

Aus dem Institut für Tierernährung der Technischen Universität München
in Freising-Weihenstephan

Die ernährungsphysiologische Bedeutung der physikalischen Struktur des Rauhfutters für den Wiederkäuer¹⁾

Von Joseph Pallauf

Zusammenfassung

Bei den spezifischen ernährungsphysiologischen Wirkungen des Rauhfutters ist zwischen den chemischen Einflüssen der Zellulose und den Einflüssen der physikalischen Struktur zu unterscheiden. Die letzteren liegen in erster Linie in einer Stimulation von Kauen, Wiederkauen und Speichelsekretion sowie einer optimalen Fermentation im Pansen. Über mikrobielle Einflüsse werden Fettsäuremuster im Pansen sowie Ausmaß und Schwerpunkt der Verdauung und Absorption von Nährstoffen verändert. Erstes Anzeichen einer ungenügenden Struktur des Rauhfutters ist bei Milchkühen eine Depression des Milchfettgehaltes, die auf einer Verengung des molaren Verhältnisses von Essig-:Propionsäure im Pansen auf unter 3:1 beruht. Die Ansprüche von Masttieren an die physikalische Struktur des Futters liegen niedriger. Ein Strukturminimum ist hier jedoch zur Verhütung von Verdauungsstörungen und ungenügender Futteraufnahme nötig. Innerhalb der Heißluft-trocknungsprodukte Briketts, Cobs und Pellets wird die physikalische Futterstruktur bei der Herstellung von Briketts am meisten geschont, aber auch Briketts eignen sich infolge zu geringer Strukturierung bisher noch nicht als alleiniges Grundfutter für Milchkühe.

Summary

Regarding the specific nutritional effects of roughage a distinction must be made between the chemical influences of cellulose and the influences of the physical structure. The latter are mainly stimulation of chewing and secretion of saliva as well as an optimal fermentation in the rumen. The microbiological influences change the proportion of volatile fatty acids in the rumen and the extent and the primary point for digestion and absorption of nutrients. The first indication of inadequate roughage structure for dairy cows is a lowered butter fat content in milk induced by a narrowing of the molar ratio of acetic to propionic acid to less than 3:1. The physical roughage structure required by beef cattle is lower. A minimum structure is, however, necessary for the prevention of digestive disturbances and insufficient feed intake. Amongst the hot air-dried products, wafers, cobs and pellets, the physical structure is least damaged in the case of wafers but even these are still not suited as the sole basic component for providing sufficient physical structure to rations for dairy cows.

Eingang des Manuskripts: 6. 2. 74

¹⁾ Nach einem Vortrag an der Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau der TU München in Weihenstephan.

Einleitung

Die fortschreitende Technisierung der Futtermittelkonservierung sowie die Vorverlegung des Schnittzeitpunktes einerseits und der Einsatz von konzentrierten industriemäßig hergestellten Gesamrationen andererseits verlangen eine zunehmende Beachtung der physikalischen Struktur der Futtermittel. Im folgenden werden deshalb die wichtigsten ernährungsphysiologischen Auswirkungen einer unterschiedlichen physikalischen Struktur des Futters beim Wiederkäuer unter besonderer Berücksichtigung von Produkten der Heißlufttrocknung aufgezeigt.

1. Definition des Begriffes physikalische Struktur

Ernährungsphysiologisch gesehen muß bei den Wirkungen des Rohfutters zwischen Einflüssen der Rohfaser — genauer den chemischen Einflüssen der Zellulose — per se und den Einflüssen der physikalischen Struktur unterschieden werden.

Der Begriff der Rohfaser ist analytisch definiert. Laut WEENDER-Analyse werden als Rohfaser die in 3,1%iger Schwefelsäure und 3,1%iger Kalilauge unlöslichen fett-, stickstoff- und aschefreien Rückstände von Futtermitteln bezeichnet. Chemisch gesehen setzt sich diese Fraktion aus Zellulose, Pentosanen, Lignin, Cutin und Suberin zusammen. Die Übergänge zu den löslichen N-freien Extraktstoffen sind dabei vielfach fließend. Trotz vieler Schwächen und begründeter Verbesserungsvorschläge wird die konventionell festgelegte und ziemlich pauschale Rohfaserbestimmung nach der WEENDER-Analyse nach wie vor weltweit am häufigsten angewendet. Die relativ aufwendige Ligninanalyse, mit der ein auch für den Wiederkäuer unverdaulicher Anteil der Rohfaser erfaßt werden könnte, ist bisher noch nicht sehr verbreitet.

Die physikalische Struktur hingegen ist von der chemischen Zusammensetzung weitgehend unabhängig. Wird die Struktur durch physikalische Prozesse, wie z. B. Mahlen, sehr stark verringert, bleibt die chemisch-analytisch ermittelte Rohfaser davon völlig unbeeinträchtigt.

Physikalisch gesehen hat natürlich jeder Körper eine bestimmte Struktur, und man müßte z. B. beim Mahlen von Heu statt von einer Zerstörung der physikalischen Struktur richtiger von einer Zerstörung der ursprünglichen Struktur oder Änderung der Struktur sprechen. Im Sprachgebrauch hat es sich jedoch eingebürgert, aus makroskopischer Sicht von gut strukturiertem oder wenig strukturiertem Futter zu sprechen. „Viel“ physikalische Struktur weist demnach sperriges Rohfutter auf, während fein gemahlene Futtermittel „keine“ — genauer gesagt keine ernährungsphysiologisch relevante — Struktur mehr haben.

2. Produkte der künstlichen Grüntrocknung

Innerhalb der bei der modernen Heißlufttrocknung anfallenden marktfähigen Produkte, nämlich Briketts, Cobs, Grünmehl und Pellets wird die ursprüngliche physikalische Struktur bei den Briketts am besten erhalten. Sie werden aus dem getrockneten und unvermahlenden Material mit Hilfe einer Kolbenpresse hergestellt. Ein Problem stellt bisher immer noch die teilweise unbefriedigende Formhaltung der Briketts dar, so daß erhebliche Bröckelverluste auftreten können, bis die Briketts im Futtertrog landen. Ebenfalls aus unvermahlendem Material werden Cobs hergestellt. Hierzu findet eine Kollerpresse mit Matrize Verwendung. Die Futterstruktur bleibt dabei durch einen gewissen Mahleffekt weit weniger gut erhalten als bei der Brikettherstellung. Am weitesten geht die Zerstörung der ursprünglichen physikalischen Struktur,

wenn das Gut nach der Trocknung gemahlen wird und Grünmehl entsteht. Die durchschnittliche Partikelgröße liegt dann normalerweise unter 3—4 mm. Wird dieses Grünmehl in Kollerpressen durch Matrizen gepreßt, so entstehen schließlich Pellets.

3. Einfluß der physikalischen Struktur des Futters auf einzelne Faktoren der Verdauung

Die ernährungsphysiologischen Einflüsse der Futterstruktur sind sehr komplexer Natur und wurden erst in jüngerer Zeit genauer erforscht. Von besonderem Interesse sind dabei die kausalen Ursachen der differenzierenden Wirkungen. In Abb. 1 sind die wichtigsten Verdauungsvorgänge beim

Wiederkäuer abgeändert nach BALCH (1969) schematisch dargestellt. Im Zusammenhang mit der physikalischen Struktur des Futters interessiert in erster Linie das Geschehen in den Vormägen, die Beeinflussung der Pansen-symbionten und die Speichelsekretion. Außerdem treten durch unterschiedliche physikalische Struktur Verschiebungen im Verdauungsschwerpunkt zwischen Magen- und Darmabschnitt auf. Durch Veränderungen bei den Verdauungsprodukten werden dann aber auch Milchezusammensetzung und Wachstum beeinflusst. Um einen Überblick über die Einflüsse und Wechselwirkungen der physikalischen Struktur zu geben, werden in Abb. 2 abgeändert nach KELZ (1971) die wichtigsten Zusammenhänge der Vormagenverdauung schematisch aufgezeigt.

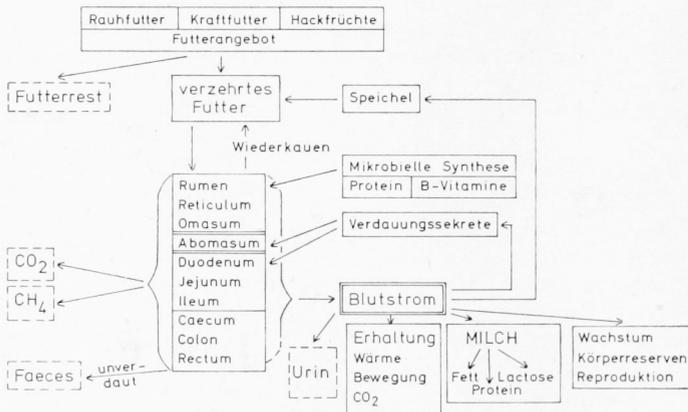


Abb. 1: Schematische Darstellung des Verdauungsablaufes beim Wiederkäuer

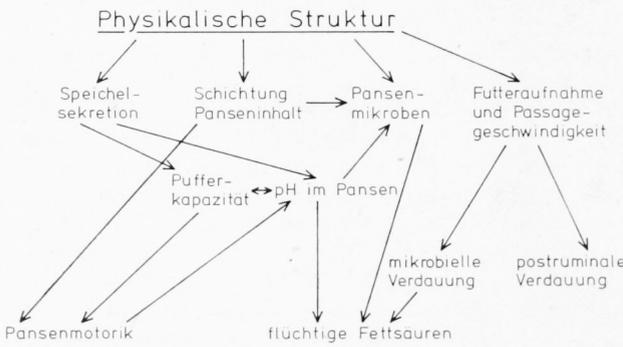


Abb. 2: Hauptsächliche Einflüsse der physikalischen Struktur des Futters auf die Verdauung in den Vormägen

3.1 Mechanische Wirkung in den Vormägen

Einen sehr großen Einfluß übt die physikalische Struktur des Futters auf die Schichtung des Panseninhaltes aus. Sie bildet dabei das Gerüst für die sogenannte Faserschicht, die die Gasschicht des Pansens vom sogenannten Pansensee trennt.

Der Pansen des Wiederkäuers dient in erster Linie als Fermentations- und Extraktionsanlage. Der untere flüssige Teil — der Pansensee — steht dabei durch die Pansenbewegungen im ständigen Austausch mit der mittleren Schicht, der Faserschicht. Besonders ausgeprägt ist diese Schichtung des Panseninhaltes beim Rind, weniger dagegen beim Schaf. Die aufgeschlossenen Nährstoffe, wie z. B. flüchtige Fettsäuren, werden zum großen Teil direkt über die Pansenwand absorbiert. Der Rest der Nahrung geht den normalen Weg der enzymatischen Verdauung über Labmagen und Dünndarm. Das Zentrum der bakteriellen Fermentation stellt die Faserschicht dar, die je nach Struktur des Futters mehr oder weniger faserig oder schwammig ausgebildet ist.

In der Gasschicht finden sich in erster Linie Kohlendioxid (CO_2) und Methan (CH_4). Sie sorgt für anaerobe Fermentationsbedingungen und ist zugleich als Bewegungsraum für die ständigen Pansenkontraktionen notwendig.

Fehlende Strukturierung des Futters, wie dies z. B. bei einer vollständig gemahlener Ration der Fall ist, führt zum Verklumpen des Panseninhaltes. Die ordnungsgemäße Schichtbildung und Durchlässigkeit des Panseninhaltes ist damit nicht mehr gegeben. Zum einen wird der bakterielle Abbau der Nährstoffe erschwert und zum anderen ist die Auswaschung der gelösten Produkte in den Pansensee ungenügend. Einen weiteren mechanischen Einfluß stellt das Auftreten von Psalterverstopfungen dar, die durch Verklumpen eines zu

wenig strukturierten Futterbreies zu schweren gesundheitlichen Störungen oder gar Totalausfällen führen können (DIRKSEN, 1970; KAUFMANN u. a., 1972). In der Praxis sind solche Fälle vor allem bei Mastrindern und kraftfutterreichen Rationen nicht selten. Wird die Störung rechtzeitig bemerkt, so kann am besten durch Füttern von Stroh oder Heu Abhilfe geschaffen werden.

Die taktilen Reize, die von der physikalischen Struktur des Futters ausgehen, sind mit entscheidend für eine optimale Pansenmotorik. Rauhfutter wirkt dabei durch Dehnungsreize und taktile Reize auf die Rezeptoren in der Vormagenwand und stimuliert Pansenbewegungen und Wiederkauen. Hierbei spielen auch CO_2 -Pansendruck und pH-Wert des Vormageninhaltes eine entscheidende Rolle. Bei mangelnder Struktur des Futters gehen die Pansenkontraktionen an Zahl und Intensität zurück (HILL, 1969). In diesem Zusammenhang wird auch von intermittierenden oder chronischen Blähungen im Reticulorum berichtet (NEIMANN-SØRENSEN, 1969). Als weitere mechanische Wirkung ist noch anzuführen, daß die physikalische Struktur des Futters für die mechanische Sättigung, deren Rolle zwar auch beim Wiederkäuer noch nicht endgültig geklärt ist, sehr bedeutsam sein dürfte.

3.2 Beeinflussung der Speichelsekretion

Für die Speichelbildung sind taktile Reize ebenfalls sehr wichtig. Bei ausgeprägter physikalischer Struktur eines Futtermittels sind längere Freß- und Wiederkauzeiten notwendig. Damit wird insgesamt mehr Speichel sezerniert (KAUFMANN, 1969). Ungenügender Rauhfuttercharakter der Ration hat dagegen aufgrund ungenügender mechanischer Reizwirkungen eine reduzierte Speichelbildung zur Folge. Im Vergleich zu Grünfutter führen Pellets bei der Aufnahme zu etwas höherer Speichelsekretion. Da der Speichel (sezernierte

Menge beim erwachsenen Rind \varnothing 100 bis 150 l/Tag) aufgrund seines Gehaltes an Bicarbonaten, CO_2 und Eiweiß eine Pufferwirkung aufweist, ist bei unzureichender Speichelbildung ein pH-Abfall die Folge. Deshalb wird die pH-Regulation im Pansen stark durch die physikalische Struktur des Futters beeinflusst. In extremen Fällen handelt es sich dabei nahezu um einen Circulus vitiosus, da ein zu tiefer pH des Panseninhaltes das Wohlbefinden der Tiere stört und damit auch zu einer Verringerung des Wiederkauens führt. Als negative Folge resultiert daraus wiederum eine verringerte Speichelsekretion, und die Pufferung der Vormägen ist nochmals verschlechtert. So nimmt das Regulationsvermögen des Wiederkäuers unter normalen Bedingungen bei weniger als 35% Rohfutter in der Diät und einem pH-Wert des Inhaltes der Vormägen unter 5,4 deutlich ab (KAUFMANN, 1973). In diesen Fällen kommt es zur Pansenacidose mit beginnender Milchsäuregärung, die in jedem Fall schwere gesundheitliche Störungen verursacht.

3.3 Mikrobielle Einflüsse

Die Auswirkungen der physikalischen Struktur auf Bakterien und Protozoen in den Vormägen sind vielschichtig. Die durchschnittliche Keimzahl im Pansen schwankt je nach verabreichten Futtermitteln zwischen $4-60 \times 10^9$ Keimen/ml (KIRCHGESSNER, 1970). Sie ist bei cellulosereicher Fütterung niedriger als bei stärkereicher. Die Lebensbedingungen der cellulolytischen essigsäurebildenden Bakterien, denen besondere Bedeutung zukommt, sind bei hohem pH und innerhalb der Faserschicht am günstigsten. Ein ausgeprägtes Fasergeflecht ist aber wie bereits erwähnt nur bei ausreichender physikalischer Struktur zu erreichen.

Bei gleicher chemischer Zusammensetzung führt kurz gehäckseltes, insbesondere aber gemahlene Futter andererseits aber zu größerer Angriffs-

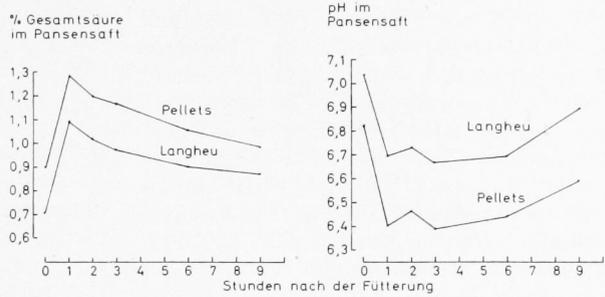
fläche für die Bakterien. So konnten z. B. THORLEY u. a. (1968) nachweisen, daß bei Verabreichung von gemahlenem Trockengrün nicht nur Verschiebungen innerhalb wichtiger Populationen der Pansensymbionten zu verzeichnen sind, sondern auch insgesamt höhere Keimzahlen auftreten als bei ungemahlenem Trockengrün.

ORTH und KAUFMANN (1964) stellten nach Verfütterung von gemahlenem und anschließend pelletiertem Heu im Vergleich zu Langheu auch einen höheren Gehalt an Gesamtsäure und damit einhergehend einen tieferen pH-Wert im Pansen fistulierter Kühe fest (Abb. 3). Die Tagesration bestand in diesem Versuch aus 8 kg Heu in langem oder gemahlenem und pelletiertem Zustand, 2 kg Trockenschnitzel sowie 2,5 kg Getreide- und Ölschroten. Nachdem der pH-Wert des Pansens auch bei den Pellets nicht unter pH 6,4 fiel, handelt es sich allerdings um keine extremen Verhältnisse. Vielmehr dürften sich in diesem Beispiel Mahlen und Pelletieren noch überwiegend positiv auf den mikrobiellen Verdauungsablauf ausgewirkt haben.

3.4 Veränderungen des Absorptionsschwerpunktes

Durch unterschiedliche physikalische Struktur wird auch der Ort der Verdauung und der Absorption der Nährstoffe beeinflusst. Ergebnisse hierzu liegen seit einigen Jahren aus Untersuchungen mit Umleitungskanülen vor. So konnten THOMSON u. a. (1969) mit dieser Technik an Schafen zeigen, daß von gehäckseltem Luzerneheu 39% der verdaulichen Energie in Vormägen und Labmagen und 34% im Dünndarm absorbiert wurden. Erhielten die Schafe dasselbe Ausgangsmaterial in gleicher Menge (910 g TM/Tier und Tag), jedoch gemahlen und pelletiert, so wurden bis zum Duodenum nur 23%, im Dünndarm aber dafür 51% der verdaulichen Energie absorbiert. Die offensichtliche Ein-

Abb. 3:
Gehalt an Gesamtsäure (Essigsäure + Propionsäure + Buttersäure) sowie pH-Wert des Pansensaftes von fistulierten Kühen bei unterschiedlich strukturiertem Futter (nach ORTH und KAUFMANN, 1964)



schränkung des mikrobiellen Abbaues der Nährstoffe in den Vormägen zugunsten der Dünndarmverdauung stellt dabei eine Annäherung an die Verhältnisse beim monogastrischen Tier dar. So wertvoll einerseits die Pansensymbionten durch den allein ihnen möglichen Celluloseabbau und die Synthese von essentiellen Aminosäuren und B-Vitaminen sind, so üben sie doch andererseits teilweise auch einen verschwenderischen Einfluß aus. Bei der Verfütterung biologisch hochwertiger Proteine z. B. kann durch die regen bakteriellen Umsetzungen im Pansen zumindest theoretisch sogar eine Verschlechterung des Gehaltes an essentiellen Aminosäuren auftreten. Bei Kühen mit sehr hoher Milchleistung wäre es darüber hinaus wünschenswert, daß z. B. glucogene Substanzen des Futters möglichst unbehelligt in das Duodenum gelangen. Die dort wirkende nichtbakterielle enzymatische Verdauung könnte dann das Glucoseangebot verbessern. Diese Gesichtspunkte dürften in Zukunft noch weit größere Bedeutung erlangen.

4. Komplexe Wirkungen der physikalischen Struktur

4.1 Futteraufnahme bei Fütterung ad libitum

Die möglichst hohe Aufnahme von Grundfutter, das pro Nährstoffeinheit normalerweise bedeutend preiswerter

als Kraftfutter ist, muß aus wirtschaftlichen Gründen angestrebt werden. Dabei führt eine Reduzierung der physikalischen Struktur von Rauhfutter zunächst zu einer erhöhten Aufnahme. Dies zeigte sich auch in bayerischen Fütterungsversuchen mit Briketts und Cobs, in denen der Grundfutterverzehr auf 13,5 kg Trockenmasse pro Kuh und Tag gegenüber 10,1 kg bei Verfütterung von Rauhfutter und Silage anstieg (BURGSTALLER und AVERDUNK, 1972). Dieser Einfluß dürfte im wesentlichen auf ein späteres Wirksamwerden der mechanischen Sättigung zurückzuführen sein. Auch die höhere Schmackhaftigkeit könnte dabei eine Rolle spielen. Aus einer Vielzahl von praktischen Fütterungsversuchen, vornehmlich in Dänemark, England und den USA, geht eindeutig eine höhere Trockenmasseaufnahme bei Grünmehl- oder Pelletverarbeitung hervor. Allerdings wurde bei diesen Untersuchungen in der Regel noch etwas Rauhfutter gegeben und damit ein Minimum an Struktur aufrechterhalten. Teilweise findet sich in den Publikationen auch nur der Hinweis, daß die Tiere auffallende Mengen der Stroheinstreu, z. B. 2—3 kg pro Kuh und Tag (NEIMANN-SØRENSEN, 1969), aufnahmen.

Im Extremfall, wenn das Strukturminimum unterschritten ist und Pansenstörungen auftreten, führen gemahlene Futtermittel jedoch zu ungleichmäßiger und insgesamt meist reduzierter Futteraufnahme (ERIKSSON u. a., 1968). In diesem Fall ist ein gestörter Zelluloseab-

bau sowie eine längere Verweildauer im Pansen und damit eine geringere Passagerate des Futters festzustellen. Die Futterraufnahme in Abhängigkeit von der physikalischen Struktur der Ration durchläuft somit ein ausgeprägtes Optimum und fällt in Richtung zu grob strukturierter als auch zu fein gemahlener Futtermittel bzw. Gesamtrationen signifikant ab.

4.2 Verdaulichkeit der Nährstoffe und Energieverwertung

Eng verknüpft mit der Passagegeschwindigkeit ist die Verdaulichkeit der Nährstoffe. In Tab. 1 ist der Einfluß des Zerkleinerungsgrades und der Futtermenge auf die Verdaulichkeit und Passagegeschwindigkeit von Trockengrün aus Untersuchungen von BLAXTER u. a. (1955) wiedergegeben. Sehr deutlich geht daraus die Abhängigkeit der Verdaulichkeit der Trockenmasse von der Verweildauer im Verdauungstrakt hervor. Der Rückgang der Verdaulichkeit mit steigender Futtermenge ist bei gemahlenem und gepreßtem Futter wesentlich stärker als bei Futter, das in

Tabelle 1: *Einfluß von Zerkleinerungsgrad und Futtermenge auf Verdaulichkeit und Durchgangszeit von Trockengrün im Verdauungstrakt des Schafes* (BLAXTER u. a., 1955)

Tägliche Gaben an künstlich getrocknetem Gras g	Verdaulichkeit der Trockenmasse %	Passagezeit im Verdauungstrakt Std.
<i>Langgut</i>		
600	80,3	103
1200	79,1	72
1500	79,4	68
<i>mittelfein gemahlen und gepreßt</i>		
600	76,9	74
1200	71,5	53
1500	69,9	42
<i>fein gemahlen und gepreßt</i>		
600	75,9	53
1200	68,8	39
1500	65,4	34

Tabelle 2: *Einfluß der physikalischen Struktur von Trockengrün auf Energieverluste und Nettoenergie beim Wiederkäuer* (nach BLAXTER und GRAHAM, 1956)

Aufteilung der Energie	Trocken- grün ge- häckselt % der Bruttoenergie	Trocken- grün ge- mahlen und pelletiert
Energie im Kot	27	35
Methanenergie	8	6
Energie im Urin	5	5
Thermische Energie	29	21
Nettoenergie	31	33
Insgesamt	100	100

natürlichem Zustand verabreicht wird. Die geringste Verweildauer im Verdauungstrakt und damit die schlechteste Ausnutzung der Nährstoffe liegt bei der höchsten Fütterungsintensität und fein gemahlenem Trockengrün vor. Mahlen und Pressen können in ungünstigen Fällen sogar Abnahmen der Verdaulichkeit von über 20% bewirken. Besonders markant ist der Rückgang des Verdauungsquotienten bei der Zellulose. HINDERS und OWEN (1968) fanden bei Verfütterung von Luzernpellets an mit einer Pansenfistel versehenen Ochsen eine gegenüber Luzerneheu um 30% verschlechterte Rohfaserverdauung.

Der Einfluß der Futterstruktur auf die Energieverwertung wird in Tab. 2 nach Daten von BLAXTER und GRAHAM (1956) aufgezeigt. Die um 8% schlechtere Verdaulichkeit der Energie wurde in dem zitierten Versuch durch um 2% reduzierte Methanverluste (6 statt 8%) und um 8% geringere thermische Energieverluste mehr als ausgeglichen. Damit ist letzten Endes durch Mahlen und Pelletieren eine etwas höhere Nettoenergieausbeute von Trockengrün zu verzeichnen. Konsequenterweise müßte also beim Rohfaserabzug der Stärkewertberechnung nach KELLNER für Trockengrün neben dem chemisch-analytisch ermittelten Gehalt an Rohfaser und Rohprotein auch noch die je-

weilige Futterstruktur berücksichtigt werden.

4.3 Prozentualer Milchfettgehalt

Eine besonders auffällige Wirkung fehlender Futterstruktur stellt das Absinken des prozentischen Milchfettgehaltes dar. Bereits 1938 berichtete POWELL in den USA von einer Depression des Milchfettgehaltes bei Verfütterung von gemahlenem und pelletiertem Heu an Milchkühe. Der zugrundeliegende biochemische Mechanismus dieser Veränderungen konnte trotz sehr vieler Untersuchungen zu diesem Problem (siehe hierzu auch KIRCHGESSNER u. a., 1965) bisher nur teilweise geklärt werden. Zwischen der Produktion flüchtiger Fettsäuren im Pansen und dem Milchfettgehalt bestehen jedenfalls sehr enge Beziehungen.

Mit steigender Propionsäure, fallender Essigsäure und fallendem pH des Pansensaftes geht ein deutlicher Fettabfall einher. Für einen optimalen Milchfettgehalt muß das molare Acetat-Propionatverhältnis bei etwa 3:1 oder darüber liegen (KAUFMANN, 1972). Die Verschiebung des Acetat-Propionatverhältnisses bei veränderter Futterstruktur

geht auch deutlich aus einer neueren englischen Arbeit (Tab. 3) hervor. Während bei Briketts aus *Lolium italicum* noch ein Verhältnis von Acetat:Propionat wie 3,3:1 vorliegt, ergeben Pellets aus demselben Ausgangsmaterial ein Säureverhältnis im Pansen von 2,4:1 und führen auch prompt zu einer Senkung des mit 3,4% bei Brikettfütterung bereits niedrigen Fettgehaltes um weitere 0,2%. Auch die Depression in der Verdaulichkeit des Futters bei suboptimaler Struktur tritt in diesem Beispiel mit 62% Verdaulichkeit der TM bei Pellets gegenüber 71% bei Briketts sehr deutlich zutage. Ebenso fällt der pH-Wert des Pansensaftes unter den Optimalbereich, der bei pH 6,4 liegt. In bayerischen Untersuchungen fiel der Fettgehalt der Milch bei mit Briketts oder Cobs gegenüber Heu und Silage gefütterten Kühen der Rasse Deutsches Fleckvieh von rund 4,0% auf 3,6% ab (BURGSTALLER und AVERDUNK, 1972).

Die bisher mögliche Erklärung für den Fettabfall bei unzureichender Futterstruktur ist folgende:

Die gestörte Pansenfermentation und der pH-Abfall treffen in erster Linie die cellulolytischen Bakterien, da diese nur bei pH 6—7 optimale Bedingungen vor-

Tabelle 3: Vergleich einiger physiologischer Parameter von Briketts und Pellets aus *Lolium italicum* bei Verfütterung an Milchkühe (CONNELL und FOOT, 1972)

Kriterium	Briketts	Pellets
Trockenmasseaufnahme in kg pro Kuh und Tag	14,5	14,1
Verdaulichkeit der Trockensubstanz in vivo in %	71,1	62,2
pH im Pansen	6,4	5,8
flüchtige Fettsäuren im Pansen		
molares Verhältnis in % der Gesamtsäure		
Acetat	67,9	55,5
Propionat	20,7	23,5
Butyrat	10,0	14,0
Milchleistung in kg je Kuh und Tag	18,9	17,3
Milchfettgehalt in %	3,40	3,21
fettfreie Milchtrockenmasse	8,61	8,50

finden. Daraus resultiert eine geringere Essigsäurebildung, während Propionsäure zunimmt (HINDERS und OWEN, 1968). Die glucogene Propionsäure wandert größtenteils in die Lactose der Milch, während Essigsäure ja zu etwa 70% (KIRCHGESSNER, 1970) für die Milchfettsynthese Verwendung findet. Außerdem ist die Stoffwechsellage bei engem Acetat-Propionatverhältnis nach ARMSTRONG (1968) gegen eine Mobilisierung von Körperfettdepots gerichtet.

Als Hilfsgröße für die ausreichende physikalische Struktur einer Futterration für Milchkühe werden heute allgemein 18—22% Rohfaser in der Trockenmasse angegeben. Dieser Anteil soll dabei aus mindestens 12—14% strukturierter Rohfaser bestehen (KAUFMANN, 1973), d. h. es darf sich hierbei nicht um vermahlene Komponenten handeln. JENTSCH u. a. (1970) empfehlen aufgrund ihrer Versuche für Milchviehrationen einen Mindestgehalt an „Grobfutter“ von 3 kg Trockenmasse aus Futterpflanzen mit mindestens 20% Rohfaser in der Trockenmasse.

4.4 Energieretention

Graduell geringere Ansprüche an die physikalische Struktur stellt das wachsende nichtlaktierende Tier. Eine Verengung des Acetat-Propionatverhältnisses ist hier deutlich mit verbesserter energetischer Verwertung der Futternährstoffe verbunden. ARMSTRONG u. a. (1958) konnten anhand von Versuchen an Schafen zeigen, daß die energetische Verwertung kurzer Fettsäuren für die Körperfettsynthese sehr unterschiedlich ist. Wurde ein Gemisch von Essig-, Propion- und Buttersäure in den Pansen infundiert, so stieg mit fallendem Essigsäureanteil der energetische Wirkungsgrad für die Fettsynthese von 32 auf 58% an (ARMSTRONG, 1969).

Da die Milchfettdepression beim Masttier keine Rolle spielt, liegt das erforderliche Strukturminimum im Vergleich zum laktierenden Tier deutlich

tiefer. Physiologische Grenzen setzen allerdings Pansenfermentation, Pansenmotorik und pH-Regulation. Werden diese Funktionen beeinträchtigt, so sind Pansenacidose und Milchsäuregärung in den Vormägen die Folge, und die Futterraufnahme wird in schweren Fällen vollständig eingestellt. Als Hilfsgröße einer ausreichenden Rauhfutterversorgung wurden für praktische Verhältnisse bisher etwa 13% Gesamtrohfaser in der Ration angegeben, wovon etwa zwei Drittel strukturiert sein sollen. Bei Verteilung des Rauhfutters auf 6 Tagesgaben mit je 4 Stunden Abstand, wie dies KAUFMANN (1973) erprobte, könnte dieses Strukturminimum auch beim Masttier nochmals etwas unterschritten werden.

Aus den aufgezeigten Wirkungen der physikalischen Struktur des Futters können die wichtigsten ernährungsphysiologischen Kriterien einer optimalen Futterstruktur abgeleitet werden. Im wesentlichen sind dies Pansenmotorik, pH-Regulation, Fettsäuremuster im Pansen, Futterraufnahme und Passagerate, Verdaulichkeit der Nährstoffe, prozentualer Milchfettgehalt und Energieretention.

5. Methoden zur Standardisierung der physikalischen Struktur

Ein großes Problem stellt nach wie vor die Standardisierung der physikalischen Struktur dar. Eine objektive Methode zur Bestimmung der physikalischen Struktur von Rauhfuttermitteln bzw. deren Produkten, wie Briketts, Cobs, Grünmehl oder Pellets, wäre sehr wünschenswert. Die bisher gebräuchlichen Methoden können in mechanische und biologische Verfahren unterteilt werden. Bei den mechanischen Verfahren handelt es sich in der Regel um Siebanalysen. Die jeweilige Probe aus Trockengrün wird dabei anhand verschiedener Siebe in unterschiedliche Partikelgrößen eingeteilt und der pro-

zentuale Anteil der einzelnen Fraktionen festgestellt. Über verschiedene Auswertungssysteme wird sodann versucht, die physikalische Struktur der Futterprobe in Form von Strukturkoeffizienten oder Strukturindizes in einer oder mehreren Kennzahlen auszudrücken. Es gibt aber derzeit noch zu wenige Arbeiten über die Korrelation dieser Hilfsmerkmale mit den physiologischen Auswirkungen. Für landtechnische Probleme, wie sie z. B. beim Einfluß verschiedener Häcksel- und Preßverfahren auf die Futterstruktur auftreten, stellen diese Methoden jedoch bereits jetzt eine große Hilfe dar.

Aus der Sicht des Ernährungsphysiologen hat BALCH (1969, 1971) ein biologisches Verfahren vorgeschlagen, in dem die Kauzeit für die verschiedenen Futtermittel bzw. -rationen als Strukturkriterium verwendet wird (Tab. 4). Ein starker Milchfettabfall wurde in diesen Untersuchungen bei Rationen mit Wiederkauzeiten von 20 Minuten und weniger oder Gesamtkauzeiten von unter 40 Minuten festgestellt, wie dies z. B. bei gemahlenem Rauhfutter oder aber auch bei extrem kraftfutterreichen Rationen der Fall ist. Leider sind bisher noch keine Zahlen über den Kauzeit-

index von Briketts bzw. Cobs im Vergleich zu Langheu einerseits und Pellets andererseits verfügbar. Gerade bei der großen praktischen Bedeutung, die die künstliche Trocknung in letzter Zeit erlangt hat, wären hierzu genauere Daten sehr wertvoll.

Ein weiteres biologisches Verfahren der Strukturbewertung beruht auf der Messung des Speichelflusses und wurde von KAUFMANN (1969) vorgeschlagen. Die Arbeiten für einen allgemeinen Futterwertindex sind dabei noch nicht abgeschlossen. Um sowohl der Tierernährung als auch der landtechnischen Seite gerecht zu werden, dürfte gegenwärtig eine Kombination von mechanisch ermitteltem Strukturindex mit am Tier festgestellter Kauzeit am sinnvollsten sein. Die aus Siebanalysen gewonnenen Daten über Partikelgröße und Verteilung müßten dann nur in vivo durch Kauzeitmessungen geeicht und von Zeit zu Zeit erneut überprüft werden.

6. *Schlußbetrachtung*

Abschließend sollen neben den ernährungsphysiologischen Konsequenzen der physikalischen Futterstruktur einige

Tabelle 4: *Typische Kauzeiten von Kühen bei verschiedenen Rationen* (BALCH, 1969)

Ration	Minuten pro kg Futter-Trockenmasse		
	Fresszeit	Wiederkauzeit	Gesamtkauzeit
1. Einzelfuttermittel			
Haferstroh	41—58	94—133	145—191
Heu, mittlere Qualität	20—40	63— 87	103—109
Heu, gute Qualität	27—31	55— 74	87—105
Grassilage	31—58	60— 83	99—120
Gras, künstlich getrocknet	8—18	33— 39	44— 53
Kraftfutter	10	0	10
Haferstroh, gemahlen	11—24	(0— 20) ¹⁾	(11— 31) ¹⁾
Heu, gemahlen	13	(0— 6) ¹⁾	(13— 19) ¹⁾
Trockengrünmehl	5—12	(0— 11) ¹⁾	(5— 18) ¹⁾
2. Gemischte Rationen			
Haferstroh und Harnstoff	23—40	67— 79	98—117
Haferstroh, gemahlen, und Harnstoff	15—18	(0— 22) ¹⁾	(15— 37) ¹⁾
67% Heu und 33% Kraftfutter	19	47	66
31% Heu und 69% Kraftfutter	15	37	52
7% Heu und 93% Kraftfutter	16	20	36

¹⁾ Kein normales Wiederkauen mehr, niedrige Werte dürften eher zutreffen.

aktuelle Probleme angesprochen werden.

Die physiologischen Wirkungen der physikalischen Struktur des Futters liegen in erster Linie in einer Stimulation von Kauen, Wiederkauen und Speichelsekretion sowie einer optimalen Fermentation im Pansen. Über mikrobielle Einflüsse werden Ausmaß und Schwerpunkt der Absorption sowie das Fettsäuremuster im Pansen verändert. Das empfindlichste Kriterium für ungenügende Struktur des Futters ist bei Milchkühen der prozentuale Milchfettgehalt. Auslösender Faktor ist dabei eine Verengung des molaren Essigsäure-Propionsäureverhältnisses im Pansen unter 3:1. Bei Masttieren liegen die Ansprüche aufgrund veränderter biochemischer Voraussetzungen niedriger, jedoch setzen bei ungenügender Struktur auftretende Verdauungsstörungen und ungenügende Futteraufnahme ebenfalls Grenzen. Synthetische Strukturgeber, wie z. B. Plastikpellets aus Polyäthylen, haben dabei bisher keine nennenswerte praktische Bedeutung erlangt. Durch die Verabreichung von Kunststoffpellets oder -fasern konnte zwar gelegentlich eine erhöhte Wiederkautätigkeit erzielt werden, aber Fasern aus Polyäthylen oder Polypropylen vermochten weder das pH des Pansensaftes noch die Konzentration flüchtiger Fettsäuren im Reticulorumen oder den Fettgehalt der Milch zu ändern (siehe KAUFMANN und HAGEMEISTER, 1973).

Die Heißlufttrocknung von Grünfutter ist wegen der hohen Trocknungskosten wirtschaftlich nur sinnvoll, wenn junges, protein- und wirkstoffreiches, hochverdauliches und damit zwangsläufig relativ strukturarmes Material getrocknet wird. Bei der Trocknung und Weiterverarbeitung ist dabei eine möglichst geringe Einbuße an physikalischer Strukturierung gegenüber dem Ausgangsmaterial anzustreben. Aus diesem Grunde dürften als alleiniges Grundfutter für den Wiederkäuer — wenn

überhaupt — nur Briketts, nicht jedoch Cobs oder Pellets, in Frage kommen. Aber selbst hier hat sich eine Alleinfütterung bisher noch nicht als empfehlenswert erwiesen. Vielleicht bringen jedoch neue Preßverfahren eine wesentlich geringere Vermahlung des Ausgangsmaterials und ermöglichen so den vielfach gewünschten Einsatz von Heubriketts als alleinigem Grundfutter beim Wiederkäuer. Bei sehr frühem Schnitzeitpunkt dürfte jedoch bereits die suboptimale physikalische Struktur des Ausgangsmaterials zu einem Abfall des Milchfettgehaltes führen, so daß auch bei strukturschonender Weiterverarbeitung in diesen Fällen kein wiederkäuergerechtes Alleinfutter zu erzielen ist. Da die Ausbildung der physikalischen Struktur beim Rohfutter parallel zur Einlagerung der Gerüstsubstanzen verläuft, ist bei der Wahl des optimalen Schnitzeitpunktes für das Grundfutter ein Kompromiß einzugehen, der Leichtverdaulichkeit, hohen Energie-, Protein- und Wirkstoffgehalt des Futteraufwuchses mit ausreichendem Rohfaser- oder besser Zellulosegehalt und damit genügender Strukturierung verbindet.

Literatur

- Armstrong, D. G., 1968: The amount and physical form of feed and milk secretion in the cow. *Proc. Nutr. Soc.* 27, 57—65.
- , 1969: Cell bioenergetics and energy metabolism. In: *Lenkeit, W., Breirem, K. und Crasemann, E.* (Hrsg.): *Handbuch der Tierernährung I*, 385—414, Verlag Parey, Hamburg und Berlin 1969.
- , *Blaxter, K. L., Graham, N. McC. and Wainman, F. W.*, 1958: The utilization of the energy of two mixtures of steam-volatile fatty acids by fattening sheep. *Brit. J. Nutr.* 12, 177—188.
- Balch, C. C., 1969: Physiological aspects of efficient utilization of forages. In: *Crop Conservation and Grassland, Proc. 3rd General Meeting Europ. Grassland Federation*, 245—252, Braunschweig 1969.

- , 1971: Proposal to use time spent chewing as an index of the extent to which diets for ruminants possess the physical property of fibrousness characteristic of roughage. *Brit. J. Nutr.* 26, 383—392.
- Blaxter, K. L. and Graham, N. McC.*, 1956: The effect of the grinding and cubing process on the utilization of the energy of dried grass. *J. Agric. Sci.*, 47, 207—217.
- , *Graham, N. McC. and Wainman, F. W.*, 1955: *Proc. Brit. Nutr. Soc.* 14, iv. (zit. nach *Schürch*, 1969).
- Burgstaller, G. und Averdunk, G.*, 1972: Zur Erzeugung und Verwertung von heißluftgetrocknetem Grünfütter, 2. Mitt. Briketts und Kobs als alleiniges Grundfütter in der Milchviehfütterung. *Das wirtschaftseigene Futter* 18, 305—315.
- Connell, J. and Foot, A. S.*, 1972: Production and feeding of dried grass wafers to dairy cows. *Biennial Rev. Nat. Inst. Res. Dairying Shinfield*, 52—64.
- Dirksen, G.*, 1970: Krankheiten des Verdauungsapparates. In: *Rosenberger, G.* (Hrsg.): *Krankheiten des Rindes*, 173—348, Verlag Parey, Berlin und Hamburg 1970.
- Eriksson, S., Jönsson, G., Persson, S. J. und Wallin, O.*, 1968: The influence of pelleted and wafered roughage on the rumen digestion, the milk fat content, and the health of cows. *Acta Agric. Scand.* 18, 168—176.
- Hill, H.*, 1969: Pathophysiologie der Verdauung. In: *Spörri, H. und Stünzi, H.* (Hrsg.): *Pathophysiologie der Haustiere*, 215—251, Verlag Parey, Hamburg und Berlin 1969.
- Hinders, R. G. and Owen, F. G.*, 1968: Ruminant and post-ruminant digestion of alfalfa fed as pellets or long hay. *J. Dairy Sci.* 51, 1253—1257.
- Jentsch, W., Wittenburg, H. und Budzier, H. H.*, 1970: Erfahrungen bei der Verfütterung größerer Mengen Trockengrünfütterpellets an Milchvieh, 2. Mitt., *Jahrb. Tierernährung und Fütterung* 7, 67—74, 1969/70, Akad. Landwirtschaftswiss. Berlin.
- Kaufmann, W.*, 1969: Futteraufnahme, Regulation und Bedeutung für einen Futterwertindex. In: *Crop Conservation and Grassland, Proc. 3rd General Meeting Europ. Grassland Federation*, 259—265, Braunschweig 1969.
- , 1972: Verdauungsphysiologische Messungen zur „biologischen Fütterungstechnik“ bei Milchkühen, *Kieler Milchwirtschaft. Forschungsberichte* 24, 139—155.
- , 1973: Pansenphysiologische Probleme bei ausschließlicher Kraftfutterfütterung. *Bayer. Landw. Jahrb.* 50, 205—212.
- , *Pfeffer, E. und Dirksen, G.*, 1972: Untersuchungen zur Verdauungsphysiologie der Milchkuh mit der Umleitungstechnik am Duodenum. In: *Fortschritte Tierphysiol. u. Tierernährg.* 1, Verlag Parey, Hamburg und Berlin 1972.
- Kaufmann, W. und Hagemeister, H.*, 1973: Fütterungstechnik und Verdauungsablauf bei Milchkühen, *Übers. Tierernährg.* 1, 193—221.
- Kelz, M.*, 1971: Die Bedeutung der physikalischen Struktur von Trockengrünfütter in der Ernährung von Wiederkäuern, Diplomarbeit TU München—Weihestephan.
- Kirchgeßner, M.*, 1970: *Tierernährung*, DLG-Verlag, Frankfurt 1970.
- , *Friesecke, H. und Koch, G.*, 1965: Fütterung und Milchzusammensetzung, BLV München, Basel, Wien 1965.
- Neimann-Sørensen, A.*, 1969: Artificially dried grass products as feed for dairy cows. In: *Crop Conservation and Grassland Proc. 3rd General Meeting Europ. Grassland Federation*, 105—112, Braunschweig 1969.
- Orth, A. und Kaufmann, W.*, 1964: Über den Einfluß der Struktur des Futters auf die Verdauungsvorgänge im Pansen. *Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde.* 19, 144—155.
- Powell, E. B.*, 1938: One cause of fat variation in milk. *Proc. Am. Soc. Anim. Prod.* 40 (zit. nach *Wright u. a.*, 1963).
- Schürch, A.*, 1969: Die Verdaulichkeit der Nahrung bzw. Nahrungskomponenten. In: *Lenkeit, W., Breirem, K. und Crasemann, E.* (Hrsg.): *Handbuch der Tierernährung I*, 272—297, Verlag Parey, Hamburg und Berlin 1969.
- Thomson, D. J., Armstrong, D. G. and Prescott, J. H. D.*, 1969: Influence of physical structure on the utilization of dried grass and silage. In: *Crop Conservation and Grassland, Proc. 3rd General*

- Meeting Europ. Grassland Federation, 253—258, Braunschweig 1969.
- Thorley, C. M., Sharpe, M. E. and Bryant, M. P.*, 1968: Modification of the rumen bacterial flora by feeding cattle ground and pelleted roughage as determined with culture media with and without rumen fluid. *J. Dairy Sci.* 51, 1811—1816.
- Wright, P. L., Pope, A. L. and Phillips, P. H.*, 1963: Effect of physical form of ration upon digestion and volatile fatty acid production in vivo and in vitro. *J. Anim. Sci.* 22, 586—591.