20 % Schwefel i. d. T d. Ration mit 331 kg das höchste Gewicht erreichten. Außerdem wiesen die Tiere der Calciumsulfat-Zulagegruppen mit im Mittel 9,33 kg ein um 1,21 kg höheres Nierenfettgewicht auf als die Gruppen der Ammoniumsulfat-Zulage, die im Mittel ein Nierenfettgewicht von 8,12 kg aufwiesen. Auch bei den Sulfat-Zulagestufen zeigten sich Unterschiede bezüglich des Nierenfettes. Die Gruppen der ersten Zulagestufe mit 0,20 % Schwefel i. d. T d. Ration wiesen mit 9,44 kg ein höheres Nierenfettgewicht auf als die übrigen Gruppen die im Mittel ein Nierenfettgewicht von 8,49 kg aufwiesen.

Übersicht 79: Mittelwerte und Randmittelwerte der Schlachtkörpergewichte, der Ausschachtung und der Nierenfettgewichte in Fütterungsversuch 3

(% S i. d. T d. Ration)	Kontrolle		Sulfat-Zulage		Mittel
	0,10	0,20	0,40	0,60	
Schlachtkörpergewicht (kg)					
Calciumsulfat-Zulage	319 ± 32	337 ± 21	323 ± 41	321 ± 39	322 ± 34
Ammoniumsulfat-Zulage	316 ± 30	326 ± 27	318 ± 26	326 ± 26	322 ± 27
Mittel	318 ± 30	331 ± 24	321 ± 33	319 ± 33	
Ausschlachtung (%)					
Calciumsulfat-Zulage	61,1 ± 9,17	57,1 ± 2,21	55,9 ± 2,21	55,9 ± 2,05	57,6 ± 5,32
Ammoniumsulfat-Zulage	56,6 ± 1,18	57,3 ± 1,0	55,8 ± 1,75	56,6 ± 1,33	56,6 ± 1,36
Mittel	58,9 ± 6,74	57,2 ± 1,63	55,9 ± 1,93	56,3 ± 1,71	
Nierenfett (kg)					
Calciumsulfat-Zulage	9,28 ± 2,76	10,71 ± 2,13	8,51 ± 3,88	8,90 ± 2,64	9,33 ± 2,89
Ammoniumsulfat-Zulage	7,89 ± 2,77	8,32 ± 2,73	8,84 ± 3,10	7,52 ± 2,97	8,12 ± 2,76
Mittel	8,59 ± 2,78	9,44 ± 2,69	8,68 ± 3,40	8,21 ± 2,72	

3.3.2 Verdaulichkeitsversuch mit Mastbullen

Die im Verdaulichkeitsversuch mit Mastbullen eingesetzten Futtermittel entsprachen denen im Fütterungsversuch 3. In Übersicht 80 sind die T-, OS- und XF- Gehalte der Rationen im Verdaulichkeitsversuch aufgeführt. Im Durchschnitt nahmen die Tiere im Verdauungsversuch 7801 g T, 7381 g OS und 1036 g XF auf.

Übersicht 80: Gehalte an T, OS und XF der Ration im Verdaulichkeitsversuch mit Mastbullen

	T	OS g	XF
Calciumsulfat-Zulage			
0,10 % S i. d. T d. Ration (Beh. 1)	6965 ± 1075	6601 ± 1028	910 ± 167
0,20 % S i. d. T d. Ration (Beh. 2)	7864 ± 1096	7435 ± 1040	1051 ± 182
0,60 % S i. d. T d. Ration (Beh. 4)	7816 ± 1309	7348 ± 1232	1041 ± 209
Ammoniumsulfat-Zulage			
0,10 % S i. d. T d. Ration (Beh. 5)	8552 ± 503	8076 ± 487	1158 ± 85,9
0,20 % S i. d. T d. Ration (Beh. 6)	7854 ± 1117	7468 ± 1051	1029 ± 190
0,60 % S i. d. T d. Ration (Beh. 8)	7755 ± 1382	7361 ± 1297	1027 ± 195
Mittel	7801 ± 504	7382 ± 470	1036 ± 79

Die Tiere der Calciumsulfat-Zulagegruppen verdauten die organische Substanz mit 70,8 % signifikant besser als die Ammoniumsulfat-Zulagegruppen mit 67,8 % (Übersicht 81). Mit zunehmender Sulfat-Zulage nahm die Verdaulichkeit der organischen Substanz tendenziell zu. Sie verbesserte sich von 68,2 % bei den Kontrollgruppen auf 69,7 % bei den Gruppen mit 0,20 % Schwefel i. d. T d. Ration und auf 70,2 % in den Gruppen mit 0,60 % Schwefel i. d. T d. Ration.

Die Verdaulichkeit der XF war bei den Calcium- und Ammoniumsulfat-Zulagegruppen mit im Mittel 47,2% nahezu identisch. Mit zunehmender Sulfat-Zulage war eine ten-

denzielle Verbesserung der XF- Verdaulichkeit zu beobachten. Die Kontrollgruppen erreichten eine Verdaulichkeit von 44,8 %, die sich mit zunehmender S-Dosierung auf 47,8 und 49,2 % erhöhte.

Übersicht 81: Mittelwerte und Randmittelwerte der Verdaulichkeit (%) der OS und der XF im Verdaulichkeitsversuch mit Mastbullen

(% S i. d. T. d. Ration)	Kontrolle		Sulfat-Zulage		Mittel
	0,10	0,20	0,60		
VQ OS					
Calciumsulfat-Zulage	69,1 ± 5,68	70,7 ± 3,85	72,5 ± 1,82	70,8^α ± 4,17	
Ammoniumsulfat-Zulage	67,2 ± 4,24	68,6 ± 6,05	67,5 ± 7,65	67,8^β ± 4,92	
Mittel	68,2 ± 4,95	69,7 ± 5,01	70,2 ± 4,31		
VQ XF					
Calciumsulfat-Zulage	42,5 ± 15,11	46,3 ± 8,57	53,0 ± 5,20	47,3 ± 10,94	
Ammoniumsulfat-Zulage	47,1 ± 4,08	49,5 ± 8,58	44,7 ± 6,02	47,2 ± 5,61	
Mittel	44,8 ± 10,90	47,8 ± 7,83	49,2 ± 6,47		

4 Diskussion

4.1 Zur Bedeutung des Schwefels in der Wiederkäuerernährung

Bei den Wiederkäuern wird Schwefel neben Calcium, Phosphor, Magnesium, Natrium und Chlor zu den lebensnotwendigen Mengenelementen gezählt. Die Bedeutung des Schwefels im Stoffwechsel ist vielseitig, da zahlreiche biologische Vorgänge auf der spezifischen Reaktionsfähigkeit dieses Elements in speziellen organischen Molekülen wie Coenzym A und Glutathion beruhen. Die S-haltigen Aminosäuren sind dabei Ausgangsprodukte für die Synthese dieser und anderer Biokatalysatoren. Dazu gehören beispielsweise S-haltige Hormone wie Insulin, S-haltige Vitamine wie Thiamin und Biotin sowie Blutbestandteile wie Hämoglobin. Schwefel ist somit an vielen Vorgängen im Organismus beteiligt, z. B. an der Proteinsynthese und dem Proteinstoffwechsel, dem Fett- und Kohlenhydratstoffwechsel und der Blutgerinnung. Schwefel übernimmt im Organismus auch strukturelle Aufgaben da er für den räumlichen Aufbau der Sekundär- und Tertiärstruktur der Proteine eine wichtige Rolle spielt, denn die häufigste kovalente Bindung ist die Disulfid-Brücke, die sich durch Dehydrierung zweier Cysteinreste bildet (SCHEUNERT und TRAUTMANN, 1987).

Der S-Bedarf der Mikroorganismen im Vormagen kann durch Sulfat oder andere S-haltige Verbindungen gedeckt werden (WHANGER, 1972, HUNTER und SIEBERT, 1980, GOODRICH und THOMPSON, 1981, MORRISON et al., 1990, 1994). Hier besteht ein Unterschied zu Nicht-Wiederkäuern, bei denen eine über die in den Aminosäuren Methionin und Cystein enthaltenen Mengen hinausgehende Versorgung mit Schwefel nicht für erforderlich gehalten wird. In den Bedarfsempfehlungen für Milchkühe und Aufzuchtrinder der GfE werden keine Empfehlungen zur Versorgung von Wiederkäuern mit Schwefel angegeben, da zur Zeit hierfür keine genügend gesicherte experimentelle Basis vorhanden ist (GfE, 2001). In den Bedarfsempfehlungen für Milchkühe wird vom NRC (2001) ein S-Gehalt von 0,2 % in der T der Ration empfohlen. In den Bedarfsempfehlungen für Fleischrinder des NRC (2000) ist der S-Bedarf nicht genau definiert. Es wird jedoch ein Gehalt von 0,15 % Schwefel in der Ration für notwendig gehalten. Da pflanzliche Futtermittel die Grundlage der Wiederkäuerernährung bilden, spielen sie für die S-Versorgung des Wiederkäuers eine entscheidende Rolle. Daher werden im Folgenden die Zusammenhänge zwischen Schwefel sowie der Produktion und der Qualität pflanzlicher Futtermittel dargestellt. Dazu wird

ein Bogen vom Boden über die Pflanze bis hin zum verzehrsfähigen Futtermittel geschlagen.

4.2 Schwefel im Boden, in Pflanzen und in Futtermitteln

4.2.1 Schwefeleintrag in den Boden und Auswirkungen auf die Pflanze

Der Gesamt- S-Gehalt in mineralischen Böden liegt etwa zwischen 0,02 und 0,2 %. Die Sulfide des Fe, Cu, Ni usw. werden unter aeroben Bedingungen rasch zu Sulfaten oxidiert. Calciumsulfat, in ariden Böden auch Natrium- und Magnesiumsulfat, sind die vorherrschenden S-Verbindungen der Mineralböden. Im Gegensatz zu den Sulfiden, die die anorganische Bodenreserve bilden, sind Sulfate leicht löslich und beweglich (außer Calciumsulfat) und sind somit die wichtigste Schwefelverbindung für die Ernährung der Pflanze. Sie werden, sofern sie nicht von der Pflanze aufgenommen werden, in Abhängigkeit von den Niederschlägen, entweder nahezu vollständig ausgewaschen (humides Klima) oder an der Bodenoberfläche angereichert (arides Klima). Der Anteil des organisch gebundenen Schwefels am Gesamt-Schwefel im Boden beträgt ca. 50 bis 75 %. Er ist abhängig von dem Gehalt der Böden an organischer Substanz und den spezifischen Umsetzbedingungen. Bei den organischen S-Verbindungen handelt es sich hauptsächlich um die S-haltigen Aminosäuren Cystein, Cystin und Methionin, entweder frei oder in Proteinen gebunden, die von Pflanzen, Mikroorganismen oder Tieren stammen. Die organischen S-Verbindungen werden durch mikrobiellen Abbau in Sulfat überführt. Der Umsatz der S-Verbindungen im Boden und der daraus entstehenden Endprodukte hängt von den ökologischen Bedingungen ab, insbesondere vom Wasser-Luft-Haushalt der Böden (AMBERGER, 1996).

Die S-Zufuhr zum Boden erfolgt auf verschiedenen Wegen. Über die mineralische Düngung gelangen in Deutschland im Mittel ca. 15 kg Schwefel pro ha und Jahr in den Boden und über organische Düngung ca. 4 kg Schwefel pro ha. Auch durch manche Pflanzenschutzmittel, wie organische Fungizide, die bis zu 50 % Schwefel enthalten können, wird Schwefel zugeführt (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1992). Durch den Eintrag aus der Atmosphäre wird dem Boden ebenfalls Schwefel zugeführt. Durch die Verbrennung von Kohle, Erdöl usw. entsteht SO_2 , welches an die Atmosphäre abgegeben wird. In der Luft wird es teilweise zu SO_3 oxidiert

(AMBERGER, 1996). Der in der Luft enthaltene Schwefel gelangt über zwei Wege in den Boden. Böden besitzen die Fähigkeit, große Mengen an gasförmigen S-Verbindungen wie Schwefeldioxid, Schwefelwasserstoff und Methylmercaptan (CH_3SH) mit hoher Geschwindigkeit zu adsorbieren. In den Niederschlägen wird der in der Luft enthaltene Schwefel gelöst und gelangt somit in Form von H_2SO_4 und H_2SO_3 in die Böden (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1992).

In den vergangenen zwei Jahrzehnten hat die externe S-Zufuhr in Agrarökosysteme deutlich abgenommen. Dies ist auf den Rückgang der Schwefelemissionen aus industriellen Anlagen, die verminderten Applikationsmengen von S-haltigen Düngemitteln und den abnehmenden S-Gehalt von Pflanzenschutzmitteln zurückzuführen (CECOTTI and MESSICK, 1994, ERIKSEN et al., 1995, TAUBE et al., 2000, RUTZMOSER und RÜHLICKE, 2000). Eine adäquate S-Versorgung von Kulturpflanzenbeständen ist sowohl im Hinblick auf die Ansprüche der Pflanzenbestände als auch im Hinblick auf die Ansprüche der Nutztiere von großer Bedeutung. Weltweit gesehen herrschen jedoch sehr unterschiedliche Bedingungen hinsichtlich der S-Versorgung von Futterpflanzenbeständen. Die Prärielandschaften Nordamerikas zum Beispiel weisen teilweise sehr hohe Sulfatkonzentrationen in den Böden und im Grundwasser auf (MAYLAND und ROBBINS, 1994). In einigen Gebieten Neuseelands dagegen enthalten die Böden nur sehr wenig Schwefel (GRACE et al., 1997). Die Weidegrasbestände in tropischen Gegenden der Erde sind ebenfalls häufig nur unzureichend mit Schwefel versorgt (MORRISON et al. 1990, 1994). In Deutschland wurden aufgrund des reduzierten S-Eintrages zunächst für Kulturarten mit hohem S-Bedarf wie Raps Defizite in der S-Versorgung festgestellt (SCHUNG und PISSAREK, 1982, BLOEM, 1998). Doch auch für Futtergrasbestände wurden seit Mitte der 80er Jahre positive Schwefeldüngungseffekte auf Ertrag und Qualität publiziert.

Zwei Studien von SPEARS et al. (1985) zeigten eine Erhöhung des Gesamtschwefelgehaltes von Knaulgras und Riesenschwingel durch S-Düngung. Beim Riesenschwingel erhöhte sich der Gesamtschwefelgehalt von 0,33 % ohne S-Düngung auf 0,40 % Schwefel mit S-Düngung und beim Knaulgras von 0,29 % ohne S-Düngung auf 0,37 % Gesamtschwefel in der T mit S-Düngung. Die Erhöhung des Gesamtschwefelgehaltes war dabei hauptsächlich durch die Erhöhung des Nicht-Protein-Schwefels bedingt. Die Zunahme des Gesamtschwefelgehaltes durch die S-Düngung war jedoch nicht signifikant. Des Weiteren fanden die Autoren eine signifikant verbesserte Verdaulichkeit der T und der Faserfraktionen beim Heu vom

Knaulgras, nicht aber beim Heu vom Riesenschwingel. Die Proteinverdaulichkeit wurde durch die Schwefeldüngung beim Riesenschwingel verbessert, beim Knaulgras verschlechtert. Die Differenzen hinsichtlich der Proteinverdaulichkeit waren signifikant.

Bei einem Vergleich einer Harnstoff- und Ammoniumsulfat- Düngung von Weideland stellten HARDT et al. (1991) in den Futtergräsern von den mit Ammoniumsulfat gedüngten Weiden einen höheren S-Gehalt und eine verbesserte *in vitro*-Abbaubarkeit der T fest. MURPHY und QUIRKE (1997) untersuchten den Effekt einer Schwefeldüngung bei verschiedenen Stickstoffdüngenebenen auf Ertrag und Qualität von Futtergras bei 4-facher Schnittnutzung. Die Schwefeldüngung erhöhte den Ertrag zumindest numerisch bereits bei niedrigen Stickstoffgaben. Bei den höheren Stickstoffgaben bewirkte die S-Düngung signifikante Ertragserhöhungen. Die Autoren stellten fest, dass der S-Gehalt des Futters des 4. Schnittes bei einer N- Düngung von 480 kg/ha ohne S-Düngung 2,5 g/kg T und bei gleicher N- Düngung mit einer S-Ergänzung von 88 kg/ha 4,0 g/kg Schwefel betrug. Die Qualität der Gräser wurde durch die Schwefeldüngung verbessert, dies zeigte sich auch in einem niedrigeren Nitratgehalt und in einem höheren Proteinstickstoffgehalt. Der niedrigere Nitratgehalt ist als Merkmal für einen verbesserten Futterwert der Gräser zu sehen, da hohe Nitratgehalte die Celluloseverdaulichkeit (*in vitro*) verringern (SPEARS et al., 1977). In einem dreijährigen Feldversuch mit deutschem Weidelgras bei 4-facher Schnittnutzung überprüften TAUBE et al. (2000) die Wirkung einer Schwefeldüngung auf Ertrag und Inhaltsstoffe in Abhängigkeit vom Niveau der Stickstoffdüngung. Die Schwefeldüngung bei hoher Stickstoffintensität bewirkte einen signifikanten Ertragsanstieg über alle Versuchsjahre. Des Weiteren zeigten sich die Auswirkungen der S-Düngung, insbesondere bei hoher Stickstoffdüngung, in einer Zunahme von S- und Rohfasergehalt sowie einer leichten Abnahme im Rohproteingehalt. Die Abnahme des Rohproteingehaltes ist dabei auf Verdünnungseffekte durch die positive Ertragswirkung der S-Düngung zurückzuführen. Ein verändertes Aminosäuremuster im Rohprotein, ein erhöhter Anteil von Reinprotein zu Lasten von NPN- Verbindungen und geringere Nitratgehalte waren ebenfalls auf die Schwefeldüngung zurückzuführen. Die Veränderung in der Aminosäurezusammensetzung des Rohproteins bestand zum größten Teil in einem Rückgang des Gehaltes an Asparaginsäure. Asparaginsäure dient unter anderem als Vorstufe für die Synthese schwefelhaltiger Aminosäuren. Bei Schwefelmangel kommt es zu einer Akkumulation der Asparaginsäure, weil

der weitere Syntheseweg zu S-haltigen Aminosäuren blockiert ist (MARSCHNER, 1995). Die durch die S-Düngung verringerten Nitratgehalte sind darauf zurückzuführen, dass Schwefel in der Pflanze unter anderem die Nitratreduktase katalysiert. MILLARD et al. (1987) beobachteten eine Zunahme an löslichen Kohlenhydraten in Weidelgras aufgrund einer Schwefeldüngung. Auch AHMAD et al. (1995) fanden eine Zunahme der Konzentration an löslichen Kohlenhydraten und Schwefel in Sorghumsilagen durch S-Düngung. So stieg der S-Gehalt der Silage durch die S-Düngung von 0,10 % Schwefel auf 0,13 % Schwefel in der T an. Durch die Düngung mit Ammoniumsulfat ergab sich ein engeres N : S Verhältnis in der Silage und die Verdaulichkeit von T, NDF und Hemicellulosen wurde verbessert. HARDT et al. (1991) düngten Hafer/Weizen-Weideflächen mit 200 kg/ha Harnstoff oder 448 kg/ha Ammoniumsulfat. Durch die Düngung mit Ammoniumsulfat erhöhte sich der S-Gehalt in den Gräsern. So enthielt das Futter von den mit Harnstoff gedüngten Flächen im Mittel 0,32 % Schwefel in der T und das der mit Ammoniumsulfat gedüngten Flächen im Mittel 0,50 % Schwefel in der T.

4.2.2 Schwefel in Pflanzen

Schwefel, der als SO_4^- Ion und organisch gebunden als Sulfhydryl-Gruppe im pflanzlichen Organismus wichtige Funktionen erfüllt (SCHEFFER und WELTE, 1955) zählt zu den essentiellen Nährstoffen für Pflanzen. Die Pflanzen nehmen den Schwefel aus dem Boden in seiner höchstoxidierten Form als Sulfation auf, welches vor dem Einbau in organische Verbindungen zur Sulfid- bzw. Sulfhydrylform reduziert wird (SCHEFFER und WELTE, 1955). Diese Reduktion erfolgt durch den Sulfreduktase-Komplex vorwiegend in den Chloroplasten der Blätter und nur zu einem geringen Teil in den Wurzeln. Der entstandene zwertige Schwefel wird schließlich in einen Kohlenstoffkörper eingebaut, meist in Acetylserin, so dass Cystein entsteht (NULTSCH, 1991). Cystein kann dann als Sulfhydrylgruppendonator für andere Verbindungen fungieren. In der Pflanze findet sich der Schwefel vor allem im Spross (50 bis 70 %) sowohl in anorganischer als auch (nach Reduktion) in organischer Form. Jüngere stoffwechselaktive Pflanzenteile bzw. Gewebe sind reich an organischen S-Verbindungen; dagegen ist das anorganische Sulfat mehr als S-Reserve zu betrachten, die bei Bedarf jederzeit aktiviert und transportiert werden kann (AMBERGER, 1996).

4.2.3 Schwefel in Futtermitteln

Pflanzliche Futtermittel der verschiedensten Art und Zusammensetzung bilden die Futtergrundlage für die Wiederkäuer. Die Schwefelgehalte in pflanzlichen Futtermitteln sind von verschiedenen Faktoren abhängig. Zu diesen Faktoren zählen die Pflanzenart, die Düngung der Pflanzen, die im Futtermittel enthaltenen Pflanzenteile, das Alter der Pflanzenteile, die Anzahl der Schnittnutzungen bei Gras und Wechselwirkungen mit anderen Nährstoffen (JONES, 1975). Da Schwefel von Pflanzen für die Synthese S-haltiger Aminosäuren und somit für die Proteinbiosynthese benötigt wird, haben Kulturpflanzen mit hohem Proteinertrag wie z. B. Raps einen entsprechend hohen S-Bedarf und enthalten somit eine dementsprechende hohe Menge Schwefel. Der Einfluss der Düngung auf die S-Gehalte in Futterpflanzen wurde oben bereits erläutert.

In Übersicht 1 sind in der Literatur dargestellte und in der vorliegenden Arbeit ermittelte Schwefelgehalte verschiedener Grund- und Kraffuttermittel aufgeführt. Aus der Übersicht geht hervor, dass die in der Literatur beschriebenen Schwefelgehalte von Grundfuttermitteln deutlich variieren. WALCH (1998) beobachtete anhand von Probenmaterial der Versuchsstation Hirschau eine Zunahme des S-Gehaltes im Gras vom ersten bis zum dritten Aufwuchs. So enthielt der erste Aufwuchs 2,13 g S/kg T, der Zweite 3,59 g S/kg T und der dritte 4,03 g S/kg T. RUTZMOSEER und RÜHLICKE (2000) ermittelten in Wiesengras (Probenmaterial aus Bayern) im ersten Schnitt 1,95 g S/kg T und in den folgenden Schnitten 1,72 g S/kg T. Demnach nimmt bei WALCH (1998) der S-Gehalt vom ersten bis zum dritten Schnitt deutlich zu, während sich bei RUTZMOSEER und RÜHLICKE (2000) der S-Gehalt tendenziell verringert. Der S-Gehalt in Pflanzen korreliert jedoch eng mit dem Rohproteingehalt. So nahmen die von WALCH (1998) ermittelten Rohproteingehalte der Gräser vom ersten bis zum dritten Aufwuchs deutlich von 136 auf 180 und 243 g/kg T zu. RUTZMOSEER und RÜHLICKE (2000) stellten mit zunehmender Schnittnutzung mit Werten von 161 g/kg T für den ersten Schnitt und 130 g/kg T für den zweiten Schnitt abnehmende Rohproteingehalte fest. In den USA beträgt nach Angaben des NRC (2001) der S-Gehalt im Weidegras im Mittel 2,00 g/kg T. Demgegenüber analysierten WHANGER et al. (1978) ebenfalls im Weidegras einen S-Gehalt von 3,66 g/kg T. PUOLI et al. (1990) ermittelten einen mittleren S-Gehalt von nur 1,20 g/kg T in Futtergräsern, wobei sich gleichzeitig ein sehr niedriger Rohproteingehalt in den untersuchten Gräser von im Mittel 62 g/kg T ergab.

WALCH (1998) bestimmte S-Gehalte von Klee gras vom ersten, zweiten und dritten Aufwuchs von 2,61, 2,93 und 2,83 g/kg T. Vergleichbare Werte von 2,60 g S/kg analysierten GRACE et al. (1996) im Futter einer Weidel gras/Weißklee-Weide Neuseelands. Weitere Werte für S-Gehalte im Heu liegen bei 3,06, 2,46, und 1,58 g/kg T beim ersten, zweiten und dritten Aufwuchs (WALCH, 1998, Versuchsstation Hirschau) und bei 1,28 g/kg T für den ersten bzw. 1,81 g/kg T für die folgenden Schnitte (RUTZMOSE R und RÜHLICKE, 2000). Die von den Autoren beobachteten Unterschiede in den S-Gehalten im Heu aus verschiedenen Aufwüchsen stimmen wiederum mit den differierenden Proteingehalten dieser Aufwüchse überein. So stellte WALCH (1998) eine Abnahme der Rohproteingehalte vom ersten bis zum dritten Aufwuchs mit Werten von 126, 123 und 81 g/kg T fest, während RUTZMOSE R und RÜHLICKE (2000) eine Zunahme im Rohproteingehalt mit Werten von 98 und 134 g/kg T ermittelten.

In den USA lagen die S-Gehalte für Heu bei 2,10 g/kg T (NRC, 2001) und 2,18 g/kg T (WHANGER et al., 1978) bei jeweils ähnlichen Rohproteingehalten von 106 g/kg T (NRC, 2001) und 100 g/kg T (WHANGER et al., 1978). Leguminosenheu enthält 2,50 g S/kg T bei einem Rohproteingehalt von 202 g/kg T (NRC 2001). In Australien fanden ROBERTSON et al. (1996) 3,30 g S/kg T in Luzerneheu. Ebenfalls in Australien ermittelten MORRISON et al. (1994) in Heu aus tropischen Gräsern einen sehr geringen S-Gehalt von 0,60 g/kg T.

Auch hinsichtlich der S-Gehalte in Grassilagen unterscheiden sich die Angaben der Autoren zum Teil erheblich. Die Untersuchungen von WALCH (1998) ergaben S-Gehalte für den ersten, zweiten und dritten Aufwuchs von 3,48, 2,28 und 3,00 g/kg T. RUTZMOSE R und RÜHLICKE (2000) bestimmten für Grassilage vom ersten Schnitt einen S-Gehalt von 2,05 g/kg T und von den folgenden Schnitten einen S-Gehalt von 2,19 g/kg T. Für siliertes Weidel gras ermittelten die beiden Autoren einen S-Gehalt von 1,72 g/kg T. Bei Klee grassilage und Luzerne grassilage fanden die beiden Autoren jeweils nur leicht erhöhte S-Gehalte der ersten Schnitte gegenüber den folgenden Schnitten. So betragen die S-Gehalte des ersten Schnittes bei Klee- bzw. Luzerne grassilage 2,08 bzw. 2,01 g/kg T während es bei den folgenden Schnitten 1,85 bzw. 1,99 g/kg T waren.

KHORASANI et al. (1997) analysierten in Kanada die S-Gehalte von Getreide ganzpflanzensilage aus Gerste, Hafer und Triticale und kamen auf Gehalte von 2,09, 2,11 und 2,02 g S/kg T bei Rohproteingehalten von 124, 115 und 127 g/kg T. Die in

Deutschland festgestellten S- und Rohproteingehalte in Getreideganzpflanzensilage liegen deutlich unter den in Kanada ermittelten Gehalten. So bestimmte WALCH (1998) in Gerste-Ganzpflanzensilage 1,49 g S/kg T bei einem Rohproteingehalt von 82 g/kg T und RUTZMOSER und RÜHLICKE (2000) fanden in Getreide-Ganzpflanzensilage einen S-Gehalt von 1,32 g/kg bei einem Rohproteingehalt von 99 g/kg T.

Maissilage zählt zu den rohproteinärmsten Futtermitteln überhaupt. Demzufolge ist auch der S-Gehalt von Maissilage entsprechend gering. Für die vorliegende Arbeit wurden im Vorfeld der Versuche die S-Gehalte einiger Maissilageproben vom Versuchsgut Hirschau analysiert. So enthielt eine Mischprobe verschiedener Maissilagen 0,89 g S/kg T, die Sorte Facet 0,90 g S/kg T und die Sorte Helix 0,95 g S/kg T. In den drei Versuchsreihen lagen die S-Gehalte der Maissilage im Mittel bei 1,10, 1,10 und 0,90 g/kg T bei Rohproteingehalten von 75,5, 74, 0 und 72,0 g/kg T. Die für die vorliegende Arbeit ermittelten S-Gehalte stehen im Einklang mit den in der Literatur angegebenen nationalen und internationalen Werten. Die deutschen Autoren bestimmten S-Gehalte in Maissilagen von 0,85, 0,92, 0,91, 0,93 g/kg T bei einem mittleren Rohproteingehalt von 82 g/kg T (RUTZMOSER und RÜHLICKE, 2000, WALCH, 1998). In den USA werden S-Gehalte in Maissilage von 1,40 und 1,00 g/kg T angegeben (NRC, 2001).

WALCH (1998) fand in Stroh und Futterrüben S-Gehalte von 1,37 g/kg T, bzw. 0,71 g/kg T.

In der vorliegenden Arbeit wurde auch der S-Gehalt der Kraftfutterkomponenten ermittelt. Der S-Gehalt der Gerste von 1,49 g/kg T stimmt weitestgehend mit den in der Literatur angegebenen nationalen und internationalen Werten von 1,20 g/kg T (NRC 2001) und 1,40 g/kg T (WALCH, 1998) überein. Auch beim Weizen stimmte der in der vorliegenden Arbeit festgestellte Gehalt von 1,49 g/kg T mit denen von WALCH (1998) und NRC (2001) überein. Die beiden Autoren ermittelten Gehalte von 1,54 bzw. 1,50 g S/kg T. Mit 1,95 bzw. 1,90 g S/kg T (WALCH, 1998, NRC, 2001) weist Hafer den höchsten S-Gehalt der beobachteten Getreide Sorten auf. Der in der vorliegenden Untersuchung analysierte S-Gehalt von Körnermais liegt mit 0,87 g/kg T unter den in der Literatur angegebenen Werten von 1,32 bzw. 1,00 g/kg T (WALCH, 1998, NRC, 2001). Für Trockenschnitzel geben WALCH (1998) und NRC (2001) S-Gehalte von 2,46 bzw. 3,00 g/kg T an, in der vorliegenden Arbeit waren es 2,10 g/kg T.

WALCH (1998) ermittelte S-Gehalte für die Eiweißfuttermittel Erbsen, Ackerbohnen und Lupinen von 2,04, 2,03 und 5,31 g/kg T. Die Rohproteingehalte dieser Futtermittel betragen 258 und 295 und 326 g/kg T. Der wesentlich höhere S-Gehalt der Lupinen im Gegensatz zu den Erbsen und Bohnen ist zum einen auf den höheren Rohproteingehalt zurückzuführen. Lupinen weisen aber auch einen deutlich höheren Gehalt an den S-haltigen Aminosäuren Methionin + Cystein von 0,78 % in der FS gegenüber Erbsen bzw. Bohnen von nur 0,53 bzw. 0,50 % in der FS (Degussa, 1996) auf. Die in der Wiederkäuerernährung eingesetzten Extraktionsschrote und Expeller haben ebenfalls sehr hohe Gehalte an Rohprotein und demzufolge auch hohe S-Gehalte.

Das Importprodukt Sojaextraktionsschrot variiert im S-Gehalt etwas. So wird vom NRC (2001) ein durchschnittlicher S-Gehalt von 4,25 g/kg T bei einem mittleren Rohproteingehalt von 519 g/kg T angegeben. WALCH (1998) fand 4,06 g S/kg T in Sojaextraktionsschrot. In der vorliegenden Untersuchung wurde ein S-Gehalt im Sojaextraktionsschrot von 3,93 g/kg T festgestellt. Rapsexpeller und Rapsextraktionsschrot zählen zu den schwefelreichsten Konzentratfuttermitteln. WALCH (1998) und NRC (2001) ermittelten S-Gehalte für Extraktionsschrot bzw. Expeller von 6,82 bzw. 7,30 g/kg T. Der mittlere Rohproteingehalt dieser Futtermittel beträgt dabei 393 g/kg T und liegt damit deutlich unter dem Rohproteingehalt von Sojaextraktionsschrot. Der hohe S-Gehalt ist auf den hohen Gehalt an S-haltigen Aminosäuren zurückzuführen. So enthält Rapsextraktionsschrot im Mittel 1,62 % Methionin + Cystein in der FS und Sojaextraktionsschrot nur 1,34 % Methionin + Cystein in der FS (Degussa, 1996).

Insgesamt gesehen stimmen die in der vorliegenden Arbeit ermittelten S-Gehalte der Futtermittel mit den Angaben in der Literatur weitestgehend überein.

Anhand der oben angeführten S-Gehalte der verschiedenen Grund- und Krafftuttermittel können Rückschlüsse auf die S-Gehalte praxisüblicher Rationen für Rinder gezogen werden. Dabei sind natürlich regionale Unterschiede zu berücksichtigen. Allgemein kann jedoch davon ausgegangen werden, dass auch Rationen, die auf Grundfuttermitteln mit geringen nativen S-Gehalten wie zum Beispiel Maissilage basieren, einen S-Gehalt von 0,10 % nicht unterschreiten, da durch die Rohproteiner-gänzung über das Krafftutter verstärkt Schwefel über die S-haltigen Aminosäuren in die Ration eingebracht wird. Die Höhe dieser S-Ergänzung ist dabei abhängig vom Rohproteingehalt des Ergänzungsfuttermittels, da dieser eng mit dem S-Gehalt korreliert. Zusammenfassend ist davon auszugehen, dass unter Berücksichtigung

reliert. Zusammenfassend ist davon auszugehen, dass unter Berücksichtigung der regionalen Unterschiede praxisübliche Rationen für Wiederkäuer native S-Gehalte im Bereich von 0,15 % bis zu 0,30 % Schwefel enthalten.

Übersicht 82: Schwefelgehalte verschiedener Futtermittel

Futtermittel	S-Gehalt in g/kg T	Autor
Grundfuttermittel		
Grünfutter		
<i>Deutschland</i>		
Wiesengras 1. Schnitt	1,95	RUTZMOSEER und RÜHLICKE (2000)
Wiesengras folgende Schnitte	1,72	RUTZMOSEER und RÜHLICKE (2000)
Gras 1. Aufwuchs	2,13	WALCH (1998)
Gras 2. Aufwuchs	3,59	WALCH (1998)
Gras 3. Aufwuchs	4,03	WALCH (1998)
Kleegras 1. Aufwuchs	2,61	WALCH (1998)
Kleegras 2. Aufwuchs	2,93	WALCH (1998)
Kleegras 3. Aufwuchs	2,83	WALCH (1998)
<i>USA</i>		
Weidegras	3,66	WHANGER et al. (1978)
Weidegras (intensiv)	2,00	NRC (2001)
Weide, Leguminosen (intensiv)	3,1	NRC (2001)
Switchgrass ohne N-Düngung	1,20	PUOLI et al. (1991)
Switchgrass 75 kg N/ha	1,30	PUOLI et al. (1991)
Big bluestem ohne N-Düngung	1,10	PUOLI et al. (1991)
Big bluestem 75 kg N/ha	1,20	PUOLI et al. (1991)
<i>Australien</i>		
Pangola grass ohne S-Düngung	1,03	REES und MINSON (1978)
Pangola grass mit S-Düngung	1,57	REES und MINSON (1978)
<i>Neuseeland</i>		
Weidelgras / Weißklee Weide	2,60	GRACE et al. (1997)

Übersicht 82: Schwefelgehalte verschiedener Futtermittel (Fortsetzung)

Futtermittel	S-Gehalt in g/kg T	Autor
Konservierungsprodukte		
<i>Deutschland</i>		
Grassilage 1. Schnitt	2,05	RUTZMOSEER und RÜHLICKE (2000)
Grassilage folgende Schnitte	2,19	RUTZMOSEER und RÜHLICKE (2000)
Grassilage 1. Aufwuchs	3,48	WALCH (1998)
Grassilage 2. Aufwuchs	2,28	WALCH (1998)
Grassilage 3. Aufwuchs	3,00	WALCH (1998)
Weidelgras siliert	1,72	RUTZMOSEER und RÜHLICKE (2000)
Kleegrassilage 1. Schnitt	2,08	RUTZMOSEER und RÜHLICKE (2000)
Kleegrassilage folgende Schnitte	1,85	RUTZMOSEER und RÜHLICKE (2000)
Luzernegrassilage 1. Schnitt	2,01	RUTZMOSEER und RÜHLICKE (2000)
Luzernegrassilage folgende Schnitte	1,99	RUTZMOSEER und RÜHLICKE (2000)
<i>USA</i>		
Leguminosen Silage	2,40	NRC (2001)
<i>Kanada</i>		
Luzerne-Ganzpflanzensilage	3,01	KHORASANI et al. (1997)
<i>Deutschland</i>		
Wiesenheu 1. Schnitt	1,28	RUTZMOSEER und RÜHLICKE (2000)
Wiesenheu folgende Schnitte	1,81	RUTZMOSEER und RÜHLICKE (2000)
Heu 1. Aufwuchs	3,06	WALCH (1998)
Heu 2. Aufwuchs	2,46	WALCH (1998)
Heu 3. Aufwuchs	1,58	WALCH (1998)
<i>USA</i>		
Heu	2,10	NRC (2001)
Wiesenheu	2,18	WHANGER et al. (1978)
Leguminosenheu	2,50	NRC (2001)
<i>Australien</i>		
Luzerne Heu	3,30	ROBERTSON et al. (1996)
Spear grass hay	0,60	MORRISON et al. (1994)

Übersicht 82: Schwefelgehalte verschiedener Futtermittel (Fortsetzung)

Futtermittel	S-Gehalt in g/kg T	Autor
Ackerfrüchte		
<i>Deutschland</i>		
Getreide-Ganzpflanzensilage	1,32	RUTZMOSEER und RÜHLICKE (2000)
Gersten-Ganzpflanzensilage	1,49	WALCH (1998)
Stroh	1,37	WALCH (1998)
Futterrüben	0,71	WALCH (1998)
<i>Kanada</i>		
Gerste-Ganzpflanzensilage	2,09	KHORASANI et al. (1997)
Hafer-Ganzpflanzensilage	2,11	KHORASANI et al. (1997)
Triticale-Ganzpflanzensilage	2,02	KHORASANI et al.(1997)
<i>Deutschland</i>		
Maissilage	0,85	RUTZMOSEER und RÜHLICKE (2000)
Maissilage Erntezeitpunkt früh	0,92	WALCH (1998)
Maissilage Erntezeitpunkt mittel	0,91	WALCH (1998)
Maissilage Erntezeitpunkt spät	0,93	WALCH (1998)
Mischprobe verschiedener Mais- silagen der Hirschau	0,89	Vorliegende Arbeit
Maissilage Sorte Facet	0,90	Vorliegende Arbeit
Maissilage Sorte Helix	0,95	Vorliegende Arbeit
Maissilage Versuchsreihe 1	1,10	Vorliegende Arbeit
Maissilage Versuchsreihe 2	1,10	Vorliegende Arbeit
Maissilage Versuchsreihe 3	0,90	Vorliegende Arbeit
<i>USA</i>		
Maissilage 32-38 % T	1,40	NRC (2001)
Maissilage über 40 % T	1,00	NRC (2001)
Konzentratfuttermittel		
Getreide und Leguminosen		
<i>Deutschland</i>		
Gerste	1,40	WALCH (1998)
Gerste	1,49	Vorliegende Arbeit
Weizen	1,54	WALCH (1998)
Weizen	1,49	Vorliegende Arbeit

Übersicht 82: Schwefelgehalte verschiedener Futtermittel (Fortsetzung)

Futtermittel	S-Gehalt in g/kg T	Autor
Körnermais	1,32	WALCH (1998)
Körnermais	0,87	Vorliegende Arbeit
Hafer	1,95	WALCH (1998)
<i>USA</i>		
Gerste	1,20	NRC (2001)
Weizen	1,50	NRC (2001)
Hafer	1,90	NRC (2001)
Körnermais	1,00	NRC (2001)
<i>Deutschland</i>		
Erbsen	2,04	WALCH (1998)
Ackerbohnen	2,03	WALCH (1998)
Lupinen	5,31	WALCH (1998)
Ölsaaten		
Sonnenblumensaat	2,10	NRC (2001)
Rapssaat	4,20	NRC (2001)
Baumwollsaat	2,30	NRC (2001)
Nebenprodukte der Zuckergewinnung		
<i>Deutschland</i>		
Trockenschnitzel	2,10	Vorliegende Arbeit
Trockenschnitzel	2,46	WALCH (1998)
<i>USA</i>		
Trockenschnitzel	3,00	NRC (2001)

Übersicht 82: Schwefelgehalte verschiedener Futtermittel (Fortsetzung)

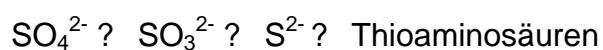
Futtermittel	S-Gehalt in g/kg T	Autor
Extraktionsschrote / Expeller		
Rapsexpeller	7,30	NRC (2001)
Rapsextraktionsschrot	6,82	WALCH (1998)
Sojaextraktionsschrot	3,93	Vorliegende Arbeit
Sojaextraktionsschrot	4,06	WALCH (1998)
Sojaextraktionsschrot 44 % XP	4,60	NRC (2001)
Sojaextraktionsschrot 48 % XP	3,90	NRC (2001)
Sojaexpeller 45 % XP	3,40	NRC (2001)
Sonnenblumenextraktionsschrot	3,90	NRC (2001)
Baumwolleextraktionsschrot	4,00	NRC (2001)

4.3 Schwefel und seine Bedeutung für die Mikroorganismen des Pansens

4.3.1 Schwefelverbindungen und deren Verfügbarkeit im Pansen

Viele Mikroorganismen sind in der Lage, anorganischen Schwefel zu reduzieren und für die Synthese von Thioaminosäuren und zahlreichen anderen organischen S-Verbindungen zu nutzen (PECK, 1962). Es ist seit langem bekannt, dass auch die Mikroflora im Pansen der Wiederkäuer zu dieser reduktiven Schwefelassimilation befähigt ist. Bereits zu Beginn der fünfziger Jahre wurde bewiesen, dass die Pansenmikroben Sulfatschwefel zur Synthese von Cystein und Methionin verwenden und dass diese dann in Körper- und Milchproteine eingebaut werden (BLOCK und STEKOL, 1950, BLOCK et al., 1951, HALE und GARRIGUS, 1953, MÜLLER und KRAMPITZ, 1955, SCHOBER und ENKELMANN, 1959). Schwefel ist ein essentielles Element für die Ernährung der Pansenmikroben. Der S-Bedarf der Mikroorganismen im Vormagen kann durch anorganische und organische S-Verbindungen sowie durch elementaren Schwefel gedeckt werden (WHANGER, 1972, HUNTER und SIEBERT, 1980, GOODRICH und THOMPSON, 1981, MORRISON et al., 1990, 1994).

Es bestehen zwei Wege der Sulfatreduktion durch die Mikroorganismen, die assimilatorische und die dissimilatorische Sulfatreduktion (PECK, 1962). Assimilierende Mikroorganismen reduzieren Sulfat zu Sulfid und nutzen Sulfid für die Synthese S-haltiger Aminosäuren und Proteine. Für die assimilatorische Sulfatreduktion wird das extrazellulär vorliegende Sulfat durch aktiven Transport in den intrazellulären Raum transportiert. Zunächst aktivieren die Mikroorganismen das Sulfat mit Adenosintri-phosphat (ATP). Das aktivierte Sulfat wird dann in enzymkatalysierten Reaktionen zu Schwefelwasserstoff (Sulfid) reduziert. Diese enzymatische Reaktion läuft über Sulfit als Zwischenprodukt (GOTTSCHALK, 1985). Der letztlich zu Sulfid reduzierte Schwefel wird dann zur Synthese von organischen S-Verbindungen genutzt. Ein entsprechendes Reaktionsschema haben BLOCK et al. (1951) vorgeschlagen:



Diese Reaktionsfolge wurde durch Untersuchungen mit radioaktiv markiertem Schwefel am künstlichen Pansen bestätigt (HENDERICKX, 1961).

Die dissimilatorische Sulfatreduktion findet ausschließlich bei strikt anaeroben Mikroorganismen statt. Hierbei wird Sulfat als Elektronenakzeptor genutzt. Sulfid entsteht als Nebenprodukt (Desulfurikation) (GOTTSCHALK, 1985). Dissimilierende Mikroorganismen produzieren dabei große Mengen an H_2S , der in den Pansensaft abgegeben wird. Sulfit und Thiosulfat werden von den Mikroorganismen ebenfalls zu Sulfid reduziert (LEWIS, 1954). Da die Mikroorganismen des Pansens H_2S aus Sulfat bilden und Sulfatschwefel in zelluläres Material einbauen (ANDERSON, 1956, HENDERICKX, 1961) kann davon ausgegangen werden, dass assimilierende und dissimilierende Mikroorganismen im Pansen vorhanden sind (WHANGER, 1972, KANDYLIS, 1984).

Die Sulfatreduktion im Pansen erfolgt sehr schnell. Die Pansenmikroben produzieren auf diese Weise relativ große Mengen an Sulfit und Sulfid (ANDERSON, 1956, BRAY, 1969a, QI, 1992a). Die Geschwindigkeit hängt dabei von der Anpassung der Mikroorganismen an die Sulfatzufuhr ab (LEWIS, 1954). So konnte nach längerer Sulfatfütterung eine stärkere Schwefelwasserstoffbildung festgestellt werden als zu Beginn (LEWIS, 1954, DE OLIVEIRA et al., 1996). Diese Mikrobenadaptation verläuft rasch (BIRD und MOIR, 1971) und ist vermutlich auf eine Vermehrung der sulfatreduzierenden Population infolge des höheren Angebotes zurückzuführen (HOWARD und HUNGATE, 1976). Der optimale pH-Wert für die Sulfatreduktion liegt mit 6,5 (ANDERSON, 1956) im normalen pH- Bereich des Panseninhaltes. Aber die Reduktionsrate reagiert auch nicht sehr empfindlich auf Änderungen des pH-Wertes.

Obwohl gezeigt wurde, dass einige wenige Pansenbakterien für ihr Wachstum S-haltige Aminosäuren benötigen (PITTMAN und BRYANT, 1964), wird im allgemeinen davon ausgegangen, dass Sulfid die Hauptschwefelquelle für die mikrobielle Proteinsynthese ist und dass die S-haltigen Aminosäuren de novo aus diesem Substrat synthetisiert werden (KANDYLIS, 1984). Die Inkorporation des Schwefels in die Mikroben erfolgt also überwiegend als Sulfid (HENDERICKX, 1961). Mit Pyridoxalphosphat als Co-Enzym katalysiert die Serinsulhydrase den Übergang anorganischen Schwefels in das Seringerüst, wodurch Cystein entsteht. Parallel zu diesen Reaktionen wird aus Sulfid auch Homocystein gebildet, das zum 1-Methionin methylieren kann. Methionin entsteht auch aus der Spaltung von Cystathionin, das aus Homocystein und Serin unter der Wirkung der Cystathionin-Synthetase gebildet werden kann (SCHEUNERT und TRAUTMANN, 1987). Einige Bakterien können Schwefel in seiner höchstoxidierten Form (als Sulfat) in ihr Protein einbauen (EMERY et al., 1957 a, b). Pansenmikroben nutzen für die Proteinsynthese nicht nur anorganischen Schwefel sondern auch S-

haltige Aminosäuren oder Peptide, wobei die Verwertung der unterschiedlichen Substanzen von der Proteinkonzentration der Ration abhängt (MCMENIMAN et al., 1976). GAWTHORNE und NADER (1976) stellten bei Untersuchungen an Schafen fest, dass nur 53 - 57 % des Schwefels im Mikrobenprotein aus dem Sulfid-Pool des Pansens stammte. Die Autoren schlossen daraus, dass etwa die Hälfte des Gehaltes an S-haltigen Aminosäuren im Mikrobenprotein aus der de novo Synthese aus Sulfid stammt und die andere Hälfte aus dem direkten Einbau von Thioaminosäuren aus verdautem Futter- und Speichelprotein entsteht.

Die S-Konzentration im Pansen beträgt bei praxisüblicher Fütterung 0,20 bis 0,32 % der Pansensaft-T (EVANS und DAVIS, 1966b, STÖBER, 1978). S-Konzentrationen im Pansen von 1,0 bis 3,8 mg/l (BRAY und TILL, 1975, KANDYLIS, 1984, HEGARTY et al., 1991) ermöglichen ein maximales Wachstum der Pansenmikroben.

Der mit dem Futter in den Pansen gelangte Sulfatschwefel wird zum größten Teil durch desulfurierende Mikroorganismen zu Schwefelwasserstoff reduziert. Aus diesem Grund finden sich nur geringe Sulfatschwefelmengen im Pansen. Die Menge des unverändert in die tieferen Verdauungsabschnitte gelangenden Sulfatschwefels hängt vom Futtersulfatgehalt und von der Anpassung der Pansenflora ab. Bei Schafen waren 31 % des oral aufgenommenen Sulfatschwefels in den ersten vier Tagen im Kot zu finden, allerdings nur 4 % in der Sulfatform (MÜLLER und v. ERICHSEN, 1952, KULWICH et al., 1957). Orale Gaben von radioaktiv markiertem Sulfat ($^{35}\text{SO}_4$) zeigten, dass das Sulfat im Pansensaft nicht allein aus der oralen Aufnahme stammt, sondern dass außerdem eine Rezyklisierung über Speichel und Pansenwand (Desquamation von Epithelzellen oder Durchtritt durch die Pansenwand) erfolgt (BRAY, 1969c, GAWTHORNE und NADER, 1976).

Da Sulfid kein natürlicher Inhaltsstoff der Futterpflanzen ist, kann es vom Wiederkäuer nur mit solchen Futtermitteln verzehrt werden, die auf Grund technologischer Maßnahmen bei ihrer Herstellung Sulfid enthalten (z. B. Silagen und Nebenprodukte der Zellstoff- und Zuckerindustrie). Bei der Reduktion von Sulfatschwefel zu Sulfid im Pansen ist Sulfid ein normales Zwischenprodukt (WEIGAND, 1974). Ungebundenes Sulfid liegt im Vormagensystem im normalen schwachsauren und gut gepufferten pH-Bereich fast nur in Ionenform vor (BRAY, 1969).

Im Pansen kann Sulfid als Schwefelwasserstoff (H_2S) oder als Ion (HS^-) vorliegen. Das Verhältnis ist abhängig vom pH-Wert im Pansen. Sulfid liegt jedoch hauptsäch-

lich als H_2S im Pansen vor, da der pK 1 Wert von H_2S (6,7) höher ist als der normale pH-Wert im Pansen (VAN SOEST, 1994). Schwefelwasserstoff (H_2S) ist die Hauptschwefelquelle für die mikrobielle Synthese S-haltiger Aminosäuren (MOIR, 1975). Der Schwefelwasserstoff entsteht im Pansen durch die Reduktion von Sulfat und Sulfit sowie durch den Abbau von Proteinen (WEIGAND, 1974, ANDERSON, 1956). Er kommt sowohl im Pansensaft als auch im Pansengas vor (ANDERSON, 1956). Allerdings entsteht H_2S nur in relativ geringen Mengen beim Proteinabbau. 99 % des H_2S im Pansen entsteht aus Sulfat (GAWTHORNE und NADER, 1976). Aus Thiosulfat, Sulfit und elementarem Schwefel kann im Pansen ebenfalls H_2S gebildet werden (LEWIS, 1954). GOULD et al. (1991) bestimmten den H_2S -Gehalt im Pansensaft von mit Gras-Luzerne-Heu gefütterten Ochsenkälbern. Die Autoren fanden $0,20 \pm 0,07 \mu\text{g } H_2S/\text{ml}$ Pansensaft. Bei Bullen, die mit einer rohfasernarmen, energiereichen Ration gefüttert wurden, fanden GOULD et al. (1997) einen H_2S -Gehalt im Pansensaft von etwa $0,25 \mu\text{g}/\text{ml}$.

Die Mikroorganismen im Vormagen können demnach sowohl organische als auch anorganische Schwefelverbindungen für die Synthese S-haltiger Aminosäuren nutzen. Die verschiedenen S-Quellen unterscheiden sich jedoch hinsichtlich ihrer Verfügbarkeit von Schwefel für die Mikroorganismen des Pansens. KAHN et al. (1975) bestimmten die relative Verfügbarkeit von Schwefel aus verschiedenen S-Quellen für die *in vitro* Proteinsynthese. L- Methionin war mit 100 % voll verfügbar, gefolgt von Calciumsulfat mit 94 %, Ammoniumsulfat mit 93 %, DL- Methionin mit 63 %, Natriumsulfat mit 55 %, Natriumsulfid mit 43 %, elementarer Schwefel mit 36 % und Methionin-Hydroxy-Analog mit 29 %. Calciumsulfat und Ammoniumsulfat erwiesen sich dabei als die effektivsten anorganischen S-Quellen. FRON et al. (1990) ermittelten anhand eines Versuches mit 12 wachsenden Färsen die Bioverfügbarkeit von elementarem Schwefel, Natriumsulfat und DL- Methionin. Die Autoren beobachteten in einem 5- tägigen Stoffwechselversuch mit 72- stündiger Adaptationsphase die S-Gehalte in Vollblut und Plasma, die S-Exkretion über Urin und Kot sowie die Konzentration an NH_3 -N und flüchtigen Fettsäuren im Pansensaft. Es zeigte sich, dass die Bioverfügbarkeit von DL-Methionin und Sulfat höher war als die von elementarem Schwefel und dass DL-Methionin schneller metabolisiert wird als Sulfat. JOHNSON et al. (1971) untersuchten bei Lämmern ebenfalls die Verfügbarkeit des Schwefels von elementarem Schwefel, Natriumsulfat und L- Methionin. Die wahre S-

Verdaulichkeit von Natriumsulfat (78 %) und L- Methionin (78 %) war signifikant höher als die von elementarem Schwefel (36 %). Die wahre Retention von Natriumsulfat (56 %) und L- Methionin (70 %) war ebenfalls signifikant höher als die von elementarem Schwefel (27 %). Elementarer Schwefel kann also als S-Quelle genutzt werden, gilt aber im allgemeinen als schlechter verfügbar als Sulfat oder organische S-Quellen (HUNT et al., 1954, STARKS et al., 1954). Die geringe Verfügbarkeit von elementarem Schwefel ist wahrscheinlich durch seine geringe Löslichkeit im Pansensaft bedingt (SPEARS, 1976). Aufgrund der hohen Verfügbarkeit von Sulfat wurde in der vorliegenden Arbeit Sulfat als S-Quelle eingesetzt. Um vergleichbare Ergebnisse in den verschiedenen Versuchsreihen zu erzielen, wurde nur die Sulfatform verwendet, wobei das Kation - zum Einsatz kamen Ammonium und Calcium - variierte.

Die Absorption von Schwefel findet größtenteils aus dem Pansen, in geringen Mengen aus dem Dünndarm statt (BRAY, 1968a, b). Sulfat-Ionen werden scheinbar nicht aus dem Pansen absorbiert, eine Aufnahme aus dem Dünndarm ist jedoch möglich (BRAY, 1968a, b, BIRD und MOIR, 1971). BRAY (1968a, b) zeigte, dass nur sehr wenig ^{35}S -Sulfat absorbiert wurde, während die Absorption von ^{35}S -Sulfid sehr schnell ablief. Die Halbwertszeit der H_2S -Absorption liegt zwischen 8 und 18 Minuten (VAN SOEST, 1994). Aufgrund der schnellen Absorption von Sulfid aus dem Pansen ist der Sulfid-Pool im Pansen relativ klein (BRAY, 1968a, b). Es besteht eine Abhängigkeit einerseits zwischen ruminaler Absorbierbarkeit und der Sulfidkonzentration (Anstieg der Konzentration \rightarrow Anstieg der Absorption) und dem pH- Wert des Pansens andererseits (Anstieg des pH- Werts \rightarrow Rückgang der Absorption) (BRAY, 1968b, BRAY und TILL, 1975). Aminosäuren wie Methionin und Cystein werden nur in sehr geringem Umfang aus dem Pansen absorbiert (LEIBHOLZ, 1971).

4.3.2 Einfluss von Schwefel auf die Pansenfermentation

Bei Wiederkäuern spielt die Rationszusammensetzung für die Verdaulichkeit eine große Rolle, da von ihr die Entwicklung der verschiedenen Mikroorganismenarten des Pansens beeinflusst wird (KIRCHGESSNER, 1997). Die Höhe der S-Versorgung wirkt sich auf die Pansenpopulation und somit auf die Pansenfermentation aus. Eine defizitäre S-Versorgung bewirkt eine Verringerung der Anzahl gram-negativer Bakterien in der Population (GALL et al., 1951, WHANGER und MATRONE, 1970) und reduziert die mikrobielle Verdauung von Cellulose (BARTON et al., 1971, BULL und VANDERSALL, 1973, SPEARS et al., 1976) sowie die mikrobielle Produktion flüchtiger Fettsäuren (WHANGER und MATRONE, 1970, BIRD, 1972). Der S-Bedarf cellulolytischer Bakterien ist höher als der der Amylolyten (JACOBSEN et al., 1967, BRAY und HEMSLEY, 1969, HUME und BIRD, 1970, ELAM, 1975).

Bei einer S-armen Diät fanden SLYTER et al. (1986) *in vitro* weniger cellulolytische Bakterien und eine geringere Methanproduktion als bei der gleichen Ration ergänzt mit 0,30 % elementarem Schwefel. An Schafen überprüften die Autoren *in vivo* den Einfluss der S-Versorgung auf die metabolischen Vorgänge im Pansen. Die Schafe, die eine Ration mit 0,04 % Schwefel erhielten, wiesen eine reduzierte Anzahl cellulolytischer Bakterien und eine geringere Methanproduktion auf, als die Schafe die eine Ration mit 0,34 % Schwefel aufnahmen.

Bereits seit Mitte der fünfziger Jahre wurde gezeigt, dass die Zulage von Schwefel die Cellulose-Verdaulichkeit *in vitro* anregt (HUNT et al., 1954, HUBBERT et al., 1958, TRENKLE et al., 1958, MARTIN et al., 1964). Auch die Stärkeverdaulichkeit wird durch Schwefelzulagen verbessert (KENNEDY et al., 1968). In Übersicht 83 sind Literaturangaben zum Einfluss der S-Versorgung auf die Verdaulichkeit der Nährstoffe zusammengefasst, die in den folgenden Abschnitten diskutiert werden. In der Übersicht werden zunächst *in vitro* Studien angeführt. Darauf folgen dann *in vivo* Untersuchungen in der Reihenfolge der verwendeten S-Quellen.

Übersicht 83: Literaturangaben zum Einfluss von Schwefel auf die Verdaulichkeit der Nährstoffe

Tier	Ration	S-Quelle	Einfluss auf Verdaulichkeit	Autor
<i>in vitro</i>				
Ochsen	Mais und Stroh S-Zulage von 0,05 - 4,00 µg/ml	Natriumsulfat	Stärke ?	KENNEDY et al. (1971)
Hammel	KY-31 tall fescue Heu (0,27 % S) tropisches star grass Heu (0,20 % S) + 0,05, 0,10, 0,15 % S	Natriumsulfat, DL-Methionin	Cellulose ?	GUARDIOLA et al. (1983)
<i>in vivo</i>				
Kühe	Maissilage + Harnstoff 0,05, 0,13 % S i. d. T d. Ration	Natriumsulfat	T - Stärke - XF ? (n. s.)	TELLER et al. (1977)
Kühe	Weizenstroh, Mais- stärke, Melasse, N- Quelle: Harnstoff oder Luzerneheu 0,27, 0,35, 0,34 % S i. d. T d. Ration	Natriumsulfat	T - Stärke - XF ? (n. s.)	TELLER et al. (1977)
Ochsen	Pellets auf Gerste- und Heu Basis 0,13, 0,39 % S i.d Ration	Natriumsulfat	OS - ADF - N -	BOILA und GOLFMAN (1991)
Schafe	Spear grass Heu schlechter Qualität (0,04 % S) 0,075 % S i. d. T d. Ration	Natriumsulfat	OS ?	MORRISON et al. (1990)
Ochsen	Maissilage ad. lib. + 0,45 kg Konzentrat (Maismehl + Harnstoff (6:1)) % S i. d. Ration Kontrolle: 0,20 Natriumsulfat: 0,32 DL- Methionin: 0,31 Methionin-Analog: 0,28	Natriumsulfat DL-Methionin Methionin- Analog	T ? (n. s.) ADF ? (n. s.) T ? (n. s.) ADF ? (n. s.) T ? ADF ?	BULL und VANDERSALL (1973)

Übersicht 83: Literaturangaben zum Einfluss von Schwefel auf die Verdaulichkeit der Nährstoffe (Fortsetzung)

Tier	Ration	S-Quelle	Einfluss auf Verdaulichkeit	Autor
Lämmer	KY-31 tall fescue Heu (0,27 % S) tropisches star grass Heu (0,20 % S) + 0,15 % S	Natriumsulfat, DL-Methionin	T ? NDF ? ADF- ?	GUARDIOLA et al. (1983)
Lämmer	Pellets (Mais und Soja) + 0,5 % S aus Sulfat- Zulage	Calciumsulfat Natriumsulfat	OS - XP - XF -	JOHNSON et al. (1968)
Ziegen	Heu + Kraftfutter 0,16, 0,26, 0,36 % S i. d. T d. Ration	Calciumsulfat	T ? OS ? ADF ?	QI et al. (1992)
Ochsen	Heu + Kraftfutter 0,15, 0,20, 0,25 % S i. d. T d. Ration	Ammonium- sulfat	OS - ADF - Stärke - N -	ZINN et al. (1997)
Kühe	Maissilage + Konzen- trattfutter (70 % Mais) 1:1 0,13, 0,20 % S i. d. T d. Ration	Magnesium- und Kalium- sulfatmix	T ? (n. s.)	BOUCHARD und CONRAD (1974)

Kein Effekt: -

Erhöhung: ?, Verringerung: ?

KENNEDY et al. (1971) fanden in einer *in vitro* Studie eine signifikante Erhöhung der Stärkeverdaulichkeit durch die Zulage von 1,00 µg/ml Schwefel aus Natriumsulfat. Durch höhere Zulagen bis zu 4,00 µg/ml wurde die Stärkeverdaulichkeit weiter verbessert. Auch GUARDIOLA et al. (1983) untersuchten *in vitro* den Einfluss einer S-Supplementierung durch Natriumsulfat und DL- Methionin auf die Verdaulichkeit der Nährstoffe. Dazu verwendeten die Autoren zum einen KY-31 tall fescue Heu guter Qualität mit einem S-Gehalt von 0,27 % und zum anderen tropisches star grass Heu mit einem S-Gehalt von 0,20 %. Es wurden 0,05, 0,10 und 0,15% Schwefel zugelegt und die Celluloseverdaulichkeit bestimmt. Durch alle Zulagestufen wurde die Celluloseverdaulichkeit signifikant erhöht. Zwischen den beiden S-Quellen zeigten sich keine Unterschiede. Die in diesen *in vitro* Studien gemessene Verbesserung der

Verdaulichkeit durch die Zulage von Schwefel wird durch verschiedene *in vivo* Untersuchungen bestätigt. So arbeiteten MORRISON et al. (1990) mit fistulierten Schafen, um zu überprüfen, ob eine S-Supplementierung durch Calciumsulfat die Verdaulichkeit von tropischem Heu schlechter Qualität mit einem sehr geringen nativen S-Gehalt von 0,04 %, erhöht. Die Schafe wurden in zwei Gruppen unterteilt. Gruppe A wurde das Futter ad libitum vorgelegt, Gruppe B restriktiv. Im ersten Teil des Versuches wurde die Verdaulichkeit bei beiden Gruppen ohne S-Supplementierung ermittelt. Durch die Zulage von Calciumsulfat wurde im zweiten Teil des Versuches ein S-Gehalt in der Ration von 0,075 % eingestellt. Durch die S-Zulage wurde die Verdaulichkeit der OS bei Gruppe A signifikant erhöht, bei Gruppe B war ebenfalls eine Erhöhung festzustellen, die allerdings nicht signifikant war. Anhand der Nylonbeutel-Technik wurde außerdem die ruminale Abbaubarkeit von Baumwollcellulose und dem verfütterten Heu bestimmt. Durch die S-Zulage wurde bei Gruppe A und B die ruminale Abbaubarkeit der beiden Substrate signifikant erhöht. Anhand eines Verdauungsversuches mit laktierenden Ziegen untersuchten QI et al. (1992) den Einfluss von verschiedenen Calciumsulfat-Zulagen auf die Verdaulichkeit der Nährstoffe. Die Kontrollration ohne Sulfat-Zulage enthielt 0,16 % Schwefel in der T, die Rationen mit Zulage 0,26 und 0,36 %. Die Autoren fanden eine lineare Zunahme der Verdaulichkeit von T, OS und ADF mit zunehmendem S-Gehalt in der Ration. Wie bei MORRISON et al. (1990) und QI et al. (1992) wurde in der vorliegenden Arbeit in Versuchsreihe (VR) 2 und VR 3 a (Calciumsulfat-Zulagen, Beh. 1 - 4) der Einfluss verschiedener Calciumsulfat-Zulagen auf die Verdaulichkeit der Nährstoffe an Mastbulen überprüft. In Abbildung 1 und Abbildung 2 sind die Ergebnisse der beiden Verdaulichkeitsversuche mit Calciumsulfat als S-Quelle graphisch dargestellt. Bei den in den Abbildungen angegebenen S-Gehalten in der Ration handelt es sich um die im Versuch gemessenen Gehalte. Durch die Zulage von Calciumsulfat erhöhte sich in beiden Versuchen tendenziell die Verdaulichkeit der OS und der Rohfaser. Kleine Abweichungen zwischen den beiden Versuchen gab es insofern, als die Verdaulichkeit der OS in der VR 2 mit im Mittel 67,4 % etwas unter dem Mittel der Calciumsulfatgruppen aus dem folgenden Versuch lag, die eine Verdaulichkeit der OS von im Mittel 70,8 % erreichten. Die Verdaulichkeit der Rohfaser war in beiden Versuchsreihen nahezu identisch.

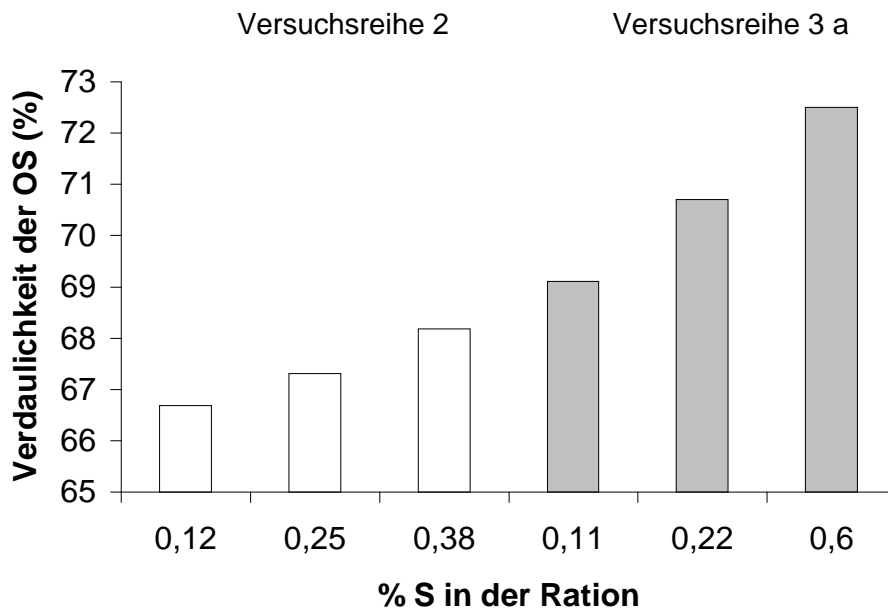


Abbildung 1: Verdaulichkeit der OS (%) bei verschiedenen Calciumsulfat-Zulagen in VR 2 und VR 3a

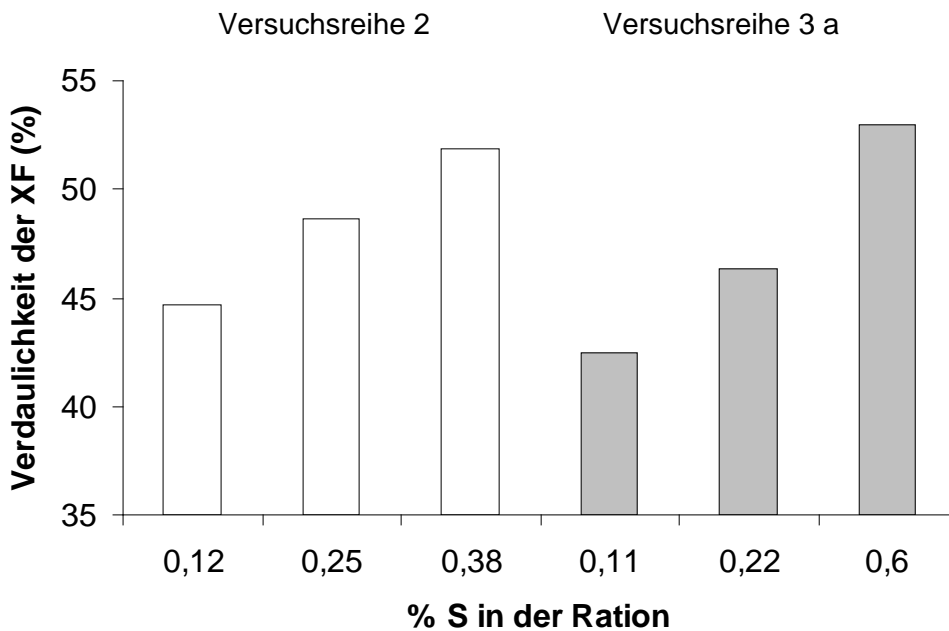


Abbildung 2: Verdaulichkeit der XF (%) bei verschiedenen Calciumsulfat-Zulagen in VR 2 und VR 3a

Die in den Versuchsreihen 2 und 3 beobachtete tendenzielle Verbesserung der Verdaulichkeit der organischen Substanz und der Rohfaser durch die Zulage von Calciumsulfat steht somit im Einklang mit den Beobachtungen von MORRISON et al. (1990)

und Qi et al. (1992), die ebenfalls Calciumsulfat als S-Quelle verwendeten. Die Arbeit von MORRISON et al. (1990) ist jedoch nicht direkt mit der vorliegenden Arbeit vergleichbar, da die Rationen und auch die S-Gehalte in den Rationen sehr unterschiedlich waren. Bei dem von MORRISON et al. (1990) eingesetzten tropischen Heu schlechter Qualität mit einem extrem geringen S-Gehalt kann davon ausgegangen werden, dass Effekte einer S-Zulage hier eher greifen als in VR 2 und VR 3a, deren Rationen einen wesentlich höheren nativen S-Gehalt aufwiesen. Die Arbeit von Qi et al. (1992) dagegen ist durchaus mit VR 2 und VR 3a zu vergleichen, da sich sowohl die nativen S-Gehalte in den Kontrollrationen, als auch die S-Gehalte in den Zulage-Rationen in einer ähnlichen Größenordnung bewegten. In den Arbeiten wurden zwar verschiedene Tierarten eingesetzt, aber in diesem Kontext spielt die Tierart wohl eher eine untergeordnete Rolle, da es sich hier nicht um den Vergleich absoluter Verdaulichkeiten handelt, sondern darum, Veränderungen der Pansenfermentation durch S-Zulagen aufzuzeigen. In der Literatur finden sich jedoch noch weitere Arbeiten, in denen noch andere S-Quellen als Calciumsulfat zur S-Supplementierung genutzt wurden. GUARDIOLA et al. (1983) führten in ihrer Versuchsreihe auch einen *in vivo* Versuch mit Lämmern durch. Zu den zwei Heusorten wurde jeweils 0,15 % Schwefel als Natriumsulfat oder DL- Methionin zugelegt. Die Verdaulichkeit der T und des Rohproteins wurde beim KY-31 tall fescue Heu tendenziell durch die S-Supplementierung erhöht. Beim tropischen star grass Heu wurde die Verdaulichkeit der T und des Rohproteins durch die Zulage von Schwefel signifikant erhöht. Die Verdaulichkeit der NDF und ADF wurde durch die S-Supplementierung, unabhängig von der S-Quelle, signifikant erhöht. In zwei Verdaulichkeitsversuchen mit Kühen untersuchten auch TELLER et al. (1977) den Einfluss einer S-Supplementierung auf die Verdaulichkeit der Nährstoffe. Im Versuch A erhielten die Tiere Maissilage mit einer Harnstoffergänzung. Die S-Gehalte der Rationen lagen bei 0,05 % und mit Natriumsulfat-Zulage bei 0,13 %. Im Versuch B erhielten die Tiere eine Ration aus Weizenstroh, Maisstärke und Melasse. Als N-Quelle diente Harnstoff oder Luzerneheu. Somit enthielt die Basisration 0,27 % S, die Ration mit Natriumsulfatzulage 0,35 % Schwefel und die mit Luzerneheu (ohne Sulfat-Zulage) 0,34 % Schwefel i. d. T d. Ration. Die Autoren konnten keine Behandlungseffekte hinsichtlich der Verdaulichkeit der T und der Stärke messen. Die Rohfaserverdaulichkeit nahm tendenziell zu. BOUCHARD und CONRAD (1974) untersuchten anhand eines Verdaulichkeitsversuches mit Kühen den Effekt einer Sulfat-Zulage auf die Verdaulichkeit der T. Einer Ration

auf Maisbasis (Maissilage + Konzentrat mit 70 % Maisanteil), die einen nativen S-Gehalt von 0,13 % aufwies wurde ein Mix aus Magnesium- und Kaliumsulfat zugelegt, so dass die Ration auf einen S-Gehalt von 0,20 % eingestellt wurde. Durch die S-Zulage wurde eine tendenzielle Erhöhung der Verdaulichkeit der T festgestellt. Bei Verdauungsversuchen mit Ochsen bestimmten BULL und VANDERSALL (1973) den Einfluss von Natriumsulfat, DL-Methionin und Methionin-Analog auf die Verdaulichkeit der Ration. Diese bestand aus Maissilage und Konzentrat aus Maismehl, ergänzt mit Harnstoff. Durch die Zulage von Methionin-Analog wurde die Verdaulichkeit der T und der ADF signifikant erhöht. Durch die Zulage von Natriumsulfat wurde die Verdaulichkeit zumindest tendenziell erhöht. Die Zulage von DL-Methionin bewirkte tendenziell eine Verminderung der Verdaulichkeit der T und eine Erhöhung der Verdaulichkeit der ADF. Die Arbeiten von BULL und VANDERSALL (1973), BOUCHARD und CONRAD (1974) und TELLER et al. (1977, Versuch 1) sind sich in ihrem Versuchsdesign ähnlich. Maissilage mit Harnstoffergänzung bildete jeweils die Basis der Ration. Bis auf die Kontrollgruppe in Versuch 1 von TELLER et al. (1977), die einen sehr geringen S-Gehalt von 0,05 % aufwies, bewegten sich die S-Gehalte der verschiedenen Rationen in vergleichbaren Größenordnungen. Die Autoren konnten übereinstimmend positive Tendenzen einer S-Zulage auf die Verdaulichkeit der verschiedenen Nährstofffraktionen feststellen. Dies trifft auch, wie bereits oben gezeigt wurde, auf die VR 2 und 3 a der vorliegenden Arbeit zu, in der ebenfalls Maissilage, ergänzt unter anderem mit Harnstoff, die Futtergrundlage stellte. Bei den Ammoniumsulfat-Gruppen in Versuchsreihe 3 (VR 3b) wirkte sich die gestaffelte Ammoniumsulfat-Zulage zumindest im Bereich von 0,23 % Schwefel in der Ration tendenziell positiv auf die Verdaulichkeit aus (siehe Abbildung 3 und Abbildung 4). Die nächste überprüfte Zulage, durch die ein S-Gehalt in der Ration von 0,57 % Schwefel eingestellt wurde, verringerte die Verdaulichkeit der OS um 1,1 Prozentpunkte gegenüber der Ration mit 0,23 % Schwefel in der Ration. Die Verdaulichkeit der Rohfaser zeigte ähnlich gerichtete Tendenzen. Die Ergebnisse aus VR 3b stehen im Einklang mit den in Versuchsreihe 1 gemachten Beobachtungen an Hammeln. Auch hier bewirkte die hohe S-Dosierung durch Ammoniumsulfat einen Rückgang der Verdaulichkeit. Beide Verdauungsversuche deuten darauf hin, dass ab einem S-Gehalt von 0,57 % in der Ration, erreicht durch die Zulage von Ammoniumsulfat, die Verdaulichkeit der OS und der Rohfaser tendenziell verringert wird.

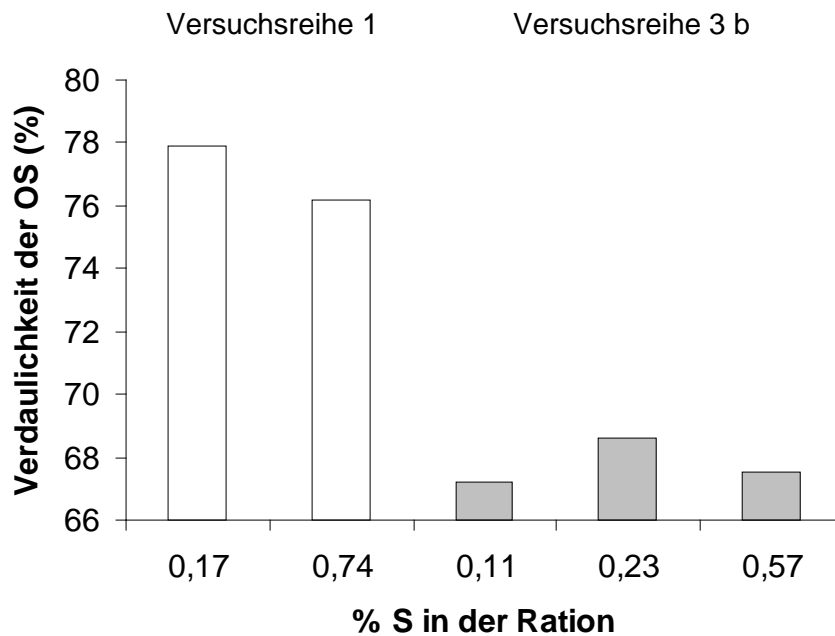


Abbildung 3: Verdaulichkeit der OS (%) bei verschiedenen Ammoniumsulfat-Zulagen in VR 1 und VR 3b

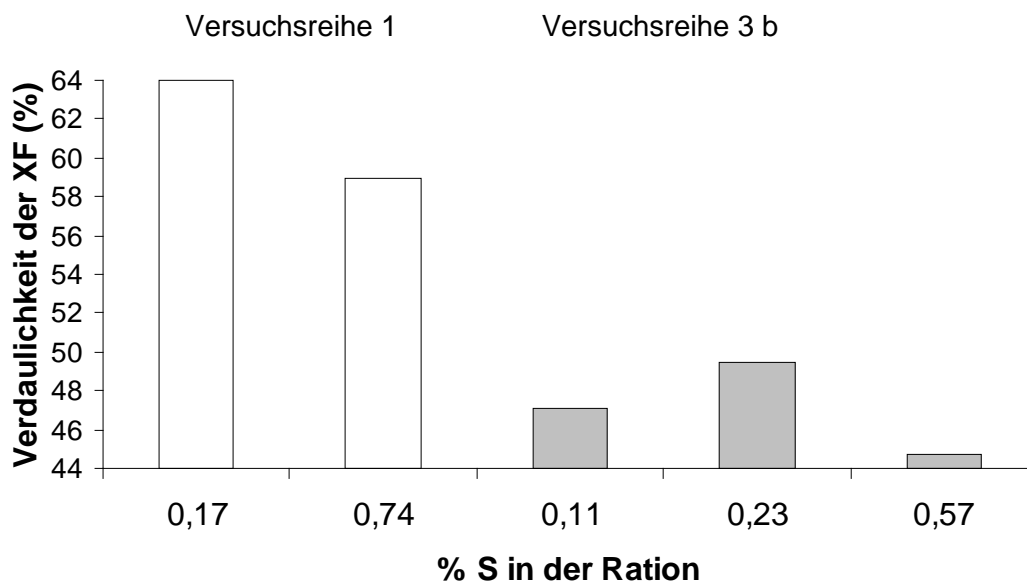


Abbildung 4: Verdaulichkeit der XF (%) bei verschiedenen Ammoniumsulfat-Zulagen in VR 1 und VR 3b

Bei der Betrachtung der Ergebnisse aus den Verdaulichkeitsversuchen mit Ammoniumsulfat als S-Quelle ist zu berücksichtigen, dass zwei verschiedene Tierarten, Schafe und Rinder, eingesetzt wurden. Bei vergleichenden Untersuchungen mit

Rindern und Schafen zeigte sich bei fast allen Rohnährstoffen eine deutlich bessere Verdaulichkeit beim Schaf als beim Rind (ROHR et al., 1983, HEIMBECK, 1986, HEIMBECK et al., 1988, SCHWARZ et al., 1988a, b). Dies trifft auch für die vorliegende Arbeit zu. Die Hammel zeigten im Mittel eine Verdaulichkeit der OS von 77,1 % und der Rohfaser von 61,5 %. Die Rinder erreichten in VR 3b im Mittel Verdaulichkeiten von 67,7 % für die OS und 47,1 % für die Rohfaser.

In dem Verdaulichkeitsversuch mit Mastbullen in der Versuchsreihe 3 wurde zum einen der Einfluss der Höhe der S-Dosierung (0,10, 0,20 und 0,60 % Schwefel i. d. T. d. Ration) und zum anderen der der S-Quelle (Calciumsulfat und Ammoniumsulfat) auf die Verdaulichkeit überprüft. Die Gruppen mit der Calciumsulfat-Zulage zeigten eine signifikant höhere Verdaulichkeit der organischen Substanz als die Gruppen mit der Ammoniumsulfat-Zulage. Diese Tatsache weist auf eine bessere Verfügbarkeit des Schwefels aus Calciumsulfat gegenüber Ammoniumsulfat hin. KAHN et al. (1975, siehe oben) fanden *in vitro* eine etwas höhere Verfügbarkeit von Calciumsulfat gegenüber Ammoniumsulfat. JOHNSON et al. (1968) und GUARDIOLA et al. (1983) dagegen fanden keine unterschiedlichen Einflüsse der S-Quellen beim Einsatz von Natriumsulfat und DL-Methionin, bzw. Calciumsulfat. Beim Vergleich von Natriumsulfat, DL-Methionin und Methionin-Analog beobachteten BULL und VANDERSALL (1973) dagegen leichte Differenzen. Durch die Zulage von Methionin-Analog wurde, im Gegensatz zu den beiden anderen Formen, die Verdaulichkeit signifikant verbessert. Diese Ergebnisse stehen im Widerspruch zu den Ergebnissen von KAHN et al. (1975), die nur eine sehr geringe Verfügbarkeit von Methionin-Hydroxy-Analog feststellten. Allerdings lässt sich anhand der in diesem Kapitel zitierten Arbeiten nur wenig zum Einfluss der S-Quelle sagen, da die Mehrzahl der Autoren nur eine S-Quelle verwendeten. Da in fast allen Arbeiten Natriumsulfat eingesetzt wurde, bieten sich auch auf diesem Wege kaum Möglichkeiten eines Vergleiches unterschiedlicher S-Quellen.

Im Gegensatz zu den angeführten Arbeiten, in denen positive Effekte oder zumindest positive Tendenzen von S-Zulagen auf die Verdaulichkeit der Nährstoffe festgestellt wurden, stehen Ergebnisse, die keine Effekte ermitteln konnten. So untersuchten JOHNSON et al. (1968) in einem Verdauungsversuch mit Lämmern die Auswirkungen einer Sulfat-Zulage auf die Verdaulichkeit der Nährstoffe. Dazu wurde eine Ration

aus Mais und Soja-Pellets mit Calciumsulfat und Natriumsulfat supplementiert. Die Sulfat-Zulage lieferte 0,5 % S. Die Autoren konnten keine Behandlungseffekte feststellen. Weder die Sulfat-Zulage noch die S-Quelle beeinflussten die Verdaulichkeit der organischen Substanz, des Rohproteins oder der Rohfaser. BOILA UND GOLFMANN (1991) arbeiteten mit fistulierten Ochsen. Die Ration auf Gerste und Heu Basis enthielt einen relativ geringen nativen S-Gehalt von 0,13 %. Durch die Zulage von Natriumsulfat wurde ein S-Gehalt von 0,39 % in der T der Ration eingestellt. Die Autoren konnten keinen Einfluss der S-Zulage auf die Verdaulichkeit von OS, ADF und N ermitteln. Die Beobachtungen von ZINN et al. (1997) stimmen mit denen von BOILA UND GOLFMANN (1991) überein. ZINN et al. (1997) untersuchten an fistulierten Ochsen den Einfluss unterschiedlicher S-Zulagen auf die Verdaulichkeit der OS, der ADF, der Stärke und des N. Die Rationen, bestehend aus Heu und Kraftfutter, enthielten 0,15, 0,20 und 0,25 % Schwefel in der T. Als S-Zulage diente Ammoniumsulfat. Die Autoren konnten keine gesicherten Behandlungseffekte hinsichtlich der Verdaulichkeit der genannten Nährstoffe feststellen.

In den Verdaulichkeitsversuchen der drei Versuchsreihen konnte insgesamt gesehen durch die Zulage von Sulfat zu relativ S-armen Rationen eine tendenzielle Verbesserung der Verdaulichkeit der organischen Substanz und der Rohfaser festgestellt werden. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit den Angaben von KENNEDY et al. (1971), BULL und VANDERSALL (1973), BOUCHARD und CONRAD (1974), GUARDIOLA et al. (1983), MORRISON et al. (1990) und QI et al. (1992). Bei einer S-Zulage durch Ammoniumsulfat, bei der ein S-Gehalt in der Ration von 0,60 % erreicht bzw. überschritten wird, wurde in der vorliegenden Arbeit allerdings ein tendenzieller Rückgang der Verdaulichkeit der OS und der Rohfaser beobachtet.

Insgesamt gesehen sind die Angaben in der Literatur zum Einfluss von S-Zulagen auf die Pansenfermentation sehr uneinheitlich und aufgrund der doch teilweise stark differierenden Versuchsdesigns auch nur sehr bedingt vergleichbar. Auch in der vorliegenden Arbeit konnten zu dieser Thematik nur Tendenzen aufgezeigt werden. Aus diesen Gründen können zum jetzigen Zeitpunkt keine abschließenden Aussagen zum Einfluss einer S-Zulage auf die Verdaulichkeit der Nährstoffe gemacht werden. In Zukunft wäre deshalb eine Erweiterung der experimentellen Basis wünschenswert.

4.4 Bedarfsorientierte Schwefelzufuhr bei Wiederkäuern

4.4.1 Niedrige Schwefelzufuhr

Der S-Bedarf von Wiederkäuern wird in der Literatur entweder als prozentualer S-Gehalt in der Gesamtration oder anhand der N-Zufuhr in einem notwendigen Verhältnis von N:S ausgedrückt. In den neuesten Bedarfsempfehlungen für Fleischrinder des NRC (2000) ist der S-Bedarf nicht genau definiert. Es wird jedoch ein Gehalt von 0,15 % Schwefel in der Ration für notwendig gehalten. Für Milchkühe wird vom NRC (2001) ein S-Gehalt in der Ration von 0,20 % in der T der Ration empfohlen. Die in der Literatur zu der Thematik einer geringen, bzw. mangelhaften S-Versorgung gemachten Angaben sind nicht einheitlich. In Übersicht 84 sind Literaturangaben zum Einfluss einer niedrigen S-Zufuhr, in der Reihenfolge der verwendeten S-Quellen, dargestellt.

GUIERREZ et al. (1996) untersuchten den Einfluss einer S- und N-Zulage bei Ziegen. Dazu erhielt eine Kontrollgruppe eine Ration auf Maisstrohbasis, die einen S-Gehalt von nur 0,021 % aufwies. An eine Zulage-Gruppe wurde eine identische Ration verfüttert, ergänzt mit Natriumsulfat und Harnstoff, so dass das N:S Verhältnis bei 16,2:1 lag. Durch die S-Supplementierung wurde die Futteraufnahme und das Gewicht der Tiere signifikant erhöht. SLYTER et al. (1988) konnten die Bedeutung einer adäquaten Schwefel-Versorgung in einer Untersuchung mit Kälbern und Schafen besonders eindrucksvoll aufzeigen. Die Autoren verwendeten halbsynthetische, hochgereinigte Diäten bei Kälbern und Schafen. Die Mangeldiät enthielt dabei nur 0,04 % S. Durch die Zulage von elementarem Schwefel wurde ein S-Gehalt von 0,34 % in der Diät eingestellt. Dieser S-Gehalt wurde von den Autoren als adäquate S-Versorgung eingestuft. Die Futteraufnahme war bei den mangelhaft versorgten Kälbern und Schafen signifikant geringer als bei den adäquat versorgten Tieren. Die Kälber und Schafe, die nur 0,04 % Schwefel mit der Ration aufnahmen, verloren an Gewicht, die Tiere der Zulagegruppe nahmen zu. Die Autoren untersuchten die Gehalte an essentiellen und einigen nicht essentiellen Aminosäuren im Plasma und in der Leber. Sie kamen jedoch zu dem Ergebniss, dass nur der Methionin-Gehalt im Plasma und in der Leber die Höhe der S-Aufnahme, unabhängig von Futteraufnahme-Effekten, reflektiert. So nahm bei den Kälbern durch die S-Zulage der Methionin- Gehalt im Plasma und in der Leber zu. Die S-Versorgung beeinflusste die Organgewichte bei den Kälbern und

bei den Schafen. Die mangelhaft versorgten Tiere hatten signifikant schwerere Nebennieren als die Tiere, die eine S-Ergänzung erhielten. Des Weiteren fanden die Autoren bei den defizitär versorgten Tieren geringere Leber- und Hodengewichte und höhere Gehirngewichte als bei den Tieren mit adäquater Versorgung. Bei den Schafen bewirkte die Mangelversorgung höhere Herz- und Hirnanhangsdrüsen Gewichte als bei den Tieren die eine Diät mit 0,34 % Schwefel erhielten. Bei einem sehr ähnlichen Versuchsdesign kamen CHALUPA et al. (1971) zu nahezu übereinstimmenden Ergebnissen. Die Autoren überprüften an Bullenkälbern die Auswirkungen einer S-Mangelernährung. Die S-Konzentrationen der Rationen lagen ebenfalls bei 0,04 % Schwefel und durch die Zulage von elementarem Schwefel bei 0,34 %. Der Versuch erstreckte sich über 77 Tage. Die S-mangelernährten Kälber nahmen weniger Futter auf als die Tiere mit S-Ergänzung. Sie erreichten im Gegensatz zu den Tieren mit 0,34 % Schwefel in der Ration während des gesamten Versuchs keine Gewichtszunahmen. Die Kälber im S-Mangel wiesen höhere Konzentrationen an Serin, Citrulin, Alanin, Cystin und einen höheren Gesamtgehalt nichtessentieller Aminosäuren im Plasma auf. Die Gehalte an Glycin, Tyrosin und Methionin waren geringer. Im Verhältnis zum Körpergewicht wiesen die Tiere mit nur 0,04 % Schwefel in der Ration geringere Gewichte von Blut, Leber, Hoden und Milz, sowie höhere Gewichte von Hirn und Nebenniere auf als die Tiere, welche die S-ergänzte Ration erhielten. In einer späteren Arbeit befassten sich et al. CHALUPA (1973) mit der S-Versorgung von Rindern, deren N- Versorgung hauptsächlich über Harnstoff gedeckt wurde. Dazu erhielten 4 Ochsen in 2 Versuchen über 84 Tage eine Basisration, ergänzt mit Natriumsulfat oder elementarem S. Die Basisration bestand hauptsächlich aus Stärke, Glucose und Harnstoff und wies somit einen sehr geringen S-Gehalt von 0,05 % auf. Durch die S-Zulage, entweder durch Natriumsulfat oder elementaren Schwefel, wurden die S-Gehalte der Rationen auf 0,13, 0,28 und 0,62 %, bzw. auf 0,13, 0,26 und 0,56 % Schwefel erhöht. Durch die Zunahme des S-Gehaltes in der Ration von 0,05 % auf 0,13 % wurden unabhängig von der S-Quelle, die Futteraufnahme, die täglichen Zunahmen und die Futterverwertung signifikant verbessert. Durch die weitere Zulage von Natriumsulfat (0,28 % Schwefel in der Ration) wurden im Vergleich zu der ersten Sulfat-Zulage die betrachteten Parameter jedoch zumindest tendenziell wieder verringert. Bei der zweiten Zulagestufe von elementarem Schwefel (0,26 % Schwefel in der Ration) war im Vergleich zur ersten Zulage ebenfalls eine tendenzielle Abnahme der täglichen Zunahmen und der Futterverwertung zu beobachten. Die-

se möglichen Effekte einer hohen S-Zulage werden im folgenden Kapitel dargestellt. Durch die S-Supplementierung veränderte sich das Aminosäuremuster im Plasma. Die Tiere, die die Basisdiät erhielten, wiesen geringere Konzentrationen an Valin, Methionin, Leucin und Phenylalanin, sowie höhere Konzentrationen an Hydroxyprolin, Prolin, Serin, Glycin und Citrullin auf als die Tiere, die eine S-Zulage erhielten. KAHN et al. (1975) verwendeten in einem Fütterungsversuch mit 36 Lämmern 5 verschiedene S-Quellen, um den Einfluss der S-Zulage auf die Futteraufnahme und das Wachstum zu überprüfen. Zu der halbsynthetischen Basisdiät wurde Schwefel in Form von DL- Methionin, Methionin-Hydroxy-Analog, Calciumsulfat, Natriumsulfat und elementarem Schwefel zugelegt. Der S-Gehalt der Ration der Kontrollgruppe ohne S-Zulage lag bei ca. 0,07 % S, die Rationen mit S-Zulagen enthielten im Mittel ca. 0,14 % S. Der Versuch dauerte 60 Tage. Die Lämmer, die eine Ration mit S-Zulage aufnahmen, wiesen eine signifikant höhere Futteraufnahme und ein signifikant höheres Wachstum auf als die Tiere mit nur 0,07 % Schwefel in der Ration. Die Tiere, an die die S-Mangeldiät verfüttert wurde, verloren während des Versuches an Gewicht und ihre Futteraufnahme betrug weniger als die Hälfte der Tiere mit S-Zulage. Aus diesem Grund wurden die Tiere nach 40 Tagen aus dem Versuch genommen. Zwischen den verschiedenen S-Quellen zeigten sich keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Futteraufnahme und der täglichen Zunahmen. In den Arbeiten von CHALUPA et al. (1971, 1973), KAHN et al. (1975), SLYTER et al. (1988) und GUTIERREZ et al. (1996) wurden die Einflüsse einer sehr geringen S-Versorgung im Bereich von 0,021 bis 0,07 % Schwefel in der Ration untersucht. Die Autoren stellten übereinstimmend negative Effekte einer solchen S-Mangelversorgung fest. Die sehr geringen S-Gehalte wurden durch den Einsatz halbsynthetischer Rationen realisiert. Daher sind diese Ergebnisse, die unter rein experimentellen Bedingungen entstanden sind, in gemäßigten Klimazonen, in denen diese extrem niedrigen S-Gehalte in der Diät nicht auftreten, nicht praxisrelevant. In Kapitel 4.2 wurde gezeigt, dass die S-Gehalte in Deutschland angebaute Futtermittel einen S-Gehalt von 0,085 % (Maissilage) nicht unterschreiten. Somit stellt sich das Problem einer so extrem geringen S-Versorgung aufgrund der Beschaffenheit der heimischen Futtermittel in Deutschland und anderen Ländern im gemäßigten Klimabereich, ohne spezielle geographische Gegebenheiten, so nicht. Unter tropischen und subtropischen klimatischen Bedingungen stellt sich die Situation jedoch anders dar. MORRISON et al. (1990, 1994) beispielsweise berichteten über S-Gehalte in tropischen Gräsern

Australiens von 0,04 und 0,06 %. Bei einer extensiven Viehhaltung, die ausschließlich auf einer solch S-armen Futtergrundlage beruht, ist die Gefahr einer extremen S-Mangelversorgung durchaus gegeben.

BROUCHARD und CONRAD (1973a, b) führten mit laktierenden Kühen 2 Versuchsreihen zum Einfluss verschiedener S-Zulagen aus verschiedenen S-Quellen auf die Futteraufnahme und die Milchleistung der Tiere durch. In Versuchsreihe 1 (BROUCHARD und CONRAD, 1973a), in der 2 Versuche durchgeführt wurden, bestand die Ration jeweils aus Konzentrat und Maissilage im Verhältnis 1:1 der T. Für den Versuch 1 standen 8 laktierende Kühe zur Verfügung. Das Konzentratfutter bestand zu 30 % aus Rübenschnitzeln, zu 20 % aus Soja, und ca. zu 38 % aus Maisstärke. Die Basisration wies einen S-Gehalt von 0,10 % auf. Als S-Zulage dienten Natriumsulfat und Methionin-Hydroxy-Analog. Die S-Gehalte in der Ration betragen durch die Zulage von Natriumsulfat 0,15 und 0,18 % sowie 0,18 % Schwefel durch die Zulage von Methionin-Hydroxy-Analog. Im zweiten Versuch, der mit 10 laktierenden Kühen durchgeführt wurde, wurde der Rübenschnitzelgehalt im Konzentrat auf 40 % erhöht, während gleichzeitig der Sojagehalt auf 10 % gesenkt wurde. Dadurch enthielt die Basisration nur noch 0,06 % S. Durch die Zulage von Natriumsulfat oder einem Mix aus Kalium- und Magnesiumsulfat wurden S-Gehalte in den Rationen von 0,18 und 0,24 % eingestellt. Die S-Supplementierung durch Natriumsulfat bewirkte im ersten Versuch eine Erhöhung der Futteraufnahme und der Milchleistung. Durch die tägliche Zulage von 43 g Methionin-Hydroxy-Analog (0,18 % Schwefel in der Ration) ging die Futteraufnahme auf das Niveau der Kontrollgruppe (0,10 % Schwefel in der Ration) zurück. Die Milchleistung wurde dadurch jedoch nicht beeinflusst. Im zweiten Versuch zeigten die Tiere, die die S-Mangel Diät (0,06 % Schwefel in der Ration) erhielten, eine geringere Futteraufnahme und Milchleistung als die Tiere, die eine S-ergänzte Ration aufnahmen. In der folgenden Versuchsreihe (BROUCHARD und CONRAD, 1973b) wurden ebenfalls 3 Fütterungsversuche durchgeführt. Die Rationen in beiden Versuchen setzten sich aus Konzentrat und Maissilage im Verhältnis 1:1 der T zusammen. Das Konzentratfutter bestand aus 40 % Rübenschnitzeln, ca. 10 % Soja und ca. 37 % Maisstärke oder getrockneter Melasse. In den ersten beiden Versuchen standen je 4 Kühe zur Verfügung. Als S-Quellen dienten Natriumsulfat, Melasse, Calciumsulfat, und Lignin-Sulfonat. Der S-Gehalt in der Ration betrug 0,15 oder 0,30 %. Im dritten Versuch, der mit 5 Kühen durchgeführt wurde, wurden durch die Zulage von Natriumsulfat, Calciumsulfat und einem Mix aus Kalium- und Magne-

siumsulfat S-Gehalte in den Rationen von 0,10, 0,18, 0,26, 0,31 und 0,42 % eingestellt. In der Basisration betrug die S-Konzentration 0,06 %. Im ersten Versuch wurde durch die Zulage von Natriumsulfat die Futteraufnahme nicht beeinflusst. Durch die höhere Zulage von Calciumsulfat und Lignin-Sulfonat (0,30 % S) wurde die Futteraufnahme verringert. Die Milchleistung wurde jedoch nur durch die höhere Lignin-Sulfonat-Zulage verringert. Die Ergebnisse aus dem dritten Versuch ähnelten denen aus Versuch 1 und 2 dieser Reihe und der Versuchsreihe 1 von BROUCHARD und CONRAD (1973a). Es zeigte sich eine reduzierte Futteraufnahme bei den Tieren, deren Ration durch die Zulage von Calciumsulfat 0,30 % Schwefel und mehr enthielt. Die S-Mangelration von 0,06 % S, die BROUCHARD und CONRAD (1973 a, b) einsetzen, und die negativen Effekte, die die Autoren feststellten, lassen sich den oben beschriebenen Arbeiten von CHALUPA et al. (1971, 1973), KAHLON et al. (1975), SLYTER et al. (1988) und GUTIERREZ et al. (1996) zuordnen. Die Versuche, deren Basisrationen geringe S-Gehalte von 0,10, bzw. 0,15 % Schwefel aufwiesen, lassen sich jedoch durchaus als praxisrelevant einstufen. In der Bullenmast beispielsweise sind diese niedrigen S-Gehalte nur bei Rationen auf Maissilagebasis möglich, deren N-Ergänzung hauptsächlich über NPN-Verbindungen wie Harnstoff erfolgt.

In der Literatur finden sich nur relativ wenige Arbeiten, die unter vergleichbaren Voraussetzungen durchgeführt wurden, wie die vorliegende Arbeit. Diese Voraussetzungen beinhalten eine Versuchsdurchführung unter Produktionsbedingungen bzw. nur eine geringe Beeinflussung der Produktionsbedingungen durch das Versuchsgeschehen, eine hohe Tierzahl und eine langen Versuchsperiode, die sich bei Masttieren über nahezu die gesamte Mast erstreckt. Gerade bei Untersuchungen mit relativ geringen, klein abgestuften S-Gehalten (keine extreme Mangelversorgung) kommt der Versuchsdauer eine besondere Bedeutung zu, da Effekte häufig erst nach längere Fütterungsdauer zu erkennen sind. PENDLUM et al. (1976) untersuchten an 60 Ochsen über einen Zeitraum von 140 Tagen den Effekt der N-Quelle und unterschiedlich dosierter S-Zulagen auf Leistungs- und Stoffwechselfparameter. Die Ration basierte auf Mais und Baumwollsaathülsen und wurde ab libitum vorgelegt. Als N-Quelle diente Soja oder Harnstoff. Schwefel wurde als elementarer Schwefel in Höhe von 0, 0,15 und 0,30 % zugelegt. Die Rationen der beiden Gruppen ohne S-Zulage enthielten im Mittel 0,11 % Schwefel bei einem N:S Verhältnis von 14,8:1. Die Rationen mit 0,15 % S-Zulage enthielten im Mittel 0,25 % Schwefel bei einem N:S Verhältnis von 6,7:1 und durch die höchste Zulage wurde ein mittlerer S-Gehalt in der

Ration von 0,43 % eingestellt. Das N:S-Verhältnis lag hier bei 4,2:1. Am 28., 84. und 140. Versuchstag wurden Blutproben von allen Tieren entnommen. Die S-Supplementierung hatte keine Effekte auf das Wachstum, die Futteraufnahme oder die Futtermittelverwertung. Das Aminosäuremuster im Plasma wurde durch die S-Zulage verändert. Am 84. Tag konnte ein signifikant höherer Lysingehalt bei den Gruppen mit S-Zulage gegenüber den Gruppen ohne Zulage festgestellt werden. Gleichzeitig nahm der Gehalt an Asparginsäure durch die S-Zulage linear ab. Am 140. Tag beobachteten die Autoren eine signifikante Abnahme der Valin- und Lysin-Konzentration bei der Zulage von 0,15 % S. Diese Arbeit ist, zumindest vom Versuchsaufbau her, mit der vorliegenden Arbeit zu vergleichen, da hier ebenfalls ein Versuch mit wachsenden Rindern mit einer relativ hohen Tierzahl (60) über einen längeren Zeitraum durchgeführt wurde. Die S-Gehalte der Versuchsrationen entsprechen in etwa der Größenordnung der geringen bis mittleren S-Gehalte der Versuchsreihen 2 und 3 der vorliegenden Arbeit.

RUMSEY (1978) führte zwei Mastversuche mit Rindern durch, um die Effekte einer S-Supplementierung über das Futter und über Synovex-S Ohr Implantate zu überprüfen. Der Versuch 1 wurde mit 48 Mastochsen, der Versuch 2 mit 48 Mastochsen und 16 Ochsen einer Milchrasse über je 28 Wochen durchgeführt. Den Tieren wurde eine Ration aus Konzentratfutter, die einen S-Gehalt von 0,14 % Schwefel in der T aufwies, ad libitum vorgelegt. Schwefel wurde in Form von elementarem Schwefel zugelegt. In Versuch 1 wurden 0, 1,4, 4,2 und 9,8 g Schwefel pro kg Futter zugelegt. So ergaben sich N:S Verhältnisse in der Ration von 15,4:1, 6,9:1, 3,5:1 und 1,6:1. Die Tiere in Versuch 2 erhielten eine identische Diät. Hier wurden 0 oder 1,4 g Schwefel pro kg Futter zugelegt. Die Hälfte der Tiere wurde mit einem Synovex-S Ohr Implantat versehen. In Versuch 1 zeigten sich keine Unterschiede bei den täglichen Zunahmen bei den Gruppen mit 0, 1,4 und 4,2 g Schwefel pro kg Futter. Durch die S-Zulage von 1,4 und 4,2 g wurde jedoch die Futtermittelverwertung um 5,5 % verbessert. Die Schlachtkörperqualität wurde durch die S-Zulagen von 1,4 und 4,2 g pro kg Futter nicht signifikant beeinflusst. Allerdings war die prozentuale Ausschachtung bei den S-Zulagegruppen etwas geringer als bei den Gruppen ohne Zulage. In Versuch 2 führte die S-Zulage unter den implantierten Tieren zu einer Verbesserung der Futtermittelverwertung von 10 %. Die implantierten Tiere zeigten gegenüber den Tieren ohne Implantate eine um 25 % höhere Wachstumsrate und eine um 11 % höhere Futtermittelverwertung.

Die Autoren konnten keinen Behandlungseffekt auf die Schlachtkörperqualität feststellen.

In einer Versuchreihe mit drei Versuchen überprüften BOLSEN et al. (1973) den Einfluss einer Methionin- und Ammoniumsulfat- Ergänzung auf die Leistungsparameter bei Wiederkäuern. Der Versuch 1 wurde mit 84 Ochsen über einen Zeitraum von 120 Tagen durchgeführt. Die Tiere erhielten ein Konzentratfutter auf Maisbasis. Als N-Quelle wurde in Ration 1 und 2 Soja eingesetzt, in den Rationen 3 bis 6 Harnstoff. Die Rationen 2, 4, 5 und 6 wurden mit Ammoniumsulfat ergänzt. Zu der Ration 4 wurde 0,112 % Ammoniumsulfat zugelegt um den S-Gehalt dieser Ration auf den S-Gehalt der Soja- Kontrolle abzustimmen. Die Rationen 5 und 6 wurden mit 0,312 % bzw. 1,225 % Ammoniumsulfat ergänzt. Die S-Gehalte der Rationen von 1 bis 6 lagen somit bei 0,147 %, 0,195 %, 0,118 %, 0,144 %, 0,192 % und 0,408 %. Die N:S-Verhältnisse lagen bei 11,5, 8,8, 14,4, 11,8, 8,8 und 4,2 : 1. Der Versuch 2 wurde mit 45 Lämmern über 47 Tage durchgeführt. Die Rationen und somit auch die N:S-Verhältnisse waren den Rationen 1 bis 5 in Versuch 1 ähnlich. Im Versuch 3 standen 72 Färsen über einen Zeitraum von 134 Tagen zu Verfügung. Die Tiere erhielten eine Basisration aus Mais und Heu ergänzt mit Konzentrat, welches Träger der Supplemente war. Als N-Quelle dienten Soja und Harnstoff, als S-Quelle Ammoniumsulfat und Methionin. Die Rationen 1 bis 3 enthielten Soja, die Rationen 4 bis 6 Harnstoff. Die Rationen 1 und 4 dienten als Kontrolle ohne S-Ergänzung, sie wiesen einen mittleren S-Gehalt von 0,14 % auf (N:S 12,9:1). Die Rationen 2 und 5 wurden mit Ammoniumsulfat ergänzt und enthielten im Mittel 0,15 % Schwefel (N:S 11,7:1). Die Rationen 3 und 6 wurden mit Methionin ergänzt um im Durchschnitt 0,15 % Schwefel zu enthalten (N:S 11,7:1). In keinem der drei Versuche wurde die Leistung der Tiere, deren Rationen mit Soja ergänzt wurden, durch die S-Supplementierung beeinflusst. Die Ochsen und Lämmer, die die Harnstoff-Rationen plus Ammoniumsulfat erhielten, wiesen geringere tägliche Zunahmen, geringere Futteraufnahmen und eine schlechtere Futtermittelverwertung auf als die Tiere der Harnstoffgruppen ohne Ammoniumsulfat. In Versuch 3 beeinflusste weder die Ammoniumsulfat- noch die Methionin- Zulage zu den Harnstoffrationen die Leistung der Färsen. In allen drei Versuchen konnten keine signifikanten Behandlungseffekte auf die Schlachtkörperqualität und den Ausschlagungsgrad festgestellt werden.

ZINN et al. (1997) führten eine Untersuchung zum Einfluss verschiedener Ammoniumsulfat-Zulagen auf Futteraufnahme, Wachstum und Futtermittelverwertung bei Färsen

durch. Es standen 108 Tiere zur Verfügung. Die Ration basierte auf Mais und Heu mit Protein- und Mineralstoffergänzung. Die Rationen enthielten 0,15, 0,20 und 0,25 % S. Die Parameter Futteraufnahme, tägliche Zunahmen und Futterverwertung waren für die Gruppen mit 0,15 und 0,20 % Schwefel in der Ration sehr ähnlich. Bei 0,25 % Schwefel in der Ration nahmen die Futteraufnahme und die täglichen Zunahmen ab und die Futterverwertung verschlechterte sich. Mit zunehmender S-Zulage wurde außerdem ein kürzerer Longissimus-Muskel gemessen. Ein Effekt auf weitere Schlachtkörpermerkmale konnte nicht festgestellt werden.

Übersicht 84: Literaturangaben zum Einfluss einer niedrigen S-Zufuhr

Tier	Ration	S-Quelle	Einfluss einer niedrigen S-Zufuhr	Autor
Kälber Schafe	halbsynthetisch, hochgereinigt % S in Ration: 0,04, 0,34	elementarer S	Futteraufnahme ? Gewicht ? Organgewichte ? AS Muster in Plasma und Leber	SLYTER et al. (1988)
Kälber	% S in der Ration: 0,04, 0,34	elementarer S	Futteraufnahme ? Wachstum ? Organgewichte ?? Aminosäuremuster im Plasma	CHALUPA et al. (1971)
Ochsen	Ration auf Mais/Baumwollsaat-Hülsen + N als Soja oder Harnstoff + 0, 0,15, 0,30 % S N:S (Ø): 14,8, 6,7, 4,2:1 % S in Ration (Ø): 0,11, 0,25, 0,43	elementarer S	Futterverwertung - Wachstum -	PENDLUM et al. (1976)
Ochsen	Konzentrat (0,14 % S) + 0, 1,14, 4,2 S/kg Futter N:S 15,4, 6,9, 3,5:1	elementarer S (Synovex-S Ohr Implantat)	Futterverwertung ? Wachstum ? (Versuch 2)	RUMSEY (1978)

Kein Effekt: -

Erhöhung: ?, Verringerung: ?

Übersicht 84: Literaturangaben zum Einfluss einer niedrigen S-Zufuhr (Fortsetzung)

Tier	Ration	S-Quelle	Einfluss einer niedrigen S-Zufuhr	Autor
Ochsen	Konzentrat (80 % Stärke und Glucose) + Harnstoff (66 % des Futter N) % S in Ration: Kontrolle: 0,05 + Natriumsulfat: 0,13, 0,28, 0,62 +elementarer S: 0,13, 0,26, 0,56	elementarer S Natriumsulfat	Futter- Aufnahme ? Wachstum ? Futter- verwertung ? AS Muster in Plasma	CHALUPA et al. (1973)
Ziegen	Maisstroh (0,021 % S) + Mineralfutter + Harnstoff und S N:S 16,2:1 Kontrolle ohne Zulage	Natriumsulfat	Futter- aufnahme ? Gewicht ?	GUTIERREZ et al. (1996)
Kühe	Konzentrat (40 % Rübenschnitzel, 10 % Soja, ca 38 % Maisstärke, 6 % Harnstoff) +Maissilage (50 % der T) % S in Ration: 0,06, 0,18, 0,24 %	Natriumsulfat, Kalium- Magnesium- sulfat Mix	Futter- aufnahme ? Milchleistung ?	BOUCHARD und CONRAD (1972a)
Kühe	Konzentrat (30 % Rübenschnitzel, 20 % Soja, ca 38 % Maisstärke, 6 % Harnstoff) + Maissilage (50 % der T) % S in Ration: 0,10, 0,15, 0,18 %	Natriumsulfat, Methionin- Hydroxy- Analog	Futter- aufnahme ? Milchleistung ?	BOUCHARD und CONRAD (1972a)
Kühe	Konzentrat (40 % Rübenschnitzel, 10 % Soja, ca 37 % Maisstärke oder Melasse, ca. 6% Harnstoff) Maissilage (50 % der T) % S in Ration: 0,15, 0,30 %	Natriumsulfat, Melasse, Calciumsulfat, Lignin- Sulfonat	Futter- Aufnahme ? bei 0,30 %S durchCalcium- sulfat, Lignin- Sulfonat Milchleistung ? bei 0,30 %S Lignin-Sulfonat	BOUCHARD und CONRAD (1972b)

Übersicht 84: Literaturangaben zum Einfluss einer niedrigen S-Zufuhr (Fortsetzung)

Tier	Ration	S-Quelle	Einfluss einer niedrigen S-Zufuhr	Autor
Ochsen	Konzentrat auf Mais-basis + N aus Soja oder Harnstoff % S in Ration 1 - 6: 0,147, 0,195, 0,118, 0,144 ,0,192, 0,408 %.	Ammonium-sulfat	Soja-Gruppen: Kein Effekt Harnstoff-Gruppen+ S: Wachstum ? Futter-aufnahme ? Futter-verwertung ? Schlachtkörper -	BOLSEN et al. (1973)
Lämmer	siehe oben Ration 1 - 5	Ammonium-sulfat	siehe oben (Ochsen)	BOLSEN et al. (1973)
Färsen	Mais + Heu + Konzentrat + N aus Soja oder Harnstoff % S in Ration: 0,14, 0,15	Ammonium-sulfat Methionin	kein Effekt	BOLSEN et al. (1973)
Färsen	Mais + Heu +Konzentrat % S in Ration: 0,15, 0,20, 0,25	Ammonium-sulfat	0,25 % S: Wachstum ? Futter-aufnahme ? Futter-verwertung ? + S Longissimus Muskel ?	ZINN et al. (1997)
Lämmer	halbsynthetische Diät % S in Ration: Kontrolle ca. 0,07 S-Zulage ca. 0,14	DL- Methionin, Methionin Hy-droxy-Analog, Cal-ciumsulfat, Natriumsulfat, elementarer S	Wachstum ? Futter-aufnahme ?	KAHLON et al. (1975)

Bei der Diskussion der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit werden die Calciumsulfat-Zulagegruppen und die Ammoniumsulfat-Zulagegruppen der Versuchsreihe 3 als Versuchreihe (VR) a und VR b bezeichnet. Wie Abbildung 5 zu entnehmen ist, wurden die täglichen Zunahmen der Tiere, die eine Calciumsulfat-Zulage bis zu ei-

nem S-Gehalt von 0,29 % in der T der Ration erhielten, tendenziell erhöht. Dabei ist anzumerken, dass es sich bei den in der Abbildung angegebenen S-Gehalten in der Ration nicht um die im Versuchsplan angestrebten Gehalte handelt, sondern um die im Versuch erreichten Gehalte, die zum Teil geringfügig von den geplanten Gehalten abweichen. Bei höheren Calciumsulfat-Zulagen, durch die die S-Gehalte in der Ration auf über 0,29 % erhöht wurden verringerten sich die täglichen Zunahmen tendenziell auf ein Niveau, welches leicht unter dem der Kontrollgruppe lag.

Die gemessenen N:S-Verhältnisse in VR 2 verengten sich durch die gestaffelte Calciumsulfat-Zulage von 17,7:1 auf 15,1:1, 11,5:1, 9,2:1, 7,6:1 und 5,8:1. In der VR 3 a wurde das N:S-Verhältnis von 20,7:1 auf 10,6:1, 5,4:1 und 3,8:1 verkleinert.

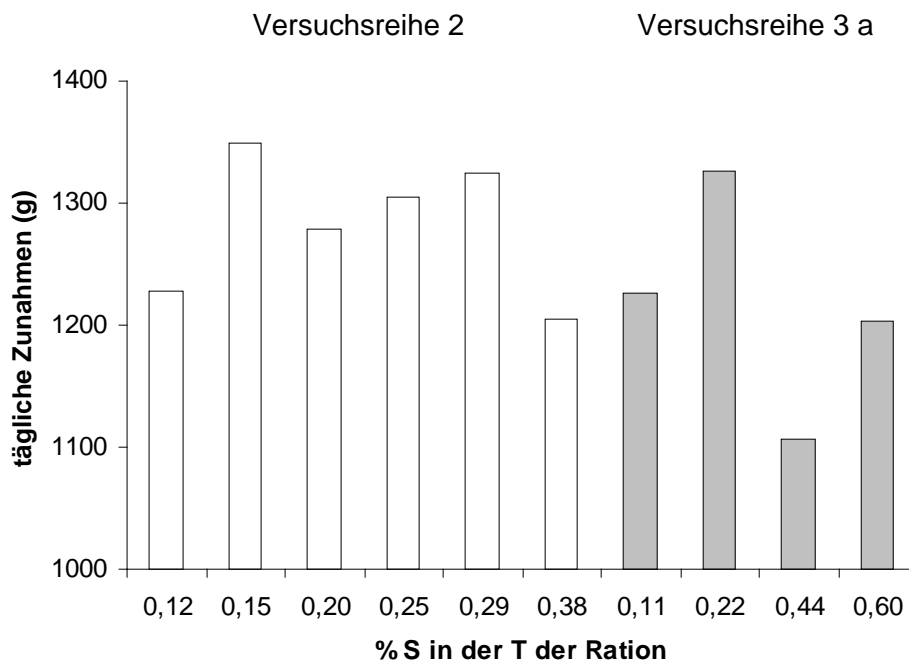


Abbildung 5: Tägliche Zunahmen (g) bei Calciumsulfat-Zulage (Versuchsreihe 2 und 3 a)

Die Futteraufnahme ging in VR 2 bereits ab einem S-Gehalt in der Ration von 0,20 % zumindest numerisch zurück (siehe Abbildung 6). Diese Tendenz weist auf eine verbesserte Futterverwertung bei S-Gehalten von 0,20 bis 0,29 % hin. Auch RUMSEY (1978) stellte eine höhere Futterverwertung durch die Zulage von 1,4 g und 4,2 g Schwefel pro kg Futter fest. In der VR 3 a wurde die Futteraufnahme durch die erste Calciumsulfat-Zulagestufe erhöht und durch die höheren Zulagen wieder verringert. Aufgrund hoher Standardabweichungen war dieser Effekt nicht signifikant. Im Gegensatz zu der vorliegenden Arbeit konnten PENDLUM et al. (1976) keine Effekte einer

S-Zulage auf die Leistungsparameter feststellen. Dies ist möglicherweise auf den Einsatz von elementarem Schwefel zurückzuführen, der für die Mikroorganismen des Pansens deutlich schlechter verfügbar ist als die Sulfatform (siehe auch JOHNSON et al., 1971, KAHN et al., 1975, FRON et al., 1990), die in der vorliegenden Arbeit verwendet wurde. Allerdings müssen die verwendeten unterschiedlichen Sulfatformen (Calciumsulfat und Ammoniumsulfat) voneinander differenziert werden, da in VR 3 b kein Effekt der Ammoniumsulfat-Zulage festgestellt werden konnte, während sich durch die Calciumsulfat-Zulage wie oben beschrieben zumindest Tendenzen abzeichneten. BOLSEN et al. (1973) und ZINN et al. (1997) konnten ebenfalls keine positiven Effekte einer S-Supplementierung durch Ammoniumsulfat aufzeigen. ZINN et al. (1997) stellten einen Rückgang der Futteraufnahme, der täglichen Zunahmen und der Futtermittelverwertung bei einem S-Gehalt in der Ration von 0,25 % fest. In der Untersuchung von BOLSEN et al. (1973) verringerten sich die erfassten Leistungsparameter bei den Gruppen, die Harnstoff als Hauptstickstoffquelle erhielten, durch die Ammoniumsulfat-Zulage bereits ab einem S-Gehalt von 0,144 % in der Ration. CHALUPA et al. (1973) registrierten einen tendenziellen Rückgang der Leistungsparameter bei einem durchschnittlichen S-Gehalt von 0,27 % in der Ration. BOUCHARD und CONRAD (1973b) stellten einen Rückgang der Futteraufnahme bei einem S-Gehalt von 0,30 % durch die Zulage von Calciumsulfat fest. Die Ergebnisse aus VR 2 und VR 3a der vorliegenden Arbeit zeigen ähnliche Tendenzen wie die von BOLSEN et al. (1973), CHALUPA et al. (1973), BOUCHARD und CONRAD (1973b) und ZINN et al. (1997). Die Futteraufnahme ging in VR 2 bei S-Gehalten über 0,15 % zurück, die täglichen Zunahmen bei S-Gehalten über 0,29 %. In VR 3a gingen Futteraufnahme und tägliche Zunahmen bei S-Gehalten über 0,22 % zurück. Durch Ammoniumsulfat-Zulage in VR 3b zeigten sich im Gegensatz dazu keine Effekte. Dies ist möglicherweise dadurch bedingt, dass Ammoniumsulfat schlechter verfügbar ist als Calciumsulfat. Diese Annahme wird durch die Arbeit von KAHN et al. (1975) unterstützt, welche eine etwas geringere Verfügbarkeit von Ammoniumsulfat gegenüber Calciumsulfat feststellten. Anhand der Literaturangaben und den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit kann eine S-Versorgung bis zu 0,12 % Schwefel in der Ration als gering bzw. als nicht ausreichend zur Ausschöpfung des Leistungspotentials eingestuft werden. S-Gehalte von über 0,12 bis zu 0,30 % in der Ration können als bedarfsgerecht betrachtet werden. Zu berücksichtigen ist dabei jeweils die Verfügbarkeit des Schwefels aus verschiedenen S-Quellen.

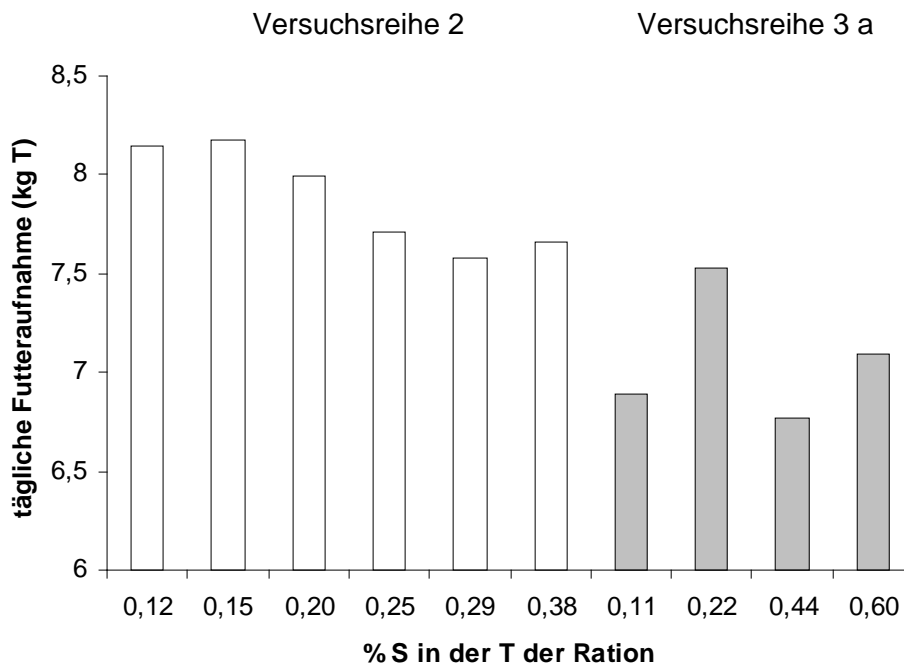


Abbildung 6: Tägliche Futteraufnahme (kg T) bei Calciumsulfat-Zulage (Versuchsreihe 2 und 3 a)

4.4.2 Hohe Schwefelzufuhr

Publikationen zur Toxizität von Schwefel orientieren sich häufig an veterinärmedizinisch dargestellten Einzelfällen oder an extremen S-Belastungen, ausgelöst durch spezifische native Bedingungen im Futter. Für die Tierernährung ist jedoch vielmehr der tolerable Gehalt von Schwefel in der Ration von Bedeutung, der noch keine Gesundheit- und Leistungsdepressionen auslöst. Diese Problematik stellt sich beispielsweise durch die Veränderung der Kationen-Anionen-Bilanz bei Milchkühen durch die Einfügung u.a. von Calcium- und Magnesiumsulfat in die Ration. Dadurch kann es zu hohen S-Aufnahmen kommen. Gezielte Untersuchungen zum tolerablen S-Gehalt in der Ration von Wiederkäuern liegen nur in geringem Umfang vor. Das NRC (2000) zitiert seine frühere Ausgabe (NRC 1980) mit einem maximal tolerablen S-Gehalt von 0,40 % in der Ration. Dieser Wert ist zu hinterfragen, da sich in der Literatur einige Arbeiten finden, die bei deutlich höheren S-Gehalten keine Leistungsdepressionen feststellen konnten. In Übersicht 85 sind Literaturangaben zum

Einfluss einer hohen S-Zufuhr, wiederum in der Reihenfolge der verwendeten S-Quellen, dargestellt.

In einer Reihe von drei Fütterungsversuchen untersuchten THOMPSON et al. (1972) den Einfluss verschiedener N-Quellen mit und ohne S-Ergänzung auf die Leistung wachsender Mastrinder. Für den Versuch 1 standen 80 Ochsenkälber über einen Zeitraum von 164 Tagen zur Verfügung. Die Tiere erhielten ein Konzentratfutter auf Maisbasis ad libitum. Als S-Quelle wurde elementarer Schwefel verwendet. Die Rationen ohne S-Ergänzung wiesen ein N:S-Verhältnis von 15:1 auf, bei den Rationen mit S-Ergänzung war das Verhältnis 5:1. Im Versuch 2 wurden noch einmal 4 Rationen aus dem Versuch 1 überprüft. Dieser Versuch wurde mit 24 Kälbern über einen Zeitraum von 164 Tagen durchgeführt. In Versuch 3 wurde 100 Kälbern Maissilage ad libitum vorgelegt. Die Maissilage wurde, entsprechend den Versuchen 1 und 2, mit den verschiedenen N-Quellen, entweder mit oder ohne S-Zulage, ergänzt. In Versuch 1 und 2 konnten keine signifikanten Interaktionen zwischen der N-Quelle und der S-Ergänzung festgestellt werden. In beiden Versuchen war die Futteraufnahme der Tiere, die eine S-Ergänzung erhielten, signifikant geringer als die der Tiere ohne Ergänzung. Die täglichen Zunahmen waren im Versuch 2 durch die S-Zulage signifikant reduziert. Im Versuch 1 zeigte sich kein Effekt auf die täglichen Zunahmen, aber die Futterverwertung wurde durch die S-Zulage signifikant verbessert. Die Tiere ohne S-Ergänzung wiesen höhere Schlachtkörpergewichte und eine höhere Ausschachtung auf, als die Tiere mit S-Ergänzung. Im Versuch 3 konnte von den Autoren kein signifikanter Einfluss der Zulage von elementarem Schwefel auf die Futteraufnahme, das Wachstum oder die Futterverwertung beobachtet werden. In der vorliegenden Arbeit finden sich ähnliche N:S-Verhältnisse wie bei THOMPSON et al. (1972). In der VR 2 lag das N:S-Verhältnis der Ration mit einem gemessenen S-Gehalt von 0,15 % bei 15,1:1 und das der Ration mit gemessenen 0,38 % Schwefel bei 5,8:1. In der VR 3 a betrug das N:S-Verhältnis der Gruppe mit gemessenen 0,44 % Schwefel in der Ration 5,4:1. Wie bei THOMPSON et al. (1972) in Versuch 1 und 2 gingen die Futteraufnahme und die täglichen Zunahmen bei diesen Verhältnissen zumindest numerisch zurück. Eine Verbesserung der Futteraufnahme bei einem N:S-Verhältnis von 5:1 konnte in der vorliegenden Arbeit jedoch nicht beobachtet werden.

JOHNSON et al. (1968) untersuchten in einem Versuch mit Lämmern die Auswirkungen einer hohen Sulfat-Zulage auf das Wachstum, die Futteraufnahme und die Fut-

terverwertung. Dazu wurde eine Ration aus Mais und Soja-Pellets mit Calciumsulfat und Natriumsulfat supplementiert. Die Sulfat-Zulage lieferte 0,5 % S. Die Autoren stellten eine Depression der Futteraufnahme, des Wachstums und der Futterverwertung durch die hohe Zulage von Calciumsulfat und Natriumsulfat fest.

IVANCIC und WEISS (2001) überprüften den Effekt einer S-Supplementierung auf die Futteraufnahme und die Milchleistung bei 30 Kühen über einen Versuchszeitraum von 112 Tagen. Die Tiere erhielten eine TMR aus den Hauptbestandteilen Mais-silage, Luzerneheu, Maismehl und Soja. In 2 Stufen wurde Schwefel in Form einer Mischung aus Calcium- und Magnesiumsulfat zugelegt. Die S-Gehalte der Rationen lagen somit bei 0,21, 0,41 und 0,71 %. Die Futteraufnahme wurde mit zunehmendem S-Gehalt in der Ration signifikant reduziert. Auch die Milchleistung ging zurück, wobei die Autoren den Rückgang der Milchleistung auf die geringere Futteraufnahme zurückführen. ANKE et al. (1989) führten mit wachsenden Ziegenböcken, Bullen und Färsen Untersuchungen zum Einfluss von hohen S-Belastungen auf das Wachstum der Tiere durch. Der Versuch mit Ziegen dauerte 70 Tage, der mit Bullen 200 Tage und der mit Färsen 196 Tage. Die Ziegen erhielten eine halbsynthetische Diät, die mit 10 g S/kg T, entweder als elementarer Schwefel oder in Form von Methionin, ergänzt wurde. Die Bullen und Färsen erhielten Grund- und Konzentratfutter mit einer S-Zulage (elementarer S) in Höhe von 10 g S/kg T. Die Zulage von 10 g S/kg T verminderte bei den wachsenden Ziegenböcken, Bullen und Färsen die Tageszunahmen um ca. 15 %. Die Ziegen der Zulagegruppe nahmen signifikant weniger Futter auf als die der Kontrollgruppe. Zur Futteraufnahme der Bullen und Färsen wurden keine Angaben gemacht. Auch RUMSEY (1978) stellte im Versuch mit Mastochsen (siehe oben, Versuch 1) negative Effekte einer exzessiven S-Zufuhr fest. Die Tiere die eine S-Zulage von 9,8 g Schwefel pro kg Futter erhielten (N:S 1,6:1) mussten aufgrund einer stark reduzierten Futteraufnahme und hohen Gewichtsverlusten nach 10 Wochen aus dem Versuch genommen werden.

Im Gegensatz zu den bisher beschriebenen Arbeiten konnte in der vorliegenden Arbeit in VR 1 (siehe Abbildung 7 und Abbildung 8) und VR 3 b keine Leistungsdepression durch hohe Ammoniumsulfat-Zulagen ausgelöst werden. Durch die gestaffelte Zulage von Ammoniumsulfat wurde das N:S-Verhältnis in VR 1 von 11,8:1 auf 6,3:1, 4,3:1 und 3,3:1 reduziert. In VR 3 b verengte sich das N:S-Verhältnis von 20,9:1 auf 10,7:1, 6,2:1 und 4,1:1.

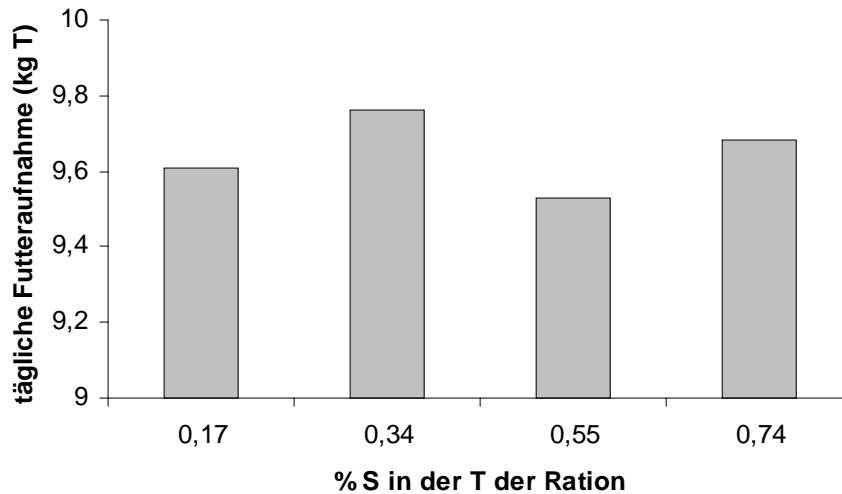


Abbildung 7: Tägliche Futteraufnahme(kg T) in Versuchsreihe 1

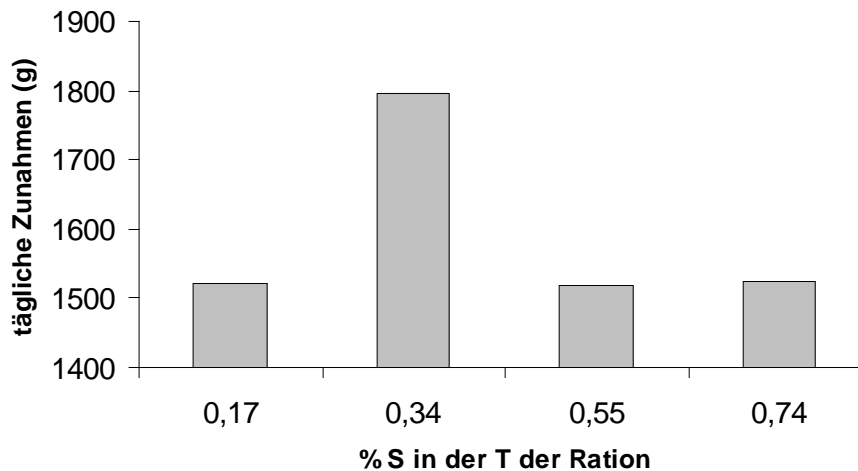


Abbildung 8: Tägliche Zunahmen (g) in Versuchsreihe 1

In der Literatur finden sich jedoch auch einige Arbeiten, bei denen wie in der vorliegenden Arbeit keine negativen Effekte hoher S-Gehalte in der Ration festgestellt wurden. So konnten Pendlum et al. (1976) in ihrer Arbeit mit Ochsen (siehe oben) bei den Gruppen mit der höchsten S-Zulage, deren Rationen 0,43 % Schwefel enthielten und in denen das N:S-Verhältnis bei 4,2:1 lag, keine negativen Effekte auf die Leistungsparameter Futteraufnahme, Futterverwertung und Wachstum beobachten. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Chalupa et al. (1973). Die Autoren konnten in ihrer Untersuchung mit Ochsen (siehe oben) bei S-Gehalten in der Ration von 0,62 % (Natriumsulfat) und 0,56 % (elementarer S) keine eindeutigen Einflüsse der S-Dosierung auf die Leistungsparameter und das Aminosäuremuster im Plasma be-

obachten. Dies entspricht auch der Arbeit von CHALUPA et al. (1971), die in ihrem Versuch mit Bullenkälbern (siehe oben) bei S-Gehalten von 0,94 und 1,72 % (elementarer S) in der Ration keine negativen Auswirkungen dieser hohen S-Gehalte auf die Leistung und die Gesundheit der Tiere feststellen konnten. Auch SLYTER et al. (1988 siehe oben) konnten durch S-Gehalte von 0,94 und 1,72 % in halbsynthetischen Rationen für Kälber und Schafe keine negativen Effekte auf die Futteraufnahme und das Wachstum auslösen.

Übersicht 85: Literaturangaben zum Einfluss einer hohen S-Zufuhr

Tier	Ration	S-Quelle	Einfluss einer hohen S-Zufuhr	Autor
Kälber	% S in der Ration: 0,94, 1,72	elementarer S	keine Effekte	CHALUPA et al. (1971)
Kälber	halbsynthetisch, hochgereinigt % S in Ration: 0,94, 1,72	elementarer S	keine Effekte	SLYTER et al. (1988)
Ochsen	Konzentrat (0,14 % S) + 9,8 g S/kg Futter N:S 1,6:1	elementarer S	Futterverwertung ? Wachstum ? (Versuch 2)	RUMSEY (1978)
Ziegen	halbsynthetisch 1 % S in der Ration	elementarer S Methionin	Futteraufnahme ? Wachstum ?	ANKE et al. (1989)
Bullen	Grund- und Konzentratfutter 1 % S in der Ration	elementarer S	Wachstum ?	ANKE et al. (1989)
Färsen	Grund- und Konzentratfutter 1 % S in der Ration	elementarer S	Wachstum ?	ANKE et al. (1989)
Kälber	Konzentrat auf Maisbasis N:S : 15:1, 5:1	elementarer S	Futteraufnahme ? Wachstum -	THOMPSON et al. (1972)
Kälber	Konzentrat auf Maisbasis N:S : 15:1, 5:1	elementarer S	Futteraufnahme ? Wachstum ? Schlachtskörper ?	THOMPSON et al. (1972)

Übersicht 85: Literaturangaben zum Einfluss einer hohen S-Zufuhr (Fortsetzung)

Tier	Ration	S-Quelle	Einfluss einer hohen S-Zufuhr	Autor
Kälber	Maissilage + Konzentrat N:S : 15:1, 5:1	elementarer S	Futter aufnahme - Wachstum - Futter- verwertung -	THOMPSON et al. (1972)
Ochsen	(siehe oben) % S in Ration: Kontrolle: 0,05 + Natriumsulfat: 0,62 + elementarer S: 0,56	elementarer S Natriumsulfat	keine Effekte	CHALUPA et al. (1973)
Lämmer	Pellets (Mais und Soja) + 0,5 % S aus Sulfat- Zulage	Calciumsulfat Natriumsulfat	Futter aufnahme ? Futter- verwertung ? Wachstum ?	JOHNSON et al. (1968)
Kühe	TMR (Maissilage, Lu- zerner Heu, Mais-mehl, Soja) % S in Ration: Ø 0,22, 0,41, 0,71	Calcium- Ma- gnesium-sulfat Mix	Futter- Aufnahme ? Milchleistung ? bei 0,41 und 0,71 % S	IVANCIC und WEISS (2001)

Kein Effekt: -

Erhöhung: ?, Verringerung: ?

Insgesamt gesehen sind sowohl die Angaben in der Literatur als auch die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit hinsichtlich des für Wiederkäuer tolerablen S-Gehaltes in der Ration nicht einheitlich. Die Tendenzen, die diesbezüglich in der vorliegenden Arbeit zu erkennen waren, weisen auf die Bedeutung der S-Quelle in diesem Zusammenhang hin. Durch die hohen Zulagen von Ammoniumsulfat in VR 1 und VR 3 b wurde die Leistung der Tiere nicht beeinträchtigt, während höhere Zulagen von Calciumsulfat in VR 2 und VR 3 a zumindest eine tendenzielle Verminderung der Leistung erkennen ließen. Im Gegensatz zu diesen Beobachtungen ist anhand der zitierten Literatur kein gerichteter Einfluss der S-Quelle zu erkennen, da in der Mehrzahl der Arbeiten elementarer Schwefel als S-Ergänzung eingesetzt wurde und die verschiedenen Autoren dennoch zu völlig unterschiedlichen Ergebnissen kamen. Wie bereits eingangs erwähnt, liegen bisher nur wenige gezielte Untersuchungen zu dieser Prob-

lematik vor. Um den maximal tolerablen S-Gehalt in der Ration für Wiederkäuer genauer zu definieren, bedarf es in Zukunft einer Erweiterung der experimentellen Basis.

4.5 Interaktionen von Schwefel mit Kupfer, Selen und Zink

4.5.1 Interaktionen von Schwefel mit Kupfer

Einer bedarfsgerechten S-Versorgung der Wiederkäuer kommt auch im Zusammenhang mit den zwischen Schwefel und dem Spurenelement Kupfer bestehenden Wechselwirkungen eine wichtige Bedeutung zu. In Studien an Schafen konnte DICK bereits 1953 (1953a, 1953b, 1954b) nachweisen, dass der Sulfat-Gehalt in der Ration neben dem Mo-Gehalt von entscheidender Bedeutung in Bezug auf die Interaktionen zwischen Kupfer, Molybdän und Schwefel ist.

Die Effekte von Schwefel und Molybdän auf den Kupferstoffwechsel hängen entscheidend von den relativen Gehalten zueinander bzw. ihrer jeweiligen Höhe in der Ration ab (DICK, 1954a). So nimmt die Speicherung von Kupfer in der Leber sowohl mit steigender Molybdän-Aufnahme als auch mit steigender Sulfat-Aufnahme ab. Eine Supplementierung mit Molybdän und Sulfat reduziert die Kupfer-Retention in der Leber und hat damit auch einen negativen Einfluss auf die tierische Leistung (WYNNE und McCLYMONT, 1956, GOODRICH und TILLMAN, 1966). Demgegenüber konnten in weiteren Studien keine Effekte einer Mo- und S-Supplementierung, entweder einzeln oder in Kombination, auf den Cu-Status nachgewiesen werden (ALLCROFT und LEWIS, 1956, BUTLER und BARLOW, 1963, BUTLER et al., 1964, HOGAN et al., 1966). So fand MYLREA (1958) bei einem Sulfat-Gehalt in der Ration von 0,03 % und gleichzeitig von 2,4 auf 9,2 mg/kg steigenden Mo-Gehalten keinen Einfluss auf den Cu-Gehalt in der Leber und im Plasma. Andere Ergebnisse wurden jedoch bei einer Ration erzielt, die 0,55 % Sulfat enthielt. In diesem Fall bewirkte die steigende Mo-Zulage einen deutlichen Rückgang der Cu-Gehalte in Leber und Plasma. Ähnliche Effekte auf die Cu-Gehalte der Leber werden auch von DICK (1954a, 1954b), PIERSON und AANES (1958), SUTTLE und FIELD (1968a) und MARCILESE et al. (1969) beschrieben. Die verschiedenen Untersuchungsergebnisse deuten darauf hin, dass hohe Mo- und Sulfat-Aufnahmen die Bioverfügbarkeit von Kupfer beeinträchtigen und somit einen Cu-Mangel induzieren können. Die Interaktion zwischen Kupfer

und Molybdän wird jedoch nicht nur von Schwefel in der Sulfatverbindung beeinflusst sondern auch von anderen S-Verbindungen wie beispielsweise den S-haltigen Aminosäuren (SUTTLE, 1975).

Die Mikroorganismen des Pansens reduzieren Sulfat zu Sulfid. Nach HUISINGH et al. (1974) wird ein Hauptenzym der Sulfatreduktion durch Molybdän irreversibel gehemmt. Das durch die Sulfatreduktion entstandene Sulfid wird entweder aus dem Pansen absorbiert und in der Leber entgiftet, in die S-haltigen Aminosäuren eingebaut oder als Schwermetall-Sulfid ausgefällt. In Gegenwart von Kupfer wird unlösliches CuS im Pansen gebildet (MILLS, 1960). Somit kann weniger Kupfer absorbiert werden. Durch zunehmende Gehalte von Schwefel im Futter wird die Konzentration an freiem S^{2-} im Verdauungstrakt erhöht. Dies hat eine vermehrte Bildung von unlöslichem CuS zur Folge, welches nicht absorbiert wird und daher mit dem Kot ausgeschieden wird (SUTTLE, 1974).

Das aus dem Pansen absorbierte Sulfid wird in der Leber zu Sulfat oxidiert. In diese Oxidation ist die Sulfid-Oxidase involviert. Die Aktivität dieses Enzyms scheint vom Gehalt an verfügbarem Kupfer in der Leber abhängig zu sein (SIEGEL und MONTY, 1961). Während Kupfer die Aktivität fördert, senkt Molybdän diese (VAN REEN, 1954). Eine reduzierte Aktivität der Sulfid-Oxidase führt zu einer Akkumulation von Sulfid in der Leber und somit zur vermehrten Bildung von unlöslichem, nicht verfügbarem CuS (HALVERSON et al., 1960, SIEGEL und MONTY, 1961, SPAIS et al., 1968). Dieser Vorgang wird durch den Gehalt an absorbierbarem Molybdän in der Ration bestimmt, da durch die Konzentration dieses Elements die Sulfid-Oxidase-Aktivität in der Leber kontrolliert wird.

Sulfat verändert die Absorption von Molybdän (DICK, 1953b, 1956a, 1956b, CARDIN und MANSON, 1975, HUISINGH und MATRONE, 1976). Bei großen Mengen an Sulfat in der Ration wird weniger Molybdän absorbiert und umgekehrt. Im Durchschnitt wird von den Wiederkäuern mehr Molybdän absorbiert, da im allgemeinen aufgrund der Sulfatreduktion im Pansen weniger Sulfat in den Intestinaltrakt gelangt.

Eine weitere mögliche Erklärung der Kupfer-Molybdän-Interaktionen gab DAVIS bereits 1958. Er berichtete von der Bildung eines schwer verfügbaren Kupfer-Molybdän-Komplexes. In späteren Studien wurde angenommen, dass zusätzlich oder anstatt des beschriebenen Kupfer-Molybdän-Komplexes Thiomolybdat-Kupfer-Komplexe eine sehr wichtige Rolle spielen, da diese Thiomolybdat-Komplexe offensichtlich im Pansen entstehen (MILLS et al., 1978). Anhand von Absorptionsstudien

mit ^{64}Cu bei Ratten wurde nachgewiesen, dass durch die Zugabe von synthetischem Thiomolybdat die Cu-Absorption signifikant verringert wurde, während die Zugabe von Molybdat, Molybdat plus Sulfid oder Sulfid die Cu-Absorption nicht beeinflusste (MILLS et al., 1978). Es wurde von verschiedenen Autoren beobachtet, dass eine zunehmende S-Aufnahme in Form von Sulfat oder S-haltigen Aminosäuren die Absorption und Speicherung von Kupfer bei Schafen vermindert. Dies ist möglicherweise durch die Bildung von unlöslichen Kupfer-Sulfiden oder Kupfer-Thiomolybdaten bedingt (BIRD, 1970, SUTTLE, 1974). AHMAD et al. (1995) fanden bei Schafen, die eine Silage aus mit Ammoniumsulfat gedüngter Hirse erhielten, eine um 50 % verringerte scheinbare Cu-Absorption.

ANKE et al. (1989) untersuchten an Mastbullen den Einfluss verschiedener Schwefel- und Mo-Zulagen auf den Spurenelementstatus. Die Rationen enthielten 10 g bzw. 20 g elementaren Schwefel. Einigen Rationen wurden zudem 10 mg Molybdän/kg T zugelegt. Der Spurenelementstatus wurde anhand von im Schlachthof entnommenen Gewebeproben bestimmt. Der Cu-Gehalt in der Leber wurde durch die S-Zulage gegenüber der Kontrollration um nahezu die Hälfte reduziert. Der Cu-Gehalt in der Leber der Tiere, die die höhere S-Zulage plus Mo-Zulage erhielten, war noch geringer. Der Cu-Gehalt im Plasma wurde durch die S- und Mo-Zulage leicht verringert. Die Leber normal versorgter Rinder enthält >100 mg Cu/kg T (ANKE und RISCH, 1979). Die Cu-Konzentration in der Leber der Kontrolltiere lag mit 61 mg Cu/kg T bereits unter diesem Wert. Ab einem Cu-Gehalt von etwa 35 mg/kg T in der Leber besteht ein Cu-Mangel. Die Tiere, die eine S- und eine Mo-Zulage erhielten, wiesen mit einer Cu-Konzentration von nur 22 mg/kg T einen deutlichen Mangel auf, während die Tiere der S-Zulagegruppe mit 36 mg/kg T im Bereich eines möglichen Mangels lagen. Die Autoren führen die beobachteten Effekte auf die Bildung von Thiomolybdat im Pansen zurück, welches mit dem Kupfer aus dem Futter und aus den Geweben nicht verfügbare Komplexe bildet.

GOLFMAN und BOILA (1990) bestimmten an fistulierten Ochsen den Einfluss von Molybdän und Schwefel auf verschiedene Mineralstoffe im Verdauungstrakt. Die Basisration enthielt 2,9 mg Cu/kg T, 1,7 mg Mo/kg T und 1,2 g S/kg T. Eine Ration wurde mit 10 g Mo/kg T ergänzt, eine weitere mit 3,0 g S/kg T und eine mit beiden Elementen in der jeweiligen Dosierung. Der Prozentsatz an löslichem Kupfer war am proximalen Duodenum und am terminalen Ileum niedriger bei den mit Mo- oder S-ergänzten Rationen. Dieser Effekt war bei der mit Molybdän und Schwefel supple-

mentierten Ration noch stärker ausgeprägt. Die beobachteten Effekte unterstützen die Hypothese (SUTTLE, 1980), dass die Bildung von Thiomolybdaten und somit die Interaktion von Thiomolybdaten und Kupfer die Verfügbarkeit von Kupfer für die Absorption reduziert. Die feste Phase des Panseninhaltes spielt eine wichtige Rolle für die Wechselwirkungen zwischen Kupfer, Molybdän und Schwefel (ALLEN und GAWTHORNE, 1987). Die Autoren gehen davon aus, dass eine kontinuierliche Rückführung von Thiomolybdaten aus der flüssigen oder löslichen Phase in die feste Phase stattfindet. Dies geschieht durch die Bildung von stabilen Komplexen oder Reaktionen mit Proteinen oder anderen Makromolekülen in der festen Phase. Solche Verbindungen sind möglicherweise für die verringerte Cu-Absorption bei Tieren, die Rationen mit hohen Mo-Gehalten aufnehmen, verantwortlich. Der Effekt von Schwefel auf die Löslichkeit von Kupfer am proximalen Duodenum und am terminalen Ileum ist wahrscheinlich auf die Bildung von unlöslichem Kupfer-Sulfid zurückzuführen.

VAN RYSSEN et al. (1998) untersuchten an Schafen den Einfluss von S-Zulagen auf die Interaktionen zwischen Selen und Kupfer. Dazu wurde eine Mastration mit verschiedenen Selen-, Kupfer- und Schwefel-Zulagen ergänzt (Se: 0,35, 0,88 und 1,34 mg/kg T, Cu: 6,7 und 17,0 mg/kg T, S: 2,15 und 3,97 g/kg T). Als S-Quelle diente Natriumsulfat. Der Mo-Gehalt der Rationen lag im Durchschnitt bei 0,56 mg/kg T. Die Cu-Konzentration in der Leber wurde durch die höhere S-Zulage von im Mittel 678 mg/kg T auf im Mittel 305 mg/kg T drastisch reduziert. Der Effekt der S-Zulage war bei den hohen Cu-Gehalten in der Ration deutlich stärker ausgeprägt als bei denen mit niedrigen Cu-Gehalten. Die Cu-Konzentration im Plasma wurde durch die höhere S-Zulage tendenziell verringert. Die geringe Mo-Konzentration in der Ration führt zu der Annahme, dass der Cu-Stoffwechsel nicht durch Thiomolybdat beeinflusst wurde. Der Rückgang des Cu-Gehaltes in der Leber um 55 % durch die hohe S-Zulage ist demzufolge möglicherweise auf die Bildung von CuS im Verdauungstrakt zurückzuführen. SUTTLE (1977) berichtete über einen Rückgang der Cu-Verfügbarkeit von 20 - 40 % durch die Interaktion von Schwefel und Kupfer in Abhängigkeit von der Höhe der S-Aufnahme.

In der vorliegenden Arbeit wurde der Cu-Gehalt in der Leber durch die Sulfat-Zulage drastisch reduziert (siehe Abbildung 9 und Abbildung 10). Besonders bemerkenswert ist die Tatsache, dass in der VR 2 bereits durch die Erhöhung des S-Gehaltes in der

Ration von 0,12 auf 0,15 % der Cu-Gehalt in der Leber um 80 mg/kg T verringert wurde. Dagegen bewirkte die Erhöhung des S-Gehaltes in der Ration von 0,25 auf 0,40 % nur eine geringe, nicht signifikante Verringerung des Cu-Gehaltes in der Leber. Dieser Effekt konnte auch in der VR 1 beobachtet werden. Hier bewirkte die Ammoniumsulfat-Zulage, durch die der S-Gehalt in der Ration auf 0,34 % angehoben wurde, einen deutlichen Rückgang des Cu-Gehaltes in der Leber um 93 mg/kg T. Durch die weitere Erhöhung der S-Gehalte auf 0,55 und 0,74 % in der Ration nahm der Cu-Gehalt in der Leber nicht mehr weiter signifikant ab. In beiden Versuchsreihen verringerte sich der Cu-Gehalt in der Gallenflüssigkeit bei zunehmender S-Zufuhr zumindest tendenziell analog zu den Cu-Gehalten in der Leber. Der Cu-Gehalt im Plasma wurde in VR 1 durch die Zulage von Ammoniumsulfat zumindest tendenziell vermindert. So lag der Cu-Gehalt der Kontrollgruppe mit 1,01 mg/l über dem Niveau der Zulagegruppen, die im Mittel einen Gehalt von 0,85 mg/l aufwiesen. In VR 2 war am Cu-Gehalt des Plasmas kein Einfluss der S-Versorgung abzulesen. Der mittlere Gehalt lag bei 1,13 mg/l. Allerdings ist die Cu-Konzentration im Plasma laut DU et al. (1996) kein zuverlässiger Indikator für den Cu-Status. Im allgemeinen wird davon ausgegangen, dass die normale Cu-Konzentration im Plasma aufrechterhalten wird, solange die Cu-Konzentration in der Leber nicht unter 30 µg/g T abfällt (MILLS, 1987).

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit stehen im Einklang mit denen von ANKE et al. (1989) und VAN RYSSSEN (1998). Die Autoren stellten, wie auch in der vorliegenden Arbeit beobachtet, abnehmende Cu-Gehalte in der Leber durch eine S-Supplementierung der Ration fest. Allerdings legten ANKE et al. (1989) im Gegensatz zu der vorliegenden Arbeit mit 10 mg/kg T eine relativ hohe Menge an Molybdän zu und führten die beobachteten Effekte auf die Bildung von Thiomolybdat-Kupfer-Komplexen im Pansen zurück. In der vorliegenden Arbeit belief sich der Mo-Gehalt in VR 1 im Durchschnitt auf 1,22 mg/kg T und in VR 2 auf 0,76 mg/kg T. Diese Gehalte liegen somit deutlich unter denen von ANKE et al. (1989). Der durchschnittliche Mo-Gehalt in der Studie von VAN RYSSSEN (1998) lag bei 0,56 mg/kg T und wurde vom Autor als gering eingestuft. Die relativ geringen Molybdängehalte in der vorliegenden Arbeit weisen, wie auch bei VAN RYSSSEN et al. (1998), darauf hin, dass die verringerte Speicherung von Kupfer in der Leber nicht durch den Einfluss von Thiomolybdat bedingt war. Der Rückgang der Cu-Gehalte in der Leber und der Galle ist daher mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die Bildung von CuS im Pansen zurückzuführen. Auch

HUISINGH und MATRONE (1977) stellten heraus, dass die Verringerung der Cu-Verfügbarkeit für den Wiederkäuer stärker durch die Bildung von CuS bedingt ist als durch die Entstehung von Cu-Thiomolybdat-Komplexen. In der vorliegenden Arbeit wurde deutlich, dass der Einfluss der S-Zulage auf den Cu-Gehalt in der Leber am stärksten bei niedrigen S-Gehalten in der Ration ausgeprägt war.

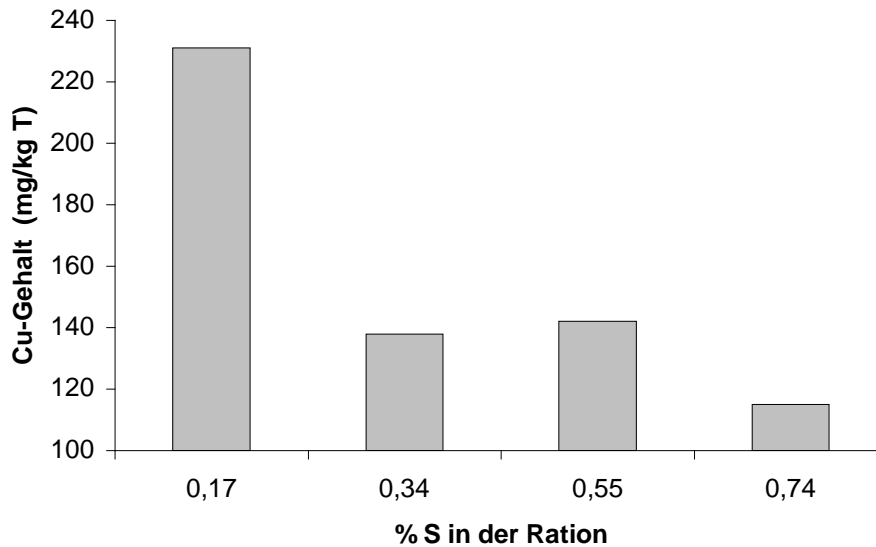


Abbildung 9: Cu-Gehalte (mg/kg T) in der Leber in Versuchsreihe 1

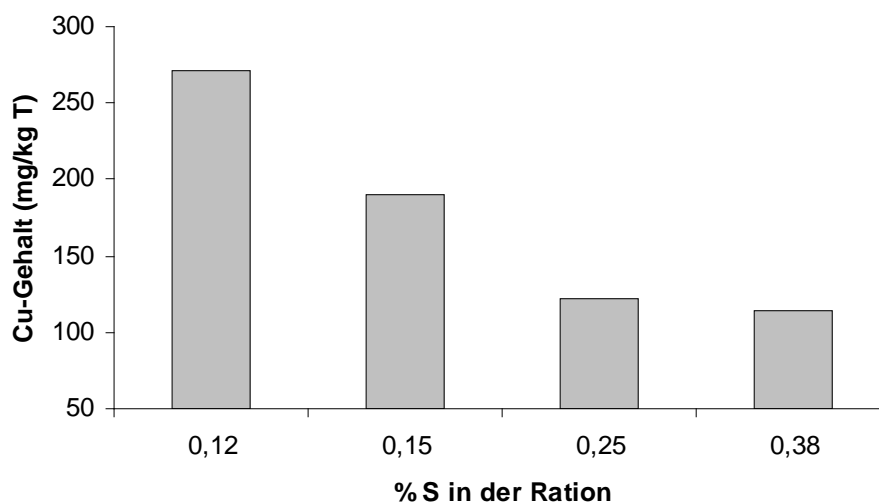


Abbildung 10: Cu-Gehalte (mg/kg T) in der Leber in Versuchsreihe 2

In einer Untersuchung mit 108 Mastbullen im Lebendmasseabschnitt von 450 - 550 kg überprüfte SCHENKEL (1992), wie sich eine hohe Sulfataufnahme auf den Cu-

Status der Tiere auswirkte. Die Ration basierte auf Getreideschlempe, Getreideschrot und Melasseschnitzel. Die Basisration enthielt ca. 0,30 % Schwefel. Zwei Rationen wurde Sulfat in Form von Ammoniumsulfat und Melasseschnitzeln zugelegt und der S-Gehalt somit auf ca. 0,40 % und ca. 0,60 % angehoben. In der Leber und der Niere konnte keine deutliche Abnahme der Kupferkonzentration festgestellt werden. Die im Plasma ermittelte Kupferkonzentration wurde ebenfalls nicht durch den S-Gehalt in der Ration beeinflusst. Die von SCHENKEL (1992) beschriebenen Beobachtungen sind vergleichbar mit denen der vorliegenden Arbeit. In den Versuchsreihen 1 und 2 zeigte sich übereinstimmend, dass bei höheren S-Gehalten in der Ration eine noch höhere S-Zulage den Cu-Gehalt in der Leber nur noch geringfügig veränderte. SCHENKEL (1992) arbeitete auch mit hohen S-Gehalten in der Ration und konnte, wie in der vorliegenden Arbeit, keine offensichtliche Verringerung der Cu-Gehalte im Plasma und in der Leber feststellen. Dieser Effekt ist durch die kurvilineare Beziehung zwischen der Absorption von Kupfer und dem S-Gehalt in der Ration bedingt. Nach SUTTLE und MCLAUCHLIN (1976) bewirken zunehmende S-Gehalte in der Ration von 0,05 % in der T auf 0,20 % in der T eine höhere Abnahme der Cu-Absorption als die Zunahme von 0,30 % in der T auf 0,50 % in der T. Auf diese kurvilineare Beziehung weisen auch die Ergebnisse von GRACE et al. (1997) hin. Die Autoren arbeiteten mit Schafen, um den Einfluss steigender S-Aufnahmen auf den Cu-Status zu bestimmen. Die Tiere hatten Weidegang. Dreimal in der Woche wurde eine S-Ergänzung in Form einer Kapsel in den Pansen appliziert. Als S-Quellen dienten dabei elementarer Schwefel und Thiosulfat-S. Die S-Aufnahme wurde von 3,9 auf 7,9 g/Tier und Tag gesteigert. Außerdem wurde bei zwei Gruppen die Cu-Aufnahme erhöht, einmal durch Kupfersulfat und einmal durch metallisches Kupfer. Weder die Höhe der S-Aufnahme, noch die S-Quelle beeinflussten die Cu-Konzentration im Plasma und in der Leber. Die zunehmende Cu-Aufnahme beeinflusste die Cu-Konzentration im Plasma nicht. Auch die Cu-Konzentration in der Leber jedoch stieg signifikant an. Durch die zunehmende S-Aufnahme von 3,9 auf 7,9 g/Tier und Tag wurde Konzentration an löslichem Cu, die das Duodenum erreichte, halbiert. Die S-Gehalte in der T der Ration in der Studie von GRACE et al. (1997) bewegten sich mit 0,26 % - 0,52 % auf einem relativ hohen Niveau so dass auch hier, wie bei SCHENKEL (1992) und in der vorliegenden Arbeit, der Einfluss der S-Zulage auf den Cu-Gehalt in der Leber und im Plasma nur gering bzw. nicht erkennbar war.

4.5.2 Interaktionen von Schwefel mit Selen

POPE et al. (1978) untersuchten den Effekt von Schwefel auf die Absorption und Retention von Selen bei Schafen. Die Basisdiät enthielt 0,05 % Schwefel und wurde durch die Zulage von Natriumsulfat auf S-Gehalte von 0,11, 0,17, und 0,24 % eingestellt. Die Rationen enthielten 0,25 mg Se/kg. Über eine Fistel wurde zudem radioaktiv markiertes Selen in den Pansen gegeben. Die Halbwertszeit von ^{75}Se lag bei ca. 24 h und wurde durch die verschiedenen Behandlungen nicht beeinflusst. Die größte Aktivität war in der festen Phase des Pansens zu beobachten. Das Niveau der Aktivität schien mit zunehmenden S-Level zuzunehmen, allerdings konnte dieser Effekt statistisch nicht gesichert werden. Im Kot wurde zumindest eine tendenzielle Erhöhung der Se-Exkretion bei steigender S-Zufuhr beobachtet. Die zunehmenden S-Gehalte in der Ration bewirkten eine Zunahme der Exkretion von ^{75}Se über den Harn. Dieser Effekt war signifikant bei 0,05, 0,11 und 0,17 % Schwefel in der Ration, eine weitere Zunahme bei 0,24 % konnte nicht beobachtet werden. Die Zunahme der Exkretion spiegelte sich in einer reduzierten Plasma-Radioaktivität und einer reduzierten scheinbaren Se-Retention wieder. Der Gehalt an ^{75}Se im Blut stieg bei den Kontrolltieren 24 h nach der Verabreichung weiter an, während bei den Zulagegruppen zu diesem Zeitpunkt bereits ein Plateau erreicht war. Obwohl die beobachteten Effekte im Pansen und im Kot nicht signifikant waren, nahmen die Autoren an, dass es durch die Zulage von Schwefel zu Veränderungen in der Pansenfermentation kam. Selen kann im Pansen zu H_2Se reduziert werden. Diese Reduktion ähnelt der von Sulfat zu Sulfid. Es ist sehr wahrscheinlich, dass aufgrund des höheren S-Angebotes die Zahl der Sulfat-reduzierenden Bakterien steigt und somit auch mehr Selen reduziert wird. Da H_2Se weniger stabil ist als H_2S dissoziiert es und es entsteht elementares Selen, welches entweder von den Bakterien wieder genutzt wird oder es kommt zur Bildung von unlöslichen Metall-Seleniden. Aufgrund dieses Prozesses steht weniger Selen zur Absorption zur Verfügung (BRAY und TILL, 1975). PETERSON und SPEDDING (1963) fanden im Kot von Schafen Selen hauptsächlich in Form von wasserunlöslichen, anorganischen Verbindungen. Die Veränderungen hinsichtlich der ^{75}Se -Exkretion über den Harn, des ^{75}Se -Levels im Blut und der scheinbaren ^{75}Se -Retention sind offensichtlich durch die unterschiedlichen S-Aufnahmen bedingt. PAULSON et al. (1966) konnten diese Effekte nicht beobachten. Dies ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass der S-Gehalt in der Basisration bei PAULSON et al. (1966) mit 0,28 % wesentlich höher war als bei POPE et al. (1978) mit 0,05 %,

während der Se-Gehalt mit 0,16 mg/kg bei PAULSON et al. deutlich unter dem von POPE et al. mit 0,25 mg/kg lag. Wenn die Menge an verfügbarem Schwefel gering ist, wird möglicherweise mehr Selen in die mikrobiellen Aminosäuren eingebaut und mit diesen absorbiert, was sich wiederum in einem höherem Se-Gehalt im Plasma widerspiegelt. Insgesamt kamen die Autoren zu dem Schluss, dass ihre Ergebnisse keine Informationen über die Mechanismen liefern, durch die die beobachteten Interaktionen bedingt sind. Allerdings konnten auch sie zeigen, dass der Se-Stoffwechsel durch den im Futter enthaltenen Schwefel beeinflusst wurde.

Am Dünndarm ergibt sich für Selen ein konkurrierendes Verhalten in der Absorption von Schwefel und Selen. Für eine kompetitive Interaktion zwischen Selenat und Sulfat sowie einigen physikalisch und chemisch verwandten Oxyanionen, wie z. B. Thiosulfat und Molybdat, existieren experimentelle Hinweise. CARDIN und MASON (1976) untersuchten den Transport von Sulfat in umgestülpte Säckchen aus dem Ileum der Ratte und fanden eine spezifische Hemmung der Sulfataufnahme durch Thiosulfat, Selenat, Molybdat und Wolframat. Übereinstimmende Befunde wurden auch von ARDUESER et al. (1985, 1986) veröffentlicht. Die Autoren wiesen eine Hemmung des Na-abhängigen Selenattransports unter anderem durch Thiosulfat und Sulfat durch die Bürstensaummembran bei Ratten und Schafen nach. WOLFFRAM et al. (1986, 1988) konnten in Experimenten mit isolierten Bürstensaummembranvesikeln eindeutig nachweisen, dass Selenat und Sulfat über einen gemeinsamen Carrier durch die intestinale Bürstensaummembran transportiert werden. Daher ist bei hoher S-Zufuhr gleichzeitig eine Minderung des Se-Transportes zu erwarten (ARDÜSER et al., 1986). VAN RYSSSEN et al. (1998, siehe oben) untersuchten in ihrer Studie an Schafen auch den Einfluss von S-Zulagen auf den Selenstatus. Durch die höhere S-Zulage wurde die Se-Konzentration in der Leber, im Muskel und in den Pansenmikroben signifikant reduziert.

Die Leber fungiert als Selenspeicher, welcher bei Selenmangel mobilisiert wird, um bevorrechtigte Organe wie beispielsweise Hoden und Gehirn mit Selen zu versorgen. Bei hohen Se-Aufnahmen dient die Leber als Depotorgan, indem Selen in der Leber akkumuliert wird (CHAVEZ, 1979, BURK, 1989). KIRCHGESSNER et al. (1997) stellten bei wachsenden Ratten fest, dass mit zunehmendem Se-Gehalt in der Diät die Se-Konzentrationen im Gewebe anstiegen. Die stärksten Verschiebungen traten dabei in der Leber auf, die als Speicher fungierte. Der Se-Gehalt der Leber ist demnach

durchaus geeignet, um Rückschlüsse auf die Se-Aufnahme bzw. die Se-Absorption zu ziehen.

In der vorliegenden Arbeit wurde der Se-Gehalt in der Leber in VR 1 durch die Zulage von Ammoniumsulfat signifikant verringert (Abbildung 11). Durch die weitere gestaffelte S-Zulage wurden die Gehalte allerdings nicht weiter verringert. Die Se-Gehalte der drei Ammoniumsulfat-Zulagegruppen bewegten sich auf einem einheitlichen Niveau. Auch in VR 2 wurde der Se-Gehalt in der Leber durch die Zulage von Sulfat, in diesem Fall Calciumsulfat, reduziert (Abbildung 12). Eine signifikante Abnahme des Se-Gehaltes zeigte sich bei einem S-Gehalt von 0,25 % in der Ration. Die weitere Sulfat-Zulage bewirkte nur noch eine geringfügige Verringerung des Se-Gehaltes in der Leber. Die in der vorliegenden Arbeit beobachteten Effekte stimmen mit denen von VAN RYSSEN et al. (1998) überein. Die in der vorliegenden Arbeit festgestellten Beobachtungen sind möglicherweise, wie auch bei VAN RYSSEN et al. (1998) beschrieben, auf mehrere Mechanismen zurückzuführen. Zum einen bewirkt das erhöhte Sulfat-Angebot im Pansen eine verringerte Se-Aufnahme der Mikroorganismen und zum anderen konkurrieren Schwefel und Selen um die Absorption an der intestinalen Bürstensaummembran (WOLFFRAM et al., 1986, 1988, ARDÜSER et al., 1986).

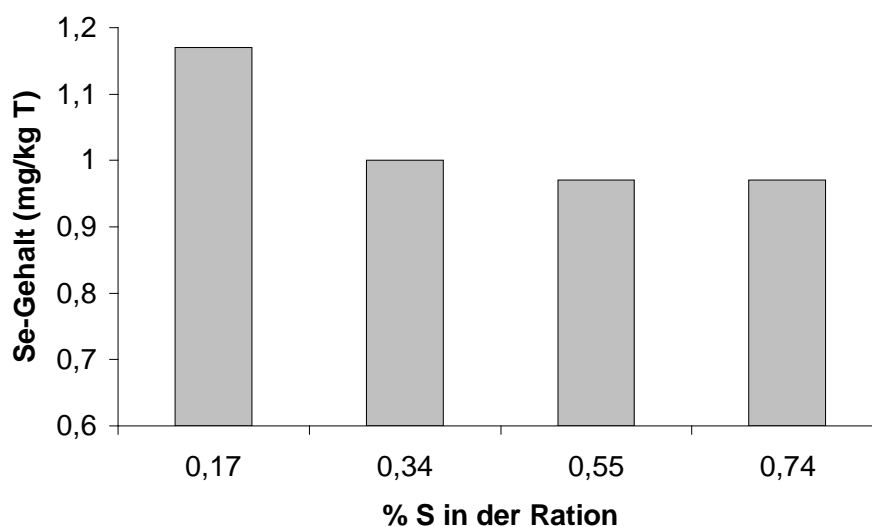


Abbildung 11: Se-Gehalte in der Leber (mg/kg T) in Versuchsreihe 1

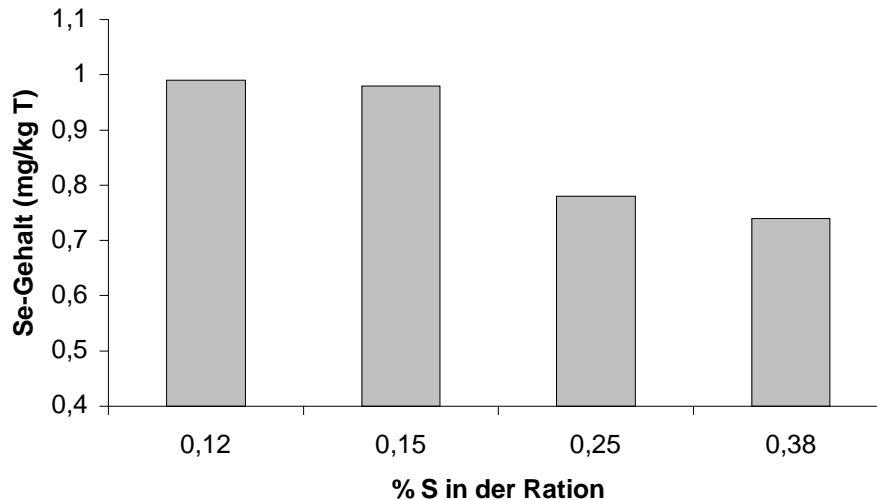


Abbildung 12: Se-Gehalte in der Leber (mg/kg T) in Versuchsreihe 2

4.5.3 Interaktionen von Schwefel mit Zink

Zwischen Kupfer und Zink bestehen Wechselwirkungen, Kupfer beeinflusst den Zinkstoffwechsel und umgekehrt. Die Effekte hängen dabei entscheidend von den relativen Gehalten zueinander bzw. ihrer jeweiligen Höhe in der Ration ab. Wenn das Cu-Angebot gering ist, bewegt sich Zink auf einem relativ hohen Niveau im Vergleich zu Kupfer (KIRCHGESSNER et al., 1979). Im allgemeinen zeigt sich bei Tieren, die sich im Cu-Mangel befinden eine leicht erhöhte Zn-Retention in der Leber oder im Knochen im Vergleich zu Tieren, die normal mit Kupfer versorgt sind (ALFARO und HEATON, 1973, GIPP et al., 1973). Aufgrund des erwarteten geringeren Cu-Angebotes bedingt durch die Interaktion mit Schwefel wurden in der vorliegenden Arbeit die Zn-Gehalte in der Gallenflüssigkeit und im Plasma bestimmt. Es waren jedoch keine eindeutigen, gerichteten Effekte zu erkennen.

4.5.4 Schlussbetrachtung der Interaktionen

Insgesamt gesehen konnte in der vorliegenden Arbeit anhand der betrachteten Spurenelementgehalte in den Gewebeproben gezeigt werden, dass die Höhe des S-Gehaltes in der Ration besonders den Cu-Gehalt in der Leber und auch den Se-Gehalt in der Leber beeinträchtigt. Die Cu-Konzentration normal versorgter Rinder bewegt sich im Bereich von 200 bis 300 mg/kg T (AMMERMAN, 1970, UNDERWOOD,

1981, PULS, 1994). Bei Cu-Konzentrationen in der Leber von weniger als 20 mg/kg T oder Konzentrationen im Plasma von unter 0,50 mg/l liegt ein Cu-Mangel vor (NRC, 2001). In der vorliegenden Arbeit senkten selbst die hohen S-Zulagen in VR 1 die Kupfer-Gehalte in der Leber nicht unter 100 mg/kg T ab. Durch die hohen Sulfat-Zulagen wurde demzufolge kein eindeutiger Kupfermangel induziert. Die normale Se-Konzentration in der Leber bewegt sich in einem Bereich von 1,2 - 2,0 mg/kg T (STOWE und HERDT, 1992). Die durch die S-Zulage verringerten Se-Gehalte in der Leber in der vorliegenden Arbeit lagen etwas unter dem von STOWE und HERDT (1992) angegebenen Wert. Allerdings sind die Abweichungen nicht so hoch um hier tatsächlich von einem Se-Mangel auszugehen, besonders unter Einbeziehung der Se-Gehalte in der Leber der Kontrolltiere, die mit im Mittel 1,08 mg/kg T relativ gering waren. In den Bedarfsempfehlungen der GfE (1995) wird für Mastrinder ein Cu-Gehalt in der Ration von 8 –10 mg/kg T, ein Se-Gehalt von 0,10 – 0,15 mg/kg T und ein Mo-Gehalt von 0,1 mg/kg T empfohlen. In der vorliegenden Arbeit nahmen die Tiere der Versuchsreihe 1 13,1 mg/kg T Kupfer, 0,17 mg/kg T Selen und 1,22 mg/kg T Molybdän auf. In der Versuchsreihe 2 waren es 13,8 mg/kg T Kupfer, 0,15 mg/kg T Selen und 0,76 mg/kg T Molybdän. Bei den vorliegenden Ergebnissen ist also zu berücksichtigen, dass die Versorgung der Tiere mit den genannten Spurenelementen relativ hoch war. Sollte die Versorgung mit diesen Spurenelementen nicht so hoch sein, ist durchaus davon auszugehen, dass hohe Sulfat-Gaben Mangelerscheinungen dieser betrachteten Spurenelemente induzieren können.

5 Schlussfolgerungen

Aufgrund der zur Verfügung stehenden Literatur und den Ergebnissen der Versuchsreihen 1, 2 und 3 der vorliegenden Arbeit lassen sich zum Einfluss einer unterschiedlichen S-Versorgung auf Verdaulichkeit, Leistungsparameter und Spurenelementgehalte in verschiedenen Geweben bei wachsenden Rindern in Bezug auf die gemessenen Parameter folgende Schlüsse ziehen.

Die Verdaulichkeit von Wiederkäuerrationen wird offensichtlich durch den Gesamtgehalt an Schwefel in der Ration bzw. durch die Zulagehöhe beeinflusst. Aus der zur Verfügung stehenden Literatur und den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung lässt sich allerdings nicht in allen Arbeiten ein eindeutig gerichteter Effekt der S-Gehalte in der Ration bzw. der S-Zulagen auf die Verdaulichkeit erkennen. Allerdings scheint der Einfluss der S-Versorgung auf die Verdaulichkeit der Ration entscheidend von der Art und dem Futterwert der Grundfuttermittel abzuhängen. Hierbei spielt der Rohproteingehalt, der eng mit dem nativen S-Gehalt des Futtermittels korreliert ist, sowie der Anteil pflanzlicher Gerüstsubstanzen eine wichtige Rolle. So konnten GUARDIOLA et al. (1983) und MORRISON et al. (1990) zeigen, dass eine S-Ergänzung die Verdaulichkeit qualitativ schlechter, S-armer tropischer Gräser deutlich verbessert. In der Literatur konnten die Mehrzahl der Autoren positive Effekte oder zumindest positive Tendenzen einer S-Zulage auf die Verdaulichkeit verschiedener Nährstofffraktionen, insbesondere der pflanzlichen Gerüstsubstanzen, aufzeigen (BULL und VANDERSALL, 1973, BOUCHARD und CONRAD, 1974, TELLER et al., 1977, GUARDIOLA et al., 1983, MORRISON et al., 1990, QI et al., 1992). Auch in der vorliegenden Arbeit konnte insgesamt gesehen durch die Zulage von Sulfat eine tendenzielle Verbesserung der Verdaulichkeit der organischen Substanz und der Rohfaser festgestellt werden. Bei einer S-Zulage durch Ammoniumsulfat, durch die ein S-Gehalt in der Ration von 0,60 % erreicht bzw. überschritten wird, wurde allerdings ein tendenzieller Rückgang der Verdaulichkeit der betrachteten Nährstofffraktionen beobachtet. Die Autoren JOHNSON et al. (1968), BOILA und GOLFMANN (1991) und ZINN et al. (1997) konnten dagegen keine Effekte verschiedener S-Zulagen auf die Verdaulichkeit ermitteln. Insgesamt gesehen sind die Angaben in der Literatur zu dieser Thematik uneinheitlich und aufgrund der doch teilweise stark differierenden Versuchsdesigns auch nur sehr bedingt vergleichbar. Da jedoch überwiegend positive

Effekte und Tendenzen sowohl in der vorliegenden Literatur als auch in der vorliegenden Arbeit festgestellt wurden, kann durchaus davon ausgegangen werden, dass eine S-Ergänzung, besonders in Form von Sulfat, die Verdaulichkeit, vor allem die der pflanzlichen Gerüstsubstanzen, positiv beeinflusst. Dies gilt insbesondere für qualitativ schlechte, S-arme Grundfuttermittel, die hauptsächlich in tropischen und subtropischen Klimaten als Futtergrundlage dienen.

Aus der vorliegenden Literatur geht eindeutig hervor, dass S-Gehalte in Wiederkäuerrationen von 0,021 bis 0,07 % der T zur Versorgung der Tiere nicht ausreichen und Mangelerscheinungen bzw. deutliche Leistungsdepressionen zur Folge haben (CHALUPA et al., 1971, 1973, KAHN et al., 1975, SLYTER et al., 1988, GUTIERREZ et al., 1996). Allerdings stellt sich das Problem einer so extrem geringen S-Versorgung aufgrund der Beschaffenheit der heimischen Futtermittel in Deutschland und anderen Ländern im gemäßigten Klimabereich nicht. Unter tropischen und subtropischen Bedingungen sind solche extrem geringen S-Gehalte jedoch durchaus zu erwarten (MORRISON et al., 1990, 1994). In der vorliegenden Arbeit lagen die S-Gehalte der Kontrollgruppen ohne S-Zulage der Versuchsreihen 2 und 3 bei 0,12, bzw. 0,11 % in der T der Ration. Diese niedrigen Gehalte sind durchaus praxisrelevant. In der Bullenmast beispielsweise finden sich S-Gehalte dieser Größenordnung bei Rationen auf Maissilagebasis, deren N-Ergänzung hauptsächlich über NPN-Verbindungen erfolgt. In der vorliegenden Arbeit zeigte sich, dass sich die Zulage von Calciumsulfat auf die Leistungsparameter auswirkte. Die täglichen Zunahmen der Tiere, die eine zunehmende Calciumsulfat-Zulage bis zu einem S-Gehalt von 0,29 % in der T der Ration erhielten, wurden durch diese Zulage tendenziell verbessert. Bei darüber hinausgehenden S-Gehalten in der Ration gingen die Zunahmen tendenziell auf ein Niveau leicht unter dem der Kontrollgruppe ohne S-Zulage zurück. Die Futteraufnahme nahm in der VR 2 bereits bei einem S-Gehalt in der Ration von 0,20 % in der T zumindest numerisch wieder ab. In VR 3 (Calciumsulfat-Zulage) war dies ab einem S-Gehalt von über 0,22 % in der T der Fall. In der Literatur liegen verschiedene Arbeiten vor, in denen den in der vorliegenden Arbeit ähnliche S-Gehalte in der Ration überprüft wurden (BOUCHARD und CONRAD 1972a, BOLSEN et al., 1973, PENDLUM et al., 1976, RUMSEY, 1978, ZINN et al. 1997). Obwohl sich die Arbeiten hinsichtlich der Versuchsdesigns zum Teil deutlich unterscheiden, konnten die Mehrzahl der Autoren

positive Effekte einer S-Zulage zu S-armen Basisrationen mit S-Gehalten im Bereich von 0,10 bis 0,15 % Schwefel in der T der Ration feststellen.

Bei der Zulage von Ammoniumsulfat in der VR 3 waren keine S-Zulage-bedingten Tendenzen zu erkennen. Zu diesem Ergebnis kamen auch BOLSEN et al. (1973) in ihren Studien mit Färsen und ZINN et al. (1997).

Insgesamt gesehen kann anhand der Literaturangaben und den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit eine S-Versorgung bis zu 0,12 % Schwefel in der Ration als gering bzw. als nicht ausreichend zur Ausschöpfung des Leistungspotentials eingestuft werden. S-Gehalte im Bereich von 0,15 bis zu 0,30 % in der T der Ration können hinsichtlich der Versorgung für ein hohes Wachstum als ausreichend betrachtet werden. Zu berücksichtigen ist dabei jeweils die Verfügbarkeit des Schwefels aus verschiedenen S-Quellen. Anhand der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit lässt sich zudem schlussfolgern, dass sich Calciumsulfat sehr gut zur S-Ergänzung einer S-armen Ration eignet. Ammoniumsulfat dagegen erwies sich als weniger effektive S-Quelle.

Die Auswirkungen einer hohen S-Zulage auf die Leistungsparameter bei Wiederkäuern sind nicht einheitlich. Das NRC (2000) gibt einen maximal tolerablen S-Gehalt in der Ration von 0,40 % an. Dieser Wert ist jedoch zu hinterfragen, da sich in der vorliegenden Literatur einige Arbeiten finden, die bei deutlich höheren S-Gehalten keine Leistungsdepressionen feststellen konnten (CHALUPA et al., 1971, 1973, THOMPSON et al., 1972, Versuch 3, SLYTER et al., 1988). Dagegen stellten andere Autoren sehr wohl deutliche Leistungseinbußen bei hohen S-Zulagen fest (RUMSEY, 1978, ANKE et al., 1989, THOMPSON et al., 1972, Versuch 1 und 2, JOHNSON et al. 1968, IVANCIC und WEISS, 2001). In der vorliegenden Arbeit wurden durch hohe Ammoniumsulfat-Zulagen keine Leistungsdepressionen ausgelöst, während höhere Zulagen von Calciumsulfat zumindest eine tendenzielle Verminderung der Leistung erkennen ließen. Insgesamt gesehen sind sowohl die Angaben in der Literatur als auch die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit hinsichtlich des für Wiederkäuer tolerablen S-Gehaltes in der Ration nicht einheitlich. Die in der vorliegenden Arbeit beobachteten Tendenzen weisen auf die Bedeutung der S-Quelle in diesem Zusammenhang hin. Ein gerichteter Einfluss der S-Quelle geht aus der vorliegenden Literatur allerdings nicht hervor. Um den maximal tolerierbaren S-Gehalt in der Ration, besonders im Zusammenhang mit der Bedeutung der Rationszusammensetzung bzw. der S-

Quelle, genauer zu definieren, bedarf es in Zukunft einer Erweiterung der experimentellen Basis.

Deutliche, einheitlich gerichtete Effekte zeigt die S-Zulage auf den Cu- und Se-Gehalt in der Leber. Durch die Zulage von Calciumsulfat und Ammoniumsulfat wurden die Cu- und Se-Gehalte in der Leber deutlich reduziert. Diese Beobachtung steht im Einklang mit den Angaben der einschlägigen Literatur. Die Zulage von Schwefel zu Rationen mit geringem S-Gehalt beeinträchtigte den Cu-Gehalt in der Leber stärker als S-Zulagen zu Rationen mit bereits relativ hohem S-Gehalt. Auch SUTTLE und MCLAUHLIN (1976), SCHENKEL (1992) und GRACE et al. (1997) machten diese Beobachtung. Aus diesem Grund ist die Gefahr eines definitiven Cu-Mangels allein aufgrund hoher S-Zulagen nicht unbedingt gegeben. Allerdings ist bei der S-Ergänzung S-armer Rationen besonders auf eine bedarfsgerechte Versorgung zu achten, um Leistungseinbussen aufgrund eines geringeren Angebotes an Kupfer und Selen auszuschließen.

6 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war die Untersuchung des Einflusses einer unterschiedlichen S-Versorgung auf die tierischen Leistungsparameter und auf die Spurenelementgehalte in verschiedenen Geweben bei wachsenden Rindern sowie auf die Verdaulichkeit der Ration. Zu diesem Zweck wurden drei Versuchsreihen mit Mastbullen durchgeführt. Den Versuchsreihen 1 und 2 lag jeweils ein einfaktorielles Versuchsdesign zugrunde, die Versuchsreihe 3 wurde zweifaktoriell angelegt. Zur S-Supplementierung wurden sowohl Ammoniumsulfat als auch Calciumsulfat eingesetzt, um Rückschlüsse auf die Verfügbarkeit des Schwefels aus unterschiedlichen Quellen ziehen zu können. Die S-Versorgung wurde über das Kraftfutter variiert. Allen Tieren wurde als Grundfutter Maissilage ad libitum vorgelegt. Die Leistungsparameter Futteraufnahme und Gewichtsentwicklung wurden während der gesamten Versuchsperiode kontinuierlich erfasst. Zudem wurde in jeder Versuchsreihe parallel zu dem Fütterungsversuch ein Verdaulichkeitsversuch durchgeführt. Zu Versuchsende wurden am Schlachthof das Schlachtkörpergewicht, die prozentuale Ausschachtung und das Nierenfettgewicht festgestellt. Außerdem wurden Proben von Leber, Niere, Gallenflüssigkeit und Blut entnommen. Anhand der Cu-, Se- und Zn-Gehalte dieser Gewebeproben sollten mögliche Interaktionen zwischen Schwefel und diesen Spurenelementen aufgezeigt werden. Für die Versuchsreihe 1 standen 36 Tiere zur Verfügung, für die Versuchsreihen 2 und 3 jeweils 72 Tiere. Alle Behandlungsgruppen waren mit 9 Tieren besetzt. Somit ergaben sich für die Versuchsreihe 1 4 Behandlungsgruppen und für die folgenden Versuchsreihen jeweils 8 Behandlungsgruppen. Die Versuchsreihe 1 erstreckte sich über einen Zeitraum von 21 Wochen, die Versuchsreihen 2 und 3 jeweils über 38 Wochen.

Versuchsreihe 1

In dieser Versuchsreihe wurde der Einfluss einer hohen S-Dosierung überprüft. Als S-Quelle diente Ammoniumsulfat. Der analysierte S-Gehalt der Kontrollgruppe ohne Sulfat-Zulage betrug 0,17 % in der T der Ration und wurde durch die gestaffelte Ammoniumsulfat-Zulage auf 0,34, 0,55 und 0,74 % gesteigert.

Durch die hohen Ammoniumsulfat-Zulagen wurden keine Leistungsdepressionen ausgelöst. Die Futteraufnahme lag im Versuchsmittel bei 9,65 kg T, die täglichen Zunahmen bei 1590 g.

Der Cu-Gehalt in der Leber wurde gegenüber der Kontrollgruppe durch die Ammoniumsulfat-Zulage, die einen S-Gehalt in der Ration von 0,34 % ergab, von 231 mg/kg T auf 138 mg/kg T signifikant reduziert. Durch die weitere Erhöhung der S-Gehalte in der Ration auf 0,55 und 0,74 % wurde der Cu-Gehalt in der Leber mit Werten von 142 mg/kg T und 115 mg/kg T nicht mehr weiter signifikant verringert. Der Cu-Gehalt in der Gallenflüssigkeit nahm analog zu den Cu-Gehalten in der Leber bei steigender S-Zufuhr zumindest tendenziell von 0,42 mg/l auf 0,22 mg/l ab. Der Cu-Gehalt in der Niere wurde durch die Zulage von Sulfat ebenfalls von 22,3 mg/kg T auf 19,3 mg/kg T reduziert. Auch im Plasma lag der Cu-Gehalt der Kontrollgruppe mit 1,01 mg/l geringfügig über dem Mittel der Zulagegruppen von 0,85 mg/l.

Der Se-Gehalt in der Leber wurde durch die Zulage von Ammoniumsulfat signifikant von 1,17 mg/kg T auf 1,00 mg/kg T verringert. Durch die weiteren gestaffelten S-Zulagen wurden die Gehalte jedoch nicht weiter reduziert. In der Gallenflüssigkeit und in der Niere war bei den Sulfat-Zulagegruppen ein leichter Anstieg der Se-Gehalte gegenüber der Kontrollgruppe von 8,56 mg/l auf 9,38 mg/l bzw. von 6,32 mg/kg T auf 7,00 mg/kg T zu beobachten.

In der Gallenflüssigkeit nahm der Zn-Gehalt mit zunehmender S-Dosierung von 0,66 mg/l auf 0,90 mg/l tendenziell zu. Der Zn-Gehalt im Plasma der Kontrollgruppe und der Gruppe mit 0,34 % Schwefel in der Ration lag im Mittel bei 0,78 mg/l. Die Tiere, welche die Rationen mit 0,55 und 0,74 % Schwefel aufnahmen, wiesen dagegen einen durchschnittlichen Zn-Gehalt im Plasma von 1,02 mg/l auf.

Die Verdaulichkeit der organischen Substanz wurde durch die S-Zulage geringfügig von 77,9 auf 76,2 % verringert. Die Rohfaserverdaulichkeit der S-Zulage-Ration war mit 59,0 % zumindest numerisch geringer als die der Kontrollration mit 64,0 %.

Versuchsreihe 2

In dieser Versuchsreihe wurde der Einfluss einer niedrigen und mittleren S-Dosierung untersucht. Als S-Quelle diente Calciumsulfat. In der Kontrollration ohne S-Ergänzung wurde ein geringer nativer S-Gehalt von 0,12 % in der T analysiert. In fünf Zulagestufen wurde Schwefel gestaffelt zugelegt. Somit lagen die ermittelten S-Gehalte der Rationen bei 0,15, 0,20, 0,25, 0,29 und 0,38 % der T. Da Harnstoff als Hauptstickstoffquelle diente, erhielt eine „Positiv“ Kontrollgruppe im Austausch gegen Harnstoff Sojaextraktionsschrot ohne weitere S-Ergänzung (0,16 % Schwefel in der T der Ration). Um Hinweise zum Einfluss des Kations zu erhalten, wurden in einer

weiteren Behandlungsgruppe Ammoniumsulfat als S-Quelle und Harnstoff zur Stickstoffergänzung eingesetzt. In dieser Ration wurde ein S-Gehalt von 0,23 % in der T analysiert. Ein Verdaulichkeitsversuch mit Titandioxyd als Marker wurde unmittelbar an den im Fütterungsversuch stehenden Tieren, die die Rationen mit 0,12 %, 0,25 % und 0,38% Schwefel in der T erhielten, durchgeführt. Die Futteraufnahme veränderte sich durch die Erhöhung des S-Gehaltes in der Ration von 0,12 % auf 0,15 % kaum und lag im Mittel der beiden Gruppen bei 8,17 kg T. Durch die weitere Anhebung der S-Gehalte in der Ration ging die Futteraufnahme tendenziell auf im Mittel 7,34 kg T zurück. Die täglichen Zunahmen verbesserten sich durch die S-Zulage bis zu einem S-Gehalt von 0,29 % von 1228 g auf im Mittel 1314 g. Bei einem S-Gehalt von über 0,29 % in der T der Ration gingen die täglichen Zunahmen tendenziell auf 1205 g zurück.

Der Cu-Gehalt in der Leber wurde durch die Zulage von Calciumsulfat signifikant reduziert. Besonders bemerkenswert war die Tatsache, dass hier bereits durch die Erhöhung des S-Gehaltes in der Ration von 0,12 auf 0,15 % in der T der Cu-Gehalt in der Leber von 271 mg/kg T auf 190 mg/kg T verringert wurde. Dagegen bewirkte die weitere Erhöhung des S-Gehaltes von 0,25 auf 0,38 % nur eine geringfügige Abnahme des Cu-Gehaltes in der Leber auf 122 mg/kg T und 114 mg/kg T. Der Cu-Gehalt in der Gallenflüssigkeit verringerte sich bei steigender S-Zufuhr zumindest tendenziell von 0,52 mg/l auf 0,21 mg/l. Der Cu-Gehalt in der Niere war bei den Tieren, die die Ration mit 0,38 % Schwefel erhielten, mit 19,8 mg/kg T signifikant geringer als der der übrigen Behandlungsgruppen mit im Mittel 21,6 mg/kg T. Am Cu-Gehalt des Plasmas war kein Einfluss der S-Dosierung abzulesen. Er lag im Durchschnitt bei 1,13 mg/l.

Der Se-Gehalt der Leber nahm mit zunehmender S-Versorgung ab. Dabei waren die Gehalte der Kontrollgruppe ohne S-Ergänzung und die der Gruppe mit der niedrigsten Sulfat-Zulage (0,15 % Schwefel in der T) mit im Durchschnitt 0,99 mg/kg T signifikant höher als die der Gruppen mit den höheren S-Zulagen (0,25 und 0,38 % Schwefel in der T) mit im Mittel 0,76 mg/kg T. Der Se-Gehalt in der Gallenflüssigkeit der Kontrollgruppe war mit 9,04 µg/l signifikant höher als der der Gruppen mit 0,25 und 0,38 % Schwefel in der T der Ration, der durchschnittlich 6,57 µg/l betrug. In der Niere sanken die Se-Gehalte mit zunehmender S-Versorgung von 7,29 mg/kg T auf 6,21 mg/kg T.

Der Zn-Gehalt in der Gallenflüssigkeit nahm mit steigender S-Dosierung tendenziell von 0,62 mg/l auf 0,28 mg/l ab. Die Gruppe die die Ration mit 0,38 % Schwefel in der T erhielt wies mit 0,83 mg/l den niedrigsten Zn-Gehalt im Plasma auf. Der Zn-Gehalt im Plasma der übrigen Gruppen lag im Mittel bei 0,99 mg/l.

Die Verdaulichkeit der organischen Substanz wurde durch die unterschiedliche S-Zufuhr nur gering beeinflusst. Die Tiere der Calciumsulfat-Zulagegruppen mit 0,25 und 0,38 % Schwefel in der T der Ration verdauten die organische Substanz mit 67,3 % bzw. 68,2 % tendenziell besser als die Tiere der Kontrollgruppe mit 66,7 %. Die Verbesserung der Verdaulichkeit ist dabei vor allem durch die tendenzielle Erhöhung der Rohfaserverdaulichkeit von 44,7 % auf im Mittel 50,2 % bedingt.

Versuchsreihe 3

In der Versuchsreihe 3 wurde der Einfluss einer stärker gestaffelten S-Dosierung und die Verwendung von Calciumsulfat bzw. Ammoniumsulfat untersucht. Es wurden zwei jeweils auf die S-Quelle abgestimmte Ausgangskraftfuttermischungen konzipiert. In den zwei Kontrollrationen ohne S-Ergänzung wurde ein geringer nativer S-Gehalt von 0,11 % in der T festgestellt. In jeweils drei Zulagestufen wurde Schwefel gestaffelt zugelegt, so dass sich bei Calciumsulfat-Zulage S-Gehalte von 0,22, 0,44 und 0,60 % der T der Ration und bei Ammoniumsulfat-Zulage S-Gehalte von 0,23, 0,38 und 0,57 % der T ergaben. In dieser Versuchsreihe wurde ebenfalls ein Verdaulichkeitsversuch mit Titandioxyd als Marker unmittelbar an den im Fütterungsversuch stehenden Tieren, die die Kontrollrationen mit 0,11 % Schwefel bzw. die Rationen mit jeweils im Mittel 0,23 und 0,60 % Schwefel in der T der Ration erhielten, durchgeführt. Die Zulagen von Calciumsulfat und Ammoniumsulfat wirkten sich unterschiedlich aus. Durch die Calciumsulfat-Zulage, durch die ein S-Gehalt in der Ration von 0,22 % eingestellt wurde, wurden die tägliche Futteraufnahme gegenüber der Kontrollration von 6,89 kg T auf 7,53 kg T und die täglichen Zunahmen von 1227 g auf 1327 g tendenziell erhöht. Bei der weiteren Erhöhung der S-Gehalte in der Ration auf 0,44 und 0,60 % gingen die Futteraufnahme und die täglichen Zunahmen wiederum auf im Mittel 6,93 kg T bzw. 1156 g zurück. Allerdings waren diese Effekte nicht signifikant. Die Zulage von Ammoniumsulfat hatte keinen Einfluss auf die Leistungsparameter. Hier lag die Futteraufnahme im Versuchsmittel bei 7,21 kg T, die täglichen Zunahmen bei 1242 g.

Die Tiere der Calciumsulfat-Zulagegruppen verdauten die organische Substanz mit im Mittel 70,8 % signifikant besser als die Ammoniumsulfat-Zulagegruppen mit im Mittel 67,8 %. Durch die gestaffelte Zulage von Calciumsulfat erhöhte sich tendenziell die Verdaulichkeit der organischen Substanz von 69,1 % auf im Mittel 71,6 %, bedingt vor allem durch die Erhöhung der Rohfaserverdaulichkeit von 42,5 % auf im Mittel 49,7 %. Die Zulage von Ammoniumsulfat bewirkte eine Verbesserung der Verdaulichkeit der organischen Substanz von 67,2 % auf 68,6 %, auch hier wiederum bedingt durch die Erhöhung der Rohfaserverdaulichkeit von 47,1 % auf 49,5 %. Allerdings gingen die Verdaulichkeiten bei einem S-Gehalt von 0,57 % in der T der Ration auf 67,5 % bzw. 44,7 % zurück.

7 Literaturverzeichnis

- AHMAD, M.R., ALLEN, V.G., FONTENOT, J.P., HAWKINS, G.W. (1995): Effect of sulfur fertilisation on chemical composition, ensiling characteristics, and utilisation by lambs of sorghum silage. *J. Anim. Sci.* 73, 1803 - 1810
- ALFARO, B., HEATON, F.W. (1973): Relationship of copper, zinc and iron in the plasma, soft tissue and skeleton of rat during Cu deficiency. *Br. J. Nutr.* 29, 73 - 85
- ALLEN, J.D., GAWTHORNE, J.M. (1987): Involvement of the solid phase of rumen digesta in the interaction between copper, molybdenum and sulfur in sheep. *Br. J. Nutr.* 58, 265 - 276
- ALLCROFT, R., LEWIS, G. (1956): Relationship of copper, molybdenum and inorganic sulphate content of feeding stuffs to the occurrence of copper deficiency in sheep and cattle. *Landbouwkd. Tijdschr.* 68, 711 - 722
- AMBERGER, A. (1996): Pflanzenernährung. Verlag Eugen Ulmer, 4. Aufl., S. 204 - 214
- AMMERMANN, C.B. (1970): Recent developments in cobalt and copper in ruminant nutrition: A review. *J. Dairy Sci.* 53, 1097 - 1107
- ANDERSON, C.M. (1956): The metabolism of sulfur in the rumen of the sheep. *N. Z. J. Sci. Technol. A* 37, 379 - 394
- ANKE, M., MASAOKA, T., ARNHOLD, W., KRAUSE, U., GROPPPEL, B., SCHWARZ, S. (1989): The influence of a sulphur, molybdenum or cadmium exposure on the trace element status of cattle and pigs. *Arch. Anim. Nutr. Berlin* 39, 657 - 666
- ANKE, M., RISCH, M. (1979): Haaranalyse und Spurenelementstatus. VEB Gustav Fischer Verlag Jena
- ARDUESER, F., WOLFFRAM, S., SCHARRER, E. (1986): Active absorption of selenate by rat ileum. *J. Nutr.* 115, 1203 - 1208
- ARDUESER, F., WOLFFRAM, S., SCHARRER, E., SCHNEIDER, B. (1986): Transport of selenate and selenite across the brush border membrane of rat and sheep small intestine. *Biol. Trace Elem. Res.* 9, 281 - 290
- BARTON, J.S., BULL, L.S., HEMKEN, R.W. (1971): Effects of various levels of sulfur upon cellulose digestion in corn fodder pellets *in vitro*. *J. Anim. Sci.* 33, 682
- BIRD, P.R. (1970): Sulphur metabolism and excretion studies in ruminants. III. The effect of sulphur intake on the availability of copper in sheep. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.* 8, 212 - 218

- BIRD, P.R. (1972): Sulphur metabolism and excretion studies in ruminants IX. Sulphur, nitrogen, and energy utilization by sheep fed a sulphur-deficient and a sulphate-supplemented roughage-based diet. *Aust. J. Biol. Sci.* 25, 1073
- BIRD, P.R., MOIR, R.J. (1971): Sulphur metabolism and excretion studies in ruminants. I. The absorption of sulphate in sheep after intraruminal or intraduodenal infusions of sodium sulphate. *Aust. J. Biol. Sci.* 24I, 1319 - 1328
- BLOCK R.J., STEKOL, J.A. (1950): Synthesis of sulfur amino acids from inorganic sulfate by ruminants. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 73, 391 - 394
- BLOCK, R.J., STEKOL, J.A., Loosli, J.K. (1951): Synthesis of sulfur amino acids from inorganic sulfate by ruminants. 2. Synthesis of cystine and methionine from sulfat by the goat and by the microorganisms of the rumen of the ewe. *Arch. Biochem. Biophys.* 33, 353 - 363
- BLOEM, E.M. (1998): Schwefelbilanz von Agrarökosystemen unter besonderer Berücksichtigung hydrologischer und bodenphysikalischer Standorteigenschaften. *Landbauforschung Völkenrode*, SH 192
- BOILA, R.J., GOLFMAN, L.S. (1991): Effects of molybdenum and sulfur on digestion by steers. *J. Anim. Sci.* 69, 1626 - 1635
- BOLSEN, K.K., WOODS, W., KLOPFENSTEIN, T. (1973): Effect of methionine and ammonium sulfate upon performance of ruminants fed high corn rations. *J. Anim. Sci.* 36, 1186 - 1190
- BOUCHARD, R., CONRAD, H.R. (1973a): Sulfur requirement of lactating dairy cows. I. Sulfur balance and dietary supplementation. *J. Dairy Sci.* 56, 1276 - 1282
- BOUCHARD, R., CONRAD, H.R. (1973b): Sulfur requirement of lactating dairy cows. II. Utilization of sulfates, molasses and lignin-sulfonate. *J. Dairy Sci.* 56, 1429 - 1434
- BOUCHARD, R., CONRAD, H.R. (1974): Sulfur metabolism and nutritional changes in lactating cows associated with supplemental sulfate and methionine hydroxy analog. *Can. J. Anim. Sci.* 54, 587 - 593
- BRANDT, M., ALLAM, S.M. (1987): Analytik von TiO_2 im Darminhalt und Kot nach Kjeldahlaufschluß. *Arch. Anim. Nutr.* 37, 453 - 454
- BRAY, A.C. (1969a): Sulphur metabolism in sheep. I. Preliminary investigations on the movement of sulfur in the sheep's body. *Aust. J. Agric. Res.* 20, 725 - 737
- BRAY, A.C. (1969b): Sulphur metabolism in sheep. II. The absorption of inorganic sulphate and inorganic sulphide from the sheep's rumen. *Aust. J. Agric. Res.* 20, 739 - 748

- BRAY, A.C. (1969c): Sulphur metabolism in sheep. III. The movement of blood inorganic sulphate across the rumen wall of sheep. Aust. J. Agric. Res. 20, 749 - 758
- BRAY, A.C., HEMSLEY, J.A. (1969): Sulphur metabolism in sheep IV. The effect of varied dietary sulphur content on some body fluid sulphate levels and on the utilization of urea-supplemented roughage by sheep. Aust. J. agric. Res. 20, 759 - 773
- BRAY, A.C., TILL, A.R. (1975): Metabolism of sulfur in the gastro-intestinal tract. In: McDonald, I.W. und Warner, A.C.I.: Digestion and metabolism of the ruminant. Univ. New England Publ. Unit, Armidale, New South Wales, Aust., S. 243 - 260
- BULL, L.S., VANDERSALL, J.H. (1973): Sulfur source for *in vitro* cellulose digestion and *in vivo* ration utilization, nitrogen metabolism and sulfur balance. J. Dairy Sci. 56, 106 - 112
- BURK, R.F. (1989): Recent developments in trace element metabolism and function: Newer Roles of selenium in nutrition. J. Nutr. 119, 1051 - 1054
- BUTLER, E.J., BARLOW, R.M. (1963): Copper deficiency in relation to swayback in sheep. I: Effect of molybdate and sulfate supplements during pregnancy. J. Comp. Pathol. 73, 208 - 213
- BUTLER, E.J., BARLOW, R.M., SMITH, B.S.W. (1964): Copper deficiency in relation to swayback in sheep. II: Effect of dosing young lambs with molybdate and sulfate, J. Comp. Pathol. 74, 419 - 426
- CARDIN, C.J., MASON, J. (1975): Sulphate transport by rat ileum. Effect of molybdate and other anions. Biochem. Biophys. Acta 394, 46 - 54
- CARDIN, C.J., MASON, J. (1976): Molybdate and tungstate transfer by rat ileum. Competitive inhibition by sulphate. Biochim. Biophys. Acta 455, 937 - 946
- CECCOTTI, S., MESSICK, D. (1994): Plant nutrient sulphur: A global review of crop requirements, supply, and environmental impact on nutrient balance. Norw. J. of Agric., Suppl. 15, 7 - 25
- CHALUPA, W., Oltjen, R.R., Slyter, L.L., Dinius, D.A. (1971): Sulfur deficiency and tolerance in bull calves. J. Anim. Sci. 33, 278
- CHAPULA, W., Oltjen, R.R., Dinius, D.A. (1973): Sulfur nutrition for urea-fed cattle. J. Anim. Sci. 37, 340
- CHAVEZ, E.R. (1979): Effect of dietary selenium depletion and repletion on plasma glutathione peroxidase activity and selenium concentration in blood and body tissue of growing pigs. Can. J. Anim. Sci. 59, 761 - 771
- DAVIS, G.K. (1958): Mechanism of trace mineral function. Soil Sci. 85, 59 - 62

- DE OLIVEIRA, L.A., JEAN-BLAIN, C., DAL CORSO, V., BENARD, V. DRUIX, A., KOMISARCZUK-BONY, S. (1996): Effect of high sulfur diet on rumen microbial activity and rumen thiamine status in sheep receiving a semi-synthetic, thiamine free diet. *Reprod. Nutr. Dev.*, 36, 31 - 42
- DEGUSSA (1996): Die Aminosäuren-Zusammensetzung von Futtermitteln
- DICK, A.T. (1953a): The effect of inorganic sulphate on the excretion of molybdenum in the sheep. *Austr. Vet. J.* 29, 18 - 26
- DICK, A.T. (1953b): The control of copper storage in the liver of sheep by inorganic sulfate and molybdenum. *Austr. Vet. J.* 29, 233 - 239
- DICK, A.T. (1954a): Studies of assimilation and storage of copper in crossbred sheep. *Austr. J. Agric. Res.* 5, 511 - 544
- DICK, A.T. (1954b): Preliminary observations on the effect of high intakes of molybdenum and inorganic sulfate on blood copper and on fleece character in crossbred sheep. *Austr. Vet. J.* 30, 196 - 202
- DICK, A.T. (1956a): Molybdenum and copper relationship in animal nutrition. In McElroy, W.D. and Glass, R. (Eds.) *Inorganic nitrogen metabolism*. John Hopkins Press, Baltimore, Md. pp. 445 - 473
- DICK, A.T. (1956b): Molybdenum in animal nutrition. *Soil Sci.* 81, 229 - 236
- DLG (1973): Mineralstoffgehalte in Futtermitteln. DLG-Verlag Frankfurt am Main
- DLG (1997): DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer. Erarbeitet von der Dokumentationsstelle der Universität Hohenheim; 7. erweiterte und neugestaltete Auflage. DLG-Verlag Frankfurt am Main
- DU, Z., HEMKEN, R.W., HARMON, R.J. (1996): Copper metabolism of Holstein and Jersey cows and heifers fed diets high in cupric sulfate or copper proteinate. *J. Dairy Sci.* 79, 1873 - 1880
- ELAM, C.J. (1975): Sulfur requirement of ruminants. *Feedstuffs* 47, 23 - 25
- EMERY, R.S., SMITH, C.K., HUFFMAN, C.F. (1957a): Utilization of inorganic sulfate by rumen microorganisms. I. Incorporation of inorganic sulfate into amino acids. *Appl. Microbiol.* 5, 360 - 362
- EMERY, R.S., SMITH, C.K., HUFFMAN, C.F. (1957b): Utilization of inorganic sulfate by rumen microorganisms. II. The ability of single strains of rumen bacteria to utilize inorganic sulfate. *Appl. Microbiol.* 5, 363 - 366
- EN ISO 11885 (1997): Bestimmung von 33 Elementen durch induktiv gekoppelte Plasma-Emissionsspektrometrie.

- ERIKSEN, J., MORTENSEN, J.V., KJELLERUP, V.K., KRISTJANSEN, O. (1995) : Forms and plant-availability of sulfur in cattle and pig slurry. Z. Pflanzenernähr. Boden. 158, 113 - 116
- EVANS, J.L., DAVIS, G.K. (1966): Dietary phosphorus, sulfur and molybdenum and mineral composition of rumen fluid. J. Anim. Sci. 25, 1010 - 1013
- FRON, M.J., BOLING, J.A., BUSH, L.P., DAWSON, K.A. (1990): Sulfur and nitrogen metabolism in the bovine fed different forms of supplemental sulfur. J. Anim. Sci. 68, 543 - 552
- GALL, L.S., THOMAS, W.E., LOOSLI, J.K., HUHTANEN, C.N. (1951): The effect of purified diets upon rumen flora. J. Nutr. 44, 113 - 122
- GAWTHORNE J.M., NADER C.J. (1976): The effect of molybdenum on the conversion of sulphate to sulphide and microbial-protein-sulphur in the rumen of sheep. Br. J. Nutr.35, 123 - 129
- GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie) (1995): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Mastrinder. Nr. 6, DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie), (2001): Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. Nr. 8: Milchkühe und Aufzuchtrinder. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- GIPP, W.F., POND, W.G., TASKER, J., VAN CAMPEN, D., KROOK, L., VISEK, W.J. (1973): Influence of level of dietary copper on weight gain, haematology, and liver copper and iron storage of young pigs. J. Nutr. 103, 713 - 719
- GOLFMAN, L.S., BOILA, R.J. (1990): Effects of molybdenum and sulfur on minerals in the digestive tract of steers. Can. J. Anim. Sci. 70, 905 - 920
- GOODRICH, A.L., THOMPSON, W.R. (1981): Sulfur. Anim. Nutr. Health 38, 24 - 39
- GOODRICH, R.D., TILLMAN, A.D. (1966): Copper, sulfate and molybdenum interrelationships in sheep. J. Nutr. 90, 76 - 80
- GOTTSCHALK, G. (1985): Chapter 8: Bacterial fermentations. In: G. GOTTSCHALK (Hrsg.) Bacterial Metabolism. Springer-Verlag New York Inc., Aufl. 2, 210 - 283
- GOULD, D.H. (1998): Polioencephalomalacia. J. Anim. Sci. 76, 309 - 314
- GRACE, N.D., ROUNCE, L.R., KNOWELS, S.O., LEE, J. (1997): Changing dietary S intakes and the Cu status of grazing lambs. New Zealand J. Agric. Res. 40, 329 - 334

- GUARDIOLA, C.M., FAHEY, G.C., SPEARS, J.W., GARRIGUS, U.S. (1983): The effects of sulphur supplementation on cellulose digestion *in vitro* and on nutrient digestion, nitrogen metabolism and rumen characteristics of lambs fed on good quality fescue and tropical star grass hays. *Anim. Feed Sci Tech.* 8, 129 - 138
- GUTIERREZ, C.L., CONTRERAS, L.D., RAMIREZ, C.J.T., SANCHEZ, F., GONZALEZ, C.H. (1996): Sulphur supplementation improves rumen activity. *Feed Mix* 2, 18 - 19
- GUTSER, R. (2001): Mündliche Mitteilung
- HALE, W.H., GARRIGUS, U.S. (1953): Synthesis of cystin in wool from elemental sulfur and sulfate sulfur. *J. Animal Sci.* 12, 492 - 496
- HALVERSON, A.W., PHIFER, J.H., MONTY, K.J. (1960): A mechanism for the copper-molybdenum-interrelationship. *J. Nutr.* 71, 95 - 100
- HARDT, P.F., OCUMPAUGH, W.R., GREENE, L.W. (1991): Forage mineral concentration, animal performance, and mineral status of heifers grazing cereal pastures fertilized with sulfur. *J. Anim. Sci.* 69, 2310 - 2320
- HEGARTY, R.S., NOLAN, J.V., LENG, R.A. (1991): Sulphur availability and microbial fermentation in the fauna free rumen. *Arch. Anim. Nutr.* 41, 725 - 736
- HEIMBECK, W.K. (1986): Vergleichende Untersuchungen an Rind und Schaf zum Einfluß der Zerkleinerung und des Fütterungsniveaus auf den Futterwert von Maissilage. Diss. TU München, Weihenstephan
- HEIMBECK, W.K., SCHWARZ, F.J., KIRCHGESSNER, M. (1988): Auswirkungen unterschiedlicher Häcksellänge und einem nachfolgenden Quetschen der Mais-Gesamtpflanze auf die Nährstoffverdaulichkeit. 1. Mitteilung zum Einfluß unterschiedlicher Aufbereitung von Maissilage auf die Nährstoffverdaulichkeit bei Kalbinnen und Hammeln. *Wirtschaftseig. Futter* 34, 15 - 26
- HENDERICKX, H. (1961): The incorporation of sulfate in the ruminal proteins. *Archs. Int. Physiol. Biochim.* 69, 449 - 458
- HOGAN, K.G., RIS, D.R., HUTCHINSON, A.J. (1966): An attempt to produce copper deficiency in sheep by dosing molybdate and sulfate. *N.Z.J. Agric. Res.* 9, 691 - 698
- HOWARD, B.H., HUNGATE, R.E. (1976): Desulfovibro of the sheep rumen. *Appl. Environ. Microbiol.* 32, 598 - 602
- HUBBERT, F., CHENG, E., BURROUGHS, W. (1958): Mineral requirement of rumen microorganisms for cellulose digestion *in vitro*. *J. Anim. Sci.* 17, 559 - 568
- HUISINGH, J., MATRONE, G. (1976): Interactions of molybdenum in animal nutrition. Chapter 12 in: Chappel, W.R. and Petersen, K.K., (Eds.), Molybdenum in the environment. Vol. 1. Marcel Dekker, New York

- HUISINGH, J., MCNEILL, J.J., MATRONE, G. (1974): Sulfate reduction by a desulfovibrio species isolated from sheep rumen. *Appl Microsc.* 28, 489 - 497
- HUME, I.D., BIRD, P.R. (1970): Synthesis of microbial protein in the rumen. IV. The influence of the level and form of dietary sulfur. *Austr. J. agric. Res.* 21, 315 - 322
- HUNT, C.H., BENTLY, O.G., HERSHBERGER, T.V., CLINE, J.H. (1954): The effect of carbohydrates and sulfur on B- vitamin synthesis, cellulose digestion, and urea utilisation by rumen microorganisms *in vitro*. *J. Anim. Sci.* 13, 570 - 580
- HUNTER, R.A., SIEBERT B.D. (1980): The utilization of spear grass alone and with protein or nitrogen or sulfur. *Aust. J. Agric. Res.* 31, 1037 - 1047
- IVANCIC, J., WEISS, W.P. (2001): Effect of dietary sulfur and selenium concentrations on selenium balance of lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 84, 225 - 232
- JACOBSON, D.R., BARNETT, J.W., CARR, S.B., HATTON, R.H. (1967): Voluntary feed intake, milk production, rumen content and plasma-free amino acid levels of lactating cows on low sulfur and sulfur-supplemented diets. *J. Dairy Sci.* 50, 1248 - 1254
- JOHNSON, W.H., GOODRICH, R.D., MEISKE, J.C. (1971): Metabolism of radioactive sulfur from elemental sulfur, sodium sulfate and methionine by lambs. *J. Anim. Sci.* 32, 778 - 783
- JOHNSON, W.H., MEISKE, J.C., GOODRICH, R.D. (1968): Influence of high levels of two forms of sulfate on lambs. *J. Anim. Sci.* 27, 1166
- JONES, M.B. (1975): Plant assays for the recognition of sulphur deficiency. In: McLachlan, K. D. , *Sulphur in Aust. Agriculture.* Univ. Press, Sydney, 175 - 181
- KAHLON, T.S., MEISKE, J.C., GOODRICH, R.D. (1975): Sulfur metabolism in ruminants. I. *In vitro* availability of various chemical forms of sulfur. *J. Anim. Sci.* 41, 1147 - 1153
- KANDYLIS, K. (1984): The role of sulphur in ruminant nutrition. A review. *Livest. Prod. Sci.* 11, 611 - 624
- KENNEDY, L.G. , MITCHELL, G.E., LITTLE, C.O. (1968): Sulfur stimulates starch digestion. *Sulfur Inst. J.* 4, 8 - 9
- KENNEDY, L.G., MITCHELL, G.E., LITTLE, C.O. (1971): Influence of sulfur on *in vitro* starch digestion by rumen microorganisms. *J. Anim. Sci.* 32, 359 - 363
- KEULS, M. (1952): The use of the „studentized range” in connection with analysis of variance. *Euphytica* 1: 112

- KHORASANI, G.R., JANZEN, R.A., MCGILL, W.B., KENNELLY, J.J. (1997): Site and extent of mineral absorption in lactating cows fed whole-crop cereal grain silage or alfalfa silage. *J. Anim. Sci.* 75, 239 - 248
- KIRCHGESSNER, M. (1997): Tierernährung. DLG-Verlag, Frankfurt/Main, 10. Auflage
- KIRCHGESSNER, M., GABLER, S., WINDISCH, W., (1997): Homeostatic adjustments of selenium metabolism and tissue selenium to widely varying selenium supply in ⁷⁵Se labeled rats. *J. Anim. Phys. Anim. Nutr.* 78, 20 - 30
- KIRCHGESSNER, M., SCHWARZ, F.J., GRAßMANN, E., STEINHART, H. (1979): Interactions of copper with other trace elements. In: Copper in the environment, part 2. J.O. Nriagu (Hrsg.), J. Wiley, New York, 433 - 472
- KLING, M., WÖHLBIER, W. (1983): Handelsfuttermittel Bd. 2A. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- KULWICH, R., STRUGLIA, L., PEARSON, P.B. (1957): The metabolic fate of sulfur in sheep. *J. Nutr.* 61, 113 - 126
- LEIBHOLZ, J. (1971): The absorption of amino acids from the rumen of the sheep. I. The loss of amino acids from solutions placed in washed rumen in vitro. *Aust. J. Agric. Res.* 22, 639 - 645
- LEWIS, D. (1954): The reduction of sulphate in the rumen of the sheep. *Biochem. J.* 56, 391 - 399
- MARCILESE, N.A., AMMERMAN, C.B., VALSECCHI, R.M., DUNAVANT, B.G., DAVIS, G.K. (1996): Effect of dietary molybdenum and sulfate upon copper metabolism in sheep. *J. Nutr.* 99, 177 - 183
- MARSCHNER, H. (1995): Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London
- MARTIN, J.E., ARRINGTON, L.R., MOORE, J.E., AMMERMAN, C.B., DAVIS, G.K., SHIRLEY, R.L. (1964): Effect of magnesium and sulfur upon cellulose digestion of purified rations by cattle and sheep. *J. Nutr.* 83, 60 - 64
- MAYLAND, H.F., ROBBINS, C.W. (1994): Sulfate uptake by salinity-tolerant plant species. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 25, 2523 - 2541
- MCMENIMAN, N.P., BEN-GHEDALIA, D., ELLIOTT, R. (1976): Sulphur and cysteine incorporation into microbial protein. *Br. J. Nutr.* 36, 571 - 574
- MILLARD, P., GORDON, A.H., RICHARDSON, A.J., CHESSON, A. (1987): Reduced ruminal degradation of ryegrass caused by sulphur limitation. *J. Sci. Food Agric.* 40, 305 - 314
- MILLS, C.F. (1960): Comparative studies of copper, molybdenum, and sulphur metabolism in the ruminant and the rat. *Proc. Nutr. Soc.* 19, 162 - 169

- MILLS, C.F. (1987): Biochemical and physiological indicators of mineral status in animals: copper, cobalt and zinc. *J. Anim.Sci.* 65, 1702
- MILLS, C.F., BREMNER, I., EL-GALLAD, T.T., DALGARNO, A.C., YOUNG, B.W. (1978): Mechanism of the molybdenum-sulphur antagonism of copper utilisation by ruminants. In: KIRCHGESSNER, M., (Ed.), Trace element metabolism in man and animals-3. ATW, Weihenstephan, Germany, 150 - 158
- MOIR, R.J. (1975): The role and requirement for sulphur in ruminant nutrition. In: McLACHLAN, K.D. (Hrsg.): Sulphur in australasian agriculture. Sydney Univ. Press, 109
- MORRISON, M., BONIFACE, A.N., MURRAY, R.M. (1994): Alteration of supplement nitrogen: sulfur ratio by increasing sulphate supplementation affects the rate rather than the extent of fibre degradation in cattle fed a matured tropical grass hay. *J. Sci. Food Agric.* 65, 449 - 455
- MORRISON, M., MURRAY, R.M., BONIFACE, A.N. (1990): Nutrient metabolism and rumen micro-organisms in sheep fed a poor-quality tropical grass hay supplemented with sulphate. *J. Agric. Sci., Camb.* 115, 269 - 275
- MÜLLER, R., KRAMPITZ, G. (1955): Untersuchungen in vitro zur Frage der Stickstoff- und Schwefelumsetzungen im Pansen. *Z. Tierzücht. Züchtungsbiol.* 65, 187 - 198
- MÜLLER, R., VON ERICHSEN, L. (1952): Der Schwefel im Stoffwechsel der Wiederkäuer. 1. Mitteilung. Bilanzversuche mit $Mg_{35}SO_4$ beim Hammel. *Z. Tierzücht. Züchtungsbiol.* 60, 285 - 295
- MURPHY, M. D., QUIRKE, W. A. (1997): The effect of sulfur / nitrogen / selenium interactions on herbage yield and quality. *Irish J. Agric. Food Res.* 36, 31 - 38
- MYLREA, P.J. (1958): Copper-molybdenum-sulfate manganese interaction and the copper status of cattle. *Austr. J. Agric. Res.* 9, 373 - 384
- NAUMANN, C., BASSLER, R. unter Mitarbeit von Seibold, R., Barth, C. (1976) mit 1. und 2. Ergänzungslieferung 1983 und 1988: Methodenbuch Band 3, Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, Verlag J. Neudamm-Neumann
- NEHRING, K. (1960): Agrikulturchemische Untersuchungsmethoden für Dünge- und Futtermittel, Böden und Milch. 3. Auflage, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- NRC (2000): Nutrient Requirements of Beef Cattle. National Academy Press, Washington D.C.
- NRC (2001): Nutrient Requirements of Dairy Cattle. National Academy Press, Washington D.C.

- NULTSCH, W. (1991): Schwefelhaushalt. In: W. Nultsch (Hrsg.): Allgemeine Botanik – Kurzes Lehrbuch für Mediziner und Naturwissenschaftler. Verlag Georg Thieme, Stuttgart, Aufl. 9
- OYART, E., BOUCKERT, J.H. (1953): Amino acid contents of rumen liquids. Part. 1 Proc. XIV. Int. Kongr. Stockholm, S. 524
- PAULSON, G.D., BAUMANN, C.A., POPE, A.L. (1966): Fate of a physiological dose of selenate in the lactating ewe; effect of sulfate. J. Anim. Sci. 25, 1054 - 1058
- PECK, H.D. (1962): Symposium on metabolism of inorganic compounds. V. Comparative metabolism of inorganic sulfur compounds in microorganisms. Bacteriol. Rev. 26, 67 - 94
- PENDLUM, L.C., BOLING, J.A., BRADLEY, N.W. (1976): Plasma and ruminal constituents and performance of steers fed different nitrogen sources and levels of sulfur. J. Anim. Sci. 43, 1307 - 1314
- PETERSON, P.J., SPEDDING, D.J. (1963): Excretion by sheep of ⁷⁵Se incorporated into red clover; The chemical nature of the excreted selenium and its uptake by three plant species. N.Z. J. Agric. Res. 6, 13 - 23
- PIERSON, R.E., AANES, W.A. (1958) : Treatment of chronic copper poisoning in sheep. J. Am. Vet. Med. Assoc. 133, 307 - 310
- PITTMAN, K.A., BRYANT, M.P. (1964): Peptides and other nitrogen sources for growth of *Bacteroides ruminicola*. J. Bact. 88, 401 - 410
- POPE, A.L., MOIR, R.J., SOMERS, M., UNDERWOOD, E.J., WHITE, C.L. (1979): The effect of sulphur on ⁷⁵Se absorption and retention in sheep. J. Nutr. 109, 1448 - 1455
- PULS, R. (1994): Mineral levels in animal health: Diagnostic data. Clearbrook: Canada Sherpa International.
- PUOLI, J.R., JUNG, G.A., REID, R.L. (1991): Effects of nitrogen and sulfur on digestion and nutritive quality of warm-season grass hays for cattle and sheep. J. Anim. Sci. 69, 843 - 852
- QI, K., LU, C.D., OWENS, F.N., LUPTON, C.J. (1992): Sulfate supplementation of Angora goats: metabolic and mohair responses. J. Anim. Sci. 70, 2828 - 2837
- REES, M.C., MINSON, D.J. (1978): Fertilizer sulphur as a factor affecting voluntary intake, digestibility and retention time of pangola grass by sheep. Br. J. Nutr. 39, 5 - 11
- RENEAU, R.B., (1982) : Forage fertilisation research in Virginia. Proc. 38th Southern Pasture and Forage Corp Improvement Conf., p. 83, Blacksburg, VA.

- ROBERTSON, B.M., MAGNER, T., DOUGAN, A., HOLMES, M.A., HUNTER, R.A. (1996) :
The effect of coal mine pit water on the productivity of cattle. 1. Mineral intake, retention, and excretion and the water balance in growing steers. Aust. J. Agric. Res. 47, 961 - 74
- ROHR, K., HONIG, H., DAENICKE, R. (1983): Zur Bedeutung des Zerkleinerungsgrades von Silomais. 2. Mitteilung: Einfluß des Zerkleinerungsgrades auf Wiederkauaktivität, Pansenfermentation und Verdaulichkeit der Rohnährstoffe. Wirtschaftseig. Futter 29, 73 - 86
- RUMSEY, T.S. (1978): Effects of dietary sulfur addition and synovex-S ear implants on feedlot steers fed an all-concentrate finishing diet. J. Anim. Sci. 46, 463 - 477
- RUTZMOSER, K., RÜHLICKE, G. (2000): Gehalte von Schwefel in Grundfuttermitteln und aminosäuregebundener Anteil. VDLUFA-Schriftenreihe 55, Teil 3, 35 - 39
- SAS INSTITUTE INCORPORATION (1985): SAS User's Guide Basics, Version 5 Edition. SAS institute Inc. Cary, North Carolina USA
- SAS INSTITUTE INCORPORATION (1985): SAS User's Guide Statistics, Version 5 Edition. SAS institute Inc. Cary, North Carolina USA
- SCHEFFER, F., SCHACHTSCHABEL, P. (1992): Lehrbuch der Bodenkunde. 13. Auflage, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart
- SCHEFFER, F., WELTE, E. (1955): Lehrbuch der Agrikulturchemie und Bodenkunde. Verlag Ferdinand Enke, Aufl. 3, 97 - 105
- SCHENKEL, H. (1992): Untersuchungen zum Einfluss unterschiedlicher S-Aufnahmen auf Kriterien des Cu-Stoffwechsels bei Mastbullen. Mengen- und Spurenelemente, 12. Arbeitstagung Jena, 94 - 98
- SCHEUNERT, A., TRAUTMANN, A. (1987): Lehrbuch der Veterinär-Physiologie, Verlag Paul Parey, 7. Aufl., 103 - 104
- SCHNUG, E., PISSAREK, H.P. (1982): Kalium und Schwefel, Minimumfaktoren des schleswig-holsteinischen Rapsanbaus. Kali-Briefe (Büntehof) 16, 77 - 84
- SCHOBER, R., ENKELMANN, D. (1959): In vitro-Versuche zur Milchbildung – Weg des Einbaues von radioaktivem Sulfat in Pansenbakterien-, Blut- und Milchproteine. Milchwissenschaft 14, 484 - 486.
- SCHWARZ, F.J., HEIMBECK, W.K., KIRCHGESSNER, M. (1988a): Auswirkungen eines Quetschens von Mais-Gesamtpflanzen auf die Nährstoffverdaulichkeit. 2. Mitteilung zum Einfluß unterschiedlicher Aufbereitung von Maissilage auf die Nährstoffverdaulichkeit bei Kalbinnen und Hammeln. Wirtschaftseig. Futter 34, 27 – 37

- SCHWARZ, F.J., KIRCHGESSNER, M., HEIMBECK, W.K. (1988b): Einfluß des Fütterungsniveaus auf die Nährstoffverdaulichkeit unterschiedlich zerkleinerter Mais-silage bei Rind und Schaf. *Landwirtsch. Forschung* 41, 177 - 187
- SIEGEL, L.M., MONTY, K.J. (1961): A mechanism for the copper-molybdenum interrelationships. II: Response of liver sulfide oxidase activity to nutritional factors. *J. Nutr.* 74, 167 - 170
- SLYTER, L.L., CHALUPA, W., OLTJEN, R.R., WEAVER, J.M. (1986) : Sulfur influences on rumen microorganisms in vitro and in sheep and calves. *J. Anim. Sci.* 36, 1949 - 1959
- SLYTER, L.L., CHALUPA, W., OLTJEN, R.R. (1988): Response to elemental sulfur by calves and sheep fed purified diets. *J. Anim. Sci.* 66, 1016 - 1027
- SPAIS, A.G., LAZARIDIS, T.K., AGIANNIDIS, A.K. (1968): Studies on sulphur metabolism in sheep in association with copper deficiency. *Res. Vet. Sci.* 9, 337 - 344
- SPEARS, J.W., BUSH, L.P., ELY, D.G., BUCKNER, R.C. (1976): Sulfur supplementation and in vitro digestion of forage cellulose by rumen microorganisms. *J. Anim. Sci.* 43, 513 - 517
- SPEARS, J.W., ELY, D.G., BUSH, L.P. (1977): Influence of nitrate and molybdenum on sulfur utilization by rumen microorganisms. *J. Dairy Sci.*, 60 1889 - 1893
- SPEARS, J.W., BURNS, J.C., HATCH, P.A. (1985): Sulfur fertilization of cool season grasses and effect on utilization of minerals, nitrogen and fiber by steers. *J. Dairy Sci.* 68, 347 - 355
- STARKE P.B., HALE, W.H., GARRIGUS, U.S., FORBES, R.M. (1954): The utilisation of feed nitrogen by lambs as affected by elemental sulfur. *J. Anim. Sci.* 12, 480 - 491
- STÖBER, M. (1978): Stoffwechsel- und Mangelkrankheiten. Vergiftungen - Schwefel. In: ROSENBERGER, G., DIRKSEN, G., GRÜNDER, H.D., STÖBER, M. (Hrsg.): *Krankheiten des Rindes*. Verlag Paul Parey, Berlin, Hamburg, Aufl. 2, 1050 - 1174
- STOWE, H.D., HERDT, T.H. (1992): Clinical assessment of selenium status of live-stock. *J. Anim. Sci.* 70, 3928 - 3933
- SUTTLE, N.F. (1974): Effects of organic and inorganic sulfur on the availability on dietary copper to sheep. *Br. J. Nutr.* 32, 559 - 568
- SUTTLE, N.F. (1975): The role of organic sulphur in the copper-molybdenum-S inter-relationship in ruminant nutrition. *Br. J. Nutr.* 34, 411 - 420
- SUTTLE, N.F. (1977): Reducing the potential copper toxicity of concentrates to sheep by the use of molybdenum and sulphur supplements. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2, 235 - 246

- SUTTLE, N.F. (1980): The role of thiomolybdates in the nutritional interactions of copper, molybdenum and sulfur: fact or fantasy? *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 355, 195 - 207
- SUTTLE, N.F., FIELD, A.C. (1968), Effect of intake of copper, molybdenum and sulphate on copper metabolism in sheep. 1: Clinical condition and distribution of copper in blood of the pregnant ewe. *J. Comp. Pathol.* 78, 351 - 362
- SUTTLE, N.F., McLAUCHLIN, M. (1976): Predicting the effects of dietary molybdenum and sulfur on availability of copper to ruminants. *Proc. Nutr. Soc.* 35, 22A
- TAUBE, F., JAHNS, U., WULFES, R., SÜDEKUM, K.-H. (2000): Einfluß der Schwefelversorgung auf Ertrag und Inhaltsstoffe von Deutschem Weidelgras (*Lolium perenne* L.) . *Pflanzenbauwiss.* 4, 42 -51
- TAUBE, F., WULFES, R., OTT, H. (1997): Schwefelwirkung auf Ertrag und Qualität von Futtergräsern. *VDLUFA-Schriftenreihe* 46, 799 - 802
- TELLER, E., DE BAERE, R., LOUSSE, A. (1977) : Einfluß von Natriumsulfat auf die Futtermittelverwertung beim Wiederkäuer. *Z. Tierphysiol., Tierern. u. Futtermittelkde.* 39, 302 - 312
- THOMPSON, L.H., WISE, M.B., HARVEY, R.W., BARRICK, E.R. (1972): Starea, urea and sulfur in beef cattle rations. *J. Anim. Sci.* 35, 474 - 480
- TRENKLE, A., Cheng, E., Burroughs, W. (1958): Availability of different sulfur sources for rumen microorganisms in *in vitro* cellulose digestion. *J. Anim. Sci.* 17, 1191
- UNDERWOOD, E.J. (1981): The mineral nutrition of livestock. 2nd Ed. Slough, England: Commonwealth Agricultural Bureaux.
- VAN REEN, R. (1954): The influence of excessive dietary molybdenum on rat liver enzymes. *Arch. Biochem. Biophys.* 53, 77 - 84
- VAN RYSSEN, J.B.J., VAN MALSEN, P.S.M., HARTMANN, F. (1998): Contribution of dietary sulphur to the interaction between selenium and copper in sheep. *J. Agric. Sci.* 130, 107 - 114
- VAN SOEST, P.J. (1994): Minerals. In: VAN SOEST, P.J. (Hrsg.): Nutritional ecology of the ruminant. Cornell University Press, Ithaca, London, Aufl. 2, S. 122 - 139
- VDLUFA (1996): Nassaufschluss unter Druck. *VDLUFA Methodenbuch Band VII (Umweltanalytik), Methode 2.1.1.*
- VDLUFA (2000): Bestimmung von Antimon, Arsen und Selen in Böden, Klärschlämmen und Sekundärrohstoffen aus dem Königswasserextrakt mit Fliessinjektions-Hydrid-AAS. *VDLUFA Methodenbuch Band VII (Umweltanalytik), Methode 2.1.4*

- WALCH, K. (1998): Kationen-Anionen-Bilanz in Rationen trockenstehender Milchkühe und ihre Bedeutung für die Gebärparese. Diplomarbeit, Technische Universität München-Weihenstephan
- WEIGAND, E. (1974): Zur biologischen Wirkung von Sulfit im Futter beim Wiederkäuer. Übers. Tierernährg. 2, 29 - 58
- WHANGER, P.D. (1972): Sulfur in ruminant nutrition. World Rev. Nutr. Dietetics 15, 225 - 239
- WHANGER, P.D., MATRONE, G. (1970): Effects of sulfur deficiency on metabolism in sheep. In Muth and Oldfield Symp. Sulfur in Nutrition, chapt. 10 Avi Publishing, Westport
- WHANGER, P.D., WESWIG, P.H., OLDFIELD, J.E. (1978): Selenium, sulfur and nitrogen levels in ovine rumen microorganisms. J. Anim. Sci. 46, 515 - 519
- WOLFFRAM, S., ANLIKER, E., SCHARRER, E. (1986): Uptake of selenate and selenite by isolated brush border membrane vesicles from pig, sheep and rat intestine. Biol. Trace Elem. Res. 10, 293 - 306
- WOLFFRAM, S., GREINACHER, B., SCHARRER, E. (1988): Transport of selenate and sulphate across the intestinal brush border membrane of pig jejunum by two common mechanisms. Quart. J. Exp. Physiol. 73, 103 - 111
- WYNNE, K.N., MCCLYMONT, G.L. (1956): Copper-molybdenum-sulphate interaction in induction of ovine hypocupraemia and hypocuprosis. Austr. J. Agric. Res. 7, 45 - 56
- ZINN, R.A., ALVAREZ, E., MENDEZ, M., MONTANO, M., RAMIREZ, E., SHEN, Y. (1997): Influence of dietary sulfur level on growth performance and digestive function in feedlot cattle. J. Anim. Sci. 75, 1723 - 1728

8 Tabellenanhang

Im Tabellenanhang verwendete Abkürzungen

Beh.	Behandlung
Cu	Kupfer
kg	Kilogramm
l	Liter
MA	Mastabschnitt
mg	Milligramm
Nr.	Nummer
OS	Organische Substanz
S	Schwefel
Se	Selen
T	Trockensubstanz
VQ OS	Verdaulichkeit der organischen Substanz
VQ XF	Verdaulichkeit der Rohfaser
WA	Wiegeabschnitt
XF	Rohfaser
Zn	Zink
µg	Mikrogramm
%	Prozent

Tabelle 1: Maissilageaufnahme (kg T/Tier und Tag) in den einzelnen Wiegeabschnitten in Versuchsreihe 1

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	WA 1	WA 2	WA 3	WA 4	WA 5
1	1	1	1	5,82	5,97	6,91	7,21	6,18
1	3	1	4	5,27	5,68	6,66	7,07	6,88
1	1	5	5	5,18	6,41	-	-	-
1	6	3	8	5,32	5,84	6,03	6,16	5,28
1	3	5	21	6,61	11,22	7,70	9,04	8,54
1	5	1	23	6,17	6,03	6,69	6,66	6,68
1	2	3	26	6,40	6,90	6,25	6,01	7,32
1	5	5	27	5,77	6,53	6,65	6,29	4,90
1	4	3	30	6,06	6,88	7,10	7,94	7,63
2	1	2	3	5,90	6,46	6,72	6,82	6,41
2	1	6	9	5,98	7,28	7,38	8,06	6,71
2	6	5	12	5,48	5,81	5,55	5,43	5,41
2	3	2	15	6,04	6,59	6,42	6,82	6,30
2	4	6	20	5,25	7,68	6,55	12,37	6,65
2	5	2	22	5,81	6,86	7,13	6,85	5,43
2	5	6	32	5,42	6,82	6,71	6,93	6,40
2	2	4	34	4,59	5,61	5,92	7,13	7,09
2	5	4	39	6,68	7,80	7,94	9,25	7,60
3	6	4	7	5,77	6,37	6,54	6,80	6,47
3	6	1	11	6,13	6,77	7,64	7,70	7,97
3	4	5	16	5,44	5,45	6,51	6,75	6,60
3	3	3	17	5,85	5,01	7,10	7,53	7,61
3	4	1	35	5,99	6,89	7,32	7,53	6,80
3	1	3	36	5,61	8,73	-	-	-
3	2	5	37	5,09	5,66	6,57	6,99	6,13
3	2	1	38	5,49	6,34	5,46	7,41	7,06
3	5	3	40	6,04	6,34	6,73	6,83	6,74
4	1	4	6	5,88	7,77	7,33	7,37	7,35
4	6	2	10	5,58	6,25	6,50	6,62	7,04
4	3	4	13	6,31	6,36	6,06	7,65	7,47
4	6	6	18	6,03	7,12	6,67	6,45	4,89
4	4	6	25	6,61	8,36	7,88	7,25	8,12
4	5	4	28	4,87	6,07	5,37	3,84	6,03
4	4	2	29	5,98	4,91	5,35	5,35	5,54
4	2	2	31	5,60	5,35	6,94	7,94	7,46
4	2	6	33	6,07	8,42	-	-	-

Fortsetzung Tabelle 1: Maissilageaufnahme (kg T/Tier und Tag) in den einzelnen Wiegeabschnitten in Versuchsreihe 1

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	WA 6	WA 7	WA 8	WA 9	WA 10
1	1	1	1	6,49	7,90	8,42	8,35	8,58
1	3	1	4	7,51	7,87	8,01	7,17	7,74
1	6	3	8	5,98	7,13	6,99	7,56	7,86
1	3	5	21	8,38	8,58	9,21	9,73	10,09
1	5	1	23	6,17	7,59	7,58	7,80	8,60
1	2	3	26	7,65	7,31	9,19	9,28	8,18
1	5	5	27	5,41	5,20	6,50	6,16	7,76
1	4	3	30	7,90	8,20	10,22	10,75	8,01
2	1	2	3	7,56	8,39	8,27	7,15	8,11
2	1	6	9	7,78	7,63	8,85	6,51	8,27
2	6	5	12	6,16	6,82	7,73	8,22	8,72
2	3	2	15	7,36	7,93	8,01	6,27	7,84
2	4	6	20	7,74	8,12	7,97	8,19	8,88
2	5	2	22	7,10	7,42	7,39	7,68	8,83
2	5	6	32	6,56	6,59	2,93	4,20	5,05
2	2	4	34	7,79	7,26	8,16	8,79	9,42
2	5	4	39	7,97	8,09	9,17	7,51	9,16
3	6	4	7	6,88	5,36	5,47	7,46	8,18
3	6	1	11	7,36	7,60	9,73	7,61	4,65
3	4	5	16	6,46	6,27	5,72	6,45	7,60
3	3	3	17	8,01	6,08	7,88	7,91	7,94
3	4	1	35	7,11	7,19	7,65	7,70	7,42
3	2	5	37	6,93	7,12	7,06	7,43	7,20
3	2	1	38	6,19	7,20	7,11	7,99	8,52
3	5	3	40	5,90	7,33	7,30	6,71	3,77
4	1	4	6	8,08	8,50	8,76	8,27	8,57
4	6	2	10	5,79	4,93	5,42	6,36	8,52
4	3	4	13	7,69	7,93	9,42	8,70	7,62
4	6	6	18	6,21	6,75	8,13	5,61	8,55
4	4	6	25	7,71	6,97	7,68	7,61	7,51
4	5	4	28	5,85	6,50	7,43	7,20	8,08
4	4	2	29	5,92	6,54	7,40	6,60	6,84
4	2	2	31	7,71	7,98	7,66	6,94	6,58

Tabelle 2: Lebendgewichte (kg) in den einzelnen Wiegeabschnitten in Versuchsreihe 1

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	WA 1	WA 2	WA 3	WA 4	WA 5	WA 6
1	1	1	1	383	415	444	466	489	503
1	3	1	4	406	434	467	477	518	542
1	6	3	8	399	434	460	483	508	519
1	3	5	21	428	460	495	528	547	564
1	5	1	23	424	453	477	500	518	533
1	2	3	26	407	425	457	494	504	530
1	5	5	27	435	466	491	510	517	511
1	4	3	30	436	462	493	516	533	454
2	1	2	3	393	427	462	481	507	527
2	1	6	9	409	427	462	481	507	527
2	6	5	12	430	447	474	494	514	520
2	3	2	15	432	449	475	497	519	536
2	4	6	20	380	465	510	518	538	560
2	5	2	22	407	498	526	561	596	605
2	5	6	32	416	446	476	499	505	532
2	2	4	34	425	449	475	503	526	546
2	5	4	39	456	407	437	488	510	533
3	6	4	7	404	432	448	482	495	504
3	6	1	11	466	490	517	535	561	579
3	4	5	16	409	442	469	490	502	515
3	3	3	17	429	461	497	525	552	574
3	4	1	35	436	467	500	527	550	567
3	2	5	37	396	416	448	470	488	505
3	2	1	38	415	438	464	487	518	532
3	5	3	40	411	438	468	491	508	527
4	1	4	6	422	452	477	506	531	557
4	6	2	10	433	464	494	508	533	532
4	3	4	13	446	472	505	550	563	587
4	6	6	18	439	479	506	514	535	519
4	4	6	25	399	427	452	464	472	484
4	5	4	28	382	416	445	456	440	477
4	4	2	29	453	486	520	535	566	591
4	2	2	31	408	434	463	490	516	529

Fortsetzung Tabelle 2: Lebendgewichte (kg) in den einzelnen Wiegeabschnitten in Versuchsreihe 1

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	WA 7	WA 8	WA 9	WA 10
1	1	1	1	525	557	577	604
1	3	1	4	569	598	615	622
1	6	3	8	549	577	593	625
1	3	5	21	585	612	623	656
1	5	1	23	548	578	593	616
1	2	3	26	554	573	588	614
1	5	5	27	515	513	515	537
1	4	3	30	562	585	607	619
2	1	2	3	559	592	617	638
2	1	6	9	559	592	617	638
2	6	5	12	540	566	591	616
2	3	2	15	564	603	618	641
2	4	6	20	580	618	633	647
2	5	2	22	629	657	666	702
2	5	6	32	561	586	607	629
2	2	4	34	566	595	620	640
2	5	4	39	565	593	614	649
3	6	4	7	520	516	543	561
3	6	1	11	577	600	603	622
3	4	5	16	547	569	583	608
3	3	3	17	594	614	637	655
3	4	1	35	585	610	629	644
3	2	5	37	520	545	565	596
3	2	1	38	557	585	602	636
3	5	3	40	543	570	582	607
4	1	4	6	574	600	614	634
4	6	2	10	539	528	534	551
4	3	4	13	609	646	679	696
4	6	6	18	565	595	624	642
4	4	6	25	503	530	547	573
4	5	4	28	499	523	554	584
4	4	2	29	603	633	646	679
4	2	2	31	554	583	590	598

Tabelle 3: Tägliche Zunahmen (g) in den einzelnen Wiegeabschnitten in Versuchsreihe 1

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	MA 1	MA 2	MA 3	ges. Mast
1	1	1	1	2103	1446	1691	1679
1	3	1	4	2103	1821	1309	1679
1	6	3	8	2103	1589	1709	1743
1	3	5	21	2310	1607	1636	1764
1	5	1	23	1828	1268	1600	1514
1	2	3	26	1724	1732	1564	1664
1	5	5	27	1931	429	400	729
1	4	3	30	1966	1232	1255	1393
2	1	2	3	2379	1732	1945	1950
2	1	6	9	2276	1625	1818	1836
2	6	5	12	1552	1429	1691	1557
2	3	2	15	2690	1250	1655	1707
2	4	6	20	1966	2286	2182	2179
2	5	2	22	2379	1518	1800	1807
2	5	6	32	2000	1179	1691	1550
2	2	4	34	1724	1589	1691	1657
2	5	4	39	2414	1839	1745	1921
3	6	4	7	1517	1286	1073	1250
3	6	1	11	1759	1071	1473	1371
3	4	5	16	2069	1393	1418	1543
3	3	3	17	2345	1732	1218	1657
3	4	1	35	2207	1518	1545	1671
3	2	5	37	1793	1286	1636	1529
3	2	1	38	1690	1661	1782	1714
3	5	3	40	1966	1339	1182	1407
4	1	4	6	1897	1732	1327	1607
4	6	2	10	2103	804	545	971
4	3	4	13	2034	1857	1764	1857
4	6	6	18	2310	1054	1836	1621
4	4	6	25	1828	911	1509	1336
4	5	4	28	2172	964	2127	1671
4	4	2	29	2310	1482	1655	1721
4	2	2	31	1897	1625	927	1407

Tabelle 4: Schlachtkörpergewicht (kg), prozentuale Ausschachtung und Nierenfettgewicht (kg) in Versuchsreihe 1

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	Schlachtkörper- gewicht (kg)	Ausschlach- tung (%)	Nierenfett- gewicht (kg)
1	1	1	1	340	56,0	14,3
1	3	1	4	359	55,2	13,5
1	6	3	8	372	58,1	7,7
1	3	5	21	373	57,0	11,2
1	5	1	23	355	56,9	10,5
1	2	3	26	366	58,5	6,6
1	5	5	27	306	58,8	3,8
1	4	3	30	351	56,5	16,2
2	1	2	3	372	57,6	14,7
2	1	6	9	375	58,2	9,7
2	6	5	12	366	57,0	13,6
2	3	2	15	380	57,4	9,8
2	4	6	20	381	57,6	9,4
2	5	2	22	372	57,2	12,2
2	5	6	32	354	55,9	8,6
2	2	4	34	356	55,9	10,9
2	5	4	39	411	56,9	21,3
3	6	4	7	338	59,0	11,3
3	6	1	11	384	59,3	9,1
3	4	5	16	356	57,8	12,1
3	3	3	17	390	58,0	8,1
3	4	1	35	378	57,9	10,8
3	2	5	37	342	57,4	11,2
3	2	1	38	354	56,0	13,3
3	5	3	40	359	59,4	10,8
4	1	4	6	365	57,6	13,3
4	6	2	10	320	57,1	3,9
4	3	4	13	399	57,5	10,0
4	6	6	18	396	60,1	6,5
4	4	6	25	344	59,4	9,6
4	5	4	28	335	56,2	10,9
4	4	2	29	388	57,6	7,4
4	2	2	31	335	55,9	11,8

Tabelle 5: Mengen- und Spurenelementgehalte (mg/kg T) in der Leber in Versuchsreihe 1

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	Leber		
				Cu mg/kg T	S mg/kg T	Se mg/kg T
1	1	1	1	244	8492	1,42
1	3	1	4	98	7304	0,96
1	6	3	8	220	7947	1,09
1	3	5	21	195	7832	1,17
1	5	1	23	199	8035	1,23
1	2	3	26	297	8095	1,29
1	5	5	27	389	8130	1,13
1	4	3	30	208	7822	1,04
2	1	2	3	100	8045	0,88
2	1	6	9	110	8111	1,01
2	6	5	12	144	8315	1,11
2	3	2	15	124	7464	0,99
2	4	6	20	213	7653	1,10
2	5	2	22	113	8167	1,00
2	5	6	32	200	7550	1,14
2	2	4	34	132	7795	0,84
2	5	4	39	105	7605	0,98
3	6	4	7	123	7467	1,00
3	6	1	11	199	7860	1,02
3	4	5	16	111	7672	1,00
3	3	3	17	65	7923	0,92
3	4	1	35	137	8143	1,02
3	2	5	37	172	7971	1,10
3	2	1	38	152	7937	0,74
3	5	3	40	175	7668	0,96
4	1	4	6	123	8388	1,08
4	6	2	10	125	8551	1,05
4	3	4	13	120	7804	0,95
4	6	6	18	180	8166	1,04
4	4	6	25	124	8182	0,91
4	5	4	28	58	8318	0,95
4	4	2	29	131	8025	0,93
4	2	2	31	59	7282	0,83

Tabelle 6: Mengen- und Spurenelementgehalte in der Niere(mg/kg T) und im Plasma (mg/l) in Versuchsreihe 1

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	Niere			Plasma	
				Cu mg/kg T	S mg/kg T	Se mg/kg T	Cu mg/l	Zn mg/l
1	1	1	1	39,0	9931	6,17	0,84	0,88
1	3	1	4	20,3	9493	6,41	1,36	1,00
1	6	3	8	20,1	9569	6,70	1,09	0,84
1	3	5	21	16,2	9593	6,94	0,54	0,72
1	5	1	23	18,4	9676	5,45	1,14	0,87
1	2	3	26	19,0	9173	7,41	0,78	0,81
1	5	5	27	22,2	9851	5,18	1,10	0,70
1	4	3	30	22,8	9365	6,30	1,23	0,99
2	1	2	3	16,8	9318	6,41	0,53	0,68
2	1	6	9	20,8	9417	6,34	0,42	0,74
2	6	5	12	20,2	10165	6,43	1,03	1,03
2	3	2	15	21,9	10567	6,55	1,17	0,87
2	4	6	20	21,9	10744	7,04	0,67	0,83
2	5	2	22	17,9	10752	6,03	0,81	0,81
2	5	6	32	21,8	11189	5,75	0,63	0,87
2	2	4	34	18,7	9076	6,66	0,57	0,06
2	5	4	39	22,0	10258	6,61	0,90	0,80
3	6	4	7	20,1	9215	5,64	1,06	1,49
3	6	1	11	22,2	9595	8,05	1,07	1,11
3	4	5	16	19,7	9618	8,31	0,80	0,87
3	3	3	17	17,6	10428	6,92	0,91	1,09
3	4	1	35	20,5	9479	8,02	0,78	0,99
3	2	5	37	20,0	9656	7,23	0,38	0,91
3	2	1	38	20,4	10665	6,28	0,65	0,83
3	5	3	40	19,6	8592	7,38	0,79	0,88
4	1	4	6	19,2	9611	7,05	0,58	0,96
4	6	2	10	18,8	9745	8,78	1,00	1,22
4	3	4	13	20,9	9484	6,82	1,03	1,40
4	6	6	18	17,4	9464	7,25	0,89	0,91
4	4	6	25	20,3	8981	6,20	1,35	1,10
4	5	4	28	19,3	8894	6,39	1,09	0,88
4	4	2	29	20,8	9146	6,12	0,55	0,91
4	2	2	31	17,7	9350	7,42	1,34	0,72

Tabelle 7: Spurenelementgehalte in der Gallenflüssigkeit (mg bzw. µg/l) in Versuchsreihe 1

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	Galle		
				Cu mg/l	Zn mg/l	Se µg/l
1	1	1	1	0,49	0,86	8,80
1	3	1	4	0,09	0,74	8,20
1	3	5	21	0,32	0,29	4,80
1	2	3	26	0,59	0,53	10,00
1	4	3	30	0,62	0,86	11,00
2	1	2	3	0,28	0,96	9,80
2	1	6	9	0,34	0,60	7,60
2	3	2	15	0,35	0,93	7,80
2	4	6	20	0,19	0,43	6,20
2	5	6	32	0,41	0,58	11,50
2	5	4	39	0,20	0,78	6,50
3	6	4	7	0,14	0,79	7,40
3	6	1	11	0,31	0,69	8,60
3	4	5	16	0,17	0,85	7,80
3	4	1	35	0,15	0,76	9,00
3	2	5	37	0,36	0,31	8,50
3	2	1	38	0,31	0,95	11,00
4	1	4	6	0,24	1,52	12,20
4	6	2	10	0,13	0,75	8,60
4	3	4	13	0,22	0,72	7,60
4	6	6	18	0,24	0,81	8,00
4	4	6	25	0,34	0,25	8,40
4	2	2	31	0,15	1,35	11,50

Tabelle 8: Verdaulichkeit (%) der organischen Substanz und der Rohfaser in Versuchsreihe 1 (Verdaulichkeitsversuch mit Hammeln)

Beh.	Tier	VQ OS	VQ XF
1	1	80,94	73,19
1	2	77,43	58,87
1	3	79,83	72,29
1	4	76,91	56,83
1	5	77,01	59,46
1	6	74,99	63,49
4	7	75,52	53,67
4	8	75,70	58,25
4	9	74,53	56,56
4	11	79,11	67,60

Tabelle 9: Maissilageaufnahme (kg T/Tier und Tag) in den einzelnen Wiegeabschnitten in Versuchsreihe 2

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	WA 1	WA 2	WA 3	WA 4	WA 5	WA 6
1	1	1	5	3,05	3,70	3,75	5,22	4,60	5,38
1	3	5	10	3,92	4,88	6,51	6,49	6,46	6,56
1	2	3	12	4,59	4,70	6,11	5,80	6,06	6,24
1	6	3	26	3,30	4,39	5,15	6,29	6,91	6,63
1	5	1	32	2,52	3,40	3,64	4,13	4,52	5,16
1	11	5	37	3,91	4,29	5,10	5,41	5,51	5,91
1	10	3	58	5,27	6,08	6,31	6,35	6,04	4,93
1	9	1	67	3,01	3,07	3,79	3,81	3,31	4,35
1	7	5	80	4,37	4,78	6,29	6,18	5,86	6,20
2	1	2	6	4,02	3,37	4,65	5,73	5,75	5,83
2	2	4	9	3,42	3,10	4,25	5,03	4,79	5,43
2	3	6	18	4,19	4,66	5,40	5,66	5,77	6,04
2	5	2	33	3,72	4,22	4,31	5,36	4,85	5,67
2	6	4	40	4,38	4,81	5,11	6,29	5,98	6,93
2	11	6	50	4,38	4,79	5,39	5,93	5,59	5,90
2	9	2	59	3,15	3,71	4,05	4,55	3,56	4,69
2	10	4	62	3,58	3,83	4,28	4,74	4,67	5,46
2	7	6	76	3,39	3,82	4,53	5,51	5,51	5,63
3	1	3	4	3,86	3,40	3,89	4,99	5,84	5,36
3	2	5	11	4,56	4,93	5,92	6,74	6,55	5,95
3	4	1	23	3,58	4,82	5,76	5,94	4,57	3,25
3	6	5	27	3,03	3,62	3,76	4,98	4,90	5,10
3	5	3	29	3,28	3,99	4,67	4,46	5,26	5,77
3	12	1	49	4,40	5,54	5,19	5,76	5,27	5,87
3	9	3	56	4,15	4,33	5,52	5,81	5,01	6,52
3	10	5	60	3,03	4,02	4,47	5,32	5,69	5,82
3	8	1	69	3,67	4,42	5,59	5,56	5,72	5,79
4	1	4	2	0,35	3,32	4,45	5,61	5,81	6,47
4	2	6	14	4,41	4,84	3,89	5,77	5,48	5,74
4	4	2	22	4,12	5,04	5,59	5,64	5,71	6,05
4	5	4	30	1,39	3,66	5,35	5,33	5,57	5,20
4	6	6	31	2,01	1,45	2,27	3,99	3,69	4,65
4	12	2	45	3,90	4,12	5,30	5,58	5,74	6,08
4	10	6	61	1,19	2,03	2,56	4,37	4,37	4,43
4	8	2	64	4,53	3,59	5,90	5,46	5,24	6,63
4	9	4	70	3,98	4,41	4,69	2,96	5,17	5,44

Fortsetzung Tabelle 9: Maissilageaufnahme (kg T/Tier und Tag) in den einzelnen Wiegeabschnitten in Versuchsreihe 2

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	WA 7	WA 8	WA 9	WA 10	WA 11	WA 12
1	1	1	5	5,60	5,98	6,10	6,57	6,95	6,98
1	3	5	10	7,42	8,05	8,18	9,16	7,72	8,60
1	2	3	12	6,59	6,83	7,05	6,68	6,57	6,53
1	6	3	26	5,87	6,81	6,39	6,76	6,20	7,23
1	5	1	32	5,81	6,51	6,34	5,68	7,15	7,32
1	11	5	37	7,17	6,66	6,56	6,74	6,56	7,39
1	10	3	58	5,85	7,06	6,99	7,62	7,03	7,72
1	9	1	67	5,30	5,48	5,52	5,26	4,84	5,45
1	7	5	80	6,37	6,26	7,38	7,44	7,00	6,31
2	1	2	6	6,38	6,57	7,17	7,31	5,51	6,76
2	2	4	9	5,48	6,30	6,56	6,98	5,92	6,81
2	3	6	18	6,74	7,63	7,55	7,24	7,69	8,00
2	5	2	33	6,05	6,66	4,79	5,76	4,93	5,90
2	6	4	40	7,39	8,16	7,07	7,81	8,40	7,02
2	11	6	50	5,67	6,51	7,93	6,56	6,11	6,60
2	9	2	59	5,00	5,13	4,38	5,03	4,16	6,57
2	10	4	62	6,25	6,77	6,34	6,59	6,31	6,43
2	7	6	76	5,38	6,54	6,02	6,11	5,19	6,12
3	1	3	4	5,37	6,76	6,20	7,48	7,06	7,51
3	2	5	11	7,00	7,73	8,21	8,14	7,29	7,66
3	4	1	23	5,68	7,23	6,76	6,89	5,32	6,64
3	6	5	27	5,95	6,85	6,32	6,73	6,45	6,99
3	5	3	29	6,62	6,93	6,14	4,83	6,91	6,69
3	12	1	49	6,62	7,22	5,42	6,23	6,56	8,21
3	9	3	56	6,07	7,10	6,95	7,07	7,15	7,37
3	10	5	60	5,89	6,37	5,92	6,29	6,54	6,76
3	8	1	69	6,27	6,44	6,34	5,99	4,94	5,70
4	1	4	2	6,59	7,49	7,17	7,45	7,20	7,52
4	2	6	14	6,03	6,91	7,32	7,10	7,52	7,40
4	4	2	22	6,16	6,89	5,48	6,14	7,45	8,28
4	5	4	30	8,24	7,30	6,72	6,46	7,28	7,33
4	6	6	31	5,79	5,17	4,31	6,33	6,17	5,95
4	12	2	45	6,29	6,59	5,20	4,65	4,77	5,36
4	10	6	61	5,46	3,67	4,66	5,29	5,40	6,40
4	8	2	64	7,38	7,37	5,25	7,47	7,15	7,13
4	9	4	70	5,97	6,30	4,06	5,39	5,50	6,27

Fortsetzung Tabelle 9: Maissilageaufnahme (kg T/Tier und Tag) in den einzelnen Wiegeabschnitten in Versuchsreihe 2

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	WA 13	WA 14	WA15	WA 16	WA 17	WA18
1	1	1	5	6,69	5,86	7,12	7,21	7,24	7,35
1	3	5	10	8,01	6,85	7,52	8,16	7,77	7,88
1	2	3	12	5,63	5,14	7,11	7,36	6,69	6,90
1	6	3	26	7,46	6,09	7,80	7,02	8,09	7,86
1	5	1	32	6,62	5,86	7,19	7,23	6,86	7,06
1	11	5	37	7,19	5,73	6,72	5,90	6,58	7,28
1	10	3	58	8,46	6,81	8,94	8,80	9,78	8,21
1	9	1	67	5,01	4,55	4,77	5,26	5,59	6,43
1	7	5	80	6,27	5,01	5,86	4,05	6,00	6,70
2	1	2	6	7,08	6,49	7,74	6,86	7,06	6,73
2	2	4	9	6,84	5,88	6,73	7,09	6,88	6,55
2	3	6	18	7,39	6,57	7,91	6,87	7,28	6,95
2	5	2	33	4,85	5,68	10,99	6,70	6,94	6,60
2	6	4	40	7,98	8,37	9,89	8,51	7,8	5,30
2	11	6	50	7,44	6,96	7,54	6,95	7,51	7,81
2	9	2	59	6,00	5,45	6,47	5,59	6,86	7,07
2	10	4	62	6,19	5,92	6,37	7,00	7,15	7,84
2	7	6	76	5,87	5,73	6,01	6,08	6,88	6,55
3	1	3	4	7,27	6,23	7,78	7,14	7,68	7,55
3	2	5	11	7,21	7,06	8,21	8,10	6,19	6,06
3	4	1	23	5,20	5,36	6,62	7,04	5,38	6,01
3	6	5	27	6,91	4,78	5,17	4,93	7,31	4,57
3	5	3	29	6,61	5,54	5,21	4,96	5,41	5,52
3	12	1	49	6,78	7,11	8,49	7,86	7,41	7,95
3	9	3	56	6,61	5,67	7,89	6,62	7,46	7,16
3	10	5	60	6,02	5,52	6,20	3,19	2,74	2,61
3	8	1	69	7,29	6,71	6,11	5,75	5,15	6,15
4	1	4	2	7,59	6,54	8,21	7,63	8,09	7,77
4	2	6	14	6,60	5,82	7,55	6,99	7,74	5,90
4	4	2	22	6,65	5,83	7,07	3,79	7,78	7,09
4	5	4	30	6,69	5,74	7,05	6,30	7,42	6,91
4	6	6	31	5,57	4,44	5,88	6,09	4,95	4,60
4	12	2	45	4,76	7,65	5,53	5,74	6,21	5,89
4	10	6	61	6,46	4,98	6,60	7,20	7,16	6,84
4	8	2	64	5,80	5,19	5,54	6,06	6,77	7,56
4	9	4	70	4,88	4,61	6,47	5,26	5,75	6,40

Fortsetzung Tabelle 9: Maissilageaufnahme (kg T/Tier und Tag) in den einzelnen Wiegeabschnitten in Versuchsreihe 2

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	WA 1	WA 2	WA 3	WA 4	WA 5	WA 6
5	1	5	7	2,74	3,78	4,36	4,89	5,40	5,04
5	3	1	17	3,63	3,99	5,20	5,80	5,46	6,34
5	4	3	25	1,20	1,90	2,94	4,27	3,94	4,84
5	5	5	34	3,51	3,67	4,81	4,82	4,88	5,65
5	11	1	36	4,39	3,97	5,37	5,34	4,01	5,22
5	12	3	47	3,43	4,08	4,60	4,81	5,11	4,84
5	9	5	63	4,25	4,99	4,74	5,67	6,01	6,15
5	8	3	68	3,76	4,19	3,30	4,51	5,25	5,63
5	7	3	77	0,27	2,82	3,89	4,87	1,12	4,46
6	1	6	1	4,28	5,09	5,99	6,81	6,85	7,10
6	9	6	8	2,62	3,27	4,72	4,63	4,89	4,68
6	3	2	13	3,86	4,06	5,21	5,76	5,91	5,31
6	4	4	24	3,47	3,70	4,60	4,49	4,99	5,23
6	5	6	28	2,58	2,19	1,85	3,97	4,48	5,34
6	12	4	38	3,85	4,71	5,04	5,99	5,01	6,03
6	11	2	48	3,72	4,75	5,12	5,20	4,86	5,47
6	8	4	65	3,53	4,17	5,22	4,85	4,84	5,26
6	7	2	75	3,10	3,64	5,12	5,42	3,01	5,11
7	2	1	3	3,46	4,34	5,14	4,91	5,29	5,05
7	4	5	19	2,87	3,32	3,99	4,83	4,89	4,33
7	3	3	20	4,54	3,85	5,71	5,61	5,70	7,41
7	6	1	35	4,69	5,14	5,73	6,40	5,72	6,56
7	11	2	46	4,04	4,40	5,97	6,78	5,83	5,55
7	12	5	52	3,74	4,41	5,83	6,28	5,75	5,49
7	10	1	57	2,67	4,90	5,19	6,35	5,83	6,32
7	7	1	73	3,54	2,16	3,92	3,74	4,13	3,22
7	8	5	79	3,19	3,39	4,46	4,57	4,17	5,74
8	3	4	15	3,78	4,38	5,84	6,38	5,69	6,27
8	2	2	16	3,53	2,89	5,04	5,56	5,70	4,39
8	4	6	21	4,48	4,22	5,40	6,36	6,12	6,51
8	6	2	39	3,79	3,80	4,83	5,54	4,69	5,94
8	12	6	41	3,44	3,81	4,80	5,23	4,64	5,56
8	11	4	51	5,72	5,67	4,60	5,51	5,35	5,56
8	8	6	71	3,66	3,73	4,48	4,17	4,67	4,95
8	7	4	74	3,07	3,41	5,08	5,27	4,43	5,09

Fortsetzung Tabelle 9: Maissilageaufnahme (kg T/Tier und Tag) in den einzelnen Wiegeabschnitten in Versuchsreihe 2

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	WA 7	WA 8	WA 9	WA 10	WA 11	WA 12
5	1	5	7	5,09	3,03	4,20	6,04	5,93	5,81
5	3	1	17	6,00	6,52	5,93	6,83	7,22	7,62
5	4	3	25	5,26	5,26	5,28	5,24	6,23	6,64
5	5	5	34	5,83	6,42	5,77	5,29	4,12	5,23
5	11	1	36	5,42	6,42	6,66	6,85	7,19	7,56
5	12	3	47	5,76	6,74	5,92	5,39	6,13	6,92
5	9	5	63	6,50	6,77	6,91	7,31	6,96	7,04
5	8	3	68	6,20	6,30	6,21	5,88	5,12	4,82
5	7	3	77	5,36	5,58	5,01	5,57	4,94	5,32
6	1	6	1	7,29	7,30	6,79	7,82	6,31	7,31
6	9	6	8	5,81	5,74	4,87	5,06	5,60	5,80
6	3	2	13	5,55	6,80	5,79	6,85	6,81	6,73
6	4	4	24	5,48	5,84	5,80	6,39	5,44	5,41
6	5	6	28	5,89	6,88	7,10	7,05	7,07	7,60
6	12	4	38	6,26	6,32	6,00	6,74	5,90	6,65
6	11	2	48	5,72	6,46	5,22	4,36	4,06	5,86
6	8	4	65	6,18	6,58	5,28	5,34	6,00	6,67
6	7	2	75	6,03	6,27	6,77	6,70	5,33	5,64
7	2	1	3	5,32	6,08	7,33	6,70	6,87	7,10
7	4	5	19	5,64	6,17	5,25	5,91	5,42	5,50
7	3	3	20	7,72	7,70	7,35	9,01	6,79	7,87
7	6	1	35	6,59	7,18	7,46	7,42	6,53	7,88
7	11	2	46	5,19	7,10	5,28	-	-	-
7	12	5	52	6,61	6,96	4,71	5,54	5,03	6,19
7	10	1	57	6,17	6,63	5,62	5,70	4,97	5,69
7	7	1	73	5,14	5,42	5,39	6,47	6,13	6,43
7	8	5	79	6,33	6,88	4,72	6,14	6,55	6,98
8	3	4	15	7,36	8,12	7,76	8,56	6,93	8,46
8	2	2	16	5,81	6,49	6,77	6,40	6,44	6,52
8	4	6	21	6,78	6,66	7,15	7,31	7,56	7,72
8	6	2	39	6,56	7,49	6,24	5,24	6,85	7,58
8	12	6	41	5,97	5,43	5,29	5,30	5,81	6,33
8	11	4	51	6,21	6,57	5,89	7,92	7,25	7,26
8	8	6	71	5,61	5,90	3,95	5,12	4,06	5,53
8	7	4	74	6,41	6,97	7,74	6,96	6,55	6,51

Fortsetzung Tabelle 9: Maissilageaufnahme (kg T/Tier und Tag) in den einzelnen Wiegeabschnitten in Versuchsreihe 2

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	WA 13	WA 14	WA15	WA 16	WA 17	WA 18
5	1	5	7	5,81	5,15	6,6	6,51	6,14	6,51
5	3	1	17	6,84	6,83	8,9	7,53	7,25	7,62
5	4	3	25	5,13	5,63	7,1	6,7	7,66	7,38
5	5	5	34	6,41	5,51	6,02	6,98	6,84	6,11
5	11	1	36	7,2	6	7,52	6,04	6,17	7,62
5	12	3	47	6,54	5,54	7,23	7,9	7,77	7,77
5	9	5	63	6,72	6,11	8,22	7,89	7,88	8,01
5	8	3	68	4,3	5,44	4,13	4,56	4,3	6,16
5	7	3	77	5,19	5,83	6,83	5,02	6,54	6,72
6	1	6	1	6,68	5,79	6,64	6,92	6,45	6,98
6	9	6	8	5,86	4,66	5,36	5,51	5,49	6,54
6	3	2	13	6,33	5,55	7,18	6,1	6,13	6,66
6	4	4	24	6,3	5,5	7,46	6,32	7,57	7,40
6	5	6	28	7,12	6,22	8,15	8,12	7,48	7,86
6	12	4	38	6,66	5,3	5,34	4,66	5,49	7,27
6	11	2	48	5,79	4,66	6,75	6,41	6,98	6,78
6	8	4	65	6,11	4,8	6,59	7,89	8,89	8,09
6	7	2	75	5,22	4,14	5,55	3,2	3,45	5,11
7	2	1	3	6,7	5,21	7,61	5,78	6,07	6,50
7	4	5	19	5,31	5,04	8,86	6,32	5,43	6,46
7	3	3	20	7,39	6,69	7,72	7,2	7,1	7,53
7	6	1	35	7,55	6,42	7,61	6,73	7,22	7,22
7	11	2	46	-	-	-	-	-	-
7	12	5	52	5,74	4,66	5,51	5,77	6,69	5,94
7	10	1	57	4,28	4,3	4,98	5,53	5,77	6,35
7	7	1	73	6,3	5,23	3,94	6,48	6,22	7,23
7	8	5	79	6,51	6,68	5,78	6,01	5,65	6,36
8	3	4	15	8,22	7,3	9,07	8,06	7,43	7,37
8	2	2	16	6,24	3,89	5,59	5,87	6,41	6,35
8	4	6	21	7,96	6,79	7,38	7,28	7,41	7,17
8	6	2	39	7,67	6,95	8,32	8,26	8,39	7,80
8	12	6	41	6,49	6,07	6,44	5,69	7,05	7,43
8	11	4	51	5,43	7,27	9,35	6,67	8,53	7,66
8	8	6	71	5,42	5,39	5	3,42	4,87	5,89
8	7	4	74	6,6	4,81	5,89	5,92	6,49	5,97

Tabelle 10: Lebendgewichte (kg) in den einzelnen Wiegeabschnitten in Versuchsreihe 2

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	WA 1	WA 2	WA 3	WA 4	WA 5	WA 6
1	1	1	5	256	274	288	317	334	360
1	3	5	10	296	311	346	373	398	419
1	2	3	12	337	360	379	403	425	445
1	6	3	26	270	287	307	332	357	378
1	5	1	32	250	268	285	299	320	339
1	11	5	37	290	312	336	363	376	406
1	10	3	58	324	348	378	388	408	439
1	9	1	67	261	278	294	310	325	342
1	7	5	80	295	315	347	371	384	408
2	1	2	6	294	309	236	347	374	401
2	2	4	9	261	282	305	328	351	377
2	3	6	18	281	299	321	343	363	392
2	5	2	33	281	299	321	344	369	391
2	6	4	40	315	337	365	379	413	436
2	11	6	50	285	306	328	352	366	393
2	9	2	59	264	281	288	309	334	352
2	10	4	62	304	327	350	375	400	426
2	7	6	76	288	300	329	349	372	397
3	1	3	4	281	302	323	345	370	396
3	2	5	11	317	337	366	384	414	444
3	4	1	23	295	315	348	369	388	396
3	6	5	27	264	281	304	318	340	366
3	5	3	29	285	301	330	350	368	399
3	12	1	49	265	281	310	333	353	380
3	9	3	56	290	307	331	350	370	392
3	10	5	60	267	286	315	339	356	393
3	8	1	69	289	303	328	346	373	399
4	1	4	2	259	264	286	314	345	373
4	2	6	14	322	346	368	394	422	447
4	4	2	22	308	327	357	376	403	421
4	5	4	30	286	303	327	351	374	395
4	6	6	31	218	221	245	261	284	309
4	12	2	45	281	303	328	357	377	406
4	10	6	61	249	265	289	310	329	358
4	8	2	64	295	316	332	362	382	408
4	9	4	70	300	317	338	352	364	391

Fortsetzung Tabelle 10: Lebendgewichte (kg) in den einzelnen Wiegeabschnitten in Versuchsreihe 2

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	WA 7	WA 8	WA 9	WA 10	WA 11	WA 12
1	1	1	5	381	401	496	442	460	491
1	3	5	10	439	460	486	511	539	558
1	2	3	12	463	476	496	516	534	528
1	6	3	26	397	417	431	460	486	504
1	5	1	32	362	389	403	409	439	457
1	11	5	37	430	450	471	493	506	529
1	10	3	58	454	479	507	531	555	560
1	9	1	67	370	382	400	419	415	435
1	7	5	80	423	449	462	488	502	521
2	1	2	6	420	438	460	491	506	530
2	2	4	9	404	428	447	475	499	522
2	3	6	18	413	437	455	476	508	526
2	5	2	33	410	435	452	468	483	500
2	6	4	40	462	482	496	534	560	582
2	11	6	50	416	436	459	480	493	516
2	9	2	59	363	382	402	414	421	439
2	10	4	62	444	468	491	512	535	553
2	7	6	76	414	436	457	468	490	483
3	1	3	4	411	429	459	488	512	536
3	2	5	11	460	484	513	539	562	571
3	4	1	23	401	434	451	480	505	510
3	6	5	27	391	410	424	458	485	506
3	5	3	29	425	453	471	490	504	531
3	12	1	49	405	432	452	466	485	504
3	9	3	56	425	428	454	470	480	507
3	10	5	60	410	433	455	475	497	523
3	8	1	69	424	440	458	480	482	487
4	1	4	2	399	422	454	473	497	521
4	2	6	14	472	486	518	543	567	587
4	4	2	22	438	457	467	486	506	536
4	5	4	30	426	449	463	491	514	537
4	6	6	31	329	356	352	376	400	411
4	12	2	45	424	445	457	456	468	489
4	10	6	61	377	401	402	418	435	458
4	8	2	64	436	461	481	496	525	548
4	9	4	70	412	432	451	447	457	485

Fortsetzung Tabelle 10: Lebendgewichte (kg) in den einzelnen Wiegeabschnitten in Versuchsreihe 2

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	WA 13	WA 14	WA 15	WA 16	WA 17	WA 18
1	1	1	5	508	513	529	549	563	580
1	3	5	10	580	562	598	607	611	620
1	2	3	12	547	550	570	591	606	613
1	6	3	26	527	538	555	573	584	602
1	5	1	32	472	472	497	506	523	525
1	11	5	37	541	553	574	593	599	602
1	10	3	58	580	586	598	617	629	639
1	9	1	67	451	459	471	477	492	516
1	7	5	80	528	521	533	538	530	553
2	1	2	6	545	552	577	583	591	602
2	2	4	9	539	544	567	585	598	604
2	3	6	18	550	546	585	601	613	626
2	5	2	33	527	531	556	570	580	592
2	6	4	40	588	606	633	645	661	673
2	11	6	50	535	549	570	588	607	616
2	9	2	59	466	471	497	503	513	526
2	10	4	62	578	590	617	644	661	668
2	7	6	76	503	516	531	547	556	577
3	1	3	4	553	562	589	605	610	625
3	2	5	11	587	595	627	632	642	633
3	4	1	23	531	523	550	565	580	596
3	6	5	27	525	536	526	548	535	525
3	5	3	29	548	560	568	568	577	587
3	12	1	49	528	533	568	587	596	600
3	9	3	56	523	526	552	556	567	583
3	10	5	60	537	544	564	580	589	600
3	8	1	69	507	529	547	549	552	563
4	1	4	2	539	548	563	583	605	611
4	2	6	14	596	599	623	649	657	667
4	4	2	22	542	548	572	586	593	614
4	5	4	30	551	558	583	600	610	625
4	6	6	31	436	438	447	472	481	491
4	12	2	45	495	496	513	532	545	564
4	10	6	61	473	490	521	541	563	576
4	8	2	64	559	559	577	588	602	627
4	9	4	70	486	489	506	524	522	541

Fortsetzung Tabelle 10: Lebendgewichte (kg) in den einzelnen Wiegeabschnitten in Versuchsreihe 2

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	WA 1	WA 2	WA 3	WA 4	WA 5	WA 6
5	1	5	7	285	298	309	343	360	393
5	3	1	17	298	319	351	376	402	434
5	4	3	25	230	237	277	297	312	346
5	5	5	34	287	306	327	348	365	391
5	11	1	36	307	325	355	377	400	390
5	12	3	47	274	293	319	341	361	389
5	9	5	63	300	320	352	364	387	410
5	8	3	68	279	297	320	331	354	382
5	7	3	77	264	286	297	322	345	371
6	1	6	1	326	351	376	405	439	462
6	9	6	8	240	247	268	288	317	353
6	3	2	13	314	332	353	375	403	427
6	4	4	24	279	296	316	333	358	378
6	5	6	28	272	285	281	301	324	349
6	12	4	38	296	315	347	367	391	423
6	11	2	48	263	283	311	339	358	379
6	8	4	65	286	303	330	350	361	385
6	7	2	75	283	300	324	350	373	387
7	2	1	3	283	301	322	344	363	389
7	4	5	19	257	276	298	324	346	370
7	3	3	20	315	338	350	375	387	426
7	6	1	35	329	352	377	403	430	454
7	11	3	46	289	313	338	366	389	409
7	12	5	52	308	332	361	387	413	440
7	10	1	57	294	308	335	360	381	407
7	7	1	73	248	253	282	307	296	310
7	8	5	79	263	282	302	322	353	375
8	3	4	15	288	302	324	357	384	408
8	2	2	16	278	298	318	349	367	396
8	4	6	21	318	339	364	392	425	452
8	6	2	39	289	312	339	355	383	402
8	12	6	41	276	297	317	343	361	391
8	11	4	51	306	329	356	368	383	410
8	8	6	71	271	290	318	334	355	381
8	7	4	74	289	307	328	354	380	397

Fortsetzung Tabelle 10: Lebendgewichte (kg) in den einzelnen Wiegeabschnitten in Versuchsreihe 2

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	WA 7	WA 8	WA 9	WA 10	WA 11	WA 12
5	1	5	7	403	428	422	441	466	486
5	3	1	17	456	478	500	516	554	577
5	4	3	25	369	401	413	435	458	480
5	5	5	34	413	429	449	460	478	485
5	11	1	36	430	450	463	490	509	537
5	12	3	47	408	433	456	474	492	513
5	9	5	63	438	451	478	496	507	533
5	8	3	68	407	425	445	464	477	492
5	7	3	77	388	413	429	449	474	485
6	1	6	1	494	511	518	532	534	552
6	9	6	8	369	387	403	496	426	445
6	3	2	13	438	458	491	516	538	547
6	4	4	24	401	418	432	435	481	482
6	5	6	28	376	400	427	460	475	495
6	12	4	38	448	467	483	474	527	542
6	11	2	48	430	426	443	490	464	462
6	8	4	65	407	428	450	464	468	490
6	7	2	75	403	426	447	449	484	490
7	2	1	3	405	422	450	473	491	508
7	4	5	19	396	424	437	461	483	505
7	3	3	20	459	482	508	526	551	560
7	6	1	35	478	493	507	541	564	581
7	11	3	46	424	442	465	-	-	-
7	12	5	52	459	472	493	515	517	535
7	10	1	57	433	436	450	450	456	466
7	7	1	73	328	353	372	394	422	445
7	8	5	79	403	424	453	468	480	505
8	3	4	15	433	466	495	514	549	565
8	2	2	16	404	429	457	473	500	511
8	4	6	21	477	502	523	549	573	599
8	6	2	39	435	454	459	484	498	524
8	12	6	41	407	424	444	462	478	486
8	11	4	51	430	451	464	501	520	554
8	8	6	71	404	425	448	447	463	485
8	7	4	74	415	451	473	499	527	537

Fortsetzung Tabelle 10: Lebendgewichte (kg) in den einzelnen Wiegeabschnitten in Versuchsreihe 2

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	WA 13	WA 14	WA 15	WA 16	WA 17	WA 18
5	1	5	7	506	509	535	552	570	577
5	3	1	17	591	606	636	658	662	671
5	4	3	25	499	495	539	547	570	595
5	5	5	34	499	510	531	537	566	586
5	11	1	36	560	570	587	595	603	612
5	12	3	47	533	538	566	590	612	613
5	9	5	63	540	544	573	593	595	629
5	8	3	68	491	506	520	521	527	542
5	7	3	77	501	510	529	539	542	552
6	1	6	1	570	578	590	607	627	625
6	9	6	8	456	459	474	486	497	524
6	3	2	13	566	570	589	601	609	616
6	4	4	24	503	512	531	541	551	575
6	5	6	28	523	518	560	579	586	603
6	12	4	38	568	574	585	594	600	617
6	11	2	48	486	491	513	534	553	562
6	8	4	65	507	508	524	520	523	535
6	7	2	75	509	509	516	524	513	505
7	2	1	3	519	524	546	562	567	575
7	4	5	19	510	520	546	539	564	574
7	3	3	20	594	604	624	622	663	671
7	6	1	35	600	603	620	628	645	657
7	11	3	46	-	-	-	-	-	-
7	12	5	52	548	554	566	591	597	620
7	10	1	57	478	476	490	499	504	520
7	7	1	73	461	464	488	503	523	534
7	8	5	79	534	546	569	574	583	616
8	3	4	15	589	598	623	638	664	676
8	2	2	16	521	519	508	518	524	532
8	4	6	21	618	642	655	662	679	697
8	6	2	39	549	558	586	616	629	652
8	12	6	41	506	526	543	555	561	581
8	11	4	51	573	572	603	634	636	654
8	8	6	71	496	507	529	527	522	528
8	7	4	74	551	573	576	593	607	617

Tabelle 11: Tägliche Zunahmen (g) in den einzelnen Wiegeabschnitten in Versuchsreihe 2

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	MA 1	MA 2	MA 3	ges. Mast
1	1	1	5	1483	1488	1221	1354
1	3	5	10	2138	1643	965	1367
1	2	3	12	1483	1345	858	1119
1	6	3	26	1552	1524	1257	1394
1	5	1	32	1069	1310	1027	1137
1	11	5	37	1759	1548	965	1283
1	10	3	58	1379	1702	956	1288
1	9	1	67	1103	1298	858	1053
1	7	5	80	1931	1393	575	1053
2	1	2	6	1310	1714	982	1296
2	2	4	9	1586	1750	1142	1425
2	3	6	18	1517	1583	1327	1447
2	5	2	33	1552	1476	1097	1296
2	6	4	40	1448	1845	1230	1487
2	11	6	50	1586	1524	1204	1372
2	9	2	59	966	1250	991	1084
2	10	4	62	1655	1631	1381	1509
2	7	6	76	1690	1417	965	1226
3	1	3	4	1483	1702	1212	1429
3	2	5	11	1621	1845	832	1310
3	4	1	23	1862	1321	1027	1243
3	6	5	27	1276	1667	593	1080
3	5	3	29	1690	1667	858	1265
3	12	1	49	1793	1583	1186	1412
3	9	3	56	1483	1429	1000	1221
3	10	5	60	1828	1619	1106	1389
3	8	1	69	1483	1595	735	1150
4	1	4	2	1724	1893	1221	1535
4	2	6	14	1655	1774	1097	1420
4	4	2	22	1690	1310	1133	1270
4	5	4	30	1655	1667	1186	1425
4	6	6	31	1379	1369	1018	1195
4	12	2	45	1862	1179	956	1155
4	10	6	61	1552	1286	1398	1376
4	8	2	64	1586	1595	1159	1376
4	9	4	70	1207	1131	832	991

Fortsetzung Tabelle 11: Tägliche Zunahmen (g) in den einzelnen Wiegeabschnitten in Versuchsreihe 2

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	MA 1	MA 2	MA 3	ges. Mast
5	1	5	7	1552	1167	1204	1235
5	3	1	17	1966	1667	1372	1558
5	4	3	25	2069	1643	1416	1584
5	5	5	34	1448	1333	1115	1239
5	11	1	36	1793	1345	1080	1270
5	12	3	47	1655	1583	1230	1416
5	9	5	63	1517	1571	1177	1367
5	8	3	68	1172	1583	690	1084
5	7	3	77	1241	1512	912	1177
6	1	6	1	1862	1512	823	1212
6	9	6	8	1414	2476	248	1226
6	3	2	13	1483	1679	885	1257
6	4	4	24	1276	1214	1239	1235
6	5	6	28	552	1893	1265	1407
6	12	4	38	1793	1274	1265	1336
6	11	2	48	1931	1798	637	1235
6	8	4	65	1621	1357	628	1027
6	7	2	75	1724	1179	496	907
7	2	1	3	1483	1536	903	1212
7	4	5	19	1655	1631	1000	1319
7	3	3	20	1276	1798	1283	1473
7	6	1	35	1759	1643	1027	1350
7	11	3	46	1791	-	-	-
7	12	5	52	1897	1524	929	1274
7	10	1	57	1793	1071	619	938
7	7	1	73	1862	1036	1239	1243
7	8	5	79	1379	1738	1310	1478
8	3	4	15	1897	1869	1434	1655
8	2	2	16	1759	1476	522	1035
8	4	6	21	1828	1869	1310	1584
8	6	2	39	1483	1536	1487	1504
8	12	6	41	1586	1417	1053	1257
8	11	4	51	1345	1583	1354	1438
8	8	6	71	1517	1345	717	1053
8	7	4	74	1621	1726	1044	1372

Tabelle 12: Schlachtkörpergewicht (kg), prozentuale Ausschachtung und Nierenfettgewicht (kg) in Versuchsreihe 2

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	Schlachtkörper- gewicht (kg)	Ausschlach- tung (%)	Nierenfett- gewicht (kg)
1	1	1	5	317	55,7	11,4
1	3	5	10	345	56,1	9,0
1	2	3	12	334	55,6	14,9
1	6	3	26	345	58,8	13,5
1	5	1	32	303	58,2	5,1
1	11	5	37	334	57,3	18,9
1	10	3	58	371	55,3	10,2
1	9	1	67	299	55,8	8,0
1	7	5	80	315	56,4	10,7
2	1	2	6	342	58,1	10,8
2	2	4	9	351	58,4	9,5
2	3	6	18	360	58,3	8,8
2	5	2	33	343	58,0	13,1
2	6	4	40	380	58,1	10,2
2	11	6	50	364	57,9	12,4
2	9	2	59	297	50,0	8,5
2	10	4	62	393	57,8	14,2
2	7	6	76	340	57,5	8,6
3	1	3	4	358	57,8	11,5
3	2	5	11	366	58,7	10,3
3	4	1	23	317	57,6	11,9
3	6	5	27	292	57,7	7,5
3	5	3	29	346	59,5	5,8
3	12	1	49	340	59,2	6,5
3	9	3	56	329	56,2	17,8
3	10	5	60	365	58,4	9,0
3	8	1	69	330	59,0	6,8
4	1	4	2	348	57,8	9,2
4	2	6	14	382	57,9	12,1
4	4	2	22	349	58,1	11,7
4	5	4	30	356	57,7	10,7
4	6	6	31	266	53,7	7,5
4	12	2	45	324	56,7	9,8
4	10	6	61	343	59,1	8,7
4	8	2	64	367	57,3	12,5
4	9	4	70	312	57,5	12,7

Fortsetzung Tabelle 12: Schlachtkörpergewicht (kg), prozentuale Ausschachtung und Nierenfettgewicht (kg) in Versuchsreihe 2

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	Schlachtkörper- gewicht (kg)	Ausschlach- tung (%)	Nierenfett- gewicht (kg)
5	1	5	7	316	56,4	9,6
5	3	1	17	373	57,0	10,8
5	4	3	25	324	55,2	11,2
5	5	5	34	331	57,3	15,4
5	11	1	36	356	57,2	10,4
5	12	3	47	364	59,0	11,3
5	9	5	63	359	52,4	11,8
5	8	3	68	332	59,8	8,1
5	7	3	77	321	56,5	12,7
6	1	6	1	361	58,7	10,4
6	9	6	8	314	57,5	9,7
6	3	2	13	366	59,9	10,8
6	4	4	24	335	58,7	6,8
6	5	6	28	331	54,9	10,8
6	12	4	38	368	56,4	7,3
6	11	2	48	336	58,7	9,3
6	8	4	65	308	57,6	4,7
6	7	2	75	304	55,7	5,0
7	2	1	3	325	57,9	5,2
7	4	5	19	334	59,2	6,7
7	3	3	20	377	56,7	13,6
7	6	1	35	381	58,8	15,0
7	12	5	52	359	56,5	13,2
7	10	1	57	297	53,5	9,0
7	7	1	73	299	55,5	8,4
7	8	5	79	367	60,1	9,3
8	3	4	15	365	55,7	10,3
8	2	2	16	306	58,8	9,2
8	4	6	21	404	59,2	9,1
8	6	2	39	378	58,8	11,8
8	12	6	41	331	58,5	15,0
8	11	4	51	382	57,2	7,9
8	8	6	71	328	61,3	7,8
8	7	4	74	362	58,8	7,8

Tabelle 13: Mengen- und Spurenelementgehalte (mg/kg T) in der Leber in Versuchsreihe 2

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	Leber		
				Cu mg/kg T	S mg/kg T	Se mg/kg T
1	1	1	5	303	7862	0,89
1	3	5	10	243	7331	0,85
1	2	3	12	247	7836	1,03
1	6	3	26	220	7551	1,12
1	5	1	32	237	7087	0,96
1	11	5	37	188	7796	0,97
1	10	3	58	455	7633	0,93
1	9	1	67	358	7510	1,02
1	7	5	80	192	7605	1,11
2	1	2	6	172	8743	1,07
2	2	4	9	180	8046	1,10
2	3	6	18	164	8118	1,10
2	5	2	33	205	8035	1,02
2	6	4	40	131	8079	0,85
2	11	6	50	147	8575	0,97
2	9	2	59	223	7927	0,80
2	10	4	62	260	8408	1,10
2	7	6	76	228	8377	0,97
4	1	4	2	113	7546	0,72
4	2	6	14	196	7652	0,84
4	4	2	22	127	7426	0,91
4	5	4	30	97	6581	0,86
4	6	6	31	167	7577	0,81
4	12	2	45	107	7598	0,62
4	10	6	61	97	6961	0,61
4	8	2	64	113	7597	0,82
4	9	4	70	84	7397	0,85
6	1	6	1	156	7562	0,83
6	9	6	8	179	7267	0,85
6	3	2	13	102	7358	0,77
6	4	4	24	94	7351	0,89
6	5	6	28	134	7316	0,70
6	12	4	38	57	7178	0,57
6	11	2	48	155	7831	0,70
6	8	4	65	61	6992	0,68
6	7	2	75	90	7132	0,71

Tabelle 14: Mengen- und Spurenelementgehalte in der Niere (mg/kg T) und im Plasma (mg/l) in Versuchsreihe 2

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	Niere			Plasma	
				Cu mg/kg T	S mg/kg T	Se mg/kg T	Cu mg/l	Zn mg/l
1	1	1	5	20,1	8819	6,32	1,24	1,18
1	3	5	10	21,6	8748	7,36	1,08	0,99
1	2	3	12	21,2	9089	7,69	1,03	0,88
1	6	3	26	23,8	9389	7,25	1,08	1,11
1	5	1	32	23,4	9331	7,46	1,14	0,80
1	11	5	37	20,9	9286	7,41	1,43	0,89
1	10	3	58	19,3	9306	7,45	0,87	0,81
1	9	1	67	22,0	8913	7,21	1,40	0,95
1	7	5	80	22,2	9047	7,48	1,14	0,76
2	1	2	6	17,3	10437	7,53	1,32	1,08
2	2	4	9	24,2	10183	8,24	1,09	1,05
2	3	6	18	20,7	10248	8,78	0,94	1,08
2	5	2	33	23,9	10033	8,17	1,15	1,13
2	6	4	40	20,0	10290	6,26	0,63	0,83
2	11	6	50	20,5	10389	6,70	1,23	1,08
2	9	2	59	23,4	5105	5,62	1,39	1,21
2	10	4	62	22,3	10055	6,43	1,36	1,01
2	7	6	76	24,3	9849	5,43	0,81	0,76
4	1	4	2	19,7	9117	6,94	1,08	1,03
4	2	6	14	21,3	9073	8,08	0,93	1,15
4	4	2	22	23,4	9589	7,42	1,17	1,07
4	5	4	30	22,0	9245	6,29	1,02	0,88
4	6	6	31	21,8	9269	6,86	1,29	0,99
4	12	2	45	21,6	9418	7,34	1,04	1,13
4	10	6	61	20,1	9421	6,84	0,98	1,00
4	8	2	64	20,5	8648	5,91	1,08	1,02
4	9	4	70	20,5	9117	6,04	1,28	0,89
6	1	6	1	19,9	9056	5,79	1,54	0,87
6	9	6	8	19,8	9403	6,12	0,91	0,60
6	3	2	13	18,9	9249	6,44	1,23	0,91
6	4	4	24	20,3	9576	7,16	1,17	0,97
6	5	6	28	21,3	9377	6,76	1,66	0,85
6	12	4	38	19,4	9066	6,22	0,89	0,85
6	11	2	48	18,5	9213	5,43	1,06	0,86
6	8	4	65	19,7	9277	6,54	0,95	0,68
6	7	2	75	20,4	8889	5,40	1,09	0,88

Tabelle 15: Spurenelementgehalte in der Gallenflüssigkeit (mg bzw. µg/l) in Versuchsreihe 2

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	Galle		
				Cu mg/l	Zn mg/l	Se µg/l
1	1	1	5	0,62	0,47	8,80
1	3	5	10	0,55	0,26	7,00
1	2	3	12	0,49	1,01	9,00
1	6	3	26	0,49	0,77	9,04
1	5	1	32	0,37	0,32	9,04
1	11	5	37	0,37	0,98	11,50
1	10	3	58	0,66	1,16	10,50
1	9	1	67	0,63	0,26	9,50
1	7	5	80	0,45	0,36	7,00
2	1	2	6	0,30	0,35	6,00
2	2	4	9	0,62	0,42	9,00
2	3	6	18	0,35	0,34	10,40
2	5	2	33	0,68	0,92	10,50
2	6	4	40	0,36	0,34	6,50
2	11	6	50	0,30	0,87	9,00
2	9	2	59	0,49	0,53	6,00
2	10	4	62	0,41	1,03	7,00
2	7	6	76	0,41	0,39	5,00
4	1	4	2	0,51	0,28	7,60
4	2	6	14	0,27	0,26	4,40
4	4	2	22	0,45	0,69	7,60
4	5	4	30	0,25	0,14	9,00
4	6	6	31	0,16	0,13	8,00
4	12	2	45	0,37	0,63	8,00
4	8	2	64	0,22	1,00	4,00
4	9	4	70	0,64	0,80	5,00
6	1	6	1	0,27	0,62	6,60
6	9	6	8	0,47	0,28	10,40
6	3	2	13	0,15	0,23	7,20
6	4	4	24	0,14	0,21	6,80
6	12	4	38	0,20	0,21	6,00
6	11	2	48	0,09	0,31	4,50
6	8	4	65	0,26	0,20	4,50
6	7	2	75	0,14	0,20	5,50

Tabelle 16: Verdaulichkeit (%) der organischen Substanz und der Rohfaser in Versuchsreihe 2

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	VQ OM	VQ XF
1	1	1	5	70,36	45,26
1	3	5	10	70,35	51,66
1	2	3	12	64,89	32,19
1	6	3	26	68,26	44,74
1	5	1	32	62,47	44,71
1	11	5	37	71,44	47,45
1	9	1	67	56,09	44,71
1	7	5	80	69,53	46,96
4	1	4	2	71,67	54,57
4	2	6	14	75,44	54,91
4	4	2	22	72,43	55,24
4	5	4	30	69,53	44,72
4	6	6	31	55,14	39,32
4	12	2	45	63,77	50,14
4	10	6	61	63,34	41,05
4	8	2	64	75,30	52,64
4	9	4	70	59,12	44,79
6	1	6	1	72,31	67,41
6	9	6	8	71,20	48,87
6	3	2	13	69,26	70,85
6	4	4	24	70,58	43,22
6	5	6	28	69,53	46,65
6	12	4	38	62,75	47,58
6	11	2	48	75,04	59,88
6	8	4	65	57,55	32,65
6	7	2	75	65,41	50,04

Tabelle 17: Maissilageaufnahme (kg T/Tier und Tag) in den einzelnen Wiegeabschnitten in Versuchsreihe 3

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	WA 1	WA 2	WA 3	WA 4	WA 5	WA 6
1	7	5	3	2,32	4,55	4,12	4,77	5,05	6,74
1	9	1	8	3,47	3,60	4,40	5,00	5,11	5,58
1	11	5	18	2,72	3,64	3,74	4,18	4,60	4,83
1	1	1	27	4,14	4,51	4,68	5,26	5,68	5,97
1	6	3	29	3,96	4,64	4,07	5,24	5,67	5,84
1	5	1	39	2,91	2,95	3,00	3,30	3,60	3,83
1	2	3	43	3,46	9,67	4,46	4,68	5,11	4,80
1	10	3	50	3,49	3,94	3,85	4,72	4,61	4,88
1	3	5	59	3,48	3,98	4,44	4,65	4,98	5,35
2	12	2	11	3,58	3,56	3,60	4,25	4,88	4,63
2	9	2	12	3,16	4,05	4,23	4,76	7,73	5,03
2	6	4	31	3,61	3,81	4,51	5,03	5,40	5,60
2	10	4	32	3,78	3,79	4,62	4,97	5,01	5,49
2	2	4	35	4,20	4,59	4,68	5,05	5,32	5,76
2	3	6	37	4,03	3,83	4,42	4,65	4,84	5,87
2	11	6	79	2,41	2,44	2,23	3,91	4,27	4,63
2	7	6	80	3,34	3,52	3,98	4,31	4,69	4,98
3	12	1	10	4,66	4,39	4,40	5,01	5,20	8,50
3	4	1	14	4,11	3,23	3,61	4,32	4,73	5,45
3	5	3	15	3,91	4,17	3,42	4,22	3,22	3,37
3	2	5	30	3,91	4,13	3,58	4,85	4,51	5,17
3	9	3	36	4,86	3,63	2,90	4,20	4,14	4,75
3	10	5	54	2,58	3,40	3,21	3,94	4,09	5,03
3	6	6	61	3,82	3,95	2,83	4,47	5,05	5,43
3	8	1	63	2,30	2,24	2,20	2,17	3,20	3,71
3	1	3	73	2,78	3,58	4,30	5,03	4,82	5,19
4	9	4	7	1,84	1,53	3,11	3,93	4,12	4,68
4	4	2	13	3,52	4,04	3,81	3,75	3,83	4,45
4	12	2	16	2,96	3,38	3,94	3,90	4,48	5,29
4	8	2	20	3,66	3,93	4,82	4,83	5,85	5,72
4	10	6	24	4,33	4,83	5,54	6,04	6,24	6,24
4	1	4	38	4,05	4,37	4,20	3,08	4,06	5,37
4	6	6	56	3,35	3,92	3,69	4,09	4,65	5,19
4	2	6	58	3,00	2,96	3,13	3,36	3,12	3,09

Fortsetzung Tabelle 17: Maissilageaufnahme (kg T/Tier und Tag) in den einzelnen Wiegeabschnitten in Versuchsreihe 3

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	WA 7	WA 8	WA 9	WA 10	WA 11	WA 12
1	7	5	3	6,80	6,63	6,46	5,74	7,14	6,56
1	9	1	8	5,07	5,41	3,64	0,34	4,54	1,83
1	11	5	18	4,07	4,13	4,74	3,27	5,26	5,90
1	1	1	27	5,44	5,01	5,52	4,69	5,36	5,11
1	6	3	29	6,25	6,15	5,79	8,72	6,12	4,81
1	5	1	39	3,21	4,40	3,26	2,48	3,84	4,10
1	2	3	43	4,27	4,50	4,66	3,63	3,84	2,98
1	10	3	50	4,90	4,79	5,04	4,23	4,72	4,80
1	3	5	59	5,74	5,83	6,38	5,65	5,91	5,87
2	12	2	11	4,96	5,88	5,61	4,81	5,68	4,95
2	9	2	12	5,35	5,75	5,76	4,59	5,60	6,14
2	6	4	31	6,07	6,33	6,02	5,37	6,50	6,21
2	10	4	32	5,58	5,85	5,93	4,84	5,51	5,10
2	2	4	35	6,19	6,60	5,88	5,54	6,81	7,24
2	3	6	37	6,33	6,17	6,44	6,07	6,55	7,05
2	11	6	79	4,56	4,99	9,79	4,81	4,12	5,21
2	7	6	80	9,09	5,28	5,28	4,56	5,92	6,36
3	12	1	10	5,04	6,82	6,89	4,81	4,44	5,27
3	4	1	14	5,72	6,33	6,14	5,60	6,11	5,93
3	5	3	15	3,59	3,53	2,51	3,15	3,25	2,37
3	2	5	30	5,88	6,09	5,37	5,31	5,94	5,83
3	9	3	36	4,05	4,43	5,18	4,18	5,66	6,22
3	10	5	54	4,57	4,48	5,29	4,66	5,39	5,89
3	6	6	61	5,62	5,52	5,30	5,17	5,46	2,42
3	8	1	63	3,74	3,28	3,57	2,90	4,48	3,03
3	1	3	73	5,05	4,51	3,97	3,63	4,56	4,14
4	9	4	7	3,38	4,50	4,41	5,15	5,40	7,14
4	4	2	13	3,91	5,40	5,57	3,97	3,68	4,24
4	12	2	16	4,98	5,45	5,04	5,27	5,72	4,36
4	8	2	20	6,46	6,20	6,63	5,56	9,95	7,04
4	10	6	24	6,57	6,62	6,76	4,28	6,97	6,94
4	1	4	38	5,66	5,91	6,93	4,81	6,65	6,32
4	6	6	56	4,88	3,90	2,96	3,42	4,26	3,91
4	2	6	58	3,22	3,32	2,94	1,96	2,13	2,07
4	5	4	71	4,97	5,37	5,26	4,21	4,27	2,94

Fortsetzung Tabelle 17: Maissilageaufnahme (kg T/Tier und Tag) in den einzelnen Wiegeabschnitten in Versuchsreihe 3

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	WA 13	WA 14	WA 15	WA 16	WA 17	WA 18
1	7	5	3	7,34	6,49	7,34	7,34	6,27	7,48
1	9	1	8	3,49	5,15	3,68	3,31	3,65	3,72
1	11	5	18	5,66	4,52	5,25	6,09	5,44	5,97
1	1	1	27	5,46	4,20	4,82	5,01	6,07	6,05
1	6	3	29	3,72	5,49	1,41	2,00	4,04	5,50
1	5	1	39	4,58	4,35	4,91	3,80	4,54	4,85
1	2	3	43	3,44	4,14	3,41	4,17	5,18	4,75
1	10	3	50	5,46	4,62	4,76	5,27	5,02	5,14
1	3	5	59	6,10	5,16	4,87	5,42	5,19	5,35
2	12	2	11	5,54	5,72	5,88	5,84	6,68	6,45
2	9	2	12	6,26	5,73	6,44	7,16	6,97	6,40
2	6	4	31	7,23	5,88	5,78	5,19	5,68	7,12
2	10	4	32	4,56	4,89	5,70	4,43	4,33	4,03
2	2	4	35	6,56	5,78	6,65	6,51	7,30	6,75
2	3	6	37	6,96	6,37	6,82	5,95	6,79	7,27
2	11	6	79	4,27	4,44	5,22	5,30	4,71	5,06
2	7	6	80	6,56	6,64	6,98	6,60	6,69	7,05
3	12	1	10	6,26	5,10	5,25	5,72	6,63	7,36
3	4	1	14	5,96	4,72	5,39	7,18	4,62	5,86
3	5	3	15	1,57	1,57	0,49	1,18	0,87	2,76
3	2	5	30	5,52	5,22	5,80	6,41	7,04	7,00
3	9	3	36	5,43	5,28	4,94	5,54	5,62	5,62
3	10	5	54	-	-	-	-	-	-
3	6	6	61	5,23	4,56	5,87	5,97	7,80	7,27
3	8	1	63	4,57	4,02	4,26	5,21	5,41	4,02
3	1	3	73	3,81	3,82	4,29	4,58	5,26	5,15
4	9	4	7	6,47	5,98	5,13	7,71	7,80	7,51
4	4	2	13	6,73	4,59	5,67	5,92	6,16	5,15
4	12	2	16	5,72	5,04	6,09	4,86	5,09	5,61
4	8	2	20	7,47	6,56	4,19	5,46	5,85	6,89
4	10	6	24	5,56	5,74	5,56	6,83	8,28	7,13
4	1	4	38	7,01	5,33	5,95	6,05	6,19	6,33
4	6	6	56	4,16	4,50	4,52	3,66	4,07	6,31
4	2	6	58	3,35	3,76	4,83	4,31	5,45	6,24
4	5	4	71	4,91	5,85	4,68	5,36	5,85	6,49

Fortsetzung Tabelle 17: Maissilageaufnahme (kg T/Tier und Tag) in den einzelnen Wiegeabschnitten in Versuchsreihe 3

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	WA 1	WA 2	WA 3	WA 4	WA 5	WA 6
5	4	3	1	2,72	2,70	3,02	3,49	3,15	3,52
5	7	1	2	4,42	4,30	1,40	5,10	5,44	5,74
5	8	3	19	3,52	3,62	3,61	4,43	4,90	4,90
5	12	3	21	3,43	3,96	3,17	4,82	5,17	5,55
5	1	5	25	3,30	3,55	3,56	4,72	4,62	8,24
5	11	1	42	3,01	3,71	3,83	4,53	4,32	4,73
5	3	1	49	1,48	1,90	2,13	3,17	2,77	3,87
5	5	5	65	3,34	3,70	1,28	2,35	4,11	4,17
5	9	5	74	2,04	2,51	3,85	3,81	4,49	4,84
6	1	6	9	3,88	4,34	1,18	4,32	4,07	4,99
6	9	6	28	3,07	3,89	4,97	3,81	5,43	5,11
6	8	4	33	1,56	3,39	2,77	3,71	4,15	4,93
6	12	4	45	3,21	3,53	3,65	3,23	7,53	4,92
6	3	2	48	3,92	3,87	3,13	4,17	4,05	4,86
6	5	6	57	3,83	3,48	3,51	3,11	3,95	4,87
6	4	4	64	3,31	3,43	2,97	3,36	3,53	3,60
6	7	2	67	3,71	3,31	1,33	3,13	3,93	4,37
6	11	2	69	3,93	3,86	3,63	4,90	4,67	4,96
7	12	5	4	3,78	3,89	2,36	4,39	5,30	4,83
7	7	3	26	3,96	3,93	4,00	4,77	5,48	5,50
7	6	1	34	3,52	3,63	3,07	4,38	4,75	5,10
7	11	3	53	3,51	2,94	3,57	4,87	3,85	4,10
7	10	1	55	4,19	4,34	4,11	5,08	5,46	6,06
7	8	5	60	2,43	2,92	3,59	3,99	4,01	4,88
7	4	5	62	3,07	3,29	3,52	2,71	3,40	4,25
7	2	1	75	3,60	4,23	4,20	4,97	4,77	4,77
7	3	3	78	3,29	3,22	2,83	4,31	4,13	4,52
8	2	2	5	3,79	4,29	4,25	5,11	5,80	4,13
8	4	6	17	3,31	2,95	4,32	4,43	4,65	5,43
8	6	2	23	3,54	3,15	4,29	4,93	5,50	4,55
8	11	4	40	2,76	2,74	3,81	4,21	2,97	4,26
8	7	4	44	3,65	4,33	4,48	3,60	3,55	3,96
8	8	6	46	2,34	3,90	4,40	3,74	4,43	4,49
8	10	2	51	4,45	4,48	4,45	4,86	5,20	5,88
8	3	4	52	2,51	3,28	1,65	4,17	4,40	4,75
8	12	6	70	2,10	3,23	2,67	3,75	5,06	5,50

Fortsetzung Tabelle 17: Maissilageaufnahme (kg T/Tier und Tag) in den einzelnen Wiegeabschnitten in Versuchsreihe 3

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	WA 7	WA 8	WA 9	WA 10	WA 11	WA 12
5	4	3	1	3,19	4,40	4,61	3,40	4,23	3,71
5	7	1	2	9,31	5,37	5,88	5,15	5,37	4,51
5	8	3	19	5,99	6,44	6,39	5,45	6,60	6,30
5	12	3	21	6,18	6,19	5,35	4,77	6,20	5,94
5	1	5	25	4,85	4,97	5,56	4,49	5,67	6,14
5	11	1	42	5,69	5,44	5,67	4,66	5,37	5,82
5	3	1	49	3,59	4,17	3,59	2,46	5,11	5,83
5	5	5	65	4,75	5,98	6,28	5,09	5,70	5,16
5	9	5	74	5,73	5,48	6,79	6,16	5,61	6,49
6	1	6	9	5,68	6,66	6,20	5,28	6,18	6,27
6	9	6	28	5,63	5,80	5,96	5,47	5,68	5,60
6	8	4	33	5,20	4,39	5,01	3,74	4,89	4,09
6	12	4	45	5,24	5,43	5,51	5,13	5,78	6,01
6	3	2	48	5,31	6,16	6,25	5,87	5,52	6,50
6	5	6	57	5,25	6,45	6,20	5,53	6,05	5,98
6	4	4	64	3,53	3,58	3,71	3,33	4,63	5,04
6	7	2	67	4,86	4,82	5,06	4,59	5,37	4,65
6	11	2	69	5,35	5,37	5,15	5,00	9,11	5,79
7	12	5	4	6,31	6,91	5,93	5,54	6,64	7,17
7	7	3	26	6,04	5,63	6,27	4,36	5,32	6,20
7	6	1	34	5,71	5,79	8,90	3,66	5,91	5,99
7	11	3	53	5,51	4,44	3,47	4,15	4,68	2,23
7	10	1	55	6,12	6,81	5,55	5,83	5,30	5,75
7	8	5	60	5,05	4,88	3,57	4,23	5,36	5,46
7	4	5	62	5,09	5,82	5,66	9,60	6,23	6,42
7	2	1	75	5,99	6,26	5,57	4,98	6,28	7,19
7	3	3	78	4,87	3,49	3,78	2,40	4,90	3,46
8	2	2	5	5,81	5,88	6,50	6,01	6,16	5,32
8	4	6	17	5,66	5,76	5,28	3,65	6,05	6,03
8	6	2	23	5,87	4,72	5,86	5,21	6,44	4,44
8	11	4	40	3,63	3,90	4,61	4,01	4,78	4,26
8	7	4	44	4,00	6,63	3,90	3,39	4,93	5,62
8	8	6	46	5,78	6,42	5,40	5,95	5,97	7,12
8	10	2	51	6,17	5,25	3,47	4,74	3,89	4,43
8	3	4	52	5,44	5,76	4,61	4,06	5,01	5,04
8	12	6	70	6,09	4,21	4,05	4,49	6,49	6,95

Fortsetzung Tabelle 17: Maissilageaufnahme (kg T/Tier und Tag) in den einzelnen Wiegeabschnitten in Versuchsreihe 3

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	WA 13	WA 14	WA 15	WA 16	WA 17	WA 18
5	4	3	1	4,04	3,99	3,57	4,60	4,43	4,72
5	7	1	2	5,81	6,04	6,06	5,04	5,85	6,66
5	8	3	19	5,20	6,49	6,79	7,18	7,09	6,29
5	12	3	21	5,80	4,95	5,76	6,39	6,10	6,20
5	1	5	25	5,43	4,95	6,15	6,18	6,47	6,59
5	11	1	42	6,30	5,36	5,13	6,27	6,25	6,70
5	3	1	49	5,97	5,37	6,51	6,68	7,09	7,14
5	5	5	65	4,99	5,86	5,61	5,65	6,69	6,93
5	9	5	74	6,26	6,00	6,18	6,74	6,93	7,05
6	1	6	9	5,18	4,63	3,89	3,95	4,86	5,87
6	9	6	28	4,76	4,92	4,60	5,68	5,75	4,80
6	8	4	33	4,65	4,15	3,38	4,96	5,91	6,11
6	12	4	45	5,78	5,17	5,54	6,03	6,53	5,84
6	3	2	48	5,81	4,68	7,89	7,68	7,71	7,14
6	5	6	57	6,88	6,65	6,15	6,07	6,15	5,90
6	4	4	64	5,43	4,12	4,55	4,60	4,86	5,03
6	7	2	67	6,08	5,61	5,44	6,18	5,70	6,30
6	11	2	69	5,90	5,42	4,62	5,72	5,45	5,24
7	12	5	4	6,78	6,45	6,67	6,44	6,41	6,84
7	7	3	26	6,28	4,77	4,98	3,49	3,61	4,80
7	6	1	34	7,55	6,51	6,23	7,61	7,69	7,20
7	11	3	53	-	-	-	-	-	-
7	10	1	55	5,94	4,72	5,64	5,27	6,66	7,29
7	8	5	60	5,82	5,34	4,42	5,58	6,01	4,95
7	4	5	62	4,66	4,42	5,40	5,99	5,46	5,80
7	2	1	75	6,63	6,42	6,39	7,57	7,25	6,56
7	3	3	78	4,64	5,07	2,99	2,84	5,21	5,29
8	2	2	5	6,38	6,52	6,04	6,26	7,30	7,57
8	4	6	17	5,90	5,58	5,23	5,43	6,30	6,19
8	6	2	23	6,65	6,84	8,13	7,95	7,01	6,83
8	11	4	40	5,48	5,48	6,60	6,38	6,53	6,98
8	7	4	44	3,95	4,77	5,35	5,02	3,30	4,74
8	8	6	46	7,17	5,95	4,82	6,14	4,29	4,32
8	10	2	51	5,08	4,37	5,21	4,17	5,58	6,77
8	3	4	52	4,68	4,04	6,04	5,30	6,30	6,31
8	12	6	70	7,00	6,02	6,46	7,16	5,01	5,29

Tabelle 18: Lebendgewichte (kg) in den einzelnen Wiegeabschnitten in Versuchsreihe 3

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	WA 1	WA 2	WA 3/4	WA 5	WA 6
1	7	5	3	273	308	360	375	415
1	9	1	8	231	263	305	324	349
1	11	5	18	237	263	311	328	352
1	1	1	27	282	316	359	387	403
1	6	3	29	271	292	330	358	377
1	5	1	39	236	261	277	285	304
1	2	3	43	263	293	331	351	369
1	10	3	50	257	287	315	337	357
1	3	5	59	254	282	325	343	367
2	5	2	6	224	245	289	298	289
2	1	2	11	250	273	315	335	352
2	9	2	12	263	288	334	350	368
2	6	4	31	256	278	323	348	367
2	10	4	32	269	295	343	366	386
2	2	4	35	270	291	336	355	384
2	3	6	37	294	315	354	378	404
2	11	6	79	223	242	274	295	321
2	7	6	80	261	227	320	339	359
3	12	1	10	285	307	343	362	391
3	4	1	14	286	304	329	347	372
3	5	3	15	269	289	318	328	342
3	2	5	30	287	310	347	375	392
3	9	3	36	254	274	305	319	339
3	6	5	61	244	269	307	327	354
3	8	1	63	233	247	270	270	283
3	1	3	73	216	231	285	308	325
4	9	4	7	248	267	298	317	339
4	4	2	13	254	276	318	330	348
4	12	2	16	264	287	326	337	371
4	8	2	20	281	309	340	359	388
4	10	6	24	285	317	377	396	421
4	1	4	38	255	284	307	317	337
4	6	6	56	239	261	312	333	354
4	2	6	58	220	240	250	280	294
4	5	4	71	246	255	289	307	329

Fortsetzung Tabelle 18: Lebendgewichte (kg) in den einzelnen Wiegeabschnitten in Versuchsreihe 3

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	WA 7	WA 8	WA 9	WA 10	WA 11	WA 12
1	7	5	3	441	471	489	509	525	539
1	9	1	8	374	395	408	428	451	466
1	11	5	18	359	385	389	410	420	442
1	1	1	27	425	442	457	475	496	501
1	6	3	29	386	414	431	442	459	477
1	5	1	39	324	341	354	366	375	389
1	2	3	43	381	400	408	419	423	423
1	10	3	50	372	391	407	425	436	452
1	3	5	59	387	417	425	444	463	473
2	5	2	6	310	324	336	341	337	341
2	1	2	11	391	411	429	462	478	495
2	9	2	12	391	417	439	446	462	470
2	6	4	31	382	408	420	436	453	474
2	10	4	32	405	429	450	469	486	500
2	2	4	35	404	435	450	473	485	500
2	3	6	37	429	449	467	492	501	517
2	11	6	79	339	359	381	406	417	434
2	7	6	80	386	408	421	448	461	484
3	12	1	10	403	413	432	434	457	466
3	4	1	14	390	414	443	455	477	494
3	5	3	15	353	361	377	390	405	410
3	2	5	30	414	437	455	471	484	504
3	9	3	36	359	372	378	392	407	418
3	6	5	61	376	400	415	439	454	477
3	8	1	63	309	330	336	345	363	377
3	1	3	73	348	367	379	390	405	413
4	9	4	7	356	366	388	403	425	443
4	4	2	13	363	385	403	431	436	450
4	12	2	16	400	426	438	451	485	499
4	8	2	20	411	434	446	460	480	499
4	10	6	24	447	469	484	505	508	536
4	1	4	38	368	395	418	445	450	466
4	6	6	56	378	394	406	419	427	437
4	2	6	58	314	317	320	337	342	345
4	5	4	71	350	375	389	415	428	450

Fortsetzung Tabelle 18: Lebendgewichte (kg) in den einzelnen Wiegeabschnitten in Versuchsreihe 3

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	WA 13	WA 14	WA 15	WA 16	WA 17/18
1	7	5	3	555	572	513	607	630
1	9	1	8	494	508	517	543	570
1	11	5	18	465	477	483	518	537
1	1	1	27	520	533	531	559	591
1	6	3	29	494	512	520	546	580
1	5	1	39	405	418	424	443	455
1	2	3	43	417	429	538	454	488
1	10	3	50	469	476	481	501	528
1	3	5	59	486	500	500	524	575
2	5	2	6	345	345	350	351	372
2	1	2	11	512	527	532	556	590
2	9	2	12	490	505	518	538	567
2	6	4	31	490	509	515	513	545
2	10	4	32	516	528	540	568	609
2	2	4	35	530	539	549	570	608
2	3	6	37	540	558	568	590	605
2	11	6	79	457	410	480	500	528
2	7	6	80	506	520	525	548	581
3	12	1	10	495	509	514	533	577
3	4	1	14	509	522	519	536	543
3	5	3	15	416	430	433	442	479
3	2	5	30	523	535	543	564	614
3	9	3	36	433	440	444	459	490
3	6	5	61	471	502	503	538	568
3	8	1	63	383	407	404	429	457
3	1	3	73	420	424	429	449	471
4	9	4	7	471	482	485	490	527
4	4	2	13	468	488	481	503	560
4	12	2	16	509	526	536	556	551
4	8	2	20	526	536	539	535	561
4	10	6	24	554	549	565	579	622
4	1	4	38	485	502	515	536	576
4	6	6	56	447	464	482	497	511
4	2	6	58	362	372	376	399	441
4	5	4	71	456	471	480	488	544

Fortsetzung Tabelle 18: Lebendgewichte (kg) in den einzelnen Wiegeabschnitten in Versuchsreihe 3

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	WA 1	WA 2	WA 3/4	WA 5	WA 6
5	4	3	1	228	244	280	295	314
5	7	1	2	275	298	329	349	377
5	8	3	19	288	311	349	357	386
5	12	3	21	264	292	324	346	379
5	1	5	25	263	285	323	345	361
5	11	1	42	250	273	311	335	352
5	3	1	49	216	234	260	266	282
5	5	5	65	258	279	296	307	337
5	9	5	74	238	272	310	340	369
6	1	6	9	252	280	301	331	346
6	9	6	28	262	288	337	355	381
6	8	4	33	244	266	307	324	347
6	12	4	45	250	272	305	320	350
6	3	2	48	239	258	272	295	315
6	5	6	57	262	284	322	327	347
6	4	4	64	267	286	323	330	352
6	7	2	67	247	269	292	306	327
6	11	2	69	260	278	314	336	353
7	12	5	4	285	307	336	355	385
7	7	3	26	246	273	316	343	366
7	6	1	34	267	284	322	339	366
7	10	1	55	263	293	333	359	386
7	8	5	60	229	250	286	301	324
7	4	5	62	272	274	321	340	347
7	2	1	75	250	268	309	328	351
7	3	3	78	266	290	322	340	369
8	2	2	5	283	300	354	386	410
8	4	6	17	247	258	308	334	352
8	6	2	23	262	273	329	358	382
8	11	4	40	272	292	332	350	361
8	7	4	44	244	270	296	312	319
8	8	6	46	244	261	299	322	340
8	10	2	51	266	297	334	358	374
8	3	4	52	252	274	294	321	343
8	12	6	70	236	257	289	312	345

Fortsetzung Tabelle 18: Lebendgewichte (kg) in den einzelnen Wiegeabschnitten in Versuchsreihe 3

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	WA 7	WA 8	WA 9	WA 10	WA 11	WA 12
5	4	3	1	328	347	365	384	400	414
5	7	1	2	396	415	419	434	441	452
5	8	3	19	410	442	466	474	506	524
5	12	3	21	408	434	455	464	484	501
5	1	5	25	393	411	430	450	468	490
5	11	1	42	379	399	419	440	454	470
5	3	1	49	287	309	321	350	355	372
5	5	5	65	364	402	425	444	460	466
5	9	5	74	397	423	437	455	479	500
6	1	6	9	371	400	424	448	470	488
6	9	6	28	402	425	443	456	474	488
6	8	4	33	373	394	408	423	434	447
6	12	4	45	374	395	408	429	455	469
6	3	2	48	338	358	378	410	430	434
6	5	6	57	356	372	390	403	408	409
6	4	4	64	354	372	378	395	414	419
6	7	2	67	351	380	392	412	433	449
6	11	2	69	374	398	411	433	448	452
7	12	5	4	402	433	460	463	498	521
7	7	3	26	381	405	420	429	455	455
7	6	1	34	385	411	419	437	450	462
7	10	1	55	411	442	464	483	495	504
7	8	5	60	351	379	389	399	420	437
7	4	5	62	365	386	399	422	439	456
7	2	1	75	369	397	408	428	446	470
7	3	3	78	394	417	437	460	474	494
8	2	2	5	423	453	470	491	509	532
8	4	6	17	376	405	427	445	448	460
8	6	2	23	392	425	440	464	485	514
8	11	4	40	369	392	402	429	444	458
8	7	4	44	336	355	366	374	398	407
8	8	6	46	365	395	415	425	459	474
8	10	2	51	397	420	421	418	413	405
8	3	4	52	366	398	413	437	452	477
8	12	6	70	370	396	421	445	465	486

Fortsetzung Tabelle 18: Lebendgewichte (kg) in den einzelnen Wiegeabschnitten in Versuchsreihe 3

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	WA 13	WA 14	WA 15	WA 16	WA 17/18
5	4	3	1	420	434	442	455	489
5	7	1	2	460	465	453	490	511
5	8	3	19	547	561	566	600	617
5	12	3	21	524	528	539	566	561
5	1	5	25	509	528	534	554	588
5	11	1	42	492	508	523	540	568
5	3	1	49	401	419	426	450	482
5	5	5	65	488	502	526	510	531
5	9	5	74	533	553	560	578	618
6	1	6	9	489	509	510	524	553
6	9	6	28	513	521	532	556	577
6	8	4	33	458	473	477	486	525
6	12	4	45	492	498	516	539	563
6	3	2	48	453	466	482	499	536
6	5	6	57	419	433	441	456	479
6	4	4	64	440	456	460	478	519
6	7	2	67	474	488	495	519	540
6	11	2	69	476	494	509	520	556
7	12	5	4	546	552	562	590	614
7	7	3	26	487	503	505	512	495
7	6	1	34	483	500	514	530	565
7	10	1	55	516	529	525	555	583
7	8	5	60	459	476	485	495	524
7	4	5	62	476	477	486	508	531
7	2	1	75	495	507	521	540	569
7	3	3	78	524	532	549	556	585
8	2	2	5	527	559	579	596	639
8	4	6	17	490	503	504	519	547
8	6	2	23	510	540	549	571	606
8	11	4	40	465	483	495	510	545
8	7	4	44	427	436	437	463	476
8	8	6	46	484	508	516	533	547
8	10	2	51	438	435	437	463	493
8	3	4	52	504	516	519	528	574
8	12	6	70	514	520	535	568	576

Tabelle 19: Tägliche Zunahmen (g) in den einzelnen Wiegeabschnitten in Versuchsreihe 3

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	MA 1	MA 2	MA 3	ges. Mast
1	7	5	3	2029	1429	1042	1488
1	9	1	8	1686	1480	1056	1413
1	1	5	18	1643	1153	1000	1250
1	1	1	27	1729	1194	986	1288
1	6	3	29	1514	1194	1194	1288
1	5	1	39	971	1031	694	913
1	2	3	43	1514	1230	986	938
1	10	3	50	1429	1143	819	1129
1	3	5	59	1614	1214	1236	1338
2	1	2	11	1457	1633	1083	1417
2	9	2	12	1500	1245	1069	1267
2	6	4	31	1586	1255	764	1204
2	10	4	32	1671	1327	1292	1417
2	2	4	35	1629	1490	1083	1408
2	3	6	37	1571	1388	903	1296
2	11	6	79	1400	1388	986	1271
2	7	6	80	1400	1500	1042	1330
3	12	1	10	1514	1061	1139	1217
3	4	1	14	1229	1398	472	1071
3	5	3	15	1043	755	875	875
3	2	5	30	1500	1337	1264	1363
3	9	3	36	1214	959	792	983
3	10	5	54	1610	1653	-	-
3	6	5	61	1571	1194	1347	1350
3	8	1	63	714	1020	1028	933
3	1	3	73	1557	969	708	1063
4	9	4	7	1300	1347	778	1163
4	4	2	13	1343	1224	1278	1275
4	12	2	16	1529	1408	583	1196
4	8	2	20	1529	1408	486	1167
4	10	6	24	1943	1357	944	1404
4	1	4	38	1171	1510	1264	1338
4	6	6	56	1643	949	889	1133
4	2	6	58	1057	694	1097	921
4	5	4	71	1186	1296	1222	1242
5	4	4	1	1229	1082	958	1088

*Fortsetzung Tabelle 19: Tägliche Zunahmen (g) in den einzelnen Wiegeabschnitten
in Versuchsreihe 3*

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	MA 1	MA 2	MA 3	ges. Mast
5	7	1	2	1457	847	708	983
5	8	3	19	1400	1643	972	1371
5	12	3	21	1643	1480	514	1238
5	1	5	25	1400	1510	1097	1354
5	11	1	42	1457	1429	1056	1325
5	3	1	49	943	1214	1125	1108
5	5	5	65	1129	1541	597	1138
5	9	5	74	1871	1673	1181	1583
6	1	6	9	1343	1459	889	1254
6	9	6	28	1700	1347	889	1313
6	8	4	33	1471	1133	931	1171
6	12	4	45	1429	1449	986	1304
6	3	2	48	1086	1408	1153	1238
6	5	6	57	1214	735	2222	1321
6	4	4	64	1214	898	1097	1050
6	7	2	67	1143	1500	917	1221
6	11	2	69	1329	1255	1111	1233
7	12	5	4	1429	1643	944	1371
7	7	3	26	1714	1235	937	1038
7	6	1	34	1414	1194	1139	1242
7	11	3	53	1560	857	-	-
7	10	1	55	1757	1327	931	1333
7	8	5	60	1357	1378	903	1229
7	4	5	62	1071	1316	764	1079
7	2	1	75	1443	1469	1028	1329
7	3	3	78	1471	1582	847	1329
8	2	2	5	1814	1194	1556	1483
8	4	6	17	1500	1408	792	1250
8	6	2	23	1714	1306	1333	1433
8	11	4	40	1271	1061	1111	1138
8	7	4	44	1071	1102	681	967
8	8	6	46	1371	1469	875	1263
8	10	2	51	1543	1364	1014	946
8	3	4	52	1300	1643	972	1342
8	12	6	70	1557	1724	861	1417

Tabelle 20: Schlachtkörpergewicht (kg), prozentuale Ausschachtung und Nierenfettgewicht (kg) in Versuchsreihe 3

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	Schlachtkörper- gewicht (kg)	Ausschlach- tung (%)	Nierenfett- gewicht (kg)
1	7	5	3	367	55,4	12,6
1	9	1	8	330	56,3	12,2
1	1	5	18	327	83,3	10,4
1	1	1	27	349	59,0	10,4
1	6	3	29	332	56,9	9,8
1	5	1	39	268	57,3	3,6
1	2	3	43	278	68,2	7,7
1	10	3	50	296	56,8	7,6
1	3	5	59	321	56,7	9,1
2	1	2	11	339	57,5	10,1
2	9	2	12	329	57,0	9,8
2	6	4	31	311	54,9	7,8
2	10	4	32	383	60,0	10,7
2	2	4	35	332	55,4	10,5
2	3	6	37	336	55,9	15,2
2	11	6	79	331	60,7	9,8
2	7	6	80	331	55,2	11,9
3	12	1	10	346	58,2	8,0
3	4	1	14	334	57,3	6,7
3	5	3	15	371	54,5	8,2
3	2	5	30	346	55,9	17,8
3	9	3	36	272	53,9	6,3
3	6	5	61	343	59,1	5,7
3	8	1	63	251	52,6	6,6
3	1	3	73	318	56,3	8,9
4	9	4	7	303	55,3	10,8
4	4	2	13	306	54,0	11,4
4	12	2	16	341	59,3	9,6
4	8	2	20	325	55,1	9,2
4	10	6	24	386	59,5	12,8
4	1	4	38	311	55,0	9,2
4	6	6	56	290	56,0	5,4
4	2	6	58	241	54,6	5,3
4	5	4	71	308	54,5	6,6

Fortsetzung Tabelle 20: Schlachtkörpergewicht (kg), prozentuale Ausschlachtung und Nierenfettgewicht (kg) in Versuchsreihe 3

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	Schlachtkörper- gewicht (kg)	Ausschlach- tung (%)	Nierenfett- gewicht (kg)
5	4	4	1	283	56,6	6,5
5	7	1	2	299	56,6	6,2
5	8	3	19	351	56,0	12,4
5	12	3	21	320	57,4	11,5
5	1	5	25	337	58,0	9,3
5	11	1	42	321	55,7	9,0
5	3	1	49	266	54,9	6,2
5	5	5	65	318	58,3	4,2
5	9	5	74	352	56,2	6,00
6	1	6	9	349	57,0	6,9
6	9	6	28	345	57,8	13,5
6	8	4	33	322	57,8	7,5
6	12	4	45	371	59,2	9,1
6	3	2	48	301	56,5	7,5
6	5	6	57	284	55,6	6,0
6	4	4	64	309	57,3	5,0
6	7	2	67	317	56,8	7,7
6	11	2	69	339	57,4	11,8
7	12	5	4	352	57,5	11,9
7	7	3	26	282	55,7	6,1
7	6	1	34	320	55,1	7,9
7	10	1	55	359	58,8	5,6
7	8	5	60	305	55,0	6,6
7	4	5	62	306	55,9	7,0
7	2	1	75	303	53,0	13,0
7	3	3	78	321	55,1	12,7
8	2	2	5	357	56,8	13,6
8	4	6	17	320	55,9	6,8
8	6	2	23	349	56,2	3,6
8	11	4	40	335	59,0	7,5
8	7	4	44	271	53,9	5,2
8	8	6	46	324	57,0	6,5
8	10	2	51	300	57,0	7,6
8	3	4	52	336	56,6	7,9
8	12	6	70	342	57,0	9,2

Tabelle 21: Verdaulichkeit (%) der organischen Substanz und der Rohfaser in Versuchsreihe 3

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	VQ OM	VQ XF
1	7	5	3	78,60	70,06
1	9	1	8	59,31	20,93
1	1	5	18	69,56	47,85
1	1	1	27	66,46	46,27
1	5	1	39	73,53	48,46
1	2	3	43	68,60	35,77
1	10	3	50	66,04	26,75
1	3	5	59	70,92	44,12
2	1	2	11	71,67	49,47
2	9	2	12	69,96	41,40
2	6	4	31	67,20	43,99
2	10	4	32	65,68	39,27
2	2	4	35	74,49	56,19
2	3	6	37	67,19	37,35
2	11	6	79	72,67	41,46
2	7	6	80	76,54	61,26
4	4	2	13	69,90	44,49
4	12	2	16	74,58	51,46
4	8	2	20	71,42	56,64
4	10	6	24	74,08	58,37
4	1	4	38	71,84	50,44
4	6	6	56	73,22	57,56
4	2	6	58	70,65	47,83
4	5	4	71	74,55	57,25
5	7	1	2	68,16	43,27
5	8	3	19	71,03	52,76
5	12	3	21	70,29	50,14
5	1	5	25	66,08	47,12
5	11	1	42	70,85	49,09
5	3	1	49	64,43	40,80
5	5	5	65	68,20	46,77
5	9	5	74	58,39	47,09

Fortsetzung Tabelle 21: Verdaulichkeit (%) der organischen Substanz und der Rohfaser in Versuchsreihe 3

Beh.	Bucht	Platz	Ohr Nr.	VQ OM	VQ XF
6	1	6	9	76,50	60,64
6	9	6	28	70,61	45,55
6	12	4	45	72,68	55,89
6	3	2	48	64,96	42,87
6	5	6	57	58,60	48,30
6	4	4	64	62,34	49,48
6	7	2	67	70,71	38,27
6	11	2	69	72,68	53,68
8	2	2	5	67,46	38,62
8	4	6	17	67,32	48,42
8	6	2	23	60,92	44,72
8	11	4	40	62,88	45,22
8	8	6	46	70,88	50,96
8	3	4	52	75,56	47,67
8	12	6	70	67,11	37,91

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Anke Wessels
Geburtsdatum: 15.02.1973
Geburtsort: Papenburg
Familienstand: ledig

Schulbildung

1979 - 1983 Mühlengrundschule in Papenburg
1983 - 1992 Mariengymnasium in Papenburg

Hochschulausbildung

1992 - 1999 Studium der Agrarwissenschaften an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel;
Schwerpunkt Tierproduktion
März 1999 Abschluss zum Diplom-Agraringenieur
1999 - dato Promotion am Department für Tierwissenschaften,
Bereich Tierernährung der Technischen Universität
München, gefördert durch die H. Wilhelm Schaumann-
Stiftung