

Benjamin Junck

**Eine physiologische Bewertung
der Auswirkungen der Partikellänge
von Gras- und Maissilage in
Gesamtmischrationen bei Milchkühen**



Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

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



Eine physiologische Bewertung der Auswirkungen der Partikellänge von Gras- und Maissilage in Gesamtmischrationen bei Milchkühen

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Agrarwissenschaften

vorgelegt der Fakultät Agrarwissenschaften

von
Benjamin Junck
aus Jungingen

2009

gefördert durch die H. W. Schaumann Stiftung (Hamburg)

Bibliografische Informationen 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, 2010
Zugl.: Hohenheim, Univ., Diss., 2010

D100 (Diss. Univ. Hohenheim)

978-3-86955-358-0

Die vorliegende Arbeit wurde am 25. Oktober 2009 von der Fakultät Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim als „Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Agrarwissenschaften“ angenommen

Tag der mündlichen Prüfung:

15. Dezember 2009

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:

Prof. Dr. J. Bennewitz

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2010
Nonnensteig 8, 37075 Göttingen
Telefon: 0551-54724-0
Telefax: 0551-54724-21
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, 2010

Gedruckt auf säurefreiem Papier

978-3-86955-358-0

Meiner Frau und meinen Kindern

Inhaltsverzeichnis

1 EINLEITUNG.....	1
2 LITERATURÜBERSICHT	4
2.1 Bedeutung der Totalen Mischration in der Fütterung von Hochleistungsmilchkühen	4
2.1.1 Definition und Technik der Totalen Mischration	4
2.1.2 Vor- und Nachteile der Totalen Mischration	5
2.2 Bedeutung der Struktur für eine wiederkäuergerechte Fütterung von Hochleistungsmilchkühen	9
2.2.1 Definition und physiologische Bedeutung der Struktur	9
2.2.2 Verschiedene Systeme zur Strukturbewertung	11
2.3 Effekte der Partikellänge des Grundfutters auf Futteraufnahme, Leistung und Verdauung von Hochleistungsmilchkühen	20
2.3.1 Effekte der Partikellänge (PL) auf die Futteraufnahme	20
2.3.2 Effekte der PL auf Milchfettgehalt und Milchleistung	22
2.3.2.1 Physiologie der Milchfettsynthese	22
2.3.2.2 Effekte der PL auf den Milchfettgehalt	24
2.3.2.3 Effekte der PL auf die Milchleistung und andere Milchinhaltsstoffe	26
2.3.3 Kauaktivität, Fress- und Wiederkauverhalten	30
2.3.3.1 Effekte der PL auf das Fressverhalten	33
2.3.3.2 Effekte der PL auf das Wiederkauverhalten	34
2.3.4 Digestaschichtung und die Effekte der PL	38
2.3.5 Effekte der PL auf die Pansenfermentation	43
2.3.6 Effekte der PL auf die Passage	46
3 MATERIAL UND METHODEN.....	51
3.1 Grassilage-Versuch.....	51
3.1.1 Versuchsschema	51
3.1.2 Versuchstiere und Haltungsform	52
3.1.3 Futter und Fütterung.....	53

3.1.4 Futtermittelanalytik	55
3.1.4.1 Durchführung der Roh Nährstoffanalyse	56
3.1.5 Statistische Auswertung	56
3.2 Maissilage-Versuch	58
3.2.1 Versuchsschema	58
3.2.2 Versuchstiere und Haltungsform	59
3.2.3 Silagebereitung.....	60
3.2.4 Futter und Fütterung.....	60
3.2.5 Futtermittelanalytik	61
3.2.6 Statistische Auswertung	62
3.3 Untersuchungsmethoden	63
3.3.1 Datenerfassung	63
3.3.2 Futteraufnahme	64
3.3.2.1 Futteraufnahme- und Futterselektionsverhalten	64
3.3.3 Milchparameter.....	65
3.3.4 Erfassung der Kauaktivität.....	65
3.3.4.1 Grassilage-Versuch	65
3.3.4.2 Maissilage-Versuch	66
3.3.5 Bestimmung von NDF- und TM-Abbau der TMR und deren Komponenten mittels Nylon bag Technik	67
3.3.6 Bestimmung der Partikel- und Flüssigkeitspassage	68
3.3.7 Erfassung des Pansenvolumens	70
3.3.8 Messung der Partikelgrößenverteilung und Kinetik der Digesta	70
3.3.8.1 Erfassung der funktionellen spezifischen Dichte der Digesta	72
3.3.9 Messung der Partikelgrößenverteilung in den Komponenten und der TMR ...	73
3.3.9.1 Trockensiebung mit dem Penn State Particle Separator (PSPS)	73
3.3.9.2 Nasssiebanalyse	74
3.3.10 TMR-Bewertung nach verschiedenen Strukturbewertungssystemen	74
3.3.10.1 Strukturwirksame Rohfaser nach HOFFMANN	74
3.3.10.2 Strukturwert nach DE BRABANDER	74
3.3.10.3 Physikalisch effektive NDF (peNDF _M) nach MERTENS	75
3.3.10.4 Physikalisch effektive NDF (peNDF _L) nach LAMMERS.....	76

4 ERGEBNISSE	77
4.1 Grassilage-Versuch	77
4.1.1 Einfluss der PL auf die Leistungsparameter	77
4.1.2 Parameter der Kauaktivität	78
4.1.3 Einfluss der PL auf die Partikelkinetik	80
4.1.3.1 Einfluss der PL auf die Partikelgrößenverteilung von TMR, Digesta und Kot	80
4.1.3.2 Einfluss der PL auf die Partikelgrößenverteilung der Digesta	81
4.1.3.3 Einfluss der PL auf die funktionelle spezifische Dichte der Digesta	83
4.1.3.4 Einfluss der PL auf die Partikel- und Flüssigkeitspassage sowie das Pansenvolumen	84
4.2 Maissilage-Versuch	86
4.2.1 Qualität und Strukturwirksamkeit der Maissilage- & TMR-Varianten	86
4.2.2 Einfluss der PL auf die Leistungsparameter	88
4.2.3 Einfluss der PL auf Futteraufnahmeverhalten und Futterselektion	89
4.2.3.1 Einfluss der PL auf das Futteraufnahmeverhalten	89
4.2.3.2 Einfluss der PL auf das Futterselektionsverhalten	90
4.2.4 Parameter der Kauaktivität	91
4.2.5 Einfluss der PL auf die Partikelkinetik	93
4.2.5.1 Einfluss der PL auf die Partikelgrößenverteilung von TMR, Digesta und Kot	93
4.2.5.2 Einfluss der PL auf die Partikelgrößenverteilung der Digesta	95
4.2.5.3 Einfluss der PL auf die Partikel- und Flüssigkeitspassage	96
4.2.6 Einfluss der PL auf den <i>in situ</i> -NDF- und TM-Abbau der TMR und deren Komponenten	98
5 DISKUSSION	99
5.1 Grassilage-Versuch	99
5.1.1 Bewertung der Strukturwirksamkeit der TMR-Varianten auf Basis von Grassilage nach aktuellen Systemen	99
5.1.2 Einfluss der PL der Grassilage auf Futteraufnahme und Milchleistung	101

5.1.3 Einfluss der PL der Grassilage auf die Verdauungsvorgänge (Kauaktivität, Passage, Partikeldynamik und funktionelle spezifische Dichte)	105
5.2 MS-Versuch.....	110
5.2.1 Einfluss der PL auf die Qualität der Maissilage-Varianten	110
5.2.2 Bewertung der Strukturwirksamkeit der TMR-Varianten auf Basis von Maissilage nach aktuellen Systemen.....	110
5.2.3 Einfluss der PL der Maissilage auf Futteraufnahme und Milchleistung.....	113
5.2.4 Einfluss der PL der Maissilage auf das Futteraufnahme- und Selektionsverhalten	117
5.2.5 Einfluss der PL der Maissilage auf die Verdauungsvorgänge (Kauaktivität, Passage, Partikeldynamik und <i>in situ</i> -Abbau)	119
6 SCHLUSSFOLGERUNGEN	127
7 ZUSAMMENFASSUNG	131
8 SUMMARY	134
10 LITERATURVERZEICHNIS	137
10 ANHANG.....	165
10.1 Verzeichnis der Abkürzungen	165
10.2 Verzeichnis der Tabellen	168
10.3 Tabellenanhang	171
Danksagung.....	172
Lebenslauf	174

1. Einleitung und Zielsetzung

Die Zahl der Milchviehbetriebe, die eine durchschnittliche Jahresleistung von über 9000 kg Milch pro Kuh erzielen, steigt vorwiegend aus wirtschaftlichen Gründen stetig an. Mit der Erhöhung des Leistungsniveaus erschwert sich die leistungs- und insbesondere tiergerechte Ernährung der Hochleistungsmilchkuh. Dies erfordert eine bessere Versorgung mit Energie und Nährstoffen. Diesbezüglich bietet die Totale Mischration (TMR) – auch Gesamtmischration – wichtige pansenphysiologische Vorteile, insbesondere bei Hochleistungsmilchkühen, die eine Kraftfuttermenge von 45 bis 55 % in der Ration benötigen.

Mit steigendem Leistungsniveau rückt neben der Versorgung mit Energie, nutzbarem Rohprotein und anderen notwendigen Stoffen die Gewährleistung einer ausreichenden Struktur in der Ration in den Vordergrund. Dies wird vor allem durch eine ausreichende Menge an Grundfutter gesichert, wobei in Deutschland je nach Region die Grundfutterkomponenten Grassilage, Maissilage oder deren Mischung eingesetzt werden. Eine Erhöhung der Grundfutteraufnahme gewinnt aus verschiedenen Gründen zunehmend an Bedeutung. Die physiologisch-ethologischen Gründe beziehen sich vorwiegend auf die wiederkäuergerechte Fütterung, die eine hohe Aufnahme an Grundfutter voraussetzt. Des Weiteren tragen eine bessere Ausnutzung des Grundfutters und eine höhere Grundfutteraufnahme dazu bei, die Kosten der Milchkuhfütterung zu verringern. Jedoch ist eine optimale Ausnutzung des Grobfutters in der Fütterung von Hochleistungsmilchkühen von dessen chemischen und physikalischen Eigenschaften abhängig. Hierbei spielt der Zerkleinerungsgrad des Grundfutters eine wichtige Rolle, insbesondere bei der TMR-Fütterung. Der Zerkleinerungsgrad beeinflusst vor allem die Schichtung im Pansen und folglich alle Verdauungsvorgänge und die Höhe der Grundfutteraufnahme (BAL et al., 2000). Die Partikellänge ist einer der bedeutendsten Faktoren auch für die Qualität der TMR selbst. Eine optimale Mischung und Homogenisierung der TMR ist die wichtigste Voraussetzung, um eine Selektion der Einzelfuttermittel beim Fressen zu vermeiden. Hierbei spielt die Partikellänge des Grundfutters in der TMR eine entscheidende Rolle. Eine grobe Partikellänge führt zu einer heterogenen TMR, was eine selektive Aufnahme der Einzelkomponenten ermöglicht und womit die aufgenommene Ration der angebotenen Mischung nicht mehr entspricht (CALBERRY et al., 2003).

Neben dem Fasergehalt ist die Partikellänge der wichtigste Faktor für die Strukturwirksamkeit des Grundfutters und folglich der TMR. Obwohl es in der letzten Dekade intensive Forschung auf diesem Gebiet gegeben hat (CLARK et al., 1999; BERNARD et al., 2000; FIRKINS et al., 2001; SCHWAB et al., 2002; FERNANDEZ et al., 2004; BEAUCHEMIN et al., 2005; YANG et al., 2006b; SILVEIRA et al., 2007), ist es bis heute nicht gelungen, eine optimale Partikellänge des Grundfutters zu definieren. Dasselbe gilt auch für die Normen der Strukturversorgung. Weder das NRC (2001) noch der Ausschuss für Bedarfsnormen der GFE (2001) konnten die physikalischen Charakteristika des Grundfutters berücksichtigen und einen Mindestbedarf an Strukturfutter ableiten. Das NRC (2001) konnte zum Beispiel aufgrund einer unzureichenden Validierung keinen Mindestbedarf für die von MERTENS (1997) eingeführte physikalisch effektive NDF angeben. In der Tat hat der Ausschuss für Bedarfsnormen der Deutschen Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GFE, 2001) die strukturwirksame Rohfaser nach HOFFMANN (1990) und den Strukturwert nach DE BRABANDER (1999a und b) vorgestellt, konnte jedoch keinen Mindestbedarf für beide Systeme festlegen. In beiden Systemen wird die Partikellänge des Grundfutters, insbesondere der Grassilage, nur unzureichend berücksichtigt. Ein zusätzliches Problem liegt auch in der Erkennung eines Strukturmangels in der Ration. Beispielsweise wurden bisher als Indikatoren für einen Strukturmangel der Milchfettgehalt und die Kauaktivität verwendet, zum Teil wurden die Untersuchungen an trockenstehenden Milchkühen durchgeführt.

Mehrere Studien haben gezeigt, dass die Beziehungen zwischen dem Fettgehalt in der Milch und der Kauaktivität in der ersten Laktationsphase, insbesondere bei Hochleistungskühen, nicht ausreichend zu sein scheint, um den Strukturmangel und die daraus folgenden Pansenstoffwechselstörungen rechtzeitig zu erkennen (ALLEN, 1997; MERTENS, 2000). Ein reduzierter Milchfettgehalt weist nach DE BRABANDER (1999a) am deutlichsten auf ein Defizit in der Strukturversorgung hin. Dagegen beschreibt MERTENS (2000) Erscheinungen von Lahmheiten als Folgeerkrankung einer subklinischen Pansenacidose, obwohl sich der Fettgehalt in der Milch nicht veränderte. Dies spricht dafür, dass eine Milchfettdepression nicht der beste Indikator für die Pansenfunktion und Gesundheit des Tieres ist. Nach SCHWARZ (2000) sind bei Rationen für leistungsstarke Kühe jedoch sensiblere Parameter notwendig, welche die Kaskade der Ereignisse von der Pansenschichtung über Kau- und Wiederkauaktivität, Speichelproduktion, präprandialen pH-Wert,

Fermentationsintensität, Milchfettgehalt, Passagerate bis zur Futteraufnahme widerspiegeln. Daraus zeigt sich, dass eine Erweiterung der physiologischen Grundlagen zur Bewertung der Strukturwirkung der Rationen bei Hochleistungsmilchkühen erforderlich ist.

Das Ziel der vorliegenden Untersuchungen war es, in zwei Versuchen den Einfluss dreier verschiedener Partikellängen einer Grassilage und einer Maissilage auf die Struktureigenschaften von Gesamtmischrationen in der Fütterung von Hochleistungsmilchkühen zu überprüfen. Um die Wirkung der Partikellänge auf die Kaskade der Verdauungsvorgänge im Reticulorum zu untersuchen, wurden Kauaktivität, Pansenvolumen, Partikelverteilung sowie Partikeldynamik, funktionelle spezifische Dichte der Digesta, Passagerate und *in situ*-Verdaulichkeit erfasst. Des Weiteren wurde auch der Effekt der Partikellänge auf Futteraufnahme und Milchleistung untersucht.

2. Literaturübersicht

2.1 Bedeutung der Totalen Mischration in der Fütterung von Hochleistungsmilchkühen

2.1.1 Definition und Technik der Totalen Mischration (TMR)

Totale Mischrationen (TMR) sind heute ein weit verbreitetes Fütterungssystem in der Milchkuhfütterung auf Grund der zu erwartenden Vorteile in der Tierernährung, dem Herdenmanagement und den tierischen Leistungen, die von einigen Autoren berichtet werden (MCCULLOUGH, 1969; OWEN, 1979; HOWARD et al., 1986; SIROHI et al., 2001). COPPOCK et al. (1981) und COENEN (1996) definieren die TMR als eine Mischung aus allen Nährstoffkomponenten, die als Alleinfutter vorgelegt wird und von den Kühen nicht mehr selektiert werden kann. Den Tieren können somit die Futterkomponenten und Nährstoffe in einem gleich bleibenden Verhältnis angeboten werden. Zur Herstellung von Mischrationen werden Futtermischwagen verschiedener Bauart verwendet. Es werden heute drei verschiedene Systeme unterschieden, der horizontale Mischer mit 1 bis 4 Schnecken, der Vertikalmischer (1 - 2 Schnecken) und der Haspel- bzw. Balkenmischer, der so genannte Freifallmischer (HOFS, 2000). Alle Systeme verfolgen das Ziel, die vorhandenen Grund- und Kraftfutterkomponenten sowie Ergänzungsfuttermittel entsprechend einer definierten Rationszusammenstellung zu einer homogenen Ration zu mischen (GERIGHAUSEN, 2000). Es ist selbstverständlich, dass heute ein Wiegesystem zur Standardausrüstung eines Futtermischwagens gehören sollte. Nur durch die exakte Rationsdefinition und deren strikte Einhaltung können die Ziele der TMR-Fütterung erreicht werden. Hierbei soll möglichst viel Struktur erhalten bleiben (JEROCH et al., 1999).

Die totale Mischration wird in Abhängigkeit von der Herdengröße, dem Leistungsniveau und der Homogenität der Leistung in zwei verschiedenen Varianten angewendet (PIRKELMANN, 1994a):

- TMR-Einheitsration während der gesamten Laktation:

Die Kühe erhalten während der gesamten Laktation eine Totale Mischration, deren Nährstoff- und Energiegehalt auf den mittleren Bedarf der gesamten Herde ausgerichtet ist.

- TMR-Phasenfütterung für verschiedene Leistungsgruppen:

Die Herde wird in zwei bis drei Leistungsgruppen entsprechend der Milchleistung und des Laktationsstadiums eingeteilt und mit entsprechenden Mischrationen versorgt.

2.1.2 Vor- und Nachteile der Totalen Mischration

Für den Einsatz einer Mischration gibt es unterschiedliche Gründe, die auf Vorteile dieses Fütterungssystems zurückzuführen sind. Ein wichtiger Vorteil besteht in der einheitlichen Zusammensetzung der Ration (ENGELHARD et al., 1993; LOSAND, 1999). COPPOCK et al. (1981) sprechen von steady-state-Verhältnissen im Pansen bei *ad libitum* Fütterung von Mischrationen, welche sich förderlich auf die Pansenfunktion und Digestapassage auswirken. MOSELEY et al. (1976), MCGILLIARD et al. (1983) und NOCK et al. (1985) berichteten, dass das TMR-Fütterungssystem einen gleichmäßigen pH-Verlauf erhält und ein weites Acetat-Propionat-Verhältnis im Pansen unterstützt. HILGEFORT (1993) und POTTHAST (1993) geben als Grund die kontinuierliche Futteraufnahme bei gleich bleibender Aufnahme von Struktur- und Kraftfutter an. Die gleichmäßigere Futteraufnahme führt nicht unbedingt zu einem höheren mittleren pH-Wert (GRUHN und HOFFMANN, 1982). Jedoch weist die postprandiale pH-Wert-Änderung eine geringere Amplitude auf (COENEN, 1986). Deshalb kommt es auch nach POTTHAST (1993) nicht zu Phasen übermäßiger Fermentation, wodurch der pH-Wert und Bikarbonatgehalt, durch hohe Säurekonzentrationen sehr stark abfallen und die cellulolytischen Mikroorganismen in ihrer Aktivität gestört würden. PHIPPS et al. (1984) stellten als Folge der TMR-Fütterung einen höheren Acetat und Butyrat-Gehalt in Verbindung mit einer niedrigeren Propionatkonzentration fest, woraus sich ein günstigeres Acetat-Propionat-Verhältnis ergab. LI et al. (2003) konnten in ihren Untersuchungen zeigen, dass bei Fütterung einer Mischration im Vergleich zu einer getrennten Vorlage an Holstein-Ochsen die Gesamtzahl der Pansenbakterien ($17,0$ vs. $20,3 \times 10^{10}$), die Protozoenzahl ($3,9$ vs. $5,2 \times 10^5$) sowie die hydrolytische Enzymaktivität signifikant erhöht wurden. Dies ist eine Bestätigung der verbesserten Fermentationsbedingungen im Pansen, wie sie auch von anderen Arbeitsgruppen festgestellt wurden (LEE et al., 2000; RUSSELL und RYCHLIK et al., 2001).

Nach Aussagen von OWEN (1986) treten bei TMR-Fütterung metabolische Störungen auch bei hohen Konzentratgaben nur selten auf. Somit können erhöhte Anteile energiereicher, faserarmer Futtermittel eingesetzt werden (COENEN, 1996) und der Rohfasergehalt der Ration ohne nachteilige Folgen auf 15 % der Trockenmasse festgelegt werden (ENGELHARD et al., 1993). Durch die stabileren Pansenverhältnisse kann es zu einer besseren TM-Aufnahme kommen (NOCEK et al., 1986; DLG, 1995; FISCHER, 2001). Die Folge können Leistungssteigerungen (WIECKERT, 1993) und höhere Milchfettgehalte sein (BINES, 1986). MEIJER (1981) konnte im Vergleich zur getrennten Vorlage keine gesteigerte Futteraufnahme durch das Vermischen feststellen. Die fettkorrigierte Milchleistung war in 150 Laktationstagen mit 22,4 kg pro Tag zwischen den Gruppen von je 130 Kühen gleich. Auch SPANN (1997) ist der Meinung, dass durch das Vermischen von qualitativ hochwertiger Gras- und Maissilage sowie Heu keine Erhöhung der Futteraufnahme zu erwarten sei. KUNDRA et al. (1995) beobachteten an schwarzbunten Erstkalbinnen eine mit 15,6 kg pro Tag um etwa 1,1 kg verminderte tägliche Trockenmasseaufnahme in der ersten Laktationshälfte bei Verabreichung einer Mischration im Vergleich zur getrennten Vorlage verwendeter Grund- und Krafftutterkomponenten. INGVARTSEN et al. (1995) konnten dagegen an Dänischen Friesian in der Früh-laktation einen signifikanten Unterschied zu Gunsten einer Totalen Mischration, bestehend aus 50 % Grassilage und 50 % Krafftutter, feststellen. ENGELHARD et al. (1993) berichteten von einer höheren täglichen Milchleistung sowie einem höheren Milchfett- und Eiweißgehalt bei TMR-Fütterung, wohingegen EVERSON (1976) keinen Einfluss auf die Milchleistung und -zusammensetzung feststellte.

DUPCHAK (1999) spricht außerdem von einer verbesserten Gesundheit und Fruchtbarkeit durch TMR-Fütterung, da weniger Acidosen, Ketosen und Labmagenverlagerungen auftreten. FISCHER (2001) berichtet von einer deutlicheren negativen Energiebilanz bei getrennter Grund- und Krafftutternvorlage, welche sich durch Körperreservenabbau nachteilig auf die erneute Konzeption auswirkt. Die Kühe der TMR-Gruppe hatten einen kürzeren Zeitraum zwischen Kalbung und erfolgreicher Besamung bzw. einen um 8 % höheren Anteil an Trächtigkeiten (78,1 vs. 70,2 %) aus Erstbesamungen.

Ein weiterer positiver Effekt der Mischration besteht darin, dass Futtermittel verwendet werden können, die sich aufgrund ihrer Konsistenz bzw. Struktur,

besonderer Behandlung oder geringer Schmackhaftigkeit kaum für eine getrennte Vorlage eignen (OWEN, 1986; GIVENS, 1987; NIJE und REED, 1995; COENEN, 1996). MIRON et al. (2002) stellten sogar eine verbesserte Futterverwertung bei teilweisem Austausch von Mais mit Zitruspülpel bei Milchkühen fest. HOWARD et al. (1968) berichteten davon, dass der schlechte Geschmack mancher Nebenprodukte durch den hohen Silageanteil in der Ration überdeckt wird.

Das Mischen kann aber auch negative Folgen haben. Werden bei der Rationszusammenstellung verdorbene Futterpartien oder Komponenten mit geringer Qualität nicht erkannt (COENEN, 1996), haben die ausschließlich mit TMR versorgten Kühe nicht mehr die Möglichkeit, die befallenen Parteien zu selektieren oder die unausgewogene Versorgung mit Nährstoffen und Energie durch die Auswahl anderer Futterkomponenten auszugleichen (LOSAND, 1999). Fehler in der Rationsqualität wirken sich somit umso gravierender auf die Gesundheit, Leistung und Fruchtbarkeit der Gruppe aus (LOSAND, 1999). In diesem Zusammenhang ist auch die Gefahr der Vermischung der Mischration zu nennen, die durch technische Mängel am Futtermischwagen, falsche Befüllung oder zu lange Mischzeiten entstehen kann (COENEN, 1999; GERIGHAUSEN, 2000). Die Struktureigenschaften der Ration werden dadurch verschlechtert, mit negativen Folgen auf die Pansenphysiologie. Für diese ist aber die Struktur des Futters zur Aufrechterhaltung der Schichtung im Pansen ernährungsphysiologisch wichtig (BEAUCHEMIN et al., 1991; MERTENS, 1997; HOFFMANN, 2003).

Ein weiterer Aspekt, der entweder als positiv oder als negativ angesehen wird, liegt darin, dass die Nährstoffzusammensetzung einer Mischration genau auf den durchschnittlichen Bedarf einer Gruppe bzw. der Herde abgestimmt wird (COPPOCK, 1977). Dies ist aber nur bei einem homogenen Leistungsniveau der Gruppe bzw. Herde von Vorteil. Bei heterogenen Leistungen werden nur wenige Tiere entsprechend ihres Bedarfs versorgt, was deutliche Unter- und Überversorgungen zur Folge hat (FISCHER, 2001).

Die Frage, ob den Kühen eine Einheitsmischung während der gesamten Laktation gegeben werden kann, oder ob es notwendig ist, die Tiere in Leistungsgruppen mit entsprechender TMR-Phasenfütterung einzuteilen, wird in der Literatur schon seit längerer Zeit kontrovers diskutiert (BINES, 1986).

Nach Meinung von OWEN (1979) spricht eine wesentliche Vereinfachung des ganzen Fütterungsprozesses als Hauptargument für die Verabreichung einer

Mischration an die gesamte Herde. Auch COPPOCK et al. (1974) befürworten eine Mischration für alle Kühe, wenn sie einerseits die Tiere mit hoher Leistung ausreichend mit Nährstoffen versorgt und andererseits die Kühe mit geringer Milchleistung nicht zu stark verfetten. Außerdem lassen sich kleinere Milchvieherden mit etwa 80 oder weniger Tieren schlecht oder gar nicht in Leistungsgruppen einteilen (LÜPPING et al., 1999). Nach PIRKELMANN und WAGNER (1994b) sind Über- und Unterversorgungen von 10 bis 15 % vertretbar. FISCHER (2001) ist der Meinung, dass Einheitsmischungen erst ab einem durchschnittlichen Leistungsniveau der Herde von über 9000 kg Milch eingesetzt werden sollen. Bei der Fütterung einer Mischration gegenüber der Gruppenfütterung besteht zwar die Problematik eines postpartalen Energiedefizits und einer Überversorgung ab dem letzten Laktationsdrittel. Jedoch verweisen Befürworter der Einheitsmischung auf den Zusammenhang und die Regulation zwischen Leistungspotential und Futteraufnahme. Konkret wird davon ausgegangen, dass durch das ausgeprägtere Energiedefizit zu Laktationsbeginn das Milchleistungsplateau flacher verläuft, jedoch der Energiestoffwechsel entlastet wird (BINES, 1986; WIECKERT, 1994; BIRKHAMMER, 1995; FISCHER, 2001). Nach der Hochlaktation verhindert eine bessere Persistenz der Milchleistung eine Überversorgung und eine Verfettung bis zum Trockenstellen (FISCHER, 2001).

Nach SMITH et al. (1978a) ermöglicht die Phasenfütterung in Abhängigkeit von der Milchleistung und dem Laktationsstadium die leistungsgerechte Versorgung der einzelnen Hochleistungstiere und verhindert die Überversorgung von Kühen mit geringerem Leistungspotential. PIRKELMANN und WAGNER (1994b) sind der Auffassung, dass der Einsatz von Totalen Mischrationen nur über Leistungsgruppen erfolgreich sein kann. Dies ist differenzierter zu betrachten. Herden zwischen 8000 und 9000 kg Milchleistung sollten in zwei Leistungsgruppen eingeteilt werden (FISCHER, 2001), Herden unter 8000 kg Leistung müssen nach DLG-Empfehlungen in drei Laktationsgruppen, zuzüglich Trockenstehergruppe, versorgt werden (CLARK et al., 1980; DLG, 1995; SPANN, 1997). Eine Einteilung in Leistungsgruppen lässt sich ohne Probleme realisieren, wenn die Herde mindestens 100 bis 150 Kühe umfasst und es die stallbaulichen Gegebenheiten zulassen (COPPOCK, 1981). Die Gruppenzugehörigkeit der Tiere wird maßgeblich durch die Milchleistung und das Laktationsstadium geregelt (KROLL et al., 1987). Die Zugehörigkeitsdauer zu einer Gruppe wird vor allem vom Leistungsniveau beeinflusst (PIRKELMANN und WAGNER, 1994). Laut COPPOCK et al. (1981) und FISCHER (2001) ist es generell

wichtig, dass alle Kühe nach dem Abkalben die Ration mit hoher Energiestufe erhalten, damit sie ihr genetisches Milchleistungspotential voll entwickeln können.

Neben den tierspezifischen Vor- und Nachteilen sollen ökonomische Aspekte nicht außer Acht gelassen werden, die den Einsatz einer Mischration interessant machen. Durch eine sehr gute Mechanisierung kann Arbeitszeit eingespart werden (WIECKERT, 1993). Demgegenüber stehen allerdings auf der anderen Seite hohe Investitionskosten bei der Anschaffung eines Futtermischwagens (FISCHER, 2001), andererseits werden Kraftfutterabrufstationen nicht mehr benötigt (OWEN, 1986). Durch den Einsatz von preisgünstigen, hochwertigen Nebenprodukten aus der Lebensmittelindustrie lassen sich die Kosten pro kg Fett-Eiweiß-korrigierter Milch deutlich senken (COPPOCK et al., 1981; KROLL et al., 1987; FISCHER, 2001).

2.2 Bedeutung der Struktur für eine wiederkäuergerechte Fütterung von Hochleistungsmilchkühen

2.2.1 Definition und physiologische Bedeutung der Struktur

Die Struktur eines Futtermittels ist durch drei Faktorgruppen gekennzeichnet (HOFFMANN, 1983):

- Die *physikalische* Form wird über die geometrischen Ausmaße der Futterteilchen und das Verteilungsbild der Teilchengrößen bestimmt.
- Die *chemische* Zusammensetzung eines Futtermittels spielt über den Trockenmassegehalt sowie im besonderen den Gerüstsubstantzgehalt (z. B. Rohfasergehalt, NDF-Gehalt) eine wichtige Rolle für den Strukturwert eines Futtermittels.
- Die *physiologische* Wirkung der Futtermittelstruktur, insbesondere im Bereich der Fermentation im Pansen, wird durch den Gehalt an Gerüstsubstanzen und die physikalische Form bestimmt.

Die Futterstruktur wird als Rauhigkeit, Härte und Größe der Futterpartikel (ROSENBERGER, 1978), Fasrigkeit und Elastizität des Futters (FRENS, 1960) und als grobes Gefüge (MERTENS, 1993) beschrieben. Als Strukturfutter werden demnach Grundfuttermittel mit einem gewissen Fasergehalt bezeichnet, die beim Wiederkäuer intensives Kauen und Wiederkauen auslösen (GFE, 2001). Das Kau- und Wiederkauverhalten geht einher mit einer erhöhten Speichelproduktion, die

wiederum eine wichtige Rolle bei der Pufferung der bei der ruminalen Fermentation gebildeten flüchtigen Fettsäuren darstellt (BALCH, 1958; SUDWEEKS et al., 1975; SANTINI et al., 1983). Eine Steigerung des Heuanteils von 0 auf 15 %, in einer Ration basierend auf Kraftfutter und Silage, führte bei Versuchen von BEAUCHEMIN und BUCHANA-SMITH (1989 und 1990) zu einer Steigerung der Kauaktivität, was die Autoren auf einen höheren Anteil an Gerüstsubstanzen (NDF) zurückführten. Eine belgische Arbeitsgruppe definiert den Begriff physikalische Struktur als das Maß, in dem ein Futtermittel durch seine Menge und die Eigenschaften seiner Kohlenhydrate zu einer optimalen und stabilen Pansentätigkeit beiträgt (DE BRABANDER et al., 1999a). Die physikalische Struktur von Futtermitteln kann durch verschiedene technische Aufbereitungsverfahren erheblich variiert werden. Je nach Konservierungsart bzw. Konservierungsverfahren und Vorlageform sind die Auswirkungen auf den Trockenmasse- und Nährstoffgehalt unterschiedlich stark ausgeprägt. Die Strukturwirksamkeit steigt mit zunehmendem Trockenmassegehalt der Rationskomponenten leicht an. Hohe Stängelanteile von Grünlandfutter, die vor allem zur Blüte bzw. im Stadium der Samenbildung erreicht werden, bedingen einen hohen Gehalt an Gerüstsubstanzen wie Hemizellulose, Zellulose und Lignin, die Strukturwirksamkeit steigt an (STEINWIDDER, 2002). Nach ALLEN (1997) haben die verschiedenen Grundfuttermittel eine kritische Partikellänge, wobei eine weitere Erhöhung der Partikellänge keine Verbesserung der Strukturwirksamkeit bewirkt.

Bei unzureichender Strukturversorgung bzw. Partikellänge kommt es zu einer Reduzierung des ruminalen Acetat-Propionat-Verhältnisses und des pH-Werts, was oft mit einer Verringerung des Milchfettgehaltes verbunden ist (WOODFORD et al., 1986; SHAVER, 1990). Fällt der pH-Wert unter 6, ist das Wachstum der zellulolytischen Mikroorganismen deutlich reduziert. Die Propionat produzierenden Mikroorganismen sind davon weniger betroffen, es kommt zur Abnahme des ruminalen Acetat-Propionat-Verhältnisses (GRANT et al., 1990a). Des Weiteren kann eine intensive Aufbereitung (Musen, Mahlen oder Pelletieren) von Strukturfutter bei Wiederkäuern zum Auftreten von Pseudoruminationen (DESWYSEN et al., 1978; DESWYSEN und EHRLEIN, 1981; TAJAJ et al., 1999), zur Verringerung der Pansenmotorik (FREER et al., 1965), Pansentympenien (ERIKSSON et al., 1968), Pansenacidosen (SAUVANT et al., 1999; KRAJCARSKI-HUNT et al., 2002), zur Abnahme des Pansen-Hauben-Gewichtes (GREENHALGH und REID, 1974) und zu Veränderungen des Pansenepithels (MEYER et al., 1965; OWEN et al., 1998) führen.