

Aus dem Institut für Tierphysiologie und Tierernährung
der Georg-August-Universität Göttingen

**Zum Einfluss unterschiedlicher Behandlungsverfahren und Zusatzstoffe
auf ernährungsphysiologische Parameter und Leistung wachsender
Broiler nach Verabreichung weizenbetonter Futtermischungen**

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Fakultät für Agrarwissenschaften
der Georg-August-Universität Göttingen

vorgelegt von
M. sc. agr. Dip. Ing. Abdulkarim Abdulmageed Amad
geboren in Taiz /Jemen

Göttingen März 2001

Referent: Prof. Dr. F. Liebert
Korreferent: Prof. Dr. H. Böhnel
Tag der mündlichen Prüfung: 17. Mai 2001

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis.....	VIII
Abkürzungsverzeichnis.....	IX
1. Einleitung und Zielsetzung.....	1
2. Literaturübersicht	3
2.1 Zerkleinerungstechnologien und ihre Bedeutung	3
2.1.1 Zerkleinerung mit Hammermühlen.....	6
2.1.2 Zerkleinerung mit dem Walzenstuhl.....	6
2.1.3 Vergleich zwischen Hammermühle und Walzenstuhl	7
2.2 Thermische Behandlungsverfahren.....	8
2.2.1 Konditionieren.....	9
2.2.2 Expandieren.....	10
2.2.3 Einfluss der Behandlungsverfahren auf ernährungsphysiologische Parameter und Leistung beim Broiler.....	10
2.3 Zusatz von antimikrobiellen Wachstumsförderern	14
2.3.1 Wirkungsmechanismen antimikrobieller Wachstumsförderer.....	15
2.3.2 Zur Wirkung von Zink-Bacitracin.....	17
2.4 Zusatz von NSP-spaltenden Enzymen	19
2.4.1 NSP-Verbindungen und ihr antinutritiver Einfluss.....	19
2.4.2 NSP-spaltende Enzyme und ihr Wirkungsprinzip	22
2.4.3 Einfluss von NSP- spaltenden Enzymen auf Leistungsparameter	25
2.5 Einfluss von Zusatzkombinationen (Enzym + Antibiotika) auf Leistungsparameter	31

2.6	Einfluss von Zusatzkombinationen (Enzym + Antibiotika) auf mikrobielle Umsetzungen im Verdauungstrakt	32
3.	Eigene Untersuchungen.....	35
3.1	Zielstellung.....	35
3.2	Material und Methode	35
3.2.1	Versuchsaufbau	35
3.2.2	Futterherstellung.....	36
3.2.2.1	Zerkleinerung der Getreidekomponenten.....	36
3.2.2.2	Thermische Behandlungen der Futtermischungen	37
3.2.2.3	Zusatzstoffe	39
3.2.3	Nährstoffzusammensetzung der Futterkomponenten und –mischungen.....	41
3.2.4	Tiermaterial	44
3.2.5	Wachstumsversuche	44
3.2.5.1	Versuchsort und –zeit.....	44
3.2.5.2	Tierhaltung	44
3.2.5.3	Futter- und Wasserverabreichung	45
3.2.5.4	Erfassung und Auswertung der untersuchten Parameter.....	45
3.2.6	Bilanzversuche	47
3.2.6.1	Tierhaltung	47
3.2.6.2	Versuchsablauf und Probensammlung	47
3.2.6.3	Erfassung der untersuchten Parameter	47
3.2.7	Analytische Verfahren.....	49
3.2.7.1	Weender Analyse	49
3.2.7.2	Bruttoenergiebestimmung	50
3.2.7.3	HCl-unlösliche Asche	50
3.2.7.4	Bestimmung von Aminosäuren.....	50
3.2.7.5	Bestimmung von flüchtigen Fettsäuren.....	51
3.2.7.6	Bestimmung von α -NH ₂ -N	51
3.2.8	Statistische Analyse.....	52

3.3	Ergebnisse	53
3.3.1	Wachstumsversuche	53
3.3.1.1	Versuchsverlauf.....	53
3.3.1.2	Zootechnische Parameter	53
3.3.1.3	Nährstoffzusammensetzung der Tierkörper	59
3.3.1.4	Rohprotein- und Energieansatz sowie Rohprotein- und Energieverwertung.....	63
3.3.1.5	Physiologischer Proteinnutzwert (PNu) als Parameter für die Proteinqualität, abgeleitet aus Tierkörperanalysen.....	69
3.3.1.6	Scheinbare ileale Verdaulichkeit ausgewählter Aminosäuren	72
3.3.1.7	Der Einfluss der Zerkleinerungs- und Behandlungsverfahren sowie Futterzusätze auf die Azetatkonzentration im Ileum.....	79
3.3.2	N-Bilanzversuche	82
3.3.2.1	N-Verwertungsparameter und Lysinwirksamkeit	82
3.3.2.2	Umsetzbare Energie (AMEn) und scheinbare N-Verdaulichkeit (α -amino-N- Methode)	88
4.	Diskussion	92
4.1	Einfluss der Versuchsfaktoren und deren Wechselwirkungen auf die Leistungsparameter	92
4.1.1	Zerkleinerung	92
4.1.2	Thermische Behandlung.....	93
4.1.3	Futterzusätze.....	93
4.1.4	Wechselwirkungen	96
4.2	Einfluss der Versuchsfaktoren und deren Wechselwirkungen auf ileale Aminosäurenverdaulichkeit und Azetatkonzentration im Chymus	97
4.2.1	Zerkleinerung	97
4.2.2	Thermische Behandlung.....	98
4.2.3	Futterzusätze.....	99
4.2.4	Wechselwirkungen	101
4.3	Einfluss der Versuchsfaktoren und deren Wechselwirkungen auf N-Bilanz, PNu, Lysinwirksamkeit und AMEn	104
4.3.1	Zerkleinerung	104

4.3.2	Thermische Behandlung.....	104
4.3.3	Futterzusätze.....	106
4.3.4	Wechselwirkungen	108
5.	Zusammenfassung.....	112
6.	Summary	114
7.	Literaturverzeichnis.....	116
8.	Tabellenanhang	133
	Tabellenurdaten	

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Energieverbrauch und Produktionsraten von Körnermais beim Mahlen in Abhängigkeit von der Zerkleinerungsgröße (WANDERA et al. 1995, modifiziert)	4
Tab. 2: Einfluss unterschiedlicher Behandlungen auf die Nährstoffverdaulichkeit und den Energiegehalt von maisreichem Broilerfutter (ARMSTRONG 1993; LUCHT 1997)	13
Tab. 3: Einsatzmöglichkeiten verschiedener Enzyme in unterschiedlichen Basisrationen (SPRING et al., 1997)	24
Tab. 4: Einfluss von NSP-spaltenden Enzymen auf die Leistungsparameter von Broilern (Rationen auf Weizenbasis)	28
Tab. 5: Der Einfluss eines Glukanasezusatzes auf die AME (MJ/kg TS) von Weizen mit niedrigem und normalem Energiegehalt (ANNISON et al., 1994)	31
Tab. 6: Wiedergefundene Menge von Zink-Bacitracin nach der Behandlung und ROXAZYME® G2 nach dem Aufsprühen in den verschiedenen Versuchsmischungen	40
Tab. 7: Zusammensetzung der Basalmischung	42
Tab. 8: Mittlerer Nährstoff- und Energiegehalt der Basalmischung	42
Tab. 9: Inhaltsstoffe der Hauptkomponenten der Basalmischung	43
Tab. 10: Aminosäuregehalte der Hauptkomponenten sowie der Basalmischung	43
Tab. 11: Einflüsse der Versuchsfaktoren Zerkleinerung, thermische Behandlung und Zusatzstoffe auf die zootechnischen Parameter	54
Tab. 12: Signifikanzeffekte der Versuchsfaktoren auf die zootechnischen Parameter	54
Tab. 13: Einflüsse der Zerkleinerungsverfahren auf die zootechnischen Parameter	55
Tab. 14: Einflüsse der thermischen Behandlungsverfahren auf die zootechnischen Parameter	55
Tab. 15: Einflüsse der Zusatzstoffe auf die zootechnischen Parameter	56
Tab. 16: Wechselwirkungen zwischen Zerkleinerung und thermischer Behandlung auf zootechnische Parameter	57
Tab. 17: Einflüsse der Versuchsfaktoren Zerkleinerung, thermische Behandlung und Zusatzstoffe auf die Körperzusammensetzung	59
Tab. 18: Signifikanzeffekte der Versuchsfaktoren auf die Körperzusammensetzung	60
Tab. 19: Einflüsse der Zerkleinerung auf die Körperzusammensetzung	60

Tab. 20: Einflüsse der thermischen Behandlungsverfahren auf die Körperzusammensetzung	61
Tab. 21: Einflüsse der Zusatzstoffe auf die Körperzusammensetzung	61
Tab 22: Wechselwirkungen zwischen Zerkleinerung und Behandlung auf die Körperzusammensetzung	62
Tab. 23: Einflüsse der Versuchsfaktoren Zerkleinerung, thermische Behandlung und Zusatzstoffe auf Nährstoffansatz sowie Rohprotein- und Energieverwertung	64
Tab. 24: Signifikanzeffekte der Versuchsfaktoren auf Rohprotein- und Energieansatz sowie Rohprotein- und Energieverwertung	64
Tab. 25: Einflüsse der Zerkleinerungsverfahren auf Rohprotein- und Energieansatz sowie Rohprotein- und Energieverwertung	65
Tab. 26: Einflüsse der thermischen Behandlungsverfahren auf Rohprotein- und Energieansatz sowie Rohprotein- und Energieverwertung	65
Tab. 27: Einflüsse der Zusatzstoffe auf Rohprotein- und Energieansatz sowie Rohprotein- und Energieverwertung	66
Tab. 28: Wechselwirkungen zwischen Zerkleinerung und thermischer Behandlung auf Ansatz und Verwertung von Rohprotein und Energie	68
Tab. 29: Einfluss von Zerkleinerung, thermischer Behandlung und Zusatzstoffen auf die PNu-Werte, abgeleitet von Tierkörperanalysen	69
Tab. 30: Signifikanzeffekte der Versuchsfaktoren auf die PNu-Werte	70
Tab. 31: Einflüsse der einzelnen Versuchsfaktoren auf die PNu-Werte	71
Tab. 32: Einflüsse von Zerkleinerung, thermischer Behandlung und Zusatzstoffen auf die scheinbare ileale Aminosäurenverdaulichkeit	73
Tab. 33: Signifikanzeffekte der Versuchsfaktoren auf die scheinbare ileale Verdaulichkeit von ausgewählten Aminosäuren	73
Tab. 34: Einflüsse der Zerkleinerungsverfahren auf die scheinbare ileale Aminosäurenverdaulichkeit	74
Tab. 35: Einflüsse der thermischen Behandlungsverfahren auf die ileale Aminosäurenverdaulichkeit	75
Tab. 36: Einflüsse der Zusatzstoffe auf die scheinbare ileale Aminosäurenverdaulichkeit	76
Tab. 37: Wechselwirkungen zwischen Zerkleinerung und thermischer Behandlung auf die scheinbare ileale Aminosäurenverdaulichkeit	77

Tab. 38: Wechselwirkungen zwischen thermischer Behandlung und Zusatzstoffen auf die scheinbare ileale Aminosäurenverdaulichkeit	78
Tab. 39: Einflüsse von Zerkleinerung, thermischer Behandlung und Zusatzstoffen auf die Azetatkonzentration in Ileumchymus	79
Tab. 40: Signifikanzeffekte der Versuchsfaktoren auf die Azetatkonzentration im Ileumchymus	80
Tab. 41: Einflüsse der einzelnen Versuchsfaktoren auf die Azetatkonzentration im Ileumchymus	81
Tab. 42: Wechselwirkungen zwischen Zerkleinerung und thermischer Behandlung auf die Azetatkonzentration im Ileumchymus	81
Tab. 43: Einflüsse von Zerkleinerung, thermischer Behandlung und Zusatzstoffen auf N-Bilanzdaten, N-Verwertung und Lysinwirksamkeit	82
Tab. 44: Signifikanzeffekte der Versuchsfaktoren auf N-Bilanzergebnisse, N-Verwertung und Lysinwirksamkeit	83
Tab. 45: Einflüsse der Zerkleinerung auf N-Verwertungsparameter und Lysinwirksamkeit	84
Tab. 46: Einflüsse der thermischen Behandlung auf N-Verwertungsparameter und Lysinwirksamkeit	84
Tab. 47: Einflüsse der Zusatzstoffe auf N-Verwertungsparameter und Lysinwirksamkeit	85
Tab. 48: Wechselwirkungen zwischen Zerkleinerung und thermischer Behandlung auf N-Verwertung und Lysinwirksamkeit	86
Tab. 49: Wechselwirkungen zwischen Zerkleinerung und Zusatzstoffen auf N-Verwertungsparameter und Lysinwirksamkeit	87
Tab. 50: Einflüsse von Zerkleinerung, thermischer Behandlung und Zusatzstoffen auf umsetzbare Energie und N-Verdaulichkeit	88
Tab. 51: Signifikanzeffekte der Versuchsfaktoren auf umsetzbare Energie und N-Verdaulichkeit	89
Tab. 52: Einflüsse der einzelnen Versuchsfaktoren auf AMEn und N-Verdaulichkeit	90
Tab. 53: Wechselwirkungen zwischen Zerkleinerung und thermischer Behandlung auf umsetzbare Energie und N-Verdaulichkeit	91
Tab. 54: Wechselwirkungen zwischen Zerkleinerung und Zusatzstoffen oder thermischer Behandlung und Zusatzstoffen auf umsetzbare Energie und N-Verdaulichkeit	91

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Einfluss der Zerkleinerung von Gerstenkörnern auf die Nährstoffverdaulichkeit bei Schweinen (modifiziert nach NEHRING, 1972)	4
Abb. 2: Vereinfachte, schematische Darstellung eines Walzenstuhles.	7
Abb. 3: Stärkeaufschluss (<i>in vitro</i> -Messungen) bei verschiedenen thermisch-hydrothermischen Behandlungen (LUCHT, 1997)	11
Abb. 4: Relativer Einfluss der Futterzusatzstoffe auf den Futteraufwand (prozentuale Abweichung von der un-supplementierten Gruppe)	57
Abb. 5: Einfluss der Futterzusatzstoffe auf Rohprotein- und Energieansatz sowie Rohprotein- und Energieverwertung (prozentuale Abweichung von der un-supplementierten Gruppe)	67
Abb. 6: Prozentuale Verbesserung der scheinbaren ilealen Verdaulichkeit ausgewählter AS durch WS-Zerkleinerung gegenüber HM-Zerkleinerung	74
Abb. 7: Prozentuale Verbesserung der scheinbaren ilealen Verdaulichkeit ausgewählter AS durch Expandieren gegenüber Konditionieren	75
Abb. 8: Relativer Wirkungsvergleich der Futterzusatzstoffe auf die scheinbare ileale Verdaulichkeit ausgewählter Aminosäuren (prozentuale Abweichung von der un-supplementierten Kontrolle)	77
Abb. 9: Wechselwirkungen von thermischen Behandlungen und Futterzusatzstoffen auf die ileale Verdaulichkeit von Lys und Thr	102
Abb.: 10: Wechselwirkungen zwischen Zerkleinerung, Behandlung und Futterzusatzstoffen auf die ileale Verdaulichkeit (%) von Lys, Thr und Met+Cys	103
Abb. 11: Einfluss der Zusatzstoffe auf PNu, Lysinwirksamkeit und scheinbare N-korrigierte umsetzbare Energie (AMEn) in Abhängigkeit von der Zerkleinerung	109
Abb. 12: Einfluss der Zusatzstoffe auf die N-Verdaulichkeit in Abhängigkeit von Zerkleinerung (links) und thermischer Behandlung (rechts)	110
Abb. 13: Wechselwirkungen zwischen Zerkleinerung, thermischer Behandlungen und Zusatzstoffen auf die N-Verdaulichkeit	111

Abkürzungsverzeichnis

A	Antibiotikum
Abb	Abbildung
AMEn	Scheinbar umsetzbare Energie, N-korrigiert
AS	Aminosäure
AX	Arabinoxylane
Cys	Cystin
d	Tag
E	Enzym
Expand	Expandierung
FA	Futtermittelverbrauch
FV	Futtermittelverzehr
FS	Frischsubstanz
HM	Hammermühle
KFFS	kurzkettige flüchtige Fettsäuren
KBE	Kolonienbildende Einheiten
kJ	Kilojoule
Kond.	Konditionierung
$LM_{kg}^{0.67}$	metabolische Körpermasse
LM	Lebendmasse
LMZ	Lebendmassezunahme
LT	Lebenstag
Lys	Lysin
Met	Methionin
MJ	Megajoule
MW	Mittelwert
n	Anzahl
N	Stickstoff
n.s.	nicht signifikant
NfE	N-freie Extraktstoffe
NSP	Nicht-Stärke-Polysaccharide
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
PEW	Produktiver Eiweißwert

PNu	Physiologischer Proteinnutzwert
SD	Standardabweichung
t	Tonne
Tab	Tabelle
Thr	Threonin
TS	Trockensubstanz
WS	Walzenstuhl
vs	versus
XA	Rohasche
XL	Rohfett
XP	Rohprotein
ZB	Zink-Bacitracin
∞	Alpha

1. Einleitung und Zielsetzung

Getreide stellt aufgrund seines Nährstoffgehaltes eine wichtige Komponente in der Geflügelernährung dar. Neben dem Gehalt an Stärke sind in Abhängigkeit von der Getreideart auch höhere Anteile an Nicht-Stärke-Polysacchariden (NSP) in der Kohlenhydratfraktion enthalten, für die keine körpereigenen Enzyme zur Verfügung stehen. Über den Einsatz von NSP-spaltenden Enzymen bestehen inzwischen gesicherte Möglichkeiten, um antinutritive Wirkungen dieser Kohlenhydratfraktion weitgehend auszuschalten.

Außerdem erfolgt der Einsatz von Getreide aus technologischen Gründen in der Regel in zerkleinerter Form. Es ist bekannt, dass die Art und Weise der Zerkleinerung (Zerkleinerungstechnologie) zu unterschiedlicher physikalischer Struktur führt und die verdauungsphysiologischen Prozesse beeinflussen kann.

Weitere thermische Behandlungen (Konditionieren, Expandieren, Extrudieren etc.) haben vor allem das Ziel, eine verbesserte Nährstoffverfügbarkeit (Aufschlusseffekte), den Abbau von Inhibitoren (z. B. Trypsininhibitor) sowie einen gesteigerten Hygienisierungsgrad (reduzierter Keimbesatz) zu erreichen. Allerdings kann auf diesem Weg auch eine erhöhte Löslichkeit der NSP-Fraktion zustande kommen, die die antinutritive Wirkung im Verdauungstrakt des Geflügels (Chymusviskosität) steigert. Diesem Effekt kann durch den Einsatz von NSP-spaltenden Enzymen entgegengewirkt werden.

Von besonderer Bedeutung ist aber, dass die eingangs dargestellten Maßnahmen heute zunehmend zu wichtigen Bestandteilen eines Gesamtkonzeptes werden, das dem Ziel dient, antimikrobielle Futterzusatzstoffe schrittweise abzulösen und ohne Leistungseinbußen durch akzeptable Fütterungskonzepte zu ersetzen.

Dieser aktuellen Problemstellung sind die vorliegenden Untersuchungen beim wachsenden Geflügel zuzuordnen. Im Mittelpunkt steht dabei die Zielsetzung, geeignete Kombinationen von Futterbehandlung und Zusatzstoffauswahl im Hinblick auf ernährungsphysiologische Konsequenzen und Leistungen zu prüfen. Damit soll ein Beitrag geleistet werden, um physiologisch begründete Empfehlungen für diesen Bereich der Broilerernährung zu geben.

Da eine umfassende und abschließende Untersuchung der Ursache –Wirkungs - Beziehungen im Rahmen vorliegender Arbeit nicht möglich ist, werden nachfolgende Schwerpunkte gesetzt:

1. Vergleich der Haupteffekte der einzelnen Behandlungsverfahren:
 - Zerkleinerungstechnologie der Getreidekomponenten:
 - . Hammermühle
 - . Walzenstuhl
 - Behandlung (Hygienisierung):
 - . Konditionierung
 - . Expandierung
 - Futterzusätze:
 - . antimikrobielle Leistungsförderer (Zink-Bacitracin)
 - . NSP-spaltende Enzyme (Roxazyme G2)
 - . Kombination (Antibiotikum + Enzym).
2. Vergleich der Interaktionseffekte der kombinierten Behandlungsverfahren;
 - Abhängigkeit der Behandlung oder des Futterzusatzes von der Zerkleinerung sowie die Abhängigkeit des Futterzusatzes von der Behandlung (zweifache Interaktionen: Zerkleinerung x Behandlung, Zerkleinerung x Futterzusatz oder Behandlung x Futterzusatz)
 - Abhängigkeit des Futterzusatzes von der Behandlung und der Zerkleinerung (dreifache Interaktion: Zerkleinerung x Behandlung x Futterzusatz).

Bei den zwei- oder dreifachen Verfahrenskombinationen stand die Frage im Mittelpunkt, ob dadurch eine höhere Effizienz der Nährstoffverwertung der behandelten Futtermischungen erreicht werden kann, bzw. ob bereits Schlussfolgerungen hinsichtlich einer Anwendungsempfehlung geeigneter Verfahrenskombinationen möglich sind.

2. Literaturübersicht

2.1 Zerkleinerungstechnologien und ihre Bedeutung

Getreidekörner werden ohne Bearbeitung als Einzelfuttermittel oder Hauptkomponenten einer Ration an das Geflügel kaum verfüttert. Aus ernährungsphysiologischen und bearbeitungstechnischen Gründen (Pelletierung, Fließverhalten bei Lagerung und Transport) müssen die Getreidekörner zunächst zerkleinert werden. Durch diese mechanische Strukturveränderung werden die Getreidekörner von den Nutztieren (Geflügel) leichter aufgenommen und besser verwertet. Weitere Bearbeitungsvorteile wie Homogenisieren der Futtermischung, Agglomerationsverhalten und Aufnahmevermögen für Fett und Flüssigkeiten werden begünstigt. Feinere Zerkleinerung von Futterkomponenten führen zu größeren spezifischen Oberflächen und dadurch werden günstigere Bedingungen für Fettaufnahme und Dampfeinwirkung erreicht. Die Messungen von Zerkleinerungseffekten bei Körnern ergaben nicht unerhebliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Tierarten. Rinder und Schweine können die ganzen Körner wegen mangelnden Kauvermögens schlechter als Getreideschrote verdauen und ausnutzen. Im Gegensatz dazu können Schafe und Ziegen die Getreidekörner besser kauen und wesentlich effektiver nutzen. Bei den Geflügelarten werden die aufgenommenen ganzen Körner im Kropf befeuchtet und dann im Muskelmagen intensiv zerkleinert. Körner jedoch, die mit starken Schalen umhüllt sind (z. B. Hirse), bereiten den Tieren bei den Verdauungsprozessen eine Menge Schwierigkeiten. Deshalb sollten sie in einer zerkleinerten Form verabreicht werden (NEHRING, 1972; FRIEDRICH, 1977; JEROCH et al., 1993; JENSEN, 1995; HEIDENREICH und SUNDERMEIER, 1995; HEIDENREICH 1997). Durch die Art der Zerkleinerungstechnologie (Mahlen oder Quetschen) und den Energieeintrag wird das Zerkleinerungsprodukt (Partikelgröße oder die Feinheit) bestimmt. Eine feinere Zerkleinerung verbraucht mehr Energie und führt zu niedrigeren Produktionsraten (s. Tab.1).

Höhere Zerkleinerungsfeinheiten von Getreidekörnern führen zu einer ungesunden Ernährung, einem schlechteren Fließverhalten und vermindern den Futterverzehr (HEIDENREICH und SUNDERMEIER, 1995). Eine zu feine Struktur von Mais, Gerste und Weizen kann bei der Verfütterung an Schweine zu Veränderungen der Magenschleimhaut führen. Die feine Futterstruktur erhöht den flüssigen Teil im Magen,

dadurch wird die Pepsinkonzentration stark angeregt, so dass Magengeschwüre auftreten können.

Tab. 1: Energieverbrauch und Produktionsraten von Körnermais beim Mahlen in Abhängigkeit von der Zerkleinerungsgröße (WANDERA et al. 1995, modifiziert)

	Partikelgröße (Mikron)			
	1000	800	600	400
Energieverbrauch (kWh/t)	2,7	3,1	3,8	8,1
Produktionsraten (t/h)	2,7	2,7	2,6	1,3

Es wird vermutet, dass die Zunahme der flüssigen Teile im Magen mit einer starken Vermischung des Mageninhaltes verbunden ist, so dass Pepsin und Magensäuren mit der ungeschützten Mukosa des ösophagonalen Bereiches im Magen in starken Kontakt kommen können (HANCOK, 1998; NIELSEN, 1998). Hohe Anteile von fein zerkleinertem Weizen und Roggen in der Futtermischung wachsender Küken führen zu Schnabelverklebungen, was eine Schnabelanomalie verursachen kann und das wiederum behindert stark die Futteraufnahme (JEROCH et al., 1993).

Die Verabreichung von Körnergetreide als Futter, wie vorher erwähnt wurde, wird in der Literatur wie folgt bewertet. Ältere Veröffentlichungen von NEHRING (1972) zeigten, dass zerkleinerte Getreidekörner zu höheren Nährstoffverdaulichkeiten (OS, XP, XL, XF und XX) bei Schweinen geführt haben. Aus Abbildung 1 ist eine klare Überlegenheit der mittelfein und fein zerkleinerten Gerstenkörner zu erkennen.

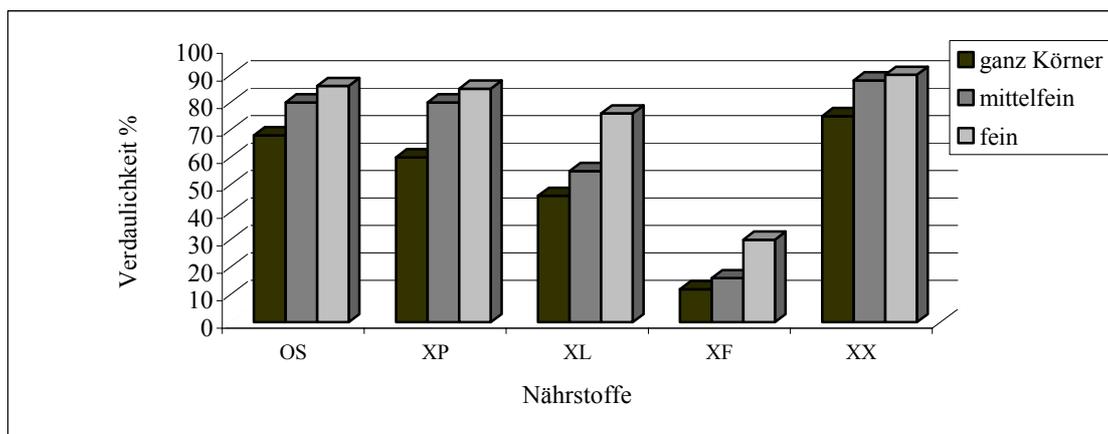


Abb. 1: Einfluss der Zerkleinerung von Gerstenkörnern auf die Nährstoffverdaulichkeit bei Schweinen (modifiziert nach NEHRING, 1972)

JEROCH et al. (1993) bestätigten die gleiche Aussage bei Rind und Schaf. OWSLEY et al. (1981) fanden bei reduzierten Partikelgrößen von Sorghum durch Hammermühlen (HM) eine Verbesserung der scheinbaren Verdaulichkeit von Trockensubstanz, Stärke, Bruttoenergie und Stickstoff bei Schweinen. Die ileale Verdaulichkeit verschiedener Aminosäuren ist mit der Abnahme der Partikelgröße erhöht. Die ileale Lysinverdaulichkeit wurde hier nicht beeinflusst. OHH et al. (1983) zerkleinerten Sorghum und Mais in verschiedene Partikelgrößen und verfütterten sie an Schweine, dabei stellten sie fest, dass der Futteraufwand (FA) mit zunehmendem Feinheitsgrad der Partikel signifikant verbessert wurde. Auch die Energie- und XP-Verdaulichkeiten stiegen dadurch an. Sie fanden aber keine statistisch gesicherten Unterschiede zwischen den Zerkleinerungsarten auf die Mastleistung und Nährstoffverdaulichkeit. LAWRENCE (1983) stellte fest, dass die unterschiedlichen Zerkleinerungsgrößen (1,56 mm und 4,68 mm) von Haferkörnern eine bessere tägliche Gewichtszunahme und Futtermittelverwertung gegenüber gröberer Futterstruktur bei Schweinen bewirkten. Dagegen stellten SEERLEY et al. (1988) fest, dass Absatzferkel bei feinerer oder gröberer Partikelgröße gut wachsen, jedoch wurde eine Verbesserung der Leistung der wachsenden Schweine durch eine gröbere Partikelgröße erzielt. Ergebnisse von WONDRA et al. (1995) zeigten eine Zunahme des Futtermittelverzehr bei Sauen je feiner die Partikelgröße von Maiskörnern ist. Dieses führte zur einer Erhöhung der Energieverdaulichkeit von 14 %. Demzufolge wurden die Ausscheidungen von Trockensubstanz (21 %) und N (31 %) reduziert. In Bilanzversuchen stellte der gleiche Autor bei verschiedenen Mais Korngrößen (1200, 900, 600 und 400 mm) fest, dass höhere Verdaulichkeiten von Trockensubstanz, Stickstoff und Bruttoenergie durch feine Partikel erreicht wurden. LAURINEN et al. (2000) fanden, dass der Zerkleinerungstyp weder auf Futtermittelverzehr, Wachstums- und Schlachtleistung noch auf Verdaulichkeit von Trockensubstanz und Energie bei Schweinen mit Weizenfutter einen Effekt hat. REECE et al. (1986) berichteten, dass die Broilerleistung bei grob zerkleinertem Maisfutter in gecrumbelter Form besser war als in Pelletform. Bei Broilern fanden HAMILTON und PROUDFOOD (1995) eine positive Wirkung der Partikelgröße des WS-zerkleinerten Futters auf die Wachstumsleistung.

Zur Zerkleinerung von Getreide werden bei der Mischfutterherstellung Hammermühlen und Walzenstühle eingesetzt. Nachfolgend werden die Grundsätze dieser Zerkleinerungstechnologien kurz dargestellt.

2.1.1 Zerkleinerung mit Hammermühlen

Das Prinzip der Zerkleinerung mit Hammermühlen beruht darauf, dass die Prallkraft der rotierenden Schläger auf das zugeführte Material in Anspruch genommen wird, so dass die Trefferwahrscheinlichkeit die Nutzung der bereitgestellten Energie beeinflusst. Die Beanspruchungsintensität hängt von der Menge und der Geschwindigkeit des zugeführten Materials und der Geschwindigkeit der rotierenden Schläger ab, sie ist der kinetischen Energie, das heißt der Masse der zu zerkleinernden Partikel und dem Quadrat der Differenzgeschwindigkeit zwischen den Partikeln und den rotierenden Schlägern proportional. Diese Energie ist ausreichend, um das Eingangsmaterial zu zerkleinern. Die Schlägerform, Schlägeranzahl, Siebfläche, Sieblochung, Sieblochteilung, das zugeführte Material, die Umfangsgeschwindigkeit und Mühlengeometrie sind wichtige Einflussgrößen bei der Zerkleinerung mit Hammermühlen. Die Feinheit der zerkleinerten Produkte ist um so größer je kleiner die Sieblochung ist. Bei Verringerung der Umfangsgeschwindigkeit (Umlaufgeschwindigkeit) wird das Produkt der Zerkleinerung gröber. Aufgrund der unterschiedlichen Schalenstärke der Körner ist der Energiebedarf unterschiedlich. Eine feste Schale setzt einen höheren Widerstand entgegen (JANSEN, 1995; HEIDENREICH, 1997; AUDET, 1995).

2.1.2 Zerkleinerung mit dem Walzenstuhl

Der Hauptbestandteil eines Walzenstuhles sind die Walzen. Sie bilden mehrere Mahlpalten (Abb. 2). Im Gegensatz zur Hammermühle wird beim Walzenstuhl nicht Prallenergie, sondern für die Zerquetschung Energie zwischen den Walzen beansprucht. Die Walzen eines Paares haben in der Regel unterschiedliche Drehzahlen. Damit wird eine Überlagerung der Druckbeanspruchung im Walzenspalt durch eine Scherbeanspruchung erreicht. Einflussgrößen sind beim Walzenstuhl Mahlpalt, Einzugswinkel, Walzenoberfläche, Durchmesser (Länge der Walze), Umfangsgeschwindigkeit (Umlaufgeschwindigkeit) und Differenzgeschwindigkeit (JANSEN, 1995; HEIDENREICH, 1997; AUDET, 1995).

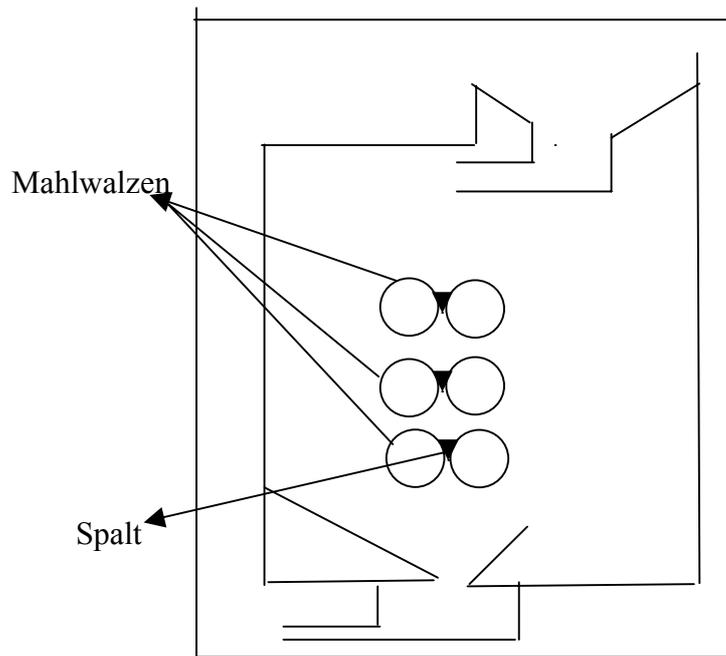


Abb. 2: Vereinfachte schematische Darstellung eines Walzenstuhls

2.1.3 Vergleich zwischen Hammermühle und Walzenstuhl

Beim Vergleich der Hammermühle mit dem Walzenstuhl zeigte sich, dass der Walzenstuhl bei der Zerkleinerung einen niedrigeren Energiebedarf hat, Partikel mit höherer Gleichmäßigkeit und geringerer Feinheit liefert (gröbere und gleichmäßige Futterstruktur) sowie eine niedrige Temperaturbelastung bei geringerem Verschleiß aufweist. Die Zerkleinerung mit der Hammermühle führt zur höherer Mahlfeinheit und variierender Größenverteilungen. Durch eine feinere Zerkleinerung werden intrazelluläre Fette freigesetzt, die zur Verschlechterung der Pelletfestigkeit führen können (HEIDENREICH, 1997). Die Hammermühle verbraucht mehr Energie und ermöglicht die Zerkleinerung von flexibleren Faserstrukturen (JANSEN, 1995; HEIDENREICH, 1995; 1997). Aus ernährungsphysiologischer Sicht berichtet GOIHL (1995), dass die Partikelgrößen von durch Walzenstuhl oder Hammermühle zerkleinerten Maiskörnern keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich Wachstumsparameter und Nährstoffaufnahme bei Schweinen gezeigt haben, jedoch wurde die scheinbare Verdaulichkeit von Trockensubstanz, Stickstoff und Bruttoenergie durch im Walzenstuhl zerkleinerte Maiskörner verbessert. Die Verbesserung der Verdaulichkeit steht vermutlich in einer engen Verbindung mit dem Zerkleinerungsprodukt (Partikelform). REECE et al. (1985) berichten, dass die

Zerkleinerung von Maiskörnern mit Hammermühlen zu kugelförmigen und gleichcheckigen Partikeln führt. Dadurch wurde die Zugänglichkeit für endogene Verdauungsenzyme reduziert; das hat eine niedrigere Nährstoffverdaulichkeit zur Folge. Die Zerkleinerung mit dem Walzenstuhl führte zu leicht erhöhter Pelletstabilität, zum Anstieg der Wachstumsparameter (9 %) sowie der Futtermittelverwertung (5 %) (GOIHL, 1995). Die durch den Walzenstuhl zerkleinerten Partikel minderten das Risiko von Magenverletzungen (stomach lesions) bei Schweinen (GOIHL, 1995; HANCOK, 1998).

2.2 Thermische Behandlungsverfahren

Nach der Zerkleinerung (Aufmahlung) von Getreidekörnern als Futterhauptkomponenten werden sie zur Herstellung von Futtermischungen eingesetzt. Diese können direkt in mehlformiger Form verabreicht (das ist in den meisten Entwicklungsländern zu sehen) oder weiter verarbeitet bzw. behandelt werden, wie das in den industriellen Ländern häufig der Fall ist. Das Prinzip der thermischen Behandlungsverfahren beruht hauptsächlich auf Temperatur, Wasserdampf, Einwirkdauer und mechanischer Kraft. Deshalb unterscheidet man zwischen hydrothermischen, thermischen und mechanischen Verfahren. Bei der Futtermittelherstellung werden die Verfahren überwiegend kombiniert. Nach MICHAELSEN (1993), FARAHMAND und LUCHT (1998) zählen zu den wichtigsten Verfahren:

- hydrothermische Verfahren (Langzeit- und Kurzzeitkonditionierung)
- thermische Behandlung durch Heißluft
- thermische Behandlung durch Infrarotstrahlung
- thermisch-mechanische Druckkonditionierung (Expander)
- thermisch-mechanische Behandlung mit Formgebung (Extruder).

Bei Nutzung von solchen Verfahren zur Herstellung von Broiler- oder anderen Tierfuttern sollten die Futterinhaltsstoffe, hauptsächlich Aminosäuren sowie Enzyme, Vitamine und andere Zusatzstoffe unbeschädigt bleiben. Durch die oben genannten Behandlungsverfahren werden u. a. folgende Vorteile erzielt:

1. Aus ernährungsphysiologischer Sicht:

- höhere Verfügbarkeit der Futterinhaltsstoffe und Verbesserung der Verdaulichkeit der Inhaltsstoffe (Aufschluss von Rohstärke, Lignozellulose, nativen Fetten und Phytin-P). Darüber wird unter 2.2.3. mehr berichtet werden.

- Abbau von antinutritiven Substanzen (Trypsininhibitor, Lectine) und Zerstörung von toxischen Begleitstoffen (Mykotoxine)
 - Inaktivierung von unerwünschten Enzymen (Urease)
 - Erhöhung des Hygienegrades sowie der Haltbarkeit des Mischfutters durch Abtötung von unerwünschten, pathogenen Keimen (z.B. Salmonellen und Pilze) (PEISKER, 1990; MICHAELSEN, 1992; BEHNKE, 1995; HEIDENREICH, 1997; JANSEN, 1995; BEUMER und VAN DER POEL, 1997; FARAHMAND und LUCHT, 1998; OUMER und LIEBERT, 1999).
2. Aus bearbeitungstechnischer Sicht:
- Verbesserung der Pressfähigkeit
 - Verbesserung der Abriebneigung
 - Verringerung von Staub (HEIDENREICH, 1997; JANSEN, 1995).

2.2.1 Konditionieren

Das Konditionieren wird hauptsächlich als Vorbereitungsstufe von mehlartigen Mischfuttern für die Pelletierung oder Expandierung genutzt. Hierbei wird eine stoffliche Veränderung mit Dampfeinwirkung mittels Konditionierung ohne Druck erzielt. Der Dampf verteilt sich besser im Mischfutter und es werden mehr Stoffteilchen mit einem Feuchtigkeitsfilm umgeben, wodurch die Haftfestigkeit beim Pelletieren erhöht wird und der Abrieb abnimmt (FRIEDRICH und ROBOHM, 1968). Bei diesem Prozess wird das zu behandelnde Material eine Temperatur von bis zu 100°C erfahren. Durch Zeitregelung werden diese thermischen Behandlungsverfahren in Kurzzeitkonditionierung (Temperatur 50 – 95 °C, Retentionszeit 10–60 Sek., Flüssigkeitszugabe bis zu 6 %, 1 - 2 kWh/t Energieinput), 10 Minutenkonditionierung (in Kombination mit Kurzzeitkonditioneur, Temperatur 70 – 90 °C, Retentionszeit 3 – 10 min) und Langzeitkonditionierung (Temperatur 70 – 90 °C und Retentionszeit 10 – 30 min) eingeteilt. Als weitere Vorteile sind bei der Konditionierung anzusehen, dass durch die Dampfzugabe eine gleichmäßige Befeuchtung der Futterpartikel entsteht, was zur Verbesserung der Haftmechanismen und der Gleitfähigkeit der Partikel in Matrizenbohrungen sowie einem niedrigeren Abrieb des Pellets führt (FRIEDRICH und ROBOHM, 1968; MICHAELSEN, 1993; JANSEN, 1995; FARAHMAND und LUCHT, 1998). Auch durch die Dampfkonditionierung vor dem

Pelletieren werden die Stärkeschädigung sowie die Energiekosten reduziert und die Lagerdauer der Pellets erhöht (SKOCH et al., 1983a, 1983b).

2.2.2 Expandieren

Der Expander ist eine speziell angefertigte Schneckenpresse und gehört zu dem HTST-Verfahren (high temperature short term). Er wird auch als Druckkonditioneur bezeichnet. Zu den wichtigsten Bauelementen eines Expanders gehören u. a. einfaches Gehäuse, fixierte Schneckenkonfiguration, Stoppbolzen, Zufuhreinrichtungen für Dampf und andere Flüssigkeiten in den Prozessraum und Ringspaltdüse (HEIDENREICH, 1994). Bei dem Prozessablauf eines Expanders wird eine intensive Scherkraft (mechanische Energie) mit kontinuierlichem Durchlauf kombiniert. Die Scherkraft führt zur Temperaturerhöhung bis zu 150°C. Der Druck im Prozessraum kann bis zu 40 bar erreichen (MICHAELSEN, 1993; FARAHMAND und LUCHT, 1998). Das zu behandelnde Gut wird entlang des Expandergehäuses transportiert. Dabei erfährt es eine Scherbeanspruchung (Kneten) mit dissipativer Erwärmung (Umwandlung von mechanischer Energie in Wärme) und höherem Druck sowie eine plötzliche Druckabsenkung (Expansion) bei Austritt aus der Ringspaltdüse. Bei den Expandern gibt es die Möglichkeit für eine Zufuhr von Dampf oder von Flüssigkeiten in das Behandlungsmaterial. Durch die Stoppbolzen wird die Rotation des zu behandelnden Gutes gehemmt und über eine relative Bewegung im Prozessraum die Scherbeanspruchung ermöglicht. Aufgrund der möglichen Veränderung von Feuchtigkeitsniveau, Druckverhältnissen sowie des mechanischen Energieeintrages kann die Beanspruchungsintensität reguliert werden. Das schafft eine gute Grundlage für die Herstellung von behandelten Tierfuttern (HEIDENREICH, 1994; HEIDENREICH und MICHAELSEN, 1995).

2.2.3 Einfluss der Behandlungsverfahren auf ernährungsphysiologische Parameter und Leistung beim Broiler

Durch thermische und hydrothermische Behandlung von Mischfutter sollen, wie unter 2.2 erwähnt, ernährungsphysiologische Ziele, wie die Freisetzung von Nährstoffen (z. B. SKOCH et al., 1983a; 1983b und PCKFORD, 1992) und ein besserer Hygienestatus erreicht werden. Bei der Hygienisierung wird eine Ausschaltung aller pathogenen Keime

wie *Salmonellen*, *Coliformen*, *Compylobacter* und Schimmelpilze durch die Behandlungstemperatur zwischen 70 – 120 °C angestrebt.

Der erzielte Hygienisierungsgrad des Endproduktes hängt vom Kontaminationsgrad des Eingangsmaterials und der Behandlungstemperatur ab (MÜLLER und SCHNEIDER, 1973; KÖNIG, 1995; HOTZ und WETZEL 1995; HEIDENREICH, 1996; ISRAELSEN et al., 1996; LUCHT, 1997). Durch die vollständige oder teilweise Beseitigung von Futterkeimen wird indirekt die positive Darmflora stabilisiert; das führt zur besseren Absorption von Futternährstoffen. Die Intensität der Behandlungen können zum Stärkeaufschluss führen aber auch zu Veränderungen der Protein- und Fettfraktion. Der erzielbare Stärkeaufschluss ist von der Behandlungsmethode und Hitzeintensität (70-120°C) abhängig (Abb. 3) (MICHAELSEN, 1992; PEISKER, 1993a; 1994; LUCHT, 1997).

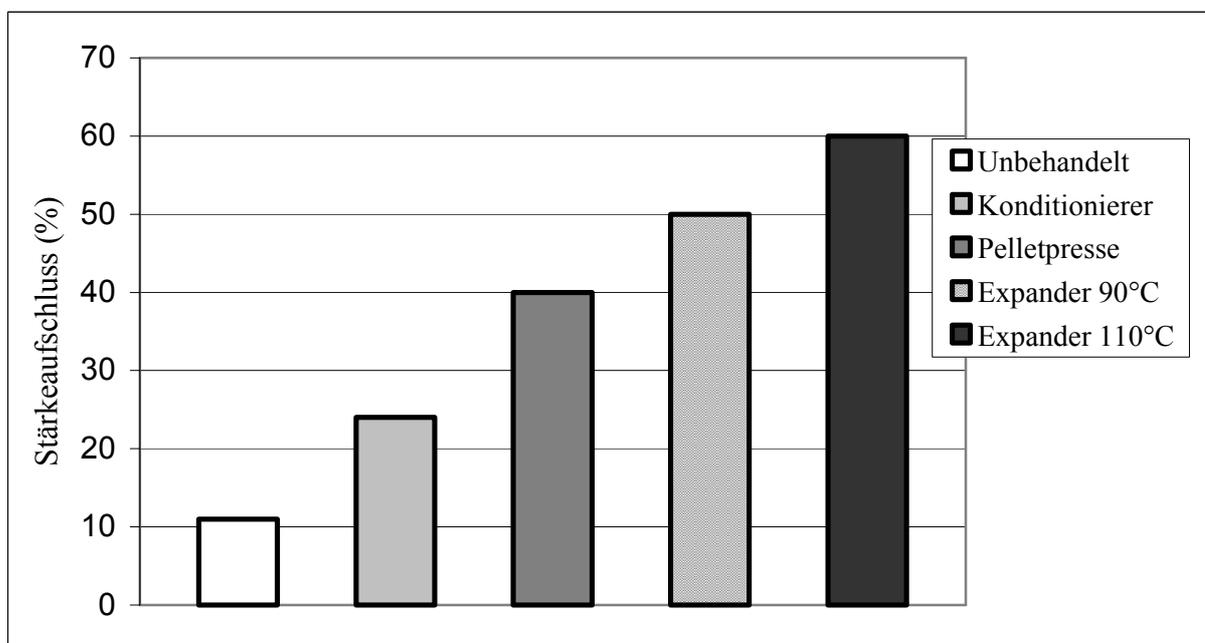


Abb. 3: Stärkeaufschluss (*in vitro*-Messungen) bei verschiedenen thermisch-hydrothermischen Behandlungen (LUCHT, 1997)

PEISKER (1990) berichtete, dass der Aufschlusseffekt zur Verbesserung der Verdaulichkeit und einem Anstieg der umsetzbaren Energie führte. Ferner waren Proteinqualitätsparameter wie Produktiver Eiweißwert (PEW), Physiologischer Nutzwert (PNu) oder Biologische Wertigkeit (BW) bei *in vivo*-Versuchen nachweisbar erhöht. Der Energiebedarf für den Stärkeaufschluss steht in einer proportionalen Beziehung zum Amylosegehalt bzw. zum Amylose/Amylopektinverhältnis (PEISKER, 1993a; 1994).

LIEBERT (1995) stellte fest, dass eine Behandlung durch Expander zur Erhöhung des Gehaltes an löslichen NSP-Verbindungen (Pentosanen) führen kann. Diese Verbindungen erhöhen die Darmchymusviskosität, was wiederum negative Wirkungen auf die Nährstoffverdaulichkeit und -absorption haben kann. Die Löslichkeit des Proteins kann durch diesen Behandlungsprozess reduziert werden. Dieser Rückgang ist produktabhängig. Futterkomponenten mit höheren Proteingehalten weisen in der Regel eine höhere Proteinlöslichkeit auf und zeigen durch intensive thermische Behandlung (Expandierung) stärkere Rückgänge (z. B. Ackerbohne, Erbsen) (PEISKER, 1993a). Eine höhere Hitzeapplikation führte zur stärkeren Verringerung der Proteinqualität insgesamt, als aus der scheinbaren Proteinverdaulichkeit ableitbar war (HURRELL, 1976). PARSONS (1996) betonte, dass eine ungeeignete Behandlung, speziell die Überhitzung, die primäre Ursache für die Reduzierung der Aminosäurenverfügbarkeit in den Futtermitteln ist. Die Versuchsergebnisse von BATTERHAM (1992) zeigten, dass die Aminosäuren unter verschiedenen Behandlungsbedingungen unterschiedlich reagieren. Lysin, Threonin, Methionin und Tryptophan sind empfindlich gegenüber Hitze, was auch ihre scheinbare Verdaulichkeit beeinflussen kann. Am Ende sind sie für die Proteinsynthese nicht verfügbar. Dies wurde deutlich durch Retentionsstudien für Lysin bestätigt (z. B. VAN BARNEVELD et al., 1994a,b,c). Dabei wurde festgestellt, dass eine stärkere Hitzeapplikation teilweise zur einer höheren ilealen Lysinverdaulichkeit führte. Dieses Lysin wurde aber nicht in einer verwertbaren Form absorbiert.

Lysin ist hitzeempfindlich und kann mit anderen Komponenten reagieren. Das ist durch die dibasische AS-Eigenschaft und die ϵ -Aminogruppe möglich. Deshalb kann bei Hitzebehandlung von Proteinfuttermitteln beim Vorhandensein von reduzierenden Zuckern die sogenannte Maillard-Reaktion auftreten. Bei dieser Reaktion werden Lysin-Zucker-Komplexe, wie Fructoselysin und Lactoselysin gebildet, die für die Proteinsynthese nicht mehr nutzbar sind und im Urin ausgeschieden werden (ERBERSDOBLER, 1980; BATTERHAM 1992).

Es gibt mehrere Forschungsarbeiten, die sich mit den Einflüssen von thermisch-hydrothermischen Behandlungen auf die Futterinhaltsstoffe und Leistungsparameter von Broilern beschäftigen. Die Untersuchungen von PEISKER (1993a) ergaben, dass durch die Behandlungen die Nährstoffverdaulichkeit sowie die Energieverwertung verbessert wurden. Es war insbesondere eine signifikante Erhöhung der Fett- und Zelluloseverdaulichkeit bei der Expandierung zu sehen (Tab. 2). LIEBERT (1994) zeigte, dass das behandelte Versuchsfutter bei niedriger Energie (11,9 MJ) keine signifikanten

Unterschiede zu den mehlförmigen Rationen mit höherem Energiegehalt (13,4 MJ) (Kontrollfutter) bei Wachstumsparametern und Futtermittelverzehr (31. LT) aufwiesen. Der Futteraufwand je kg Zunahme der Tiere der behandelten Versuchsfutter (konditioniert für 1 min. oder 10 min. oder expandiert bei 85 °C) lag signifikant niedriger als bei den Tieren mit Kontrollfutter (mehlförmig) mit gleichem Gehalt an Futterenergie (11 MJ). Nur die Expandierung bei 120°C führte zu einem tendenziellen Unterschied. In der gleichen Arbeit zeigten die Tiere der behandelten Versuchsfutter (1 min Konditionierung) keine statistisch gesicherten Unterschiede im Vergleich zum unbehandelten Futter beim Parameter Futteraufwand.

Tab. 2: Einfluss unterschiedlicher Behandlungen auf die Nährstoffverdaulichkeit und den Energiegehalt von maisreichem Broilerfutter (ARMSTRONG 1993; LUCHT 1997)

Behandlungs- verfahren	Verdaulichkeit %							ME	
	OM*	Protein	Fett	Stärke	NDF*	ADF*	Zellulose	MJ/kg	%
Pelletierung	68,6	78,5	70,6 ^a	97,8	8,4	19,8	8,2 ^a	11,72	100
Expandierung + Pelletierung	70,2	77,2	82,3 ^b	98,9	13,8	22,3	16,1 ^b	12,22	104,3
Expandierung	69,8	77,4	82,9 ^b	98,4	11,5	21,2	17,9 ^b	12,21	104,2

*) OM= organische Masse, NDF= neutral detergent fiber, ADF= acid detergent fiber

Innerhalb der Behandlungen (Konditionierung vs. Expandierung) wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Das entspricht den Versuchsergebnissen von JACKSON und BOLLENGIER (1994). SILVERSIDES und BEDFORD (1999) zeigten ähnliche Ergebnisse und stellten fest, dass die Konditionierungstemperatur (70 – 90 °C) sowie -zeit (55 sek oder 140 sek) keine Wirkung auf die Parameter Lebendmasse und Futteraufwand bei Broilern zeigten. Ein sicherer Effekt war durch diesen Behandlungsprozess bei der intestinalen Darmviskosität zu sehen. SMITH (1995) zeigte bei zwei Versuchen (Pelletierung vs. Expandierung), dass Tiere, die expandiertes/pelletiertes Futter erhielten, eine signifikante ($p < 0,05$) Erhöhung der Lebendmassezunahme im ersten und zweiten Versuch gegenüber Tieren mit pelletiertem Futter erbrachten, während eine signifikante ($p < 0,05$) Verbesserung des Futteraufwands nur im zweiten Versuch zu sehen war.

VEST (1997) berichtete, dass die Lebendmasse der Broiler mit expandiertem Futter höher als die Lebendmasse der Broiler mit konditioniertem Futter war. Der festgestellte Futteraufwand zeigte bei der Mehrzahl der durchgeführten Versuche keine signifikanten Unterschiede.

In den Untersuchungen von LIEBERT (1994) hatten unterschiedliche thermisch-hydrothermische Futterbehandlungen keinen signifikanten Effekt auf den Protein- oder Fettansatz der Versuchstiere. In der gleichen Arbeit wurde in einem Stoffwechselversuch die N-Verwertung sowie die umsetzbare Energie bestimmt. Es wurde kein signifikanter Rückgang der Proteinqualität durch eine Hitzebehandlung festgestellt, aber ein signifikanter Anstieg der Energiedichte durch Expandierung erzielt. In bezug auf eine druckthermische Behandlung (Expander) zeigte PEISKER (1990) keine wesentlichen Effekte auf die Aminosäuren im Broilerfutter oder die Lysinverfügbarkeit von Schweinefutter und kam zu dem Schluss, dass durch die Expandierung weder die Proteinzusammensetzung noch die Verfügbarkeit des Lysins beeinflusst wurde. Dagegen berichteten JACKSON und BOLLENGIER (1994), dass infolge Hitzebehandlung (mit oder ohne Expandierung) die Verdaulichkeit von Protein oder Aminosäuren niedrigere Werte aufwiesen. Diese Reduzierung war nicht signifikant bei den Aminosäuren Methionin, Tryptophan und Arginin jedoch signifikant bei Cystin, Threonin ($p < 0,05$) Isoleucin, Leucin ($p < 0,01$) und hochsignifikant bei Lysin ($p < 0,001$). SMITH (1995) stellte keine Veränderungen hinsichtlich der Parameter Proteinverdaulichkeit und AMEn im expandierten Futter gegenüber pelletiertem Futter fest.

2.3 Zusatz von antimikrobiellen Wachstumsförderern

Antibiotika werden seit den 50er Jahren als Leistungsförderer in der Tierernährung eingesetzt. Diese Additive (Produkte des Mikrobenstoffwechsels) hatten nutritive Effekte auf die Leistungen der Nutztiere gezeigt und gleichzeitig einen stabileren Gesundheitsstatus der Tiere bewirkt. Seitdem fanden diese Zusatzstoffe zunehmende Anwendung in der Tierernährung. Es wurden verschiedene Generationen von Fütterungsantibiotika innerhalb der letzten 50 Jahre, angefangen mit Penicillin, Streptomycin (erste Generation) über Zink-Bacitracin, Virginiamycin und Flavomycin (zweite Generation) bis zu Monensin und Salinomycin (dritte Generation) benutzt (MEIXNER und FLACHOWSKY, 1990). Der Gebrauch von Antibiotika als

Wachstumsförderer hat später weltweit nachgelassen (GROPP, 1986). Aufgrund der Risiken durch eine mögliche Bildung von Rückständen in tierischen Produkten und eine dadurch mögliche Resistenzentwicklung beim Menschen wurden Tetrazykline im Jahr 1970 als Futterzusatzstoffe verboten. Es erfolgte ein totales Verbot von antimikrobiellen Wachstumsförderern seit 1986 in Schweden. Hinweise auf eine mögliche Förderung einer Vancomycin-Resistenz gegenüber humanpathogenen Mikroorganismen führten zum Verbot des Antibiotikums Avoparcin 1996. Gegenwärtig sind nur 4 verschiedene Wachstumsförderer in der Europäischen Union zugelassen (KAMPHUES und HEBELER, 1999; FLACHOWSKY und KAMPHUES, 1999) und auch deren Einsatz wird zunehmend kritisch gesehen.

2.3.1 Wirkungsmechanismen antimikrobieller Wachstumsförderer

Durch den Einsatz von antimikrobiellen Wachstumsförderern wurden die Leistungsparameter der Nutztiere (Futtermittelverzehr, Lebendmassezunahme und Futtermittelverwertung) signifikant verbessert und die Mortalität verringert bzw. eingeschränkt (GROPP, 1986; FLACHOWSKY et al., 1994). Dieser Leistungsanstieg steht in enger Verbindung mit dem Wirkungsprinzip der Antibiotika. Es ist bekannt, dass Antibiotika *in vitro* das Wachstum bzw. die Vermehrung von verschiedenen Mikroben verhindern. FLACHOWSKY (1995) fasste die Angriffspunkte der antimikrobiellen Wachstumsförderer (Antibiotika) auf die Mikrobenzellen wie folgt zusammen:

- Hemmung der Zellwandbiosynthese (Bacitracin, Penicillin)
- Störung der Durchlässigkeit (Streptomycin)
- Hemmung der Proteinsynthese (Kormogrisin, Virginiamycin, Tylosin)
- Störung des Nucleinsäurestoffwechsels (Actinomycin).

Die Wirkungsprinzipien von antimikrobiellen Wachstumsförderern wurden für die Nutztiere zahlreich beschrieben (z. B. HENNIG, 1972; MENKE, 1973; VISEK, 1978, WARSTAT, 1979; STUTZ und JOHNSON, 1976; GROPP, 1986; KIEZMANN, 1986; GREIFE und BERSCHAUER, 1988; MEIXNER und FLACHOWSKY, 1990; MEIXNER, 1991, KAMPHUES, 1997; KAMPHUES und HEBELER, 1999). Diese Wirkungsprinzipien werden nachfolgend kurz zusammengefasst.

Unmittelbar postnatal und ausgelöst durch Umwelt- und Futterkontakte siedeln sich verschiedene Keime im Verdauungstrakt der Tiere an. Die Zusammensetzung der Keime und ihre Aktivität im Darm hängt mit der Umgebung, Haltung (Hygiene, Stress) und Ernährung zusammen. Unter Stressbedingungen kann es zu einer besonders raschen

Vermehrung von pathogenen Keimen (*E. coli*, *Clostridien*) kommen, die einerseits mit dem Wirtstier um Nährstoffe konkurrieren und andererseits negative Auswirkungen durch die Bildung von Toxinen haben können (VISEK, 1978).

FULLER und TURVEY (1971) und FORD (1974) stellten fest, dass keimfreie Tiere schneller als konventionell gehaltene, keimbesiedelte Tiere wachsen. Das deutet darauf hin, dass das Wachstum der konventionellen Tiere u.a. durch die Aktivität der Darmflora eingeschränkt wurde. Das Wirkungsprinzip bezieht sich auf einen Darmfloraeffekt einerseits und Effekte im intermediären Stoffwechsel andererseits (Darmflora-Effekt, Intermediär-Effekt nach GROPP, 1986) bzw. Primär-/Sekundäreffekt nach MEIXNER und FLACHOWSKY (1990) und KAMPHUES (1997). Bei der Darmflora wird der Effekt des Antibiotikums nur auf den Verdauungstrakt begrenzt. Dabei wird die gewünschte Darmflora stabilisiert, indem pathogene Keime zurückgedrängt werden. Die Intermediäreffekte beziehen sich auf die Wirkungen von Abbau- und Umbauvorgängen im Zwischenstoffwechsel. Zu den Sekundäreffekten am Verdauungskanal gehören nach KAMPHUES (1997) die Verminderung der Darmwandstärke, Erhöhung der Aktivität darmwandständiger Enzyme und Erhöhung der Lebensdauer von Epithelzellen der Mukosa. Effekte der Wachstumsförderer außerhalb des Intestinaltraktes sind z. B. eine geringere Belastung der Leber mit mikrobiellen Metaboliten (z. B. Ammoniak) sowie geringere Energie- und Nährstoffausscheidungen über die Exkrememente. SMITH (1993) hat die wichtigsten Wirkungsmechanismen von antimikrobiellen Wachstumsförderern wie folgt zusammengefasst:

- Unterdrückung pathogener Mikroorganismen
- Änderungen der metabolischen Aktivitäten der Darmflora
- Senkung der Produktion von schädlichen Mikrobenmetaboliten (z.B. geringere Konzentrationen von Ammoniak, Aminen und Milchsäure)
- Herabsetzung des Verbrauches absorbierbarer Nährstoffe im Darm
- Förderung der intestinalen Absorptionskapazität.

GREIFE und BERSCHAUER (1988) erwähnten, dass der Effekt der Wachstumsförderer und die daraus resultierende Leistung hauptsächlich von folgenden Faktoren abhängt:

Substanz: Art, Wirkungsweise, Dauer der Verabreichung und Dosishöhe

Tier: Art, Alter bzw. Lebendmasse, Rasse, Geschlecht, Leistungsrichtung und Gesundheitsstatus

Fütterung: Rationszusammensetzung, Fütterungsintensität, Versorgung mit

einzelnen Nährstoffen

Umwelt: Klima, Haltungs- und Hygienebedingungen.

2.3.2 Zur Wirkung von Zink-Bacitracin

Zink-Bacitracin ist ein Antibiotikum, das mehr als 40 Jahre als effektiver Leistungsförderer bei Broilern, Legehennen, Puten, Lämmern und Ferkeln verwendet wurde. Erst seit dem 01. 07. 1999 ist sein Einsatz in der Europäischen Union nicht mehr möglich. Das Wirkungsspektrum von Zink-Bacitracin war beschränkt auf grampositive Bakterien, wie *Clostridien*, *Streptokokken* und *Staphylokokken*. Versuche zeigten, dass sich bei Zugaben von Zink-Bacitracin die Zahl von *Clostridium perfringens* im Darm der Tiere verringerte (STUTZ und JUDITH, 1976; STUTZ et al., 1983a, 1983b 1983c; STUTZ und LAWTAN, 1984). Dieses Antibiotikum ist nach oralen Gaben beim Menschen kaum resorbierbar, bei Hund, Kaninchen und Meerschweinchen gar nicht (SCHMID, 1965). Eine mögliche Resorption von Zink-Bacitracin im Geflügeldarm, Rückstandsbildung bei Tierprodukten (Fleisch und Eier) sowie eine Resistenzentwicklung scheint ausgeschlossen.

Zink-Bacitracin führt nicht zur Entwicklung übertragbarer Resistenzen. Im Gegenteil verhindert Zink-Bacitracin solch eine Resistenzübertragbarkeit zwischen den Bakterien (BERNTSEN und PEDERSEN, 1996). Die Übertragung einer Bacitracin-Resistenz über Plasmide oder andere genetische Elemente wurde nicht beobachtet. Zink-Bacitracin wird in kurzer Zeit und bei 20 - 25 C° in der Umwelt zu unschädlichen Substanzen abgebaut.

Zahlreiche Versuche zeigten, dass durch geringere Gaben von Zink-Bacitracin (50 mg/kg Futter) in das Geflügelfutter die Leistungen generell erhöht werden sowie der Gesundheitsstatus der Tiere stabilisiert wird.

Bei verschiedenen Einzelversuchen (87 Versuche) mit etwa 170000 männlichen und weiblichen Broilern unter unterschiedlichen Haltungsbedingungen haben KIRCHGESSNER und SPOERL (1977) eine signifikante Verbesserung von Wachstum und Futtermittelverwertung (durchschnittlich 2,5 - 3,5 %) durch unterschiedliche Zink-Bacitracin-Dosierungen (4 - 120 ppm) festgestellt. Unter praxisnahen Bedingungen zeigten MEIXNER und FLACHOWSKY (1990) bei Broilerversuchen eine Verbesserung der Lebendmassezunahme von 2 % und einen günstigeren Futteraufwand von 1 % durch Zulage von 40 mg Zink-Bacitracin/kg Futter.

Bei höheren Umgebungstemperaturen verringern die Tier ihre Leistungen signifikant (als Reaktion auf eine Stress-Situation). MÄNNER (1993) stellte fest, dass bei der Zulage von 50 mg Zink-Bacitracin/kg Futter die Leistung der Versuchstiere gegenüber un-supplementierten Tieren signifikant höher lag. Er begründete diese Leistungsverbesserung damit, dass es einen nutritiven Effekt durch das Antibiotikum gibt, der mit einer verbesserten Effizienz des Energieumsatzes zusammenhängt. Aus den Ergebnissen von SCHURZ (1997) lässt sich erkennen, dass die Zulage von Zink-Bacitracin auf die Leistungsparameter von Broilern in Abhängigkeit von der Getreideart und Dosierung unterschiedliche Effekte zeigt. Die Tiere der Weizenrationen haben tendenziell weniger Futter verzehrt. Dieser Effekt war in der Mastphase (Mastfutter) deutlich verstärkt. Dagegen zeigten die Tiere der Gerstenrationen einen signifikant höheren Futtermittelverzehr (4,4 - 6,8 %). Das Mastendgewicht bei den Tieren mit Weizenrationen verbesserte sich um 1,9 % bis 3,1 %, während es bei den Gerstenrationen 3,9 % bis 6,5 % erreichte. Eine signifikante ($p < 0,05$) Erhöhung des Mastendgewichts der Tiere bei Weizenfütterung mit 50 mg Zink-Bacitracin/kg Futter im Vergleich zur Kontrollgruppe (0) wurde beobachtet. Der Futteraufwand verbesserte sich bei den Weizenversuchen signifikant um 2 % bis 4 %, während beim Gersteneinsatz nur in der Startphase signifikante Einflüsse von Zink-Bacitracin zu sehen waren. Weitere Berichte über Zink-Bacitracineffekte in der Broilerernährung sind z. B. bei JOHNSTON und ARSCOTT (1974), STUTZ et al. (1983a, 1983b, 1983c), STUTZ und LAWTON (1984), IZAT et al. (1986), WALDROUP und IZAT (1990), DAMRON und WILSON (1991), ABDULRAHIM et al. (1999) zu finden.

Durch antimikrobielle Wachstumsförderer sind die Futternährstoffe für Broiler besser verfügbar und werden effizienter umgesetzt (MARCH et al., 1978; HARNISCH et al., 1981; BARTOV, 1992). Bei Versuchen von BEE et al. (1998) zur Bestimmung des N- und Energieumsatzes unter dem Einfluss von Antibiotika oder Enzymen oder deren Kombination bei Rationen auf Gerste/Mais-Basis stellten sie fest, dass die Antibiotikumzulage allein (Zink-Bacitracin) auf die Energie- und N-Verwertung gegenüber der Kontrollgruppe (ohne Zusatz) keine signifikanten Einflüsse zeigte. Bei Broilerversuchen mit Weizenfutter (45 % Weizen in der Ration) wurden durch Zink-Bacitracin-Zulagen bei niedrigeren (20 mg/kg Futter) oder höheren (50 mg/kg) Dosierungen die N-Retention (2,6 % und 5,3 %), ME_N (1,5 % und 3,6 %), Fettverdauung (3,5 % und 6,8 %) gegenüber der Kontrolle signifikant ($p < 0,05$) erhöht. Diese erhöhte N-Retention ist durch eine verbesserte N-Verwertung zu begründen (HUYGHEBAERT und

DE GROOTE, 1997). Die durchschnittliche Verwertung von Aminosäuren wurde durch eine Zink-Bacitracin-Supplementierung um etwa 2,1 % (von 1,4 bis 3,3 %) verbessert (HUYGHEBAERT und DE GROOTE, 1997). Versuche mit Weizenfutter zeigten durch Zink-Bacitracin-Zusatz keine deutliche Veränderung der Energieumsetzbarkeit. Demgegenüber wurde bei einem Starterfutter mit Gerste ein Anstieg des MEn um 2,2 % beobachtet (SCHURZ, 1997). Der Autor stellte in der gleichen Arbeit bezüglich der N-Umsetzung (N-Bilanz und PEW) keine einheitlichen Effekte von Zink-Bacitracin fest.

2.4 Zusatz von NSP-spaltenden Enzymen

2.4.1 NSP-Verbindungen und ihr antinutritiver Einfluss

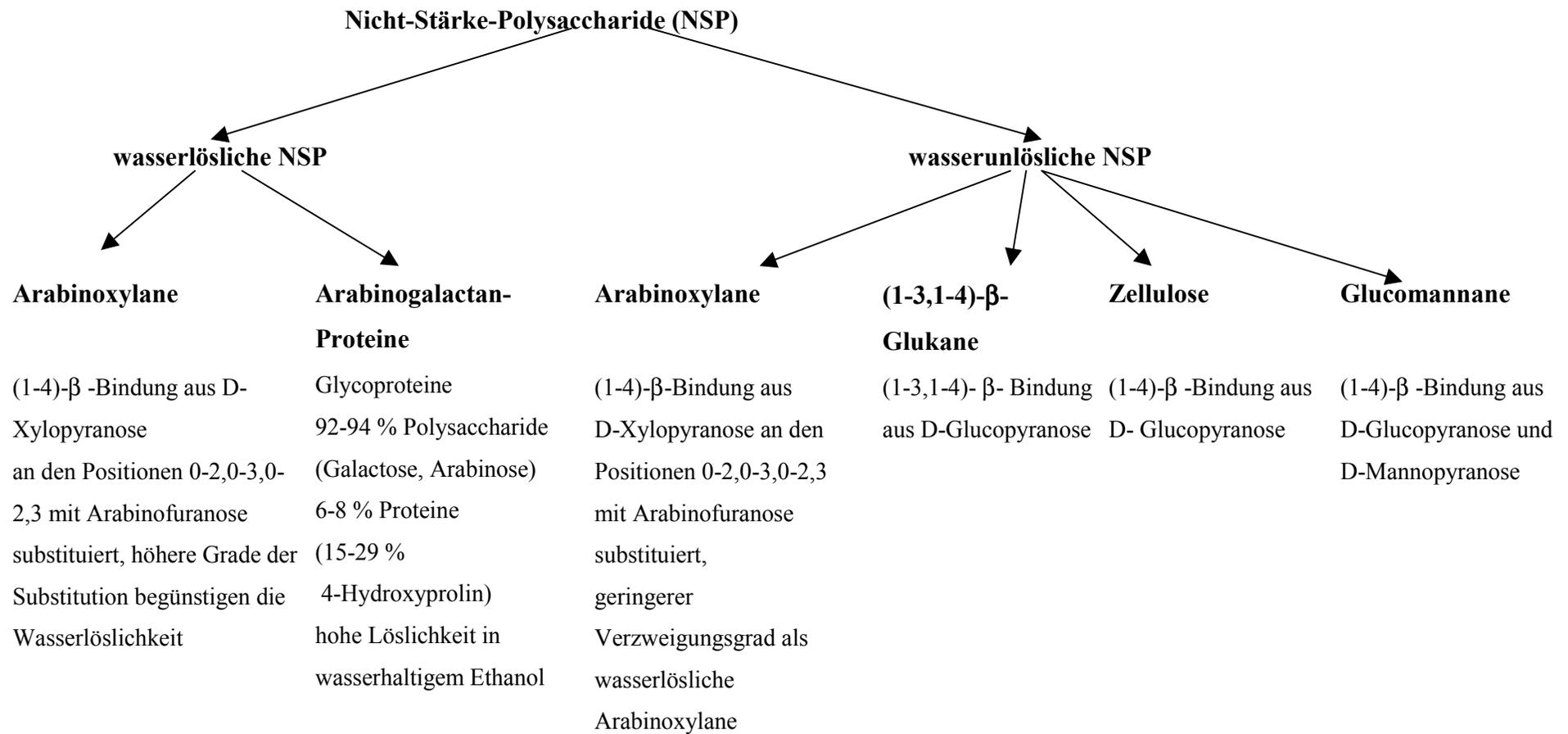
Getreide ist eine sehr wichtige Komponente bei der Ernährung des Geflügels. Verschiedene Getreidearten können aber bestimmte Kohlenhydratverbindungen (Zellwandkohlenhydrate) enthalten, die antinutritiv wirken und als „Nichtstärkepolysaccharide“ (NSP) bezeichnet werden. Sie bestehen aus Polymeren, die nicht verdaulich sind, weil die Monogastriden die erforderlichen Enzyme zum Abbau solcher Gerüstsubstanzen nicht bilden können. Daraus folgt eine Beeinträchtigung der Verdauungs- und Resorptionsprozesse, Verminderung der Futteraufnahme und hohe mikrobielle Besiedlung im Darm. MURRAY et al. (1977) stellten fest, dass die NSP-Fraktion in Futtermitteln die Darmviskosität erhöht. Dadurch wird die Verdaulichkeit von Proteinen und Aminosäuren reduziert.

Die NSP-Verbindungen besitzen ein hohes Quell- und Wasserbindungsvermögen und verursachen daher eine höhere Viskosität der Digesta (JEROCH, 1991). Die NSP-Gehalte unterscheiden sich zwischen den Getreidearten.

Zu den NSP gehören vor allem die (1-3), (1-4) β -D-Glukane sowie Pentosane, die insbesondere im Korn von Gerste, Roggen und Weizen vorhanden sind. Sie sind vor allem in den Zellwänden des Stärkeendosperms zu finden. (1-3), (1-4)-Glukane sind aus β -glukosidisch verknüpften Glukosemolekülen aufgebaut und weisen neben den 1-4 Bindungen zusätzliche 1-3 Bindungen auf. Diese sind besonders für eine starke Verzweigung der β -Glukane und für eine mögliche Wassereinlagerung (Quellung) und damit auch für den antinutritiven Effekt verantwortlich. Daneben haben die Pentosane eine antinutritive Wirkung. Die Pentosane bestehen hauptsächlich aus (1-4)- β -Xylanketten

(Hauptkette) und Arabinose-Einheiten als Nebenkette. Sie werden Arabinoxylane (AX) genannt (Übersicht 1). Die Arabinoxylane und β -Glukane sind in der Aleuronschicht beim Weizen dominant, Arabinoxylane und Cellulose in der Zellwand von Schalen (WISEMAN und INBORR, 1990; JEROCH, 1991; CHOCT, 1997). THEANDER et al. (1989) haben festgestellt, dass die Endospermzellwand von Weizen Arabinoxylane als Hauptbestandteil der Polysaccharide enthält. Ein Teil davon ist wasserlöslich. Diese Arabinoxylan-Gehalte sind höher bei Weizenkörnern (66 g/kg) als bei den anderen Getreidearten, z. B. Gerste (56,9 g/kg). Der Futterwert von Weizen ist mit der löslichen Menge von Arabinoxylanen verbunden aber unabhängig von der unlöslichen Menge (ANNISON, 1991). Der NSP-Gehalt des Getreides hängt von verschiedenen Faktoren wie Art der Sorten, Standortbedingungen, klimatische Bedingungen und Lagerung ab (BROZ, 1993a; 1993b). Insbesondere bei jungen Tieren (Küken) haben Futtermischungen mit Getreide (z. B. Weizen, Gerste, Roggen) negative Wirkungen. Zu diesen Wirkungen zählen u. a. Minderleistung, gesundheitliche Störungen und klebrige Exkremate (JEROCH, 1991). ALMIRALL et al. (1993, 1995) berichten, dass die Tierleistung mit Gerstenrationen signifikant ($p \leq 0,001$) im Vergleich zu Tieren mit Maisrationen reduziert ist. CHOCT und ANNISON (1990a) und CHOCT et al. (1996) stellten fest, dass bei einer Sorghummischung mit hohem Anteil an Pentosanen (41,9 g/kg) die Broilerleistungen und Futterverwertung reduziert wurden. Bei der Ration mit hohem Anteil an Pentosanen wurde die niedrigste AME von 14,53 MJ/kg im Vergleich zur Kontrolle mit 16,13 MJ/kg TS berechnet. Die Broilerleistungen wurden dadurch signifikant negativ beeinflusst. In einer anderen Arbeit berichten CHOCT und ANNISON (1992b) von ähnlichen Ergebnissen. Hierbei wurde durch Zugabe von extrahierten Weizenpentosanen von etwa 40 g je kg Broilerdiät eine signifikante ($p < 0,001$) Verringerung der scheinbar umsetzbaren Energie (AME), der Leistung und der Futterverwertung sowie schlechtere N-Verdaulichkeiten beobachtet. Die Abnahme der Energieumsetzbarkeit (AME) ist in Verbindung mit der Konzentrationszunahme an NSP und der niedrigen umsetzbaren Energie der untersuchten Getreidearten zu sehen.

Übersicht 1: NSP in Weizen (nach KLUGE et al. 1997)



Diese Leistungsdepressionen werden durch die antinutritiven NSP-Verbindungen in den Broilerrationen verursacht. Die NSP kapseln die Nährstoffe ein und bilden eine Barriere für die endogenen Enzyme (Käfigeffekt). Dadurch werden hochverdauliche Nährstoffe wie z.B. Protein, Stärke und Fett nicht verfügbar. HESSELMAN und AMAN (1986) berichteten, dass die β -Glukane die Hauptbestandteile in der Zellwand des Endosperms und der proteinreichen Aleuronschicht sind. Diese β -Glukane stellen ein physikalisches Hindernis für die Hydrolyse und Absorption von Nährstoffen dar. Die löslichen Anteile von Pentosanen sowie β -Glukanen und anderen löslichen NSP-Fraktionen erhöhen die Digestaviskosität. Die NSP-Verbindungen verursachen durch den viskosen und klebrigen Darminhalt eine schlechtere Durchmischung des Digestabreies mit körpereigenen Enzymen und verlangsamen die Diffusion von Substraten. Dadurch wird die Nährstoffverdauung und -absorption verschlechtert. Es werden die Fettmicellen durch die Viskosität in ihrer Beweglichkeit behindert. Die Fettverdaulichkeit wird am stärksten beeinträchtigt. Durch eine verlangsamte Digestapassage (wegen hoher Viskosität) kann es zu einer Verschiebung des Artenspektrums der Darmmikroben und einer Erhöhung der pathogenen Keimzahl im Verdauungstrakt der Tiere kommen (CLASSEN und BEDFORD, 1991; BEDFORD und MORGAN, 1996; SIMON, 1997; VAHJEN et al., 1998)

2.4.2 NSP-spaltende Enzyme und ihr Wirkungsprinzip

NSP-spaltende Enzyme

Bei NSP-spaltenden Enzymen handelt es sich um komplexe, dreidimensionale Proteine, die die Fähigkeit besitzen, ganz bestimmte Substrate oder chemische Verbindungen, in diesem Fall „Nichtstärkepolysaccharide“ (Polymere), die unverdaulich im Intestinum von Monogastriden sind, in kleine absorbierbare Bruchstücke abzuspalten. Es sind glycosid-spaltende Hydrolasen (E.C.3.2.1). Sie werden nach dem Ort des Angriffs in Endo- (innen) und Exo- (außen) Enzyme sowie nach der Art der gespaltenen Substrate (Polysaccharide) in β -Glukanasen und Xylanasen eingeteilt. Jedes Enzym spaltet bestimmte oder spezifische Verbindungen. Endo- β -Glukanasen können Cellulasen sein und die 1-4- β -glycosidischen Bindungen bei der Cellulose oder in β -Glukane abbauen oder es sind β -Glukanasen, die nur 1-3,1-4 - β -glycosidische Bindungen in β -Glukane spalten (HABERER, 1997). Die gebräuchlichsten NSP-Hydrolasen in der Tierernährung sind (E.C. 3.2.1.4) Cellulase (1,4

β -D-Glukanase), (E.C.3.2.1.6) (β -Glukanase) (1,3-1,4 β -D-Glukanase) und Xylanase (E.C.3.2.1.8) (1,3-1,4- β -D-Xylanase).

Die NSP-spaltenden Enzyme müssen als Futterzusatzstoffe verschiedene Qualitätseigenschaften aufweisen :

1. Hohe Thermostabilität. Das ist besonders wichtig für die Futterbehandlung beim Geflügel. Das Enzym darf bei kurzer Hitzebehandlung bis 70 °C nicht inaktiviert werden.
2. Die Enzymaktivität muss bei saurem pH eine hohe pH-Stabilität aufweisen. Der optimale pH-Wert für die Enzymaktivität liegt in dem Bereich von 3,5 - 5,5 (McNAB, 1993).
3. Es darf keine Toxine enthalten (SIMON et al., 1993).

Die Enzyme werden von verschiedenen Mikroorganismen produziert. Die NSP-spaltenden Enzyme werden zum größten Teil aus Pilzen hergestellt, nur zum kleinen Teil aus Bakterien-Populationen. Zu den wichtigsten Pilzgattungen gehören *Aspergillus ssp.*, z. B. *A. niger*, *Penicillium ssp.*, *Humicola ssp.*, z. B. *H. insolens* sowie *Trichoderma ssp.*, z. B. *T. longibrachiatum*. Aus der Gruppe der Bakterien sind für die Tierernährung *Bacillus ssp.* von größerer Bedeutung. Die Aktivitäten der Enzyme sind unterschiedlich und abhängig vom Anwendungszweck (s. Tab. 3). Die Zusatzhöhe der Enzympräparate variiert von 0,03 - 1kg/Tonne, je nach der Konzentration der Enzymaktivität in dem kommerziellen Produkt (SPRING und GADIENT, 1997). DÄNICKE et al. (1999a) beschreiben eine Reihe von Faktoren, die die Aktivität von NSP-spaltenden Enzymen bei der Futterdiät für Geflügel und Schweine beeinflussen.

Tab. 3: Einsatzmöglichkeiten verschiedener Enzyme in unterschiedlichen Basisrationen (SPRING and GADIENT 1997)

Enzym	Anwendungsziel
β -Glukanase	Gerste-Roggen-Basisdiät
Xylanase	Weizen-Basisdiät
Cellulase	Diät mit Proteinquellen
α -D-Galaktosidase	Sojabohnen-Basisdiät
Phytase	Getreide-Basis-Diät (Phosphorfreisetzung)
Protease	Proteinreiche Rationen

Wirkungsprinzip

Die Aktivitäten der körpereigenen Enzyme sind im Magen (hauptsächlich Proteinabbau) und im Dünndarm (Proteine, Kohlenhydrate und Lipide) zu finden. Aufgrund des kürzeren Aufenthalts der Nahrung und des niedrigen pH-Wertes im Magen liegt die Hauptaktivität der supplementierten Enzyme im vorderen Teil des Dünndarms (WENK, 1993).

Unter Berücksichtigung der Zusammensetzung der NSP-Verbindungen und ihres negativen Effektes auf die Tiere hat man die Wirkungsprinzipien von NSP-spaltenden Enzymen zu folgenden Punkten zusammengefasst (PUGH, 1993; MÜLLER, 1993; HABERER, 1997; HABERER und SCHULZ, 1998; SIMON, 1993; 1998):

- Reduzierung der Digestivviskosität durch Abbau von viskositätssteigernden Substraten, wie lösliche β -Glukane und Pentosane. Die NSP-Enzyme spalten NSP-Verbindungen in kleine Bruchteile, dadurch verlieren sie ihre Fähigkeit, Wasser zwischen ihren Molekülen einzulagern. Der Darminhalt wird weniger viskos und klebrig. Es erfolgt eine bessere Vermischung des Nahrungsbreis im Verdauungskanal, damit wird die Wirksamkeit der körpereigenen Enzyme erhöht. Die Konvektion des Darminhaltes wird durch Kontraktion verbessert, der Kontakt zu den Enterozyten wird leicht erhöht. Damit wird die Nährstoffverdaulichkeit sowie die Umsetzbarkeit der Energie des Futters gesteigert (CHOCT, 1997). CHESSEN (1993) führte aus, dass die Reduzierung der Viskosität im Darm durch die Supplementierung eines Enzyms mit einer einzigen Aktivität erfolgen kann.

- Die Freisetzung der eingeschlossenen Nährstoffe. Hierbei werden die Zellwandstrukturen des Getreides aufgespaltet und der Käfigeffekt wird aufgehoben. Damit werden Nährstoffe wie Stärke, Protein und Fette zur Verdauung und Absorption verfügbar gemacht. Dazu sind Endo-Enzyme am besten geeignet, da sie in kurzer Zeit komplexe Strukturen von innen heraus aufbrechen und zu einem schnellen Kontakt zwischen Enzym und Substrat führen. Multi-Enzym-Präparate werden dabei benötigt, die eine hohe Enzymaktivität besitzen und damit eine teilweise oder vollständige Freisetzung der Zellwandnährstoffe bewirken (CHESSEN, 1993).

- Freisetzung anderer Nährstoffe. In den Zellwänden der Pflanzen sind außer NSP verschiedene Mineralstoffe in komplexen Verbindungen vorhanden. Durch die NSP-spaltenden Enzyme werden diese gebundenen Nährstoffe freigesetzt, so dass als Begleiteffekt dieser Enzyme die Verdaulichkeit verschiedener Mineralien (z. B. Ca, Mg und Zn) verbessert werden kann.

Durch NSP-spaltende Enzyme kann auch die Mikroflora im Verdauungstrakt beeinflusst werden. Nach VAHJEN und SIMON (1997) verringerte der Zusatz von NSP-spaltenden Enzymen bei Broilern das Wachstum von Bakterien und veränderte das Artenspektrum im Darmlumen. In den ersten Lebenswochen werden besonders pathogene Enterokokken in ihrer Entwicklung gehemmt. Das entspricht auch den Forschungsergebnissen von HOCK et al. (1997a,b). Durch die Supplementierung mit dem Enzym Xylanase wird ein niedrigerer Keimbesatz im Dünndarm erreicht. Dabei wurden in erster Linie pathogene Mikroben wie *Streptococcus faecalis*, *Str. faecum* und *E. coli* in ihrem Wachstum gehemmt. Ein Xylanase-Zusatz führte nach der Arbeit von VAHJEN et al. (1998) zu signifikant niedrigeren Gesamtkeimzahlen an Enterobakterien und gram-positiven Kokken im Darm in den ersten 3 Lebenswochen von Broilern.

2.4.3 Einfluss von NSP- spaltenden Enzymen auf Leistungsparameter

Der antinutritive Effekt von Nichtstärkepolysacchariden kann durch NSP-spaltende Enzyme völlig oder teilweise behoben werden. In diesem Zusammenhang wurden seit Jahren mit verschiedenen Enzympräparaten Untersuchungen mit Broilern durchgeführt. Diese Forschungsergebnisse (DIERICK, 1989) haben seit Anfang der 70 -er Jahre gezeigt, dass durch den Zusatz von α -Amylase zu Gerstenmischungen die Parameter Wachstum und Futtermittelverwertung um 12,2 % bzw. 6,6 % verbessert werden konnten. Hierbei wurde festgestellt, dass die Leistungsverbesserung wahrscheinlich durch eine andere

Enzymaktivität, der β -Glukanase, die im Enzympräparat enthalten war, verursacht wurde. Denn bei einer reinen α -Amylase-Zulage zu einer Gerstendiät konnte keine Leistungsverbesserung erzielt werden (DIERICK, 1989). Zahlreiche Studien (z. B. PETERSSON et al., 1988; CHESSEN, 1993; SCHUTTE et al., 1993; VELDMAN et al., 1993; KLÜNTER et al., 1997) berichteten über die Verbesserung des Futterwertes von Getreide mit Minderqualität (hohe NSP-Gehalte) durch Zufuhr von NSP-spaltenden Enzympräparaten.

Nach BROZ (1993a) hat der Enzymzusatz folgende Einflüsse:

- Reduzierung der Digestivviskosität im Verdauungstrakt
- Erhöhung der Umsetzbarkeit der Energie
- Erhöhung der Nährstoffretention
- Verbesserung der Futterverwertung
- Erhöhung der Wachstumsrate und Futterraufnahme
- Reduzierung von klebrigen und wasserreicheren Exkrementen (Sticky droppings).

Wachstumsparameter

HESSELMAN und AMAN (1986) fanden bei einer Supplementation von β -Glukanase zu Gerstenmischungen eine Erhöhung der Futterraufnahme, der Körpermasse sowie Verbesserung der Futterverwertung. Die Wirkung von NSP-spaltenden Enzymen war in den ersten 3 Lebenswochen am höchsten. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Tiere in diesem Lebensalter noch keine vollständig entwickelte Darmflora haben (DIERICK, 1989). Durch die Zuführung von NSP-spaltenden Enzymen mit verschiedenen Aktivitäten wie Glukanasen, Pentosanasen und Xylanasen zu einer Diätmischung aus Gerste, Weizen oder Roggen wurde im allgemeinen bei verschiedenen Geflügelarten die Lebendmasse numerisch oder signifikant erhöht und der Futteraufwand signifikant verbessert (JEROCH, 1991). Bei Zulage von NSP-spaltenden Enzymen (Roxazyme GI und GII) zu Weizenrationen wurde die Lebendmasse um 3 % erhöht und der Futteraufwand um 2 – 4 % gesenkt (JEROCH et al., 1993). Bei Xylanase-Zulage zu Weizendiäten wurde die Lebendmasse um 0,2 - 2,5 % und der Futterverzehr um 2,2 - 2,9 % verbessert (VELDMAN et al., 1993). KLÜNTER et al. (1995, 1997) erzielten durch die Enzymzulage von Roxazyme G2 zu einer Weizendiät eine signifikant (3,9 %) verbesserte Futterverwertung. HOCK et al. (1997b) beobachteten durch die Enzymsupplementierung mit Xylanase auf eine Weizenbasisdiät ebenfalls eine signifikante Verbesserung der

Leistungen (Körpermasse +4,8 % und Futteraufwand –6,6 %). Der Futtermittelverzehr der Versuchstiere (42. LT) verringerte sich numerisch gegenüber den Kontrolltieren (ohne Enzymzusatz; s. Tab. 4). Dieses Ergebnis stimmt mit einer Vielzahl von Literaturresultaten überein (z. B. PETTERSSON und AMAN, 1988; DIERICK, 1989; BROZ und FRIGG, 1990; FRIESEN et al., 1992; MARQUARDT et al., 1993; BROZ und PERIN-VOLZ, 1994; BROZ et al., 1994; ALMIRALL et al., 1995; JAMROZ et al., 1996a; 1996b). In Tab. 4 sind weitere Ergebnisse verschiedener Forschungsarbeiten zum Einfluss der Zulage von NSP-spaltenden Enzymen zu Weizendiäten auf die Wachstumsleistung von Broilern dargestellt. Aus dieser Tab. sind Verbesserungen der Lebendmasse (bis +12,6 %) und des Futteraufwands (bis –8 %) durch Enzymzusätze deutlich zu sehen. MÜLLER (1993) berichtet, dass ein Zusatz von Xylanase und β -Glukanase zu einer Diät mit 58 % Weizen keinen signifikanten Einfluss auf das Wachstum hat. McCracken et al. (1994, 1995) und ALLEN et al. (1996) beobachteten keinen signifikanten Effekt von NSP-spaltenden Enzymen auf den Futtermittelverzehr und die Lebendmassezunahme. Dagegen wurde die Futtermittelverwertung signifikant um 5 % (MÜLLER, 1993) oder um 3 % (ALLEN et al., 1996) verbessert. Das entspricht den Ergebnissen von BROZ und FRIGG (1986) und SCHUTTE et al. (1993).

Insgesamt kann der Tab. 4 entnommen werden, dass in der Regel positive Effekte beim Einsatz von NSP-spaltenden Enzymen zu Weizenrationen zu erwarten sind.

Tab. 4: Einfluss von NSP-spaltenden Enzymen auf die Leistungsparameter von Broilern (Rationen auf Weizenbasis)

Weizenanteil (%)	Dosis (mg/kg)	Enzymhauptaktivität	Enzymzusatz	Versuchsdauer (d)	Lebendmasse (g)	FV (g)	FA		Quelle		
							g/g	%**			
Weizen (57)	800	β -Glukanase Pentosanase	- +	34	1310 1347	2377 2430	1,82 1,81	-0,5	PETTERSSON und AMAN (1988)		
Weizen (50)		Xylanase	-	0-43	1845		1,85		VELDMAN et al. (1993)		
			+		1891		1,83			-1,1	
			-	1815	1,85		-3,2				
			+	1853	1,79						
			-	0-41	2069					1,80	
			+		2074					1,77	-1,7
			-		2048					1,84	
+	2057	1,80	-2,2								
Weizen (67)		Cellulase Xylanase	- +	14	99 108	212 226	2,15 2,07	-3,7	MARQUADT et al. (1993)		
Weizen (50)	30	Xylanase	- +	6-29	977 991	1702 1697	1,74 1,71	-1,7	SCHUTTE et al. (1993)		
Weizen (61)	150	β -Glukanase Xylanase	- +	1-35	1739 1779	3035 2967	1,84 1,78	-3,3	JEROCH et al. (1993)		
Weizen (64)	100	Xylanase	- +	8-22	704 713	1065 1043	1,51 1,46	-3,3	KLÜNTER et al. (1997)		
Weizen (50) ¹ pentosanreich	300	Xylanase	- +	42	2118 2217	4079 4011	1,97 1,84	-6,6	HOCK et al. (1997b)		

*von 0-3. Lebenswoche Starter mit 65 % und 3.-6. mit 74,6 % Weizen

** Verringerung des Futteraufwands gegenüber der unsupplementierten Gruppe

- ohne Enzym, + mit Enzym

¹) 1,71 % lösliche Pentosan

Nährstoffverdaulichkeit und N-Retention

Nach BROZ (1993a, 1993b) wird die scheinbare Verdaulichkeit von Stärke und Lipiden bei Broilern mit Zulage von Xylanase zu Rationen auf der Basis von Gerste, Roggen und Hafer verbessert. Die Enzymzulage beeinflusst auch die Proteinverwertung positiv. Die N-Retention wurde bei Broilern mit einer Gerstendiät signifikant erhöht. FRIESEN et al. (1992) berichten, dass die Enzymzulage zu verschiedenen Getreiderationen die Nährstoffverdaulichkeit bei Broilern steigert. Diese Zunahme ist mit dem Getreideanteil in der Gesamtration korreliert. Sie bewiesen, dass bei einer Enzymzulage zu einer Mischung mit 35 % Gerste die Proteinverdaulichkeit um 20 % erhöht wurde, während sie bei 70 % Gerste nur um 11 % zunahm.

CHOCT et al. (1995) fanden eine Verbesserung der Stärkeverdaulichkeit bei Einsatz von NSP-spaltenden Enzymen. Die Wirkung war hochsignifikant bei Weizen mit niedrigerem Gehalt an umsetzbarer Energie, aber nicht signifikant bei Weizenmischungen mit hohem Gehalt an umsetzbarer Energie. Die Proteinverdaulichkeit bei diesen Versuchen stieg nur numerisch von 69% auf 74%.

Bei Vergleichsversuchen von ALMIRALL et al. (1995) mit Broilern und einer Gerstendiät ohne und mit β -Glukanasezusatz wurde festgestellt, dass Broiler ohne Enzymzulage eine signifikant ($P < 0,05$) niedrigere ileale Nährstoffverdaulichkeit (Stärke, Protein und Fett) aufwiesen, als Broiler mit β -Glukanasezusatz. Die ileale AS-Verdaulichkeit zeigte keine signifikanten Unterschiede, außer bei Asparaginsäure. ALMIRALL et al. (1993) berichten, dass ein β -Glukanasezusatz bei Gerstenrationen die ileale Nährstoffverdaulichkeit verbessert, wobei dieser Anstieg bei Jungtieren höher ist als bei älteren Tieren. RUTKOWSKY (1993) fand eine positive Wirkung von Enzymzulagen auf die scheinbare sowie wahre Verdaulichkeit von Aminosäuren bei Roggen und Triticale.

Die Enzymwirkung hängt mit dem Anteil des Getreides an der Gesamtmischung zusammen. Eine Erhöhung der Nährstoffverdaulichkeit im Jejunum und Ileum haben HESSELMAN und AMAN (1986) und VAN DER KLIS (1995) ermittelt. CHOCT et al. (1996) stellten bei einer Enzymzulage zu einer Diät mit pentosanreichem Weizen eine Beseitigung der antinutritiven NSP-Wirkung und eine Verbesserung der ilealen Verdaulichkeit der Nährstoffe (Protein, Stärke und Lipide) fest. KLÜNTER et al. (1997) bestätigten, dass eine Broilerration auf Weizenbasis mit Enzymzulage eine höhere N- und Fettretention bewirkte. Die N-Retention wurde hierbei signifikant um etwa 3 % verbessert.

In einem anderen Versuch von KLÜNTER et al. (1995) wurde die N-Retention bei Enzymzulage (Gerste-Weizen-Ration) signifikant um 5,1 % verbessert.

Umsetzbare Energie

CHOCT und ANNISON (1990) untersuchten die Beziehung zwischen umsetzbarer Energie verschiedener Getreidearten und deren NSP-Gehalt bei jungen Broilern. Sie fanden eine hoch signifikant negative Korrelation zwischen beiden Faktoren. HUYGHEBAERT (1997a) zeigte eine negative Korrelation zwischen dem Weizenanteil in der Diät und deren Gehalt an umsetzbarer Energie. Diese Beziehung änderte sich durch Zulage NSP-spaltender Enzyme und war fast linear.

ANNISON und CHOCT (1993) stellten fest, dass bei einer Supplementation von Enzympräparaten wie Xylanase und β -Glukanase zu Weizendiäten mit niedrigerem Energiegehalt die Energieverwertung verbessert wird. Die Energie (AME) stieg um nahezu 3 MJ/kg TS (Tab. 5). Zahlreiche Forschungsarbeiten haben den Enzymeffekt auf die Energieverwertung untersucht (z. B. BROZ und FRIGG, 1986, 1990; PETERSON und AMAN, 1989; ANNISON 1992; ANNISON und CHOCT, 1994; FRIESEN et al., 1992; MARQUARDT et al., 1993; ALLEN et al., 1996). In Versuchen von PETERSON und AMAN (1989) wurde bei einer Enzym-Zulage die umsetzbare Energie signifikant um etwa 6 % angehoben. Die AME-Erhöhung erwies sich als signifikant ($P < 0,01$) durch eine signifikante ($P < 0,05$) Abnahme der polymeren Pentosane (ANNISON, 1992; ANNISON und CHOCT, 1993). VAN DER KLIS (1995) und HUYGHEBAERT (1997a) konnten bei 4 bzw. 8 verschiedenen Weizensorten den Gehalt an umsetzbarer Energie im Durchschnitt um 12 % bzw. 5,4 % erhöhen.

Tab. 5: Der Einfluss eines Glukanasezusatzes auf die AME (MJ/kg TS) von Weizen mit niedrigem und normalem Energiegehalt (ANNISON et al., 1994)

Diät	TS-Verdaulichkeit (%)	AME (MJ/kg TS)
Kontrolle (Mais)	81,61	16,95
Weizen mit niedriger AME	65,16	12,02
Weizen mit niedriger AME +E	76,26	14,94
Normaler Weizen	74,90	14,52
Normaler Weizen +E	76,63	14,83

E=NSP-spaltendes Enzym

2.5 Einfluss von Zusatzkombinationen (Enzym + Antibiotika) auf Leistungsparameter

Seit Anwendungsbeginn NSP-spaltender Enzyme in der Geflügelfütterung berichteten zahlreiche Forschungsarbeiten über die positiven Effekte dieser Zusatzstoffe. Forschungsergebnisse über die Zusatzkombinationen von Enzymen und anderen Futteradditiva (z. B. Antibiotika oder Probiotika) sind kaum vorhanden. Trotz der unterschiedlichen Wirkungsprinzipien von NSP-spaltenden Enzymen und antimikrobiellen Wachstumsförderern haben sie einen gemeinsamen Wirkungsort, den Verdauungstrakt. Außerdem können NSP-spaltende Enzyme indirekt die Darmflora beeinflussen (BEE et al., 1998). Bis jetzt sind die Ergebnisse von Zusatzkombinationen (Enzym/Antibiotika) widersprüchlich. Die Nutzung von solchen Zusatzkombinationen in der Broilermast oder auch bei Schweinen wird durch die Getreideart (Gerste, Roggen, Weizen und Hafer, im Zusammenhang mit NSP-Verbindungen) in der Hauptmischung wesentlich bestimmt.

Durch Kombination des Enzyms Roxazyme mit Virginiamycin als Fütterungsantibiotikum zeigen die Ergebnisse von ELWINGER und TEGLÖF (1991) signifikante Effekte auf die Mastleistungen und den Futteraufwand am 21. und 35. LT, nicht aber auf den Futtermittelverzehr. HOCK et al. (1997b) stellten eine signifikante additive Wirkung der Zusatzkombination (Xylanase mit Zink-Bacitracin) hinsichtlich der Parameter Lebendmasse und Futteraufwand gegenüber der unsupplementierten Gruppe (+6,8 bzw. -7,6 %) fest. Ein signifikanter synergistischer Effekt wurde hier nicht beobachtet. Diese Versuchsergebnisse stimmen mit den Versuchsergebnissen von ELWINGER und TEGLÖF (1991) überein. Die Lebendmassen der Broiler am 44. LT waren um 7 %

(ELWINGER und TEGLÖF, 1991) und in einer ähnlichen Arbeit von BIRZER et al. (1991) um 6 % erhöht. Im Gegensatz dazu berichten VUKIC und WENK (1995), ESTEVE-GARCIA et al. (1997) und BEE et al. (1998), dass die Wirkung der Enzyme oder Antibiotika allein oder unabhängig voneinander am effektivsten ist. Durch die Zusatzkombination wurden keine Verbesserungen der Mastleistungsparameter erzielt und demzufolge keine nutritiven Effekte gegenüber der alleinigen Supplementierung ermittelt. ESTEVE-GARCIA et al. (1997) sprachen sogar von einem Überlappungseffekt der Zusatzkombination (gegenseitige Verhinderung der Effekte). In Bezug auf die Nährstoffverwertung weisen BEE et al. (1998) eine signifikant ($p \leq 0,05$) höhere N-Verwertung der Versuchstiere mit der Zusatzkombination (Antibiotika/Enzym) auf als bei den Kontrolltieren oder den Versuchstieren mit einer ausschließlichen Antibiotika-Zulage. Abschließend zeigen die Ergebnisse der obengenannten Studien am ehesten einen positiven Effekt der Zusatzkombination (Enzym + Antibiotika) hinsichtlich der Parameter Lebendmasse und Futteraufwand sowie der Nährstoffumsetzbarkeit.

2.6 Einfluss von Zusatzkombinationen (Enzym + Antibiotika) auf mikrobielle Umsetzungen im Verdauungstrakt

Bei der Darmflora handelt es sich um die Gesamtkeimzahl der lebenden Mikroorganismen im Verdauungstrakt der Tiere. Im Verdauungstrakt von Hühnern sind verschiedene Mikrobenarten und -stämmen zu unterscheiden. Diese Mikroben haben unter bestimmten Lebensbedingungen wichtige ernährungsphysiologische Effekte auf das Wirtstier und seine Leistungen. Es ist bekannt, dass Küken unmittelbar nach dem Schlupf keimfrei sind, erst einige Stunden später treten die ersten Keime auf, die sich nach der Futteraufnahme rasch vermehren (OCHI et al., 1964; FULLER und TURVY, 1971). Die Ansiedlung von Mikroben verteilt sich auf den ganzen Gastrointestinaltrakt der Hühner, im vorderen Darm (Kropf, Magen und Dünndarm) und hinteren Darm (Caecum und Dickdarm). Durch die Lebensbedingungen im Verdauungstrakt (Sauerstoffgehalt, pH-Wert und Nährstoffgehalt) ändert sich die Zahl und Zusammensetzung der Darmflora. Im vorderen Teil des Darmes (ausreichender Sauerstoff) überwiegen aerobe gram-positive Mikroben (z.B. *Laktobacillen*, *Streptokokken* und *Coliforme*). Aufgrund der sauren Umgebung im Magen (pH 1-2) sind die Keimzahlen hier gering (10^3 KBE/ml), dagegen sind sie im Dünndarm höher (10^8 KBE/ml). Im hinteren Darmabschnitt dominieren anaerobe (ohne Sauerstoff lebende) gram-negative, gram-positive Kokken (z. B. *Bifidobakterien*, *Clostridien*) (OCHI et al.,

1964; FULLER und TURVY, 1971; FULLER, 1973; ELLA und BARNES, 1979; SALANITRO et al., 1978; BARROW, 1992; SPRING, 1997). Die Zahl, Dichte und Art der Mikroben im Darm ändert sich auch mit dem Wachstum der Tiere (HUHTANEN und PENSACK, 1964).

Die Hauptfunktion der Mikroben im Verdauungstrakt ist die Fermentation. Sie findet unter streng anaeroben Bedingungen statt. Der Hauptort dieses Prozesses beim Geflügel ist das Caecum (Anzahl der Mikroorganismen 10^{11} KBE/ml) (SMITH, 1965). Die Endprodukte der Fermentation sind die kurzkettigen flüchtigen Fettsäuren, Milchsäure und verschiedene Gase (H_2 , CO_2 und CH_4) (McNAB, 1973; ROBERFROID et al., 1995). Die Mikroben erhalten dadurch grundsätzlich Energie für Wachstum und zur Erhaltung ihrer cellulären Funktionen. Beim Geflügel sind unterschiedliche Anteile an kurzkettigen flüchtigen Fettsäuren in allen Regionen des Verdauungstraktes zu finden. Art und Umfang der Fermentation hängt mit der Mikrobenpopulation und Art und Menge des Substrates im Verdauungstrakt zusammen. FULLER (1989) berichtet, dass die Zusammensetzung der Darmflora durch Bakterienspezies, Bakterieneigenschaften, Lebensraum, Nahrungsinhaltstoffe, Hygiene und Stress-Situationen beeinflusst wird. Besonders ist hier die Nahrung in Verbindung mit der Fermentation von größter Bedeutung. Nach CUMMINGS et al. (1986) sind die potenziellen Substrate für die Fermentation im Darm:

- Kohlenhydrate: Nicht-Stärke Polysaccharide
Polysaccharide (Stärke)
Oligosaccharide (Raffinose)
Mono- und Disaccharide (Zucker, Lactose)
- Proteine Nicht resorbierte Proteinbausteine,
endogene Sekretionen (Galle und Pankreas)
- Andere Substrate: Mucosa (Glycoprotein)
Zellen aus dem Turnover der Epithelien sowie Mikroben.

Untersuchungen von WAGNER und THOMAS (1978) zeigten, dass es bei Fütterung der Broiler mit Roggen oder Pektin zu einer höheren Vermehrungsrate von Clostridien im Ileum kommt. Bei der Kontrollgruppe (Maisfutter) oder bei Zulage eines Antibiotikums (Penicillin) zu den Versuchsgruppen (Roggen oder Pektin) waren diese Mikroben nicht nachweisbar oder verschwunden. Essigsäure wurde nur bei den Tieren der Kontrollgruppe gefunden. CHOCT et al. (1996) stellten fest, dass die Tiere der Versuchsgruppen mit (NSP) oder (Antibiotika + NSP) signifikant höhere Mengen von kurzkettigen flüchtigen

Fettsäuren (μmol) im Ileum als die Versuchsgruppen mit (Enzym) aufwiesen. Kurzkettige flüchtige Fettsäuren wurden im Duodenum und Jejunum der Broiler bei NSP-reicher Diät gefunden, während nur kleine Mengen von Essigsäure bei den Tieren der Kontrolle (ohne NSP) oder der Versuchsgruppe (+ Enzym) nachweisbar waren. JAMROZ et al. (1996a, 1998) zeigten, dass bei einem Enzymzusatz das Fermentationsprodukt Essigsäure im Ileum der Broiler anstieg. Beim Versuch von VAHJEN et al. (1998) wiesen die Tiere der Kontrolle signifikant höhere Essigsäurekonzentrationen im Ileum auf als die Tiere der Versuchsgruppe mit Enzymzulage.

3. Eigene Untersuchungen

In diesem Teil der Arbeit werden Methoden und Ergebnissen der am Institut für Tierphysiologie und Tierernährung durchgeführten Untersuchungen dargestellt.

3.1 Zielstellung

Im Mittelpunkt der Arbeit mit Broilern steht die Überprüfung der Effekte von Futterbehandlungen (Zerkleinerung, thermische Behandlung), Zusatzstoffen (Enzym, Antibiotikum) sowie der Wechselwirkungen dieser Verfahren in Kombination miteinander auf zootechnische Parameter (FV, LMZ und FA), Körperzusammensetzung (TS, XP, XL und XA) und ernährungsphysiologische Parameter ileale Lys-, Thr-, Met- und Cys-Verdaulichkeiten, N-Verwertungskennzahlen und umsetzbare Energie sowie Einflüsse auf die Darmflora, gemessen mit Hilfe der Fermentationsprodukte (flüchtige Fettsäuren).

3.2 Material und Methode

Nachfolgend werden Verfahren der Versuchsdurchführung (Versuchsaufbau, Futterbearbeitung, Herstellung von Versuchsmischungen) und die angewandten Untersuchungsparameter dargestellt

3.2.1 Versuchsaufbau

Entsprechend der Zielstellung der Untersuchungen sollte vorrangig eine Prüfung der Einflussfaktoren Zerkleinerung (Hammermühle und Walzenstuhl), thermische Behandlung (Konditionierung und Expandierung), Zusatzstoffe (Antibiotikum „Zink-Bacitracin“ (A), NSP-spaltendes Enzym Roxazyme G2 (E)) sowie deren Kombination (A+E) und die Wechselwirkungen der Faktoren miteinander auf zootechnische und ernährungsphysiologische Parameter bei männlichen Mastbroilern vorgenommen werden. Hierbei handelte es sich um eine mehrfaktorielle Fragestellung (2 x 2 x 4). Der Versuchsaufbau ist der Übersicht 2 zu entnehmen.

Übersicht 2: Versuchsaufbau

Zerkleinerung	Thermische Behandlung	Zusatzstoff	Wiederholungen und Zahl der Tiere	
			Wachstumsversuch	Bilanzversuch
Hammermühle (HM)	Konditionierung	0	4x10	6x1
		+A	4x10	6x1
		+E	4x10	6x1
		+A+E	4x10	6x1
	Kond./Expandierung	0	4x10	6x1
		+A	4x10	6x1
		+E	4x10	6x1
		+A+E	4x10	6x1
Walzenstuhl (WS)	Konditionierung	0	4x10	6x1
		+A	4x10	6x1
		+E	4x10	6x1
		+A+E	4x10	6x1
	Kond./Expandierung	0	4x10	6x1
		+A	4x10	6x1
		+E	4x10	6x1
		+A+E	4x10	6x1

0 = Kontrolle ohne Zusatz

+A = 0 + 50 mg Zink-Bacitracin/kg Futter

+E = 0 + 150 mg Roxazyme G2 flüssig /kg Futter

+A +E = 0 + 50 mg Zink-Bacitracin + 150 mg Roxazyme G2 flüssig /kg Futter

3.2.2 Futterherstellung

3.2.2.1 Zerkleinerung der Getreidekomponenten

Zur Herstellung der Versuchsmischungen wurde zunächst die Getreidekomponente Weizen wie folgt unterschiedlich zerkleinert:

Zerkleinerung mit der Hammermühle

Die Zerkleinerung des Weizens erfolgte in einer Hammermühle mit 5 mm Sieblochung. Für das verwendete Sojaschrot (pelletiert) wurde die gleiche Zerkleinerungstechnologie

eingesetzt. Nach der Zerkleinerung wurden die Komponenten mit einer zuvor fertiggestellten Vormischung in einem Vertikalmischer 20 min. gemischt (Altengammer Mühle, Hamburg). Die weitere Behandlung der Futtermischungen erfolgte in der Versuchsanlage der Firma Amandus Kahl in Reinbek bei Hamburg (Übersicht 3).

Zerkleinerung mit dem Walzenstuhl

Parallel zur Hammermühlenvermahlung wurde Weizen mit dem Walzenstuhl (Riffelwalzen) gebrochen (Riffelung: 200, Spalt: 0,3 mm, Drehzahl: 800/400 U/min). Die Zerkleinerung und Mischung (in einem Doppelwellenmischer oder Horizontalmischer, Mischdauer 7 min) sowie die weiteren Behandlungen wurden ebenfalls in der Versuchsanlage von Amandus Kahl in Reinbek bei Hamburg durchgeführt.

3.2.2.2 Thermische Behandlungen der Futtermischungen

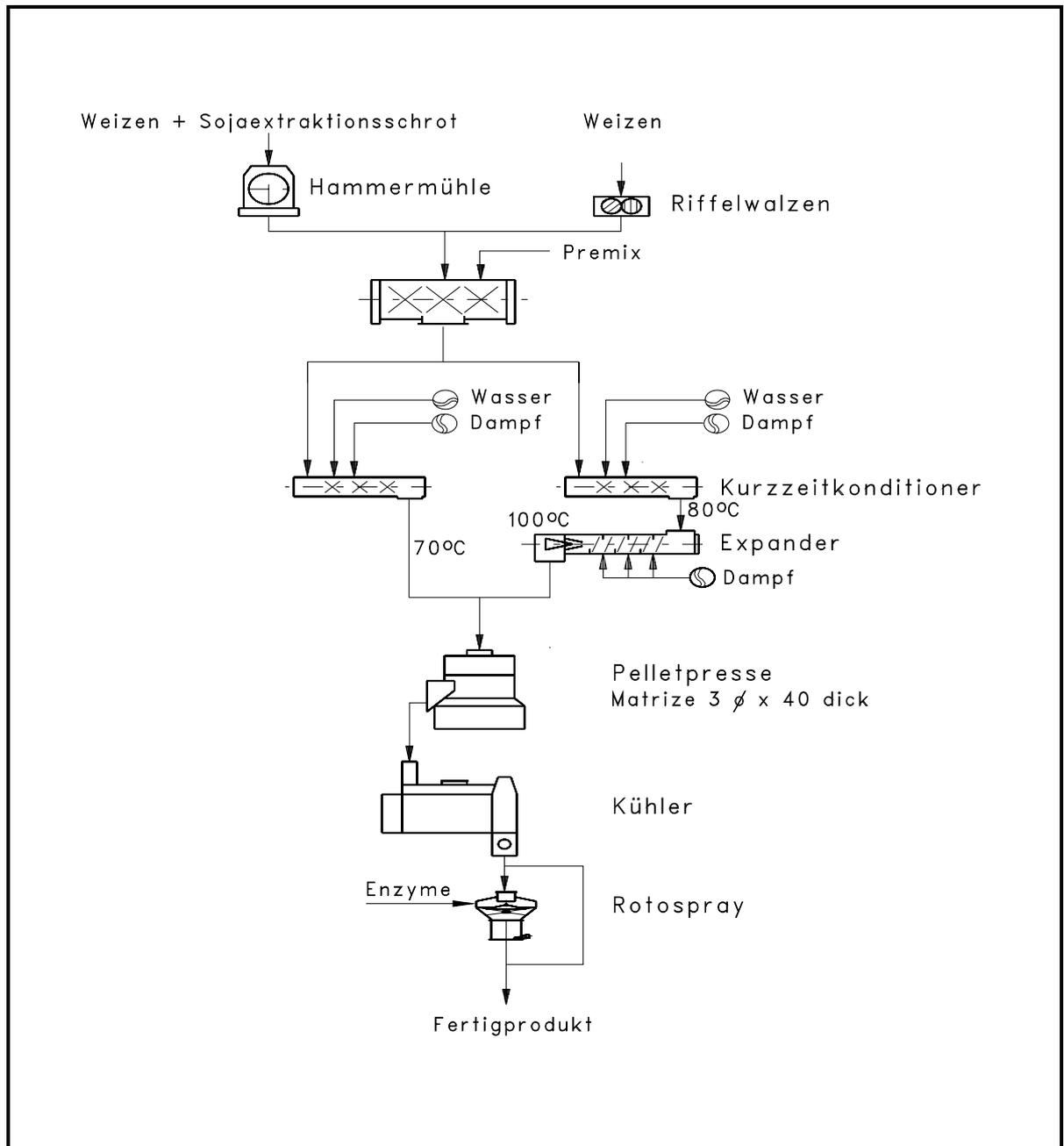
Nach der Vermischung der Versuchsfutter erfolgte die Behandlung wie folgt:

Konditionierung

- Mit Kurzzeitkonditionierer
- Dampfzugabe 3,0 %
- Temperatur 70 °C
- Nettoenergieverbrauch beim Konditionieren 24,2 kWh/t
- Spezialverbrauch beim Pressen 28,0 kWh/t nach HM/Konditionierung und 18-23 kWh/t nach WS/Konditionierung

Konditionierung/Expandierung

- Mit Kurzzeitkonditionierer und Expander
- Temperatur vor dem Expander (Konditionierer): 80 °C, Expanderkopf: 100 °C
- Dampfzugabe 3,6 %
- hydraulischer Druck beim Expander: 15 bar
- Nettoenergieverbrauch beim Expandieren 28,7 kWh/t
- spezieller Energieverbrauch: 21 kWh/t (siehe Übersicht 3).

Übersicht 3: Diagramm zur Herstellung der Versuchsmischungen

3.2.2.3 Zusatzstoffe

Zink-Bacitracin

Das eingesetzte Zink-Bacitracin ist ein fein granuliertes graubraunes Produkt mit relativ günstigen Mischeigenschaften und stabiler Lagerfähigkeit, es ist relativ unempfindlich gegenüber hohen Temperaturen. Oberhalb von 56°C verliert es jedoch einen Teil seiner Aktivität. Bacitracin wird von *Bacillus lichinoformis* hergestellt und stellt ein aus 12 Aminosäuren zusammengesetztes Polypeptid dar. Die Zugabe von Zink führt zur Stabilisierung des Polypeptids und zur Erhöhung der Haltbarkeit. Deshalb enthält Zink-Bacitracin 7,5 % Zink. Aufgrund der höheren Behandlungstemperaturen bei der Konditionierung und Expandierung verliert das Antibiotikum etwa die Hälfte seiner Aktivität. Deshalb wurde die zugesetzte Menge von Zink-Bacitracin in dem entsprechenden Versuchsfutter verdoppelt (100 mg/kg), so dass die angestrebte Aktivität des Antibiotikums gewährleistet war (s. Tab. 6).

ROXAZYME® G2 flüssig

Roxazyme® G2 ist ein weitgehend geruchloses, braunes Produkt. Es enthält einen Enzymkomplex, der aus *Trichoderma longibrachiatum* hergestellt wird. Das Enzympräparat ist stabil bei Zimmertemperatur und verliert durch Hitze und Feuchtigkeit seine Aktivität. Es ist bis zu 38 Monaten nach der Produktion haltbar. Dieses Präparat enthält folgende Enzymhauptaktivitäten: Cellulase, Endo-β-1,3:1,4-Glukanase und Xylanase. Die Aktivität beträgt min. 8000 Units/ml.

Das Enzym wurde aufgrund seiner Hitzeempfindlichkeit nach der Behandlung mit einem Rotospray-System auf das entsprechende Versuchsfutter aufgesprüht (Übersicht 3). Dadurch wurde ein Aktivitätsverlust durch die thermischen Behandlungen (Konditionierung und Expandierung) vermieden.

In der Tab. 6 sind die wiedergefundenen Mengen an Zink-Bacitracin und Roxazyme® G2 des entsprechenden Versuchsfutters dargestellt. Während sich die Aktivität von Zink-Bacitracin, wie erwartet, durch die Hitzeeinwirkung um ca. 50 % erniedrigte, lagen die angestrebten Werte (150 ppm) für das Enzym Roxazyme® G2 z. T. etwas höher als erwartet.

Tab. 6: Wiedergefundene Menge von Zink-Bacitracin nach der Behandlung und ROXAZYME® G2 nach dem Aufsprühen in den verschiedenen Versuchsmischungen

Futtermischungen	Zink-Bacitracin* mg/kg Futter			ml Roxazyme G2* equiv./t	
	gemischt	angestrebt	wiedergefunden	angestrebt	wiedergefunden
HM/Kond. (ohne)	-	-	-	-	-
HM/Kond./+A	100	50	51	-	-
HM/Kond./+E	-	-	-	150	169
HM/Kond./A+E	100	50	50,9	150	192
HM/Expand. (ohne)	-	-	-	-	-
HM/Expand./+A	100	50	50,4	-	-
HM/Expand./+E	-	-	-	150	146
HM/Expand./A +E	100	50	48,4	150	178
WS/Kond. (ohne)	-	-	-	-	-
WS/Kond./+A	100	50	49,6	-	-
WS /Kond./+E	-	-	-	150	186
WS /Kond./A+E	100	50	50,0	150	192
WS/Expand. (ohne)	-	-	-	-	-
WS /Expand./+A	100	50	47,0	-	-
WS /Expand./+E	-	-	-	150	197
WS /Expand./A +E	100	50	50,2	150	192

* Die Analysen der Enzymaktivität oder von Zink-Bacitracin erfolgten durch externe Einrichtungen

3.2.3 Nährstoffzusammensetzung der Futterkomponenten und –mischungen

Die Hauptkomponenten und Nährstoffgehalte der Basalmischung sind den Tab. 7 und 8 zu entnehmen.

Ausgehend von der Zielsetzung der Untersuchungen kam Weizen als Getreidehauptkomponente mit einem relativ hohen Gehalt an NSP-Verbindungen (Arabinoxylan) zum Einsatz. Das lösliche Arabinoxylan erreicht in der eingesetzten Weizensorte (Alidos) 1,46 % der Trockensubstanz. Die Inhaltsstoffe und die Aminosäuregehalte der einzelnen Hauptkomponenten sowie der Basalmischung sind in den Tabellen 9 und 10 aufgezeigt. Die Nährstoffgehalte und der Energiegehalt der Basalmischung wurde nach den NRC-Empfehlungen für Geflügel (NRC, 1994) ausgerichtet. Die einzelnen Versuchschargen und deren Nährstoffzusammensetzung sind in Tab. A1 im Anhang dargestellt.

Die Aminosäuren Threonin und Methionin wurden als kristalline Aminosäure ergänzt. Bei der Aminosäure Lysin wurde der Gehalt auf ca. 90 % Bedarfsdeckung eingestellt, um die Effekte der Versuchsfaktoren auch auf die Lysinwirksamkeit bewerten zu können. Mit kleinen Komponenten wurden Vormischungen hergestellt und diese im Technikum der Firma A. Kahl der Endmischung zugesetzt. Entsprechend dem Versuchsaufbau wurde die Futtermischung geteilt und thermisch oder hydrothermisch behandelt (Konditionierung oder Expandierung). Anschließend wurden die Futtermischungen unter gleichen Bedingungen pelletiert (Kahl-Pressen 3.0 mm Lochdurchmesser und 40 dicke Matrize). Danach wurde das Enzym Roxazyme[®] G2 auf das entsprechende Versuchsfutter mittels Rotospray mit 150 ppm aufgesprüht (s. Übersicht 3).

Tab. 7: Zusammensetzung der Basalmischung

Komponenten	%
Weizen	68,4
Sojaextraktionsschrot	22
Weizenkleber	3
Sojaöl	1,6
DL-Methionin	0,14
L-Threonin	0,06
Calciumcarbonat	1,6
Dicalciumphosphat	1,1
NaCl	0,1
Prämix*	1
Celite (HCl-unlösliche Asche)	1

*Zusammensetzung des Prämix (Fa. Deutsche Vilomix) pro kg: 175 g Ca, 80 g Na

Zusatzstoffe pro kg Prämix:

1.200000 I.E. Vitamin A, 300000 I.E. Vitamin D₃, 3000 mg Vitamin E, 200 mg Vitamin B₁, 480 mg Vitamin B₂, 360 mg Vitamin B₆, 1500 mg Vitamin B₁₂, 300 mg Vitamin K₃, 2700 mg Nikotinsäure, 900 mg Calcium-Pantothenat, 90 mg Folsäure, 5000 mg Biotin, 80000 mg Cholinchlorid, 12000 mg Mangan, 8000 mg Zink, 5000 mg Eisen, 3000 mg Kupfer, 120 mg Jod, 55 mg Kobalt, 42 mg Selen, 10000 mg BHT

Tab. 8: Mittlerer Nährstoff- und Energiegehalt der Basalmischung (% der TS)

Nährstoff	%
TS	89,5
Rohprotein	24,2
Rohfett	4,5
NfE	51,9
ME _n MJ/kg TS*	13,8
Lysin	1,0
Methionin + Cystin	0,87
Threonin	0,70

* N-korrigierte umsetzbare Energie nach WPSA (1984)

Tab. 9: Inhaltsstoffe der Hauptkomponenten der Basalmischung

Nährstoff		Weizen	Sojaextraktionsschrot	Weizenkleber
Rohprotein	(% der FS)	13,82	40,76	81,48
Stärke	(% der FS)	65,70	9,65	8,58
Zucker	(% der FS)	3,84	10,21	2,78
Gesamt-NSP*	(g/kg TS)	110,9	-	-
Lösliche NSP	(g/kg TS)	42,1	-	-
Gesamt-Arabinoxylan	(g/kg TS)	59,7	-	-
Lösliche Arabinoxylan	(g/kg TS)	14,6	-	-

*NSP=Nicht-Stärke-Polysaccharide, die Bestimmung wurde im Institut für Ernährungswissenschaften der landwirtschaftlichen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle/Wittenberg durchgeführt.

Tab. 10: Aminosäuregehalte der Hauptkomponenten sowie der Basalmischung (g/kg FS)

Aminosäure	Weizen	Sojaextraktionsschrot	Weizenkleber	Basalmischung
Lysin	4,00	26,20	16,02	9,0
Threonin	3,06	14,47	17,85	5,8
Methionin	1,85	4,80	11,52	3,0
Cystin	3,06	5,16	17,06	3,7
Serin	5,08	18,27	34,16	8,5
Glutaminsäure	37,00	64,95	255,6	47,3
Prolin	11,57	19,40	171,58	17,3
Glycin	4,38	16,32	24,82	7,3
Alanin	3,61	15,68	18,47	6,5
Valin	5,87	20,22	31,23	9,4
Leucin	8,23	29,99	53,56	13,8
Tyrosin	3,35	13,25	26,44	6,0
Arginin	6,43	30,25	27,38	11,9
Phenylalanin	5,17	20,38	38,71	9,2
Histidin	3,68	12,58	19,80	5,9

3.2.4 Tiermaterial

Zur Durchführung der Untersuchungen standen federgesexete männliche Eintagsküken des Genotyps Cobb 500 (WIMEX Agrarprodukte Dessau) zur Verfügung. Am Schlupftag wurden die Küken übernommen und in Käfighaltung zunächst mit einheitlichem Starterfutter gefüttert. Wasser stand zur freien Aufnahme zur Verfügung.

3.2.5 Wachstumsversuche

3.2.5.1 Versuchsort und –zeit

Die Versuche wurden in der Versuchsanlage des Institutes für Tierphysiologie und Tierernährung der Universität Göttingen im Zeitraum von Januar bis April 1999 durchgeführt. Aufgrund der begrenzten Kapazität der Versuchsanlage sowie der unterschiedlichen Behandlungstermine der Futtermischungen mussten die Untersuchungen in drei aufeinander folgenden Versuchsdurchgängen realisiert werden. Der erste Durchgang umfasste 6 Behandlungen, der zweite Durchgang ebenfalls 6 Behandlungen und der dritte Durchgang wurde mit 4 Behandlungen durchgeführt. Vor jedem Versuchskomplex lag eine Vorperiode vom 1. - 6. Lebenstag. Der anschließende Wachstumstest dauerte vom 7. – 28. Lebenstag.

3.2.5.2 Tierhaltung

Die Versuchstiere wurden in mehretägigen Gruppenkäfigen gehalten. Jede Versuchsgruppe besetzte 4 Käfige. Jeder Käfig hatte eine Fläche von 100 cm x 90 cm und war mit abnehmbaren Futtertrögen und Rinnentränken ausgestattet. Die Versuchsgruppen wurden zufällig auf die verfügbaren Käfige verteilt. Die Heizung des Versuchsraumes erfolgte durch eine vollautomatische Heizanlage, angepasst an den erforderlichen Temperaturverlauf. In der ersten Woche lag die Raumtemperatur zwischen 33 °C– 31 °C, in der zweiten und dritten Woche bei 30 – 28 °C und in der vierten Woche lag sie bei 26 °C – 27 °C. Der Versuchsraum wurde während des Versuches 24 Stunden beleuchtet.

3.2.5.3 Futter- und Wasserverabreichung

Ab Einstellung erhielten die Tiere vom 0. Tag bis 6. Lebenstag (Adaptationsperiode) ein Starterfutter, das im Institut hergestellt wurde, mit 24 % Rohprotein und 14,0 MJ umsetzbarer Energie (ME_n) in der Futtertrockensubstanz (s.Tab. A2 im Anhang).

Die Tiere wurden in der Vorperiode (0. – 6. LT) und in der Versuchsperiode 7. – 28. LT ad libitum gefüttert. Wasser stand zur freien Aufnahme zur Verfügung. Futter wurde per Hand jeden Tag zugeteilt und nach Bedarf ergänzt, Streuverluste wurden erfasst und berücksichtigt.

3.2.5.4 Erfassung und Auswertung der untersuchten Parameter

Zootechnische Parameter

In den Untersuchungen wurden die Parameter Lebendmassezunahme, Futtermittelverzehr und Futteraufwand erfasst.

Die Versuchstiere wurden am Versuchsbeginn (7. LT), am 14., 21. LT und am Versuchsende (28. LT) einzeln gewogen.

Durch Erfassung der Futtereinwaage, Futterrückwaage und der Streuverluste konnten zuverlässige Aussagen zum tatsächlichen Futtermittelverzehr gewonnen werden.

Die Futteraufwandsdaten wurden wie folgt berechnet:

$$\text{Futteraufwand (g/g)} = \left[\frac{\text{Futtermittelverzehr}}{\text{LMZ}} \right]$$

Ganzkörperanalyse

Zu Versuchsbeginn wurden 5 Küken, die der mittleren Lebendmasse der Versuchsküken zu Versuchsbeginn entsprachen, ausgewählt, 8 Stunden genüchtert und dann verlustlos durch Äthernarkose getötet und bei -18°C bis zur späteren Analyse aufbewahrt. Am Ende der Wachstumsversuche (28. Lebenstag) wurde ein repräsentatives Tier je Käfig (4/ Versuchsgruppe) ausgewählt und nach 8 Stunden Nüchtern verlustlos getötet und tiefgefroren gelagert. Die jeweilige Differenz zwischen der Nährstoffmenge am Versuchsende und der Nährstoffmenge zu Versuchsbeginn ergab den Nährstoffansatz. Der Energieansatz wurde aus der Summe der angesetzten Protein- und Fettenergie (einschließlich NfE) berechnet (24,2 kJ/g Körperprotein und 39,4 kJ/g Körperfett).

Als Verwertungskennzahlen wurden berechnet:

$$\text{Proteinverwertung (\%)} = \left[\frac{\text{angesetztes Protein}}{\text{aufgenommenes Protein}} \right] \times 100$$

$$\text{Energieverwertung (\%)} = \left[\frac{\text{angesetzte Energie}}{\text{aufgenommene Energie}} \right] \times 100$$

Ileale Aminosäureverdaulichkeit und flüchtige Fettsäuren

Zur Bestimmung der ilealen Verdaulichkeit der Aminosäuren sowie der Konzentration an flüchtigen Fettsäuren wurden die Versuchstiere einen Tag nach dem Versuchende (am 29. Lebenstag) geschlachtet und Chymusproben entnommen. Zuvor wurden die Tiere über Nacht genüchert und 4 Stunden vor dem Schlachten im Interesse einer vergleichbaren Füllung des Verdauungstraktes gestaffelt gefüttert. Die Tiere wurden durch Dekapitieren getötet, der letzte Abschnitt des Ileums (18 cm) vor der Ileozäkalklappe wurde entnommen und der Inhalt durch Abstreifen entleert (SUMMER und ROBBLEE, 1985). Je Untergruppe (etwa 9 Tiere) wurde eine gepollte Probe bereitgestellt.

Etwa 2 g des Darminhalts wurden sofort ausgewogen und für die Bestimmung der flüchtigen Fettsäuren aufbereitet (vergl. 3.2.7.5). Alle weiteren Proben wurden bei -18°C für spätere Analysen aufbewahrt.

Zur Berechnung der ilealen AS-Verdaulichkeit wurde unter Verwendung von HCl-unlöslicher Rohasche als Indikator folgende Gleichung verwendet:

Ileale AS-Verdaulichkeit (%)

$$= \left[1 - \frac{\text{AS-Gehalt Chymus} / \text{HCl-unlösliche Asche Chymus}}{\text{AS-Gehalt Futter} / \text{HCl-unlösliche Asche Futter}} \right] \times 100$$

3.2.6 Bilanzversuche

3.2.6.1 Tierhaltung

Die Bilanzversuche wurden ebenfalls in der Versuchsanlage des Institutes für Tierphysiologie und Tierernährung der Universität Göttingen durchgeführt. Sie verliefen parallel zu den Wachstumsversuchen in drei Durchgängen. Die Bilanzversuche erfolgten in der Zeit vom 10. – 20. Lebenstag und wurden mit einer Vor- und Sammelperiode von jeweils 5 Tagen (6 Tiere je Verfahren) durchgeführt. Es wurde auf vergleichbare Lebendmassen aller Versuchsgruppen geachtet. Die Bilanzversuche erfolgten in speziellen Stoffwechsellkäfigen, die eine quantitative Sammlung der Exkreme ermöglichen, bei Einzeltierhaltung. Eine stabile Raumheizung und Dauerbeleuchtung von 24 Stunden wurde in der gesamten Versuchszeit gewährleistet. Die Raumtemperatur war an die altersabhängigen Vorgaben angepasst

3.2.6.2 Versuchsablauf und Probensammlung

Am Tag der Einstallung (10. LT) bekam jedes Tier das entsprechende Versuchsfutter in pelletierter Form und die gleiche Futtermenge (60 g/d). Während der Sammelperiode wurde nur einmal pro Tag restriktiv gefüttert. Wasser stand zur freien Aufnahme zur Verfügung.

Die Vorperiode diente zur Gewöhnung der Tiere an die neue Haltungsform und an das Versuchsfutter. Die Tiere wurden am Anfang und am Ende der Hauptperiode gewogen. Futterpellets, die in den Exkremenschalen gefunden wurden, wurden erfasst und berücksichtigt, ebenso wurde Restfutter zurückgewogen. Die Exkremensammlung erfolgte dreimal täglich ohne Säurevorlage mit einer geringen Menge Aqua dest. Die Exkremente wurden in Plastikbehältern gesammelt, gewogen und unmittelbar nach dem Sammeln bei – 18°C tiefgefroren.

3.2.6.3 Erfassung der untersuchten Parameter

In den Bilanzversuchen wurden nachfolgende Parameter zur Auswertung erhoben bzw. als Verwertungskennzahlen nach dem Modell von GEBHARDT (1966) berechnet.

- N-Aufnahme ($\text{mg/d/LM}_{\text{kg}}^{0,67}$)
- N-Bilanz ($\text{mg/d/LM}_{\text{kg}}^{0,67}$)
- PNu (Physiologischer Proteinnutzwert als abgeleiteter Parameter für die Proteinqualität)
- Lysinwirksamkeit

Die Abhängigkeit der N-Retention (y) von der Höhe der N-Aufnahme (x) wird im Modell wie folgt beschrieben:

$$y = A (1 - e^{-bx})$$

wobei

- y = tägliche N-Retention (N-Bilanz + N-Erhaltungsbedarf)/ $\text{LM}_{\text{kg}}^{0,67}$ (mg)
- A = maximales tägliches N-Retentionsvermögen / $\text{LM}_{\text{kg}}^{0,67}$ (mg) – Grenzwert von y , abhängig von Alter, Genotyp, Geschlecht
- b = Parameter für den Anstieg der N-Wirkungskurve, abhängig von der Proteinqualität, von der N-Aufnahme unabhängig
- x = tägliche N-Aufnahme/ $\text{LM}_{\text{kg}}^{0,67}$ (mg)
- e = Grundzahl der natürlichen Logarithmen

Nach der Logarithmierung der oben genannten Gleichung wird der b -Wert berechnet und als Parameter für die Proteinqualität verwendet:

$$b = \frac{\ln A - \ln (A - y)}{x}$$

Über die Ermittlung von b -Wert und Festlegung einer gewünschten Vereinheitlichung der N-Aufnahme (x) kann der standardisierte Physiologische Proteinnutzwert (PNu) mit folgender Gleichung berechnet werden (LIEBERT und GEBHARDT, 1980):

$$\text{PNu} = \frac{A - (A - e^{-bx})}{x} \times 100$$

Als standardisierte tägliche N-Aufnahme wurde in den vorliegenden Versuchen ein Wert von $3500 \text{ mg/LM}_{\text{kg}}^{0,67}$ verwendet, der im Mittel etwa der in den N-Bilanzmessungen

erreichten N-Aufnahme entsprach. Der Arbeitswert für $A = 3450 \text{ mg}$ und der tägliche N-Erhaltungsbedarf von $500 \text{ mg/LM}_{\text{kg}}^{0,67}$ wurden aus den Untersuchungen von RIMBACH und LIEBERT (1999) übernommen.

Zur Berechnung der Lysinwirksamkeit wurde (Lysin = limitierende Aminosäure entspr. 3.2.3) wie folgt vorgegangen (LIEBERT und GEBHARDT, 1986; 1988):

- **Lysinwirksamkeit** = bc^{-1}

wobei c = Lysinkonzentration im Futterprotein (g/16 g N)

Zusätzlich wurden in den Bilanzversuchen die scheinbare N-Verdaulichkeit und umsetzbare Energie (AMEn) bestimmt und wie folgt berechnet:

- **Scheinbare α -Amino-N-Verdaulichkeit ($\alpha\text{-NH}_2\text{-N}$)**

$$= 100 \times \left[\frac{\text{aufgenommener N} - \text{ausgeschiedener N}}{\text{N-Aufnahme in Futter}} \right]$$

- **AME_N** (N-korrigierte, scheinbar umgesetzte Energie des Futters MJ/kg Futter)

$$= \frac{\text{aufgenommene Energie} - \text{ausgeschiedene Energie} - f \times \text{RN}}{\text{Futteraufnahme (g)}}$$

$f = 36.5 \text{ kJ/g N-Retention}$ (TITUS zit. nach. KIRCHGESSNER, 1992)

3.2.7 Analytische Verfahren

Für die Körperanalyse wurden die Tierkörper nach dem Auftauen bei 125 °C und $2,8 \text{ bar}$ für 3 Stunden autoklaviert. Danach wurden sie mit dem Fleischwolf zerkleinert und mit dem Küchenmixer homogenisiert und bei -18 °C für spätere Analysen aufbewahrt.

3.2.7.1 Weender Analyse

Die Bestimmungen von Trockensubstanz, Rohasche und Rohfett nach HCl-Aufschluss im Futter und im Tierkörper erfolgten nach der Weender Analyse (NAUMANN und BASSLER, 1976 - 1997).

Die N-freien-Extraktstoffe (NfE) einschließlich Fett (XL) in den Tierkörpern wurden rechnerisch aus der Differenz von XP + RA zur gesamten Trockensubstanz ermittelt.

N-Bestimmung (XP)

Die Bestimmung des Stickstoffgehaltes des Futters und des Ganzkörpers erfolgte mit dem Gerät LECO FP 2000. Dieses Gerät arbeitet elementaranalytisch nach dem Dumas-Verfahren. Durch Multiplikation mit dem Faktor 6,25 wurden die Rohproteingehalte ermittelt.

3.2.7.2 Bruttoenergiebestimmung

Die Bruttoenergie von Exkrementen und Futter wurde mit einem Bombenkalorimeter der Firma LECO bestimmt. Die Exkrementproben wurden zuerst für etwa 30 Stunden gefriergetrocknet, homogenisiert und für die Energiebestimmung von Federresten mit einem Sieb befreit.

3.2.7.3 HCl-unlösliche Asche

Zur Bestimmung von HCl-unlöslicher Asche wurden zunächst nach Probeneinwaage eine Trocknung bei 105 °C für 4 Stunden und Veraschung bei 550 °C über Nacht durchgeführt. Die Asche wurde mit 100 ml 4n HCl für 30 Minuten gekocht und durch ein aschefreies Filterpapier filtriert. Dieser wird wieder bei 550°C über Nacht verascht. Der Rückstand wird als HCl-unlösliche Asche ermittelt.

3.2.7.4 Bestimmung von Aminosäuren

Die Aminosäuren von Futter und Chymusproben müssen zur Bestimmung zunächst durch Hydrolyse aus dem Protein freigesetzt werden. Das geschieht in der Regel durch Versetzung der vorbereiteten Probe mit 6 n Salzsäure (HCl), unter Stickstoff für etwa 24 Stunden im Trockenschrank. Dann wird das Hydrolysat im Eisbad abgekühlt, neutralisiert und in eine Pufferlösung überführt. Unter weiterer Kühlung, Zugabe von Natronlauge und Rühren wird der pH-Wert auf 2,2 eingestellt. Das fertig vorbereitete Hydrolysat wird durch Ionenaustausch-Chromatographie mit einem Gerät der Firma Biotronik, München gemessen.

Vor der Hydrolyse muss für die schwefelhaltigen Aminosäuren Methionin und Cystin eine Oxidation (Schutz vor Hydrolyse) mit Perameisensäure erfolgen.

3.2.7.5 Bestimmung von flüchtigen Fettsäuren

Zu den entnommenen Chymusproben (1,9 – 2,1 g) wurden 0,5 ml Ameisensäure, 0,5 ml H_3PO_4 (Phosphorsäure) und 3,0 ml demineralisiertes Wasser gegeben und vermischt. Es wurde bei 14.000 RPM und 15 min zentrifugiert. Der Überstand ist für die flüchtige Fettsäurenanalyse im Gaschromatographen (Shimadzu GC 17A) bestimmt: 1 μl injiziert, Auftrennung in einer Kapillarsäule BP 21 (SGE) Länge 50 m, ID 0,33 mm, Film 0,25 μm , Detektion mit FID, Auswertung mit VPClass, Temperaturprogramm: 80°C Start, 25°C Heizrate auf 160 °C, 2°C Heizrate auf 176 °C. Gesamtzeit 12,7 min, Trägergas N_2 .

3.2.7.6 Bestimmung von $\alpha\text{-NH}_2\text{-N}$

Beim Geflügel werden Kot und Harn gemeinsam über die Kloake ausgeschieden. Deshalb ist es erforderlich, Kot-N von Harn-N für die Bestimmung der Rohproteinverdaulichkeit zu trennen. Für die Trennung von Kot-N und Harn-N wurde nach der Methode von PAHLE et al. (1983; 1985) und PRIEBS et al. (1987) gearbeitet. Die Methode beruht darauf, dass der Stickstoff des Kotes und des Futters als Protein gebunden bzw. als freie Aminosäure vorliegt und nach Hydrolyse kolorimetrisch mit Ninhydrin als $\alpha\text{-NH}_2$ -Stickstoff bestimmt werden kann. Entscheidend ist, dass die Harnsäure (Hauptbestandteil) des Harns, bei der Hydrolyse stabil ist, und durch Ninhydrin kaum angefärbt wird. Zunächst wurde die Probe mit halbkonzentrierter HCl (24 Stunden) aufgeschlossen. Anschließend wurde mit Hilfe 50 % iger NaOH im Büchi-Destillationsapparat (10 min) Ammoniak (NH_3) ausgetrieben, das Hydrolysat in ein 600-ml-Becherglas überführt und im Eisbad abgekühlt. Gleichzeitig wurde der pH-Wert auf etwa 4 mit Hilfe von 40 ml 6 N HCl reduziert. Nach Filtration und Auffüllen des Messkolbens auf 500 ml wurde die Lösung mit Ninhydrin-Reagenz versetzt und 10 min im kochenden Wasserbad inkubiert. Zum Schluss wurde die Extinktion am Spektralphotometer bei 570 nm gemessen.

3.2.8 Statistische Analyse

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit dem Statistik-Paket-Programm SAS[®] (Statistical Analysis System) für WINDOWS[®]. Es wurde eine Varianzanalyse zur Prüfung der einzelnen Haupteffekte sowie der Interaktionen mit der GLM-Prozedur (General Linear Models) durchgeführt. Dabei wurde das nachfolgende statistische Modell für alle Ergebnisdaten verwendet:

$$Y_{ijk} = \mu + a_i + b_j + c_k + a_i \times b_j + a_i \times c_k + a_i \times b_j \times c_k + e_{ijk}$$

Y_{ijk} = jeweilige Parameter bei Zerkleinerung i, Behandlung j, und Zusatzstoff k

μ = Populationsmittel

a_i = Zerkleinerungstyp (Hammermühle oder Walzenstuhl)

b_j = Behandlungsart (Konditionierung oder Expandierung)

c_k = Zusatzstoffe (0 ohne Zusatz, + Antibiotika, + Enzym, +Antibiotika + Enzym)

$a_i \times b_j$ = Interaktion zwischen a_i und b_j

$a_i \times c_k$ = Interaktion zwischen a_i und c_k

$b_j \times c_k$ = Interaktion zwischen b_j und c_k

$a_i \times b_j \times c_k$ = Interaktion zwischen a_i , b_j und c_k

e_{ijk} = Restfehler.

Unterschiede zwischen den Mittelwerten wurden mit dem Duncan Test bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % ($p \leq 0,05$) geprüft. Vor Durchführung der statistischen Auswertung wurden Extremwerte mit dem Ausreißertest nach DIXON (SACHS, 1968) geprüft und bei $p \leq 0,05$ aus der Stichprobe entfernt.

3.3 Ergebnisse

3.3.1 Wachstumsversuche

3.3.1.1 Versuchsverlauf

Die Untersuchungen verliefen störungsfrei. Dies fand seinen Niederschlag in sehr geringen Tierverlusten (vergl. Anhangstabelle A3).

3.3.1.2 Zootechnische Parameter

Die Ergebnisse aller geprüften Behandlungen sind in Tab. 11 vergleichend zusammengefasst. Die Resultate der Varianzanalyse für die zootechnischen Parameter sind in Tab. 12 dargestellt. Daraus lassen sich die Haupteffekte der Versuchsfaktoren Zerkleinerungstechnologie, Behandlungsverfahren und Futterzusätze erkennen.

Die Zerkleinerung liess bei den Parametern Futtermittelverzehr und Futteraufwand einen signifikanten ($p \leq 0,05$) Effekt erkennen, während dieser Effekt auf die tägliche Lebendmassezunahme ausblieb.

Die Behandlungsverfahren zeigten bei den gleichen Parametern keine signifikanten Einflüsse. Dagegen waren hochsignifikante ($p \leq 0,001$) Einflüsse der Futterzusätze auf Lebendmassezunahme und Futteraufwand zu erkennen. Eine signifikante Wechselwirkung ergab sich für die Verfahrenskombination Zerkleinerung x Behandlung auf die Lebendmassezunahme und den Futteraufwand. Andere Wechselwirkungen hatten keine klar erkennbare Bedeutung.

Tab. 11: Einflüsse der Versuchsfaktoren Zerkleinerung, thermische Behandlung und Zusatzstoffe auf die zootechnischen Parameter (n=4)

Einflussfaktoren (Behandlungen)		Zootechnische Parameter					
		Futtermverzehr (g/Tier/d)		Lebendmasse- zunahme (g/Tier/d)		Futtermaufwand (g/g)	
		MW	SD	MW	SD	MW	SD
HM/Kond.	0	89,5 ^a	±6,1	47,2 ^{ab}	±3,6	1,90 ^a	±0,05
	+A	87,0 ^{ab}	±6,6	46,7 ^{ab}	±3,6	1,86 ^{ab}	±0,11
	+E	82,9 ^{abc}	±2,3	45,5 ^{ab}	±1,8	1,82 ^{abc}	±0,03
	A+E	85,4 ^{abc}	±6,4	50,1 ^a	±1,1	1,70 ^{de}	±0,10
HM/Expand.	0	79,4 ^{abc}	±10,1	41,8 ^{bc}	±4,7	1,90 ^a	±0,07
	+A	78,2 ^{bcde}	±4,2	43,4 ^{bc}	±1,6	1,80 ^{abcd}	±0,06
	+E	77,5 ^{cde}	±2,5	42,8 ^{bc}	±2,3	1,81 ^{abcd}	±0,05
	A+E	78,8 ^{bcde}	±5,3	45,3 ^{ab}	±5,3	1,75 ^{cde}	±0,14
WS/Kond.	0	72,1 ^{cd}	±2,4	39,4 ^c	±0,9	1,83 ^{abc}	±0,05
	+A	80,1 ^{bcd}	±6,5	44,9 ^{ab}	±4,8	1,79 ^{abcd}	±0,05
	+E	70,8 ^e	±4,3	39,4 ^c	±3,6	1,80 ^{abcd}	±0,05
	A+E	81,1 ^{abc}	±3,0	46,8 ^{ab}	±1,3	1,73 ^{cde}	±0,02
WS/Expand.	0	83,3 ^{abc}	±2,2	45,4 ^{ab}	±2,1	1,84 ^{abc}	±0,04
	+A	82,1 ^{abc}	±1,6	46,6 ^{ab}	±0,9	1,76 ^{bcde}	±0,03
	+E	82,7 ^{abc}	±10,7	46,2 ^{ab}	±6,4	1,79 ^{abcd}	±0,03
	A+E	83,2 ^{abc}	±4,2	50,1 ^a	±1,9	1,66 ^e	±0,04

Werte mit unterschiedlich hochgestellten Buchstaben innerhalb jeder Spalte unterscheiden sich signifikant (Duncan-Test, $p \leq 0,05$)

Tab. 12: Signifikanzeffekte der Versuchsfaktoren auf die zootechnischen Parameter

Versuchsfaktoren	Zootechnische Parameter		
	Futtermverzehr	Lebendmasse- zunahme	Futtermaufwand
Zerkleinerung (A)	*	n.S.	*
Thermische Behandlung (B)	n.S.	n.S.	n.S.
Zusatzstoffe (C)	n.S.	***	***
Wechselwirkungen			
A x B	***	***	n.S.
A x C	n.S.	n.S.	n.S.
B x C	n.S.	n.S.	n.S.
A x B x C	n.S.	n.S.	n.S.

* $p \leq 0,05$; *** $p \leq 0,001$; n.S.) nicht signifikant $p > 0,05$

Beim Vergleich der Zerkleinerungsverfahren (Hammermühle vs. Walzenstuhl) in Tab. 13 zeigten sich nach Walzenstuhlzerkleinerung ein signifikant ($p \leq 0,05$) niedrigerer Futtermittelverzehr ($-3,5\%$) und Futteraufwand ($-2,8\%$). Bei der mittleren täglichen Lebendmassezunahme ergaben sich keine signifikanten Unterschiede.

Tab. 13: Einflüsse der Zerkleinerungsverfahren auf die zootechnischen Parameter (MW, \pm SD)

Einflussfaktoren	Zootechnische Parameter			
	n	Futtermittelverzehr (g/Tier/d)	Lebendmassezunahme (g/Tier/d)	Futteraufwand (g/g)
Hammermühle	32	82,3 ^a $\pm 6,7$	45,4 ^a $\pm 3,9$	1,82 ^a $\pm 0,10$
Walzenstuhl	32	79,4 ^b $\pm 6,5$	44,9 ^a $\pm 4,6$	1,77 ^b $\pm 0,07$

Werte mit unterschiedlichen hochgestellten Buchstaben innerhalb jeder Spalte unterscheiden sich signifikant (Duncan-Test, $p \leq 0,05$)

Die isolierte Betrachtung der Behandlungsverfahren (Tab. 14) lässt keine signifikante Differenz zwischen den Behandlungen (Konditionierung vs. Expandierung) bei den zootechnischen Parametern erkennen.

Tab. 14: Einflüsse der thermischen Behandlungsverfahren auf die zootechnischen Parameter (MW, \pm SD)

Einflussfaktoren	Zootechnische Parameter			
	n	Futtermittelverzehr (g/Tier/d)	Lebendmassezunahme (g/Tier/d)	Futteraufwand (g/g)
Konditionierung	32	81,1 ^a $\pm 7,8$	45,0 ^a $\pm 4,4$	1,80 ^a $\pm 0,08$
Expandierung	32	80,6 ^a $\pm 5,7$	45,2 ^a $\pm 4,1$	1,79 ^a $\pm 0,09$

Werte mit unterschiedlich hochgestellten Buchstaben innerhalb jeder Spalte unterscheiden sich signifikant (Duncan-Test, $p \leq 0,05$)

Durch die Supplementierung der Futtermischungen mit dem Antibiotikum Zink-Bacitracin (+A), NSP-spaltenden Enzymen (+E) oder deren Kombination (A + E) wurden die Parameter Wachstum und Futteraufwand unterschiedlich beeinflusst (Tab. 15).

Tab. 15: Einflüsse der Zusatzstoffe auf die zootechnischen Parameter (MW, \pm SD)

Einflussfaktoren	Zootechnische Parameter			
	n	Futterverzehr (g/Tier/d)	Lebendmasse- zunahme (g/Tier/d)	Futteraufwand (g/g)
Ohne Zusatz	16	81,0 ^a \pm 8,5	43,5 ^b \pm 4,2	1,86 ^a \pm 0,06
Antibiotikum	16	81,8 ^a \pm 5,7	45,4 ^b \pm 3,1	1,80 ^b \pm 0,07
Enzym	16	78,5 ^a \pm 7,2	43,5 ^b \pm 4,5	1,81 ^b \pm 0,04
Antibiotikum + Enzym	16	82,1 ^a \pm 5,1	48,1 ^a \pm 3,5	1,71 ^c \pm 0,09

Werte mit unterschiedlich hochgestellten Buchstaben innerhalb jeder Spalte unterscheiden sich signifikant (Duncan-Test, $p \leq 0,05$)

Der Futterverzehr zeigte keine signifikante Veränderung. Die Lebendmassezunahme wurde durch die Zusatzkombination (A+E) gegenüber allen anderen Verfahren signifikant erhöht. Der Zink-Bacitracin (+A) bzw. Enzymzusatz (+E) allein ergab gegenüber der unsupplementierten Kontrollgruppe jedoch keinen signifikanten Effekt. Ein tendenzieller Anstieg der Lebendmassezunahme lag bei der Zink-Bacitracin Gruppe (+A) vor.

Ein signifikant niedrigerer Futteraufwand wurde durch die Zusatzkombination gegenüber der Kontrolle und den anderen Versuchsgruppen (+A bzw. +E) erzielt. Isoliert betrachtet zeigten die Gruppen (+A) sowie (+E) bezüglich Wachstum und Futterverzehr keine signifikante Differenz zur Kontrolle, der Futteraufwand war aber signifikant verbessert. In Abb.4 sind die relativen Veränderungen im Futteraufwand gegenüber der Kontrollgruppe verdeutlicht.

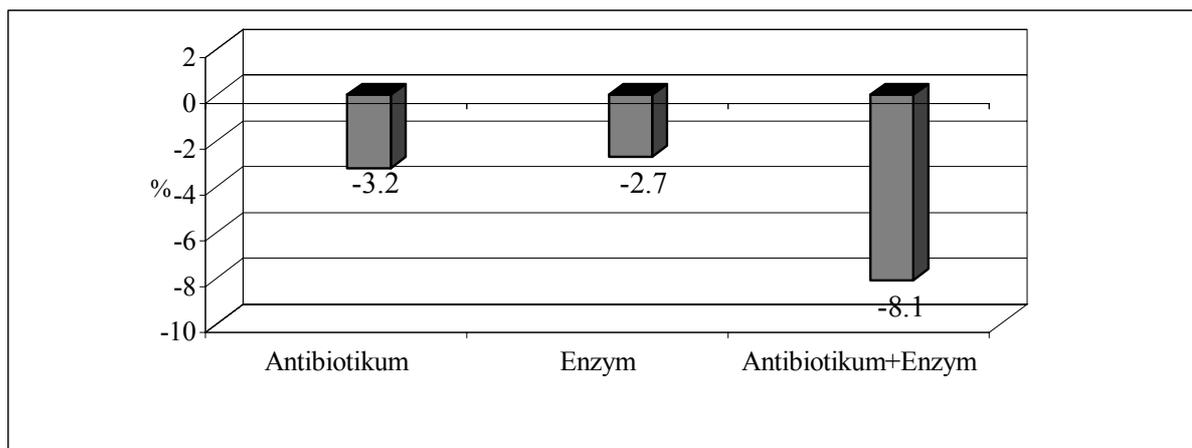


Abb. 4: Relativer Einfluss der Futterzusatzstoffe auf den Futteraufwand (prozentuale Abweichung von der unsupplementierten Gruppe)

In Tab. 16 sind die Ergebnisse der Interaktionen zwischen Zerkleinerung und thermischen Behandlungsverfahren dargestellt.

Tab. 16: Wechselwirkungen zwischen Zerkleinerung und thermischer Behandlung auf zootechnische Parameter (MW, \pm SD)

Einflussfaktoren	Zootechnische Parameter			
	n	Futtermverehr (g/Tier/d)	Lebendmasse- zunahme (g/Tier/d)	Futteraufwand (g/g)
Hammermühle x Konditionierung	16	86,2 \pm 5,6	47,4 \pm 3,0	1,82 \pm 0,11
Hammermühle x Expandierung	16	78,5 \pm 5,6	43,3 \pm 3,6	1,82 \pm 0,09
Walzenstuhl x Konditionierung	16	76,0 \pm 6,2	42,6 \pm 4,4	1,79 \pm 0,05
Walzenstuhl x Expandierung	16	82,8 \pm 5,1	47,1 \pm 3,7	1,76 \pm 0,07
F-Wert ¹		***	***	n.s.

1) Signifikanz der Interaktion zwischen Zerkleinerung und thermischer Behandlung *** = $p \leq 0,001$

Es wurde eine signifikante Wechselwirkung der Einflussfaktoren zum Futterverzehr und zum Wachstum festgestellt. Beim Futteraufwand zeigte sich keine statistisch gesicherte Wechselwirkung. Die Kombinationen Hammermühle x Konditionierung und Walzenstuhl x Expandierung führten zu einer signifikanten ($p \leq 0,001$) Erhöhung der Futteraufnahme gegenüber der Kombination Hammermühle x Expandierung und Walzenstuhl x Konditionierung. Infolge dieser Unterschiede beim Futterverzehr zeigten sich entsprechende signifikante ($p \leq 0,001$) Auswirkungen auf das Wachstum (Tab. 16). Andere Interaktionen wurden bei den zootechnischen Parametern nicht ermittelt (s. Anhangstabelle A4 und A5).

Beim Vergleich aller Versuchsgruppen miteinander (dreifache Interaktion) wurden insgesamt keine statistisch gesicherten Wechselwirkungen festgestellt.

Durch einen multiplen Mittelwertsvergleich aller Behandlungen (vergl. Tab. 11) ließ sich jedoch ableiten, dass die Tiere der Versuchsgruppen Hammermühle x Expandierung tendenziell einen geringeren Futterverzehr im Vergleich zur Kombination Hammermühle x Konditionierung zeigten. Demzufolge lag das Wachstum der Tiere dieser Behandlungen (Hammermühle x Expandierung x Zusatzstoffe) niedriger. Diese Tendenz wurde nach Walzenstuhlzerkleinerung nicht beobachtet. Ein Ausnahmefall wurde bei den Tieren der Kontrollgruppe (0) und der Versuchsgruppe (+E) der Variante Walzenstuhl x Konditionierung beobachtet. Das signifikant geringere Wachstum war primär auf einen signifikant niedrigeren Futterverzehr zurückzuführen. Die Kombinationen von Antibiotikum und Enzymzusatz (A+E) in Verbindung mit Zerkleinerung und Behandlungsverfahren zeigten in der Mehrzahl der Versuchsgruppen einen signifikant geringeren Futteraufwand. Die Enzym- bzw. Zink-Bacitracin-Zulage allein verminderte den Futteraufwand nur numerisch (vergl. Tab. 11).

3.3.1.3 Nährstoffzusammensetzung der Tierkörper

In Tab. 17 sind die Ergebnisse aller Behandlungen zusammengefasst und in Tab. 18 die Resultate der Varianzanalyse aufgezeigt. Aus der Varianzanalyse (Tab. 18) lassen sich die Effekte der Versuchsfaktoren auf die Parameter der Körperzusammensetzung (Trockensubstanz, Rohprotein, Rohfett und Rohasche) ableiten.

Tab. 17: Einflüsse der Versuchsfaktoren Zerkleinerung, thermische Behandlung und Zusatzstoffe auf die Körperzusammensetzung (n=4, MW, \pm SD)

Einflussfaktoren (Behandlungen)		Körperzusammensetzung						
		TS	XP		XL*		XA	
		g/kg FS	g/kg FS	% der TS	g/kg FS	% der TS	g/kg FS	% der TS
HM/Kond.	0	371,3 ^{bc} $\pm 22,8$	203,0 ^{bcd} $\pm 13,7$	54,6	138,5 ^{ab} $\pm 8,7$	37,3	29,4 ^{ab} $\pm 2,4$	7,9
	+A	348,2 ^{cde1} $\pm 7,1$	193,7 ^{cde1} $\pm 1,7$	55,6	126,6 ^{ab1} $\pm 6,9$	38,0	28,1 ^{ab1} $\pm 1,6$	8,1
	+E	362,4 ^{cd} $\pm 18,1$	192,5 ^{cde} $\pm 3,3$	53,1	139,8 ^{ab} $\pm 17,5$	38,5	30,0 ^{ab} $\pm 2,0$	8,3
	A+E	426,7 ^a $\pm 9,8$	217,3 ^{ab} $\pm 14,0$	50,9	178,4 ^c $\pm 22,0$	41,8	31,0 ^b $\pm 3,5$	7,3
HM/Expand.	0	336,9 ^{cde} $\pm 35,8$	184,7 ^{de} $\pm 16,0$	54,8	124,9 ^{ab} $\pm 19,8$	37,1	27,1 ^{ab} $\pm 2,2$	8,0
	+A	346,0 ^{cde} $\pm 24,7$	192,6 ^{cde} $\pm 6,8$	55,7	125,9 ^{ab} $\pm 18,6$	36,4	27,2 ^{ab} $\pm 0,9$	7,9
	+E	359,7 ^{cde} $\pm 31,2$	193,1 ^{cde} $\pm 7,8$	53,7	138,2 ^{ab} $\pm 24,8$	38,4	28,5 ^{ab} $\pm 1,7$	7,9
	A+E	357,7 ^{cde} $\pm 30,7$	201,2 ^{bcd} $\pm 19,6$	56,2	127,2 ^{ab} $\pm 12,0$	35,6	29,2 ^{ab} $\pm 3,1$	8,2
WS/Kond.	0	324,4 ^{de} $\pm 18,0$	178,8 ^c $\pm 4,9$	55,1	119,3 ^a $\pm 16,1$	36,7	26,4 ^a $\pm 2,4$	8,1
	+A	353,4 ^{cde} $\pm 41,9$	198,3 ^{cd} $\pm 16,3$	56,1	125,3 ^{ab} $\pm 26,3$	35,4	29,9 ^{ab} $\pm 1,5$	8,5
	+E	318,4 ^c $\pm 26,8$	178,4 ^c $\pm 13,7$	56,0	112,3 ^a $\pm 14,2$	35,3	27,7 ^{ab} $\pm 1,7$	8,7
	A+E	373,1 ^{bc} $\pm 20,3$	205,7 ^{abc} $\pm 11,7$	55,1	137,8 ^{ab} $\pm 10,2$	36,9	29,6 ^{ab} $\pm 3,7$	7,9
WS/Expand.	0	340,3 ^{cde} $\pm 18,5$	193,7 ^{cde} $\pm 4,1$	56,9	119,3 ^a $\pm 14,1$	35,0	27,4 ^{ab} $\pm 0,8$	8,1
	+A	363,3 ^{cd} $\pm 23,0$	199,1 ^{cde} $\pm 14,5$	54,8	135,4 ^{ab} $\pm 9,3$	37,3	28,7 ^{ab} $\pm 2,6$	7,9
	+E	349,6 ^{cde1} $\pm 0,4$	193,8 ^{cde1} $\pm 1,7$	55,4	127,3 ^{ab1} $\pm 1,84$	36,0	28,5 ^{ab1} $\pm 1,5$	8,2
	A+E	404,1 ^{ab} $\pm 13,2$	222,8 ^a $\pm 4,0$	55,1	150,0 ^b $\pm 14,3$	37,1	31,3 ^b $\pm 0,8$	7,7

Werte mit unterschiedlich hochgestellten Buchstaben innerhalb jeder Spalte unterscheiden sich signifikant (Duncan-Test, $p \leq 0,05$) * einschließlich NfE 1) n=3

Tab. 18: Signifikanzeffekte der Versuchsfaktoren auf die Körperzusammensetzung

Einflussfaktoren	Körperzusammensetzung			
	TS	XP	XL	XA
Zerkleinerung (A)	n.s.	n.s.	*	n.s.
Thermische Behandlung (B)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Zusatzstoffe (C)	***	***	***	*
Wechselwirkungen				
A x B	***	***	***	*
A x C	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
B x C	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
A x B x C	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

* $p \leq 0,05$; *** $p \leq 0,001$; n.s.) nicht signifikant $p > 0,05$

Die Einflüsse der Zerkleinerung sowie der thermischen Behandlung auf die Körperzusammensetzung waren nicht signifikant. Es wurde lediglich ein signifikanter ($p \leq 0,05$) Effekt der Zerkleinerung auf den Rohfettgehalt (XL) festgestellt. Demgegenüber wurde ein hochsignifikanter ($p \leq 0,001$) Effekt der Zusatzstoffe (C) auf die Parameter Trockensubstanz-, Rohprotein- und Rohfettgehalt ermittelt. Eine weitere stark signifikante ($p \leq 0,001$) Wechselwirkung zeigte sich zwischen Zerkleinerung und thermischer Behandlung bei Trockensubstanz-, Rohprotein- und Rohfettgehalt. Beim Vergleich der Zerkleinerungsverfahren (Hammermühle vs. Walzenstuhl) wiesen die Versuchstiere nach Hammermühlzerkleinerung einen signifikant höheren Körperrohffettgehalt auf als die Versuchstiere nach Walzenstuhlzerkleinerung (Tab. 19).

Tab. 19: Einflüsse der Zerkleinerung auf die Körperzusammensetzung (MW, \pm SD)

Einflussfaktoren	Körperzusammensetzung							
	n	TS	XP		XL		XA	
		g/ kg FS	g/kg FS	% der TS	g/kg FS	% der TS	g/kg FS	% der TS
Hammermühle	31	364,4 ^a $\pm 34,2$	197,4 ^a $\pm 14,3$	54,2	138,2 ^a $\pm 22,7$	37,9	29,1 ^a $\pm 2,7$	8,0
Walzenstuhl	31	353,4 ^a $\pm 33,6$	196,4 ^a $\pm 16,6$	55,6	129,4 ^b $\pm 18,4$	36,6	28,8 ^a $\pm 2,4$	8,1

Werte mit unterschiedlich hochgestellten Buchstaben innerhalb jeder Spalte unterscheiden sich signifikant (Duncan-Test, $p \leq 0,05$) * einschließlich NfE

Der Vergleich der thermischen Behandlungsverfahren (Konditionierung vs. Expandierung) ließ keinen signifikanten Einfluss auf die Körperzusammensetzung erkennen (Tab. 20).

Tab. 20: Einflüsse der thermischen Behandlungsverfahren auf die Körperzusammensetzung (MW, \pm SD)

Einflussfaktoren	Körperzusammensetzung							
	n	TS	XP		XL*		XA	
		g/ kg FS	g/kg FS	% der TS	g/kg FS	% der TS	g/kg FS	% der TS
Konditionierung	31	360,4 ^a \pm 38,3	196,0 ^a \pm 16,2	54,4	135,5 ^a \pm 24,1	37,6	29,2 ^a \pm 2,9	8,1
Expandierung	31	357,4 ^a \pm 30,0	197,8 ^a \pm 14,7	55,3	132,1 ^a \pm 17,5	37,0	28,6 ^a \pm 2,2	8,0

Werte mit unterschiedlich hochgestellten Buchstaben innerhalb jeder Spalte unterscheiden sich signifikant (Duncan-Test, $p \leq 0,05$) * einschließlich NfE

Die Zusatzkombination (A+E) hatte jedoch einen signifikant höheren Gehalt an Trockensubstanz, Rohprotein und Rohfett im Tierkörper zur Folge (Tab. 21).

Tab. 21: Einflüsse der Zusatzstoffe auf die Körperzusammensetzung (MW, \pm SD)

Einflussfaktoren	Körperzusammensetzung							
	n	TS	XP		XL*		XA	
		g/ kg FS	g/ kg FS	% der TS	g/kg FS	% der TS	g/kg FS	% der TS
Ohne Zusatz	16	343,2 ^b \pm 28,5	190,0 ^b \pm 13,7	55,4	125,6 ^a \pm 15,9	36,6	27,6 ^a \pm 2,2	8,0
Antibiotikum	15	353,6 ^b \pm 25,8	196,2 ^b \pm 11,0	55,5	129,8 ^a \pm 16,7	36,7	28,9 ^{ab} \pm 2,6	7,7
Enzym	15	347,4 ^b \pm 28,0	189,2 ^b \pm 9,8	54,5	129,4 ^a \pm 20,4	37,2	28,7 ^{ab} \pm 2,0	8,3
Antibiotikum + Enzym	16	390,4 ^a \pm 33,1	211,7 ^a \pm 15,1	54,2	148,4 ^b \pm 24,0	38,0	30,3 ^b \pm 2,5	7,8

Werte mit unterschiedlich hochgestellten Buchstaben innerhalb jeder Spalte unterscheiden sich signifikant (Duncan-Test, $p \leq 0,05$) * einschließlich NfE

In der Körpertrockensubstanz zeigte jedoch das Rohfett (XL in % der TS, Tab. 21) erhöhte Werte. Die Rohaschegehalte zeigten durch die Zusatzkombination (A+E) nur gegenüber der Gruppe ohne Zusatz signifikante Veränderungen.

Gesicherte Wechselwirkungen zwischen Zerkleinerung und thermischer Behandlung waren im Hinblick auf Trockensubstanz, Rohprotein- Rohfett und Rohaschegehalte erkennbar (Tab. 22)

Tab 22: Wechselwirkungen zwischen Zerkleinerung und Behandlung auf die Körperzusammensetzung (MW, \pm SD)

Einflussfaktoren	Körperzusammensetzung							
	n	TS	XP		XL ¹		XA	
		g/ kg FS	g/ kg FS	% der TS	g/ kg FS	% der TS	g/ kg FS	% der TS
Hammermühle x Konditionierung	15	379,6 \pm 33,4	202,2 \pm 13,9	53,3	147,4 \pm 23,6	38,8	30,1 \pm 2,8	7,9
Hammermühle x Expandierung	16	350,1 \pm 29,2	193,0 \pm 13,6	55,1	129,1 \pm 18,1	36,8	28,0 \pm 2,1	8,0
Walzenstuhl x Konditionierung	16	342,3 \pm 34,1	190,3 \pm 16,5	55,6	123,7 \pm 18,6	36,1	28,3 \pm 2,7	8,3
Walzenstuhl x Expandierung	15	365,3 \pm 29,7	202,9 \pm 14,5	55,5	133 \pm 16,7	36,4	29,0 \pm 2,2	7,9
F-Wert ²		***	***		***		*	

¹) einschließlich NfE ²) Signifikanz der Interaktion zwischen Zerkleinerung und thermischer Behandlung
 *** = $p \leq 0,001$ * $p \leq 0,05$

Ferner lässt sich ableiten, dass durch die Kombination Hammermühle x Konditionierung bzw. Walzenstuhl x Expandierung ein höherer Gehalt an Körpertrockensubstanz erzielt wurde.

Die Behandlungskombination Hammermühle x Konditionierung zeigte im Hinblick auf die Körpertrockensubstanz erhöhte Rohfettgehalte.

Weitere Ergebnisse zu Wechselwirkungen zwischen Zerkleinerung oder Behandlung und Zusatzstoffen sind im Tabellenanhang (A6 und A7) zusammengefasst. Eine signifikante Wechselwirkung zwischen der Zerkleinerung, Behandlung und Zusatzstoffen auf die Körperzusammensetzung gab es nicht.

Die Resultate zum multiplen Mittelwertsvergleich zwischen den einzelnen Versuchsgruppen zeigt Tab. 17. Hierbei wurde eine signifikante ($p \leq 0,05$) Verbesserung der Rohprotein- und Fettgehalte durch die Kombinationen Zerkleinerung x Behandlung unter dem gleichzeitigen Zusatz von Antibiotikum und Enzym (A+E) gegenüber den anderen Behandlungen erzielt. Überwiegend wurde keine signifikante Veränderung der Rohfett- und Rohaschegehalte beobachtet (Tab. 17). Höhere Rohfettanteile in der TS zeigte die Verfahrenskombination HM/Kond./A+E (41,8%). Andere Verfahrenskombinationen zeigten ähnliche Nährstoffgehalte in der Trockensubstanz (Tab. 17).

3.3.1.4 Rohprotein- und Energieansatz sowie Rohprotein- und Energieverwertung

In Tab. 23 sind die mittleren Ergebnisse der einzelnen Behandlungen auf Ansatz- und Verwertungskennzahlen ersichtlich.

Die Signifikanzeffekte der Versuchsfaktoren auf die untersuchten Parameter sind Tab. 24 zu entnehmen.

Zerkleinerung sowie thermische Behandlung übten keine signifikanten Einflüsse auf die Ansatzparameter (Protein- und Energieansatz) und Verwertungsparameter (Protein und Energie) aus. Demgegenüber zeigten die Futterzusätze einen deutlichen, statistisch gesicherten ($p \leq 0.001$) Effekt bei den gleichen Parametern.

Eine signifikante Wechselwirkung war zwischen der Zerkleinerung und der thermischen Behandlung hinsichtlich des Ansatzes an Rohprotein und Energie zu beobachten. Eine schwache Wechselwirkung ($p \leq 0,05$) der drei Faktoren (Zerkleinerung x Behandlung x Zusatzstoffe) trat bei der Energieverwertung auf.

Tab. 23: Einflüsse der Versuchsfaktoren Zerkleinerung, thermische Behandlung und Zusatzstoffe auf Nährstoffansatz sowie Rohprotein- und Energieverwertung (n=4)

Einflussfaktoren (Behandlungen)		XP-Ansatz (g/Tier/d)		XP- Verwertung %		Energieansatz (kJ/Tier/d)		Energie- verwertung %	
		MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
HM/Kond.	0	8,3 ^{bcd}	±0,7	42,8 ^e	±1,4	452 ^{bc}	±31	41,0 ^{abc}	±0,3
	+A	7,9 ^{cde1}	±0,1	43,0 ^{de1}	±3,3	418 ^{ab1}	±12	40,3 ^{ab1}	±1,7
	+E	8,0 ^{cde}	±0,1	44,2 ^{cde}	±0,7	446 ^{bc1}	±22	43,3 ^{abcd1}	±1,0
	A+E	9,1 ^{ab}	±0,6	49,5 ^{ab}	±6,0	531 ^d	±28	50,7 ^f	±3,1
HM/Expand.	0	7,6 ^{de}	±0,8	44,1 ^{cde}	±1,8	393 ^{ab}	±53	40,3 ^{ab}	±1,3
	+A	8,0 ^{cde}	±0,3	47,0 ^{bcd}	±1,8	405 ^{ab}	±41	42,0 ^{abcd}	±2,2
	+E	8,0 ^{cde}	±0,4	47,4 ^{abc}	±0,7	428 ^{ab}	±55	44,8 ^{cdf}	±4,4
	A+E	8,4 ^{bcd}	±0,9	48,7 ^{ab}	±2,7	417 ^{ab}	±40	44,4 ^{bcd1}	±1,3
WS/Kond.	0	7,2 ^e	±0,2	46,4 ^{bcd}	±1,7	392 ^{ab}	±33	44,2 ^{bcd}	±2,5
	+A	8,2 ^{cd}	±0,8	47,1 ^{bcd}	±1,1	426 ^{ab}	±65	43,1 ^{abcd}	±3,3
	+E	7,2 ^e	±0,6	47,0 ^{abc}	±1,6	378 ^a	±39	43,4 ^{abcd}	±2,7
	A+E	8,6 ^{abc}	±0,6	48,6 ^{ab}	±1,5	458 ^{bc}	±26	46,0 ^{de}	±2,0
WS/Expand.	0	7,9 ^{cde}	±0,2	43,6 ^{cde}	±1,0	406 ^{ab}	±32	39,6 ^a	±2,4
	+A	8,1 ^{cde}	±0,7	45,6 ^{bcd}	±3,1	442 ^{ab}	±31	43,7 ^{abcd}	±2,6
	+E	7,9 ^{cde1}	±0,1	46,6 ^{bcd}	±0,9	420 ^{ab1}	±3	43,9 ^{bcd1}	±0,9
	A+E	9,2 ^a	±0,2	51,3 ^a	±3,5	495 ^{cd}	±26	48,5 ^{ef}	±2,7

Werte mit unterschiedlich hochgestellten Buchstaben innerhalb jeder Spalte unterscheiden sich signifikant (Duncan-Test, $p \leq 0,05$) 1) n=3

Tab. 24: Signifikanzeffekte der Versuchsfaktoren auf Rohprotein- und Energieansatz sowie Rohprotein- und Energieverwertung

Unabhängige Faktoren	Protein- ansatz	Protein- verwertung	Energie- ansatz	Energie- verwertung
Zerkleinerung (A)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Thermische Behandlung (B)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Zusatzstoffe (C)	***	***	***	***
Wechselwirkungen				
A x B	**	n.s.	**	n.s.
A x C	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
B x C	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
A x B x C	n.s.	n.s.	n.s.	*

* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$; n.s.) nicht signifikant ($p > 0,05$)

Beim Prüfen der einzelnen Effekte der Zerkleinerungstechnologie (Hammermühle vs. Walzenstuhl) zeigten die Parameter Protein- und Energieansatz bzw. die Verwertungsparameter keine signifikante Differenz. Die beiden Verfahren waren demzufolge in ihrer Wirkung auf die geprüften Parameter vergleichbar (Tab. 25).

Tab. 25: Einflüsse der Zerkleinerungsverfahren auf Rohprotein- und Energieansatz sowie Rohprotein- und Energieverwertung

Einflussfaktoren	n	Proteinansatz (g/Tier/d)	Proteinverwertung (%)	n	Energieansatz (kJ/Tier/d)	Energieverwertung (%)
Hammermühle	31	8,1 ^a ±0,7	45,9 ^a ±3,5	30	436 ^a ±54	43,3 ^{a1} ±4,0
Walzenstuhl	31	8,0 ^a ±0,8	47,0 ^a ±2,8	31	427 ^a ±49	44,0 ^a ±3,3

Werte mit unterschiedlich hochgestellten Buchstaben innerhalb jeder Spalte unterscheiden sich signifikant (Duncan-Test, $p \leq 0,05$)
¹) n=29

Die thermischen Behandlungen (Konditionierung vs. Expandierung) bewirkten bei den Ansatz- und Verwertungskennzahlen keine signifikanten Unterschiede (Tab. 26)

Tab. 26: Einflüsse der thermischen Behandlungsverfahren auf Rohprotein- und Energieansatz sowie Rohprotein- und Energieverwertung

Einflussfaktoren	n	Proteinansatz (g/Tier/d)	Proteinverwertung (%)	n	Energieansatz (kJ/Tier/d)	Energieverwertung (%)
Kond.	31	8,1 ^a ±0,8	46,2 ^a ±3,3	30	438 ^a ±56	44,0 ^a ±3,7
Expand.	31	8,1 ^a ±0,7	46,8 ^a ±3,1	31	426 ^a ±46	43,4 ^{a1} ±3,5

Werte mit unterschiedlich hochgestellten Buchstaben innerhalb jeder Spalte unterscheiden sich signifikant (Duncan-Test, $p \leq 0,05$)
¹) n= 30

Durch die statistische Prüfung der isolierten Effekte der Zusatzstoffe (Tab. 27) konnten demgegenüber signifikante Unterschiede herausgearbeitet werden.

Tab. 27: Einflüsse der Zusatzstoffe auf Rohprotein- und Energieansatz sowie Rohprotein- und Energieverwertung

Einflussfaktoren	n	Proteinsansatz (g/Tier/d)	Proteinverwertung (%)	n	Energieansatz (kJ/Tier/d)	Energieverwertung (%)
Ohne Zusatz	16	7,6 ^b ±0,6	44,2 ^c ±1,9	16	411 ^a ±43	41,3 ^a ±2,5
Antibiotikum	15	8,0 ^b ±0,5	45,8 ^{cb} ±2,7	15	423 ^a ±41	42,4 ^{abc} ±2,6
Enzym	15	7,7 ^b ±0,5	46,3 ^b ±1,6	14	416 ^a ±42	43,9 ^b ±2,6
Antibiotikum + Enzym	16	8,8 ^a ±0,7	49,5 ^a ±3,6	16	476 ^b ±52	47,6 ^{c1} ±3,3

Werte mit unterschiedlich hochgestellten Buchstaben innerhalb jeder Spalte unterscheiden sich signifikant (Duncan-Test, $p \leq 0,05$)

1) n=15

Die Zusatzkombination (Antibiotikum + Enzym) wirkte signifikant positiv auf den Ansatz und die Verwertung von Rohprotein und Energie. Die relative Erhöhung des Proteinansatzes um 15,8 % bzw. der Proteinverwertung um 12 % stand einer Steigerung des Energieansatzes bzw. der Energieverwertung von 15,8 % bzw. 15,3 % im Vergleich zu der Gruppe ohne Zusatz gegenüber. Weitere relative Veränderungen im Vergleich zu den anderen Zusätzen sind in Abb. 5 aufgezeigt.

Beim Vergleich der Effekte von Antibiotikumbehandlung mit Enzymbehandlung sind keine Unterschiede zu erkennen. Die beiden Zusatzstoffe deuten hier auf den gleichen Einfluss hin, der jedoch keine signifikanten Unterschiede bei den Ansatzparametern gegenüber den Tieren der Kontrollgruppe (ohne Zusatz) hervorbrachte. Dagegen war zu beobachten, dass durch die Enzymzulage die Verwertungsparameter (Protein- und Energieverwertung) gegenüber der Kontrollgruppe signifikant verbessert wurden. Die Tiere der Behandlung mit dem Antibiotikum und die Tiere der Kontrollgruppe zeigten bei den Parametern Nährstoffansatz und -verwertung keine signifikanten Unterschiede.

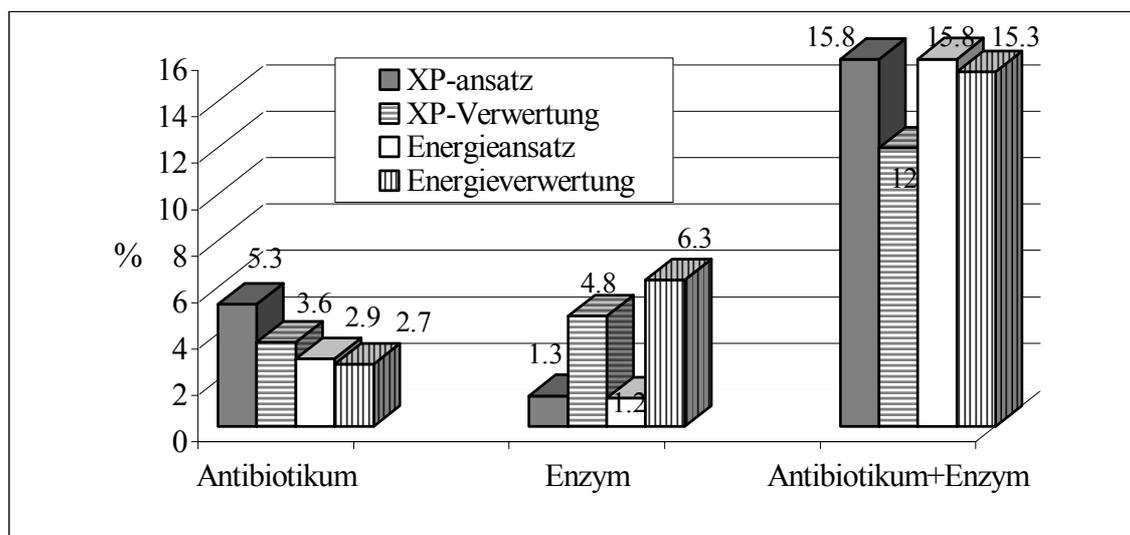


Abb. 5: Einfluss der Futterzusatzstoffe auf Rohprotein- und Energieansatz sowie Rohprotein- und Energieverwertung (prozentuale Abweichung von der unsupplementierten Gruppe)

Eine signifikante Wechselwirkung zwischen der Zerkleinerung und der thermischen Behandlung wurde bei diesen Versuchen auf die Ansatzparameter erzielt. In Tab. 28 sind die Wechselwirkungen der Behandlungskombinationen auf den Ansatz und die Verwertung von Rohprotein und Energie dargestellt. Daraus lässt sich schließen, dass durch die Verfahrenskombination Hammermühle x Konditionierung ein signifikanter Anstieg des Protein- sowie des Energieansatzes gegenüber der Kombination Hammermühle x Expandierung erzielt wird. Der tägliche Protein- bzw. Energieansatz der Tiere der Behandlungskombination Hammermühle x Konditionierung lag um 4,6 % bzw. 9,3 % über der Behandlungskombination Hammermühle x Expandierung. Bei der Walzenstuhlzerkleinerung war die Kombination Walzenstuhl x Expandierung signifikant überlegen. Dabei erreichte der tägliche Ansatz von Protein bzw. Energie bei den Tieren dieser Behandlungskombinationen um 6,3 % bzw. 8,1 % höhere Werte als Variante Walzenstuhl x Konditionierung. Bei der Nährstoffverwertung wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt.

Tab. 28: Wechselwirkungen zwischen Zerkleinerung und thermischer Behandlung auf Ansatz und Verwertung von Rohprotein und Energie

Einflussfaktoren	n	Proteinansatz (g/Tier/d)	Proteinverwertung (%)	n	Energieansatz (g/Tier/d)	Energieverwertung (%)
Hammermühle x Kond.	15	8,3 ±0,7	45,0 ±4,3	14	462 ±49	43,8 ±4,7
Hammermühle x Expand.	16	8,0 ±0,6	46,8 ±2,4	16	411 ±45	42,9 ¹ ±3,1
Walzenstuhl x Kond.	16	7,8 ±0,8	47,3 ±1,6	16	414 ±51	44,2 ±2,7
Walzenstuhl x Expand.	15	8,3 ±0,7	46,8 ±3,7	15	441 ±43	43,9 ±4,0
F-Wert ¹		**	n.s.		***	n.s.

Signifikanz der Interaktion zwischen Zerkleinerung und thermischer Behandlung ** = $p \leq 0,01$) ¹)=15

Für die Wechselwirkungen zwischen Zerkleinerung und Zusatzstoffen oder thermische Behandlung und Zusatzstoffen sind die Ergebnisse in den Anhangstabellen A8 und A9 aufgezeigt.

Eine signifikante ($p \leq 0,05$) Wechselwirkung zwischen den drei Versuchsfaktoren (Zerkleinerung x Behandlung x Zusätze) wurde nur bei der Energieverwertung beobachtet (Tab. 24). Weitere Ergebnisse zum Vergleich aller Versuchsgruppen miteinander (multipler Mittelwertsvergleich) sind Tab. 23 zu entnehmen. Bei der Mehrzahl der Versuchsgruppen wurden keine signifikanten Unterschiede beim Ansatz und der Verwertung von Rohprotein und Energie festgestellt. Die Behandlungen (A+E) im Zusammenhang mit der Zerkleinerung und den Behandlungsverfahren zeigten signifikante Effekte auf den Protein- und Energieansatz oder zumindest einen numerischen Anstieg gegenüber der Kontrolle (ohne Zusatz) bzw. den anderen Versuchsgruppen (+A bzw. +E). Durch die alleinige Verabreichung von +A oder +E wurden keine statistisch gesicherten Unterschiede gegenüber der Kontrolle ermittelt. Die Daten der Verwertung von Rohprotein und Energie zeigen analog dazu nur eine tendenzielle Veränderung mit Ausnahme der Energieverwertung der Tiere der Behandlung Walzenstuhl x Expandierung ohne Zusatz.

3.3.1.5 Physiologischer Proteinnutzwert (PNu) als Parameter für die Proteinqualität, abgeleitet aus Tierkörperanalysen

Zur Bestimmung des PNu als Parameter für die Proteinverwertung wurden bei Zugrundlegung des über Körperanalysen gemessenen N-Ansatzes die gleichen Schritte wie bei der Ermittlung des PNu im Bilanzversuch (vergl. 3.2.6.3) durchgeführt. Nach Standardisierung der täglichen N-Aufnahme ($3500 \text{ mg/LM}_{\text{kg}}^{0,67}$) wurde der physiologische Proteinnutzwert errechnet.

Die Ergebnisse aller Behandlungen sind in Tab. 29 zusammengefasst.

Tab. 29: Einfluss von Zerkleinerung, thermischer Behandlung und Zusatzstoffen auf die PNu-Werte, abgeleitet von Tierkörperanalysen (n=4)

Einflussfaktoren (Behandlungen)		MW (%)	SD
HM/Kond.	0	58,5 ^{de}	±1,6
	+A	59,0 ^{de}	±2,9
	+E	59,5 ^{cde}	±0,7
	A+E	64,7 ^{ab}	±5,7
HM/Expand.	0	57,5 ^e	±3,2
	+A	61,8 ^{bcd}	±1,6
	+E	62,4 ^{abcd}	±0,8
	A+E	63,5 ^{abc}	±2,9
WS/Kond.	0	60,8 ^{bcde}	±1,4
	+A	62,2 ^{abcd}	±1,4
	+E	61,3 ^{bcde}	±1,8
	A+E	63,7 ^{abc}	±2,0
WS/Expand.	0	58,7 ^{ed}	±1,0
	+A	60,5 ^{bcde}	±3,4
	+E	61,8 ^{bcd}	±1,1
	A+E	66,1 ^a	±3,1

Werte mit unterschiedlich hochgestellten Buchstaben innerhalb jeder Spalte unterscheiden sich signifikant (Duncan-Test, $p \leq 0,05$)

Die Ergebnisse der Varianzanalyse (Tab. 30) zeigten keine Abhängigkeit des PNu von der Zerkleinerung und der thermischen Behandlung. Auch bei den Wechselwirkungen wurden keine signifikanten Effekte festgestellt. Die Zusatzstoffe beeinflussten die PNu-Werte jedoch signifikant ($p \leq 0,01$).

Tab. 30: Signifikanzeffekte der Versuchsfaktoren auf die PNu-Werte

Einflussfaktoren	PNu
Zerkleinerung (A)	ns.
Thermische Behandlung (B)	n.s.
Zusatzstoffe (C)	**
Wechselwirkungen	
A x B	n.s.
A x C	n.s.
B x C	n.s.
A x B x C	n.s.

** $p \leq 0,01$; n.s.) nicht signifikant $p > 0,05$

Beim Vergleich der Wirkungen der Versuchsfaktoren Zerkleinerungstechnologie (Hammermühle vs. Walzenstuhl) und thermische Behandlung (Konditionierung vs. Expandierung) zeigten sich keine signifikanten Effekte (Tab. 31). Dagegen waren die Effekte der Futterzusätze deutlicher ausgeprägt. Durch die Zusatzkombination (Antibiotikum + Enzym) verbesserte sich der physiologische Nutzwert bei den Tieren dieser Behandlung signifikant gegenüber den Tieren der anderen Zusatzstoff-Varianten. Zwischen den Tieren mit Antibiotikum- bzw. Enzymzulagen waren hinsichtlich PNu keine signifikanten Unterschiede zu beobachten. Sie zeigten jedoch einen signifikant höheren PNu im Vergleich zur unsupplementierten Kontrolle. Die Anhangstabellen A10, A11 und A12 zeigen weitere Ergebnisse zu den zweifachen Wechselwirkungen auf den physiologischen Proteinnutzwert.

Die dreifache Wechselwirkung zwischen den Versuchsfaktoren zeigt keine signifikanten Effekte (Tab. 30). Die Ergebnisse von allen Versuchsgruppen sind zum Vergleich in der Tab. 29 zusammengestellt. Hierbei ist festzustellen, dass die Mehrzahl der Kombinationen Zerkleinerung x Behandlung x (A+E) signifikant bessere physiologische Nutzwerte gegenüber den anderen Kombinationen mit einzelnen Supplementierungen (+A bzw. +E) oder ohne Zusatz (0) aufwiesen.

Tab. 31: Einflüsse der einzelnen Versuchsfaktoren auf die PNu-Werte

Zerkleinerung			
	n	MW	SD
Hammermühle	32	60,9 ^a	±3,6
Walzenstuhl	32	61,9 ^a	±2,8
Thermische Behandlungen			
Konditionierung	32	61,2 ^a	±3,2
Expandierung	32	61,6 ^a	±3,3
Futterzusätze			
Ohne Zusatz	16	58,9 ^c	±2,2
+ Antibiotikum	16	60,9 ^b	±2,6
+ Enzym	16	61,3 ^b	±1,6
Antbiotikum+Enzym	16	64,5 ^a	±3,5

Werte mit unterschiedlich hochgestellten Buchstaben innerhalb jeder Spalte unterscheiden sich signifikant (Duncan-Test, $p \leq 0,05$)

3.3.1.6 Scheinbare ileale Verdaulichkeit ausgewählter Aminosäuren

Tab. 32 fasst die Ergebnisse der einzelnen Versuchsgruppen hinsichtlich ilealer Verdaulichkeit einiger Aminosäuren zusammen.

Die scheinbare ileale Verdaulichkeit der Aminosäuren Lys, Thr und Met+Cys wurden durch die Versuchsfaktoren unterschiedlich beeinflusst. Die Signifikanzeffekte (Varianzanalyse) sind Tab. 33 zu entnehmen.

Die ileale Verdaulichkeit der Aminosäuren Thr und Met+Cys wurde signifikant ($p \leq 0,001$) durch die Zerkleinerungstechnologie beeinflusst, während sie bei der Aminosäure Lys keinen signifikanten Effekt zeigte. Ein signifikanter ($p \leq 0,05$) Einfluss der thermischen Behandlung ist bei der ilealen Verdaulichkeit von Lys zu sehen. Die Zusatzstoffe übten auf alle untersuchten ilealen Verdaulichkeitswerte einen hoch gesicherten Effekt aus.

Interaktionen zwischen den verschiedenen Versuchsfaktoren traten bei den untersuchten Parametern deutlich auf. Eine hoch signifikante ($p \leq 0,001$) Wechselwirkung zwischen der Zerkleinerung und der thermischen Behandlung ist bei den ausgewählten Aminosäurenverdaulichkeiten klar ausgeprägt. Wechselwirkungen zwischen thermischer Behandlung und Futterzusatz sind bei Lys schwach ($p \leq 0,05$), bei Thr relativ deutlich ($p \leq 0,01$) erkennbar. Tab. 33 verdeutlicht auch, dass ein signifikanter Interaktionseffekt von Zerkleinerung, Behandlung und Futterzusätzen auf die scheinbare ileale Aminosäurenverdaulichkeit existiert. Dieser Effekt zeigte sich stark ($p \leq 0,001$) bei der Lysinverdaulichkeit und abgeschwächt ($p \leq 0,05$) bei der Thr- und Met+Cys – Verdaulichkeit.

Tab. 32: Einflüsse von Zerkleinerung, thermischer Behandlung und Zusatzstoffen auf die scheinbare ileale Aminosäurenverdaulichkeit (% , n=4)

Einflussfaktoren (Behandlungen)		Aminosäuren					
		Lys		Thr		Met+Cys	
		MW	SD	MW	SD	MW	SD
HM/Kond.	0	76,9 ^{ghi}	±6,4	74,8 ^{ef}	±2,6	65,2 ^f	±7,2
	+A	71,4 ^j	±5,3	74,3 ^f	±3,3	64,5 ^f	±4,6
	+E	80,4 ^{efgh}	±3,1	78,2 ^{def}	±4,0	73,0 ^e	±3,5
	A+E	82,1 ^{cdef}	±0,7	79,2 ^{bcde}	±2,1	73,5 ^{de}	±3,0
HM/Expand.	0	79,3 ^{ighi}	±5,1	75,4 ^{ei}	±5,3	70,8 ^e	±5,3
	+A	86,3 ^{abcd}	±1,9	78,4 ^{def}	±2,5	74,1 ^{cde}	±4,1
	+E	88,8 ^{ab}	±0,7	83,1 ^{abc}	±1,0	79,3 ^{abc}	±1,6
	A+E	89,5 ^a	±1,0	83,5 ^{ab}	±1,0	79,1 ^{abcd}	±3,1
WS/Kond.	0	81,5 ^{defg}	±2,0	79,0 ^{cde}	±2,8	79,6 ^{abc}	±3,0
	+A	87,3 ^{ab}	±1,2	85,0 ^a	±2,1	83,7 ^a	±2,6
	+E	84,3 ^{bcde}	±1,6	80,6 ^{bcd}	±2,2	81,2 ^a	±2,5
	A+E	87,1 ^{ab}	±0,7	85,1 ^a	±1,8	84,5 ^a	±1,5
WS/Expand.	0	75,0 ^{ij}	±2,5	76,2 ^{ei}	±2,5	74,8 ^{bcde}	±1,9
	+A	76,3 ^{hi}	±4,5	75,4 ^{ef}	±3,9	72,9 ^{e1}	±4,6
	+E	84,0 ^{bcdef}	±0,9	82,7 ^{abc}	±0,9	80,3 ^{ab}	±1,2
	A+E	86,7 ^{abc}	±1,7	85,7 ^a	±1,4	82,5 ^a	±2,8

Werte mit unterschiedlich hochgestellten Buchstaben innerhalb jeder Spalte unterscheiden sich signifikant (Duncan-Test, $p \leq 0,05$) ¹⁾ n=3

Tab. 33: Signifikanzeffekte der Versuchsfaktoren auf die scheinbare ileale Verdaulichkeit von ausgewählten Aminosäuren

Einflussfaktoren	Aminosäuren		
	Lys	Thr	Met+Cys
Zerkleinerung (A)	n.s.	***	***
Thermische Behandlung (B)	*	n.s.	n.s.
Zusatzstoffe (C)	***	***	***
Wechselwirkungen			
A x B	***	***	***
A x C	n.s.	n.s.	n.s.
B x C	*	**	n.s.
A x B x C	***	*	*

* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$; n.s.) nicht signifikant $p > 0,05$

Der Vergleich von isolierten Effekten der Zerkleinerung durch Hammermühle bzw. Walzenstuhl erbrachte keine signifikante Wirkung auf die scheinbare ileale Lysinverdaulichkeit. Dagegen führte die Zerkleinerung mit dem Walzenstuhl zu einer signifikanten Steigerung der ilealen Verdaulichkeit von Thr und Met+Cys gegenüber der Zerkleinerung mit der Hammermühle (Tab 34). In Abb. 6 sind die relativen Verbesserungen durch WS-Zerkleinerung gegenüber HM-Zerkleinerung graphisch dargestellt.

Tab. 34: Einflüsse der Zerkleinerungsverfahren auf die scheinbare ileale Aminosäurenverdaulichkeit (%)

Einflussfaktoren	Aminosäuren			
	n	Lys	Thr	Met+Cys
Hammermühle	32	81,8 ^a ±6,7	78,4 ^a ±4,3	72,4 ^a ±6,5
Walzenstuhl	32	82,8 ^a ±5,0	81,2 ^b ±4,4	80,2 ^{b1} ±4,4

Werte mit unterschiedlich hochgestellten Buchstaben innerhalb jeder Spalte unterscheiden sich signifikant (Duncan-Test, $p \leq 0,05$) ¹n = 31

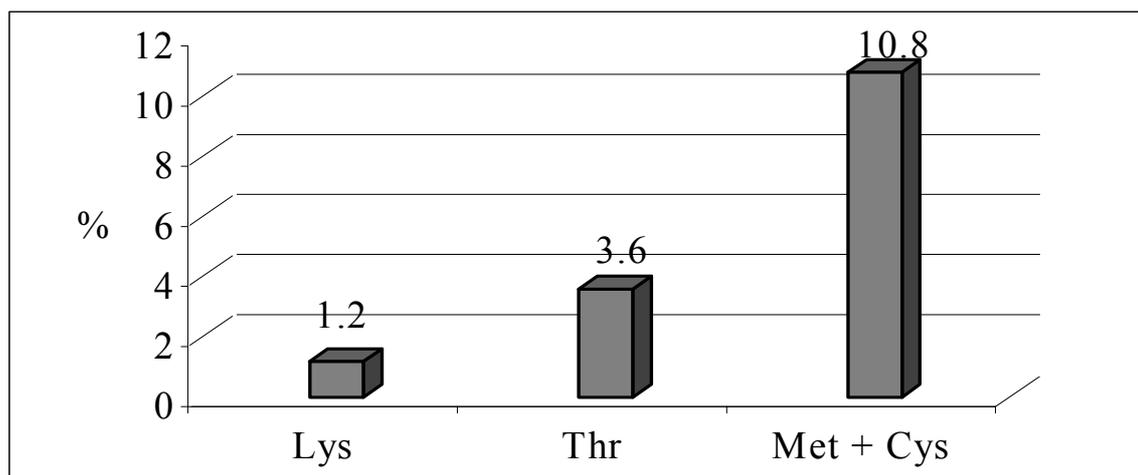


Abb. 6: Prozentuale Verbesserung der scheinbaren ilealen Verdaulichkeit ausgewählter AS durch WS-Zerkleinerung gegenüber HM-Zerkleinerung

Die isolierten Effekte der thermischen Behandlungen zeigt Tab. 35. Das Expandieren bewirkte eine signifikante Verbesserung der ilealen Lysinverdaulichkeit um 1.9 Einheiten im Vergleich zum konditionierten Futter. Die scheinbare ileale Verdaulichkeit von Thr und Met+Cys zeigte tendenzielle Verbesserungen durch Expandierung (Tab. 35 und Abb. 7).

Tab. 35: Einflüsse der thermischen Behandlungsverfahren auf die ileale Aminosäurenverdaulichkeit (%)

Einflussfaktoren	Aminosäuren			
	n	Lys	Thr	Met+Cys
Konditionierung	32	81,4 ^a ±5,8	79,5 ^a ±4,5	75,7 ^a ±8,2
Expandierung	32	83,3 ^b ±5,9	80,0 ^a ±4,6	76,8 ^{a1} ±4,9

Werte mit unterschiedlich hochgestellten Buchstaben innerhalb jeder Spalte unterscheiden sich signifikant (Duncan-Test, $p \leq 0,05$)
¹⁾ n=31

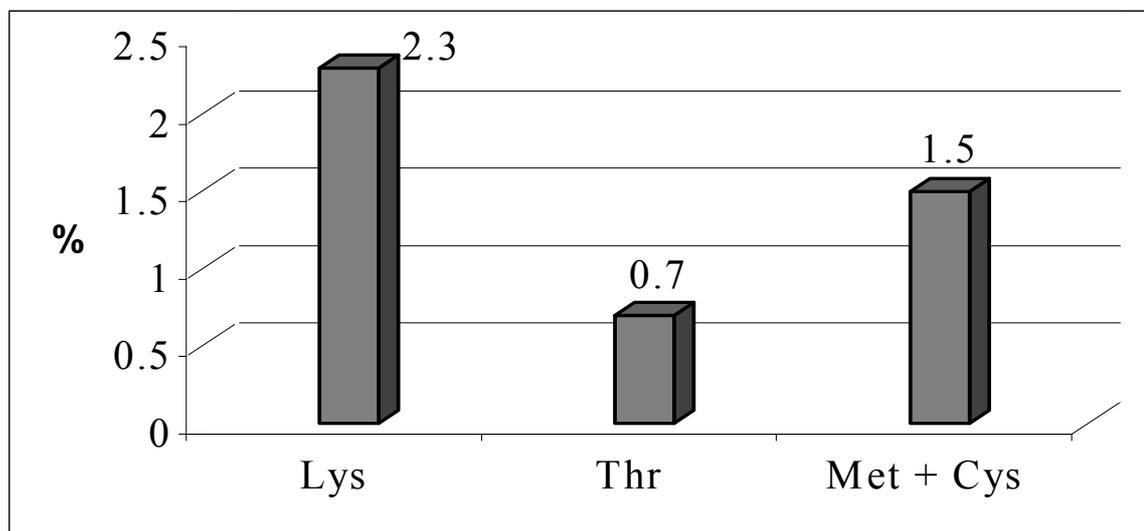


Abb. 7: Prozentuale Verbesserung der scheinbaren ilealen Verdaulichkeit ausgewählter AS durch Expandieren gegenüber Konditionieren

Bei Betrachtung der Zusatzstoffeffekte (Tab. 36) führte der Enzymzusatz (+E) allein oder in Kombination mit dem Antibiotikum (A + E) zu einer signifikanten Verbesserung der scheinbaren ilealen Aminosäurenverdaulichkeiten gegenüber der unsupplementierten Kontrolle. Im Vergleich zur Zink-Bacitracin-Gruppe (+A) zeigten sich ebenfalls durchgängig signifikante Verdaulichkeitsverbesserungen durch die Zusatzstoffkombination (A+E). Die Verbesserung von scheinbar ilealer Lysinverdaulichkeit erreichte 7,9 % und 10,4 % bei Enzymzusatz und Kombinationszulage im Vergleich zur Kontrolle. Außerdem zeigte sich eine signifikant überlegene Wirkung der Zusatzkombination bei der ilealen Threoninverdaulichkeit gegenüber dem alleinigen Enzymzusatz (Tab. 36). Die Versuchstiere mit Zink-Bacitracin-Supplementation zeigten gegenüber der Kontrolle keine statistisch gesicherte Differenz der ilealen Verdaulichkeitswerte. Die relativen Verbesserungen der Messwerte durch die Futterzusätze sind in Abb. 8 aufgezeigt.

Tab. 36: Einflüsse der Zusatzstoffe auf die scheinbare ileale Aminosäurenverdaulichkeit (%)

Einflussfaktoren	Aminosäuren			
	n	Lys	Thr	Met+Cys
ohne Zusatz	16	78,2 ^a ±4,7	76,4 ^a ±3,5	72,6 ^a ±7,0
Antibiotikum	16	80,3 ^a ±7,7	78,3 ^a ±5,1	73,9 ^{a1} ±8,1
Enzym	16	84,4 ^b ±3,5	81,1 ^b ±2,9	78,4 ^b ±4,0
Antibiotikum+Enzym	16	86,3 ^b ±2,3	83,4 ^c ±3,0	79,9 ^b ±5,0

Werte mit unterschiedlich hochgestellten Buchstaben innerhalb jeder Spalte unterscheiden sich signifikant (Duncan-Test, $p \leq 0,05$)

¹⁾ n=15

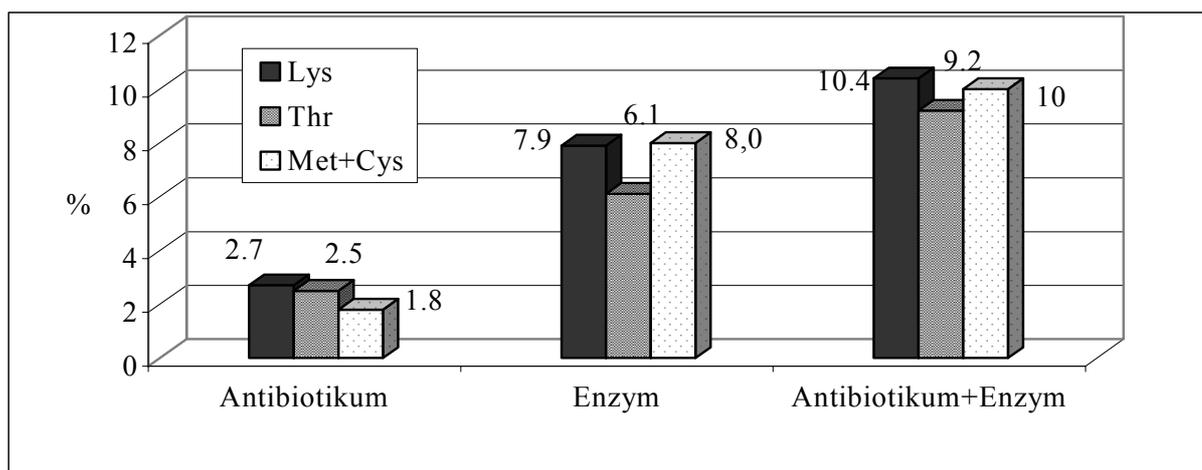


Abb. 8: Relativer Wirkungsvergleich der Futterzusatzstoffe auf die scheinbare ileale Verdaulichkeit ausgewählter Aminosäuren (prozentuale Abweichung von der unsupplementierten Kontrolle)

Hinsichtlich der Wirkungen von Verfahrenskombinationen wird eine hoch signifikante ($p \leq 0,001$) Wechselwirkung zwischen Zerkleinerung und thermischer Behandlung bei den scheinbaren ilealen Verdaulichkeiten der ausgewählten Aminosäuren beobachtet. Aus Tab. 37 geht hervor, dass die Kombination Hammermühlengerkleinerung x Expandierung zu einer signifikant höheren ilealen Aminosäureverdaulichkeit gegenüber dem Verfahren Hammermühle x Konditionierung geführt hat. Die Kombination Walzenstuhl x Konditionierung zeigte eine signifikante Steigerung der scheinbaren ilealen Aminosäureverdaulichkeit im Vergleich zum Verfahren Walzenstuhl x Expandierung

Tab. 37: Wechselwirkungen zwischen Zerkleinerung und thermischer Behandlung auf die scheinbare ileale Aminosäureverdaulichkeit (%)

Einflussfaktoren	Aminosäuren				
	n	Lys	Thr	n	Met+Cys
Hammermühle x Kond.	16	77,7 ±5,8	76,7 ±3,5	16	69,1 ±6,1
Hammermühle x Expand.	16	86,0 ±4,8	80,1 ±4,4	16	75,8 ±5,0
Walzenstuhl x Kond.	16	85,0 ±2,8	82,4 ±3,4	16	82,3 ±3,0
Walzenstuhl x Expand.	16	80,5 ±5,7	80,0 ±5,0	15	77,9 ±4,7
F-Wert ¹		***	***		***

1) Signifikanz der Interaktion zwischen Zerkleinerung und thermischer Behandlung *** = $p \leq 0,001$

Weitere signifikante Effekte der Wechselwirkungen zeigten sich zwischen thermischer Behandlung und Futterzusätzen bei der scheinbaren ilealen Lysin- und Threoninverdaulichkeit (Tab. 38). Bei der scheinbaren ilealen Verdaulichkeit von Met+Cys trat kein signifikanter Effekt auf. Tab. 38 ist ferner zu entnehmen, dass eine Überlegenheit durch die Kombination thermischer Behandlungen (Konditionierung oder Expandierung) mit der Zulage des Enzyms oder von Antibiotikum+Enzym gegenüber den Versuchsgruppen mit Antibiotikum bzw. der unsupplementierten Kontrolle gegeben war. Signifikante Interaktionen zwischen Zerkleinerung und Zusatzstoffen auf die scheinbare ileale Aminosäurenverdaulichkeit waren nicht vorhanden (s. Anhangstabelle A13).

In Tab. 32 waren die Ergebnisse der einzelnen Versuchsgruppen und die Einflüsse der gemeinsamen Versuchsfaktoren (Zerkleinerung x Behandlung x Futterzusätze) bereits zusammengefasst vergleichbar (multipler Mittelwertsvergleich).

Tab. 38: Wechselwirkungen zwischen thermischer Behandlung und Zusatzstoffen auf die scheinbare ileale Aminosäurenverdaulichkeit (%)

Einflussfaktoren	Aminosäuren				
	n	Lys	Thr	n	Met+Cys
Konditionierung x ohne Zusatz	8	79,2 ±5,1	76,9 ±3,3	8	72,4 ±9,2
Konditionierung x Antibiotikum	8	79,3 ±9,2	79,6 ±6,3	8	74,1 ±10,3
Konditionierung x Enzym	8	82,3 ±3,1	79,4 ±3,2	8	77,1 ±5,2
Konditionierung x (Antibiotikum+Enzym)	8	84,6 ±2,7	82,2 ±3,5	8	79,0 ±6,3
Expandierung x ohne Zusatz	8	77,2 ±4,4	75,8 ±3,9	8	72,8 ±4,3
Expandierung x Antibiotikum	8	81,3 ±6,2	76,9 ±3,4	7	73,6 ±3,4
Expandierung x Enzym	8	86,4 ±2,7	82,9 ±0,9	8	79,8 ±1,4
Expandierung x (Antibiotikum+Enzym)	8	88,1 ±2,0	84,6 ±1,7	8	80,8 ±3,3
F-Wert ¹		*	**		n.s.

1) Signifikanz der Interaktion zwischen Zerkleinerung und thermischer Behandlung * = $p \leq 0,05$ ** = $p \leq 0,0$

3.3.1.7 Der Einfluss der Zerkleinerungs- und Behandlungsverfahren sowie Futterzusätzen auf die Azetatkonzentration im Ileum

Durch die Messung der Konzentrationen von kurzkettigen flüchtigen Fettsäuren im Chymus des Ileum konnten indirekte Aussagen über die Einflüsse der Versuchsfaktoren im einzelnen oder in Kombination auf die Darmflora in diesem Darmabschnitt abgeleitet werden.

Bei der Bestimmung der kurzkettigen flüchtigen Fettsäuren wurde in den untersuchten Chymusproben nur Essigsäure gefunden. Die anderen flüchtigen Fettsäuren (Butter- und Propionsäure) zeigten nur Spuren. Deshalb wurden in der vorliegenden Arbeit nur die Ergebnisse für Essigsäure berücksichtigt. Die Ergebnisse der einzelnen Versuchsgruppen sind Tab. 39 zu entnehmen.

Tab. 39: Einflüsse von Zerkleinerung, thermischer Behandlung und Zusatzstoffen auf die Azetatkonzentration in Ileumchymus ($\mu\text{mol}/\%$ HCl unlösliche Asche, n=4)

Einflussfaktoren (Behandlungen)		Azetatkonzentration	
		MW	SD
HM/Kond.	0	218 ^{ab}	± 64
	+A	185 ^{bcd}	± 21
	+E	256 ^a	± 113
	A+E	205 ^{abc}	± 24
HM/Expand.	0	188 ^{bcd}	± 25
	+A	156 ^{cde}	± 17
	+E	144 ^{ed}	± 17
	A+E	115 ^e	± 18
WS/Kond.	0	172 ^{cde}	± 11
	+A	141 ^{ed}	± 25
	+E	116 ^e	± 11
	A+E	116 ^e	± 15
WS/Expand.	0	145 ^{ed}	± 10
	+A	148 ^{cde}	± 20
	+E	117 ^e	± 10
	A+E	117 ^e	± 7

Werte mit unterschiedlich hochgestellten Buchstaben innerhalb jeder Spalte unterscheiden sich signifikant (Duncan-Test, $p \leq 0,05$)

Die Signifikanzeffekte der Versuchsfaktoren sind in Tab. 40 dargestellt. Die Zerkleinerung und thermische Behandlung zeigten bezüglich Wirkung auf die Azetatkonzentration im Ileumchymus hochsignifikante ($p \leq 0,001$) Einflüsse. Auch die Futterzusätze zeigten signifikante ($p \leq 0,01$) Effekte. Eine hoch gesicherte Wechselwirkung zwischen der Zerkleinerung und der thermischen Behandlung war ebenfalls nachweisbar.

Tab. 40: Signifikanzeffekte der Versuchsfaktoren auf die Azetatkonzentration im Ileumchymus

Einflussfaktoren	Azetatkonzentration (Ileumchymus)
Zerkleinerung (A)	***
Thermische Behandlung (B)	***
Zusatzstoffe (C)	**
Wechselwirkungen	
A x B	***
A x C	n.s.
B x C	n.s.
A x B x C	n.s.

** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$; n.s.) nicht signifikant $p > 0,05$

Bei den Vergleich der einzelnen Effekte miteinander lag die Azetatkonzentration am Ende des Ileums nach Walzenstuhlzerkleinerung signifikant niedriger als nach Hammermühlengerkleinerung (Tab. 41). Die Expandierung bewirkte eine signifikante Reduzierung der Azetatkonzentration gegenüber der Konditionierung.

Die Futterzusätze zeigten eine numerische Verminderung der Azetatkonzentration (+A, +E) bzw. eine signifikante Reduzierung durch die Kombination (A+E) gegenüber den unsupplementierten Kontrollen.

Tab. 41: Einflüsse der einzelnen Versuchsfaktoren auf die Azetatkonzentration im Ileumchymus ($\mu\text{mol}/\%$ HCl unlösliche Asche)

Zerkleinerung			
	n	MW	SD
Hammermühle	32	183 ^a	±61
Walzenstuhl	32	134 ^b	±24
Thermische Behandlung			
Konditionierung	32	176 ^a	±64
Expandierung	32	141 ^b	±28
Futterzusätze			
Ohne Zusatz	16	181 ^a	±41
+ Antibiotikum	16	158 ^{ab}	±25
+ Enzym	16	158 ^{ab}	±79
Antibiotikum+Enzym	16	138 ^b	±43

Werte mit unterschiedlich hochgestellten Buchstaben innerhalb jeder Spalte unterscheiden sich signifikant (Duncan-Test, $p \leq 0,05$)

Die Ergebnisse der ausgewählten Wechselwirkungen (Tab. 42) zeigen, dass die Zerkleinerung des Futters mit Hammermühle oder Walzenstuhl in Verbindung mit anschließender Expandierung zu einer signifikant niedrigeren Azetatkonzentration führte. Weitere Wechselwirkungen, die jedoch keine statistische Sicherung zeigten, sind im Tabellenanhang (A14, A15) zusammengefasst.

In Tab. 39 sind die Ergebnisse der Wechselwirkungen aller drei Versuchsfaktoren (multipler Mittelwertsvergleich) auf die Azetatkonzentration im Ileum dargestellt.

Tab. 42: Wechselwirkungen zwischen Zerkleinerung und thermischer Behandlung auf die Azetatkonzentration im Ileumchymus ($\mu\text{mol}/\%$ HCl unlösliche Asche)

Einflussfaktoren	Azetatkonzentration		
	n	MW	SD
Hammermühle x Kond.	16	216	±65
Hammermühle x Expand.	16	150	±32
Walzenstuhl x Kond.	16	136	±28
Walzenstuhl x Expan.	16	132	±19
F-Wert ¹		***	

1) Signifikanz der Interaktion zwischen Zerkleinerung und thermischer Behandlung *** = $p \leq 0,001$

3.3.2 N-Bilanzversuche

3.3.2.1 N-Verwertungsparameter und Lysinwirksamkeit

Die Ergebnisdaten zur N-Verwertung und Lysinwirksamkeit sind in der folgenden Tab. 43 wiedergegeben.

Tab. 43: Einflüsse von Zerkleinerung, thermischer Behandlung und Zusatzstoffen auf N-Bilanzdaten, N-Verwertung und Lysinwirksamkeit (n=6)

Einflussfaktoren (Behandlungen)		Untersuchungsparameter							
		N-Aufnahme (mg/d/LM _{kg} ^{0,67})		N-Bilanz (mg/d/LM _{kg} ^{0,67})		PNu* (%)		Lysin- wirksamkeit (bc ⁻¹)	
		MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
HM/Kond.	0	3319 ^{abcd}	±193	1678 ^{abcd1}	±87	63,7 ^{bcd1}	±2,1	72 ^{bcd1}	±4
	+A	3463 ^a	±181	1686 ^{abcd}	±97	62,9 ^{cd}	±1,7	70 ^{cd}	±3
	+E	3240 ^{bcd}	±52	1703 ^{abc}	±110	65,7 ^{abc}	±3,2	76 ^{abc}	±7
	A+E	3191 ^d	±27	1707 ^{abc}	±86	66,4 ^{ab}	±2,7	78 ^{ab}	±6
HM/Expand.	0	3354 ^{abcd}	±48	1519 ^e	±113	59,2 ^e	±2,9	64 ^e	±5
	+A	3444 ^{ab}	±220	1550 ^{ed}	±87	59,2 ^e	±1,5	63 ^e	±3
	+E	3378 ^{abcd}	±131	1639 ^{bcde}	±104	62,4 ^d	±1,9	69 ^d	±4
	A+E	3243 ^{bcd}	±144	1605 ^{cde}	±134	62,9 ^{cd}	±2,8	70 ^{cd}	±5
WS/Kond.	0	3391 ^{abcd}	±48	1761 ^{ab2}	±28	65,7 ^{abc2}	±0,5	76 ^{abc2}	±1
	+A	3416 ^{abc2}	±177	1681 ^{abcd2}	±47	63,2 ^{cd2}	±1,2	71 ^{cd2}	±2
	+E	3418 ^{abc}	±59	1811 ^{a2}	±44	67,1 ^{a2}	±1,3	79 ^{a2}	±3
	A+E	3227 ^{cd}	±236	1644 ^{bcde}	±61	64,3 ^{abcd}	±1,4	73 ^{bcd}	±3
WS/Expand	0	3416 ^{abc2}	±129	1691 ^{abcd}	±158	65,5 ^{abc}	±1,5	76 ^{abc}	±3
	+A	3411 ^{abc2}	±140	1702 ^{abc2}	±83	63,9 ^{bcd2}	±1,0	72 ^{bcd2}	±2
	+E	3430 ^{abc}	±146	1701 ^{abc}	±82	63,2 ^{cd}	±1,9	71 ^{cd}	±4
	A+E	3440 ^{ab}	±215	1730 ^{abc}	±178	64,1 ^{bcd}	±3,2	73 ^{bcd}	±7

Werte mit unterschiedlich hochgestellten Buchstaben innerhalb jeder Spalte unterscheiden sich signifikant (Duncan-Test, $p \leq 0,05$)
¹⁾ n=4 ²⁾ n=5 *) standardisierte N-Aufnahme

Die Ergebnisse der Varianzanalyse für die Parameter N-Aufnahme, N-Bilanz, physiologischer Proteinnutzwert (PNu) und Lysinwirksamkeit sind in Tab. 44 zusammengefasst. Der Effekt der Zerkleinerung auf die N-Aufnahme war schwach signifikant ($p \leq 0,05$), bei den anderen Parametern (N-Bilanz, PNu und Lysinwirksamkeit) stärker ($p \leq 0,001$) ausgeprägt. Die thermische Behandlung verursachte unterschiedliche signifikante Wirkungen. Während der Einfluss auf die N-Aufnahme nicht gesichert war ($p > 0,05$), zeigten sich deutliche Effekte bei der N-Bilanz, dem physiologischen Proteinnutzwert und der Lysinwirksamkeit.

Tab. 44: Signifikanzeffekte der Versuchsfaktoren auf N-Bilanzergebnisse, N-Verwertung und Lysinwirksamkeit

Einflussfaktoren	Untersuchungsparameter			
	N-Aufnahme (mg/d/LM _{kg} ^{0,67})	N-Bilanz (mg/d/LM _{kg} ^{0,67})	PNu* (%)	Lysin- wirksamkeit (bc ⁻¹)
Zerkleinerung (A)	*	***	***	***
Thermische Behandlung (B)	n.s.	**	***	***
Zusatzstoffe (C)	**	n.s.	**	**
Wechselwirkung				
A x B	n.s.	*	**	**
A x C	n.s.	n.s.	**	**
B x C	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
A x B x C	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$; n.s.) nicht signifikant $p > 0,05$ *) standardisierte N-Aufnahme

Die Futterzusätze übten bei fast allen untersuchten Parametern etwa den gleichen signifikanten Effekt ($p \leq 0,01$) aus. Eine Ausnahme bildete die tägliche N-Bilanz, die durch die geprüften Futterzusätze unbeeinflusst blieb.

Eine signifikante Wechselwirkung zwischen Zerkleinerung und thermischer Behandlung bestand bei der N-Bilanz, beim physiologischen Proteinnutzwert und bei der Lysinwirksamkeit. Die beiden letztgenannten Parameter wurden durch die Wechselwirkung zwischen Zerkleinerung und Futterzusätzen signifikant ($p \leq 0,01$) beeinflusst.

Hinsichtlich des Vergleiches der Zerkleinerungstechnologie zeigte die Zerkleinerung mit dem Walzenstuhl signifikant höhere tägliche N-Aufnahmen und demzufolge statistisch gesichert erhöhte N-Bilanzen sowie eine verbesserte N-Verwertung (PNu) und Lysinwirksamkeit gegenüber der Hammermühlengerkleinerung (Tab. 45).

Tab. 45: Einflüsse der Zerkleinerung auf N-Verwertungsparameter und Lysinwirksamkeit (MW, SD)

Einflussfaktoren	Untersuchungsparameter					
	n	N-Aufnahme (mg/d/LM _{kg} ^{0,67})	n	N-Bilanz (mg/d/LM _{kg} ^{0,67})	PNu* (%)	bc ⁻¹
Hammermühle	48	3329 ^b ±162	46	1634 ^b ±118	62,8 ^b ±3,4	70 ^b ±7
Walzenstuhl	45	3392 ^a ±159	44	1713 ^a ±106	64,6 ^a ±2,0	74 ^a ±4

Werte mit unterschiedlich hochgestellten Buchstaben innerhalb jeder Spalte unterscheiden sich signifikant (Duncan-Test, $p \leq 0,05$) *) standardisierte N-Aufnahme

Zum Ergebnis von thermischen Behandlungen (Tab. 46) gab es bei der täglichen N-Aufnahme keine signifikanten Unterschiede zwischen konditioniertem und expandiertem Futter. Jedoch wurde durch die Expandierung ein numerischer Anstieg der täglichen N-Aufnahme festgestellt. Trotz dieser Tendenz zeigten die Versuchstiere mit expandiertem Futter signifikant niedrigere N-Bilanzwerte. Ebenso waren physiologische Proteinnutzwerte (PNu) und Lysinwirksamkeit gegenüber den Versuchstieren mit konditioniertem Futter vermindert.

Tab. 46: Einflüsse der thermischen Behandlung auf N-Verwertungsparameter und Lysinwirksamkeit (MW, SD)

Einflussfaktoren	Untersuchungsparameter					
	n	N-Aufnahme (mg/d/LM _{kg} ^{0,67})	n	N-Bilanz (mg/d/LM _{kg} ^{0,67})	PNu* (%)	bc ⁻¹
Konditionierung	47	3331 ^a ±165	43	1707 ^a ±86	64,9 ^a ±2,3	74 ^a ±5
Expandierung	46	3388 ^a ±157	47	1641 ^b ±134	62,5 ^b ±3,0	70 ^b ±6

Werte mit unterschiedlich hochgestellten Buchstaben innerhalb jeder Spalte unterscheiden sich signifikant (Duncan-Test, $p \leq 0,05$) *) standardisierte N-Aufnahme

Beim Vergleich der Futterzusätze miteinander (Tab. 47) zeigte die Zusatzkombination (A + E) signifikant niedrigere N-Aufnahmen im Vergleich zu den anderen Versuchsgruppen. Die Kontrollgruppe (ohne Zusatz) unterscheidet sich bei diesem Parameter gegenüber den anderen Versuchsgruppen mit Antibiotikum oder mit Enzym nicht signifikant. Bei den Parametern N-Bilanz, PNu und Lysinwirksamkeit zeigten die Futterzusätze kaum signifikante Unterschiede. Durch die Supplementierung (+A) waren der physiologische Proteinnutzwert des Futterproteins sowie die Gesamtwirkung des Lysins reduziert.

Tab. 47: Einflüsse der Zusatzstoffe auf N-Verwertungsparameter und Lysinwirksamkeit

Einflussfaktoren	Untersuchungsparameter					
	n	N-Aufnahme (mg/d/LM _{kg} ^{0,67})	n	N-Bilanz (mg/d/LM _{kg} ^{0,67})	PNu* (%)	bc ⁻¹
Ohne Zusatz	23	3368 ^a ±118	21	1656 ^a ±140	63,4 ^{ab} ±3,4	72 ^a ±6
Antibiotikum	22	3435 ^a ±172	22	1651 ^a ±99	62,2 ^b ±2,3	69 ^b ±4
Enzym	24	3366 ^a ±115	23	1709 ^a ±103	64,5 ^a ±2,8	74 ^a ±6
Antibiotikum + Enzym	24	3275 ^b ±191	24	1671 ^a ±125	64,4 ^a ±2,7	74 ^a ±6

Werte mit unterschiedlichen hochgestellten Buchstaben innerhalb jeder Spalte unterscheiden sich signifikant (Duncan-Test, $p \leq 0,05$) *) standardisierte N-Aufnahme

Aus Tab. 47 ist auch zu ersehen, dass die N-Aufnahme bei der Zink-Bacitracin-Supplementation erhöht war. Es zeigte sich trotzdem eine Reduzierung von N-Bilanz, physiologischem Proteinnutzwert und Lysinwirksamkeit.

Die Wechselwirkung zwischen Zerkleinerung und themischer Behandlung weist auf eine signifikante Beziehung zwischen der Zerkleinerung und der Konditionierung hin (Tab. 48). Aus der Tab. 48 ist zu entnehmen, dass die Parameter N-Bilanz, physiologischer Proteinnutzwert und Lysinwirksamkeit durch die Verfahrenskombinationen Hammermühle x Konditionierung oder Walzenstuhl x Konditionierung gegenüber den Kombinationen Hammermühle x Expandierung oder Walzenstuhl x Expandierung verbessert werden.

Tab. 48: Wechselwirkungen zwischen Zerkleinerung und thermischer Behandlung auf N-Verwertung und Lysinwirksamkeit

Einflussfaktoren	Bilanzparameter					
	n	N-Aufnahme (mg/d/LM _{kg} ^{0,67})	n	N-Bilanz (mg/d/LM _{kg} ^{0,67})	PNu* (%)	bc ⁻¹
Hammermühle x Konditionierung	23	3303 ±165	22	1995 ±91	64,8 ±2,3	74 ±6
Hammermühle x Expandierung	24	3355 ±157	24	1578 ±113	60,9 ±2,8	67 ±5
Walzenstuhl x Konditionierung	23	3360 ±163	21	1721 ±81	65,0 ±1,8	75 ±4
Walzenstuhl x Expandierung	22	3425 ±152	23	1706 ±126	64,2 ±2,2	73 ±4
F-Wert ¹		n.s.		*	**	**

1) Signifikanz der Interaktion zwischen Zerkleinerung und thermischer Behandlung

* = p ≤ 0,05 ** = p ≤ 0,01

*) standardisierte N-Aufnahme

Die Wechselwirkungen zwischen Zerkleinerung und Zusatzstoffen werden anhand der Daten in Tab. 49 verdeutlicht. Hierbei ist eine Abhängigkeit der Zusatzstoffwirkung von der Zerkleinerung mit der Hammermühle zu erkennen (Anstieg von physiologischem Proteinnutzwert und Lysinwirksamkeit), während Einflüsse der Zusatzstoffe im Zusammenhang mit Walzenstuhl-Zerkleinerung weniger deutlich werden (Tab. 49).

Die Ergebnisse für die Interaktion zwischen thermischer Behandlung x Zusatzstoffen sind in der Anhangstabelle A16 zusammengefasst.

Tab. 49: Wechselwirkungen zwischen Zerkleinerung und Zusatzstoffen auf N-Verwertungsparameter und Lysinwirksamkeit

Einflussfaktoren	Bilanzparameter					
	n	N-Aufnahme (mg/d/LM _{kg} ^{0,67})	n	N-Bilanz (mg/d/LM _{kg} ^{0,67})	PNu* (%)	bc ⁻¹
Hammermühle Ohne Zusatz	12	3337 ±136	10	1583 ±128	61,0 ±3,4	67 ±6
Hammermühle x Antibiotikum	12	3453 ±193	12	1618 ±113	61,0 ±2,4	67 ±5
Hammermühle x Enzym	12	3309 ±120	12	1671 ±107	64,1 ±3,0	73 ±6
Hammermühle x (A +E)	12	3217 ±102	12	1656 ±120	64,7 ±3,2	74 ±7
Walzenstuhl Ohne Zusatz	11	3402 ±90	11	1723 ±119	65,6 ±1,1	76 ±2
Walzenstuhl x Antibiotikum	10	3413 ±151	10	1692 ±64	63,6 ±1,1	71 ±2
Walzenstuhl x Enzym	12	3424 ±107	11	1751 ±86	65,0 ±2,6	74 ±5
Walzenstuhl x (A+E)	12	3334 ±242	12	1686 ±134	64,2 ±2,4	73 ±5
F-Wert ¹		n.s.		n.s.	**	**

1) Signifikanz der Interaktionen zwischen Zerkleinerung und thermischer Behandlung ** =p≤0.01

*) standardisierte N-Aufnahme

Generell haben die Futterzusätze in Verbindung mit Vorzerkleinerung und anschließender thermischer Behandlungen auf die N-Verwertungsparameter sowie auf die Lysinwirksamkeit keine gesicherten, verallgemeinerungsfähigen Effekte ausgeübt (vergl. Tab. 43).

3.3.2.2 Umsetzbare Energie (AMEn) und scheinbare N-Verdaulichkeit (α -amino-N-Methode)

Die Ergebnisse aller Versuchsgruppen sind in Tab. 50 zusammengefasst.

Tab. 50: Einflüsse von Zerkleinerung, thermischer Behandlung und Zusatzstoffen auf umsetzbare Energie und N-Verdaulichkeit (n=6)

Einflussfaktoren (Behandlungen)		Untersuchungsparameter			
		MEn (MJ/kgTS)		N-Verdaulichkeit (%)	
		MW	SD	MW	SD
HM/Kond.	0	13,6 ^{ab1}	±0,6	85,7 ^{abc1}	±1,3
	+A	13,2 ^{bc}	±0,4	86,8 ^{ab}	±1,8
	+E	14,1 ^a	±0,5	85,4 ^{bc}	±2,1
	A+E	14,0 ^a	±0,3	84,5 ^{bc}	±1,8
HM/Expand.	0	13,1 ^c	±0,1	80,5 ^d	±2,3
	+A	13,0 ^c	±0,6	84,2 ^c	±2,3
	+E	13,9 ^a	±0,1	86,6 ^{abc}	±1,5
	A+E	13,9 ^a	±0,3	85,7 ^{abc}	±1,1
WS/Kond.	0	13,7 ^a	±0,5	86,2 ^{abc}	±1
	+A	13,7 ^{a1}	±0,3	86,0 ^{abc1}	±1,8
	+E	13,7 ^a	±0,3	85,1 ^{bc}	±1,4
	A+E	13,8 ^a	±0,2	86,6 ^{abc}	±1,3
WS/Expand.	0	13,6 ^{ab}	±0,6	85,8 ^{abc}	±1,6
	+A	13,6 ^{ab1}	±0,2	85,7 ^{abc}	±1,3
	+E	14,0 ^a	±0,3	86,0 ^{abc}	±1,9
	A+E	14,0 ^a	±0,4	87,9 ^a	±2,1

Werte mit unterschiedlich hochgestellten Buchstaben innerhalb jeder Spalte unterscheiden sich signifikant (Duncan-Test, $p \leq 0,05$)

1) n=5

Die Effekte der Versuchsfaktoren auf die Parameter N-korrigierte umsetzbare Energie und N-Verdaulichkeit sind in Tab. 51 mit Hilfe der Varianzanalyse dargestellt.

Die Zerkleinerungsart beeinflusste die Gehalte an umsetzbarer Energie schwach signifikant, die Zusatzstoffe dagegen zeigten einen hoch signifikanten Einfluss. Die thermische Behandlung war auf AMEn und N-Verdaulichkeit ohne signifikante Effekte. Es trat eine signifikante Wechselwirkung zwischen Zerkleinerung und thermischer Behandlung bezüglich Gehalten umsetzbarer Energie auf (s. Tab. 51). Bei der N-Verdaulichkeit

erbrachten fast alle Versuchsfaktoren im einzelnen oder in den Wechselwirkungen verschieden hohe signifikante Wirkungen, lediglich bei der thermischen Behandlung waren die Ergebnisse nicht signifikant (Tab. 52).

Tab. 51: Signifikanzeffekte der Versuchsfaktoren auf umsetzbare Energie und N-Verdaulichkeit

Einflussfaktoren	Untersuchungsparameter	
	AMEn (MJ/kgTS)	N-Verdaulichkeit
Zerkleinerung (A)	*	***
Thermische Behandlung (B)	n.s.	n.s.
Zusatzstoffe (C)	***	**
Wechselwirkungen		
A x B	n.s.	*
A x C	**	**
B x C	n.s.	***
A x B x C	n.s.	*

* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$; n.s.) nicht signifikant $p > 0,05$

Die Zerkleinerung mit dem Walzenstuhl führte zum signifikanten Anstieg der umsetzbaren Energie des Versuchsfutters gegenüber der Zerkleinerung mit der Hammermühle (13,8 bzw. 13,6 MJ/kg TS). Das bedeutet eine relative Verbesserung der N-korrigierten scheinbaren umsetzbaren Energie durch die Walzenstuhl-Zerkleinerung um 1,5 %. Zwischen den thermischen Behandlungen (Konditionierung vs. Expandierung) zeigten sich keine nennenswerten Unterschiede. Durch den Zusatz von Enzym (+E) oder Enzym plus Zink-Bacitracin (A+E) wurde eine signifikante Erhöhung der umsetzbaren Energie um 3 % im Vergleich zur Kontrollgruppe (un-supplementiert) oder um 4,5 % zur Versuchsgruppe mit dem Antibiotikum Zink-Bacitracin (+A) festgestellt. Die Versuchsgruppen mit Enzymzusatz (+E) allein oder in Kombinationen (A+E) zeigten keine wesentlichen Unterschiede bei der umsetzbaren Energie (Tab. 52).

Ein ähnlicher Vorgang zeigte sich für die Versuchsfaktoren Zerkleinerung und thermische Behandlung beim Parameter N-Verdaulichkeit. Die N-Verdaulichkeit wurde bei den Walzenstuhl-Zerkleinerung signifikant erhöht. Hierbei verbesserte sich die N-Verdaulichkeit durch die Walzenstuhl-Zerkleinerung um etwa eine Einheit gegenüber der Zerkleinerung mit der Hammermühle.

Tab. 52: Einflüsse der einzelnen Versuchsfaktoren auf AMEn und N-Verdaulichkeit

Einflussfaktoren	AMEn (MJ/kg TS)			N-Verdaulichkeit (%)		
	n	MW	SD	n	MW	SD
Zerkleinerung						
Hammermühle	47	13,6 ^a	±0,6	47	84,9 ^a	±2,5
Walzenstuhl	46	13,8 ^b	±0,5	46	86,2 ^b	±1,6
Thermische Behandlung						
Konditionierung	46	13,7 ^a	±0,6	46	85,8 ^a	±1,6
Expandierung	47	13,6 ^a	±0,5	47	85,3 ^a	±2,7
Zusatzstoffe						
Ohne Zusatz	23	13,5 ^a	±0,5	23	84,5 ^b	±2,9
Antibiotikum (+A)	22	13,3 ^a	±0,5	22	85,7 ^a	±2,0
Enzym (+E)	24	13,9 ^b	±0,3	24	85,8 ^a	±1,7
Antibiotikum+Enzym	24	13,9 ^b	±0,3	24	86,2 ^a	±2,0

Werte mit unterschiedlich hochgestellten Buchstaben innerhalb jeder Spalte und Einflussfaktor unterscheiden sich signifikant (Duncan-Test $p \leq 0,05$)

Die Verbesserung der N-Verdaulichkeit durch die Futterzusätze betrug im Mittel 1 – 1,7 %. Wesentliche Unterschiede zwischen den Futterzusätzen sind nicht vorhanden, doch ist eine numerische Verbesserung bei diesem Parameter besonders durch die Zusatzkombination (A+E) gegenüber den Zusätzen von Enzym (+E) oder Antibiotikum (+A) zu beobachten (Tab. 52).

Aus den Ergebnissen der Wechselwirkung zwischen Zerkleinerung und Behandlung lässt sich feststellen, dass eine signifikant bessere N-Verdaulichkeit durch die Zerkleinerung mit dem Walzenstuhl und anschließender Behandlung als bei der Hammermühlengerkleinerung mit anschließender Behandlung (Tab. 53) gegeben ist. Durch die Wechselwirkung zwischen Zerkleinerung und Zusatzstoffen ist bezüglich der Parameter AMEn oder N-Verdaulichkeit eine signifikante Abhängigkeit zu beobachten (Tab. 54).

Tabelle 51 verdeutlicht weitere Ergebnisse zum Vergleich aller Versuchsgruppen miteinander hinsichtlich beider Parameter.

Tab. 53: Wechselwirkungen zwischen Zerkleinerung und thermischer Behandlung auf umsetzbare Energie und N-Verdaulichkeit

Einflussfaktoren	ME _n (MJ/kg TS)			N-Verdaulichkeit (%)		
	n	MW	SD	n	MW	SD
Hammermühle x Kond.	23	13,7	±0,6	23	85,5	±1,9
Hammermühle x Expand.	24	13,5	±0,5	24	84,2	±2,9
Walzenstuhl x Kond.	23	13,8	±0,3	23	86,0	±1,4
Walzenstuhl x Expand.	23	13,8	±0,4	23	86,4	±1,9
F-Wert ¹	n.s.			*		

1) Signifikanz der Interaktion zwischen Zerkleinerung und thermischer Behandlung *= p ≤ 0.05

Tab. 54: Wechselwirkungen zwischen Zerkleinerung und Zusatzstoffen oder thermischer Behandlung und Zusatzstoffen auf umsetzbare Energie und N-Verdaulichkeit

Einflussfaktoren	ME _n (MJ/kg TS)			N-Verdaulichkeit (%)		
	n	MW	SD	n	MW	SD
Zerkleinerung x Futterzusätze						
Hammermühle x ohne Zusatz	11	13,4	±0,5	11	82,9	±3,3
Hammermühle x Antibiotikum	12	13,1	±0,5	12	85,5	±2,4
Hammermühle x Enzym	12	14,0	±0,4	12	86,0	±1,9
Hammermühle x (A+E)	12	14,0	±0,4	12	85,1	±1,5
Walzenstuhl x ohne Zusatz	12	13,7	±0,5	12	86,0	±1,3
Walzenstuhl x Antibiotikum	10	13,7	±0,2	10	85,9	±1,5
Walzenstuhl x Enzym	12	13,8	±0,3	12	85,5	±1,6
Walzenstuhl x (A+E)	12	13,9	±0,3	12	87,3	±1,8
F-Wert	**			**		
Thermische Behandlung x Futterzusätze						
Konditionierung x ohne Zusatz	11	13,7	±0,5	11	86,0	±1,1
Konditionierung x Antibiotikum	11	13,4	±0,5	11	86,4	±1,7
Konditionierung x Enzym	12	13,9	±0,4	12	85,2	±1,7
Konditionierung x (A+E)	12	13,9	±0,2	12	85,5	±1,9
Expandierung x ohne Zusatz	12	13,4	±0,5	12	83,1	±3,3
Expandierung x Antibiotikum	11	13,3	±0,5	11	84,9	±2,0
Expandierung x Enzym	12	13,9	±0,2	12	86,3	±1,7
Expandierung x (A+E)	12	14,0	±0,3	12	86,8	±2,0
F-Wert ¹	n.s.			***		

1) Signifikanz der Interaktion zwischen Zerkleinerung und thermischer Behandlung *= p ≤ 0.05

4. Diskussion

4.1 Einfluss der Versuchsfaktoren und deren Wechselwirkungen auf die Leistungsparameter

4.1.1 Zerkleinerung

In den vorliegenden Untersuchungen zeigte die Zerkleinerung einen signifikanten Effekt auf die Mastleistungen. Durch die Zerkleinerung mit dem Walzenstuhl wurden Futtermittelverzehr sowie Futtermittelaufwand signifikant reduziert, während die mittlere tägliche Lebendmassezunahme unverändert blieb. Der Futtermittelaufwand war um -2,8 % durch die Walzenstuhl-Zerkleinerung verringert. Eine Erklärungsmöglichkeit hierfür ist, dass die Hammermühlen-Zerkleinerung zu einem höheren Gehalt an feinen Partikeln (FRIEDRICH, 1977) und damit zu Futterpellets mit niedrigerem Schüttgewicht (geringere Nährstoffdichte) führt, was wiederum einen höheren Futtermittelverzehr verursachen könnte. Bei der Walzenstuhl-Zerkleinerung entstehen Partikel mit größerer und gleichmäßiger Größe, die zu einem höheren Schüttgewicht der Futterpellets führen und demzufolge die Nährstoffdichte erhöhen, so dass die Tiere auch mehr Nährstoffe über das Futter aufnehmen. In der Untersuchung von HTOO (1999) zeigten die verschiedenen Zerkleinerungstechniken (Hammermühle vs. Walzenstuhl) beim täglichen Futtermittelverzehr dagegen keine Unterschiede. Beim Futtermittelaufwand stimmten sie jedoch mit den vorliegenden Ergebnissen überein, da der Futtermittelaufwand durch die Walzenstuhl-Zerkleinerung um 6,4 % reduziert wurde (HTOO, 1999).

Eine Erhöhung der Rohfettgehalte in den Tierkörpern durch die Zerkleinerung mit der Hammermühle, wie in der vorliegenden Arbeit gezeigt, ist dadurch zu begründen, dass die zerkleinerten Feinteilchen eine größere spezifische Oberfläche und damit bessere Voraussetzungen zur Fettaufnahme haben, wenn zur Energieanreicherung Fett aufgesprüht wird (vergl. HEIDENREICH, 1997). Die sonstigen Resultate der Nährstoffzusammensetzung und des –ansatzes sind wie bei HTOO (1999) durch die Zerkleinerungstechnologie (Hammermühle vs. Walzenstuhl) unverändert geblieben.

Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die Walzenstuhl-Zerkleinerung hinsichtlich der Parameter Futtermittelverwertung und Futtermittelaufnahme der Masthähnchen einen positive Effekt gegenüber Hammermühlen-Zerkleinerung erzielt hat.

4.1.2 Thermische Behandlung

Die Art der thermischen Behandlung zeigte in den vorliegenden Untersuchungen keine signifikanten Wirkungen auf die Mastleistungsparameter. Die zugeführte zusätzliche Energie bei dem Behandlungsverfahren Konditionierung/Expandierung führte zum gleichen Resultat wie bei der Konditionierung. Behandlungen in einem Temperaturbereich von 70°C (Konditionierer) oder 100°C (Expander) und der damit eingesetzte Nettoenergieverbrauch von 24,2 bzw. 28,7 kWh/t (Konditionierer bzw. Expander) bewirkte keine größeren Veränderungen, d. h. beide Verfahren zeigten den gleichen Effekt. Ergebnisse von JACKSON und BOLLINGIER (1994) zeigten, dass sich die zootechnischen Parameter bei männlichen Versuchstieren (1. - 30. LT) durch die Behandlung mit dem Expander oder durch Pelletierung (mit Vorkonditionierung) nicht signifikant veränderten und entsprachen somit den Ergebnissen dieser Arbeit. In einem anderen Mastversuch derselben Autoren wiesen nur die weiblichen Broiler im Mastabschnitt (1. – 30. LT), die mit expandiertem/pelletiertem Futter gefüttert wurden, signifikant höhere Lebendmassezunahmen auf. In dem Versuch von LIEBERT (1994) erbrachten verschiedene Behandlungsverfahren ähnliche Ergebnisse in bezug auf Futtermittelverzehr und Futteraufwand. Dagegen stellte VEST (1997) bei drei Mastversuchen fest, dass die Broiler bei Fütterung mit expandiertem/pelletiertem Futter signifikant höhere Wachstumsleistungen am 41. LT, aber eine unveränderte Futterverwertung gegenüber Tieren mit konditioniertem Futter aufwiesen.

Beide Behandlungsverfahren zeigten in der vorliegenden Arbeit keine Unterschiede in bezug auf Nährstoffzusammensetzung und –ansatz der Tierkörper. LIEBERT (1994) stellte zwischen verschiedenen Behandlungen ebenfalls keine statistisch gesicherten Unterschiede hinsichtlich des Protein- und Energieansatzes fest.

4.1.3 Futterzusätze

Die Futterzusätze führten in der vorliegenden Untersuchung zu keinem signifikanten Effekt auf den Futtermittelverzehr. Die Supplementierung von Zink-Bacitracin (+A) oder Enzym (+E) alleine deuteten auf eine signifikant erhöhte Futterverwertung hin. Dadurch wurde eine Senkung des Futteraufwands von 3,2 % durch Zink-Bacitracin bzw. 2,7 % durch das Enzym Roxazyme G2 gegenüber den unsupplementierten Gruppe erreicht. Diese Verbesserung weist auf eine deutliche additive Wirkung durch die oben genannten Zusätze im Alleingang (+A oder +E) hin. Diese Additive Wirkung lässt sich durch eine signifikante Erhöhung der Protein- und Energieverwertung, aber auch durch den signifikant erhöhten

physiologischen Nutzwert des Proteins (PNu), abgeleitet aus einer Proteinansatzvermögen, bestätigen.

Bereits KIRCHGESSNER und SPOERL (1977) haben auf ähnliche Ergebnisse hingewiesen. Sie fanden durch unterschiedliche Dosierungen von Zink-Bacitracin (4 – 120 ppm) eine Erhöhung der Lebendmasse am Versuchende von 2,6 % und eine Abnahme des Futteraufwandes von 3,3 bis 3,5 %, was mit einem Teil der vorliegenden Untersuchungen (Futteraufwand) vergleichbar ist. Die Wirkung antimikrobieller Leistungsförderer auf die Wachstumsleistungen war in der vorliegenden Arbeit von untergeordneter Bedeutung. Es wurde jedoch eine tendenzielle Erhöhung der täglichen Lebendmassezunahme von 4,4 % durch die Zink-Bacitracin-Zulage gegenüber der Kontrolle erzielt. MEIXNER und FLACHOWSKY (1990) stellten eine Verbesserung des Wachstums (+2 %) und einen günstigeren Futteraufwand (-1 %) durch Zulage von 50 mg Zink-Bacitracin/kg Basisfutter fest. In einem Versuch mit Zink-Bacitracin-Zulage zu weizenreichen Rationen stellte SCHURZ (1997) eine signifikante ($p < 0,05$) Erhöhung der Endlebendmasse der Versuchstiere sowie eine gerichtete Verbesserung der Futterverwertung um 2 – 4 % fest. Dagegen stellten HOCK et al. (1997b) statistisch nicht gesicherte Unterschiede im Futteraufwand aber eine gerichtete Erhöhung der Lebendmasse (42. LT) der mit Zink-Bacitracin supplementierten Tiere gegenüber den Kontrolltieren fest. Die Verbesserung der Lebendmasse war auf einen erhöhten Futterverzehr zurückzuführen.

Durch den Enzymzusatz von Roxazyme G2 zu weizenreichen Futtermischungen konnte in den vorliegenden Untersuchungen nur ein gerichtete Verbesserung der Futterverwertung beobachtet werden. Von großer Bedeutung ist hier, dass die bessere Futterverwertung durch den Enzymzusatz nicht durch einen höheren Futterverzehr verursacht wurde, sondern dass der Enzymzusatz zu einem tendenziell niedrigeren Futterverzehr gegenüber den anderen Behandlungen führte. Dieser Rückgang des Futterverzehrs kann als ein Hinweis auf eine erhöhte Umsetzbarkeit der Futterenergie durch den Enzymzusatz gesehen werden (ROTH et al., 1993). In Bezug auf die Wirkung von Enzymzulagen zu weizenreichem Futter haben frühere Studien von JEROCH (1990) und JEROCH et al. (1993) eine Verbesserung der Wachstumsleistungen um 3 – 4 % und eine Senkung des Futteraufwands um -2 % ergeben. PAULI (1993) erzielte durch Zusatz von Roxazyme G eine Steigerung der Lebendmassezunahme von 8 % und eine Verbesserung der Futterverwertung von 13 %. VELDMAN et al. (1993) kamen zu ähnlichen Tendenzen in ihren Untersuchungen. Sie fanden eine Erhöhung der Lebendmasse zwischen 0,2 – 2,5 % sowie der Futterverwertung von 2,2 – 2,9 % durch die Enzymsupplementierung.

Die Ergebnisse sind mit den Daten von HOCK et al. (1997b) nach Xylanasezusatz vergleichbar. Durch den Enzymzusatz Roxazyme G2 in unterschiedlicher Dosierung von 120 bzw. 200 ppm zum Basisfutter aus Gerste (30 %), Weizen (25 %) und Roggen (5 %) konnte ein deutlich gerichteter Effekt zur Verbesserung der Lebendmassezunahme (4,6 %) und Futtermittelverwertung von 3,9 % oder 5,2 % festgestellt werden (KLÜNTER et al., 1995). Die signifikant bessere Protein- und Energieverwertung deutet auf eine nutritive Wirkung dieses NSP-spaltenden Enzyms hin. Das lässt sich mit einer deutlichen Verbesserung der Verfügbarkeit (niedrige Viskosität) und einer höheren Freisetzung und Absorption der aufgenommenen Futtermittelstoffe (Protein, Stärke und Fett) erklären, was im Zusammenhang mit den wichtigsten Wirkmechanismen solcher NSP-spaltenden Enzyme steht und von anderen Autoren (z. B. HESSELMAN und AMAN, 1986; CHESSON, 1993; SIMON, 1998) bestätigt wird.

Die signifikante Erhöhung der täglichen Lebendmassezunahme, der Futtermittelverwertung sowie Verbesserung der Gehalte an Körperernährstoffen (Nährstoffzusammensetzung, –ansatz und –verwertung) durch die Zusatzkombination von Zink-Bacitracin und Roxazyme G2 (A+E) im Zusammenhang mit weizenreichen Futtermischungen ist ein deutlicher Beweis für einen stark nutritiven Effekt.

Durch diese Kombination (A+E) wurde eine signifikant höhere tägliche Lebendmassezunahme zwischen 5,7 – 10,6 % und ein niedrigerer Futteraufwand zwischen –5,4 bis –8,1 % gegenüber den anderen Behandlungen mit oder ohne Zusätze erzielt. Diese Ergebnisse sind mit den Daten von ELWINGER und TEGLÖF (1991) sowie HOCK et al. (1997b) vergleichbar. ELWINGER und TEGLÖF (1991) betonen, dass durch Supplementierung von Enzymen (Roxazyme) und einem Antibiotikum (Virginiamycin) ein signifikanter positiver Einfluss auf die Wachstumsrate und Futtermittelverwertung zu erzielen ist. Auch PAULI (1993) fand durch die Kombination von beiden Zusatzstoffen (Roxazyme G und Virginiamycin) eine Verbesserung der Leistung um 8 % und der Futtermittelverwertung von 14 %. Damit stimmen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit mit den oben zitierten Arbeiten überein. LANGHOUT und SCHUTTE (1995) konnten durch den Einsatz von Avilamycin und Xylanase zu weizenreichen Rationen einen signifikanten nutritiven Effekt auf die Lebendmasse von 26 Tage alten Broilern feststellen, während der Futteraufwand gegenüber einem alleinigen Zusatz nur tendenziell reduziert wurde. HOCK et al. (1997b) fanden durch eine gleichzeitige Zulage von Antibiotikum und Enzym eine Senkung des Futteraufwands um 7,4 % gegenüber der Kontrolle ohne Supplementierung. Der Einfluss auf die Lebendmasse (42. LT) war statistisch gesichert. VUKIC VRANJES und WENK

(1995) berichteten, dass die Zusatzkombination des Enzyms Roxazyme G und des Antibiotikums Avoparcin keinen vollständig additiven Effekt auf das Wachstum hatte. Eine annähernd signifikante ($p < 0,053$) Wirkung der beiden Komponenten war nur bei der Futtermittelverwertung in der Wachstumsperiode vom 7. – 21. Lebenstag zu erkennen.

Die Überlegenheit des ermittelten physiologischen Proteinnutzwertes (PNU) durch die Futterzusätze in der vorliegenden Arbeit ist ein weiterer Hinweis für eine höhere Bioverfügbarkeit und effektivere Ausnutzung des Futterproteins und bestätigt die Literaturbefunde in Bezug auf den Wirkmechanismus der genannten Futterzusätze.

Im Wachstumstest wurden positive Einflüsse von Zink-Bacitracin oder Roxazym G2 sowie deren Kombination auf die Futteraufnahme und Lebendmassezunahme nachgewiesen. Aus den eigenen Ergebnissen und Literaturbefunden kann man den Einsatz von NSP-spaltenden Enzymen und Leistungsförderern in praxisüblichen Rationen und unter üblichen Haltungsbedingungen der Mastbroiler als zweckmäßig betrachten. In diesem Zusammenhang ist die Zusatzkombination von höchster Effektivität. Dabei werden die aktuellen Akzeptanzprobleme, die beim Einsatz von Fütterungsantibiotika gegenwärtig diskutiert werden, hier nicht näher analysiert.

4.1.4 Wechselwirkungen

Die meisten Wechselwirkungen ergaben keine signifikanten Effekte auf Mastleistung, Körperzusammensetzung und Verwertungsparameter. Eine statistisch gesicherte Wechselwirkung war zwischen Zerkleinerung und Behandlung zu sehen. Diese Wechselwirkung ist beim Parameter Futtermittelverzehr der Tiere stark ausgeprägt. Der Futtermittelverzehr der Versuchstiere, die mit Futter der Hammermühlengruppe bei anschließender Konditionierung gefüttert wurden (Hammermühle x Konditionierung), lag höher als der Futtermittelverzehr der Tiere mit der gleichen Zerkleinerungsvariante aber mit anschließender Expandierung (Hammermühle x Expandierung). Dagegen zeigte die Zerkleinerung mit dem Walzenstuhl in Verbindung mit der Expandierung einen höheren Futtermittelverzehr. Durch die Mehraufnahme an Futter wurde eine erhöhte Lebendmassezunahme erzielt und demzufolge ein höherer Nährstoffansatz, was insbesondere zu einer Zunahme des Protein- und Energieansatzes führte. Der Futteraufwand sowie die Nährstoffverwertung (Protein und Energie) wurden durch diese Wechselwirkung nicht beeinflusst. Das weist daraufhin, dass die Zerkleinerungstechnologie (Hammermühle oder Walzenstuhl) in Verbindung mit den

thermischen Behandlungsverfahren (Konditionierung oder Expandierung) im Rahmen dieser Arbeit den gleichen Effekt erzielt hat. Vergleichende Befunde zu diesem Thema liegen im Augenblick noch nicht vor.

4.2 Einfluss der Versuchsfaktoren und deren Wechselwirkungen auf ileale Aminosäureverdaulichkeit und Azetatkonzentration im Chymus

4.2.1 Zerkleinerung

Durch die Zerkleinerung mit dem Walzenstuhl wurde die ileale Verdaulichkeit von Threonin um 3,4 % und von Met+Cys um 10,8 % signifikant erhöht, während dieser Effekt bei der ilealen Lysinverdaulichkeit ausblieb. Dort war nur ein tendenzieller Anstieg von 1,2 % zu erkennen. Diese Überlegenheit wurde hauptsächlich durch die Zerkleinerung mit dem Walzenstuhl verursacht und nicht durch den höheren Futtermittelverzehr der Versuchstiere des mit dem Walzenstuhl zerkleinerten Futters, da der Futtermittelverzehr der Walzenstuhl-Gruppe signifikant niedriger (3,5 %) gegenüber dem Futtermittelverzehr der Hammermühlen-Gruppe lag. Das kann auch damit begründet werden, dass die Walzenstuhl-Zerkleinerung eine gröbere und gleichmäßiger verteilte Korngröße gegenüber der Hammermühlen-Zerkleinerung liefert. Das führt wiederum zu einer höheren Nährstoffdichte in der pelletierten Futtermischung. Die Aminosäuren Threonin und Methionin wurden dem Basisfutter kristallin zugesetzt, was vermutlich einen Beitrag zur signifikant besseren ilealen Verdaulichkeit dieser Aminosäuren leistete. Eine andere Erklärungsmöglichkeit beruht in der Form der zerkleinerten Partikel. REECE et al. (1985) berichteten, dass die Zerkleinerung mit dem Walzenstuhl zu eckigen Partikeln führt. Diese physikalische Form könnte (durch bessere Angriffsmöglichkeit der endogenen Enzymen) zu einer erhöhten Aminosäurefreisetzung und Absorption führen.

Die signifikant höhere Azetatkonzentration im Ileum der Hammermühlen-Versuchsgruppe ist schwer zu erklären. Wie oben erwähnt wurde, kann die Zerkleinerung mit der Hammermühle eine schlechtere Nährstoffverdaulichkeit bewirken (REECE et al., 1985). Das heißt, mehr unverdaute Futterpartikel erreichen das Ende des Dünndarms (Ileum) und werden hier von einer aktiveren Darmflora fermentiert, wobei als Fermentationsprodukt Essigsäure (Azetat) entsteht (CYRAN et al., 1993; ENGLYST und CUMMINGS, 1993; FAISANT et al., 1993). Auch Veränderungen der Futterpassagegeschwindigkeit könnten in diesem Zusammenhang eine Rolle spielen.

4.2.2 Thermische Behandlung

In der vorliegenden Arbeit wurde eine signifikante Verbesserung der ilealen Lysinverdaulichkeit (28. LT) durch die Expandierung um 2,3 % gegenüber der Konditionierung ermittelt. Obwohl in dieser Untersuchung eine Limitierung der Lysinversorgung von etwa 10 % unter dem Bedarf vorgenommen wurde, deuten die Ergebnisdaten auf eine erhöhte Freisetzung des Futterlysins durch die Expandierung hin. Diese Ergebnisse sind mit denen von PEISKER (1998) vergleichbar, in denen er feststellte, dass das zugesetzte kristalline Lysin durch verschiedene Hitzeintensitäten beim Expandieren (High-Temperature-Short-Term) stabil war und die faecale Verdaulichkeit dadurch unverändert blieb, d. h. eine Hitzschädigung des Lysins wurde nicht beobachtet. VAN BARNEVELD et al. (1994b) berichten, dass die Aminosäurenverdaulichkeit generell auf die Erhitzung wenig reagiert und die Lysin-Verdaulichkeit sogar bei 110°C signifikant anstieg. Sie begründen es damit, dass bei diesem Hitzeniveau die Proteinstruktur so modifiziert wird, dass die Verdauungsenzyme besseren Zugang und Angriffsmöglichkeiten haben. JACKSON und BOLLENGIER (1994) stellten fest, dass durch die thermische Behandlung mit dem Expander nur insignifikante Effekte bei den Aminosäuren Methionin, Tryptophan und Arginin, schwach signifikante Effekte ($p < 0,05$) bei Cystin und Threonin, signifikante Effekte ($p < 0,01$) bei den Aminosäuren Isoleucin und Leucin und Valin sowie stark signifikante Effekte bei Lysin ($p < 0,001$) gegenüber unbehandelten Mehlfuttern auftraten. Beim Vergleich der Behandlungsverfahren Pelletierung gegen Expandierung fand VEST (1997) bei der Verdaulichkeit von sieben verschiedenen Aminosäuren keine grundsätzlichen Verbesserungen. PEISKER (1998) beobachtete keine Unterschiede zwischen den Lysinverdaulichkeiten unter verschiedenen Behandlungsintensitäten beim Expandieren des Futters für Broiler.

Die signifikante Reduzierung der Azetatkonzentration ($\mu\text{mol}/\%$ HCl unlösliche Asche) im Ileumchymus durch die Expandierung gegenüber der Konditionierung ist aufgrund der nicht vorhandenen Vergleichsliteratur schwer zu diskutieren. Eine Erklärungsmöglichkeit besteht darin, dass durch die Expandierung ein höherer Hygienisierungsgrad erreicht wird (Selektion verschiedener Mikroorganismen), was zu einem niedrigeren Keimbesatz der Futtermischung führt (KÖNIG, 1995; HOTZ und WETZEL, 1995; ISREALSEN, 1996; LUCHT, 1997). Das könnte eine niedrigere Keimzahl im Darm und eine niedrigere Syntheserate an Fermentationsprodukten bedeuten.

Insgesamt zeigte die Expandierung eine höhere Lysin-Verdaulichkeit gegenüber der Konditionierung, was sich allerdings nicht auf die zootechnischen Parameter auswirkte. Dieser Befund bedarf hinsichtlich der Bewertung von ilealen Verdaulichkeitsaussagen weiterer Beachtung.

4.2.3 Futterzusätze

Die signifikanten Verbesserungen der ilealen Verdaulichkeit der untersuchten Aminosäuren (Lys, Thr und Met + Cys) durch den Enzymzusatz allein oder in Kombination mit Zink-Bacitracin sind ein Hinweis für den positiven Effekt von Roxazyme G2 in weizenreichem Basisfutter. Es zeigte sich, dass der negative Effekt von NSP-Verbindungen (hier: Weizenpentosane) durch Roxazyme G2 reduziert oder weitgehend eliminiert wurde. Dadurch ist es zu einer besseren Verdaulichkeit und Absorption der Aminosäuren gekommen. Darüber hinaus ist von einer besseren Freisetzung der Nährstoffe teilweiser Aufhebung des Käfigeffektes auszugehen, die zu einer höheren Aminosäurenverfügbarkeit und -absorption führt (vergl. PETERSON und AMAN, 1988; ANNISON, 1992; VELDMAN und VAHL, 1994; ALMIRALL et al., 1995; HABERER, 1997; HABERER und SCHULZ, 1998; SIMON, 1998). Diese signifikante Überlegenheit infolge Enzymzusatz ergab bei der ilealen Verdaulichkeit von Lys, Thr und Met + Cys Werte von 7,9 %, 6,1 % bzw. 8,0 % (relative Veränderung) gegenüber den un-supplementierten Gruppen. Die Zusatzkombination (A+E) steigerte die ileale Verdaulichkeit dieser Aminosäuren um 10,4 %, 9,2 % bzw. 10,0 %. ALLMIRAL et al. (1995) stellten dagegen bei Broilern mit einer Basisration aus Gerste mit und ohne β -Glukanasezusatz keine signifikanten Unterschiede in der ilealen Aminosäurenverdaulichkeit fest. RUTKOWSKY (1993) fand eine positive Wirkung der Enzymzulage auf die scheinbare sowie die wahre Verdaulichkeit von Aminosäuren in Roggen- und Triticaleationen. In vergleichbaren Versuchen von HUYGHEBAERT (1997b) wurde eine schlechtere Aminosäurenverdaulichkeit der Broiler mit Gerstenationen als bei Tieren mit weizenreichen Diäten ermittelt. Die Supplementierung mit Endo-Glukanasen und Endo-Xylanasen verbesserte die Verdaulichkeit von Aminosäuren. GRAHAM (1996) berichtete von einer Erhöhung der Aminosäurenverdaulichkeit von 8 %, 10 % bzw. 13 % für Lysin, Methionin bzw. Threonin durch NSP-spaltende Enzyme im Vergleich zu un-supplementierten Rationen.

Der Antibiotika-Zusatz erbrachte in der vorliegenden Arbeit tendenzielle Verbesserungen der ilealen Aminosäurenverdaulichkeit (2,7 %, 2,5 % bzw. 1,8 %) von Lysin, Threonin bzw. Methionin + Cystin gegenüber der unsupplementierten Kontrollgruppe, jedoch signifikant niedrigere Werte als bei den anderen Zusätzen (+E bzw. A+E). Eine gesteigerte Aminosäurenverdaulichkeit von etwa 2,1% durch eine Zink-Bacitracin-Zulage erwähnten auch HYGHEBAERT und DE GROOTE (1997), was mit den Ergebnissen vorliegender Untersuchungen in der Größenordnung vergleichbar ist.

Die Supplementierung von Antibiotika, Enzymen oder deren Kombination führte möglicherweise zu einer Modifizierung der mikrobiellen Aktivitäten im Dünndarm. Dadurch wurde nur eine geringfügige Erhöhung der Essigsäurekonzentration im Chymus gegenüber der unsupplementierten Kontrolle gefunden. Die kurzkettigen flüchtigen Fettsäuren sind ein Produkt der Mikrobenfermentation (McNAB, 1973; ROBERFROIDE, 1995). HOCK et al. (1997a) zeigten, dass sowohl die alleinige Zulage als auch die gemeinsame Applikation von Antibiotika und Enzymen durch ihre speziellen Wirkmechanismen zu einem reduzierten Keimbefall im Dünndarm führen. Dabei wird das Wachstum von unerwünschten Mikroben wie *S. faecalis*, *S. faecium* und *E. coli* eingeschränkt. VAHJEN et al. (1998) stellten fest, dass bei Broilern durch NSP-spaltende Enzyme ein verringertes Mikrobewachstum, ein verändertes Artenspektrum und eine Verschiebung der NSP-abbauenden Mikroflora im Caecum vorliegt. WAGNER und THOMAS (1978) berichteten, dass durch einen Penicillinzusatz bestimmte Mikroben im Ileum nicht mehr nachweisbar waren oder eliminiert wurden. Bei Verfütterung von NSP-reichen Diäten an Broiler wurden unterschiedliche Mengen an flüchtigen Fettsäuren im Duodenum und Jejunum gefunden, dagegen wurden nur geringe Mengen an Azetat bei der Kontrollgruppe ohne NSP oder in der Versuchsgruppe mit Enzymzulage gefunden (CHOCT et al., 1996). VAHJEN et al. (1998) stellten eine höhere Azetatkonzentration im Ileum bei der Kontrollgruppe am 7. und 14. Lebenstag der Tiere gegenüber einer Xylanase-Behandlungsgruppe fest. Diese Angaben bestätigen die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung und widersprechen den Angaben von JAMROZ et al. (1996a, 1998).

Aus den Ergebnissen und den vergleichbaren Literaturbefunden lässt sich schlussfolgern, dass der Einsatz von NSP-spaltenden Enzymen zur Erhöhung der scheinbaren ilealen Aminosäurenverdaulichkeit beim Masthähnchen führt; dieser Effekt wird durch die Zusatzkombination (A+E) verstärkt. Die Futterzusätze verringerten die

Azetatkonzentration im Chymus, was auf eine Verminderung der mikrobiellen Aktivitäten an Ende des Dünndarmes hinweist.

4.2.4 Wechselwirkungen

Nach den Ergebnissen in Tab. 37 wies die Expandierung des Futters eine stärkere Abhängigkeit von der Zerkleinerung mit der Hammermühle als mit dem Walzenstuhl auf. Danach verbesserte die Kombination Hammermühle x Expandierung die ileale Aminosäurenverdaulichkeit besonders für Lys um 10,7 % gegenüber Hammermühle x Konditionierung. Dagegen zeigt die Konditionierung eine größere Abhängigkeit von der Walzenstuhl-Zerkleinerung. Die beiden Behandlungsverfahren, Hammermühle x Expandierung oder Walzenstuhl x Konditionierung führten zu einer signifikant niedrigeren Futteraufnahme. Trotzdem blieb die ileale Aminosäurenverdaulichkeit bei beiden Behandlungen gegenüber der anderer Verfahrenskombinationen Hammermühle x Konditionierung oder Walzenstuhl x Expandierung überlegen. Das deutet darauf hin, dass die niedrigere Futteraufnahme zu einer effizienteren Ausnutzung der essentiellen Aminosäuren, oder auf eine niedrige Ausscheidung von endogenen Aminosäuren, geführt hat. Die Wechselwirkung zwischen der Behandlung und Futterzusätzen war bei der ilealen Lys- und Thr-Verdaulichkeit hoch signifikant. Die ileale Verdaulichkeit von Lys oder Thr stieg bei der Zulage des Antibiotikums Zink-Bacitracin oder des NSP-spaltenden Enzyms Roxazyme G2 an und war noch stärker durch die gemeinsame Applikation der beiden Futterzusätze in Abhängigkeit von der Behandlungsart (Konditionierung oder Expandierung) beeinflusst (Abb. 9). Aus Abb. 9 lässt sich schlussfolgern, dass wahrscheinlich durch die Expandierung die lösliche Fraktion der Weizenpentosane im Futter erhöht wurde (vergl. LIEBERT, et al., 1993; LIEBERT, 1995; GRAHAM und INBORR, 1993; GRAHAM 1996), so dass es hier zu einer hohen Effektivität der Futterzusätze, insbesondere des NSP-spaltenden Enzyms, kam (SILVERSIDES und BEDFORD, 1999). Demzufolge verbesserte sich signifikant die ileale Verdaulichkeit von Lys und Thr. Ein synergistischer Effekt zwischen Enzymzusatz und Druckbehandlung (Expandierung) ist ebenfalls nicht auszuschließen. Die Wechselwirkungen zwischen den Einflussfaktoren (Zerkleinerung x Behandlung x Futterzusätze) zeigten Abhängigkeiten voneinander. Die Futterzusätze wirkten hier meistens positiv auf die ileale Verdaulichkeit im Zusammenhang mit der Zerkleinerung und der thermischen Behandlung. Aus Abb. 10 ist abzuleiten, dass die Wirkung der Zusatzstoffe besondere Abhängigkeiten von dem mit

der Hammermühle zerkleinerten Futter und anschließender Expandierung beim Parameter ileale Aminosäurenverdaulichkeit von Lys, Thr und Met+Cys aufweist.

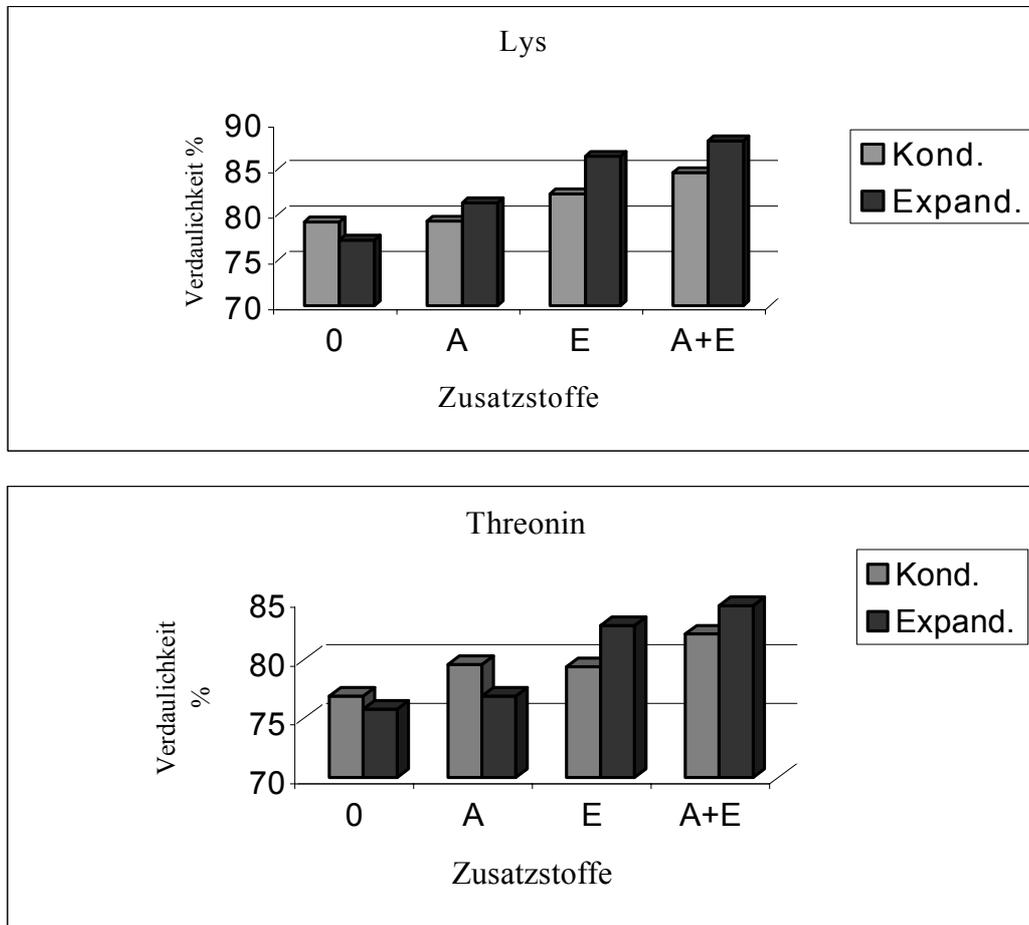


Abb. 9: Wechselwirkungen von thermischen Behandlungen und Futterzusatzstoffen auf die ileale Verdaulichkeit von Lys und Thr

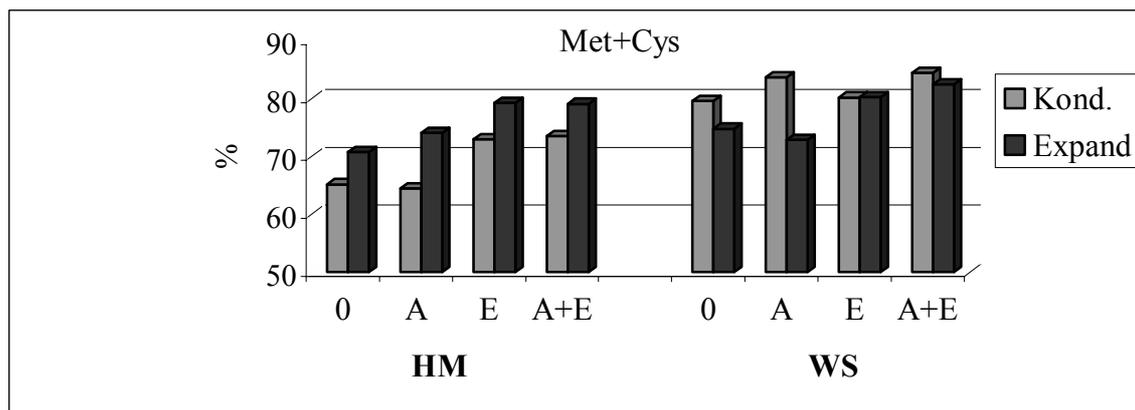
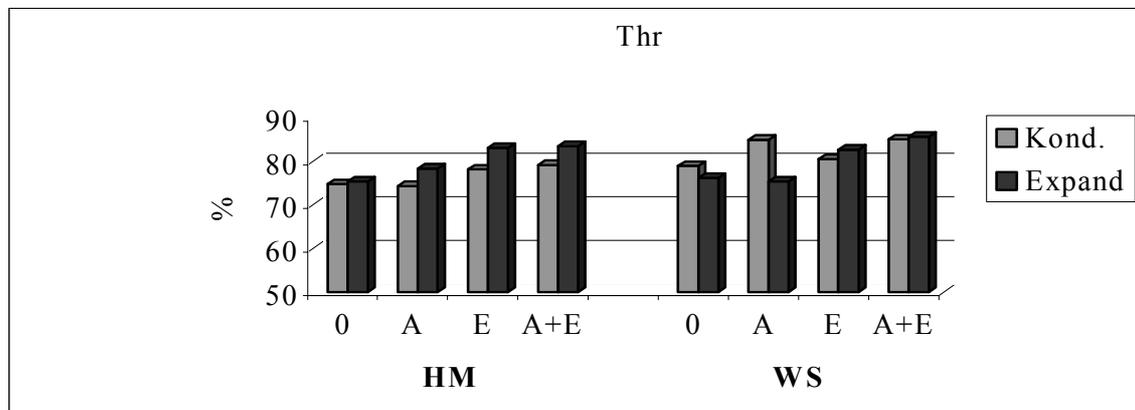
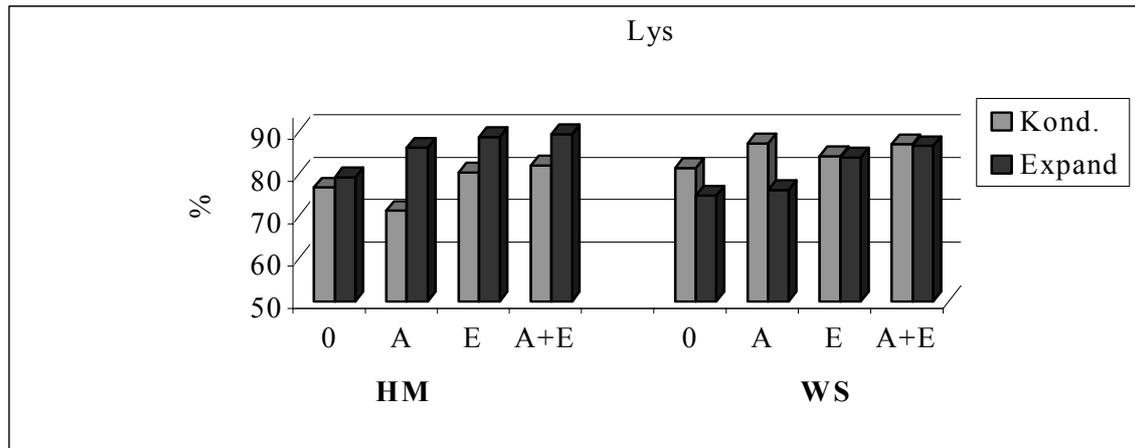


Abb.: 10: Wechselwirkungen zwischen Zerkleinerung, Behandlung und Futterzusatzstoffen auf die ileale Verdaulichkeit (%) von Lys, Thr und Met+Cys

4.3 Einfluss der Versuchsfaktoren und deren Wechselwirkungen auf N-Bilanz, PNu, Lysinwirksamkeit und AMEn

4.3.1 Zerkleinerung

Die Art der Zerkleinerung übte signifikante Effekte auf die N-Verwertungsparameter (N-Bilanz, PNu und N-Verdaulichkeit), auf die Lysinwirksamkeit und auf den Gehalt an N-korrigierter umsetzbarer Energie aus. Die höhere N-Bilanz, der physiologische Proteinnutzwert (%) und die Lysingesamtwirkung (bc^{-1}) deuten auf einen effizienteren und höheren Nutzungsgrad des Futterproteins bzw. der limitierenden Aminosäure Lysin nach Walzenstuhl-Zerkleinerung gegenüber der Hammermühlen-Zerkleinerung hin. Hierbei stieg die durchschnittliche N-Bilanz um $+79 \text{ mg/LM}_{\text{kg}}^{0,67}/\text{d}$, der Proteinnutzwert (PNu) um 2,9 % und die Lysinwirksamkeit um 5 % an. Der signifikante Anstieg der N-Verdaulichkeit um 1,5 % und der scheinbaren Umsetzbarkeit der Energie um 1,5 % sind weitere Hinweise für die positive Wirkung der Walzenstuhl- gegenüber der Hammermühlen-Zerkleinerung. Diese Verbesserungen waren mit einer signifikanten Erhöhung der täglichen N-Aufnahme (Verzehrseffekt) verbunden, können aber zugleich auch durch eine mögliche Verbesserung der Partikelstruktur des mit dem Walzenstuhl zerkleinerten Futters verursacht worden sein. Auch HTOO (1999) fand beim Vergleich zwischen der Hammermühlen- und Walzenstuhl-Zerkleinerung bei den oben genannten Parametern eine tendenzielle Überlegenheit der Walzenstuhl-Versuchsgruppe gegenüber der Hammermühlen-Versuchsgruppe.

4.3.2 Thermische Behandlung

Durch die hydrothermische Behandlung Expandierung (Kond./Expandierung) wurden N-Bilanz und physiologischer Proteinnutzwert (PNu) in der vorliegenden Arbeit signifikant negativ beeinflusst. Hierbei verringerte sich die durchschnittliche N-Bilanz um $66 \text{ mg/LM}_{\text{kg}}^{0,67}/\text{d}$ mit expandiertem Futter gegenüber der Konditionierung. Diese Tendenz lässt sich auch auf die Proteinverwertung übertragen. Dabei erzielte die Konditionierung eine relative Verbesserung von 3,8 %. Die Lysinwirksamkeit, als ein Maß für die Gesamtwirkung von Lysin, wurde durch die Kond./Expandierung um 6,2 % gegenüber der Konditionierung reduziert. Dagegen zeigte die N-Verdaulichkeit nur geringfügige Abnahmen durch das Verfahren Kond./Expandierung gegenüber der alleinigen

Konditionierung. Daraus wird abgeleitet, dass das Expandieren zu einer Schädigung des Diätproteins oder des Lysins geführt haben könnte.

FRIEDRICH (1977) betonte, dass proteinhaltige Komponenten oder Mischungen durch eine Wärmebehandlung gefährdet sind. Besonders Lysin kann dadurch geschädigt und in seiner Bioverfügbarkeit gegenüber unbehandelten Mischungen signifikant vermindert werden. HURRELL et al. (1976) und BATTERHAM (1992) bestätigten in ihren Arbeiten diese Aussage. VAN BARNEVELD et al. (1994b,c) ermittelten bei einer Wärmeapplikation von 110°C bei Erbsen einen signifikanten Anstieg der ilealen Lysinverdaulichkeit beim Schwein, wobei die Gesamtverwertung signifikant reduziert war. LIEBERT (1995) fand durch den Temperatureffekt beim Expandieren erhöhte Löslichkeiten der Weizenpentosane. Das führt zu einer höheren Darmviskosität und ist mit der Nährstoffverdaulichkeit und- absorption negativ korreliert (DÄNICKE et al., 1997).

In der Arbeit von LIEBERT (1994) wurde durch den Vergleich von verschiedenen Behandlungsverfahren (Konditionierung 65 °C 1 min., Konditionierung 70 °C 10 min, Expander 85 °C und Expander 120 °C) ein ähnlicher, unveränderter Proteinnutzwert für Mastbroiler mit weizenbetonten Rationen gefunden. Im allgemeinen sind aber die PNu aller Behandlungen durch niedrigere Werte gegenüber der unbehandelten Kontrollgruppe gekennzeichnet. In anderen Arbeiten von LIEBERT und WECKE (1997) und LIEBERT et al. (1997) erbrachten die Ergebnisse der N-Verwertungsmessung (PNu) bei expandierten Futtererbsen oder Weizenkleie keine signifikanten Unterschiede gegenüber dem unbehandelten Futter.

Der Effekt der Expandierung führte in der vorliegenden Arbeit zu einer schlechteren N-Verwertung. Dementsprechend sollte dadurch der Gehalt an umsetzbarer Energie (AMEn) verringert sein, was nicht der Fall ist. Dagegen führten beide Behandlungsverfahren zu den gleichen Ergebnissen in bezug auf AMEn. Eine Erklärungsmöglichkeit hierfür ist, dass die Expandierung die Stärkegellatinisierung verbesserte und demzufolge die Stärkeverdaulichkeit (PEISKER, 1993a). Dadurch kam am Ende ein Ausgleich des Gehaltes an umsetzbarer Energie zustande. Dagegen berichtete VEST (1997) einen signifikanten Anstieg der wahren MEN bei Broilern durch ein expandiertes Futter gegenüber einer pelletierten (vorkonditionierten) Versuchsration. Der Gehalt an N-korrigierter umsetzbarer Energie in Futtererbsen war nach Einsatz expandierter Futtererbsen im Vergleich zu unbehandelten Erbsen signifikant höher (LIEBERT et al., 1997). In einem Broilermastversuch fand PEISKER (1993b) eine Zunahme der ME durch die Expandierung der Broilerdiät von etwa 5 % im Vergleich zu unbehandeltem Futter.

PLAVNIK und SKLAN (1995) stellten einen Anstieg des Gehaltes an N- korrigierter scheinbar umsetzbarer Energie (AMEn) durch Wärmebehandlung (Expansion oder Extrusion) von 0,2 – 0,3 MJ/kg mit Rationen auf Weizen- oder Gerstenbasis bei Broilern fest.

4.3.3 Futterzusätze

Beim Zusatz von Zink-Bacitracin lag in der vorliegenden Arbeit die tägliche N-Bilanz geringfügig niedriger, obwohl die tägliche N-Aufnahme am höchsten war. Der Proteinnutzwert der Zink-Bacitracin-Gruppe war tendenziell oder signifikant niedriger gegenüber der Kontrolle nach Zusatz des Enzyms allein oder in Kombination (A+E). Das bedeutet, dass der nutritive Effekt des Antibiotikums in diesem Zusammenhang unwirksam geblieben ist. Die signifikant niedrigere Lysinwirksamkeit ist ein weiterer Hinweis in diesem Zusammenhang. Diese Ergebnisse stehen im Widerspruch zu den Mastleistungen der Tiere. Aufgrund der relativ kurzen Messdauer im Bilanzversuch und der restriktiven Fütterung fand auch SCHURZ (1997) keine Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen von Bilanz- und Wachstumsversuch. Er ermittelte N-Bilanzwerte, die bei der Kontrollgruppe ohne Leistungsförderer tendenziell höher lagen. BARTOV (1992) und SCHURZ (1997) stellten keinen signifikanten Effekt durch eine Zink-Bacitracin-Zulage bei verschiedenen Broilerrationen auf den Gehalt an N- korrigierter umsetzbarer Energie fest, schlussfolgerten aber einen tendenziell positiven Effekt auf den Gehalt an MEN von 1 – 1,5 %. Im allgemeinen wird in der Literatur häufig von einer positiv gerichteten Wirkung eines Wachstumsförderers auf den Gehalt an N-korrigierter umsetzbarer Energie berichtet (z. B. MARCH et al., 1978; HARNISCH et al., 1981). Die ermittelte N-Verdaulichkeit wurde durch den Zusatz von Zink-Bacitracin signifikant um 1,4 % gegenüber der Kontrollgruppe verbessert, wirkte sich aber nicht auf die genannten Bilanzergebnisse aus. In einem N- Bilanzversuch mit Legehennen stellten JAMROZ et al. (1996a) mit Avoparcin eine leichte Steigerung der N-Aufnahme ohne signifikante Veränderung der N-Verwertung fest. Jedoch wurde eine tendenzieller Anstieg von 3 % bei der N-Verwertung (N-Retention in % der N-Aufnahme) durch das Antibiotikum Avoparcin erreicht. Obwohl in dieser Arbeit die N-Aufnahme geringfügig durch den Enzymzusatz (+E) oder signifikant niedriger durch die Kombination von A+E war, zeigten die Versuchsparameter N-Bilanz, PNu und Lysinwirksamkeit tendenzielle Verbesserungen gegenüber der Kontrollgruppe. Dieser positive Effekt ist durch eine effizientere Nutzung des

Futterproteins in Verbindung mit dem Wirkungsprinzip NSP-spaltender Enzyme (Käfigeffekt, Verminderung der Digestaviskosität) möglich. Das bedeutet eine Verbesserung des physiologischen Proteinwerts und der Gesamtwirkung von Aminosäuren, insbesondere Lysin. LIEBERT et al. (1997) stellten eine Verbesserung der Proteinqualität von 11 % durch eine Xylanase- β -Glukanase-Zulage bei Mais/Soja-Mischungen gegenüber der Kontrollgruppe ohne Zusatz fest. In der vorliegenden Arbeit wurde eine Verbesserung des PNu von 1,7 % und eine tendenziell höhere Wirksamkeit des Lysins von 2,9 % gegenüber der Kontrolle ohne Zusatz beobachtet. JAMROZ et al. (1996a) zeigten eine Erhöhung der N-Verwertung durch das Enzym Roxazyme G um 4,3 % (bei einer Dosierung von 130 ppm) bzw. 11 % (bei einer Dosierung von 250 ppm).

Die signifikante Zunahme des Gehalts an umsetzbarer Energie durch die Enzymzulage in der vorliegenden Arbeit (von 13,5 auf 13,9 MJ/kg TS um etwa 3 %) ist durch eine Hydrolyse von Weizenpentosanen und durch eine Erhöhung der Rohfettverdaulichkeit zu erklären (AULRICH, 1996; 1997; OLOFFS, 1996; SIMON, 1997; MÜLLER, 1998). AULRICH (1997) erwähnte, dass es durch die Zulage eines Enzymkomplexes mit Xylanase- und β -Glukanaseaktivität zum teilweisen Abbau der unlöslichen NSP-Verbindungen kommt, was zur erhöhten Freisetzung von Proteinen führen kann. Durch den Enzymzusatz zu Weizen/Roggen-Rationen für Legehennen fanden OLOFFS et al. (1996) einen signifikanten Anstieg der AMEn von 10,1 auf 10,6 MJ/kg verbunden mit einer signifikant höheren Gesamtverdaulichkeit von Rohfett und Stärke. Ähnliche Ergebnisse erzielten KLÜNTER et al. (1997) bei Broilerküken. Es zeigte sich ein signifikanter Anstieg der umsetzbaren Energie durch die Enzymzulage (Roxazyme G) von 13,27 auf 13,98 MJ/kg TS unter Berücksichtigung einer signifikanten Verbesserung der NfE-Verdaulichkeit von 73,2 auf 78,2 %. Der Enzymzusatz erhöhte den Gehalt an umsetzbarer Energie bei unterschiedlichen Weizenherkünften in 12 Fällen signifikant um 7,1 – 16,4 %. Bei 4 Weizensorten konnte keine Wirkung des Enzyms ermittelt werden (HEINDL und HAYES, 1997). Weitere Literaturstudien von SALOBIR et al. (1997), BROZ et al (1997), MARQUARDT et al. (1993), LIEBERT et al. (1997; 1998), KRÄMER et al. (1997) und DÄNICKE et al. (1999b) berichten über eine Steigerung des Gehalts der AMEn einer Diät auf Getreidebasis durch NSP-spaltende Enzyme beim Broiler.

Durch den kombinierten Einsatz von Avoparcin und NSP-spaltenden Enzymen fanden VUKIC VRANJES und WENK (1993) im Bezug auf Energieumsetzbarkeit, Rohfett- und Rohproteinverdaulichkeit deutliche Anstiege gegenüber den ungesupplementierten Kontrollgruppen oder Versuchsgruppen mit alleinigem Einsatz der beiden Wirkstoffe. Die

Autoren berichten in der gleichen Arbeit über fehlende signifikante Interaktionen zwischen beiden Zusatzstoffen hinsichtlich der Parameter ME, N- und Fettverwertung. Diese Ergebnisse sind mit den Ergebnissen für AMEn und N-Verdaulichkeit in der vorliegenden Arbeit vergleichbar, da nur für die gemeinsame Applikation von Zink-Bacitracin und Roxazyme G2 eine erhöhte AMEn von +3 % und N-Verdaulichkeit von +2% gemessen wurde.

4.3.4 Wechselwirkungen

Die N-Verwertungsparameter (N-Bilanz, PNu, N-Verdaulichkeit) und der Gesamtwirkungsgrad von Lysin (bc^{-1}) wurden durch die Zerkleinerung (Hammermühle oder Walzenstuhl) mit abschließender Expandierung negativ beeinflusst. Die Hitzeapplikation durch Expandierung führte in weizenreichen Rationen zu einer Erhöhung der löslichen Pentosanfraktion (LIEBERT, 1995), die wiederum eine höhere Darmviskosität mit einer schlechteren Nährstoffverdaulichkeit und -absorption hervorrief. Dieser Effekt war durch die Hammermühlen-Vorzerkleinerung (feinere Struktur) stärker ausgeprägt. Die PNu und Lysinwirksamkeit zeigten in der vorliegenden Arbeit effektvollere Zusammenhänge zwischen Hammermühlen-Zerkleinerung und dem Zusatzstoff Enzym (E) oder der gleichzeitigen Applikation von Antibiotikum und Enzym (A+E). Die HM-Zerkleinerung mit Enzymzusatz (HM/+E) oder mit Zink-Bacitracin (HM/A+E) verbesserte den physiologischen Nutzwert des Proteins und schließlich auch den Gesamtwirkungsgrad von Lysin, ebenfalls den Gehalt an umsetzbarer Energie gegenüber der Kontrolle oder der Versuchsgruppe mit dem Antibiotikum (HM/+A) (Abb. 11).

Aufgrund der nicht einheitlichen Wirkung der Zusatzstoffe im Zusammenhang mit Walzenstuhl-Zerkleinerung konnte keine genaue Abhängigkeit zwischen den Faktoren festgestellt werden. Im allgemeinen erzielten die Zusätze in Verbindung mit der Walzenstuhl-Zerkleinerung erhöhte Werte für PNu und Lysinwirksamkeit gegenüber den Zusätzen bei der Hammermühlen-Zerkleinerung. Ausgenommen hiervon war allerdings die Zusatzkombination (WS/A+E) (Abb.11).

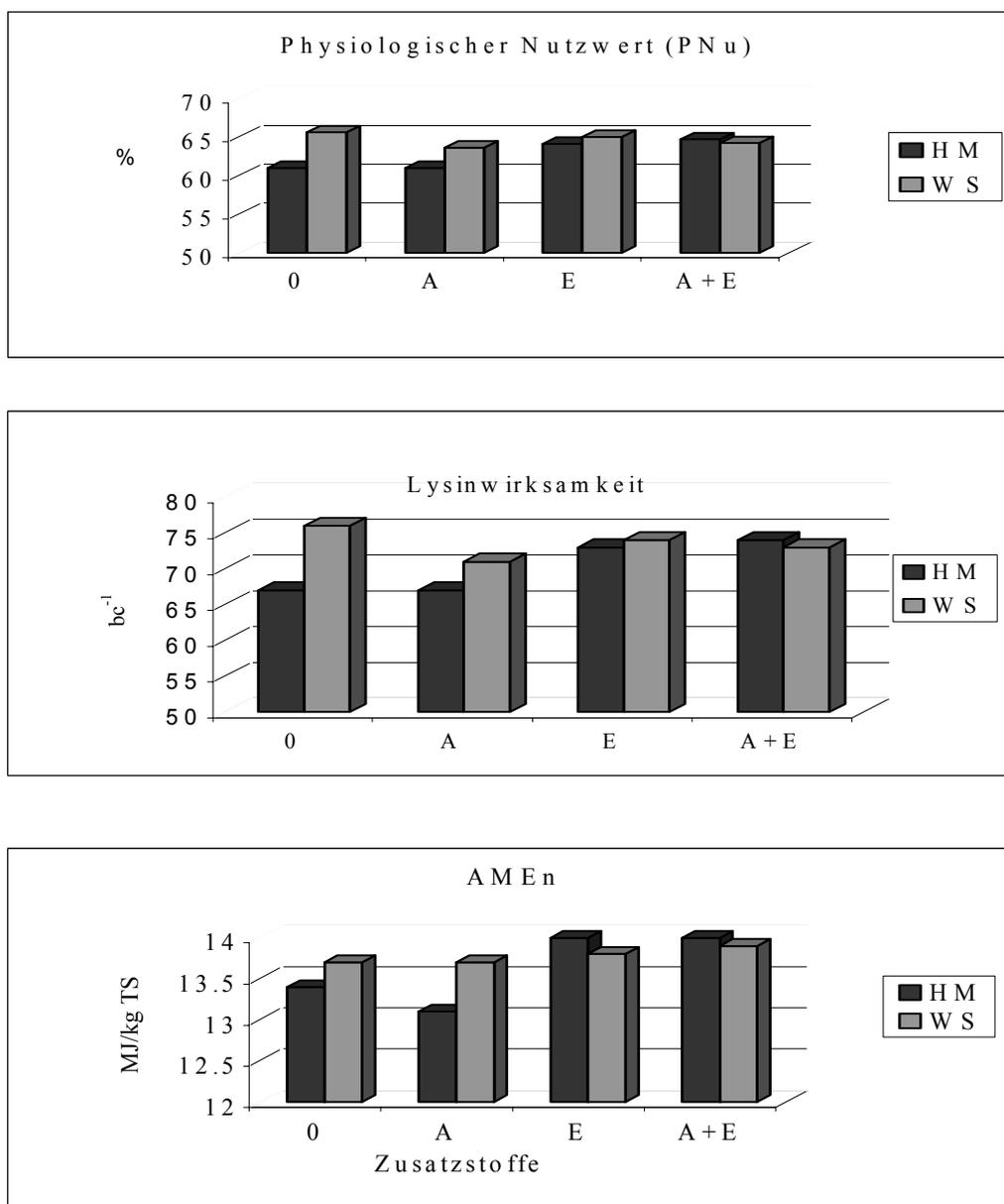


Abb. 11: Einfluss der Zusatzstoffe auf PNu, Lysinwirksamkeit und scheinbare N-korrigierte umsetzbare Energie (AMEn) in Abhängigkeit von der Zerkleinerung

In der vorliegenden Arbeit wurde keine signifikante Wechselwirkung zwischen Hitzebehandlung und Enzymzusatz bezüglich N-korrigierter umsetzbarer Energie festgestellt. Das entspricht früheren Arbeiten von LIEBERT et al. (1997) sowie LIEBERT und WECKE (1997). In beiden Arbeiten stellten die Autoren fest, dass die Behandlung von Futtererbsen oder Weizenkleie mit dem Expander in Verbindung mit zugesetzten NSP-spaltenden Enzymen zu keinen signifikanten Unterschieden gegenüber behandelten Versuchsgruppen ohne Zusatz hinsichtlich der N-Verwertung und dem Gehalt an N-korrigierter umsetzbarer Energie führt.

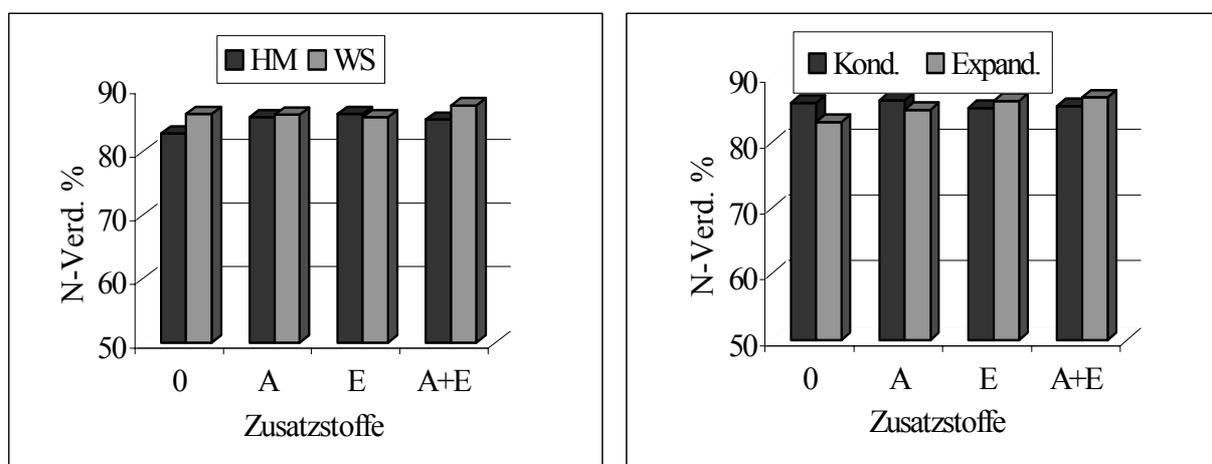


Abb. 12: Einfluss der Zusatzstoffe auf die N-Verdaulichkeit in Abhängigkeit von Zerkleinerung (links) und thermischer Behandlung (rechts)

Die N-Verdaulichkeit zeigte durch die alleinigen Zusätze (Enzym oder Antibiotikum) oder durch eine gemeinsame Applikation (A+E) eine signifikante Steigerung im Zusammenhang mit der Hammermühlen-Zerkleinerung (Abb. 12, Links) oder Expandierung (Abb. 12, Rechts), während nach der Walzenstuhl-Zerkleinerung oder durch Konditionierung die Ergebnisse annähernd gleich waren. Eine Ausnahme bildete die Zusatzkombination (A+E). Sie zeigte eine starke Abhängigkeit von der Hammermühlen-Zerkleinerung (Abb. 12, linker Teil). Ein positiver Effekt war durch die Zusätze im Zusammenhang mit dem Expandieren deutlich ausgeprägt. Die Hitzeapplikation bei Weizendiäten steigert die intestinale Viskosität (LIEBERT, 1995) und dadurch wahrscheinlich die Wirkung der zugesetzten Enzyme (SILVERSIDES und BEDFORD, 1999), so dass sich eine bessere N-Verdaulichkeit ergibt. Die N-Verdaulichkeit zeigt eine Abhängigkeit durch den gemeinsamen Effekt von Zerkleinerung, Behandlung und Zusatzstoffen (Abb. 13). Dabei ist zu erkennen, dass die Futterzusätze (+E) oder (A+E) mit

HM oder WS vorzerkleinertem Futter und anschließender Expandierung eine deutlich erhöhte N-Verdaulichkeit zeigten.

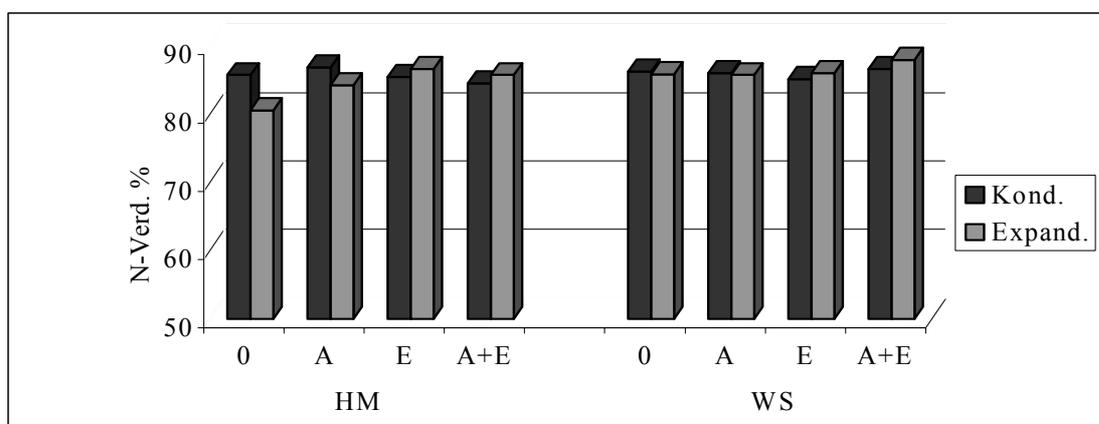


Abb. 13: Wechselwirkungen zwischen Zerkleinerung, thermischer Behandlungen und Zusatzstoffen auf die N-Verdaulichkeit

Aus den vorliegenden Ergebnissen der Bilanzversuche lässt sich schlussfolgern:

- Ein positiver Effekt der WS-Zerkleinerung bezüglich der physiologischen Parameter (N-Aufnahme, N-Bilanz, N-Verdaulichkeit, P_{Nu}, Lysinwirksamkeit, sowie AME_N) beim Broiler.
- Anhand der gemessenen Parameter N-Bilanz, P_{Nu} und Lysinwirksamkeit führte die Expandierung wahrscheinlich zur Schädigung der Futterproteine. Diese Aussage lässt sich im Wachstumstest nicht bestätigen, der Effekt von Konditionierung und Expandierung hinsichtlich der zootechnischen Parameter war vergleichbar (s. 4.1.2).
- Die Futterzusätze (+E oder A+E) zeigten wie erwartet positive Einflüsse auf die N-Umsetzung (P_{Nu}, N-Verdaulichkeit) sowie auf die AME. Diese Ergebnisse stimmen mit zahlreichen Literaturbefunden überein.

Abschließend kann die Zerkleinerungsart als eine sehr wichtige Technologie bei der Herstellung von Mischfutter für Geflügel gesehen werden. Ausreichende Untersuchungen über den Einfluss der Arten der Zerkleinerung bezüglich der zootechnischen Leistung und physiologischen Parameter sind nicht vorhanden. Diese Situation trifft auch für die verschiedenen Arten der thermischen Behandlungstechnologien sowie die Kombinationen von Zerkleinerung, Behandlung und Futterzusätzen zu. Weitere Untersuchungen sind für gesicherte Erkenntnisse erforderlich.

5. Zusammenfassung

In mehrfaktoriellen 2 x 2 x 4 Untersuchungen im Zeitraum vom 7. – 28. Lebenstag und in Bilanzversuchen vom 15. – 20. Lebenstag mit männlichen Broilerküken (Cobb 500) wurden die Effekte der Versuchsfaktoren Zerkleinerung (Hammermühle vs. Walzenstuhl), thermische Behandlung (Konditionierung bei 70°C vs. Konditionierung/Expandierung 100°C) und Zusätze von Zink-Bacitracin bzw. Roxazym G2 (ohne Zusatz, mit Zink-Bacitracin 50 mg, mit Roxazym G2 150 ppm und deren Zusatzkombination A+E) sowie die Interaktionen untersucht. Als Kriterien dienten die Parameter Futterverzehr, Lebendmassezunahme, Futteraufwand, Nährstoffansatz und -verwertung, ileale Verdaulichkeit von ausgewählten Aminosäuren, Proteinverwertung/Proteinqualität und Umsetzbarkeit der Energie. Die Versuchstiere erhielten ab dem 7. Lebenstag die entsprechenden Versuchsmischungen. Der Gehalt an XP und MEn aller Versuchsmischungen war einheitlich (XP 21,7% und MEn 12,3 MJ/kg Futter). Die Lysinversorgung wurde auf 90 % unter der optimalen Bedarfsdeckung in allen Futtermischungen limitiert. Die Auswirkungen der Versuchsfaktoren lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Zerkleinerung :

Die Zerkleinerungstechnologie mit dem Walzenstuhl übte einen signifikanten Einfluss auf den Futterverzehr (-3,5 %) und Futteraufwand (-2,8 %) gegenüber der Zerkleinerung mit der Hammermühle aus. Die Nährstoffverwertung (XP und Energie) zeigten durch Walzenstuhl-Zerkleinerung tendenzielle Verbesserungen. Die ileale Lysinverdaulichkeit blieb unverändert, die ileale Verdaulichkeit von Threonin und Met+Cys wurde signifikant erhöht. Die Walzenstuhl-Zerkleinerung führte zu einer besseren Futterstruktur und zu einer höheren Nährstoffdichte in den Pellets. Das wird deutlich durch die höhere N-Aufnahme bzw. N-Bilanz sowie durch gesteigerte N-Verwertungsparameter und einen erhöhten Gehalt an N-korrigierter umsetzbarer Energie (MEn).

- Thermische Behandlung :

Durch erhöhte Hitzeapplikation mit dem Expander konnten in der vorliegenden Arbeit hinsichtlich der Leistungsparameter, Nährstoffansatz und -verwertung keine Unterschiede gegenüber der Konditionierung festgestellt werden.

Die Expandierung führte zu einer signifikant erhöhten ilealen Lysinverdaulichkeit, die durch die gemessene Lysinwirksamkeit im Bilanzversuch jedoch nicht widerspiegelt wurde. Auch signifikant niedrigere N-Bilanz und physiologische Proteinnutzwerte (PNu) sowie die tendenzielle Verringerung der N-Verdaulichkeit und des Gehaltes an umsetzbarer Energie deuten auf eine negative Wirkung der intensiveren thermischen Behandlung durch Expandieren hin. Hierzu sind weitere klärende Untersuchungen notwendig.

- Futterzusätze:

Durch die alleinige Supplementierung mit dem Antibiotikum Zink-Bacitracin oder NSP-spaltenden Enzym Roxazym G2 bzw. deren Kombination reagierten Mastleistung und Futtermittelverwertung signifikant positiv. Während der Effekt der Enzymzulagen bei Nährstoffverwertung und ilealer Verdaulichkeit ausgewählter Aminosäure signifikant höher gegenüber der ungesupplementierten Gruppe war, blieb ein Effekt von Zink-Bacitracin hinsichtlich dieser Parameter aus. Der Effekt der Zusatzkombination war bei Mastleistung, Nährstoffansatz und -verwertung und bei der ilealen Verdaulichkeit der ausgewählten Aminosäuren gegenüber der Kontrolle oder dem alleinigen Zusatz signifikant höher. Das deutet auf einen synergistischen Effekt der gleichzeitigen Applikation der beiden Additive hin. Die N-Verwertung einschließlich des Gehalts an N-korrigierter scheinbar umsetzbarer Energie lag nach alleiniger Applikation von Zink-Bacitracin unerwartet signifikant niedriger gegenüber den anderen Zusätzen bzw. tendenziell gegenüber der Kontrolle. Die Gehalte an scheinbar umsetzbarer Energie (AMEn) waren deutlich durch den Enzymzusatz allein oder in Kombination mit Zink-Bacitracin erhöht.

-Interaktionen:

Die Abhängigkeit der Versuchsfaktoren voneinander im Mastversuch war nicht stark ausgeprägt. Die Zerkleinerung in Verbindung mit anschließender thermischer Behandlung führte zur Beeinflussung der Futtermittelverzehrsdaten. Danach verbesserten die Verfahrenskombinationen Hammermühle x Konditionierung oder Walzenstuhl x Expandierung bedingt durch einen erhöhten Futtermittelverzehr die Lebendmassezunahme und den Nährstoffansatz signifikant. Hinsichtlich der ilealen Aminosäurenverdaulichkeit zeigten die Futterzusätze eine Abhängigkeit von der Behandlung bzw. Zerkleinerung und Behandlung. Die Enzymzulage allein oder in Kombination mit Zink-Bacitracin zeigte stärkere Effektivität in Verbindung mit der thermischen Behandlung durch Expandieren.

6. Summary

A 2 x 2 x 4 factorial experimental design was used to investigate the main effects of grinding (hammer mill vs. roller mill), hydrothermal treatment (conditioning 70°C vs. expanding* 100°C) and supplementation of feed additives (antibiotic Zinc-bacitracin 50 mg, NSP-splitting enzyme Roxazyme G2 liquid 150 ppm with cellulase, endo- β -1,3:1,4-glucanase and xylanase activities) and their combination as well as the interaction of these tested factors on broiler performance (feed intake, live weight gain and feed conversion ratio), ileal digestibilities of some amino acids in a growth assay (7. – 28. d) and N-utilisation parameters (N-intake, N-balance, protein utilisation value PNu and efficiency of lysine) as well as N-corrected metabolisable energy (MEn) in a metabolism bioassay (15. – 21. d). The content of CP and energy (MEn) was the same in all tested diets (21,7 % and 12,3 MJ/kg feed). The amino acid lysine was limited of 90 % below the animals daily requirement. The effects of tested factors are mentioned as follow:

Grinding:

Grinding with roller mill indicated significant improvement on feed intake and feed conversion ratio (-2,8 %) compared to grinding with hammer mill. Nutrient deposition or utilisation levels were not significant different. The ileal digestibility of lysine showed no difference between both grinding types, on the other hand the ileal digestibility of amino acids Thr or Met + Cys was significant increased with roller mill. Grinding with roller mill led to better feed structure and thus led to increased nutrient density in the diets pellet. In the metabolism study, animals with rolled diets increased N-intake, N-balance and the PNu significantly as well as N-corrected metabolisable energy (MEn) compared to tested animals with hammer mill grinded diets.

Hydrothermal treatment

The application of heat with expander (conditioning/expanding) had no influence on broiler performance, deposition and utilisation of protein and energy compared with conditioning. In the growth trial this processing (conditioning/expanding) led to significant higher ileal digestibility of lysine, on the other hand decreased lysine efficiency in the metabolism bioassay. In general, significantly decreased N-balance, PNu, N-digestibility and metabolisable energy indicated a possible protein damage with expanding in this study.

*conditioning by 80°C before expanding

Feed additives:

The supplementation of feed additives had a significant effect on daily weight gain and feed conversion ratio (specially inclusion of both supplements antibiotic and enzyme) or only on feed conversion ratio (single supplement of antibiotic or enzyme). The parameters crude protein (CP) utilisation and ileal amino acids digestibility showed a higher significant effect through a single supplement of enzyme compared with control. However, supplementation with antibiotic showed no effect. The content of apparent metabolizable energy was significantly higher by supplementation with enzyme or enzyme plus antibiotic. The results of this study (growth and metabolism trial) indicated a synergistic effect of the inclusion of both supplements.

Interaction:

The relation between the tested factors has not well appeared in parameters of growth performance. Grinding in combination with thermal treatment led to significant higher feed intake. Hence, the processing combination of hammer milling with conditioning or roller milling with expanding led to significant better daily weight gain and protein and energy deposition. In relation to ileal amino acid digestibility showed the feed additives dependency from thermal treatments, so only the efficiency of enzyme supplementation or in combination with antibiotic was higher under expanding. In the metabolism bioassay the N-utilisation parameters of the combination expanding and hammer mill grinding were negatively correlated. The additives showed dependency from hammer mill grinding with regard to parameter P_{Nu} and lysine efficiency.

7. Literaturverzeichnis

- ABDULRAHIM, S. M.; HADDADIN, M. S. Y.; ODETALLAH, N. H. M.; ROBINSON, R. K., 1999: Effect of *Lactobacillus acidophilus* and zinc bacitracin as dietary additives for broiler chickens. *Br. Poultry Sci.* **40**, 91 - 94.
- ALLEN, C.M.; BEDFORD, M. R. ; McCracken, K. J., 1996: Effects of rate of wheat inclusion and enzyme supplementation on diet metabolisability and broiler performance. *Br. Poultry Sci.* **37**, (Suppl) 44 - 45.
- ALMIRALL, M.; BRUFAU, J.; ESTEVE-GARCIA, E., 1993: Effects of intestinal viscosity on digestive enzyme activities of intestinal content and ileal digestibilities of broiler fed barley diets at different ages supplemented with β -glucanases. In: WENK, C.; BOESSINGER, M., (Eds): *Enzymes in animal nutrition*. Inst Nutztierwissenschaften, Gruppe Ernährung, ETH-Zürich, Heft 11, 69 - 72.
- ALMIRALL, M.; FRANCESCH, M.; PEREZ-VADERAL, A. M.; BRUFAU, J.; ESTEVE-GARCIA, E., 1995: The differences in intestinal viscosity produced by barley and β -glucanase alter digesta enzyme activities and ileal nutrient digestibilities more in broiler chicks than in cocks. *J. Nutr.* **125**, 947 - 955.
- ANNISON, G., 1992: Commercial enzyme supplementation of wheat based diets raises ileal glucanase activities and improves apparent metabolisable energy, starch and pentosan digestibilities in broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Technol.* **38**, 105 - 121.
- ANNISON, G., 1996: Increased small intestinal fermentation is partly responsible for the anti-nutritive activity of non-starch polysaccharides in chickens. *Br. Poultry Sci.* **37**, 609 - 621.
- ANNISON, G.; CHOCT, M., 1991: Antinutritive activities of cereal non-starch polysaccharides in broiler diets and strategies minimizing their effects. *Wld's Poult. Sci. J.* **47**, 232 - 242.
- ANNISON, G.; CHOCT, M., 1993: Enzymes in poultry diets. In: WENK, C.; BOESSINGER, M., (Eds): *Enzymes in animal nutrition*. Inst. Nutztierwissenschaften, Gruppe Ernährung, ETH-Zürich, Heft 11, 61 - 68.
- ANNISON, G.; CHOCT, M., 1994: Plant polysaccharides – their physiochemical properties and nutritional roles in monogastrics. In: LYONS, T. P.; JACQUES, K. A. (Eds): *Biotechnology in the feed industry*. Proc. 10th Altech Ann. Symp. Nottingham University Press, Loughborough, 51 - 66.
- ARMSTRONG, H., 1993: Nutritional implications of expanded feed. *Feed Mix* **1** (3) 24 - 27.
- AUDET, L., 1995: Emerging feed mill technology: keeping competitive. *Anim. Feed Sci. Technol.* **53**, 157 - 170.

- AULRICH, K., 1996: Modellstudien zur Wirkungsweise NSP-spaltender Enzyme. Proc.Soc. Nutr. Physiol. **5**, 30.
- AULRICH, K., 1997: Einfluss Nicht-Stärke-Polysaccharid (NSP)-spaltender Enzyme auf den „Käfigeffekt“- in vitro-Studien mit Weizenkleie. Proc.Soc. Nutr. Physiol. **6**, 36.
- BARROW, P. A., 1992: Probiotics for chickens. In: FULLER, R. (Eds.): Probiotics, the scientific basis. First Edition, Chappman &Hall, London, 225 - 257.
- BARTOV, I., 1992: Lack of effect of dietary energy-to-protein ratio and energy concentration on the response of broiler chickens to virginiamycin. Br. Poultry. Sci. **33**, 381 - 391.
- BATTERHAM, E., 1992: Availability and utilization of amino acids for growing pigs. Nutr. Res. Rev. **5**, 1 - 18.
- BEDFORD, M.; MORGAN, J., 1996: The use of enzymes in poultry diets. Wld's Poult. Sci. J. **52**, 61 - 68.
- BEE, G.; MESSIKOMMER, R.; WENK, C., 1998: Enzymzusätze - eine Alternative zu AML im Futter beim Broiler. Agrarforschung **5**, 113 - 116.
- BERNTSEN, J. O.; PEDERSON, S., 1996: Fütterungsantibiotika im Kreuzfeuer. Lohman Information. Nr. **4**, 21 - 23.
- BEHNKE, C. K., 1995: Emerging technology offers feed processors new oppotunities. Feedstuffs **67**, October 23, 21 - 25.
- BEHNKE, C. K., 1996: Feed manufacturing technology: current issues and challenges. Anim. Feed Sci. Technol. **62**, 49 - 57.
- BEUMER, H., VAN DER POEL, A. F. B., 1997: Effects on hygienic quality of feeds examined. Feedstuff **69**, December 29, 13 - 15.
- BIRZER, D.; KRONSEDER, G.; STADLER, E.; GROPP, J., 1991: Die Leistung von Broilern nach Gabe einer kohlenhydratspaltenden Enzympräparation (Roxazyme® G) bei wechselnder Rationsgestaltung. In: SCHUBERT, R.; FLACHOWSKY, G.; BITSCH, R. (Eds): Vitamine und weitere Zusatzstoffe bei Mensch und Tier. 3. Symp. 26./27.9. Jena/Thüringen, 359 - 362.
- BROZ, J., 1993a: Enzymes as feed additives in poultry nutrition- current application and future trends. Mh.Vet. Med. **48**, 213 - 217.
- BROZ, J., 1993b: Modes of action of supplemented hemicellulose enzymes in poultry. Kraftfutter Nr. **5**, 198 - 202.
- BROZ, J.; FRIGG, M., 1986: Effects of cellulolytic enzyme products on feeding value of various broiler diets. Arch. Geflüglk. **48**, 213 - 217.

- BROZ, J.; FRIGG, M., 1990: Influence *Trichoderma viride* enzyme complex on nutritive value of barley and oats for broiler chickens. Arch. Geflügelk. **54**, 34 - 37.
- BROZ, J.; ODALE, P.; PERRIN-VOLZ, A. H., 1994: Effect of *Trichoderma viride* enzyme complex on performance of broiler chickens receiving pelleted diets. Arch. Geflügelk. **58**, 182 - 185.
- BROZ, J.; PERRIN-VOLZ, A.H., 1994: Dose related efficacy of *Trichoderma viride* enzyme complex in broiler chickens. Arch. Geflügelk. **58**, 130 - 134.
- BROZ, J.; VÖLKER, L.; HEINDL, U., 1997: New findings on the efficacy of *Trichoderma viride* enzyme complex in poultry nutrition. In : 4. Tagung Schweine- und Geflügelnahrung, Halle (Saale), Wissenschaftliche Fachverlag Dr. Fleck, Niederkleen, 296 - 299.
- CHESSON, A., 1993: Feed enzymes. Anim. Feed Sci. Technol. **45**, 65 - 79.
- CHOCT, M., 1997: Non-starch polysaccharides: chemical structures and nutritional significance. Feed Milling Int. June, 13 - 19.
- CHOCT, M.; ANNISON, G., 1990: Anti-nutritive activity of wheat pentosans in broiler diets. Br. Poultry Sci. **31**, 811 - 821.
- CHOCT, M.; ANNISON, G., 1992a: Anti-nutritive effect of pentosans in broiler chickens, role of viscosity and gut microflora. Br. Poultry Sci. **33**, 821 - 834.
- CHOCT, M.; ANNISON, G., 1992b: The inhibition of nutrient digestion by wheat pentosans. Br. Poultry Sci. **67**, 123 - 132.
- CHOCT, M.; HUGHES, R. J.; WANG, J.; BEDFORD, M. R.; MORGAN, A. J.; ANNISON, G., 1996: Increased small intestinal fermentation is partly responsible for the anti-nutritive activity of non-starch-polysaccharides in chickens. Br. Poultry Sci. **37**, 609 - 621.
- CHOCT, M.; HUGHES, R. J.; TRIMBLE, R. P.; ANGKANAPORN, K.; ANNISON, G., 1995: Non-starch polysaccharide-degrading enzymes increase performance of broiler chickens fed wheat of low apparent metabolizable energy. J. Nutr. **125**, 485 - 492.
- CLASSEN, H. L.; BEDFORD, M. R., 1991: The use of enzyme to improve the nutritive value of poultry feed. In: HARESIGN, W.; COLE, D.J.A. (Eds.): Recent advances in animal nutrition. University of Nottingham, School of Agriculture, Butterworths, London, 95 - 116.
- CUMMINGS, J. H.; ENGLYST, H. N.; WIGGINS, H. S., 1986: The role of carbohydrates in lower gut function. Nutr. Rev. **44**, 50 - 54.
- CYRAN, M.; RAKOWSKA, M.; WASILEWKO, J.; BURACZEWSKA, L., 1993:

- Degradation of cereal pentosans in the upper and lower part of the digestive tract of pigs. In: SCHLEMMER, U. (Rd): Bioavailability, Nutritional, chemical and food processing implication of nutrient availability. BfE, Karlsruhe, 138 - 141.
- DAMRON, B. L.; WILSON, H. R., 1991: Growth and performance of broiler breeders fed bacitracin methylen disalicylate and zink bacitracin. *Poultry Sci.* **70**, 1487 - 1492.
- DÄNICKE, S.; DUSEL, G.; JEROCH, H.; KLUGE, H., 1999a: Factors affecting efficiency of NSP-degrading enzymes in rations for pigs and poultry. *Agribiol. Res.* **52**, 1- 24.
- DÄNICKE, S.; SIMON, O.; JEROCH, H., 1999b: Effects of supplementation of xylanase or β -glucanase containing enzyme preparations to either rye- or barley-based diets on performance and nutrient digestibility. *Arch. Geflügelk.* **63**, 252 - 259.
- DÄNICKE, S.; SIMON, O.; JEROCH, H.; BEDFORD, M., 1997: Wechselwirkungen zwischen Futterfettquelle und Pentosengehalt auf die scheinbar ileale Verdaulichkeit der Nährstoffe getreidereicher Futtermischungen bei wachsenden Broilern. In: 4. Tagung Schweine- und Geflügelernährung, Halle (Saale), Wissenschaftliche Fachverlag Dr. Fleck, Niederkleen, 157 - 160.
- DIERICK, N.A., 1989: Biotechnology aids to improve feed and feed digestion: enzymes and fermentation. *Arch. Anim. Nutr.* **39**, 241 - 261.
- ELLA, M.; BARNES, E., 1979: The intestinal microflora of poultry and game birds during life and after storage. *J. Appl. Bact.* **46**, 407 - 419.
- ELWINGER, K.; TEGLÖF, B., 1991: Performance of broiler chickens as influenced by a dietary enzyme complex with and without antibiotic supplementation. *Arch. Geflügelk.* **55**, 69 - 73.
- ENGLYST, H. N.; CUMMINGS, J. H., 1993: Nutritional classification of starch and its validation by studies in man. In: SCHLEMMER, U. (Rd): Bioavailability, Nutritional, chemical and food processing implication of nutrient availability. BfE, Karlsruhe, 142 - 145.
- ERBERSDOBLER, H., 1980: Zur Übertragbarkeit ernährungsphysiologischer Daten aus Tierversuchen auf den Menschen. Vorträge zur Hochschultagung, Schriftenr. d. Agrarwiss. Fak. Univ. Kiel. **61**, 205 - 213.
- ESTEVE-GARCIA, E.; BRUFAU, J.; PEREZ-VENDIELL, A.; MAINEL, A.; DUVEN, K., 1997: Bioefficacy of enzyme preparation containing β -glucanase and xylanase activities in broiler diets based on barley or wheat, in combination with flavomycin. *Poultry Sci.* **76**, 1728 - 1737.
- FAISANT, N.; CHAMP, M.; COLONNA, P.; BULEON, A., 1993: Structural features of starch that escapes digestion in the small intestine of humans. In: SCHLEMMER, U. (Rd): Bioavailability, nutritional, chemical and food processing implication of nutrient availability. BfE, Karlsruhe, 146 - 150.

- FARAHMAND, H. M.; LUCHT, H. W., 1998: News about hydrothermal treatment and annular gap expander. In: 4th international Kahl-Symposium. Future Aspects in Animal Nutrition and Compound Feed Technology. February 16th – 17th, Reinbek, 1-1 - 1-20.
- FLACHOWSKY, G.; SCHUBERT, R.; HENNIG, A., G.H., 1994: Methodology for evaluating of feed additives in ruminants. *Kraftsfutter* **77**, 176 - 185.
- FLACHOWSKY, G., 1995: Futterergänzungstoffe. In: ABEL, HJ., FLACHOWSKY, G., JEROCH, H., MOLNAR, S. (Hrsg.): *Nutztierernährung*. Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart, 94 - 123.
- FLACHOWSKY, G.; KAMPHUES, J., 1999: Use of antimicrobial feed additives in animal nutrition. In: SCHUBERT, R.; FLACHOWSKY, G.; BITSCH, R.; JAHREIS, G. (Herg); *Vitamine und Zusatzstoffe in der Ernährung von Mensch und Tier*. 7. Symp. 22. - 23. Sept. Jena/Thüringen, 62 - 73.
- FORD, D. J., 1974: The effect of the microflora on gastrointestinal pH in the chick. *Br. Poultry Sci.* **15**, 131 - 140.
- FRIEDRICH, W., 1977: Futtermitteltechnologie. In: WÖHLBIER, W (Hrsg.): *Handelsfuttermittel*, Bd. 1, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. 113 - 143.
- FRIEDRICH, W.; ROBOHM, K.F., 1968: Die Abriebfestigkeit von Pellets und ihre Abhängigkeit vom Pressprozess insbesondere der Kühlung. *Kraftfutter* **51**, 59 - 64.
- FRIESEN, O. D.; GUENTER, W.; MARQUARDT, R. R.; ROTTER, B. A., 1992: The effect of enzyme supplementation on the apparent metabolizable energy and nutrient digestibilities of wheat, barley, oat and rye for the young broiler chick. *Poultry Sci.* **71**, 1710 - 1721.
- FULLER, R., 1973: Ecological studies on the lactobacillus flora associated with crop epithelium of the fowl. *J. Appl. Bact.* **36**, 131 - 139.
- FULLER, R., 1989: Probiotics in man and animals. *J. Appl. Bact.* **66**, 365 - 378.
- FULLER, R.; TURVY, A., 1971: Bacteria associated with the intestinal wall of the fowl (*Gallus domesticus*). *J. Appl. Bact.* **34**, 617 - 622.
- GEBHARDT, G., 1966: Die Bewertung der Eiweißqualität von Nahrungs- und Futtermitteln mit Hilfe des N-Bilanzversuches. In: HOCK, A (Hrsg.): *Vergleichende Ernährungslehre des Menschen und seiner Haustiere*, Fischerverlag, Jena, 228 - 248.
- GOIHL, J., 1995: Effect of mill type, particle size on finishing pigs growth evaluated. *Feedstuffs* **67**, October 23, 13.
- GRAHAM, H., 1996: Use of enzyme in animal feeds. American Soyabean Association Meeting, 18. April, Fatima, Portugal, 9 pp.

- GRAHAM, H.; INBORR, J., 1993: Feed enzyme: mode of action and application to heat processed poultry feeds. In: Amandus Kahl Seminar; Eurotier, 22. – 25. June 1993, Hannover 12 pp.
- GREIFE, H. A.; BERSCHAUER, F., 1988: Leistungsförderer in der Tierproduktion: Stand und Perspektiven. Übers. Tierernährung **16**, 27 - 78.
- GROPP, J., 1986: Leistungsförderer, Wirkung und Einsatz beim Nutztier. VDLUFA-Schriftenreihe **20**, Kongressband, 99 - 137.
- HABERER, B., 1997: Einfluss Nicht-Stärke-Polysaccharid-spaltender Enzyme im Verdauungstrakt von Schweinen. Lohmann Information 4/11, 19 - 25.
- HABERER, B.; SCHULZ, E., 1998: Zum Einfluss NSP-Hydrolysierender Enzyme in der Schweinefütterung. Übers. Tierernährung **26**, 25 - 64.
- HAMILTON, R. M. G.; PROUDFOOD, F. G., 1995: Ingredient particle size and feed texture: effects on the performance of broiler chickens. Anim. Feed Sci. Technol. **51**, 203 – 210.
- HANCOCK, D. J., 1998: Experience with expanded feed in pigs. In: 4th international Kahl-Symposium. Future Aspects in Animal Nutrition and Compound Feed Technology. February 16th – 17th, Reinbek, 2-1 - 2-14.
- HARNISCH, S.; VOGT, H.; MATTHES, S., 1981: Einfluss eines Virginiamycinzusatzes zum Broilerfutter auf die Mastergebnisse und auf den Energiegehalt der Rationen. Kraftfutter **64**, 302 - 306.
- HEIDENREICH, E., 1994: Technische und technologische Aspekte des Expandierens und Extrudierens. Mühle + Mischfüttertechnik. **131**, 75 - 79.
- HEIDENREICH, E., 1996: Problemlösung für die Erfüllung hygienischer Forderungen. Kraftfutter **79**, 52 - 57.
- HEIDENREICH, E., 1997: Abriebfeste Pellets für fettreiche Futtermischungen. Kraftfutter **80**, 506 - 510.
- HEIDENREICH, E.; MICHAELSEN, T., 1995: Extrudieren und Expandieren für die Mischfutterherstellung. Mühle + Mischfüttertechnik **132**, 794 – 798.
- HEIDENREICH, E.; SUNDERMEIER, T., 1995: Entwicklung in der Futtermittelzerkleinerung. Kraftfutter **78**, 161 - 168.
- HEINDL, U.; HAYES, J., 1996: Effekt eines kohlenhydratspaltenden Enzyms auf die umsetzbare Energie verschiedener Weizenherkünfte beim Broiler. Proc.Soc. Nutr. Physiol. **6**, 34.
- HENNIG, A., 1972: Mineralstoffe, Vitamine, Ergotropika. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin. 435 - 497.

- HESSSELMAN, K.; AMAN, P., 1986: The effect of β -glucanase on the utilization of starch and nitrogen by broiler chickens fed on barley of low or high viscosity. *Anim. Feed Sci. Technol.* **15**, 83 - 93.
- HOCK, E.; HALLE, I.; JEROCH, H.; MATTHES, S., 1997a: Effekte eines NSP-hydrolysierenden Enzymes und Zinkbacitracin auf die mikrobielle Besiedlung im Ileum und Caecum von Broilern. In: SCHUBERT, R., FLACHOWSKY, G., BITSCH, R., JAHREIS, G. (Herg): Vitamine und Zusatzstoffe in der Ernährung von Mensch und Tier. 6. Symp. Jena/Thüringen, 353 - 358
- HOCK, E.; HALLE, I.; MATTHES, S.; JEROCH, H., 1997a: Investigation on the composition of the ileal and caecal microflora of broiler chicks in consideration to dietary enzyme preparation and zink bacitracin in wheat-based diets. *Agribiol. Res.* **50**, 85 - 95.
- HOTZ, B.; WETZEL, W., 1995: Dekontamination von Hühnerfutter. *Kraftfutter* **78**, 195 - 201.
- HTOO, J.K., 1999: Effect of expansion with and without enzyme supplementation versus untreated wheat-based pelleted diets on broiler performance, nutrient utilization and metabolizable energy. M.Sc. Thesis Institute for Animal Physiology and Nutrition. Georg-August-University, Göttingen, 47 pp.
- HUHTANEN, C.; PENSACK, J. M., 1964: The development of the intestinal flora of the young chicks. *Poultry Sci.* **44**, 825 - 830.
- HURRELL, R. F.; CARPENTER, K. J.; SINCLAIR, W. J.; OTTERBURN, M. S.; ASQUITH, R. S., 1976: Mechanisms of heat damage in proteins. 7. The significance of lysine-containing isopeptides and of lanthionine in heated proteins. *Br. J. Nutr.* **35**, 383 - 395.
- HUYGHEBAERT, G., 1997: Neue Ergebnisse über die Wirkung von NSP-Enzymen beim Geflügel. In: BASF, 6. Forum Tierernährung (Vorträge), 72 - 91.
- HUYGHEBAERT, G., 1997a: The effect of different dosages of enzyme supplementation in different substrate concentration on AMEn-content, N-retention, amino acid and fat digestibility of wheat and barley in broilers. In: 4. Tagung Schweine- und Geflügelernährung, Halle (Saale), Wissenschaftliche Fachverlag Dr. Fleck, Niederkleen, 153 - 156.
- HUYGHEBAERT, G.; DE GROOTE, G., 1997: The bioefficacy of zinc bacitracin in practical diets for broiler and laying hens. *Poultry Sci.* **76**, 849 - 856.
- ISRAELEN, M.; BUSK, J.; VIRSOE, M.; HANSEN, I. D., 1996: Reduzierung des Salmonellenbefalls durch Expandieren und Pelletieren. *Kraftfutter* **79**, 584 - 588
- IZAT, A. L.; THOMAS, R. A.; ADAMS, M. H., 1989: Effects of dietary antibiotic treatment on yield of commercial broilers. *Poultry Sci.* **68**, 651 - 655.

- JACKSON, D.A.; BOLLENGIER, S., 1994: Broiler performance with expanded corn soya diets. In: 3rd International Kahl-Symposium. Hamburg-Bergedorf.
- JAMROZ, D.; WILICZKIEWICZ, A.; ORDA, J.; SKORUPINSKA, J., 1996a: Zum Einsatz von Roxazyme bei Verfütterung von Triticale an Broiler. Arch. Geflüglk. **60**, 7 - 13.
- JAMROZ, D.; WILICZKIEWICZ, A.; SKORUPINSKA, J.; ORDA, J.; VÖLKER, L., 1996b: Zur Wirkung steigender Roxazyme-G-Zulagen bei Triticale-Verfütterung an Broiler. Arch. Geflüglk. **60**, 165 - 173.
- JAMROZ, D.; WILICZKIEWICZ, A.; SKORUPINSKA, J.; ORDA, J., 1998: Fermentation und scheinbare Verdaulichkeit der Gerüstkohlenhydrate bei Verfütterung von Triticale und Enzymen an Hähnchen, Enten und Gänse. J. Anim. Physiol. a. Anim.Nutr. **79**, 1 - 17.
- JANSEN, H.D., 1995: Futtertechnologie. In: ABEL, HJ., FLACHOWSKY, G., JEROCH, H., und MOLNAR, S. (Eds): Nutztierernährung. Gustav Fischer Verlag Jena - Stuttgart, 146 - 153.
- JEROCH, H., 1991: Enzyme in der Geflügelernährung. In: :SCHUBERT, R.; FLACHOWSKY, G.; BITSCH, R. (Eds.): Vitamine und weitere Zusatzstoffe bei Mensch und Tier. 3. Symp. 26./27.9. Jena/Thüringen., 334 - 341.
- JEROCH, H., 1993: Körner und Samen. In: JEROCH, H., FLACHOWSKY, G., WEISSBACH, F. (Eds.): Futtermittelkunde. Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart, 238 - 297.
- JEROCH, H.; MÜLLER, A., 1992: Futterenzyme in der Geflügelfütterung. Lohmann Information. Sept./ Okt., 5 - 11.
- JEROCH, H.; HELANDER, E.; SCHLÖTTEL, H. J.; ENGERER, K. H.; PINGEL, H.; GEBHARDT, G., 1991: Prüfung der Wirksamkeit des β -Glukanase enthaltenden Enzympräparat ‚Avizyme[®]‘, zu einer Broilermastmischung auf Gerstenbasis. Arch. Geflügelk. **55**, 22 - 25.
- JEROCH, H.; SCHURZ, M.; GRUZAUSKAS, R.; SIEBECKE-STREMPPEL, H.; VÖLKER, L., 1993: The efficiency of enzyme additives to broiler ration on wheat basis. In: WENK, C.; BOESSINGER, M., (Eds.): Enzymes in animal nutrition. Inst Nutztierwissenschaften, Gruppe Ernährung, ETH-Zürich, Heft 11, 144 - 147.
- JOHNSTON, N. P.; ARSCOTT, G. H., 1974: Effect of a fermentation residue and an antibiotic on growth of chicken fed ration containing corn or wheat. Poultry Sci. **53**, 1335 - 1341.
- KAMPHUES, J., 1997: Mit oder ohne Leistungsförderer - Zielkonflikte sind unvermeidbar. In: SCHUBERT, R., FLACHOWSKY, G., BITSCH, R., JAHREIS, G. (Herg.): Vitamine und Zusatzstoffe in der Ernährung von Mensch und Tier. 6. Symp. Jena/Thüringen, 75 - 90.

- KAMPHUES, J.; HEBELER, D., 1999: Leistungsförderer – der Status quo aus Sicht der Tierernährung. Übers. Tierernährung **27**, 1 - 28.
- KIETZMANN, K., 1986: Aspekte der Wirkungsweise von Leistungsförderern. VDLUFA-Schriftenreihe **20**, Kongressband, 1 - 13.
- KIRCHGESSNER, M., 1992: Tierernährung. 8. Aufl., DLG-Verlag, Frankfurt/M.
- KIRCHGESSNER, M.; SPOERL, R., 1977: Zur ernährungsphysiologischen Wirksamkeit von Zink-Bacitracin in der Broilerfütterung. Arch. Geflügelk. **41**, 191 - 195
- KLUGE, K.; DUSEL, G.; LENGERKEN, J. V.; HARTSANN, G., 1997: Inhaltsstoffe und Futterqualität von Weizen in Abhängigkeit von genetischen und ökologischen Aspekten. In: 4. Tagung Schweine- und Geflügelernährung, Halle (Saale), Wissenschaftliche Fachverlag Dr. Fleck, Niederkleen, 77 – 89.
- KLÜNTER, A.M.; DEVAUD, A.; VÖLKER, L., 1995: Influence of liquid feed enzymes on performance and nutrient retention of broiler chickens fed a cereal diet. In: VAN HARTINGSVELDT, W.; HESSING, H.; VAN DER LUGT, J.P.; SOMERS, W: A. C. (Eds.): The second european symposium on feed enzymes, Noordwijkerhout, Zeist, The Netherlands, 293.
- KLÜNTER, A. M.; DEVAUD, A.; STEINBERG, W., 1997: Influence of NSP-hydrolyzing enzymes on performance and nutrient utilization of broiler chickens fed cereal-based diets. In: 11th european symp. on poultry nutrition, WPSA, Denmark, Aug. 24 – 28. 8. 1997, Faaborg, Denmark, 499 - 501.
- KÖNIG, J. G., 1995: Salmonella decontamination with expander. Kraftfutter **78**, 212 – 215.
- KRÄMER, K.; SCHÖNER, F. J.; OBERFRANK, U.; HOPPE, P. P., 1996: Wirkung von NSP-spaltenden Enzymen auf Leistungen und Nährstoffverdaulichkeit von Masthähnchen bei Fütterung einer gerstenreichen Ration. Proc.Soc. Nutr. Physiol. **6**, 36.
- LANGHOUT, D. J.; SCHUTTE, J. B., 1995: Effects of avilamycin and xylanase enzyme preparation alone or in combination on broiler performance and ileal viscosity. Proc. 10th Europ. Symp. Poult. Nutr., Oct. 15 – 19th, Antalya-Turkey 379 - 380
- LAURINEN, P; SILJANDER-RASI, H.; KARHUNEN, J.; ALAVIUHKOLA, T.; NÄSI, M.; TUPPI, F., 2000: Effects of different grinding methods and particle size of barley and wheat on pig performance and digestibility. Anim. Feed Sci. Technol. **83**, 1 – 16.
- LAWRENCE, T. L. J., 1993: The effects of cereal particles size and pelleting on the nutritive value of oat-based diets for growing pig. Anim. Feed Sci. Technol. **8**, 91 - 97.
- LIEBERT, F., 1994: Feed treatment and aspects of nutrient digestion resp. utilization in chicken. In: 3rd International Kahl-Symposium. Hamburg-Bergedorf.

- LIEBERT, F., 1995: Der Einfluss einer abgestuften Energieversorgung auf Nährstoff- und Energieverwertung beim Broiler. Arch. Geflüglk. **59**, 269 - 273.
- LIEBERT, F., 1998: Thermal treatment of raw materials and effects of enzyme addition in broiler feed. In: 4th international Kahl-Symposium. Future Aspects in Animal Nutrition and Compound Feed Technology. February 16th - 17th, Reinbek, 6 - 1 - 6 - 8.
- LIEBERT, F.; GEBHARDT, G., 1980: Beziehung zwischen Lysin-Konzentration und Kenndaten der Eiweiß- und Aminosäurenverwertung beim Broilerküken. Arch. Tierernährung **30**, 469 - 478.
- LIEBERT, F.; GEBHARDT, G., 1986: Ergebnisse zur Wirksamkeit und zum Bedarf an ausgewählten Aminosäuren beim wachsenden weiblichen Schwein. 1. Mitteilung Lysin. Arch. Anim. Nutr. **36**, 1077 - 1088.
- LIEBERT, F.; GEBHARDT, G., 1988: Ergebnisse zur Wirksamkeit und zum Bedarf an ausgewählten Aminosäuren beim wachsenden weiblichen Schwein. Arch. Anim. Nutr. **38**, 453 - 462.
- LIEBERT, F.; WECKE, C., 1997: Einfluss hoher Anteile behandelter Weizenkleie im Broilerfutter auf Futterwert und Chymusviskosität In: 4. Tagung Schweine- und Geflügelernährung, Halle (Saale), Wissenschaftlicher Fachverlag Dr. Fleck, Niederkleen, 292 - 295.
- LIEBERT, F.; NISSINEN, V.J.; PEISKER, M., 1993: Futterenzyme in thermisch behandeltem Geflügelfutter. Die Mühle + Mischfüttertechnik. Heft **130**, 453 - 454.
- LIEBERT, F.; WECKE, C.; KÖHLER, R., 1997: Futterwertveränderungen von Broilermischungen mit hohem Anteil unterschiedlich behandelter Futtererbsen. In: 4. Tagung Schweine- und Geflügelernährung, Halle (Saale), Wissenschaftlicher Fachverlag Dr. Fleck, Niederkleen, 191 - 194.
- LUCHT, H.W., 1997: Expandiertes Strukturfutter in der Nutztierfütterung, eine alternative für Futter in Mehl oder Pelletform. Die Mühle + Mischfüttertechnik. **134**, 537 - 542.
- MÄNNER, K., 1993: Einfluss von Zink-Bacitracin auf die Leistung von Broilern unter Wärmebelastung. In: JEROCH, H.; NONN, H.; EBERT, K.; KAISER, I. (Eds.): Internationale Tagung Schweine- und Geflügelernährung (1992). Wissenschaftlicher Fachverlag Dr. Fleck, Niederkleen, 98 - 102.
- MARCH, B. E.; SOONG, R.; MacMILLAN, C., 1978: Growth rate, feed conversion, and dietary metabolizable energy in response to virginiamycin supplementation of different diets. Poultry Sci. **57**, 1346 - 1350.
- MARQUARDT, R. R.; BOROS, D.; GUENTER, W.; GROW, G., 1993: The nutritive

- value of barley, rye, wheat and corn of young chicks as affected by use of a *Trichoderma reesei* enzyme preparation. Anim. Feed Sci. Technol. **45**, 363 - 378.
- McCRACKEN, K. J.; McALLISTER, A.; QUINTIN, G., 1994: Effects of bird age, wheat source and enzyme supplementation on apparent metabolisable energy content of wheat based diets and on broiler performance. Br. Poultry Sci. **35**, 821 - 822.
- McCRACKEN, K.J.; McALLISTER, A.; MAGEE, A., 1995: Factors affecting the AME content of wheat sources and broiler performance. Br. Poultry Sci. **36**, 857 - 858.
- McNAB, J. M., 1973: The avian caeca: A review. Wld's. Poult. Sci. J. **29**, 251 - 263.
- McNAB, J. M., 1993: Optimal use of enzymes for special ingredients. In: WENK, C.; BOESSINGER, M., (Eds): Enzymes in animal nutrition. Inst Nutztierwissenschaften, Gruppe Ernährung, ETH-Zürich, Heft 11, 97 - 124.
- MICHAELSEN, T., 1993: Thermisch-mechanische und hydrothermisch-mechanische Aufbereitung von Futtermittelkomponenten und Mischfutter. In: JEROCH, H.; NONN, H.; EBERT, K.; KAISER, I. (Eds.): Internationale Tagung Schweine- und Geflügelernährung (1992). Wissenschaftlicher Fachverlag Dr. Fleck, Niederkleen, 152 - 158.
- MEIXNER, B., 1991: Zur Bewertung des Ergotropikaeinsatzes in der Geflügelfütterung. In: Vitamine und weitere Zusatzstoffe bei Mensch und Tier. In: SCHUBERT, R.; FLACHOWSKY, G.; BITSCH, R. (Eds): Vitamine und weitere Zusatzstoffe in der Ernährung bei Mensch und Tier. 3. Symp. 26./27.9. Jena/Thüringen, 289 - 294.
- MEIXNER, B.; FLACHOWSKY, G., 1990: Ergotropikaeinsatz in der Tierernährung. Teil 1: Antibiotika, Chemobiotika, Probiotika, Organische Säuren, Puffersubstanzen, Pansenfermoregulatoren. Akad. Landw. **28**, Heft 8.
- MENKE, K. H.; KRAMPITZ, G., 1973: Antibiotika in nutritiver Dosierung. Übers. Tierernährung **4**, 225 - 272.
- MÜLLER, A., 1993: Neuere Erfahrung mit Enzymen. Lohmann Informationen Okt./Dez., 11 - 16.
- MÜLLER, A., 1998: Aktuelle Erfahrung mit verschiedenen Futterenzymen. Lohmann Informationen April/Juni, 18 - 22.
- MÜLLER, H. M.; SCHNEIDER, W., 1973: Einfluss verschiedener Behandlungen auf die scheinbare Verdaulichkeit und den Keimbesatz eines Futtermittels. Z. Tierphysiol., Tierernährg u. Futtermittelkde. **32**, 4.
- MURRAY, A. G.; FULLER, M. F.; PIRIE, A. R., 1977: The effect of fibre in the form of various polysaccharides on the apparent digestibility of protein in the pig. Anim. Prod. **24**, 139 - 144.

- NAUMANN, K.; BASSLER, R., 1976 - 1997: Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. Methodenbuch, Bd. III., Verlag Neumann-Neudamm.
- NEHRING, K., 1972: Lehrbuch der Tierernährung und Futtermittelkunde. Verlag J. Neumann-Neudamm, Melsungen.
- NIELSEN, K., 1998: Influence of feed structure/-processing on stomach size (ulcers in pigs). In: 4th international Kahl-Symposium. Future Aspects in animal Nutrition and Compound Feed Technology. February 16th – 17th, Reinbek, 4-1 - 4 - 8.
- NRC, 1994: Nutrient requirements of poultry. National Academy Press, Washington D.C.
- OCHI, Y.; MITSUKA, T.; SEGA, T., 1964: Untersuchungen über die Darmflora des Huhnes. 3. Mitteilung: Die Entwicklung der Darmflora vom Küken bis zum Huhn. Zbl. Bakteriologie, Parasitenkunde, Infektionskrankheiten, Hygiene, Abteilung 1 Organismus. **193**, 80 - 95.
- OHH, S. J.; ALLEE, G. L.; BEHNKE, K. C.; DEYOE, C. W., 1983: Effects of particles size of corn and sorghum grain on performance and digestibility of nutrients for weaned pigs. J. Anim. Sci., **57**, (Suppl. 1) 260.
- OLOFFS, K.; KLUGE, H.; JEROCH, H.; SCHÖNER, F.J., 1996: Wirksamkeit Nicht-Stärke-Polysaccharide (NSP) hydrolysierender Enzyme insbesondere auf die Nährstoffverdaulichkeit und Umsetzbarkeit der Bruttoenergie bei Legehennen. Proc. Soc. Nutr. Physiol. **5**, 37.
- OUMER, N.; LIEBERT, F., 1999: Auswirkungen unterschiedlicher Trypsininhibitoraktivität behandelter Sojabohnen auf Broilerküken. In: SCHUBERT, R.; FLACHOWSKY, G.; BITSCH, R.; JAHREIS, G. (Herg); Vitamine und Zusatzstoffe in der Ernährung von Mensch und Tier. 7. Symp. 22. - 23. Sept. Jena/Thüringen, 477 - 480.
- OWSLEY, W. F.; KNABE, D. A.; TANKSLEY, J. T. D., 1998: Effect of sorghum particles size on digestibility of nutrients at the terminal ileum and over the total digestive tract of growing-finishing pigs. J. Anim. Sci. **52**, 557 - 566.
- PAHLE, T.; KÖHLER, R.; HALLE, I.; JEROCH, H.; GEBHARDT, G., 1983: Methodische Untersuchungen zur Bestimmung der Verdaulichkeit des Rohproteins beim Hühnergeflügel. Arch. Tierernährung **33**, 363 - 370.
- PAHLE, T.; KÖHLER, R.; HALLE, I.; JEROCH, H.; GEBHARDT, G., 1985: Die Bestimmung der Rohproteinverdaulichkeit beim Hühnergeflügel mit der ∞ -NH₂-N-Methode. Arch. Tierernährung **35**, 82 - 87.
- PARSONS, C. M., 1996: Digestible amino acids for poultry and swine. Anim. Feed Sci. Technol. **59**, 147 - 153.
- PAULI, M. A. J., 1993: Der Einfluss des Multienzympräparates ROXAZYME®-G auf die Proteinverdaulichkeit bei Broiler. Diss. agr. TU München, Weihenstephan.
- PEISKER, M., 1990: Hydrothermische Behandlung und Futterwert.

Die Mühle + Mischfüttertechnik. **127**, 400 - 405.

PEISKER, M., 1993a: Futtermittelmodifizierung beim Expander. In: JEROCH, H.; NONN, H.; EBERT, K.; KAISER, I. (Eds.): Internationale Tagung Schweine- und Geflügelernährung (1992). Wissenschaftlicher Fachverlag Dr. Fleck, Niederkleen, 178 - 186.

PEISKER, M., 1993b: Conditioning for better animal performance. Feed Mngt. No. **44**, 22 - 24.

PEISKER, M., 1994: Influence of expansion on feed components. Feed Mix **2** (3), 26 - 31.

PEISKER, M., 1998: Stability of liquid lysine in feed processing. In: 4th international Kahl-Symposium. Future Aspects in Animal Nutrition and Compound Feed Technology. February 16th – 17th, Reinbek, 7-1.- 7-10.

PETTERSON, D.; AMAN, P., 1988: Effects of enzyme supplementation of diets based on wheat, rye or triticale on their productive value for broiler chickens. Anim. Feed Sci. Technol. **20**, 313 - 324.

PETTERSON, D.; AMAN, P., 1989: Enzyme supplementation of a poultry diets containing rye and wheat. Br. Poultry Sci. **62**, 139 - 149.

PICKFORD, J. R., 1992: Effects of processing on the stability of heat labile nutrients in animal feed. In: GARNSWORTHY, P. C.; HARESIGN, W.; COLE, D. J. A. (Eds.): Recent Advances in Animal Nutrition. University of Nottingham, School of Agriculture, Butterworths, London, 177 - 192.

PLAVNIK, I.; SKLAN, D., 1995: Nutritional effects of expansion and short time extrusion on feed for broilers. Anim. Feed Sci. Technol. **55**, 247 - 251.

PRIEBS, H.; THOMANECK, D.; HEINZ, T., 1987: Bestimmung der scheinbaren Verdaulichkeit des Rohproteins beim Hühnergeflügel mit Hilfe der α -NH₂-N-Methode. Arch. Tierernährung **37**, 467 – 474.

PUGH, R., 1993: The scope for enzyme in commercial feed formulation. In: LYONS, T. P.; JACQUES, K. A. (Eds.): Biotechnology in the feed industry. Proc. 9th Altech Ann. Symp. Nottingham University Press, Loughborough, 369 - 375

REECE, F. N.; LOTT, B. D.; DEATON, J. W., 1985: The effects of feed form, grinding method, energy level, and gender on broiler performance in moderate (21°C) environment. Poultry Sci. **64**, 1834 - 1839.

REECE, F. N.; LOTT, B. D.; DEATON, J. W., 1986: The effects of environmental temperature and corn particle size on response of broiler to pelleted feed. Poultry Sci. **65**, 636 - 641.

RIMBACH, M.; LIEBERT, F., 1999: N-Umsatzparameter aktueller Broilergenotypen in differenzierten Altersabschnitten. Proc.Soc. Physiol. **8**, 49.

- ROBERFROID, M.B.; BORNET, F.; BOULGY, C.; CUMMINGS, J. H., 1995: Colonic mikroflora. *Nutr. Rev.* **53**, 127 – 130.
- ROTH, F.X.; KIRCHGESSNER, M.; WINDISCH, W., 1993: Mastleistung männlicher Broiler bei unterschiedlichem Energiegehalt und Energie/Protein-Verhältnis des Futters in der verlängerten Mast. *Arch. Geflüglk.* **57**, 91 - 95.
- RUTKOWSKI, A., 1993: Effect of multi-enzym preparation on metabolizable energy, amino acid availability and growth of chickens fed different varieties of grain. In: JEROCH, H.; NONN, H.; EBERT, K.; KAISER, I. (Eds.): Internationale Tagung Schweine- und Geflügelernährung (1992). Wissenschaftlicher Fachverlag Dr. Fleck, Niederkleen, 114 - 117.
- SACHS, L., 1968: Statistische Auswertungsmethoden. Springer-Verlag Berlin . Heidelberg . New York.
- SALANITRO, B.; BLAKE, I. G.; MUIRHEAD, P. A.; GOODMAN, J. R., 1978: Bacteria isolated from the duodenum, ileum, and caecum of young chicks. *Appl. Environm. Microbiol.* **35**, 782 - 790.
- SALOBIR, J., 1998: Effect of xylanase alone and in combination with β -glucanase on energy utilisation, nutrient utilisation and intestinal viscosity of broilers fed diets based on two wheat samples. *Arch. Geflügelk.* **62**, 209 - 213.
- SALOBIR, J.; BOGDANIAE, E.; SALOBIR, K.; STIBILJ, V.; STRUKLEC, M., 1997: Einfluss der β -Glukanase allein und in der Kombination mit Xylanase auf den Nährwert der Futtermischungen für Broiler auf Basis zweier Gerstenproben. In: 4. Tagung Schweine- und Geflügelernährung (1996), Halle (Saale), Wissenschaftliche Fachverlag Dr. Fleck, Niederkleen, 309 - 312.
- SCHMID, E., 1965: Die mittleren Antibiotika, In: R. BRUNNER und G. MACHEK, Die Antibiotika. Bd. 2, Hans Carl Verlag, Nürnberg. 184 - 189.
- SCHURZ, M., 1997: Zur Wirksamkeit von Zink-Bacitracin (Albac[®] 150 G) bei Legehennen, Broilern und Enten unter verschiedenen Ernährungs- und Haltungsbedingungen. Diss. agr. Halle/Saale.
- SCHUTTE, J. B.; GEERSE, C.; JONG, J. de., 1993: Effect of enzyme supplementation to wheat-base diets on broiler chick performance. In: WENK, C.; BOESSINGER, M., (Eds.): Enzymes in animal nutrition. Inst. Nutztierwissenschaften, Gruppe Ernährung, ETH-Zürich, Heft 11, 133 - 136.
- SEERLEY, R.W.; VAN DE GRIFT, W.L.; HALE, O.M., 1988: Effect of particle size of wheat on performance of nursery, growing and finishing pigs. *J. Anim. Sci.* **66**, 2484.
- SILVERSIDES, G. F.; BEDFORD, R. M., 1999: Effect of pelleting temperature on the recovery and efficacy of a xylanase enzyme in wheat-based diets. *Poultry Sci.* **78**, 1184 - 1190.

- SIMON, O., 1993: Anforderung an Futterenzyme. Intern. Tagung Schweine und Geflügelernährung. In: JEROCH, H.; NONN, H.; EBERT, K.; KAISER, I. (Eds): Internationale Tagung Schweine- und Geflügelernährung (1992). Wissenschaftlicher Fachverlag Dr. Fleck, Niederkleen, 103 - 107.
- SIMON, O., 1997: Einfluss von Nicht-Stärke-Polysacchariden (NSP) auf die Verdauung und Resorption bei Geflügelernährung und Schweinen. In: 4. Tagung Schweine- und Geflügelernährung (1996), Halle (Saale), Wissenschaftliche Fachverlag Dr. Fleck, Niederkleen, 90 - 101.
- SIMON, O., 1998: Auf dem Weg zu neuen Erkenntnissen über die Wirkungsweise NSP-hydrolysierender Enzyme. Lohmann Informationen Januar/März, 9 - 14.
- SIMON, O.; POLITZ, O.; BORRIS, R., 1993: Improving the characteristics of bacterial β -glucanases by construction of hybrid enzymes. In: WENK, C.; BOESSINGER, M., (Eds): Enzymes in Animal Nutrition. Inst. Nutztierwissenschaften, Gruppe Ernährung, ETH-Zürich, Heft 11., 22 - 28.
- SKOCH, E. R.; BINDER, S. F.; DEYOE, C. W.; ALLEE, G. L.; BEHNKE, K. C., 1983a: Effects of pelleting conditions on performance of pigs fed a corn-soyabean meal diet. *J. Anim. Sci.* **57**, 922 - 928.
- SKOCH, E. R.; BINDER, S. F.; DEYOE, C. W.; ALLEE, G. L.; BEHNKE, K. C., 1983b: Effects of pelleting conditions and extrusion cooking on a swine diet containing wheat midlings. *J. Anim. Sci.* **57**, 929 - 935.
- SMITH, A. P., 1995: Effects of feed processed in an annular expander on subsequent broiler performance. *Poultry Sci.* **74**, (Abstr.) 145.
- SMITH, H.W., 1965: The development of the flora of the alimentary tract in young animals. *J. Pathol. Bacteriol.* **90**, 495 - 513.
- SMITH, W. J., 1993: Antibiotics in feed, with special reference to pigs: a veterinary viewpoint. *Anim. Feed Sci. Technol.* **45**, 57 - 64.
- SPRING, P., 1997: Understanding the development of the avia gastrointestinal microflora: An essential key for developing competitive exclusion products. In: LYONS, T. P.; JACQUES, K. A. (Eds.): Biotechnology in the feed industry. Proc. 10th Altech Ann. Symp. Nottingham University Press, Loughborough, 313 - 319.
- SPRING, W.; GADIANT, M., 1997: Application of enzymes in feed for poultry and swine. *Zootecnica Int.* **20**, 62 - 65.
- STUTZ, M. W.; JOHNSON, S. L., 1976: In vitro and in vivo evaluation of antimicrobial agents as potential growth permittants. *Poultry Sci.* **55**, (Abstr.) 2098.
- STUTZ, M. W.; JUDITH, F. R., 1976: The effects of diet and antibiotic on the intestinal flora of the chicks. *Poultry Sci.* **55**, (Abstr.) 2098.

- STUTZ, M. W.; LAWTAN, G. C., 1984: Effects of diet and antimicrobials on growth, feed efficiency, intestinal *Clostridium perfringens* and ileal weight of broiler chicks. Poultry Sci. **63**, 2036 - 2042.
- STUTZ, M. W.; JOHNSON, S. L.; JUDITH, F. R., 1983a: Effects of diet, bacitracin and body weight restriction on the intestine of broiler chicks. Poultry Sci. **62**, 1626 - 1632.
- STUTZ, M. W.; JOHNSON, S. L.; JUDITH, F. R.; 1983b: Effects of diet and bacitracin on growth, feed efficiency and populations of *Clostridium perfringens* in the intestine of broiler chicks. Poultry Sci. **62**, 1619 - 1625.
- STUTZ, M. W.; JOHNSON, S. L.; JUDITH, F. R.; MILLER, B. M., 1983c: In vitro and in vivo evaluation of the antibiotic erythromycin. Poultry Sci. **62**, 1612 - 1618.
- SUMMERS, D.J.; ROBBLEE, A.R., 1985: Comparison of apparent amino acid digestibilities in anesthetized versus sacrificed chickens using diets containing soybean meal and canola meal. Poultry Sci. **64**, 536 - 541.
- THEANDER, O.; WESTERLAND, E.; AMAN, P.; GRAHAM, H., 1989: Plant cell walls and monogastric diets. Anim. Feed. Sci. Technol. **23**, 205 – 225.
- THOMAS, M.; VAN DER POEL, A. F. B.; 1996: Physical quality of pelleted animal feed. 1. Criteria for pellet quality. Anim. Feed Sci. Technol. **61**, 89 - 112.
- VAHJEN, W.; SIMON, O., 1997: Mögliche Wirkungsebenen NSP-hydrolysierender Enzyme auf intestinale Mikroorganismenpopulationen bei Monogastriden. In: SCHUBERT, R., FLACHOWSKY, G., BITSCH, R., JAHREIS, G. (Herg): Vitamine und Zusatzstoffe in der Ernährung von Mensch und Tier. 6. Symp. Jena/Thüringen, 91 - 100.
- VAHJEN, W.; GLÄSER, K.; SCHÄFER, K.; SIMON, O., 1998: Influence of xylanase supplemented feed on the development of selected bacterial groups in the intestinal tract of broiler chicks. J. Agric. Sci. **130**, 489 - 500.
- VAN BARNEVELD, R. J.; BATTERHAM, E. S.; NORTON, B. W., 1994a: The effect of heat on amino acids for growing pigs. 1. A comparison of ileal and faecal digestibilities of amino acids in raw and heat-treated field peas (*Pisum sativum* cultivar Dundale). Br. J. Nutr. **72**, 221 - 241.
- VAN BARNEVELD, R. J.; BATTERHAM, E. S.; NORTON, B. W., 1994b: The effect of heat on amino acids for growing pigs. 2. Utilization of ileal-digestible lysin from heat-treated field peas (*Pisum sativum* cultivar Dundale). Br. J. Nutr. **72**, 243 - 256.
- VAN BARNEVELD, R. J.; BATTERHAM, E. S.; NORTON, B. W., 1994c: The effect of heat on amino acids for growing pigs. 3. The availability of lysin from heat-treated field peas (*Pisum sativum* cultivar Dundale) determined using the slope-ratio assay. Br. J. Nutr. **72**, 257 - 275.
- VAN DER KLIS, J. D.; SCHEELE, C. W., 1995: Einsatz von NSP-Enzymen in der

Geflügelernährung. BASF Info-Service Tierernährung 40 /95.

- VAN DER POEL, A. E. B.; FRANSEN, H. M. P.; BOSCH, M. W., 1997: Effect of expander conditioning and/ or pelleting of a diet containing tapioca, pea and soybean meal on the total tract digestibility in growing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* **66**, 289 - 295.
- VELDMAN, A.; VAHL, H. A., 1993: Xylanase in wheat-based broiler diets. In: WENK, C.; BOESSINGER, M., (Eds.): *Enzymes in animal nutrition*. Inst. Nutztierwissenschaften, Gruppe Ernährung, ETH-Zürich, Heft 11, 137 - 140.
- VEST, L., 1997: Expanders and their influence on broiler performance. American Soybean Association. Brussels Belgium.
- WISEK, W.J., 1978: The mode of growth promotion by antibiotics. *J. Anim. Sci.* **46**, 1447 - 1469.
- VUKIC VRANJES, M.; WENK, C., 1993: Influence of dietary enzyme complex on broiler performance in diets with and without antibiotic supplementation. In: WENK, C.; BOESSINGER, M., (Eds.): *Enzymes in animal nutrition*. Inst. Nutztierwissenschaften, Gruppe Ernährung, ETH-Zürich, Heft 11, 152 - 155.
- WAGNER, D. D; THOMAS, O. P., 1978: Influence of diets containing rye or pectin on the intestinal flora of chicks. *Poultry Sci.* **57**, 971 - 975.
- WALDROUP, P. W.; IZAT, A. L.; 1990: The effect of zinc bacitracin and roxarsone on performance of broiler chickens when fed in combination with Narsin. *Poultry Sci.* **69**, 898 - 901.
- WONDRA et al., 1995: zit. n. HANCOCK, J. D., 1998.
- WARSTAT, I., 1979: Einfluss von Ameisensäure, Propionsäure, Zinkbacitracin und Lincomycin auf die Intestinalflora des Huhnes. Diss. agr. Bonn.
- WENK, K., 1993: What are the benefits of carbohydrates in the nutrition of monogastric farm animals. In: WENK, C.; BOESSINGER, M., (Eds): *Enzymes in animal nutrition*. Inst. Nutztierwissenschaften, Gruppe Ernährung, ETH-Zürich, Heft 11, 41 - 48.
- WISEMAN, J.; INBORR, J., 1990: The nutritive value of wheat and its effect on broiler performance. In: HARESIGN, W.; COLE, D.J.A. (Eds.); *Recent advances in animal nutrition*. University of Nottingham School of Agriculture, Butterworths, London, 79 - 102.
- WPSA., 1984: The prediction of apparent metabolizable energy values for poultry in compound feeds. *Wld's Poult. Sci. J.* **40**, 181 - 182.

8. Tabellenanhang

Tab. A1: Nährstoffzusammensetzung der einzelnen untersuchten Futtermischungen (% der TS)

Nährstoff	Hammermühle								Walzenstuhl							
	Konditionierung*				Kond./Expandierung**				Konditionierung*				Kond./Expandierung**			
	0	+A	+E	A+E	0	+A	+E	A+E	0	+A	+E	A+E	0	+A	+E	A+E
TS %	88,6	89,6	88,8	89,9	92,7	91,6	90,9	89,4	88,3	88,7	89,1	89,3	87,1	90,3	87,4	90,3
Rohprotein	23,9	24,0	23,9	23,8	24,1	24,1	24,3	24,1	23,5	24,5	23,6	24,8	24,1	24,7	24,1	25,1
Rohfett	4,6	4,7	4,0	4,1	3,9	4,1	4,1	4,2	4,6	4,7	4,6	4,6	4,2	5,2	4,7	5,1
Rohasche	3,5	3,2	3,2	3,1	3,3	3,2	3,1	3,0	3,3	3,4	3,3	3,4	3,4	3,2	3,4	3,3
Rohfaser	6,4	6,9	6,4	6,4	6,9	7,0	6,9	7,0	6,6	7,0	6,6	7,1	6,8	7,1	6,8	7,2
Stärke	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5
Zucker	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9
ME ⁿ (MJ/kgTS)	13,8	13,8	13,6	13,6	13,6	13,6	13,7	13,7	13,7	13,9	13,8	13,9	13,7	14,1	13,9	14,1

¹⁾Nach WPSA 1984

* Konditioniert bei 70°C

**Expandiert bei 100°C Expanderkopf

- 0 = Kontrolle ohne Zusatz
 +A = +50g Zink-Bacitracin (ZB)/kg Futter
 +E = +150mg ROXAZYME[®] G2 flüssig/kg Futter
 A+E = +50mg ZB +150mg ROXAZYME[®] G2 flüssig/kg Futter

Tab. A2: Komponenten des Starterfutters

Futterkomponente	Anteil %
Weizen	60,92
Sojaextraktionsschrot	26,65
Fischmehl	4,76
Mineralfutter	1,90
Sojaöl	4,76
Kochsalz	0,19
Prämix*	0,95
Coccidiostaticum ¹	0,05
XP (% der TS)	24
MEn (MJ/kg TS)	14

*Zusammensetzung des Prämix (Fa. Deutsche Vilomix) pro kg: 175 g Ca, 80 g Na

Zusatzstoffe pro kg Prämix:

1.200000 I.E. Vitamin A, 300000 I.E. Vitamin D3, 3000 mg Vitamin E, 200 mg Vitamin B1, 480 mg Vitamin B2, 360 mg Vitamin B6, 1500 mg Vitamin B12, 300 mg Vitamin K3, 2700 mg Nikotinsäure, 900 mg Calcium-Pantothenat, 90 mg Folsäure, 5000 mg Biotin, 80000 mg Cholinchlorid, 12000 mg Mangan, 8000 mg Zink, 5000 mg Eisen, 3000 mg Kupfer, 120 mg Jod, 55 mg Kobalt, 42 mg Selen, 10000 mg BHT

¹Lasalocid-Na (Avatec)

Tab. A3: Verendete Tiere in der gesamten Versuchsperiode beim Wachstumstest

	Zahl der Versuchstiere	Verendete Tiere	Tierverlust (%)
1. Durchgang	240	4	1,67
2. Durchgang	240	5	2,08
3. Durchgang	240	3	1,25

Tab. A4: Wechselwirkungen zwischen Zerkleinerung und Zusatzstoffen auf die zootechnischen Parameter (MW)

Einflussfaktoren Zerkleinerung x Zusätze	Zootechnische Parameter			
	n	FV (g/Tier/d)	LMZ (g/Tier/d)	FA (g/g)
Hammermühle ohne Zusatz	8	84,4	44,5	1,89
Hammermühle x Antibiotikum	8	82,6	45,1	1,83
Hammermühle x Enzym	8	80,2	44,2	1,82
Hammermühle x (Antibiotikum + Enzym)	8	82,1	47,7	1,72
Walzenstuhl ohne Zusatz	8	77,7	42,4	1,83
Walzenstuhl x Antibiotikum	8	81,1	45,6	1,77
Walzenstuhl x Enzym	8	76,7	42,3	1,79
Walzenstuhl x (Antibiotikum + Enzym)	8	82,1	48,5	1,69
F-Wert		n.s.	n.s.	n.s.

Tab. A5: Wechselwirkungen zwischen thermischer Behandlung und Zusatzstoffen auf die zootechnischen Parameter (MW)

Einflussfaktoren Behandlung x Zusätze	Zootechnische Parameter			
	n	FV (g/Tier/d)	LMZ (g/Tier/d)	FA (g/g)
Konditionierung x ohne Zusatz	8	80,8	43,3	1,86
Konditionierung x Antibiotikum	8	83,5	45,8	1,82
Konditionierung x Enzym	8	76,8	42,5	1,81
Konditionierung x (Antibiotikum + Enzym))	8	84,9	48,4	1,72
Expandierung x ohne Zusatz	8	81,3	43,6	1,87
Expandierung x Antibiotikum	8	80,2	45,0	1,78
Expandierung x Enzym	8	80,1	44,5	1,80
Expandierung x (Antibiotikum + Enzym)	8	81,0	47,7	1,70
F-Wert		n.s.	n.s.	n.s.

Tab. A6: Wechselwirkungen zwischen Zerkleinerung und Zusatzstoffen auf die Körperzusammensetzung (MW)

Einflussfaktoren Zerkleinerung x Zusätze	Körperzusammensetzung						
	n	TS	XP	n	XL	n	XA
Hammermühle ohne Zusatz	8	354,1	193,8	8	131,9	8	28,3
Hammermühle x Antibiotikum	7	348,1	193,2	7	126,3	7	28,6
Hammermühle x Enzym	8	361,0	192,8	8	139,0	8	29,2
Hammermühle x (Antibiotikum + Enzym)	8	392,2	209,3	7	152,8	7	30,1
Walzenstuhl ohne Zusatz	8	332,3	186,2	8	119,3	8	26,8
Walzenstuhl x Antibiotikum	8	353,3	198,7	8	130,4	8	29,3
Walzenstuhl x Enzym	7	331,8	185,0	7	119,8	7	28,2
Walzenstuhl x (Antibiotikum + Enzym)	8	388,6	214,2	8	143,9	8	30,4
F-Wert	n.s.		n.s.		n.s.		

Tab. A7: Wechselwirkungen zwischen Behandlung und Zusatzstoffen auf die Körperzusammensetzung (MW)

Einflussfaktoren Behandlung x Zusätze	Körperzusammensetzung						
	n	TS	XP	n	XL	n	XA
Konditionierung x ohne Zusatz	8	347,8	190,8	8	129,1	8	27,9
Konditionierung x Antibiotikum	7	352,4	196,3	7	126,	7	29,9
Konditionierung x Enzym	8	340,4	185,5	8	126,1	8	28,8
Konditionierung x (Antibiotikum + Enzym)	8	399,9	211,5	8	158,1	7	30,3
Expandierung x ohne Zusatz	8	338,6	189,2	8	122,1	8	27,2
Expandierung x Antibiotikum	8	354,6	196,0	8	130,7	8	27,9
Expandierung x Enzym	7	355,4	193,3	7	132,6	7	29,0
Expandierung x (Antibiotikum + Enzym)	8	380,9	212,0	7	138,1	8	30,2
F-Wert	n.s.		n.s.		n.s.		n.s.

Tab. A8: Wechselwirkungen zwischen Zerkleinerung und Zusatzstoffen auf Nährstoffansatz sowie Nährstoffverwertung

Einflussfaktoren		Untersuchte Parameter						
		n	XP- Ansatz (g/Tier/d)	XP- verwertung (%)	n	Energie- Ansatz (kJ/Tier/d)	n	Energie- Verwertung (%)
Hammermühle	ohne	8	7,9	43,5	8	423	8	40,7
Zusatz								
Hammermühle	x	7	7,9	45,3	7	410	7	41,3
Antibiotikum								
Hammermühle + Enzym		8	8,0	45,8	7	436	7	44,2
Hammermühle x (Antibiotikum + Enzym)		8	8,7	49,1	8	474	7	48,0
Walzenstuhl	ohne Zusatz	8	7,6	45,0	8	394	8	41,9
Walzenstuhl x Antibiotikum		8	8,1	46,3	8	434	8	43,4
Walzenstuhl x Enzym		7	7,5	46,8	7	396	7	43,6
Walzenstuhl x (Antibiotikum + Enzym)		8	8,9	50,0	8	477	8	47,2
F-Wert			n.s.	n.s.		n.s.		n.s.

Tab. A9: Wechselwirkungen zwischen thermischer Behandlung und Zusatzstoffen auf Nährstoffansatz sowie Nährstoffverwertung

Einflussfaktoren Behandlung x Zusätze	Untersuchte Parameter						
	n	XP- Ansatz (g/Tier/d)	XP- Verwertung (%)	n	Energie- Ansatz (kj/Tier/d)	n	Energie- Verwertung (%)
Konditionierung x ohne Zusatz	8	7,9	44,6	8	422	8	42,6
Konditionierung x Antibiotikum	7	8,0	45,3	7	423	7	41,9
Konditionierung x Enzym	8	7,6	45,6	8	407	7	43,3
Konditionierung x (Antibiotikum + Enzym)	8	8,8	49,1	7	495	8	48,3
Expandierung x ohne Zusatz	8	7,7	43,8	8	400	8	39,9
Expandierung x Antibiotikum	8	8,0	46,3	8	423	8	42,9
Expandierung x Enzym	7	7,9	47,0	7	425	7	44,4
Expandierung x (Antibiotikum + Enzym)	8	8,8	50,0	8	456	7	46,7
F-Wert		n.s.	n.s.		n.s.		n.s.

Tab. A10: Wechselwirkungen zwischen Zerkleinerung und thermischer Behandlung auf den PNu, abgeleitet aus Körperanalysen

Einflussfaktoren Zerkleinerung x Behandlung	n	PNu-Körper (%)
Hammermühle x Konditionierung	16	60,4
Hammermühle x Expandierung	16	61,3
Walzenstuhl x Konditionierung	16	62,0
Walzenstuhl x Expandierung	16	61,9
F-Wert		n.s.

Tab. A11: Wechselwirkungen zwischen Zerkleinerung und Zusatzstoffen auf den PNu, abgeleitet aus Körperanalysen

Einflussfaktoren	n	PNu (%)
Zerkleinerung x Zusätze		
Hammermühle ohne Zusatz	8	58,0
Hammermühle x Antibiotikum	8	60,4
Hammermühle + Enzym	8	60,9
Hammermühle x (Antibiotikum + Enzym)	8	64,1
<hr/>		
Walzenstuhl ohne Zusatz	8	59,8
Walzenstuhl x Antibiotikum	8	61,3
Walzenstuhl x Enzym	8	61,5
Walzenstuhl x (Antibiotikum + Enzym)	8	64,8
F-Wert		n.s.

Tab. A12: Wechselwirkungen zwischen Behandlung und Zusatzstoffen auf den PNu, abgeleitet aus Körperanalysen

Einflussfaktoren	n	PNu (%)
Behandlung x Zusätze		
Konditionierung x ohne Zusatz	8	59,4
Konditionierung x Antibiotikum	8	60,6
Konditionierung x Enzym	8	60,4
Konditionierung x (Antibiotikum + Enzym)	8	64,2
<hr/>		
Expandierung x ohne Zusatz	8	58,1
Expandierung x Antibiotikum	8	61,2
Expandierung x Enzym	8	62,1
Expandierung x (Antibiotikum + Enzym)	8	64,8
F-Wert		n.s.

Tab. A13: Wechselwirkungen zwischen Zerkleinerung und Zusatzstoffen auf die ileale Verdaulichkeit ausgewählter Aminosäuren(%)

Einflussfaktoren	n	Lys	Thr	Met+Cys
Zerkleinerung x Zusätze				
Hammermühle ohne Zusatz	8	78,1	75,1	68,0
Hammermühle x Antibiotikum	8	78,8	76,3	69,3
Hammermühle + Enzym	8	84,6	80,6	76,1
Hammermühle x (Antibiotikum + Enzym)	8	85,8	81,4	76,2
Walzenstuhl ohne Zusatz	8	78,2	77,6	77,2
Walzenstuhl x Antibiotikum	8	81,8	80,2	79,1*
Walzenstuhl x Enzym	8	84,1	81,7	80,7
Walzenstuhl x (Antibiotikum + Enzym)	8	86,9	85,4	83,5
F-Wert		n.s.	n.s.	n.s.

*n=7

Tab. A14: Wechselwirkungen zwischen Zerkleinerung und Zusatzstoffen auf die Azetatkonzentration im Ileumchymus

Einflussfaktoren	n	Azetat ($\mu\text{mol}/\% \text{HCL}$ unlöslicheAsche)
Zerkleinrung x Zusätze		
Hammermühle ohne Zusatz	8	203
Hammermühle x Antibiotikum	8	170
Hammermühle + Enzym	8	200
Hammermühle x (Antibiotikum + Enzym)	8	159
Walzenstuhl ohne Zusatz	8	158
Walzenstuhl x Antibiotikum	8	144
Walzenstuhl x Enzym	8	117
Walzenstuhl x (Antibiotikum + Enzym)	8	117
F-Wert		n.s.

Tab. A15: Wechselwirkungen zwischen thermischer Behandlung und Zusatzstoffen auf die Azetatkonzentration im Ileumchymus

Einflussfaktoren Behandlung x Zusätze	n	Azetat ($\mu\text{mol}/\% \text{HCl}$ unlöslicheAsche)
Konditionierung x ohne Zusatz	8	195
Konditionierung x Antibiotikum	8	163
Konditionierung x Enzym	8	186
Konditionierung x (Antibiotikum + Enzym)	8	160
Expandierung x ohne Zusatz	8	166
Expandierung x Antibiotikum	8	152
Expandierung x Enzym	8	131
Expandierung x (Antibiotikum + Enzym)	8	116
F-Wert		n.s.

Tab. A16: Wechselwirkungen zwischen thermischer Behandlung und Zusatzstoffen auf N-Verwertungsparameter und Lysinwirksamkeit (bc^{-1})

Einflussfaktoren Behandlung x Zusätze	Untersuchte Parameter					
	n	N-Aufnahme ($\text{mg}/\text{d}/\text{LM}_{\text{kg}}^{0,67}$)	n	N-Bilanz ($\text{mg}/\text{d}/\text{LM}_{\text{kg}}^{0,67}$)	PNu* (%)	bc^{-1}
Konditionierung x ohne Zusatz	12	3355	9	1724	64,8	74,1
Konditionierung x Antibiotikum	11	3442	11	1684	63,0	70,5
Konditionierung x Enzym	12	3328	11	1752	66,3	77,4
Konditionierung x (Antibiotikum + Enzym)	12	3209	12	1676	65,3	75,4
Expandierung x ohne Zusatz	11	3382	12	1605	62,4	69,6
Expandierung x Antibiotikum	11	3429	11	1619	61,3	67,4
Expandierung x Enzym	12	3405	12	1670	62,8	70,2
Expandierung x (Antibiotikum + Enzym)	12	3342	12	1667	63,5	71,7
F-Wert		n.s.		n.s.	n.s.	n.s.

* Standardisierte N-Aufnahme

Tabellenanhang (Urdaten)

Tab.1: Mastleistungen

Wdh.	Hammermühlenzerkleinerung								Walzenstuhlzerkleinerung							
	Konditionierung				Kond./Expandierung				Konditionierung				Kond./Expandierung			
	0	A	E	A+E	0	A	E	A+E	0	A	E	A+E	0	A	E	A+E
	Futtermittelverzehr (g/Tier/d)															
1	92,0	88,8	86,1	85,3	91,6	76,4	80,3	77,0	72,0	86,6	69,2	78,6	85,7	81,7	78,0	86,9
2	85,0	86,9	82,4	88,5	83,2	84,5	78,6	85,9	75,5	81,6	77,1	78,8	82,2	84,5	75,6	86,5
3	83,9	78,1	80,6	91,2	69,1	76,1	74,6	79,2	70,3	81,0	69,4	84,8	84,5	81,4	97,6	78,4
4	96,9	94,1	82,5	76,5	73,6	75,9	76,5	73,2	70,4	71,0	67,4	82,2	80,8	81,0	79,5	80,9
	Lebendmassezunahme (g/Tier/d)															
1	48,5	46,5	47,5	48,9	47,6	42,7	45,4	48,2	38,5	50,0	38,7	46,2	47,2	45,4	43,1	50,8
2	46,5	43,5	45,0	51,1	43,6	45,2	42,9	51,2	40,4	46,3	44,6	45,4	44,6	47,4	41,5	52,3
3	42,7	45,0	43,3	50,9	38,4	44,2	39,8	41,8	40,0	44,9	38,2	48,5	46,8	47,0	55,6	47,8
4	51,2	51,8	46,3	49,3	37,7	41,5	43,2	40,0	38,8	38,5	36,3	47,1	42,8	46,6	44,6	49,6
	Futtermittelaufwand (g/g)															
1	1,90	1,91	1,81	1,74	1,92	1,79	1,77	1,60	1,87	1,73	1,79	1,70	1,82	1,80	1,81	1,71
2	1,83	2,00	1,83	1,73	1,91	1,87	1,83	1,68	1,87	1,76	1,73	1,73	1,84	1,78	1,82	1,65
3	1,96	1,74	1,86	1,79	1,80	1,72	1,87	1,90	1,76	1,80	1,82	1,75	1,80	1,73	1,76	1,64
4	1,89	1,82	1,78	1,55	1,95	1,83	1,77	1,83	1,82	1,84	1,86	1,74	1,89	1,74	1,78	1,63

Tab. 2: Körperzusammensetzung der Tiere (28. LT) (g/kg FS)

Wdh.	Hammermühlenerkleinerung								Walzenstuhlzerkleinerung							
	Konditionierung				Kond./Expandierung				Konditionierung				Kond./Expandierung			
	0	A	E	A+E	0	A	E	A+E	0	A	E	A+E	0	A	E	A+E
Trockensubstanz																
1	376,7	354,3	383,3	430,1	378,8	333,9	392,8	367,6	308,1	403,1	291,9	355,6	341,0	339,5	349,4	420,3
2	356,3	350,3	363,8	416,7	354,2	380,5	374,0	396,7	349,1	354,7	354,2	372,2	330,3	394,7	350,0	390,1
3	350,9	340,5	339,1	438,9	305,5	345,8	320,1	335,5	325,7	355,3	321,7	401,8	366,0	357,4	-	397,3
4	401,2	-	363,3	421,2	308,7	323,8	352,0	331,0	314,5	300,7	305,7	362,7	324,0	361,4	349,4	408,6
XP																
1	201,7	193,8	197,5	234,6	207,3	185,6	201,9	204,1	173,3	210,2	167,2	199,0	193,5	186,4	192,4	219,7
2	199,9	191,9	191,4	216,0	184,8	200,2	196,1	226,5	181,9	205,0	196,6	196,2	191,2	219,8	193,3	219,1
3	188,8	195,4	191,2	200,4	171,6	196,9	183,6	194,4	183,6	203,7	175,9	222,3	199,6	197,5	-	224,7
4	221,7	-	190,2	218,5	175,4	189,0	190,7	179,7	175,9	174,1	173,9	205,3	190,6	192,7	195,7	227,5
XL																
1	143,5	131,0	158,4	160,7	141,2	121,9	162,7	134,8	108,7	161,5	97,2	127,2	121,2	124,1	129,4	170,4
2	130,0	130,2	140,8	172,6	142,8	152,1	151,5	137,4	143,3	119,1	127,9	148,1	111,4	143,0	126,4	139,2
3	133,2	118,7	116,3	210,5	107,8	121,3	106,1	110,9	112,4	122,2	120,3	144,7	138,3	131,6	-	141,3
4	148,7	-	143,8	169,8	107,8	108,2	132,5	125,9	112,9	98,5	103,9	131,2	106,2	143,1	126,0	149,1
XA*																
1	31,6	29,6	27,4	34,9	30,4	26,4	28,1	28,7	26,1	31,4	27,5	29,4	26,3	29,0	27,7	30,1
2	26,3	28,3	31,7	28,2	26,6	28,2	26,4	32,7	23,9	30,6	29,7	27,9	27,8	31,9	30,4	31,7
3	28,9	26,4	31,6	28,0	26,1	27,6	30,5	30,2	29,7	29,4	25,5	34,8	28,1	28,3	-	31,3
4	30,9	-	29,3	32,9	25,5	26,6	28,8	25,3	25,7	28,0	27,9	26,2	27,2	25,6	27,7	31,9

* einschließlich NfE - Ausreißer

Tab. 3: Nährstoffansatz im Tierkörper (g)

Wdh.	Hammermühlengerkleinerung								Walzenstuhlengerkleinerung							
	Konditionierung				Kond./Expandierung				Konditionierung				Kond./Expandierung			
	0	A	E	A+E	0	A	E	A+E	0	A	E	A+E	0	A	E	A+E
TS																
1	330,3	307,7	341,1	387,0	336,9	293,1	350,2	325,1	264,4	359,3	247,9	311,7	295,0	291,4	300,7	372,3
2	309,0	301,9	321,7	375,2	312,6	338,3	332,2	354,5	305,6	310,9	309,2	329,2	282,4	347,5	301,6	343,1
3	302,7	292,5	297,5	397,2	263,4	304,6	278,5	293,1	280,0	310,5	276,9	358,9	320,2	309,9	-	348,8
4	354,3	-	321,2	379,0	266,4	281,0	309,9	289,0	270,4	257,0	261,7	319,4	277,6	315,6	303,6	360,9
XP																
1	173,7	165,7	171,7	208,2	181,7	160,7	175,9	178,1	147,1	184,1	140,9	172,7	165,73	157,4	163,0	190,8
2	171,4	162,7	165,7	190,7	159,3	174,4	170,5	200,8	155,8	178,8	169,7	170,5	162,30	191,3	164,1	190,8
3	159,7	166,4	165,8	174,9	145,9	171,8	158,1	168,6	156,2	176,9	149,1	196,7	171,93	168,9	-	195,4
4	193,4		164,5	192,7	149,6	162,9	165,0	154,2	149,5	148,0	147,6	179,4	162,61	165,0	168,0	198,7
XL*																
1	138,6	126,1	145,4	147,4	128,3	109,4	149,7	121,7	104,9	157,7	93,3	123,3	116,4	119,0	124,3	165,4
2	125,1	125,1	127,8	159,9	130,1	139,2	138,7	124,5	139,5	115,3	124,0	144,4	106,4	138,1	121,4	134,3
3	128,2	113,7	103,5	197,7	94,9	108,6	93,3	97,9	108,5	118,3	116,4	141,0	133,5	126,6	-	136,2
4	143,7	-	130,9	156,9	94,8	95,1	119,6	113,1	109,0	94,7	100,1	127,4	101,3	138,3	121,2	144,2

* einschließlich NfE - Ausreißer

Tab. 4: Nährstoffansatz sowie Nährstoffverwertung (%)

Wdh.	Hammermühlengerkleinerung								Walzenstuhlengerkleinerung							
	Konditionierung				Kond./Expandierung				Konditionierung				Kond./Expandierung			
	0	A	E	A+E	0	A	E	A+E	0	A	E	A+E	0	A	E	A+E
Proteinansatz (g/d)																
1	8,3	7,9	8,2	9,9	8,7	7,7	8,4	8,5	7,0	8,8	6,7	8,2	7,9	7,5	7,8	9,1
2	8,2	7,7	7,9	9,1	7,6	8,3	8,1	9,6	7,4	8,5	8,1	8,1	7,7	9,1	7,8	9,1
3	7,6	7,9	7,9	8,3	6,9	8,2	7,5	8,0	7,4	8,4	7,1	9,4	8,2	8,0	-	9,3
4	9,2	-	7,8	9,2	7,1	7,8	7,9	7,3	7,1	7,0	7,0	8,5	7,7	7,9	8,0	9,5
Energieansatz (kJ/d)																
1	460	427	471	517	450	390	484	434	366	508	338	430	409	405	421	530
2	432	422	431	520	428	462	457	465	441	422	428	467	387	480	417	472
3	425	405	-	573	346	402	357	378	384	426	390	491	449	432	-	481
4	493	-	435	516	350	366	415	390	377	348	358	446	378	450	421	499
Proteinverwertung (%)																
1	41,4	40,9	43,7	53,6	43,5	46,1	48,1	50,8	44,9	46,6	44,7	48,2	42,5	42,3	45,8	48,2
2	44,3	41,1	44,1	47,3	42,0	45,3	47,6	51,3	45,3	48,1	48,3	47,5	43,3	49,7	47,6	48,4
3	41,8	46,8	45,2	42,1	46,3	49,6	46,5	46,7	48,8	47,9	47,2	50,9	44,7	45,5	-	54,7
4	43,8		43,8	55,2	44,6	47,1	47,4	46,2	46,6	45,8	48,1	47,9	44,1	44,7	46,4	53,9
Energieverwertung (%)																
1	40,6	39,1	44,4	49,2	39,9	41,5	48,9	45,8	41,4	47,7	39,6	44,5	38,9	40,2	43,9	49,6
2	41,3	39,5	42,5	47,7	41,8	44,5	47,3	44,0	47,5	42,1	45,13	48,2	38,2	46,2	44,8	44,4
3	41,1	42,2	-	51,1	40,7	42,9	38,9	-	44,3	42,7	45,7	47,2	43,2	43,2	-	49,8
4	41,3	-	42,9	54,8	38,7	39,2	44,1	43,3	43,5	39,9	43,2	44,1	37,9	45,1	43,1	50,2

- Ausreißer

Tab. 5: Physiologische Proteinnutzwert (%) (PNu- abgeleitet aus Körperanalysen)

Wdh.	Hammermühlenerkleinerung								Walzenstuhlzerkleinerung							
	Konditionierung				Kond./Expandierung				Konditionierung				Kond./Expandierung			
	0	A	E	A+E	0	A	E	A+E	0	A	E	A+E	0	A	E	A+E
1	57,1	56,3	59,2	69,7	62,0	61,0	63,2	64,9	59,4	62,0	58,8	62,8	57,6	57,0	60,6	63,5
2	59,5	56,5	59,4	63,0	57,7	61,0	62,9	66,8	60,1	63,3	62,9	62,3	58,3	65,3	62,3	63,4
3	57,1	61,3	60,5	57,6	55,0	64,2	61,5	61,2	62,8	63,2	61,3	66,6	59,9	60,3	63,0	69,1
4	60,2	61,8	58,9	69,1	55,4	61,1	62,1	60,9	60,9	60,3	62,2	63,0	59,3	59,5	61,2	68,5

Tab. 6: Ileale Verdaulichkeit ausgewählter Aminosäuren (%)

Wdh.	Hammermühlengerkleinerung								Walzenstuhlengerkleinerung							
	Konditionierung				Kond./Expandierung				Konditionierung				Kond./Expandierung			
	O	A	E	A+E	O	A	E	A+E	O	A	E	A+E	O	A	E	A+E
	Lys															
1	84,9	64,4	79,4	82,9	74,1	87,2	88,6	88,1	83,8	87,4	83,9	88,1	72,2	70,8	83,6	86,0
2	77,7	72,1	79,3	81,7	76,0	88,5	89,8	90,2	81,6	87,2	86,7	86,3	74,8	77,3	84,9	87,4
3	75,7	71,6	77,9	81,3	82,5	84,1	88,3	90,2	81,7	88,8	83,7	86,8	78,2	75,7	84,7	84,8
4	69,2	77,4	84,9	82,4	84,8	85,5	88,6	89,5	79,0	85,7	82,9	87,2	74,7	81,6	83,0	88,8
	Thr															
1	77,3	69,7	76,1	80,1	68,4	80,0	83,3	82,1	82,5	84,1	80,6	86,7	73,1	71,3	82,8	85,4
2	74,3	74,9	78,8	81,3	74,1	80,3	84,3	84,5	79,7	85,9	83,7	84,6	77,3	76,2	84,0	87,5
3	76,4	75,0	74,4	76,5	80,0	74,9	82,3	83,3	77,8	87,4	78,7	82,7	78,9	73,7	81,9	84,0
4	71,4	77,5	83,5	79,2	79,1	78,3	82,3	84,1	76,0	82,6	79,5	86,3	75,6	80,3	82,2	85,9
	Met+Cys															
1	75,1	58,0	70,8	75,3	63,9	74,8	79,3	74,5	83,4	83,7	80,9	86,3	72,4	68,5	80,9	82,4
2	62,3	64,7	72,0	74,3	69,3	78,7	81,3	81,3	80,6	84,0	84,9	83,1	75,5	72,6	81,5	86,3
3	65,3	67,0	70,9	69,0	75,3	68,7	77,3	79,7	77,8	86,8	79,9	84,0	76,8	-	80,2	79,5
4	58,2	68,4	78,2	75,2	74,6	74,3	79,2	80,7	76,7	80,4	79,1	84,7	74,4	77,7	78,7	81,9

- Ausreißer

Tab. 7: Azetatkonzentration im Chymus des Ileums ($\mu\text{mol}/\%$ HCl unlösliche Asche)

Wdh.	Hammermühlenzerkleinerung								Walzenstuhlzerkleinerung							
	Konditionierung				Kond./Expandierung				Konditionierung				Kond./Expandierung			
	0	A	E	A+E	0	A	E	A+E	0	A	E	A+E	0	A	E	A+E
1	194	211	395	179	204	167	165	140	177	122	112	103	157	177	111	120
2	313	188	201	203	212	130	143	114	174	163	110	135	139	135	108	110
3	190	161	294	237	155	164	125	96	156	117	110	121	135	146	121	126
4	175	181	136	199	181	162,	144	109	181	163	133	105	149	135	128	113

Tab. 8: Ergebnisse der Bilanzversuche

Wdh..	Hammermühlengerkleinerung								Walzenstuhlerkleinerung							
	Konditionierung				Kond./Expandierung				Konditionierung				Kond./Expandierung			
	0	A	E	A+E	0	A	E	A+E	0	A	E	A+E	0	A	E	A+E
Physiologische Proteinnutzwert (PNU)																
1	62,3	63,4	63,6	64,0	56,1	60,3	62,5	61,9	65,8	65,0	-	64,4	66,9	63,3	65,9	60,5
2	66,8	63,8	69,8	70,8	63,8	58,4	59,7	63,7	65,4	63,2	65,5	64,6	67,3	65,1	65,1	66,8
3	-	59,8	69,6	67,6	57,3	57,0	64,2	59,9	-	63,6	66,7	62,7	63,7	63,7	61,5	61,7
4	62,8	63,4	64,5	66,5	61,5	58,6	64,8	66,5	65,0	61,8	66,4	63,5	63,9	64,6	63,7	63,9
5	62,7	62,2	64,6	66,4	58,9	60,9	62,2	65,4	66,4	62,6	68,6	66,7	65,1	62,6	61,6	62,8
6	-	64,6	62,3	63,2	57,7	60,0	61,2	60,1	66,0	-	68,2	63,7	66,3	-	61,6	69,1
Lysinwirksamkeit (bc⁻¹)																
1	69,2	71,3	71,6	72,9	58,1	65,4	69,4	68,3	76,2	74,5	-	73,3	78,6	71,1	76,3	65,8
2	78,4	72,1	85,1	87,5	72,1	62,1	64,3	71,8	75,2	70,9	75,5	73,7	79,4	74,6	74,7	78,3
3	-	64,5	84,7	79,9	60,1	59,7	72,8	64,6	-	71,6	78,0	70,0	71,8	71,9	67,7	68,1
4	70,1	71,2	73,5	77,6	67,7	62,4	74,0	77,7	74,5	68,1	77,3	71,5	72,3	73,7	71,8	72,2
5	69,9	68,9	73,7	77,3	62,9	66,5	69,0	75,3	77,4	69,7	82,2	78,1	74,7	69,7	67,7	70,1
6	-	73,7	69,1	70,8	60,9	64,8	67,0	65,1	76,5	-	81,3	71,8	77,2	-	67,8	83,4
N-Bilanz /LM_{kg}^{0.67} (mg/d)																
1	1605	1646	1665	1640	1408	1521	1637	1599	1765	1715	-	1680	1379	1614	1863	1589
2	1795	1842	1842	1855	1682	1473	1549	1578	1779	1608	1744	1685	1768	1794	1678	1939
3	-	1569	1832	1735	1432	1567	1761	1460	-	1666	1828	1619	1765	1733	1646	1546
4	1699	1695	1642	1715	1634	1446	1770	1735	1716	1725	1792	1671	1673	1754	1671	1611
5	1614	1621	1669	1700	1504	1619	1569	1785	1788	1691	1851	1530	1757	1615	1646	1750
6	-	1741	1569	1598	1458	1673	1546	1471	1757	-	1841	1680	1802	-	1703	1944

- Ausreißer

Tab. 9: N-Aufnahme (Bilanzversuche)

Wdh.	Hammermühlengerkleinerung								Walzenstuhlengerkleinerung							
	Konditionierung				Kond./Expandierung				Konditionierung				Kond./Expandierung			
	O	A	E	A+E	O	A	E	A+E	O	A	E	A+E	O	A	E	A+E
1	3292	3300	3339	3235	3351	3262	3368	3319	3396	3338	3495	3297	-	3230	3392	3631
2	3378	3813	3227	3172	3358	3306	3393	3106	3477	3222	3365	3292	3264	3546	3662	3422
3	3484	3437	3221	3160	3302	3709	3538	3143	3376	3341	3485	3295	3600	3505	3230	3195
4	3504	3439	3194	3202	3444	3219	3506	3252	3336	3680	3416	3359	3327	3479	3477	3170
5	3284	3347	3252	3176	3342	3464	3212	3488	3401	3499	3369	2750	3440	3295	3343	3646
6	2972	3444	3207	3200	3329	3707	3248	3150	3360	-	3376	3369	3449	-	3474	3577

- Ausreißer

Tab. 10: Ergebnisse der Bilanzversuche

Wdh.	Hammermühlenerkleinerung								Walzenstuhlzerkleinerung							
	Konditionierung				Kond./Expandierung				Konditionierung				Kond./Expandierung			
	0	A	E	A+E	0	A	E	A+E	0	A	E	A+E	0	A	E	A+E
MEn (MJ/kg TS)																
1	13,90	13,39	13,22	13,89	12,97	13,61	13,96	14,06	14,08	-	13,48	13,56	14,19	13,81	14,33	13,40
2	14,03	13,33	14,68	14,26	13,18	13,08	13,79	14,07	14,11	14,16	13,44	14,11	13,93	13,68	14,32	14,28
3	12,62	12,65	14,47	14,30	12,92	12,24	14,03	13,54	13,81	13,95	13,80	13,79	12,58	13,71	13,49	14,14
4	14,01	13,49	14,03	13,96	13,23	12,74	13,67	13,91	13,88	13,57	13,62	13,83	13,54	13,33	14,08	14,26
5	13,35	13,57	13,79	14,13	13,24	13,65	13,84	14,37	12,63	13,42	13,84	13,98	13,64	13,52	13,79	13,59
6	-	12,55	13,98	13,58	13,01	12,60	13,96	13,67	13,81	13,67	14,16	13,80	13,82	-	13,74	14,17
N-Verdaulichkeit (%)																
1	87,8	86,3	83,0	84,2	78,5	88,1	89,3	85,4	87,0	-	86,4	85,3	87,1	87,2	87,9	85,5
2	84,9	86,9	88,2	87,3	80,9	84,9	85,1	85,6	87,3	88,6	84,8	88,4	86,9	86,7	88,2	89,6
3	85,0	85,2	86,5	84,8	77,0	80,9	85,8	85,5	85,2	86,9	82,9	86,4	86,5	83,9	83,8	89,9
4	86,2	88,2	86,8	85,0	81,9	83,6	87,1	86,1	86,9	83,9	84,9	86,9	83,8	85,4	86,3	85,5
5	84,7	89,4	84,1	83,7	83,3	83,7	86,7	87,3	85,3	85,5	84,7	87,5	83,7	85,3	85,8	87,0
6	-	84,8	83,6	81,9	81,4	84,1	85,4	84,0	85,3	85,1	86,8	85,1	86,6	-	84,0	89,7

- Ausreißer

An dieser Stelle möchte ich Herrn Prof. Dr. F. Liebert für die Überlassung des Themas, für die Ermöglichung der wissenschaftlichen Arbeit am Institut für Tierphysiologie und Tierernährung und für die ständige wissenschaftliche Betreuung im Verlauf der Promotionsarbeit danken.

Weiterhin gilt mein besonderer Dank Herrn Prof. Dr. H. Böhnelt vom Institut für Tropentierhygiene für die Übernahme des Korreferates.

Besonders möchte ich mich bei Frau Dr. H. Rosenow für ihre reichliche Hilfe bei der Korrektur der vorliegenden Arbeit bedanken.

Ich danke auch Frau Marbell für ihre vielfältige Hilfe während der ganzen Promotionszeit.

Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Institutes für Tierphysiologie und Tierernährung gilt mein herzlicher Dank für die tatkräftige Unterstützung bei der Durchführung der Tierversuche und Laborarbeiten, ohne deren Unterstützung und Hilfe diese Arbeit nicht zustande gekommen wäre.

Ich bedanke mich bei meinen Doktorandenkollegen, Nassir, Khaled, Martin, Lee und John für die gute Zusammenarbeit und das große Verständnis während meiner gesamten Promotionszeit am Institut.

LEBENS LAUF

Name Amad
Vorname Abdulkarim Abdulmageed
Geburtsdatum 05. 09 1965
Geburtsort Taiz/Jemen
Staatangehörigkeit Jemen
Familienstand verheiratet, 1 Kind

Schul Ausbildung

1972 – 1985 Grund-, Mittel- und Hauptschule in Taiz
1985 – 1986 Militärdienst

Universitätsstudium

1986 – 1987 Deutsche Sprache in Radebeul Dresden
1987 – 1992 Studium der tropischen Landwirtschaft der Universität
Leipzig mit Diplomabschluss
1992/93- 1997 Aufbaustudium der tropischen Landwirtschaft an der Georg-August-
Universität mit M.Sc. Abschluss
Seit 1998 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Tierphysiologie
und Tierernährung der Georg-August-Universität, Anfertigung der
Dissertation