

Iris Weber

**Effekte von Partikellänge, Faseranteil und  
Fermentierbarkeit von Rationen für  
Milchkühe auf Parameter der ruminalen  
Toleranz**



Cuvillier Verlag Göttingen

Aus dem Institut für Tierernährung  
Universität Hohenheim  
Fachgebiet Tierernährung  
Prof. Dr. med. vet. & agr. Drs. h.c. Winfried Drochner

**Effekte von Partikellänge, Faseranteil und Fermentierbarkeit  
von Rationen für Milchkühe auf Parameter  
der ruminalen Toleranz**

Dissertation  
zur Erlangung des Grades eines Doktors  
der Agrarwissenschaften

vorgelegt der Fakultät Agrarwissenschaften

von  
Iris Weber  
Dipl.-Ing. sc. agr.  
aus Salach

2007

### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2007  
Zugl.: Hohenheim, Univ., Diss., 2007  
978-3-86727-480-7

**Die Dissertation wurde von der H. Wilhelm Schaumann Stiftung gefördert**

Die vorliegende Arbeit wurde am 27. Juni 2007 von der Fakultät Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim als „Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Agrarwissenschaften“ angenommen

Tag der mündlichen Prüfung	12. November 2007
1. Prodekan	Prof. Dr. W. Bessei
Berichterstatter, 1. Prüfer	Prof. Drs. Drs. h.c. W. Drochner
Berichterstatter, 2. Prüfer	Prof. Dr. H. Schenkel
3. Prüfer	PD Dr. U. Weiler

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2007  
Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen  
Telefon: 0551-54724-0  
Telefax: 0551-54724-21  
[www.cuvillier.de](http://www.cuvillier.de)

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2007  
Gedruckt auf säurefreiem Papier

978-3-86727-480-7

*meinen Eltern*



## **Inhaltsverzeichnis**

<b>I. Allgemeine Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>1. Kapitel I</b>	
Literaturübersicht	
1.1. Bedeutung der Kohlenhydrate in der Wiederkäuerernährung	6
1.1.1. Klassifizierung der Kohlenhydrate	6
1.1.2. Bedeutung der Kohlenhydrate im Grund- und Kraftfutter	7
1.1.2.1. Das Grundfutter (GF)	7
1.1.2.2. Das Kraftfutter (KF)	10
1.2. Die Futteraufnahme als Voraussetzung für hohe Milchleistungen	12
1.2.1. Regulation der Futteraufnahme über das zentrale Nervensystem	12
1.2.2. Futter- und fütterungsbedingte Einflussfaktoren	12
1.2.2.1. Einfluss des Fasergehaltes und der Partikellänge (PL) des GF	13
1.2.2.2. Einfluss des KF-Niveaus und der KF-Zusammensetzung	15
1.3. Die Kau- und Wiederkauaktivität - Voraussetzung für die physiologischen Verdauungsvorgänge im Vormagen des Wiederkäuers	17
1.3.1. Bedeutung und Rolle der Kauaktivität	17
1.3.2. Einfluss des Fasergehaltes und der PL des GF	19
1.3.3. Einfluss des KF-Niveaus und der KF-Zusammensetzung	21
1.4. Verdauungsvorgänge im Gastrointestinaltrakt des Wiederkäuers	24
1.4.1. Bedeutung des Vormagensystems für den Wiederkäuer	24
1.4.2. Mikrobieller Abbau und Fermentation	26
1.4.3. Einfluss des Fasergehaltes und der PL des GF und auf die Verdauungsvorgänge beim Wiederkäuer	28
1.4.4. Einfluss des KF-Niveaus und der KF-Zusammensetzung auf die Verdauungsvorgänge beim Wiederkäuer	31
1.5. Literaturverzeichnis	36

## 2. Kapitel II

Einfluss der Partikellänge des Heus und des Kraftfutterniveaus in der Ration auf die Kauaktivität, Fermentation im Pansen, Passage und Verdaulichkeit von Nährstoffen bei leicht restriktiv gefütterten Milchkühen.

2.1. Einleitung	50
2.2. Material und Methoden	51
2.2.1. Versuchsschema	51
2.2.2. Versuchstiere und Haltung	52
2.2.3. Futter und Fütterung	52
2.2.4. Versuchsparameter	55
2.2.4.1. Futteraufnahme	55
2.2.4.2. Verdaulichkeit der Rohnährstoffe	56
2.2.4.3. Untersuchungen zur Kauaktivität	57
2.2.4.4. Bestimmung der Futter- und Flüssigkeitspassage	58
2.2.4.5. Parameter der Pansenfermentation	59
2.2.4.6. Mikrobielle Proteinsynthese	61
2.2.4.7. Ruminaler „ <i>in situ</i> “ Abbau der Trockenmasse (TM)	62
2.2.5. Statistische Auswertung	63
2.3. Ergebnisse	63
2.3.1. Futteraufnahme und Partikelgrößenverteilung in den Versuchsrationen	63
2.3.2. Kauaktivität und Fermentation im Pansen	64
2.3.3. Mikrobielle Proteinsynthese	72
2.3.4. Ruminale TM-Verluste und Abbaukinetik	73
2.3.5. Futter-, Flüssigkeitspassage und scheinbare Nährstoffverdaulichkeit	74
2.4. Diskussion	76
2.4.1. Kauaktivität und Fermentation im Pansen	76
2.4.2. Mikrobielle Proteinsynthese und ruminale Abbaubarkeit	80
2.4.3. Passage und scheinbare Nährstoffverdaulichkeit	84
2.5. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	86
2.6. Literaturverzeichnis	88
2.7. Anhang	93

### 3. Kapitel III

Einfluss der Kohlenhydratzusammensetzung von Kraftfuttermischungen in Totalen Mischrationen auf Futteraufnahme, Leistung, Kauaktivität und Verdauungsvorgänge bei Milchkühen.

3.1. Einleitung	98
3.2. Material und Methoden	99
3.2.1. Versuchsschema	99
3.2.2. Versuchstiere und Haltung	100
3.2.3. Futter und Fütterung	101
3.2.4. Versuchsparameter	102
3.2.4.1. Datenerfassung	102
3.2.4.2. Futteraufnahme	102
3.2.4.3. Energieversorgungsstatus, ruminale N-Bilanz , Lebendmasse	103
3.2.4.4. Milchleistung und -inhaltsstoffe	103
3.2.4.5. Verdaulichkeit der Rohnährstoffe	104
3.2.4.6. Parameter der Pansenfermentation	104
3.2.4.7. Untersuchungen zur Kauaktivität	104
3.2.4.8. Ruminale Abbaukinetik der Totalen Mischrationen	105
3.2.5. Statistische Auswertung	106
3.3. Ergebnisse	107
3.3.1. Charakterisierung der Versuchsrationen - <i>in situ</i> Abbau der TM und der Stärke	107
3.3.2. TM- und Rohnährstoffaufnahme	109
3.3.3. Energieversorgungsstatus, Lebensmasse und ruminale N-Bilanz	111
3.3.4. Milchleistung und Milchinhaltsstoffe	112
3.3.5. Kauaktivität und Fermentation im Pansen	113
3.3.6. Ruminale TM-Verluste und scheinbare Rohnährstoffverdaulichkeit	119
3.4. Diskussion	122
3.4.1. Futteraufnahme, Leistung	122
3.4.2. Kauaktivität und Pansenfermentation	127
3.4.3. Ruminaler TM-Abbau	130
3.4.4. Scheinbare Nährstoffverdaulichkeit	132
3.5. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	135

3.6. Literaturverzeichnis	137
3.7. Anhang	142
<b>4. Kapitel IV</b>	
Allgemeine Diskussion und Schlussfolgerungen	
4.1. Einleitung	146
4.2. Effekte der PL des GF, des Fasergehaltes und der KF-Zusammensetzung auf die Kauaktivität	146
4.3. Effekte der PL des GF, des Fasergehaltes und der KF-Zusammensetzung auf die Fermentation im Pansen	147
4.4. Effekte der PL des GF, des Fasergehaltes und der KF-Zusammensetzung auf den ruminalen TM-Abbau und die scheinbare Verdaulichkeit der Rohnährstoffe	148
4.5. Literaturverzeichnis	150
<b>II. Zusammenfassung</b>	153
<b>III. Summary</b>	155
Verzeichnis der Abkürzungen	157
Verzeichnis der Tabellen	160
Verzeichnis der Abbildungen	163
Danksagung	165
Vita	167

### I. Allgemeine Einleitung

Die landwirtschaftlichen Betriebe in Deutschland bewirtschafteten 2003 rund 17 Millionen Hektar landwirtschaftliche Fläche. Davon waren fast 12 Millionen Hektar Ackerland. Damit verfügte Deutschland nach Frankreich (27,8 Millionen Hektar) und Spanien (25,2 Millionen Hektar) über die drittgrößte landwirtschaftlich genutzte Fläche in der EU-25. Darüber hinaus hat Deutschland in der EU-25 einen bedeutenden Anteil an der Viehhaltung bzw. an der Erzeugung von Fleisch und Milch. So waren im Jahr 2004 in der EU-25 etwa 86,4 Millionen Rinder aufgestellt. Im November 2004 entfielen davon auf Deutschland 13,0 Millionen Rinder (15% des Bestandes der EU-25), darunter 4,3 Millionen Milchkühe. Damit ist Deutschland nach Frankreich der Mitgliedstaat mit der zweitgrößten Rinderproduktion in der EU-25 (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2006).

In Europa und in verschiedenen anderen Regionen der Erde sind die Milchleistungen der Kühe in den vergangenen Jahrzehnten erheblich angestiegen. Eine tägliche Leistung von über 40 kg Milch bzw. eine jährliche Laktationsleistung von mehr als 10000 kg je Milchkuh sind heute keine Seltenheit mehr. Eine dadurch bedingte ausreichende Lebensmittellbereitstellung führt in der Öffentlichkeit somit weniger zu der Frage nach dem Vorhandensein von Lebensmitteln, sondern vielmehr zu dem Wunsch nach mehr Informationen über Produktions- und Produktqualität. Während bei der Produktqualität kaum ein direkter Bezug zur Leistungshöhe der Tiere hergestellt werden kann, besteht zwischen Leistungshöhe, Stoffwechsel der Tiere und Tiergesundheit eine enge Beziehung zur Prozess- bzw. Produktionsqualität (FLACHOWSKY *et al.*, 2002, 2004).

Die Erhaltung der Gesundheit von Milchkühen mit hohen Leistungen ist somit zu einem der wichtigsten wirtschaftlichen Faktoren in der Tierhaltung geworden und nimmt mittlerweile einen höheren Stellenwert ein als die Höhe der Milchleistung.

Eine artgerechte Haltung und eine optimale medizinische Prophylaxe sowie eine bedarfsgerechte Versorgung mit Energie und Nährstoffen sind maßgebliche Grundlagen für die Gesunderhaltung leistungsstarker Tiere (ULBRICH *et al.*, 2004).

Ein vermehrtes Auftreten von speziell fütterungsbedingten Gesundheitsstörungen, wie Acidose, Tympanie und Labmagenverlagerung, verminderte Futteraufnahme bis hin zur Futterverweigerung und damit verbundenen Stoffwechselstörungen, zeigen jedoch, dass vor allem über die Wechselwirkungen zwischen Fütterung, hohen Leistungen und Gesundheit noch mehr Informationen notwendig sind .

Dieser Tatsache zur Folge steht eine leistungsgerechte und zugleich wiederkäuergerechte Versorgung der Milchkühe verstärkt im Mittelpunkt der Forschung.

In einer wiederkäuergerechten Ernährung nimmt neben einer bedarfsgerechten Versorgung der Tiere mit Energie und Nährstoffen die Gesunderhaltung des Pansens eine hervorragende Stellung ein. Besonders sind hierunter die Aufrechterhaltung einer angemessenen Wiederkauaktivität und Speichelsekretion, eines physiologisch normalen Verlaufes der Verdauung im Pansen und einer ausgeprägten Schichtung der aufgenommenen Futtermassen zu verstehen (SCHWARZ, 2000).

Kohlenhydrate sind in Rationen für Hochleistungskühe die wichtigsten energieliefernden Nährstoffe. Unter dem Gesichtspunkt einer wiederkäuergerechten Ernährung gewinnen jedoch die Fragen an Bedeutung, inwieweit Unterschiede im Ort der Kohlenhydratverdauung (Pansen gegenüber Dünndarm) das Milieu in den Vormägen beeinflussen und wie sich Ausmaß und Geschwindigkeit des Abbaus in den Vormägen auf die Energieversorgung und schließlich auf die tierischen Leistungen auswirken (SÜDEKUM, 1999).

Den Zellwandkohlenhydraten kommt neben ihrer Funktion als Energielieferanten noch eine ganz wesentliche Aufgabe zur Erhaltung der „Strukturwirksamkeit“ einer Ration zu. Hierbei ist insbesondere die Partikellänge des Grundfutters von großer Wichtigkeit, da diese auf die Kauaktivität, Speichelsekretion, Schichtung der Futtermassen sowie auf die Verdauung und Passage im Pansen beim Wiederkäuer Einfluss nehmen kann (PIATKOWSKY *et al.*, 1990; HOFFMANN, 1990; De BRABANDER *et al.*, 1999; MERTENS, 1997).

Ausgehend von diesen Zusammenhängen werden in der vorliegenden Dissertation Ergebnisse aus zwei Untersuchungen vorgestellt. Zu Beginn soll in Kapitel I ein Überblick über frühere und aktuelle Literaturdaten zu diesem Thema gegeben werden, während in Kapitel II die Effekte unterschiedlicher Partikellängen des Heus in Kombination mit zwei Kraftfutterstufen bei *semi aditum* Fütterung von Milchkühen auf die Verdauungsvorgänge wie Kauaktivität, Fermentation im Pansen, *in situ* Abbau im Pansen, Passage sowie Gesamtverdaulichkeit untersucht werden. In Kapitel III wird der Einfluss unterschiedlicher Kraftfuttermischungen in Totalen Mischrationen, die sich hinsichtlich ihrer Kohlenhydratzusammensetzung und ihres Abbauverhaltes im Pansen unterscheiden, auf Verdauungsvorgänge und Leistung von Milchkühen geprüft.

## Literaturverzeichnis

- DE BRABANDER, D.L., J.L. DE BOEVER, J.M. VANACKER, CH. V. BOUCQUE and S.M. BOTTERMANN (1999): Evaluation of physical structure in dairy cattle nutrition. In: Recent Advances in Animal Nutrition. Eds. P.C. GARNSWORTHY and J. WISEMANN, Nottingham University Press, 111-145.
- FLACHOWSKY, G., K. LOOSE, P. LEBZIEN, A. MATTHÉ, K. GOLLNISCH, R. DAENICKE (2000): Zur Bereitstellung von Maisprodukten als Stärkequelle für Milchkühe. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 217, 71-85.
- FLACHOWSKY, G., P. LEBZIEN, U. MAYER (2004a): Zur Fütterung von Hochleistungskühen. Übers. Tierernährg. 32, 103-147.
- HOFFMANN, M. (1990): Tierfütterung, Dt. Landwirtschaftsverlag Berlin, 2. Auflage.
- MERTENS, D.R. (1997): Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. J. Dairy Sci. 80, 1463-1481.
- PIATKOWSKI, B., H. GÜRTLER, J. VOIGT (1990): Grundzüge der Wiederkäuerernährung. Gustav Fischer Verlag.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (2006): <http://www.destatis.de>
- SCHWARZ F.J. (2000): Fütterung hochleistender Milchkühe. 27. Viehwirtschaftliche Fachtagung, BAL Gumpenstein. S.19-26.
- SÜDEKUM, K.-H. (1999): Wiederkäuergerechte Ernährung der Hochleistungskuh. 29. Viehwirtschaftliche Fachtagung, BAL Gumpenstein. S.1-8.
- ULBRICH, M., M. HOFFMANN, W. DROCHNER (2004): Fütterung und Tiergesundheit. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.



**KAPITEL I**

---

**Literaturübersicht**

## 1.1. Bedeutung der Kohlenhydrate in der Wiederkäuerernährung

### 1.1.1. Klassifizierung der Kohlenhydrate

Die organische Pflanzensubstanz besteht zu 60-80 % der Trockenmasse (TM) aus Kohlenhydraten. Sie stellen den Hauptanteil der tierischen und menschlichen Nahrung dar und liefern somit den größten Teil an Nahrungsenergie. Kohlenhydrate bestehen aus Zucker und werden je nach Anzahl der Zuckermoleküle in Mono-, Di-, Oligo- oder Polysaccharide unterteilt. Bei zusammengesetzten Kohlenhydraten sind die einzelnen Monosaccharide durch Glycosidbindungen miteinander verbunden, für die es zwei stereochemische Möglichkeiten, die  $\alpha$ - und  $\beta$ -Konfiguration, gibt. Die Bindungsform ist entscheidend für die Nutzbarkeit des jeweiligen Polysaccharides durch die Tiere, da die  $\beta$ -glycosidische im Gegensatz zur  $\alpha$ -glycosidischen Bindung von höheren Tieren nicht hydrolytisch spaltbar ist, weil diese nicht über die entsprechenden Verdauungsenzyme verfügen (WEISSBACH, 1993).

Als reiner Pflanzenfresser hat der Wiederkäuer durch die Ausbildung eines Vormagensystems eine besondere Strategie entwickelt, um Futter mit hohen Anteilen an  $\beta$ -glycosidisch gebundenen Kohlenhydraten effektiv nutzen zu können. Durch die Besiedlung der Vormägen mit Mikroorganismen (MO) und die dadurch gebildeten mikrobiellen Enzyme (Cellulasen bzw.  $\beta$ -Hydrolasen) ist es dem Wiederkäuer möglich, diese Verknüpfungen im Cellulosemolekül spalten zu können. Die Nutzung der Pflanzenfaser durch den Wiederkäuer ist somit von der Mikroorganismenpopulation im Pansen abhängig (KASKE, 2005).

Nach ihrer Lokalisierung und Funktion in der Pflanzenzelle wird zwischen Strukturkohlenhydraten (SC) und Nicht-Strukturkohlenhydraten (NSC) unterschieden. Bei den SC in Futtermitteln handelt es sich um Cellulosen, Hemicellulosen und Pektinstoffe in unterschiedlichen Anteilen. Zusammen mit dem Nicht-Kohlenhydrat Lignin und weiteren Verbindungen, die in nur geringen Anteilen vorkommen (z.B. zellwandgebundenes Rohprotein), bilden diese die pflanzliche Zellwand. Zu den NSC in Futtermitteln zählen freie Mono- und Disaccharide (Glucose, Fructose, Maltose und Saccharose) sowie das Reservekohlenhydrat Stärke. Sie sind Bestandteile des Zellinhalts und vollständig von den Tieren verdaubar (VAN SOEST, 1994; NULTSCH, 1996). Die einzelnen Kohlenhydrate haben in der Wiederkäuerernährung wesentlichen Einfluss auf:

- die Strukturwirksamkeit einer Ration (Speichelfluss, Säurebildung bzw. pH-Wert im Pansen,
- das Wachstum der Pansenmikroben und somit auf die gebildete Menge an Mikrobenprotein,

- die Bildung von Milchzucker und Milchfett,
- die Höhe der Futteraufnahme,
- die hormonelle Steuerung des Stoffwechsels der Kuh .

Infolgedessen ist bei der Planung für Milchkuhrationen eine gezielte Kohlenhydratversorgung zu beachten (DLG; 2001).

## **1.1.2. Bedeutung der Kohlenhydrate im Grund- und Kraftfutter**

### **1.1.2.1. Das Grundfutter**

Das Grünfutter stellt die natürlichste Futtergrundlage der Wiederkäuer und anderer Pflanzenfresser dar. Für die Nutztiere, wie Rinder und Schafe, ist dieses ein vollwertiges Futter. Das Grünfutter, wie z.B. Weide- und Frischfutter, sowie deren Konservate (Silagen, Heu und Trockengrünfutter) zählen zu den Grobfutter- bzw. Grundfuttermitteln. Als Grundfutter (GF) bezeichnen PIATKOWSKI *et al.* (1990) faserreiche Futtermittel mit einer Energiekonzentration unter 6,3 MJ NEL pro kg TM und einem Rohfasergehalt über 200g pro kg TM. Die wichtigsten energieliefernden Nährstoffe sind bei den Grundfuttermitteln die Kohlenhydrate. Der Gehalt an Lipiden ist dagegen sehr gering und das Rohprotein stellt nur eine sekundäre Energiequelle dar. Da es sich beim GF um den oberirdischen, vegetativen Pflanzenkörper, insbesondere den Stängel, Halm oder die Blätter handelt, befindet sich der größte Teil der organischen Substanz bei diesen Pflanzen in der Zellwand, welche aus SC und Lignin aufgebaut ist. Für den Futterwert ist die Zusammensetzung bzw. das Verhältnis von SC : NSC von entscheidender Bedeutung. Mit zunehmendem Vegetationsstadium nimmt der Gehalt an Strukturkohlenhydraten sowie der Lignifizierungsgrad deutlich zu, was sich auf die Aufnahme, Verdaulichkeit und Verwertung des Futters entscheidend auswirkt (WEISSBACH, 1993).

Neben der Rolle als Energielieferant kommt den SC im GF noch eine ganz wesentliche Aufgabe zur Stabilisierung des Pansenmilieus zu, was häufig auch unter dem Begriff „Strukturwirksamkeit“ zusammengefasst wird. Nach HOFFMANN (1990) ergibt sich die Strukturwirksamkeit einer Ration aus der Futtermittelstruktur und ihren Einzelkomponenten. Die Futtermittelstruktur ist demnach die Summe von Eigenschaften eines Futtermittels, die durch die physikalische Form und den Gehalt an Strukturstoffen des betreffenden Futtermittels bestimmt wird.

Strukturstoffe sind Nährstoffe mit physikalischer und chemischer Wirkung im Verdauungstrakt. Für die Beurteilung der Futtermittelstruktur werden am häufigsten die Gerüstsubstanzen

(Cellulose, Hemicellulose, Lignin) in Form der Rohfaser oder der sauren (ADF) und neutralen Detergentienfaser (NDF) bestimmt. Weitere Faktoren der physikalischen Form, wie die Härte und die geometrische Form, werden außerdem berücksichtigt. Sie haben aber - wie die Schüttdichte ( $\text{kg} / \text{m}^3$ ) eines Futtermittels - keinen Eingang in allgemeine Bewertungssysteme gefunden (HOFFMANN, 2003).

Seit etwa 1960 waren Wissenschaftler bemüht, Parameter zu finden, um die Strukturwirksamkeit praktisch beurteilen zu können. Vor allem pansenphysiologische Untersuchungen und Messungen des Verzehrs- und Wiederkauverhaltens waren Grundlagen für verschiedene Parameter zur Beurteilung der Strukturwirksamkeit. In Tabelle 1 soll ein Überblick über ausgewählte Arbeiten zu dieser Thematik geben werden.

Tabelle 1: Wissenschaftliche Arbeiten zur Bewertung der Strukturwirksamkeit von Futtermitteln für Wiederkäuer (Quelle: HOFFMANN, 2003).

Speichelsekretion	ORTH & KAUFMANN (1964) KAUFMANN & ORTH (1966)
Strukturwirksame Rohfaser	HOFFMANN (1990)
Chewing Index Value	KRISTENSEN & NØRGAARD (1987) NØRGAARD (1990)
Pansenpufferkapazität	ERDMANN (1988)
Neutrale Detergentienfaser (NDF)	NRC (1989), NRC (2001)
NDF aus Gesamtration, NDF aus Grundfutter	
Strukturwert (SW)	DE BOEVER <i>et al.</i> (1993a,b) DE BRABANDER (1999)
physikalisch effektive Faser (peNDF)	MERTENS (1997)

Eine genaue Ermittlung des Mindestbedarfes an strukturierter Faser ist jedoch bis heute noch nicht eindeutig gelungen. In Kenntnis dieser Situation informiert die GFE (2001) über verschiedene Vorschläge zur Berücksichtigung der Strukturwirksamkeit von Futtermitteln bei der Rationsgestaltung von Milchkühen. Hierbei wird speziell auf Arbeiten von HOFFMANN (1990) und PIATKOWSKI *et al.* (1990) zur „strukturwirksamen Rohfaser“ sowie DE BRABANDER *et al.* (1999) zum „Strukturwert“ von Futtermitteln eingegangen.

Da die Grundfuttermittel in den meisten Rationen die alleinige Quelle für strukturwirksame Rohfaser sind, ist zudem der Zerkleinerungsgrad des Ausgangsmaterials, insbesondere die Partikellänge (PL) von großer Bedeutung. In einer Untersuchung von FAHEY und BERGER (1988) konnte beobachtet werden, dass bei Rationen mit ausreichendem NDF-Gehalt, jedoch geringem Anteil an langen Futterpartikeln, dieselben Gesundheitsstörungen bei Milchkühen beobachtet werden konnten, wie bei Rationen mit unzureichendem Faseranteil. Dieser Tatsache zur Folge wurde das Konzept der physikalisch effektiven Faser (peNDF) von MERTENS

(1997) entwickelt. Neben der in den Futtermitteln enthaltenen NDF berücksichtigt das Konzept zusätzlich auch die unterschiedliche Fähigkeit von Futtermitteln, die Kauaktivität der Kühe zu beeinflussen. Die peNDF wird als NDF des Anteils eines Futtermittels definiert, der bei Durchführung eines definierten Trockensiebverfahrens auf einem 1,18 mm Sieb zurückbleibt (peNDF>1,18) (MERTENS, 2000), während LAMMERS *et al.* (1996) die peNDF anhand einer Siebung im Penn State Particel Separator (PSPS) ermitteln. Hierbei wird der zurückgehaltene TM-Anteil in einem 19 und 8 mm Sieb erfasst. Als Vorteil des PSPS erweist sich dessen Einsatzmöglichkeit vor Ort. KONONOFF & HEINRICHS (2003a, b) bestimmten in ihren Untersuchungen den Anteil an peNDF durch ein zusätzliches Sieb (1,18mm) im PSPS. Somit erfassten die Autoren den Partikel-Rückstand in einem 19, 8, 1,18 mm Sieb.

Die Empfehlung zur Strukturversorgung liegt bei mindestens 25 % NDF in der TM-Aufnahme, wobei mindestens 75 % der NDF aus dem GF stammen sollten (NRC, 2001). Zur Erhaltung eines pH-Wertes im Pansen von mindestens 6 wird ein peNDF-Gehalt von 22 % in der TM festgelegt. Während für einen Milchfettgehalt von 3,4 % bei Kühen der Rasse „Holstein“ in der frühen und mittleren Laktationsphase ein peNDF-Anteil von mindestens 20 % in der TM der Gesamtration empfohlen wird (FACHOWSKY *et al.*, 2004a).

Es ist noch nicht eindeutig geklärt, welche Messmethode für die peNDF die exakteste Beurteilung von Rationen hinsichtlich ihrer Effektivität für die Kauaktivität und Pansenfermentation liefert. Ausgehend davon wurden in den letzten Jahren einige Untersuchungen an Milchkühen durchgeführt. Dabei zeigte sich jedoch, dass die verschiedenen Messmethoden auch zu unterschiedlichen Ergebnissen führten (YANG *et al.*, 2001; KRAUSE *et al.*, 2002b; BEAUCHEMIN *et al.*, 2003; KONONOFF *et al.*, 2003b; BEAUCHEMIN & YANG, 2005; YANG & BEAUCHEMIN, 2006a).

Es ist allgemein akzeptiert, dass mit abnehmender PL des GF die Strukturwirksamkeit von Rationen reduziert werden kann und zusammen mit weiteren Faktoren, besonders dem Kraftfutteranteil, die Wiederkäuergerechtigkeit von Rationen beeinträchtigt wird (STEINWIDDER & ZEILER, 2003; BEAUCHEMIN & YANG, 2005).

Sowohl die aktuellen DLG-Informationen (2001) als auch das NRC (2001) geben in diesem Zusammenhang jedoch nur unzureichend Auskunft über eine optimale PL des Futters, da bislang noch kein ausgereiftes System für die Bewertung vorliegt. Die Anwendung des Konzeptes der peNDF wird vom NRC (2001) sogar eher kritisch beurteilt, wobei das Konzept als nicht ausreichend bestätigt angesehen wird, weil für zu wenige Futtermittel Werte vorliegen und Empfehlungen zur Versorgung nicht abgeleitet werden können (FLACHOWSKY *et al.*, 2004a).

### 1.1.2. Das Kraftfutter

Da mittlerweile eine beachtliche Anzahl von Betrieben mittlere Herdenleistungen von 8000-9000 kg Milch pro Kuh und Jahr aufweisen, ist neben einer Versorgung der Tiere mit qualitativ hochwertigem Grundfutter der Einsatz von konzentrierten Kraftfuttermitteln notwendig, um dem hohen Energiebedarf der Tiere gerecht zu werden (SCHWARZ, 2000, KIRCHGEßNER, 2004).

Handelsübliche Milchleistungsfutter bzw. Kraftfutter (KF)-Komponenten werden üblicherweise nach ihrem Energiegehalt beurteilt und dementsprechend in Rationen für Milchkühe bis zum Erreichen der gewünschten Energiezufuhr eingesetzt. Hauptbestandteil der KF-Komponenten sind - wie auch beim GF - die Kohlenhydrate (> 60 % der OS) (DE VISSER *et al.*, 1990). Dennoch sind zwischen den einzelnen Kraftfuttermitteln große Variationen in der Kohlenhydratzusammensetzung (SC oder NSC) gegeben, welche sich auf das Ausmaß und den Ort der Kohlenhydratverdauung entscheidend auswirken können. Die Futteraufnahme und letztlich auch die Energieversorgung von Milchkühen kann dadurch stark beeinflusst werden. So ist z.B. die ruminale Abbaurrate der Stärke von Weizen deutlich höher als die der Maisstärke (HERRERA-SALDANA, 1990; OKE, 1991). In Tabelle 2 sind häufig eingesetzte Konzentratfuttermittel zusammengefasst, die sich hinsichtlich ihres ruminalen Abbauverhaltens unterscheiden.

Tabelle 2: Abbauverhalten von Kohlenhydraten ausgewählter Konzentratfuttermitteln im Vormagen, Angaben je kg TM (DLG, 2001).

	TM %	Kohlenhydrate <sup>1</sup>			Geschwindigkeit des Abbaus <sup>2</sup>
		Gehalt g/kg	Ausmaß des Abbaus %	abbaubare Menge g/kg	
Gerste	88	822	80	658	++++
Weizen	88	823	80	658	++++
Melasseschnitzel, zuckerreich	91	782	70	547	++++
Erbsen	88	700	80	560	++++
Citrustrester	90	700	80	560	++++
Maiskleberfutter	89	641	70	449	+++
Sojaextraktionsschrot, 44 % XP	88	408	80	326	+++
Sojabohnenschalen	90	795	70	557	++
Rapsextraktionsschrot, 00- Typ	89	497	70	348	++
Palmkernexpeller, 4-8 % Fett	91	674	60	404	++
Mais	88	832	50	416	+

++++ = sehr schnell, >15 % /h, +++ = schnell, 15-10 % /h, ++ = mittel, <10-5 % /h, + = langsam, < 5 % /h

<sup>1</sup> TM-(XA+XP+XL)

<sup>2</sup> Abbaugeschwindigkeit, % /h

Ein ruminaler By-pass der Stärke ist besonders bei hohen Milchleistungen von Interesse, da mit zunehmender Milchleistung entsprechend höhere Mengen an Protein, Fett, Lactose und weiteren Nährstoffen über die Milchdrüse abgegeben werden müssen. Dies erfordert eine sehr hohe Syntheseleistung vor allem von der Leber und der Milchdrüse. Der Glucosebedarf einer Kuh beträgt das 1,5 fache der Laktosemenge, die mit der Milch abgegeben wird (ABEL, 1995). Da der größte Teil der Glucosequellen im Pansen zu flüchtigen Fettsäuren fermentiert wird, werden somit - insbesondere bei hohen Milchleistungen - zunehmende Ansprüche an die Gluconeogenese gestellt. Aus diesem Grund sollte ein größerer Anteil der Stärke enzymatisch im Dünndarm abgebaut werden, um ein Energiedefizit, sowie eine Mobilisierung der Körperreserven in Verbindung mit der Gefahr einer Ketose umgehen zu können (FLACHOWSKY *et al.*, 2004b). MATTÉ *et al.* (2001) konnten aber nachweisen, dass die Nutzung der am Dünndarm angefluteten Stärke auf etwa 2 kg begrenzt ist.

Eine Verabreichung hoher Mengen an schnell fermentierbaren, hochverdaulichen Kohlenhydraten, wie Zucker und Stärke, ist jedoch im Hinblick auf eine wiederkäuergerechte Ernährung nicht möglich. Um dennoch den Energieansprüchen hochleistender Milchkühe gerecht zu werden, ohne dabei die Gefahr einer Pansenacidose einzugehen, werden teilweise KF-Komponenten mit höheren Rohfasergehalten eingesetzt. Hierbei handelt es sich vorwiegend um Nebenprodukte aus der Getreide- und Zuckerrübenverarbeitung. In der englischen Literatur werden diese Futtermittel als „Non-Forage Fiber Sources“ (NFFS) bezeichnet und teilweise sogar als Alternative zum GF diskutiert (ALLEN & GRANT, 2000). Der NDF-Gehalt liegt bei den NFFS, ähnlich wie bei den Grundfuttermitteln, zwischen 40 bis 60 % in der TM. Jedoch ist die PL ihrer Faserbestandteile deutlich kürzer als jene des GF, weshalb die NFFS nicht zu einer stabilen Faserschicht im Pansen beitragen können. Dennoch ist die Verdaulichkeit ihrer Faserbestandteile höher im Vergleich zu den meisten Grundfuttermitteln und ihr größter Vorteil liegt wohl in ihrer deutlich höheren Energiekonzentration (ALLEN & VOELKER, 2003). Auf Basis von Wiederkaumessungen sowie Untersuchungen zur Pansenfermentation und Leistungsparametern wurden hierzu einige Untersuchungen bereits durchgeführt (FIRKINS, 1997; HARMINSON *et al.*, 1997; CLARK & ARMENTANO, 1997; ALLEN & GRANT, 2000; VOELKER & ALLEN, 2003a, b, c; BECKMAN & WEISS, 2005), auf die in den folgenden Kapiteln näher eingegangen werden soll.

## **1.2. Die Futteraufnahme als Voraussetzung für hohe Milchleistungen**

### **1.2.1. Regulation der Futteraufnahme über das zentrale Nervensystem**

Eine hohe TM-Aufnahme ist eine wesentliche Voraussetzung für die Deckung des Energie- und Nährstoffbedarfs von Milchkühen.

Mit zunehmender Futteraufnahme (FA) steigt jedoch beim Wiederkäuer die Passagerate des Futters durch den Verdauungstrakt an, so dass für den Abbau und die Verdaulichkeit der Nährstoffe weniger Zeit zur Verfügung steht. Dies trifft vor allem für jene Nährstoffe zu, die über mikrobiell gebildete Enzyme abgebaut bzw. verdaut werden. Hauptsächlich betroffen sind hierbei die Zellwandkohlenhydrate (FLACHOWSKY *et al.*, 2004b).

Grundsätzlich wird die FA der Tiere durch thermostatische, physikalische und physiologische Faktoren über das zentrale Nervensystem (ZNS), insbesondere dem Hypothalamus reguliert. Übersichtsarbeiten von LANGHANS (1989), VAN SOEST (1994), FORBES (1995) und (1996), SCHWARZ (1997) und GRUBER *et al.* (2001) beschreiben die Wechselwirkungen dieser drei Regulationsebenen. Dabei ist das Ziel des Organismus die Aufrechterhaltung einer ausgeglichenen Energiebilanz (*physiologische Regulation*). Die Informationen dafür erhält der Organismus aus den Stoffwechselmetaboliten des Pansens, Stoffwechselprodukte aus der Körperfettmobilisation und aus Hormonen. Die *physikalische Regulation* umfasst jene Faktoren, welche die Futtermenge beeinflussen, die den Verdauungstrakt passieren. Dabei sind das Pansenvolumen, die Pansenfüllung, die Abbaurate, die Verdaulichkeit der Futternährstoffe und die Passagegeschwindigkeit von entscheidender Bedeutung. Die von der Pansenfüllung ausgehenden Signale werden durch Dehnungsrezeptoren an der Pansenwand über das ZNS zum Gehirn weitergeleitet und dort verarbeitet. Je nach Grad der Pansenfüllung und Stand der Energiebilanz wird die FA somit beendet oder fortgesetzt. Schließlich befindet sich im Hypothalamus ein thermisch empfindliches Zentrum (*thermostatische Regulation*), welches die Wechselwirkungen zwischen freiwerdender Wärme aus Verdauungs- und Stoffwechselfvorgängen sowie Umgebungstemperatur auf die Futter- und Wasseraufnahme reguliert.

### **1.2.2. Futter- und Fütterungsbedingte Einflussfaktoren**

Prinzipiell können Faktoren, welche den Abbau und Weitertransport des Futters im Magen-Darm-Trakt beschleunigen, die FA kurzfristig stimulieren (LANGHANS, 1989). Andererseits können Futterfaktoren, die die Fresszeit/ kg TM verlängern, eine verminderte Wiederkauzeit und höhere Pansenfüllung verursachen, was sich wiederum negativ auf die FA auswirken kann (ALLEN, 2000). Nach WESTON & KENNEDY (1984) besteht zwischen den Prozessen

Fressen, Wiederkauen, Digestagehalt im Hauben-Pansen-Raum und Digestaabfluss ein Feedback-Mechanismus.

Aus den Grundlagen der Futteraufnahmeregulation lassen sich eine Reihe von „verzehrbeeinflussenden Faktoren“ ableiten, die sowohl das Tier selbst (Leistung, Masse, Rahmen, Alter, Körperzustand), als auch einige Fütterungsfaktoren, wie z.B. Rationsgestaltung, Fütterungstechnologie, aber auch Futtereigenschaften, wie Rohnährstoffgehalt und Futterstruktur, berücksichtigen. Eine Zusammenfassung dieser Einflussfaktoren ist bei PIATKOWSKI *et al.* (1990) im Detail dargestellt. Im Folgenden werden hauptsächlich die futterbedingten Einflussfaktoren, insbesondere der Gehalt an SC, die PL des GF sowie die Menge und Zusammensetzung des KF näher beschrieben.

#### 1.2.2.1. Einfluss des Fasergehaltes und der PL des GF

Die *chemische Zusammensetzung* des Futters stellt im Hinblick auf dessen Verdaulichkeit und Passage einen wichtigen Einflussfaktor auf die Futteraufnahme dar. Dabei spielen vor allem die Kohlenhydrate eine entscheidende Rolle. Das Verhältnis an SC : NSC, insbesondere aber der Anteil an NDF ist für den Umfang der Aufnahme, Verdaulichkeit und Verwertung des Futters entscheidend. Mit einer Erhöhung des NDF-Gehaltes nimmt die Aufnahme, Verdaulichkeit, Energie- und Nährstoffverwertung in der Regel ab, da für die NDF die Fermentations- und Passagegeschwindigkeit aus dem *Reticulorumen* (RR) langsamer ist als bei den übrigen Inhaltsstoffen (MERTENS, 1993). Dies trifft somit vorwiegend auf die rohfaserreichen Grundfuttermittel zu, die dadurch eine relativ geringe Verdaulichkeit (< 70 %) aufweisen. In früheren Untersuchungen von VAN SOEST (1965) konnte nachgewiesen werden, dass die Futteraufnahme bei Schafen signifikant negativ mit dem NDF-Gehalt des GF ( $r = 0,65$ ;  $p < 0,01$ ) und dessen Verdaulichkeit ( $r = 0,66$ ;  $p < 0,01$ ) korreliert. Auch WALDO (1986) beobachtete in seinen Untersuchungen höhere Futteraufnahmen bei Milchkühen mit steigender Grundfutterqualität. MERTENS (1994) sieht daher den NDF-Gehalt als charakteristische Eigenschaft sowohl für die Energiedichte, als auch für den Fülleffekt eines Futters auf den Pansen. Die Aufnahme an rohfaserreicherem GF ist nach MERTENS (1994) und PIATKOWSKI (1990) hauptsächlich durch die physikalische Regulation der Pansenfüllung und durch die Wiederkautätigkeit von ca. 3 Stunden (h) je kg Rohfaser aus strukturiertem Futter begrenzt. Da Kühe täglich in etwa 8 h wiederkauen, ist für rohfaserreiche Futtermittel somit eine physiologische Obergrenze gesetzt.

In wieweit der NDF-Gehalt limitierend auf die Futteraufnahme wirkt, hängt im Wesentlichen von dessen Verdaulichkeit, ruminalem Abbau und letztlich von der Passagegeschwindigkeit

aus dem RR ab (ALLEN, 2000). Die Verdaulichkeit der NDF variiert zwischen den Grundfuttermitteln erheblich. Sowohl die Pflanzenart (GALYEN & GOETSCH, 1993; VAN SOEST, 1994; OESTMANN *et al.*, 1995) als auch das Vegetationsstadium der Pflanze zum Zeitpunkt der Nutzung und der damit verbundene Lignifizierungsgrad der Pflanzenzellwände (JUNG & VOGEL, 1986; THEANDER, 1989) können hier als Faktoren genannt werden.

DE BOEVER *et al.* (1993a) konnten bei Grassilagen mit unterschiedlichen Schnittzeitpunkten (früh, mittel, spät) signifikant niedrigere TM-Aufnahmen mit zunehmendem Vegetationsstadium der Futterpflanzen beobachten. WEISS *et al.* (1991) und HOFFMANN *et al.* (1998) stellten in ihren Untersuchungen fest, dass trotz einer besseren NDF-Verdaulichkeit von Grassilagen die TM-Aufnahmen für grassilagebetonte Rationen geringer waren als für Rationen mit Luzernesilage. Die Autoren diskutieren in diesem Zusammenhang eine eventuell bessere Partikelzerkleinerung der Leguminosen im Pansen und eine damit verbundene kürzere Retentionszeit im RR.

Im Gegensatz zu MERTENS (1994) sieht ALLEN (1996) den NDF-Gehalt als unzureichende Messgröße für die Wirkung eines Futters auf die Pansenfüllung, da der Fülleffekt der NDF sowohl von der Partikelgröße und deren Zerkleinerung im Pansen, als auch von der Abbaurate und dem Ausmaß der Verdaulichkeit beeinflusst werden kann.

Durch eine technische Aufbereitung des Futters über das Zerkleinern nimmt die PL des GF ab. Hauptsächlich wird die PL im Zusammenhang mit dem Digestavolumen im Pansen diskutiert. Eine Zerkleinerung des Futters kann die Verdaulichkeit und Passage von Futterpartikeln, sowie die Absorption von Nährstoffen verändern und folglich die Futteraufnahme an faserreichem Futter erhöhen (ALLEN, 2000). Diese gesteigerte Grundfutteraufnahme ist allerdings meist mit einer reduzierten Verdaulichkeit der Faser aufgrund einer erhöhten Passagerate aus dem RR gekoppelt (MERTENS, 1993). Nach TAJAJ (2001a) ist eine schnellere Passagerate und reduzierte Verdaulichkeit mehr als Konsequenz der erhöhten Futteraufnahme zu sehen, und nicht vorrangig auf die reduzierte PL zurückzuführen.

Eine Reduzierung der PL konnte, abhängig von verschiedenen Einflussfaktoren, die Futteraufnahme erhöhen (TAJAJ, 2001a; KONONOFF & HEINRICHS, 2003a; TAJAJ, 2004a) verringern (BEAUCHEMIN, 1997) oder kaum verändern (KRAUSE *et al.*, 2002a; BEAUCHEMIN, 2003; STEINWIDDER & ZEILER, 2003).

Der Effekt einer abnehmenden PL des GF auf die FA scheint vor allem vom KF-Anteil in der Ration beeinflusst zu werden. BELYEA *et al.* (1985) und BEAUCHEMIN (2003) beobachteten mit steigendem KF-Anteil in der Ration keinen signifikanten Einfluss der PL des GF auf die FA. Während bei reinen GF-Rationen eine reduzierter PL die FA der Kühe signifikant

positiv beeinflusste (BELYEA *et al.*, 1985). Bei hohen KF-Anteilen in der Ration stellte sich in beiden Studien das Pansenvolumen nicht mehr als primär limitierender Faktor auf die FA dar. Dennoch beobachteten BATH *et al.* (1974) bei steigenden KF-Anteilen in der Ration deutlich höhere Grundfutterverdrängung, wenn den Milchkühen ein stark verkürztes Heu verabreicht wurde.

BEAUCHEMIN & YANG (2005) reduzierten in einer auf Maissilage basierenden TMR (42 % i.d. TM), durch unterschiedliche Häcksellängen der Maissilage, den peNDF-Gehalt in der Ration von 11,5 auf 8,9 % in der TM. Die PL der Maissilage nahm keinen Einfluss auf die TM-Aufnahme der Kühe. Trotzdem beobachteten die Autoren bei der Ration mit stark verkürzter Maissilage eine selektive Aufnahme langer Partikel. Die Studie zeigt, dass bei hohem KF-Niveau die PL des GF nicht der entscheidende Faktor für die FA zu sein scheint, jedoch versuchen die Milchkühe, besonders bei hohen KF-Gaben, ihren Bedarf an strukturwirksamer Faser zu decken.

WOODFORD & MURPHY (1988), FISCHER *et al.* (1994) und KONONOFF & HEINRICHS (2003a) konnten vorrangig bei frühlaktierenden Kühen einen positiven Einfluss reduzierter PL auf die FA feststellen. Bei Kühen im mittleren Laktationsstadium bestätigte sich dieser Effekt nicht. Die Autoren vermuten, dass die Tiere im mittleren Laktationsstadium ihren Energiebedarf sowohl aus kurzem, als auch aus langem Heu decken konnten. Der Effekt der PL auf die FA ist somit auch vom Energieversorgungsstatus der Milchkühe abhängig (MBANYA *et al.*, 1993).

#### **1.2.2.2. Einfluss des KF - Niveaus und der KF - Zusammensetzung**

Durch Verfütterung hoher Mengen an KF kann die Gesamtfutteraufnahme aufgrund geringerer Rohfasergehalte in der Ration grundsätzlich gesteigert werden, gleichfalls wird aber die Grundfutteraufnahme dadurch reduziert (MENKE, 1984). Die Verdrängung des GF durch KF hat hauptsächlich folgende Ursachen:

Eine rasche Fermentation leichtverdaulicher Kohlenhydrate und eine verminderte Abpufferung der gebildeten Säuren durch eine reduzierte Wiederkauaktivität und Speichelbildung führen im Pansen zu einer Absenkung des pH-Wertes, wodurch die Aktivität der cellulolytischen Pansenmikroben gehemmt wird. Dadurch verlangsamt sich der Abbau der SC in den Vormägen, und dies mindert demzufolge die Aufnahme des GF (VAN SOEST, 1994; HOOVER, 1986).

Strukturwirksames GF stimuliert dagegen die Speichelsekretion und Wiederkauaktivität. Dadurch erhöht sich der pH-Wert im Pansen, der Celluloseabbau wird beschleunigt und die Passagerate des Grobfutters steigt an (ULBRICH *et al.*, 2004).

In einer Literaturlauswertung von 15 Untersuchungen konnte ALLEN (2000) aufzeigen, dass in Rationen für Milchkühe, deren NDF-Gehalte über 25 % der TM lagen, durch einen Austausch von GF durch KF die Gesamtfutteraufnahmen prinzipiell gesteigert werden konnten. Auch STEINWIDDER & ZEILER (2003) bestätigen höhere Gesamtfutteraufnahmen bei 55 % KF-Anteil im Vergleich zu Rationen mit 25 % KF. In Folge höherer KF-Anteile wurde jedoch auch in dieser Untersuchung ein Rückgang in der Grundfutteraufnahme beobachtet.

FAVERDIN *et al.* (1991) konnten in ihren Untersuchungen feststellen, dass das Ausmaß der Grundfutterverdrängung vor allem vom Stand der Energiebilanz abhängig ist. So wurden bei hohen Energieüberschüssen stärkere Verdrängungsraten ermittelt und umgekehrt. Die Autoren untersuchten den Einfluss dreier Hauptfaktoren auf die FA:

- Typ Grundfutterration (Heu, Grassilage, Maissilage)
- Kraftfutterart (Getreide für stärkereich; Trockenschnitzel und Sojaschalen für hochverdauliche Faser; Kleie, Hafer und Sonnenblumenkuchen für niedrigverdauliche Faser)
- Kraftfutterniveau (niedrig, mittel, hoch)

In Abhängigkeit dieser Faktoren wurden Verdrängungsraten von 0,3 bis über 0,8 kg TM pro kg aufgenommene TM aus dem KF beobachtet, wobei die Energiebilanz der Tiere hauptverantwortlich für das Ausmaß der Verdrängung war. Die Verdrängungsrate war deutlich höher bei Maissilage in Kombination mit einem stärkereichen KF sowie hohem KF-Niveau.

Nach MENKE (1984) ist die Grundfutterverdrängung sowohl von der Verdaulichkeit der Rohnährstoffe des Grundfutters, als auch vom Fütterungsniveau der Tiere abhängig. Für ALLEN (2000) scheint vor allem ein zu hoher KF-Anteil in der Ration der Grund für eine Depression in der Grundfutteraufnahme als auch in der Gesamtfutteraufnahme zu sein. Da die im Pansen gebildeten Stoffwechselmetaboliten, aufgrund der physiologischen Regulation, limitierend auf die Futteraufnahme wirken.

Hohe Gesamtfutteraufnahmen, die für eine bedarfsgerechte Energieversorgung notwendig sind, können nur erreicht werden, wenn gleichzeitig eine Optimierung des Pansenmilieus angestrebt wird. So ist es notwendig, dass sich die Ernährung der Hochleistungskuh zu einem großen Teil an Bedürfnissen eines gesunden Pansenmilieus auszurichten hat. Besonders wichtig ist die Aufrechterhaltung eines stabilen Pansen pH-Wertes, um damit eine möglichst hohe ruminale Abbaurrate der pflanzlichen Gerüstsubstanz erzielen zu können, die sich wiederum in einer verbesserten Gesamtfutteraufnahme niederschlägt (SCHWARZ, 2000).

Vor allem hohe Anteile an schnell abbaubaren Kohlenhydraten wie Stärke und Zucker wirken sich, wie bereits erwähnt, negativ auf das Pansenmilieu aus und führen in Konsequenz zu niedrigeren Gesamtfutteraufnahmen (DE VISSER & DE GROOT, 1980; MALESTEIN & VAN'T KLOOSTER, 1986; TAMMINGA, 1990).

Obwohl die Effizienz der Stärkenutzung aus Getreide am höchsten ist, wenn diese zum größten Teil im Pansen fermentiert wird, begünstigt eine rasche Passage unverdauter Stärke aus den Vormägen in den Dünndarm die Futteraufnahme, unter anderem durch die geringere Säureladung und den damit verbundenen geringeren pH-Wert Abfall (HUNTINGTON, 1997; SÜDEKUM, 1999).

In diesem Zusammenhang werden die „Non-Forage Fiber Sources“ (NFFS) diskutiert. Sie sollen zu einer Stabilisierung des Pansenmilieus und einer verbesserten Faserverdauung beitragen und demzufolge die FA erhöhen. Nach ALLEN (2000) sollte sich aus Gründen der Pansenfüllung die FA beim Austausch stärkehaltiger KF-Komponenten durch NFFS grundsätzlich verringern. Umgekehrt müsste sich eine Substitution des GF durch faserreiches KF positiv auf die FA auswirken, da die PL der NFFS deutlich kürzer ist als die des GF. In einer Auswertung von 31 Untersuchungen konnte die FA bei einem Austausch von GF durch faserreiches KF nur in 5 Fällen erhöht werden, während durch den Austausch von stärkereichem KF durch Faser-Komponenten die FA bei 8 Untersuchungen gesteigert und bei 5 Untersuchungen reduziert wurde (ALLEN, 2000).

### **1.3. Die Kau- und Wiederkauaktivität - Voraussetzung für die physiologischen Verdauungsvorgänge im Vormagen des Wiederkäuers**

#### **1.3.1. Bedeutung und Rolle der Kauaktivität**

Unter der Kauaktivität ist nicht nur das Wiederkauen durch vorherige Rejektion von Ingesta zu verstehen, sondern die gesamte Kauarbeit welche für die FA und das Wiederkauen aufgewendet wird. Demnach beginnt die Kauaktivität des Wiederkäuers grundsätzlich schon beim Fressen. Der durch Fressen und Wiederkauen ausgelöste Kauvorgang dient sowohl der intensiven Zerkleinerung von Futterpartikeln (ULYATT *et al.*, 1986), als auch der Einspeichelung und Formung des aufgenommenen Futters zu einem abschluckfähigen Bolus. Dabei werden lösliche Bestandteile im Futter teilweise freigesetzt.

Die Kauaktivität und die mikrobielle Faserverdauung im Pansen stehen in engem Zusammenhang miteinander. Die mit dem Kauvorgang verbundene Desintegration des pflanzlichen Zellgewebes ermöglicht durch die Freilegung von Zellbestandteilen den Beginn des mikrobiellen Abbaus im RR (KOLB, 1989; BEAUCHEMIN, 1991a; KRAUSE & PELL, 2003).

Andererseits wird durch eine hohe mikrobielle Aktivität die Stabilität der Zellwände geschwächt und somit für den Vorgang des Wiederkauens zugänglicher gemacht. Als Folge ergibt sich eine höhere Effizienz des Wiederkauens (KENNEDY & DOYLE, 1993).

Durch ein intensives Kauen des Futters kann die Abbaurate der TM und der NDF erhöht werden (BEAUCHEMIN, 1992). Aus diesem Grund sehen POND *et al.* (1984) den Vorgang des Fressens als genau so wichtig an, wie die Zerkleinerung der Futterpartikel während der Verdauung.

Die Befähigung zum Wiederkauen ist eine grundlegende Voraussetzung für den physiologischen Ablauf der Verdauungsvorgänge im Vormagen der Milchkühe und hat somit nicht ohne Grund den Ruminantia zu ihrer Bezeichnung als Wiederkäuer verholfen. Das Wiederkauen zählt zu den Grundbedürfnissen jener Tiere und ist ein Zeichen des Wohlbefindens (JEROCH *et al.*, 1999; KASKE 2005).

Durch das Wiederkauen wird das Pansenmilieu der Wiederkäuer entscheidend beeinflusst, indem die bukkalen Mechanorezeptoren der Mundhöhle aktiviert werden. Dies ist mit einer erhöhten Speichelsekretion verbunden (KASKE, 2005). Die beträchtlichen Speichelmengen bei Wiederkäuern (Rinder je nach Strukturanteil des Futters 90-350 l/ Tag, Schafe 6-16 l/Tag) sorgen mit ihrer hohen Phosphat- und Bikarbonatpuffer- Konzentration, trotz einer Produktion von kurzkettigen Fettsäuren, für die Erhaltung eines für die Pansenbakterien optimalen pH-Wertes um 6,5. Darüber hinaus hat der Speichel wesentliche Bedeutung für die pansentypische Suspensionsflüssigkeit und damit für die Ausflussrate aus dem RR (BAILEY & BALCH, 1961a; BAILEY & BALCH, 1961b; HOFMANN, 1995). Außerdem nimmt durch die Partikelzerkleinerung während des Wiederkauens die Partikeldichte zu. Dies beeinflusst entscheidend den Ablauf der Digestapassage aus dem RR in den Psalter (KASKE, 2005).

Das Wiederkauen wird durch die Stimulation der epithelialen Rezeptoren in der Mucosa von Haube und Pansenvorhof eingeleitet. Entsprechende Reize für diese Rezeptoren sind Berührungen der Schleimhaut durch grobe Futterpartikel im Panseninhalt (KASKE, 2005). Deshalb ist es notwendig dem Wiederkäuer entsprechend strukturiertes Futter anzubieten, um eine ausreichende Kauaktivität und Speichelbildung zu ermöglichen (JEROCH *et al.*, 1999). Tabelle 3 soll eine Zusammenfassung über ein typisches Wiederkauverhalten von Rindern geben.

Tabelle 3: Übersicht zum Verhalten von Rindern beim Wiederkauen (LÖFFLER, 2002).

Wiederkauperioden (24 h)	10-20
Wiederkauzeit (h/ Tag)	4-9
Dauer der Wiederkauperiode (min)	40-50
Anzahl der Kieferschläge/ min	42-62
Anzahl der Kieferschläge/ Bissen	40-60
Anzahl der Wiederkauportionen/ Tag	360-790
Dauer der Kauzeit/ Bissen (sec)	45-50

Die Wiederkauzeit ist durch eine relativ weite Variation (zwischen 4 und 9 Stunden am Tag) gekennzeichnet. Sowohl die Fütterungsstrategie (ad libitum oder restriktiv) als auch die natürliche Beschaffenheit der Futtermittel, insbesondere der Anteil an Zellwandbestandteilen, beeinflussen diese erheblich. WESTON *et al.* (1989) setzen die maximale Wiederkauzeit von Rindern sogar auf bis zu 12 Stunden pro Tag an. Mit einer Erhöhung des Fütterungsniveaus der Tiere nimmt die Fress- und Wiederkauzeit pro Tag in der Regel zu, während die Kauaktivität pro kg TM und Faser hingegen abnimmt (WELCH, 1982; PATKOWSKI, 1999). Dies ist auf eine bessere Zerkleinerung der Partikel während des Fressens und auf eine höhere Effizienz der Partikelzerkleinerung während des Wiederkauens zurückzuführen (VAN SOEST, 1994). Für das Wiederkauen nehmen die Tiere mehr Zeit in Anspruch als für das Kauen während des Fressens. Zudem ist die Anzahl der Kauschläge pro Bissen bzw. die Kaurate während des Wiederkauens langsamer als beim Fressen, da pro Einheit Ingesta mehr Zeit dafür aufgewendet wird (VAN SOEST, 1994).

### 1.3.2. Einfluss des Fasergehaltes und der PL des GF

Die Zerkleinerung des Futters kann nicht nur das Wiederkauen sondern das gesamte Kauverhalten der Wiederkäuer entscheidend beeinflussen. Mit Abnahme der PL nimmt der nach VAN SOEST (1994) benannte „scratch faktor“ von Futtermitteln ab, der für eine Stimulation der epithelialen Rezeptoren an der Pansenwand notwendig ist, um den Vorgang des Wiederkauens auszulösen. Zudem weisen feine Partikel im Vergleich zu groben eine entsprechend höhere Dichte auf, wodurch eine ausreichende Vernetzung dieser in der Faserschicht des Pansens erschwert ist. Dadurch wird die Retentionszeit kleiner Partikel im RR maßgeblich beeinflusst (POPPI & NORTON, 1980; TAJAJ *et al.*, 1999). Partikel mit einer PL > 1,18 mm weisen nach POPPI *et al.* (1985) eine deutlich langsamere Passagerate aus dem Pansen auf. Eine vergleichbare Beobachtung machte auch MERTENS (1997). Er konnte in seinen Untersuchungen feststellen, dass Partikel > 1,18 mm erst durch den Vorgang des Wiederkauens zerkleinert werden müssen, um in die folgenden Verdauungskompartimente gelangen zu können.

Eine Vielzahl von Studien belegen eindeutig (CAMPLING & FREER, 1966; SUDWEEKS *et al.*, 1981; DE BOEVER *et al.*, 1993a, b; KRAUSE *et al.*, 2002b; KONONOFF *et al.*, 2003a) einen negativen Einfluss reduzierter PL von Grundfutter auf das Wiederkauverhalten von Milchkühen. KRAUSE *et al.* (2002b) konnten bei grob gehäckselter Luzernesilage (grob > 1,9 cm theoretische Häcksellänge (THL), fein < 1,9 cm THL) nicht nur längere Wiederkauzeiten, sondern auch eine höhere Anzahl von Wiederkauperioden pro Tag beobachten.

Es scheint, dass insbesondere das Ausmaß der technischen Partikelzerkleinerung den Einfluss auf die Kauaktivität bestimmt. So beobachteten DE BOEVER *et al.* (1993b) bei einer Reduzierung der PL von Maissilage von 1,6 cm auf 0,8 cm einen Rückgang der Fresszeiten, während eine weitere Zerkleinerung von 0,8 auf 0,4 cm keinen Einfluss mehr auf das Fressverhalten zeigte. Hingegen führte eine Reduzierung der PL von 0,8 auf 0,4 cm zu kürzeren Wiederkauzeiten. Die Wirkung reduzierter PL auf die Fressaktivität ist meist schwächer ausgeprägt als auf das Wiederkauverhalten und ist bei den Tierarten sehr unterschiedlich (PIATKOWSKI, 1990; BEAUCHEMIN *et al.*, 1994).

Die Zerkleinerung eines fasereichen Heus auf 0,92 cm zeigte auch in Untersuchungen von TAJAJ *et al.* (1999) keinen negativen Einfluss auf die Kauaktivität, während eine weitere Abnahme der mittleren PL (MPL) auf 0,29 cm sowohl zu deutlich verminderten Wiederkauzeiten als auch zu einem reduzierten Kauaufwand (Zeit je Einheit TM oder NDF) führte. Eine ähnliche Beobachtung machte ALLEN (1997). Ein Rückgang in der Kauaktivität zeigte sich hier bei einer PL zwischen 1 - 0,1 cm, wobei die Beziehung zwischen PL und Kauaktivität in dieser Spannbreite keine Linearität aufwies. Ein starker Rückgang in der Kauaktivität konnte jedoch erst bei einer PL < 0,3 cm festgehalten werden.

Um ein uneingeschränktes Kauverhalten gewährleisten zu können setzten SANTINI *et al.* (1983), SHAVER *et al.* (1988) und WOODFORD & MURPHY (1988) für Heu-Cobs eine PL zwischen 0,64 und 1,0 cm voraus, wenn diese als einzige Faserquelle in der Ration zur Verfügung stehen.

Aus den vorherigen Ausführungen wird deutlich, dass in der praktischen Rationsgestaltung die Einbeziehung der PL des GF unbedingt berücksichtigt werden sollte. Hauptsächlich aber der NDF-Anteil, insbesondere die peNDF, vermag in diesem Zusammenhang mehr an Bedeutung zu gewinnen (MERTENS, 1997). Die Grundfutterart sowie die Konservierungsmethode, aber auch das Ausmaß der Zerkleinerung nehmen Einfluss auf den Anteil an peNDF (MERTENS, 1997; KRAUSE *et al.*, 2002a; BEAUCHEMIN & YANG, 2003; YANG & BEAUCHEMIN, 2006a).

Um die physikalische Effektivität von Grundfuttermitteln besser bewerten zu können, wird häufig die Gesamtkauzeit pro Tier und Tag auf die jeweilige TM-Aufnahme bezogen (SUDWEEKS *et al.*, 1981). Nach den Autoren sollten daher mindestens 30 min Kauzeit pro kg TM benötigt werden, um negative Folgen auf die Nährstoffverdauung zu vermeiden. MERTENS (1997) veranschlagt eine Kauzeit von 36,1 min pro kg TM bzw. 744 min pro Tag um einen Milchfettgehalt von 3,6 % erhalten zu können. Des Weiteren seien mindestens 22,3 % peNDF in einer Ration notwendig, um einen pH-Wert von 6,0 im Pansen sichern zu können.

Nach DE BRABANDER *et al.* (2002) sind hingegen 59-72,8 min pro kg TM notwendig um optimale Pansenverhältnisse und ausreichende Milchfettgehalte gewährleisten zu können. Diese Angabe erscheint jedoch deutlich zu hoch, da sich bei einer TM-Aufnahme von 20 kg eine Gesamtkauzeit von 16,3- 24,3 Stunden pro Tag ergeben würde.

ZEBELI *et al.* (2006) konnten in einer Literaturlauswertung von 99 Versuchsvarianten darstellen, dass die Gesamtkauzeit und Wiederkauzeit von frühlaktierenden Milchkühen bei Verabreichung von Totalen Mischrationen (TMR) durch die Anteile an peNDF und NDF aus GF positiv beeinflusst wurden. Zusätzlich konnte eine weitere positive Korrelation zwischen Kauverhalten und dem Anteil an verdaulicher Organischer Masse (OM) aus dem GF ermittelt werden. Die Ergebnisse von ZEBELI *et al.* (2006) deuten darauf hin, dass der peNDF-Gehalt in der Ration die Kauaktivität einerseits durch eine Verlängerung der Gesamtkauzeit und andererseits durch eine Reduzierung der Kauindices (min pro kg peNDF > 1,18) beeinflusst.

### **1.3.3. Einfluss des KF - Niveaus und der KF - Zusammensetzung**

Das KF-Niveau, insbesondere aber der Anteil an schnell fermentierbaren Kohlenhydraten im KF steht in engem Zusammenhang mit der Kauaktivität. Kraftfuttermittel und die meisten NFFS weisen einen sehr geringen SW (DE BRABANDER *et al.*, 1999) und auch einen stark reduzierten peNDF-Gehalt (MERTENS, 1997) auf. Daher nimmt in der Regel der Anteil an physikalisch effektiver Faser mit steigendem KF-Anteil in der Ration ab. Die negative Wirkung steigender KF-Anteile auf das Wiederkauen ist vor allem auf eine Abnahme größerer Futterpartikel in der Ration zurückzuführen (MERTENS, 1997).

Es ist allgemein akzeptiert, dass mit einer Erhöhung des KF-Anteils bzw. niedrigeren Anteilen an NDF in der Ration die Kauaktivität von Milchkühen abnimmt. Sowohl bei der Kau- und Wiederkauzeit (min pro Tag) als auch bei der Wiederkauzeit pro kg aufgenommene TM und NDF konnten Rückgänge beobachtet werden (TAF AJ *et al.*, 2005; MAEKAWA *et al.*, 2002, YANG *et al.*, 2001).

BEAUCHEMIN (1991b) konnte bei Milchkühen einen 11 % igen Rückgang in der Gesamtkauzeit feststellen, wenn der NDF-Gehalt in der Ration von 37 auf 31 % reduziert wurde. Eine gesteigerte Gesamtkauzeit um 21 % beobachteten OBA & ALLEN (2000), wenn der NDF-Gehalt in der Ration um 9 % gesteigert wurde.

Die Wechselwirkung zwischen dem Fasergehalt und der Gesamtkauzeit, insbesondere jedoch der Wiederkauzeit, steht im engen Zusammenhang mit dem Beitrag des Wiederkauens an der Zerkleinerung von Futterpartikeln im Pansen. Der Zeitbedarf für das Kauen erhöht sich sowohl mit einer Zunahme an langen Partikeln in der Ration als auch mit einer vermehrten Anflutung von langsam verdaulicher TM im Pansen (MCLEOD & MINSON, 1988; BEAUCHEMIN, 1991b).

YANG *et al.* (2001) und TAJAJ *et al.* (2005) beobachteten bei zunehmenden Gehalten an Strukturfasern in der Ration, trotz steigender Kau- und Wiederkauzeiten pro kg TM-Aufnahme, einen Rückgang in der Gesamtkauzeit pro Einheit pNDF und NDF aus Heu. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass durch niedrigere GF-Anteile in der Ration die Effektivität des Grundfutters zur Stimulation der Kauaktivität gesteigert werden kann (DE BOEVER *et al.*, 1990).

Hinzu konnten KRAUSE *et al.* (2002b) bei zunehmenden Anteilen an schnell fermentierbaren Kohlenhydraten sowohl eine gesteigerte Gesamtkauzeit als auch Wiederkauzeit pro Einheit NDF-Aufnahme feststellen. Demnach scheinen sich Milchkühe in ihrem Kauverhalten an hohe KF-Anteile anpassen zu können, in dem sie die Effizienz des Wiederkauens reduzieren (mehr Kauschläge / kg NDF aus Grundfutter). Der durch den hohen Anteil an schnell fermentierbaren Kohlenhydraten ausgelöste niedrigere pH-Wert im Pansen kann auf diese Weise im gewissen Ausmaß kompensiert werden (GRANT, 1997).

Durch eine gezielte Auswahl an faserreichen KF-Komponenten kann das Verhältnis von SC : NSC im KF-Anteil verändert werden.

Die meisten faserreichen Kraftfuttermittel stimulieren jedoch im Vergleich zum GF aufgrund ihrer deutlich geringeren Partikelgröße die Kauaktivität von Milchkühen nur unzureichend (MERTENS, 1997). Dennoch werden diese Faserquellen häufig in KF-Mischungen eingesetzt, um einerseits den Anteil an schnell fermentierbaren Kohlenhydraten in KF zu reduzieren zu können, ohne dabei wesentliche Einbußen in der Energiedichte zu bekommen, und andererseits grundfutterarme Rationen durch einen höheren Faseranteil im KF kompensieren zu können.

ALLEN & GRANT (2000) überprüften in einer Studie die Effizienz von Maiskleberfutter (Wet corn gluten feed) (WCGF) zur Stimulierung der Kauaktivität von Milchkühen. Dafür wurden 4 Rationsvarianten (faserarm [LF]: 40 % Luzernesilage; faserreich [HF]: 65 % Luzer-

nesilage; Ration I [WCGF]: 39 % Luzernesilage + 24 % WCGF; Ration II [WCGFH]: 19 % Luzernesilage + 24 % WCGF + 18 % Heu) konzipiert. Das zusätzlich eingesetzte KF bestand je nach Anteil des WCGF größtenteils aus Körnermais. In Tabelle 4 sind die wichtigsten Kenndaten zur Kauaktivität dargestellt. Demnach wurde durch die Fütterung der faserreichen bzw. silagereichen Ration die höchsten Fress- und Wiederkauzeiten erzielt. Ein zusätzlicher Heuanteil in der Ration WCGFH konnte im Gegensatz zu den Rationen LF und WCGF zu einer gesteigerten Wiederkauaktivität sowie Gesamtkauzeit beitragen. Dies scheint nach ALLEN & GRANT (2000) auf den Zusatz von längeren Partikeln zurückzuführen sein. WCGF als alleiniges Substitut zum GF erwies sich in der Studie als wirkungslos. Die effektiv nutzbare NDF von WCGF konnte durch signifikant niedrigere Messwerte in der Wiederkauzeit pro kg aufgenommene NDF nicht die gewünschten Effekte erzielen (Tabelle 4).

Auch WEIDNER & GRANT (1994b) konnten erst durch einen Zusatz von Luzernesilage in einer Sojaschalenration einen 24 % igen Anstieg in der Kauaktivität beobachten.

In Untersuchungen von VOELKER & ALLEN (2003a) konnte hingegen ein Zusatz von getrockneter, pelletierter Zuckerrübenpülpe, als faserreiche KF-Komponente, zu signifikant höheren Kau-, Fress- und Wiederkauzeiten beitragen. Nach ALLEN & VÖLKER (2003) kann bei grundfutterarmen Rationen der Einsatz von NFFS positiv zur Strukturwirksamkeit von Rationen beitragen. Es sollte jedoch bei der Auswahl von faserreichen KF-Komponenten darauf geachtet werden, dass nicht alle NFFS zur Stimulierung der Kauaktivität geeignet sind. Demnach scheinen nach diesen Autoren Baumwollsaat und Haferspелzen besser zur Strukturwirksamkeit beitragen zu können als z.B. Sojaschalen.

Tabelle 4: Einfluss des Anteils an Maiskleberfutter in der Ration auf die Kauaktivität von Milchkühen (ALLEN & GRANT, 2000).

<b>Kauaktivität</b>	<b>Ration<sup>1</sup></b>				<b>SE</b>
	<b>LF</b>	<b>HF</b>	<b>WCGF</b>	<b>WCGFH</b>	
Fressen					
min/d	190 <sup>b</sup>	237 <sup>a</sup>	175 <sup>b</sup>	192 <sup>b</sup>	17
min/kg NDF	33,5 <sup>a</sup>	34,9 <sup>a</sup>	22,5 <sup>b</sup>	24,1 <sup>b</sup>	2,8
Wiederkaugen					
min/d	339 <sup>b</sup>	504 <sup>a</sup>	356 <sup>b</sup>	475 <sup>a</sup>	23
min/kg NDF	61,4 <sup>b</sup>	73,0 <sup>a</sup>	46,5 <sup>c</sup>	59,2 <sup>b</sup>	3,5
Gesamtkauzeit					
min/d	529 <sup>c</sup>	740 <sup>a</sup>	531 <sup>c</sup>	667 <sup>b</sup>	23
min/kg NDF	94,9 <sup>b</sup>	107,9 <sup>a</sup>	69, <sup>d</sup>	83,3 <sup>c</sup>	4,5

<sup>a,b,c,d</sup> kennzeichnet signifikante Unterschiede zwischen den Rationen ( $p < 0,10$ )

<sup>1</sup> LF = faserarm, HF = faserreich, WCGF = Maiskleberfutter, WCGFH = Maiskleberfutter + Heu

## 1.4. Verdauungsvorgänge im Gastrointestinaltrakt des Wiederkäuers

### 1.4.1. Bedeutung des Vormagensystems für den Wiederkäuer

Der Pansen als „Biotechnikum“ ist ein Fermentationsraum, der durch Zu- und Abflüsse gekennzeichnet ist. Durch eine umfangreiche Mikroorganismenpopulation ( $\sim 10^{10} \text{ ml}^{-1}$ ) werden zugeführte Substrate weitgehend ab- und umgebaut bzw. neue Substanzen gebildet (FLACHOWSKY, 2003). Der großlumige Pansen, der nahezu den gesamten linken Bauchraum des Wiederkäuers einnimmt, bildet zusammen mit der Haube (Reticulum) eine funktionelle Einheit, das *Retikulo - Rumen* (RR). Durch starke Muskelbalken (Pansenpfeiler), die in das Lumen des Pansens ragen, wird dieser in unterschiedliche Kompartimente (Pansenvorhof, dorsaler und ventraler Pansensack, sowie ventraler und dorsaler Blindsack) unterteilt (KASKE, 2005).

Zu den wesentlichen Potentialen des Pansens zählen der Abbau von  $\beta$ -glycosidisch gebundenen Zellwand-Kohlenhydraten (Zellulose, Hemicellulose u.a.), die mikrobielle Proteinsynthese ( $\sim 10 \text{ g} / \text{MJME}$ ) und Vitaminsynthese (B-Vitamine, Vitamin K), sowie der Ab- und Umbau und die Inaktivierung verschiedener unerwünschter Verbindungen (Mykotoxine, sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe). Die Syntheseleistung des Pansens ist für mindestens 60-90 % der duodenalen Proteinanflutung verantwortlich, welche der Milchkuh zur Deckung ihres Proteinbedarfes zur Verfügung steht. Des Weiteren werden mehr als 80 % der Energiezufuhr durch die im Pansen gebildeten flüchtigen Fettsäuren und der mikrobiellen Biomasse (ca. 3 kg / Tag) aus dem Pansen abgedeckt (FLACHOWSKY, 2003; JEROCH *et al.*, 1999), so dass diese die Hauptnahrungsquellen von Milchkühen darstellen. Zu den wichtigsten Akteuren, die diese erwähnten Leistungen im Pansen vollbringen, zählen Bakterien ( $\sim 10^{10} \text{ ml}^{-1}$ ,  $\sim 200$  Spezies), Protozoen ( $\sim 10^6 \text{ ml}^{-1}$ ,  $\sim 25$  Gattungen), anaerobe Pilze ( $\sim 8$  % der mikrobiellen Biomasse im Pansen,  $\sim 5$  Gattungen) sowie Archaeen (Methanogene) und Bakteriophagen. Sie bilden eine mikrobielle Gemeinschaft und sind weitgehend aufeinander angewiesen. Eine genauere Darstellung der Mikroorganismenpopulation und ihrer Wechselwirkungen sind bei BALDWIN (1995), VAN SOEST (1994) und DEHORTY (2003) zu finden.

Die Keimdichte und die Zusammensetzung der Mikroorganismenpopulation werden hauptsächlich von der Qualität des Futters und von der Rationszusammensetzung beeinflusst (VAN SOEST, 1994). So sind bei rohfasereicher Fütterung besonders cellulolytische Bakterien aktiv, während bei stärkereichen Rationen eine Zunahme amylolytischer Bakterien, Streptokokken, Lactobacillen und lactatverwertenden Bakterien zu beobachten sind (JEROCH *et al.*, 1999; KASKE, 2005), was sich infolge dessen auch auf die im Pansen gebildeten Stoffwech-

selmetaboliten und schließlich auf die ruminale Verdaulichkeit der Futterkomponenten und die Milchezusammensetzung auswirken kann.

Die funktionelle Anatomie des Pansens stellt die optimalen Voraussetzungen dar, um diese außerordentlich hohen Syntheseleistungen über eine mikrobielle Fermentation gewährleisten zu können. So dient der Vormagen als große Gärkammer mit konstanter Temperatur zunächst der Aufnahme großer Futtermengen und gewährleistet so eine lange Verweildauer des Futters im Pansen. Dies ist Voraussetzung für eine intensive mikrobielle Umsetzung der Nährstoffe. Eine regelmäßige Durchmischung der Ingesta durch die Vormagenmotorik bzw. die Kontraktion der Muskelpfeiler, aber auch eine hohe Flüssigkeitsmenge durch den beim Kauvorgang produzierten Speichel, gewähren optimale Fermentationsbedingungen. Des Weiteren sind die Abgabe von Gärgasen durch Eruktion, ein kontinuierlicher Ab- und Umbau von Nährstoffen, sowie die Abführung der mikrobiell gebildeten Stoffwechselprodukte durch Resorption und eine beständige Nährstoffversorgung durch nachsackende Futtermassen die Basis für ein nachhaltiges Mikrobengleichgewicht (VAN SOEST, 1994; JEROCH *et al.*, 1999; KASKE, 2005).

Aufgrund der unterschiedlichen Größe, Form und Dichte des Futters und infolge der Vormagenmotorik findet im RR von Wiederkäuern eine charakteristische Schichtung der aufgenommenen Futtermassen statt (KASKE, 2005), die von dorsal nach ventral erhebliche Unterschiede erkennen lässt. Während im dorsalen Pansensack größere Partikel ein dreidimensionales grobes Netzwerk bzw. eine Faserschicht bilden, befindet sich im ventralen Pansensack ein großer Flüssigkeitspool mit vorwiegend kleinen Partikeln (EVANS *et al.*, 1973; SHAVER *et al.*, 1988; FAICHNEY, 1993; KENNEDY & DOYLE, 1993). Dies ist auf eine verminderte Schwimmfähigkeit kleinerer Partikel zurückzuführen bzw. auf einen vermehrten Auftrieb größerer Partikel und Einbau dieser in die Faserschicht (SHUTTERLAND, 1988; VAN SOEST, 1994). Das bei der mikrobiellen Verdauung entstehende Gas sammelt sich als Gasblase oberhalb der Faserschicht im dorsalen Pansensack (KASKE, 2005). Des Weiteren weist die Schichtung der Digesta von dorsal nach ventral einen Fermentations- und Temperaturgradienten auf (JEROCH *et al.*, 1999). Neuere Untersuchungen von YANG *et al.* (2001) sowie TAJAJ *et al.* (2004b) und (2006) bestätigen lokale Unterschiede in der Digestamasse bezüglich physikalischer Struktur und Fermentationsintensität bei Milchkühen.

TAJAJ *et al.* (2006) konnten in der festen Phase (in der PARL, Partikel assoziierten Flüssigkeit) des dorsalen Pansens einen um 0,3 - 0,5 Einheiten niedrigeren pH-Wert ermitteln als in der freien ruminale Flüssigkeit (FRL). Dieser Unterschied wurde auch in der Konzentration

von kurzkettigen flüchtigen Fettsäuren (SCFA) beobachtet (PARL > FRL), während das Verhältnis von Acetat : Propionat keine Unterschiede zwischen den Digestaphasen zeigt.

Ein differenziertes Fermentationsgeschehen in den verschiedenen Digestaphasen bzw. Digestaschichten ist im Wesentlichen auf eine höhere Populationsdichte und Zusammensetzung der Mikroorganismen (MO), sowie auf eine zunehmende Aktivität dieser zurückzuführen (GARDNER *et al.*, 1999; MARTIN *et al.*, 1999). Die Aufrechterhaltung einer ausgeprägten Digestaschichtung und die Bildung einer stabilen Faserschicht sind nach JEROCH *et al.* (1999) die Voraussetzungen für ein gesundes Pansensystem mit normaler Funktion.

#### 1.4.2 Mikrobieller Abbau und Fermentation

Beim Wiederkäuer ist die Verdauung von Nährstoffen durch körpereigene Enzyme im Labmagen und Dünndarm einer mikrobiellen Fermentation in den Vormägen vorgeschaltet. Nährstoffe die dem Abbau im Pansen und Dünndarm entgehen, werden im Dickdarm fermentiert oder mit dem Kot ausgeschieden. Der Ort des jeweiligen Nährstoffumsatzes ist entscheidend für die Verfügbarkeit an absorbierbaren Endprodukten und somit für das Ausmaß der Nährstoffverluste (MERCHEM *et al.*, 1997).

Hierbei sind vor allem die Kohlenhydrate zu erwähnen, deren größter Teil schon im Pansen über mikrobiell gebildete Enzyme abgebaut wird. Praktisch alle Polysaccharide sowie Oligo- und Disaccharide, die in Futtermitteln vorkommen, können über die Stufe der Monosaccharide bis zu kurzkettigen Fettsäuren zerlegt werden. Die Abbauvorgänge betreffen neben Stärke und Zucker vor allem die SC, wie Cellulose und Hemicellulose, Fructosane und Pektine, da diese auf einen mikrobiellen Abbau angewiesen sind. Als zentrales Spaltprodukt entsteht dabei zunächst Pyruvat, das dann über den Acrylatweg bzw. Succinatweg zu Propionsäure oder über Decarboxylierung zu Essigsäure und Buttersäure umgebaut wird (JEROCH *et al.*, 1999; KIRCHGESSNER, 2004; BREVES & LEONHARD-MAREK, 2005). Die Intensität und das Ausmaß der mikrobiellen Verdauung von Nährstoffen und somit die Zusammensetzung der im Pansen gebildeten Stoffwechselmetaboliten werden sowohl von den Milieubedingungen im Pansen als auch von den im Pansen verfügbaren Enzym- und Substratkonzentrationen beeinflusst (TAF AJ, 1996).

Hinsichtlich des Pansenmilieus scheint der pH-Wert die wichtigste Kenngröße zu sein. Dieser wird, wie bereits erwähnt, besonders durch den beim Kauvorgang abgegebenen Speichel beeinflusst, dessen hohes Puffervermögen aufgrund von Na- Bikarbonat, Na- und K- Phosphat sowie Chlorid zu einer Neutralisation der im Pansen gebildeten SCFA beiträgt. Eine positive Korrelation zwischen Kauaktivität und Speichelsekretion ist allgemein akzeptiert und belegt

worden (ORTH & KAUFMANN, 1964; KRISTENSEN & NØRGAARD, 1987; ERDMANN, 1988; HOFFMANN, 1990; DE BOEVER *et al.* 1993a,b; DE BRABANDER, 1999; MERTENS, 1997). Demnach können alle Futterfaktoren, welche die Kauaktivität und Speichelsekretion anregen, regulierend auf den pH-Wert im Pansen wirken.

Die Enzym- und Substratkonzentrationen im Pansen werden im Wesentlichen von den Abbaueigenschaften der eingesetzten Futtermittel, wie von potentiellen Ausmaß der Verdaulichkeit (Abbaubarkeit) und von der Abbaurrate (%/h) bestimmt (FLACHOWSKY, 1993). Diese Eigenschaften nehmen Einfluss auf das Wachstum und die Aktivität der MO im Pansen, das Pansenmilieu und schließlich auch auf Verdaulichkeit der Nährstoffe (FIRKINS, 2002). Demnach sind bei der Rationsgestaltung sowohl die Ansprüche der Milchkuh, als auch die der MO im Pansen zu beachten (SÜDEKUM, 1999; FIRKINS, 2002). Unterschiede im Abbauverhalten treten bei Kraftfuttermitteln (siehe Tabelle 2), aber auch bei Grundfuttermitteln auf (siehe Tabelle 5) (NOCEK & TAMMINGA, 1991; CONE, 1991; FLACHOWSKY, 1994; FLACHOWSKY, 1999; SPANGHERO *et al.*, 1999).

Tabelle 5: Zellwandbestandteile und Abbauparameter (a, b, c)\* verschiedener Grundfuttermittel (FLACHOWSKY *et al.*, 1999).

<b>Futtermittel</b>	<b>XF</b>	<b>NDF</b> <b>(% i.d. TM)</b>	<b>ADF</b>	<b>Lignin</b>	<b>a</b> <b>(% der TM)</b>	<b>b</b> <b>(% der TM)</b>	<b>c</b> <b>(%/h)</b>
Weizenstroh	42	85	60	15	12	50	2,0
Maisstengel	36	68	50	8	15	60	2,5
Welsches Weidelgras	26	58	44	10	15	69	4,5
(Ährenschieben)							
Luzerne(Blüte)	32	54	45	11	37	35	8,3
Rotklee (Blüte)	24	48	39	9	36	44	9,5
Weißklee (Blüte)	22	42	26	6	37	53	12,3

\* a = wasserlösliche Fraktion, b = potentiell abbaubare Fraktion - a, c = fraktionelle Rate des Abbaus von b

Nach RUSSEL *et al.* (1992) ist die Abbaubarkeit der Nährstoffe im Pansen auf das Verhältnis „Abbaurrate zu Passageverhältnis“ zurückzuführen. Obwohl eine schnellere Passage der aufgenommenen Futtermassen die FA generell steigert, ist durch eine kürzere Verweildauer im Pansen mit einem Rückgang des mikrobiellen Abbaus und schließlich verminderter Gesamtverdaulichkeit zu rechnen. Wenn der Anstieg der Passagerate größer ist als jener der FA kann die dadurch geringere Substratverfügbarkeit für die MO eine reduzierte mikrobielle Proteinsynthese und entsprechende Leistungseinbußen zur Folge haben. Um den Ansprüchen der MO-Population im Pansen gerecht zu werden und die mikrobielle Proteinsynthese zu optimieren, wurde in den Vereinigten Staaten von Amerika das „Cornell Net Carbohydrate and Prote-

in System“ (CNCPS) entwickelt (RUSSEL *et al.*, 1992). Es berücksichtigt die physiologischen Aspekte des Tieres (Laktation, Trächtigkeit, Wachstum), Umwelteinflüsse sowie die Eigenschaften der Futtermittel. Aus Informationen über das Abbauverhalten und die Passage rate von Kohlenhydraten und Proteinen in Futterrationen wird versucht, das Ausmaß der ruminalen Fermentation, mikrobiellen Proteinsynthese, post ruminalen Absorption und die Bereitstellung an ME (metabolizable Energie) und Protein abzuleiten. Genauere Angaben darüber sind bei RUSSEL *et al.* (1992); FOX *et al.* (1992) und FOX *et al.* (2004) zu entnehmen.

#### **1.4.3. Einfluss des Fasergehaltes und der PL des GF auf die Verdauungsvorgänge beim Wiederkäuer**

Der Fasergehalt in der Ration und die PL des GF können den mikrobiellen Abbau von Nährstoffen im Pansen, die Passagerate der Digesta und schließlich die post ruminale- und die Gesamtverdaulichkeit von Nährstoffen beeinflussen (YANG *et al.*, 2006b).

Ein aufgrund reduzierter Wiederkautätigkeit niedriger pH-Wert im Pansen scheint in diesem Zusammenhang hauptsächliche Ursache sowohl für einen reduzierten mikrobiellen Abbau der Faserbestandteile im Pansen, als auch für eine verringerte Gesamtverdaulichkeit der Ration zu sein (SHRIVER *et al.*, 1986).

In vitro Studien von STROBEL & RUSSEL (1986) haben gezeigt, dass bei einem pH-Wert von 5,7 deutlich weniger mikrobielle Masse gebildet wurde als bei einem pH-Wert von 6,7 (13,6 mg TM/mmol ATP versus 21,2mg TM/mmol ATP). Zudem sind nach dem CNCPS mindestens 20% NDF aus dem GF in der Ration notwendig um eine entsprechende Menge an mikrobieller Masse produzieren zu können (RUSSEL *et al.*, 1992). ALLEN (1997) konnte in einer Studie eine positive Korrelation zwischen NDF-Gehalt aus dem GF und dem pH-Wert im Pansen ermitteln ( $R^2 = 0,63$ ,  $p < 0,0001$ ,  $n = 26$ ), während zwischen dem NDF-Gehalt in der Gesamttrockenmasse und dem pH-Wert keine signifikante Beziehung zu erkennen war ( $R^2 = 0,01$ ,  $p = 0,27$ ,  $n = 26$ ). Des Weiteren konnte ALLEN (1997) eine signifikante Beziehung zwischen PL des GF und dem pH-Wert im Pansen ermitteln ( $p = 0,002$ ;  $R^2 = 0,12$ ). Auch FIRKINS (2001) kam in einer Literaturlauswertung (31 Studien) zu dem Ergebnis, dass die NDF aus Grundfutter effektiver auf den pH-Wert im Pansen wirkt als die NDF in der Gesamtration.

Neben einer wirkungsvollen Stimulierung der Speichelsekretion, nimmt der Fasergehalt in der Ration auch deutlichen Einfluss auf die Passage der Digesta aus dem Pansen in den nachfolgenden Verdauungstrakt. Die Faserbestandteile im Futter tragen zur Bildung einer stabilen Faserschicht im Pansen bei, um entsprechend große Partikel zurückzuhalten, die dann einem

mikrobiellen Abbau unterliegen können (MERTENS, 1997). SHUTERLAND (1988) beschreibt die Faserschicht im Pansen als ein „first - stage separator“ der durch Filtration und anschließende Vernetzung die Faserpartikel im Pansen zurückhält bzw. separiert, so dass diese für eine mikrobiellen Fermentation zur Verfügung stehen (EVANS *et al.*, 1973). Für KASKE & ENGELHARDT (1990) sind insbesondere die spezifische Dichte und die PL des Futters für 88 % der Variationen in der Partikelpassage aus dem Pansen verantwortlich.

Durch eine schnelle Passagerate von Partikeln, aufgrund einer unzureichenden Vernetzung in der Faserschicht, kann die Substratverfügbarkeit für die MO im Pansen verringert werden und demzufolge auch den ruminalen Abbau von Nährstoffen reduzieren (FIRKINS, 2002). Dies scheint speziell der Fall zu sein, wenn durch eine technische Partikelzerkleinerung des GF die Passagerate schneller zunimmt als die Abbaurate der Strukturkohlenhydrate (WOODFOORD & MURPHY, 1988; LE LIBOUX & PEYRAUD, 1998). Zusätzlich kann eine schnelle Passage der Digesta einen Abfluss von Mikroben aus dem RR zur Folge haben (FIRKINS, 2002), so dass weniger mikrobiell gebildete Nährstoffe aus dem Pansen der Milchkuh zur Verfügung stehen.

In Studien von KONONOFF & HEINRICH (2003a) sowie YANG (2001) konnte jedoch kein Einfluss reduzierter PL auf die Passagerate der flüssigen und auch der festen Phase beobachtet werden. Während WEIDNER & GRANT (1994b) bei einem Austausch von gehäckselter Luzerne- und Maissilage durch 25 % Sojaschalen und 20 % gehäckseltes Heu einen 16 % igen Rückgang der fraktionellen Passagerate nachweisen konnten. Durch den Zusatz von Sojaschalen und Heu wurde die Konsistenz der Faserschicht fester. Nach WELCH (1982) ist die Konsistenz der Faserschicht (fest oder weich) ein entscheidender Faktor der die Passage von Faserpartikeln aus dem RR entweder fördert oder hemmen kann.

Eine adäquate PL des GF und ein entsprechend höherer peNDF-Gehalt in der Ration führten bei KRAUSE *et al.* (2002a, b), KONONOFF & HEINRICHS (2003a, b) und BEAUCHEMIN & YANG (2005), durch eine effektive Steigerung der Kauaktivität und Speichelsekretion, zu einem stabileren pH-Wert - Status im Pansen. Die dadurch erreichten besseren Pansenverhältnisse zeigten sich bei YANSARI, *et al.* (2004) und YANG & BEAUCHEMIN (2005) letztlich auch in einer erhöhten Gesamtverdaulichkeit der Nährstoffe und höheren Milchfettgehalten (YANG *et al.*, 2001), während FERNANDEZ *et al.* (2004) kaum einen Einfluss des peNDF-Gehaltes auf die Nährstoffverdaulichkeit und Milchleistung feststellen konnten. KRAUSE *et al.* (2002b) und KONONOFF & HEINRICHS (2003a) beobachteten sogar mit zunehmender PL negative Effekte auf die Verdaulichkeit einiger Nährstoffe. Ausgewählte

Versuchsergebnisse zu den genannten Literaturstellen sind in folgender Tabelle 6 zusammengefasst.

Tabelle 6: Einfluss der PL des GF auf die Wiederkauaktivität, Fermentationsparameter und die Verdaulichkeit bei Milchkühen.

Literatur	GF % i.T.	PL (mm)	NDF % i.T.	WDK min/24h	pH	SCFA mmol/l	C2/ C3	VQ TM	NDF
KRAUSE <i>et al.</i> (2002a,b)	39,3	3,0	24,8	351,0	5,7	161,5	1,6	75,5	54,3
	39,3	6,0	23,2	502,0	6,0	148,4	1,9	74,5	47,6
	39,3	2,8	23,4	288,0	5,9	151,1	2,2	72,8	46,2
	39,3	6,3	24,6	468,0	6,1	144,9	2,5	69,9	47,7
KONONOFF & HEINRICHS (2003a)	50,0	4,8	32,4	460,2	6,0	149,3	2,8	66,5	48,1
	50,0	8,0	32,4	504,7	6,2	141,4	2,9	63,7	45,6
	50,0	22,3	32,4	477,9	6,1	140,2	2,9	64,4	46,9
	50,0	20,0	32,4	479,1	6,1	136,0	2,9	63,1	44,7
KONONOFF & HEINRICHS (2003b)	57,4	4,8	32,9	446,5	6,3	93,6	2,5	--	--
	57,4	22,3	32,9	413,7	6,4	89,1	2,7	--	--
	57,4	10,6	32,9	420,2	6,3	87,8	2,6	--	--
	57,4	16,5	32,9	454,4	6,4	89,1	2,5	--	--
BEAUCHEMIN & YANG (2005); YANG & BEAUCHEMIN (2005)	41,9	19,1	32,6	493,6	5,5	122,6	2,0	70,2	47,2
	41,9	11,0	32,6	471,8	5,5	122,1	2,0	68,4	43,9
YANSARI <i>et al.</i> (2004)	40,0	19,0	45,2	338,9	6,6	118,6	5,1	70,0	61,3
	40,0	10,0	45,2	286,1	6,6	121,3	4,4	71,1	61,1
	40,0	2,0	45,2	236,1	6,1	125,4	4,2	71,3	56,6
FERNANDEZ <i>et al.</i> (2004)	75,0	5,0	37,3	632,0	6,5	104,9	3,7	68,2	45,4
	75,0	13,0	37,1	609,0	6,4	102,5	3,4	69,2	47,9
	75,0	5,0	35,8	628,0	6,4	106,0	3,7	70	46,6
	75,0	13,0	34,8	584,0	6,2	104,6	3,5	70,4	49,6

Nach MERTENS (1993) und CHESSON *et al.* (1995) ist die Angriffsfläche des Substrates gegenüber dem mikrobiellen Abbau ein wichtiger Faktor, welcher die Abbauraten der Nährstoffe beeinflussen kann. Durch das Zerkleinern nimmt die Expositionsoberfläche von Partikeln zu und kann somit den mikrobiellen Abbau fördern. Dies scheint vor allem für den Abbau von Zellwandbestandteilen von Vorteil zu sein. Folglich konnten KONONOFF & HEINRICHS (2003a) bei einer reduzierten PL von Luzerneheulage (MPL = 4,8) eine höhere Verdaulichkeit der Rohnährstoffe, ausgenommen von ADF und NFC, beobachten. Obwohl bei dieser Fütterungsvariante höhere Konzentrationen an SCFA und niedrigere pH-Werte im Pansen ermittelt wurden. Die Autoren vermuten, dass durch die Reduzierung der PL die An-

griffsfläche und somit die Substratverfügbarkeit für die MO im Pansen zunahm und dadurch eine schnellere Fermentationsrate und schließlich eine gesteigerte FA zur Folge hatte.

#### **1.4.4. Einfluss des KF - Niveaus und der KF - Zusammensetzung auf die Verdauungsvorgänge beim Wiederkäuer**

Zucker und Stärke werden im Pansen schnell und nahezu vollständig zu flüchtigen Fettsäuren abgebaut. Der Stärkeabbau kann in Abhängigkeit von der Stärkequelle, -menge, und -behandlung, sowie von der Rationsgestaltung und der Höhe der Futteraufnahme zwischen 40 und nahezu 100 % variieren (FLACHOWSKI *et al.*, 2000). Die im Pansen vorkommenden amylolytischen Bakterienstämme spalten mit Hilfe von Exo- und Endoenzymen die  $\alpha$ - 1,4- und  $\alpha$ -1,6 glykosidischen Bindungen der Amylose und des Amylopektins. Die dabei entstehende Maltose und Isomaltose wird durch Maltase, Maltosephosphorylase sowie 1,6-Glucosidase zu Glucose oder Glucose-1-phosphat hydrolysiert und anschließend zu Acetat, Butyrat, Propionat, CO<sub>2</sub> und Methan abgebaut. Die dabei entstehende biochemisch nutzbare Energie kann von Mikroben, bei deren ausreichender Versorgung mit Aminosäuren, Ammoniak und Mineralstoffen, zum Wachstum und zur Synthese von Mikrobenmasse genutzt werden (MATTHÉ *et al.*, 2000). KOTARSKY *et al.* (1992) identifizieren 15 Pansenbakterienstämme, welche jeweils verschiedene amylolytische Enzyme produzieren. Das Wirkungsoptimum der Enzyme liegt in einem pH-Wert Bereich von 5,6 - 6,4. Neben den Bakterien beeinflussen auch Protozoen den ruminalen Abbau der Stärke. Sie sind in der Lage ganze Stärkekörner aufzunehmen und können dadurch zu einer Verzögerung des Stärkeabbaus beitragen. Dieser Vorgang kann zu einer Stabilisierung des pH-Wertes im Pansen führen (VAN SOEST, 1994).

Ein schneller Abbau größerer Stärkemengen im Pansen und eine damit verbundene intensive Säurebildung führt allgemein zu deutlich reduzierten pH-Werten (< 6) im Pansen. Die Lebensbedingungen für pH-Wert empfindliche MO werden dadurch besonders beeinträchtigt. Eine geringe Toleranz der meisten Protozoen (pH-Wert Optimum bei etwa 6,0-6,3) und cellulolytischen Bakterien (pH-Wert Optimum bei 6-7) gegenüber niedrigeren pH-Werten ist der Grund dafür, dass bei stärkereichen Rationen die Anzahl dieser Keime stark reduziert wird (ERDMANN, 1988; VAN SOEST, 1994) und dadurch ein intensiver Stärkeabbau durch die stärke-spaltenden Bakterien stattfindet (MATTHÉ *et al.*, 2000). Dies ist häufig mit einer verminderten Verdauung der Faserbestandteile oder deren Verlagerung in den Dickdarm und dadurch mit erheblichen Energieverlusten verbunden (RUSSELL & WILSON, 1996; DE VISSER *et al.*, 1998; VALADARES *et al.*, 2000; TAJAJ *et al.*, 2001, 2006). Zudem findet

durch die intensive Fermentation der Stärke eine verstärkte Milchsäurebildung im Pansen statt, die dann über den Acrylatweg zu Propionsäure abgebaut wird. Dadurch verändert sich das im Pansen gebildete Fettsäureprofil zugunsten des Propionats, wodurch das Acetat : Propionat Verhältnis verengt wird. Eine vermehrte Säureanflutung sowie ein verändertes Fettsäuremuster im Pansen spiegeln sich letztlich auch in reduzierten Milchfettgehalten (ERDMANN, 1988; SUTTON, 1989) und eingeschränkten Futteraufnahmen wieder (WOOFORD & MURPHY, 1988; JOANNING *et al.*, 1981).

Andererseits kann ein Teil der im Pansen angefluteten hohen Stärkemenge dem mikrobiellen Abbau im Pansen entkommen und in den Dünndarm gelangen, was zunächst aus energetischer Sicht von Vorteil wäre (weniger Verluste über Wärme und Methan). Dennoch scheint das Verdauungs- und Absorptionsvermögen des Dünndarms auf etwa 1,5 kg Stärke/ Tag begrenzt zu sein (MATTHÉ *et al.*, 2000, 2001). Anhand einer Auswertung von 10 Literaturhinweisen konnten FLACHOWSKY *et al.* (2004b) feststellen, dass bei höherer Stärkeanflutung im Dünndarm die Verdaulichkeit der Stärke abnimmt ( $R^2 = 0,7686$ ) (Abbildung 1). Die Autoren nennen als Ursache der limitierten post ruminalen Stärkenutzung entweder eine zu geringe Amylaseaktivität, eine begrenzte Glucoseabsorption im Dünndarm oder auch deren Wechselwirkungen. FLACHOWSKY *et al.* (2004b) sind daher der Meinung, dass bei Eintritt von  $> 2$  kg Stärke/ Tag in den Dünndarm die energetische Nutzung ungünstiger ist als bei einem mikrobiellen Abbau im Pansen mit anschließender Gluconeogenese.

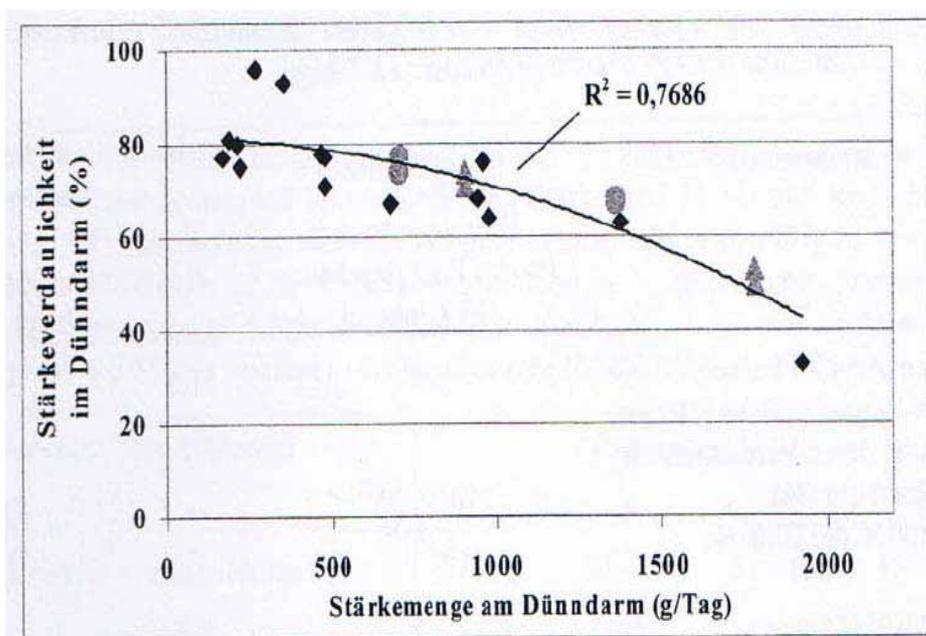


Abbildung 1: Einfluss der Menge an By-pass Stärke auf die Stärkeverdaulichkeit im Dünndarm (FLACHOWSKY *et al.*, 2004b).

Zudem sehen GOLLNISCH (2000) und FLACHOWSKY *et al.* (2004b) eine Verlagerung der Stärkeverdauung in den Dickdarm in mehrfacher Hinsicht als nachteilig an. Denn dabei treten nicht nur höhere Energieverluste auf als im Pansen, sondern es können auch günstige Bedingungen für die Ansiedlung säureresistenter virulenter Keime entstehen. Schließlich werden im Dickdarm nur etwa 50 % der angefluteten Stärke mikrobiell abgebaut (OFFNER & SAUVANT, 2004) und es findet keine Nutzung der mikrobiellen Masse mehr statt.

Hinsichtlich einer wiederkäuergerechten Ernährung ist die Gesunderhaltung des Pansens von primärer Bedeutung. Wie bereits dargestellt wurde, ist sowohl der Anteil an strukturierter Faser als auch der Anteil an schnell fermentierbaren Kohlenhydraten für die Gestaltung des Pansenmilieus verantwortlich.

Einzelne Studien haben gezeigt, dass die Wirksamkeit der effektiven Faser auf die Kauaktivität und die Pansenverhältnisse vom Anteil an schnell fermentierbarer Stärke in der Ration negativ beeinflusst werden kann (YANG *et al.*, 2001; KRAUSE & COMBS, 2003). OWENS *et al.* (1998) ermittelten in Rationen mit hohen Anteilen an schnell fermentierbaren Kohlenhydraten deutlich längere Perioden in denen der pH-Wert unter 5,8 Einheiten lag. BEAUCHEMIN & RODE (1997) weisen in diesem Zusammenhang darauf hin, dass insbesondere bei Rationen mit hohem Anteil an schnell fermentierbaren Kohlenhydraten der Bedarf an effektiver Faser zunimmt. Die Autoren vermuten, dass zwischen ruminaler Fermentierbarkeit und physikalischen Charakteristika der Ration eine Wechselwirkung bestehen kann.

Die negative Wirkung der Stärkefermentation auf das Pansenmilieu kann vom Futteraufnahme-niveau verstärkt werden. Obwohl sich bei zunehmender TM-Aufnahme die Passagerate der Digesta erhöht, nimmt die absolute Menge an fermentierbarer Stärke im Pansen zu. Demnach konnten FIRKINS *et al.* (2001) bei zunehmenden TM-Aufnahmen von Milchkühen demzufolge auch höhere Anteile an ruminal fermentierbarer Stärke im Pansen ermitteln. Die Autoren sind daher der Meinung, dass insbesondere Hochleistungskühe eine tendenziell höhere Gefahr zur subklinischen Acidose aufweisen.

TAF AJ *et al.* (2006) konnten bei unterschiedlichen Anteilen eines langsam fermentierbaren Kraftfutters in der Ration (25, 40, 50, 60, 70 %) mit abnehmenden Anteilen an NDF und peNDF einen linearen Rückgang des pH-Wertes sowohl in der flüssigen ( $R^2 = 0,26 - 0,29$ ,  $p \leq 0,05$ ) als auch in der festen Phase ( $R^2 = 0,76-0,88$ ,  $p < 0,001$ ) beobachten. Der geringste Fasergehalt bzw. der höchste KF-Anteil verursachte insbesondere in der festen Phase der Digesta zu allen Messzeitpunkten pH-Werte unter 6,0. Zusätzlich wurde bei dieser Rationsvari-

ante ein signifikant höherer Anteil an langen Partikeln in der Pansendigesta ermittelt, was sich auch in einer reduzierten Faserverdaulichkeit zeigte. Die Autoren führen den zunehmenden Anteil an großen Partikeln in der Digesta auf eine verminderte Aktivität der cellulolytischen MO bei höherem Anteil an schnell fermentierbaren Kohlenhydraten in der Ration zurück.

KF-Komponenten mit höherem Anteil an Strukturkohlenhydraten können in kraftfutterreichen Rationen eine Möglichkeit zur Stabilisierung des Pansenstoffwechsels darstellen. Der Einsatz von Sojaschalen, Baumwollsaat, Zuckerrübenpülpe und Maiskleberfutter (WCGF) wurde in einigen Studien geprüft (SARWAR *et al.*, 1992; ALLEN & GRANT, 2000; SLATER *et al.*, 2000; BECKMANN & WEISS, 2005). Es ist jedoch zu unterscheiden, ob der Einsatz von NFFS im GF- oder KF-Anteil von Milchkuhrationen erfolgte.

ALLEN & GRANT (2000) konnten durch den Einsatz von WCGF als GF-Ersatz keine positive Wirkung auf den pH-Wert im Pansen beobachten. Die Ration mit einem gesteigerten Anteil an NDF aus GF wies in dieser Untersuchung signifikant höhere pH-Werte auf. Die Ergebnisse zur Kauaktivität sind bereits in Kapitel 3.3. dargestellt und weisen darauf hin, dass der Einsatz von WCGF keine gesteigerte Kauaktivität zur Folge hatte und dem entsprechend auch niedrigere pH-Werte im Pansen verursachte. Erst durch einen Zusatz von grob gehäckseltem Heu zu der WCGF-Ration konnten die Autoren ein besseres Pansenmilieu und folglich eine höhere NDF-Verdaulichkeit beobachten. CUNNINGHAM *et al.* (1993) konnten hingegen durch den Zusatz von Sojaschalen, sowohl im KF- als auch im GF-Anteil, höhere ruminale NDF-Verdaulichkeiten ermitteln. SLATER *et al.* (2000) konnten durch den Zusatz von Sojaschalen und Baumwollsaat den NDF-Anteil aus Grundfutter bis zu 11 % in der TM reduzieren, ohne dabei negative Wirkungen auf das Wiederkauen und die Pansenfermentation zu beobachten. GRANT (1997) schätzt jedoch den Einsatz von NFFS als Substitut von GF kritisch ein, da durch die stark reduzierte PL der NFFS eine nur unzureichende Vernetzung dieser in der Faserschicht des Pansen erreicht werden kann. Dieser Tatsache zufolge konnten in den meisten Untersuchungen bei einem Austausch von Grundfutter durch NFFS reduzierte Wiederkauzeiten, höhere Passageraten sowie auch häufig verringerte Faserverdaulichkeiten beobachtet werden (GRANT, 1997). Das NRC (2001) empfiehlt daher auch, dass 75 % der NDF in der Ration aus dem Grundfutter gedeckt sein sollte.

SARWAR *et al.* (1992) variierten in einer Kontroll-Ration, bestehend aus 21 % Luzernesilage, 21 % Maissilage und 48 % KF (vorwiegend aus Mais, Sojabohnen) sowohl das GF zu KF Verhältnis als auch den Anteil an NSC im KF. Hierbei wurde ein Teil des Maises durch Sojaschalen ersetzt. Es ergaben sich 5 Rationen, die sich hinsichtlich ihres Anteils an NDF aus GF (NDF<sub>G</sub>) (> 70 %, 70 %, 60 %) und ihres Anteils an NSC (35 % oder 25 %) unterschieden. Der

reduzierte NDF<sub>G</sub>-Gehalt wirkte sich signifikant ( $p < 0,02$ ) in einer höheren Konzentration an SCFA im Pansen aus. Zusätzlich wurden bei den faserarmen Rationen reduzierte Acetat- ( $p < 0,07$ ) und erhöhte Propionat-Konzentrationen ( $p < 0,01$ ) ermittelt. Auch die Variation im NSC-Gehalt im KF wirkten sich signifikant auf das Verhältnis von Acetat : Propionat im Pansen aus ( $p < 0,01$ ). Hinsichtlich des pH-Wertes konnten SARWAR *et al.* (1992) einen deutlich größeren Einfluss des NDF<sub>G</sub>-Gehaltes in der Ration im Vergleich zum NSC-Anteil im KF erkennen. Die Verdaulichkeit der OM wurde vor allem vom GF-Anteil positiv beeinflusst, während die NDF-Verdaulichkeit durch einen reduzierten NSC-Gehalt im KF gefördert wurde.

Tabelle 7: Einfluss des GF-Anteils und des NSC-Gehaltes in der Ration auf die Fermentationsparameter im Pansen und die Verdaulichkeit (SARWAR *et al.*, 1992).

	Ration <sup>1</sup>					SE	NDF		NSC	
	C	NDF70	NDF60	NSC35	NSC25		L <sup>2</sup>	Q <sup>2</sup>	L	Q
SCFA, mmol/l	113	113	124	112	111	0,3	0,02	n.s. <sup>3</sup>	n.s.	n.s.
Acetat, mol/100mol	57,0	57,1	56,3	60,4	61,4	0,3	0,07	n.s.	0,01	0,01
Propionat, mol/100mol	23,5	23,8	25,2	21,2	22,2	0,3	0,01	n.s.	0,01	0,01
Butyrat, mol/100mol	15,0	14,6	14,3	14,4	12,8	0,2	0,02	n.s.	0,01	0,08
C <sub>2</sub> /C <sub>3</sub>	2,44	2,44	2,26	2,84	2,77	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01
VQ OM	65,2	70,1	69,6	66,9	67,1	1,5	0,01	0,01	n.s.	n.s.
VQ NDF	47,6	53,0	51,7	56,3	59,7	2,6	n.s.	n.s.	0,04	n.s.

<sup>1</sup> C= Kontroll-Ration; NDF (70 und 60 %) von GF; NSC (35 und 25 %).

<sup>2</sup> signifikanter Einfluss von NDF aus GF und NSC-Gehalt; L = linear, Q = quadratisch.

<sup>3</sup> n.s. = nicht signifikant

BECKMANN & WEISS (2005) variierten im KF-Anteil einer TMR das Verhältnis von NDF zu XS (0,74; 0,95; 1,27), indem ein Teil des KF durch Sojaschalen und Baumwollsaat ersetzt wurde. Ein Austausch von Mais durch Sojaschalen und Baumwollsaat brachte weder für den pH-Wert im Pansen noch für die Verdaulichkeit der NDF einen signifikant positiven Effekt. Dagegen wurde mit zunehmendem NDF-Gehalt in der Ration die Gesamtkonzentration der SCFA signifikant reduziert ( $p < 0,02$ ) und das Acetat Propionat Verhältnis weiter ( $p < 0,11$ ). Dies spiegelte sich dementsprechend in höheren Milchfettgehalten wieder.

Ähnliche Beobachtungen konnten VOELKER *et al.* (2003a,b,c) in ihren Untersuchungen machen. Sie ersetzten in einer TMR eine stärkereiche Kraftfutterkomponente (High moisture corn) durch eine faserreiche (pelleted beet pulp) in unterschiedlichen Anteilen (0, 6, 12, 24 %). Der höhere Faseranteil wirkte sich auf die durchschnittlich gemessenen pH-Werte nicht

signifikant aus. Jedoch war eine geringere Abweichung zwischen maximalem und minimalem pH-Wert bei den faserreichen Rationen zu erkennen. Die Gesamtkonzentration der SCFA wurde durch den höheren Rohfaseranteil im KF nicht beeinflusst. Gleichzeitig konnten jedoch unter den faserreichen Behandlungen geringere Propionat- und höhere Acetat- und Butyrat-Konzentrationen im Pansen festgestellt werden. Der Zusatz von faserreichen KF-Komponenten zeigte jedoch in dieser Studie keinen signifikant positiven Einfluss auf den Fettgehalt in der Milch. Deshalb schätzen die Autoren die Faser aus KF-Komponenten nur als halb so effektiv für die Strukturversorgung von Milchkühen ein.

### 1.5. Literaturverzeichnis

- ABEL, H.J. (1995): Laktation. In: Nutztierernährung. Hrg. H.J. ABEL, G. FLACHOWSKI, H. JEROCH, S. MOLNAR, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- ALLEN, M. S. (1996): Physical constraints on voluntary intake of forage by ruminants. *J. Anim. Sci.* 74, 3060-3075.
- ALLEN, M. S. (1997): Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. *J. Dairy Sci.* 80, 1447-1462.
- ALLEN, M. S. (2000): Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 83, 1598-1624.
- ALLEN, D. M and R.J. GRANT (2000): Interaction between forage and wet corn gluten feed as a source of fiber in diets for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 83, 322-331.
- ALLEN, M.S. and J.A. VOELKER (2003): Forage Alternatives. Proceedings of the Tri-State Dairy Nutrition Conference 2003. Dept. Dairy Sci., Ohio State University, Columbus.
- BALDWIN, R.L. (1995): Modelling ruminant digestion and metabolism. Chapman and Hall, London, Glasgow, Weinheim, New York, Tokyo, Melbourne, Madras.
- BAILEY, C.B. & C.C. BALCH (1961a): Saliva secretion and its relation to feeding in cattle. I. The composition and rate of secretion of parotid saliva in a small steer. *Br. J. Nutr.* 15, 371-382.
- BAILEY, C.B. & C.C. BALCH (1961b): Saliva secretion and its relation to feeding in cattle. II. The composition and rate of secretion of mixed saliva in the cow during rest. *Br. J. Nutr.* 15, 383-402.
- BATH, D.L., G.A.E. GALL and M. RONNING (1974): Voluntary alfalfa hay intake by lactating dairy cows fed varying concentrate amounts. *J. Dairy Sci.* 57, 198-106.
- BEAUCHEMIN, K.A. (1991a): Ingestion and mastication of feed by dairy cattle. *Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice* 7, 439-463.

- BEAUCHEMIN, K. A. (1991b): Effects of dietary neutral detergent fiber concentration and alfalfa hay quality on chewing, rumen function, and milk production. *J. Dairy Sci.* 74, 3140-3151.
- BEAUCHEMIN, K.A. (1992): Effects of ingestive and ruminative mastication on digestion of forage by cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.* 40, 41-56.
- BEAUCHEMIN, K.A., B.I FARR, L.M. RODE and G.B. SCHAALJE (1994): Effects of alfalfa silage chop length and supplementary long hay on chewing and milk production of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77, 1326-1339.
- BEAUCHEMIN, K.A., L.M. RODE and M.V. ELIASON (1997): Nutrition, feeding, and calves. Chewing activities and milk production of dairy cows fed alfalfa as hay, silage, or dried cubes of hay or silage. *J. Dairy Sci.* 80, 324-333.
- BEAUCHEMIN, K.A., L.M. RODE (1997): Minimum versus optimum concentrations of fiber in dairy cow diets based on barley silage and concentrates of barley corn. *J. Dairy Sci.* 80, 1629-1639.
- BEAUCHEMIN, K.A., W.Z. YANG and L.M. RODE (2003): Effects of particle size of alfalfa-based dairy cow diets on chewing activity, ruminal fermentation and milk production. *J. Dairy Sci.* 86, 630-643.
- BEAUCHEMIN, K.A. and W.Z. YANG (2005): Effects of physically effective fiber on intake, chewing activity and ruminal acidosis for dairy cows fed diets based on corn silage. *J. Dairy Sci.* 88, 2117-2129.
- BECKMANN, J.L., W.P. WEISS (2005): Nutrient digestibility with different fiber to starch rations when fed to lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88, 1015-1023.
- BELYEA, R. L., P.J. MARTIN, H.T. SEDGWICK (1985): Utilization of chopped and long alfalfa for dairy cows. *J. Dairy Sci.* 68, 1297-1301.
- BREVES, G. und S. LEONHARD-MAREK (2005): Verdauungsvorgänge in den Vormägen. In: *Physiologie der Haustiere*. Hrsg. W.v. ENGELHARDT und G. BREVES. Enke Verlag Stuttgart.
- CAMPLING, R. C. and M. FREER (1966): Factors affecting voluntary intake of food by cows. Eight experiments with ground, pelleted roughages. *Br. J. Nutr.* 20, 229-244.
- CHESSON, A., C.W. FORSBERG and E. GRENET (1995): Improving the digestion of plant cell walls and fibrous feeds. In: *Recent developments in the nutrition of herbivores. Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Symposium on the Nutrition of Herbivores*. INRA, Paris. Eds. M. JOURNET, E. GRENET, H.M. FARCE, M. THERIEZ, C. DEMARQUILLY. pp. 249-277.
- CLARK, P.W. and L.E. ARMENTANO (1997): Influence of particle size on the effectiveness of beet pulp fiber. *J. Dairy Sci.* 80, 898-904.
- CONE, J.W. (1991): Degradation of starch in feed concentrates by enzymes rumen fluid and rumen enzymes. *J. Sci. Food Agric.* 54, 23-31.

- CUNNINGHAM, K.D., M.J. CECAVA and T.R. JOHNSON (1993): Nutrient digestion, nitrogen and amino acid flows in lactating cows fed soybean hulls in place of forage or concentrate. *J. Dairy Sci.* 76, 3523-3535.
- DE BOEVER, J. L., J. I. ANDRIES, D. L. DE BRABANDER, B. G. COTTYN, and F. X. BUYSSE (1990): Chewing activity of ruminants as a measure of physical structure. A review of factors affecting it. *Anim. Feed Sci. Technol.* 27, 281-291.
- DE BOEVER J.L., A. DE SMET, D.L. DE BRABANDER and C.V. BOUCQUE (1993a): Evaluation of Physical Structure. 1. Grass Silage. *J. Dairy Sci.* 76, 140-153.
- DE BOEVER, J. L., D. L. DE BRABANDER, A. M. DE SMET, J. M. VAN ACKER and C. V. BOUCQUE (1993b): Evaluation of physical structure. 2. Maize silage. *J. Dairy Sci.* 76, 1624-1634.
- DE BRABANDER, D.L., J.L. DE BOEVER, J.M. VANACKER, CH. V. BOUCQUE and S.M. BOTTERMANN (1999): Evaluation of physical structure in dairy cattle nutrition. In: *Recent Advances in Animal Nutrition*. Eds. P.C. GARNSWORTHY and J. WISEMANN, Nottingham University Press, 111-145.
- DE BRABANDER, D.L., J.L. DE BOEVER, J.M. VANACKER und N.E. GEERTS (2002): Evaluation and effects of physical structure in dairy cattle nutrition. XXII World Buiatrics Congress, pp. 182-197.
- DEHORTY B.A. (2003): *Rumen microbiology*. Nottingham University Press, Nottingham.
- DE VISSER, H. and A.M. DE GROOT (1980): The influence of the starch and sugar content of concentrates on feed intake, rumen fermentation, production and composition of milk. In: *Proceedings of the IV the International conference on production disease in farm animal*, Munich. Eds. D. GIESECKE, G. DIRKSEN & M. STANGASSINGER. Foto-druck Frank OHG, München. pp 41-48.
- DE VISSER, H. P.L. VAN DER TOGT and S. TAMMINGA (1990): Structural and Non-structural carbohydrates in concentrate supplements of silage-based dairy cow rations. 1. Feed intake and milk production. *Neth. J. Agric. Sci.* 38, 487-498.
- DE VISSER, H., A. KLOP, C.J. VAN DER KOELEN, A.M. VAN VUUREN (1998): Starch supplementation of grass harvested at two stages of maturity prior to ensiling: Intake, digestion and degradability by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 81, 2221-2227.
- DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTLICHE GESELLSCHAFT, DLG (2001): *Struktur- und Kohlenhydratversorgung der Milchkuh*. Autorenkollektiv: M. BRAUN, P. LEBZIEN, H. LORENZ, B. LOSAND, F.-P. ENGLING, W. LÜPPING, A. PETRI, H. SPIEKERS, W. STAUDACHER, K.-H. SÜDEKUM), DLG-Informationen 2/2001.
- ERDMANN, R.A. (1988): Dietary buffering requirements of the lactating dairy cows: A review. *J. Dairy Sci.* 71, 3246-3266.
- EVANS, E.W., G.R. PEARCE, J. BURNETT and S.L. PILLINGER (1973): Changes in some physical characteristics of the digesta in the reticulo-rumen of cows fed once daily. *Br. J. Nutr.* 29, 357-386.

- FAHEY, G.C. and L.L. Berger (1988): Carbohydrate nutrition of ruminants. In: Ruminant Animal Digestive Physiology and Nutrition. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ. 269-279.
- FAICHNEY, J.G. (1993): Digesta Flow. In: Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism. Eds. J.M. FORBES and J. FRANCE. CAB International, 54-85.
- FAVERDIN, P., J.P. DULHY, J.B. COULON, R. VERITE, L.P. GAREL, L. ROUEL und B. MARQUIS (1991): Substitution of roughage by concentrates for dairy cows. Livest. Prod. Sci. 27, 137-156
- FERNANDEZ, I., C. MARTIN, M. CHAMPION and B. MICHALET-DOREAU (2004): Effects of corn hybrid and chop length of whole-plant corn silage on digestion and intake by dairy cows. J. Dairy Sci. 87, 1298-1309.
- FISCHER, J.M., J.G. BUCHANAN-SMITH, C. CAMPBELL, D.G. GRIEVE and O.B. ALEEN (1994): Effects of forage particle size and long hay for cows fed total mixed rations based on alfalfa and corn. J. Dairy Sci. 77, 217-229.
- FIRKINS, J.L. (1997): Effects of feeding non forage fiber sources on site of fiber digestion. J. Dairy Sci. 80, 1426-1437.
- FIRKINS, J.L. M.L. EASTRIDGE, N.R. ST-PIERRE, S.M. NOFTSGER (2001): Effects of grain variability and processing on starch utilization by lactating dairy cattle. J. Dairy Sci. 79, (E. Suppl.), E218-E238.
- FIRKINS, J.L. (2002): Optimizing rumen fermentation. Tri-State Dairy Nutrition Conference, pp. 39-53.
- FLACHOWSKY, G. (1993): Bewertung der Futtermittel. In: Futtermittelkunde, Hrsg.: H. JEROCH, G. FLACHOWSKI, F. WEISSBACH. Gustav Fischer Verlag Jena Stuttgart.
- FLACHOWSKY, G. (1994): Zum Futterwert wirtschaftseigener Futtermittel. Neue Landwirtschaft, Sonderheft, 34-37.
- FLACHOWSKY, G., LEBZIEN, P., DAENICKE, R. (1999): Zur Bedeutung von Leguminosen als Grundfutterkomponente in Rationen von Hochleistungskühen. 111. VDLUFA-Kongress, 293-296.
- FLACHOWSKY, G., K. LOOSE, P. LEBZIEN, A. MATTHÉ, K. GOLLNISCH, R. DAENICKE (2000): Zur Breitstellung von Maisprodukten als Stärkequelle für Milchkühe. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 217, 71-85.
- FLACHOWSKY, G., P. LEBZIEN, E. STROBEL (2003): „Biotechnikum“ - Pansen Potentiale und Grenzen. Züchtungskunde 74, 85-103.
- FLACHOWSKY, G., P. LEBZIEN, U. MAYER (2004a): Zur Fütterung von Hochleistungskühen. Übers. Tierernährg. 32, 103-147.

- FLACHOWSKY, G., P. LEBZIEN, U. MAYER (2004b): Zur energetischen Futterbewertung bei Hochleistungskühen. Übers. Tierernährg. 32, 23-56.
- FORBES, J.M. (1995): Voluntary Food Intake and Diet Selection in Farm Animals. CABI, UK, PP. 532.
- FORBES, J.M. (1996): Integration of regulatory signals controlling forage intake in ruminants. J. Anim. Sci. 74, 3029-3035.
- FOX, D.G., C.J. SNIFFEN, J.D. O'CONNOR, J.B. RUSSEL and P.J. VAN SOEST (1992): A net carbohydrate and Protein system for evaluating cattle diets: III Cattle requirements and diet adequacy. J. Anim. Sci. 70, 3578-3596.
- FOX, D.G., L.O. TDESCHI, T.P. TYLUTKI, J.B. RUSSEL, M.E. VAN AMBURGH, L.E. CHASE, A.N. PELL, T.R. OVERTON (2004): The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. Anim. Feed Sci. Tech. 112, 29-78.
- GALYEAN, M. L. & A. L. GOETSCH (1993): Utilisation of forage fiber by ruminants. In: Forage cell wall structure and digestibility. Ed. JUNG *et al.*, Madison, Wisconsin, USA, 33-71.
- GARDNER P.T., WOOD T.J., CHESSON A. and STUCHBURY T. (1999): Effect of degradation in the porosity and surface area of forage cell wall of differing lignin content. J. Sci. Food Agric. 79: 1, 11-19.
- GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE- AUSSCHUSS FÜR BEDARFSNORMEN (2001): Versorgung mit strukturiertem Grundfutter, 57-69. In: Empfehlungen zur Energie und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtrinder. DLG Verlag.
- GOLLNISCH, K. (2000): Folgen hoher Stärkeaufnahme auf Prozesse im Dickdarm von Rindern. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 17, 46-59.
- GRANT, R. J. (1997): Interactions among forages and non forage fiber sources. J. Dairy Sci. 80, 1438-1446.
- GRUBER, L., T. GUGGENBERGER, A. STEINWIDDER, J. HÄUSLER, A. SCHAUER, R. STEINWENDER, W. WENZEL und B. STEINER (2001): Vorhersage der Futteraufnahme von Milchkühen auf Basis von Fütterungsversuchen der BAL Gumpenstein. 28. Viehwirtschaftliche Fachtagung, BAL, S.11-36.
- HARMISON, B., M.L. EASTRIDGE, J.L. FIRKINS (1997): Effect of neutral detergent fiber and source of starch on performance of lactating cows. J. Dairy Sci. 80, 905-911.
- HERRERA-SALDANA, R.E., J.T. HUBER, M.H. POORE (1990): Dry matter, crude protein and starch degradability of five cereal grains. J. Dairy Sci. 73, 2386-2393.
- HOFFMANN, M. (1990): Tierfütterung, Dt. Landwirtschaftsverlag Berlin, 2. Auflage

- HOFFMANN, M. (2003): Erhaltung der Gesundheit bei hoher Leistung. Nutztierpraxis Aktuell. Ausgabe 7.
- HOFFMANN, P.C., D.K. COMBS and M.D. CASLER (1998) Performance of lactating cows fed alfalfa silage or perennial ryegrass silage. *J. Dairy Sci.* 81, 162-168.
- HOFMANN, R.R (1995): Morphophysiologische Adaptation des Verdauungssystems. In: Nutztierernährung. Hrsg. H. Abel, G. FLACHOWSKY, H. JEROCH. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- HOOVER, W.H. (1986): Chemical factors involved in ruminal fiber digestion. *J. Dairy Sci.* 69, 2755-2766.
- HUNTINGTON, G.B. (1997): Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. *J. Anim. Sci.* 75, 852-867.
- JEROCH, H., W. DROCHNER, O. SIMON (1999): Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere. Eugen Ulmer Verlag Stuttgart.
- JOANNING, S., D.E. JOHNSON and B.P. BARRY (1981): Nutrient digestibility depression in corn silage-corn grain mixtures fed to steers. *J. Anim. Sci.* 53, 1095-1107.
- JUNG, H. G. & K. P. VOGEL (1986): Influence of lignin on digestibility of forage cell wall material. *J. Anim. Sci.*, 62, 1703-1712.
- KAUFMANN, W. und A. ORTH (1966): Untersuchungen über die Einflüsse des Futters und der Pansenfermentation auf die Speichelsekretion. *Z. Tierphys., Tierernähr. u. Futtermittelkde.* 21, 110-120.
- KASKE, M. (2005): Motorik des Magen- Darm- Kanals. In: Physiologie der Haustiere. Hrsg. W.v. ENGELHARDT und G. BREVES. Enke Verlag Stuttgart.
- KASKE, M. and W.V. ENGELHARDT (1990): The effect of size and density on mean retention time of particles in the gastrointestinal tract of sheep. *Br. J. Nutr.* 63, 457-465.
- KENNEDY, P. M. and P.T. DOYLE (1993): Particle-size reduction by ruminants - Effects of cell wall composition and structure. In: Forage cell wall structure and digestibility. Eds. H.G. JUNG, D.R. BUXTON, R.D. HATFIELD and J. RALPH. Madison, Wisconsin, USA, pp. 499-534.
- KIRCHGESSNER, M. (2004): Tierernährung. DLG-Verlag, Frankfurt (Main).
- KOLB, E. (1989): Die Physiologie der Verdauung und Resorption. In: Lehrbuch der Physiologie der Haustiere. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- KONONOFF, P.J. and A.J. HEINRICHS (2003a): The effect of reducing alfalfa haylage particle size on cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 86, 1445-1457.
- KONONOFF, P.J. and A.J. HEINRICHS (2003b): The effect of corn silage particle size and cottonseed hulls on cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 86, 2438-2451.

- KOTARSKI, S.F., WANISKA, R.D., THURN, K.K. (1992): Starch hydrolysis by the ruminant microflora. *J. Nutr.* 122, 178.
- KRAUSE, K.M., D.K. COMBS and K.A.BEAUCHEMIN (2002a): Effect of forage particle size and grain fermentability in midlactation cows. I. Milk production and diet digestibility. *J. Dairy Sci.* 85, 1936-1946.
- KRAUSE, K.M., D.K. COMBS and K.A.BEAUCHEMIN (2002b): Effect of forage particle size and grain fermentability in midlactation cows. II. Ruminal pH and chewing activity. *J. Dairy Sci.* 85, 1947-1957.
- KRAUSE, D.O. and A.N. PELL (2003): Plant cell wall degradation in the rumen: ecology, constraints to digestion and modelling. In: Matching herbivore nutrition to ecosystems biodiversity. Eds. C.A. SANDOVAL-CASTRO and J.C. KU-VERA. Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Symposium on the Nutrition of Herbivores. Universidad Autonoma de Yucatan, Mexico, pp. 129-150.
- KRAUSE, K.M., D.K. COMBS (2003): Effects of forage particle size, forage source and grain fermentability on performance and ruminal pH in midlactating cows. *J. Dairy Sci.* 86, 1382-1397.
- KRISTENSEN, V.F., P. NØRGAARD (1987): Effects of roughage quality and physical structure of the diet on feed intake and milk yield of dairy cows. In: Research in Cattle Production. Danish Status and Perspectives. Contribution in Honour of A. NEIMANN-SØRENSEN. B. BECH-ANDERSEN, P.H. PETERSEN, E. ANDERSEN, V. OSTERGAARD, B. JENSEN, Eds. Landhusholdningselskabets Forlag, Copenhagen, 79-91.
- LAMMERS, B.P., D.R. BUCKMASTER, and A.J. HEINRICHS (1996): A simple method for the analysis of particle size of forage and total mixed rations. *J. Dairy Sci.* 79, 922-928.
- LANGHANS, W. (1989): Die Regulation der Futteraufnahme beim Wiederkäuer. Schweiz. Arch. Tierheilkde. 131, 117-126.
- LE LIBOUX, S. and J.L. PEYRAUD (1998): Effects of forage particle size and intake level on fermentation patterns and sites and extent of digestion in dairy cows fed mixed diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 73, 131-150.
- LÖFFLER, K. (2002): Anatomie und Physiologie der Haustiere. 10. Auflage. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.
- MAEKAWA, M. K.A. BEAUCHEMIN and D.A. CHRISTENSEN (2002): Effects of concentrate level and feeding management on chewing activities, saliva production and ruminal pH of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85, 1165-1175.
- MALESTEIN, A., A. TH. VAN'T KLOOSTER (1986): Influence of ingredient composition of concentrates on rumen fermentation rate in vitro and in vivo and on roughage intake of dairy cows. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 55, 1-13.

- MARTIN, C., E. DEVILLARD, B. MICHALET-DOREAU (1999): Influence of sampling site on concentration and carbohydrate degrading enzyme activities of protozoa and bacteria in the rumen. *J. Anim. Sci.* 77, 979-987.
- MATTHÉ, A., P. LEBZIEN, G. FLACHOWSKY (2000): Zur Bedeutung von Bypass-Stärke für die Glucoseversorgung von hochleistenden Milchkühen. *Übers. Tierernähr.* 28, 1-64.
- MATTHÉ, A., P. LEBZIEN, P. HRIC, G. FLACHOWSKY, A. SOMMER (2001): Effects of starch application into the proximal duodenum of ruminants on starch digestibility in the small and total intestine. *Arch. Anim. Nutr.* 55, 351-369.
- MBANYA, J.N., M.H. ANIL, J.M. FORBES (1993): The voluntary intake of hay and silage by lactating cows in response to ruminal infusion of acetate or propionate, or both, with or without distension of the rumen by a balloon. *Brit. J. Nutr.* 69, 713-720.
- MC LEOD, M.N., MINSON, D.J. (1988): Large particle breakdown by cattle eating ryegrass and alfalfa. *J. Anim. Sci.* 66, 992-999.
- MENKE, K.H. (1984): Ein Modell zur Schätzung der Futteraufnahme und der Grundfutterverdrängung bei der Milchkuh. *Tierphys.; Tierernähr. u. Futtermittelkunde*, 52, 101-103.
- MERCHEN, N.R., ELIZALDE, J.C., DRACKLEY, J.K. (1997): Current perspective on assessing site of digestion in ruminants. *J. Anim. Sci.* 75, 2223-2234.
- MERTENS, D.R. (1993): Kinetics of cell wall digestion and passage in ruminants. In: *Forage cell wall structure and digestibility* (Eds. JUNG et al.), Madison, Wisconsin, USA, 538-566.
- MERTENS, D.R. (1994): Regulation of forage intake. In: *Forage Quality, Evaluation and Utilization*. Eds. G.C. FAHEY, JR., M. COLLINS, D. R. MERTENS and L.E MOSER. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison, WI.
- MERTENS, D.R. (1997): Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80, 1463-1481.
- MERTENS, D.R. (2000): Physical effective NDF and its use in dairy rations explored. *Feedstuffs April* 10, 11-14.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) (1989): *Nutrient Requirements of dairy Cattle*. 6 th Rev. Eds. Natl. Acad. Sci., (Washington DC).
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) (2001): *Nutrient Requirements of dairy Cattle*. 7 th Rev. Ed. Natl. Acad. Sci., (Washington DC).
- NØRGAARD, P. (1990): The use of time spend chewing in the formulation of optimal rations for dairy cows. In: *Einfluss der Gerüstsubstanzen und Futteraufnahme bei Wiederkäuern*. Kolloquium, Inst. f. Fütterung und Ernährungsschaden der Vet.-Med. Fak., Karl-Marx-Univ. Leipzig, 31-35.

- NOCEK, J.E., S. TAMMINGA (1991): Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effect on milk yield and composition. *J. Dairy Sci.* 74, 3598-3629.
- NULTSCH, W. (1996): *Allgemeine Botanik*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- OBA, M., and M. S. ALLEN (2000): Effects of brown midrib 3 mutation in corn silage on productivity of dairy cows fed two concentrations of dietary neutral detergent: 2. Chewing activities. *J. Dairy Sci.* 83, 1342-1349.
- OESTMANN, A., K.-H. SÜDEKUM, K. VOIGT & M. STANGASSINGER (1995): Zur Rolle von Lignin und phenolischen Monomeren in Futtermitteln für Wiederkäuer. I. Vorkommen, Funktion und Nachweisverfahren. *Übers. Tierernähr.*, 23, 105-131.
- OFFNER, A. D. SAUVANT (2004): Prediction of in vivo starch digestion in cattle from in situ data. *Anim. Feed Sci. Technol.* 112, 107-130.
- OKE, B.O. and S.C. LOERCH (1991): Effects of chemical treatments of cereal grains on in vitro dry matter disappearance and steer feedlot performance. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 34, 163-173.
- ORTH, A. und W. KAUFMANN (1964): Über den Einfluss der Struktur des Futters auf die Verdauungsvorgänge im Pansen. *Tierphys., Tierernähr. u. Futtermittelkde.*, 19, 144-155.
- OWENS, F.N., D.S. SECRIST, W.J. HILL, D.R. GILL (1998): Acidosis in cattle: a review. *J. Anim. Sci.* 76, 275-286.
- PIATKOWSKI, B., H. GÜRTLER, J. VOIGT (1990): *Grundzüge der Wiederkäuerernährung*. Gustav Fischer Verlag.
- POND, K.R., W.C. ELLIS, D.E. AKIN (1984): Ingestive Mastication and Fragmentation of forages. *J. Anim. Sci.* 58, 1567-1574.
- POPPI, D.P., B.W. NORTON (1980): The validity of the critical size theory for particles leaving the rumen. *J. Agric. Sci.* 94, 275-280.
- POPPI, D.P., R.E. HENDRICKSON and D. J. MINSON (1985): The relative resistance to escape of leaf and stem particles from the rumen of cattle. *J. Agric. Sci.* 40, 23-29.
- RUSSEL, J.B., J.D. O'CONNOR, G.D. FOX, P.J. VAN SOEST and C.J. SNIFFEN (1992): A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: Ruminant Fermentation. *J. Anim. Sci.* 70, 3551-3561.
- RUSSELL, J.B. & D.B. WILSON (1996): Why are ruminal cellulolytic bacteria unable to digest cellulose at low pH? *J. Dairy Sci.* 79, 1503-1509.
- SANTINI, F.J., A.R. HARDIE, N.A. JORGENSEN and M.F. FINNER (1983): Proposed use of adjusted intake based on forage particle length for calculation of roughage indexes. *J. Dairy Sci.* 66, 811-820.

- SARWAR, M. J.L. FIRKINS and M.L. EASTRIGE (1992): Effects of varying forage and concentrate carbohydrates on nutrient digestibility and milk production by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 75, 1533-1542.
- SCHWARZ F.J. (1997): Zur Futteraufnahme der Milchkuh. Internationale Vortragstagung, Rostock, Feb. 1997. Hrsg. J. VOIGT und H. HAGEMEISTER. Schriftreihe des Forschungsinstitutes für Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere, Heft Nr. 10, 14-26.
- SCHWARZ F.J. (2000): Fütterung hochleistender Milchkühe. 27. Viehwirtschaftliche Fachtagung, BAL Gumpenstein. S.19-26.
- SHAVER R.D., A.J. NYTES, L.D. SATTER, and N.A. JORGENSEN (1988): Influence of feed intake, forage physical form, and forage content on particle size of masticated forage, ruminal digesta, and feces of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 71, 1566-1572.
- SHRIVER, B.J., W.H. HOOVER, J.P.SARGENT, R.J. CRAWFORD, and W.V. THAYNE (1986): Fermentation of a high concentrate diet as affected by ruminal pH and digesta flow. *J. Dairy Sci.* 69, 413-419.
- SHUTTERLAND, T.M. (1988): Particle separation in the fore-stomachs of sheep. In: Aspects of digestive physiology in ruminants. Eds. A.DOBSON and M.J. DOBSON. Comstock Publishing Assoc. Ithaka, NY.
- SLATER, A.L., M.L. EASTRIDGE, J.L. FIRKINS and L.J. BIDINGER (2000): Effects of starch source and level of forage neutral detergent fiber on performance by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 83, 313-321.
- SPANGHERO, M., L. GRUBER, B. STEFANON, P. SUSMEL (1999): The estimation of the rumen rate of passage of dietary NDF from degradability and digestibility data in cows. *Livest. Prod. Sci.* 60, 71-79.
- STEINWIDDER, A., E. ZEILER (2003): Einfluss von Partikellänge und Trockenmassegehalt von Grassilagen bei unterschiedlichem Kraftfutterniveau auf Pansenparameter, Verdaulichkeit und Futteraufnahme von Rindern. 30. Viehwirtschaftliche Fachtagung, BAL Gumpenstein. S.1-21.
- STROBEL H.J. and J.B. RUSSEL (1986): Effects of pH and energy spilling on bacterial protein synthesis by carbohydrate - limited cultures of mixed rumen bacteria. *J. Dairy Sci.* 69, 2941-2947.
- SUDWEEKS, E. M., L. O. ELY, D. R. MERTENS and L. R. SISK (1981): Assessing minimum amounts and form of roughages in ruminant diets: roughage value index system. *J. Anim. Sci.* 53, 1406-1411.
- SÜDEKUM, K.-H. (1999): Wiederkäuergerechte Ernährung der Hochleistungskuh. 29. Viehwirtschaftliche Fachtagung, BAL Gumpenstein. S.1-8.
- SUSENBETH, A., R. MAYER, B. KOEHLER und O. NEUMANN (1998): Energy requirement for eating in cattle. *J. Anim. Sci.*, 76, 2701-2705.
- SUTTON, J.D. (1989): Altering milk composition by feeding. *J. Dairy Sci.* 72, 2801-2809.

- TAJAJ, M. (1996): Untersuchungen zu einigen fütterungstechnischen Maßnahmen zur Verbesserung der Ausnutzung faserreichen Grundfutters beim Wiederkäuer. Dissertation, Universität Hohenheim.
- TAJAJ, M., H. STEINGASS A. SUSENBETH, G.U. LANG and W. DROCHNER (1999): Einfluß der Partikellänge von Heu auf Verdauungsvorgänge und Futteraufnahme bei Wiederkäuern bei Variation von Kraftfutter- und Fütterungsniveau. Arch. Anim. Nutr. 52, 167-184.
- TAJAJ, M., H. STEINGASS and W. DROCHNER (2001): Influence of hay particle size at different concentrate and feeding levels on digestive processes and feed intake in ruminants. 2. Passage, digestibility and feed intake. Arch. Anim. Nutr. 54, 243-259.
- TAJAJ, M., Q. ZEBELI, B. JUNK, W. DROCHNER (2004a): Influence of particle size of grass silage fed as TMR on chewing activity and rumen fermentation on high - yielding dairy cows. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 13, 76.
- TAJAJ, M., B. JUNK, A. MAULBETSCH, H. STEINGASS, PIEPHO, H.-P. and W. DROCHNER (2004b): Digesta characteristics of dorsal, middle and ventral rumen of cows fed with different hay qualities and concentrate levels. Arch. Anim. Nutr. 58, 325-342.
- TAJAJ, M., A. MAULBETSCH, Q. ZEBELI, H. STEINGASS and W. DROCHNER (2005): Effects of physical effective fibre concentration of diets consisting of hay and slowly degradable concentrate on chewing activity in mid lactating dairy cows under constant intake level. Arch. Anim. Nutr. 59, 313-324.
- TAJAJ, M., Q. ZEBELI, A. MAULBETSCH, , H. STEINGASS and W. DROCHNER (2006): Effects of fibre concentration of diets consisting of hay and slowly degradable concentrate on ruminal fermentation and digesta particle size in mid-lactating dairy cows. Arch. Anim. Nutr. 60, 254-266.
- TAMMINGA, S., A.M. VAN VUUREN, C.J. VAN DER KOELEN, R.S. KETELAAR, P.L. VAN DER TOGT (1990): Ruminal behaviour of structural carbohydrates, non-structural carbohydrates and crude protein from concentrate ingredients in dairy cows. Neth. J. Agric. Sci. 38, 513-526.
- THEANDER, O. (1989): Plant cell walls - their chemical properties and rumen digestion. In: The role of protozoa and fungi in ruminant digestion. Eds. J. V. NOLAN, R. A. LENG & D. I. DEMEYER, Penabul Books, Armidale NSW, Australia, 1-12.
- ULBRICH, M., M. HOFFMANN, W. DROCHNER (2004): Fütterung und Tiergesundheit. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.
- ULYATT, M.J., D.W. DELLOW, A.JOHN, C.S.W. REID, G.C WAGHORN (1986): Contribution of chewing during eating and rumination to the clearance of digesta from the ruminoreticulum. In: Control of Digestion and Metabolism in Ruminants. Eds. L.P. MILLIGAN, W.L. GROVUM, A. DOBSON. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., pp. 498-515.

- VALADARES, S.C., G.A. BRODERICK, R.F.D. VALADARES, M.K. CLAYTON (2000): Effect of replacing alfalfa silage with high moisture corn on nutrient utilization and milk production. *J. Dairy Sci.* 83, 106-114.
- VAN SOEST, P.J. (1965): Symposium of factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants: Voluntary intake in relation to chemical composition and digestibility. *J. Anim. Sci.* 24, 834-843.
- VAN SOEST, P.J. (1994): Nutritional ecology of the ruminant. Cornell University Press, 2. Auflage.
- VOELKER, J.A. and M.S. ALLEN (2003a): Pelleted beet pulp substituted for high-moisture corn: 1. Effects on feed intake, chewing behaviour, and milk production of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86, 3542-3552.
- VOELKER, J.A. and M.S. ALLEN (2003b): Pelleted beet pulp substituted for high-moisture corn: 2. Effects on digestion and ruminal digestion kinetics in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86, 3553-3561.
- VOELKER, J.A. and M.S. ALLEN (2003c): Pelleted beet pulp substituted for high-moisture corn: 3. Effects on ruminal fermentation, pH, and microbial protein efficiency in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86, 3562-3570.
- WALDO, D. R. (1986): Effect of forage quality on intake and forage-concentrate interactions. *J. Dairy Sci.* 69, 617-631.
- WELCH, J.G. (1982): Rumination, particle size and passage from the rumen. *J. Anim. Sci.* 54, 885-894.
- WEIDNER, S.J. and R.J. GRANT (1994a): Soyhulls as a replacement for forage fiber in diets for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77, 513-521.
- WEIDNER, S.J. and R.J. GRANT (1994b): Altered ruminal mat consistency by high percentages of soybean hulls fed to lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77, 522-532.
- WEISS, W.P. and W.L. SHOCKEY (1991): Value of orchardgrass and alfalfa silage fed with varying amounts of concentrates to dairy cows. *J. Dairy Sci.* 74, 1933-1943.
- WEISSBACH, F. (1993): Grünfütter und Grünfütterkonservate. In: Futtermittelkunde, Hrsg. H. JEROCH, G. FLACHOWSKI, F. WEISSBACH. Gustav Fischer Verlag Jena Stuttgart.
- WESTON, R.H. & P.M. KENNEDY (1984): Various aspects of reticulorumen digestive function in relation to diet and digesta particle size. In: Techniques in particle size analysis of feed and digesta in ruminants. Ed. P.M. KENNEDY. Proceedings of a Workshop held at the Banff Centre, Banff, Canada, pp. 1-17.
- WESTON, R.H., J.R. LIMSAY, D.W. PETER, D.J. BUSCALL (1989): Factors limiting the intake of feed by sheep. XIV. Comparison of voluntary feed consumption and various transactions in the alimentary tract between lambs and sheep fed roughage diets. *Austr. J. Agric. Res.* 40, 625-643.

- WOODFORD, S.T., and M.R. MURPHY (1988): Effect of forage physical form on chewing activity, dry matter intake, and rumen function of dairy cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 71, 674-686.
- YANG, W.Z., K.A. BEAUCHEMIN and L.M. RODE (2001): Effects of grain processing, forage to concentrate ratio, and forage particle size on rumen pH and digestion by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84, 2203-2261.
- YANG, W.Z., K.A. BEAUCHEMIN (2005): Effects of physically effective fiber on digestion and milk production by dairy cows fed diets based on corn silage. *J. Dairy Sci.* 88, 1090-1098.
- YANG, W.Z., K.A. BEAUCHEMIN (2006a): Physical effective fiber: Method of Determination and effects on chewing, ruminal acidosis, and digestion by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89, 2618-2633.
- YANG, W.Z., K.A. BEAUCHEMIN (2006b): Increasing the physical effective fiber content of dairy cow diet may lower efficiency of feed use<sup>1</sup>. *J. Dairy Sci.* 89, 2694-2704.
- YANSARI, T., R. VALIZADH, A. NASERIAN, D.A. CHRISTENSEN, P. YU and F.E. SHAHROODI (2004): Effects of alfalfa particle size and specific gravity on chewing activity, digestibility and performance of Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87, 3912-3924.
- ZEBELI, Q., M.TAJAJ, H. STEINGASS, B. METZLER and W. DROCHNER (2006): Effects of physically effective fiber on digestive processes and milk fat content in early lactating dairy cows fed total mixed rations. *J. Dairy Sci.* 89, 651-668.

**KAPITEL II**

---

**Einfluss der Partikellänge des Heus und des Kraftfutterniveaus in der Ration auf die Kauaktivität, Fermentation im Pansen, Passage und Verdaulichkeit von Nährstoffen bei leicht restriktiv gefütterten Milchkühen**

## 2.1. Einleitung

Bei der Entwicklung tiergerechter Fütterungsstrategien für hochleistende Milchkühe gewinnt der Status des Pansenmilieus zunehmend an Bedeutung, da im Pansen Nährstoffe, die mit körpereigenen Enzymen nicht verdaut werden können, wie  $\beta$ -glycosidisch gebundene Kohlenhydrate, mikrobiell abgebaut und dem Tier für die Nutzung verfügbar gemacht werden können. Zudem erzeugen die Mikroorganismen auch verschiedene Nährstoffe, wie Aminosäuren und B-Vitamine, die zur Versorgung des Nutztieres beitragen. Die Partikellänge (PL) des Grundfutters (GF), der Fasergehalt und der Anteil an Kraftfutter (KF) in der Ration sind wichtige Faktoren, welche die Verdauungsvorgänge und die Syntheseleistung der Mikroorganismen (MO) im Pansen beeinflussen können, da aus diesen maßgeblich die Strukturwirksamkeit von Milchkurrationen resultieren (DE BRABANDER *et al.*, 2002).

Eine höhere Aufnahme an schnell fermentierbaren Kohlenhydraten führt zu einer plötzlichen Erhöhung der kurzkettigen Fettsäuren (SCFA) und zu einer Senkung des pH-Wertes (ALLEN, 1997). Dadurch wird die Aktivität der faserspaltenden MO im Pansen gestört und folglich sinkt die Verdaulichkeit der Faserbestandteile im Futter (VAN SOEST, 1994) und die mikrobielle Proteinsynthese (YANG & BEAUCHEMIN, 2004) ist stark beeinträchtigt. YANG & BEAUCHEMIN (2004) stellten in ihren Untersuchungen fest, dass mit einer Reduzierung des KF-Niveaus in der Ration von 65 auf 45 % die Effizienz der mikrobiellen Proteinsynthese um 12 % erhöht wurde. KRAUSE *et al.* (2002) konnten hingegen einen positiven Einfluss des Anteils an ruminal fermentierbaren Kohlenhydraten auf die mikrobielle Proteinsynthese beobachten.

Nach dem NRC (2001) ist für die Aufrechterhaltung der Kauaktivität, eines physiologisch normalen pH-Wertes im Pansen und des Milchfettgehaltes bei Fütterung von Luzernerationen eine minimale PL von 3 mm notwendig. TEIMOURI YANSARI *et al.* (2004) konnten bei Luzerne- und Maissilage jedoch erst bei einer Reduktion der PL auf 2 mm eine Beeinträchtigung der Kauaktivität und einen Rückgang des pH-Wertes und des Actetat (C2) / Propionat (C3) Verhältnisses im Pansen beobachten. Eine Abnahme der PL des Heus auf 9,2 mm und von Maissilage auf 10 mm führte bei Untersuchungen von TAJAJ *et al.* (1999, 2001a) zu keinen negativen Effekten hinsichtlich des Pansenmilieus und der Faserverdaulichkeit. KONONOFF & HEINRICHS (2003) berichten hingegen nur von einer geringfügigen Senkung des pH-Wertes, als die PL des Heus von 22,3 auf 4,3 mm reduziert wurde. Die Autoren sind der Meinung, dass bei einem ausreichenden NDF-Gehalt in der Ration, die PL des GF nicht mehr der entscheidende Faktor bei der Regulierung des pH-Wertes im Pansen ist. KRAUSE *et al.* (2002a,b) finden einen Rückgang in der Kauaktivität

und des pH-Wertes im Pansen sowohl bei einer reduzierten PL von Luzernesilage als auch bei einer Erhöhung des Anteils von schnell fermentierbaren Kohlenhydraten in der Ration. Nach STONE (2004) beeinträchtigt eine abnehmende PL des GF in Kombination mit einem hohen KF-Niveau die Kauaktivität und die Abpufferung des Pansens stark, wodurch der pH-Wert gesenkt wird. Trotz zahlreicher Untersuchungen zu dieser Thematik sind KONONOFF & HEINRICHS (2003) der Meinung, dass die Wechselwirkungen zwischen der PL des GF, des NDF-Gehaltes und des Anteiles an leicht fermentierbaren Kohlenhydraten weiter erforscht werden sollten, um die Zusammenhänge besser interpretieren zu können.

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung war es daher, in Rationen von Milchkühen den Einfluss unterschiedlicher Partikellängen von Heu in Kombination mit dem Faktor KF-Niveau auf die Kaskade der Verdauungsvorgänge (Kauaktivität, Fermentationsparameter im Pansen, Futter- und Flüssigkeitspassage, Nährstoffverdaulichkeit) sowie auf die mikrobielle N-Synthese bei Milchkühen zu prüfen.

\*Der Versuch wurde von der H.W. Schaumann-Stiftung in Form eines Doktoranden-Stipendiums unterstützt.

## 2.2. Material und Methoden

### 2.2.1. Versuchsschema

Der Versuch wurde am Institut für Tierernährung in Hohenheim in der Zeit vom 23.12.2003 - 29.03.2004 nach der Methode des lateinischen Quadrates (4 x 4) mit 2 x 2 Anordnung der Behandlungen durchgeführt. Es wurden zwei Partikellängen eines faserreichen Heus (lang bzw. kurz) und zwei Stufen (20 % bzw. 55 %) einer schnell abbaubaren Kraftfuttermischung zu insgesamt 4 unterschiedlichen Rationen kombiniert. Das Versuchsschema und der zeitliche Ablauf des Versuches ergeben sich aus den Tabellen 8 und 9.

Tabelle 8: Versuchsschema

Versuchsreihe	<i>Tier/ Ration<sup>a</sup></i>			
	Tier 1	Tier 2	Tier 3	Tier 4
I	20+K	20+L	55+K	55+L
II	20+L	55+K	55+L	20+K
III	55+K	55+L	20+K	20+L
IV	55+L	20+K	20+L	55+K

<sup>a</sup> 20+K = 20% KF + Heu kurz (6 mm), 20+L = 20% KF + Heu lang (30mm), 55+K = 55% KF + Heu kurz, 55+L = 55% KF + Heu lang.

Tabelle 9: Versuchablauf

	<i>Dauer in Tagen</i>	<i>von...bis Tag</i>
Anfütterung	10	1.-10.
TiO <sub>2</sub> -Gabe	9	11.-19.
Markergabe für Passage	1*Dosis	14.
Wiederkaumessung	10	11.-20.
Passagerate, Verdaulichkeit, Kotproben	7	14.-20.
Harnproben für N-Bilanz	7	14.-20.
Pansenfermentation	2	21.-22.
<i>In situ</i> Untersuchungen	3	23.-25.
Dokumentation Futteraufnahme	16	14.-29.

### 2.2.2. Versuchstiere und Haltung

Für die Untersuchungen standen 4 pansenfistulierte (Kanüle: Ø 100 mm, Bar Diamond, Parma ID) Milchkühe der Rasse „Deutsche Holstein“ zur Verfügung. Die Kühe befanden sich zu Versuchsbeginn in der letzten Laktationsphase (195 ± 35 Laktationstag) und wiesen eine Milchleistung von etwa 20 kg/ Tag auf. Die durchschnittliche Lebensmasse der Kühe betrug 665 ± 49 kg.

In der 10-tägigen Anfütterungsphase wurden die Kühe in Einzelboxen auf Holzspänen gehalten. Um eine genaue Ermittlung der Kauaktivität und der Futteraufnahme zu ermöglichen, sowie eine zusätzliche Faseraufnahme aus Einstreu auszuschließen, wurden die Kühe in der zweiwöchigen Versuchsphase in Anbindehaltung auf Gummimatten aufgestellt. Zu Beginn sowie am Ende jeder Versuchsphase erfolgte vor der Morgenfütterung die Wägung der Tiere. Die Kühe wurden zweimal täglich um 7.00 und um 15.00 Uhr gemolken.

Alle Vorgehensweisen am Tier wurden vom Tierschutzausschuss des Regierungspräsidiums Stuttgart genehmigt.

### 2.2.3. Futter und Fütterung

Für die vier Fütterungsvarianten wurde ein faserreiches Heu mittlerer Qualität aus dem zweiten Schnitt in die zwei folgenden Partikellängen zerkleinert: **lang** → 30 mm und **kurz** → 6 mm.

Für die Variante „lang“ wurde das Heu mit einem Häcksler (Gebrüder Botsch, type 28, Bad Rappenau, Germany) auf 30 mm gehäckselt. Für die Variante „kurz“ wurde das gehäckselte Heu nochmals mit einer Strohühle (Siebporengröße 6 mm) (Lasco Heu-Technik GmbH, Lochen, Austria) gemahlen. Die Versuchsrationen wurden mit zwei unterschiedlichen KF-Mischungen ergänzt, die sich wie folgt zusammensetzten. **KF I**: 44 % Weizen, 41 % Gerste, 7,3 % Melasseschnitzel, 5 % Sojaextraktionsschrot, 44, 1 % Harnstoff und 1,7 % Vitamin-

Mineralfutter für Rinder. KF I wurde bei den Rationsvarianten mit hohem KF-Anteil bzw. niedrigem GK : KF-Verhältnis eingesetzt. KF II: 45 % Weizen, 41 % Gerste, 4 % Melasseschnitzel, 5 % Sojaextraktionsschrot, 44, 2 % Harnstoff und 3 % Vitamin-Mineralfutter für Rinder. KF II wurde als Ausgleichsfutter in der Variante mit niedrigem KF-Anteil, bzw. hohem GF : KF-Verhältnis den Tieren verabreicht. KF II wies einen etwas höheren XP-Gehalt sowie eine höhere Konzentration an Vitamin-Mineralfutter auf. Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung der beiden Heuvarianten waren nicht gegeben. Bei der Rationsformulierung wurden die Nährstoffansprüche einer 650 kg schweren Kuh mit einer Milchleistung von 20 kg/ Tag und einem MilCHFett-Gehalt von 4 % zugrunde gelegt (GfE, 2001). Die chemische Zusammensetzung und die Abbaucharakteristika der beiden KF-Mischungen und des Heus sind in Tabelle 10 aufgeführt.

Tabelle 10: Chemische Zusammensetzung des Heus (n = 4) und der beiden KF-Mischungen I und II (n = 4).

Parameter	Rationskomponenten		
	Heu	KF I	KFII
TM, %	88,1 ± 0,7	89,2 ± 1,2	89,5 ± 1,3
% i.d. TM			
XA	8,9 ± 0,3	4,4 ± 0,2	5,7 ± 0,8
XL	1,7 ± 0,2	2,3 ± 0,1	2,2 ± 0,2
XP	11,3 ± 0,4	17,1 ± 0,3	19,5 ± 1,4
XF	29,3 ± 1,4	4,3 ± 0,3	4,2 ± 0,6
NFC <sup>a</sup>	21,5 ± 1,5	54,1 ± 2,3	52,6 ± 0,6
NDF	56,6 ± 1,7	22,1 ± 1,7	19,9 ± 0,6
ADF	34,5 ± 1,3	5,8 ± 0,3	5,5 ± 0,7
ADL	2,9 ± 0,3	1,2 ± 0,2	1,0 ± 0,2
NEL, MJ kg/ TM <sup>b</sup>	5,2	8,4	8,1
a+b <sup>c</sup> , ml	56,8	81,2	77,4
k <sub>d</sub> ,h <sup>-1</sup>	0,055	0,164	0,163

<sup>a</sup> NFC = 100-NDF-XP-XL-XA.

<sup>b</sup> im HFT ermittelt.

<sup>c</sup> a, b, K<sub>d</sub>, = Konstanten der exponentiellen Funktion nach KHAZAAL *et al.* (1993); a+b = potentielle Gasbildung (ml/ 200 mg TM); k<sub>d</sub> = Gasbildungsrate.

Zweimal wöchentlich wurden aus dem Heu und dem KF Proben entnommen und zur Rohnährstoffanalyse verwendet. Die Fütterung wurde auf 17 kg TM pro Tier und Tag festgelegt. Das Heu und das KF wurden den Kühen separat verabreicht, um eine vollständige Aufnahme des Kraftfutters inklusiv Titanoxid-Marker zu sichern. Die Vorlage der Kraftfütterration erfolgte bei niedrigem KF-Niveau zweimal (8.00 und 16.00 Uhr) und bei hohem KF-Niveau viermal am Tag (8.00, 12.00, 16.00 und 19.00 Uhr). Der Heuanteil wurde

auf die Morgen- und Abendfütterung verteilt (8.00 und 16.00 Uhr). Vor jeder Morgenfütterung wurden die Futterreste des vorherigen Tages entnommen und rückgewogen. Das Tränkwasser stand den Tieren ganztägig *ad libitum* zur Verfügung. Die Charakterisierung der Versuchsrationen und das Fütterungsniveau gehen aus Tabelle 11 hervor.

Tabelle 11: Futteraufnahme und Charakterisierung der Versuchsrationen (n = 4<sup>a</sup>).

Parameter	Ration <sup>b</sup>				
	20+K	20+L	55+K	55+L	SEM
Mittlere Lebendmasse, kg	687,6	690,9	684,0	673,0	7,93
KF-Anteil, %	20,6	22,2	55,2	56,0	3,06
TM-Aufnahme, kg /d	16,6	15,5	15,6	15,8	0,65
TM-Aufnahme, % d. LM	2,41	2,24	2,28	2,35	0,10
TM-Aufnahme <sub>Heu</sub> , kg /d	13,2	12,1	6,8	6,8	0,49
TM-Aufnahme <sub>KF</sub> , kg/ d	3,4	3,4	8,8	9,0	0,75
<b>Chemische Zusammensetzung, % i.d. TM</b>					
XF	24,3	24,2	14,3	14,3	-
NDF	49,0	49,5	35,8	36,0	-
NDF <sub>Heu</sub>	45,0	45,5	22,5	22,7	-
NFC <sup>c</sup>	27,9	27,5	41,1	41,0	-
NFC : NDF	0,57	0,56	1,15	1,14	-
ADF	28,72	28,6	17,3	17,3	-
XP	13,0	12,9	14,8	14,8	-
NEL <sup>d</sup> , MJ/kg TM	5,87	5,79	7,18	7,14	-
<b>Strukturbewertung der Ration</b>					
Strukturwirksame Faser <sup>e</sup> , g/ 100 kg LM	565	525	267	275	-
Strukturwert <sup>f</sup> , kg TM	2,92	2,91	1,43	1,42	-
peNDF <sup>g</sup> , % i.d. TM	42,1	44,8	25,6	26,9	-

<sup>a</sup> Lebendmasse und Futteraufnahme wurde an vier Tieren pro Versuchsperiode ermittelt.

<sup>b</sup> 20+K = 20% KF + Heu kurz (6 mm), 20+L = 20% KF + Heu lang (30mm), 55+K = 55% KF + Heu kurz, 55+L = 55% KF + Heu lang.

<sup>c</sup> Nicht-Faser-Kohlenhydrate (100-NDF-XP-XL-XA).

<sup>d</sup> im HFT ermittelt..

<sup>e</sup> Strukturwirksame Faser (nach HOFFMANN, 1990), Faktoren für Strukturwirksame XF:  
Heu = 1; KF = 0.

<sup>f</sup> Nach DE BRABANDER *et al.* (2002), Strukturwert (SW) der Ration (pro kg TM) = SW<sub>Heu</sub> + SW<sub>KF</sub>;  
SW<sub>Heu</sub> = [0,0125 \* XF (g/ kg) - 0,2] \* 1,06; SW<sub>KF</sub> = 0,321 + 0,00098 \* XF + 0,00025 \* bXSt - 0,00112 \* XZu + a \* (XSt - bXSt).

<sup>g</sup> Nach MERTENS (1997), physikalisch-effektive NDF [NDF-Gehalt (%) \* pe-Faktor des Futters],  
pe = Heu<sub>lang</sub> = 0,95; Heu<sub>kurz</sub> = 0,90; KF = 0,4.

### - Ermittlung der Partikelgrößenverteilung

Die Partikelverteilung in den Versuchsrationen wurde anhand eines Naß-Sieb-Verfahrens ermittelt. Dafür wurden Proben sowohl aus den beiden Heuvarianten als auch aus den KF-Mischungen verwendet. 40 g des Kraftfutters und 15 g des Heus wurden dabei in einen Plastikbehälter eingewogen und für eine Stunde in ca. 400 ml destilliertem Wasser

eingeweicht. Anschließend wurden die Proben 12 min lang über eine Kaskade von 7 Sieben mit abnehmender Porengröße (6.0, 4.0, 2.0, 1.18, 0.5, 0.125 und 0.063 mm) (Analytical Sieve Shakers, Fa. Kurt Retsch GmbH & Co KG, Haan, Typ AS 200 Digit) nass gesiebt. Partikel, die durch ein 0.063 mm Sieb passten, wurden als wasserlösliche Fraktion berücksichtigt. Die Partikel, die in den 7 Sieben nach der Siebung zurückblieben, wurden quantitativ in einen zuvor gewogenen Filter (No. 595½, Schleicher and Schuell, Dassel, Germany) überführt und 24 Stunden bei 80°C getrocknet. Nach 12 Stunden an Raumluft wurden die Proben zurückgewogen und daraus die prozentuale Partikelverteilung berechnet.

Die Summe der TM, die in den 6, 4, 2 and 1.18 mm Sieben verblieb, wurde als TM > 1.18 mm definiert. Der Gehalt an NDF > 1.18 mm wurde durch die Multiplikation von TM > 1.18 mm mit dem NDF-Gehalt des Futtermittels errechnet.

### **- Durchführung der Rohrnährstoffanalyse**

Die Rohrnährstoffanalyse der Versuchsfuttermittel und der Kotproben (TM, XA, XP, XF, XL) erfolgte nach NAUMANN und BASSLER (1997), während die NDF- und ADF-Gehalte nach VAN SOEST (1991) bestimmt wurden. Die Energiegehalte der Futtermittel wurden anhand des Hohenheimer Futterwert Test (HFT) nach MENKE & STEINGASS (1988) ermittelt und die jeweiligen Abbaucharakteristika nach einer 72-stündigen *in vitro* Inkubation berechnet, wodurch sich die Gasbildungsrate nach der Anpassung an eine exponentiellen Funktion (KHAZAAL *et al.*, 1993) ergibt. Sowohl die Futterproben als auch die Kotproben wurden vor der Analyse drei Tage bei 60°C getrocknet und anschließend in einer Schneidmühle (Siebweite 0,7 mm) gemahlen.

## **2.2.4. Versuchsparemeter**

### **2.2.4.1. Futteraufnahme**

Die Grund- und Kraftfutteraufnahmen wurden täglich tierindividuell erfasst. Dabei wurde die Differenz aus angebotener TM und Futterrest TM ermittelt.

Von den Futterresten wurden täglich Proben entnommen und in einem Sammelbehälter bei 4°C im Kühlraum aufbewahrt. Zu Versuchende wurden die Sammelproben gründlich durchmischt und Proben für die TM-Bestimmung und die Rohrnährstoffanalyse entnommen.

#### 2.2.4.2. Verdaulichkeit der Rohnährstoffe

Die Verdaulichkeit der Rohnährstoffe wurde anhand des exogenen Indikators Titandioxid ( $\text{TiO}_2$ ) aus den Konzentrationsänderungen in Futter und Kot errechnet. Den Kühen wurden täglich 40 g des Markers im KF-Anteil verabreicht. Die Dosis wurde auf zwei Mahlzeiten am Tag verteilt. Nach einer dreitägigen Anfütterung des Markers folgte eine siebentägige Kotsammelperiode. Der Kot wurde den Tieren mehrmals täglich rektal entnommen und während des Versuches im Kühlraum bei  $4^\circ\text{C}$  als Sammelprobe gelagert. Am Ende jeder Versuchsperiode wurde der gesammelte Kot homogenisiert. Der Stickstoffgehalt wurde im Frischkot analysiert, während das Titanoxid, die Rohnährstoffe sowie das Kalium im Trockenkot ermittelt wurden. Dafür wurden die Proben bei  $60^\circ\text{C}$  getrocknet und anschließend mit einer Mühle (Fa. Retsch) auf 0,7 mm gemahlen.

##### - Titananalytik

Die im Kot und in den Futterresten enthaltene  $\text{TiO}_2$ -Konzentration wurde nach der Methode von BRANDT und ALLAM (1987) (modifiziert) bestimmt. Jeweils 1 g jeder Kot- bzw. Futterprobe wurde in ein N-freies Papier eingewogen und nach Kjeldahl aufgeschlossen. Anschließend wurden die aufgeschlossenen Proben in einen 100 ml Messkolben überspült. Am darauf folgenden Tag wurde der Inhalt filtriert, wobei die ersten 5 ml des Filtrates verworfen wurden. Die Messung des Titangehaltes erfolgte mit einem Spektralphotometer (Beckmann DU 640) bei einer Wellenlänge von 405 nm. Hierfür wurde ein Titanstandard mit einer dreistufigen Verdünnungsreihe hergestellt (Fluka, 03796). Zur Bestimmung von Mess- und Blindproben wurden jeweils 5 ml von den filtrierten Kot- und Futterproben sowie von der Verdünnungsreihe in Reagenzgläser pipettiert. In alle Proben wurde 1 ml einer 2 normalen Schwefelsäure gegeben, in die Blindprobe kam zusätzlich 1 ml destilliertes Wasser. Unmittelbar vor der Messung wurde 1 ml 30 % iges Wasserstoffperoxid in die Messproben pipettiert und diese mit dem Whirlmix umgerührt. Die Konzentration des Titans wurde durch die lineare Regression aus den Eichpunkten des Standards ermittelt, wobei die Extinktion (Ext.) der Messwert nach Abzug des Blindwerts ist.

$$Y (\text{Ext.}) = a + b * (\text{Konzentration})$$

Die tägliche Kotmenge und die Verdaulichkeit der Trockenmasse wurden mit folgenden Formeln berechnet:

$$\text{Kot [g TM/ Tag]} = (\text{Indikatoraufnahme [g/ Tag]} * 100) / \text{Indikatorkonzentration im Kot [\%]}$$

$$\text{TM Verdaulichkeit [\%]} = ((\text{TM Aufnahme} - \text{TM Kotmenge}) / \text{TM Aufnahme}) * 100$$

Aus der chemischen Zusammensetzung der Futter- und Kot-TM wurden die Verdaulichkeiten der Nährstoffe berechnet.

#### - Bestimmung der Kaliumkonzentration

Für die Kaliumanalyse wurden die Proben bei 450-500°C verascht und nach dem Abkühlen auf einem siedenden Wasserbad abgeraucht. Unter Zugabe von Salpetersäure wurden die Proben abfiltriert und anschließend die Kaliumkonzentration am Atomabsorptions-Spektrometer (Spectra AA, Varian, 220 FS) (Wellenlänge 404,4nm, Spaltenbreite 0,5 nm) gemessen.

#### 2.2.4.3. Untersuchungen zur Kauaktivität

Untersuchungen zur Kauaktivität erfolgten an allen vier Kühen. Zur Auswertung wurden vier vollständig aufgezeichnete Messtage pro Tier verwendet. Die Datenerhebung und das Auswertungsprogramm basierte auf der Technik von SUSENBETH *et al.* (1998). Hierbei wurden die Kauschläge der Kühe mit Hilfe eines Luftschlauches aus weichem Silikon, der an einem Nylonhalfter entlang des Unterkieferriemens bis hin zum Genickstück befestigt war, pneumatisch ermittelt. Oberhalb des Genickstückes befand sich eine Kupplung mit Drehgelenk, welches ein Abknicken des Schlauches verhinderte.

Der durch die Kaubewegungen des Tiermauls erzeugte Luftwiderstand wurde als Impuls über den Silikonschlauch an die Messeinheit weitergeleitet und gespeichert. Die so aufgezeichneten Daten konnten anschließend mit einem speziell dafür entwickelten Programm ausgewertet werden, welches mit den folgenden Bedingungen arbeitete:

- Die *Kauzeit* wird als eine Zeitspanne zwischen zwei Impulsen definiert, die weniger als 10 sec beträgt.
- Für die *Kauschläge* wird eine Zeitspanne von 4 sec definiert, in der mindestens zwei Impulse erfolgen.
- Ein *Bissen* ergibt sich aus mehr als 10 Kauschlägen.
- Eine *Pause* zwischen den Bissen wird definiert, wenn innerhalb von 4 sec kein Bissen erfolgt.
- *Wiederkauperiode* können durch Darstellung aller Impulse auf dem Bildschirm des Computers erkannt werden, da sich diese als regelmäßig wiederkehrende Serien von Kauschlägen kennzeichnen lassen.

Zur Charakterisierung des Kauverhaltens wurden schließlich folgende Parameter ermittelt: Gesamtzahl der Kauschläge; Kauzeit; Wiederkauzeit; Anzahl der Wiederkauschläge; Anzahl der Wiederkauperioden; Anzahl der Bissen während einer Wiederkauperiode sowie Kauschläge pro Bissen.

#### **2.2.4.4. Bestimmung der Futter- und Flüssigkeitspassage**

Die Flüssigkeitspassage wurde mit Hilfe des LiCo-EDTA \* 3H<sub>2</sub>O-Komplexes bestimmt. Zur Messung der Futterpassage wurden markierte Heupartikel, mit Yb als Yb-NDF, verwendet. Für die Herstellung des Yb-NDF wurde ein faserreiches Heus auf 2 mm gemahlen und die Partikel zwischen 1-2 mm ausgesiebt und für die nachfolgende Markierung mit Yb verwendet. Die Vorbereitung der Marker ist bei UDEN *et al.* (1980) und MAMBRINI & PEYRAUD (1997) im Detail beschrieben.

#### **- Markerverabreichung**

146 g Yb-NDF und 15 g LiCo-EDTA wurden als „Puls Dose“ am 11. Tag jedes Durchganges vor der Morgenfütterung den Tieren direkt durch die Pansenfistel in den Pansen verabreicht. Der vorher verflüssigte LiCo-EDTA Marker konnte mit Hilfe eines Schlauches in den ventralen Pansen fließen, während das Yb-NDF manuell auf die kraniale Fasermatte im Pansen gelegt wurde. Zur Bestimmung des Nullpunktes und als Matrix für die Standardvorbereitung der Yb- und Co-Analyse wurde vor Verabreichung der Marker eine Kotprobe rektal entnommen. Die Entnahme der Kotproben (ca. 200 g) begann 4 Stunden nach der Markerverabreichung und erfolgte 7 Tage lang zu folgenden Zeitpunkten (in Stunden nach der Markerverabreichung): 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 40, 48, 52, 56, 60, 70, 72, 80, 84, 96, 104, 108, 120, 128, 132 und 144 Stunden. Die Proben wurden 72 Stunden lang bei 60°C getrocknet und anschließend auf 1 mm gemahlen.

#### **- Yb- und Co-Analyse**

Zur Analyse der Yb- und Co-Konzentration im Kot wurden 0,5 g des getrockneten Materials in 50 ml PTFE-Aufschlussgefäße eingewogen und nach Zugabe von 5 ml konzentrierter Salpetersäure (65% suprapur, Fa. Merck) bei 180°C über 265 Minuten in einer Druckaufschlussapparatur nach Tölg aufgeschlossen. Nach dem Aufschluss wurden die Gefäße geöffnet und etwa 30 Minuten auf einer Heizplatte bei 50°C abgeraucht, um die beim Aufschluss entstandenen nitrosen Gase zu entfernen. Die Aufschlusslösungen wurden in 50 ml Messkolben überführt und mit 1 ml einer 10 % igen KCl (p.a. Fa. Merck) versetzt und

anschließend bis zur Markierung mit bidestilliertem Wasser aufgefüllt. Nach ordentlichem Durchmischen der Proben wurden diese über einen Trichter mit Faltenfilter (Fa. Macherey und Nagel, 15 cm Durchmesser, No 615 ¼) in 50 ml Plastikgefäße zur Aufbewahrung filtriert. Die Messung der Yb- Co-Konzentration erfolgte am Atomabsorptions-Spektrometer (Spectra AA, Varian, 220 FS) durch eine oxidierende Luft-Acetylen-Flamme gegen Standard mit Kotmatrix (Yb = 398,8 nm, Co = 240,7 nm) (TAF AJ *et al.*, 2001a).

#### **- Ermittlung der Passageparameter**

Die Passageparameter wurden anhand des Statistikprogrammes SAS (2001) mit der Option PROC NLIN (iterative Marquard Methode) analysiert und nach einem Modell von MOORE *et al.* (1992) berechnet. Das Modell beinhaltet folgende Parameter:

- $k_s$ : Passagerate im ersten Kompartiment mit langsamer Passage (Pansen, Haube)
- $k_f$ : Passagerate im zweiten Kompartiment mit rascher Passage (post ruminaler Trakt)
- $TD$ : Zeit zwischen der Markereingabe und erstem Auftreten des Markers im Kot.  $TD$  = Zeitverzögerung
- $FMRT$ : mittlere Verweilzeit im zweiten Kompartiment,  $FMRT = 1/k_f$
- $RMRT$ : mittlere Verweilzeit im Pansen,  $RMRT = 1/k_s$
- $TMRT$ : mittlere Verweilzeit im gesamten Verdauungstrakt,  $TMRT = RMRT + FMRT + TD$

#### **2.2.4.5. Parameter der Pansenfermentation**

Die Messung der Fermentationsparameter im Pansen erfolgte 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23 Stunden nach der Morgenfütterung und wurden jeweils in der flüssigen (FRL, Free Rumen Liquid) und in der festen (SRF, Solid Rumen Fluid) Phase des Pansens untersucht. Die flüssige Phase des Panseninhaltes wurde den Tieren nach der etablierten Entnahmetechnik für den Hohenheimer Futterwerttest (STEINGASS & MENKE, 1988) entnommen. Dafür wurden 200 ml Pansensaft aus dem ventralen Bereich (5-10 cm über den Pansengrund) des Pansens mit Hilfe einer Vakuumpumpe abgepumpt. Die Entnahme der festen Phase erfolgte aus der Faserplatte des dorsalen Pansensackes (ca. 15-20 cm unterhalb der Gasblase) mit einem dafür geeigneten Entnahmegesäß (TAF AJ *et al.*, 2001b). Bei jeder Probenahme wurden in etwa 200 g Digestamaterial entnommen. Unmittelbar nach der Entnahme aus der SRF wurde die Digesta manuell abgepresst und durch eine Gaze filtriert. Die so gewonnene feste Phase enthielt somit die an Partikel gebundene Flüssigkeit und einen Teil der interstitiellen Flüssigkeit der festen Digesta. Nach der Entnahme wurden die Pansensaftproben in einem

thermostabilen Behälter ins Labor gebracht. Die Bestimmung des pH-Wertes erfolgte umgehend im frischen Pansensaft. Für die Analysen der CO<sub>2</sub>-, NH<sub>3</sub>- und SCFA-Konzentration wurden 50 ml des Pansensafts zunächst 20 Minuten lang bei 3500 U/ min und 4°C zentrifugiert. Der gewonnenen Überstand wurde dann für die oben genannten Analysen weiterverwendet.

#### - pH-Wert

Die Messung erfolgte direkt nach der Probenahme und Filtrierung des Pansensaftes mit einem Digital-pH-Meter (Fa. Schott). Das Gerät wurde vor jedem Messdurchgang kalibriert.

#### - CO<sub>2</sub>- Konzentration

Zur Bestimmung der CO<sub>2</sub>-Konzentration im Pansensaft wurden 5 ml des nach der Zentrifugation gewonnenen Überstandes mit 45 ml Aqua bidest verdünnt und mit 5 ml einer Vorbereitungslösung aus Natriumzitat und Salzsäure versetzt. Das freiwerdende CO<sub>2</sub> wurde mit einer Gasselektrode als Ladungsdifferenz gemessen. Der erhaltene Spannungswert wurde anhand einer vorher erstellten Eichkurve in die entsprechende CO<sub>2</sub>-Konzentration umgerechnet. Die Bicarbonatkonzentration wurde nach der Henderson-Hasselbalch'schen Gleichung folgendermaßen berechnet.

$$\text{pH} = \text{pK}_1 + \log \left( \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{HCO}_2]} \right)$$

pH = ermittelter pH-Wert

CO<sub>2</sub> = ermittelter CO<sub>2</sub>-Wert (mmol/l)

pK<sub>1</sub> = -log K, wobei K die Dissoziationskonstante ist

pK<sub>1</sub> des HCO<sub>3</sub> / CO<sub>2</sub>- Systems ist 6,1 für eine Temperatur von 37°C

#### - NH<sub>3</sub>- Konzentration

Der in den Pansensaftproben enthaltene Ammoniakstickstoff wurde mit einer Kjeldahl Destillationsapparatur (VAPODEST 4 Titramatic Fa. Gerhardt, Germany) analysiert. Die Destillation und Titration verlief gemäß dem Prinzip der Stickstoffbestimmung nach Kjeldahl. Aus der bei der Titration verbrauchten 0,1 normalen Schwefelsäure ließ sich der Ammoniak-N-Gehalt der Pansensaftproben ermitteln. Der Anteil des Ammoniakstickstoffs am Gesamtstickstoff wurde nach folgender Formel errechnet.

$$\text{NH}_3 \text{ [mmol/l]} = (\text{ermittelter N Mittelwert} * 1,4 * 200) / 17$$

### - Flüchtige Fettsäuren

Die Analyse der flüchtigen Fettsäuren erfolgte mit Hilfe eines Gaschromatographen (Hewlett Packard, 6890 plus) mit Flammenionisationsdetektor (FID). Die Trennung wurde über eine Kapillarsäule (HP FFAP, 25 m \* 0,32 mm \* 0,52 µm) durchgeführt. Die Injektortemperatur und die Detektortemperatur betragen jeweils 250°C. Die Ofentemperatur konnte zwischen 80 und 235°C variiert werden. Als Trägergas diente Stickstoff (30 ml/ min).

Jeweils 1 ml des zentrifugierten Pansensaftes wurde mit 0,1 ml ISTD-Lösung (1,25 ml 2-Methylvaleriansäure/ 100 ml konzentrierte Ameisensäure) versetzt und vakuumdestilliert. Im Anschluss wurde die Probelösung in Injektorampullen umgefüllt und mit Hilfe eines automatischen Probengebers jeweils 1 µl eingespritzt. Für die Auswertung wurde ein VFA-Standard verwendet.

#### 2.2.4.6. Mikrobielle Proteinsynthese

Zur genauen Charakterisierung des N-Stoffwechsels wurden während der Verdaulichkeitsbilanz zusätzlich Harn- und Milchproben gesammelt. Anhand der Tiergewichte wurde das metabolische Körpergewicht berechnet.

### - Harnproben

Der Harn wurde qualitativ gesammelt. Jeweils morgens, mittags und abends wurden 200 ml Harnproben entnommen und mit einer 10 % igen Schwefelsäure auf einen pH-Wert < 3 angesäuert. Der Harn wurde als Sammelprobe in einem Kühlraum aufbewahrt. Am Ende der Bilanz wurden die Sammelproben homogenisiert und bis zur Analyse von Kalium, Stickstoff und Allantoin bei -20°C eingefroren. Die Allantoin - Analyse erfolgte anhand der high performance liquid chromatography (HPLC), entsprechend der Methode nach CHEN *et al.* (1993) und wurde in den aufgetauten Proben durchgeführt. Die Gesamtharnmenge wurde nach LEBERL *et al.* (2001) ermittelt.

### - Milchproben

Die tägliche Milchleistung wurde tierindividuell erfasst. Nach jedem Melkgang wurde ein Aliquot von einem Prozent der erbrachten Milchleistung für eine Sammelprobe abgefüllt und umgehend bei -20°C eingefroren. Zur Bestimmung der TM wurden die Sammelproben aufgetaut und homogenisiert. Nach Gefriertrocknung und anschließender Trocknung des Milchpulvers bei 85°C im Vakuum bis zur Gewichtskonstanz konnte die TM errechnet werden. Im Milchpulver wurden des Weiteren die Konzentration an Stickstoff und Kalium

analysiert. Die Allantoin-Konzentration wurde nach der Formel von ROSSKOPF *et al.* (1991) kalkuliert.

#### 2.2.4.7. Ruminaler *in situ* Abbau der TM

Um mögliche Effekte der Fütterungsvariante auf das ruminale Abbauverhalten von Heu und Kraftfutter feststellen zu können, wurden in jeder Versuchsperiode an zwei ausgewählten Kühen die TM-Verluste des Heus und des Kraftfutters nach 0, 4, 8, 12, 24 und 48 Stunden *in situ* ermittelt (MADSEN & HVELPLUND, 1994). Die Abbaukinetik der TM wurde mit Hilfe der Funktion PROC NLIN (SAS, 2001) ermittelt, indem die prozentuale TM-Verluste an das folgende Exponentialmodell nach MC DONALD (1981) angepasst wurden:

$$y = a + b \times (1 - e^{-k_d(t-L)}) \text{ für } t > L,$$

a = wasserlösliche Fraktion (%);

b = potentiell abbaubare Fraktion (%);

$k_d$  = fraktionelle Rate des Abbaus (%/h);

L = lag Phase (h); t = Inkubationszeit (h)

Für die Berechnung der effektiven ruminalen Abbaubarkeit wurde die ermittelte fraktionelle Passagerate des Ytterbium-markierten NDF ( $k_s$ ) wie folgt mit einbezogen:

$$ERD = a + b \frac{k_d}{(k_d + k_s)}.$$

Zu Versuchsbeginn wurde eine Probe von etwa 3 kg Frischsubstanz aus dem Heu und etwa 0,5 kg aus der Kraftfuttermischung I entnommen und in einem Umlufttrockenschrank bei 60°C getrocknet. Nach Bestimmung der TM wurden die Substrate auf 2 mm Siebweite gemahlen. Das Probenmaterial wurde in allen vier Versuchsperioden eingesetzt. Die *in situ* -Beutel waren aus Polyester Monofilament mit einer thermisch versiegelten Naht gefertigt (Ankom rumen sampling bags, Bar Diamond). Die Größe der Beutel betrug 5 × 10 cm und deren Porengröße lag bei etwa 53 µm. Für jedes Substrat wurden pro Zeitpunkt 3 Parallelen a 2 g eingewogen. Die Inkubation der Proben erfolgte nach dem Prinzip „all in - separate out“. Vor der Inkubation der Beutel in den ventralen Pansensack wurden die *in situ* -Beutel inkl. Inhalt für etwa 10 Minuten in 38°C warmem Wasser eingeweicht. Der 0-Punkt wurde danach umgehend eingefroren, während die restlichen Proben in den Pansen inkubiert wurden. Nach

der Entnahme der Proben aus dem Pansen wurden diese ohne vorheriges Spülen bei  $-20^{\circ}\text{C}$  eingefroren. Nach der Inkubation wurden alle Beutel (einschließlich 0-Punkt) aufgetaut und unter fließendem Wasser gereinigt. Darauf folgend wurden die Proben in einer Waschmaschine  $3 \times 12$  Minuten, ohne zu schleudern, gewaschen. Die Ermittlung der TM-Verluste erfolgte durch 48-stündiges Trocknen bei  $60^{\circ}\text{C}$  im Umlufttrockenschrank und anschließendes Wiegen.

### **2.2.5. Statistische Auswertung**

Die Versuchsergebnisse wurden als  $4 \times 4$  Lateinisches Quadrat anhand der Mixed Prozedur (PROC MIXED) SAS (2001) ausgewertet. Das Modell beinhaltet die festen Effekte des KF-Niveaus (C), der Partikellänge des Heus (PL) und die dazugehörige Wechselwirkung (C\*PL). Die Effekte des Tieres und der Versuchsperiode (DG) wurden als zufällig betrachtet. Für die Auswertung der Fermentationsparameter wurde zusätzlich der Effekt des Zeitpunktes (Zp) und der Digestaphase (P) beachtet.

Um die Kovarianz der wiederholten Messung am selben Subjekt (Tier und „main plot“ Behandlung [C\*PL\*Tier]) in verschiedenen Phasen (feste oder flüssige Phase) und an verschiedenen Zeitpunkten (Zp) zu beachten, wurde die Option „random“ für zweifach wiederholte Messungen mit einem Splitt Plott Modell (DG\*C; DG\*C\*Zp; D\*C\*P) angewendet.

Die Freiheitsgrade wurden nach der Methode von Kenward-Rogers (ddfm = kr) geschätzt. Die Least Square Means (LSmeans) wurden berechnet, wobei die Unterschiede zwischen den Behandlungsstufen mittels der Option „PDIFF“ (Probability of difference) geprüft wurde. Das Signifikanzniveau wurde auf  $p < 0,05$  festgelegt.

## **2.3. Ergebnisse**

### **2.3.1. Futteraufnahme und Partikelgrößenverteilung in den Versuchsrationen**

Wie in Tabelle 11 dargestellt, variierte die TM-Aufnahme der Kühe zwischen den vier Fütterungsvarianten kaum. So lag die durchschnittliche FA bei etwa 16 kg TM/ Tier und Tag. Dennoch waren Unterschiede im Wahlverhalten der Kühe zu erkennen. Bei niedrigem KF-Niveau nahmen die Kühe die angebotenen KF-Menge von 3,4 kg TM vollständig auf, verweigerten jedoch bei einer angebotenen TM von 13,6 kg Heu jeweils 0,4 kg TM des kurz gehäckselten und 1,5 kg TM des lang gehäckselten Heus. Bei hohem KF-Niveau hingegen wurde die angebotene Heuration von 6,8 kg TM unabhängig von der PL vollständig

aufgenommen. Futterreste konnten hier im KF-Anteil beobachtet werden. Wurde bei hohem KF-Niveau die Ration mit kurz gehäckseltem Heu ergänzt, verweigerten die Kühe 1,4 kg TM der vorgelegten KF-Menge in Höhe von 10,2 kg TM, während bei lang gehäckseltem Heu 1,2 kg TM des KF nicht aufgenommen wurden.

Die Ergebnisse zur Partikelgrößenverteilung der Fütterungsvarianten sind in Tabelle 12 aufgeführt. Entsprechend ihrer Anteile in der Ration wurde daraus die Partikelgrößenverteilung in der Gesamtration kalkuliert. Demnach beinhaltete das lang gehäckselte Heu wie erwartet einen höheren Anteil an langen Partikeln (Partikel > 6 mm), als das kurz gehäckselte Heu und führte demzufolge auch zu einer Erhöhung des Anteils an langen Partikeln innerhalb beider KF-Stufen. Trotz eines scheinbar gleich hohen Anteils an langen Partikeln (> 6 mm) in den Rationen 20+K und 55+L, konnte dennoch in der Ration 20+K ein insgesamt höherer Anteil an  $TM_{>1,18\text{ mm}}$  festgestellt werden (48 gegenüber 42 %).

Tabelle 12: Partikelgrößenverteilung der Versuchsrationen, retinierte TM in %.

Porengröße <sup>b</sup>	Ration <sup>a</sup>			
	20+K	20+L	55+K	55+L
6 mm	18.0	33.1	10.2	18.7
4 mm	4.1	1.8	2.5	1.1
2 mm	12.1	9.8	11.7	10.4
1.18 mm	13.6	11.1	13.2	11.8
0.063 - 1.18 mm	30.2	23.0	33.9	29.8
<0.063 mm	21.9	21.1	28.6	28.2

<sup>a</sup> 20+K = 20% KF + Heu kurz (6 mm), 20+L = 20% KF + Heu lang (30mm), 55+K = 55% KF + Heu kurz, 55+L = 55% KF + Heu lang.

<sup>b</sup> retinierte Partikel auf den Porengrößen 6, 4, 2, 1.18, 0.063 - 1.18 und <0.063 mm (% TM) ergaben für kurz gehäckseltes Heu 22.7, 5.2, 12.4, 13.9, 27.9 und 17.9%, für lang gehäckseltes Heu 42.6, 2.3, 9.5, 10.7, 18.5 und 16,5 %, für die KF-Mischungen ergaben sich 0, 0.3, 11.0, 12.6, 38.8 und 37.4%.

### 2.3.2. Kauaktivität und Fermentation im Pansen

Der Einfluß des KF-Niveaus und der PL des Heus auf die Kauaktivität der Kühe sind in den Tabellen 13 und 14 zusammengefasst. Eine Erhöhung des KF-Niveaus in der Ration führte demnach zu signifikant kürzeren Fress- und Kauzeiten pro Tag, sowie zu einer reduzierten Anzahl an Kauschlägen pro Minute. Eine reduzierte PL hatte diesbezüglich keinen signifikanten Einfluss, während die Anzahl der Kauschläge pro Tag sowohl von der PL des Heus als auch vom KF-Niveau beeinflusst wurden. Obwohl ein niedrigeres KF-Niveau zwar zu einer signifikant höheren Anzahl von Kauschlägen pro Tag führte, konnte bei hohen Kraftfuttergaben durch die Ergänzung mit lang gehäckseltem Heu eine zunehmende Anzahl an Kauschlägen beobachtet werden. Ähnliche Effekte der PL des Heus zeigten sich im Wiederkauverhalten der Kühe. Sowohl die gesamte Wiederkauzeit als auch die Anzahl an

Wiederkauschlägen pro Tag wurden durch eine längere PL des Heus innerhalb der KF-Stufen zum Teil signifikant erhöht. Besonders bei hohem KF-Niveau war der Einfluss des längeren Heus ausgeprägt und führte zu einem ähnlichen Wiederkauverhalten wie bei der Behandlung 20+K. Eine reduzierte KF-Gabe konnte dennoch zu insgesamt längeren Wiederkauzeiten beitragen.

Tabelle 13: Einfluss der PL des Heus und des KF-Niveaus in der Ration auf die Kauaktivität von Milchkühen (LSmeans  $\pm$  SEM) (n = 4).

Parameter	Ration <sup>a</sup>				SEM	p <sup>b</sup> <0,05
	20+K	20+L	55+K	55+L		
Kauzeit (min / 24h)	719,9 <sup>ab</sup>	816,1 <sup>a</sup>	524,1 <sup>b</sup>	609,6 <sup>b</sup>	37,59	C
Fresszeit (min / 24h)	367,0 <sup>ab</sup>	412,3 <sup>a</sup>	283,2 <sup>b</sup>	270,2 <sup>b</sup>	37,96	C
Wiederkauzeit (min / 24h)	351,4 <sup>a</sup>	404,5 <sup>a</sup>	242,3 <sup>b</sup>	340,7 <sup>a</sup>	25,09	C,PL
Kauschläge / 24h	45581 <sup>ab</sup>	53751 <sup>a</sup>	32092 <sup>c</sup>	37415 <sup>b</sup>	2406,66	C,PL
Kauschläge / min	63,0 <sup>ab</sup>	65,7 <sup>a</sup>	61,1 <sup>b</sup>	61,3 <sup>b</sup>	1,09	C
Wiederkauschläge / 24h	21055 <sup>ab</sup>	27422 <sup>a</sup>	15045 <sup>b</sup>	21322 <sup>a</sup>	1803,43	C,PL
Wiederkauschläge / min	61,4	67,5	61,6	62,4	2,08	n.s.
Wiederkauperioden / 24h	11,7	12,4	10,3	12,4	0,81	n.s.
Wiederkauperiode (min)	31,8	33,4	24,3	27,8	2,71	n.s.
Zahl der Bissen / 24h	368,0 <sup>ab</sup>	480,2 <sup>a</sup>	273,9 <sup>b</sup>	377,5 <sup>ab</sup>	36,72	C,PL
Bissen / Wiederkauperiode	33,0	39,8	27,4	30,6	3,06	n.s.

<sup>a</sup> 20+K = 20% KF + Heu kurz (6 mm), 20+L = 20% KF + Heu lang (30mm), 55+K = 55% KF + Heu kurz, 55+L = 55% KF + Heu lang.

<sup>b</sup> signifikante Faktoren: C = KF-Niveau; PL = PL Heu, C\*PL = Wechselwirkung PL Heu und KF-Niveau. a,b,c = Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Faktoren zwischen den Rationen (p < 0,05). n.s. = nicht signifikant.

Die Kauzeit pro kg aufgenommene TM bewegte sich bei den Kühen zwischen 31,3 und 50,9 Minuten pro Tag. Signifikant längere Kauzeiten konnten bei den Rationen mit niedrigem KF-Anteil beobachtet werden. Sowohl in der Fress- und Wiederkauzeit als auch in den Kauschlägen pro kg aufgenommener TM konnten ähnlich negative Effekte eines höheren KF-Niveaus beobachtet werden. Bezogen auf den aufgenommenen XF-Anteil wurden dagegen zum Teil signifikant längere Kau-, Fress- und Wiederkauzeiten bei hohem KF-Niveau festgestellt. Die Wiederkauzeit pro kg aufgenommene XF bewegte sich bei den Kühen zwischen 82,2 und 131,7 min pro Tag. Innerhalb der KF-Stufen machte sich diesbezüglich der Einfluss einer längeren PL des Heus signifikant positiv bemerkbar. Während die Kau-, Fress-, und Wiederkauzeit pro kg aufgenommener NDF durch die Fütterungsvarianten nicht beeinflusst wurde.

Tabelle 14: Einfluss der PL des Heus und des KF-Niveaus auf die Kauindices von Milchkühen bezogen auf die Gesamtration und den Heuanteil in der Ration (LSmeans  $\pm$  SEM) (n = 4).

	<i>Ration<sup>a</sup></i>				SEM	<i>p<sup>b</sup></i> < 0,05
	20+K	20+L	55+K	55+L		
<b>Kauindices bezogen auf die Gesamtration</b>						
<i>Kauen</i>						
Kauzeit (min/ kg TM)	43,3 <sup>ab</sup>	50,9 <sup>a</sup>	31,3 <sup>b</sup>	35,7 <sup>b</sup>	2,40	C
Kauzeit (min/ kg XF)	171,1 <sup>b</sup>	210,2 <sup>ab</sup>	216,3 <sup>ab</sup>	236,7 <sup>a</sup>	16,41	C
Kauzeit (min/ kg NDF)	86,8	102,8	86,6	95,5	6,40	n.s.
<i>Fressen</i>						
Fresszeit (min/ kg TM)	22,2 <sup>ab</sup>	25,8 <sup>a</sup>	16,9 <sup>b</sup>	15,8 <sup>b</sup>	2,43	C
Fresszeit (min/ kg XF)	88,4	106,0	116,8	105,3	13,77	n.s.
Fresszeit (min/ kg NDF)	44,6	51,9	46,8	42,5	5,94	n.s.
<i>Wiederkauen</i>						
Wdkauzeit (min/ kg TM)	21,1 <sup>ab</sup>	25,1 <sup>a</sup>	14,5 <sup>c</sup>	20,0 <sup>b</sup>	1,34	C,PL
Wdkauzeit (min/ kg XF)	82,2 <sup>b</sup>	104,3 <sup>ab</sup>	99,8 <sup>ab</sup>	131,7 <sup>a</sup>	7,8	PL
Wdkauzeit (min/kg NDF)	42,0	50,9	39,0	53,3	3,05	n.s.
Kauschläge/ g TM	2,8 <sup>a</sup>	3,4 <sup>a</sup>	1,9 <sup>b</sup>	2,2 <sup>ab</sup>	0,16	C
Kauschläge/ g XF	9,3	13,8	13,3	14,5	1,46	n.s.
Kauschläge/ g NDF	7,1 <sup>a</sup>	6,8 <sup>a</sup>	5,3 <sup>b</sup>	5,9 <sup>ab</sup>	0,31	C
<b>Kauindices bezogen auf den Heuanteil</b>						
<i>Kauen</i>						
Kauzeit( min/ kg TM)	51,7 <sup>c</sup>	64,5 <sup>b</sup>	76,5 <sup>ab</sup>	88,5 <sup>a</sup>	4,75	C,PL
Kauzeit (min/ kg XF)	179,4 <sup>b</sup>	218,0 <sup>ab</sup>	261,9 <sup>a</sup>	303,7 <sup>a</sup>	15,89	C
Kauzeit (min/ kg NDF)	92,5 <sup>b</sup>	112,3 <sup>b</sup>	135,1 <sup>a</sup>	155,7 <sup>a</sup>	8,33	C
<i>Fressen</i>						
Fresszeit (min/ kg TM)	26,8	32,6	41,4	39,3	4,40	n.s.
Fresszeit (min/ kg XF)	92,3	110,0	141,4	134,3	14,55	n.s.
Fresszeit (min/ kg NDF)	47,7	56,7	73,1	69,0	7,22	n.s.
<i>Wiederkauen</i>						
Wdkauzeit (min/ kg TM)	24,8 <sup>c</sup>	32,0 <sup>bc</sup>	35,3 <sup>b</sup>	49,4 <sup>a</sup>	2,37	C,PL
Wdkauzeit (min/ kg XF)	87,0 <sup>b</sup>	108,4 <sup>b</sup>	121,2 <sup>b</sup>	169,9 <sup>a</sup>	8,60	C
Wdkauzeit (min/kg NDF)	44,7 <sup>c</sup>	55,8 <sup>b</sup>	62,4 <sup>b</sup>	86,9 <sup>a</sup>	6,74	C,PL
Kauschläge/ g TM	3,3 <sup>c</sup>	4,3 <sup>b</sup>	4,7 <sup>b</sup>	5,4 <sup>a</sup>	0,30	C,PL
Kauschläge/ g XF	11,5 <sup>c</sup>	14,4 <sup>bc</sup>	16,1 <sup>ab</sup>	18,7 <sup>a</sup>	1,05	C,PL
Kauschläge/ g NDF	5,9 <sup>c</sup>	7,4 <sup>bc</sup>	8,3 <sup>ab</sup>	9,6 <sup>a</sup>	0,55	C

<sup>a</sup> 20+K = 20% KF + Heu kurz (6 mm), 20+L = 20% KF + Heu lang (30mm), 55+K = 55% KF + Heu kurz, 55+L = 55% KF + Heu lang.

<sup>b</sup> signifikante Faktoren: C = KF-Niveau; PL = PL Heu, C\*PL = Wechselwirkung PL Heu und KF-Niveau. a,b,c = Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Faktoren zwischen den Rationen (p < 0,05). n.s. = nicht signifikant.

Bezogen auf den Heuanteil in der Ration reagierten die Kühe bei hohem KF-Niveau mit längeren Kau-, Fress- und Wiederkauzeiten. Dies wurde sowohl für die aufgenommene Heu-TM als auch für die aufgenommene Faserfraktion des Heus festgestellt. Signifikante

Unterschiede ergaben sich insbesondere im Kau- und Wiederkauverhalten. Des Weiteren wurden durch eine größere PL des Heus innerhalb der KF-Stufen zum Teil signifikant längere Kau- und Wiederkauzeiten / kg TM, XF und NDF erreicht.

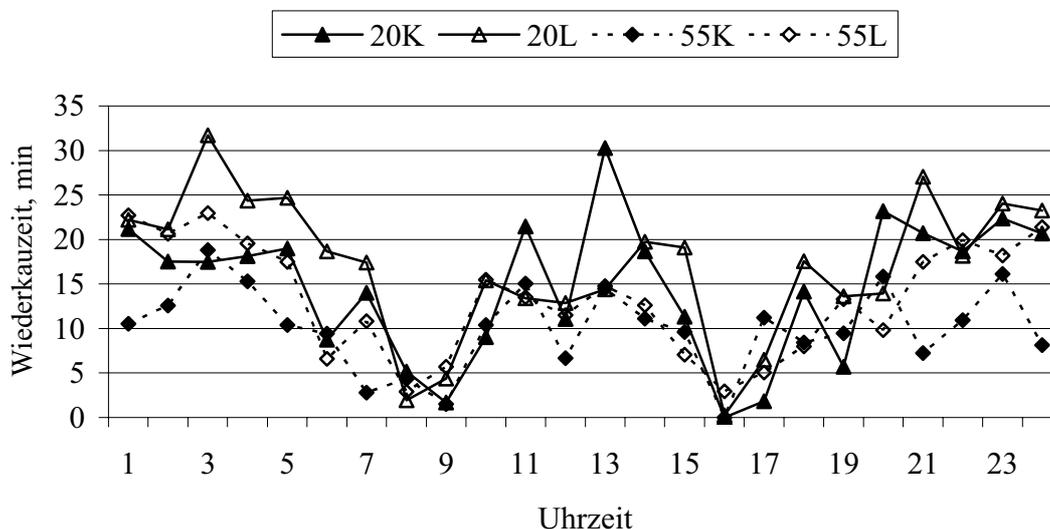


Abbildung 2: Einfluss der PL des Heus und des KF-Niveaus auf die Tagesvariationen im Wiederkauverhalten bei Milchkühen (n = 4).

(Bei hohem KF-Niveau erfolgten die Kraftfüttergaben um 8.00, 12.00, 16.00 und 19.00 Uhr, während bei niedrigem KF-Niveau das KF zweimal täglich, um 8.00 und 16.00 Uhr gefüttert wurde).

Hinsichtlich der Verteilung des Wiederkauens über 24 Stunden (Abbildung 2) konnte eine tendenziell höhere Wiederkauaktivität während des Abends und in den Nachtstunden beobachtet werden, welche sich dann bis zur Morgenfütterung hin beständig verringerte. Kühe, denen das längere Heu in Kombination mit niedrigem KF-Niveau gefüttert wurde, zeigten eine hohe Wiederkauaktivität zwischen 03.00 und 07.00 Uhr, während die Kühe, die das kurze Heu mit niedrigem KF-Niveau erhielten, vor allem zwischen den beiden Fütterungszeiten (8.00 und 16.00 Uhr) vermehrt wiederkaueten. Bei hohem KF-Niveau wurde das Verhaltensmuster der Kühe hinsichtlich des Wiederkauens durch die unterschiedlichen PL des Heus nur geringfügig beeinflusst. Sowohl bei kurzem als auch bei langem Heu erhöhten die Kühe besonders nach der dritten KF-Vorlage (16.00 Uhr) ihre Wiederkauaktivität. Eine kurze PL des Heus führte jedoch zu einer insgesamt reduzierten Wiederkauaktivität mit weniger hohen Schwankungen.

In den Abbildungen 3-6 und in Tabelle 22 (Anhang) sind die wichtigsten Parameter zur Pansenfermentation an acht Zeitpunkten innerhalb 24 Stunden dargestellt. Die Parameter wurden sowohl in der flüssigen, als auch in der festen Phase der Digesta untersucht und sind

in den jeweiligen Abbildungen getrennt voneinander dargestellt. Die feste Digestaphase des dorsalen Pansens (SRF-D) wies generell um 0,1-0,9 Einheiten niedrigere pH-Werte auf als die flüssige Digestaphase des ventralen Pansens (FRL-V). Der pH-Wert Verlauf innerhalb 24 Stunden war jedoch in beiden Phasen der Digesta nahezu identisch. In beiden Digestaphasen nahm der pH-Wert ab etwa 7.00 Uhr (eine Stunde vor Morgenfütterung) stetig ab. Um 22.00 Uhr, zwei Stunden nach der letzten KF-Gabe, konnte bei allen Fütterungsvarianten der niedrigste pH-Wert ermittelt werden. Ähnlich der Wiederkauaktivität, stieg der pH-Wert dann wieder am späten Abend und in den Nachtstunden an. Ein niedrigeres KF-Niveau führte in beiden Digestaphasen zu generell höheren pH-Werten im Vergleich zu den Rationen mit hohem KF-Niveau. Signifikant wirkte sich ein niedrigeres KF-Niveau zwei Stunden nach der Morgenfütterung (10.00 Uhr) und zwei Stunden nach der letzten KF-Gabe (10.00 Uhr) auf den pH-Wert aus. Eine größere PL des Heus machte sich lediglich zwei Stunden nach der Morgenfütterung in der festen Phase der Digesta signifikant positiv bemerkbar. Demnach konnte das lange Heu bei beiden KF-Stufen um 10.00 Uhr zu signifikant höheren pH-Werten beitragen. In der flüssigen Phase wurde bei niedrigem KF-Niveau das pH-Wert Minimum von 6,2 und 6,3 um 16.00 und um 19.00 Uhr erreicht, während bei hohem KF-Niveau die niedrigsten pH-Werte (6,0 und 5,5) um 22.00 Uhr gemessen wurden. In der festen Phase der Digesta wurde der niedrigste pH-Wert bei allen Behandlungen zwei Stunden nach der letzten KF-Gabe (22.00 Uhr) ermittelt. Er lag bei niedrigem KF-Niveau zwischen 5,8 und 6,1 und bei hohem KF-Niveau bei 5,4 und 5,3.

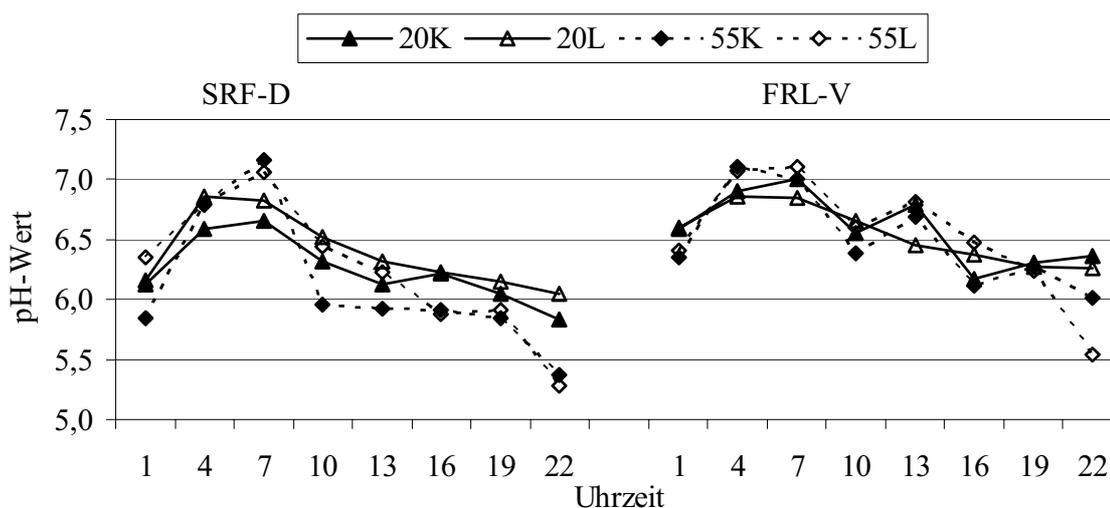


Abbildung 3: Einfluss der PL des Heus und des KF-Niveaus auf den pH-Wert im Pansen in unterschiedlichen Digestaphasen (n = 4). SRF-D = feste Digestaphase des dorsalen Pansens. FRL-V = flüssige Digestaphase des ventralen Pansens.

Die Ergebnisse der Bikarbonat-Konzentration in der festen und flüssigen Phase des Pansens gehen aus Tabelle 22 im Anhang und Abbildung 4 hervor. Die Konzentrationen variierten zwischen und innerhalb den Behandlungen sehr stark. In der festen Phase der Digesta wurden Konzentrationen zwischen 1,5 und 66 mmol/l und in der flüssigen Phase zwischen 1,7 und 90,9 mmol/l gemessen. Tendenziell waren jedoch in der flüssigen Phase höhere Konzentrationen gegeben, welche sich in durchschnittlich höheren pH-Werten in dieser Digestaphase spiegeln. Bei den Behandlungen mit niedrigem KF-Niveau konnten in der festen Phase speziell zwischen 19.00 und 22.00 Uhr höhere Bikarbonat-Konzentrationen festgestellt werden im Vergleich zu den Rationen mit 55 % KF. Die zu diesen Zeiten ermittelten Wiederkauaktivitäten und pH-Werte stimmen dazu gut überein. In der flüssigen Phase konnte dies jedoch nicht bestätigt werden. Bei hohem KF-Niveau zeigte sich hingegen zwischen 04.00 und 7.00 Uhr eine erstaunlich höhere Bikarbonat-Konzentration im Pansen im Vergleich zu den Rationen mit 20 % KF. Ein Bezug zum pH-Wert ist auch hier zu erkennen, während zur Wiederkauaktivität nur tendenzielle Übereinstimmungen festzustellen sind. Wie aus Abbildung 2 zu entnehmen ist, kauten die Kühe bei niedrigem KF-Niveau hauptsächlich zwischen 01.00 und 06.00 Uhr morgens sowie zwischen den Fütterungszeiten (08 und 16 Uhr) wieder, die Bikarbonat-Konzentration war jedoch zu diesen Zeiten insbesondere in der festen Digestaphase relativ niedrig.

Ähnlich der Wiederkauaktivität konnte bei hohem KF-Niveau besonders nach der dritten KF-Vorlage ein Anstieg in der Bikarbonat-Konzentration beobachtet werden, die in den Nacht- und frühen Morgenstunden noch weiter zunahm. Signifikante Differenzen ergaben sich um 04.00 und 07.00 Uhr. 20 Stunden nach der Morgenfütterung führte bei niedrigem KF-Niveau das kurze Heu zu signifikant höheren Bikarbonat-Konzentrationen, während bei hohem KF-Niveau das lange Heu zu signifikant höheren Konzentrationen beitrug.

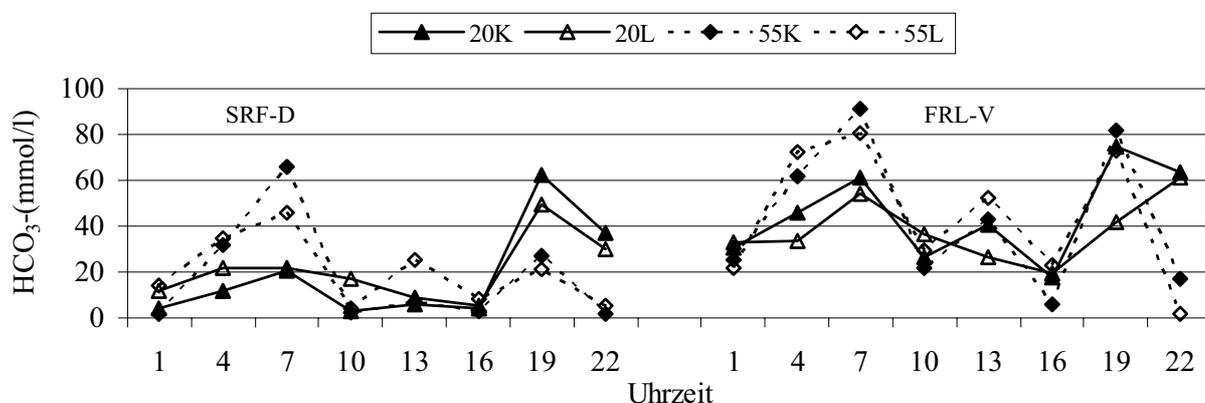


Abbildung 4: Einfluss der PL des Heus und des KF-Niveaus auf die Bikarbonat-Konzentration im Pansen in unterschiedlichen Digestaphasen (n = 4). SRF-D = feste Digestaphase des dorsalen Pansens. FRL-V = flüssige Digestaphase des ventralen Pansens.

Die SCFA-Konzentration im Pansen stimmt mit dem pH-Wert Verlauf weitgehend überein. In der festen Phase der Digesta wurden entsprechend den niedrigeren pH-Werten tendenziell höhere SCFA-Konzentrationen ermittelt als in der flüssigen Phase. Bis 22.00 Uhr stieg die Fettsäurenkonzentration sowohl in der festen als auch in der flüssigen Phase bei nahezu allen Fütterungsvarianten beständig an, während im weiteren Verlauf der Nachtstunden, bis etwa 04.00 Uhr, ein starker Rückgang der SCFA-Konzentration beobachtet werden konnte. Danach stieg die SCFA-Konzentration in beiden Digestaphasen wieder an. Eine Ausnahme waren in diesem Zusammenhang, speziell in der festen Phase der Digesta, die Behandlungen 20+K und 55+K. Bei beiden Fütterungsvarianten konnte in der festen Phase der Digesta erst ab 7.00 Uhr ein Anstieg in der Fettsäurekonzentration ermittelt werden.

Ein signifikanter Einfluss des KF-Niveaus auf die SCFA-Konzentration im Pansen war lediglich zwei Stunden nach der letzten KF-Gabe, um 22.00 Uhr, zu erkennen. Ein hohes KF-Niveau in Kombination mit lang gehäckseltem Heu führte zu diesem Zeitpunkt zu einer signifikant erhöhten SCFA-Konzentration im Pansen. Ein Effekt der PL des Heus konnte an allen Zeitpunkten der Probenahme nicht festgestellt werden. Bei den Behandlungen mit hohem KF-Niveau konnten insbesondere in der festen Phase der Digesta zu allen Probenahmezeiten tendenziell höhere SCFA-Konzentrationen festgestellt werden.

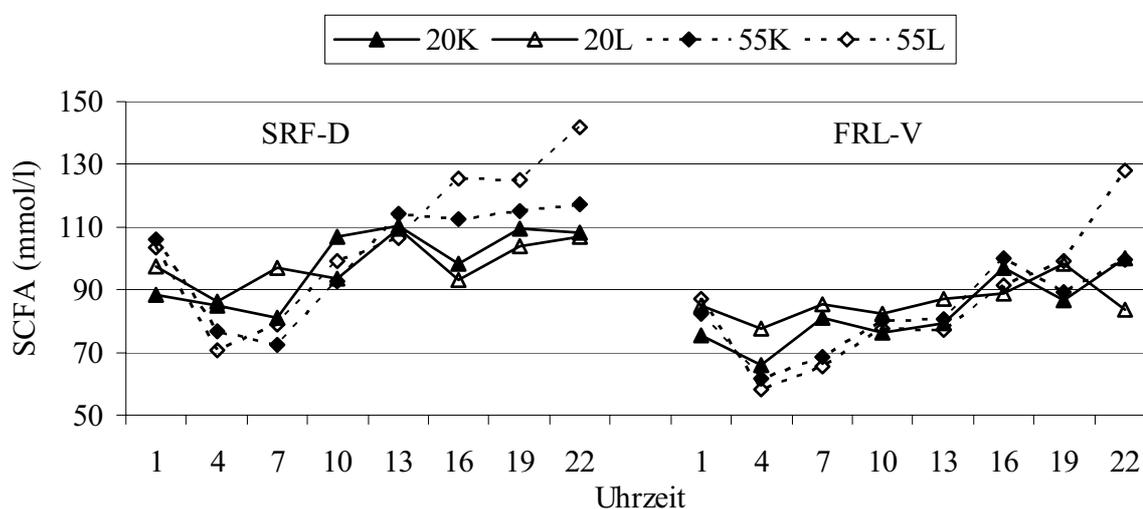


Abbildung 5: Einfluss der PL des Heus und des KF-Niveaus auf die SCFA-Konzentration im Pansen in unterschiedlichen Digestaphasen (n = 4). SRF-D = feste Digestaphase des dorsalen Pansens. FRL-V = flüssige Digestaphase des ventralen Pansens.

In Tabelle 15 sind die prozentualen Anteile der einzelnen Fettsäuren an der Gesamtkonzentration der SCFA als Tagesmittelwerte dargestellt. Danach konnte bei nahezu allen Fettsäuren, in beiden Digestaphasen des Pansens, ein signifikanter Einfluss des KF-

Niveaus auf die prozentualen Anteile der verschiedenen Fettsäuren festgestellt werden. Eine unterschiedliche PL des Heus zeigte diesbezüglich keinen Effekt.

Während ein niedriges KF-Niveau zu signifikant höheren durchschnittlichen Anteilen an Acetat beitrug, erhöhte ein hoher KF-Anteil in der Ration die prozentualen Anteile an Propionat, Butyrat und Valeriat signifikant.

Tabelle 15: Einfluss der PL des Heus und des KF-Niveaus in der Ration auf die durchschnittlich gemessene Tageskonzentration der SCFA und das SCFA-Profil (LSmeans  $\pm$  SEM) (n = 32).

Parameter	Position <sup>a</sup>								SEM	p <sup>c</sup> <0,05
	SRF-D				FRL-V					
	Ration <sup>b</sup>									
20+K	20+L	55+K	55+L	20+K	20+L	55+K	55+L			
<i>mmol/l</i>										
SCFA	98,4	98,4	100,7	106,4	82,6	85,9	82,0	85,5	4,45	n.s.
<i>%</i>										
Acetat	68,5 <sup>a</sup>	69,1 <sup>a</sup>	63,7 <sup>b</sup>	63,3 <sup>b</sup>	68,4 <sup>a</sup>	68,6 <sup>a</sup>	63,9 <sup>b</sup>	63,4 <sup>b</sup>	1,02	A
Propionat	17,7 <sup>b</sup>	17,5 <sup>b</sup>	19,1 <sup>ab</sup>	20,6 <sup>a</sup>	17,8 <sup>b</sup>	17,6 <sup>b</sup>	19,0 <sup>ab</sup>	20,7 <sup>a</sup>	0,61	A
Butyrat	11,3 <sup>b</sup>	11,1 <sup>b</sup>	13,4 <sup>a</sup>	12,1 <sup>a</sup>	10,9 <sup>b</sup>	10,9 <sup>b</sup>	13,3 <sup>a</sup>	12,1 <sup>a</sup>	0,35	A
Valeriat	1,1 <sup>b</sup>	1,0 <sup>b</sup>	1,7 <sup>a</sup>	1,8 <sup>a</sup>	1,0 <sup>b</sup>	1,0 <sup>b</sup>	1,5 <sup>a</sup>	1,7 <sup>a</sup>	0,09	A
Isobutyrat	0,5	0,5	0,6	0,6	1,0	1,1	0,6	0,6	0,30	n.s.
Isovaleriat	0,9 <sup>b</sup>	0,8 <sup>b</sup>	1,6 <sup>a</sup>	1,6 <sup>a</sup>	0,9 <sup>b</sup>	0,8 <sup>b</sup>	1,6 <sup>a</sup>	1,6 <sup>a</sup>	0,15	A
C <sub>2</sub> /C <sub>3</sub>	4,0 <sup>a</sup>	4,0 <sup>a</sup>	3,4 <sup>ab</sup>	3,2 <sup>b</sup>	3,9 <sup>a</sup>	3,9 <sup>a</sup>	3,4 <sup>ab</sup>	3,2 <sup>b</sup>	0,33	A

<sup>a</sup> SRF-D = abgepresste Flüssigkeit aus der festen Digesta des dorsalen Pansensackes. FRL-V = Freie ruminale Flüssigkeit aus dem ventralen Pansensackes.

<sup>b</sup> 20+K = 20% KF + Heu kurz (6 mm), 20+L = 20% KF + Heu lang (30mm), 55+K = 55% KF + Heu kurz, 55+L = 55% KF + Heu lang.

<sup>c</sup> signifikante Faktoren: C = KF-Niveau; PL = PL Heu, C\*PL = Wechselwirkung PL Heu und KF-Niveau.

a,b,c = Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Faktoren zwischen den Rationen (p < 0,05). n.s. = nicht signifikant.

Entsprechend der analysierten Acetat- und Propionat-Konzentrationen machte sich das KF-Niveau auch im C<sub>2</sub> : C<sub>3</sub> Verhältnis bemerkbar. Die Tagesverläufe der ermittelten Verhältnisse sind in folgender Abbildung 6 dargestellt. Bei hohem KF-Niveau konnten demnach C<sub>2</sub> : C<sub>3</sub> Verhältnisse zwischen 3,0 und 4,0 beobachtet werden, während sich die Werte bei niedrigem KF-Niveau zwischen 3,5 und 4,6 bewegten. Die bestehenden Differenzen konnten an allen Zeitpunkten statistisch abgesichert werden. Die PL des Heus wirkte sich diesbezüglich viel weniger deutlich aus, so dass die bestehenden Unterschiede nicht signifikant waren. Ebenso konnten keine Unterschiede hinsichtlich der beiden Digestaphasen festgestellt werden.

Die NH<sub>3</sub>-Konzentrationen im Panseninhalt sind in Tabelle 22 im Anhang zusammengefasst. Ein signifikanter Unterschied konnte zwischen den Behandlungen nicht beobachtet werden. Bis etwa 19.00 Uhr nahmen die NH<sub>3</sub>-Konzentrationen bei allen Fütterungsvarianten beständig zu. Darüber hinaus war ein ähnlicher Verlauf wie bei den SCFA zu verzeichnen.

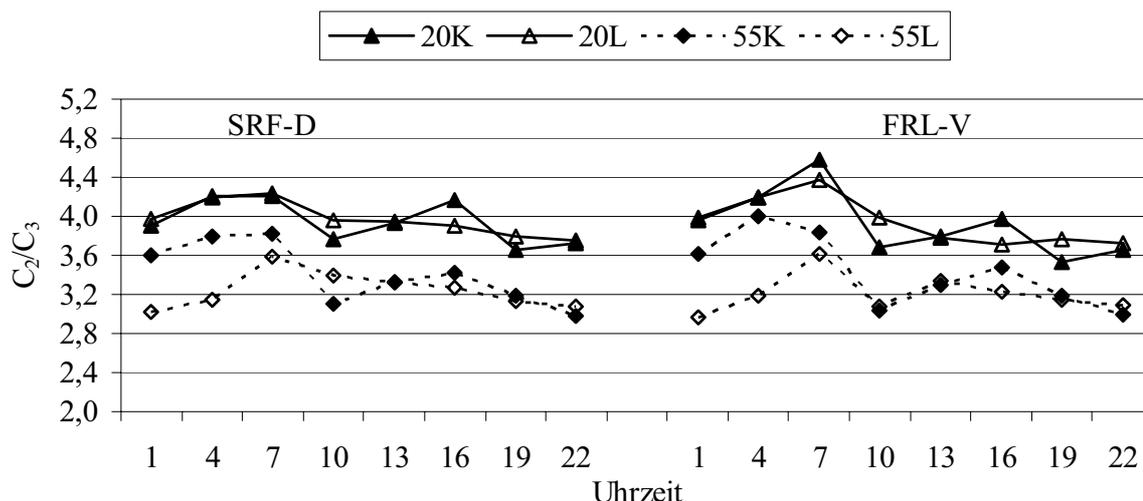


Abbildung 6: Einfluss der PL des Heus und des KF-Niveaus auf das C<sub>2</sub> : C<sub>3</sub>-Verhältnis im Pansen in unterschiedlichen Digestaphasen (n = 4). SRF-D = feste Digestaphase des dorsalen Pansens. FRL-V = flüssige Digestaphase des ventralen Pansens.

### 2.3.3. Mikrobielle Proteinsynthese

Der pro Tag mikrobiell gebundene Stickstoff bewegte sich bei den Kühen zwischen 162 und 291g. Bei allen Fütterungsvarianten war eine relativ hohe Streuung vorhanden. Ein hohes KF-Niveau führte bei den Kühen zu einer signifikant höheren mikrobiellen Proteinsynthese. Insbesondere die Ration 55+K wies mit 291,1g pro Tag den signifikant höchsten Wert auf, während die Ration mit niedrigem KF-Anteil und lang gehäckseltem Heu eine reduzierte Proteinsynthese zur Folge hatte. Die PL des Heus machte sich, wenn auch nur in Tendenz, bemerkbar. Innerhalb der KF-Stufen wurde jeweils mehr Stickstoff gebildet wenn die Ration mit kurz gehäckseltem Heu ergänzt wurde. Diese Tendenz zeigte sich auch im mikrobiell gebundenen Stickstoff bezogen auf die Aufnahme von TM, OM und verdaulicher OM (Effizienz). Die Unterschiede konnten aber nicht statistisch abgesichert werden.

Tabelle 16: Einfluss des KF-Niveaus und der PL des Heus auf die mikrobielle Proteinsynthese bei Milchkühen (LSmeans ± SEM) (n = 4).

Parameter	Ration <sup>a</sup>				SEM	p <sup>b</sup> <0,05
	20+K	20+L	55+K	55+L		
mikrobieller N g/ Tag	195,6 <sup>ab</sup>	161,9 <sup>b</sup>	291,1 <sup>a</sup>	242,1 <sup>ab</sup>	34,89	C
mikrobieller N g/ kg TM	11,6	9,9	17,2	14,0	2,04	n.s.
mikrobieller N g/ kg OM	12,8	10,9	18,5	15,0	2,23	n.s.
mikrobieller N g/ kg verd. OM	20,7	17,2	24,9	20,9	2,82	n.s.

<sup>a</sup> 20+K = 20% KF + Heu kurz (6 mm), 20+L = 20% KF + Heu lang (30mm), 55+K = 55% KF + Heu kurz, 55+L = 55% KF + Heu lang. <sup>b</sup> signifikante Faktoren: C = KF-Niveau; PL = PL Heu, C\*PL = Wechselwirkung PL Heu und KF-Niveau.  
 a,b,c = unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Rationen (p < 0,05).  
 n.s. = nicht signifikant.

### 2.3.4. Ruminale TM-Verluste und Abbaukinetik

Der Einfluss der Rationszusammensetzung auf die ruminalen TM-Verluste des Heus und des Kraftfutters sind in Tabelle 17 aufgeführt. Das Heu sowie das KF wurden über 48 Stunden mittels Polyesterbeutel im Pansen inkubiert. Bei Kühen, die das niedrige KF-Niveau erhielten, war der TM-Abbau des Heus über 48 Stunden höher, vor allem bei langem Heu, während bei hohen Kraftfuttergaben die kurz gehäckselte Heuvariante zu einem gesteigerten TM-Abbau beitrug. Signifikant erwies sich diese Wechselwirkung jedoch erst nach 48 Stunden. Insgesamt betrachtet zeigte sich jedoch im Durchschnitt ein tendenziell negativer Einfluß eines hohen KF-Niveaus auf den TM Abbau des Heus. Die TM-Verluste des Kraftfutters wurden hingegen von der Rationsgestaltung nicht beeinflusst.

Tabelle 17: Einfluss des KF-Niveaus und der PL des Heus auf die *in situ* TM-Verluste (%) des Heus und des KF an 6 Messzeitpunkten (LSmeans  $\pm$  SEM), (n = 8).

Substrat <sup>b</sup>	Parameter	Zeitpunkt <sup>c</sup>	Ration <sup>a</sup>				SEM	p <sup>d</sup> <0,05
			20+K	20+L	55+K	55+L		
Heu	TM-Verlust	0	23,3	22,5	22,1	23,5	0,63	n.s.
		4	30,1	28,6	27,7	29,3	1,23	n.s.
		8	42,7	36,3	33,7	36,7	2,74	n.s.
		12	49,3	42,1	38,0	40,4	3,96	n.s.
		24	63,9	65,1	52,2	53,9	3,74	n.s.
		48	74,3 <sup>ab</sup>	88,3 <sup>a</sup>	76,7 <sup>ab</sup>	67,8 <sup>b</sup>	4,13	C*PL
Kraftfutter	TM-Verlust	0	51,7	53,5	50,9	52,2	1,89	n.s.
		4	79,4	77,7	78,2	79,3	2,60	n.s.
		8	87,7	86,5	84,1	86,7	2,60	n.s.
		12	90,2	88,0	87,1	88,4	1,94	n.s.
		24	93,0	91,1	92,0	92,4	1,43	n.s.
		48	93,4	94,8	96,7	94,0	1,47	n.s.

<sup>a</sup> 20+K = 20% KF + Heu kurz (6 mm), 20+L = 20% KF + Heu lang (30mm), 55+K = 55% KF + Heu kurz, 55+L = 55% KF + Heu lang. <sup>b</sup> Heu und KF I als Substrat über 48 h inkubiert. <sup>c</sup> Zeit der *in situ* Inkubation in Stunden (h). <sup>d</sup> signifikante Faktoren: C = Kraftfutterniveau; PL = PL Heu, C\*PL = Wechselwirkung PL und KF - Niveau. a,b,c = Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Faktoren zwischen den Rationen (p < 0,05). n.s. = nicht signifikant.

Erwartungsgemäß zeigte sich diese Wechselwirkung auch in den Ergebnissen des Abbauverhaltens von Heu und KF. Die Parameter der Abbaukinetik sind aus Tabelle 18 zu entnehmen. Entsprechend den ermittelten TM-Verlusten des Heus wurde bei niedriger KF-Stufe in Kombination mit lang gehäckseltem Heu die potentiell abbaubare Fraktion des Heus erhöht, während bei hohem KF-Niveau das Gegenteil beobachtet wurde. Zusätzlich konnte eine signifikant höhere effektive ruminale Abbaubarkeit des Heus bei der Ration 20+L und eine signifikant reduzierte bei der Ration 55+L bestätigt werden. Auf das Abbauverhalten des Kraftfutters hatte die Rationszusammensetzung keinen Einfluss.

Tabelle 18: Einfluss des KF-Niveaus und der PL des Heus auf die ruminale Abbaukinetik des Heus und des Kraftfutters, (n = 8).

Substrat	Parameter	Ration <sup>a</sup>				SEM	p <sup>b</sup> <0,05
		20+K	20+L	55+K	55+L		
Heu TM	Fraktion % der TM <sup>c</sup>						
	A	21,9	23,2	20,1	22,0	0,59	n.s.
	B	57,1	68,9	62,3	52,4	3,43	n.s.
	k <sub>d</sub> , %/h	5,35	6,13	5,03	4,33	0,44	n.s.
	ERD, % <sup>d</sup>	57,6 <sup>ab</sup>	71,3 <sup>a</sup>	57,3 <sup>ab</sup>	49,2 <sup>b</sup>	2,39	C*PL
KF TM	Fraktion % der TM <sup>c</sup>						
	A	52,1	54,0	51,7	52,2	1,96	n.s.
	B	40,8	38,6	41,7	40,3	2,65	n.s.
	k <sub>d</sub> , %/h	26,7	23,5	20,8	25,2	4,14	n.s.
	ERD, % <sup>d</sup>	88,5	88,0	87,8	88,0	1,75	n.s.

<sup>a</sup> 20+K = 20% KF + Heu kurz (6 mm), 20+L = 20% KF + Heu lang (30mm), 55+K = 55% KF + Heu kurz, 55+L = 55% KF + Heu lang.

<sup>b</sup> signifikante Faktoren: C = Kraftfutterniveau; PL = PL Heu, C\*PL = Wechselwirkung PL und KF – Niveau.

<sup>c</sup> Fraktionen: a = wasserlösliche Fraktion, b = potentiell abbaubare Fraktion, k<sub>d</sub> = fraktionelle Rate des Abbaus.

<sup>d</sup> effektive ruminale Abbaubarkeit. Für die Berechnung wurde die ermittelte fraktionelle Passagerate des Ytterbium-markierten NDF (k<sub>s</sub>) (siehe Tabelle 18) wie folgt mit einbezogen: ERD = a + b k<sub>d</sub>/(k<sub>d</sub> + k<sub>s</sub>).

a,b,c = Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Faktoren zwischen den Rationen (p < 0,05).

n.s. = nicht signifikant.

### 2.3.5. Futter-, Flüssigkeitspassage und scheinbare Nährstoffverdaulichkeit

Wie in Tabelle 19 dargestellt, wurde durch ein reduziertes KF-Niveau in Kombination mit kurz gehäckseltem Heu die Passagerate der flüssigen Digesta im *Retikulo - Rumen* (RR) signifikant erhöht. Daraus ergibt sich auch eine signifikant kürzere Verweildauer der flüssigen Phase in RR, während die Verweilzeit post ruminal bei dieser Rationsvariante tendenziell erhöht war. Bei hohem KF-Niveau konnte hingegen kein Einfluss der PL des Heus auf die Passagerate sowie die ruminale und post ruminale Verweilzeit beobachtet werden. Die Verweilzeit im Gesamtverdauungstrakt wurde durch die Behandlungen nicht beeinflusst. Eine längere PL des Heus führte dennoch zu einer signifikant höheren Zeitverzögerung zwischen Markereingabe und erstem auftreten des LiCo-EDTA im Kot (TD).

Die Futterpassage im RR - ermittelt durch Yb-NDF markierte Heupartikel - wurde durch die vier Rationsvarianten nicht beeinflusst. Hier zeigte sich bei niedrigem KF-Niveau in Kombination mit kurz gehäckseltem Heu eine signifikant höhere Passagerate post ruminal, was sich jedoch nicht in einer kürzeren Verweildauer im Dickdarm bemerkbar machte. Insgesamt konnten bei reduziertem KF-Niveau längere Verweilzeiten im RR beobachtet werden. Signifikant erwies sich hier die Wechselwirkung zwischen PL und KF-Niveau, da bei reduzierter KF-Stufe das lang gehäckselte Heu zu höheren Verweilzeiten im Pansen führte,

während bei hohem KF-Niveau der umgekehrte Fall festgestellt wurde. Die kürzeste Verweilzeit der festen Phase im Pansen war bei der Ration 55+L gegeben, dies wurde jedoch durch eine tendenziell längere Verweilzeit im Dickdarm kompensiert, so dass die Verweilzeiten des Futters im Gesamtverdauungstrakt zwischen den Rationen kaum variierten.

Tabelle 19: Einfluss des KF-Niveaus und der PL des Heus auf die Partikelpassage der festen (SRF) und flüssigen (SRF) Digesta (LSmeans ± SEM) (n = 4).

Position	Parameter	Ration <sup>a</sup>				SEM	p <sup>b</sup> <0,05
		20+K	20+L	55+K	55+L		
<i>Flüssige Phase SRF</i>							
	k <sub>s</sub> <sup>c</sup>	0,14 <sup>a</sup>	0,11 <sup>b</sup>	0,11 <sup>b</sup>	0,12 <sup>b</sup>	0,01	C*PL
	k <sub>f</sub> <sup>d</sup>	0,66	2,26	1,02	0,76	0,94	n.s.
	TD, h <sup>e</sup>	4,50 <sup>b</sup>	7,88 <sup>a</sup>	4,41 <sup>b</sup>	6,49 <sup>ab</sup>	0,92	PL
	RMRT, h, (1/k <sub>s</sub> ) <sup>f</sup>	7,09 <sup>b</sup>	8,93 <sup>a</sup>	9,20 <sup>a</sup>	8,96 <sup>a</sup>	0,74	C,C*PL
	FMRT, h, (n/k <sub>f</sub> ) <sup>g</sup>	5,45	3,05	4,21	2,19	0,10	n.s.
	TMRT, h <sup>h</sup>	17,14	19,68	18,34	18,02	1,12	n.s.
<i>feste Phase SRFD</i>							
	k <sub>s</sub>	0,032	0,027	0,034	0,040	0,003	n.s.
	k <sub>f</sub>	0,145 <sup>a</sup>	0,129 <sup>b</sup>	0,113 <sup>b</sup>	0,115 <sup>b</sup>	0,04	C*PL
	TD, h	10,74	6,04	9,15	6,06	2,28	n.s.
	RMRT, h, (1/k <sub>s</sub> )	31,44 <sup>ab</sup>	38,23 <sup>a</sup>	29,82 <sup>b</sup>	26,98 <sup>b</sup>	2,70	C*PL
	FMRT, h, (n/k <sub>f</sub> )	14,68	12,36	13,02	20,89	2,52	n.s.
	TMRT, h	56,96	56,54	51,51	54,12	2,21	n.s.

<sup>a</sup> 20+K = 20% KF + Heu kurz (6 mm), 20+L = 20% KF + Heu lang (30mm), 55+K = 55% KF + Heu kurz, 55+L = 55% KF + Heu lang.

<sup>b</sup> signifikante Faktoren: C = Kraftfutter-Niveau; PL = PL Heu, C\*PL = Wechselwirkung PL und KF - Niveau.

<sup>c-h</sup> k<sub>s</sub> = Passage im Hauben-Pansen, k<sub>f</sub> = Passagerate post ruminal, TD = Time Delay, RMRT = ruminale Verweilzeit, FMRT = Verweilzeit im Dickdarm, TMRT = Verweilzeit im gesamten Verdauungstrakt (TD+RMRT+FMRT).

a,b,c = Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Differenzen zwischen den Rationen (p < 0,05).

n.s. = nicht signifikant.

Die vier Rationsvarianten machten sich hinsichtlich der Faserverdaulichkeit nicht signifikant bemerkbar. Tendenziell höhere Rohfaser- und Cellulose-Verdaulichkeiten konnten bei den beiden niedrigen KF-Stufen beobachtet werden. Das kurz gehäckselte Heu steigerte bei den Rationen mit hohem KF-Anteil die NDF-Verdaulichkeit um etwa 4 %. Bei niedrigem KF-Niveau konnte hingegen dadurch eine um ca. 6 % reduzierte NDF-Verdaulichkeit festgestellt werden. Diese Unterschiede konnten jedoch nicht statistisch gesichert werden. Die Verdaulichkeit der TM und der OM wurde hauptsächlich vom KF-Niveau beeinflusst. Signifikant höhere Verdaulichkeiten dieser Fraktionen konnten bei hohen KF-Gaben festgestellt werden. Dies spiegelte sich auch in der Verdaulichkeit von XP, XL und NfE wider. Ein Einfluss der PL des Heus machte sich diesbezüglich nicht signifikant bemerkbar.

Bei hohem KF-Niveau wirkte sich jedoch eine reduzierte PL des Heus tendenziell positiv auf die Rohrnährstoffverdaulichkeit aus, während bei niedrigem KF-Niveau ein umgekehrter Effekt festgestellt werden konnte.

Tabelle 20: Einfluss des KF-Niveaus und der PL des Heus auf die scheinbare Rohrnährstoffverdaulichkeit (LSmeans  $\pm$  SEM) (n = 4).

Parameter	Ration <sup>a</sup>				SEM	p <sup>b</sup> <0,05
	20+K	20+L	55+K	55+L		
Verdaulichkeit, %						
TM	59,2 <sup>b</sup>	62,1 <sup>ab</sup>	72,0 <sup>a</sup>	69,8 <sup>a</sup>	2,67	C
OM	61,3 <sup>b</sup>	64,5 <sup>ab</sup>	73,8 <sup>a</sup>	71,8 <sup>a</sup>	2,57	C
XP	50,9 <sup>b</sup>	54,2 <sup>ab</sup>	63,5 <sup>a</sup>	61,1 <sup>ab</sup>	3,43	C
XL	46,2 <sup>b</sup>	44,0 <sup>b</sup>	65,6 <sup>a</sup>	56,1 <sup>ab</sup>	4,87	C
XX	61,9 <sup>b</sup>	66,2 <sup>b</sup>	80,0 <sup>a</sup>	78,4 <sup>a</sup>	2,86	C
XF	52,7	60,0	47,0	44,5	5,29	n.s.
NDF	48,8	54,9	53,7	49,8	4,68	n.s.
ADF	38,6	37,5	39,6	34,1	5,51	n.s.
Cellulose	53,0	53,7	49,2	37,6	7,35	n.s.
Hemicellulose	64,9	72,1	68,0	67,1	3,64	n.s.

<sup>a</sup> 20+K = 20% KF + Heu kurz (6 mm), 20+L = 20% KF + Heu lang (30mm), 55+K = 55% KF + Heu kurz, 55+L = 55% KF + Heu lang.

<sup>b</sup> signifikante Faktoren: C = KF-Niveau; PL = PL Heu, C\*PL = Wechselwirkung PL Heu und KF-Niveau.

a,b,c = unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Rationen (p < 0,05).

n.s. = nicht signifikant.

## 2.4. Diskussion

### 2.4.1. Kauaktivität und Fermentation im Pansen

Durch eine Zunahme der PL des Heus von 6 auf 30 mm konnte in den Rationen mit hohem KF-Niveau der Anteil an großen Partikeln um 8 % und die TM<sub>>1,18</sub> um 4,5 % gesteigert werden. Bei den Rationen mit niedrigem KF-Niveau wurden dadurch diese Fraktionen jeweils um 15 und um 8 % gesteigert. Diese Unterschiede in der Partikelgrößenverteilung der Versuchsrationen beeinflusste in der vorliegenden Studie insbesondere das Wiederkauverhalten der Milchkühe. Nach MERTENS (1997) sind für eine ausreichende Stimulation der Kauaktivität überwiegend Futterpartikel verantwortlich, die eine Partikelgröße > 1,18 mm aufweisen, da diese erst durch ein intensives Wiederkauen reduziert werden müssen, um eine Passage dieser Partikel aus dem Pansen zu ermöglichen. Tatsächlich konnte in der vorliegenden Studie durch eine Zunahme an großen Partikeln in beiden KF-Stufen eine erhöhte Wiederkauzeit und eine höhere Anzahl an Wiederkauschlägen beobachtet werden. Dieser Effekt war insbesondere bei hohem KF-Niveau ausgeprägt. Ein um 8 % höherer Anteil an großen Partikeln in der Ration 55+L konnte im Vergleich zu der Ration 55+K die tägliche Wiederkauzeit um 40 % steigern.

Die geringste Kauzeit/ kg TM wurde, wie erwartet, bei hohem KF-Niveau in Kombination mit kurz gehäckseltem Heu festgestellt (55+K). Sie betrug in etwa 31 min/ kg TM. Bei den restlichen Fütterungsvarianten konnten Werte bis über 50 Minuten ermittelt werden. BEAUCHEMIN *et al.* (2003) beobachteten bei Fütterungsvarianten mit 60 % KF (Gesamt NDF-Gehalt 36 % i.d. TM) bei unterschiedlichen PL von Luzerneheu und Luzernesilage (MPL zwischen 8 und 2 mm) Gesamtkauzeiten von 27 bis 36 min/ kg TM. Diese Werte stimmen mit denen der Fütterungsvariante 55+K gut überein. Nach SUDWEEKS *et al.* (1981) ist eine Kauzeit von mindestens 30 min/ kg TM erforderlich, um eine physiologische Pansenfunktion zu erhalten. Demnach lag die Kauzeit/ kg TM in dieser Untersuchung bei allen vier Fütterungsvarianten in einem zu erwartenden Bereich. Der relativ hohe Fasergehalt in den vier Fütterungsvarianten (> 35 % NDF) und eine Verteilung der KF-Rationen bei hohem KF-Niveau auf vier Mahlzeiten pro Tag (< 2,9 kg/ Mahlzeit) könnten zu den ausreichend hohen Gesamtkauzeiten/ kg TM beigetragen haben.

Dennoch konnte in der Studie kein signifikanter Einfluss der PL des Heus auf die Gesamtkauzeit und Fresszeit beobachtet werden, während ein hohes KF-Niveau diese Parameter signifikant verschlechterte. Die Wiederkauzeit und auch die Wiederkauzeit/ kg TM wurden dagegen sowohl von der PL des GF als auch vom KF-Anteil in der Ration beeinflusst. Eine reduzierte PL wirkte sich diesbezüglich bei beiden KF-Niveaus zum Teil signifikant negativ aus. Forschungsergebnisse von KONONOFF & HEINRICHS (2003) sowie YANG & BEAUCHEMIN *et al.* (2006) bestätigen, dass lediglich die tägliche Wiederkauzeit signifikant beeinflusst wurde, wenn die PL von Luzerne- oder Grassilage reduziert wurde. In beiden Studien blieben Effekte auf die Fresszeit der Kühe aus. Zudem beobachteten TAJAJ *et al.* (2005) bei höheren NDF-Gehalten im Heu (62 % versus 47% NDF i. d. TM), unabhängig vom KF-Niveau (20 oder 50 % i.d. TM), überwiegend gesteigerte Wiederkauzeiten. In Untersuchungen von FERNANDEZ *et al.* (2004) konnte hingegen dargestellt werden, dass mit Abnahme der PL in einer TMR die Effizienz der Partikelzerkleinerung beim Fressen abnimmt. Die Autoren verfütterten eine auf Maissilage basierende TMR mit zwei unterschiedlichen PL (5 und 13 mm) und mit einem KF-Anteil von 25 % an Milchkühe. Das Kauen während des Fressens reduzierte die PL stärker als das Wiederkauen. In der vorliegenden Studie scheint jedoch vorwiegend das KF-Niveau die Fresszeit beeinflusst zu haben, welches sicherlich auf die deutlichen Differenzen im KF-Anteil zurückzuführen ist. Ferner konnten in dieser Studie bei hohem KF-Anteil in Kombination mit lang gehäckseltem Heu signifikant erhöhte Wiederkauzeiten pro kg aufgenommene TM und NDF aus dem Heuanteil ermittelt werden, die demnach auf ein intensiveres Wiederkauen des Heuanteils bei

größerer PL hinweisen. BEAUCHEMIN & YANG (2005) stellten in ihren Untersuchungen fest, dass mit einer Reduzierung des  $\text{peNDF}_{>8}$  von 11,5 auf 8,9 % der Kauindex von 326 auf 387 min/ kg  $\text{peNDF}_{>8}$  gesteigert werden konnte. Die Ergebnisse lassen somit die Vermutung zu, dass Milchkühe besonders bei hohem KF-Niveau durch eine gesteigerte Wiederkaurate im GF-Anteil einen insgesamt geringeren Strukturanteil in der Ration zu kompensieren versuchen.

Eine Zunahme der PL des Heus von 6 auf 30 mm beeinflusste somit die Wiederkauaktivität durch längere Wiederkauzeit pro Tag und teilweise die Effizienz des Kauens durch eine Steigerung der Kaurate pro kg aufgenommene Faser (Kauschläge/ g NDF und Kauschläge/ g NDF aus GF).

Ergebnisse aus jüngeren Studien mit leistungsstarken, TMR gefütterten, Milchkühen (KONONOFF & HEINRICHS, 2003; YANG & BEAUCHEMIN, 2005, 2006a) haben jedoch gezeigt, dass eine Erhöhung der Kau- und Wiederkauaktivität nicht immer ein optimales Milieu im Pansen sicherstellt.

In der vorliegenden Studie stimmten die pH-Wert Profile zu den meisten Messzeitpunkten mit dem Verlauf der Wiederkauaktivität überein. Mit zunehmender Zeit nach der Morgenfütterung stieg die Fermentationsintensität im Pansen beständig an, was sich in einer erhöhten SCFA-Konzentration und einem Rückgang im pH-Wert widerspiegelte. Eine höhere OM-Aufnahme und eine insgesamt geringere Wiederkauzeit während des Tages sind als mögliche Gründe dafür zu nennen (TAF AJ *et al.* 2004a). Eine Abweichung des pH-Wertes vom Verhaltensmuster des Wiederkauens konnte jedoch am späten Nachmittag (nach 16.00 Uhr) festgestellt werden. Obwohl die Kühe aufgrund der letzten Heugabe und den beiden Kraftfuttergaben (16.00 und 19.00 Uhr) ihre Wiederkauaktivität stark erhöhten, konnten dementsprechend keine höheren pH-Werte bis etwa 22.00 Uhr festgestellt werden. Speziell bei den beiden KF-reichen Rationen war dieser Effekt verstärkt zu beobachten. Die Abweichung des pH-Wertes im Pansen von der Wiederkauaktivität könnte einerseits auf eine zu geringe Pufferkapazität des produzierten Speichels oder auf eine unzureichende Durchmischung von abgeschlucktem Speichel und Bolus hindeuten. Eine Aufnahme hoher Mengen an ruminal fermentierbarer OM, insbesondere zwischen 16 und 22 Uhr, führte bei den KF-reichen Rationen zu einer dadurch bedingt höheren Anflutung an SCFA im Pansen. Trotz intensiven Kauens und Speichelfreisetzung konnten jedoch starke Schwankungen in den  $\text{HCO}_3^-$ -Konzentrationen beobachtet werden. Demnach scheint die Pufferkapazität des produzierten Speichels nicht für eine ausreichende Neutralisation der Fermentationsprodukte ausgereicht zu haben. Nach ALLEN (1997) ist für die Aufrechterhaltung eines stabilen pH-

Wertes im Pansen die Neutralisation der im Pansen gebildeten Fettsäuren durch das Puffervermögen des Speichels von entscheidender Bedeutung. Mit zunehmender Konzentration an SCFA im Pansen nehmen jedoch die Anforderungen an die Pufferkapazität zu.

Es ist jedoch unklar, warum insbesondere bei Verabreichung der Ration 55+L insgesamt schlechtere Pansenwerte nachgewiesen werden konnten, als bei Verabreichung der Ration 55+K. Obwohl die Kühe bei dieser Fütterungsvariante ihre Wiederkauaktivität deutlich erhöhten, konnte insbesondere in den Abendstunden ein signifikant niedrigerer pH-Wert festgestellt werden. Bei beiden Rationen mit hohem KF-Niveau war ein abnehmender pH-Wert mit steigenden SCFA-Konzentrationen im Pansen verbunden, und die Kühe nahmen in etwa gleichviel Heu und KF auf. Trotzdem konnte bei der Ration 55+L, ab etwa 8 Stunden nach der Morgenfütterung eine höhere SCFA-Konzentration im Pansen festgestellt werden. Als Erklärungsmöglichkeit könnte eine geringere Absorption der Fettsäuren durch die Pansenwand in Frage kommen. Die Absorptionsrate der SCFA hängt von verschiedenen Faktoren ab, wobei der Dissoziationsgrad der SCFA, der Blutfluss, die gesamte Zottenoberfläche, die Konsistenz der Digesta und die Pansenmotilität die wichtigsten sind (TAYLER & ALLEN 2005). DIJKSTRA *et al.* (1993) konnten zudem mit steigendem Flüssigkeitsvolumen im Pansen eine reduzierte Absorptionsrate der SCFA feststellen. Tatsächlich wurde in der vorliegenden Studie kurze Zeit vor der Morgenfütterung bei den Kühen, die die Ration 55+L erhielten, ein leicht erhöhter Flüssigkeitspool im Pansen festgestellt (ZEBELI, 2006), was eventuell zu einer reduzierten Absorption der Fettsäuren im Pansen beigetragen hatte und folglich den pH-Wert im Pansen negativ beeinflusste.

Des Weiteren könnte aber auch bei der Ration 55+L eine geringere Effizienz der mikrobiellen Proteinsynthese (Tabelle 16) darauf hinweisen, dass pro kg fermentierbare Substanz weniger Mikrobenmasse und dafür mehr SCFA gebildet wurden, was sich in einem Anstieg der Konzentration der flüchtigen Fettsäuren im Pansen widerspiegelte.

Die Digestaschicht beeinflusste die Konzentration der SCFA und des  $\text{HCO}_3$  zu beinahe allen Zeitpunkten: So konnten in der festen Phase der Digesta deutlich höhere SCFA-Konzentrationen und niedrigere  $\text{HCO}_3$ -Konzentration festgestellt werden, was sich auch in einem niedrigeren pH-Wert zeigte. So scheint die Fermentationsintensität in der festen Phase der Digesta höher zu sein, als in der flüssigen Phase und höher im dorsalen als im ventralen Pansensack. Entsprechende Ergebnisse ermittelten MARTIN *et al.* (1999), TAJAJ *et al.* (2004b) und ZEBELI (2006). Letzterer begründet diese Fermentationsunterschiede in den

beiden Digestaphasen im Pansen vorwiegend durch unterschiedliche Gehalte an verfügbaren Nährstoffen und durch eine variierende Zusammensetzung der mikrobiellen Population in den einzelnen Schichten des Pansens.

Obwohl in der vorliegenden Studie eine reduzierte PL des GF einen signifikant negativen Einfluss auf die Wiederkauaktivität hatte, konnte dadurch kein Einfluss auf die Fermentationsparameter im Pansen festgestellt werden. Ein höheres KF-Niveau führte hingegen zu niedrigeren pH-Werten, höheren SCFA-Konzentrationen und reduzierten  $C_2 : C_3$  Verhältnissen. Mit Abnahme der PL einer Luzernesilage von 10 auf 4 mm in einer TMR (36 % NDF) ermittelten BEAUCHEMIN *et al.* (2003) einen signifikanten Rückgang der Kauaktivität und ein längeres Absinken des pH-Wertes  $< 5,8$ , während der pH-Wert als Tagesmittelwert, die SCFA-Konzentration und das  $C_2 : C_3$  Verhältnis unbeeinflusst blieben. Auch KONONOFF & HEINRICHS (2003) konnten in ihren Untersuchungen nur geringfügig niedrigere pH-Werte feststellen (um 0,08 Einheiten), wenn die PL einer Heulage in einer TMR (32,4 % NDF) von 22,3 auf 4,8 mm reduziert wurde. Bei einem ausreichenden NDF-Gehalt in der Ration scheinen nach den Autoren andere Faktoren als die PL für die Regulation des pH-Wertes im Pansen entscheidend zu sein. GRANT *et al.* (1990) ermittelte hingegen bei reduzierter PL einer Luzernesilage von 9,5 auf 4,8 mm einen Rückgang sowohl in der Kauaktivität als auch im pH-Wert und im  $C_2 : C_3$  Verhältnis im Pansen. Die TMR wies jedoch auch einen relativ niedrigen NDF-Gehalt auf (28,3 % i.d. TM). Wie bereits erwähnt wurde, wiesen in der vorliegenden Studie alle Fütterungsvarianten einen hohen NDF-Gehalt auf, was somit eine Erklärung für die ausbleibenden Effekte der PL des Heus auf die Fermentationsparameter im Pansen sein könnte.

#### **2.4.2. Mikrobielle Proteinsynthese und ruminale Abbaubarkeit**

Hinsichtlich der Rationsgestaltung für Wiederkäuer ist es wichtig, sich zu vergegenwärtigen, dass die Aminosäurezufuhr für die Milchkuh von denen in den Dünndarm gelangenden Proteinen abhängt. Dies sind im Pansen synthetisierte Mikroorganismenproteine und die im Pansen nicht abgebauten Futterproteine (JEROCH *et al.* 1999). CLARK *et al.* (1992) ermittelten in einer Literaturübersicht, dass im Durchschnitt 59 % (34-89 %) des am Duodenum angelangten Nicht-Ammoniak-Stickstoffs (NPN) mikrobieller Herkunft ist. So spielt die im Pansen gebildete mikrobielle Masse eine wichtige Rolle zur Deckung des Proteinbedarfes des Wiederkäuers. Das Ausmaß und die Zusammensetzung der mikrobiellen Masse werden hauptsächlich von der Rationszusammensetzung sowie von der Qualität des Futters beeinflusst (VAN SOEST, 1994), da beide Faktoren wiederum das Pansenmilieu, die

Konsistenz der Fasermatte sowie die Passage aus dem Pansen beeinflussen (MERTENS, 1997). Für die im Pansen produzierte mikrobielle Biomasse ist vor allem jedoch eine ausreichend verfügbare Menge an fermentierbarer OM notwendig. Eine aufeinander abgestimmte Bereitstellung von Kohlenhydraten und Proteinen im Pansen scheinen nach NOCEK & RUSSEL (1988) entscheidend für die Optimierung des Flusses an mikrobiellem Protein zum Duodenum zu sein.

In der vorliegenden Studie führte ein hohes KF-Niveau zu einer deutlich höheren mikrobiellen Proteinsynthese (mikrobiell gebundener Stickstoff pro Tag). Besonders in Kombination mit kurz gehäckseltem Heu war eine signifikante Steigerung zu erkennen, was sich folglich auch in einer tendenziell verbesserten Effizienz der mikrobiellen Proteinsynthese bei Fütterung von kurzem Heu zeigte. Eine reduzierte PL des Heus machte sich somit in beiden KF-Stufen diesbezüglich positiv bemerkbar.

YANG *et al.* (2002) berichteten hingegen, dass durch eine Reduzierung der PL von Luzernesilage von 10 auf 4 mm der Fluss des mikrobiell gebundenen Stickstoffs zum Duodenum um 22 % verringert wurde, obwohl die Menge an ruminal fermentierbarer Substanz im Pansen dadurch nicht beeinflusst wurde. Die Autoren begründen diesen Rückgang in einer Verschlechterung des Pansenmilieus infolge der reduzierten PL des GF. In der vorliegenden Studie konnte jedoch eine längere PL des GF weder das Pansenmilieu noch die mikrobielle Proteinsynthese positiv beeinflussen, vielmehr wurde die mikrobielle Proteinsynthese durch ein hohes KF-Niveau und eine kurze PL des Heus gefordert. KRAUSE *et al.* (2002a) konnten in diesem Zusammenhang vorrangig einen positiven Einfluss des Anteils an ruminal fermentierbaren Kohlenhydraten auf die mikrobielle Proteinsynthese feststellen. Die PL des GF beeinflusste die Proteinsynthese in der genannten Studie lediglich durch einen positiven Effekt auf die Futteraufnahme. In einer neuen Untersuchung von YANG & BEAUCHEMIN (2006b) wurde bei unterschiedlichen Häcksellängen von Gerstesilage (lang: 28,6 mm; medium: 15,9 mm; kurz: 4,8 mm) insbesondere bei der Rationsvariante „medium“ die höchste Proteinsynthese festgestellt. Durch eine Verlagerung der Stärkeverdauung in den Dünndarm bei Verfütterung der Rationsvariante „lang“ vermuten die Autoren eine unzureichende Bereitstellung von schnell fermentierbaren Kohlenhydraten. Mit einer Steigerung des KF-Niveaus erhöhte sich in der vorliegenden Studie sowohl die Energiekonzentration als auch der Proteingehalt in der Ration um ca. 1,3 MJ NEL/ kg TM bzw. um ca. 2 %. Somit war bei 55 % KF in der Ration eine höhere Menge an abbaubarem Substrat im Pansen (abbaubares Protein und NFC) verfügbar, was demzufolge die mikrobielle Proteinsynthese erhöhte.

Nach MERTENS (1993) ist die Angriffsfläche des Substrates gegenüber dem mikrobiellen Abbaus und schließlich für die Produktion von bakterieller Masse ein wichtiger Faktor. Durch das Zerkleinern nimmt die Expositionsfläche von Partikeln zu und fördert dadurch die Anheftung von MO und folglich den Partikelabbau. FERNANDEZ *et al.* (2004) konnten bei Milchkühen feststellen, dass eine größere PL des GF zu einer höheren Effizienz der Partikelzerkleinerung durch das Kauens führte als eine kleinere PL. In den eigenen Untersuchungen konnte das lange Heu bei hohem KF-Niveau die Wiederkauzeit zwar signifikant erhöhen, dennoch stellte ZEBELI (2006) bei Rationen mit lang gehäckseltem Heu teilweise signifikant höhere Anteile an großen Partikeln (>1,18 mm) und eine größere MLP (mittlere Partikellänge) der Digesta im Pansen fest, was auf eine eventuell schlechtere Effizienz der Partikelzerkleinerung hinweist.

Eine reduzierte PL des GF könnte die mikrobielle Proteinsynthese insofern begünstigt haben, dass durch eine effiziente Partikelzerkleinerung während des Kauens die Expositionsfläche von Partikeln vergrößert wurde und dadurch eine Anheftung der MO an die Futterpartikel erleichtert wurde.

Obwohl durch ein höheres KF-Niveau in der Ration die mikrobielle Proteinsynthese eindeutig erhöht werden konnte, wirkte sich dieses auf den ruminalen TM-Abbau des Heus negativ aus. Bei Rationen mit 20 % KF konnten über 48 Stunden durchschnittlich höhere TM-Verluste des Heus beobachtet werden, woraus sich eine höhere Umsetzungskapazität für das Heu schließen lässt. Demzufolge konnte bei reduzierten KF-Gaben auch gesteigerte effektive ruminale Abbaubarkeiten für das Heu ermittelt werden. Die gebildete Gasmenge bei der *in vitro* Fermentation von Substraten, inkubiert mit Pansensaft als Inokulum von Kühen, die verschiedene Rationen erhalten haben, kann als ein Hinweis auf die Verdauungseigenschaften der Digesta verwendet werden. ZEBELI (2006) ermittelte in der vorliegenden Studie mit steigendem KF-Niveau eine signifikant rückläufige kumulative Gasbildung, was tatsächlich auf eine geringere Umsetzungskapazität der Digesta hinweist. Des Weiteren konnte der Autor bei hohem KF-Niveau eine reduzierte *in vitro* NDF-Verdaulichkeit des Heu-Substrates beobachten.

Die Abbaubarkeit des KF wurde von den unterschiedlichen Fütterungsvarianten nicht beeinflusst. Nach YANG *et al.* (1997) ist die Stärkeverdauung geringfügiger von der Verdauungskapazität der Digesta im Pansen beeinträchtigt als die Faserverdauung, da bei der Stärkeverdauung weniger spezifische MO beteiligt sind und die Stärkefermentation deutlich schneller abläuft. Die signifikant höchste Abbaubarkeit des Heus konnte bei der Behandlung

20+L ermittelt werden, während die Behandlung 55+L die niedrigste Abbaubarkeit zur Folge hatte.

Die Intensität und das Ausmaß der mikrobiellen Verdauung von Nährstoffen im Pansen werden sowohl von den Milieubedingungen im Pansen als auch von den im Pansen verfügbaren Enzym- und Substratkonzentrationen beeinflusst. Zuletzt genannte Faktoren sind wiederum von dem Wachstum und der Aktivität der MO im Pansen abhängig sowie von den Abbaueigenschaften der Futtermittel (TAF AJ, 1996; FIRKINS, 2002). Außerdem ist nach RUSSEL *et al.* (1992) die Abbaubarkeit der Nährstoffe im Pansen auf das Verhältnis Abbaurrate : Passage zurückzuführen, da durch eine kürzere Verweildauer der Digesta im Pansen mit einem Rückgang des mikrobiellen Abbaus zu rechnen ist. HOOVER (1986) ist der Ansicht, dass schon eine relativ kurze Zeitdauer eines pH-Wertes  $< 6,2$  die Faserverdauung beeinträchtigen kann. DE VETH & KOLVER (2001) konnten dagegen bei einer vierstündigen Phase eines suboptimalen pH-Wertes (5,4) eine reduzierte Faserverdaulichkeit beobachten. In der vorliegenden Studie konnte insbesondere bei der Behandlung 55+L 14 Stunden nach der Morgenfütterung (22.00 Uhr) in der festen und in der flüssigen Phase der Digesta ein signifikant niedriger pH-Wert (pH-Wert 5,3 und 5,5) ermittelt werden, der möglicherweise die Aktivität der fibrolytischen Bakterien maßgeblich beeinflusst hatte. ÖLSCHLÄGER (Diss. in Vorbereitung) konnte in der vorliegenden Studie nachweisen, dass eine Stunde vor und drei Stunden nach der Morgenfütterung der prozentuale Anteil an Cellulolyten (*Ruminococcus albus*, *Ruminococcus flavefaciens* und *Fibrobacter succinogenes*) an der Gesamtbakterienmasse in der festen und flüssigen Pansendigesta insbesondere bei hohem KF-Anteil in der Ration teilweise reduziert war.

Ergänzend zu diesen Ergebnissen konnte ZEBELI (2006) in der vorliegenden Studie mit steigendem KF-Niveau in Kombination mit lang gehäckseltem Heu einen höheren Anteil an großen Partikeln ( $>1,18$  mm) und eine zunehmende mittlere Partikellänge der Digesta im Pansen beobachten. Schließlich war die ruminale Verweilzeit der festen Digesta bei den Rationen mit hohem KF-Niveau signifikant niedriger. All diese Ergebnisse weisen eindeutig darauf hin, dass der Faserabbau im Pansen durch ein hohes KF-Niveau beeinträchtigt wurde.

Aus Tabelle 21 ist zu erkennen, dass bei hohem KF-Niveau dennoch mehr effektiv fermentierbare TM pro Tag im Pansen zur Verfügung stand, im Vergleich zu den Rationen mit niedrigen KF-Gaben, wodurch der reduzierte TM-Abbau des Heus mehr als kompensiert wurde. Dies erklärt sowohl die höhere mikrobielle Proteinsynthese (g/ Tag) als auch die bessere Effizienz der Synthese (mikrobielles Protein /kg effektiv fermentierbare TM) bei hohem KF-Niveau. Zudem scheint in der vorliegenden Untersuchung, besonderes bei

Verabreichung von kurzem Heu, die Effizienz der mikrobiellen Proteinsynthese erhöht zu sein, was auf eine bessere Synchronisierung des Kohlenhydrat- und Proteinabbaus bzw. der Proteinsynthese bei dieser Ration im Pansen hinweist.

Tabelle 21: Einfluss der KF-Niveaus und der PL des Heus auf die mikrobielle Proteinsynthese pro kg effektiv fermentierbare TM bei Milchkühen.

Parameter	Ration <sup>a</sup>			
	20+K	20+L	55+K	55+L
mikrobielle Proteinsynthese, g/ Tag <sup>1</sup>	1223	1012	1819	1513
effektiv fermentierbare TM, kg/ Tag <sup>2</sup>	10,6	11,6	11,6	11,3
mikrobielle Proteinsynthese /kg effektiv fermentierbare TM	115,3	87,1	156,4	134,3

<sup>a</sup> 20+K = 20% KF + Heu kurz (6 mm), 20+L = 20% KF + Heu lang (30mm), 55+K = 55% KF + Heu kurz, 55+L = 55% KF + Heu lang.

<sup>2</sup> errechnet aus der TM-Aufnahme (Tabelle 10) und der effektiven ruminalen Abbaubarkeit der TM des Heus und des KF.

<sup>1</sup> mikrobielles N (g/ Tag) \* 6,25 (Tabelle 15)

### 2.4.3. Passage und scheinbare Nährstoffverdaulichkeit

Die Effekte des KF-Niveaus und der PL des Heus auf die Kautätigkeit, die Pansenpufferung, das Pansenmilieu sowie auf die Aktivität der Cellulolyten im Pansen sind eng mit den Schichtungseigenschaften der Digesta, der Partikelzerkleinerung, der Faserverdauung und der Passage der Digesta aus dem Pansen verbunden.

Nach JEROCH *et al.* (1999) sind die Bildung und Aufrechterhaltung einer ausgeprägten und stabilen Faserschicht eine grundlegende Voraussetzung für einen physiologischen Ablauf der Pansenfunktion. Nach den Autoren soll die Faserschicht stabil sein, eine plastische Konsistenz besitzen und durchströmbar sein. Eine Abnahme der Stabilität der Faserschicht führt zu einem schnelleren Abfluss der Futterdigesta zum Omasum, wodurch die potentiell abbaubare Fraktion der in der Pansendigesta enthaltenen Nährstoffe nur unvollständig im RR abgebaut wird. Dies betrifft hauptsächlich die Faserfraktion, da ihr Abbau im Pansen generell länger dauert und die daran beteiligten fibrolytisch wirkenden MO-Arten sehr empfindlich bzw. anspruchsvoll gegenüber dem Pansenmilieu sind (PAN *et al.*, 2003).

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass bei reduziertem KF-Niveau in der Ration die Verweildauer der festen Digesta im Pansen generell erhöht wurde. Speziell bei der Behandlung 20+L konnte eine signifikant längere Verweilzeit bestätigt werden. Während die Fütterungsvariante 55+L die kürzeste Verweildauer aufwies. Die fraktionelle Passagerate der festen Digesta aus dem Pansen wurde hingegen von den verschiedenen Behandlung nicht beeinflusst, und die PL des GF zeigte bezüglich der Retentionszeit im Pansen, wie oben dargestellt, eine statistisch abgesicherte Wechselwirkung mit dem KF-Niveau. Die

Untersuchungen von ZEBELI (2006) weisen darauf hin, dass speziell bei der Ration 55+K eine signifikante Beeinträchtigung der Festigkeit der Pansendigesta nachgewiesen werden konnte. Zwischen den Behandlungen 20+K, 20+L, 55+L waren hingegen keine signifikanten Unterschiede zu erkennen. Nach ZEBELI (2006) konnte jedoch bei den Fütterungsvarianten mit reduziertem KF-Niveau eine bessere Qualität der Digestaschichtung nachgewiesen werden. Eine besser ausgebildete Faserschicht bei niedrigem KF-Niveau könnte folglich zu durchschnittlich längeren Retentionszeiten der festen Digesta im Pansen beigetragen haben. Die Funktion einer stabilen Faserschicht bei der Kontrolle und Regulation der Passage besteht hauptsächlich durch eine selektive Retention von Partikeln. Durch eine Integration noch nicht vollständig abgebauter Futterpartikel in die Faserschicht, werden diese vor einem zu schnellen Abfluss in die nachfolgenden Verdauungskompartimente zurückgehalten und dadurch deren Abbau gefördert (SHUTERRLAND, 1988). Eine signifikant höhere ruminale Verweilzeit durch eine bessere Konsistenz der Digesta im Pansen bei niedrigem KF-Niveau könnte bei der Behandlung 20+L somit zu einem höheren TM-Abbau des Heus im Pansen beigetragen haben. Zusätzlich konnte dadurch bei den Rationen mit niedrigem KF-Niveau die Gesamtverdaulichkeit der XF und der Cellulose tendenziell gesteigert werden. Obwohl bei der Behandlung 55+L die signifikant kürzeste Verweildauer der festen Digesta im Pansen ermittelt werden konnte, war der dadurch bedingte negative Einfluss auf die Gesamtfaserverdauung nicht statistisch abzusichern. Speziell bei dieser Fütterungsvariante konnte jedoch eine tendenziell längere Retentionszeit der festen Digesta im Dickdarm festgestellt werden. Dies lässt vermuten, dass bei der Ration 55+L ein Teil der Faserverdauung in den Dickdarm verlagert wurde.

Die Ergebnisse der Passagerate zeigen, dass die PL des GF keinen systematischen Effekt auf die ruminale Verweilzeit der festen und flüssigen Digesta und auf die fraktionellen Passageraten aus dem Pansen hatten. In Studien von KONONOFF & HEINRICHS (2003) sowie YANG (2001) konnte auch kein negativer Effekt reduzierter PL auf die Passagerate der flüssigen und festen Phase beobachtet werden. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen TAJAJ *et al.* (2004b). Die Heuqualität und die KF-Menge beeinflussten zwar die spezifische Dichte der Partikel, die MPL der Digesta wurde dadurch jedoch nicht beeinflusst. Die Autoren fanden keine systematische Auswirkung, weder von der MLP noch von der Dichte auf die mittlere Retentionszeit der festen Digesta im Pansen. Vergleichbare Ergebnisse erzielten PRIGGE *et al.* (2000) bei Milchkühen. Die Autoren konnten keine Beziehung zwischen einer geringeren PL im Pansen und einer schnelleren Passagerate feststellen. Nach OKINE *et al.* (1998) sind

die physikalischen Eigenschaften (PL und Dichte) wichtige, aber nicht die entscheidenden Einflussfaktoren, welche die Passage der Digesta aus dem RR beeinflussen.

Ein ausreichender Anteil an Strukturkohlenhydraten in Rationen für Milchkühe spielt eine entscheidende Rolle bei der Gestaltung des Pansenmilieus und somit bei der Optimierung der Faserverdauung. Dies konnte in der vorliegenden Studie anhand der Untersuchungen zur Kauaktivität und Pansenfermentation und schließlich zur Faserverdaulichkeit ausreichend belegt werden. Dennoch ist speziell für Hochleistungskühe zu beachten, dass die Bildung mikrobieller Biomasse nur dann optimiert werden kann, wenn ausreichend fermentierbare OM im Pansen zur Verfügung steht. Darunter verstehen THOMAS & RUSSEL (2000) eine mäßige Bereitstellung an leicht löslichen Substraten wie Stärke und Zucker, da diese sowohl für die Stoffwechselaktivität der Cellulolyten als auch für die amylolytischen Bakterien im Pansen wichtig sind. In der vorliegenden Studie konnte aufgezeigt werden, dass ein höheres KF-Niveau in der Ration die Faserverdauung nur tendenziell negativ beeinflusste, während die Gesamtverdaulichkeit der TM, der OM, des XP, des XL und der XX dadurch signifikant verbessert wurde. Erstaunlicherweise konnte insbesondere die Behandlung 55+K die Verdaulichkeit dieser Nährstoffe positiv beeinflussen, obwohl die Wiederkauaktivität und die Fermentation im Pansen im Vergleich zu den Rationen mit 20 % KF verschlechtert wurden, scheint der relativ hohe NDF-Anteil in beiden KF-reichen Rationen (35,8 und 36 % i.d. TM) eine negative Wirkung verhindert zu haben.

## 2.5. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Bei der Rationsgestaltung für Hochleistungskühe ist es anzustreben, die Potentiale des Pansens optimal auszunutzen. Darunter sind insbesondere der Abbau von  $\beta$ -glycosidisch gebundenen Kohlenhydraten (z.B. Cellulose und Hemicellulose) sowie die Bereitstellung von Proteinen bzw. Aminosäuren und B-Vitaminen zu verstehen. Eine physiologisch normale Pansenfunktion ist hierfür die wesentliche Voraussetzung.

Ziel dieses Versuches war es, den Einfluss der PL von Heu und des KF-Niveaus auf die Kauaktivität, Fermentationsparameter im Pansen, Futter- und Flüssigkeitspassage, Nährstoffverdaulichkeit sowie die bakterielle Proteinsynthese bei Milchkühen zu prüfen.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass insbesondere das KF-Niveau die Kaskade der Verdauungsvorgänge bei Milchkühen beeinflusste. Ein hohes KF-Niveau (55 %) in der Ration hatte im Vergleich zu einem niedrigen (20 %) generell einen negativen Effekt auf das Wiederkauverhalten, das Pansenmilieu (pH-Wert, SCFA-Konzentration,  $C_2 : C_3$  Verhältnis), die Verweilzeit der festen Digesta im Pansen und schließlich auf die ruminalen *in situ* TM-

Verluste des Heus und die Gesamtverdaulichkeit der Faserbestandteile in der Ration (XF und Cellulose).

Eine unterschiedliche PL des Heus (30 mm versus 6,0 mm) zeigte in der vorliegenden Studie nur teilweise einen signifikanten Einfluss auf diese Parameter. Bei Rationen mit hohem KF-Niveau konnte das lang gehäckselte Heu die Wiederkauzeit zwar signifikant erhöhen, dennoch wurde dadurch das Pansenmilieu nicht entscheidend verbessert. So führte bei hohem KF-Niveau das kurz gehäckselte Heu zu tendenziell höheren pH-Werten und niedrigeren SCFA-Konzentrationen im Pansen, während bei niedrigem KF-Niveau das lang gehäckselte Heu die Wiederkauaktivität und den Pansenstatus positiv beeinflusste.

Diese Wechselwirkung wurde sowohl in der ruminalen *in situ* Abbaubarkeit des Heus als auch in der Gesamtverdaulichkeit der Nährstoffe beobachtet.

Durch eine signifikant längere Verweildauer der festen Digesta im Pansen bei Fütterung der Variante „20 % KF + langem Heu“ konnte die ruminale *in situ* Abbaubarkeit der TM des Heus signifikant erhöht werden, während die Behandlung „55 % KF + langem Heu“ die Retentionszeit der festen Digesta im Pansen signifikant verschlechterte und demnach zu der niedrigsten ruminalen *in situ* Abbaubarkeit des Heus führte. Dies wirkte sich aber nicht signifikant auf die Gesamtverdaulichkeit der Faserbestandteile in der Ration aus.

Ein hohes KF-Niveau konnte hingegen einen positiven Einfluss auf die mikrobielle Proteinsynthese nehmen. Insbesondere die Kombination „hohes KF-Niveau + kurzes Heu“ scheint die gesamte mikrobielle Proteinsynthese signifikant gesteigert zu haben, was sich auf die Gesamtverdaulichkeit der Nährstoffe, wie TM, OM, XP, XL und XX auswirkte.

Der in allen vier Fütterungsvarianten relativ hohe NDF-Gehalt scheint hauptsächlich dafür verantwortlich zu sein, dass kein eindeutiger Effekt der PL des Grundfutters auf die Verdauungsvorgänge zu erkennen war. Ein hohes KF-Niveau förderte zwar die Bereitstellung von mikrobiell gebildetem Protein und die Verdaulichkeit einiger Rohnährstoffe, dennoch ist im Hinblick auf eine wiederkäuergrechte Ernährung bei der Rationsgestaltung für hochleistende Milchkühe eine ausreichende Bereitstellung strukturierter Kohlenhydrate in Form von Grundfutter unumgänglich, da in der vorliegenden Studie eindeutig ein negativer Effekt hoher KF-Anteile in der Ration auf die Kauaktivität und die Fermentation im Pansen belegt werden konnte.

## 2.6. Literaturverzeichnis

- ALLEN, M. S. (1997): Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. *J. Dairy Sci.* 80, 1447-1462.
- BEAUCHEMIN, K.A., W.Z. YANG and L.M. RODE (2003): Effects of particle size of alfalfa-based dairy cow diets on chewing activity, ruminal fermentation and milk production. *J. Dairy Sci.* 86, 630-643.
- BRANDT, M., S.M. ALLAM (1987): Analytik von TiO<sub>2</sub> im Darminhalt und Kot nach Kjeldahlaufschluss. *Arch. Anim. Nutr.* 37, 453-454.
- CHEN, X.B., D.J. KYLE and E.R. ØRSKOV, (1993): Measurement of allantoin in urine and plasma by high-performance liquid chromatography with pre-column derivation. *J. Chromatography* 617, 241-247.
- CLARK, J.H., KLUSMEYER, T.H and CAMERON, M.R. (1992): Microbial protein synthesis and flows of nitrogen fraction to the duodenum of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 75, 2304-2323.
- DE BRABANDER, D.L., J.L. DE BOEVER, J.M. VANACKER und N.E. GEERTS (2002): Evaluation and effects of physical structure in dairy cattle nutrition. XXII World Buiatrics Congress, pp. 182-197.
- DE VETH, M. J. AND E. S. KOLVER (2001): Diurnal variation in pH reduces digestion and microbial protein when pasture is fermented in continuous culture. *J. Dairy Sci.* 84, 2066-2072.
- DIJKSTRA, J., H. BOER, J. VAN BRUCHEM, M. BRUINING, and S. TAMMINGA (1993): Absorption of volatile fatty acids from the rumen of lactating dairy cows as influenced by volatile fatty acid concentration, pH, and rumen liquid volume. *Br. J. Nutr.* 69, 385-395
- FERNANDEZ, I., C. MARTIN, M. CHAMPION and B. MICHALET-DOREAU (2004): Effects of corn hybrid and chop length of whole-plant corn silage on digestion and intake by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87, 1298-1309.
- FIRKINS, J.L. (2002): Optimizing rumen fermentation. Tri-State Dairy Nutrition Conference, pp. 39-53.
- GRANT, J.R., V.F. COLENBRANDER, D.R. MERTENS: (1990): Milk fat depression in dairy cows: role of particle size of alfalfa silage. *J. Dairy Sci.* 73, 1823-1833.
- HOFFMANN, M. (1990): Tierfütterung, Dt. Landwirtschaftsverlag Berlin, 2. Auflage
- HOOVER W. H. (1986): Chemical factors involved in ruminal fiber digestion. *J. Dairy Sci.* 69, 2755-2767.
- JEROCH, H., W. DROCHNER, O. SIMON (1999): Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere. Eugen Ulmer Verlag Stuttgart.

- KHAZAAL, K., M.T. DENTINHO, J.M. RIBEIRO, E.R. ØRSKOV, (1993): A comparison of gas production during incubation with rumen content in vitro and nylon bag degradability as predictors of the apparent digestibility in vivo and the voluntary feed intake of hays. *Anim. Prod.*, 57, 105-112.
- KONONOFF, P.J. and A.J. HEINRICHS (2003): The effect of reducing alfalfa haylage particle size on cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 86, 1445-1457.
- KRAUSE, K.M., D.K. COMBS and K.A.BEAUCHEMIN (2002a): Effect of forage particle size and grain fermentability in midlactation cows. I. Milk production and diet digestibility. *J. Dairy Sci.* 85, 1936-1946.
- KRAUSE, K.M., D.K. COMBS and K.A.BEAUCHEMIN (2002b): Effect of forage particle size and grain fermentability in midlactation cows. II. Ruminant pH and chewing activity. *J. Dairy Sci.* 85, 1947-1957.
- LEBERL, P.; S. KELLER, H. STEINGASS und W. DROCHNER (2001): Eignung von Kalium als Indikator zur Bestimmung der Harnmenge beim Wiederkäuer. In: Kurzfassung der Vorträge des 113.VDLUFA-Kongresses Hrsg.: VDLUFA Landwirtschaft in mittel- und osteuropäischen Ländern- Potenziale und deren Nutzung, Berlin, 142.
- MADSEN, J., T. HVELPUND, (1994): Prediction of in situ protein degradability in the rumen. *Results of European ring test. Livestock production Science*, 39, 201-212.
- MAMBRIMI, M., J.L. PEYRAUD (1997): Retention time of feed particles and liquids in the stomach and intestines of dairy cows, direct measurement and calculation based on faecal collection. *Reprod. Nutr. Dev.* 37, 427-442.
- MARTIN, C., E. DEVILLARD, B. MICHALET-DOREAU (1999): Influence of sampling site on concentration and carbohydrate degrading enzyme activities of protozoa and bacteria in the rumen. *J. Anim. Sci.* 77, 979-987.
- MCDONALD, I. (1981): A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. *J. Agric. Sci.* 96: 251-252.
- MENKE, K.H. & H. STEINGASS (1988): Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. *Anim. Res. Dev.*, 28, 7-55.
- MERTENS, D.R. (1993): Kinetics of cell wall digestion and passage in ruminants. In: *Forage cell wall structure and digestibility* (Eds. JUNG et al.), Madison, Wisconsin, USA, 538-566.
- MERTENS, D.R. (1997): Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80, 1463-1481.
- MEYER, H., K. BRONSCH, J. LEIBETSEDER, W. DROCHNER, J. KAMPHUES, K. MÄNNER, K. ROHR & D. SCHNEIDER (1993): *Supplemente zur Verlesungen und Übungen in der Tierernährung*. 8. Aufl., Verlag M. & H. SCHAPER, Alsfeld-Hannover.

- MOORE, J.A., K.R. POND, M.N. POORE & T.G. GOODWIN (1992): Influence of model and marker on digesta kinetic estimates for sheep. *J. Anim. Sci.*, 70, 3528-3540.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) (2001): Nutrient Requirements of dairy Cattle. 7 th Rev. Ed. Natl. Acad. Sci., (Washington DC).
- NAUMANN, K., R. BASSLER (1997): VDLUFA-Methodenbuch (1976). Band III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. Ergänzungslieferung von 1983, 1988, 1993, 1997. VDLUFA-Verlag Darmstadt, Germany.
- NOECK, J.E. and J.B. RUSSEL (1988): Protein and energy as an integrated system. Relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial protein synthesis and milk production. *J. Dairy Sci.* 71, 2070-2117.
- ÖLSCHLÄGER, V. Molekularbiologische und enzymatische Untersuchungen zum Einfluss von Partikellänge und Konzentratanteil auf Parameter der fibrolytischen Pansenverdauung. Dissertation, Universität Hohenheim (in Vorbereitung).
- OKINE, E.K., MATHISON, G.W., KASKE, M., KENNELLY, J.J., and CHRISTOPHERSON, R.J. (1998): Current understanding of the role of reticulum and reticulo-omasal orifice in the control of digesta passage from the ruminoreticulum of sheep and cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 78, 15-21.
- PAN, J., KOIKE, S., SUZUKI, S., UEDA, K., KOBAYASHI, Y., TANAKA, K., OKUBO, M. (2003): Effects of mastication on degradation of orchardgrass hay stem by rumen microbes: fibrolytic enzyme activities and microbial attachment. *Anim. Sci. Feed Technol.* 106, 69-79.
- PRIGGE, E.C., FOX, J.T., JACQUEMET, N.A. (1990): Influence of forage diets on ruminal particle size, passage of digesta, feed intake and digestibility by steers. *J. Anim. Sci.* 68, 4352-4360.
- ROSSKOPF, R., H. REINER und G. GIESECKE (1990): Purin- und Pyrimidin- Metaboliten zur Beurteilung des Pansenstoffwechsels: HPLC- Analysen in Milch- und Blutplasma. *Arch. Anim. Nutr.*, 41, 411-426.
- RUSSEL, J.B., J.D. O'CONNOR, G.D. FOX, P.J. VAN SOEST and C.J. SNIFFEN (1992): A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: Ruminal Fermentation. *J. Anim. Sci.* 70, 3551-3561.
- SAS. 2001. SAS User's guide. Statistics, Release 8.2. SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA.
- SHUTTERLAND, T.M. (1988): Particle separation in the fore-stomachs of sheep. In: Aspects of digestive physiology in ruminants. Eds. A.DOBSON and M.J. DOBSON. Comstock Publishing Assoc. Ithaka, NY.
- STONE, W. (2004): Nutritional approaches to minimize subacute ruminal acidosis and laminitis in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 87, (E. Suppl.), E12-E26.

- SUDWEEKS E. M., L. O. ELY, D. R. MERTENS, AND L. R. SISK (1981): Assessing minimum amounts and form of roughage in ruminant diets: Roughage value index system. *J. Anim. Sci.* 53, 406-1411.
- SUSENBETH, A., R. MAYER, B. KOEHLER und O. NEUMANN (1998): Energy requirement for eating in cattle. *J. Anim. Sci.*, 76, 2701-2705.
- TEIMOURI YANSARI, A., VALIZADEH, R., NASERIAN, A., CHRISTENSEN, D.A., YU, P., EFTEKHARI SHAHROODI, F. (2004): Effects of alfalfa particle size and specific gravity on chewing activity, digestibility, and performance of Holstein cows. *J. Dairy Sci.*, 87, 3912-3924.
- TAF AJ, M. (1996): Untersuchungen zu einigen fütterungstechnischen Maßnahmen zur Verbesserung der Ausnutzung faserreichen Grundfutters beim Wiederkäuer. Dissertation, Universität Hohenheim.
- TAF AJ, M., H. STEINGASS A. SUSENBETH, G.U. LANG and W. DROCHNER (1999): Einfluss der Partikellänge von Heu auf Verdauungsvorgänge und Futteraufnahme bei Wiederkäuern bei Variation von Kraftfutter- und Fütterungsniveau. *Arch. Anim. Nutr.* 52, 167-184.
- TAF AJ, M., H. STEINGASS and W. DROCHNER (2001a): Influence of hay particle size at different concentrate and feeding levels on digestive processes and feed intake in ruminants. 2. Passage, digestibility and feed intake. *Arch. Anim. Nutr.* 54, 243-259.
- TAF AJ, M., B. JUNK, A. MAULBETSCH, H. STEINGASS and W. DROCHNER (2001b): Research Note: A method for studying of local differences in ruminal fermentation in dairy cattle. *Arch. Anim. Nutr.* 54, 341-347.
- TAF AJ, M., Q. ZEBELI, B. JUNK, W. DROCHNER (2004a): Influence of particle size of grass silage fed as TMR on chewing activity and rumen fermentation on high - yielding dairy cows. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 13, 76.
- TAF AJ, M., B. JUNK, A. MAULBETSCH, H. STEINGASS, H.P. PIEPHO and W. DROCHNER (2004b): Digesta characteristics of dorsal, middle and ventral rumen of cows fed with different hay qualities and concentrate levels. *Arch. Anim. Nutr.* 58, 325-342.
- TAF AJ, M., V. KOLANECI, B. JUNCK, A. MAULBETSCH, H. STEINGASS, and W. DROCHNER (2005): Influence of fiber content and carbohydrate level on chewing activity, ruminal digestion, digesta passage rate and nutrient digestibility in dairy cows in late lactation. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 18, 1116-1124.
- TAYLER, C.C., and M.S. ALLEN (2005): Corn grain endosperm type and brown midrib 3 corn silage: Ruminal fermentation and N partitioning in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 88, 1434-1442.
- THOMAS, S. and J. B. RUSSELL (2004): The effect of cellobiose, glucose, and cellulose on the survival of fibrobacter succinogenes A3C cultures grown under ammonia limitation. *Curr. Microbiol.* 48, 219-223.

- UDEN, P., P.E. COLUCCI & P.J. VAN SOEST (1980) Investigation of chromium, cerium and cobalt as markers in digesta rate of passage studies. *J. Sci. Food Agric.*, 31, 625-632.
- VAN SOEST, P.J., J.B. ROBERTSON, B.A. LEWIS. (1991): Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583-3597.
- VAN SOEST, P.J. (1994): Nutritional ecology of the ruminant. Cornell University Press, 2. Auflage.
- YANG, W.Z., K.A. BEAUCHEMIN, B. FARR, and L.M. RODE (1997): Comparison of hull-less barley, barley or corn for lactating dairy cows: Effects on extent of digestion and milk production. *J. Dairy Sci.* 80, 2475-2486.
- YANG, W.Z., K.A. BEAUCHEMIN and L.M. RODE (2001): Effects of grain processing, forage to concentrate ratio, and forage particle size on rumen pH and digestion by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84, 2203-2261.
- YANG, W.Z., K.A. BEAUCHEMIN and L.M. RODE (2002): Effects of particle size of alfalfa based- dairy cow diets on site and extent of digestion. *J. Dairy Sci.* 85, 1958-1968.
- YANG, W.Z., K.A. BEAUCHEMIN (2004): Grain processing, forage-to-concentrate ratio, and forage length effects of ruminal nitrogen degradation and flows of amino acids to the duodenum. *J. Dairy Sci.* 87, 2578-2590.
- YANG, W.Z., K.A. BEAUCHEMIN (2005): Effects of physically effective fiber on digestion and milk production by dairy cows fed diets based on corn silage. *J. Dairy Sci.* 88, 1090-1098.
- YANG, W.Z. and K.A. BEAUCHEMIN (2006a): Effects of physically effective fiber on chewing activity and ruminal pH of dairy cows fed diets based on barley silage. *J. Dairy Sci.* 89, 217-228.
- YANG, W.Z., K.A. BEAUCHEMIN (2006b): Physical effective fiber: Method of determination and effects on chewing, ruminal acidosis, and digestion by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89, 2618-2633.
- ZEBELI, Q. (2006): Einfluss der Partikellänge von Totalen Mischrationen (TMR) auf die Digestaschichtung und Verdauungsvorgänge im Pansen bei Milchkühen. Dissertation, Universität Hohenheim.

2.7. Anhang

Tabelle 22: Einfluss der PL des Heus und des KF-Niveaus auf die Fermentationsparameter im Pansen in unterschiedlichen Digestphasen bei Milchkühen (LSmeans ± SEM) (n = 4).

Parameter	Uhrzeit <sup>1</sup>	SRF-D <sup>2</sup>			FRL-V <sup>3</sup>			SEM	p <sup>4</sup> <0,05
		20*K	20*L	55*K	20*K	20*L	55*K		
pH-Wert	07	6,7	6,8	7,2	7,0	6,9	7,0	0,18	n.s.
	10	6,3 <sup>ab</sup>	6,5 <sup>a</sup>	6,0 <sup>b</sup>	6,6	6,7	6,4	0,11	C, PL
	13	6,1	6,3	5,9	6,8	6,5	6,7	0,22	n.s.
	16	6,2	6,2	5,9	6,2	6,4	6,1	0,16	n.s.
	19	6,1	6,2	5,9	6,3	6,3	6,3	0,19	n.s.
	22	5,8 <sup>a</sup>	6,1 <sup>a</sup>	5,4 <sup>b</sup>	6,4 <sup>a</sup>	6,3 <sup>a</sup>	6,0 <sup>a</sup>	0,16	C
	01	6,1	6,2	5,9	6,6	6,6	6,4	0,25	n.s.
	04	6,6	6,9	6,8	6,9	6,9	7,1	0,21	n.s.
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mmol/l	07	20,3 <sup>b</sup>	21,8 <sup>b</sup>	66,0 <sup>a</sup>	61,1 <sup>ab</sup>	54,3 <sup>b</sup>	90,9 <sup>a</sup>	12,28	C
	10	3,1	16,8	2,1	26,5	36,3	21,8	6,32	n.s.
	13	5,8	8,6	7,2	40,6	26,2	43,2	8,68	n.s.
	16	3,9	5,3	2,7	17,9	19,2	5,8	5,47	n.s.
	19	62,3	49,6	26,8	74,9	41,7	82,0	25,19	n.s.
	22	37,3	29,9	1,5	63,8	61,4	17,2	27,99	n.s.
	01	4,4	11,5	1,7	30,4	32,8	25,4	13,31	n.s.
	04	11,9	22,0	32,0	45,6 <sup>ab</sup>	33,6 <sup>b</sup>	62,0 <sup>ab</sup>	12,48	C*PL
NH <sub>3</sub> -N mmol/l	07	5,6	7,7	7,0	4,7	5,9	5,2	0,92	n.s.
	10	8,8	7,4	7,2	7,6	6,2	4,6	0,21	n.s.
	13	7,7	8,0	6,7	8,9	6,7	6,6	1,79	n.s.
	16	7,3	7,0	8,3	6,4	7,8	9,1	2,32	n.s.
	19	12,3	12,5	12,1	10,6	11,4	11,9	1,80	n.s.
	22	3,8	6,6	5,0	3,6	2,9	3,3	0,85	n.s.
	01	2,9	2,9	4,2	2,4	2,1	3,1	1,31	n.s.
	04	4,6	4,8	5,6	3,3	2,7	3,7	1,13	n.s.

Fortsetzung Tabelle 22

Parameter	Uhrzeit <sup>1</sup>	SRF-D <sup>2</sup>			FRL-V <sup>3</sup>			SEM	p <sup>4</sup> <0,05
		20*K	20*L	55*K	20*K	20*L	55*K		
C <sub>2</sub> /C <sub>3</sub>	07	4,2	4,2	3,8	4,6 <sup>a</sup>	4,4 <sup>a</sup>	3,8 <sup>ab</sup>	0,25	C
	10	3,8 <sup>ab</sup>	4,0 <sup>a</sup>	3,1 <sup>b</sup>	3,7 <sup>ab</sup>	4,0 <sup>a</sup>	3,0 <sup>b</sup>	0,26	C
	13	3,9 <sup>ab</sup>	4,0 <sup>a</sup>	3,3 <sup>b</sup>	3,8 <sup>a</sup>	3,8 <sup>a</sup>	3,3 <sup>b</sup>	0,24	C
	16	4,1 <sup>a</sup>	3,9 <sup>b</sup>	3,4 <sup>bc</sup>	4,0 <sup>a</sup>	3,7 <sup>ab</sup>	3,5 <sup>ab</sup>	0,19	C
	19	3,7 <sup>ab</sup>	3,8 <sup>a</sup>	3,2 <sup>ab</sup>	3,5	3,8	3,2	0,21	C,
	22	3,7 <sup>a</sup>	3,6 <sup>a</sup>	3,0 <sup>b</sup>	3,7 <sup>a</sup>	3,7 <sup>a</sup>	3,0 <sup>b</sup>	0,29	C
	01	3,9 <sup>a</sup>	4,0 <sup>a</sup>	3,6 <sup>ab</sup>	4,0	4,0	3,6	0,24	C
	04	4,2 <sup>a</sup>	4,2 <sup>a</sup>	3,8 <sup>ab</sup>	4,2 <sup>a</sup>	4,2 <sup>a</sup>	4,0 <sup>ab</sup>	0,28	C
SCFA mmol/l	07	81,0	97,1	72,3	80,9	85,1	68,5	9,32	n.s.
	10	106,9	93,6	92,6	76,4	82,5	80,1	7,82	n.s.
	13	110,4	109,6	114,0	79,1	87,2	80,6	10,15	n.s.
	16	98,1	93,1	112,4	96,8	88,8	99,9	10,21	n.s.
	19	109,3	104,0	115,3	86,6	98,4	89,3	9,93	n.s.
	22	108,2 <sup>b</sup>	106,8 <sup>b</sup>	117,0 <sup>b</sup>	100,1 <sup>b</sup>	83,5 <sup>b</sup>	99,4 <sup>b</sup>	8,65	C
	01	88,3	97,4	106,0	75,4	85,1	82,2	9,03	n.s.
	04	84,9	86,1	76,6	65,9 <sup>ab</sup>	77,4 <sup>a</sup>	61,6 <sup>ab</sup>	5,93	C
Acetat mmol/l	07	56,9 <sup>ab</sup>	68,9 <sup>a</sup>	49,1 <sup>b</sup>	55,9	55,4	45,7	5,30	C
	10	71,7	64,1	58,1	51,7	56,8	50,6	4,87	n.s.
	13	75,8	75,3	72,5	53,7	59,6	51,4	6,69	n.s.
	16	67,9	63,8	70,4	66,6	59,9	63,0	6,11	n.s.
	19	73,5	70,8	70,8	58,2	66,9	55,0	5,64	n.s.
	22	73,2	72,8	72,0	67,4 <sup>ab</sup>	56,7 <sup>b</sup>	66,8 <sup>b</sup>	5,50	C*PL
	01	60,0	67,5	67,2	51,9	58,7	52,6	5,58	n.s.
	04	59,0 <sup>ab</sup>	60,6 <sup>a</sup>	49,2 <sup>ab</sup>	46,2 <sup>ab</sup>	54,4 <sup>a</sup>	40,3 <sup>b</sup>	4,10	C

Fortsetzung Tabelle 22

Parameter	Uhrzeit <sup>1</sup>	SRF-D <sup>2</sup>			FRL-V <sup>3</sup>			SEM	p <sup>4</sup> <0,05		
		20*K	20*L	55*K	55*L	20*K	20*L			55*K	55*L
Propionat mmol/l	07	13,7	16,4	12,9	15,8	12,3	12,8	12,3	13,0	1,31	n.s.
	10	19,6	16,3	19,4	20,6	14,2	14,3	17,1	16,4	1,80	n.s.
	13	19,4	19,1	21,9	22,8	14,5	15,8	19,7	15,4	2,32	n.s.
	16	16,7 <sup>b</sup>	16,7 <sup>b</sup>	22,0 <sup>ab</sup>	26,3 <sup>a</sup>	17,2	16,7	18,7	18,7	2,51	C
	19	20,1	18,7	22,7	26,1	16,5	18,0	17,6	20,9	2,30	n.s.
	22	20,1 <sup>b</sup>	19,4 <sup>b</sup>	23,9 <sup>ab</sup>	29,3 <sup>a</sup>	18,9 <sup>b</sup>	15,5 <sup>b</sup>	20,0 <sup>ab</sup>	26,3 <sup>a</sup>	2,55	C
	01	16,2	17,1	18,9	22,2	13,4	14,8	14,8	18,4	2,20	n.s.
	04	14,5	14,3	13,0	14,5	11,1	13,0	10,2	12,0	1,17	n.s.
Butyrat mmol/l	07	9,1	10,4	8,8	7,5	8,0	8,0	8,0	6,3	0,99	n.s.
	10	12,5	10,6	11,5	11,6	8,4	9,1	9,7	9,0	1,35	n.s.
	13	12,4	12,3	15,2	11,0	8,9	9,8	10,7	8,4	1,74	n.s.
	16	11,2 <sup>ab</sup>	10,4 <sup>b</sup>	15,3 <sup>a</sup>	15,8 <sup>a</sup>	10,7	10,1	14,1	11,6	1,67	C
	19	13,1	12,1	17,6	18,9	10,0	11,3	13,5	14,0	2,62	n.s.
	22	12,4 <sup>b</sup>	12,1 <sup>b</sup>	16,9 <sup>ab</sup>	21,8 <sup>a</sup>	11,4 <sup>b</sup>	9,5 <sup>b</sup>	15,0 <sup>ab</sup>	20,0 <sup>a</sup>	2,62	C
	01	9,9	10,6	15,4	13,5	8,1	9,4	11,4	11,2	1,98	n.s.
	04	9,2	9,1	10,8	7,8	6,9	8,2	8,3	6,3	1,12	n.s.
Valeriat mmol/l	07	0,8 <sup>b</sup>	0,9 <sup>ab</sup>	0,9 <sup>ab</sup>	1,2 <sup>a</sup>	0,7	0,7	0,8	0,8	0,10	C
	10	1,3 <sup>ab</sup>	1,1 <sup>b</sup>	1,7 <sup>a</sup>	1,7 <sup>a</sup>	0,9	0,9	1,2	1,1	0,16	C
	13	1,3 <sup>b</sup>	1,2 <sup>b</sup>	1,9 <sup>a</sup>	1,9 <sup>a</sup>	0,9	0,9	1,4	1,0	0,21	C
	16	1,0 <sup>b</sup>	1,0 <sup>b</sup>	1,8 <sup>a</sup>	2,0 <sup>a</sup>	1,0	0,9	1,6	1,3	0,26	C
	19	1,3 <sup>b</sup>	1,1 <sup>b</sup>	1,9 <sup>ab</sup>	2,4 <sup>a</sup>	1,0	1,1	1,5	1,9	0,30	C
	22	1,3 <sup>b</sup>	1,2 <sup>b</sup>	2,1 <sup>ab</sup>	2,9 <sup>a</sup>	1,1 <sup>b</sup>	0,9 <sup>b</sup>	1,8 <sup>ab</sup>	2,6 <sup>a</sup>	0,33	C
	01	1,0 <sup>b</sup>	1,0 <sup>b</sup>	2,0 <sup>a</sup>	2,3 <sup>a</sup>	0,8 <sup>b</sup>	0,9 <sup>b</sup>	1,4 <sup>ab</sup>	1,9 <sup>a</sup>	0,29	C
	04	0,8 <sup>b</sup>	0,8 <sup>b</sup>	1,5 <sup>a</sup>	1,5 <sup>a</sup>	0,6 <sup>b</sup>	0,7 <sup>ab</sup>	1,0 <sup>ab</sup>	1,2 <sup>b</sup>	0,18	C

Fortsetzung Tabelle 22

Parameter	Uhrzeit <sup>1</sup>	SRF-D <sup>2</sup>			FRL-V <sup>3</sup>			SEM	p <sup>4</sup> <0,05		
		20*K	20*L	55*K	55*L	20*K	20*L			55*K	55*L
Isobutytrat mmol/l	07	0,7	0,8	0,8	0,8	4,4	7,1	0,6	0,7	3,40	n.s.
	10	0,8	0,6	0,6	0,7	0,5	0,6	0,5	0,5	0,99	n.s.
	13	0,6	0,7	0,8	0,7	0,5	0,5	0,5	0,6	0,09	n.s.
	16	0,6 <sup>b</sup>	0,5 <sup>b</sup>	0,7 <sup>ab</sup>	0,9 <sup>a</sup>	0,5	0,5	0,6	0,6	0,09	C
	19	0,5 <sup>b</sup>	0,5 <sup>b</sup>	0,6 <sup>ab</sup>	0,7 <sup>a</sup>	0,4	0,4	0,6	0,6	0,06	C
	22	0,5	0,5	0,5	0,7	0,5	0,5	0,6	0,6	0,07	n.s.
	01	0,5 <sup>b</sup>	0,5 <sup>b</sup>	0,7 <sup>a</sup>	0,6 <sup>ab</sup>	0,4	0,5	0,5	0,5	10,5	C
	04	0,6	0,5	0,6	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,05	n.s.
Isovaleriat mmol/l	07	1,1	1,1	1,3	1,5	1,0	0,8	1,2	1,2	0,16	n.s.
	10	1,1	0,8	1,3	1,4	0,7	0,7	1,1	1,1	0,23	n.s.
	13	0,9 <sup>b</sup>	0,9 <sup>b</sup>	1,7 <sup>a</sup>	1,6 <sup>a</sup>	0,7	0,6	1,1	1,1	0,20	C
	16	0,9 <sup>b</sup>	0,7 <sup>b</sup>	2,2 <sup>a</sup>	2,1 <sup>a</sup>	0,8 <sup>ab</sup>	0,9 <sup>b</sup>	2,0 <sup>a</sup>	1,5 <sup>ab</sup>	0,38	C
	19	0,8 <sup>b</sup>	0,7 <sup>b</sup>	1,7 <sup>a</sup>	1,9 <sup>a</sup>	0,6 <sup>a</sup>	0,6 <sup>b</sup>	1,3 <sup>a</sup>	1,5 <sup>a</sup>	0,31	C
	22	0,8 <sup>b</sup>	0,7 <sup>b</sup>	1,6 <sup>ab</sup>	2,1 <sup>a</sup>	0,8 <sup>b</sup>	0,5 <sup>b</sup>	1,4 <sup>ab</sup>	2,0 <sup>a</sup>	0,29	C
	01	0,8 <sup>b</sup>	0,7 <sup>b</sup>	1,9 <sup>a</sup>	1,9 <sup>a</sup>	0,6 <sup>b</sup>	0,7 <sup>b</sup>	1,4 <sup>ab</sup>	1,6 <sup>a</sup>	0,24	C
	04	0,9	0,7	1,6	1,5	0,7 <sup>b</sup>	0,7 <sup>b</sup>	1,2 <sup>ab</sup>	1,3 <sup>a</sup>	0,25	C

<sup>1</sup> = Uhrzeit der Probenahme

<sup>2</sup> = abgepresste Flüssigkeit aus der festen Digesta des dorsalen Pansensackes

<sup>3</sup> = Freie ruminale Flüssigkeit aus dem ventralen Pansensack

<sup>4</sup> = signifikante Faktoren: A = Kraftfutterniveau, B = Partikelgröße Heu, A\*B = Wechselwirkung PL Heu und KF - Niveau

a,b,c = Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Faktoren innerhalb der Schichten zwischen den Rationen (p < 0,05)

n.s. = nicht signifikant

**KAPITEL III**

---

**Einfluss der Kohlenhydratzusammensetzung von Kraftfuttermischungen in Totalen  
Mischrationen auf Futteraufnahme, Leistung, Kauaktivität und Verdauungsvorgänge  
bei Milchkühen**

### 3.1. Einleitung

Eine leistungsgerechte und zugleich wiederkäuergerechte Versorgung der Milchkühe steht in den letzten Jahren verstärkt im Mittelpunkt der Forschung. Demnach muss bei der Rationsgestaltung für Milchkühe mit hohen Leistungen eine entsprechend hohe Energieversorgung bei gleichzeitiger Bereitstellung von ausreichend strukturiertem Futter beachtet werden. Die Futterraufnahme (FA) ist die entscheidende Voraussetzung für die Abdeckung des Energie und Nährstoffbedarfes. Da bei höheren Leistungen die FA nicht so stark ansteigt wie der Energiebedarf der Tiere, ist eine höhere Energiedichte im Futter erforderlich (FLACHOWSKY *et al.*, 2004). Dies führt in der Praxis zu Rationen mit verändertem Grundfutter (GF) : Kraftfutter (KF) Verhältnis, in Richtung mehr KF und steigendem Anteil an leichtverdaulichen Kohlenhydraten wie Stärke und Zucker. Durch den abnehmenden Strukturanteil in der Ration kommt es beim Wiederkäuer zu reduzierten Wiederkauzeiten, was mit einer verringerten Speichelsekretion und entsprechendem Puffermangel im Pansen in Verbindung steht (ALLEN, 1997). Eine Absenkung des pH-Wertes und ein gleichzeitig verändertes Fermentationsmuster im Pansen können Gesundheitsstörungen wie Acidose, Tympanien sowie verminderte FA, schlechtere Verdaulichkeiten der Nährstoffe und schließlich Leistungseinbußen zur Folge haben.

Um weiterhin hohe KF-Anteile in Rationen beibehalten zu können, ohne dabei das Pansenmilieu negativ zu beeinflussen, bietet sich die Möglichkeit, in KF-Mischungen für Milchkühe teilweise Komponenten mit einem etwas höheren Rohfaseranteil (Non - Forage - Fiber Source, NFFS) einzumischen. Nach ALLEN & VÖLKER (2003) liegt der größte Vorteil der NFFS in einer guten Gesamtverdaulichkeit der Faserbestandteile und in einer hohen Energiedichte. Durch einen Zusatz von NFFS im KF-Anteil ist laut diesen Autoren mit einer besseren Strukturwirksamkeit von Rationen zu rechnen. Aufgrund ihrer reduzierten Partikellänge (PL) im Vergleich zum GF können die NFFS jedoch nicht zu einer stabilen Faserschicht im Pansen und zu einer ausreichenden Stimulierung der Kauaktivität beitragen (ALLEN & GRANT, 2000). Daher sehen ALLEN & VÖLKER (2000) den Effekt von NFFS in Rationen von Milchkühen als Substitut zum GF des äußerst begrenzt an.

Eine weitere Möglichkeit, kraftfutterreiche Rationen für Milchkühe wiederkäuergerechter gestalten zu können, besteht darin, im KF-Anteil Kohlenhydrate einzusetzen, die sich durch eine niedrigere ruminale Abbaurate („Stärke By-pass Produkte“) auszeichnen.

Eine Verlagerung der Stärkeverdauung vom Pansen in den Dünndarm scheint besonders aus physiologischen Aspekten von Nutzen zu sein. Obwohl die Effizienz der Stärkenutzung aus Getreide am höchsten ist, wenn diese zum größten Teil im Pansen fermentiert wird,

begünstigt eine rasche Passage unverdauter Stärke aus den Vormägen in den Dünndarm das Pansenmilieu, insbesondere durch eine geringere Säureladung und einen damit verbundenen höheren pH-Wert (HUNTINGTON, 1997; SÜDEKUM, 1999).

In dem vorliegenden Versuch wurden vier Kombinationen von KF-Mischungen in einer Totalen Mischration (TMR) geprüft, die sich hinsichtlich ihrer Kohlenhydratzusammensetzung und in ihren ruminalen Abbauraten unterschieden. Dabei stand die Frage im Vordergrund, ob einerseits die Art der verfütterten Kohlenhydrate und andererseits deren ruminales Abbauverhalten Einfluss auf die FA, Leistungsparameter sowie Verdauungsvorgänge von Milchkühen nimmt. Um der Fragestellung nachzugehen, ob faserreiches KF dafür geeignet ist, die Strukturwirksamkeit von kraftfutterreichen Rationen aufzuwerten zu können, wurden darüber hinaus die Effekte auf die Kauaktivität geprüft.

### 3.2. Material und Methoden

#### 3.2.1. Versuchsschema

Die Untersuchungen wurden auf der Versuchstation für angewandte Nutztierbiologie und ökologischen Landbau der Universität Hohenheim (Meiereihof) vom 27.7.2004 bis 31.10.2004 nach der Methode des lateinischen Quadrates (4 x 4) mit 2 x 2 Anordnung der Behandlungen durchgeführt. Als Fütterungsvarianten wurden vier Kombinationen von Totalen Mischrationen geprüft, die sich im KF-Anteil hinsichtlich ihrer Kohlenhydratzusammensetzung (Stärkegehalt hoch oder niedrig) und in ihren Abbauraten (schnell bzw. langsam) unterschieden. Der Versuch wurde in vier Versuchsperioden zu je 24 Tagen gegliedert. Das Versuchsschema und der Ablauf jeder Versuchsperiode ergeben sich aus den Tabellen 23 und 24.

Tabelle 23: Versuchsschema

Versuchsperiode	Gruppe/ Ration <sup>a</sup>			
	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4
I	H+S	H+L	N+L	N+S
II	N+S	H+S	H+L	N+L
III	N+L	N+S	H+S	H+L
IV	H+L	N+L	N+S	H+S

<sup>a</sup>H+S = Stärkegehalt hoch + schnelle Abbaurate, H+L = Stärkegehalt hoch + langsame Abbaurate, N+S = Stärkegehalt niedrig + schnelle Abbaurate, N+L = Stärkegehalt niedrig + langsame Abbaurate

Tabelle 24: Versuchsablauf

	Dauer in Tagen	von....bis Tag
Anfütterung	10	1.-10.
Dokumentation Futteraufnahme und Leistungsparameter	14	11.-24.
TiO <sub>2</sub> -Gabe	10	11.-20.
Wiederkaumessung	10	11.-20.
Verdaulichkeit, Kotproben	7	14.-20.
Pansenfermentation	2	20.-21.
<i>In situ</i> Untersuchungen	4	14.-18.
Milchproben	4 Milchproben je Versuchsperiode	

### 3.2.2. Versuchtiere und Haltung

Für die Untersuchungen standen 22 Milchkühe der Rasse „Deutsche Holstein“ zur Verfügung. Die Kühe wurden in vier Gruppen mit jeweils fünf oder sechs Tieren aufgeteilt. Davon besaß in jeder Gruppe ein Tier eine permanente Pansenfistel (Kanüle: Ø 100 mm, Bar Diamond, Parma ID). Die Einteilung der Gruppen und die Produktionsdaten der Versuchskühe zu Versuchsbeginn sind in Tabelle 25 aufgeführt.

Alle Vorgehensweisen am Tier wurden vom Regierungspräsidium des Landes Baden-Württemberg genehmigt.

Tabelle 25: Anzahl der Tiere, Gruppeneinteilung und Tierdaten zu Versuchsbeginn.

		Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4
Tierzahl	n	5	6	6	5
Anzahl Fisteltiere	n	1	1	1	1
Alter	Jahre	4±2	4±1	4±1	4±1
Laktationsnummer	n	2±1	2±1	2±1	2±1
Laktationstadium	Tag	217±75	253±77	190±101	250±109
Tagesmilchleistung	kg	29±3	28±6	25±5	27±3
Gewicht	kg	662±43	689±64	688±25	672±63

Die Kühe wurden in einem Liegeboxenlaufstall mit 21 Liegeplätzen aufgestellt. Die Liegeboxen waren mit gepressten Moosgummimatratzen und einer modifizierten Glöcknerabtrennung ausgestattet. Der gummibeschichtete Spaltenboden im Laufbereich wurde zweimal täglich gereinigt. Die Fütterung der TMR erfolgte aus Kunststofftrögen mit respondergesteuerter Zugangsberechtigung und individueller Erfassung der Verzehrsmenge. Es ergab sich ein Tier : Fressplatz Verhältnis von 1,8 : 1. Das Wasser stand den Kühen durch zwei großkalibrige Trogselftränken (Wasserdurchfluss 20 l/ min) *ad libitum* zur Verfügung. Die Kühe wurden zweimal täglich in einem 2 x 3 Auto-Tandemmelkstand gemolken.

### 3.2.3. Futter und Fütterung

Für den Versuch wurden vier unterschiedliche Rationen als TMR hergestellt. Diese basierten auf derselben Grundfuttermischung, die sich aus 19 % Maissilage, 19 % Grassilage und 13 % Heu zusammensetzte. Die Abstufungen im Stärkegehalt bzw. Fasergehalt und in ihrem Abbauverhalten erfolgten durch die Beimischung von unterschiedlichen KF-Mischungen, die zu 46,4 % der TMR zugesetzt wurden. Zusätzlich enthielt jede TMR 2,6 % eine Mineralstoff-Vitamin-Vormischung für Rinder. Die Futterkomponenten der KF-Mischungen sowie die chemische Zusammensetzung der vier TMR gehen aus den Tabellen 26 und 27 hervor. Die Rohnährstoffe der KF-Komponenten sind in Tabelle 42 im Anhang aufgeführt.

Tabelle 26: Zusammensetzung der KF-Mischungen (% in der TM).

H+L		H+S	
Körnermais	74,7	Weizen	17,7
Rapsextraktionsschrot	19,2	Erbsen	20,9
Kartoffeleiweiß	6,1	Ackerbohnen	31
		Gerste	30,4
N+L		N+S	
Palmkernexpeller	31,9	Sojaextraktionsschrot	23,9
Rapsextraktionsschrot	3,1	Melasseschnitzel	34,4
Maiskleberfutter	31,6	Zitrustrester	31,4
Sojaschalen	33,4	Sojaschalen	10,4

H+S = Stärkegehalt hoch + schnelle Abbaurate, H+L = Stärkegehalt hoch + langsame Abbaurate,  
 N+S = Stärkegehalt niedrig + schnelle Abbaurate, N+L = Stärkegehalt niedrig + langsame Abbaurate

#### - Futtermischung und Futtervorlage

Die Mischung der Rationen erfolgte einmal täglich in einem Futtermischwagen (Fa. SEKO-SAMURAI III). Nach jeder Mischung wurde der Mischwagen gereinigt um mögliche Verschleppungen zu verhindern. Anschließend wurden die Mischungen auf die jeweilig zugeordneten Kunststofftröge verteilt.

#### - Futtermittelanalytik

Aus den KF-Mischungen und aus den Gesamtmischrationen wurden zweimal wöchentlich Futterproben entnommen. Die Proben wurden zu einer Sammelprobe je Durchgang vereinigt und wie in Kapitel 2.2.3. auf ihre Rohnährstoffgehalte, Zellwandbestandteile sowie Energiegehalte untersucht.

Tabelle 27: Chemische Zusammensetzung der Totalen Mischrationen.

	Ration <sup>a</sup>			
	H+L	H+S	N+L	N+S
Trockenmasse (TM)	43,8	43,1	43,3	43,9
% i.d. TM				
XA	7,9	8,5	8,7	9,3
XL	3,7	2,4	3,8	2,4
XP	15,3	16,6	14,9	14,6
XF	15,6	17,8	23,7	20,9
Zucker	3,6	3,7	3,5	9,2
Stärke	28,8	25,4	9,6	7,6
NDF	35,2	35,4	47,4	38,1
ADF	20,0	22,6	32,4	27,3
NFC <sup>b</sup>	38,0	39,1	25,3	35,7
NDF/NFC	0,9	0,9	1,9	1,1
NEL MJ/ kg TM <sup>c</sup>	6,4	6,3	6,5	6,4
dO <sup>d</sup>	72,8	73,3	73,7	74
a+b (ml) <sup>e</sup>	55,6	56,4	59,4	58,6
k <sub>d</sub> ,h <sup>-1</sup>	0,08	0,09	0,07	0,09

<sup>a</sup> H+S = Stärkegehalt hoch + schnelle Abbaurate, H+L = Stärkegehalt hoch + langsame Abbaurate,

N+S = Stärkegehalt niedrig + schnelle Abbaurate, N+L = Stärkegehalt niedrig + langsame Abbaurate

<sup>b</sup> NFC = 100-NDF-XP-XL-XA,

<sup>c</sup> Im HFT ermittelt

<sup>d</sup> Verdaulichkeit der OM (im HFT ermittelt)

<sup>e</sup> Konstanten der exponentiellen Funktion nach KHAZAAL *et al.* (1993); a+b = potentielle Gasbildung (ml/ 200 mg TM); k<sub>d</sub> = Gasbildungsrate

### 3.2.4. Versuchsparameter

#### 3.2.4.1. Datenerfassung

Die Daten zur Futteraufnahme (FA), zur Milchleistung und zu den Tiergewichten wurden durch ein Responder-System mit entsprechenden Sende- und Empfangseinheiten erfasst. Die FA wurde direkt an den Fressplätzen erfasst, während die Milchleistung und die Tiergewichte mit dem Herdenmanagement-System Dairyplan DP 5 (Fa. Westfalia) ermittelt wurden. Die gewonnenen Daten wurden mit den Ergebnissen der Milchprobenuntersuchung und der Futtermittelanalytik ergänzt. Die täglich erstellten Daten jedes Tieres bildeten die Grundlage der Versuchsauswertung.

#### 3.2.4.2. Futteraufnahme

Die Futteraufnahme wurde täglich tierindividuell auf Basis der Einzelfressplatzbesuche elektronisch erfasst. Die Kunststofftröge standen auf einem elektronischen Wiegebolzen. Eine Sende- und Empfangseinheit gewährte nur zugangsberechtigten Tieren die FA. Am Futtertrog wurde die Kuhnummer, Trogmasse und Uhrzeit zu Beginn und zu Ende jeder Fressperiode

erfasst. Die Frischsubstanz-Aufnahme und die Fressdauer wurden daraus entsprechend berechnet.

### 3.2.4.3. Energieversorgungsstatus, ruminale N-Bilanz , Lebendmasse

Der Versorgungsstatus der Kühe mit Energie und nXP wurde berechnet als Differenz zwischen Aufnahme und Bedarf, ohne Berücksichtigung eines Körperansatzes oder -abbaus. Der Gehalt eines Futtermittels an nXP wurde nach folgender Gleichung ermittelt (DLG, 1998):

$$\text{nXP} = 11,93 - (6,82 * (\text{UDP/XP})) * \text{ME} + 1,03 * \text{UDP}$$

Außerdem wurde die ruminale N-Bilanz (RNB) als Maß für die N-Versorgung der Vormägen berechnet:

$$\text{RNB} = (\text{XP} - \text{nXP}) / 6,25$$

UDP = unabbaubares Rohprotein (g/ kg TM)

XP = Rohprotein (g/ kg TM)

ME = Umsetzbare Energie (MJ/ kg TM)

Die UDP-Werte wurden aus Tabellen entnommen (DLG-Futterwerttabellen-Wiederkäuer, 1997). Bei der Rationsgestaltung sollte eine RNB von 0 angestrebt werden.

Der nXP-Bedarf für eine Milchkuh wurde wie folgt errechnet:

$$\text{nXP (g/ d)} = [180 + 0,4 * \text{Lebendmasse (kg)}] + [18 + 20 * \text{Milcheiweiß (\%)} * \text{Milch (kg)}]$$

Auf einer Durchtreibewaage hinter dem Melkstand wurde nach jedem Melkgang die Lebendmasse der Tiere elektronisch erfasst.

### 3.2.4.4. Milchleistung und -inhaltsstoffe

Die Milchleistung der Kühe wurde zweimal täglich bei jedem Melkgang dokumentiert. Milchproben wurden zweimal wöchentlich vom Milchprüfing Baden-Württemberg mittels Nah-Infrarot-Spektroskopie auf Fett-, Eiweiß-, Harnstoff-, Laktosegehalt und Zellzahl untersucht. Die Proben bestanden aus einem aliquoten Teil des Abendmelkes und einem Teil des darauf folgenden Morgemelkes. Die Menge an Fett-Eiweiß-korrigierter Milch (FECM) wurde anhand der Formel nach MEYER *et al.* (1993) berechnet:

$$\text{FECM (kg)} = [0,37 * \text{Fett (\%)} + 0,21 * \text{Eiweiß (\%)} + 0,95] / 3,1 * \text{Milchmenge (kg)}$$

### 3.2.4.5. Verdaulichkeit der Rohnährstoffe

Untersuchungen zur Nährstoffverdaulichkeit erfolgten jeweils an den pansenfistulierten Kühen nach der in Kapitel 2.2.4.2. beschriebenen Methode. Allerdings wurde aus fütterungstechnischen Gründen der exogene Marker  $\text{TiO}_2$  nicht über das Futter verabreicht, sondern zweimal täglich direkt durch die Fistel auf die kraniale Fasermatte des Pansens gelegt. Aufgrund der Haltungsbedingungen im Laufstall beschränkten sich die Kotprobenentnahmen auf zweimal täglich nach jedem Melkgang. Die Behandlung der Kotproben, sowie die Analysen und die Berechnungen zur Nährstoffverdaulichkeit wurden identisch zu Kapitel 2.2.4.2. durchgeführt.

### 3.2.4.6. Parameter der Pansenfermentation

Die Pansenfermentation wurde an den pansenfistulierten Kühen untersucht. Die Probenahme erfolgte in jeder Versuchsperiode um 7.00, 11.00, 15.00 und 19.00 Uhr. Die Fermentationsparameter wurden in der flüssigen Digestaphase des ventralen Pansens (FRL, Free Rumen Liquid) geprüft. Die Pansensaftentnahme und die Analysen des pH-Wertes, der  $\text{CO}_2$ -,  $\text{NH}_3$ - und der SCFA-Konzentration wurden wie in Kapitel 2.2.4.5 beschrieben durchgeführt.

### 3.2.4.7. Untersuchungen zur Kauaktivität

Die Untersuchungen zur Kauaktivität erfolgten an zwei Tieren pro Gruppe. Für die Auswertungen wurden mindestens drei vollständig aufgezeichnete Tage pro Tier und Versuchsperiode verwendet.

Das Kauverhalten der Kühe wurde anhand eines speziell dafür konstruierten Halfters dokumentiert, welches den Tieren 24 h lang angelegt wurde. Die Kühe konnten sich damit im Laufstall frei bewegen. Eine Gewöhnung der Tiere an das Halfter war dafür notwendig und fand nicht ad hoc bei jedem Tier die entsprechende Akzeptanz.

#### - Messtechnik

Die Messtechnik basiert auf der Methode von SUSENBETH *et al.* (1998) und wurde am Institut für Tierernährung in Hohenheim weiterentwickelt. Die Kaubewegungen der Kühe konnten durch einen einseitig geschlossenen Silikonschlauch, der am Unterkieferriemen bis hin zum Genickstück eines Halfters befestigt war, erfasst werden. Damit sich die Tiere ungehindert im Laufstall bewegen konnten, war am Genickstück des Halfters ein Datenlogger (Gemini Tinitag Plus Data Logger) angebracht. Durch die Kaubewegungen wurde ein

Luftstrom erzeugt, der über zwei Blattfedern einen elektrischen Impuls auslöste. Dieser wurde im Datenlogger gespeichert. Das Halfter wurde vor jeder Messung mit Hilfe eines Voltmeters geeicht.

#### **- Auswertung der Daten**

Die im Datenlogger abgelegten Daten wurden mit dem Programm Gemini Logger Manager (GLM) ausgelesen und die Kauaktivität über 24 h graphisch dargestellt. Die Wiederkaubewegungen ließen sich von den Fressbewegungen durch die charakteristische Impulsfolge unterscheiden. Die Daten wurden anschließend mit dem Auswertungsprogramm „Rumination Analysis Programm“ ausgewertet. Das Programm arbeitet mit folgenden Grundeinstellungen:

- Länge des Messintervalls = 6 sec
- „Count Limit“, Höchstzahl der Kauschläge in einem Messintervall = 9
- Mindestanzahl der Kauschläge pro Bolus = 15
- „Pause Treshold“, Zeit zwischen Abschlucken eines Bolus und der Rejektion = 6 sec

Zur Charakterisierung des Kauverhaltens der Kühe konnten folgende Parameter ermittelt werden: Gesamtkauschläge, Gesamtkauzeit (min), Fresszeit (min), Anzahl der Wiederkauperioden, Wiederkauschläge pro Wiederkauperiode, Wiederkauschläge pro Sekunde, Anzahl der Boli pro Wiederkauperiode, Wiederkauschläge pro Bolus.

#### **3.2.4.8. Ruminale Abbaukinetik der Totalen Mischrationen**

##### **-Untersuchungen zum TM- und Stärkeabbau**

Um das ruminale Abbauverhalten der Totalen Mischrationen überprüfen zu können, wurde eine definierte Menge jeder Mischration in Nylon-Beutel eingewogen und anschließend intraruminal bei zwei pansenfistulierten Kühen, die nicht am Produktionsversuch teilnahmen, inkubiert. Beide Kühe befanden sich zum Zeitpunkt der Untersuchung nicht in Laktation und erhielten eine entsprechend reduzierte Ration. Unter Anwendung der *in situ* Methode (MADSEN & HVELPLUND, 1994) wurden der TM- und Stärkeabbau nach 0, 2, 4, 8, 16, 24, 48 und 72 Stunden ermittelt. Die jeweilige Abbaukinetik der TM und der Stärke wurde, wie in Kapitel 2.2.4.7. beschrieben, errechnet. Eine Korrektur für die auswaschbaren, unlöslichen, kleinen Partikel wurde mit folgender Korrekturgleichung nach WEISBJERG *et al.* (1990) vorgenommen:

$$CDli = Dli - SP * [1 - ((Dli - (SP+WS)) / (1 - (SP+WS)))]$$

CDli = Korrigierter Abbau zum Zeitpunkt i

Dli = gemessener Abbau (durch Rückwaage der Beutel) zum Zeitpunkt i

SP = Kleine Partikel, die zum Zeitpunkt 0 verschwunden sind.

WS = wasserlösliche Substanz

Die Ermittlung der wasserlöslichen Fraktion erfolgte durch 12-stündiges Einweichen der vier TMR-Varianten und anschließendes Filtrieren der Proben über einen Faltenfilter (Nr. 595, Schleicher und Schuell, Dassel, Deutschland). Nach dem Filtrieren wurden die Proben 48 Stunden bei 60°C getrocknet und nach dem Abkühlen zurückgewogen.

### **- Einfluss der Fütterung auf den ruminalen Abbau der Totalen Mischrationen**

Um die Wechselwirkung zwischen der Fütterung der Kühe und dem ruminalen TM-Abbau zu untersuchen, wurde während des Produktionsversuches an jeweils zwei pansenfistulierten Kühen das Abbauverhalten der vier Fütterungsvarianten geprüft. Die beiden Kühe waren am laufenden Produktionsversuch beteiligt und befanden sich zu Versuchsbeginn am 188. und 181. Laktationstag. Sie wiesen ein durchschnittliches Gewicht von 720 und 738 kg auf. In jeder Versuchsperiode bzw. bei jeder Fütterungsvariante wurden beiden Kühen alle vier TMR intraruminal als Substrat inkubiert. Dabei wurden die TM-Verluste nach 0, 12, 20 und 48 Stunden ermittelt. Die Methode wurde wie in Kapitel 2.1.4.7. durchgeführt.

Der Versuch wurde als Crossover-Design über 4 Durchgänge mit je 4 Tagen geplant.

Eine Korrektur der auswaschbaren, unlöslichen kleinen Partikel wurde in dieser Untersuchung nicht vorgenommen, da diese Fraktion nicht durch die Fermentationsbedingungen beeinflusst ist.

### **3.2.5. Statistische Auswertung**

Um einen Einfluss der Rationszusammensetzung auf das ruminale Abbauverhalten der Totalen Mischrationen untersuchen zu können, wurden die Daten des TM-Abbaus mit der Prozedur GLM (SAS, 2001) geprüft. Als feste Effekte galten der Stärkegehalt der Ration (XS), die Abbaurate der Ration (A) sowie die Wechselwirkung beider Parameter (XS\*A). Die Faktoren Tier und Versuchsperiode wurden als zufällige Effekte betrachtet. Die „least squares means“ (LSmeans) wurden berechnet und die Stufen der Behandlung mit der Option PDIFF verglichen. Das Signifikanzniveau wurde auf  $p < 0,05$  festgelegt.

Die Versuchsergebnisse des Produktionsversuches wurden als 4 x 4 Lateinisches Quadrat anhand der Mixed Prozedur (PROC MIXED) (SAS, 2001) ausgewertet. Das Modell beinhaltete die festen Effekte des Stärkegehaltes (XS), der Abbaurate (A) und die entsprechende Wechselwirkung (XS\*A). Des Weiteren wurden die Effekte des Tieres (T), der Versuchsperiode (DG) und bei der Auswertung der Pansenparameter zusätzlich der Effekt des Zeitpunktes (Zp) als fest angenommen.

Um die Kovarianz der wiederholten Messung am selben Tier und an verschiedenen Zeitpunkten (Zp) zu beachten, wurde die Option „random“ für wiederholte Messungen mit einem Splitt Plott Modell (DG x C; DG x C x Zp) angewendet. Die Freiheitsgrade wurden nach der Methode von Kenward-Rogers (ddfm = kr) geschätzt. Die Least Square Means (LSmeans) wurden berechnet, wobei die Unterschiede zwischen den Behandlungsstufen mittels der Option „PDIF“ (Probability of difference) geprüft wurde. Das Signifikanzniveau wurde auf  $p < 0,05$  festgelegt.

### 3.3. Ergebnisse

#### 3.3.1. Charakterisierung der Versuchsrationen - *in situ* Abbau der TM und der Stärke

Bei der Formulierung der Versuchsrationen wurde auf möglichst gleiche XP-Gehalte und Energiekonzentrationen geachtet. Hauptsächlich Unterschiede sollten in den XF- und XS-Gehalten sowie in den Abbauraten gegeben sein. Die Ergebnisse der Rohnährstoffanalyse sind in Tabelle 27 zusammengefasst. Danach variierten die TMR in ihren XP-Gehalten zwischen 14,6 und 16,6 % in der TM. Die Energiekonzentrationen bewegten sich zwischen 6,3 und 6,5 MJ NEL/ kg TM. Die stärkereichen Rationen wiesen einen XF-Gehalt von 16 und 18 % in der TM auf, während bei den faserreichen Rationen die XF-Gehalte zwischen 21 % und 24 % in der TM variierten. Diese Unterschiede waren jedoch in den NDF-Gehalten nicht so stark ausgeprägt. Ein deutlich höherer NDF-Gehalt, mit 48 % in der TM, konnte lediglich in der Ration N+L nachgewiesen werden. Alle anderen Behandlungen wiesen einen NDF-Gehalt zwischen 35 und 38 % in der TM auf.

Die XS-Gehalte machten bei den faserreichen Rationen 8 % und 10 % in der TM aus und lagen demnach deutlich niedriger als bei den stärkereichen Rationen mit 25 % und 29 %. Jedoch zeichnete sich die Ration N+S durch einen etwas höheren Zucker-Gehalt aus.

Das Abbauverhalten der TM und der Stärke wurde über 72 Stunden geprüft. Die Ergebnisse dazu sind in den Tabellen 28 und 29 aufgeführt. Die fraktionellen Abbauraten der TM lagen bei den langsam abbaubaren Rationen für die stärkereichen Varianten um 0,8 %/ h und für die stärkearmen um 1,4 %/ h niedriger im Vergleich zu den jeweiligen schnell abbaubaren

Rationen. Entsprechend den niedrigeren Abbauraten konnten bei den langsam abbaubaren Rationen auch reduzierte effektive ruminale Abbaubarkeiten der TM bei einer Passagerate von 8 % festgestellt werden. Hinsichtlich des Abbauverhaltens der Stärke zeichneten sich die langsam abbaubaren Fütterungsvarianten mit einem höheren potentiell abbaubaren Stärkeanteil aus. Die Abbaurate sowie die effektive ruminale Abbaubarkeit (bei einer Passage von 8 %) der Stärke war, wie erwartet, bei beiden langsam abbaubaren Rationen deutlich niedriger. Eine erstaunlich hohe Abbaurate mit 60,3 %/ h wurde bei der Ration N+S ermittelt. Dies ist jedoch aufgrund eines niedrigen Stärkegehaltes in Kombination mit einer hohen Abbaubarkeit der Stärke im Substrat hauptsächlich auf methodisch bedingte Gründe zurückzuführen.

Tabelle 28: Ruminale Abbaukinetik der TM.

Parameter	Ration <sup>a</sup>			
	H+L	H+S	N+L	N+S
<i>Fraktion % der TM<sup>b</sup></i>				
a	16,4	20,4	14,3	21,0
b	76,6	67,8	77,2	72,6
k <sub>d</sub> , %/ h	6,5	7,3	4,9	6,3
ERD, % <sup>c</sup>				
2% Passagerate	76,6	74,8	71,6	77,3
5% Passagerate	63,5	63,5	58,1	64,3
8% Passagerate	56,5	57,0	51,9	57,3

<sup>a</sup> H+S = Stärkegehalt hoch + schnelle Abbaurate, H+L = Stärkegehalt hoch + langsame Abbaurate,

N+S = Stärkegehalt niedrig + schnelle Abbaurate, N+L = Stärkegehalt niedrig + langsame Abbaurate

<sup>b</sup> Fraktionen: a = wasserlösliche Fraktion, b = potentiell abbaubare Fraktion, k<sub>d</sub> = fraktionelle Rate des Abbaus

<sup>c</sup> effektive ruminale Abbaubarkeit bei einer Passagerate von 2, 5 und 8%/ h.

Tabelle 29: Ruminale Abbaukinetik der Stärke.

Parameter	Ration <sup>a</sup>			
	H+L	H+S	N+L	N+S
<i>Fraktion % der XS<sup>b</sup></i>				
a	10,8	45,3	10,0	27,8
b	92,0	54,4	91,9	64,2
k <sub>d</sub> , %/ h	7,7	14,0	9,0	60,3
ERD, % <sup>d</sup>				
2% Passagerate	85,5	92,9	86,9	89,0
5% Passagerate	70,5	85,4	72,8	86,2
8% Passagerate	61,9	79,9	64,3	83,7

<sup>a</sup> H+S = Stärkegehalt hoch + schnelle Abbaurate, H+L = Stärkegehalt hoch + langsame Abbaurate,

N+S = Stärkegehalt niedrig + schnelle Abbaurate, N+L = Stärkegehalt niedrig + langsame Abbaurate

<sup>b</sup> Fraktionen: a = wasserlösliche Fraktion, b = potentiell abbaubare Fraktion, k<sub>d</sub> = fraktionelle Rate des Abbaus

<sup>c</sup> effektive ruminale Abbaubarkeit bei einer Passagerate von 2, 5 und 8%/ h.

Wie bei der Rationsformulierung angestrebt wurde, ergaben sich für die Fütterungsvarianten, die in Tabelle 30 dargestellten Anteile an ruminal und post ruminal abbaubarer Stärke.

Errechnet aus der ermittelten effektiven Abbaubarkeit der Stärke, bei einer angenommenen Passagerate von 8 %/ h, konnte demnach ein zunehmender Anteil an beständiger Stärke für die langsam abbaubaren und ein entsprechend höherer Anteile an ruminal fermentierbarer Stärke für die schnell abbaubaren Fütterungsvarianten bestätigt werden.

Tabelle 30: Anteil an ruminal abbaubarer und beständiger Stärke in den Rationen.

Parameter	Ration <sup>a</sup>			
	H+L	H+S	N+L	N+S
<i>% i.d. TM</i>				
XS	28,8	25,4	9,6	7,6
ruminal abbaubar	17,8	20,3	6,2	6,4
By pass	11,0	5,1	3,4	1,3
<i>% der Stärke</i>				
ruminal abbaubar	61,8	79,9	64,6	84,2
By pass	38,2	20,1	35,4	17,1

<sup>a</sup> H+S = Stärkegehalt hoch + schnelle Abbaurrate, H+L = Stärkegehalt hoch + langsame Abbaurrate, N+S = Stärkegehalt niedrig + schnelle Abbaurrate, N+L = Stärkegehalt niedrig + langsame Abbaurrate

### 3.3.2. TM- und Rohn Nährstoffaufnahme

Die durchschnittlichen TM- und Rohnnährstoffaufnahmen der Kühe sind in Tabelle 31 aufgeführt. Danach lag die mittlere TM-Aufnahme zwischen 18,7 und 22,2 kg pro Kuh und Tag. Sowohl die Kohlenhydratzusammensetzung als auch die ruminale Abbaurrate der Rationen wirkten sich signifikant auf die FA aus. Innerhalb der KF-Varianten (viel oder wenig Stärke) wurden durch den Zusatz von langsam abbaubaren KF-Komponenten im Vergleich zu den schnell abbaubaren signifikant höhere Futteraufnahmen erreicht (22,2 und 21 kg bei langsamer Abbaurrate, gegenüber 20 und 18,7 kg bei schneller Abbaurrate). Insgesamt lag im Durchschnitt die TM-Aufnahme bei den stärkereichen Rationen höher, so dass der XS-Gehalt in der Ration einen signifikanten Einfluss zeigte. Die Fütterungsvariante H+L führte zu der signifikant höchsten FA.

Entsprechend den höheren TM-Aufnahmen wiesen die Kühe bei den langsam abbaubaren Fütterungsvarianten höhere XP- und nXP-Aufnahmen (g/ d) auf. Weiterhin wurden folglich auch signifikant höhere Energiemengen aufgenommen (137 und 143 MJ NEL/ Tag für die Rationen N+L und H+L gegenüber 120 und 126 MJ NEL/ Tag für die Rationen N+S und H+S). Die unterschiedlichen Anteile an Struktur- und Nicht-Strukturkohlenhydraten in den Rationen machten sich auf die Faseraufnahme der Kühe aufgrund der variierenden FA nicht immer wie erwartet bemerkbar:

Die Substitution stärkereicher KF-Komponenten durch faserreiche wirkte sich dennoch signifikant auf die XF-Aufnahme der Kühe aus. Demgemäß lag die XF-Aufnahme bei

Fütterung von Mischrationen mit faserreichen KF-Komponenten mit 4 und 5 kg/ Tag signifikant höher als bei den Rationen mit höherem XS-Anteil (etwa 3,5 kg/ Tag). Obwohl die TM-Aufnahme bei Fütterung der Ration N+S signifikant reduziert war, wurde trotzdem im Vergleich zu den beiden stärkereichen Rationen mehr XF aufgenommen. Zusätzlich war die XF-Aufnahme bei Fütterung der faserreichen Rationen, speziell bei der schnell abbaubaren Variante, signifikant reduziert. Dieser Effekt machte sich jedoch in der NDF-Aufnahme nicht bemerkbar, da der NDF-Gehalt in den Versuchsrationen H+S, H+L und N+S nur gering variierte. So wurde aufgrund der hohen TM-Aufnahme bei den beiden langsam abbaubaren Rationen entsprechend mehr NDF aufgenommen. Beide faserreichen Rationen konnten aber zu höheren ADF-Aufnahmen beitragen.

Die tägliche XS-Aufnahme der Kühe lag erwartungsgemäß bei Fütterung von stärkereichem KF signifikant höher. Innerhalb der KF-Varianten (viel oder wenig Stärke) wurden jedoch jeweils bei den Rationen mit langsamer Abbaurate höhere tägliche XS-Aufnahmen festgestellt, welche wiederum auf die höheren TM-Aufnahmen zurückzuführen sind. Gemäß dem hohen Zuckeranteil in der Ration N+S nahmen die Kühe bei dieser Rationsvariante signifikant mehr Zucker pro Tag auf.

Tabelle 31: Einfluss der Kohlenhydratzusammensetzung und der ruminalen Abbaurate von Totalen Mischrationen auf die Futter- und Roh Nährstoffaufnahme von Milchkühen (LSmeans  $\pm$  SEM) (n = 22).

	Ration <sup>a</sup>				SEM	p <sup>b</sup> <0,05
	H+L	H+S	N+L	N+S		
TM-Aufnahme (kg/ d)	22,2 <sup>a</sup>	20,0 <sup>c</sup>	21,0 <sup>b</sup>	18,7 <sup>d</sup>	0,46	XS,A
TM-Aufnahme (g/W <sup>0,75</sup> / d)	163,0 <sup>a</sup>	147,2 <sup>c</sup>	155,5 <sup>b</sup>	138,1 <sup>d</sup>	4,02	XS,A
<i>Nährstoffaufnahme</i>						
XP (g/ d)	3401,2 <sup>a</sup>	2932,2 <sup>c</sup>	3129,4 <sup>b</sup>	2723 <sup>d</sup>	67,61	XS,A
XL (g/ d)	816,4 <sup>a</sup>	483,0 <sup>c</sup>	788,2 <sup>b</sup>	443,3 <sup>d</sup>	14,03	XS,A
XF (g/ d)	3465,7 <sup>c</sup>	3565,5 <sup>c</sup>	4972,5 <sup>a</sup>	3912,7 <sup>b</sup>	87,99	XS,A,XS*A
NDF (g/ d)	7827,8 <sup>b</sup>	7090,9 <sup>c</sup>	9957,6 <sup>a</sup>	7122,0 <sup>c</sup>	176,30	XS,A,XS*A
ADF (g/ d)	4440 <sup>c</sup>	4521,5 <sup>c</sup>	6815,6 <sup>a</sup>	5093,9 <sup>b</sup>	115,39	XS,A,XS*A
Cellulose (g/ d)	3883,9 <sup>c</sup>	2569,4 <sup>d</sup>	6040,1 <sup>a</sup>	4714,2 <sup>b</sup>	103,91	XS,A,XS*A
Hemicellulose (g/ d)	3387,8 <sup>a</sup>	2569,4 <sup>c</sup>	3142 <sup>b</sup>	2028,2 <sup>d</sup>	61,95	XS,A,XS*A
NFC (g/ d)	8446,2 <sup>a</sup>	7836,5 <sup>a</sup>	5310,8 <sup>c</sup>	6678,1 <sup>b</sup>	162,18	XS,A,XS*A
Zucker (g/ d)	800,8 <sup>b</sup>	741,6 <sup>c</sup>	735,6 <sup>c</sup>	1717,8 <sup>a</sup>	23,73	XS,A,XS*A
Stärke (g/ d)	6406,4 <sup>a</sup>	5090,7 <sup>b</sup>	2017,6 <sup>c</sup>	1430,0 <sup>d</sup>	97,47	XS,A,XS*A
nXP(g/ d)	3421,4 <sup>a</sup>	2801,9 <sup>c</sup>	3105,9 <sup>b</sup>	2687,2 <sup>d</sup>	66,54	XS,A,XS*A
MJ NEL/ d	142,4 <sup>a</sup>	126,3 <sup>c</sup>	136,6 <sup>b</sup>	119,7 <sup>d</sup>	2,91	XS,A
MJ ME/ d	233,6 <sup>a</sup>	208,4 <sup>c</sup>	224,9 <sup>b</sup>	196,4 <sup>d</sup>	31,6	XS,A

<sup>a</sup> H+S = Stärkegehalt hoch + schnelle Abbaurate, H+L = Stärkegehalt hoch + langsame Abbaurate,

N+S = Stärkegehalt niedrig + schnelle Abbaurate, N+L = Stärkegehalt niedrig + langsame Abbaurate

<sup>b</sup> signifikante Faktoren: XS = Stärkegehalt im Kraftfutteranteil, A = Abbaurate der Totalen Mischration, XS\*A = Wechselwirkung zwischen Stärkegehalt und Abbaurate. n.s. = nicht signifikant

a,b,c,d = unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Rationen (p < 0.05)

### 3.3.3. Energieversorgungsstatus, Lebensmasse und ruminale N-Bilanz

Die durchschnittlichen Lebendgewichte der Kühe ergeben sich aus Tabelle 32. Das mittlere Gewicht der Kühe lag demnach zwischen 698 und 706 kg. Ein signifikanter Einfluss der Fütterungsvarianten wurde diesbezüglich nicht festgestellt. Dennoch konnten alle Rationen zu einer positiven Lebendmasseänderung beitragen. Daraus resultierten auch tendenziell höhere mittlere Gewichte der Kühe während des Versuches als zu Versuchsbeginn (siehe Tabelle 25). Die signifikant höchste Lebendmasseänderung mit 2,9 kg zeigte sich bei der Fütterung von stärkereichen, langsam abbaubaren Rationen.

Hinsichtlich des Energieversorgungsstatus waren unter allen Fütterungsvarianten positive Versorgungslagen gegeben. Gemäß den höheren FA konnten bei den beiden langsam abbaubaren Rationen signifikant höhere Energieüberschüsse festgestellt werden. Sowohl die Kohlenhydratzusammensetzung als auch das Abbauverhalten der Rationen machten sich als signifikante Einflussfaktoren bemerkbar. Am höchsten energetisch überversorgt waren die Kühe bei der Verabreichung der Ration H+L, wohingegen die zuckerreiche Ration N+S zu einer beinahe ausgeglichenen Energiebilanz beitrug.

Kühe, denen die beiden langsam abbaubaren Rationen gefüttert wurden, waren signifikant höher mit nXP versorgt, als die Kühe, die mit den beiden schnell abbaubaren Rationen gefüttert wurden. Die RNB war bei den langsam abbaubaren Rationen beinahe ausgeglichen, während bei der Ration H+S eine unausgeglichene RNB festgestellt werden konnte.

Tabelle 32: Einfluss der Kohlenhydratzusammensetzung und der ruminalen Abbauraten von Totalen Mischrationen auf die Lebendmasse, Lebendmasseentwicklung sowie den Energieversorgungsstatus (Energiebilanz pro Tag) und die N-Bilanz von Milchkühen (LSmeans  $\pm$  SEM) (n = 22).

	Ration <sup>a</sup>				SEM	p <sup>b</sup> <0,05
	H+L	H+S	N+L	N+S		
Lebendmasse (kg)	706,4	705,0	698,1	700,3	12,53	n.s.
Lebendmasse $\Delta$ (kg/ 24 Tage)	2,9 <sup>a</sup>	1,8 <sup>b</sup>	2,0 <sup>b</sup>	1,8 <sup>b</sup>	0,28	A
Energiebilanz (MJ NEL/ d)	13,7 <sup>a</sup>	5,4 <sup>b</sup>	10,5 <sup>ab</sup>	0,9 <sup>c</sup>	3,69	XS,A
nXP-Bilanz (g/ d)	647,5 <sup>a</sup>	228,2 <sup>c</sup>	392,8 <sup>b</sup>	117,6 <sup>c</sup>	93,94	XS,A
Ruminale N-Bilanz	-3,2 <sup>d</sup>	20,8 <sup>a</sup>	4,0 <sup>c</sup>	5,7 <sup>b</sup>	0,28	XS,A,XS*A

<sup>a</sup> H+S = Stärkegehalt hoch + schnelle Abbauraten, H+L = Stärkegehalt hoch + langsame Abbauraten,

N+S = Stärkegehalt niedrig + schnelle Abbauraten, N+L = Stärkegehalt niedrig + langsame Abbauraten

<sup>b</sup> signifikante Faktoren: XS = Stärkegehalt im Kraftfutteranteil, A = Abbauraten der Totalen Mischration, XS\*A = Wechselwirkung zwischen Stärkegehalt und Abbauraten

n.s. = nicht signifikant

a,b,c,d = unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Rationen (p < 0.05)

### 3.3.4. Milchleistung und Milchinhaltsstoffe

Die tägliche Milchleistung bewegte sich zwischen 23 und 25,7 kg je Kuh und Tag (Abbildung 7 und Tabelle 38 im Anhang). Die Differenzen zwischen den Fütterungsvarianten waren teilweise signifikant. Identisch zur FA konnten auch bezüglich der Milchleistung durch die Fütterung von langsam abbaubaren Rationen höhere tägliche Leistungen erzielt werden. In den FECM - korrigierten Milchleistungen (Abbildung 8) waren die Unterschiede noch deutlicher zu erkennen. Obwohl die Milchleistung bei den beiden stärkereichen Rationen im Durchschnitt tendenziell höher lag, machte sich in erster Linie der Einfluss der Abbaurrate sowohl in den Milchleistungen (kg/ d) als auch in den korrigierten Milchleistungen signifikant bemerkbar.

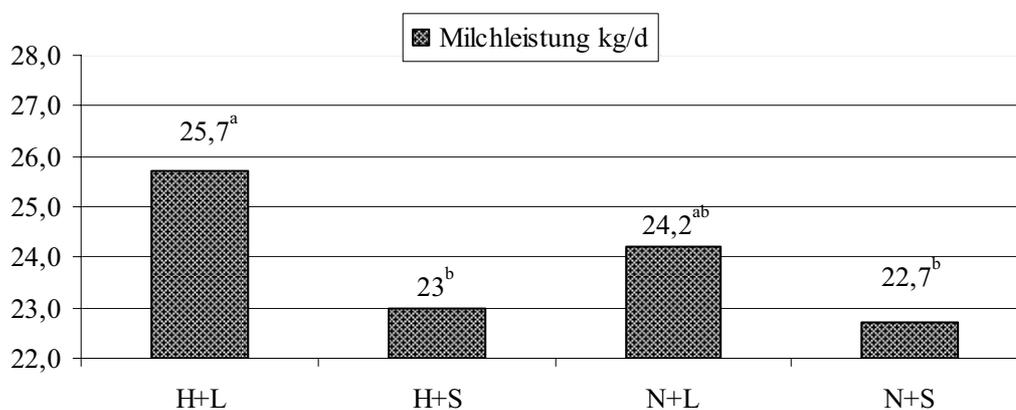


Abbildung 7: Einfluss der Kohlenhydratzusammensetzung und der ruminalen Abbaurrate von Totalen Mischrationen auf die unkorrigierte Milchleistung (n = 22).

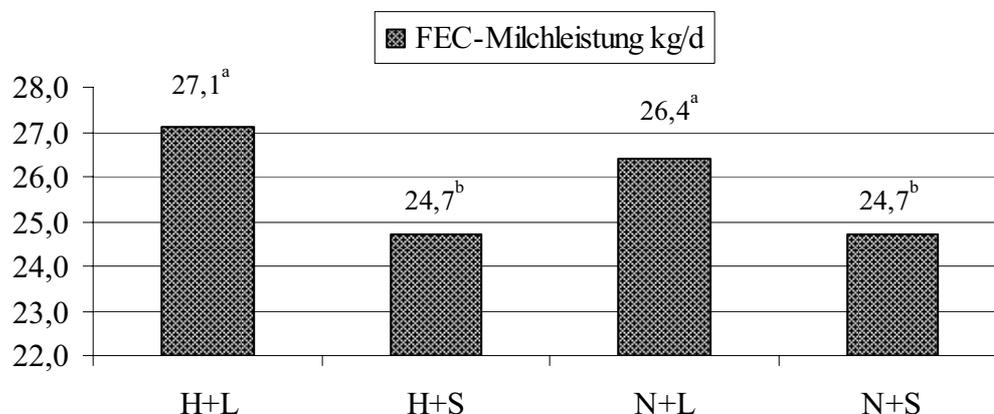


Abbildung 8: Einfluss der Kohlenhydratzusammensetzung und der ruminalen Abbaurrate von Totalen Mischrationen auf die FEC - Milchleistung (n = 22).

Die Ergebnisse der Milchinhaltsstoffe weisen dagegen auf einen deutlichen Einfluss der Kohlenhydratzusammensetzung des KF hin. Faserreiche KF-Komponenten führten zu signifikant höheren Milchfettgehalten, während stärkereiche zu signifikant erhöhten Eiweißgehalten in der Milch beitrugen. Unterschiede im Laktosegehalt wurden nicht festgestellt. Der Einfluss der Fütterungsvariante auf den Harnstoffgehalt in der Milch ist aus der Tabelle 38 im Anhang zu entnehmen. Demnach führte bei den stärkereichen Rationen die langsam abbaubare Variante zu signifikant niedrigeren Harnstoffgehalten (25 gegenüber 30 mg/ 100 ml), während bei den faserreichen Rationen diese zu signifikant höheren Harnstoffgehalten (29 gegenüber 27 mg/ 100 ml) beitrug. Diese Wechselwirkung zwischen Kohlenhydratzusammensetzung und Abbauverhalten konnte bei den übrigen Milchinhaltsstoffen nicht festgestellt werden.

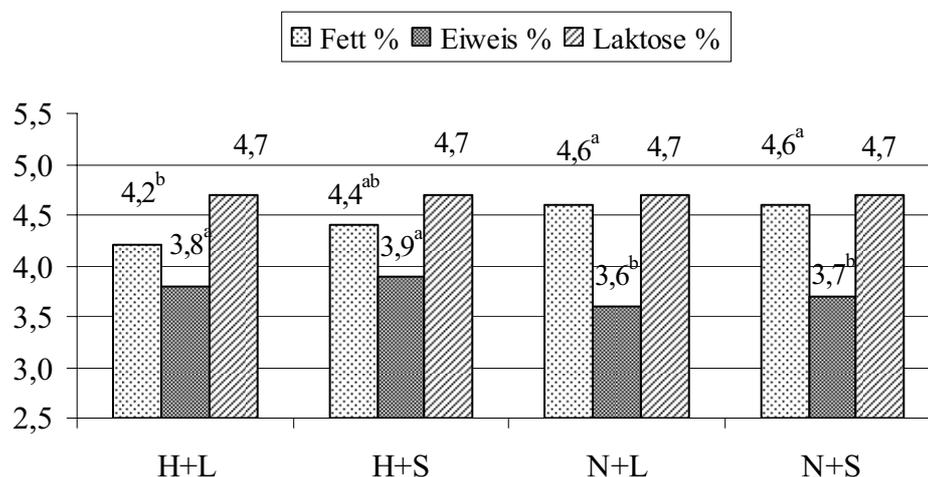


Abbildung 9: Einfluss der Kohlenhydratzusammensetzung und der ruminalen Abbauraten von Totalen Mischrationen auf die Milchinhaltsstoffe (n = 22).

### 3.3.5. Kauaktivität und Fermentation im Pansen

Die wichtigsten Parameter zur Kauaktivität sind in den Tabellen 33 und 34 zusammengefasst. In Tabelle 33 ist die tatsächlich gemessene Kauaktivität (min/ Tag) der Kühe dargestellt. Tabelle 34 soll Auskunft über die auf TM- und Faseraufnahme bezogenen Kauparameter geben.

Die längste Kau- und Wiederkauzeit (746 min pro Tag und 381 min pro Tag) wurde bei Gabe der Ration N+S beobachtet. Nahezu identische Werte konnten bei der stärkereichen Ration H+L festgestellt werden (739 und 372 min pro Tag). Obwohl die tägliche TM-Aufnahme bei der Ration H+L am höchsten war, wurde im Vergleich zu den übrigen Varianten, eine relativ kurze Fresszeit festgestellt. Zusätzlich konnte beobachtet werden, dass die Fresszeit der Kühe

bei beiden faserreichen Rationen im Durchschnitt tendenziell länger war. Statistisch abgesicherte Differenzen wurden jedoch in der Kau-, Fress- und Wiederkauzeit nicht festgestellt.

In der Gesamtzahl an Kau- und Wiederkauschlägen machte sich hingegen eine signifikante Wechselwirkung bemerkbar. Bei den faserreichen Rationen führte speziell die Variante mit schneller Abbaurate zu mehr Kau und Wiederkauschlägen, während bei den stärkereichen Rationen genau der umgekehrte Fall beobachtet werden konnte. Die Unterschiede konnten zum Teil statistisch abgesichert werden. Zusätzlich zeigte sich in der Dauer der Wiederkauperioden ein signifikanter Einfluss des Kohlenhydratabbaus. Demnach führten langsam abbaubare Rationen zu längeren Wiederkauperioden.

Ein Austausch von stärkehaltigen KF-Komponenten durch faserhaltige konnte insgesamt betrachtet jedoch nicht zu den erwarteten Steigerungen im Kau- und Wiederkauverhalten beitragen.

Tabelle 33: Einfluss der Kohlenhydratzusammensetzung und der ruminalen Abbaurate von Totalen Mischrationen auf die Kauaktivität von Milchkühen (LSmeans  $\pm$  SEM) (n = 4).

Parameter	Ration <sup>a</sup>				SEM	p <sup>b</sup> <0,05
	H+L	H+S	N+L	N+S		
Kauzeit (min/ 24h)	739,1	699,0	710,7	746,3	23,99	n.s.
Fresszeit (min/ 24h)	359,5	381,7	410,1	384,5	26,14	n.s.
Wiederkauzeit (min/ 24h)	372,7	329,1	315,1	381,3	26,45	n.s.
Kauschläge/ 24h	45167 <sup>ab</sup>	41965 <sup>ab</sup>	38632 <sup>b</sup>	45941 <sup>a</sup>	2052	XS*A
Kauschläge/ min	61,7 <sup>a</sup>	58,2 <sup>ab</sup>	53,8 <sup>b</sup>	61,1 <sup>a</sup>	1,65	XS*A
Wiederkauschläge/ 24h	25574	23499	20905	26977	1756	n.s.
Wiederkauschläge/ min	69,4 <sup>a</sup>	68,8 <sup>a</sup>	66,8 <sup>b</sup>	69,4 <sup>a</sup>	1,18	XS*A
Wiederkauperioden/ 24h	11,2	10,9	9,4	12,2	0,79	n.s.
Wiederkauperiode (min)	34,7 <sup>a</sup>	30,3 <sup>b</sup>	33,0 <sup>ab</sup>	30,5 <sup>b</sup>	2,12	A
Bissen/ Wiederkauperiode	40,3	39,2	40,2	37,6	2,15	n.s.
Zahl d. Bissen/ 24h	439,0	420,9	372,5	456,0	36,32	n.s.
Wiederkauschläge/ Bissen	60,1 <sup>a</sup>	52,7 <sup>b</sup>	54,2 <sup>b</sup>	56,5 <sup>ab</sup>	3,77	XS*A
Kauzeit (min 24h)	739,1	699,0	710,7	746,3	23,99	n.s.
Fresszeit (min/ 24h)	359,5	381,7	410,1	384,5	26,14	n.s.

<sup>a</sup> H+S = Stärkegehalt hoch + schnelle Abbaurate, H+L = Stärkegehalt hoch + langsame Abbaurate,

N+S = Stärkegehalt niedrig + schnelle Abbaurate, N+L = Stärkegehalt niedrig + langsame Abbaurate

<sup>b</sup> signifikante Faktoren: XS = Stärkegehalt im Kraftfutteranteil, A = Abbaurate der Totalen Mischration, XS\*A = Wechselwirkung zwischen Stärkegehalt und Abbaurate

n.s. = nicht signifikant

a,b,c = unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Rationen (p < 0.05)

Eine signifikante längere Kauzeit pro kg TM wurde bei der Ration N+S festgestellt. Im Vergleich zu den übrigen Rationen kauten die Kühe bei dieser Behandlung für ein Kilogramm TM in etwa 6-8 Minuten länger. Die Kauzeiten pro kg XF bewegten sich bei den Fütterungsvarianten zwischen 143 und 216 min und pro kg NDF zwischen 73 und 110 min. Für beide Parameter konnten bei der Fütterung der Ration N+L signifikant reduzierte Kauzeiten festgestellt werden, während sich die restlichen Fütterungsvarianten diesbezüglich nicht signifikant unterschieden. Die Fresszeit pro kg aufgenommene TM wurde von den Rationen nicht signifikant beeinflusst. Dennoch waren bei der Ration N+S die Fresszeiten pro kg TM tendenziell länger.

Eine signifikant reduzierte Fresszeit pro kg XF wurde bei der Ration H+S beobachtet, während die Fresszeit pro kg NDF insbesondere bei den beiden schnell abbaubaren Varianten signifikant erhöht war.

Hinsichtlich der Wiederkauzeit pro kg TM konnte für die Ration N+S die signifikant längste Wiederkauzeit festgestellt werden. Entgegen den Erwartungen wiesen die Kühe bei Fütterung Ration N+L die signifikant kürzeste Wiederkauzeit pro kg TM auf. Diese Unterschiede blieben in den Wiederkauzeiten pro kg XF und NDF weitgehend bestehen. Demnach war die Wiederkauzeit pro kg XF und NDF bei der Ration N+L jeweils signifikant reduziert, während die restlichen Behandlungen diesbezüglich nur teilweise signifikante Unterschiede aufzeigten. Des Weiteren konnte bei der Ration N+L eine signifikant reduzierte Anzahl an Wiederkauschlägen pro kg XF und NDF beobachtet werden.

Zusammenfassend ist zu erkennen, dass hinsichtlich der gesamten Kauaktivität zwischen den Rationen H+L, H+S und N+S kaum signifikante Unterschiede beobachtet werden konnten. Bei der Ration N+L konnten hingegen für die meisten Parameter diesbezüglich reduzierte Zeiten festgestellt werden. Beide stärkereiche Rationen führten zu sehr ähnlichem Kauverhalten wie die Ration N+S.

Tabelle 34: Einfluss der Kohlenhydratzusammensetzung und der ruminalen Abbaurate von Totalen Mischrationen auf die Kauindices von Milchkühen (LSmeans  $\pm$  SEM) (n = 4).

Parameter	Ration <sup>a</sup>				SEM	p <sup>b</sup> <0,05
	H+L	H+S	N+L	N+S		
<i>Kauen</i>						
Kauzeit (min/ kg TM)	34,1 <sup>b</sup>	35,7 <sup>b</sup>	33,7 <sup>b</sup>	41,8 <sup>a</sup>	2,61	A
Kauzeit (min/ kg XF)	215,8 <sup>a</sup>	198,4 <sup>a</sup>	142,8 <sup>b</sup>	199,5 <sup>a</sup>	13,08	XS,XS*A
Kauzeit (min/ kg NDF)	96,7 <sup>a</sup>	100,7 <sup>a</sup>	72,6 <sup>b</sup>	109,9 <sup>a</sup>	6,93	XS,A
<i>Fressen</i>						
Fresszeit (min/ kg TM)	17,4	18,5	19,4	20,0	2,1	n.s.
Fresszeit (min/ kg XF)	104,8 <sup>a</sup>	108,5 <sup>a</sup>	84,4 <sup>b</sup>	103,6 <sup>a</sup>	8,42	XS,A
Fresszeit (min/ kg NDF)	46,6 <sup>b</sup>	54,6 <sup>a</sup>	42,0 <sup>b</sup>	56,6 <sup>a</sup>	4,26	A
<i>Wiederkauen</i>						
Wiederkauzeit (min/ kg TM)	15,1 <sup>b</sup>	16,7 <sup>b</sup>	12,0 <sup>c</sup>	20,9 <sup>a</sup>	1,26	XS,XS*A
Wiederkauzeit (min/ kg XF)	103,5 <sup>a</sup>	94,1 <sup>a</sup>	51,2 <sup>b</sup>	102,8 <sup>a</sup>	8,42	XS,A,XS*A
Wiederkauzeit (min/ kg NDF)	45,9 <sup>bc</sup>	47,3 <sup>b</sup>	25,7 <sup>c</sup>	56,4 <sup>a</sup>	5,04	XS,A,XS*A
<i>Kauschläge</i>						
Kauschläge/ g TM	2,1 <sup>b</sup>	2,1 <sup>b</sup>	1,9 <sup>b</sup>	2,5 <sup>a</sup>	0,15	A,XS*A
Kauschläge/ g XF	13,2 <sup>a</sup>	11,8 <sup>a</sup>	7,9 <sup>b</sup>	12,2 <sup>a</sup>	0,78	XS,A,XS*A
Kauschläge/ g NDF	5,9 <sup>a</sup>	5,9 <sup>a</sup>	4,0 <sup>b</sup>	6,7 <sup>a</sup>	0,38	A,XS*A
<i>Wiederkauschläge</i>						
Wiederkauschläge/ g TM	1,2 <sup>ab</sup>	1,2 <sup>ab</sup>	1,0 <sup>b</sup>	1,4 <sup>a</sup>	0,10	A,XS*A
Wiederkauschläge/ g XF	7,5 <sup>a</sup>	6,5 <sup>a</sup>	4,1 <sup>b</sup>	6,7 <sup>a</sup>	0,54	XS,XS*A
Wiederkauschläge/ g NDF	3,3 <sup>a</sup>	3,3 <sup>a</sup>	2,1 <sup>b</sup>	3,7 <sup>a</sup>	0,27	A,XS*A

<sup>a</sup> H+S = Stärkegehalt hoch + schnelle Abbaurate, H+L = Stärkegehalt hoch + langsame Abbaurate,

N+S = Stärkegehalt niedrig + schnelle Abbaurate, N+L = Stärkegehalt niedrig + langsame Abbaurate

<sup>b</sup> signifikante Faktoren: XS = Stärkegehalt im Kraftfutteranteil, A = Abbaurate der Totalen Mischration, XS\*A = Wechselwirkung zwischen Stärkegehalt und Abbaurate

n.s. = nicht signifikant

a,b,c = unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Rationen (p < 0.05)

In Tabelle 35 sollen die durchschnittlich gemessenen Tageswerte der Pansenparameter Auskunft über die im Pansen festgestellten Milieubedingungen geben. Zusätzlich sind alle gemessenen Fermentationsparameter in den Tabellen 39 und 40 im Anhang zusammengefasst. Demgemäß konnte durch einen Zusatz von faserreichem KF in einer TMR der pH-Wert im Pansen positiv beeinflusst werden, da die durchschnittlich gemessenen pH-Werte um 0,2 Einheiten höher lagen im Vergleich zu den beiden stärkereichen Rationen. Im Mittel der geprüften Zeitpunkte ergaben sich pH-Werte zwischen 6,2 und 6,5. An keinem Messzeitpunkt konnten pH-Werte < 6,0 festgestellt werden. Das pH-Wert Minimum wurde bei allen Behandlungen um 15.00 Uhr gemessen und lag bei der Behandlung H+S mit 6,0 am niedrigsten. Wie erwartet, wurde somit durch die Fütterung von hohen Anteilen an schnell fermentierbarer Stärke der pH-Wert im Pansen am stärksten beeinträchtigt. Die Ration N+L konnte hingegen zu signifikant höheren pH-Werten im Pansen beitragen. Als Einflussfaktor

ergab sich bezüglich des pH-Wertes jedoch nicht der Stärkegehalt, sondern die Abbaurate der Ration. Demzufolge wurde innerhalb der KF-Varianten „stärkereich oder faserreich“ jeweils in Kombination mit langsamer Abbaurate ein durchschnittlich höherer pH-Wert ermittelt.

Entsprechende Ergebnisse liegen für die Bikarbonat-Konzentrationen vor, wenn auch nur in der Tendenz. Eine leicht höhere Bikarbonat-Konzentrationen konnte bei der Ration N+L beobachtet werden. Eine langsame Abbaurate führte innerhalb der Behandlungen „stärkereich oder faserreich“ jeweils zu durchschnittlich höheren Bikarbonat-Konzentrationen. An allen geprüften Zeitpunkten waren jedoch relativ hohe Standardabweichungen zu verzeichnen (siehe Tabelle 39 im Anhang).

Die durchschnittlich gemessene  $\text{NH}_3$ -Konzentration im Pansen bewegte sich zwischen 3,4 und 6,6 mmol/ l, wobei die stärkereichen Rationen zu höheren Konzentrationen im Pansen führten. Eine signifikant reduzierte  $\text{NH}_3$ -Konzentration wurde bei Gabe der Ration N+S festgestellt.

Die Gesamtkonzentrationen an SCFA lagen zwischen 108,5 und 113,9 mmol/ l. Statistisch gesicherte Unterschiede ergaben sich zwischen den Behandlungen nicht. Tendenziell wurde bei den Behandlungen mit langsamer Abbaurate eine niedrigere SCFA-Konzentration beobachtet. Eine höhere Acetat- und Butyrat- Konzentration wurde bei den faserreichen Rationen gemessen, analog wurden bei den stärkereichen Rationen höhere Konzentrationen an Propionsäure ermittelt. Dem entsprechend verengte sich bei den Fütterungsvarianten mit hohem Stärke-Anteil das  $\text{C}_2 : \text{C}_3$  Verhältnis (2,6 und 2,5 für stärkereich entgegen 3,2 und 3,1 für faserreich). Statistisch abgesicherte Differenzen ergaben sich nicht. Die  $\text{C}_4$  und  $\text{C}_5$  Fettsäuren im Pansen wurden durch die jeweiligen Behandlungen nicht beeinflusst.

Tabelle 35: Einfluss der Kohlenhydratzusammensetzung und der ruminalen Abbauraten von Totalen Mischrationen auf die Fermentationsparameter in der flüssigen Digestaphase des Pansens von Milchkühen (LSmeans  $\pm$  SEM) (n = 4).

Parameter	Ration <sup>1</sup>				SEM	P <sup>2</sup> <0,05
	H+L	H+S	N+L	N+S		
pH-Wert (mmol/L)	6,3 <sup>ab</sup>	6,2 <sup>b</sup>	6,5 <sup>a</sup>	6,4 <sup>ab</sup>	0,09	A
NH <sub>3</sub>	6,0 <sup>a</sup>	6,6 <sup>a</sup>	5,4 <sup>a</sup>	3,4 <sup>b</sup>	0,64	XS
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	33,9	27,6	37,6	33,5	5,56	n.s.
FFS	108,5	112,5	108,5	113,9	6,12	n.s.
%						
C <sub>2</sub>	60,5	59,3	62,7	62,8	1,69	n.s.
C <sub>3</sub>	23,9	24,8	20,4	20,3	1,61	n.s.
C <sub>4</sub>	11,5	11,6	13,2	13,2	0,83	n.s.
C <sub>4i</sub>	0,9	0,9	0,8	0,8	0,11	n.s.
C <sub>5</sub>	1,5	1,8	1,4	1,5	0,18	n.s.
C <sub>5i</sub>	1,7	1,6	1,5	1,3	0,18	n.s.
C <sub>2</sub> /C <sub>3</sub>	2,6	2,5	3,1	3,2	0,26	n.s.

<sup>1</sup> H+S = Stärkegehalt hoch + schnelle Abbauraten, H+L = Stärkegehalt hoch + langsame Abbauraten,

N+S = Stärkegehalt niedrig + schnelle Abbauraten, N+L = Stärkegehalt niedrig + langsame Abbauraten.

<sup>2</sup> signifikante Faktoren: XS = Stärkegehalt im Kraftfutteranteil, A = Abbauraten der Totalen Mischration, XS\*A = Wechselwirkung zwischen Stärkegehalt und Abbauraten.

n.s. = nicht signifikant

a,b,c, = unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Rationen (p < 0.05).

Abbildung 10 zeigt die Tagesverläufe der pH-Werte, SCFA- und Bikarbonat-Konzentrationen im Pansen. Demnach stimmen die pH-Wert - Verläufe bei allen Fütterungsvarianten gut mit den gemessenen Bikarbonat-Konzentrationen des Panseninhalts überein. Erwartungsgemäß konnten bei steigenden pH-Werten entsprechend höhere Bikarbonat-Konzentrationen gemessen werden. Weiterhin ist zu erkennen, dass sich die Rationen H+S, N+L und N+S hinsichtlich ihrer pH-Wert - Verläufe kaum unterscheiden. Bis etwa 11.00 Uhr blieben die pH-Werte bei diesen Rationen relativ konstant und reduzierten sich dann bis etwa 15.00 Uhr. Anschließend stiegen die pH-Werte bei allen 3 Fütterungsvarianten wieder langsam an. Auch die im Pansen ermittelten SCFA-Konzentrationen stimmen dazu gut überein. Bei der Ration H+L war hingegen ab 7.00 Uhr ein deutlicher Rückgang im pH-Wert zu erkennen. Trotzdem konnte aber auch bei dieser Fütterungsvariante um 15.00 Uhr das pH-Wert Minimum ermittelt werden. Dementsprechend wurde ein steiler Anstieg der SCFA am Morgen festgestellt. Statistisch abgesicherte Unterschiede ergaben sich an den einzelnen Messzeitpunkten nur teilweise (siehe Tabellen 39 und 40 im Anhang).

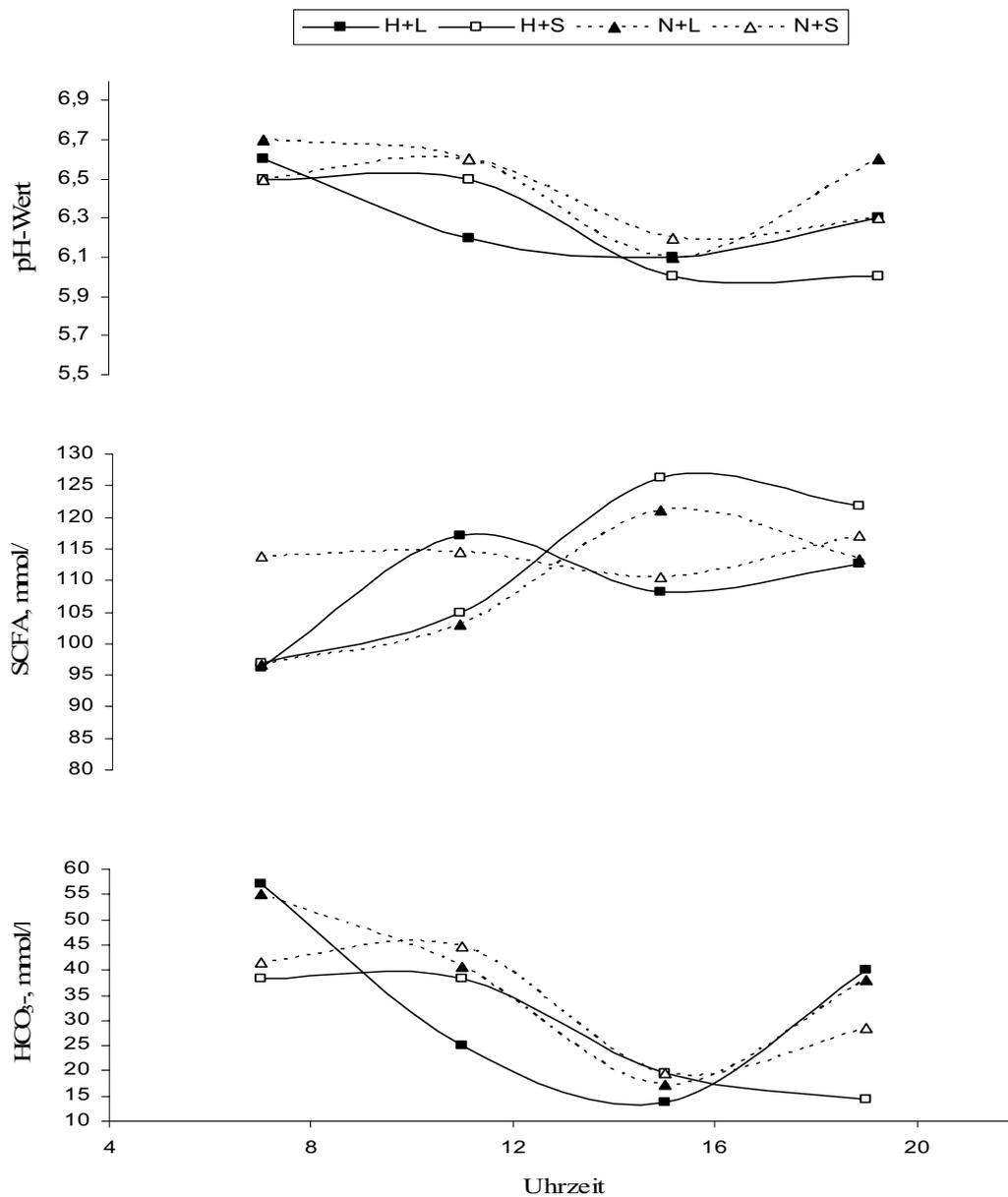


Abbildung 10: Tagesverlauf von pH-Wert, SCFA- und HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Konzentration (n = 4).

### 3.3.6. Ruminale TM-Verluste *in situ* und scheinbare Rohnährstoffverdaulichkeit

Der Einfluss der Rationszusammensetzung auf die ruminalen TM-Verluste *in situ* der vier TMR ist in Tabelle 36 aufgeführt.

Unabhängig von den Fütterungsvarianten verliefen die Abbaukurven der inkubierten Substrate wie erwartet. In Abbildung 11 sind die TM-Verluste der vier TMR über 48 Stunden dargestellt. Die schnell fermentierbaren TMR wiesen vor allem in den ersten 12 Stunden nach der Inkubation signifikant höhere TM-Verluste (76 % und 78 %) auf als die langsam fermentierbaren (65 % und 68 %). Nach 48 Stunden waren alle TMR nahezu identisch abgebaut (im Mittel zu etwa 88 %).

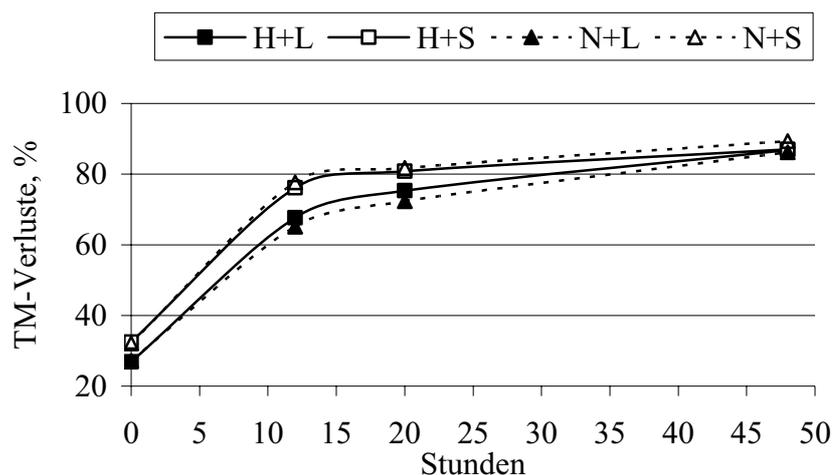


Abbildung 11: Ruminal TM-Verluste *in situ* unabhängig von der Fütterung (n = 8).

Ein signifikanter Einfluss der Rationszusammensetzung auf den ruminalen TM-Abbau der vier TMR zeigte sich 12 Stunden nach Beginn der Inkubation. Wurden die Kühe mit den beiden langsam abbaubaren Rationen gefüttert, konnten nach 12 Stunden signifikant höhere TM-Verluste bei den Substraten H+L, H+S und N+L beobachtet werden. Insbesondere bei Verabreichung der Fütterungsvariante N+L wurden alle Substrate nach 12 Stunden besser abgebaut.

Tabelle 36: Vergleich der ruminalen TM-Verluste (%) nach 12, 20 und 48 Stunden bei unterschiedlicher Fütterung der Milchkühe (n = 8).

Substrat <sup>2</sup> inkubiert	Zeit (h) <sup>3</sup>	Ration <sup>1</sup> gefüttert				SEM	P <sup>4</sup> <0,05
		H+L	H+S	N+L	N+S		
H+L	12	70,1 <sup>a</sup>	64,7 <sup>b</sup>	70,6 <sup>a</sup>	65,2 <sup>b</sup>	1,09	A
	20	73,0	74,9	77,5	75,9	1,43	n.s.
	48	86,2	85,6	87,9	87,1	0,38	n.s.
H+S	12	77,0 <sup>a</sup>	73,8 <sup>b</sup>	78,4 <sup>a</sup>	75,5 <sup>ab</sup>	0,71	A
	20	77,2	82,3	81,3	82,4	1,57	n.s.
	48	86,6	87,1	87,3	87,2	0,47	n.s.
N+L	12	65,1 <sup>a</sup>	62,1 <sup>b</sup>	69,4 <sup>a</sup>	64,0 <sup>ab</sup>	1,13	A
	20	69,4	69,3	75,0	75,5	2,24	n.s.
	48	86,1	86,4	86,0	86,2	0,31	n.s.
N+S	12	77,5	74,5	80,0	78,7	2,25	n.s.
	20	79,1	84,6	83,7	79,5	1,29	n.s.
	48	89,3	89,3	89,3	89,4	0,38	n.s.

<sup>1</sup> H+S = Stärkegehalt hoch + schnelle Abbauraten, H+L = Stärkegehalt hoch + langsame Abbauraten,

N+S = Stärkegehalt niedrig + schnelle Abbauraten, N+L = Stärkegehalt niedrig + langsame Abbauraten.

<sup>2</sup> TMR als Substrat über 48 h *in situ* inkubiert.

<sup>3</sup> Inkubationszeit (h)

<sup>4</sup> signifikante Faktoren: XS = Stärkegehalt im Kraftfutteranteil, A = Abbauraten der Totalen Mischration, XS\*A = Wechselwirkung zwischen Stärkegehalt und Abbauraten, n.s. = nicht signifikant.

a,b,c = unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Rationen (p < 0.05).

Die Ergebnisse zur Rohnährstoffverdaulichkeit sind in Tabelle 37 dargestellt. Folglich wurde die TM und die OM bei der Ration N+L jeweils signifikant schlechter verdaut, während sich die restlichen Rationen hinsichtlich der TM-Verdaulichkeit nicht unterschieden. Die signifikant höchste Verdaulichkeit der OM konnte bei der Ration N+S ermittelt werden. Eine schnelle Abbaurate führte innerhalb der KF-Varianten jeweils zu einer höheren Verdaulichkeit der TM und der OM. Hinsichtlich der Faserverdaulichkeit machte sich ein reduzierter Stärke-Anteil in der Ration positiv bemerkbar. Hauptsächlich zeigte sich dieser Einfluss auf die NDF-Verdaulichkeit. Eine signifikant bessere Verdaulichkeit der XF, NDF und ADF konnte bei der Ration N+S festgestellt werden. Des Weiteren machte sich bezüglich der Faserverdaulichkeit auch ein Effekt der Abbaurate bemerkbar. So wurde die XF, NDF und ADF, aufgrund der Komponentenwahl im KF, jeweils bei einer schnellen Abbaurate der Ration besser verdaut. In der Gesamtverdaulichkeit des XP und der XS zeichnete sich die Fütterungsvariante N+L diesbezüglich als nachteilig aus. Die Stärkeverdaulichkeit war bei beiden stärkereichen Rationen signifikant erhöht. Insgesamt betrachtet erwies sich die Ration N+S hinsichtlich der Verdaulichkeit aller Rohnährstoffe als vorteilhaft. Während bei der Ration H+L, insbesondere bei den Faserbestandteilen, die schlechtesten Verdaulichkeiten festgestellt werden konnten.

Tabelle 37: Einfluss der Kohlenhydratzusammensetzung und der ruminalen Abbaurate von Totalen Mischrationen auf die scheinbare Rohnährstoffverdaulichkeit (LSmeans  $\pm$  SEM) (n = 4).

Parameter	Ration <sup>1</sup>				SEM	P <sup>2</sup> <0,05
	H+L	H+S	N+L	N+S		
<i>Verdaulichkeit, %</i>						
TM	72,6 <sup>a</sup>	74,4 <sup>a</sup>	68,2 <sup>b</sup>	76,0 <sup>a</sup>	1,10	A, XS*A
OM	75,3 <sup>b</sup>	77,0 <sup>ab</sup>	71,5 <sup>c</sup>	79,0 <sup>a</sup>	1,02	A, XS*A
XP	66,9 <sup>a</sup>	63,6 <sup>ab</sup>	59,4 <sup>b</sup>	65,9 <sup>a</sup>	1,36	XS*A
XL	72,6 <sup>b</sup>	76,1 <sup>b</sup>	82,0 <sup>a</sup>	74,4 <sup>b</sup>	1,61	XS*A
XF	60,1 <sup>b</sup>	63,0 <sup>b</sup>	62,4 <sup>b</sup>	70,7 <sup>a</sup>	1,24	XS,A
NDF	57,7 <sup>b</sup>	58,8 <sup>b</sup>	59,7 <sup>ab</sup>	65,6 <sup>a</sup>	1,70	XS
ADF	51,3 <sup>b</sup>	51,8 <sup>b</sup>	56,7 <sup>b</sup>	64,3 <sup>a</sup>	1,60	XS,A
Hemicellulose	66,2	71,1	66,2	68,7	2,71	n.s.
Cellulose	62,1	63,3	66,9	72,2	3,02	n.s.
Stärke	97,3 <sup>a</sup>	98,0 <sup>a</sup>	95,7 <sup>b</sup>	96,7 <sup>ab</sup>	0,44	XS

<sup>1</sup> H+S = Stärkegehalt hoch + schnelle Abbaurate, H+L = Stärkegehalt hoch + langsame Abbaurate,

N+S = Stärkegehalt niedrig + schnelle Abbaurate, N+L = Stärkegehalt niedrig + langsame Abbaurate.

<sup>2</sup> signifikante Faktoren: XS = Stärkegehalt im Kraftfutteranteil, A = Abbaurate der Totalen Mischration, XS\*A = Wechselwirkung zwischen Stärkegehalt und Abbaurate.

n.s. = nicht signifikant

a,b,c,d = unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Rationen (p < 0.05).

### 3.4. Diskussion

#### 3.4.1. Futteraufnahme, Leistung

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass weniger die Kohlenhydratzusammensetzung (Stärke oder Faser) als die ruminale Abbaurrate der eingesetzten Kohlenhydrate einen Effekt auf die FA hatte. Beide langsam abbaubaren Rationen erhöhten unabhängig vom XS-Gehalt in der Ration die FA der Kühe signifikant. Dennoch war im Durchschnitt die FA bei den stärkereichen Rationen etwas höher im Vergleich zu den beiden faserreichen. Nach FORBES (1995, 1996) wird die FA der Kühe von mehreren Faktoren reguliert, wobei das Pansenvolumen, die Pansenfüllung, die Abbaurrate und Verdaulichkeit der Futternährstoffe und schließlich die Passagegeschwindigkeit zu den physikalischen Einflussfaktoren zählen. Insbesondere der NDF-Gehalt in der Ration scheint in diesem Zusammenhang eine wichtige Einflussgröße zu sein, da in der Regel die Fermentations- und Passagegeschwindigkeit aus dem *Reticulorumen* (RR) für die NDF langsamer ist als für die übrigen Inhaltsstoffe im Futter (MERTENS, 1993). VOELKER & ALLEN (2003) variierten die KF-Komponenten in einer auf Mais- und Luzernesilage basierenden TMR (40 % i.d. TM), in dem der Anteil an Feucht-Mais (High-moisture corn) durch getrocknete, pelletierte Zuckerrübenpülpe (pelleted beetpulp) in vier Stufen ersetzt wurde. Dabei erhöhte sich der NDF-Gehalt in der TMR von 24,3 auf 31,6 % in der TM. Die Autoren beobachteten dadurch tatsächlich einen Rückgang in der FA. Dennoch liegt deren Begründung für die reduzierte FA nicht in einem höheren NDF-Gehalt in der Ration, sondern in einer höheren Wasserbindungskapazität der Zuckerrübenpülpe. Sie beobachteten trotz reduzierter FA einen höheren Wassergehalt in der Pansendigesta und schließen daraus auf eine verstärkte Stimulation der Dehnungsrezeptoren in der Pansenwand, welche wiederum die FA regulieren. BECKMANN & WEISS (2005) konnten hingegen einen tendenziellen Anstieg in der FA beobachten, wenn das NDF : NFC Verhältnis in einer TMR von 0,74 auf 1,27 erhöht wurde. In ihrer Untersuchung wurde in einer TMR, die 41,5 % Maissilage in der TM enthielt, im KF-Anteil jeweils Körnermais durch Sojaschalen und Baumwollsaat ersetzt. In der vorliegenden Studie erhöhte sich der NDF-Gehalt durch Zusatz von Palmkernexpeller, Sojaschalen und Maiskleber insbesondere in der Ration N+L. Dennoch reagierten die Milchkühe, vergleichbar mit der Studie von BECKMANN & WEISS (2005), mit relativ hoher FA (21 kg/ TM). Zusätzlich konnte bei dieser Fütterungsvariante eine signifikant höhere tägliche NDF-Aufnahme beobachtet werden, welche sich folglich auf die FA nicht limitierend auswirkte. Nach ALLEN & VOELKER (2003) liegt der größte Vorteil der NFFS

(Non-Forage-Fiber-Source) im Vergleich zu den meisten GF in einer besseren Verdaulichkeit der Faserbestandteile. Des Weiteren ist ihre Passagerate aus dem RR, aufgrund der reduzierten PL (Partikellänge) meist schneller als die des GF, so dass durch den Zusatz von NFFS im KF-Anteil die FA meist nicht negativ beeinflusst wird (ALLEN, 2000). In der vorliegenden Studie konnte tatsächlich eine tendenziell höhere NDF-Verdaulichkeit bei der Ration N+L festgestellt werden, so dass sich der höhere Faseranteil in dieser Ration im Vergleich zu den restlichen Rationen nicht negativ auf die FA ausgewirkte.

Trotzdem konnte, wie bereits erwähnt, vorwiegend ein signifikanter Einfluss der Abbaurate der Ration auf die FA festgestellt werden. Beide langsam abbaubaren Rationen führten zu einer signifikant höheren FA bei den Kühen. Nach HUNTINGTON (1997) ist die Optimierung des Pansenmilieus eine entscheidende Voraussetzung für hohe Gesamtfuttermittelaufnahmen. Besonders ist unter günstigem Pansenmilieu die Aufrechterhaltung eines stabilen pH-Wertes im Pansen zu verstehen (SCHWARZ, 2000). Schnell fermentierbare Kohlenhydrate, wie Zucker und Stärke, erhöhen in der Regel die Fermentationsintensität im Pansen und senken folglich den pH-Wert. Eine Passage höherer Anteile an nicht fermentierter Stärke aus dem Vormagen in den Dünndarm ist demnach durch eine geringere Säureladung und einen damit verbundenen stabileren pH-Wert im Pansen als vorteilhaft für die FA zu bewerten (HUNTINGTON, 1997). Sowohl bei Gabe der schnell fermentierbaren Stärkeration (H+S), als auch bei der schnell fermentierbaren Faserration (N+S), die einen relativen hohen Zucker-Anteil aufwies, konnte ein tendenzieller Anstieg in der Gesamtkonzentration an SCFA im Pansen beobachtet werden. Dadurch wurde der pH-Wert im Pansen zum Teil signifikant negativ beeinflusst. So scheint in der vorliegenden Studie ein langsamerer Abbau der Kohlenhydrate in den Vormägen die FA der Kühe begünstigt zu haben. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen DE VISSER & DE GROOT (1980), die in ihrer Untersuchung eine signifikant reduzierte FA bei Milchkühen beobachteten, wenn die Ration mit einem stärke- und zuckerreichem KF (> 420g /kg TM) ergänzt wurde. In der genannten Studie konnten die Autoren bei Fütterung von faserreichem KF höhere pH-Werte und geringere Konzentrationen an Propion- und Milchsäure im Pansen feststellen, woraus ein positiver Effekt auf die FA abgeleitet wurde.

Obwohl zwischen den vier Rationen nur geringe Unterschiede hinsichtlich den Energiekonzentrationen gegeben waren, ergaben sich bei den Kühen, denen die beiden langsam abbaubaren Fütterungsvarianten verabreicht wurden, höhere Energieaufnahmen im Vergleich zu den Rationen mit schneller Abbaubarkeit. Dies ist hauptsächlich auf die höhere FA bei Verabreichung der beiden langsam fermentierbaren Rationen zurückzuführen. Bei

Gabe der Ration H+L wurden demzufolge gegenüber der Ration H+S pro Tag 16,1 mehr MJ NEL aufgenommen, bei der Ration N+L machte dies pro Tag 16,9 mehr MJ NEL aus im Vergleich zu der Ration N+S. Daraus ließen sich bei den stärkereichen Fütterungsvarianten 2,4 kg und bei den faserreichen Rationen 1,7 kg mehr FEC-Milch pro Tag erzielen. Weiterhin äußerte sich die höhere Energieaufnahme bei beiden langsam abbaubaren Rationen, obwohl eine höhere Milchleistung erzielt werden konnte, in einer positiven Energieversorgungslage der Kühe (siehe Tabelle 32).

Ein Einfluss der Kohlenhydratzusammensetzung (Stärke oder Faser) im KF machte sich hingegen in der vorliegenden Studie auf die Milchleistung nicht bemerkbar. DE VISSER *et al.* (1990) verglichen vier unterschiedliche KF-Komponenten in einer TMR (GF:KF = 50:50), die sich in ihrer Kohlenhydratzusammensetzung und in ihrem Abbauverhalten unterschieden. Ein Zusatz von Gerste, Mais, Zuckerrübenpülpe oder Maiskleie im KF machte sich in dieser Studie jedoch nicht auf die FA und die Milchleistung der Kühe bemerkbar. NOCEK & RUSSEL (1988) beobachteten hingegen mit zunehmendem Anteil an ruminal verfügbaren Kohlenhydraten gesteigerte Milchleistungen und OLIVERIA *et al.* (1993) sowie POORE *et al.* (1993) konnten in ihren Untersuchungen nachweisen, dass die Kühe durch einen höheren Anteil an schnell fermentierbaren Stärkekomponenten in der Ration mit höheren Milchleistungen reagierten. HUNTINGTON (1997) schloss aus Berechnungen und Simulationen, dass die Getreidestärke am besten genutzt werden kann, wenn sie größtenteils im Pansen umgesetzt wird. Dies lässt sich sowohl durch eine begrenzte Kapazität der Stärkeverdauung im Dünndarm des Wiederkäuers, als auch durch die futtermittelspezifischen Faktoren (Art und Behandlung der Stärke) erklären. Ein positiver Einfluss der ruminalen Verfügbarkeit von Stärke auf die Milchleistung ist jedoch nicht immer nachzuweisen. JOY *et al.* (1997) beschrieben nach einer Dampfbehandlung von Körnermais eine erhöhte Verdaulichkeit der Stärke ruminal, duodenal sowie eine höhere Gesamtverdaulichkeit. Die Milchleistung und die Milchhaltsstoffe blieben dadurch jedoch unbeeinflusst. Auch BRADFORD & ALLEN (2004) konnten bei Austausch von Körnermais durch Feuchtmals (high moisture corn) in einer TMR keinen Effekt auf die Milchleistung und Milchhaltsstoffe nachweisen.

SLATER *et al.* (2000) konnten feststellen, dass durch einen Zusatz von Baumwollsaat und Sojaschalen in einer TMR mit nur 11 % NDF aus GF die höchste FA erreicht werden konnte und dadurch die Milchleistung signifikant anstieg. Die Rationen mit 21 und 16 % NDF aus GF, die als KF-Komponente entweder Mais oder Weizen enthielten, konnten in der Untersuchung aufgrund niedrigerer FA nicht die entsprechenden Milchleistungen erbringen.

SLATER *et al.* (2000) begründen die höheren FA sowohl in einem niedrigeren GF-Anteil als auch in einer kürzeren PL der eingesetzten NFFS im Vergleich zum GF. In der vorliegenden Studie variierte der Anteil an NDF aus dem GF nicht. Durch den Zusatz von langsam abbaubaren Faserkomponenten im KF wurde gegenüber dem Mittel der beiden stärkereichen Rationen die FA nicht reduziert, während bei einem Zusatz von schnell abbaubaren Faserkomponenten ein signifikanter Rückgang in der FA und in der Milchleistung gegenüber allen anderen Rationen beobachtet werden konnte. Folglich beeinflusste in der vorliegenden Untersuchung eindeutig eine langsame Abbaurrate die Milchleistung der Kühe, welche wiederum auf höhere Futter- bzw. Energieaufnahmen zurückzuführen ist.

Wie aus verschiedenen älteren Studien ersichtlich wird, werden die Milchinhaltsstoffe vorwiegend von der Art der verfütterten Kohlenhydrate beeinflusst. So reagiert vor allem der Milchfettgehalt bei stärkereichen, rohfasernarmen Rationen mit einem Rückgang (GRUMMER *et al.*, 1987, KEADY *et al.*, 1999). Die Milchfettsynthese ist bekanntlich von dem im Pansen gebildeten Fettsäurenprofil abhängig. Insbesondere bei rohfaserreicher Fütterung werden im Pansen höhere Konzentrationen an Acetat gebildet, die für die Milchfettsynthese benötigt werden. Aus diesem Grund wird der Milchfettgehalt in Verbindung mit der Kauaktivität teilweise auch für die Bewertung der physikalisch effektiven Faser (peNDF) eines Futtermittels herangezogen (MERTENS, 1997, 2000a). GRUMMER *et al.* (1987) fanden z.B. bei einer grundfutterarmen, getreidereichen Ration (75 % KF-Anteil) im Vergleich zu einer Kontrollration, bestehend aus 32 % Luzernesilage, 24 % Maissilage und nur 45 % KF, einen Rückgang des Acetat : Propionat Verhältnisses von 2,7 auf 2,0 und daraus folgend einen Rückgang des Milchfettgehaltes von 3,4 auf 2,8 %. KEADY *et al.* (1999) beobachteten bei steigender Stärkeaufnahme um 1 kg pro Kuh und Tag einen Rückgang im Milchfettgehalt von 0,39 g/ kg. ERDMANN (1988) konnte in einer Literaturlauswertung eine signifikante Beziehung zwischen dem ruminalen Acetat : Propionat Verhältnis und dem Fettgehalt in der Milch feststellen. Ein reduzierter Milchfettgehalt weist nach ARMENTANO & PEREIRA (1997) und der DLG (2001) am deutlichsten auf ein Defizit in der Strukturversorgung von Milchkühen hin. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass durch einen Austausch stärkehaltiger KF-Komponenten durch faserhaltige die Milchinhaltsstoffe signifikant verändert wurden. So konnten bei Fütterung der beiden faserreichen Rationen zum Teil signifikant höhere Milchfettgehalte festgestellt werden, während bei den stärkereichen Rationen die Eiweißgehalte in der Milch gesteigert wurden. Ein Einfluss der Behandlungen auf den Laktosegehalt konnte nicht festgestellt werden. Das im Pansen ermittelte Fettsäurenprofil entspricht weitgehend den Entwicklungen des Milchfettgehaltes. Bei

faserreicher Fütterung wurden folglich höhere Konzentrationen an Acetat und niedrigere Konzentrationen an Propionat beobachtet, welche sich schließlich auch in weiteren Acetat : Propionat Verhältnissen im Pansen widerspiegelten. Zu vergleichbaren Ergebnissen kamen DE VISSER *et al.* (1990), die in ihrer Studie zwar keinen Einfluss der Kohlenhydratzusammensetzung im KF-Anteil einer TMR auf die Milchleistung beobachten konnten, die aber zeigten, dass die Milchinhaltsstoffe dadurch signifikant verändert wurden. Die beiden stärkereichen KF, basierend auf Gerste und Mais, zeichneten sich, entsprechend den eigenen Versuchsergebnissen, in höheren Milcheiweißgehalten aus, während das faserreiche KF mit Zuckerrübenpülpe zu signifikant höheren Milchfettgehalten führte. Auch diese Autoren konnten ein verändertes Fettsäurenprofil im Pansen feststellen, wenn stärkereiche KF-Komponenten eingesetzt wurden.

Die Forschergruppe SLATER *et al.* (2000) zeigte jedoch auf, dass, wenn ein Teil des GF in der Ration durch NFFS ersetzt wurde (11 % NDF aus GF), die Milchfettgehalte nicht so hoch waren wie bei Rationen mit 21 und 16 % NDF aus GF. Auch SAWAR *et al.* (1992) stellten keine höhere Milchfettgehalte fest, wenn Sojaschalen einen Teil des GF ersetzten. In Untersuchungen mit 50 % GF-Anteil in der Ration wurden hingegen positive Effekte von Sojaschalen auf den Milchfettgehalt beobachtet, wenn diese im KF-Anteil zugesetzt wurden (DE PETERS *et al.* 1985; SMITH *et al.*, 1981). Diese Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass NFFS als Zusatz im KF-Anteil teilweise positiv auf die Pansenverhältnisse und schließlich auf die Milchfettgehalte wirken können. Es scheint jedoch, dass die NFFS auf den Milchfettgehalt nur dann positiv wirken, wenn genügend NDF aus GF in der Ration vorhanden ist. Ihre positive Eigenschaft liegt daher nicht in einer besseren Strukturwirksamkeit gegenüber stärkereichen KF-Komponenten, sondern vorwiegend in einer für das Pansenmilieu günstigeren Fermentierbarkeit. Aus diesem Grunde sollten die NFFS nicht als GF-Ersatz eingesetzt werden.

Sowohl SLATER *et al.* (2000) als auch SAWAR *et al.* (1992) stellten durch den Zusatz von NFFS in Rationen für Milchkühe keinen signifikanten Einfluss auf die Eiweißgehalte in der Milch fest. Bei beiden genannten Untersuchungen war jeweils die Tendenz zu erkennen, dass die Rationen mit höherem Anteil an schnell fermentierbaren Kohlenhydraten in der Ration zu höheren Eiweißgehalten in der Milch beitrugen. POORE *et al.* (1993) sowie HERRERA-SALDANA *et al.* (1990) sind der Ansicht, dass aus Rationen mit höheren Anteilen an ruminal verfügbaren Kohlenhydraten, zunehmende Mengen an mikrobiell gebildeten Protein im Pansen resultieren und dadurch der bakterielle N-Zufluss zum Duodenum ansteigt. Dies mache sich auch meist in höheren Eiweißgehalten und gesteigerten Milchleistungen

bemerkbar. Für die Milchproteinbildung ist neben dem im Pansen unabgebauten Futterprotein ebenso auch das über die mikrobielle Proteinsynthese gebildete Protein am Duodenum von entscheidender Bedeutung. Aus dem Niederländischen Energie- und Proteinbewertungssystem für Milchkühe (TAMMINGA & BLOK, 2007) geht hervor, dass sich, aus der über Grund- und Kraftfutter zugeführten Stärke, die größte Mengen an mikrobiell gebildetem Protein und die höchste Effizienz der mikrobiellen Proteinsynthese ergeben. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass der Eiweißgehalt in der Milch durch einen höheren Stärke-Anteil in der Ration tatsächlich erhöht wurde, verbunden mit einer insgesamt höheren Milchleistung war dieser aber nur bei der Fütterungsvariante H+L.

### **3.4.2. Kauaktivität und Pansenfermentation**

Für die Charakterisierung und Bewertung der Strukturwirksamkeit eines Futtermittels wird häufig das Kau- bzw. Wiederkauverhalten der Kühe als indirekte Größe verwendet. In Verbindung mit den Milchfettgehalten sollen diese beiden Parameter Auskunft über die Strukturversorgung von Milchkühen geben. MERTENS (2000b) beobachtete jedoch bei einer latenten Pansenacidose von Milchkühen, die sich durch Lahmheiten der Tiere bemerkbar machte, keine veränderten Fettgehalte in der Milch. KONONOFF & HEINRICHS (2003) sowie YANG & BEAUCHEMIN (2005, 2006) konnten in ihren Untersuchungen nachweisen, dass eine Erhöhung der Kau- und Wiederkauaktivität nicht immer mit einem optimalen Pansenmilieu in Verbindung steht. Diese Feststellungen sprechen dafür, dass der Milchfettgehalt und die Kauaktivität nicht immer den Status des Pansenmilieus und folglich die Gesundheit der Milchkühe widerspiegeln.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass durch einen Austausch von stärkehaltigen KF-Komponenten durch faserhaltige, der NDF-Gehalt in der Ration von 35,2 auf 47,4 % gesteigert werden konnte. Dies machte sich jedoch auf die Kauaktivität der Kühe nur unwesentlich bemerkbar. Sowohl in der täglichen Gesamtkau-, Fress- und Wiederkauzeit konnten keine statistisch abgesicherten Differenzen festgestellt werden. Nach WELCH (1982) und PIATKOWSKI (1999) sollte sich bei hoher TM-Aufnahme die tägliche Fress- und Wiederkauzeit generell erhöhen, während die Kauaktivität pro kg TM und Faser abnehmen sollte. Die Ergebnisse in der vorliegenden Studie zeigen aber, dass speziell bei der Ration N+S die Kauaktivität der Kühe relativ hoch war, obwohl eine signifikant reduzierte FA nachgewiesen werden konnte. Möglicherweise wirkten sich diese langen Kau- und Fresszeiten auf die TM-Aufnahme limitierend aus.

Insgesamt betrachtet hatten die beiden Hauptfaktoren „Abbauverhalten der Ration“ und „Stärkegehalt in der Ration“ keinen bedeutenden Einfluss auf die gesamte Kauaktivität der Kühe. Die Kauindices weisen darauf hin, dass speziell bei der Ration mit hohem Anteil an NFFS (Ration N+L), die kürzesten Kau- und Wiederkauzeiten pro kg TM, XF und NDF beobachtet werden konnten. Diese Ergebnisse unterstützen die Aussage, dass die NFFS selbst nicht zu einer Stimulation der Wiederkauaktivität beitragen können.

SLATER *et al.* (2000) konnten ebenfalls keine signifikanten Unterschiede in der Kau-, Fress- und Wiederkauzeit pro Tag beobachten, wenn ein Teil des NDF aus GF durch NDF aus Sojaschalen und Baumwollsaat ersetzt wurde. Da jedoch der GF-Anteil nur bei 11 % in der Ration lag, konnte durch den Zusatz von NFFS der gesamte NDF-Gehalt in der Ration erhöht (von 27,5 % auf 35,6 % i.d. TM) werden. Die Autoren vermuten daher, dass ein insgesamt höherer NDF-Gehalt die Kauaktivität der Kühe erhalten konnte. Dennoch bestätigen die Autoren, dass die Kühe bei hohem GF-Anteil eine höhere Kau- und Wiederkauzeit pro kg NDF aufwiesen. Die NDF aus Sojaschalen und Baumwollsaat schien demnach weniger effektiv zur Stimulierung der Kauaktivität zu sein als jene aus GF. Eine kürzere Kau- und Wiederkauzeit pro kg TM und NDF deuten in der vorliegenden Studie darauf hin, dass die NDF aus Sojaschalen, Palmkernexpeller und Maiskleberfutter nicht zu einer Stimulierung der Kauaktivität beitragen konnten.

Versuchsergebnisse von VÖLKER & ALLEN (2003) zeigen, dass durch eine Substitution von Feuchtmais (High moisture corn) durch Zuckerrübenpülpe (BP) in einer TMR (40 % GF aus Mais- und Luzernesilage) der NDF-Gehalt in der Ration von 24,3 (0 % BP) auf 31,6 % i.d. TM (24 % BP) gesteigert werden konnte. Dadurch erhöhte sich die Kau- Fress- und Wiederkauzeit sowohl pro Tag als auch pro kg TM und pro kg NDF linear mit Zunahme des Anteils an BP in der Ration. Durch eine längere Fress- und Gesamtkauzeit nahm die FA ab, dies äußerte sich demnach in reduzierter FA. Die Wissenschaftler schließen jedoch aus, dass eine längere Fresszeit für die reduzierte FA verantwortlich war.

HARVATINE *et al.* (2002) sind der Meinung, dass die Effektivität der NDF aus Baumwollsaat für die Kauaktivität nahezu 84 % erreicht, im Vergleich zu der NDF aus Luzernesilage. Nach diesen Autoren könnte somit der Anteil an Baumwollsaat in einer grundfutterarmen Ration für Milchkühe bis zu 15 % i.d. TM betragen. Zusätzlich überprüften die Autoren den Einfluss unterschiedlicher Stärkekomponenten auf die Kauaktivität. Ein erhöhter Anteil an ruminal abbaubarer Stärke von Feuchtmais im Vergleich zu Körnermais wirkte sich jedoch auf die Kauaktivität der Milchkühe nicht aus. SWAIN & ARMENTANO (1994) sehen hingegen den Einsatz von NFFS als Alternative zu Luzernesilage nur halb so

effektiv hinsichtlich ihrer Strukturwirksamkeit in der Ration. Nach ALLEN & VÖLKER (2003) ist bei grundfutterarmen Rationen der Einsatz von NFFS positiv zu bewerten, da diese als gut verdauliche, energiereiche Faserkomponenten die Strukturwirksamkeit einer Ration aufwerten können. Bei der Auswahl von faserreichen KF-Komponenten sollte jedoch darauf geachtet werden, dass nicht alle NFFS die gleiche Strukturwirksamkeit aufweisen. Des Weiteren unterscheiden sich die NFFS auch in ihrem Abbauverhalten, worauf bei der Rationsgestaltung geachtet werden sollte.

Das NRC (2001) empfiehlt für Milchkuhrationen 25 % gesamt NDF und 19 % NDF aus GF, um eine ausreichende Kauaktivität und Speichelsekretion sowie die Aufrechterhaltung eines gesunden Pansenmilieus zu gewährleisten. Ein insgesamt hoher GF-Anteil (51 %) und demzufolge ein hoher NDF-Gehalt in allen vier Fütterungsvarianten könnte ein Grund dafür sein, dass in der vorliegenden Studie keine eindeutigen Effekte auf die Kauaktivität der Kühe festgestellt werden konnte, wenn stärkereiches KF durch faserreiches ersetzt wurde.

SUDWEEKS *et al.* (1981) veranschlagen eine Kauzeit von mindestens 30 min/ kg TM um eine physiologisch normale Pansenfunktion zu erhalten. Wie aus den Ergebnissen zu erkennen ist, kauten die Tiere bei den vier Fütterungsvarianten zwischen 34-42 min/kg TM, was sich folglich auch bei allen Rationen in einem physiologischen Pansenmilieu bemerkbar machte. Demnach konnte zu keinem Zeitpunkt der Beprobung pH-Werte < 6,0 festgestellt werden. Trotzdem wurde durch einen Zusatz von faserreichem KF zum Teil ein signifikant höherer mittlerer pH-Wert im Pansen erreicht. Besonders deutlich konnte diese Beobachtung bei der Ration N+L festgestellt werden, die den höchsten Anteil an NFFS aufwies. Des Weiteren waren bei beiden faserreichen Fütterungsvarianten jeweils die Acetat- und Butyrat-Konzentrationen erhöht, während bei den stärkereichen Rationen höhere Propionat-Konzentrationen im Pansen festgestellt werden konnten. Dies machte sich bei den Rationen H+S und H+L auch in einem engeren Acetat : Propionat Verhältnis bemerkbar.

IPHARRAGUERE *et al.* (2002), VOELKER & ALLEN (2003b) sowie BECKMANN & WEISS (2005) konnten bei einem Austausch von stärkereichem Getreide durch NFFS auch reduzierte Propionat- und höhere Acetat-Konzentrationen im Pansen feststellen. Ein positiver Einfluss auf den pH-Wert im Pansen konnte jedoch bei allen drei Studien nicht nachgewiesen werden. BECKMANN & WEISS (2005) beobachteten mit steigendem NDF : NFC Verhältnis eine reduzierte Gesamtkonzentration an SCFA und schließen daraus auf einen positiven Effekt hinsichtlich der Fermentationsbedingungen im Pansen, während IPHARRAGUERE *et al.* (2002) und VOELKER & ALLEN (2003b) sogar steigende SCFA-Konzentrationen ermittelten, wenn Sojaschalen oder pelletierte Zuckerrübenpülpe das Getreide im KF

ersetzen. Es veränderte sich bei beiden Untersuchungen, wie bereits erwähnt, jedoch das Fettsäuremuster. Die Gesamtkonzentration der SCFA wurde in der vorliegenden Studie nicht signifikant beeinflusst. Tendenziell wiesen jedoch beide schnell abbaubaren Rationen höhere durchschnittliche SCFA-Konzentrationen auf, was auf eine intensive Fermentation der Stärke und des Zuckers im Pansen hinweist. Die durchschnittlich ermittelten pH-Werte wurden somit auch bei beiden schnell abbaubaren Rationen zum Teil signifikant niedriger. Auch LOOSE *et al.* (1998) konnten durch einen Austausch von Gerste und Weizen durch Körnermais höhere pH-Werte im Pansen feststellen.

Obwohl der Zusatz von faserreichen KF-Komponenten speziell bei der Ration N+L die Kau- und Wiederkauzeit der Kühe nicht nachhaltig verbessern konnte, wurde eine tendenziell höhere Bikarbonat-Konzentration bei dieser Ration ermittelt, welche offensichtlich auch mit einem höheren pH-Wert im Pansen verbunden war. Diese Tatsache lässt vermuten, dass entweder eine längere Fresszeit mit einem höheren Speichelfluss verbunden war, oder dass die Tiere auch während der Pausen mehr Speichel produzierten. Es liegen Hinweise vor, dass der Speichel nicht nur während des Kauens produziert wird, sondern auch während der Ruhephasen (YANG *et al.* 2002, KRAUSE *et al.*, 2002). Wird jedoch angenommen, dass die unterschiedlichen Fütterungsvarianten keinen Einfluss auf die Speichelproduktion nahmen, könnte weiterhin speziell bei den beiden langsam abbaubaren Fütterungsvarianten eine geringere SCFA-Produktion pro Zeiteinheit, bei gegebener Speichelproduktion, einen geringeren Verbrauch an Bikarbonat zur Folge gehabt haben, wodurch die durchschnittliche Bikarbonat-Konzentration in der Pansendigesta erhöht wurde.

Die Ergebnisse der Kauaktivität und der Fermentationsparameter im Pansen lassen den Schluss zu, dass faserreiche KF-Komponenten in einer TMR mit einem GF-Anteil von etwa 50 % das Pansenmilieu der Kühe tendenziell positiv beeinflussen, obwohl nur geringe Effekte auf die Kauaktivität der Tiere festgestellt werden konnten. Weiterhin scheinen bei stärkereichen Rationen langsam abbaubare Stärkekomponenten geeignet zu sein, das Pansenmilieu zu stabilisieren, da sowohl auf den pH-Wert, das Bikarbonat, als auch auf die Gesamtkonzentration der SCFA positive Effekte beobachtet werden konnten.

### **3.4.3. Ruminaler TM-Abbau**

Die Ergebnisse der ruminalen TM-Verluste in Abhängigkeit von der Fütterungsvariante spiegeln das Pansenmilieu der Milchkühe unter den jeweiligen Fütterungsvarianten gut wider. Die Feststellung, dass der ruminale TM-Abbau der TMR-Substrate nach 12 Stunden jeweils höher lag, wenn die Kühe mit den beiden langsam abbaubaren Rationen gefüttert wurden,

lässt die Vermutung zu, dass bei diesen Fütterungsvarianten die Verdauungskapazität der Digesta höher war im Vergleich zu den beiden schnell abbaubaren Rationen. Ein Effekt des Stärkegehaltes in der Ration auf den ruminalen TM Abbau *in situ* konnte hingegen nicht beobachtet werden. Nach TAJAJ (1996) wird das Ausmaß der mikrobiellen Verdauung von Nährstoffen im Pansen besonders von den Milieubedingungen und auch von den im Pansen verfügbaren Enzym- und Substratkonzentrationen beeinflusst. Unter den beiden letztgenannten Faktoren sind insbesondere das Wachstum und die Aktivität der Mikroorganismen (MO) im Pansen zu verstehen (FIRKINS, 2002).

Die durchschnittlichen pH-Werte und Bikarbonat-Konzentrationen, die unter den gefütterten Rationen ermittelt wurden, sind in Abbildung 12 im Verhältnis zu den bei Gabe dieser Rationen gemessenen TM-Verlusten nach 12 Stunden dargestellt. Folglich ist die Tendenz zu erkennen, dass die ruminalen TM-Verluste zunahm, wenn höhere pH-Werte in den Pansendigesta ermittelt wurden. Entsprechend waren auch höhere TM-Verluste zu verzeichnen, wenn zunehmende Bikarbonat-Konzentrationen im Pansen festgestellt wurden.

Vermutlich konnten beide langsam abbaubaren Rationen durch ein stabileres Pansenmilieu (geringere Säureladung, gesteigerte Bikarbonat-Konzentrationen und höherer pH-Wert) und eine besser abgestimmte Bereitstellung von fermentierbarer Stärke und Faser die MO-Population bzw. die Keimzahl im Pansen fördern und demzufolge durch eine gesteigerte Enzymaktivität den ruminalen TM-Abbau im Pansen erhöhen. Diese höhere Abbauleistung scheint jedoch in Bezug auf die Fettsäurenbildung im Pansen durch eine langsamere Fermentationsrate der Ration kompensiert worden zu sein, da eine höhere Abbauleistung nicht mit einer gesteigerten SCFA-Konzentration im Pansen in Verbindung stand.

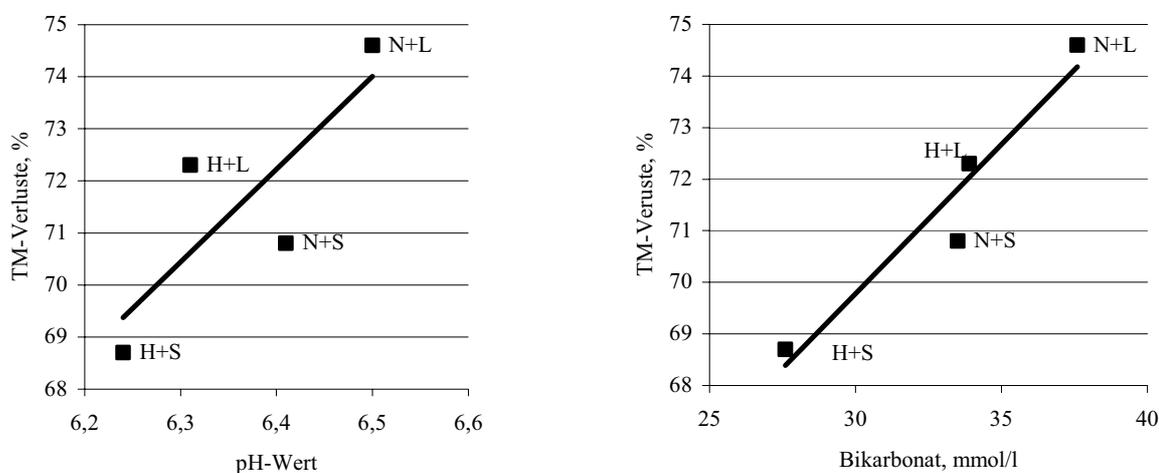


Abbildung 12: TM-Verluste der vier TMR nach 12 Stunden in Abhängigkeit vom pH-Wert und der Bikarbonat-Konzentration im Pansen.

Eine langsame Abbaurrate scheint somit besonders bei stärkereichen Rationen von Vorteil zu sein, da ein schneller Abbau größerer Stärkemengen im Pansen zu einer intensiven Säurebildung und dadurch bedingt zu reduzierten pH-Werten ( $< 6$ ) im Pansen führt, wodurch die Lebensbedingungen für Säure-empfindliche MO besonders beeinträchtigt werden. Eine geringe Toleranz der meisten Protozoen und cellulolytischen Bakterien gegenüber niedrigeren pH-Werten ist der Grund dafür, dass bei stärkereichen Rationen die ruminale Verdauung insbesondere der Faserbestandteile meist reduziert ist (RUSSELL & WILSON, 1996; VALADARES *et al.*, 2000; TAJAJ *et al.*, 2006).

Einen Einfluss von schnell fermentierbaren Kohlenhydraten in Rationen von Spendertieren auf den *in situ* Abbau von Substraten konnte auch von ØRSKOV & RYLE (1990) beobachtet werden. Sie beschreiben diese Beobachtung als so genannte „Begleit-Effekte“. Ein bevorzugter Abbau schnell fermentierbarer Kohlenhydrate durch die Pansenmikroben und die daraus resultierenden niedrigeren pH-Werte können laut den Autoren den Abbau inkubierter Substrate hemmen. Ähnliche Ergebnisse liefert HUNTINGTON (1994), der bei einer Fütterung schnell fermentierbarer Rationen einen verminderten Celluloseabbau der Substrate beobachtete. Die Ergebnisse zeigen, dass durch die Fütterung der Kühe der ruminale *in situ* Abbau von Nährstoffen beeinflusst werden kann. In den Untersuchungen von ØRSKOV & RYLE (1990) ist dieser Effekt hauptsächlich bei der Anwendung der *in situ* Methode zur Beurteilung des Abbauverhaltens von Futtermitteln beobachtet worden. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen, dass nicht der Stärkegehalt, sondern das Abbauverhalten der gefütterten Rationen den ruminalen *in situ* TM-Abbau der vier inkubierten Substrate beeinflusst hat. Dies ist aus Abbildung 12 deutlich zu erkennen.

#### **3.4.4. Scheinbare Nährstoffverdaulichkeit**

Die Ergebnisse zur Nährstoffverdaulichkeit zeigen, dass die Verdaulichkeit der TM und der OM vor allem bei der Ration N+L signifikant reduziert waren. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei dieser Ration im KF-Anteil ein hochverdauliches Kohlenhydrat (Stärke) durch schlechter verdauliche NDF ersetzt wurde. Dadurch bedingt ergab sich bei der Ration N+L auch das weiteste NDF : NFC Verhältnis. Ergebnisse von BECKMANN & WEISS (2005) bestätigen, dass mit steigendem NDF : XS Verhältnis die Verdaulichkeit der TM und der OM abnimmt, während VOELKER & ALLEN (2003c) keine signifikanten Unterschiede in der Verdaulichkeit der TM und OM feststellen konnten, obwohl der NDF-Gehalt in der Ration von 24,3 auf 31,6 % i. d. TM erhöht wurde. Die Rationen H+S, H+L und N+S wiesen in der TM-Verdaulichkeit keine signifikanten Unterschiede auf. Entsprechend

dem höheren ruminalen TM-Abbau (siehe Kapitel 3.3.6.) und der höheren effektiven ruminalen Abbaubarkeit der TM (siehe Kapitel 3.3.1.), wurde die Gesamtverdaulichkeit der TM bei beiden schnell abbaubaren Fütterungsvarianten höher. Des Weiteren konnten bei beiden schnell abbaubaren Rationen bessere Verdaulichkeiten der OM festgestellt werden. Obwohl der NDF-Gehalt bei der Ration N+S etwas höher war im Vergleich zu den beiden stärkereichen Rationen, wurde durch den Zusatz von Melasseschnitzeln und Citrustrester im KF der Anteil an hochverdaulichem Zucker entsprechend erhöht, was sich eventuell in einer höheren Verdaulichkeit der TM und der OM bemerkbar machte.

Mit zunehmender FA steigt beim Wiederkäuer die Passagerate des Futters durch den Verdauungstrakt an, so dass weniger Zeit für den Abbau und die Verdauung der Nährstoffe bleibt (FLACHOWSKY *et al.*, 2004, GABEL *et al.* 2003, VOLDEN, 1999). Eine höhere TM-Aufnahme der Kühe bei den Rationen H+L und N+L könnte somit zu einer insgesamt niedrigeren Gesamtverdaulichkeit der OM beigetragen haben.

Hinsichtlich der Faserverdaulichkeit zeichneten sich die beiden faserreichen Fütterungsvarianten im Vergleich zu den stärkereichen als vorteilhaft aus. Insbesondere bei der Ration N+S konnten signifikant höhere XF-, NDF und ADF-Verdaulichkeiten nachgewiesen werden. Nach ALLEN & VOELKER (2003) liegt der größte Vorteil der NFFS in einer höheren ruminalen NDF-Verdaulichkeit. In Untersuchungen von VOELKER & ALLEN (2003c) sowie HARMINSON *et al.* (1997) konnten demnach bei einem Zusatz von Zuckerrübenpülp im KF-Anteil oder durch den Einsatz von Sojaschalen als Substitut zum GF bessere NDF Verdaulichkeiten nachgewiesen werden.

Ein Rückgang in der scheinbaren Nährstoffverdaulichkeit bei hohen FA ist nach FLACHOWSKY *et al.* (2004) insbesondere von der potentiellen Abbaubarkeit und der Abbaurate der Futtermittel im Pansen abhängig. Laut ALLEN (2001) und FLACHOWSKY *et al.* (2004) ist der Effekt einer reduzierten Gesamtverdaulichkeit der Nährstoffe bei zunehmender FA weniger stark ausgeprägt, wenn Futtermittel mit einer hohen potentiellen Abbaubarkeit und hoher ruminaler Abbaurate eingesetzt werden. Die ruminale Abbaubarkeit der NDF wurde in der vorliegenden Studie nicht untersucht, ALLEN & VOELKER (2003) sind der Meinung, dass insbesondere Sojaschalen und BP einen besonders hohen Anteil an ruminal fermentierbarer Faser aufweisen. Ein Zusatz von Sojaschalen und Melasseschnitzeln in den Rationen N+L und N+S scheint aufgrund dieser Futtermiteleigenschaft ein Grund dafür zu sein, dass bei beiden Fütterungsvarianten eine höhere Faserverdaulichkeit beobachtet werden konnte. So ist in der vorliegenden Studie hauptsächlich die Komponentenauswahl im KF für die bestehenden Unterschiede in der Faserverdaulichkeit zwischen den Rationen

verantwortlich. Obwohl die FA bei der Ration N+L relativ hoch war, konnte der Zusatz von Futterkomponenten mit hoher NDF-Verdaulichkeit, einen Rückgang in der gesamten Faserverdaulichkeit, bedingt durch höhere FA, vermeiden. Zusätzlich scheint bei der Fütterungsvariante N+S ein höherer Anteil an schnell fermentierbarem Zucker in Kombination mit einer besseren Faserverdaulichkeit die Gesamtverdaulichkeit der TM und der OM gesteigert zu haben.

Wie aus den Ergebnissen der scheinbaren Nährstoffverdaulichkeit weiter zu erkennen ist, war die Gesamtverdaulichkeit der XS bei beiden stärkereichen Fütterungsvarianten höher im Vergleich zu den beiden faserreichen. Eine signifikant reduzierte XS-Verdaulichkeit konnte bei der Ration N+L beobachtet werden.

Eine Erhöhung des ruminalen Stärke By-Pass von 5 auf 11 % i.d. TM nahm bei den stärkereichen Rationen keinen signifikanten Einfluss auf die Gesamtverdaulichkeit der XS. FLACHOWSKY *et al.* (2004) konnten in einer Literaturliteraturauswertung von 9 Studien nachweisen, dass durch eine erhöhte XS-Anflutung am Duodenum die Gesamtverdaulichkeit der Stärke abnimmt. Als Ursache der limitierten post ruminalen Stärkenutzung nennen die Autoren eine geringere Amylaseaktivität und eine begrenzte Glucoseabsorption. Anhand von Literaturergebnissen ermittelten auch NOCEK & TAMMINGA (1991) eine negative lineare Beziehung zwischen dem Anteil an im Dünndarm verdauter XS und der ruminalen Abbaubarkeit der XS. MATTHÉ *et al.* (2000) konnten jedoch anhand von 10 Literaturhinweisen ableiten, dass insbesondere die Menge an By-Pass Stärke und nicht die ruminale Abbaubarkeit per se für den Umfang der XS-Verdauung im Dünndarm ausschlaggebend ist. Demnach konnten die Autoren XS-Verdaulichkeiten im Dünndarm von etwa 50 % ermitteln, wenn mehr als 1,5 kg Stärke am Dünndarm angekommen waren. Bei einer Stärkeanflutung von etwa einem kg wurden hingegen 70-75 % im Dünndarm verdaut. In Abbildung 13 und in Tabelle 41 im Anhang ist der Anteil an ruminal und post ruminal verdaulicher XS in g pro Tag dargestellt. Für die Berechnung wurden die effektive Abbaubarkeit der XS aus Kapitel 3.3.1. (Tabelle 29) und die duodenalen XS-Verdaulichkeiten nach MATTHÉ *et al.* (2000) zugrunde gelegt. Folglich betrug die duodenale Stärkeanflutung bei Verabreichung der Ration H+L etwa 2,4 kg XS pro Tag, während bei der schnell abbaubaren Stärkeration nur etwa 1 kg XS pro Tag am Duodenum ankamen. Nach MATTHÉ *et al.* (2000) würde dies bedeuten, dass bei der Ration H+L etwa 50 % im Dünndarm verdaut werden würden, woraus sich ca. 1,2 kg dünndarmverdauliche XS ergeben würden. Bei der Ration H+S würden hingegen von einem kg XS am Dünndarm in etwa 700 g (70 %) verdaut. Die unterschiedliche ruminale und duodenale Verdaulichkeit der XS zwischen den Rationen

H+L und H+S hatten jedoch keinen Einfluss auf die Gesamtverdaulichkeit der XS, woraus auf eine intensivere Dickdarmfermentation der XS bei Verabreichung der Ration H+L zu schließen ist. Nach FLACHOWSKY *et al.* (2004) sowie MATTHÉ *et al.* (2000) ist die Stärkemenge, die vom Dünndarm effizient genutzt werden kann auf 1,5 bis 2 kg beschränkt. Bei Eintritt von mehr als 2 kg XS in den Dünndarm scheint laut den Autoren die energetische Stärkenutzung ungünstiger zu sein als bei mikrobiellem Abbau im Pansen mit anschließender Gluconeogenese. Für die vorliegende Studie würde das bedeuten, dass bei Verabreichung der Ration N+L die Grenze der maximalen Stärkenutzung am Dünndarm überschritten wurde und somit die Effizienz der Stärkenutzung geringer wurde. Dennoch konnten bei der Ration H+L 500 g mehr XS im Dünndarm verdaut werden als bei der Ration H+S, woraus sich eine eventuell bessere Glucosebereitstellung für die Milchkühe ergab. Somit scheinen einerseits die höhere FA und andererseits eine bessere Glucosebereitstellung für die gesteigerten Milchleistungen bei Fütterung der Ration H+L verantwortlich zu sein.

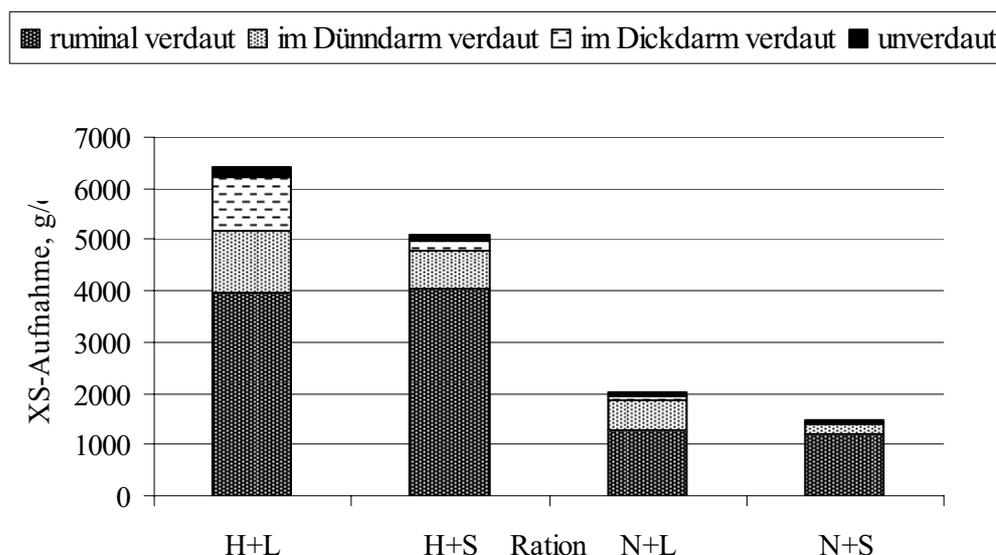


Abbildung 13: Ruminale und post ruminale Verdaulichkeit der Stärke.

### 3.5. Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Ein Zusatz von langsam abbaubaren Stärkekomponenten oder faserreichen Komponenten mit hoher Energiedichte im KF-Anteil von Totalen Mischrationen stellt zwei Möglichkeiten dar, die negativen Wirkungen von kraftfutterreichen Rationen auf die Verdauungsvorgänge bei Milchkühen zu mindern.

In dem vorliegenden Versuch wurde der Einfluss der Kohlenhydratzusammensetzung und der ruminalen Abbaurate von Kraftfuttermischungen in Totalen Mischrationen auf die

Futteraufnahme, Leistung, Kauaktivität und Verdauungsvorgänge bei Milchkühen geprüft. Dafür wurden vier unterschiedliche Totale Mischrationen, die sich hinsichtlich ihrer Kohlenhydratzusammensetzung des Kraftfutters und in ihren ruminalen Abbauraten unterschieden, an 22 Milchkühen geprüft.

Ein Zusatz langsam abbaubarer Stärkekomponenten im KF-Anteil einer TMR konnte den Anteil an ruminaler By-pass Stärke bei den stärkereichen Mischrationen von 5 auf 11 % in der TM erhöhen. Ein Zusatz von faserreichen KF-Komponenten steigerte hingegen den NDF-Gehalt in den Mischrationen von 35 auf 47 % in der TM.

Die faserreichen KF-Komponenten konnten das Kau- und Wiederkauverhalten der Tiere nicht nachhaltig verbessern. Besonders bei der Zugabe einer langsam abbaubaren, faserreichen KF-Mischung konnten signifikant reduzierte Kau- und Wiederkauzeiten pro kg TM und NDF festgestellt werden. Trotzdem wirkte sich der Zusatz von faserreichem KF auf das Pansenmilieu positiv aus. Dies zeichnete sich in tendenziell höheren Bikarbonat-Konzentrationen und höheren pH-Werten im Pansen aus. Eine langsame Abbauraten der Ration führte innerhalb der KF-Varianten „stärkereich oder faserreich“ zu jeweils niedrigeren Konzentrationen an flüchtigen Fettsäuren und höheren Bikarbonat-Konzentrationen. Ein dadurch bedingt stabileres Pansenmilieu scheint in der vorliegenden Studie die FA der Milchkühe positiv beeinflusst zu haben, was sich in höheren täglichen Milchleistungen und FEC-Milchleistungen bemerkbar machte. Ein höherer Fasergehalt in der Ration spiegelte sich in höheren Milchfettgehalten wider, während ein höherer Stärkegehalt im KF zu gesteigerten Eiweißgehalten in der Milch führte.

Das durch Fütterung von langsam abbaubaren Rationen verbesserte Pansenmilieu wirkte sich auf den ruminalen *in situ* TM-Abbau aller inkubierten Fütterungsvarianten positiv aus. Die Gesamtverdaulichkeit der TM und der OM war dennoch bei beiden schnell abbaubaren Fütterungsvarianten teilweise signifikant erhöht. Dies ist einerseits auf den Austausch hochverdaulicher durch schlechter verdauliche Kohlenhydrate zurückzuführen und auf einen Rückgang der Gesamtverdaulichkeit bei höherer Futteraufnahme.

Durch einen gesteigerten ruminalen Stärke By-pass wurde insbesondere bei der stärkereichen Ration eine post ruminale Stärkeanflutung von über 2 kg pro Tag geschätzt. Die Gesamtverdaulichkeit der Stärke wurde dadurch jedoch nicht beeinflusst, was auf einen höheren Anteil an dünn darmverdaulicher Stärke hinweist und / oder eine intensive Dickdarmfermentation vermuten lässt. Eine bessere Glucosebereitstellung bei Fütterung der Kühe mit langsam abbaubarem, stärkereichem KF scheint in der vorliegenden Studie die Milchleistung der Kühe zusätzlich beeinflusst zu haben.

Aus den Ergebnissen des vorliegenden Versuches lässt sich folgende Schlussfolgerung ableiten:

Langsam abbaubare Komponenten im Kraftfutteranteil von Totalen Mischrationen führten durch eine Stabilisierung des Pansenmilieus, besonders des pH-Wertes, zu höheren Gesamtfutteraufnahmen und Milchleistungen. Faserreiche Kraftfutterkomponenten erwiesen sich zwar als vorteilhaft für die Bedingungen im Pansen, hatten aber eine geringere Futteraufnahme und reduzierte Milchleistung zur Folge. Da sie zudem die Zusammensetzung der Milch in einer für Erzeuger und Verbraucher unerwünschten Weise änderten und schließlich nicht zu einer gesteigerten Kau- und Wiederkauaktivität beitragen konnten, kann der Einsatz faserreicher Kraftfuttermittel nicht als vorteilhaft angesehen werden. Die Strukturversorgung über einen ausreichenden Grundfutteranteil bleibt daher die unbedingte Voraussetzung für eine wiederkäuergerechte Rationsgestaltung.

### 3.6. Literaturverzeichnis

- ALLEN, M. S. (2000): Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 83, 1598-1624.
- ALLEN, D. M and R.J. GRANT (2000): Interaction between forage and wet corn gluten feed as a source of fiber in diets for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 83, 322-331.
- ALLEN, M.S. M. OBA, J.A. VOELKER (2001): Digestible fiber from forages for lactating cows. *J. Anim. Sci.* 79, Suppl. 1, *J. Dairy Sci.* 84, Suppl. 1, *Poultry Sci.* 80, Suppl. 1, 54<sup>th</sup> Annual Recipr. Meat Conf. Vol. II, 198, Abstract.
- ALLEN, M.S. and J.A. VOELKER (2003): Forage Alternatives. Proceedings of the Tri-State Dairy Nutrition Conference 2003. Dept. Dairy Sci., Ohio State University, Columbus.
- ARMENTANO, L. and M. PEREIRA (1997): Measuring the effectiveness of fiber by animal response trials. *J. Dairy Sci.* 80, 1416-1425.
- BRADFORD B.J. and M. S. ALLEN (2004): Milk fat responses to a change in diet fermentability vary by production level in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 87, 3800-3807.
- DE PETERS, E.J., and S.J. TAYLOR (1985): Effects of feeding corn or barley on composition of milk and diet digestibility. *J. Dairy Sci.* 68, 2027-2032.
- DE VISSER, H. and A.M. DE GROOT (1980): The influence of the starch and sugar content of concentrates on feed intake, rumen fermentation, production and composition of milk. In: Proceedings of the IV the International conference on production disease in farm animals, Munich. Eds. D. GIESECKE, G. DIRKSEN & M. STANGASSINGER. Fotodruck Frank OHG, München. pp 41-48.

- DE VISSER, H. P.L. VAN DER TOGT and S. TAMMINGA (1990): Structural and non-structural carbohydrates in concentrate supplements of silage-based dairy cow rations. 1. Feed intake and milk production. *Neth. J. Agric. Sci.* 38, 487-498.
- DLG-FUTTERWERTTABELLEN WIEDERKÄUER (1997): 7. Auflage. DLG-Verlag, Frankfurt / Main, 1997.
- DLG, DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTLICHE GESELSCHAFT (1998): Informationen 1/1998. Die bedarfsgerechte Proteinversorgung der Milchkuh. DLG-Verlag, Frankfurt / Main, 1998.
- DLG, DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTLICHE GESELSCHAFT (2001): Informationen 2/2001. Struktur- und Kohlenhydratversorgung der Milchkuh. DLG-Verlag, Frankfurt / Main, 2001.
- ERDMANN, R.A. (1988): Dietary buffering requirements of the lactating dairy cows: A review. *J. Dairy Sci.* 71, 3246-3266.
- FLACHOWSKY, G., P. LEBZIEN, U. MAYER (2004): Zur energetischen Futterbewertung bei Hochleistungskühen. *Übers. Tierernährg.* 32, 23-56.
- FIRKINS, J.L. (2002): Optimizing rumen fermentation. Tri-State Dairy Nutrition Conference, pp. 39-53.
- FORBES, J.M. (1995): Voluntary Food Intake and Diet Selection in Farm Animals. CABI, UK, PP. 532.
- FORBES, J.M. (1996): Integration of regulatory signals controlling forage intake in ruminants. *J. Anim. Sci.* 74, 3029-3035.
- GABEL, M., B. PIEPER, K. FRIEDEL, M. RADKE, J. HAGEMANN, J. VOIGT, S. KUHLA (2003): Influence of nutrient level on digestibility in high yielding cows and effects on energy evaluation systems. *J. Dairy Sci.* 86, 3992-2998.
- GRUMMER, R.R., A.L. JACOB, J.A. WOODFORD (1987): Factors associated with variation in milk fat depression resulting from high grain diets fed to dairy cows. *J. Dairy Sci.* 70, 613-619.
- HARMISON, B., M.L. EASTRIDGE, J.L. FIRKINS (1997): Effect of neutral detergent fiber and source of starch on performance of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 80, 905-911.
- HERRERA-SALDANA, R.E., J.T. HUBER, M.H. POORE (1990): Dry matter, crude protein and starch degradability of five cereal grains. *J. Dairy Sci.* 73, 2386-2393.
- HUNTINGTON, J.A. (1994): Studies on the stability on rumen metabolism in sheep and the effect of dietary addition of yeast culture. Ph. D. Thesis, Glasgow University
- HUNTINGTON, G.B. (1997): Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. *J. Anim. Sci.* 75, 852-867.

- IPHARRAGUERRE, I. R., Z. SHABI, J.H. CLARK and D.E. FREEMAN (2002): Ruminant fermentation and nutrient digestion by dairy cows fed varying amounts of soyhulls as a replacement for corn grain. *J. Dairy Sci.* 85, 2890-2904.
- JOY, M.T., DE PETERS, J.E. FADEL, J.G. ZINN, R.A. (1997): Effects of corn processing on the site and extent of digestion in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 80, 2087-2097.
- KEADY, T.W.J., C.S. MAYNE, D.A. FITZPATRICK (1999): The effects of concentrate energy source on milk composition of lactating dairy cattle offered grass silages. Occasional Meeting "Milk composition" 16./17. September 1999, Belfast, British Society of Animal Science, p. 20.
- KHAZAAL, K., M.T. DENTINHO, J.M. RIBEIRO, E.R. ØRSKOV, (1993): A comparison of gas production during incubation with rumen content in vitro and nylon bag degradability as predictors of the apparent digestibility in vivo and the voluntary feed intake of hays. *Anim. Prod.*, 57, 105-112.
- KRAUSE, K.M., D.K. COMBS and K.A. BEAUCHEMIN (2002): Effect of forage particle size and grain fermentability in midlactation cows. II. Ruminant pH and chewing activity. *J. Dairy Sci.* 85, 1947-1957.
- LOOSE, K., P. LEBZIEN, G. FLACHOWSKY (1998): Einfluss von Maissorten mit unterschiedlichem Stärke- und Proteingehalt auf den in sacco-Abbau im Pansen bei nicht laktierenden Milchkühen. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 7, 23.
- MATTHÉ, A., P. LEBZIEN, G. FLACHOWSKY (2000): Zur Bedeutung von Bypass-Stärke für die Glucoseversorgung von hochleistenden Milchkühen. *Übers. Tierernährg.* 28, 1-64.
- MENKE, K.H. & H. STEINGASS (1988): Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. *Anim. Res. Dev.*, 28, 7-55.
- MERTENS, D.R. (1993): Kinetics of cell wall digestion and passage in ruminants. In: Forage cell wall structure and digestibility (Eds. JUNG et al.), Madison, Wisconsin, USA, 538-566.
- MERTENS, D.R. (1997): Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80, 1463-1481.
- MERTENS, D.R. (2000a): Physical effective NDF and its use in dairy rations explored. *Feedstuffs* April 10, 11-14.
- MERTENS, D.R. (2000b): Physical effective NDF and its use in dairy rations explored. *Feedstuffs*, April 10, 2000.
- NOCEK, J.E. and J.B. RUSSELL (1988): Protein and energy as an integrated system, relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. *J. Dairy Sci.* 71, 2070-2107.

- NOCEK, J.E. and TAMMINGA, S. (1991): Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effect on milk yield and composition. *J. Dairy Sci.* 74, 3598-3629.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) (2001): Nutrient Requirements of dairy cattle. 7th Rev. Ed. Natl. Acad. Sci., (Washington DC).
- OFFNER, A. D. SAUVANT (2004): Prediction of in vivo starch digestion in cattle from in situ data. *Anim. Feed Sci. Technol.* 112, 107-130.
- OLIVERIA, J.S., J.T. HUBER, D. BEN-GHEDALIA, R.S. SWINGLE, C.B. THEURER and M. PESSARAKLI (1993). Influence of sorghum grain processing on performance of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 76, 575-581.
- ØRSKOV, E.R., M. RYLE (1990): Energy nutrition in ruminants. Elsevier Science Publishers LTD, London.
- POORE, M.H., J.A. MOORE, R.S. SWINGLE, T.P. ECK, and W.H. BROWN (1993): Response of lactating Holstein cows to diets varying in fiber source and ruminal starch degradability. *J. Dairy Sci.* 76, 2235-2243.
- RUSSELL, J.B. & D.B. WILSON (1996): Why are ruminal cellulolytic bacteria unable to digest cellulose at low pH? *J. Dairy Sci.* 79, 1503-1509.
- SAS. 2001. SAS User's guide. Statistics, Release 8.2. SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA.
- SAWAR, M. J.L. FIRKINS and M.L. EASTRIGE (1992): Effects of varying forage and concentrate carbohydrates on nutrient digestibility and milk production by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 75, 1533-1542.
- SCHWARZ F.J. (2000): Fütterung hochleistender Milchkühe. 27. Viehwirtschaftliche Fachtagung, BAL Gumpenstein. S.19-26.
- SLATER, A.L., M.L. EASTRIDGE, J.L. FIRKINS and L.J. BIDINGER (2000): Effects of starch source and level of forage neutral detergent fiber on performance by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 83, 313-321.
- SMITH, N.E., L.S. COLLAR, D.L. BATH, W.L. DUNKLEY, and A.A. FRANKE (1981): Digestibility and effects of whole cottonseed fed to lactating cows. *J. Dairy Sci.* 64, 2209-2215.
- SUDWEEKS E. M., L. O. ELY, D.R. MERTENS, and L.R. SISK (1981): Assessing minimum amounts and form of roughage in ruminant diets: Roughage value index system. *J. Anim. Sci.* 53, 406-411.
- SÜDEKUM, K.-H. (1999): Wiederkäuergerechte Ernährung der Hochleistungskuh. 29. Viehwirtschaftliche Fachtagung, BAL Gumpenstein. S.1-8.
- SWAIN, S.M. and L.E. ARMENTANO (1994): Quantitative evaluation of fiber from nonforage sources used to replace alfalfa silage. *J. Dairy Sci.* 77, 2318-2331.

- TAF AJ, M. (1996): Untersuchungen zu einigen fütterungstechnischen Maßnahmen zur Verbesserung der Ausnutzung faserreichen Grundfutters beim Wiederkäuer. Dissertation, Universität Hohenheim.
- TAF AJ, M., Q. ZEBELI, A. MAULBETSCH, H. STEINGASS and W. DROCHNER (2006): Effects of fibre concentration of diets consisting of hay and slowly degradable concentrate on ruminal fermentation and digesta particle size in mid-lactating dairy cows. *Arch. Anim. Nutr.* 60, 254-266.
- VALADARES, S.C., G.A. BRODERICK, R.F.D. VALADARES, M.K. CLAYTON (2000): Effect of replacing alfalfa silage with high moisture corn on nutrient utilization and milk production. *J. Dairy Sci.* 83, 106-114.
- TAMMINGA, S. and M.C. BLOK (2007): Energy and protein system in dairy cows: The Netherlands. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 16, pp.16.
- VOELKER, J.A. and M.S. ALLEN (2003a): Pelleted beet pulp substituted for high-moisture corn: 1. Effects on feed intake, chewing behaviour, and milk production of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86, 3542-3552.
- VOELKER, J.A. and M.S. ALLEN (2003b): Pelleted beet pulp substituted for high-moisture corn: 3. Effects on ruminal fermentation, pH, and microbial protein efficiency in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86, 3562-3570.
- VOELKER, J.A. and M.S. ALLEN (2003c): Pelleted beet pulp substituted for high-moisture corn: 2. Effects on digestion and ruminal digestion kinetics in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86, 3553-3561.
- VOLDEN, M. (1999): Effects of level of feeding and ruminally undegraded protein on ruminal bacterial protein synthesis, escape of dietary protein, intestinal amino acid profile and performance of dairy cows. *J. Anim. Sci.* 77, 1905-1918.
- WELCH, J.G. (1982): Rumination, particle size and passage from the rumen. *J. Anim. Sci.* 54, 885-894.
- WEISBJERG, M.R., T. HVELPLUND, J. MADSEN (1990): Anvendelse af nedbrydningsprofiler i fodermiddelvurderingen. Beretning fra Stats Husdyrbrugsforsøg NO. 697, Tjele, pp. 33.
- YANG, W.Z., K.A. BEAUCHEMIN and L.M. RODE (2002): Effects of particle size of alfalfa based- dairy cow diets on site and extent of digestion. *J. Dairy Sci.* 85, 1958-1968.

## 3.7. Anhang

Tabelle 38: Einfluss der Kohlenhydratzusammensetzung und der ruminalen Abbaurate von Totalen Mischrationen auf die Milchleistung und Milchinhaltsstoffe (LSmeans  $\pm$  SEM) (n = 22).

Parameter	Ration <sup>1</sup>				SEM	P <sup>2</sup> <0,05
	H+L	H+S	N+L	N+S		
TM-Aufnahme (kg/ d)	22,2 <sup>a</sup>	20,0 <sup>c</sup>	21,02 <sup>b</sup>	18,70 <sup>d</sup>	0,46	XS,A
MJ NEL/ d	142,4 <sup>a</sup>	126,3 <sup>c</sup>	136,6 <sup>b</sup>	119,7 <sup>d</sup>	2,91	XS,A
nXP(g/ d)	3421,4 <sup>a</sup>	2801,9 <sup>c</sup>	3105,9 <sup>b</sup>	2687,2 <sup>d</sup>	66,54	XS,A,XS*A
Milchmenge (kg/ d)	25,7 <sup>a</sup>	23,0 <sup>b</sup>	24,2 <sup>ab</sup>	22,7 <sup>b</sup>	1,15	A
FEC (kg/ d)	27,1 <sup>a</sup>	24,7 <sup>b</sup>	26,4 <sup>a</sup>	24,7 <sup>b</sup>	1,05	A
<b>Milchinhaltsstoffe</b>						
Milchfett (%)	4,2 <sup>b</sup>	4,4 <sup>ab</sup>	4,6 <sup>a</sup>	4,6 <sup>a</sup>	0,14	XS
Milcheiweiß (%)	3,8 <sup>a</sup>	3,9 <sup>a</sup>	3,6 <sup>b</sup>	3,7 <sup>b</sup>	0,07	XS
Lactose (%)	4,7	4,7	4,7	4,7	0,05	n.s.
Harnstoff (mg /100ml)	25,2 <sup>c</sup>	29,8 <sup>a</sup>	29,4 <sup>a</sup>	26,6 <sup>b</sup>	0,65	XS*A

<sup>1</sup> H+S = Stärkegehalt hoch + schnelle Abbaurate, H+L = Stärkegehalt hoch + langsame Abbaurate,

N+S = Stärkegehalt niedrig + schnelle Abbaurate, N+L = Stärkegehalt niedrig + langsame Abbaurate

<sup>2</sup> signifikante Faktoren: XS = Stärkegehalt im Kraftfutteranteil, A = Abbaurate der Totalen Mischration, XS\*A = Wechselwirkung zwischen Stärkegehalt und Abbaurate

n.s. = nicht signifikant

a,b,c, = unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Rationen (p < 0.05)

Tabelle 39: Einfluss der Kohlenhydratzusammensetzung und der ruminalen Abbaurate von Totalen Mischrationen auf den pH-Wert, die Bikarbonat- und Ammoniak-N-Konzentration in der flüssigen Digestaphase des Pansens von Milchkühen (LSmeans  $\pm$  SEM) (n = 4).

Parameter	Zeitpunkt <sup>3</sup>	Ration <sup>1</sup>				SEM	P <sup>2</sup> <0,05
		H+L	H+S	N+L	N+S		
pH-Wert	07:00	6,6	6,5	6,7	6,5	0,14	n.s.
	11:00	6,2 <sup>b</sup>	6,5 <sup>ab</sup>	6,6 <sup>a</sup>	6,6 <sup>a</sup>	0,09	XS
	15:00	6,1	6,0	6,1	6,2	0,11	n.s.
	19:00	6,3 <sup>ab</sup>	6,0 <sup>b</sup>	6,6 <sup>a</sup>	6,3 <sup>ab</sup>	0,10	XS,A
(mmol/ l) HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	07:00	57,0	38,3	55,0	41,4	7,81	n.s.
	11:00	24,9	38,3	40,5	44,7	5,10	n.s.
	15:00	13,7	19,5	17,1	19,6	5,15	n.s.
	19:00	40,0	14,3	38,0	28,4	7,67	n.s.
NH <sub>3</sub>	07:00	3,9 <sup>a</sup>	5,2 <sup>a</sup>	3,8 <sup>a</sup>	1,9 <sup>b</sup>	0,45	XS,XS*A
	11:00	6,9	7,2	6,7	5,0	1,36	n.s.
	15:00	7,7	8,1	8,2	4,5	1,26	n.s.
	19:00	5,4 <sup>a</sup>	5,9 <sup>a</sup>	2,9 <sup>b</sup>	2,4 <sup>b</sup>	0,74	XS

<sup>1</sup> H+S = Stärkegehalt hoch + schnelle Abbaurate, H+L = Stärkegehalt hoch + langsame Abbaurate,

N+S = Stärkegehalt niedrig + schnelle Abbaurate, N+L = Stärkegehalt niedrig + langsame Abbaurate

<sup>2</sup> signifikante Faktoren: XS = Stärkegehalt im Kraftfutteranteil, A = Abbaurate der Totalen Mischration, XS\*A = Wechselwirkung zwischen Stärkegehalt und Abbaurate

<sup>3</sup> Zeitpunkt der Probenahme, n.s. = nicht signifikant,

a,b,c,d = unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Rationen (p < 0.05)

Tabelle 40: Einfluss der Kohlenhydratzusammensetzung und der ruminalen Abbaurate von Totalen Mischrationen auf die Gesamtkonzentration und die Zusammensetzung der SCFA in der flüssigen Digestaphase des Pansen von Milchkühen (LSmeans  $\pm$  SEM) (n = 4).

Parameter	Zeitpunkt <sup>3</sup>	Ration <sup>1</sup>				SEM	P <sup>2</sup> <0,05
		H+L	H+S	N+L	N+S		
<i>(mmol/l)</i>							
VFA	07:00	96,2	96,9	96,6	113,7	7,18	n.s.
	11:00	117,0	104,8	103,0	114,6	6,98	n.s.
	15:00	108,2	126,3	121,0	110,5	5,61	n.s.
	19:00	112,6	121,9	113,4	117,0	10,09	n.s.
<i>%</i>							
Acetat (C <sub>2</sub> )	07:00	63,1	61,8	65,6	65,4	1,71	n.s.
	11:00	60,1	60,3	61,1	62,1	2,09	n.s.
	15:00	58,8	56,8	59,7	61,6	1,76	n.s.
	19:00	60,1 <sup>ab</sup>	58,5 <sup>b</sup>	64,2 <sup>a</sup>	62,3 <sup>ab</sup>	1,47	XS
Propionat (C <sub>3</sub> )	07:00	21,8	23,6	18,7	18,8	1,59	n.s.
	11:00	24,8	23,7	21,4	21,5	1,63	n.s.
	15:00	25,2	26,7	22,5	21,0	1,85	n.s.
	19:00	24,1 <sup>a</sup>	25,2 <sup>ab</sup>	19,2 <sup>b</sup>	20,5 <sup>ab</sup>	1,44	XS
n-Butyrat (C <sub>4</sub> )	07:00	11,2	10,7	12,3	12,6	0,66	n.s.
	11:00	11,5	11,5	13,5	12,9	0,86	n.s.
	15:00	11,8	12,1	13,9	13,5	0,82	n.s.
	19:00	11,7	12,1	13,3	13,8	1,12	n.s.
Isobutyrat (C <sub>4i</sub> )	07:00	1,0	0,9	0,8	0,7	0,13	n.s.
	11:00	0,9	1,0	0,9	0,9	0,09	n.s.
	15:00	0,9	0,8	0,8	0,8	0,10	n.s.
	19:00	0,9	0,9	0,8	0,7	0,12	n.s.
Valeriat (C <sub>5</sub> )	07:00	1,3	1,6	1,2	1,4	0,13	n.s.
	11:00	1,5	1,7	1,5	1,5	0,15	n.s.
	15:00	1,6	2,2	1,5	1,7	0,32	n.s.
	19:00	1,5	1,8	1,2	1,5	0,13	n.s.
Isovaleriat (C <sub>5i</sub> )	07:00	1,6	1,5	1,4	1,1	0,17	n.s.
	11:00	1,7	1,7	1,6	1,5	0,18	n.s.
	15:00	1,7	1,6	1,5	1,3	0,18	n.s.
	19:00	1,7	1,5	1,3	1,2	0,21	n.s.
C2/C3	07:00	3,0	2,8	3,5	3,5	0,30	n.s.
	11:00	2,6	2,6	2,9	3,0	0,33	n.s.
	15:00	2,4	2,2	2,7	3,0	0,28	n.s.
	19:00	2,6	2,4	3,7	3,1	0,30	n.s.

<sup>1</sup> H+S = Stärkegehalt hoch + schnelle Abbaurate, H+L = Stärkegehalt hoch + langsame Abbaurate,

N+S = Stärkegehalt niedrig + schnelle Abbaurate, N+L = Stärkegehalt niedrig + langsame Abbaurate

<sup>2</sup> signifikante Faktoren: XS = Stärkegehalt im Kraftfutteranteil, A = Abbaurate der Totalen Mischration, XS\*A = Wechselwirkung zwischen Stärkegehalt und Abbaurate

<sup>3</sup> Zeitpunkt der Probenahme

n.s. = nicht signifikant

a,b,c, = unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Rationen (p < 0.05)

Tabelle 41: Ruminale und post ruminale XS-Verdaulichkeit.

	Ration <sup>1</sup>			
	H+L	H+S	N+L	N+S
XS-Aufnahme (g/ d)	6406,5	5090,7	2017,6	1430,0
ruminal verdaute XS (g/ d)	3965,6	4067,5	1297,3	1196,9
im Dünndarm verdaute XS (g/ d), MATTHÉ <i>et al.</i> (2000)	1220,5	716,3	576,2	198,1
im Dickdarm verdaute XS (g/ d)	1047,5	205,2	57,3	35
XS im Kot (g/ d)	173,0	101,8	86,8	47,2

<sup>1</sup> H+S = Stärkegehalt hoch + schnelle Abbaurate, H+L = Stärkegehalt hoch + langsame Abbaurate,  
N+S = Stärkegehalt niedrig + schnelle Abbaurate, N+L = Stärkegehalt niedrig + langsame Abbaurate

Tabelle 42: chemische Zusammensetzung der KF-Komponenten.

Futtermittel	TM	XA	XL	XP	XF	NDF	ADF	ADL
Erbsen	88,2	2,9	1,9	19,3	6,8	17,9	8,5	0,3
Palmkernexpeller	90,8	4,8	9,4	16,6	22,2	73,8	46,8	14,6
Citrustrester	89,0	7,1	2,2	7,0	14,2	22,3	25,2	1,5
Kartoffeleiweiß	90,2	4,5	4,0	75,6	1,4	38,5	4,2	0,7
Sojaschalen	89,5	4,7	3,5	13,0	39,6	66,6	67,7	1,6
Futterweizen	88,7	2,4	2,5	14,9	2,9	13,3	5,3	1,0
Maiskleberfutter	91,5	6,1	5,4	5,4	10,8	43,6	13,5	1,1
Futtergerste	90,8	3,4	3,0	14,0	6,9	25,5	9,4	1,7
Ackerbohne	89,1	4,1	2,0	26,5	10,2	21,9	13,9	1,2
Rapsschrot	91,2	7,9	7,8	37,0	13,8	32,6	20,7	7,8
Sojaextraktionsschrot	89,7	7,0	3,1	52,1	7,2	17,7	11,5	0,6
Melasseschnitzel	92,0	7,4	1,1	10,0	11,9	27,7	15,4	0,7
Mais	88,7	1,9	3,3	9,8	2,6	13,9	3,5	0,5

**KAPITEL IV**

---

**Allgemeine Diskussion und Schlussfolgerungen**

## **4. Allgemeine Diskussion und Schlussfolgerungen**

### **4.1. Einleitung**

Bei der Entwicklung innovativer Fütterungskonzepte für hochleistende Milchkühe steht die Erhaltung eines physiologischen Pansenmilieus zunehmend zur Disposition, da beim Wiederkäuer der Kern der Verdauung im Pansen liegt. Zu den wichtigsten Aufgaben des Pansens zählen neben dem Abbau von  $\beta$ -glycosidisch gebundenen Zellwand-Kohlenhydraten auch die mikrobielle Proteinsynthese sowie die Synthese von B-Vitaminen und Vitamin K (FLACHOWSKY, 2003; JEROCH *et al.*, 1999). Demnach nimmt das Pansenmilieu oder das Pansenökosystem entscheidend Einfluss auf die Versorgung der Kühe mit Energie- und Nährstoffen. Als charakteristische Kenngrößen des Pansenmilieus sind neben einer umfangreichen Mikroorganismenpopulation (MO), das Flüssigkeitsvolumen, der Pool an effektiv nutzbarer Faser, die Menge und Konzentration an Fermentationsprodukten, die Schichtung der Futtermasse mit Ausbildung einer charakteristischen Faserschicht sowie die Intensität der Pansenkontraktionen zu nennen (ZEBELI *et al.* 2006). Es ist allgemein anerkannt, dass der Gehalt an strukturierter Faser, die PL (Partikellänge) des Grundfutters sowie der Anteil an schnell fermentierbaren Kohlenhydraten in der Ration wichtige Faktoren sind, die den physiologischen Ablauf der Verdauung beim Wiederkäuer beeinflussen können. In der vorliegenden Untersuchung konnte anhand unterschiedlicher Fütterungsmodelle (Variationen in der Partikellänge (PL) des Grundfutters (GF), unterschiedliche Kraftfutter (KF)-Niveaus und KF-Mischungen) gut dargestellt werden, dass besondere der Anteil an schnell fermentierbaren Kohlenhydraten in der Ration die Kaskade der Verdauungsvorgänge bei Milchkühen beeinflusst. In der folgenden Ausführung werden die wichtigsten Ergebnisse beider Untersuchungen nochmals in kurzer Form dargestellt, um mögliche Schlussfolgerungen auf die Rationsgestaltung für Hochleistungsmilchkühe formulieren zu können.

### **4.2. Effekte der PL des GF, des Fasergehaltes und der KF-Zusammensetzung auf die Kauaktivität**

Eine wichtige charakteristische Größe zur Bewertung der Strukturwirksamkeit von Rationen für hochleistende Milchkühe ist das Kau- bzw. Wiederkauverhalten der Kühe. Für eine ausreichende Stimulation der Kauaktivität sind vorwiegend Futterpartikel nötig, die nach MERTENS (1997) eine Partikelgröße von mindestens  $> 1,18$  mm aufweisen. Erst durch ein intensives Wiederkauen wird diesen Partikeln eine Passage aus dem Pansen in den nachfolgenden Verdauungstrakt ermöglicht. Die in Kapitel II dargestellten Ergebnisse zeigen,

dass für die Sicherstellung einer physiologischen Wiederkauaktivität eine größere PL des GF, besonders bei Ration mit hohem KF-Niveau, erforderlich werden. Diesbezüglich konnte in der vorliegenden Studie nachgewiesen werden, dass sich bei hohem KF-Niveau eine insgesamt niedrigere Wiederkauaktivität der Milchkühe durch ein gesteigertes Wiederkauen pro kg aufgenommene Heu-TM kompensieren lässt, wenn eine größere PL des GF in der Ration gewählt wird. Auch KRAUSE *et al.* (2002) und KONONOFF & HEINRICHS (2003) bestätigen, dass besonders bei Rationen mit hohem KF-Niveau und reduziertem Anteil an Strukturkohlenhydraten, die PL des GF ein entscheidender Faktor ist, der die Wiederkauaktivität von Kühen beeinflusst. Ergänzend hierzu konnte in der vorliegenden Arbeit in Kapitel III bestätigt werden, dass ein Austausch von stärkehaltigen KF-Komponenten durch faserhaltige zwar zu höheren NDF-Gehalten in den Ration beigetragen konnte, eine zunehmende Stimulation der Kauaktivität wurde jedoch dadurch nicht erreicht. Nach ALLEN & VOELKER (2003) sind NFFS (Non-Forage-Fiber-Sources) gute KF-Komponenten mit einer sehr hohen Faserverdaulichkeit. Aufgrund einer stark reduzierte PL ist jedoch durch deren Zusatz keine ausreichende Stimulierung der Wiederkauaktivität zu erwarten - wodurch die NFFS nicht als GF-Ersatz empfohlen werden können.

Die Ergebnisse beider Untersuchungen zeigen, dass eine physiologische Wiederkauaktivität von Milchkühen durch einen ausreichenden Anteil an strukturierten Faserbestandteilen über ein qualitativ hochwertiges GF mit angemessener PL gesichert werden sollte. Zudem sollte hinsichtlich einer wiederkäuergerechten Rationsgestaltung eine Differenzierung von effektiv nutzbarer NDF (peNDF) und NDF-Gehalt beachtet werden, da in der vorliegenden Studie bestätigt werden konnte, dass ein höherer peNDF-Gehalt in der Ration tatsächlich die Wiederkauaktivität steigern konnte.

#### **4.3. Effekte der PL des GF, des Fasergehaltes und der KF-Zusammensetzung auf die Fermentation im Pansen**

Ergebnisse aus Studien mit leistungsstarken, TMR gefütterten Milchkühen (KONONOFF & HEINRICHS, 2003; YANG & BEAUCHEMIN, 2005, 2006) haben gezeigt, dass eine Erhöhung der Kau- und Wiederkauaktivität nicht immer zu optimalen Milieubedingungen im Pansen beiträgt. Auch in der vorliegenden Untersuchung zeigte sich in Kapitel II, dass bei Gabe von Rationen mit hohem KF-Niveau eine größere PL des GF die Wiederkauzeit der Kühe zwar erhöhen konnte, das Pansenmilieu jedoch dadurch nicht entscheidend verbessert wurde. Insbesondere in den Abendstunden, nach Aufnahme der gesamten KF-Ration, konnte bei den Kühen, die mit lang gehäckseltem Heu gefüttert wurden, eine erhöhte SCFA-

Konzentration im Pansen festgestellt werden. Obwohl die KF-Rationen auf vier Mahlzeiten pro Tag verteilt wurden, machte sich die Aufnahme von hohen Mengen an ruminal fermentierbarer OM, besonders an Stärke, im Pansenstatus bemerkbar. Für die Aufrechterhaltung eines stabilen pH-Wertes ist nach ALLEN (1997) hauptsächlich die Neutralisation der im Pansen gebildeten Fettsäuren durch das Puffervermögen des Speichels von entscheidender Bedeutung. Eine zu hohe SCFA-Konzentration im Pansen, kann jedoch, bedingt durch eine mangelnde Pufferkapazität des Speichels, oftmals nicht mehr kompensiert werden, so dass, trotz gesteigertem Wiederkauen, keine ausreichende Pufferung im Pansen stattfinden kann.

Eine bedeutende Folgerung aus Kapitel II ist demnach, dass die Milieubedingungen im Pansen weniger durch die PL des GF, als vielmehr durch den Anteil an schnell fermentierbaren Kohlenhydraten in der Ration beeinflusst wurden. Ergänzend dazu konnte in Kapitel III beobachtet werden, dass neben dem Stärkeanteil in der Ration auch die ruminale Abbaurate der Stärke einen wesentlichen Effekt auf die gebildeten Fermentationsprodukte und somit auf das Pansenmilieu hat. So erwiesen sich vor allem stärkereiche KF-Komponenten mit langsamen Abbauraten als günstig auf die SCFA-Konzentration im Pansen. Faserreiche KF-Komponenten konnten weder bezüglich des Wiederkauverhaltens noch bezüglich den Milieubedingungen im Pansen entscheidend positive Effekte erbringen. Um bestehende Wechselwirkungen hinsichtlich PL, Fasergehalt und Fermentationsrate genauer definieren zu können, sind jedoch noch weiterführende Untersuchungen notwendig. Dennoch kann aus beiden Fütterungsversuchen gefolgert werden, dass ein angemessener NDF-Gehalt in der Ration für die Erhaltung stabiler Pansenverhältnisse unumgänglich ist.

Die Empfehlung zur Strukturversorgung von Milchkühen liegen laut NRC (2001) bei mindestens 25 % NDF in der TM-Aufnahme, wobei mindestens 75 % der NDF aus GF sein sollte. In beiden Untersuchungen lagen die NDF- Gehalte bei allen Fütterungsvarianten deutlich über 25 %. Dies könnte ein Grund dafür sein, dass sowohl die PL des GF als auch der Zusatz von faserreichen KF-Komponenten keine wesentlichen Effekte auf die Fermentationsparameter im Pansen zeigten.

#### **4.4. Effekte der PL des GF, des Fasergehaltes und der KF-Zusammensetzung auf den ruminalen TM-Abbau und die scheinbare Verdaulichkeit der Rohnährstoffe**

Das Ausmaß und die Intensität der mikrobiellen Verdauung von Nährstoffen im Pansen stehen in enger Beziehung zu den gegebenen Milieubedingungen im Pansen (FIRKINS, 2002) und schließlich auch zu der Versorgung der Kühe mit Energie und Nährstoffen. Da beim

Wiederkäuer eine effektive Nutzung von Pflanzenfasern anzustreben ist, steht bei der Rationsgestaltung eine Optimierung der Faserverdauung im Pansen an erster Stelle. In beiden Fütterungsversuchen konnte anhand von Ergebnissen zum ruminalen *in situ* TM-Abbau bestätigt werden, dass die Milieubedingungen im Pansen den ruminalen Abbau von Heu und Mischrationen beeinflussen können. In Kapitel II zeigte sich, dass bei reduziertem KF-Niveau bzw. höherem Anteil an Strukturkohlenhydraten, die durchschnittlichen ruminalen TM-Verluste des Heus über 48 Stunden höher lagen, als bei Rationen mit hohem KF-Niveau. Des Weiteren förderte eine größere PL des Heus zusätzlich den TM-Abbau im Pansen, obwohl diese das Pansenmilieu nicht signifikant positiv beeinflusste. Bedingt durch eine bessere Qualität der Digestaschichtung (ZEBELI, 2006), scheint eine größere PL des Heus zu längeren Verweilzeiten der festen Digesta im Pansen geführt zu haben - wodurch der TM-Abbau des Heus im Pansen gesteigert werden konnte. HOOVER (1986) ist der Ansicht, dass schon eine relativ kurze Zeitdauer eines pH-Wertes  $< 6,2$  die Faserverdauung beeinträchtigen kann. In der vorliegenden Arbeit wird mehrmals darauf hingewiesen, dass durch schlechtere Milieubedingungen im Pansen, die jedoch hauptsächlich auf den Anteil an insbesondere „schnell“ fermentierbaren Kohlenhydraten in der Ration zurückzuführen waren, auch schließlich der ruminale TM - Abbau reduziert wird. Demnach konnte auch in der zweiten Untersuchung (Kap. III) beobachtet werden, dass bei Gabe von langsam abbaubaren Mischrationen sowohl bessere Milieubedingungen im Pansen gegeben waren, als auch der ruminale *in situ* TM-Abbau der TMR-Substrate nach 12 Stunden höher lag.

Hinsichtlich der scheinbaren Faserverdaulichkeit konnte insbesondere in Kapitel II gut dargestellt werden, dass ein höherer Anteil an Strukturkohlenhydraten in der Ration nicht nur einen positiven Effekt auf den ruminalen TM-Abbau des Heus hatte, sondern auch auf die Gesamtverdaulichkeit der Faserbestandteile. Auch in diesem Fall scheint die Qualität der Digestaschichtung und die ruminale Verweilzeit der festen Digesta im Pansen dafür verantwortlich zu sein, dass der Faserabbau im Pansen gesteigert werden konnte und schließlich die Gesamtverdaulichkeit der Faserbestandteile förderte. Die PL des GF zeigte auf diese Parameter nur eine untergeordnete Wirkung.

Es ist hier anzumerken, dass ein höheres KF-Niveau die Faserverdaulichkeit jedoch nicht signifikant verschlechterte und einige Rohnährstoffe, wie TM, OM, XP, XL und XX besser verdaut wurden. Der in allen vier Fütterungsvarianten relativ hohe NDF-Gehalt scheint hauptsächlich dafür verantwortlich zu sein, dass kein eindeutiger Effekt der PL des GF auf die Verdaulichkeit der Rohnährstoffe zu erkennen war. Schließlich konnte in Kapitel III nicht eindeutig nachgewiesen werden, dass eine bessere Faserverdaulichkeit mit einem höheren

NDF-Gehalt in der Ration verbunden war, da sich die eingesetzten faserreichen KF-Komponenten allgemein in einer sehr guten Faserverdaulichkeit auszeichnen (ALLEN & VOELKER, 2003).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass im Hinblick auf eine wiederkäuergerechte Ernährung bei der Rationsgestaltung für hochleistende Milchkühe der Anteil an schnell fermentierbaren Kohlenhydraten und somit der KF-Anteil in der Ration besondere Beachtung gewinnen sollte. Eine gezielte Auswahl langsam fermentierbarer KF-Komponenten stellt eine Möglichkeit dar, KF-reiche Rationen in Ihrer Wirkung auf das Pansenmilieu zu entschärfen. Dennoch sollte die Bereitstellung von Strukturkohlenhydraten stets über einen ausreichenden Anteil an GF erfolgen, da in der vorliegenden Untersuchung faserreiche KF-Komponenten das für den Wiederkäuer so wichtige Wiederkauverhalten nicht stimulieren konnten.

#### 4.5. Literaturverzeichnis

- ALLEN, M. S. (1997): Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. *J. Dairy Sci.* 80, 1447-1462.
- ALLEN, M.S. and J.A. VOELKER (2003): Forage Alternatives. Proceedings of the Tri-State Dairy Nutrition Conference 2003. Dept. Dairy Sci., Ohio State University, Columbus.
- FLACHOWSKY, G., P. LEBZIEN, E. STROBEL (2003): „Biotechnikum“ - Pansen Potentiale und Grenzen. *Züchtungskunde* 74, 85-103.
- FIRKINS, J.L. (2002): Optimizing rumen fermentation. Tri-State Dairy Nutrition Conference, pp. 39-53.
- HOOVER W. H. (1986): Chemical factors involved in ruminal fiber digestion. *J. Dairy Sci.* 69, 2755-2767.
- JEROCH, H., W. DROCHNER, O. SIMON (1999): Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere. Eugen Ulmer Verlag Stuttgart.
- KONONOFF, P.J. and A.J. HEINRICHS (2003): The effect of reducing alfalfa haylage particle size on cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 86, 1445-1457.
- KRAUSE, K.M., D.K. COMBS and K.A.BEAUCHEMIN (2002): Effect of forage particle size and grain fermentability in midlactation cows. II. Ruminal pH and chewing activity. *J. Dairy Sci.* 85, 1947-1957.
- MERTENS, D.R. (1997): Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80, 1463-1481.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) (2001): Nutrient Requirements of dairy cattle. 7<sup>th</sup> Rev. Ed. Natl. Acad. Sci., (Washington DC).

- YANG, W.Z., K.A. BEAUCHEMIN (2005): Effects of physically effective fiber on digestion and milk production by dairy cows fed diets based on corn silage. *J. Dairy Sci.* 88, 1090-1098.
- YANG, W.Z. and K.A. BEAUCHEMIN (2006): Effects of physically effective fiber on chewing activity and ruminal pH of dairy cows fed diets based on barley silage. *J. Dairy Sci.* 89, 217-228.
- ZEBELI, Q. M. TAJAJ, B. METZLER, H. STEINGASS, W. DROCHNER (2006): Neue Aspekte zum Einfluss der Qualität der Faserschicht auf die Digestakinetik im Pansen der Hochleistungsmilchkuh. *Übers. Tierernährg.* 34, 165-196.
- ZEBELI, Q. (2006): Einfluss der Partikellänge von Totalen Mischrationen (TMR) auf die Digestaschichtung und Verdauungsvorgänge im Pansen bei Milchkühen. Dissertation, Universität Hohenheim.



### II. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde in zwei Fütterungsversuchen der Einfluss der Partikellänge (PL) des Grundfutters (GF), des Fasergehaltes und der Fermentierbarkeit von Milchkuhrationen auf die Kenngrößen der ruminalen Toleranz sowie auf ausgewählte Leistungsparameter von Milchkühen geprüft.

Das Ziel der ersten Untersuchung war es, in Rationen für Milchkühe den Einfluss unterschiedlicher Partikellängen von Heu in Kombination mit dem Faktor Kraftfutter (KF)-Niveau auf die Kauaktivität, Fermentationsparameter im Pansen, Futter- und Flüssigkeitspassage, Nährstoffverdaulichkeit sowie auf die mikrobielle Proteinsynthese zu untersuchen. Dafür wurden zwei PL eines faserreichen Heus aus dem zweiten Schnitt (30 mm und 6 mm) und zwei Stufen (20 % und 55 % i.d. TM) einer schnell abbaubaren ( $T-k_d = 16,4$  %/ h) KF-Mischung an vier pansenfistulierten Milchkühen der Rasse „Deutsche Holstein“ nach dem Schema des Lateinischen Quadrates (4 x 4) geprüft. Die Futterraufnahme wurde auf 17 kg TM/ Tag festgelegt. Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass weniger die PL des GF, als vielmehr das KF-Niveau die Verdauungsvorgänge von Milchkühen beeinflusste. Ein hoher KF-Anteil (55 %) in der Ration hatte sowohl einen negativen Effekt auf das Wiederkauverhalten, das Pansenmilieu (pH-Wert, SCFA-Konzentration, C<sub>2</sub>:C<sub>3</sub> Verhältnis) und die ruminale Verweilzeit der festen Digesta, als auch auf den ruminalen *in situ* TM-Abbau des Heus und auf die Gesamtverdaulichkeit von Faserbestandteilen in der Ration (XF und Cellulose). Eine unterschiedliche PL des Heus zeigte hingegen nur teilweise einen signifikanten Einfluss auf diese Parameter. Bei hohem KF-Niveau konnte eine größere PL des Heus die Wiederkauzeit der Kühe zwar signifikant erhöhen, das Pansenmilieu wurde jedoch dadurch nicht entscheidend verbessert. Demnach führte bei hohem KF-Niveau das kurz gehäckselte Heu zu tendenziell höheren pH-Werten und niedrigeren SCFA-Konzentrationen im Pansen, während bei niedrigem KF-Niveau das lang gehäckselte Heu die Wiederkauaktivität und den Status des Pansens positiv beeinflusste. Bei niedrigem KF-Niveau konnte eine größere PL des Heus die ruminale Verweildauer der festen Digesta signifikant erhöhen - was sich in einem signifikant höheren *in situ* TM-Abbau des Heus bemerkbar machte. Dieser Effekt konnte jedoch bei Fütterung von Rationen mit hohem KF-Niveau nicht bestätigt werden. Zudem konnte bei hohem KF-Niveau eine größere PL des Heus nicht zu einer besseren Gesamtverdaulichkeit der Faserbestandteile in der Ration beitragen. Die mikrobielle Proteinsynthese wurde durch ein hohes KF-Niveau positiv beeinflusst. Insbesondere die Kombination mit kurzem Heu konnte die gesamte mikrobielle Proteinsynthese signifikant steigern. Der in allen vier Fütterungsvarianten relativ hohe NDF-

Gehalt scheint hauptsächlich dafür verantwortlich zu sein, dass keine eindeutigen Effekte der PL des GF auf die Verdauungsvorgänge von Milchkühen zu erkennen waren.

Bei der zweiten Untersuchung stand die Frage im Vordergrund, ob einerseits die Art der verfütterten Kohlenhydrate und andererseits deren ruminales Abbauverhalten die Futteraufnahme, die Leistungsparameter und die Verdauungsvorgänge von Milchkühen beeinflusst. Dafür wurden vier Kombinationen von Totalen Mischrationen (TMR) (19 % Grassilage, 19 % Maissilage, 13 % Heu, 49 % KF), die sich in ihrer Kohlenhydratzusammensetzung (stärkereich oder faserreich) und in ihren ruminalen Abbauraten (schnelle oder langsame Abbaurate) unterschieden, an insgesamt 22 *ad libitum* gefütterten Kühen (4 Kühe mit permanenter Pansenfistel) nach dem Schema des Lateinischen Quadrates (4 x 4) untersucht. Die Abstufungen im Stärkegehalt und in den Abbauraten wurden durch unterschiedliche Komponenten im KF wie folgt vorgenommen: 1.) stärkereich, langsam abbaubar [Hauptkomponenten (HK) Mais, Rapsschrot]; 2.) stärkereich, schnell abbaubar (HK: Gerste, Erbsen, Ackerbohnen); 3.) faserreich, langsam abbaubar (HK: Sojaschalen, Palmkernexpeller, Maiskleberfutter); 4.) faserreich, schnell abbaubar (HK: Citrustrester, Melasseschnitzel, Sojaschrot). Ein Zusatz von faserreichem KF konnte die Kauaktivität der Kühe nicht entscheidend verbessern. Dennoch wirkte sich der Zusatz auf das Pansenmilieu positiv aus. Dies zeigte sich in tendenziell höheren Bikarbonat-Konzentrationen und höheren pH-Werten im Pansen. Eine langsame Abbaurate der Ration führte innerhalb der KF-Variante „stärkereich oder faserreich“ zu jeweils niedrigeren Konzentrationen an flüchtigen Fettsäuren. Ein dadurch bedingt stabileres Pansenmilieu scheint in der vorliegenden Studie die FA der Milchkühe positiv beeinflusst zu haben - welches sich auch in höheren Milchleistungen bemerkbar machte. Die faserreichen KF-Komponenten spiegelten sich in höheren Milchfettgehalten wider, während stärkereiches KF zu gesteigerten Eiweißgehalten in der Milch führte. Durch das bei Fütterung von langsam abbaubaren Rationen verbesserte Pansenmilieu wirkte sich auf den ruminalen *in situ* TM-Abbau aller inkubierten Fütterungsvarianten positiv aus. Dies machte sich jedoch nicht in einer besseren Gesamtverdaulichkeit, insbesondere der Faserbestandteile, bemerkbar. Ein höherer Anteil an By-pass Stärke in den langsam abbaubaren Rationen führte bei der stärkereichen Ration zu einer geschätzten post ruminalen Stärkeanflutung von über 2 kg pro Tag. Ein Effekt auf die Gesamtverdaulichkeit der Stärke konnte aber nicht beobachtet werden. Eine bessere Glucosebereitstellung bei Gabe von Rationen mit langsam abbaubaren, stärkereichem KF scheint in der vorliegenden Studie die Milchleistung der Kühe zusätzlich positiv beeinflusst zu haben.

#### III. Summary

In the present thesis two investigations were carried out to evaluate the influence of dietary forage particle size (PS), dietary fiber content and ruminal degradation rate of rations for high yielding dairy cows on rumen characteristic patterns and animal performance.

The objective of the first experiment was to investigate the effects of varying PS and concentrate levels in rations on chewing activity, rumen fermentation, passage of the solid and fluid digesta, *in situ* ruminal and total tract digestion as well as microbial protein synthesis in dairy cows. This experiment tested two different PS of a fiber-rich hay from the second cut (6 mm and 30 mm) and two different levels (20 % and 55 % of DM) of a rapidly degradable concentrate mixture (DM-  $k_d = 16.4$  %/ h) in four ruminally cannulated Holstein cows in a 4 x 4 Latin square design. The feed intake was fixed at 17 kg DM/ d.

The results of this study showed that mainly concentrate level influenced digestive processes in the dairy cows. Increasing the dietary concentrate level from 20 % to 55 % DM had a negative effect on chewing activity, rumen conditions (ruminal pH, concentration of SCFA, C<sub>2</sub> : C<sub>3</sub> ratio) and ruminal retention time of the solid digesta as well as on the ruminal *in situ* degradation of the TM from hay and at last on the total tract digestion of dietary fiber components (XF and Cellulose). However, altering the PS of hay (6 mm versus 30 mm) showed only a small effect on these parameters. Increasing the PL of hay in the diet with high concentrate level could indeed significantly enhance the ruminating time of the cows, nevertheless the rumen environment was not thereby improved decisively. Thus in diets with a high concentrate level, fine chopped hay led to higher ruminal pH and lower SCFA concentrations in the rumen, while in diets with low levels of concentrate the inclusion of long chopped hay influenced the ruminating activity and the rumen environment positively.

These interactions could be also observed in the ruminal *in situ* degradation of the hay as well as in the total tract digestion of the nutrients. A significantly longer ruminal retention time of the solid digesta with feeding the long chopped hay in low concentrate diets could increase the ruminal *in situ* degradation of the DM of hay significantly. Nevertheless this effect could not be confirmed with feeding rations with high concentrate level. Furthermore in diets with high concentrate level the long chopped hay could not contribute to a better total tract digestion of the dietary fiber components. Concerning the microbial protein synthesis a positive influence of high concentrate level was established. In combination with fine chopped hay the whole microbial protein synthesis could be increased significantly. The relatively high content of dietary NDF in all four diets seemed to be primarily responsible for the absence of an effect of dietary forage PL on digestive processes.

The purpose of the second study was to investigate the effects of the carbohydrate composition and ruminal degradation rate of concentrate mixtures in a TMR on digestive processes (chewing activity, rumen fermentation, ruminal *in situ* degradation, total tract digestion) and on animal performance in dairy cows. Therefore four combinations of total mixed rations (TMR) (19 % of grass silage, 19 % of maize silage, 13 % of hay, 49 % of concentrate) varying in their carbohydrate composition (rich in starch or rich in fiber) and in their ruminal degradation rates (fast or slowly degradation) were tested in 22 Holstein dairy cows fed *ad libitum* (including 4 ruminally cannulated cows) in a 4 x 4 Latin square design. The levels of dietary starch content and ruminal degradation rates for the diets were altering the concentrate mixture in the following manner: 1.) rich in starch, slow degradation rate [main components (MK) maize, rapeseed meal]; 2.) rich in starch, fast degradation rate (MK: barley, peas, field beans); 3.) rich in fiber, slow degradation rate (MK: Soybean hulls, palm kernel expeller, maize gluten feed); 4.) rich in fiber, fast degradation rate (MK: citrus pulp, molassed sugar beet pulp, soybean meal).

The fiber-rich concentrate diets did not increase the chewing activity of cows compared to the other diets. However the addition of fiber-rich concentrate still positively affected the rumen environment overall. This was reflected in higher bicarbonate concentrations in the rumen and higher ruminal pH. The slow degradation rate diets, irrespective of whether the diet was rich in starch or rich in fiber, reduced SCFA concentrations in the rumen and led to a more stable rumen environment. It seemed to be that in this study a more stable rumen environment influenced the feed intake of the cows positively which resulted in higher daily milk yields. Both fiber-rich diets resulted in higher milk fat content, while the diets rich in starch led to an increased protein content in the milk. The improved rumen conditions when feeding the slowly degradable diets positively affected the ruminal *in situ* DM disappearances of all incubated diets. But this was not reflected in a better total tract digestion particularly of the dietary fiber components. By feeding the slowly degradable diet with high starch content the amount of post ruminal starch was respected of more than 2 kg per day. However thereby the total tract digestion of the starch was not influenced what points to a higher amount of starch degraded in the small intestine and allows supposing an intensive fermentation in the large intestine. In addition a better glucose supply by feeding diets with a higher amount of slowly degradable starch in the rumen seems to have influenced the milk yield of the cows in the present study.

## Verzeichnis der Abkürzungen

---

ADF	Säure-Detergenzfaser, acid detergent fiber
ADL	Säure- Detergenzlignin, acid detergent lignin
C <sub>2</sub>	Acetat
C <sub>3</sub>	Propionat
C <sub>4</sub>	Butyrat
C <sub>4i</sub>	Isobutyrat
C <sub>5</sub>	Valeriat
C <sub>5i</sub>	Isovaleriat
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
d	Tag
dO	Verdaulichkeit der Organischen Masse
ERD	Effektive ruminale Abbaubarkeit
FA	Futteraufnahme
Fa.	Firma
FECM	Fett-, Eiweiß- korrigierte Milch
FMRT	mittlere Verweilzeit post ruminal
FRL	freie ruminale Flüssigkeit
GF	Grundfutter
h	Stunde
HCO <sub>3</sub>	Bikarbonat
HFT	Hohenheimer Futterwerttest
i.d. TM	In der Trockenmasse
KCL	Kaliumchlorid
k <sub>d</sub>	Gasbildungsrate
KF	Kraftfutter
k <sub>f</sub>	Passagerate im post ruminalem Trakt
k <sub>s</sub>	Passagerate im Haube-Pansen Raum
LiCo-EDTA	Lithium-Cobald-Ethylendiamintetraessigsäure
LM	Lebendmasse
LM <sup>0,75</sup>	metabolische Lebendmasse
LSmeans	geschätzter Mittelwert
MC	Mikroorganismen
ME	Umsetzbare Energie
min	Minuten

## Verzeichnis der Abkürzungen

---

MJ	Megajoule
MPL	mittlere Partikellänge
N	Stickstoff
n	Anzahl
NDF	Neutrale Detergenzfaser, neutral detergent fiber
NDFg	NDF aus Grundfutter
NEL	Netto Energie Laktation
NFC	Nicht-Faser-Kohlenhydrate
NfE	Nicht-Stickstoff-Extraktstoffe
NFFS	Non-Forage-Fiber-Source
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
NPN	Nicht-Protein-Stickstoff
n.s.	nicht signifikant
NSC	Nicht-Struktur-Kohlenhydrate
nXP	nutzbares Rohprotein am Duodenum
OM	Organische Masse
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
peNDF	physikalisch-effektive NDF, physically effective NDF
PL	Partikellänge
PSPS	Penn state particle separator
PTFE	Polytetrafluoraethylen
R <sup>2</sup>	Bestimmtheitsmaß
RMRT	mittlere Verweilzeit im Hauben-Pansen-Raum
RR	Reticulorumen
SAS	Statistical analysis system
SC	Strukturkohlenhydrate
SCFA	kurz-kettige Fettsäuren, short-chain fatty acids
sec	Sekunden
SEM	Standardfehler der Mittelwerte, standard error of the mean
SRF	Abgepresste ruminale Flüssigkeit(an Partikel assoziierte Flüssigkeit), solid associated fluid
SW	Strukturwert
TM	Trockenmasse
TMR	Totale Mischration

## Verzeichnis der Abkürzungen

---

TMRT	mittlere Verweilzeit im gesamten Verdauungstrakt
TiO <sub>2</sub>	Titanoxid
UDP	unabgebautes Futterprotein
XA	Rohasche
XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein
XS	Rohstärke
XX	Stickstoff-freie Extraktstoffe (NfE)
Yb	Ytterbium
Yb-NDF	Ytterbium markiertes NDF aus Heu

Darüber hinaus verwendete Abkürzungen sind jeweils im Text erklärt.

Tabelle 1:	Wissenschaftliche Arbeiten zur Bewertung der Strukturwirksamkeit von Futtermitteln für Wiederkäuer (Quelle: HOFFMANN, 2003).	8
Tabelle 2:	Abbauverhalten von Kohlenhydraten ausgewählter Konzentratfuttermitteln im Vormagen, Angaben je kg TM (DLG, 2001).	10
Tabelle 3:	Übersicht zum Verhalten von Rindern beim Wiederkauen (LÖFFLER, 2002).	19
Tabelle 4:	Einfluss des Anteils an Maiskleberfutter in der Ration auf die Kauaktivität von Milchkühen (ALLEN & GRANT, 2000).	23
Tabelle 5:	Zellwandbestandteile und Abbauparameter (a, b, c) verschiedener Grundfuttermittel (FLACHOWSKY <i>et al.</i> , 1999).	27
Tabelle 6:	Einfluss der PL des GF auf die Wiederkauaktivität, Fermentationsparameter und die Verdaulichkeit bei Milchkühen.	30
Tabelle 7:	Einfluss des GF-Anteils und des NSC-Gehaltes in der Ration auf die Fermentationsparameter im Pansen und die Verdaulichkeit (SARWAR <i>et al.</i> , 1992).	35
Tabelle 8:	Versuchsschema	51
Tabelle 9:	Versuchsablauf	52
Tabelle 10:	Chemische Zusammensetzung des Heus (n = 4) und der beiden KF-Mischungen I und II (n = 4).	53
Tabelle 11:	Futterraufnahme und Charakterisierung der Versuchsrationen (n = 4).	54
Tabelle 12:	Partikelgrößenverteilung der Versuchsrationen, retinierte TM in %.	64
Tabelle 13:	Einfluss der PL des Heus und des KF-Niveaus in der Ration auf die Kauaktivität von Milchkühen (LSmeans ± SEM) (n = 4).	65
Tabelle 14:	Einfluss der PL des Heus und des KF-Niveaus auf die Kauindices von Milchkühen bezogen auf die Gesamtration und den Heuanteil in der Ration (LSmeans ± SEM) (n = 4).	66
Tabelle 15:	Einfluss der PL des Heus und des KF-Niveaus in der Ration auf die durchschnittlich gemessene Tageskonzentration der SCFA und das SCFA-Profil (LSmeans ± SEM) (n = 32).	71
Tabelle 16:	Einfluss des KF-Niveaus und der PL des Heus auf die mikrobielle Proteinsynthese bei Milchkühen (LSmeans ± SEM) (n = 4).	72
Tabelle 17:	Einfluss des KF-Niveaus und der PL des Heus auf die in situ TM-Verluste (%) des Heus und des KF an 6 Messzeitpunkten (LSmeans ± SEM), (n = 8).	73

Tabelle 18:	Einfluss des KF-Niveaus und der PL des Heus auf die ruminale Abbaukinetik des Heus und des Kraftfutters, (n = 8).	74
Tabelle 19:	Einfluss des KF-Niveaus und der PL des Heus auf die Partikelpassage der festen (SRF) und flüssigen (SRF) Digesta (LSmeans ± SEM) (n = 4).	75
Tabelle 20:	Einfluss des KF-Niveaus und der PL des Heus auf die scheinbare Rohnährstoffverdaulichkeit (LSmeans ± SEM) (n = 4).	76
Tabelle 21:	Einfluss der KF-Niveaus und der PL des Heus auf die mikrobielle Proteinsynthese pro kg effektiv fermentierbare TM bei Milchkühen.	84
Tabelle 22:	Einfluss der PL des Heus und des KF-Niveaus auf die Fermentationsparameter im Pansen in unterschiedlichen Digestaphasen bei Milchkühen (LSmeans ± SEM) (n = 4).	93
Tabelle 23:	Versuchsschema	99
Tabelle 24:	Versuchsablauf	100
Tabelle 25:	Anzahl der Tiere, Gruppeneinteilung und Tierdaten zu Versuchsbeginn.	100
Tabelle 26:	Zusammensetzung der KF-Mischungen (% in der TM).	101
Tabelle 27:	Chemische Zusammensetzung der Totalen Mischrationen.	102
Tabelle 28:	Ruminale Abbaukinetik der TM.	108
Tabelle 29:	Ruminale Abbaukinetik der Stärke.	108
Tabelle 30:	Anteil an ruminal abbaubarer und beständiger Stärke in den Rationen.	109
Tabelle 31:	Einfluss der Kohlenhydratzusammensetzung und der ruminalen Abbauraten von Totalen Mischrationen auf die Futter- und Rohnährstoffaufnahme von Milchkühen (LSmeans ± SEM) (n = 22).	110
Tabelle 32:	Einfluss der Kohlenhydratzusammensetzung und der ruminalen Abbauraten von Totalen Mischrationen auf die Lebendmasse, Lebendmasseentwicklung sowie den Energieversorgungsstatus (Energiebilanz pro Tag) und die N-Bilanz von Milchkühen (LSmeans ± SEM) (n = 22).	111
Tabelle 33:	Einfluss der Kohlenhydratzusammensetzung und der ruminalen Abbauraten von Totalen Mischrationen auf die Kauaktivität von Milchkühen (LSmeans ± SEM) (n = 4).	114
Tabelle 34:	Einfluss der Kohlenhydratzusammensetzung und der ruminalen Abbauraten von Totalen Mischrationen auf die Kauindices von Milchkühen (LSmeans ± SEM) (n = 4).	116

## Verzeichnis der Tabellen

---

Tabelle 35:	Einfluss der Kohlenhydratzusammensetzung und der ruminalen Abbaurate von Totalen Mischrationen auf die Fermentationsparameter in der flüssigen Digestaphase des Pansens von Milchkühen (LSmeans $\pm$ SEM) (n = 4).	118
Tabelle 36:	Vergleich der ruminalen TM-Verluste (%) nach 12, 20 und 48 Stunden bei unterschiedlicher Fütterung der Milchkühe (n = 8).	120
Tabelle 37:	Einfluss der Kohlenhydratzusammensetzung und der ruminalen Abbaurate von Totalen Mischrationen auf die scheinbare Rohnährstoffverdaulichkeit (LSmeans $\pm$ SEM) (n = 4).	121
Tabelle 38:	Einfluss der Kohlenhydratzusammensetzung und der ruminalen Abbaurate von Totalen Mischrationen auf die Milchleistung und Milchhaltsstoffe (LSmeans $\pm$ SEM) (n = 22).	142
Tabelle 39:	Einfluss der Kohlenhydratzusammensetzung und der ruminalen Abbaurate von Totalen Mischrationen auf den pH-Wert, die Bikarbonat- und Ammoniak-N- Konzentration in der flüssigen Digestaphase des Pansens von Milchkühen (LSmeans $\pm$ SEM) (n = 4).	142
Tabelle 40:	Einfluss der Kohlenhydratzusammensetzung und der ruminalen Abbaurate von Totalen Mischrationen auf die Gesamtkonzentration und die Zusammensetzung der SCFA in der flüssigen Digestaphase des Pansens von Milchkühen (LSmeans $\pm$ SEM) (n = 4).	143
Tabelle 41:	Ruminale und post ruminalen XS-Verdaulichkeit.	144
Tabelle 42:	chemische Zusammensetzung der KF-Komponenten.	144

## Verzeichnis der Abbildungen

---

Abbildung 1:	Einfluss der Menge an By pass Stärke auf die Stärkeverdaulichkeit im Dünndarm (FLACHOWSKY et al., 2004b).	32
Abbildung 2:	Einfluss der PL des Heus und des KF-Niveaus auf die Tagesvariationen im Wiederkauverhalten bei Milchkühen (n = 4).	67
Abbildung 3:	Einfluss der PL des Heus und des KF-Niveaus auf den pH-Wert im Pansen in unterschiedlichen Digestaphasen (n = 4).	68
Abbildung 4:	Einfluss der PL des Heus und des KF-Niveaus auf die Bikarbonat-Konzentration im Pansen in unterschiedlichen Digestaphasen (n = 4).	69
Abbildung 5:	Einfluss der PL des Heus und des KF-Niveaus auf die SCFA-Konzentration im Pansen in unterschiedlichen Digestaphasen (n = 4).	70
Abbildung 6:	Einfluss der PL des Heus und des KF-Niveaus auf das C2 : C3-Verhältnis im Pansen in unterschiedlichen Digestaphasen (n = 4).	72
Abbildung 7:	Einfluss der Kohlenhydratzusammensetzung und der ruminalen Abbauraten von Totalen Mischration auf die unkorrigierte Milchleistung (n = 22).	112
Abbildung 8:	Einfluss der Kohlenhydratzusammensetzung und der ruminalen Abbauraten von Totalen Mischration auf die FEC - Milchleistung (n = 22).	112
Abbildung 9:	Einfluss der Kohlenhydratzusammensetzung und der ruminalen Abbauraten von Totalen Mischration auf die Milchinhaltsstoffe (n = 22).	113
Abbildung 10:	Tagesverlauf von pH-Wert, SCFA- und HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -Konzentration (n = 4).	119
Abbildung 11:	Ruminale TM-Verluste unabhängig von der Fütterung (n = 8).	120
Abbildung 12:	TM-Verluste der vier TMR nach 12 Stunden in Abhängigkeit vom pH-Wert und der Bikarbonat-Konzentration im Pansen.	131
Abbildung 13:	Ruminale und post ruminale Verdaulichkeit der Stärke.	135



## ***DANKSAGUNG***

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Herrn Prof. Drs. Drs. h.c. Winfried Drochner danke ich recht herzlich für die Möglichkeit der Promotion und die Überlassung des Themas, sowie für die jederzeit gewährte Unterstützung und Diskussionsbereitschaft. Besonders bedanke ich mich für die angenehme Zusammenarbeit während meiner Zeit als Geschäftsführerin des Landesarbeitskreises Fütterung Baden-Württemberg e.V..

Bei Herrn Prof. Dr. Hans Schenkel bedanke ich mich für die freundliche Übernahme des Koreferats.

Frau PD Dr. Ulrike Weiler danke ich für die Übernahme der Aufgabe des Drittprüfers.

Mein persönlicher Dank gilt Herrn Dr. Herbert Steingass für die immerwährende Unterstützung bei der Planung, Durchführung und Auswertung der Untersuchungen. Er stand mir in allen Phasen der Arbeit mit wertvollem Rat zur Seite und war stets zur Diskussion offen.

Herrn Dr. Myqerem Tafaj und Herrn Dr. Quendrim Zebeli bin ich aufgrund ihrer freundlichen Unterstützung bei der Auswertung der Ergebnisse zu Dank verpflichtet.

Mein weiterer Dank geht an alle Mitarbeiter des Institutes für Tierernährung und der Versuchstation „Meiereihof“ der Universität Hohenheim, deren Mithilfe bei der Versuchsdurchführung und den Laboranalysen zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Auch meinen Kolleginnen und Kollegen Dr. Veronika Ölschläger, Dr. Quendrim Zebeli, Benjamin Junck, Dr. Caroline van Ackeren, Corinna Bissinger und Dr. Meike Eklund möchte ich recht herzlich für die gute Zusammenarbeit und die schöne Zeit in Hohenheim danken.

Mein ganz persönlicher und inniger Dank gilt meinen Eltern Christa und Dieter Weber, die mich in allen Entscheidungen meiner Laufbahn stets unterstützt haben.

Diese Arbeit wurde von der H. Wilhelm Schaumann Stiftung gefordert. Dafür möchte ich meinen Dank aussprechen.

Hohenheim, im November 2007

Iris Weber



## **LEBENS LAUF**

### **Zur Person**

Iris Melanie Weber  
geboren am 30.10.1976  
in Göppingen

### **Berufliche Tätigkeiten**

seit April 2007

#### **Pfizer GmbH**

Tätigkeit:  
Marketing Tiergesundheit

Oktober 2003 - Juni 2006

#### **Landesarbeitskreis Fütterung Baden-Württemberg e.V. (LAF)**

Tätigkeit:  
Geschäftsführung, Organisation wissenschaftlicher Tagungen im Bereich Tierernährung, Tierhaltung und Tierhygiene

### **Praktika**

Mai-Juli 1999

#### **Vollblutaraber-Gestüt Ismer, Diepholz, Deutschland**

Tätigkeit:  
landwirtschaftliches Praktikum

August-Oktober 1999

#### **Waldeck-U-Lisa Farm, Montreal, Kanada**

Tätigkeit:  
landwirtschaftliches Praktikum

### **Ausbildung**

Oktober 2003-November 2007

#### **Universität Hohenheim Institut für Tierernährung und Futtermittelkunde (450)**

Promotion

Abschluss:

Dr. sc. agr.

Dissertation:

Effekte von Partikellänge, Faseranteil und Fermentierbarkeit von Rationen für Milchkühe auf Parameter der ruminalen Toleranz

Oktober 1996-Februar 2003

#### **Universität Hohenheim**

Studium der Allgemeinen Agrarwissenschaft

Abschluss:

Dipl. Ing. sc. agr.

Diplomarbeit:

Wirkung eines enzymhaltigen mikrobiellen Silierzusatzes auf die Qualität von Grassilagen und auf Futteraufnahme und Leistung von Milchkühen

September 1993-Juni 1996

#### **Kaufmännische Schule Göppingen**

Wirtschaftswissenschaftliches Gymnasium

Abschluss:

Allgemeine Hochschulreife

Stuttgart Hohenheim im  
November 2007

Iris Weber





