

## **Einfluss von Partikellänge und Trockenmassegehalt von Grassilage bei unterschiedlichem Kraftfutterniveau auf Pansenparameter, Verdaulichkeit und Futteraufnahme von Rindern**

### **1. Mitteilung: Versuchsmethoden und Ergebnisse zur Futterqualität sowie der Untersuchungen an pansenfistulierten Rindern**

Von A. STEINWIDDER\*), E. ZEILER\*\*), T. GUGGENBERGER\*), J. HÄUSLER\*),  
A. SCHAUER\*) und L. GRUBER\*)

#### **1 Einleitung**

Ausreichend strukturiertes Futter ist für Wiederkäuer zur Sicherung einer ungestörten Wiederkautätigkeit, der Speichelsekretion, der Schichtung des Panseninhaltes, der Pansenfermentation und somit der Tiergesundheit erforderlich. Steigende tierische Leistungen führen auf Grund der limitierten Futteraufnahmekapazität zu kraftfutterbetonen und somit grundfutterärmeren Rationen. Das Risiko einer Strukturunterversorgung nimmt zu. Die Wiederkäuergerechtigkeit einer Ration, d.h. die ausreichende Versorgung mit strukturiertem Futter, wird wesentlich vom Kraftfutteranteil, von der Strukturwirksamkeit des Grundfutters (Partikellänge, Strukturkohlenhydrate, Trockenmasse etc.), dem Verhältnis von Struktur- zu Nichtstrukturkohlenhydraten und dem Fütterungsmanagement bestimmt (MENKE, 1987; HOFFMANN, 1990; PLATKOWSKI et al., 1990; ALLEN, 1997; MERTENS, 1997; DE BRABANDER et al., 1999; SAUVANT et al., 1999; NRC, 2001; KRAUSE et al., 2002).

Bei der Ernte von Grassilagen werden an Stelle von herkömmlichen Ladewägen vermehrt auch Kurzschnittladewägen bzw. selbstfahrende Feldhäcksler eingesetzt. Dadurch wird die Länge der Futterpartikel deutlich reduziert. Bei abnehmender Partikellänge kann es zu einer Zunahme der Futteraufnahme kommen (MURDOCH, 1965; DULPHY und DEMARQUILLY, 1975; DE BRABANDER et al., 1976; CASTLE et al., 1979; DE BRABANDER et al., 1983; DESWYSEN et al., 1984; DE BOEVER et al., 1993; MOONEY und ALLEN, 1997). Ein Rückgang der Partikellänge des Grundfutters kann jedoch auch die Strukturwirksamkeit, das Kau- und Wiederkauverhalten, die Speichelproduktion, das Pansenmilieu, die Nährstoffverdaulichkeit und die Futterpassagerate verändern (SANTINI et al., 1983; WOODFORD et al., 1986; GRANT et al., 1990; SUSMEL et al., 1991; BEAUCHEMIN et al., 1994; CLARK und ARMENTANO, 1997). Dabei sind auch Wechselwirkungen mit dem Trockenmassegehalt der Grassilage und dem Kraftfutterniveau denkbar.

In einem Projekt der Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein wurden daher Fragen zur Strukturversorgung von Rindern auf der Grundfutterbasis Grassilage und Maissilage bearbeitet. Neben dem Einfluss der Erntetechnik bei der Grassilageernte wurden auch die Einflüsse der Kraftfuttermenge und des Trockenmassegehaltes der Grassilage auf Pansenparameter, Verdaulichkeit, Futteraufnahme und Nährstoffversorgung von pansenfistulierten Rindern und Milchkühen untersucht.

\*) Institut für Viehwirtschaft und Ernährungsphysiologie landwirtschaftlicher Nutztiere, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft, BAL Gumpenstein, A-8952 Irdning.

\*\*) Universität für Bodenkultur, Institut für Nutztierwissenschaften, Gregor Mendel Straße 33, A-1180 Wien.

## 2 Versuchstiere und Methoden

### 2.1 Versuchsplan

Der Versuchsplan sah den Vergleich der Auswirkungen unterschiedlicher Partikellängen (H, K, L) bzw. Ernteverfahren von Grassilage (17, 34 bzw. 90 mm theoretische Schnittlänge) auf Pansenparameter, Verdaulichkeit, Futteraufnahme und Nährstoffversorgung bei fistulierten Rindern und Milchkühen vor. Zusätzlich sollten auch die Einflüsse des Trockenmassegehaltes der Grassilage (T35, T50) und des Kraftfutteranteils der Ration (K25, K55) untersucht werden (Tab. 1 und Tab. 2). Die Differenzierung der Partikellängen der Grassilagen wurden durch den Einsatz unterschiedlicher Erntetechniken (H = Felddhäcksler, K = Kurzschnittladewagen, L = Langschnittladewagen) erreicht. Die Erhöhung des Trockenmassegehaltes der Grassilage von 35 auf 50 % (T35 bzw. T50) erfolgte durch Verlängerung der Anwelkdauer am Feld. Die Grundfutterration setzte sich aus 60 % Grassilage und 40 % Maissilage zusammen und wurde in Gruppe K25 mit 25 % und in Gruppe K55 mit 55 % Kraftfutter ergänzt.

Bei der Konservierung der Grassilagen kam es im hohem Trockenmasseniveau im oberen Bereich der Hochsilos zu starker Schimmelbildung. Die dadurch aufgetretenen Abraumverluste führten dazu, dass der vorgesehene Versuchsplan bei den Milchkühen nicht vollständig eingehalten werden konnte. Die von den Silierverlusten besonders betroffenen Varianten konnten auf Grund der Futterverluste nur eingeschränkt geprüft werden. Im Gegensatz zu den Untersuchungen mit fistulierten Tieren wurde daher bei den Milchkühen der Versuchsfaktor „T50“ nur auf hohem Kraftfutterniveau (K55) geprüft.

Tab. 1. Versuchsplan – pansenfistulierte Rinder  
*Experimental design – ruminally fistulated cattle*

Ernteverfahren-Grassilage (Partikellänge)	Häcksler (H)		Kurzschnitt (K)		Langschnitt (L)	
theoretische Schnittlänge-Grassilage mm	17		34		90	
Trockenmasse-Grassilage (T) %	35	50	35	50	35	50
Kraftfutteranteil Ration (K) %	25	55	25	55	25	55
Grundfutter <sup>1)</sup>	ad libitum					

<sup>1)</sup> Grundfutter: 60% Grassilage, 40% Maissilage.

Tab. 2. Versuchsplan – Milchkühe  
*Experimental design – dairy cows*

Ernteverfahren-Grassilage (Partikellänge)	Häcksler (H)		Kurzschnitt (K)		Langschnitt (L)	
theoretische Schnittlänge-Grassilage mm	17		34		90	
Trockenmasse-Grassilage (T) %	35	50	35	50	35	50
Kraftfutteranteil Ration (K) %	25	55	55	25	55	55
Grundfutter <sup>1)</sup>	ad libitum					

<sup>1)</sup> Grundfutter: 60% Grassilage, 40% Maissilage.

## 2.2 Untersuchungen mit pansenfistulierten Rindern

Die pansenphysiologischen Untersuchungen und die Ermittlung der Verdaulichkeit der Gesamtration erfolgte mit sechs ausgewachsenen pansenfistulierten Rindern (5 Braunviehochsen, 1 Fleckviehkuh). Es wurde ein 3-faktorieller Versuch ( $3 \times 2 \times 2$ ) in Form eines unvollständigen lateinischen Quadrates über 6 Versuchsperioden durchgeführt (Tab. 3). Jede Versuchsperiode erstreckte sich über 2 Wochen. Zwei Wochen vor Versuchsbeginn wurden die Tiere in zwei Gruppen zu je drei Tieren aufgeteilt, diese zwei Gruppen entsprachen den Kraftfutterniveaus (K25, K55). Innerhalb jedes Kraftfutterniveaus durchlief jedes Tier in jeweils 3 Perioden alle 3 Schnittlängengruppen. Um eine abrupte Rationsänderung, bedingt durch die unterschiedlichen Kraftfutterniveaus, zu vermeiden, wurde vor Beginn der 4. Periode, ebenso wie zu Versuchsbeginn, eine zweiwöchige Übergangsfütterung durchgeführt.

Die Tiere waren in Halsriemenanbindehaltung auf verbessertem Mittellangstand mit Gitterrost und Gummimatten aufgestellt. Die Einzelfressstände mit abgetrennten Barren gewährleisteten eine individuelle Messung der Futteraufnahme. Die Tiere wurde einmal wöchentlich zur selben Zeit gewogen. Zu Versuchsbeginn hatten die Versuchstiere ein Lebendmasse von 757 ( $\pm 21$ ) kg.

Die Futteraufnahme der Tiere wurde für jede Rationskomponente täglich individuell erhoben. Die Tiere wurden wöchentlich einmal gewogen. In der zweiten Woche jeder Versuchsperiode wurde der Verdauungsversuch durchgeführt. Die Dauer der Sammelperiode betrug 4 Tage, die Tiere blieben im selben Stall, er wurde lediglich für die Bilanzversuche adaptiert. Jeweils an den letzten beiden Tagen jeder Sammelperiode wurden die Proben für die pansenphysiologischen Untersuchungen gezogen und zwar um 1:00, 4:00, 6:00, 8:00, 10:00, 13:00, 15:00, 17:00, 19:00, 21:00 und 23:00 Uhr. Die Pansensaftprobe (ca. 200 ml) wurden mittels Unterdruckverfahren und Sonde über die Pansenfistel aus dem ventralen Pansensack entnommen. Danach wurden die Proben filtriert und der pH-Wert gemessen. Pro Tier und Messung wurden zwei Proben zu ca. 50 ml abgefüllt und für die Bestimmung der flüchtigen Fettsäuren, des  $\text{NH}_3\text{-N}$  Gehaltes, des pH-Wertes (nach Gefrierung) sowie der Titrationsalkalität und der Titrationsazidität umgehend gasdicht verschlossen und tiefgefroren. Die gaschromatographische Bestimmung des Gär säuregehaltes, die photometrische Ammoniakbestimmung mit Neßler's Reagenz und die Bestimmung der Titrationsazidität bzw. Titrationsalkalität erfolgte in der Abteilung für Stoffwechsel- und Nährstoffanalytik der BAL Gumpenstein aus einer tierindividuellen Mischprobe der zwei Versuchstage und der jeweiligen Probennahmezeit.

Tab. 3. Versuchsablauf – pansenfistulierte Rinder  
*Experimental procedure – ruminally fistulated cattle*

Kraftfutter (K)	%	25						55					
		H		K		L		H		K		L	
Ernteverfahren-Grassilage (PL)		35	50	35	50	35	50	35	50	35	50	35	50
Trockenmasse-Grassilage (T)	%												
1. Periode		A <sup>1)</sup>		B		C		D		E		F	
2. Periode			B		C		A		E		F		D
3. Periode			C		A		B		F		D		E
4. Periode				D		E		F		A		B	
5. Periode			E		F		D		F		A		C
6. Periode				F		D		E		C		A	

<sup>1)</sup> A = fistuliertes Tier A etc.

### 2.3 Untersuchungen mit Milchkühen

Der 3-faktorielle Versuch ( $3 \times 2 \times 2$ ) wurde in zwei getrennten lateinischen Quadraten (KF25 und KF55) mit 12 laktierenden Kühen über 6 Versuchsperioden zu je 2 Wochen (3 Schnittlängen  $\times$  2 Trockenmassenstufen) durchgeführt. Nach einer zweiwöchigen Vorversuchsperiode wurden die Milchkühe unter Berücksichtigung von Milchleistung, Futteraufnahme, Laktationszahl, Lebendmasse und Rasse zwei Gruppen zu je sechs Tieren zugeteilt. Diese zwei Gruppen entsprachen den beiden Kraftfutterniveaus, innerhalb der Kraftfutterstufe sollte jede Kuh in jede Behandlung kommen. Die Kühe (je 6 Brown Swiss und Holstein Friesian) standen zu Versuchsbeginn im Mittel in der 15. Laktationswoche, die Laktationszahl lag bei  $2,4 (\pm 1,4)$ , die Lebendmasse betrug im Mittel 590 kg ( $\pm 58$  kg). Vor Versuchsbeginn wurde eine Grund- und Gesamtfutteraufnahme von 12,0 und 16,0 bzw. 12,6 und 16,8 kg T in Gruppe K25 bzw. K55 festgestellt. Die Milchleistung in Gruppe K25 und K55 betrug 27,1 und 27,4 bzw. 28,9 und 28,8 kg ECM. Die Tiere waren in Nackenrohranbindehaltung auf verbessertem Mittellangstand mit Gitterrost und Gummimatten aufgestallt. Die Einzelfressstände mit abgetrennten Barren gewährleisteten die individuelle Messung der Futteraufnahme.

Im Versuchszeitraum wurde die individuelle Futteraufnahme für jede Rationskomponente erhoben. Die Versuchstiere wurden wöchentlich gewogen. Die Milchleistung und die Milchinhaltsstoffe der Kühe wurden täglich erfasst. Zur statistischen Auswertung wurden nur die letzten 10 Tage der 14-tägigen Periode herangezogen.

### 2.4 Futtervorlage und Rationsanpassung

Die Fütterungszeit betrug 8 Stunden pro Tag (4:30–8:30 und 15:00–19:00 Uhr). Bei der täglich zweimaligen Fütterung erhielten die Versuchstiere zuerst einen Teil des Kraftfutters (max. 2 kg FM), danach Maissilage und im Anschluss daran eine weitere Teilgabe des Kraftfutters (max. 2 kg FM) vorgelegt. Abgeschlossen wurde die Fütterung mit der Vorlage von Grassilage. Überschritt die Kraftfuttergabe pro Fütterungszeit eine Gesamtmenge von 4 kg Frischmasse, so wurde die Grassilagegabe geteilt und eine dritte Kraftfuttergabe eingeschoben. Ad libitum Bedingungen wurden erreicht, indem bei der Rationsvorschrift für jede Grundfutterkomponente 5–10% Futterreste angestrebt wurden. Die Anpassung der jeweiligen Futtervorlagemenge erfolgte dreimal wöchentlich. Dabei wurden die angestrebte Rationszusammensetzung, die festgestellte Futteraufnahme der vorangegangenen Tage und die angestrebten Futterreste individuell berücksichtigt.

### 2.5 Futtermittel

Zur Bereitung der Grassilagen wurde der 1. Aufwuchs einer einheitlichen Dauerwiese mit unterschiedlichen Schnittlängen geerntet (theoretische Schnittlänge 17, 34 und 90 mm). Die Erntearbeiten wurden mit einem Feldhäcksler (Claas Jaguar 860, 320 kW, 10,2 t Gesamtgewicht, Halbmesserschiff 12), einem Kurzschnittladewagen (Pöttinger Jumbo 6600, 66 m<sup>3</sup>, 45 Messer, 34 mm Messerabstand, 7,9 t Eigengewicht) und einem herkömmlichen Ladewagen (Pöttinger Ladeprof IV, 45 m<sup>3</sup>, 17 Messer, 90 mm Messerabstand, 4,8 t Eigengewicht) durchgeführt. Angaben zum Arbeitszeitbedarf, zur Ernteleistung, zum Schwadgewicht, zur Schüttdichte finden sich bei PÖLLINGER et al. (2002) und zum Silierverlauf in Kleinsilos bei PÖTSCH und RESCH (2002).

Die Ernte der unterschiedlich lange angewelkten Grassilagen (35 bzw. 50% T) erfolgte um 11:00 Uhr (T35) bzw. um 15:00 Uhr (T50) desselben Tages. Die sechs Grassilagen (3 Ernteverfahren, 2 Trockenmassegehalte) wurden getrennt mittels Radialgebläse ohne Schneideeinrichtung in Hochsilos eingebracht (7 m Höhe, 2 m Durchmesser), händisch

verteilt, mit Silofolie und Sandsäcken luftdicht abgeschlossen und ohne Fremdpressung gelagert. Um Partikellängenveränderungen auszuschließen, erfolgte die Silageentnahme per Hand.

Die Maissilage wurde in der Teigreife mit einem Feldhäcksler ohne Kornnachbereitung geerntet (6 mm theoretische Schnittlänge) und in einem Fahrсило gelagert. Es wurde ein gemahlenes Kraftfutter (Mühle mit Siebgröße 5 mm) mit 16% Gerste, 12% Weizen, 24% Körnermais, 16% Trockenschnitzel, 12% Weizenkleie, 6,7% Sojaextraktionsschrot-44, 6,7% Rapsextraktionsschrot und 6,6% Sonnenblumenextraktionsschrot eingesetzt.

## 2.6 Futtermittelanalysen

Der Rohnährstoffgehalt der Futtermittel (Weender Analysen, Gerüstsubstanzen, Mengen- und Spurenelemente) wurde aus einer Sammelprobe pro Versuchsperiode ermittelt. Der Trockenmassegehalt der Silagen wurde zweimal täglich von der Ein- und Rückwaage und vom Kraftfutter zweimal pro Versuchsperiode erfasst. Der T-Gehalt der Silagen wurde entsprechend dem Vorschlag von WEISSBACH und KUHLA (1995) hinsichtlich der Verluste an flüchtigen Fettsäuren bei der Trockenmassebestimmung korrigiert. Die chemischen Analysen erfolgten nach den Methoden der ALVA (1983). Die Weender Nährstoffe und Van Soest-Gerüstsubstanzen wurden mit Tecator-Geräten analysiert. Die Bestimmung der in-vivo-Verdaulichkeit der Grassilagen erfolgte mit 6 adulten Hammeln in Form eines lateinischen Quadrates als 2-faktorieller Versuch ( $3 \times 2$ ). Nach einer zweiwöchigen Vorperiode wurden die Hammel anhand ihrer Lebendmassen in 2 Gruppen aufgeteilt. Diese Gruppen entsprachen den Trockenmassegehalten der Grassilagen (T35 und T50), innerhalb jeder Trockenmassenstufe durchlief jeder Hammel alle Gruppen des Versuchsfaktors „Ernteverfahren“. Eine Sammelperiode dauerte 7 Tage. Zwischen den einzelnen Perioden wurde eine dreitägige Übergangsfütterung eingeschoben. Zu Beginn jeder Sammelperiode erfolgte vor der Morgenfütterung die Wiegung der Versuchstiere. Die mittlere Lebendmasse der Hammel betrug 64 kg, vom Versuchsfutter wurde täglich 1,0 kg T eingewogen. Die Verdaulichkeit der Maissilage wurde mit 4 Hammeln (14 Tage Vorperiode, 14 Tage Sammelperiode) nach den Leitlinien der GfE (1991) bestimmt. Die Verdaulichkeit des Kraftfutters wurde nach der Regressionsmethode mit insgesamt 16 Hammeln (0, 25, 50 und 75%) bestimmt. Für die Durchführung der Verdauungsversuche wurde täglich ein aliquoter und für den Versuch ausreichender Teil des an die Rinder verfütterten Futters gesammelt und im Falle von Silagen tiefgefroren. Die an den Hammeln ermittelten Verdauungskoeffizienten wurden zur Energiebewertung der Futtermittel herangezogen (GfE, 2001). Die Versorgung mit nutzbarem Rohprotein am Dünndarm (nXP) wurde entsprechend den Angaben der GfE (2001), unter Berücksichtigung des in den DLG-Futterwerttabellen (DLG, 1997) angegebenen UDP-Anteils der eingesetzten Futtermittel, errechnet.

## 2.7 Partikellängenbestimmung und Strukturbewertung

### Partikellänge

Die Beurteilung der Partikellängenverteilung des Grundfutters erfolgte für die Maissilage und das Kraftfutter über das Nasssiebverfahren. Die Partikellängenverteilung der Grassilagen musste über ein arbeitsaufwändiges Auszählverfahren erfolgen, da bei den Ernteverfahren K und L sehr lange Partikellängenfraktionen auftraten. Durch das Fehlen von Sieben mit einer Lochung über 35,5 mm wäre es bei der üblichen Nasssiebung zu einer Verfälschung der Verteilungsergebnisse und damit auch der berechneten mittleren Partikellänge gekommen.

Zur Partikellängendifferenzierung der Grassilagen wurden die Silageproben (ca. 2 kg FM) auf einer sauberen Unterlage im Ausmaß von 1 m<sup>2</sup> gründlich durchgemischt und aufgelegt. Danach wurden über die Diagonale Analysenproben (ca. 500 g FM) entnommen. Zur Arbeitserleichterung wurden diese Probe vor dem händischen Trennen schonend mechanisch abgesiebt und grob in 4 Längen fraktioniert. Einzelne Halme wurden im Anschluss daran mit einer Pinzette erfasst und mit Hilfe einer Skala (> 16 cm, 12 cm, 8 cm, 6 cm, 4 cm, 2 cm, 1 cm, 0,4 cm und <0,4 cm) eingeordnet. Im Anschluss daran wurden die einzelnen Teilproben getrocknet und der Fraktionsanteil bestimmt.

Zur Bestimmung der Partikellänge der Maissilage und des Kraftfutters wurden die Proben über eine Siebkaskade von 6 Quadratlochsieben abnehmender Porengröße (Maissilage: 6,3, 4,0, 2, 1, 0,5, 0,25 mm; Kraftfutter: 2, 1, 0,5, 0,25, 0,125, 0,063 mm) nass gesiebt. Dazu wurden die Teilproben (15 g) vor der Siebung mit 300 ml Wasser versetzt. Die Maissilageproben wurden nach 30 Minuten und die Kraftfutterproben nach zehn Minuten gesiebt. Die Nasssiebung erfolgte über einen Zeitraum von zwölf Minuten (4 × 3 Minuten mit 30 Sekunden Pause, Schüttelamplitude 1,5–2). Dabei wurden die Proben mit 3 l Wasser pro Minute besprüht. Der Siebsatz wurde abgefiltert und ca. zwei Stunden stehen gelassen, um ein Abfließen des Wassers zu ermöglichen. Danach wurden die Proben bei 104°C über zwölf Stunden getrocknet und gewogen.

Zur Berechnung der mittleren Partikellänge des Kraftfutters und der Maissilage wurde das kumulative Gewicht der Partikel die eine Siebstufe passieren konnten, in Prozent der Einwaage ermittelt. Diese Prozentwerte wurden gegen die theoretische maximale Partikellänge die das jeweilige Sieb noch passieren konnten aufgetragen (Porengröße des Siebes  $\times 2\sqrt{2}$ ). Zur Berechnung der mittleren Partikellänge der Grassilagen wurde das kumulative Gewicht der Partikel, die eine Längenfraktion unterschritten in Prozent des Gewichtes der Einwaage ermittelt und diese gegen die entsprechende Partikellängengrenze aufgetragen. Die mittlere Partikellänge (MPL) wurde mit Hilfe der nach YANG et al. (1978) modifizierten Weibull-Funktion in SAS (1987) nach der DUD-Methode errechnet.

### Berechnung von Strukturparametern

#### *Strukturierte Rohfaser nach MENKE*

Der Gehalt an strukturierter Rohfaser wurde entsprechend den Angaben von MENKE (1987) ermittelt. Um eine feinere Abstufung der angegebenen Strukturkoeffizienten zu erreichen, wurden diese mit Hilfe einer Regressionsgleichung unter Berücksichtigung des Gehaltes an Rohfaser (XF, g/kg T) und an Trockenmasse (T, g/kg) berechnet:

$$\text{Maissilage: } f = 0,344 + 0,000909 \times \text{XF}$$

$$\text{Grassilage: } f = 0,7353 + 0,003294 \times (\text{XF} - 270) + 0,00109013 \times (\text{T} - 525) - 0,00000235 \times ((\text{XF} \times \text{T}) - 141750)$$

#### *Strukturwirksame Rohfaser nach HOFFMANN*

Als Faktor (*f*) für die Strukturwirksamkeit der Rohfaser der Maissilage wurde 1,0 unterstellt. Bei den Grassilagen wurde dieser Faktor mit Hilfe von Regressionsgleichungen unter Berücksichtigung des Gehaltes an Rohfaser (XF, g/kg T) und an Trockenmasse (T, g/kg) entsprechend den Angaben von HOFFMANN (1990) berechnet. Ein möglicher Einfluss der Erntetechnik auf die strukturwirksame Rohfaser wurde nicht berücksichtigt.

$$\text{Maissilage: } f = 1$$

$$\text{Grassilage: } f = -0,0903 + 0,000079 \times \text{T} + 0,00356 \times \text{XF}$$

*Strukturwert nach DE BRABANDER*

Der Strukturwert (SW) wurde entsprechend den Angaben von DE BRABANDER et al. (1999) berechnet (Nährstoffgehalte in g/kg T):

$$\text{Maissilage: SW} = (0,0090 \times \text{XF}) - 0,1$$

$$\text{Grassilage: SW} = (0,0125 \times \text{XF}) - 0,2$$

$$\text{Kraftfutter: SW} = (0,321 + (0,00098 \times \text{XF}) + (0,00025 \times \text{bXS}) - (0,00112 \times (\text{XZ} + a \times (\text{XS} - \text{bXS})))$$

$$a = 0,9 - (1,3 \times \text{XS} - \text{Beständigkeit})$$

**2.8 Versuchsauswertung****Untersuchungen mit pansenfistulierten Rindern**

Die Versuchsdaten wurden nach dem Modell 2 des Statistikprogramms LSMLMW PC – 1 (HARVEY, 1987) mit den fixen Effekten „Kraftfutter“, „Schnitlänge“ und „Trockenmasse“, dem zufälligen Effekt „Tier“ und den Interaktionen von „Schnitlänge × Trockenmasse“, „Schnitlänge × Kraftfutterniveau“ und „Trockenmasse × Kraftfutterniveau“ berechnet. Die Ergebnistabellen zeigen die Least-Square Mittelwerte der Haupteffekte und die P-Werte aus der Varianzanalyse sowie die Residualstandardabweichungen. In Versuchsperiode 4 wurde ein Tier auf Grund mangelnder Futteraufnahme aus der Versuchsauswertung ausgeschlossen (Gruppe H T50 K25).

**Untersuchungen mit Milchkühen**

Die Versuchsdaten wurden nach Modell 3 des Statistikprogramms LSMLMW PC – 1 (HARVEY, 1987) mit den fixen Effekten „Kraftfutter“, „Schnitlänge“ und „Trockenmasse“, dem zufälligen Effekt „Tier“ innerhalb „Kraftfutter“, der Regressionsvariable „Laktationstag“ und den Interaktionen von „Schnitlänge × Trockenmasse“ und „Schnitlänge × Kraftfutterniveau“ ausgewertet. In den Ergebnistabellen werden die Least-Square Mittelwerte für die Haupteffekte „Ernteverfahren“ und „Kraftfutter“ und die P-Werte aus der Varianzanalyse sowie die Residualstandardabweichungen angegeben.

**3 Ergebnisse****3.1 Nährstoffgehalt der Futtermittel**

In Tabelle 4 ist der durchschnittliche Nährstoffgehalt der Futtermittel sowie die Verdaulichkeit der Nährstoffe angeführt. Der Trockenmassegehalt der Grassilagen lag bei niedriger Anwelkstufe zwischen 33 und 35 % und bei hoher Anwelkstufe zwischen 52 und 56 %. Die Grassilagen der hohen Anwelkstufe wiesen im Vergleich zur niedrigen Anwelkstufe höhere Gehalte an Strukturkohlenhydraten (XF, NDF, ADF) und geringere Gehalte an XX, NFC, XL und XA auf. Die mit Hammeln ermittelten in vivo-Verdaulichkeiten der organischen Substanz und die Energiekonzentration der Grassilagen beider Trockenmassestufen lagen auf vergleichbarem Niveau. Deutliche Effekte des Ernteverfahrens bzw. der Partikellänge ergaben sich bei niedriger Anwelkstufe (T35) hinsichtlich Verdaulichkeit der Rohnährstoffe und Energiegehalt der Grassilagen. Die Verdaulichkeit der organischen Masse ging mit der Partikellänge zurück (73,1, 71,3 und 66,2 % in H, K und L). Daher verringerte sich auch der Energiegehalt mit zunehmender Partikellänge (6,2, 6,0 und 5,5 MJ NEL/kg T in H, K und L). Die Grassilage L35 wies etwas höhere Strukturkohlenhydrat- und Rohaschegehalte sowie geringere XX- bzw. NFC-Gehalte auf. Bei hoher Anwelkstufe traten im Gegensatz dazu keine Effekte des Ernteverfahrens

Tab. 4. Nährstoff- und Energiegehalt sowie mittlere Partikellänge der Futtermittel  
*Nutrient and energy content as well as mean particle length of feedstuffs*

Bezeichnung		Grassilagen						Maissilage	Kraftfutter
		H35	K35	L35	H50	K50	L50	MS	KF
Trockenmasse	g/kg FM	352	331	337	558	517	539	328	892
<b>Nährstoffe</b>									
XP	g/kg T	168	166	169	168	165	170	86	181
nXP	g/kg T	139	136	128	134	136	136	130	178
XL	g/kg T	34	34	36	30	31	31	32	23
XF	g/kg T	254	257	264	287	282	275	218	86
XX	g/kg T	458	453	433	431	439	444	620	663
XA	g/kg T	86	90	98	84	83	80	44	47
NDF	g/kg T	457	444	452	534	521	518	435	245
ADF	g/kg T	299	307	306	326	320	317	245	112
ADL	g/kg T	31	31	37	34	33	30	27	26
NFC	g/kg T	257	262	241	184	196	194	403	504
<b>Verdaulichkeit</b>									
dOM	%	73,1	71,3	66,2	70,6	72,2	70,8	71,9	82,6
dXL	%	56,2	61,1	54,6	52,1	57,4	58,1	76,4	70,3
dXF	%	73,8	73,0	65,4	73,9	75,7	69,9	70,6	53,4
dNDF	%	73,1	70,1	64,9	74,0	75,0	74,1	–	–
dADF	%	72,1	70,6	63,0	72,1	71,3	69,7	–	–
<b>Energiekonzentration</b>									
ME	MJ/kg T	10,33	10,07	9,32	9,94	10,17	10,07	10,55	12,20
NEL	MJ/kg T	6,17	5,98	5,45	5,88	6,04	5,97	6,32	7,58
<b>Mineralstoffe</b>									
Ca	g/kg T	6,9	6,9	6,7	5,9	6,0	5,9	2,9	3,3
P	g/kg T	2,8	2,6	2,8	2,7	2,7	2,6	1,9	4,9
Mg	g/kg T	2,9	3,0	3,0	2,6	2,8	2,4	2,0	2,0
K	g/kg T	25,6	26,5	27,5	27,9	27,6	27,0	32,6	12,9
Na	g/kg T	0,26	0,27	0,34	0,29	0,23	0,28	0,07	0,33
Mn	mg/kg T	116	120	104	96	109	99	33	39
Zn	mg/kg T	36	37	38	35	36	34	28	5
Cu	mg/kg T	13	12	13	13	12	12	7	39
MPL <sup>1)</sup>	mm	38	62	148	32	61	141	13	1,3

<sup>1)</sup> MPL = mittlere Partikellänge.

hinsichtlich Verdaulichkeit (71–72%) der OM und Energiekonzentration (5,9–6,0 MJ NEL/kg T) der Grassilagen auf. Die Verdaulichkeit von XF bzw. ADF lag bei Grassilage L auf tieferem Niveau als bei H und K.

Für die Maissilage und das Kraftfutter ergab sich ein Energiegehalt von 6,3 bzw. 7,6 MJ NEL je kg Futtertrockenmasse.

### 3.2 Partikellänge der Futtermittel

Die mittleren Partikellängen der mit einer theoretischen Schnittlänge von 17 (H), 34 (K) und 90 mm (L) geernteten Grassilagen lagen bei niedrigem Trockenmasseniveau (T35) bei 38, 62 und 148 mm (Tab. 5). Bei hoher Anwelkstufe (T50) wurde in den Gruppen K und L mit 61 und 141 mm eine vergleichbare mittlere Partikellänge festgestellt. Die

Tab. 5. Partikellängenverteilung der Grassilagen und mittlere Partikellänge der Ration  
*Particle length distribution of grass silages as well as mean particle length of ration*

		H35	K35	L35	H50	K50	L50
<b>Partikellängenverteilung Grassilage</b>							
<4 mm	%	1,9	0,2	0,1	11,6	1,1	0,1
4,1–10 mm	%	4,3	0,8	2,2	10,9	5,4	2,3
10,1–20 mm	%	22,3	3,5	2,8	29,1	7,8	3,3
20,1–40 mm	%	33,0	20,9	9,9	29,2	21,8	6,6
40,1–60 mm	%	17,9	27,3	8,7	7,7	28,2	9,2
60,1–80 mm	%	9,3	16,7	11,6	5,8	14,8	9,9
80,1–120 mm	%	7,1	13,4	36,0	3,9	9,0	20,2
120,1–160 mm	%	1,8	8,7	18,6	1,7	5,2	19,8
>160 mm	%	2,4	8,5	10,1	0,0	6,7	28,7
<b>MPL<sup>1)</sup> Grassilage</b>	mm	38	62	148	32	61	141
<b>MPL Grundfütterration (60% GS + 40% MS)</b>	mm	28	42	94	24	42	89
<b>MPL Gesamtration K25<sup>2)</sup></b>	mm	21	32	71	18	31	67
<b>K55<sup>2)</sup></b>	mm	13	20	43	12	19	41

<sup>1)</sup> MPL = mittlere Partikellänge.

<sup>2)</sup> 25% (K25) bzw. 55% (K55) Kraftfutteranteil in der Gesamtration.

Gruppe H lag bei hoher Anwelkstufe mit 32 mm dagegen auf tieferem Niveau. Die Maissilage wies eine mittlere Partikellänge von knapp 13 mm und das Kraftfutter von 1,3 mm auf. Für die Grundfütterationen ergab sich für die Gruppen H, K und L bei niedriger Anwelkstufe der Grassilage eine mittlere Partikellänge von 28, 42 und 94 mm und von 24, 42 und 89 mm bei hoher Anwelkstufe. Mit steigendem Kraftfutteranteil (25% auf 55% in der Ration) ging die mittlere Partikellänge der Gesamtration um durchschnittlich 38% deutlich zurück. In den Gruppen H, K und L lag sie bei niedriger Anwelkstufe und geringer Kraftfütterergänzung bei 21, 32 und 71 mm und hoher Kraftfütterergänzung (K55) bei 13, 20 und 43 mm. Vergleichbare Ergebnisse zeigten sich auch bei hohem Anwelkgrad der Grassilagen.

### 3.3 Untersuchungen mit pansenfistulierten Rindern

#### Futteraufnahme und Rationskriterien

In Tabelle 6 sind die Ergebnisse der Futter- und Nährstoffaufnahme für die Haupteffekte des Versuchs mit fistulierten Rindern angeführt. Wechselwirkungen zwischen den Versuchsfaktoren wurden nur vereinzelt festgestellt.

Das Ernteverfahren der Grassilagen beeinflusste weder die Futter- noch die Nährstoffaufnahme der Tiere. Im Durchschnitt wurde eine Grund- und Gesamtfutteraufnahme von 7,8 bzw. 13,2 kg T festgestellt. Die tägliche Energieaufnahme lag bei 79 MJ ME aus dem Grundfutter und 144 MJ ME aus der Gesamtration. Die auf Basis der Hammelversuche errechnete Energiekonzentration der Gesamtration betrug 11,0 MJ ME/kg T in den Gruppen H und K und 10,8 MJ/kg T in Gruppe L. Bei der Bewertung der Struktur- und Kohlenhydratversorgung wurde kein Einfluss des Ernteverfahrens auf diese Parameter festgestellt.

Der Anwelkgrad der Grassilagen beeinflusste die Grassilageaufnahme signifikant. Bei T50 wurde eine tägliche Grassilageaufnahme von 4,2 kg T festgestellt. Bei T35 lag diese mit 4,8 kg T um 0,6 kg T signifikant über Gruppe T50. Im Gegensatz dazu nahmen die Tiere in T50 geringfügig mehr Maissilage auf. Es wurde daher in der Grund- und Kraft-

futter- sowie in der Gesamtnährstoffaufnahme kein Effekt der Trockenmasse der Grassilage festgestellt. Die höhere Maissilageaufnahme in Gruppe T50 führte zu einer signifikant höheren Energiekonzentration der Ration. Die Versorgung mit Strukturkohlenhydraten war in T50 erhöht.

Die Erhöhung des Kraftfutteranteils in der Ration von 25 auf 55% (K25 bzw. K55) führte zu einer Reduktion der täglichen Grundfutteraufnahme von 9,0 auf 6,6 kg T und zu einem Anstieg der Gesamtfutteraufnahme von 12,0 auf 14,6 kg T. Unter Berücksichtigung des fixen Effektes „Tier“ und der Lebendmasse als Regressionsvariable im statistischen Modell, errechnet sich eine mittlere Verdrängung des Grundfutters von 0,44 kg T ( $P < 0,05$ ,  $R^2 = 0,71$ ) bzw. eine Zunahme der Gesamtfutteraufnahme von 0,56 kg T pro zusätzlichem kg T Kraftfutter ( $P < 0,05$ ,  $R^2 = 0,83$ ). Auf hohem Kraftfutterniveau wurden höhere Energie-, Rohprotein- und NFC-Aufnahmen festgestellt. Die Aufnahme an Gerüstsubstanzen unterschied sich zwischen den Kraftfuttergruppen (K25 bzw. K55) zwar hinsichtlich der Futterquelle (Grundfutter oder Kraftfutter), jedoch nicht hinsichtlich der Gesamtmenge pro Tag. Die Energiekonzentration (10,6 bzw. 11,2 MJ ME/kg T) und die Konzentration der Nichtstrukturkohlenhydrate (352 bzw. 409 g/kg T) lag in K55 signifikant über K25, der Gehalt an Strukturkohlenhydraten ging von K25 auf K55 zurück. Die Rohfaser- bzw. NDF- und ADF-Gehalte lagen in Gruppe K25 bei 19 bzw. 41 und 24% und in Gruppe K55 bei 16 bzw. 34 und 19%. Auch die errechneten Gehalte an strukturierter Rohfaser (12 bzw. 8%/kg T) und an strukturwirksamer Rohfaser (18 bzw. 11%/kg T) sowie der Strukturwert (2,0 bzw. 1,3) gingen von Gruppe K25 auf K55 signifikant zurück.

#### Parameter der Pansenfermentation und Verdaulichkeit der Gesamtration

Weder durch das Ernteverfahren (H, K, L) noch durch den Trockenmassegehalt der Grassilagen (T35 bzw. T50) wurden die untersuchten Parameter der Pansenfermentation wesentlich beeinflusst (Tab. 7 und Abb. 1).

Nach der Gefrierlagerung ( $-18^\circ\text{C}$ , 3–5 Monate) der Pansensaftproben wurde ein höherer pH-Wert als bei der unmittelbaren Untersuchung nach der Entnahme festgestellt. Im Durchschnitt aller Gruppen ergab sich in der frischen Pansensaftprobe ein pH-Wert von 6,3 und nach der Gefrierlagerung ein Wert von 6,8. Die Azidität und Alkalität lagen bei 12 bzw. 100 mmol/l. Im Mittel wurde eine Essigsäurekonzentration von 70 mmol/l festgestellt. Im Vergleich zu Gruppe H lag die Essigsäurekonzentration in L tendenziell auf höherem Niveau (69 bzw. 71 mmol/l). Die Propion- bzw. Buttersäurekonzentration betrug im Mittel 20 bzw. 14 mmol/l.

Auf hohem Kraftfutterniveau (K55) wurde im Vergleich zu K25 im Tagesmittel ein signifikant tieferer pH-Wert (6,2 bzw. 6,4) festgestellt. Der Essigsäuregehalt stieg von 67 auf 73, der von Propionsäure von 17 auf 24 und der von Buttersäure von 12 auf 15 mmol/l an. Entsprechend dem pH-Wert stiegen auch die Azidität (7 auf 16 mmol/l) und die Alkalität (96 auf 105 mmol/l) von Gruppe K25 auf K55 an. Die  $\text{NH}_3$ -Konzentration lag in Gruppe K55 auf höherem Niveau als in K25.

Im tageszeitlichen Verlauf lagen, mit Ausnahme der Proben um 4:00 Uhr, die pH-Werte der Gruppe K55 immer signifikant auf tieferem Niveau als in K25. Die größten Differenzen zwischen den Kraftfutterniveaus wurden 4–7 Stunden nach Fütterungsbeginn festgestellt. Nach der Morgenfütterung wurde um 10:00 Uhr der tiefste pH-Wert mit 6,3 bzw. 5,9 für Gruppe K25 bzw. K55 festgestellt. Vor Beginn der Abendfütterung lag der Wert in K55 noch signifikant unter K25. Nach der Abendfütterung zeigten sich, etwas verzögert als morgens, erst um 21:00 Uhr die tiefsten pH-Werte mit 6,2 (K25) und 5,8 (K55). Bis zur folgenden Morgenfütterung stieg der pH-Wert in beiden Kraftfuttergruppen wieder auf vergleichbares Niveau an.

Mit Ausnahme der Proben um 4:00 und 6:00 Uhr war die Essigsäurekonzentration des Pansensaftes in K55 signifikant höher als in K25. Die Propionsäurekonzentration war im



Tab. 7. Parameter der Pansenfermentation und Verdaulichkeit der Ration – pansenfistulierte Rinder (Haupteffekte)  
Parameters of ruminal fermentation and digestibility of diets – ruminally fistulated cattle (main effects)

	Ernteverfahren (PL <sub>1</sub> )				Trockenmasse (T)				Kraftfutter (K)				P-Werte					
	H	K	L		35	50	75	90	25	55	85	95	PL	T	K	PL × T	PL × K	T × K
<b>Zusatzmittelwerte</b>																		
pH-Wert (Früschprobe)	6,31	6,33	6,28		6,32	6,30	6,44	6,18	6,18	0,15			0,461	0,683	<0,001	0,939	0,685	0,066
pH-Wert (nach Gefrierung)	6,78	6,84	6,69		6,75	6,78	6,97	6,57	6,57	0,21			0,047	0,587	<0,001	0,915	0,380	0,691
Azidität		11,5	11,1	12,8	11,8	11,8	7,2	16,4	3,9				0,322	0,936	<0,001	0,600	0,823	0,205
Alkalität	99,1	101,6	100,0		100,2	100,2	95,9	104,5	10,7				0,725	0,996	<0,001	0,767	0,884	0,258
Essigsäure	69,1	69,7	70,8		69,0	70,8	66,5	73,2	6,7				0,047	0,587	<0,001	0,915	0,380	0,348
Propionsäure	20,0	20,2	21,1		20,8	20,1	16,9	24,0	3,0				0,373	0,358	<0,001	0,856	0,581	0,697
Buttersäure	14,0	13,8	13,8		14,1	13,6	12,4	15,3	2,2				0,910	0,405	<0,001	0,560	0,460	0,020
NH <sub>3</sub>	21,5	20,9	22,7		22,3	21,1	18,5	24,9	4,3				0,339	0,282	<0,001	0,341	0,902	0,438
<b>pH-Wert (Früschprobe)</b>																		
1:00	6,48	6,45	6,41		6,49	6,41	6,56	6,33	0,18				0,655	0,212	0,001	0,884	0,427	0,249
4:00	6,80	6,75	6,77		6,79	6,76	6,81	6,74	0,70				0,817	0,635	0,390	0,802	0,155	0,458
6:00	6,52	6,57	6,54		6,57	6,51	6,60	6,48	0,19				0,772	0,395	0,087	0,661	0,869	0,752
8:00	6,14	6,23	6,25		6,18	6,23	6,34	6,07	0,18				0,303	0,387	<0,001	0,384	0,821	0,180
10:00	6,06	6,07	6,12		6,09	6,07	6,26	5,91	0,27				0,820	0,870	0,001	0,864	0,835	0,569
13:00	6,40	6,31	6,30		6,39	6,28	6,53	6,14	0,29				0,635	0,299	0,001	0,737	0,498	0,371
15:00	6,52	6,61	6,47		6,55	6,52	6,67	6,40	0,20				0,231	0,638	0,001	0,838	0,876	0,973
17:00	6,10	6,11	6,09		6,02	6,17	6,19	6,01	0,19				0,983	0,037	0,009	0,801	0,913	0,285
19:00	6,08	6,11	6,01		6,01	6,13	6,24	5,90	0,27				0,663	0,222	0,001	0,709	0,437	0,62
21:00	6,06	6,08	5,86		6,04	5,96	6,19	5,81	0,27				0,118	0,379	<0,001	0,814	0,965	0,158
23:00	6,20	6,32	6,14		6,25	6,19	6,39	6,05	0,74				0,201	0,473	<0,001	0,965	0,361	0,320
<b>Verdaulichkeit</b>																		
dOM	%	75,3	74,3	74,8		76,0	73,6	74,0	75,5	2,93			0,716	0,032	0,138	0,328	0,283	0,989
dXL	%	68,3	63,6	66,7		68,2	64,2	67,0	65,5	5,90			0,185	0,074	0,468	0,145	0,685	0,373
dXF	%	64,0	62,9	62,8		65,0	61,5	66,7	59,8	4,55			0,793	0,043	<0,001	0,143	0,254	0,946
dNDF	%	62,1	60,4	60,8		62,4	59,8	62,8	59,4	4,64			0,684	0,123	0,047	0,233	0,242	0,596
dADF	%	61,6	61,0	60,8		62,7	59,7	63,2	59,1	4,96			0,927	0,106	0,024	0,316	0,200	0,724
ME <sup>1)</sup>	ME/kg T	10,88	10,71	10,79		10,95	10,64	10,62	10,97	0,13			0,016	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,490

<sup>1)</sup> Energiegehalt der Gesamration errechnet aus den Ergebnissen des Verdauungsversuchs mit Rindern bei ad libitum Fütterung.

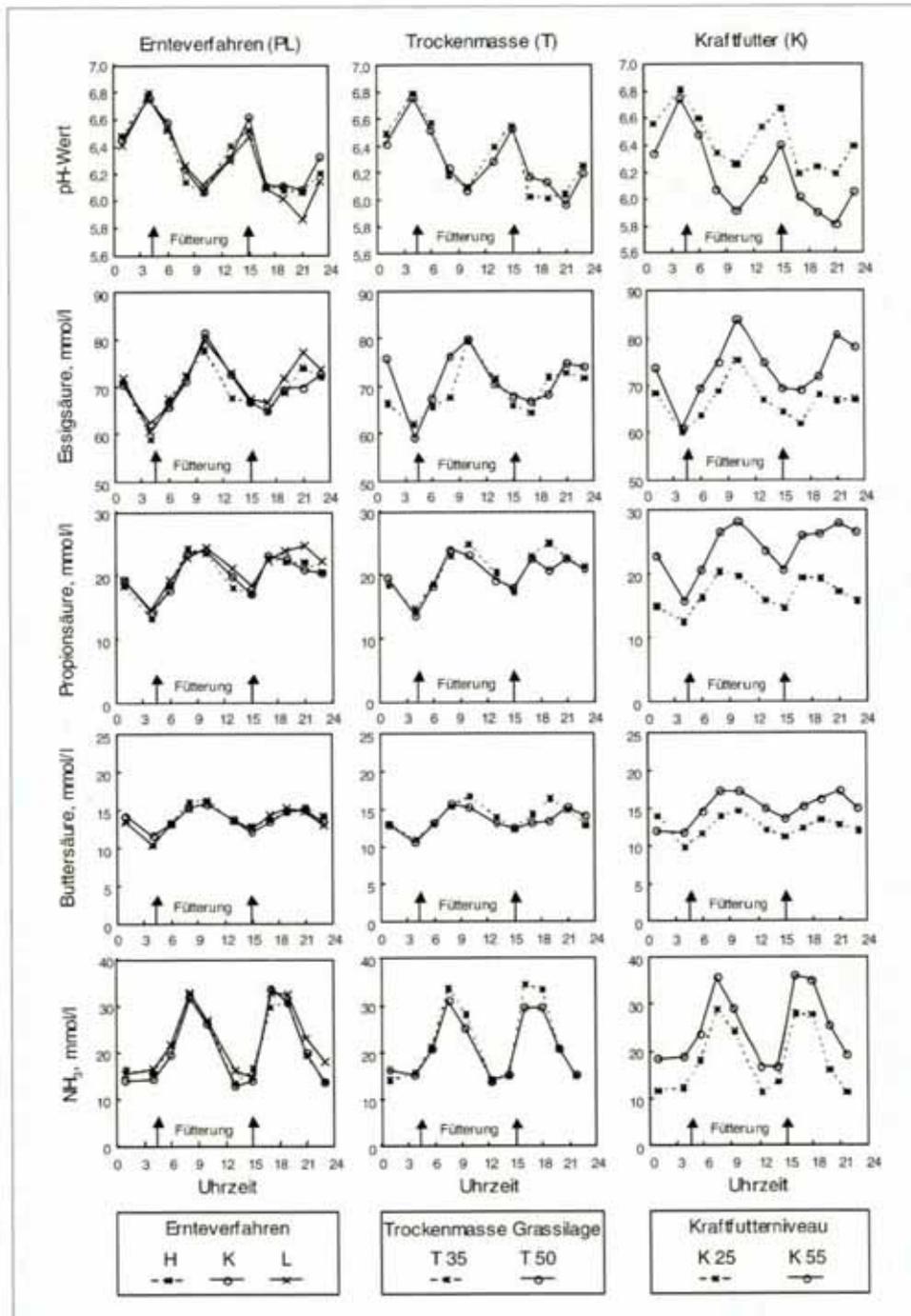


Abb. 1. Pansenparameter im tageszeitlichen Verlauf – pansenfistulierte Rinder  
*Ruminal fermentation parameters in the course of the day – ruminally fistulated cattle*

Verlauf des Tages in Gruppe K55 immer höher als in K25. Ein vergleichbares Bild zeigte sich auch bei der Buttersäure.

Die mit den Rindern bei ad libitum-Fütterung ermittelte Verdaulichkeit der Rohnährstoffe der Gesamtration wurde vom Ernteverfahren der Grassilage nicht beeinflusst. Der errechnete Energiegehalt der Rationen lag jedoch bei Gruppe H mit 10,9 MJ ME/kg T leicht über dem der Gruppen K und L (10,7 und 10,8 MJ ME).

Bei hoher Grassilagentrockenmasse (T50) wurde im Vergleich zu T35 eine signifikante Verringerung der Verdaulichkeit der OM und der XF der Gesamtration festgestellt. Tendenziell lagen auch die Verdaulichkeiten von XL, NDF und ADF auf niedrigerem Niveau. Der Energiegehalt der Gesamtration lag in Gruppe T35 mit 11,0 MJ ME/kg T signifikant über T50, wo eine Energiekonzentration von 10,6 MJ ME /kg T festgestellt wurde.

Bei hohem Kraftfutterniveau (K55) wurde im Vergleich zu K25 eine geringere Verdaulichkeit der XF (67 bzw. 60%), der NDF (63 bzw. 59%) und der ADF (63 bzw. 59%) festgestellt. Die Energiekonzentration der Gesamtration stieg von 10,6 (K25) auf 11,0 MJ ME/kg T (K55) an.

*(Zusammenfassungen und Literaturverzeichnis folgen in der 2. Mitteilung)*