

Aus dem Institut für Tierernährung und Ernährungsphysiologie  
der Justus-Liebig-Universität Gießen und  
dem Institut für Tierernährung  
der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig

---

**Nährstoffumsetzungen  
im Verdauungstrakt des Rindes  
nach Einsatz unterschiedlicher  
Mengen an Mais- oder  
Weizenstärke**

**I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n**  
zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. agr.)  
des Fachbereichs Agrarwissenschaften, Ökotoxikologie und  
Umweltmanagement der Justus-Liebig-Universität Gießen

eingereicht  
von Dipl.- Ing. agr. Angelika Matthé

Braunschweig 2001

Dissertation im Fachbereich Agrarwissenschaften, Ökotoxikologie und  
Umweltmanagement der Justus-Liebig-Universität Gießen

Tag der Disputation: 18. Mai 2001

Dekan: Prof. Dr. P. Schmitz

**Wissenschaftliche Betreuung:**

1. Dr. sc. agr. P. Lebzien (FAL)
2. Prof. Dr. habil. G. Flachowsky (FAL)
3. Prof. Dr. habil. E. Weigand (Univ. Gießen)

**Prüfungskommission:**

Vorsitzender:	Prof. Dr. V. Dzapo (Univ. Gießen)
1. Gutachter:	Prof. Dr. E. Weigand (Univ. Gießen)
2. Gutachter:	Prof. Dr. G. Flachowsky (FAL)
Prüfer:	Prof. Dr. J. Pallauf (Univ. Gießen)
Prüfer:	Prof. Dr. W. Opitz von Boberfeld (Univ. Gießen)

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>I</b>	<b>Verzeichnis der Abbildungen.....</b>	<b>V</b>
<b>II</b>	<b>Verzeichnis der Tabellen .....</b>	<b>VII</b>
<b>III</b>	<b>Verzeichnis der Abkürzungen .....</b>	<b>XIII</b>
<b>1</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>LITERATURÜBERSICHT .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>Glucosebedarf.....</b>	<b>3</b>
2.1.1	Wichtige Stoffwechselwege der Glucose .....	3
2.1.2	Ableitung des Glucosebedarfs .....	4
<b>2.2</b>	<b>Stärke als Glucose- und Energielieferant .....</b>	<b>5</b>
<b>2.3</b>	<b>Stärkeverdauung beim Wiederkäuer.....</b>	<b>6</b>
2.3.1	Ruminaler Stärkeabbau .....	6
2.3.1.1	Einfluss verschiedener Faktoren auf den ruminalen Stärkeabbau .....	6
2.3.1.2	Einfluss der Stärke auf die Pansenfermentation .....	9
2.3.2	Hydrolyse der Stärke und Absorption der Glucose im Dünndarm .....	11
2.3.2.1	Hydrolyse der Stärke.....	12
2.3.2.2	Absorption der Glucose .....	12
2.3.2.3	Umfang der Stärkeverdauung im Dünndarm und begrenzende Faktoren.....	13
2.3.3	Verdauung im Dickdarm.....	18
<b>2.4</b>	<b>Gluconeogenese .....</b>	<b>19</b>
<b>2.5</b>	<b>Hormonelle Regulation der Gluconeogenese und der Blutglucose .....</b>	<b>22</b>
<b>2.6</b>	<b>Energetische Effizienz der Glucosebereitstellung.....</b>	<b>24</b>
<b>2.7</b>	<b>Fütterungsversuche und Leistungsdaten .....</b>	<b>27</b>
<b>2.8</b>	<b>Ableitung der Aufgabenstellung.....</b>	<b>30</b>

<b>3</b>	<b>MATERIAL UND METHODEN.....</b>	<b>31</b>
<b>3.1</b>	<b>Überblick über die durchgeführten Versuche.....</b>	<b>31</b>
<b>3.2</b>	<b>Versuch 1.....</b>	<b>31</b>
3.2.1	Versuchsaufbau .....	31
3.2.2	Versuchstiere, Fütterung und Haltung.....	32
<b>3.3</b>	<b>Versuch 2.....</b>	<b>34</b>
3.3.1	Versuchsaufbau .....	34
3.3.2	Versuchstiere, Operationstechnik, Lebendmasseentwicklung und Aufstallung .....	35
3.3.3	Rationszusammensetzung und Nährstoffversorgung .....	37
<b>3.4</b>	<b>Versuch 3.....</b>	<b>38</b>
3.4.1	Versuchsaufbau .....	38
3.4.2	Versuchstiere, Operationstechnik, Lebendmasseentwicklung und Aufstallung .....	39
3.4.3	Rationszusammensetzung und Nährstoffversorgung .....	39
<b>3.5</b>	<b>Methoden.....</b>	<b>40</b>
3.5.1	Pansenphysiologische Parameter .....	40
3.5.2	Applikation bzw. Infusion der Stärke im Versuch 2 und 3 .....	41
3.5.2.1	Stärke-Applikation im Versuch 2.....	41
3.5.2.2	Stärke-Infusion im Versuch 3.....	41
3.5.3.	Nährstoff-Fluss am Dünndarm.....	44
3.5.3.1	Herstellung und Verabreichung des Flussmarkers .....	44
3.5.3.2	Gewinnung und Aufbereitung der Chymusproben .....	45
3.5.4	Gesamtverdaulichkeit der Ration bzw. bestimmter Nährstoffe .....	46
3.5.4.1	Verdauungsversuch im Versuch 1.....	46
3.5.4.2	Kotsammlung im Versuch 2 und 3.....	47
3.5.5	Blutprobenentnahmen .....	47
<b>3.6</b>	<b>Chemische Analysenmethoden.....</b>	<b>48</b>
3.6.1	Weender-Rohnährstoffe .....	48
3.6.2	Stärke.....	48
3.6.3	Amylose-Gehalt in Mais- und Weizenstärke .....	49
3.6.4	Freie Glucose im ilealen Darmchymus .....	49

3.6.5	Chrom.....	50
3.6.6	pH-Wert im Pansen- und Duodenalsaft .....	51
3.6.7	Flüchtige Fettsäuren im Pansensaft.....	51
3.6.8	Ammoniak-Stickstoff im Pansensaft.....	51
3.6.9	Konzentration der Blutglucose.....	51
3.6.10	Milchinhaltsstoffe.....	52
<b>3.7</b>	<b>Statistische Auswertung.....</b>	<b>52</b>
<b>4</b>	<b>ERGEBNISSE .....</b>	<b>55</b>
<b>4.1</b>	<b>Versuch 1.....</b>	<b>55</b>
4.1.1	Versuchsverlauf, Roh Nährstoffgehalte der Futtermittel, Futteraufnahme und Milchleistung .....	55
4.1.2	Pansenphysiologische Untersuchungen .....	57
4.1.3	Nährstoff-Fluss am Duodenum .....	61
4.1.4	Verdaulichkeit der Nährstoffe im Gesamttrakt .....	64
<b>4.2</b>	<b>Versuch 2.....</b>	<b>67</b>
4.2.1	Versuchsverlauf, Roh Nährstoffgehalt der Futtermittel und Futteraufnahme .....	67
4.2.2	Charakterisierung der Vormagenverhältnisse .....	69
4.2.3	Nährstoff-Flüsse am Duodenum und Ileum sowie Nährstoffausscheidung mit dem Kot und daraus errechnete Verdaulichkeiten .....	70
4.2.3.1	Organische Substanz .....	71
4.2.3.2	Stärke.....	75
4.2.3.3	Rohfaser .....	79
4.2.4	Freie Glucose im Dünndarm .....	82
4.2.5	Konzentration der Blutglucose.....	82
<b>4.3</b>	<b>Versuch 3.....</b>	<b>83</b>
4.3.1	Versuchsverlauf, Roh Nährstoffgehalt der Futtermittel und Futteraufnahme .....	83
4.3.2	Charakterisierung der Vormagenverhältnisse .....	86
4.3.3	Nährstoff-Flüsse am Duodenum und Ileum sowie Nährstoffausscheidung mit dem Kot und daraus errechnete Verdaulichkeiten .....	87
4.3.3.1	Organische Substanz .....	88
4.3.3.2	Stärke.....	92
4.3.3.3	Rohfaser .....	96

4.3.4	Freie Glucose im Dünndarm .....	99
4.3.5	Konzentration der Blutglucose.....	100
<b>5</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>101</b>
<b>5.1</b>	<b>Methodenkritik.....</b>	<b>101</b>
<b>5.2</b>	<b>Pansenfermentation .....</b>	<b>102</b>
5.2.1	Pansenphysiologische Untersuchungen .....	102
5.2.2	Ruminale Verdaulichkeiten bzw. Nährstoff-Fluss am Duodenum .....	106
<b>5.3</b>	<b>Hydrolyse und Absorption verschiedener Nährstoffe im Dünndarm.....</b>	<b>109</b>
<b>5.4</b>	<b>Verdaulichkeit im Gesamtrakt bzw. Gesamtdarm.....</b>	<b>117</b>
<b>5.5</b>	<b>Energetische Effizienz der Glucosebereitstellung .....</b>	<b>121</b>
<b>5.6</b>	<b>Fütterungsversuche und Leistungsdaten .....</b>	<b>126</b>
<b>5.7</b>	<b>Schlussfolgerungen.....</b>	<b>127</b>
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>130</b>
<b>7</b>	<b>SUMMARY .....</b>	<b>134</b>
<b>8</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>138</b>
<b>9</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>157</b>

## I Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1:	Bedeutende Stoffwechselprozesse in der Milchdrüse der Milchkuh .....	3
Abbildung 2:	Beziehung zwischen der Fermentierbarkeit im Pansen und der Dünndarmverdaulichkeit von Stärke (NOCEK und TAMMINGA 1991) .....	16
Abbildung 3:	Einfluss der Höhe der Stärkeinfusion in den Dünndarm auf die Höhe der Glucoseabsorption (KREIKEMEIER et al. 1991) .....	16
Abbildung 4:	Glucosesynthese in der Leber (linke schraffierte Säulen) und Anteile verschiedener Ausgangsstoffe an der Synthese (rechte Säulen) nach Verabreichung von 0, 2 und 4 kg ruminal abbaubarer Stärke aus Maisflocken pro Tier und Tag (nach De VISSER 1997) .....	21
Abbildung 5:	Zentrale Stellung des Oxalacetats zwischen Citratzyklus und Gluconeogenese (nach VOET und VOET 1994) .....	22
Abbildung 6:	Schema zur Steuerung des Glucosestoffwechsels (+ positive, - negative Beeinflussung) .....	23
Abbildung 7:	Versuchsanordnung bei der duodenalen Stärke-Infusion .....	43
Abbildung 8:	Aufbau der Infusionsapparatur mit Stärkelösungen, Heizplatten, Pumpe und Versuchstier .....	44
Abbildung 9:	Mittlerer Verlauf des pH-Wertes im Pansensaft der Tiere (MW±SD; n=3) während der ersten 5 Stunden nach Fütterungs- beginn (gemittelt über die Adaptationszeiten 14 bzw. 35 d; *p≤0,05; **p≤0,01) .....	58
Abbildung 10:	Mittlerer Verlauf des pH-Wertes nach 14 bzw. 35 Tagen Adaptation an die kraftfutterreichen Rationen (MW±SD; n=3; gemittelt über die Rationen Mais und Weizen; *p≤0,05) .....	59
Abbildung 11:	Verlauf der NH <sub>3</sub> -N-Konzentration (mg/l) im Pansensaft der Milchkühe (MW±SD; n=3; gemittelt über die Adaptationszeiten 14 d bzw. 35 d) .....	60
Abbildung 12:	Scheinbare Verdaulichkeit der Nährstoffe im Gesamttrakt (MW ± SD; n=3; Werte in Tabelle 8 im Anhang) .....	64
Abbildung 13:	Scheinbare Verdaulichkeit der applizierten Stärke vom proximalen Duodenum bis zum terminalen Ileum (in % der Zufuhr; MW±SD; n=4) .....	77
Abbildung 14:	Scheinbare Verdaulichkeit der applizierten Stärke vom proximalen Duodenum bis zum Ende des Rectums (in % der Zufuhr; MW±SD; n=4) .....	79

Abbildung 15: Scheinbare Verdaulichkeit der infundierten Stärke vom proximalen Duodenum bis zum terminalen Ileum (in % der Zufuhr; MW±SD; n=4).....	94
Abbildung 16: Scheinbare Verdaulichkeit der infundierten Stärke vom proximalen Duodenum bis zum Ende des Rectums (in % der Zufuhr; MW±SD; n=4).....	96
Abbildung 17: Einfluss der Menge an Bypass-Stärke auf die Stärkeverdaulichkeit im Dünndarm (AXE et al. 1987; BOCK et al. 1991; BRANCO et al. 1999; HIBBERD et al. 1985; KARR et al. 1966; ZINN et al. 1988, 1989 und 1990; eigene Ergebnisse: Versuch 2: Kreise in der Abb.; Versuch 3: Dreiecke in der Abb.).....	113
Abbildung 18: Relative energetische Effizienz von Stärke bei Milchkühen in Abhängigkeit von der Höhe der Starkeaufnahme (3000 g/d; 6000 g/d) und dem Stärkeabbau im Pansen (100 % = vollständige Fermentation im Pansen) .....	122
Abbildung 19: Energetische Effizienz der Stärkenutzung in Abhängigkeit von der Stärkemenge am Dünndarm .....	125

## II Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1:	Mittlere tägliche Protein-, Fett und Lactoseausscheidung (kg) von Milchkühen (FLACHOWSKY 1999).....	4
Tabelle 2:	Mittlere Stärkegehalte einiger ausgewählter Futtermittel (nach JEROCH et al. 1993).....	5
Tabelle 3:	Ausmaß des ruminalen Stärkeabbaus von ausgewählten Futtermitteln (nach verschiedenen Autoren).....	7
Tabelle 4:	In sacco-Abbaubarkeit der Trockensubstanz verschiedener Körnermaissorten (nach FLACHOWSKY et al. 1992; n=14, 24 h Inkubationszeit).....	8
Tabelle 5:	Einfluss verschiedener Aufbereitungsverfahren von Mais auf die Menge an Bypass-Stärke und die Gesamtverdaulichkeit der Stärke bei Rindern (nach THEURER 1986).....	9
Tabelle 6:	Einfluss der Stärkequelle und ihres Anteils an der Ration (T) auf den pH-Wert im Pansen (nach JENTSCH et al. 1992 und FLACHOWSKY 1994a).....	10
Tabelle 7:	Einfluss der Getreideart auf den pH-Wert und die Anteile an flüchtigen Fettsäuren im Pansen (PHILLIPEAU et al. 1999; Störkeaufnahme 3,1 (Mais) bzw. 3,4 kg (Weizen); n=6).....	11
Tabelle 8:	Transportmechanismen zur Glucoseabsorption aus dem Dünndarm nach Infusion (nach Berechnung von HUNTINGTON (1997) aus Daten von KREIKEMEIER et al. (1991) mittels Michaelis-Menten-Gleichung).....	13
Tabelle 9:	Übersicht über Versuche zur Bestimmung der Stärkeverdaulichkeit im Dünndarm bei Rindern (nach verschiedenen Autoren).....	14
Tabelle 10:	Mittelwerte und Standardabweichungen der Keimzahlen für E. coli (log <sub>10</sub> CFU/g) bei bypass-stärkereicher und nachfolgender bypass- stärkearmer Fütterung (GOLLNISCH et al. 2000a).....	19
Tabelle 11:	Beeinflussung der Schlüsselenzyme für die Gluconeogenese (LÖFFLER und PETRIDES 1997).....	24
Tabelle 12:	Modellrechnung zur Verabreichung von Mais und Gerste in der frühen Laktation (Unterstellungen: 30 kg Milch pro Tag; Glucosebedarf: 2,0 kg pro Tag; Futteraufnahme: 17 kg T pro Tag; FETT 1988).....	25

Tabelle 13:	Kalkulation der Glucoseversorgung der Hochleistungskuh bei Verfütterung von Mais und Weizen (Unterstellungen: Milchleistung: 40 kg pro Tag, Glucosebedarf: 3,0 kg pro Tag, Kraftfutteraufnahme: 8 kg T pro Tag; LEBZIEN et al. 1997).....	26
Tabelle 14:	Energetische Betrachtung zur Glucosebereitstellung bei der Milchkuh (in % des Energiegehaltes von Glucose: 15,7 kJ/g) .....	26
Tabelle 15:	Milchleistung nach Einsatz verschiedener Stärkequellen (Weizen/Gerste als schnell abbaubare, Mais/Sorghum als langsam abbaubare Stärkequelle).....	27
Tabelle 16:	Leistungsmerkmale nach abomasaler Infusionen von Glucose, Sojaprotein oder einer Kombination aus beidem (DHIMAN et al. 1993; n=5) .....	29
Tabelle 17:	Milchleistung und Milchinhaltstoffe nach 14tägiger Infusion (Inf.) von 1,5 kg Stärke (KNOWLTON et al. 1998b; n=4).....	29
Tabelle 18:	Übersicht über die durchgeführten in vivo- Versuche .....	31
Tabelle 19:	Versuchsdesign im Versuch 1 .....	32
Tabelle 20:	Tägliche Milchleistung und –inhaltsstoffe der im Versuch 1 eingesetzten Milchkühe (n=3) zu Versuchsbeginn .....	33
Tabelle 21:	Verabreichte Mengen an Grassilage und Kraftfutter (auf T-Basis) im Versuch 1 .....	33
Tabelle 22:	Mischungsanteile des eingesetzten Kraftfutters.....	34
Tabelle 23:	Versuchsdesign im Versuch 2.....	35
Tabelle 24:	Lebendmasseentwicklung der vier Versuchsbullen.....	36
Tabelle 25:	Verabreichte Mengen an Maissilage und Luzerneheu (in kg) im Versuch 2 .....	37
Tabelle 26:	Versuchsdesign im Versuch 3 .....	38
Tabelle 27:	Lebendmasseentwicklung der vier Versuchskühe .....	39
Tabelle 28:	Verabreichte Mengen an Maissilage und Luzerneheu (in kg) im Versuch 3 .....	40
Tabelle 29:	Darmsaftsammeltage während der durchgeführten Versuche .....	45
Tabelle 30:	Pipettierschema zur Bestimmung der freien Glucose nach Megazyme.....	50
Tabelle 31:	Symbole, Grenzwerte und Bedeutung der statistischen Sicherung der F-Werte .....	54
Tabelle 32:	Rohnährstoff- und Stärkegehalte der im Versuch 1 eingesetzten Futtermittel (MW ± SD; <sup>1</sup> n=4; <sup>2</sup> n=2) .....	55
Tabelle 33:	Mittlere tägliche Rohnährstoff- und Stärkeaufnahmen (kg/d) der Milchkühe in den Verdauungsversuchen (MW ± SD; n=3) .....	56

Tabelle 34:	Mittlere tägliche Rohrnährstoff- und Stärkeaufnahmen (kg/d) der Milchkühe in den Darmsaftsammelwochen (MW $\pm$ SD; n=3).....	56
Tabelle 35:	Tägliche Energie- und nXP-Aufnahme, Energiegehalte der Rationen (Grassilage + Kraftfutter) sowie ruminale N-Bilanz (RNB) (nach DLG-Futterwerttabelle 1997; GfE 2000) .....	57
Tabelle 36:	Milchleistung und Gehalt an Milchinhaltsstoffen der Kühe (MW $\pm$ SD; n=3).....	57
Tabelle 37:	Gesamtfettsäurenkonzentration sowie molare Anteile der einzelnen flüchtigen Fettsäuren im Pansensaft der Milchkühe drei Stunden nach Beginn der Morgenfütterung (MW $\pm$ SD; n=3; gemittelt über die Adaptationszeiten von 14 bzw. 35 d).....	60
Tabelle 38:	Mittelwerte der NH <sub>3</sub> -N-Konzentration (mg/l) im Pansensaft nach 14 bzw. 35 Tagen Adaptation, gemittelt über beide Rationen mit Mais und Weizen, (MW $\pm$ SD; n=3).....	61
Tabelle 39:	Nährstoff-Fluss am proximalen Duodenum der Kühe (MW $\pm$ SD; n=3; gemittelt über die Adaptationszeiten von 21 d bzw. 42 d).....	62
Tabelle 40:	Verdaulichkeit (%) der Nährstoffe bis zum Duodenum nach 21 bzw. 42 Tagen Adaptation (A) an die Rationen (MW $\pm$ SD; n=3).....	63
Tabelle 41:	Rohproteinfluss und nXP in g am Duodenum der Kühe (MW $\pm$ SD; n=3; gemittelt über die Adaptationszeiten von 21 d und 42 d).....	64
Tabelle 42:	Scheinbare Gesamtverdaulichkeit der Nährstoffe nach 14 bzw. 35 Tagen Adaptation (A) an die Rationen (MW $\pm$ SD; n=3).....	65
Tabelle 43:	Verdaulichkeit der Trockensubstanz, organischen Substanz, Rohfaser und Stärke im Pansen, Darm und Gesamttrakt im Versuch 1 (MW $\pm$ SD; n=3).....	66
Tabelle 44:	Anteil der Diaminopimelinsäure (DAPA) in % am gesamten Rohprotein in den Kotproben im Versuch 1 (MW $\pm$ SD; n=3).....	66
Tabelle 45:	Rohnährstoff- und Stärkegehalte der Maissilage, des Luzerneheus und der eingesetzten Mais- bzw. Weizenstärke im Versuch 2 (MW $\pm$ SD; n=5).....	67
Tabelle 46:	Mittlere Rohrnährstoff- und Stärkeaufnahme (kg/d) der Bullen (MW $\pm$ SD; n=4) ohne Stärke-Applikation.....	68
Tabelle 47:	Mittlere Rohrnährstoff- und Stärkezufuhr (kg/d) der Bullen (MW $\pm$ SD; n=4) einschließlich duodенaler Stärke-Applikation .....	68
Tabelle 48:	Tägliche Energieaufnahme (ME) und Energiegehalt pro kg T im Versuch 2 (n=4) .....	69
Tabelle 49:	pH-Wert und NH <sub>3</sub> -N-Konzentration im Pansensaft (PS) der Tiere im Versuch 2 (MW $\pm$ SD; n=4).....	69
Tabelle 50:	Gesamtfettsäurenkonzentration sowie molare Anteile der einzelnen flüchtigen Fettsäuren im Pansensaft der Bullen (MW $\pm$ SD; n=4).....	70

Tabelle 51:	Nährstoff (NS)-Fluss am und Verdaulichkeit bis zum Duodenum in der Vorperiode (MW $\pm$ SD; n=4) im Versuch 2 .....	70
Tabelle 52:	Mittlere Aufnahme in der Vorperiode und den Versuchsperioden und daraus kalkulierte Flussmengen an organischer Substanz, Stärke und Rohfaser sowie deren Ausscheidung mit dem Kot (MW $\pm$ SD; n=4) .....	71
Tabelle 53:	Zufuhr an organischer Substanz und ihre Flussmengen aus Ration bzw. aus Ration und Stärke-Applikation in g/d (n=4) .....	72
Tabelle 54:	Flussmengen an organischer Substanz am Ileum der Bullen nach Stärke-Applikation (n=4).....	73
Tabelle 55:	Ausscheidung an organischer Substanz mit dem Kot der Bullen nach Stärke-Applikation (n=4).....	74
Tabelle 56:	Zufuhr an Stärke und ihre Flussmengen aus Ration bzw. aus Ration und Stärke-Applikation in g/d (n=4) .....	75
Tabelle 57:	Flussmengen an Stärke am Ileum der Bullen nach Stärke-Applikation (n=4) .....	76
Tabelle 58:	Ausscheidung an Stärke mit dem Kot der Bullen nach Stärke-Applikation (n=4) .....	78
Tabelle 59:	Aufnahme an Rohfaser und ihre Flussmengen am Duodenum in g/d (n=4).....	80
Tabelle 60:	Flussmengen an Rohfaser am Ileum der Bullen nach Stärke-Applikation (n=4).....	80
Tabelle 61:	Ausscheidung von Rohfaser mit dem Kot der Bullen nach Stärke-Applikation (n=4).....	81
Tabelle 62:	Freie Glucose im ilealen Darmsaft (% der ilealen DS-T; MW $\pm$ SD; n=4).....	82
Tabelle 63:	Konzentration an Blutglucose (mmol/l) bei den Bullen zu verschiedenen Zeiten nach Fütterungsbeginn und Stärke-Applikation (n=4) .....	83
Tabelle 64:	Rohnährstoff- und Stärkegehalte der Maissilage, des Luzerneheus und der eingesetzten Mais- bzw. Weizenstärke im Versuch 3 (MW $\pm$ SD; n=5).....	84
Tabelle 65:	Mittlere Rohnährstoff- und Stärkeaufnahme (kg/d) der Milchkühe ohne Stärke-Infusion (MW $\pm$ SD; n=4).....	85
Tabelle 66:	Mittlere Rohnährstoff- und Stärkezufuhr (kg/d) der Milchkühe einschließlich duodenaler Stärke-Infusion (MW $\pm$ SD; n=4).....	85
Tabelle 67:	Tägliche Energieaufnahme (NEL) und Energiegehalt pro kg T im Versuch 3 (n=4) .....	86

Tabelle 68:	pH-Wert und NH <sub>3</sub> -N-Konzentration im Pansensaft (PS) im Versuch 3 (MW ± SD; n=4).....	86
Tabelle 69:	Gesamtfettsäurenkonzentration sowie molare Anteile der einzelnen flüchtigen Fettsäuren im Pansensaft der Kühe im Versuch 3 (MW ± SD; n=4).....	86
Tabelle 70:	Nährstoff (NS)-Fluss am und Verdaulichkeit bis zum Duodenum in der Vorperiode im Versuch 3 (MW ± SD; n=4) .....	87
Tabelle 71:	Mittlere Aufnahme in der Vorperiode und den Versuchsperioden und daraus kalkulierte Flussmengen an organischer Substanz, Stärke und Rohfaser sowie deren Ausscheidung mit dem Kot (MW ± SD; n=4) .....	88
Tabelle 72:	Zufuhr an organischer Substanz und ihre Flussmengen aus Ration bzw. aus Ration und Stärke-Infusion in g/d (n=4).....	89
Tabelle 73:	Flussmengen an organischer Substanz am Ileum der Kühe nach Stärke-Infusion (n=4) .....	90
Tabelle 74:	Ausscheidung an organischer Substanz mit dem Kot der Kühe nach Stärke-Infusion (n=4).....	91
Tabelle 75:	Zufuhr an Stärke und ihre Flussmengen aus Ration bzw. aus Ration und Stärke-Infusion in g/d (n=4).....	92
Tabelle 76:	Flussmengen der Stärke am Ileum der Kühe nach Stärke-Infusion (n=4) .....	93
Tabelle 77:	Ausscheidung von Stärke mit dem Kot der Kühe nach Stärke-Infusion (n=4) .....	95
Tabelle 78:	Aufnahme an Rohfaser und ihre Flussmengen am Duodenum in g/d (n=4).....	97
Tabelle 79:	Flussmengen an Rohfaser am Ileum der Kühe nach Stärke-Infusion (n=4) .....	97
Tabelle 80:	Ausscheidung an Rohfaser mit dem Kot der Kühe nach Stärke-Infusion (n=4) .....	98
Tabelle 81:	Freie Glucose im ilealen Darmsaft (% der ilealen DS-T; MW ± SD; n=4).....	99
Tabelle 82:	Konzentration an Blutglucose (mmol/l) bei den Kühen 180 Minuten nach Fütterungsbeginn in den jeweiligen Versuchsvarianten (MW ± SD; n=4) .....	100
Tabelle 83:	Intestinale Verdaulichkeit der Stärke – Vergleich eigener Ergebnisse mit denen anderer Autoren.....	110

Tabelle 84:	Vergleich der Verdaulichkeit (%) verschiedener Nährstoffe nach 20 bzw. 50 Tagen Adaptation an eine Mais-Baumwoll-Ration beim Schaf (CLEMENS und JOHNSON 1973) mit eigenen Ergebnissen .....	119
Tabelle 85:	Modellkalkulation zur Nutzung von Stärke in Abhängigkeit von der Höhe der Stärkeaufnahme, dem ruminalen Stärkeabbau und der Dünndarmverdaulichkeit (Stärkeaufnahme: 3000 bzw. 6000 g/Tag) .....	121
Tabelle 86:	Energetische Kalkulation zur Stärkenutzung im Pansen bzw. Dün- und Dickdarm bei unterschiedlichem Stärkeeintritt in den Dünndarm .....	123
Tabelle 87:	Ursachen für unterschiedliche Milchleistungen bei Einsatz langsam abbaubarer Stärke im Pansen (Hauptpunkte) .....	126
Tabelle 88:	Zweckmäßige Stärkemenge in der Tagesration von Milchkühen in Abhängigkeit vom ruminalen Stärkeabbau bei einer unterstellten Stärkeanflutung im Dünndarm von 1,5 kg/ Tier und Tag .....	128
Tabelle 89:	Geeignete Stärkequelle in Abhängigkeit von der Stärkeaufnahme und der Höhe der Futteraufnahme von Milchkühen .....	129

### III Verzeichnis der Abkürzungen

A	Adaptation
Abb.	Abbildung
ACTH	adrenocorticotropes Hormon
ADF	acid detergent fibre (saure Detergenzienfaser)
ad lib	ad libitum
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Aluminiumsulfat-Hydrat
ANOVA	analysis of variance
AS	Aminosäuren
ATP	Adenosintriphosphat
$B = r^2$	Bestimmtheitsmaß
$\text{C}_2$	Essigsäure
$\text{C}_3$	Propionsäure
$\text{CO}_2$	Kohlendioxid
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	Chrom(III)oxid
d	Tag
FAL	Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig
FCM	Fettkorrigierte Milchmenge (4% Fett)
FFS	flüchtige Fettsäuren
FG	Freiheitsgrad
FOS	Fermentierbare organische Substanz
g	Gramm
GfE	Gesellschaft für Ernährungsphysiologie
GC	Gaschromatographie
Glu	Glucose
h	Stunde
$\text{HClO}_4$	Perchlorsäure
$\text{HgCl}_2$	Quecksilberchlorid
$\text{H}_2$	Wasserstoff

H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Schwefelsäure
H <sub>2</sub> O	Wasser
iC <sub>4</sub>	iso-Buttersäure
iC <sub>5</sub>	iso-Valeriansäure
k	Passagerate (h <sup>-1</sup> ) der Futtermittel durch den Pansen
k.A.	keine Angabe
KBE	koloniebildende Einheiten
KF	Kraftfutter
kg	Kilogramm
kJ	Kilojoule
l	Liter
LM	Lebendmasse
MANOVA	multiple analysis of variance (mehrfaktorielle Varianzanalyse)
Marksubst	Markersubstanz
MDV	mesenteric drained viscera
ME	metabolizable energy (umsetzbare Energie)
mg	Milligramm
MJ	Megajoule
ml	Milliliter
MS	Maisstärke
MQ	mittlere Abweichungsquadrate
MW	Mittelwert (arithmetisches Mittel)
μl	Mikroliter
μm	Mikrometer
n	Anzahl
N	Stickstoff
NAN	Nicht-Ammoniak-Stickstoff
NADPH	Nicotinamid-Adenin-Dinukleotid-Phosphat
NAN	Nicht-Ammoniak-Stickstoff
NaOH	Natronlauge
n.b.	nicht bestimmt
n.s.	nicht signifikant

nC <sub>4</sub>	n-Buttersäure
nC <sub>5</sub>	n-Valeriansäure
NDF	neutral detergent fibre (neutrale Detergenzienfaser)
NEL	Nettoenergielaktation
NfE	N-freie Extraktstoffe
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
NH <sub>3</sub> -N	Ammoniak-Stickstoff
nm	Nanometer
nXP	nutzbares Rohprotein
OS	organische Substanz
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
PDV	portal drained viscera
ppr	post prandial
r	Korrelationskoeffizient
PS	Pansensaft
RNB	Ruminale Stickstoffbilanz (g/kg T)
SD	Standardabweichung (Standard Deviation)
s.	siehe
s.u.	siehe unten
Sign.	Signifikanz
STH	somatotropes Hormon
T	Trockensubstanz
U/min	Umdrehungen pro Minute
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
VFA	volatile fatty acids (flüchtige Fettsäuren)
vgl.	vergleiche
VQ <sub>OS</sub> %	Verdaulichkeitsquotient der organischen Substanz
VQ <sub>T</sub> %	Verdaulichkeitsquotient der Trockensubstanz
VQ <sub>XF</sub> %	Verdaulichkeitsquotient der Rohfaser
VQ <sub>XL</sub> %	Verdaulichkeitsquotient des Rohfettes
VQ <sub>XP</sub> %	Verdaulichkeitsquotient des Rohprotein

VQ <sub>XS</sub> %	Verdaulichkeitsquotient der Stärke
VQ <sub>XX</sub> %	Verdaulichkeitsquotient der stickstofffreien Extraktstoffe
WS	Weizenstärke
XA	Rohasche
XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein
XS	Stärke
XX	Stickstofffreie Extraktstoffe

# 1 EINLEITUNG

Für die Realisierung heute nicht mehr seltener Leistungen von 10000 bis 15000 kg Milch je Kuh und Laktation bei Erhaltung der Tiergesundheit ist eine bedarfs- und wiederkäuergerechte Ernährung von herausragender Bedeutung.

Insbesondere die Verbesserung der Versorgung der Hochleistungskühe mit Energie im ersten Drittel der Laktation, in dem der Bedarf der Tiere sehr hoch, das Futteraufnahmevermögen aber limitiert ist, bleibt ein erstrangiges Anliegen der Tierernährung.

Neben der Erhöhung der Futteraufnahme kommt dabei der Steigerung der Energiekonzentration durch den Einsatz von Fett und Stärke besondere Bedeutung zu.

Die täglich bereitzustellende Glucosemenge für eine Kuh mit einer Leistung von 50 kg Milch pro Tag kann mit 3,8 kg eingeschätzt werden. Dieser hohe Glucosebedarf erfordert neben dem Einsatz hochwertiger Grundfutter große Mengen an energiereichem Kraftfutter. Dies hat in der Praxis zu Rationen mit steigenden Anteilen an leichtverdaulichen Kohlenhydraten, insbesondere Stärke, geführt, welche im Pansen schnell und nahezu vollständig abgebaut werden.

Durch den gleichzeitig abnehmenden Grundfutteranteil in der Ration reduziert sich zudem die Wiederkauaktivität und somit die Speichelproduktion. Die hierdurch bedingte geringere Pufferkapazität im Pansen bei intensiver Fermentation der Kohlenhydrate resultiert in einer starken Absenkung des pH-Wertes und einer Veränderung des Fermentationsmusters. Als Folge können Gesundheitsstörungen wie Acidose, Tympanie und Labmagenverlagerung sowie eine verminderte Futteraufnahme bis hin zur Futterverweigerung und damit verbundenen Stoffwechselstörungen auftreten.

Um den Kraftfutteranteil nicht senken zu müssen, werden teilweise Komponenten mit höherem Rohfasergehalt (MEIJS 1986; NAKAMURA und OWEN 1989; SLOAN et.al. 1987) oder sogenannte "Bypass-Stärke" eingesetzt. Bei letzterer handelt es sich vor allem um langsam abbaubare Stärke, wie Sorghum- oder Maisstärke, die in größeren Mengen den Dünndarm erreicht.

Auch aus energetischer Sicht ist es effizienter, Stärke durch körpereigene Enzyme im Dünndarm zu verdauen anstatt den energieaufwendigeren Weg über den Abbau zu flüchtigen Fettsäuren im Pansen (Fermentationsverluste) und anschließender Gluconeogenese in der Leber zu beschreiten (OWENS et al. 1986; BERGNER und HOFFMANN 1997).

Das setzt jedoch eine Hydrolyse der angefluteten Stärke und eine Absorption der Glucose im Dünndarm voraus. Die Kapazität dazu scheint aber begrenzt zu sein (MAYES und ØRSKOV 1974; OWENS et al. 1986; KREIKEMEIER et.al. 1991; HUNTINGTON 1997).

Wo die Grenzen und ihre Ursachen liegen, wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Im Dünndarm nicht verdaute Stärke bzw. nicht absorbierte Glucose werden entweder im Dickdarm mikrobiell abgebaut oder gehen mit den faecalen Ausscheidungen verloren.

So konnte auch die theoretisch zu erwartende Leistungssteigerung bei einer teilweisen Verlagerung der Stärkeverdauung vom Pansen in den Dünndarm durch Fütterungsversuche bisher nicht eindeutig bestätigt werden (BUSH et al. 1979; JOY et al. 1997; TITGEMEYER 1997; HURTAUD et al. 1998; DAENICKE et al. 1997; KNOWLTON et al. 1998b; DAENICKE 2000).

Um die Ursachen hierfür zu ergründen, sind genaue Kenntnisse über die Stärkeverdauung und -nutzung beim Wiederkäuer erforderlich. Die Angaben in der Literatur über die im Dünndarm verwertete Menge an Stärke pro Tier und Tag schwanken von 800-1500 g (FLACHOWSKY 1994).

Ziel der vorliegenden Arbeit war es daher, die Stärkeverdaulichkeit von Weizenstärke als schnell abbaubarer Stärkequelle und Maisstärke als langsam abbaubarer Stärkequelle in den einzelnen Abschnitten des Verdauungstraktes beim Rind zu untersuchen, die Grenzen der effizienten Stärkenutzung näher zu bestimmen und eine Empfehlung für die Menge an Bypass-Stärke abzuleiten, die im Dünndarm der Hochleistungskuh noch effizient verwertet werden kann.

## 2 LITERATURÜBERSICHT

### 2.1 Glucosebedarf

Glucose ist für die Hochleistungskuh extrem wichtig und ein limitierender Faktor für die Milchleistung. Obwohl der Kuh keine Glucose zugeführt werden muss, d.h. kein direkter Bedarf an diesem Metabolit besteht, gibt es jedoch einen metabolischen Bedarf, und die Rationen müssen so gestaltet sein, dass die Kuh in der Lage ist, Glucose zu absorbieren bzw. zu synthetisieren. In diesem Sinne soll im Folgenden von „Glucosebedarf“ gesprochen werden. Welche Menge an Glucose die Milchkuh im Stoffwechsel benötigt, wird im Abschnitt 2.1.2 abgeleitet.

#### 2.1.1 Wichtige Stoffwechselwege der Glucose

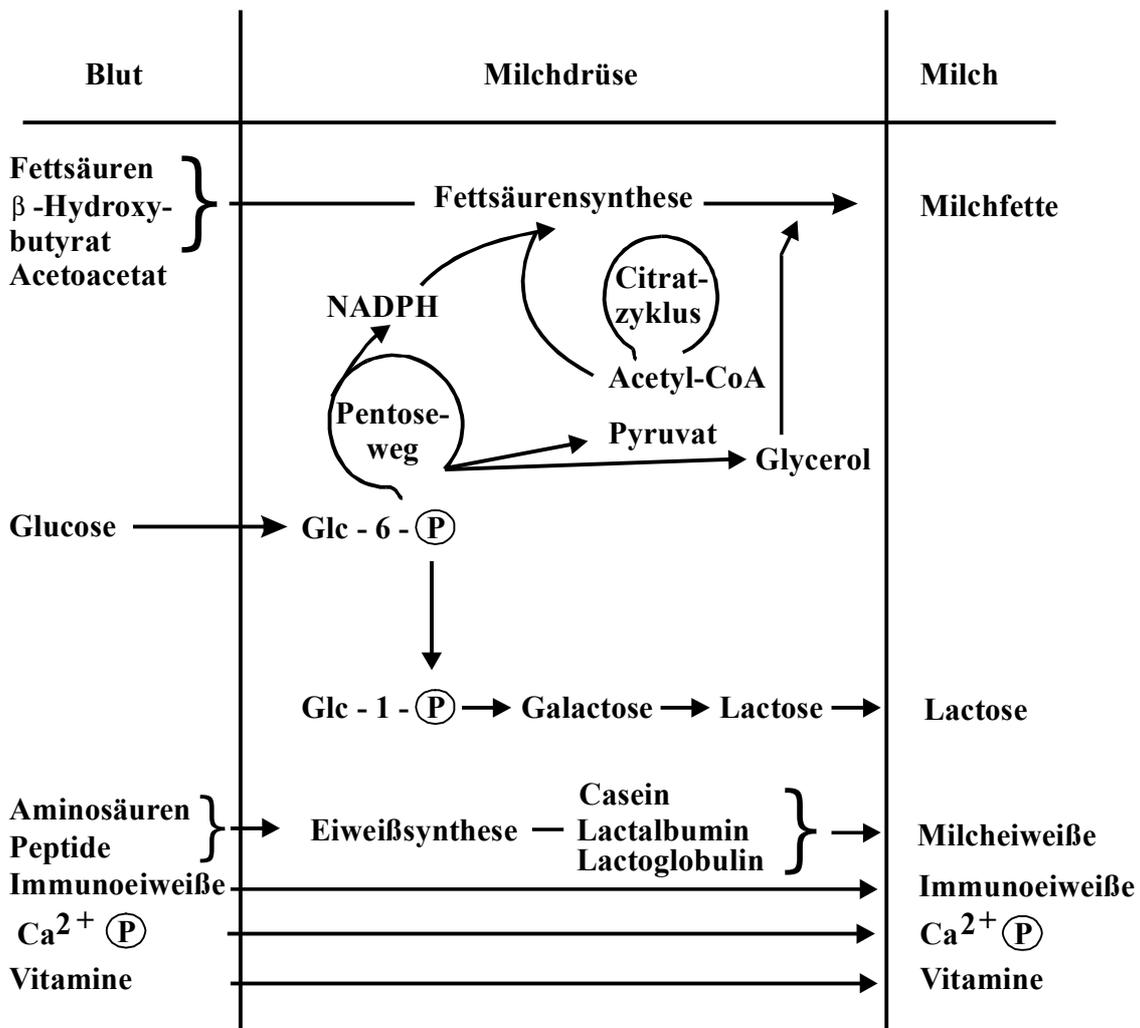


Abbildung 1: Bedeutende Stoffwechselprozesse in der Milchdrüse der Milchkuh

Glucose spielt vor allem für die Milchdrüse, in der große Mengen für die Synthese von Lactose benötigt werden, sowie für die Versorgung des Uterus<sup>4</sup> und das Wachstum der Foeten eine wichtige Rolle (CHAIYABUTR et al. 1998).

Desweiteren ist Glucose von besonderer Bedeutung für das Nervengewebe, die Erythrozyten das Nierenmark und die Skelettmuskeln. Glucose wird weiterhin zur ATP-Bildung, die über die Glycolyse, den Citratzyklus und die Atmungskette abläuft, und zur NADPH-Bereitstellung über den Pentosephosphat-Weg benötigt.

Die Milchdrüse nutzt Glucose nicht nur zur Lactosesynthese, sondern auch für die Synthese von Fettsäuren und Glycerin. Abbildung 1 zeigt die wichtigsten Stoffwechselprozesse in der Milchdrüse.

Das Disaccharid Lactose, bestehend aus je einem Molekül Glucose und Galactose, wird in der Milchdrüse aus Glucose über verschiedene Zwischenstufen gebildet (LÖFFLER und PETRIDES 1997). Die energetische Ausbeute bei der Umwandlung von Glucose in Lactose beträgt 97 % (BERGNER und HOFFMANN 1997).

Eine Kuh mit einer Milchleistung von 50 kg sezerniert mit der Milch ca. 1,6 kg Eiweiß, über 2 kg Fett und ca. 2,5 kg Lactose, demzufolge etwa 6 kg organische Substanz pro Tag. Tabelle 1 zeigt die tägliche Syntheseleistung an Milch Inhaltsstoffen für verschiedene Leistungen.

**Tabelle 1: Mittlere tägliche Protein-, Fett und Lactoseausscheidung (kg) von Milchkühen (FLACHOWSKY 1999)**

	Milchleistung (kg/Tier und Tag)		
	30	40	50
Energie (MJ/d) <sup>1)</sup>	96	128	160
	Inhaltsstoffe (kg/Tier und Tag)		
Protein (3,2 %)	0,96	1,28	1,60
Fett (4,0 %)	1,20	1,60	2,00
Lactose (4,8 %)	1,44	1,92	2,40
täglich mit der Milch sezernierte OS (kg)	3,60	4,80	6,00

OS = organische Substanz; <sup>1)</sup> je kg Milch: 3,2 MJ

### 2.1.2 Ableitung des Glucosebedarfs

Bei einem Lactosegehalt der Milch von 4,8 % werden bei 30, 40 und 50 kg Milch jeweils 1,44 kg, 1,92 kg und 2,4 kg Lactose gebildet. Nach Angaben verschiedener Autoren kann der Glucosebedarf einer Milchkuh etwa auf das 1,5-fache der mit der Milch abgegebenen Lactosemenge geschätzt werden (KRONFELD et al. 1968; ABEL 1995; BERGNER und HOFFMANN 1997). So errechnet sich ein Glucosebedarf von 2,2 kg, 2,9 kg und 3,6 kg.

ELLIOT (1976) kalkuliert den täglichen Glucosebedarf nach folgender Gleichung:

$$(\text{Milchleistung} \times 0,05) / 0,7 + 188 \text{ g,}$$

wobei in diesem Fall davon ausgegangen wird, dass die Milch 5 % Lactose enthält und 70 % der Glucose für die Lactosesynthese in der Milchdrüse verwertet werden. 188 g veranschlagt ELLIOT (1976) für die Erhaltung. Bei einer Leistung von 30, 40 und 50 kg Milch entspricht das einem Glucosebedarf von 2,3 kg, 3,0 kg und 3,8 kg je Tag und stimmt damit recht gut mit den Ergebnissen obiger Kalkulation überein.

## 2.2 Stärke als Glucose- und Energielieferant

Der Stärkegehalt der in der Wiederkäuerfütterung eingesetzten Futtermittel kann zwischen fast 0 % (Grünfütter und Konservate) und bis über 90 % (reine Kartoffel- oder Maisstärke) betragen (Tabelle 2). In Abhängigkeit von der Ration nehmen Hochleistungskühe zwischen 2 und 10 kg Stärke mit dem Futter pro Tag auf. Mit Ausnahme von Gaben unter 3 kg decken diese Mengen theoretisch den Glucosebedarf von Kühen bis 40 kg Milch ab (vgl. 2.1.2).

**Tabelle 2: Mittlere Stärkegehalte einiger ausgewählter Futtermittel (nach JEROCH et al. 1993)**

Futtermittel	Stärkegehalt (% in der T)
Grassilage	0
Maissilage, 20 – 30 % T	24
Maissilage, 30 – 40 % T	32
Ackerbohnen	41
Gerste	60
Weizen	66
Kartoffeln	70
Körnermais	70
Milokorn	73
Mais- und Weizenstärke	98

Stärke als hochmolekulares, wasserunlösliches Polysaccharid nimmt bei den nicht-strukturierten Kohlenhydraten einen Anteil von 70 bis 80 % ein und ist das wichtigste Reservkohlenhydrat der Pflanze (NOCEK und TAMMINGA 1991). Sie besteht aus  $\alpha$ -1,4-glykosidisch verknüpfter Amylose und aus  $\alpha$ -1,4- und  $\alpha$ -1,6-glykosidisch verknüpftem und damit verzweigtem Amylopektin (HUNTINGTON 1997; MILLS et al. 1999a). Beide Fraktionen sind durch Wasserstoffbrücken miteinander verbunden (NOCEK und TAMMINGA 1991; MILLS et al. 1999a).

Das Verhältnis von Amylose zu Amylopektin ist nicht immer gleich. Meistens variiert der Amylosegehalt der Stärke zwischen 20 und 35 % (OWENS et al. 1986; ROONEY und PFLUGFELDER 1986). Die Stärke einiger Maishybriden weist jedoch einen etwas höheren Amylosegehalt auf. Bei „wachsigen“ Maissorten oder Sorghum dagegen besteht die Stärke aus bis zu 99 % Amylopektin (KOTARSKI et al. 1992; HUNTINGTON 1997).

Stärke ist in hochstrukturierten Granula unterschiedlicher Form und Größe (0,5 bis 175  $\mu$ m) gespeichert. Diese besitzen amorphe und kristalline Regionen; erstere weisen eine höhere Konzentration an Amylose und eine niedrigere Dichte als kristalline Regionen auf, letztere

zeichnen sich durch einen höheren Amylopektin Gehalt aus und sind gegenüber Wassereintritt und enzymatischem Angriff resistenter (ROONEY und PFLUGFELDER 1986). Der Abbau der Stärke beginnt in den amorphen Regionen der Granula, die Hydrolyse der kristallinen Regionen schließt sich an und dauert wesentlich länger (SCHULDT 1989).

Alle Stärkegranula sind von einer dünnen Proteinschicht umgeben, die im hornigen und peripheren Endosperm von Mais- und Sorghumstärke eine besondere Struktur aufweist (ROONEY und PFLUGFELDER 1986). Nach CONE (1991) enthält die Oberfläche der Stärkegranula außerdem Lipide, die mit Proteinen schwer verdauliche Komplexe bilden können. Deshalb sind nach CONE und VLOT (1990) die äußeren Schichten der Granula schwerer durch Enzyme abzubauen als die inneren. Es kommt dabei aber nicht auf die absolute Menge an Proteinen und Lipiden an, sondern auf deren Verteilung an der Oberfläche der Granula.

## **2.3 Stärkeverdauung beim Wiederkäuer**

### **2.3.1 Ruminaler Stärkeabbau**

Die *exo*- und *endo*-Enzyme der amylolytischen Bakterienstämme im Pansen spalten die  $\alpha$ -1,4- und  $\alpha$ -1,6-glykosidischen Bindungen der Amylose und des Amylopektins der Stärke. Die anfallende Maltose und Isomaltose wird durch Maltase, Maltosephosphorylase sowie Isomaltase zu Glucose oder Glucose-1-phosphat hydrolysiert, die im Folgenden zu Acetat, Propionat, Butyrat und Methan abgebaut werden. Neben den Bakterien beeinflussen auch Protozoen den ruminale Abbau der Stärke. Eine ausführliche Übersichtsarbeit über den aktuellen Kenntnisstand zur ruminale Stärkeverdauung findet sich bei MILLS et al. (1999a).

#### **2.3.1.1 Einfluss verschiedener Faktoren auf den ruminale Stärkeabbau**

In der Literatur sind beachtliche Unterschiede im ruminale Stärkeabbau beschrieben (STREETER et al. 1990a; BEYER et al. 1993; TAMMINGA et al. 1990; LEBZIEN 1998). Faktoren, die die Intensität des ruminale Abbaus und damit die Stärkeanflutung am Duodenum beeinflussen, sind u.a. der Stärkegehalt der Futtermittel (vgl. Tabelle 2), Art und Sorte einer Stärkequelle, ihr Reife- und ihr Aufbereitungsgrad. Außer den genannten Eigenschaften übt auch das Ernährungsniveau und damit die Passagerate einen Einfluss auf die ruminale Abbaubarkeit aus. Bei höherer Futteraufnahme kommt es durch eine schnellere Passage zu einer kürzeren Verweildauer des Futters im Pansen und somit auch zu geringerer Abbaubarkeit bzw. Verdaulichkeit. Eine detaillierte Beschreibung der Einflussfaktoren findet sich bei MATTHÉ et al. (2000).

In Tabelle 3 ist der Einfluss der Art der Stärkequelle auf ihre ruminale Abbaubarkeit dargestellt. Oftmals werden solche Daten als recht feststehend betrachtet, ohne dass bei der Interpretation Einflussfaktoren, wie z.B. Futtermittelsorte und Intensität der Behandlung, Methode der Bestimmung der Abbaubarkeit, Versuchstierart und -zahl, Höhe der Futteraufnahme und damit Passagerate, berücksichtigt werden. Durch diese Einflussfaktoren kommen die in der Tabelle 3 dargestellten Spannen größtenteils zustande, die aufzeigen, dass diese Werte nicht als feste Größen zu betrachten sind.

**Tabelle 3: Ausmaß des ruminalen Stärkeabbaus von ausgewählten Futtermitteln (nach verschiedenen Autoren)**

Futtermittel		Ruminaler Stärkeabbau (%)
Sorghum	gemahlen	42 - 91
	gequetscht	45 - 76
Mais	gequetscht	51 - 84
	gemahlen	72 - 90
	dampfbehandelt	85 - 93
Kartoffeln	roh	60 - 80
Gerste	gemahlen	82 - 97
	gequetscht	75 - 90
Weizen	gemahlen	90 - 97
Roggen	gemahlen	90 - 97

In Tabelle 3 wird die Abbaubarkeit der Trockensubstanz dargestellt, die allerdings bei diesen Futtermitteln aufgrund des hohen Stärkegehaltes charakteristisch für den Stärkeabbau ist. Zwischen dem Trockensubstanz- und dem Stärkeabbau bestehen mit  $r=0,99$  sehr enge Korrelationen (LEBZIEN et al. 1997; MATTHÉ et al. 1999). Trotz der in Tabelle 3 aufgeführten Spannen wird ersichtlich, dass Stärke aus Mais und Sorghum in Übereinstimmung mit Arbeiten von NOCEK und TAMMINGA (1991), CONE (1991), De VISSER (1993) und PARYS et al. (2000) ruminal bedeutend langsamer abgebaut wird als Stärke aus anderen Getreidearten. HERRERA-SALDANA et al. (1990b) untersuchten die ruminale Abbaubarkeit von Mais, Sorghum, Weizen, Hafer und Gerste *in vitro* und *in situ* und kamen mit beiden Methoden zu dem gleichen Ergebnis: Haferstärke wird am schnellsten abgebaut, gefolgt von Weizen, Gerste, Mais und Sorghum. Dieser Befund steht damit in Übereinstimmung mit obiger Tabelle 3.

Als wesentliche Ursachen für Unterschiede zwischen verschiedenen Stärkequellen hinsichtlich ihrer ruminalen Abbaubarkeit werden die besondere Proteinstruktur im hornigen und peripheren Endosperm (ROONEY und PFLUGFELDER 1986) sowie  $\beta$ -Glucan-reiche Zellwände der Granula (KOTARSKI et al. 1992; McALLISTER et al. 1993; McALLISTER et al. 1994) diskutiert. Weiterhin verhält sich das Zein des Maiskorns beim ruminalen Abbau resistenter als Albumine, Globuline, Gluteline und Caseine (STERN et al. 1997).

Hinsichtlich des Einflusses der Anteile an Amylose bzw. Amylopektin auf die Abbaubarkeit finden sich widersprüchliche Aussagen in der Literatur. Während HUNTINGTON (1997) von einem schnelleren Abbau amylopektinhaltiger „wachsiger“ Genotypen spricht, werden nach CONE (1991) Stärketräger mit hohem Anteil an Amylopektin aufgrund der Verzweigungen im Molekül langsamer abgebaut.

Stärkequellen mit geringer ruminaler Abbaubarkeit zeichnen sich weiterhin durch größere Stärkekörner, eine stärkere Verkleisterung, d.h. eine stärkere Verklebung und besondere Quellungseigenschaften der Granula, sowie Komplexe aus Proteinen und verkleisterter Stärke aus (THORNE et al. 1983). Amylose kann mit Fetten stabile Komplexe bilden und somit resistenter gegenüber angreifenden Enzymen sein (CONE und VLOT 1990). Als weitere Ursachen für unterschiedliches Abbauverhalten können eingeschlossene Substanzen, wie z.B. Fette, Proteine und Tannine im Endosperm, und das Vorhandensein von Enzyminhibitoren angeführt werden (CONE und VLOT 1990; CONE 1991; McALLISTER et al. 1994).

Wie bereits erwähnt können jedoch nicht nur zwischen verschiedenen Stärkequellen, sondern auch zwischen einzelnen Sorten der gleichen Stärkequelle beachtliche Unterschiede hinsichtlich des ruminalen Abbaus bestehen (STREETER et al. 1990a; 1990b; Tabelle 4).

**Tabelle 4: *In sacco*-Abbaubarkeit der Trockensubstanz verschiedener Körnermaissorten (nach FLACHOWSKY et al. 1992; n=14, 24 h Inkubationszeit)**

Maissorte	Abbaubarkeit in %
Rantzo	63
Bekefix	69
Bezamo	74
Boss / Consul	77
Delphin / Bezemara	83
Berlima	86

Der Einfluss des Reifestadiums wurde u.a. von VEARASILP (1986), JOCHMANN (1999) und HRIC et al. (2000) untersucht. Vom frühen (26,7 % T) zum späten (51,9 % T) Reifestadium einer Lieschkolbenschrotsilage nahm z.B. die ruminale *in vivo*-Verdaulichkeit der Stärke von 93 auf 70 % ab (VEARASILP 1986).

Auch die technologische Aufbereitung der Stärkequellen beeinflusst ihre Abbaubarkeit (vgl. Tabelle 5) und/oder die Leistungsmerkmale der Tiere (OWENS et al. 1986; CONE und VLOT 1990; CONE 1991; WEIGAND et al. 1993; YU et al. 1998; MATTHÉ et al. 1999; JOHNSON et al. 1999; THEURER et al. 1999). Die mechanischen Verfahren wie Brechen, Walzen, Schrotten, Quetschen und Pelletieren erhöhen die ruminale Abbaubarkeit, da durch die Oberflächenvergrößerung infolge der Partikelzerkleinerung die Stärkegranula leichter angreifbar sind (HUNTINGTON 1997).

Feuchtigkeit, Druck und Hitze gelatinisieren die Stärke, so dass die Struktur der Granula gelockert bzw. zerstört und die Proteinmatrix des Endosperms durchbrochen wird. Dadurch wird die Stärke ebenfalls angreifbarer für Mikroorganismen und körpereigene Enzyme. Vor allem in den Vormägen, aber auch im Gesamtverdauungstrakt kann somit eine höhere Verdaulichkeit der Stärke erreicht werden, was durch Ergebnisse zahlreicher Versuchsansteller belegt wurde (THEURER 1986; POORE et al. 1993a; 1993b; CHEN et al. 1994; HUBER et al. 1994; OLIVEIRA et al. 1995; EKINCI und BRODERICK 1997; JOY et al. 1997; THEURER et al. 1999). In einigen Versuchen wurde durch die Behandlung gleichzeitig die ruminale Verdaulichkeit der organischen Substanz, der NDF und der ADF (CHEN et al. 1994) bzw. die Stärkeverdaulichkeit im Dünndarm erhöht (OLIVEIRA et al. 1995; JOY et al. 1997).

Eine zu intensive Wärmebehandlung, z.B. durch Röstung und/oder Überhitzung, kann jedoch zur Bildung von unverdaulichen Stärke-Protein-Komplexen führen und die ruminale Abbaubarkeit herabsetzen (NOCEK und TAMMINGA 1991; STERN et al. 1997; YU et al. 1998; MATTHÉ et al. 1999).

Aus einer Zusammenstellung von THEURER (1986; Tabelle 5) über verschiedene Bearbeitungsverfahren von Körnermais wird deutlich, wie die Verfütterung von weniger intensiv bearbeitetem Mais aufgrund der geringeren ruminalen Abbaubarkeit zu größeren Mengen an Bypass-Stärke führt. Das bedingt allerdings gleichzeitig eine niedrigere

Gesamtverdaulichkeit, die sich dadurch erklären lässt, dass im Pansen unabgebaute Stärke auch im Dünn- und/oder Dickdarm nur in geringerem Umfang aufgespalten und z.T. ausgeschieden wird (NOCEK und TAMMINGA 1991; De VISSER et al. 1998).

**Tabelle 5: Einfluss verschiedener Aufbereitungsverfahren von Mais auf die Menge an Bypass-Stärke und die Gesamtverdaulichkeit der Stärke bei Rindern (nach THEURER 1986)**

Bearbeitung	Aufnahme an Stärke (kg/d)	ruminaler Stärkeabbau (%)	Gesamtverdaulichkeit (%)
ganze Körner	3,3	56	77
trocken gewalzte Körner	3,0	78	96
gemahlen	3,4	89	99
dampfbehandelt	4,7	94	99

Neben der physikalischen Aufbereitung war auch die chemische Behandlung von Stärketrägern mit Formaldehyd zur Reduzierung der Abbaubarkeit Gegenstand einer Reihe von Untersuchungen (FLUHARTY und LOERCH 1989; McALLISTER et al. 1992). Eine weitere Alternative zur mechanischen Zerkleinerung ist die Behandlung mit Natronlauge (Sodagrain) (LEBZIEN et al. 1996; MAYNE und DOHERTY 1996; MIRON et al. 1997). Die Verwendung von NaOH zerstört das Pericarp des Getreidekorns durch partielle Hydrolyse von Hemizellulose und Lignin. Weiterhin tritt eine Quellung der äußeren Schichten der Granula ein, so dass Pansenbakterien besser in das Endosperm eindringen können als beim unbehandelten Korn. Die ruminale Abbaubarkeit liegt aber unter der von Getreideschrot (LEBZIEN et al. 1996).

### 2.3.1.2 Einfluss der Stärke auf die Pansenfermentation

Die Auswirkungen unterschiedlicher Stärketräger und Anteile derselben in der Ration auf Pansenparameter bzw. ruminale Verdaulichkeit und der Einfluss der Grundration auf die Intensität der Pansenfermentation sind in der Literatur beschrieben (WEIGAND et al. 1975; CONE und VLOT 1990; BEYER et al. 1993; KENNELLY et al. 1999).

Die intensive Fermentation großer Stärkemengen, wie sie in konzentratreichen Rationen auftreten, führt zu hohen Konzentrationen an flüchtigen Fettsäuren, vor allem von Propionat und Lactat, und demzufolge zu absinkenden pH-Werten (SCHULDT 1989; KENNELLY et al. 1999). Tabelle 6 soll exemplarisch den Einfluss von Art und Menge der Stärke auf den pH-Wert darstellen. Mit zunehmendem Anteil an Getreide in der Ration fällt der pH-Wert im Pansen ab, jedoch beim Mais nicht so stark wie bei der Gerste.

**Tabelle 6: Einfluss der Stärkequelle und ihres Anteils an der Ration (T) auf den pH-Wert im Pansen 3 h ppr (nach JENTSCH et al. 1992 und FLACHOWSKY et al. 1993)**

Getreide in % der T	Stärkequelle		
	Mais	Gerste	
10	6,65	6,67	JENTSCH et al. 1992
25	6,69	6,64	
50	6,50	6,27	
0	6,64	6,64	FLACHOWSKY et al. 1993
25	6,64	6,50	
50	6,13	6,17	
75	6,29	5,83	
100	5,60	5,18	

Bei gleichzeitig reduziertem Grundfutteranteil führt die dadurch verminderte Kau- und Wiederkauaktivität zu einer geringeren Speichelproduktion und somit geringerer Pufferkapazität, was die Absenkung des pH-Wertes noch beschleunigt. Bei einem pH-Wert unter 5,8 besteht die Gefahr einer Pansenacidose (OWENS et al. 1998). Weitere Gesundheitsstörungen wie Labmagenverlagerung, Sterilität, Mastitiden und Klauenerkrankungen können die Folge sein (KALCHREUTER 1994; OWENS et al. 1998).

Aufgrund der Empfindlichkeit der cellulolytischen Bakterien gegenüber einem niedrigen pH-Wert (STERN et al. 1997) und der Nährstoffkonkurrenz zwischen amylolytischen und cellulolytischen Bakterien (CONE 1991) nimmt die Aktivität der cellulolytischen Bakterien ab. Dadurch kommt es zu einer verschlechterten Verdauung der Faserbestandteile (LEBZIEN 1985; De VISSER et al. 1998).

Viele Ergebnisse bestätigen den negativen Einfluss steigender Konzentrat- oder Stärkeanteile auf die Verdaulichkeit der Zellwandbestandteile oder anderer Nährstoffgruppen (KELLNER et al. 1985; ROHR et al. 1989; WIDYOBROTO und PEYRAUD 1993; De VISSER et al. 1998; MEIJER et al. 1999). In Versuchen mit Maisstärke wurden negative Einflüsse steigender Stärkemengen auf die Verdaulichkeit der NDF-Fraktion (van VUUREN et al. 1999), weiterer Zellwandbestandteile, aber auch auf die Verdaulichkeit des Rohproteins und des Rohfetts (KELLNER et al. 1985) sowie der Trocken- und der organischen Substanz (De VISSER et al. 1998), nachgewiesen.

Untersuchungen über das Fettsäuremuster des Panseninhalts in Abhängigkeit von der Fütterung liegen ebenfalls in großer Zahl vor (ROHR und KAUFMANN 1975; PHILIPPEAU et al. 1999b; KENNELLY et al. 1999). Es besteht Übereinstimmung darüber, dass rohfaserreiche bzw. cellulosereiche Rationen zu einem hohen molaren Acetatanteil im Pansensaft führen. Bei zunehmenden Stärkeanteilen in der Ration sinkt der Acetat- und steigt der Propionatgehalt des Pansensaftes, die Gesamtkonzentration an flüchtigen Fettsäuren steigt (ROHR und KAUFMANN 1975; FUCHANG 1998; JIANZHONG 1998; KENNELLY et al. 1999). Wie ein Versuch von PHILIPPEAU et al. (1999b) zeigt, bestehen diesbezüglich jedoch auch Unterschiede zwischen verschiedenen Stärkequellen (Tabelle 7).

**Tabelle 7: Einfluss der Getreideart auf den pH-Wert und die Anteile an flüchtigen Fettsäuren im Pansen\* (PHILIPPEAU et al. 1999b; Stärkeaufnahme 3,1 (Mais) bzw. 3,4 kg (Weizen); n=6)**

	Mais	Weizen
pH-Wert	6,5	6,3
Essigsäure (Mol%)	63	55
Propionsäure (Mol%)	20	22
Essig-: Propionsäure	3,2	2,5

\*Mittelwerte aus 3 Probenahmezeitpunkten

Stärke aus Mais und Sorghum wird im Pansen bedeutend langsamer abgebaut als Stärke aus anderen Getreidearten. Dieser langsamere Stärkeabbau von Mais ist mit einem höheren pH-Wert im Pansen verbunden (vgl. Tabelle 6 und Tabelle 7), wodurch die beschriebenen negativen Effekte einer intensiven Stärkefermentation wie Acidosegefahr und reduzierter Celluloseabbau vermindert werden (FLACHOWSKY 1994; OWENS et al. 1998). Somit führt Mais zu einer geringeren Belastung der Vormägen als Gerste oder Weizen (LOOSE et al. 1998a).

Der Umfang der mikrobiellen Proteinsynthese hängt in erster Linie davon ab, wieviel fermentierbare Energie im Pansen verfügbar ist, so dass bei geringerer ruminarer Verdaulichkeit die Versorgung des Tieres mit mikrobiellem Protein reduziert wird (LEBZIEN et al. 1983; OWENS et al. 1986; HUNTINGTON 1997). HERRERA-SALDANA und HUBER (1989), HERRERA-SALDANA et al. (1990a), ALDRICH et al. (1993) und OVERTON et al. (1998) betonen deshalb auch die Wichtigkeit einer Synchronisierung der Fermentation von Kohlenhydraten und Stickstoffquellen für die Anflutung von Mikrobenprotein im Dünndarm. Ist wenig Energie für die Proteinsynthese im Pansen vorhanden, kommt es zudem zur Anreicherung von Ammoniak, das entweder rezykliert oder in der Leber zu Harnstoff umgewandelt und über den Harn ausgeschieden werden muss, was den Stoffwechsel der Tiere belastet und zusätzlich Energie verbraucht.

Der Einfluss unterschiedlicher Adaptationszeiten an Rationen mit hohen Stärkeanteilen auf Pansenparameter und ruminale Verdaulichkeit wurde bisher nur sehr begrenzt untersucht. Es ist zwar bekannt, dass Anpassungsreaktionen im Verdauungstrakt stattfinden können (WEIGAND et al. 1975; DIRKSEN et al. 1986; WEISS 1994) und dass dabei zwischen Sofort- und Langzeitwirkungen unterschieden wird (KAUFFOLD et al. 1975), aber genaue Daten über Pansenparameter und Verdaulichkeiten nach unterschiedlich langer Adaptationszeit liegen nur in sehr geringem Umfang vor. Untersuchungen hierzu und zu dem Vergleich langsam und schnell abbaubarer Stärkequellen hinsichtlich des Adaptationseffektes sind deshalb erforderlich.

### **2.3.2 Hydrolyse der Stärke und Absorption der Glucose im Dünndarm**

Die Effizienz der Nutzung der Bypass-Stärke wird durch das Ausmaß der Stärkehydrolyse und der Glucoseabsorption im Dünndarm bestimmt.

### 2.3.2.1 Hydrolyse der Stärke

Die kohlenhydratspaltenden Enzyme werden im Pankreas ( $\alpha$ -Amylase) oder in der Dünndarmschleimhaut (Isomaltase, Maltase) sezerniert.  $\alpha$ -Amylase spaltet die  $\alpha$ -1,4-glykosidischen Bindungen der Stärke, so dass Maltose, Maltotriose und verzweigte Oligosaccharide entstehen. Disaccharidasen (Maltase, Saccharase) und Isomaltase führen den Abbau der Disaccharide und der verzweigten Oligosaccharide bis zur Stufe der Monosaccharide weiter, wobei Isomaltase die  $\alpha$ -1,6-glykosidischen Bindungen spaltet (SUTTON 1971; THEURER 1986; NOCEK und TAMMINGA 1991).

Das pH-Optimum der  $\alpha$ -Amylase liegt bei 6,9 (WHEELER und NOLLER 1977). Im Duodenum ist dies erst distal der Einmündung des Pankreasganges sowie im Jejunum und Ileum gegeben; im proximalen Teil des Duodenums dagegen liegt der pH-Wert bei 2,5-3,0. Bereits 0,5 Einheiten unter diesem Optimum reduziert sich die Aktivität dieses Enzyms um 20 % (OWENS et al. 1986). pH-Werte unter diesem Wirkungsoptimum führen damit zu einer verminderten Stärkeverdauung im Dünndarm (WHEELER und NOLLER 1977). Hemmend auf die Amylaseaktivität wirken desweiteren sogenannte Amylase-Inhibitoren, wie Lignin- und Tanninderivate, welche an den Stärkegranula, z.B. in Sorghum, angelagert sind (OWENS et al. 1986; McALLISTER et al. 1994).

Bei steigender Futteraufnahme oder steigender Menge an Stärke in der Ration ist mit einer Aktivitätserhöhung der  $\alpha$ -Amylase und der Glucoamylase zu rechnen (RUSSELL et al. 1981; KREIKEMEIER et al. 1990; WALKER und HARMON 1995). So fanden CLARY et al. (1969) bei konzentratreich gefütterten Bullen eine Amylaseaktivität im Pankreasgewebe von 140 % gegenüber der bei weidenden Bullen. HARMON (1992) beobachtete bei Tieren, die eine konzentratreiche Ration erhielten, gegenüber weidenden Tieren bzw. Tieren, die grundfutterreich ernährt wurden, eine Erhöhung bezüglich der  $\alpha$ -Amylase- und Isomaltasekonzentrationen im Dünndarm. Auch RUSSELL et al. (1981) stellten eine Erhöhung der Amylaseaktivität bei steigenden Mengen an Mais in der Ration fest, was auf eine Adaptation hindeutet.

Im Gegensatz zur  $\alpha$ -Amylase haben erhöhte Futter- oder Stärkeaufnahmen bei der Maltase keinen Einfluss auf die Aktivität dieses Enzyms (OWENS et al. 1986). Maltase zeigt bei einem pH-Wert von 5,8 die höchste Aktivität, Isomaltase bei 6,0-6,2. Die Aktivitäten beider Enzyme sind beim Wiederkäuer insgesamt relativ niedrig, die höchste liegt im Duodenum, im mittleren Jejunum und im vorderen Teil des Ileums vor (NOCEK und TAMMINGA 1991).

### 2.3.2.2 Absorption der Glucose

Glucose wird aus dem Darm vor allem durch eine natriumabhängige Pumpe absorbiert. Die im Pansen-, Labmagen-, Duodenum-, Jejunum-, Ileum- und Caecumepithel gefundene  $\text{Na}^+$ /Glucose-Cotransporter-Genexpression (SGLT1), welches die Informationen für die Synthese, die Struktur und den Einbau des Transporters in die Enterozyten der Darmwand enthält, unterstützt die These des aktiven Transports (SHIRAZI-BEECHEY et al. 1995; HUNTINGTON 1997; ZHAO et al. 1998, KURZE et al. 1999). Der  $\text{Na}^+$ /Glucose-Cotransporter ist in der luminalen Membran der Enterozyten lokalisiert ( $10^5$  bis  $10^7$  Transporter pro Enterozyt) und arbeitet über einen elektrochemischen Gradienten, der durch die  $\text{Na}^+$ /K-ATPase der Basalmembran aufrechterhalten wird (ROWELL et al. 1997; CROOM Jr. et al. 1998).

Der Cotransporter befördert ein Molekül Glucose und zwei Na<sup>+</sup>-Ionen in einem Durchgang und unternimmt 50 – 200 Durchgänge pro Sekunde (HUNTINGTON 1997). Die Kapazität des Transportes kann sich in 2 bis 4 Tagen verdoppeln. Die Dichte der Transporter hängt von der Oberflächengestalt der Mikrovilli in der Darmwand ab (HUNTINGTON 1997; ZHAO et al. 1998) Die größte Dichte ist im proximalen und die niedrigste im distalen Bereich des Dünndarms zu finden (HUNTINGTON 1997).

Bei hohen Mengen anflutender Glucose erscheint auch ein passiver Transport möglich und könnte eine begrenzte Absorptionskapazität etwas ausgleichen (KREIKEMEIER et al. 1991). HUNTINGTON (1997) sowie PAPPENHEIMER und REISS (1987) erwähnten eine parazelluläre Diffusion mit Hilfe von Wasser („solvent drag“) mit einem Anteil von 5-11 % an der Absorption beim Wiederkäuer. HUNTINGTON (1997) errechnete aus Daten von KREIKEMEIER et al. (1991) die in Tabelle 8 dargestellten Anteile der Transportmechanismen nach abomasaler Infusion von Glucose bei Bullen. Es wird ersichtlich, dass zum einen bei ansteigender Glucosemenge beide Transportmechanismen angeregt werden und dass zum anderen bei ca. 720 g verschwundener Glucose fast schon ein Plateau erreicht zu sein scheint.

**Tabelle 8: Transportmechanismen zur Glucoseabsorption aus dem Dünndarm nach Infusion (nach Berechnung von HUNTINGTON (1997) aus Daten von KREIKEMEIER et al. (1991) mittels Michaelis-Menten-Gleichung)**

	Infundierte Glucosemenge am Dünndarm g/d			
	480	960	1440	1920
• <u>verschwundene Menge</u>	479	797	970	1123
in % der infundierten Menge	99,8	83,0	67,4	58,5
davon durch aktiven Transport	448	664	705	720
davon durch parazelluläre Diffusion	31	133	265	403

Bestimmte Peptide im Magen-Darm-Trakt, z.B. der epidermale Wachstumsfaktor und das Peptid YY, wirken regulierend auf die Glucoseabsorption und sollen diese um 200 – 300 % steigern können (WALKER und HARMON 1995; CROOM Jr. et al. 1998). Diese enorme Transportleistungserhöhung wurde in den Berechnungen von HUNTINGTON (1997) für den aktiven Transport nicht erreicht. Von der niedrigsten zur höchsten infundierten Menge erhöhte sich die Leistung um den Faktor 1,6. Die parazelluläre Diffusion erhöhte sich jedoch um den Faktor 13 (Tabelle 8).

### 2.3.2.3 Umfang der Stärkeverdauung im Dünndarm und begrenzende Faktoren

Der Wiederkäuer war im Laufe der Evolution nicht gezwungen, sich an große Stärkemengen im Dünndarm zu adaptieren. Bei Hochleistungskühen mit 60 % Kraftfutter in der Ration kann jedoch die Stärkeanflutung am Duodenum zwischen 550 und 3160 g betragen (McALLAN und LEWIS 1985; LOOSE 1999). Nach FLACHOWSKY (1994b) schwanken die Angaben über die bei einem 500 kg schweren Rind im Dünndarm effizient hydrolysierbare und als Glucose absorbierbare Menge an Maisstärke zwischen 800 und 1500 g pro Tag.

Auch die Angaben über die maximal im Dünndarm hydrolysierbare und als Glucose absorbierbare Stärkemenge sind sehr unterschiedlich. Nach REYNOLDS et al. (1996) können bis zu 2000 g, nach MILLS et al. (1999b) bis zu 2400 g, nach McCARTHY et al. (1989) maximal 5,1 kg Maisstärke postruminal verdaut werden.

Im Mittel werden 5-20 % der aufgenommenen Stärke postruminal verdaut, das meiste davon im Dünndarm (STREETER et al. 1989, 1990b; HILL et al. 1991; KNOWLTON et al. 1998a). Von der in den Dünndarm gelangenden Stärke aus Weizen, Hafer, Gerste und Roggen wurden 71,8 bis 85,4 % verdaut (SCHULT 1989), aus Körnermais 52 % (VEARASILP 1986) und aus rohen Kartoffeln 37,3 % (SÜDEKUM und BRANDT 1990). OWENS et al. (1986) und HUNTINGTON (1997) berechneten in Auswertung mehrerer Versuche, dass 44 bis 88 % der im Duodenum geflossenen Stärke verdaut wurden.

Tabelle 9 zeigt eine Zusammenstellung verschiedener Versuche zu Menge und Anteil der aus dem Dünndarm verschwundenen Stärke. Die großen Streuungen (Verdaulichkeit im Dünndarm von 10 bis 96 %) verdeutlichen die enormen Unterschiede und das Wirken vieler verschiedener Einflussfaktoren, wie z.B. der Lebendmasse, Rationsgestaltung und Stärkeaufnahme. Wie hier gezeigt, ist die Literatur sehr heterogen. Es ist bisher nicht gelungen, die postruminale Kapazität zur Stärkeverdauung näher zu bestimmen und einen Richtwert für die Menge an Bypass-Stärke abzuleiten, die im Dünndarm noch effizient verdaut werden kann.

**Tabelle 9: Übersicht über Versuche zur Bestimmung der Stärkeverdaulichkeit im Dünndarm bei Rindern (nach verschiedenen Autoren)**

Autor	LM in kg	Stärke- quelle	Stärke- aufnahme in g/d	im Dünndarm ver- schwundene Stärke	
				in g/d	in % der Bypass- Stärke
Axe et al. (1987)	295	Sorghum	2670	867	63
Bock et al. (1991)	349	Weizen	4090-4340	368-453	67-78
Brandt et al. (1986)	550	k.A.	k.A.	1050	k.A.
Hibberd et al. (1985)	340	Sorghum	4130-4820	281-668	29-67
Karr et al. (1966)	360	Körnermais	1000-2680	331-624	64-93
Kreikemeier et al. (1991)	350	Körnermais	1440	550	38
Russell et al. (1981)	350	Körnermais	1700-3200	221-415	46-49
Streeter et al. (1989)	315	Sorghum	4080-4500	40-220	10-33
Streeter et al. (1990d)	230	Sorghum	2800-3080	168-330	24-42
Zinn (1988)	220	Gerste	2060-2250	130-168	75-77
Zinn (1989)	315	Gerste	2000-2200	154-173	80-81
Zinn (1990)	395	Körnermais	2700	260-550	54-96

k.A. = keine Angabe

Desweiteren finden sich in der Literatur keine einheitlichen Aussagen über eine eventuelle Limitierung der Stärkeverdauung im Dünn- bzw. Dickdarm.

Van VUUREN et al. (1997) infundierten bei Kühen abomasal Tapiokamehl (T), Weizenstärke (WS), Maisstärke (MS), Maismehl (MM) und Maisstärkeflocken (FM). Jede Variante wurde in folgenden Mengen verabreicht: 650, 1300, 1950 und 2600 g/d. Zwischen Infusionsrate und der intestinal verschwundenen Menge wurde eine lineare Beziehung festgestellt, woraus gefolgert wurde, dass mit diesen infundierten Mengen die maximale Verdauungskapazität mit Ausnahme von Tapiokamehl noch nicht erreicht war. Für T, WS, MS, MM und FM wurden durchschnittliche Verdauungswerte von 42, 62, 70, 79 und 92 % gefunden und durch

Extrapolation über eine exponentielle Funktion die Kapazität für die maximal verdauliche Stärkemenge kalkuliert, die mit 2,0, 3,6, 3,9, 3,6 und 5,2 kg/d über der maximalen Infusionsmenge lag.

LITTLE et al. (1968) fanden in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von van VUUREN et al. (1997) eine linear ansteigende Hydrolyse und Absorption von Stärke bei Erhöhung der Zufuhr ohne Erreichen eines Plateaus. Auch OWENS et al. (1986) gaben an, dass es bis etwa 4,5 g Bypass-Stärke je kg Körpermasse (d.h. bei einer 650 kg Milchkuh ca. 2900 g) unabhängig von ihrer zuvorigen Behandlung keine Abnahme ihrer Verdaulichkeit im Dünndarm gibt.

Im Gegensatz hierzu fanden LEDOUX et al. (1985) in ihren Untersuchungen eine limitierte Kapazität zur Stärkenutzung im Dün- bzw. Dickdarm. Mit steigendem Mais- (39, 59 und 74 %) und sinkendem Heuanteil in der Ration wurde eine steigende Menge von unabgebauter Stärke im Kot (19, 24 und 27 %) ausgeschieden. Über ähnliche Befunde berichteten KARR et al. (1966), die beschrieben, dass bei steigender Stärkeaufnahme die im Dünndarm verdaute Menge bis zur Erreichung eines Plateaus anstieg, die Verdaulichkeit der Stärke aber von 93 % auf 64 % abnahm. KARR et al. (1966) vermuteten, dass die  $\alpha$ -Amylase-Sekretion der limitierende Faktor war.

Trotz kontroverser Angaben in der Literatur (KARR et al. 1966; LITTLE et al. 1968; LEDOUX et al. 1985; OWENS et al. 1986; THEURER 1986; van VUUREN et al. 1997; HUNTINGTON 1997) sprechen die meisten Befunde dafür, dass eine Limitierung der Stärkenutzung im Dünndarm vorliegt. Es ist davon auszugehen, dass mit zunehmender Menge an Bypass-Stärke die Verdaulichkeit derselben im Dünndarm abnimmt. Genaue Angaben hierzu fehlen aber bisher.

Als Ursachen für eine begrenzte Nutzung von Bypass-Stärke im Dünndarm werden eine begrenzte Kapazität der Stärkehydrolyse aufgrund unzureichender Amylase- bzw. Isomaltasekonzentrationen bzw. -aktivitäten und eine begrenzte Absorptionskapazität der Glucose diskutiert (MAYES und ØRSKOV 1974; McALLAN und LEWIS 1985; OWENS et al. 1986; NOCEK und TAMMINGA 1991; KREIKEMEIER et al. 1991). Somit bedarf auch die Frage nach den Ursachen der weiteren Klärung.

Van VUUREN et al. (1997) schlussfolgerten aus ihren Untersuchungen, dass die Stärkeverdauung unter praktischen Fütterungsbedingungen zum größten Teil durch die physikalisch-chemischen Eigenschaften der Stärke und nicht von tierspezifischen Faktoren, wie Enzymaktivitäten oder Absorptionskapazitäten, beeinflusst wird. Demnach müssten sich bei einem Versuch mit zwei physikalisch-chemisch unterschiedlichen Stärkequellen, wie z.B. Mais und Weizen, und zwei unterschiedlichen Stärkemengen am Dünndarm, größere Unterschiede zwischen den Stärkequellen als zwischen den Stärkemengen finden lassen.

Zu einer ähnlichen Aussage gelangten NOCEK und TAMMINGA (1991), welche in einer umfangreichen Literaturlauswertung eine negative lineare Beziehung zwischen dem Anteil an im Dünndarm verdauter Stärke und dem Anteil der im Pansen unabgebauten Stärke ermittelten (Abbildung 2). Je schwerer fermentierbar die Stärke im Pansen war, desto niedriger war auch ihre Verdaulichkeit im Dünndarm. Geht man jedoch davon aus, dass annähernd gleiche Stärkemengen an die Tiere verabreicht wurden, so steigt natürlich mit abnehmender Abbaubarkeit im Pansen auch die Menge an Bypass-Stärke, so dass sich der Einfluss von Art und Menge an Bypass-Stärke auf den Umfang der Dünndarmverdauung

nicht mehr trennen lässt. MILLS et al. (1999b) kommen in ihrer Übersichtsarbeit zu dem Ergebnis, dass ein Zusammenspiel futtermittel- und tierspezifischer Faktoren vorliegt.

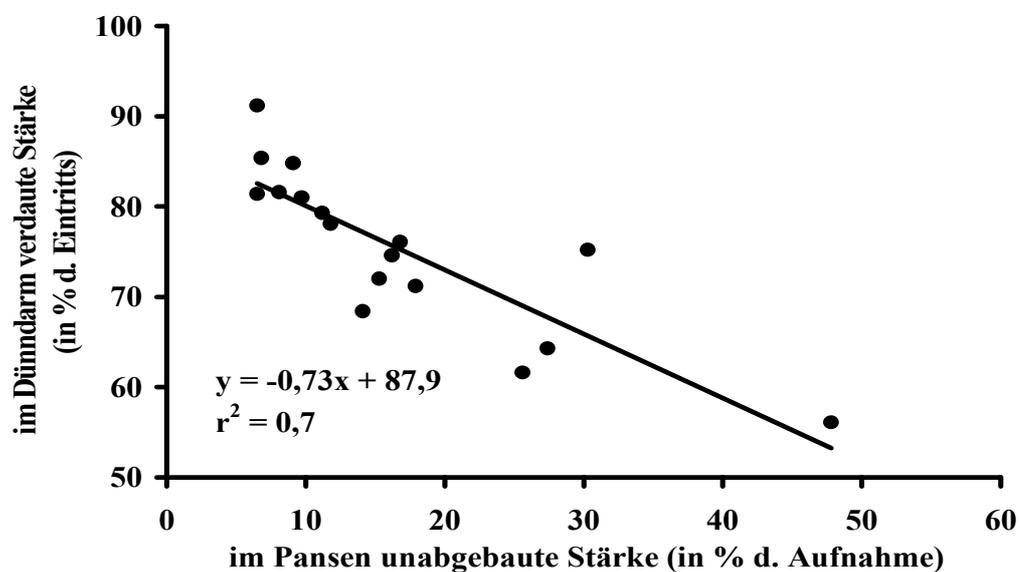


Abbildung 2: Beziehung zwischen der Fermentierbarkeit im Pansen und der Dünndarmverdaulichkeit von Stärke (NOCEK und TAMMINGA 1991)

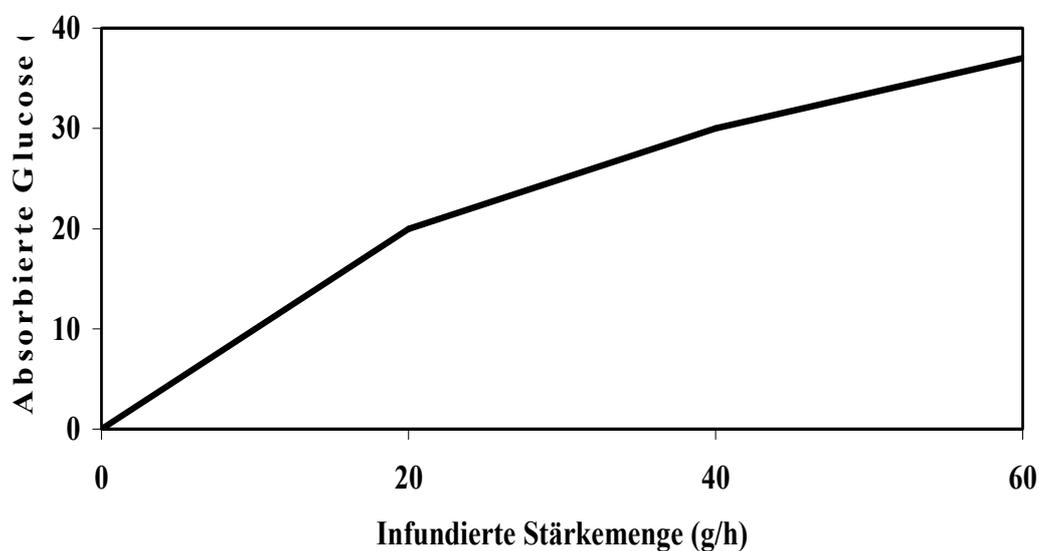


Abbildung 3: Einfluss der Höhe der Stärkeinfusion in den Dünndarm auf die Höhe der Glucoseabsorption (KREIKEMEIER et al. 1991)

Nach Untersuchungen von KREIKEMEIER et al. (1991) nimmt die relative Menge der absorbierten Glucose mit zunehmender Stärkemenge am Dünndarm ab. Die Autoren

infundierten 0, 20, 40 und 60 g/h Glucose, Maisstärke oder Maisdextrin über 10 Stunden in den Labmagen von nicht adaptierten Ochsen (Abbildung 3). Bei steigender Menge an infundierten Kohlenhydraten stieg zwar die Menge an absorbierter Glucose, die Absorbierbarkeit der Glucose, bezogen auf die in den Labmagen infundierte Menge, verringerte sich jedoch mit steigender Infusionsmenge von 86 auf 55 %.

Weiterhin wurde nach abomasaler Infusion von Maisstärke das Auftreten von Glucose im Ileum beobachtet, woraus geschlossen werden kann, dass hier die Stärkehydrolyse die Kapazität der Glucoseabsorption überschritten hatte und eine Sättigung des Absorptionssystems eingetreten war (KREIKEMEIER et al. 1991).

Arbeiten über den Einfluss der Gewöhnung an hohe Bypass-Stärkemengen liegen nur in begrenztem Umfang vor. HARMON (1992) postulierte nur eine geringe Adaptationsfähigkeit an eine Erhöhung der Stärkemenge im Dünndarm nach mehr als 14 Tagen. Im Gegensatz dazu stehen die Ergebnisse von BAUER et al. (1995), die mittels abomasaler Stärkehydrolysat-Infusion den Einfluss einer viertägigen Adaptationszeit im Gegensatz zu Nicht-Adaptation auf die Stärkenutzung im Dünndarm untersuchten und bei den adaptierten Tieren einen höheren Glucoseflux durch die PDV (portal drained viscera - Darm, Pankreas, Milz, Eingeweide- und Netzfett) (10,7 vs. 33,8 mmol/h), niedrigere Lactat-, Ammoniak- und Harnstoff-Gehalte und eine erhöhte Nutzung der Glucose im visceralen Gewebe feststellten. Die Autoren schlussfolgerten, dass eine Adaptation an hohe Stärkemengen die Stärkeassimilation erhöhen und somit die Stärkenutzung im Dünndarm und Eingeweide verbessern könnte. Somit bleibt die Frage nach dem Einfluss der Adaptationszeit auch weiterhin offen. In Untersuchungen mit kurzzeitigen Infusionen ist die Adaptationszeit für Enzyme bzw. Transportsysteme meist zu gering (McALLAN und LEWIS 1985), um aussagefähige Ergebnisse zu erhalten.

Ein weiteres Problem besteht darin, dass sich die meisten *in vivo*-Messungen an Milchkühen auf die Bestimmung der verschwundenen Stärke aus dem Verdauungstrakt beschränken. In diesen Studien bleibt der Bedarf für den Stoffwechsel des Darmgewebes unberücksichtigt, der jedoch maßgeblich darauf Einfluss hat, welche Nährstoffmengen der Leber und anderen Geweben, wie Muskel und Milchdrüse, tatsächlich zur Verfügung stehen (NOCEK und TAMMINGA 1991; HARMON 1992).

Um zu untersuchen, welcher Anteil der aus dem Dünndarm verschwundenen Stärke bzw. Glucose tatsächlich absorbiert wurde, bestimmten verschiedene Autoren die Differenz zwischen der Glucosemenge im arteriellen Blut und der Menge, die im venösen Portalblut abfließt („Nettoabsorption“).

Dabei erfolgte die Entnahme des venösen Blutes entweder aus der Pfortader (KREIKEMEIER et al. 1991) oder aus der Vena mesenterica cranialis (JANES et al. 1985). Während in der Pfortader das Blut aus den gesamten PDV, d.h. aus Magen, Darm, Pankreas, Milz, Eingeweidefett und omentalem Fett, zusammenkommt, perfundieren die Gefäße der Vena mesenterica cranialis lediglich die MDV (mesenteric drained viscera), d.h. Dünndarm und Caecum. Mit Hilfe dieser Methode lässt sich jedoch nur die Nettoabsorption bestimmen, da nicht im einzelnen zwischen absorbierter, im Gewebe gebildeter und im Gewebe verbrauchter Glucose unterschieden werden kann. Hierzu sind Untersuchungen mit markierten Substanzen erforderlich (JANES et al. 1985). Die Nettoabsorption unterschätzt somit die wahre Absorption in dem Umfang, in dem Nährstoffe aus dem arteriellen Blut bzw. aus dem Verdauungstrakt in den PDV verstoffwechselt werden.

Aufgrund der oben genannten Probleme bei der Beurteilung der absorbierten Glucosemenge aus dem Dünndarm bzw. dem Umfang der Gluconeogenese (vgl. Abschnitt 2.4) liegen bisher nur wenige und zudem unsichere Aussagen über die intermediäre Verwertung der Glucose vor.

Trotz der Annahme einer „Nettoabsorption“ von Glucose in die PDV fanden die meisten Autoren in ihren Versuchen aufgrund der Nutzung der Glucose in den PDV und der Synthese von Triglyzeriden oder ATP keine „Nettoabsorption“ (LOMAX und BAIRD 1983; OWENS et al. 1986; NOCEK und TAMMINGA 1991). NOCEK und TAMMINGA (1991) und ARMENTANO (1992) vermuten einen Verbrauch der durch stärkereiche Rationen und Bypass-Stärke zusätzlich zur Verfügung stehenden Glucose schon im Darmgewebe, z.B. zum Abbau von Nährstoffen und deren Absorption, für metabolische und sekretorische Zellprozesse, Proteinumbau und zellulären Transport.

Interessante Ergebnisse zur Nutzung zusätzlich zur Verfügung stehender Glucose fand RUST (1983), der 180 g Glucose an 21 kg schwere Lämmer entweder mit dem Futter oder als abomasale Infusion verabreichte. Die Energieretention im Leerkörper bei glucosegefütterten Lämmern betrug nur 52 % der Retention der glucoseinfundierten Lämmer. 87 % der zusätzlich retinierten Energie fand sich als Fettansatz um den Darm und das große Netz (Omentum) herum. Daraus könnte geschlussfolgert werden, dass schon im Darmgewebe eine hormonelle Regulierung in Richtung Lipogenese stattfindet und dass der Abtransport der zusätzlich zur Verfügung stehenden Glucose vom Ort der Absorption zu anderen Geweben limitiert ist.

### **2.3.3 Verdaulichkeit im Dickdarm**

Die im Pansen und Dünndarm nicht verdauten Kohlenhydrate erreichen den Dickdarm. Nach verschiedenen Autoren finden ca. 2 bis 11 % der gesamten Stärkeverdauung in diesem Abschnitt statt (De GREGORIO et al. 1982; THEURER 1986; MILLS et al. 1999b). Dort besteht die letzte Möglichkeit, im Pansen und Dünndarm nicht abgebaute Kohlenhydrate zu verdauen. Bei einem hohen Maisanteil in der Ration und gleichzeitig hoher Futteraufnahme können Stärkeverluste über den Kot auftreten (ØRSKOV et al. 1969), da die Maisstärke im Dickdarm nicht völlig fermentiert werden kann (KARR et al. 1966).

Die Effizienz der Produktion der flüchtigen Fettsäuren im Dickdarm entspricht ungefähr der des Pansens (THEURER 1986). Innerhalb des Dickdarms sind das Caecum und in geringerem Maße das proximale Colon Hauptregionen der Fermentation der noch verbleibenden Nährstoffe sowie der Absorption von Wasser, NH<sub>3</sub> und flüchtigen Fettsäuren (DIXON und NOLAN 1982). Im Colon descendens werden zwar noch Wasser, NH<sub>3</sub> und flüchtige Fettsäuren absorbiert, aber die Verdaulichkeit der organischen Substanz ist vernachlässigbar gering (DIXON und NOLAN 1982).

In Auswertung verschiedener Arbeiten fanden OWENS et al. (1986) eine Verdaulichkeit der angefluteten Stärke von 33 bis 62 % im Dickdarm, die von Partikelgröße, Bearbeitung u.a. Faktoren beeinflusst wurde. Hauptsächlich werden jedoch Faserbestandteile (Cellulose und Hemicellulose), die den Trakt bis dahin unverdaut passiert haben, fermentiert.

MEIJER et al. (1999) überprüften den Einfluss eines Stärkeeintrages auf die Verdaulichkeit der Faserbestandteile im Dickdarm. Eine Stärkeinfusion von 500 g in das Ileum, welche im Dickdarm komplett verdaut wurde, wirkte sich nicht negativ auf die NDF-Verdaulichkeit aus.

Die Verfütterung stärkereicher Mischungen im Gegensatz zu rohfaserreichen Rationen soll nach DIEZ-GONZALEZ et al. (1998) nicht nur zu einer Zunahme in der Zahl, sondern auch zu einer Erhöhung der Säureresistenz der *E. coli*-Population im Kot von Rindern führen, welche als Hauptreservoir für EHEC (enterohämorrhagische *Escherichia coli*)-Bakterien gelten. Dieses konnte allerdings in Untersuchungen von GOLLNISCH et al. (2000) mit bypass-stärkereicherem und dann nachfolgend bypass-stärkearmem Futter nicht bestätigt werden, denn es konnten keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Keimzahlen von *E. coli* festgestellt bzw. keine EHEC bei den Milchkühen nachgewiesen werden (Tabelle 10).

**Tabelle 10: Mittelwerte und Standardabweichungen der Keimzahlen für *E. coli* ( $\log_{10}$  CFU/g) bei bypass-stärkereicher und nachfolgender bypass-stärkearmer Fütterung (GOLLNISCH et al. 2000)**

Bypass-stärkereiches Kraftfutter		Bypass-stärkearmes Kraftfutter		
30. Tag	60. Tag	5. Tag	12. Tag	30. Tag
5,5 $\pm$ 1,8	4,4 $\pm$ 1,2	4,3 $\pm$ 1,2	4,2 $\pm$ 0,9	5,6 $\pm$ 1,2

Wie bei GOLLNISCH (2000) dargestellt, ist eine Beeinflussung der Ausscheidung von EHEC durch die Fütterung in der Literatur nicht einheitlich.

## 2.4 Gluconeogenese

Nach STANGASSINGER (1997) können bei der Hochleistungskuh auch mit stärkereichen Rationen maximal 16 % der über das Futter zugeführten Glucose aus dem Verdauungstrakt absorbiert werden. Außerdem ist aufgrund der ungenügenden Enzymausstattung der Leber zur Glucophosphorylierung die Anlage eines größeren Glucosespeichers (Glykogen) praktisch nicht möglich. Deshalb sind zum einen Mechanismen zur Einschränkung des Glucoseverbrauchs, die besonders in Situationen mit hohem Glucosebedarf eine Rolle spielen, (STANGASSINGER 1997) und zum anderen die Gluconeogenese bzw. die Verfügbarkeit glucogener Substanzen von Bedeutung.

Die Glucoseneubildung findet im Zytoplasma der Hepatozyten (85-90 %) und der Nierenzellen des proximalen Tubulussystems (10-15 %) statt (KOLB 1989) und ist u.a. aufgrund der Umsetzungen durch die Enzyme Pyruvatkinase, Pyruvatcarboxylase und Phosphoenolpyruvatcarboxykinase ein energetisch aufwendiger Prozess (ARMENTANO 1992). Für den Aufbau von einem Mol Glucose aus zwei Mol Pyruvat werden für die Bildung von Oxalacetat aus Pyruvat, für die Bildung von Phosphoenolpyruvat aus Oxalacetat sowie für die Synthese von 1,3-Bisphosphoglycerat aus 3-Phosphoglycerat sechs Mol ATP benötigt (KOLB 1989; LÖFFLER und PETRIDES 1997). Nach Angaben verschiedener Autoren (BERGMAN 1990; RECHKEMMER et al. 1995; BERGNER und HOFFMANN 1997; CHUDY 1999) wird der Energiebedarf zur Erzeugung von 1 J Glucose über die Gluconeogenese mit ca. 1,5 (1,3 – 1,8) J angegeben.

Die hohe Syntheseleistung der Leber als wichtigstes Organ der Gluconeogenese erfordert einen enormen Blutfluss, der an der Pfortader eine Spanne von 870-1990 Litern pro Stunde und durch die Leber Werte von 1120-2520 Litern pro Stunde aufweist. 90 % der Variationen im Blutfluss lassen sich durch unterschiedliche Aufnahmen an metabolischer Energie erklären (DANFAER 1999). Die Nährstoffe fließen über die Pfortader und die hepatische Arterie in die Leber, über die hepatischen Venen verlassen sie diese. Die Glucosefreisetzung entspricht einem Anteil von 69 % der gesamten Kohlenstofffreisetzung aus der Leber (DANFAER 1999).

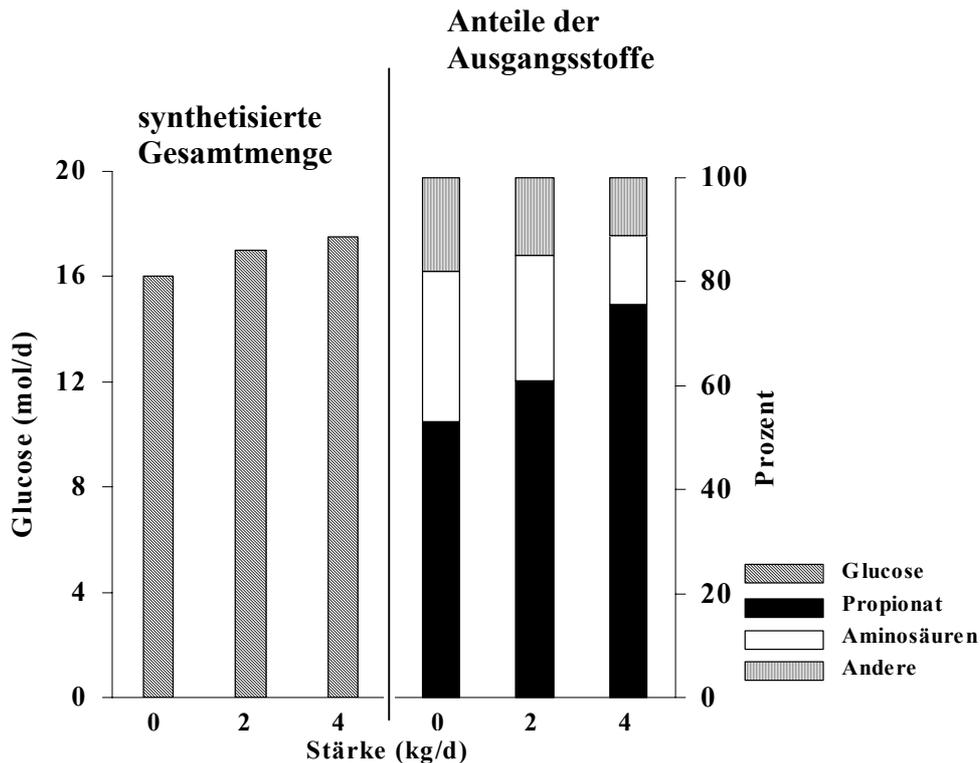
Das Ausmaß der Gluconeogenese wird durch die Versorgung mit Glucose aus dem Futter, ihrer Absorption, durch die Verfügbarkeit von glucogenen Ausgangssubstanzen sowie durch die hormonelle Regulation bestimmt. Nach Ausbildung der Vormägen nimmt die Gluconeogenese zu, die Größe des Glucosepools und das Ausmaß der intermediären Glucoseverwertung dagegen ab. Während der Laktation steigt der Glucoseumsatz beim Wiederkäuer an, die Gluconeogenese nimmt zu (KOLB 1989; CHUDY 1999).

Als Ausgangssubstanzen dienen hauptsächlich Propionat, Lactat und einige Aminosäuren. Die chemischen Reaktionen der Gluconeogenese sind z.B. bei KOLB (1989) bzw. LÖFFLER und PETRIDES (1997) nachzulesen. Die Anteile der Ausgangsstoffe betragen nach DANFAER (1999) 51 % für Propionat, 21 % für Aminosäuren, 15 % für Lactat und 13 % für unbekannte Quellen, wahrscheinlich Glycerin und Pyruvat. Andere Autoren (LOMAX und BAIRD 1983; REYNOLDS et al. 1988) geben für den Anteil des Lactats an der Gluconeogenese Werte zwischen 15-17 % an.

Der nach REYNOLDS et al. (1988) mit 16,5 % angegebene Anteil der Aminosäuren liegt etwas unter der Angabe von 21 % von DANFAER (1999). Diese Werte sind nur als Richtlinien anzusehen, die sich mit wechselnder Stoffwechsellage verschieben können (DANFAER 1999). Weiterhin spielen Einflussfaktoren wie die angewendete Methode zur Ermittlung solcher Werte, Tierart und -zahl, verabreichte Ration und Versorgung mit glucoplastischen Substanzen eine bedeutende Rolle.

Unter den Aminosäuren gelten besonders Leucin und Glutamin als wichtige glucogene Ausgangssubstanzen. Bei erhöhtem Glucosebedarf kann aber auch Alanin verstärkt genutzt werden (OVERTON et al. 1999). Zusätzliche intestinal verfügbare Glucose könnte einen Spareffekt auf die glucogenen Aminosäuren ausüben, erbrachte aber in den Versuchen von MEIJER et al. (1997) keine Änderung in der Nutzung derselben. In Versuchen von ABEL et al. (1997) war der Anteil der aus Aminosäuren gebildeten Glucose durch die zusätzliche Bereitstellung von Aminosäuren über eine Caseininfusion in den Labmagen von vier Milchkühen erhöht. Die Tiere setzten im Stoffwechsel größere Glucosemengen nach Caseininfusion um, so dass gegenüber der Kontrolle (Infusion von Wasser) auch die Milchmenge und der Proteingehalt tendenziell erhöht waren.

WIEGHART et al. (1986) infundierten Propionat (das Doppelte des normalen Propionatflusses an der Pfortader) für 3 h in die Jugularvene von laktierenden Kühen (17 bis 23 kg Milch/d) und fanden eine erhöhte Glucoseproduktion, einen reduzierten Verbrauch anderer Glucosevorstufen in der Leber, aber keinen Effekt auf Futteraufnahme und Milchleistung.

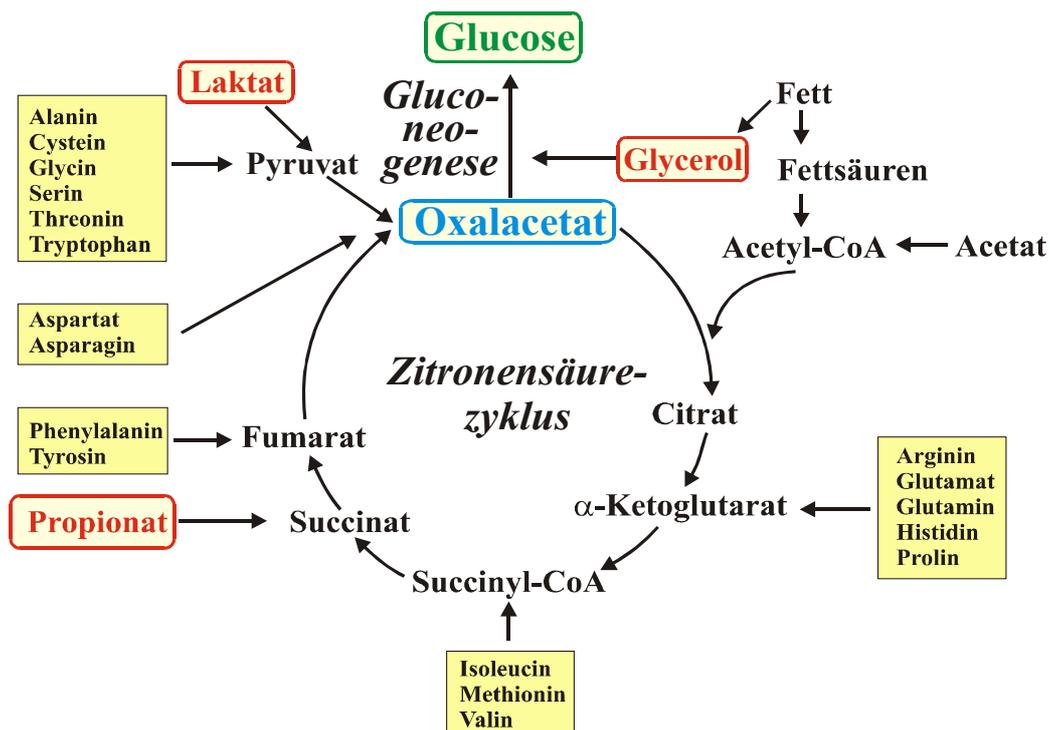


**Abbildung 4: Glucosesynthese in der Leber (linke schraffierte Säulen) und Anteile verschiedener Ausgangsstoffe an der Synthese (rechte Säulen) nach Verabreichung von 0, 2 und 4 kg ruminal abbaubarer Stärke aus Maisflocken pro Tier und Tag (nach De VISSER 1997)**

Bei Versorgung mit im Pansen abbaubarer Stärke (Maisflocken) wurde im Versuch von De VISSER (1997) der Anteil an Propionat als Glucosevorstufe von ca. 53 auf 75 % erhöht, während die Anteile der Aminosäuren und anderer Quellen, wie Lactat und Glycerin, sanken (Abbildung 4). Wie in der Untersuchung von WIEGHART et al. (1986) nahm auch in dieser Studie die Glucoseproduktion von 16,0 auf 17,6 mol/d, d.h. von 2,9 auf 3,2 kg Glucose, zu.

LONZANO et al. (2000) fanden bei Einsatz von dampfbehandeltem, d.h. leicht fermentierbarem, gegenüber trocken gewalztem, d.h. gering abbaubarem, Sorghum einen linearen Anstieg der Nettoabsorption der Glucosevorstufen Propionat und Lactat, welche ebenso wie bei De VISSER (1997) in einem linearen Anstieg der Glucosesynthese und -abgabe aus der Leber in Gewebe außerhalb der Eingeweide (z.B. Muskeln) resultierte.

Der Ablauf der Gluconeogenese über Oxalacetat als Zwischenstufe kann zu einer Konkurrenz zum Citratzyklus um Oxalacetat führen (Abbildung 5).



**Abbildung 5: Zentrale Stellung des Oxalacetats zwischen Citratzyklus und Gluconeogenese (nach VOET und VOET 1994)**

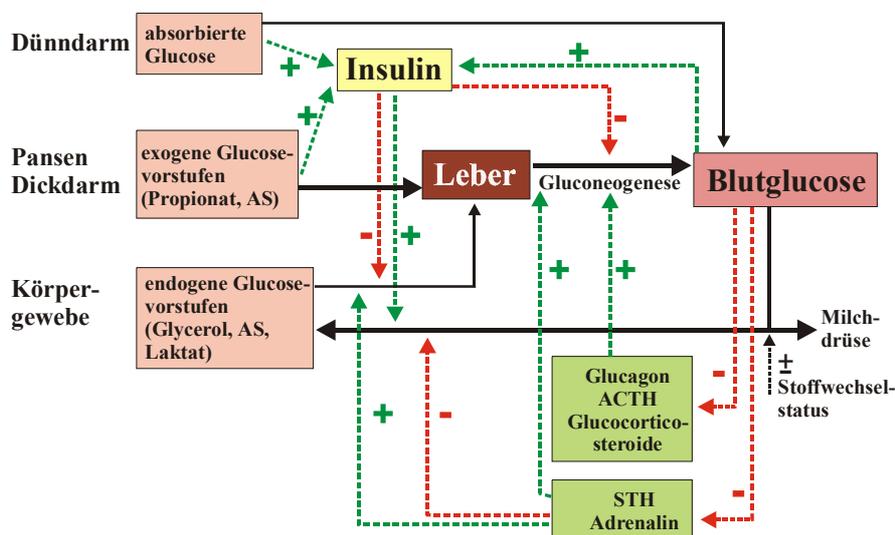
Bei hohem Bedarf an Oxalacetat für die Gluconeogenese und gleichzeitig erhöhter Lipolyse bei laktierenden Kühen, besonders im ersten Laktationsdrittel, kann es zu einer hohen Acetyl-CoA-Anreicherung kommen, da letzteres infolge eines Mangels an Oxalacetat nicht in den Citratzyklus eintreten kann. Durch Kondensationsreaktionen entstehen dann aus dem Acetyl-CoA Acetonkörper. Das freigesetzte Coenzym A steht für weitere Ketokörpersynthesen zur Verfügung. Durch die Anhäufung von Acetoacetat,  $\beta$ -Hydroxybutyrat sowie Aceton kann es zu einer alimentären Ketose kommen. Anhand Abbildung 5 soll weiterhin verdeutlicht werden, an welchen Stellen die glucoplastischen Aminosäuren in den Citratzyklus einfließen können und somit als Ausgangsstoffe für die Gluconeogenese dienen.

Die Ausbalancierung zwischen exogener Zufuhr bzw. Absorption von Nährstoffen und endogener Synthese von Glucose beweist ein sehr stark reguliertes System (NOCEK und TAMMINGA 1991; vgl. 2.5). Der Wiederkäuer ist in der Lage, sich in Situationen mit erhöhtem Glucosebedarf metabolisch weitgehend zu adaptieren (AMARAL-PHILLIPS et al. 1993; STANGASSINGER 1997; OVERTON et al. 1998; CHUDY 1999; OVERTON et al. 1999).

## 2.5 Hormonelle Regulation der Gluconeogenese und der Blutglucose

Gesunde Milchkühe weisen einen Blutglucosegehalt von 3,3-4,4 mmol/l auf (ROSENBERGER et al. 1990). Trotz ausgeprägter homöostatischer Regulierung (NOCEK

und TAMMINGA 1991) und weitgehender Adaptation an Situationen mit erhöhtem Glucosebedarf erscheint es im ersten Laktationsdrittel für die Hochleistungskuh schwierig, die Glucoseproduktion auf den großen Verbrauch in der Milchdrüse einzustellen. Die Bereitstellung der Glucose wird vor allem durch eine intensiver ablaufende Gluconeogenese und eine Erniedrigung des Glucoseverbrauchs in den peripheren Geweben zugunsten der Milchdrüse gewährleistet.



**Abbildung 6: Schema zur Steuerung des Glucosestoffwechsels**  
(+ positive, - negative Beeinflussung)

Aus den Hepatozyten wird ständig Glucose in das Blut abgegeben. Das Ausmaß der Abgabe ist dabei von der Höhe des Glucosegehaltes im Blut abhängig. Bei erhöhter Glucosekonzentration sinkt die Abgabe sehr stark, die Aufnahme von Glucose in die Zellen der Leber, des Fettgewebes sowie der Skelettmuskulatur und ihre Oxidation wird gefördert. Weiterhin wird die Gluconeogenese gehemmt, die Glykogensynthese in Leber und Skelettmuskulatur angeregt sowie die Bildung von Schlüsselenzymen für die Synthese von Triglyceriden in der Leber und im Fettgewebe gefördert (Abbildung 6; vgl. KOLB 1989).

Bei absinkendem Glucosegehalt im Blut nimmt die Glucoseausschüttung aus der Leber in das Blut, gefördert durch Adrenalin, Glucagon und Glucocortico-steroide, zu. Insulin hemmt diesen Vorgang. Die Mobilisierung von Glucose aus dem Glykogen der Leber wird gefördert, die Gluconeogenese durch die Sekretion von ACTH bzw. Glucocortico-steroiden angeregt. Gleichzeitig wird durch STH und Adrenalin die Mobilisierung langkettiger Fettsäuren aus den Fettzellen gefördert (Abbildung 6; vgl. KOLB 1989).

Da trotz der hohen Milchleistung und des hohen Glucoseumsatzes zu Beginn der Laktation der Plasmagluconespiegel nur relativ wenig abfällt, kann dieser nicht der einzige und wichtigste Faktor für die Stimulierung der Gluconeogenese und Bevorzugung des Euters bei der Nährstoffverteilung in der Früh-laktation sein. Den größten regulatorischen Einfluss übt nach THILSTED (1985) der Hormonstatus der Tiere aus (Tabelle 11).

**Tabelle 11: Beeinflussung der Schlüsselenzyme für die Gluconeogenese (LÖFFLER und PETRIDES 1997)**

Enzym	Aktivierung durch	Hemmung durch
Pyruvatcarboxylase	Glucocorticosteroide, Glucagon	Insulin, ADP
Phosphopyruvatcarboxylase Fructose-1,6-bisphosphatase	Glucocorticosteroide Glucocorticosteroide	Insulin Insulin, AMP, Fructose-1,6-bisphosphat
Glucose-6-phosphatase	Glucocorticosteroide	Insulin

Verschiedene Autoren untersuchten, welche Hormone oder Metaboliten den stärksten Einfluss ausüben und erzielten kontroverse Ergebnisse.

HERBEIN et al. (1985) stellten fest, dass Insulin und Glucagon die primären Regulatoren der Glucosekonzentration im Blut sind, wobei der Insulinspiegel bei der Regulierung scheinbar eine wichtigere Rolle spielt als der Glucagonspiegel. Ähnliche Befunde erzielte STANGASSINGER (1997), der zeigte, dass der für eine ausreichende Glucosebereitstellung erforderliche niedrigere Insulin/Glucagon-Quotient stärker durch die Abnahme des Insulins durch den Anstieg des Glucagonspiegels bedingt wird. Von ENGELHARDT und BREVES (2000) dagegen führen aus, dass der fütterungsinduzierte Anstieg des Insulin/Glucagon-Quotienten für den Blutglucosespiegel praktisch ohne Bedeutung ist.

Mit fortschreitendem Laktationsstadium verändert sich die hormonelle Situation. HERBEIN et al. (1985) fanden eine Zunahme der Glucosekonzentration (von 3,05 auf 3,22 mmol/l), des Insulingehaltes (von 0,58 auf 0,73 ng/ml) und des Insulin/Glucagon-Quotienten (von 0,8 auf 1,2) im Blut. Die Plasmakonzentration des STH verringerte sich sowohl absolut als auch relativ zur Insulinkonzentration. Überdurchschnittliche Milchleistungen standen in den Versuchen von HERBEIN et al. (1985) in Verbindung mit außergewöhnlich hohen Glucagon- aber niedrigen Insulin- und Glucosegehalten.

## 2.6 Energetische Effizienz der Glucosebereitstellung

Um den Stoffwechsel der Hochleistungskuh durch die Gluconeogenese nicht zu stark zu belasten, sollten alle Möglichkeiten zur Verbesserung der Stärke- bzw. Glucoseversorgung über das Futter ausgeschöpft werden.

Bei einer vermehrten Anflutung von Stärke am Dünndarm steht mehr Stärke für die enzymatische Verdauung und somit Absorption von Glucose zur Verfügung, wodurch glucoplastische Substanzen eingespart und der Stoffwechsel entlastet werden könnte. Es erscheint aus energetischer Sicht somit sinnvoll, den Stärkeabbau z.T. in den Dünndarm zu verlegen, damit dort maximale Stärkemengen für die Verdauung mit körpereigenen Enzymen zur Verfügung stehen (OWENS et al. 1986; MERCHEN et al. 1997).

In welchem Ausmaß Stärke im Dünndarm hydrolysiert, als Glucose absorbiert und der Milchdrüse zur Verfügung stehen kann, ist von verschiedenen Faktoren abhängig und, wie im Abschnitt 2.3.2 gezeigt wurde, nicht immer gleich. Die im Dünndarm genutzte Glucose macht, wie in mehreren Arbeiten dargestellt, nur einen kleinen Teil an der gesamten im Organismus benötigten Glucose aus (STANGASSINGER 1997). Dennoch sollen einige

Betrachtungen zum Vergleich der energetischen Effizienz beider Wege, der über die Gluconeogenese und der der Nutzung von Glucose aus dem Dünndarm, angestellt werden.

Die mikrobielle Umsetzung der Kohlenhydrate im Pansen zu flüchtigen Fettsäuren bringt Energieverluste in Form von Methan und Wärme mit sich. Die Verluste beim Abbau rohfaserhaltiger Bestandteile sind unvermeidbar, da diese Komponenten durch körpereigene Enzyme im Dünndarm nicht verdaut werden. Dagegen führt die hydrolytische und/oder enzymatische Verdauung von nicht-strukturierten Kohlenhydraten im Dünndarm zu Endprodukten (z.B. Glucose), die wesentlich energiereicher sind als die Fermentationsprodukte im Pansen. Deshalb stehen dem Tier nach dem Stärkeabbau im Dünndarm 33 bis 42 % mehr Nettoenergie zur Verfügung als nach Fermentation der Stärke im Pansen (SCHIEMANN et al. 1971; OWENS et al. 1986; GÄDEKEN et al. 1995; MERCHEN et al. 1997; JIANZHONG 1998).

Eine Modellrechnung (FETT 1988; Tabelle 12) verdeutlicht die möglichen Vorteile von langsam abbaubarem Körnermais und höheren Bypass-Mengen an Stärke im Gegensatz zu schnell abbaubarer Gerste. So werden bei einer Stärkeaufnahme von 4200 g bzw. 3600 g Stärke aus Mais bzw. Gerste 880 g bzw. 250 g der Stärke im Dünndarm verdaut und stellen somit 970 g bzw. nur 280 g Glucose für die weitere intermediäre Verwertung bereit.

**Tabelle 12: Modellrechnung zur Verabreichung von Mais und Gerste in der frühen Laktation (Unterstellungen: 30 kg Milch pro Tag; Glucosebedarf: 2,0 kg pro Tag; Futteraufnahme: 17 kg T pro Tag; FETT 1988)**

	Mais	Gerste
Stärkegehalt in der T (%)	70	70
Stärkeabbau: Pansen/ Dünndarm/ Dickdarm (%)	75/ 21/ 2	92 / 7 / 1
Stärkeaufnahme (g)	4200	3600
im Pansen verdaute Stärke (g)	3150	3310
im Dünndarm verdaute Stärke (g)	880	250
Glucoseanlieferung aus dem Dünndarm (g)*	970	280
Glucosebedarfsdeckung über den Dünndarm (%)	49	14

\* bei der Annahme: 1 g Stärke entspricht 1,1g Glucose nach der Hydrolyse

Eine weitere Modellrechnung zur unterschiedlichen Versorgung der Hochleistungskuh mit Glucose durch den Einsatz von Mais im Vergleich zu Weizen ist in Tabelle 13 dargestellt. Aufgrund des höheren Anteils an Bypass-Stärke beim Einsatz von Mais anstelle von Weizen kann theoretisch ein größerer Anteil des Glucosebedarfs (51 vs. 16 %) über im Dünndarm absorbierte Glucose abgedeckt werden.

**Tabelle 13: Kalkulation der Glucoseversorgung der Hochleistungskuh bei Verfütterung von Mais und Weizen (Unterstellungen: Milchleistung: 40 kg pro Tag, Glucosebedarf: 3,0 kg pro Tag, Kraftfutteraufnahme: 8 kg T pro Tag; LEBZIEN et al. 1997)**

	Stärkequelle	
	Mais	Weizen
Stärkegehalt (% der T)	70	60
Stärkeabbau (% der Aufnahme)		
Pansen	70	90
Dünndarm	25	9
Stärkeaufnahme (g pro Tier und Tag)	5600	4800
abgebaute Stärke im Pansen (g pro Tier und Tag)	3920	4320
Bypass-Stärke (g pro Tier und Tag)	1680	480
im Dünndarm verdaute Stärke (g pro Tier und Tag)	1400	432
verfügbare Glucose im Dünndarm (g pro Tier und Tag)*	1540	475
Anteil am Bedarf (%)	51	16

\* 1 g Stärke entspricht 1,1 g Glucose nach der Hydrolyse

In Tabelle 14 ist die energetische Ausbeute aus einem Gramm Glucose dargestellt, zum einen, wenn Glucose im Pansen zu flüchtigen Fettsäuren abgebaut wird, und zum anderen, wenn Glucose im Dünndarm direkt absorbiert wird. Als Energieverluste bei der Fermentation sind die Methanbildung (14-22 %) und 7 % Wärmeverlust berücksichtigt (BERGNER und HOFFMANN 1997).

**Tabelle 14: Energetische Betrachtung zur Glucosebereitstellung bei der Milchkuh (in % des Energiegehaltes von Glucose: 15,7 kJ/g)**

Verlust in %	Stärkeabbau im Pansen und Gluconeogenese	Stärkeverdauung und Glucoseabsorption im Dünndarm
1. Ruminale Fermentation	ca. 25 <sup>1)</sup>	0
2. Energieverbr. für Absorption der FFS	0 <sup>2)</sup>	0
3. Gluconeogenese (Propionat zu Glucose)	ca. 25 <sup>3)</sup>	0
4. Enzymatische Stärkeverdauung im Dünndarm und Glucoseabsorption	0	(ca. 25 <sup>4)</sup> )
Gesamtverluste in %	ca. 50	(ca. 25)
Energieausbeute je g Glucose (kJ)	7,9	11,8

1) BERGNER und HOFFMANN (1997) 2) BERGMAN (1990); RECHKEMMER et al. (1995)

3) BERGNER und HOFFMANN (1997); CHUDY (1999) 4) McBRIDE und KELLY (1990)

Es wird ersichtlich, dass die Verluste bei der Stärkeverdauung und der Glucoseabsorption im Dünndarm geringer sind, d.h. eine Energieausbeute je g Glucose von 7,9 bzw. 11,8 kJ vorliegt. Die aufgezeigten Werte basieren auf Berechnungen nach den aufgeführten Quellen und sind, besonders für die enzymatische Stärkeverdauung im Dünndarm und die Glucoseabsorption, nur als Schätzwerte zu sehen. Auch andere für die Kalkulationen herangezogene Daten (z.B. Energieverluste im Pansen und bei der Gluconeogenese) sind aufgrund methodischer Schwierigkeiten noch recht unsicher. In Ermangelung besserer Daten muss jedoch z.Z. noch mit ihnen gearbeitet werden.

## 2.7 Fütterungsversuche und Leistungsdaten

Körnermais zeigte im Respirationsversuch an Milchkühen (GÄDEKEN et al. 1995) wie aufgrund der vorangegangenen Ausführungen zu erwarten mit 9,88 MJ NEL/kg T einen deutlich höheren Energiegehalt als Weizen (8,80 MJ NEL/kg T), da beim Körnermais eine signifikante Reduzierung der Energieausscheidung im Harn und in Form von Methan und Wärme gefunden wurde und damit die Energieretention höher war. Allerdings wurden alle ernährungsphysiologischen Effekte, die durch den Austausch von Mais- bzw. Weizenstärke hervorgerufen wurden, dem kalkulierten Energiegehalt zugeschlagen, so dass anzunehmen ist, dass der Unterschied im Energiegehalt zwischen Mais und Weizen geringer ist, wie die Werte der DLG- Futterwerttabellen (1997) bestätigen (8,39 vs. 8,53 MJ NEL).

**Tabelle 15: Milchleistung nach Einsatz verschiedener Stärkequellen (Weizen/Gerste als schnell abbaubare, Mais/Sorghum als langsam abbaubare Stärkequelle)**

Autor	Stärkequelle	Aufnahme (kg T/Tag)	Milch (kg/Tag)	Fett (%)	Eiweiß (%)
Abel et al. (1992)	Weizen	7,3*	26,9	4,31	3,34
	Mais	7,6*	27,3	4,33	3,34
Beauchemin und Rode (1997)	Gerste	18,7	25,7	3,10	3,15
	Mais	18,3	25,0	3,18	3,10
Casper und Schingoethe (1989)	Gerste	18,8	31,6	3,36	3,00
	Mais	20,5	32,8	3,37	3,05
Casper et al. (1999)	Gerste	8,5*	26,3	2,71	3,28
	Mais	8,2*	23,7	2,73	3,28
Daenicke et al. (1997)	Weizen	21,1	25,1	4,29	3,41
	Mais	21,1	26,0	4,19	3,32
Daenicke (2000)	Weizen	18,0	25,8	4,27	3,22
	Mais	18,3	26,8	4,31	3,22
De Peters und Taylor (1985)	Gerste	12,8	27,4	2,81	3,23
	Mais	12,9	28,0	3,01	3,21
Dewhurst et al. (1997)	Weizen	19,2	29,6	3,86	2,95
	Mais	18,8	29,3	3,85	2,99
Grings et al. (1992)	Gerste	27,3	40,9	3,38	3,11
	Mais	26,1	40,4	3,43	3,13
Santos et al. (1997)	Gerste	24,7	36,5	3,28	3,05
	Sorghum	28,4	36,2	3,29	2,99
Tommervik und Walden (1995)	Weizen	16,8	23,3	3,93	3,69
	Mais	16,5	23,9	3,83	3,63
Weiss et al. (1989)	Gerste	20,7	22,9	3,41	3,22
	Mais	21,2	23,3	3,75	3,20
Yang et al. (1997)	Gerste	22,4	23,7	3,95	3,57
	Mais	23,0	24,2	3,78	3,52
$\bar{x}$ Weizen/Gerste		<b>20,1</b>	<b>28,2</b>	<b>3,53</b>	<b>3,24</b>
$\bar{x}$ Mais/Sorghum		<b>20,5</b>	<b>28,3</b>	<b>3,56</b>	<b>3,22</b>

\* Aufnahme aus dem Kraftfutter

Durch die effizientere Verwertung der Bypass-Stärke könnten Mais und Sorghum jedoch zu etwas besseren Leistungsdaten führen als andere Getreide.

Die Ergebnisse verschiedener Versuche liegen aber nahezu alle unter den erwarteten bzw. kalkulierten Resultaten, wie auch Tabelle 15 in Auswertung verschiedener Versuche zeigt. Im Mittel wurden bei beiden Getreiden annähernd gleiche Leistungen bei gleichen Inhaltsstoffen erzielt. Bei einem um etwa 1,5 kg erhöhten Stärke-Bypass aus Mais und der energetischen Nutzung der Stärke als Glucose (vgl. Tabelle 14) wäre nach energetischen Kalkulationen eine um 1,5 kg höhere Milchleistung zu erwarten gewesen. Vermutlich konnte die am Dünndarm vermehrt anflutende Stärke nicht effizient verwertet werden. Einige mögliche Ursachen dafür wurden in 2.3.2 genannt und werden zu einem späteren Zeitpunkt (vgl. Abschnitte 5.3 und 5.6) ausführlicher diskutiert.

Obwohl der Einsatz langsam abbaubarer Stärkequellen nicht zu Leistungssteigerungen in erwartetem Umfang führte, bleibt ihr positiver Effekt bezüglich eines stabileren pH-Wertes im Pansen und somit verminderter Acidosegefahr erhalten (2.3.1).

THEURER (1986), NOCEK und TAMMINGA (1991) sowie THEURER et al. (1999) wiesen darauf hin, dass die ruminale Stärkeverdaulichkeit mit der Gesamtverdaulichkeit eng positiv korreliert. POORE et al. (1993a) und HUNTINGTON (1997) stellten sogar fest, dass die Effizienz von Eiweißansatz und Milchleistung höher ist, wenn in der Ration viel ruminal abbaubare Stärke enthalten ist. Somit stellt sich die Frage, wieviel Bypass-Stärke sinnvoll für das Tier ist, wie die Leistungsparameter zu beeinflussen und langsam und schnell abbaubare Stärkequellen zu kombinieren sind.

Andere Versuchsansteller infundierten postruminal Glucose, Stärke oder Protein und kamen hinsichtlich des Einflusses auf die Milchleistung zu widersprüchlichen Ergebnissen.

Eine abomasale Infusion von 450 g Glucose pro Tag über 12 d hatte in einer Untersuchung von CLARK et al. (1977) keinen Effekt auf die Milchleistung. Das gleiche galt, wenn 1500 g Glucose pro Tag duodenal über 12 d infundiert und Energie- und Proteinaufnahme zwischen Kontroll- und Infusionskühen gleichgehalten wurde (LEMOSQUET et al. 1997).

HURTAUD et al. (1998) infundierten 0, 500, 750 und 1500 g Glucose pro Tag in das Duodenum von Milchkühen. Die steigenden Glucosemengen beeinflussten auch hier die Milchleistung (38,0, 38,2, 37,5 und 37,8 kg/d) und den Proteingehalt (2,80, 2,80, 2,84 und 2,88 %) nicht. Der unveränderte Proteingehalt weist darauf hin, dass zusätzliche Glucose den Metabolismus von glucogenen Aminosäuren im Darm oder in der Leber nicht wesentlich veränderte oder andere Aminosäuren erstlimitierend waren.

Eine duodenale Maisstärke-Infusion von 0, 700, 1400 oder 2100 g pro Tier und Tag erbrachte eine Milchleistung von jeweils 31,8, 33,1, 32,5 und 33,8 kg und eine Fettmenge von 1,3 kg in allen Varianten (REYNOLDS et al. 1996).

Eine abomasale Infusion von 1,0 kg Glucose pro Tag über vier Wochen an frischlaktierende Milchkühe, die mit einer Luzernesilage gefüttert wurden, erniedrigte zwar die T-Aufnahme, eine Beeinflussung der Milchleistung erfolgte jedoch nicht. Wurde diese Infusion durch 1,2 kg Sojaprotein pro Tag ergänzt, so erhöhte sich die Milchleistung, und zwar in größerem Maße als durch die Protein-Infusion allein, was auf eine Interaktion zwischen Protein-Fluss am Duodenum und Glucoseabsorption und -nutzung durch die Milchdrüse schließen lässt

(DHIMAN et al. 1993 - Tabelle 16). Bei der Interpretation dieser Daten sind jedoch die z.T. beträchtlichen Unterschiede in der T-Aufnahme (bis 3,4 kg) zu beachten.

**Tabelle 16: Leistungsmerkmale nach abomasaler Infusionen von Glucose, Sojaprotein oder einer Kombination aus beidem (DHIMAN et al. 1993; n=5)**

	Kontrolle	+Glucose	+Sojaprot.	+Glu+Prot
T-Aufnahme kg/d	18,5	15,1	16,4	17,7
FCM kg/d*	26,7	25,3	31,2	32,8
Proteingehalt %	2,79	2,52	2,84	2,95
Fettgehalt %	3,61	2,98	3,61	3,32
Blutglucose mg/100 ml	55,6	60,2	52,0	60,7

\* bei 3,5 % Fett

KNOWLTON et al. (1998b) infundierten über 14 Tage entweder ruminal oder abomasal 1,5 kg Stärke pro Tag. Die Milchleistung, die im Durchschnitt 40 kg/d betrug, und der Lactosegehalt wurden durch die Infusionen, unabhängig vom Ort derselben, im Vergleich zur Kontrolle tendenziell erhöht, die T-Aufnahmen erniedrigten sich (Tabelle 17). Die ruminale Infusion beeinflusste die Glucoseumsatzrate, d.h. die Menge an Glucose, die oxidiert oder zur Lactosesynthese herangezogen wurde, nicht. Die erhöhte Milchleistung wurde größtenteils mit der zusätzlich im Pansen zur Verfügung stehenden Energie und der höheren mikrobiellen Proteinsynthese erklärt. Im Gegensatz dazu erhöhte die abomasale Infusion die Glucoseumsatzrate, die Glucoseoxidation, die Nutzung der Glucose für Lactoseproduktion und die Speicherung als Depotfett. Die Milchleistungssteigerung wurde in diesem Fall vermutlich durch die zusätzliche Glucosebereitstellung im Dünndarm bewirkt. Allerdings trugen nur 32 % der infundierten Glucose zum Glucoseumsatz bei, was wiederum auf eine limitierte Absorption und intestinale Nutzung, auf erhöhte Glucoseoxidation im Darmgewebe und/oder eine erniedrigte Gluconeogenese in der Leber hinweist (KNOWLTON et al. 1998b).

**Tabelle 17: Milchleistung und Milchinhaltsstoffe nach 14tägiger Infusion (Inf.) von 1,5 kg Stärke (KNOWLTON et al. 1998b; n=4)**

	Kontrolle	+ruminale Inf.	+abomasale Inf.
T-Aufnahme aus dem Futter	22,5	21,7	21,8
NEL-Aufnahme aus Futter + Inf.	39,6	42,1	42,2
Milchleistung kg/d	40,3	42,4	42,1
Fettmenge kg/d	1,52	1,53	1,57
Proteinmenge kg/d	1,06	1,10	1,14

Die Ergebnisse abomasaler oder duodenaler Infusionen sind sehr schwierig zu interpretieren, da kein monokausaler Zusammenhang zwischen Leistung und Infusion besteht, sondern vielfältige Einflussfaktoren wirken und Interaktionen auftreten. Beispielsweise kann nur vermutet werden, ob eine Leistungssteigerung durch die zusätzlich zur Verfügung stehende Energie, mehr gebildetes Protein, durch am Dünndarm zusätzlich zur Verfügung stehende Glucose und damit erhöhter Glucoseumsatzrate oder andere Faktoren bewirkt wird.

## 2.8 Ableitung der Aufgabenstellung

Unter Berücksichtigung der in den Abschnitten 2.3 bis 2.7 dargestellten Zusammenhänge, Ergebnisse und der daraus resultierenden Probleme wurde für die eigenen Untersuchungen nachfolgende Aufgabenstellung abgeleitet:

Im Hinblick auf die in der Literatur beschriebenen Effekte von Maisstärke auf verschiedene physiologische Parameter bei Wiederkäuern, z.B. Stabilisierung des Pansenmilieus und Erhöhung des Anteils an Bypass-Stärke (vgl. Abschnitt 2.3.1), lag der Schwerpunkt des ersten Versuchs der Arbeit auf der Untersuchung des Einflusses von hohen Anteilen geschrotetem Körnermais im Vergleich zu Weizen (langsam im Vergleich zu schnell abbaubarer Stärkequelle) auf die Prozesse im Pansen und die duodenale Anflutung von Stärke und weiteren Nährstoffen. Da der Einfluss unterschiedlicher Adaptationszeiten an Rationen mit hohen Stärkeanteilen auf Pansenparameter und ruminale Verdaulichkeit bisher nur sehr begrenzt untersucht wurde, kam ein Vergleich hinsichtlich des Adaptationseffektes hinzu.

Trotz kontroverser Angaben in der Literatur (vgl. Abschnitt 2.3.2) sprechen die meisten Befunde dafür, dass eine Limitierung der Stärkeverdauung im Dünndarm vorliegt. Dies galt es zu überprüfen. Die Frage nach den Ursachen der Limitierung bedarf der weiteren Bearbeitung. In dieser Hinsicht war es erforderlich zu untersuchen, ob eher die physikalisch-chemischen Eigenschaften der Stärke, d.h. unterschiedliche Stärkequellen, wie Mais und Weizen, oder tierspezifische Limitierungen, die mit steigender Stärkemenge am Dünndarm erkennbar würden, beeinflussend auf die Stärkeverdauung wirken. Desweiteren liegen Arbeiten über den Einfluss der Gewöhnung an hohe Stärkemengen im Dünndarm nur sehr begrenzt vor. Untersuchungen zum Einfluss unterschiedlicher Adaptationszeiten auf die postruminale Verdaulichkeit wurden deshalb durchgeführt.

So wurde in einem zweiten und einem dritten Versuch der Effekt einer duodenalen Applikation bzw. Infusion zweier verschiedener Dosierungen von Mais- und Weizenstärke auf die Verdaulichkeit der Stärke und weiterer Nährstoffe im Dün- und Gesamtdarm an Bullen bzw. trockenstehenden Kühen bestimmt. Dabei wurde auch der Effekt einer unterschiedlichen Adaptierung an die Applikation bzw. Infusion untersucht.

Es wurde herausgestellt (vgl. 2.6), dass die in der Literatur beschriebene höhere Effizienz einer Verschiebung der Stärkeverdauung vom Pansen in den nachfolgenden Verdauungstrakt theoretisch zu höheren Milchleistungen führen könnte. Im Abschnitt 2.7 wurde jedoch anhand zahlreicher Daten belegt, dass keine nennenswerte Leistungssteigerung zu verzeichnen ist. Ziel der Untersuchungen war es daher auch, Ursachen für die mangelnde Übereinstimmung zwischen den theoretisch zu erwartenden und den in Fütterungsversuchen ermittelten Effekten näher zu beschreiben. Es wurde versucht, die Grenze der effizienten Stärkenutzung anhand von Modellkalkulation zu bestimmen und eine Empfehlung für die Stärkemenge am Dünndarm abzuleiten, die die Hochleistungskuh noch effizient verwerten kann.

## 3 MATERIAL UND METHODEN

### 3.1 Überblick über die durchgeführten Versuche

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden drei *in vivo*-Versuche durchgeführt. Der am Institut für Tierernährung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) in Braunschweig durchgeführte *in vivo*-Versuch diente der Untersuchung des Einflusses von hohen Anteilen geschrotetem Körnermais bzw. Weizen definierter Sorte auf die Prozesse im Pansen und die duodenale Anflutung von Stärke sowie weiteren Nährstoffen. Weiterhin wurde der Einfluss unterschiedlicher Adaptationszeiten an die Ration bestimmt (Versuch 1).

Die beiden *in vivo*-Versuche am Institut für Tierernährung der Forschungsanstalt für Tierproduktion in Nitra in der Slowakei dienten der Bestimmung der postrimalen Verdaulichkeit von Mais- und Weizenstärke. Es wurde der Effekt einer duodenalen Applikation bzw. Infusion zweier verschiedener Dosierungen von Mais- und Weizenstärke auf die Verdaulichkeit der Stärke und weiterer Nährstoffe im Dün- und Gesamtdarm an Bullen bzw. trockenstehenden Kühen bestimmt. Dabei wurde ebenfalls der Einfluss unterschiedlicher Adaptationszeiten an die Applikation bzw. Infusion untersucht (Versuch 2 und 3). Tabelle 18 zeigt eine Übersicht über die durchgeführten Versuche.

**Tabelle 18: Übersicht über die durchgeführten *in vivo*-Versuche**

Ort und Jahr	Versuchstiere	Versuchsdauer	Bezeichnung in der weiteren Arbeit
Braunschweig 1999	3 laktierende Milchkühe (Dt. Holstein)	120 d	Versuch 1
Nitra 1998	4 Jungmastbullen (Slowak. Schwarzbunte)	150 d	Versuch 2
Nitra 1999	4 trockenstehende Milchkühe (Slowak. Schwarzbunte)	150 d	Versuch 3

### 3.2 Versuch 1

#### 3.2.1 Versuchsaufbau

Die Messungen zur Überprüfung des Einflusses von Mais bzw. Weizen als hauptsächliche Kraftfutterkomponenten auf die Verdaulichkeit der Rohnährstoffe im Gesamtrakt und die Umsetzung im Pansen von Milchkühen waren ursprünglich in Form eines vollständigen Cross Over geplant, in dem jeweils zwei der vier Tiere das maisbetonte und die anderen zwei Tiere das weizenbetonte Kraftfutter verabreicht bekommen sollten. Nach einer Periode, welche sich in Teil I und II untergliederte, sollten die Kraftfutter gewechselt werden.

Im ersten Versuchsviertel musste allerdings ein Tier aus dem Versuch genommen werden, da es nicht die erforderliche Futtermenge aufnahm. Eine Ersatzkuh stand nicht zur Verfügung, so dass der Versuch im weiteren Verlauf als unvollständiger Cross Over weitergeführt wurde.

und mit 6 Beobachtungen je Variante (Mais-Weizen) zur Auswertung gelangte. Tabelle 19 zeigt das Versuchsdesign.

**Tabelle 19: Versuchsdesign im Versuch 1**

Kuh	1. Periode / I	1. Periode / II	2. Periode / I	2. Periode / II
	49 Tage		49 Tage	
Ulane	Mais	Mais	Weizen	Weizen
Leisa	Weizen	Weizen	Mais	Mais
Romke	Mais	Mais	Weizen	Weizen

Eine Periode à 49 Tage setzte sich wie folgt zusammen:

- I:
- 14 Tage Vorfütterung, in denen sich die Tiere an die Versuchsration adaptieren konnten
  - erster 5-tägiger Verdauungsversuch zur Ermittlung der Gesamtverdaulichkeit verschiedener Nährstoffe der Ration (nach ROHR 1983) mit Erfassung pansenphysiologischer Parameter  
*(nach 14 d Adaptation an die Ration)*
  - 2 Tage Pause
  - erste 5-tägige Sammlung der duodenalen Chymusproben zur Bestimmung der ruminalen Verdaulichkeit verschiedener Nährstoffe der Ration  
*(nach 21 d Adaptation an die Ration)*
- II:
- 9 Tage weitere Adaptation an die Versuchsration
  - zweiter 5-tägiger Verdauungsversuch mit Erfassung pansenphysiologischer Parameter  
*(nach insgesamt 35 d Adaptation an die Ration)*
  - 2 Tage Pause
  - zweite 5-tägige Sammlung der duodenalen Chymusproben  
*(nach insgesamt 42 d Adaptation an die Ration)*
  - 2 Tage Pause

Vor Beginn des eigentlichen Versuches wurden vor der ersten Markereingabe (s. Abschnitt 3.5.3.1) Darmsaftproben aus dem Duodenum zur Bestimmung des Chromblindwertes im Darmsaft gezogen. Die Untersuchungen liefen vom 21. Mai bis 30. August 1999 am Institut für Tierernährung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig. Bei dem in der 2. Periode im Teil II, d.h. nach 35 d Adaptation an die Ration, durchgeführten 5-tägigen Verdauungsversuch stand nur ein Tier zur Verfügung, da die anderen beiden nicht die erforderlichen Futtermengen aufnahmen und aus dem Versuch genommen wurden. Deshalb werden in der Tabelle 42 im Abschnitt 4.1.4 nur die Daten von einem Tier und somit keine Standardabweichungen angegeben.

### 3.2.2 Versuchstiere, Fütterung und Haltung

Um den Einfluss hoher Anteile an Mais und Weizen definierter Sorte im Kraftfutter zu untersuchen, standen 3 Tiere der Rasse „Deutsche Holstein“ zur Verfügung. Die Tiere waren jeweils mit einer Kanüle im dorsalen Pansensack (10 cm innerer Durchmesser, Kunststoff) und einer T-Kanüle am proximalen Duodenum (ca. 30 cm hinter dem Labmagenausgang, 2 cm innerer Durchmesser) ausgestattet.

Zu Versuchsbeginn wogen die Tiere im Mittel  $638,7 \pm 16,1$  kg und befanden sich in der 2. bzw. 3. Laktation. Die mittlere Anzahl der Laktationstage zu Versuchsbeginn betrug  $84,7 \pm 20,2$ . Die mittlere Milchleistung lag bei  $32,7 \pm 2,3$  kg je Tier und Tag (Tabelle 20). Der Fettgehalt bei Romke fiel auffallend hoch und der Proteingehalt bei Ulane und Leisa auffallend niedrig aus. Während des Versuches glichen sich die Werte jedoch zunehmend an.

**Tabelle 20: Tägliche Milchleistung und –inhaltsstoffe der im Versuch 1 eingesetzten Milchkühe (n=3) zu Versuchsbeginn**

Kühe	Milch (kg)	Fett (%)	Protein (%)	Lactose (%)	FCM (kg) <sup>1)</sup>
Ulane	35,4	3,61	2,88	4,49	33,3
Leisa	31,3	3,20	2,83	4,78	27,5
Romke	31,5	5,07	3,23	4,42	36,6
x ± s	$32,7 \pm 2,3$	$3,96 \pm 0,98$	$2,98 \pm 0,22$	$4,56 \pm 0,19$	$32,5 \pm 4,6$

1) FCM = fat corrected milk = ((Fett % x 0,15) + 0,4) x Milchmenge (kg)

Die Tiere wurden zweimal täglich (5.30 Uhr und 16.00 Uhr) gemolken. Bei täglicher Erfassung der Milchmenge wurden zweimal wöchentlich von jedem Tier zwei Milchproben (je eine aus Früh- und Abendgemelk) zur Bestimmung der Milchinhaltsstoffe (Fett, Protein, Lactose) gezogen. Über den gesamten Versuchszeitraum verringerte sich die mittlere tägliche Milchleistung allmählich von 32,7 kg auf 21,4 kg je Tier und Tag. Mit durchschnittlich 25,9 kg hatte die tägliche Milchleistung der Tiere während der Untersuchungen ein recht hohes Niveau.

Die Kühe waren in Einzelanbindung auf Gummimatten und Metallspaltenboden im hinteren Drittel aufgestellt, Wasser stand über Selbsttränken zur Verfügung.

Die täglich zu verabreichende Grassilagemenge wurde den Tieren zweimal täglich von Hand (5.30 Uhr und 16.00 Uhr), das Kraftfutter (Tabelle 22) in vier Einzelgaben (5.30, 8.30, 15.30 und 17.30 Uhr) vorgelegt. Tabelle 21 zeigt die verfütterten Mengen an Grassilage bzw. an Kraftfutter.

**Tabelle 21: Verabreichte Mengen an Grassilage und Kraftfutter (auf T-Basis) im Versuch 1**

Periode	Futtermittel	Ulane	Leisa	Romke
1 - I	Grassilage - T	7,6	7,6	7,6
	Kraftfutter - T	10,3	10,4	10,3
1 - II	Grassilage - T	7,6	7,6	7,6
	Kraftfutter - T	10,3	10,4	10,3
2 - I	Grassilage - T	7,5	7,5	7,5
	Kraftfutter - T	10,0	10,0	10,0
2 - II	Grassilage - T	6,9	7,0	6,9
	Kraftfutter - T	9,7	9,6	9,7

In Anpassung an die abnehmende Milchleistung während des Versuches wurde die Futtermenge leicht reduziert, das Grundfutter : Kraftfutter-Verhältnis, welches bei 40 : 60 (auf T-Basis) lag, änderte sich nicht. Zur Deckung des Vitamin- und Mineralstoffbedarfes erhielten die Tiere je 100 g der Mineralstoffmischung ADE Super 5 und BASU-kraft 0441 (s. Tabelle 1 im Anhang).

**Tabelle 22: Mischungsanteile des eingesetzten Kraftfutters**

Komponenten	Kraftfutter Mais	Kraftfutter Weizen
	Mischungsanteile in %	
Mais	87	-
Weizen	-	87
Sojaextraktionsschrot	11	11
Sojaöl	2	2

Von der aus einem Fahrsilo stammenden Grassilage wurde in der Vorfütterungsperiode einmal, in den Wochen des Verdauungsversuches und der duodenalen Chymussammlung dreimal wöchentlich eine Probe zur Bestimmung der Trockensubstanz entnommen. Die Grassilage-Einwaage für die Mahlzeiten der Tiere erfolgte anhand des gleitenden Mittels aus den jeweils drei letzten Trockensubstanzbestimmungen.

Zur Zusammenstellung einer Sammelprobe für die WEENDER-Analytik wurden während des Verdauungsversuches und der duodenalen Chymussammlung bei der täglichen Einwaage der Grassilage jeweils 100 g abgenommen, in dafür bereitgestellte Behältnisse eingefüllt und tiefgefroren. Nach Beendigung eines jeden Verdauungs- bzw. Chymussammelversuches erfolgte die Trocknung bei 60°C und die Bestimmung des Trockensubstanzgehaltes der Grassilagesammelprobe, anschließend wurde diese auf 1 mm vermahlen.

Von beiden Kraftfuttern gelangte von jeder neuen Mischcharge eine Probe zur Analyse. Die Roh Nährstoffzusammensetzung der Grassilage und der beiden Kraftfutter findet sich in Tabelle 32 im Abschnitt 4.1.1.

Futterreste wurden jeweils vor Beginn der Morgenfütterung zurückgewogen und tiefgefroren. Nach Beendigung einer jeden Verdauungs- bzw. Chymussammelwoche erfolgte die Mischung und das Ziehen einer repräsentativen Probe. Im Folgenden wurde wiederum eine Trocknung bei 60°C durchgeführt, die Trockensubstanz bestimmt, auf 1 mm vermahlen und im Labor weitere Analysen durchgeführt.

### 3.3 Versuch 2

Um den Einfluss einer duodenalen Mais- und Weizenstärke-Applikation in zwei verschiedenen Dosierungen und nach unterschiedlich langer Adaptation auf die posttriminale Verdauung von Stärke und weiteren Nährstoffen zu untersuchen, wurde ein Versuch mit vier Bullen am Institut für Tierernährung in Nitra von Januar bis August 1998 durchgeführt. Kühe konnten für diesen Versuch nicht zur Verfügung gestellt werden.

#### 3.3.1 Versuchsaufbau

Dem eigentlichen Versuch gingen zwei Vorperioden voraus. Bei der ersten handelte es sich um eine Periode ohne Chrommarker, welche aus 14 Tagen Vorfütterung (Maissilage und Luzerneheu) und zwei Tagen Probenentnahme aus Duodenum, Ileum und Kot bestand. Diese Periode diente zur Bestimmung des Chromoxidblindwertes im duodenalen und ilealen Chymus und im Kot. Am letzten Tag dieser Periode wurde mit der Markereingabe ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ )

begonnen, welche kontinuierlich bis zum Versuchsende durchgeführt wurde (s. Abschnitt 3.5.3.1).

Die zweite Vorperiode diente zur Bestimmung des Roh Nährstoff- und Stärke-Flusses aus der Ration. Diese war in 9 Tage Vorfütterung und vier Tage Probenentnahme aus Duodenum, Ileum und Kot unterteilt.

In beiden Vorperioden wurde von jedem Tier eine Blutprobe zur Bestimmung des Basalwertes der Glucosekonzentration gezogen.

Mit der Stärke-Applikation (s. Abschnitt 3.5.2.1) wurde zu Beginn der ersten Hauptperiode begonnen. Um den Dünndarm der Tiere langsam an die hohen Stärkegaben zu gewöhnen, wurden zunächst kleinere Dosen gegeben (am 1. Tag 200 g, am 2. Tag 300 g und am 3. Tag die volle Menge nach Versuchsplan; s.u.).

Es folgten vier Versuchsperioden à 28 Tage, wobei jede der vier Perioden wie folgt gegliedert war:

- I:     -9 Tage Adaptation an (neue) Stärkequelle und -menge  
           -erste 5-tägige Chymussammlung aus dem Ileum und Sammlung des angefallenen Kotes (*nach 9 Tagen Adaptation an Stärkequelle und -menge*)  
           -am letzten Tag Blutprobenentnahmen zu verschiedenen Zeiten nach Fütterungsbeginn bzw. Stärke-Applikation (vgl. 3.5.5)
  
- II:    -9 Tage weitere Adaptation an Stärkequelle und -menge  
           -zweite 5-tägige Chymussammlung aus dem Ileum und Sammlung des angefallenen Kotes (*nach insgesamt 23 Tagen Adaptation an Stärkequelle und -menge*)  
           -am letzten Tag Blutprobenentnahmen zu verschiedenen Zeiten nach Fütterungsbeginn bzw. Stärke-Applikation (vgl. 3.5.5)

Die Untersuchung erfolgte in Form eines 4 x 4 Lateinischen Quadrates. Dabei erhielt jeder Bulle nacheinander eine der vier Varianten (Mais- / Weizenstärke; 750 / 1500 g). Die Stärkeverabreichung gestaltete sich wie in Tabelle 23 dargestellt.

**Tabelle 23: Versuchsdesign im Versuch 2**

Periode	Moritz	Paul	Emil	Max
1 (I und II)	750 g MS	1500 g MS	750 g WS	1500 g WS
2 (I und II)	1500 g WS	750 g MS	1500 g MS	750 g WS
3 (I und II)	750 g WS	1500 g WS	750 g MS	1500 g MS
4 (I und II)	1500 g MS	750 g WS	1500 g WS	750 g MS

MS = Maisstärke WS = Weizenstärke

### 3.3.2 Versuchstiere, Operationstechnik, Lebendmasseentwicklung und Aufstallung

Für diesen Versuch standen vier im Dezember 1996 und im Januar 1997 geborene Bullen der Rasse „Slowakische Schwarzbunte“ zur Verfügung.

Mit einer Lebendmasse von ca. 300 bis 320 kg wurden die Tiere operativ mit permanenten Pansenkanülen sowie T-Kanülen am proximalen Duodenum (ca. 30 cm hinter dem Labmagenausgang) und terminalen Ileum ausgestattet. Es wurden Pansenkanülen aus hartem Kunststoff (Firma Plastika, Nitra) mit einem inneren Durchmesser von 6 cm verwendet. Die Darmkanülen aus PVC waren selbst gefertigt und wiesen einen inneren Durchmesser von 2,8 cm für die duodenale bzw. 2 cm für die ileale Kanüle auf.

Die Operationen erfolgten am 08.01.1998 (Anlegen der Pansenkanülen bei allen vier Tieren) und am 22.01.1998 bzw. 23.01.1998 (Anlegen beider T-Kanülen bei jeweils zwei Tieren), d.h. sechs bzw. vier Wochen vor Versuchsbeginn.

Vor der Operation zum Einsetzen der Pansenkanülen wurde den Tieren drei Tage lang eine Luzerneheudiät verabreicht, vor dem Einsetzen der T-Kanülen wurden die Tiere jeweils über 24 Stunden genüchtert. Die Sedierung erfolgte mit Xylasinlösung (Rometar 2%, Spofa Praha). Nach Rasur und Desinfektion des Operationsfeldes (linke Hungergrube für die Pansenkanüle; rechte Hungergrube für die duodenale und ileale Kanüle) erfolgte eine weitere Applikation von Xylasinlösung. Im Anschluss daran wurde jeweils die Lokalanästhesie der festgelegten Schnittlinien mit Procainlösung durchgeführt. Das Anlegen der Pansenkanülen wurde nach SZAKACS et al. (1990a) und SZAKACS et al. (1990b), die duodenalen und ilealen T-Kanülen modifiziert nach KIJORA et al. (1992) durchgeführt.

Nach der Operation wurden die Wunden und die Stellen der Kanülenausführungen mit einem antibiotischen Spray behandelt. In der postoperativen Phase wurden den Tieren vier Tage lang Antibiotika (Penstrepten inj.a.u.v., Biotika Sl. Lupa) in empfohlenen Dosen sowie nach Bedarf Analgetika gegen Schmerzen und Fieber (Analgin inj., Biotika Sl.Lupa) intramuskulär verabreicht.

Den Bullen stand als Diätfutter Heu ad libitum zur Verfügung. Am 9. Tag nach der Operation wurden die Fäden entfernt und die Einstichstellen mit Chlorophyllspray gegen Insekten geschützt. Die Kanülenausführungen wurden gereinigt und mit einer antiseptischen Salbe oder Spray (Framykoin a.u.v., Galena Opava) behandelt. Mehrmals am Tag erfolgte eine Kontrolle der Kanülen und der Tiere auf Gesundheit und Wohlbefinden.

Nach zehn Tagen erfolgte die Umstellung auf die Versuchsration, d.h. auf Maissilage und Luzerneheu. Zu Versuchsbeginn wogen die vier für den Versuch ausgewählten Bullen im Mittel  $350,5 \pm 14,3$  kg und waren 13 bzw. 15 Monate alt. Die Lebendmasse dieser Tiere entwickelte sich in den folgenden Versuchsmonaten wie in Tabelle 24 ersichtlich.

**Tabelle 24: Lebendmasseentwicklung der vier Versuchsbullen**

	Moritz	Paul	Emil	Max
zu Versuchsbeginn	375	391	368	388
nach 2 Perioden	429	446	424	433
zu Versuchsabschluss	472	489	468	470

Die Tiere wurden in Einzelanbindung auf gummierter Unterlage und Metallspaltenboden im Harn- und im Kotbereich gehalten.

### 3.3.3 Rationszusammensetzung und Nährstoffversorgung

Die Ration bestand aus Maissilage und Luzerneheu. Obwohl Maissilage nicht unbeträchtliche Mengen an Stärke enthält, konnte auf diese nicht verzichtet werden, da am Institut für Tierernährung in Nitra Grassilage als Grundfutter nicht und vom Luzerneheu nicht ausreichende Mengen in gleichbleibender Qualität zur Verfügung standen. So wurde der Stärkegehalt der Ration bestimmt und bei der Berechnung der Stärke-Flüsse und Verdaulichkeiten berücksichtigt.

Die Verabreichung der Maissilage bzw. des Luzerneheus erfolgte zweimal täglich von Hand (6.30 Uhr und 18.30 Uhr), Wasser stand über Selbsttränken zur freien Verfügung.

Eventuelle Futterreste wurden am Morgen vor jeder Fütterung zurückgewogen und tiefgefroren. Am Ende einer jeden Chymus- bzw. Kotsammelwoche erfolgte die Mischung und das Ziehen einer repräsentativen Sammelprobe. Diese wurden bei 60°C getrocknet, nach Bestimmung der Trockensubstanz auf 1 mm vermahlen und im Labor der WEENDER-Analytik unterzogen.

Während des Versuches wurden leicht ansteigende Mengen an Maissilage und Luzerneheu verabreicht, um der Lebendmasseentwicklung der Bullen Rechnung zu tragen. Das Verhältnis von Maissilage und Luzerneheu blieb mit 35 : 65 auf T-Basis jedoch gleich.

Bei der Maissilage handelte es sich um die im Stadium der Teigreife geernteten Hybride TO 385 (T 27-29 %). Die Ernte erfolgte vom 1. bis 10. Oktober 1997. Silierhilfsmittel waren nicht verwendet worden. Das Luzerneheu der Sorte "Palara" war der zweite Schnitt von einer Braunerde wiese. Die geschnittene Luzerne war bodengetrocknet und einer Nachd Trocknung mit kalter Luft (Ventilator) unterzogen worden.

Die verabreichten Mengen an Maissilage und Luzerneheu sind in Tabelle 25 aufgeführt. Die beiden Futtermittel wurden zweimal täglich auf 0,1 kg Genauigkeit eingewogen. Einmal wöchentlich wurde von beiden, einmal monatlich von der Mais- und der Weizenstärke eine Probe für die WEENDER- bzw. Stärke-Analytik gezogen.

**Tabelle 25: Verabreichte Mengen an Maissilage und Luzerneheu (in kg) im Versuch 2**

Abschnitt	Grundfutter	kg T pro Tag	kg Frischmasse pro Tag
01.02.98 - 21.03.98	Maissilage	2,3	6,6
	Luzerneheu	4,2	5,0
22.03.98 - 18.04.98	Maissilage	2,5	7,2
	Luzerneheu	4,5	5,4
19.04.98 - 25.04.98	Maissilage	2,7	7,8
	Luzerneheu	5,0	6,0
26.04.98 - 04.07.98	Maissilage	3,0	8,6
	Luzerneheu	5,5	6,6

Die Rohnährstoffzusammensetzungen der Maissilage, des Luzerneheus und der eingesetzten Stärken finden sich in Tabelle 45 im Abschnitt 4.2.1. Zur Deckung des Vitamin- und Mineralstoffbedarfs erhielten die Tiere je 100 g einer Mineralstoffmischung (s. Tabelle 2 im Anhang).

### 3.4 Versuch 3

Um die Ergebnisse des in Nitra mit Bullen durchgeführten Versuches auch an Milchkühen zu überprüfen und um höhere Dosierungen an Mais- und Weizenstärke einzusetzen, wurde ein weiterer Versuch am Institut für Tierernährung in Nitra von Januar bis August 1999 durchgeführt.

#### 3.4.1 Versuchsaufbau

Nach 14 Tagen Vorfütterung zur Gewöhnung an die Ration wurden an einem Tag Proben aus dem Duodenum, dem Ileum und dem Kot gezogen (Blindproben). Diese Periode diente wiederum der Bestimmung des Chromoxidblindwertes im duodenalen und ilealen Chymus und im Kot. Am letzten Tag dieser Periode wurde mit der Markereingabe ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) begonnen, welche kontinuierlich bis zum Versuchsende durchgeführt wurde (s. Abschnitt 3.5.3.1).

Die zweite Vorperiode diente zur Bestimmung des Rohrnährstoff- und Stärke-Flusses aus der Ration. Sie war in 9 Tage Vorfütterung und fünf Tage Probenentnahme aus Duodenum, Ileum und Kot unterteilt. Weiterhin wurde von jedem Tier eine Blutprobe zur Ermittlung des Basalwertes der Glucosekonzentration gezogen. Nach der letzten Probenentnahme wurden die Pumpen und Schläuche installiert und mit der kontinuierlichen Infusion in das Duodenum der Tiere begonnen (s. Abschnitt 3.5.2.2).

Es folgten wiederum vier Versuchsperioden à 28 Tage, wobei jede der vier Perioden wie folgt gegliedert war:

- I:     -9 Tage Adaptation an neue Stärkequelle und -menge  
        -erste 5-tägige Chymussammlung aus dem Ileum und Sammlung des anfallenden Kotes (*nach 9 Tagen Adaptation an Stärkequelle und -menge*)  
        -am letzten Tag eine Blutprobenentnahme bei jedem Tier (3 h ppr)
- II:    -9 Tage weitere Adaptation an Stärkequelle und -menge  
        -zweite 5-tägige Chymussammlung aus dem Ileum und Sammlung des anfallenden Kotes (*nach insgesamt 23 Tagen Adaptation an Stärkequelle und -menge*)  
        -am letzten Tag eine Blutprobenentnahme bei jedem Tier (3 h ppr)

Der Versuch wurde wiederum in Form eines 4 x 4 Lateinischen Quadrates durchgeführt, d.h. jeder Kuh wurde nacheinander eine der vier Varianten (Mais- / Weizenstärke; 1000 / 2000 g) duodenal infundiert. Das Versuchsdesign ist in Tabelle 26 dargestellt.

**Tabelle 26: Versuchsdesign im Versuch 3**

Periode	Belinda	Laura	Ivana	Milka
1 (I und II)	1000 g MS	2000 g MS	1000 g WS	2000 g WS
2 (I und II)	2000 g WS	1000 g MS	2000 g MS	1000 g WS
3 (I und II)	1000 g WS	2000 g WS	1000 g MS	2000 g MS
4 (I und II)	2000 g MS	1000 g WS	2000 g WS	1000 g MS

MS = Maisstärke WS = Weizenstärke

### 3.4.2 Versuchstiere, Operationstechnik, Lebendmasseentwicklung und Aufstallung

Für diesen Versuch standen vier trockenstehende Milchkühe der Rasse „Slowakische Schwarzbunte“ zur Verfügung. Die Tiere waren 4 bis 6 Jahre alt, hatten im Mittel in 3 (2-4) Laktationen eine Leistung von 7600 (7073-8290) kg erbracht und wiesen eine Lebendmasse von durchschnittlich 475 (424-549) kg vor den Operationen auf. Dieser Versuch konnte mit trockenstehenden Kühen durchgeführt werden, denn nach PEHRSON und KNUTSON (1980) ist das Glucoseabsorptionsvermögen von trockenstehenden, niedrigleistenden und hochleistenden Tieren gleich.

Die Kühe wurden operativ mit permanenten Pansenkanülen, mit T-Kanülen am proximalen Duodenum (ca. 30 cm hinter dem Labmagenausgang) sowie Re-entrant-Kanülen am terminalen Ileum ausgestattet. Dabei wurden Pansenkanülen aus hartem Kunststoff (Firma Plastika, Nitra) mit einem inneren Durchmesser von 10 cm verwendet. Die Darmkanülen aus PVC waren selbst gefertigt und wiesen einen inneren Durchmesser von 2,8 cm für die duodenalen Kanülen bzw. 2 cm für die ilealen Kanülenstümpfe auf. Die Verbindung zwischen beiden ilealen Kanülenstümpfen wurde mit einem handelsüblichen, biegsamen Plastikschlauch geschaffen ( $\varnothing$  2 cm).

Die Operationen erfolgten am 13.01.1999 bzw. am 08.02.1999 (Anlegen der Pansenkanülen) und am 25.02.1999 bzw. 03.03.1999 (Anlegen der T- bzw. der Re-entrant-Kanülen), d.h. ca. acht bis vier Wochen vor Versuchsbeginn, und wurden wie im Abschnitt 3.3.2 beschrieben nach SZAKACS et al. (1990a), SZAKACS et al. (1990b) und nach KIJORA et al. (1992) durchgeführt. Die postoperative Phase wurde ebenfalls wie im Abschnitt 3.3.2 beschrieben gestaltet.

Zehn Tage nach der letzten Operation erfolgte die Umstellung auf die Versuchsration, d.h. auf Maissilage, Luzerneheu und anfangs Stroh. Die Lebendmasse der Tiere entwickelte sich in den folgenden Versuchsmonaten wie aus Tabelle 27 ersichtlich.

**Tabelle 27: Lebendmasseentwicklung der vier Versuchskühe**

	Belinda	Laura	Ivana	Milka
nach Periode 1	434	417	526	405
nach Periode 2	440	413	532	405
nach Periode 3	429	404	505	383
nach Periode 4	433	399	507	385

Die Tiere wurden in Einzelanbindung auf gummierter Unterlage und Metallspaltenboden im Harn- und im Kotbereich gehalten.

### 3.4.3 Rationszusammensetzung und Nährstoffversorgung

Die Tiere bekamen Maissilage, Luzerneheu und Stroh (nur anfangs) zweimal täglich von Hand vorgelegt (6.30 Uhr und 18.30 Uhr). Auch in diesem Jahr standen in Nitra keine Grassilage und nicht ausreichend Luzerneheu zur Verfügung. So wurde wiederum auf eine Kombination aus Maissilage und Luzerneheu zurückgegriffen. Da die Tiere die geplante Menge an Luzerneheu und Stroh zu Versuchsbeginn nicht vollständig aufnahmen, wurde das

Stroh aus der Ration gestrichen und die Menge an Luzerneheu reduziert, wodurch sich das vom Versuch 2 abweichende Verhältnis zwischen Maissilage und Luzerneheu ergab (53 : 47 auf T-Basis). Nach der Vorperiode wurde die reduzierte Ration gefüttert, so dass Auswirkungen auf die Roh Nährstoff-Aufnahme in der Vorperiode gegenüber den Versuchsperioden (Tabelle 65 im Abschnitt 4.3.1) und die Verdaulichkeit der Nährstoffe gegenüber der Vorperiode im Versuch 2 (Tabelle 46 im Abschnitt 4.2.1) zu erwarten waren.

Wasser stand über Selbsttränken zur freien Verfügung. Zur Deckung des Vitamin- und Mineralstoffbedarfs erhielten die Kühe 100 g einer vitaminisierten Mineralstoffmischung (s. Tabelle 2 im Anhang).

Bei der Maissilage handelte es sich um die im Stadium der Teigreife geernteten Hybride TO 385 (T 33,1 %). Die Ernte erfolgte vom 25. August bis zum 11. September 1998. Silierhilfsmittel waren nicht verwendet worden. Das Luzerneheu (Sorte "Palara") war der zweite Schnitt einer Braunerde wiese, war bodengetrocknet und einer Nachtrocknung mit kalter Luft (Ventilator) unterzogen worden.

Die verabreichten Mengen an Maissilage und Luzerneheu sind in Tabelle 28 aufgeführt und waren über die gesamte Versuchsdauer konstant. Die beiden Futtermittel wurden zweimal täglich auf eine Genauigkeit von 0,1 kg eingewogen. Einmal wöchentlich wurde von beiden, einmal monatlich von der Mais- und der Weizenstärke eine Probe für die WEENDER- bzw. Stärke-Analytik gezogen.

Eventuelle Futterrückwaagen wurden am Morgen vor jeder Fütterung zurückgewogen und tiefgefroren. Am Ende einer jeden Chymus- bzw. Kotsammelwoche erfolgte die Mischung und das Ziehen einer repräsentativen Sammelprobe. Diese wurden bei 60°C getrocknet, nach Bestimmung der Trockensubstanz auf 1 mm vermahlen und im Labor der WEENDER- bzw. Stärke-Analytik unterzogen. Die Roh Nährstoffzusammensetzung der Maissilage, des Luzerneheus und der eingesetzten Stärken findet sich in Tabelle 64 im Abschnitt 4.3.1.

**Tabelle 28: Verabreichte Mengen an Maissilage und Luzerneheu (in kg) im Versuch 3**

	kg T pro Tag	kg Frischmasse pro Tag
Maissilage	2,1	6,2
Luzerneheu	1,9	2,2

## 3.5 Methoden

### 3.5.1 Pansenphysiologische Parameter

Im Versuch 1 wurden in jeder der vier Perioden während des Verdauungsversuches an drei aufeinanderfolgenden Tagen bei allen Versuchstieren Pansensaftproben zur Charakterisierung des Pansenmilieus entnommen.

Am ersten Entnahmetag wurde jeweils um 5.30, 6.00, 6.30, 7.00, 7.30, 8.30 und 10.30 Uhr Pansensaft genommen, an den zwei darauffolgenden Tagen jeweils drei Stunden nach Beginn der Morgenfütterung um 8.30 Uhr. Dabei wurden mit Hilfe einer Sonde insgesamt nur

geringe Mengen (50-100 ml) Pansensaft aus dem ventralen Pansensack gewonnen, so dass keine Beeinträchtigung der Verdaulichkeit durch den Probenentnahmevorgang und die Probenmenge zu erwarten war.

Sofort nach der Entnahme wurde der pH-Wert (Glaselektrode) der Probe bestimmt und der Ammoniak-N-Gehalt (NH<sub>3</sub>-N) nach einer modifizierten Conway-Methode (VOIGT und STEGER 1967) analysiert. Die Zusammensetzung der dazu verwendeten Borsäure ist in Tabelle 3 im Anhang dargestellt. Die Bestimmung der Konzentration an flüchtigen Fettsäuren erfolgte nur in den um 8.30 Uhr gezogenen Pansensaftproben. Hierzu wurde der Pansensaft 5 Minuten bei 6480 x g (Varifuge GL) zentrifugiert, 10 ml des Überstandes mit 1,5 ml 25%iger Meta-Phosphorsäurelösung und 0,5 ml Ameisensäure versetzt und erneut 20 Minuten bei 6480 x g zentrifugiert. Nach Zugabe eines Tropfens gesättigten Quecksilberchlorids (HgCl<sub>2</sub>) wurde die Probe bis zur gaschromatografischen Untersuchung der flüchtigen Fettsäuren tiefgefroren (-20°C) (s. Abschnitt 3.6.7).

In den Versuchen 2 und 3 wurde zur Kontrolle des Wohlbefindens der Tiere und zur Charakterisierung des Pansenmilieus jeweils am 3. Tag in den Probenentnahmewochen drei Stunden nach Beginn der Morgenfütterung Pansensaft mit Hilfe einer Sonde per fistulam aus dem ventralen Pansensack entnommen. Unmittelbar darauf erfolgte die Messung des pH-Wertes (Glaselektrode). Der Ammoniak-N-Gehalt (NH<sub>3</sub>-N) wurde ebenfalls nach der modifizierten Conway-Methode und die flüchtigen Fettsäuren gaschromatografisch bestimmt.

### **3.5.2 Applikation bzw. Infusion der Stärke im Versuch 2 und 3**

#### **3.5.2.1 Stärke-Applikation im Versuch 2**

Die Maisstärke wurde von der Firma Amylum Group (Amylum Group, Amylum Slovakia, 91908 Boleraz) unter dem Handelsnamen Meritena 100 geliefert, die Weizenstärke kam von der Firma Slovakia Adria Škrob (Slovakia Spol. s.r.o., Dolny Ohaj).

1998 war es in Nitra aufgrund fehlender Ausstattung (Peristaltikpumpen, Heizplatten, Magnetrührer, Schläuche, große Gefäße) nicht möglich, die Stärke kontinuierlich in das Duodenum zu infundieren. Es wurde deshalb versucht, die tägliche Stärkemenge langsam in den Darm einfließen zu lassen, um diesen nicht zu stark zu belasten.

Als Stärkemengen wurden 750 bzw. 1500 g pro Tier und Tag eingesetzt (vgl. Abschnitt 3.3.1). Diese Mengen wurden in zwei Portionen für einige Tage im Voraus auf 10 g genau in Plastiktüten eingewogen und um 6.30 Uhr (375 g bzw. 750 g) und 18.30 Uhr (375 g bzw. 750 g) appliziert. Dazu wurde die Stärke in 600 ml warmem Wasser (ca. 38°C) gelöst und mittels Schlauch und aufgesetztem Trichter langsam in die Kanüle des Duodenums eingegeben.

#### **3.5.2.2 Stärke-Infusion im Versuch 3**

Da bei kontinuierlicher Infusion die Stärkelösung für maximal 12 h (geheizt, gerührt, aber abgedeckt) dem Stallklima ausgesetzt sein würde, die Qualität der Stärkelösung dabei aber erhalten bleiben muss, wurde in einem Vorversuch in Braunschweig überprüft, ob bei

Exposition von Stärkelösung im Stall über 24 h eine mikrobielle Kontamination und Zersetzung stattfinden würde.

200 g Maisstärke wurden in 1000 ml Leitungs- und 1000 ml dest. Wasser gelöst und 24 h im Stall auf zwei Heizplatten gerührt. Nach 0, 6, 12, 18 und 24 h wurde nach Auffüllen des verdunsteten Wassers (Marke) und zusätzlichem Homogenisieren der Probe ca. 200 ml abgenommen, auf Verdampfungsschälchen (8 Parallelen) aufgebracht und bei 105°C im Trockenschrank eingedampft.

Es wurde dabei von der These ausgegangen, dass die Stärke durch die sich ansiedelnden Mikroben zu flüchtigen Fettsäuren abgebaut werden würde, was mit einer Abnahme in der Stärke- und damit Trockensubstanzmenge einhergehen müsste. Es konnten aber zu allen Probenentnahmezeiten keine Gewichtsverluste nach Trocknung der Verdampfungsschälchen festgestellt werden.

Zusätzlich wurden im Institut für Bodenbiologie der FAL in Braunschweig Ausstriche auf Glucose-Nährböden vorgenommen. Es wurde nur ein sehr geringer, unerheblicher mikrobieller Bewuchs festgestellt.

Aufgrund der Gewichtskonstanz der Proben bis zu einer Zeit von 24 h und der sehr geringen Besiedlung der Nährböden ließ sich schlussfolgern, dass ein chemischer Zusatz zur Verhinderung einer mikrobiellen Besiedlung nicht erforderlich sein würde, dass allerdings die Verwendung von Gefäßen mit kleinen Öffnungen, nach Möglichkeit verschließbar, angeraten wäre.

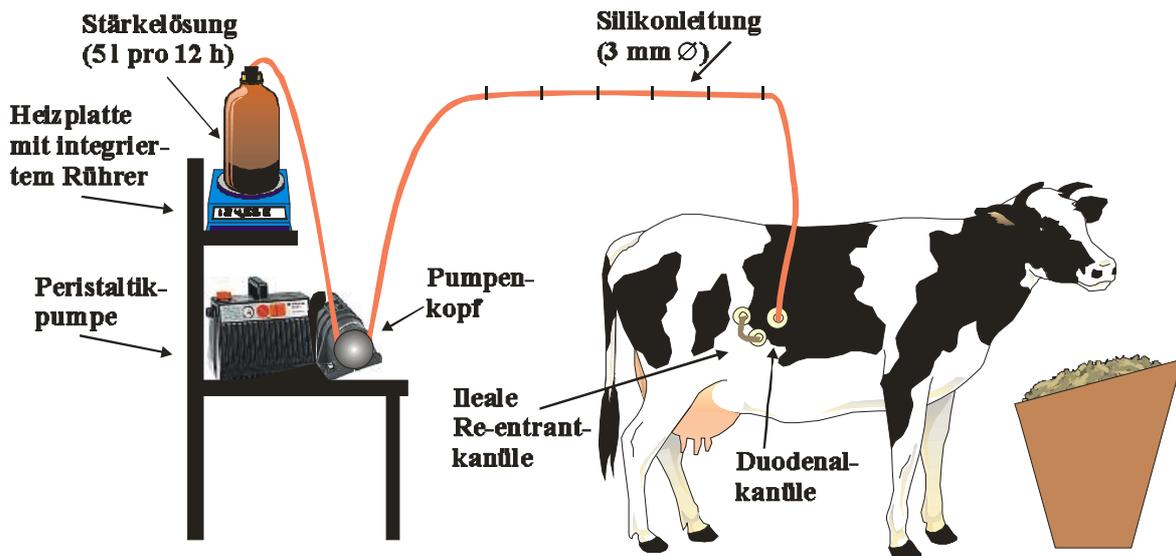
Sämtliche für die kontinuierliche Infusion benötigten Gerätschaften wurden vom Institut in Braunschweig bereitgestellt und nach Nitra transportiert.

Nach der letzten Probenentnahme der Vorperiode im Versuch 3 wurden die Peristaltikpumpen und die Heizplatten mit integriertem Rührwerk in Regalen installiert sowie die Schläuche am Regal, der Stalldecke und über den Tieren angebracht. Bei der Mais- und Weizenstärke handelte es sich um die gleichen Produkte wie im Versuch 2.

Die Peristaltikpumpen waren vom Typ Serva E 25 (SERVA Technik GmbH & Co) bzw. IPC/IPC-N Kassettschlauchpumpe (ISMATEC ISO 9001), die Heizplatten mit integriertem Rührwerk vom Typ IKA Combimag RCT. Die Schläuche waren aus Silikon (ISMATEC SC0081) und wiesen einen inneren Durchmesser von 3 mm sowie eine Wandstärke von 1,2 mm auf.

Als Stärkemengen wurden 1000 bzw. 2000 g pro Tier und Tag eingesetzt (s. Abschnitt 3.4.1). Diese Mengen wurden in zwei Portionen für einige Tage im Voraus auf 10 g genau in Plastiktüten eingewogen.

Um die Infusionslösung zu bereiten, wurde jede Stärkeportion (500 bzw. 1000 g) langsam unter Rühren in 5 Litern warmem Wasser gelöst und durch ein Sieb in Glasflaschen mit breitem, glatten Boden und kleiner Öffnung verbracht, in welche zusätzlich ein 8 cm langer Magnetrührer eingelegt wurde. Danach wurden die Flaschen mit einem Gummistopfen verschlossen, auf die Heizplatten mit integriertem Rührwerk gestellt, um die Stärkelösungen ständig in Bewegung und konstant auf einer Temperatur von 40°C zu halten, und an die Pumpen angeschlossen.



**Abbildung 7: Versuchsanordnung bei der duodenalen Stärke-Infusion**

Der Förderschlauch verlief dabei von der Stärkelösung durch eine Lochbohrung des Gummistopfens in der Flasche entlang des angebrachten Gestells und der Stalldecke zum Tier (Abbildung 7). Um keinen Unterdruck in der Flasche entstehen zu lassen, wurde durch den Gummistopfen eine Spritzenkanüle gesteckt, durch die der Luftaustausch gewährleistet wurde. Mit Hilfe eines Holzgestells wurden die Flaschen auf den Heizplatten leicht fixiert.

Die Infusionen begannen um 6.30 und 18.30 Uhr und liefen somit über jeweils 12 h. In dieser Zeit beförderten die Pumpen 5 Liter Stärkelösung in jedes Tier (ca. 420 ml pro Stunde), wobei die Pumpe 6 Umdrehungen pro Minute am Pumpenkopf aufwies. Jede Pumpe versorgte zwei Tiere mit der Infusionslösung (Abbildung 8).

Kurz vor Ablauf der Infusionszeit von 12 Stunden wurde die Förderleistung etwas erhöht, um die restliche Stärkelösung nahezu vollständig in die Tiere zu infundieren. Danach wurden zur Reinigung der Schläuche ihre Enden aus der Stärkelösung genommen, in heißes Leitungswasser gehängt und die Leitungen ca. 10 Minuten gespült. Die Schlauchenden an der duodenalen Kanüle wurden dabei gelöst, so dass das Spülwasser nicht zu den Tieren gelangte.

Während der Spülung wurden die neuen Infusionslösungen vorbereitet. Nach ausreichender Reinigungszeit (klares Spülwasser) wurden die Schlauchenden auf der Pumpenseite wieder in die Stärkelösung eingehängt. Nachdem die Stärkelösung die Schlauchenden auf der Tierseite erreicht hatte, wurden diese wieder an die duodenale Kanüle angeschlossen.



**Abbildung 8: Aufbau der Infusionsapparatur mit Stärkelösungen, Heizplatten, Pumpe und Versuchstier**

Nach jeweils 14 Tagen wurden die Schlauchabschnitte unter den Pumpenköpfen gewechselt, mehrmals am Tag wurden die Heizplatten, die Pumpen, die Leitungen und die Eintrittsstellen an den Kanülen überprüft. Parallelleitungen wurden gelegt, um bei Verstopfung der einen Leitung den Fluss über die andere zu gewährleisten. Eine intensive Reinigung und Wartung aller Teile der Infusionsapparatur fand vor der Umstellung auf die neue Stärkequelle bzw. –menge am Ende jeder Periode statt.

### **3.5.3 Nährstoff-Fluss am Dünndarm**

#### **3.5.3.1 Herstellung und Verabreichung des Flussmarkers**

Zur Bestimmung der Flussmengen am Duodenum und Ileum wurde den Versuchstieren ein  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -Marker verabreicht. Die Herstellung, Verabreichung und Bestimmung des Chrommarkers erfolgte nach der Methode von ROHR et al. (1979).

Zur Herstellung des Markers wurden 30 kg Weizenmehl (Typ 550/68 im Versuch 1; handelsübliches Mehl im Versuch 2 und 3), 7,5 kg Chrom(III)oxid ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) und 375 g Aluminiumsulfat-hydrat ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times \text{H}_2\text{O}$ ) in einem Mischer intensiv vermischt und daraus unter Zugabe von Wasser ein zäher Brei (Hefeteigkonsistenz) hergestellt. Diese Masse wurde bei  $60^\circ\text{C}$  getrocknet und über ein 3 mm-Sieb vermahlen. Die für den Versuch benötigte Markermenge wurde in Braunschweig auf Rundfiltern eingewogen und mit Hilfe eines

Tesafilmstreifens verschlossen, in Nitra auf Filterpapierstückchen eingewogen und zu Stäbchen zusammengefaltet.

Jeweils in den 10 Tagen vor Beginn einer Sammelperiode im 1. Versuch bzw. jeweils in den 9 Tagen Adaptationszeit vor den beiden Sammelwochen im 2. und 3. Versuch wurden den Tieren zweimal am Tag (5.45 und 17.45 Uhr im Versuch 1 bzw. 6.45 und 18.45 Uhr im Versuch 2 und 3) je 50 g des Chrommarkers in den Pansen verabreicht. So konnte sich ein Gleichgewicht zwischen Markerzufuhr und -ausscheidung einstellen.

Jeweils einen Tag vor Beginn und während der 5-tägigen Chymussammlungen erhielten die Tiere viermal am Tag (5.45, 11.45, 17.45 und 23.45 Uhr im Versuch 1 bzw. 6.45, 12.45, 18.45 und 0.45 Uhr im Versuch 2 und 3) je 25 g Chrommarker in den Pansen. Die Markersubstanz wurde dabei in den Pansen eingebracht und mit dessen Inhalt gut vermischt.

Die gemessene Konzentration an Chrom betrug im Versuch 1  $139,2 \pm 0,9$  mg Chrom pro g Markersubstanz, im Versuch 2  $118,1 \pm 8,1$  mg und im Versuch 3  $125,6 \pm 0,5$  mg Chrom pro g Markersubstanz.

### 3.5.3.2 Gewinnung und Aufbereitung der Chymusproben

In den Versuchen 2 und 3 wurde in den Vorperioden Darmsaft aus dem Duodenum und Ileum, in den nachfolgenden Perioden mit Stärke-Applikation bzw. -infusion Darmsaft nur aus dem Ileum gezogen.

Dagegen wurden im Versuch 1 alle Darmsaftproben aus dem Duodenum gesammelt. Vor Eingabe des ersten Markers wurde eine Blindprobe zur Bestimmung des Chromoxidblindwertes im Darmsaft gezogen. Tabelle 29 zeigt die Anzahl der Darmsaftsammeltage in allen Versuchen.

**Tabelle 29: Darmsaftsammeltage während der durchgeführten Versuche**

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Blindproben	1	2	1
Vorperiode	-	4	5
je Hauptperiode	5	5	5

Über die gesamte Dauer einer Darmsaftsammelperiode wurde alle zwei Stunden Chymus aus der entsprechenden Kanüle gewonnen (12 Stichproben pro 24 h). Dabei wurden aus der duodenalen Kanüle 4 x 100 ml, aus der ilealen Kanüle 150 ml Darmsaft gesammelt. Unmittelbar danach erfolgte im duodenalen Chymus die Erfassung des pH-Wertes der vier Einzelproben. Die Probe mit dem jeweils niedrigsten pH-Wert (möglichst wenig Pankreas- und Gallensekrete) wurde in Tagessammelbehälter verbracht und tiefgefroren (-20°C).

Von der ilealen Darmsaftprobe wurden die Zeit, zu der mindestens 150 ml gewonnen waren, und das Gewicht notiert, danach wurde der Darmsaft ebenfalls in dafür vorgesehene Tagessammelbehälter gegeben und tiefgefroren (-20°C). So konnten während einer Sammelperiode von jedem Tier fünf Tagessammelproben gewonnen werden.

Nach überschlägiger Berechnung reduzierte die Entnahme der Darmsaftproben die Trockensubstanz-Ausscheidung mit dem Kot um etwa 90-120 g, was zu Verdaulichkeitsveränderungen von 1,0-3,0 Prozentpunkten führen kann.

Zur Aufbereitung der einzelnen Tagessammelproben wurden diese aufgetaut, gut gemischt, eine Rückstellprobe entnommen und der verbleibende Teil der Gefriertrocknung (CHRIST-Gefriertrockner im Versuch 1, Lyophilisator-LZ 9.2, Frigera, Tschechische Republik im Versuch 2 und 3) unterzogen. Gleichzeitig wurde der Trockensubstanzgehalt bestimmt und der Stickstoffgehalt im frischen Probenmaterial (KJELDAHL) analysiert. Für die Analyse des Chrom- und des Stärkegehaltes (s. Abschnitt 3.6.2 und 3.6.5) bzw. der Roh Nährstoffe wurden die getrockneten Chymusproben auf 1 mm vermahlen.

Die Berechnung der Trockensubstanz-Flüsse am Duodenum und Ileum stellte die Grundlage für alle weiteren Nährstoff-Fluss- und Verdaulichkeitsberechnungen dar und erfolgte wie dargestellt:

$$\text{mg Chrom pro Kuh und Tag} = \text{mg MarkSubst} - T * \text{mg Chrom pro g MarkSubst} - T$$

$$T - \text{Fluss (kg / d)} = \frac{\text{mg Chrom pro Kuh und Tag}}{\text{mg Chromgehalt in der Darmsaft} - T} / 1000$$

wobei *MarkSubst* = *Markersubstanz*

Die Berechnung weiterer Nährstoff-Flüsse ergab sich aus dem Fluss an Darmsafttrockenmasse pro Tag und dem entsprechenden Nährstoffgehalt darin.

### 3.5.4 Gesamtverdaulichkeit der Ration bzw. bestimmter Nährstoffe

#### 3.5.4.1 Verdauungsversuch im Versuch 1

Zur Bestimmung der Verdaulichkeit der Inhaltsstoffe der Ration wurden den Kühen in der Zeit des 5-tägigen Verdauungsversuches Geschirre zur getrennten Harn- und Kotsammlung angelegt.

Der Kot wurde in Wannen hinter den Kühen aufgefangen und zweimal am Tag in dafür vorgesehene Behälter entleert. Jeden Tag nach dem morgendlichen Melken wurde der Kot der vorausgegangenen 24 h Stunden gewogen, mit einem Rührgerät homogenisiert, ein Aliquot von 5 % der Tagesmenge abgenommen und tiefgefroren (-20°C).

Zur Aufarbeitung des Kotes wurde die Menge nach dem Auftauen gründlich durchmischt, eine Rückstellprobe entnommen und in einem weiteren Anteil der frischen Probe der Stickstoff (nach KJELDAHL) bestimmt. Daran anschließend erfolgte die Gefriertrocknung des Kotes. Nach der Vermahlung über ein 1 mm Sieb konnten die chemischen Analysen (Stärke und WEENDER, s. Abschnitt 3.6.2 und 3.6.1) durchgeführt werden.

Die Verdaulichkeit (VQ %) der Inhaltsstoffe der Ration errechnet sich nach folgender Formel:

$$VQ (\%) = \frac{\text{Nährstoffaufnahme (g/d)} - \text{Nährstoffausscheidung mit dem Kot (g/d)}}{\text{Nährstoffaufnahme (g/d)}} * 100$$

Aufgrund der Ergebnisse über den Einfluss der Versuchsdauer auf die Rohnährstoffverdaulichkeit bei Milchkühen (LOOSE et al. 1999), bei der sich keine signifikanten Unterschiede zwischen 5, 7 und 9 Tagen Dauer der Sammelperiode gezeigt hatten, wurde die Dauer des Verdauungsversuches auf 5 Tage begrenzt.

In den Kotproben wurde als Parameter für die Intensität der mikrobiellen Fermentation von in den Dickdarm gelangter Nährstoffe die Diaminopimelinsäure (DAPA) durch die Firma Degussa Hüls in Hanau bestimmt.

#### **3.5.4.2 Kotsammlung im Versuch 2 und 3**

Der Kot wurde in Wannen hinter den Tieren über jeweils 24 h an 5 aufeinanderfolgenden Tagen gesammelt. Regelmäßig, möglichst nach jedem Kotabsetzen, erfolgte das Verbringen der Kotmenge aus der Wanne in dafür vorgesehene Behälter. Am Morgen wurde die über die vorangegangenen 24 h gesammelte Menge gewogen und jeweils 4 % als aliquoter Teil abgenommen, in einen Sammelbehälter verbracht und tiefgefroren (-20°C).

Diese über 5 Tage gewonnene Sammelprobe wurde zur Aufarbeitung aufgetaut, gründlich durchmischt, eine Rückstellprobe entnommen und in einem Teil der frischen Probe der Stickstoff (nach KJELDAHL) bestimmt. Daran schloss sich die Gefriertrocknung mit gleichzeitiger Trockensubstanzbestimmung an. Nach der Vermahlung über ein 1 mm Sieb wurden die Proben der Chrom- und WEENDER-Analytik zugeführt.

Die Berechnung der Verdaulichkeit erfolgte nach der im Abschnitt 3.5.4.1 aufgeführten Formel, bezog sich allerdings auf die Menge an Kot-Trockenmasse, welche mittels Chromanalyse nach Abschnitt 3.5.3 und 3.6.5 errechnet wurde. Dabei wurde anstelle des Chromgehaltes in der Darmsaft-Trockenmasse der Chromgehalt in der Kot-Trockenmasse berücksichtigt. Die angefallene Menge an Kot wurde zur Kontrolle ebenfalls gesammelt und gewogen. Diese war aufgrund der mit den Chymusproben entnommenen Mengen sowie gelegentlich nicht erfasster geringer Kotreste 0,2-0,4 kg T je Tag niedriger als die mittels Chrommarker errechnete Kot-Trockenmasse.

#### **3.5.5 Blutprobenentnahmen**

Zur Bestimmung der Blutglucosekonzentration wurden im Versuch 1 am Ende jeder Teilperiode (I bzw. II) Blutproben von jedem Tier aus der Schwanzvene drei Stunden nach Beginn der Morgenfütterung gezogen.

Im Versuch 2 wurden jeweils am Ende der Probenentnahmewochen von den vier im Versuch stehenden Bullen Blutproben entnommen. Dazu wurden die Tiere im 5-Minuten-Abstand nacheinander gefüttert, zur gleichen Zeit wurde die Stärke appliziert. Jeweils 20, 40, 60, 120 und 180 Minuten nach Fütterungsbeginn wurde Blut (zwei Parallelen) aus der Vena jugularis

entnommen, mit Natriumfluorid (NaF) versetzt und bis zur Analyse auf Glucose tiefgefroren (-20°C).

Nach Abschluss des Versuches wurde nochmals bei den vier im Versuch stehenden Tieren Blut aus der Vena jugularis entnommen. Dabei wurde die erste Probe fünf Minuten nach Beginn der Morgenfütterung und der Stärke-Applikation gezogen. Weitere Proben wurden 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 90, 120, 180 min sowie 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 Stunden nach Beginn der Morgenfütterung und Stärke-Applikation gewonnen. Das Blut wurde wiederum mit Natriumfluorid versetzt und bis zur Analyse tiefgefroren (-20°C).

Da kein Einfluss der Stärke-Applikation bzw. der Fütterung auf die Glucosekonzentration im Blut festzustellen war (vgl. Abschnitt 4.2.5), was auf eine starke homöostatische Regelung des Blutzuckers hinweist, wurde im Versuch 3 nur jeweils 3 h ppr eine Blutprobe je Probenentnahmewoche pro Tier aus der Vena jugularis entnommen, mit Natriumfluorid versetzt und bis zur Analyse auf Glucose tiefgefroren (-20°C).

## **3.6 Chemische Analysenmethoden**

### **3.6.1 Weender-Rohnährstoffe**

Im Labor des Institutes für Tierernährung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig wurde mittels der WEENDER-Analyse (METHODENBUCH III der LUFA, Vorschrift 3.1: Bestimmung der Feuchtigkeit (Trockensubstanz), Vorschrift 4.1.1: Bestimmung von Rohprotein, Kjeldahl-Aufschluss in den Chymus- und Kotproben; Stickstoffbestimmung nach DUMAS in den Futtermittelproben und Rückwaagen; Vorschrift 5.1.2: Bestimmung von Rohfett; Vorschrift 6.1.4: Bestimmung von Rohfaser; Vorschrift 8.1: Bestimmung der Rohasche; 1988) der Rohnährstoffgehalt der einzelnen Futtermittel-, Chymus- und Kotproben des Versuches 1 bestimmt.

Die Bestimmung der Rohnährstoffgehalte der Futtermittel und Rückwaagen sowie der Chymus- und Kotproben der Versuche 2 und 3 erfolgte im Labor des Institutes für Tierernährung in Nitra nach den Methoden der tschechoslowakischen technischen Normen 46 70 92 (METODY ZKOUSENI KRMIV - CESKOSLOVENSKA STATNI NORMA 1985).

Dabei wurde die Rohasche durch Veraschen im Muffelofen bei 550°C, das Rohfett durch Extraktion mit Diethyläther im SOXTEC SYSTEM HT 2 (Tecator) (CSN, cast 7), das Rohprotein mit der Semimikro-Kjeldahl-Methode im KJELTEC SYSTEM (Tecator) (CSN, cast 4) und die Rohfaser mittels FIBERTEC SYSTEM (Tecator) (CSN, cast 20) bestimmt. Die nFE-Fraktion errechnete sich als Differenz (CSN, cast 24).

### **3.6.2 Stärke**

Die Bestimmung des Stärkegehaltes in den aus allen Versuchen anfallenden Futterproben, Rückwaagen, Darmsaft- und Kotproben erfolgte ausschließlich im Labor des Institutes für

Tierernährung in Braunschweig nach der Methode von SALOMONSSON et al. (1984). Parallel zur Stärkeanalyse wurde immer eine Trockensubstanzbestimmung durchgeführt.

Zu dieser Bestimmung wurden 125 mg einer Probe in ein Zentrifugenglas eingewogen (Probe gemahlen auf 0,5 mm) und mit 9,8 ml 0,1 M Acetatpuffer sowie 100 µl Termamyl (thermostabile  $\alpha$ -Amylase, Typ 120 L, NOVO NORDISK) eine Stunde unter gelegentlichem Rühren (Magnetrührer) bei 100°C in einem Wasserbad (KÖTTERMANN) gekocht. Danach erfolgte eine Abkühlung auf etwa 40°C und eine Zugabe von 100 µl Amyloglucosidase (3500 units, E.C.3.2.1.4.; cat. No. 124001; Boehringer Mannheim GmbH, Mannheim) zu jeder Probe.

Die Proben wurden sodann für 16 Stunden bei 60°C in einem Wasserbad mit integriertem Rührwerk (JANKE & KUNKEL; IKA-Werke; ES 5) inkubiert und dabei fortlaufend gerührt. Nach Beendigung der Inkubation wurde die verdunstete Flüssigkeit durch Acetatpuffer ersetzt und den Ansätzen danach weitere 50 ml Acetatpuffer zugesetzt. Es erfolgte eine Zentrifugation bei 3240 x g ohne Bremse für 10 Minuten. 20 µl des Überstandes wurden je nach geschätztem Stärkegehalt in den Proben entweder 1:2 mit bidest. Wasser verdünnt oder gleich in Küvetten pipettiert. Darauf wurden 2 ml Reaktionslösung (Testkit Glucose GOD-PAP-Methode, MERKOTEST 1.1465.001) gegeben, so dass sich ein stabiler Farbkomplex bildete.

Nach 40 Minuten erfolgte die Messung der Extinktion der Probe fotometrisch bei 546 nm (Fotometer ATI UNICAM UV/Vis Spektrometer UV 4) und die Berechnung der in der jeweiligen Probe enthaltenen Stärke nach der Formel:

$$\text{Stärke (g/ kg T)} = \frac{(\text{Extinktion} - \text{RL}) * 405 * 60 * \text{Faktor}}{(\text{Einwaage} * T\%)}$$

wobei *RL* = Reagenzienleerwert und *Faktor* = Verdünnungsfaktor (0,9 oder 2)

### 3.6.3 Amylose-Gehalt in Mais- und Weizenstärke

In der in den Versuchen 2 und 3 in Nitra eingesetzten Mais- und Weizenstärke wurden in Anlehnung an die Methode von HOVENKAMP-HERMELINK (1988) mit HClO<sub>4</sub> Amylose extrahiert und photometrisch bei 550-618 nm gemessen. Die Bestimmung wurde in der Station de Selection bei NOVARTIS SEEDS in Les Pas (Frankreich) durchgeführt.

### 3.6.4 Freie Glucose im ilealen Darmchymus

Um die Ursachen einer eventuellen Begrenzung der Stärkenutzung im Dünndarm detaillierter beschreiben zu können, wurde in den ilealen Chymusproben der Versuche 2 und 3 freie Glucose nach einer Glucose-Assay-Procedure (MEGAZYME – Megazyme International Ireland Ltd.) bestimmt.

Dazu wurden die eingewogenen Proben (0,1 g) in 10 ml dest. Wasser gelöst, 30 Minuten gerührt (JANKE & KUNKEL, IKA-Werke, ES 5) und bei 3240 x g ohne Bremse 10 Minuten zentrifugiert. Blindwert, Standard und Proben (Überstand nach dem Zentrifugieren) wurden nach folgendem Schema in Reagenzgläser pipettiert (Tabelle 30). Der Inhalt der Reagenzgläser wurde gründlich durchmischt (MS 1; Minishaker; IKA).

**Tabelle 30: Pipettierschema zur Bestimmung der freien Glucose nach Megazyme**

	Blindwert	Standard	Probe
Farbreagenz	3 ml	3 ml	3 ml
Glucosestandard	-	0,1 ml	-
Probe	-	-	0,1 ml
dest. Wasser	0,2 ml	0,1 ml	0,1 ml

Danach wurden die Proben, der Standard und der Blindwert bei 50°C für 20 Minuten im Wasserbad inkubiert. Nach dem Abkühlen wurde der Inhalt der Reagenzgläser in Küvetten überführt und die Extinktion fotometrisch bei 510 nm gegen den Blindwert (Fotometer ATI UNICAM UV/Vis Spektrometer UV 4) gemessen.

Die Berechnung der freien Glucose erfolgte nach der Formel:

$$Glu (\%) = \frac{\text{Extinktion der } P}{\text{Extinktion des } S (Glu, 100 \mu g)} * 100 / \frac{g \text{ Einwaage} * T\%}{100}$$

wobei *Glu* = Glucose; *P* = Probe und *S* = Standard

### 3.6.5 Chrom

Die Chromkonzentration wurde modifiziert nach WILLIAMS et al. (1962) in allen Duodenalsaftproben des Versuches 1 sowie in den Duodenal- und Ilealsaftproben sowie im Kot der Versuche 2 und 3 als Grundlage zur Berechnung der Flussmengen an Trockensubstanz je Tier und Tag bestimmt.

Der gefriergetrocknete Darmsaft (1 g) wurde in Aschetiegel eingewogen und bei 105°C im Trockenschrank über Nacht getrocknet. Nach Bestimmung der Trockensubstanz erfolgte die Veraschung der Probe bei 550°C im Muffelofen und die Ermittlung des Aschegehaltes.

Die veraschte Probe wurde anschließend quantitativ in einen 250 ml-Messkolben überführt und unter Zusatz von 3 ml Phosphorsäure-Mangansulfatlösung und 4 ml 4,5%ige Kaliumbromatlösung zum Kochen gebracht. Nach Kühlung der Kolben im Eiswasser wurden zur erkalteten Lösung 25 ml verdünnte Kalziumchloridlösung gegeben und wiederum fünf Minuten gekocht. Nach Abkühlen erfolgte die Fällung des Braunsteins mit konzentrierter Natronlauge. Daraufhin wurde die Probe auf etwa 20°C abgekühlt und über Nacht stehengelassen.

Nach Filtration der soweit aufgearbeiteten Probe durch Rundfilter in kleine Analysenröhrchen erfolgte die Ermittlung des Chromgehaltes der Probe durch ein Atomabsorptionsspektrometer (GBC 908AA) mit Hilfe einer Standardkurve. Auf die gleiche Weise wurden in chromfreiem Darmsaft bzw. Kot der Reagenzienblindwert (Blindproben) sowie der Chromgehalt der eingesetzten Markersubstanz bestimmt.

### 3.6.6 pH-Wert im Pansen- und Duodenalsaft

Der pH-Wert wurde mit einem pH-Meter (Versuch 1: Digital pH-Meter, pH 525, WTW / Versuch 2 und 3: pH-Meter Radelkis OP211, Ungarn) nach zuvor erfolgter Eichung des Gerätes bestimmt.

### 3.6.7 Flüchtige Fettsäuren im Pansensaft

Zur Bestimmung der flüchtigen Fettsäuren wurden die im Abschnitt 3.5.1 beschriebenen Proben aufgetaut und gaschromatografisch (Hewlett Packard, 5880 A mit FID im Versuch 1; Carlo Erba im Versuch 2 und 3), auf einer 200 cm bzw. 180 cm langen Glassäule (15 % Dioctyl-Debacinat und Sebacinsäure auf Kieselgur als stationäre Phase im Versuch 1; 10 % SP 1200, 1 % H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> auf Chromosorb WAW 80/100 mit Iso-Caprinsäure als internen Standard im Versuch 2 und 3) untersucht.

### 3.6.8 Ammoniak-Stickstoff im Pansensaft

Der Ammoniak-N-Gehalt im Pansensaft wurde sowohl im Labor in Braunschweig als auch im Labor in Nitra nach einer modifizierten Conway-Methode (VOIGT und STEGER 1967) mit Hilfe einer Mikrodiffusionsapparatur ermittelt.

Die Proben wurden zunächst bei 3240 x g für fünf Minuten zentrifugiert. 1 ml des Überstandes wurde in die Becher der Mikrodiffusionsgefäße pipettiert und anschließend vorsichtig mit 1 ml Kaliumkarbonatlösung unterschichtet. In die Kolben der Gefäße wurden 4 ml Borsäure (s. Tabelle 3 im Anhang) pipettiert. Der in der Probenlösung enthaltene Ammoniak-N wurde durch die Kaliumkarbonatlösung ausgetrieben, in der Borsäurevorlage aufgefangen und die Vorlage mit 0,01 N HCl bis zum Farbumschlag titriert (Blindwert = Vorlage ohne Probe).

Nach folgender Formel ließ sich der Ammoniak-N-Gehalt der Probe berechnen:

$$\text{mg NH}_3\text{-N} / 100 \text{ ml} = (\text{ml } 0,01 \text{ N HCl (titriert)} - \text{Blindwert}) * 14$$

### 3.6.9 Konzentration der Blutglucose

Die Bestimmung der Blutglucosekonzentration erfolgte nach der BIOTEST-Oxochrom-Glucose-Prozedur (LACHEMA DIAGNOSTIKA). Dabei wurden 200 µl Blut mit 2 ml Trichloressigsäure (5g / 100 ml) deproteinisiert und bei 3240 x g 20 Minuten zentrifugiert. Danach erfolgte die Zugabe von 3 ml Arbeitslösung, welche im Testset enthalten war, zu 300 µl des Überstandes der zentrifugierten Probe.

Den 100 µl Glucosestandard aus dem Testset wurden 1 ml dest. Wasser zugesetzt und 300 µl dieses Gemisches mit 3 ml Arbeitslösung aufgefüllt. Die Proben und der Glucosestandard wurden 30 Minuten abgedunkelt und danach gegen dest. Wasser als Blindwert bei einer Wellenlänge von 495 nm im Atomabsorptionsspektrometer gemessen. Die Berechnung der Glucosekonzentration (Glu) erfolgte nach folgender Formel:

$$\text{Glu (mmol/l)} = a * \frac{A_1}{A_2}$$

wobei  $a$  = vorgegebene Konzentration des Glucosestandards  
 $A_1$  = Extinktion der Probe  
 $A_2$  = Extinktion des Glucosestandards

### 3.6.10 Milchinhaltsstoffe

Die Milchproben der Tiere des Versuches 1 wurden im Milchlabor des Institutes für Tierernährung der FAL in Braunschweig auf Milchfett, Milcheiweiß, Milchzucker und somatische Zellen untersucht.

Die Messungen erfolgten mit einem MILCOSAN-Gerät (Foss Electric), wobei durch die Milchproben Infrarotlicht der Wellenlänge  $\lambda=573 \mu\text{m}$  geleitet wurde. Die auf Absorption durch das Fett bzw. Eiweiß und Zucker beruhende Lichtschwächung im Vergleich zu einem Referenzstrahl gleicher Wellenlänge wird mit einer Photozelle gemessen (KOTTERER und MÜNCH 1985).

Nach Anfärbung der Milch und anschließender rechnergestützten Zählung aller leblosen Zellen wurde die somatische Zellzahl erfasst.

## 3.7 Statistische Auswertung

Aus den ermittelten Einzelwerten der erhobenen Parameter sind jeweils ausreißerkorrigierte Gruppenmittelwerte sowie dazugehörige Standardabweichungen errechnet worden. Der Test auf Ausreißer erfolgte unter Zuhilfenahme bestimmter Testgrößen für die jeweilige Gruppengröße mit spezifischen Signifikanzgrenzen (DIXON 1953).

Alle im Versuchszeitraum erhobenen Daten der Versuche 1, 2 und 3 wurden der statistischen Überprüfung mit Hilfe des Statistik-Programmpaketes SAS (SAS Institute Inc., 1988; BBA-Berichte 1998) unterzogen.

Dabei wurde der Versuch 1 zur Bestimmung der duodenalen Anflutung von Stärke und weiterer Nährstoffe mit Hilfe der ANOVA- (Analysis of Variance) und der GLM- (General-Linear-Models) -Prozedur nach folgendem Modell ausgewertet:

$$y_{ijkl} = \mu + K_i + P_j + Q_k + (K * P * Q)_{ijk} + A_l + (Q * A)_{kl} + e_{ijkl}$$

wobei  $\mu$  = Mittelwert  
 $K_i$  = Effekt der Tiere (laktierende Milchkühe) - geblockt  
 $P_j$  = Effekt der zwei Versuchsperioden - geblockt  
 $Q_k$  = Effekt der Stärkequelle (Mais oder Weizen im Kraftfutter)

$$A_i = \text{Effekt der unterschiedlichen Adaptationszeit an die jeweilige Stärkequelle} \\ (14 \text{ d oder } 35 \text{ d vor dem Verdauungsversuch und} \\ 21 \text{ d oder } 42 \text{ d vor der Darmsaftsammlung}) \\ e_{ijkl} = \text{Term des Restfehlers}$$

Die Einflussfaktoren *Kuh* und *Periode* wurden dabei als Störgrößen geblockt, die *Quelle* und die *Adaptationszeit* an die Ration gingen als fixe Effekte in das Modell ein. Der Gesamtfehler *e* wurde dabei in den Fehler zwischen den Kühen (Interaktion *Kuh* \* *Periode* \* *Quelle*) und den Fehler innerhalb der Kühe (Interaktion *Quelle* \* *Adaptationszeit*) aufgeteilt. Somit wurde dem Effekt *Adaptationszeit* als Messwiederholung Rechnung getragen.

Dadurch, dass die Zellen nur einmal besetzt waren bzw. im Versuch 1 in der 2. Periode zwei Tiere aus dem zweiten Verdauungsversuch genommen werden mussten (vgl. 3.2.1), so dass keine Daten erhoben werden konnten, war es nicht möglich, für jeden Parameter Interaktionen zu berechnen.

Um in den Versuchen 2 und 3 den Einfluss der Stärkequelle, der Stärkemenge und der unterschiedlichen Adaptationszeit zu überprüfen, wurde mittels MANOVA- und GLM-Prozedur eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung nach folgendem Modell durchgeführt:

$$y_{ijkl} = \mu + K_i + P_j \\ + Q_k + D_l + (K * P * Q * D)_{ijkl} \\ + A_m + (Q * D * A)_{klm} \\ + e_{ijklm}$$

wobei  $\mu$  = Mittelwert

$K_i$  = Effekt der Tiere (Jungbullen bzw. trockenstehende Milchkühe) - geblockt

$P_j$  = Effekt der vier Versuchsperioden - geblockt

$Q_k$  = Effekt der Stärkequelle (Mais oder Weizen als Applikation bzw. Infusion)

$D_l$  = Effekt der Stärkedosis (750 g oder 1500 g bzw. 1000 g oder 2000 g)

$A_m$  = Effekt der unterschiedlichen Adaptationszeit (9 d oder 23 d) innerhalb einer Periode (28 d) an die jeweilige Stärkequelle und -dosis

$e_{ijklm}$  = Term des Restfehlers

Dabei wurden die Einflussgrößen *Kuh* und *Periode* wiederum als Störgrößen geblockt und *Quelle*, *Dosis* und *Adaptationszeit* als fixe Effekte angesehen. Um auch hier der *Adaptationszeit* als Messwiederholung Rechnung zu tragen, wurde der Gesamtfehler in den Fehler zwischen den Tieren (Interaktion *Kuh* \* *Periode* \* *Quelle* \* *Dosis*) und den Fehler innerhalb der Tiere (Interaktion *Quelle* \* *Dosis* \* *Adaptationszeit*) aufgeteilt. Die Statistik wurde an den Relativzahlen, nicht an den Gramm-Angaben durchgeführt, da sich letztere aus den Relativzahlen ergaben.

In allen drei Versuchen wurde als Signifikanzniveau in den Berechnungen eine Irrtumswahrscheinlichkeit von maximal 5 % ( $p < 0,05$ ) angenommen. Weiterhin wurden multiple Mittelwertvergleiche zwischen den unterschiedlichen Gruppen unter Anwendung des TUKEY-Tests durchgeführt und, wo sinnvoll und möglich, die LEAST SQUARE MEANS zur genaueren Beschreibung der Einflussgrößen ermittelt.

Die Ergebnistabellen in Kapitel 4 geben jeweils die Mittelwerte sowie die Gesamtstreuungen an. Die statistischen Angaben beruhen auf den hier vorgestellten Modellen. Die Darstellung der statistischen Sicherung der F-Werte erfolgt im Ergebnisteil wie in Tabelle 31 aufgezeigt. Unterschiedliche hochgestellte Buchstaben in den Ergebnistabellen kennzeichnen signifikante Unterschiede, wobei die jeweiligen Niveauunterschiede in den Darstellungen entsprechend gekennzeichnet sind.

**Tabelle 31: Symbole, Grenzwerte und Bedeutung der statistischen Sicherung der F-Werte**

Symbol	Grenzwert	Bedeutung
n.s.	$p > 5\% = p > 0,05$	nicht signifikant
*	$p \leq 5\% = p \leq 0,05$	signifikant
**	$p \leq 1\% = p \leq 0,01$	hochsignifikant
***	$p \leq 0,1\% = p \leq 0,001$	höchstsignifikant

## 4 ERGEBNISSE

### 4.1 Versuch 1

#### 4.1.1 Versuchsverlauf, Roh Nährstoffgehalte der Futtermittel, Futteraufnahme und Milchleistung

Dieser Versuch gelangte als unvollständiger Cross Over (vgl. Abschnitt 3.2.1) zur Auswertung. Für jede Variante (Mais oder Weizen) standen 6 Beobachtungen zur Verfügung. Weiterhin ist zu bemerken, dass der Verdauungsversuch in Periode 2, Teil II nur mit einer Kuh durchgeführt werden konnte, da die anderen zwei Tiere nicht die erforderlichen Futtermengen aufnahmen. Ansonsten verlief der Versuch ohne Zwischenfälle und ohne Störungen der Tiergesundheit.

In Tabelle 32 sind die Roh Nährstoffgehalte der eingesetzten Grassilage und der beiden Kraftfuttermischungen, in Tabelle 33 die mittleren täglichen Roh Nährstoff- und Stärkeaufnahmen der laktierenden Milchkühe während der Verdauungsversuche dargestellt. Die verabreichten Futtermittel sind im Abschnitt 3.2.2 in Tabelle 21, die Mischungsanteile der Kraftfutter in Tabelle 22 dargestellt.

**Tabelle 32: Roh Nährstoff- und Stärkegehalte der im Versuch 1 eingesetzten Futtermittel (MW  $\pm$  SD; <sup>1</sup>n=4; <sup>2</sup>n=2)**

	T (%)	OS	XP	XL	XF	XX	XS
		in % der Trockensubstanz					
Grassilage <sup>1</sup>	34,1	88,4	14,7	2,7	31,0	40,0	0,0
	$\pm 2,3$	$\pm 2,0$	$\pm 1,8$	$\pm 0,1$	$\pm 2,1$	$\pm 5,1$	$\pm 0,0$
Kraftfutter	86,1	96,8	13,8	5,9	3,0	74,1	61,9
„Mais“ <sup>(2)</sup>	$\pm 0,3$	$\pm 0,2$	$\pm 0,4$	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$	$\pm 0,6$	$\pm 0,3$
Kraftfutter	86,6	96,8	16,9	3,2	3,1	73,6	59,3
„Weizen“ <sup>(2)</sup>	$\pm 0,3$	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,6$	$\pm 0,2$

MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung

Die Roh Nährstoffgehalte der Grassilage wiesen diese als Silage mittlerer Qualität aus. Die beiden Kraftfutter unterschieden sich nicht im Gehalt an organischer Substanz, der Rohproteingehalt lag beim weizenbetonten Kraftfutter um 3,1 Prozentpunkte höher, dafür war der Fettgehalt um 2,7 Prozentpunkte niedriger. Die Rohfaser- und NfE-Gehalte waren nahezu gleich.

Der Stärkegehalt lag im maisbetonten Kraftfutter um 2,6 Prozentpunkte höher, da der eingemischte Mais mit 70,4 % im Vergleich zum eingemischten Weizen mit 66,2 % einen höheren Stärkegehalt aufwies. Dadurch wurden die geringfügig höheren Stärkeaufnahmen in der maisbetonten Ration verursacht (Tabelle 33 und Tabelle 34). Die aufgenommene Stärke stammte zu 100 % aus dem jeweiligen Kraftfutter. Bei der Planung war in beiden Rationen

die gleiche Kraftfuttermenge und der gleiche Anteil an Mais bzw. Weizen ausschlaggebend gewesen (vgl. Tabelle 22 im Abschnitt 3.2.2), nicht der Gehalt an Stärke.

Aufgrund des höheren Fettgehaltes in den Ausgangsgetreiden (Mais 4,4 % vs. Weizen 1,7 %) und dem angemischten Kraftfutter (Mais 5,9 % vs. Weizen 3,2 %) war die Aufnahme an Rohfett mit einer Differenz von 0,3 kg zwischen den Rationen signifikant ( $p \leq 0,001$ ) verschieden (Tabelle 33 und Tabelle 34).

**Tabelle 33: Mittlere tägliche Rohrnährstoff- und Stärkeaufnahmen (kg/d) der Milchkühe in den Verdauungsversuchen (MW  $\pm$ SD; n=3)**

	Kraftfuttermischung mit		Sign.
	87 % Mais	87 % Weizen	
T	17,4 $\pm$ 0,6	16,9 $\pm$ 1,2	n.s.
OS	16,2 $\pm$ 0,6	15,8 $\pm$ 1,1	n.s.
XP	2,5 $\pm$ 0,2	2,7 $\pm$ 0,3	n.s.
XL	0,8 <sup>a</sup> $\pm$ 0,0	0,5 <sup>b</sup> $\pm$ 0,0	***
XF	2,6 $\pm$ 0,2	2,5 $\pm$ 0,3	n.s.
XX	10,3 $\pm$ 0,3	10,1 $\pm$ 0,5	n.s.
XS	6,3 $\pm$ 0,2	6,0 $\pm$ 0,2	n.s.

<sup>ab</sup> ( $p \leq 0,05$ )

In Tabelle 34 sind die mittleren täglichen Rohrnährstoff- und Stärkeaufnahmen der laktierenden Milchkühe für beide Rationen in den Darmsaftsammelwochen dargestellt. Die täglichen Aufnahmen der Versuchstiere an Trockensubstanz bzw. organischer Substanz in der Mais- bzw. Weizen-Ration waren über den gesamten Versuch zwischen beiden Rationen nahezu gleich. Der Anteil der Rohfaser an der Trockenmasse belief sich im Mittel des gesamten Versuches bei beiden Rationen auf 15,0 % und lag damit im Mittel um 1,5 % höher als in den vorher kalkulierten Rationen.

**Tabelle 34: Mittlere tägliche Rohrnährstoff- und Stärkeaufnahmen (kg/d) der Milchkühe in den Darmsaftsammelwochen (MW  $\pm$ SD; n=3)**

	Kraftfuttermischung mit		Sign.
	87 % Mais	87 % Weizen	
T	17,9 $\pm$ 0,7	17,8 $\pm$ 0,9	n.s.
OS	16,7 $\pm$ 0,5	16,6 $\pm$ 0,6	n.s.
XP	2,6 $\pm$ 0,2	2,8 $\pm$ 0,3	n.s.
XL	0,8 <sup>a</sup> $\pm$ 0,0	0,5 <sup>b</sup> $\pm$ 0,0	***
XF	2,7 $\pm$ 0,3	2,7 $\pm$ 0,4	n.s.
XX	10,6 $\pm$ 0,1	10,6 $\pm$ 0,1	n.s.
XS	6,3 $\pm$ 0,2	6,0 $\pm$ 0,2	n.s.

<sup>ab</sup> ( $p \leq 0,05$ )

Mit Hilfe der analysierten Rohrnährstoffgehalte, der ermittelten Verdaulichkeiten, der DLG-Futterwerttabellen (1997) und der Formeln der GfE (2000) wurden die mit beiden Rationen aufgenommene Nettoenergie (NEL), der Energiegehalt der Rationen je kg Trockensubstanz, das nutzbare Rohprotein (nXP) bzw. die ruminale Stickstoffbilanz (RNB) ermittelt (Tabelle 35). Die tägliche Energieaufnahme aus beiden Rationen betrug im Mittel  $125 \pm 2$  MJ NEL.

Bei einer mittleren Milchleistung der Tiere von 26,6 kg für die maisbetonte Ration bzw. 23,7 kg für die weizenbetonte Ration über den gesamten Versuch (Tabelle 36) ergibt sich ein Bedarf von 122 bzw. 113 MJ NEL. Es wird somit ersichtlich, dass die Tiere im Mittel leicht überversorgt waren.

**Tabelle 35: Tägliche Energie- und nXP-Aufnahme, Energiegehalte der Rationen (Grassilage + Kraftfutter) sowie ruminale N-Bilanz (RNB) (nach DLG-Futterwerttabelle 1997; GfE 2000)**

	Kraftfuttermischung mit	
	87 % Mais	87 % Weizen
tägliche Energieaufnahme NEL (MJ)	126	124
Energiegehalt je kg T in MJ ME bzw. MJ NEL	11,5 bzw. 7,0	11,4 bzw. 7,0
tägliche Gesamt-nXP-Aufnahme (g)	2805	2760
tägliche RNB der Ration (g)	-38	5

Mit einer mittleren nXP-Aufnahme von  $2782 \pm 32$  g war die nXP-Versorgung der Tiere ausreichend (Bedarf bei einer mittleren Milchleistung von 25 kg FCM und 650 kg LM: 2570 g). Als Größe für die Stickstoffversorgung der Pansenmikroben wird in den DLG-Futterwerttabellen für die einzelnen Futtermittel die ruminale Stickstoffbilanz (RNB) angegeben. Für diese errechnete sich für die Mais-Ration ein Wert von  $-38$  g, für die Weizen-Ration ein Wert von 5 g.

In Tabelle 36 sind die über den gesamten Versuch gemittelte Milchleistung und die Gehalte an Milchinhaltsstoffen dargestellt. Die Unterschiede in der Milchleistung bzw. in den Gehalten an Milchinhaltsstoffen dürfen nicht überbewertet werden, da die Energieaufnahme in der maisbetonten Ration etwas höher lag und nur je drei Tiere für den Versuch zur Verfügung standen.

**Tabelle 36: Milchleistung und Gehalt an Milchinhaltsstoffen der Kühe (MW  $\pm$  SD; n=3)**

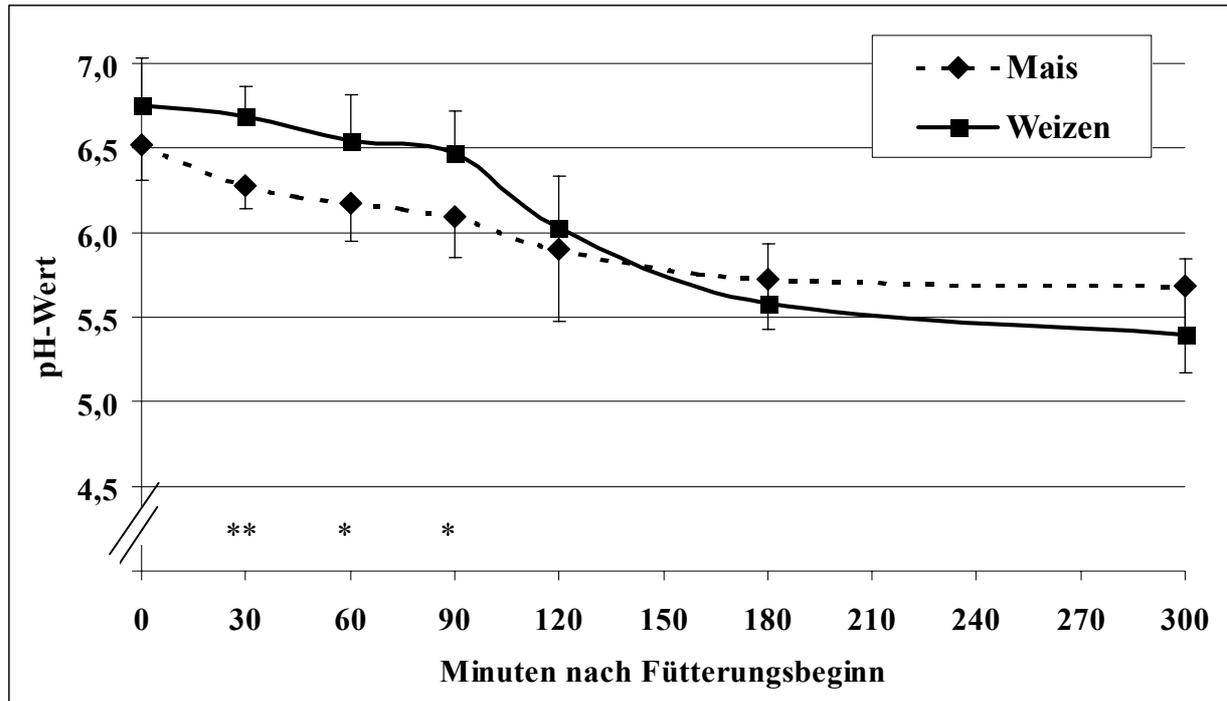
	Kraftfuttermischung mit	
	87 % Mais	87 % Weizen
Milchmenge (kg)	$26,6 \pm 2,8$	$23,7 \pm 3,0$
Milchfett (%)	$4,2 \pm 0,8$	$3,5 \pm 0,9$
Milchprotein (%)	$3,2 \pm 0,2$	$3,2 \pm 0,2$
Lactose (%)	$4,7 \pm 0,1$	$4,6 \pm 0,1$

Die Blutglucosekonzentration der Tiere betrug bei Verabreichung der maisbetonten Ration  $2,8 \pm 0,3$  mmol/l und bei der weizenbetonten  $2,9 \pm 0,5$  mmol/l. Damit war sie nicht signifikant verschieden und lag im Normbereich.

#### 4.1.2 Pansenphysiologische Untersuchungen

Die pH-Werte im Pansensaft der Tiere für die Kraftfuttermischungen mit Mais und Weizen, gemittelt über die Adaptationszeiten von 14 bzw. 35 d, zeigten 30 ( $p \leq 0,01$ ), 60 und 90 Minuten ( $p \leq 0,05$ ) nach Fütterungsbeginn (Abbildung 9; Daten in Tabelle 4 im Anhang) signifikante Unterschiede.

Bei der maisbetonten Ration war unmittelbar nach Fütterungsbeginn und bis zu 120 Minuten ppr ein niedrigerer pH-Wert als bei der weizenbetonten Ration zu verzeichnen. Das könnte vermutlich damit zusammenhängen, dass die Stärkeaufnahme bei der Mais-Variante leicht höher war und die Tiere dieses Kraftfutter schneller aufnahmen. Weiterhin sind die individuellen Unterschiede (Streuung der Werte) in beiden Varianten recht groß. Beide pH-Werte nahmen bis 180 Minuten nach Fütterungsbeginn ab, danach blieb der pH-Wert der maisbetonten Ration auf einem Niveau um 5,7, während der pH-Wert der weizenbetonten Ration ohne ersichtliches Plateau bis auf 5,3 abfiel.



**Abbildung 9: Mittlerer Verlauf des pH-Wertes im Pansensaft der Tiere (MW $\pm$ SD; n=3) während der ersten 5 Stunden nach Fütterungsbeginn (gemittelt über die Adaptationszeiten 14 bzw. 35 d; \*p $\leq$ 0,05; \*\*p $\leq$ 0,01)**

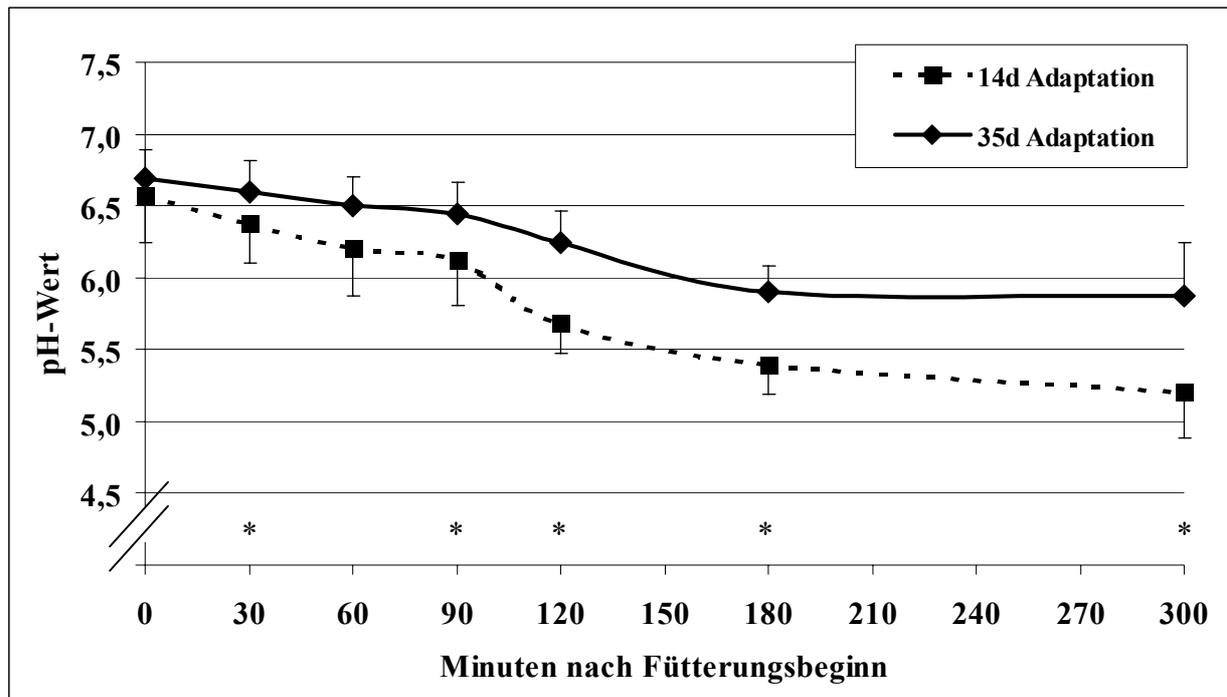
Etwa ab 140 Minuten nach Fütterungsbeginn lag der pH-Wert in beiden Gruppen im physiologisch kritischen Bereich (<5,8; LEBZIEN 2000). Die Differenzen zwischen den Werten beider Rationen betrugen nach 180 bzw. 300 Minuten 0,2 bzw. 0,3.

Der über drei Tage jeweils 180 Minuten nach Fütterungsbeginn gemessene pH-Wert, gemittelt über die Adaptationszeiten 14 bzw. 35 d, lag bei der maisbetonten Ration bei 5,8, bei der weizenbetonten Ration bei 5,5 und war damit signifikant verschieden (p $\leq$ 0,05; nicht abgebildet).

Abbildung 10 (Daten in Tabelle 5 im Anhang) zeigt den mittleren Verlauf des pH-Wertes für die ersten 5 Stunden nach Fütterungsbeginn, gemittelt über die Mais- und Weizen-Rationen, für eine Adaptationszeit an die kraftfutterreichen Rationen von 14 bzw. 35 d.

Es wird ersichtlich, dass eine längere Gewöhnung an kraftfutterreiche Rationen einen stabilisierenden Effekt auf den pH-Wert ausübt. 30 Minuten nach Fütterungsbeginn und ab 90

Minuten nach Fütterungsbeginn waren die Unterschiede zwischen beiden Adaptationszeiten signifikant ( $p \leq 0,05$ ). Dabei beliefen sich die Differenzen zwischen den Werten der längeren und der kürzeren Adaptierung für 0, 30, 60, 90, 120, 180 und 360 Minuten nach Fütterungsbeginn auf 0,1, 0,2 ( $p \leq 0,05$ ), 0,3, 0,3 ( $p \leq 0,05$ ), 0,5 ( $p \leq 0,05$ ), 0,5 ( $p \leq 0,05$ ) und 0,7 ( $p \leq 0,05$ ). Dieses könnte einen erheblichen Einfluss auf die Tätigkeit der cellulolytischen Pansenbakterien und damit auf die Verdaulichkeit der Rohfaser ausüben (vgl. Abschnitt 4.1.3 und 4.1.4 sowie Abschnitt 5.2.1).



**Abbildung 10:** Mittlerer Verlauf des pH-Wertes nach 14 bzw. 35 Tagen Adaptation an die kraftfutterreichen Rationen (MW $\pm$ SD; n=3; gemittelt über die Rationen Mais und Weizen; \* $p \leq 0,05$ )

Die über die Rationen Mais und Weizen gemittelten, 180 Minuten nach Fütterungsbeginn an drei Tagen gemessenen pH-Werte betragen nach unterschiedlich langen Adaptationszeiten (14 bzw. 35 d) 5,4 bzw. 5,8 und waren damit hoch signifikant verschieden ( $p \leq 0,01$ ; nicht abgebildet). Eine Verlängerung der Gewöhnungszeit an kraftfutterreiche Rationen stabilisiert somit den pH-Wert in einem physiologisch günstigeren Bereich.

Die 3 Stunden nach Fütterungsbeginn gemessene Gesamtkonzentration an flüchtigen Fettsäuren im Pansensaft (Tabelle 37) war bei der weizenbetonten Ration durch die intensiveren Umsetzungen im Pansen höher als bei der maisbetonten. Tabelle 37 zeigt weiterhin die molaren Anteile der flüchtigen Fettsäuren im Pansensaft.

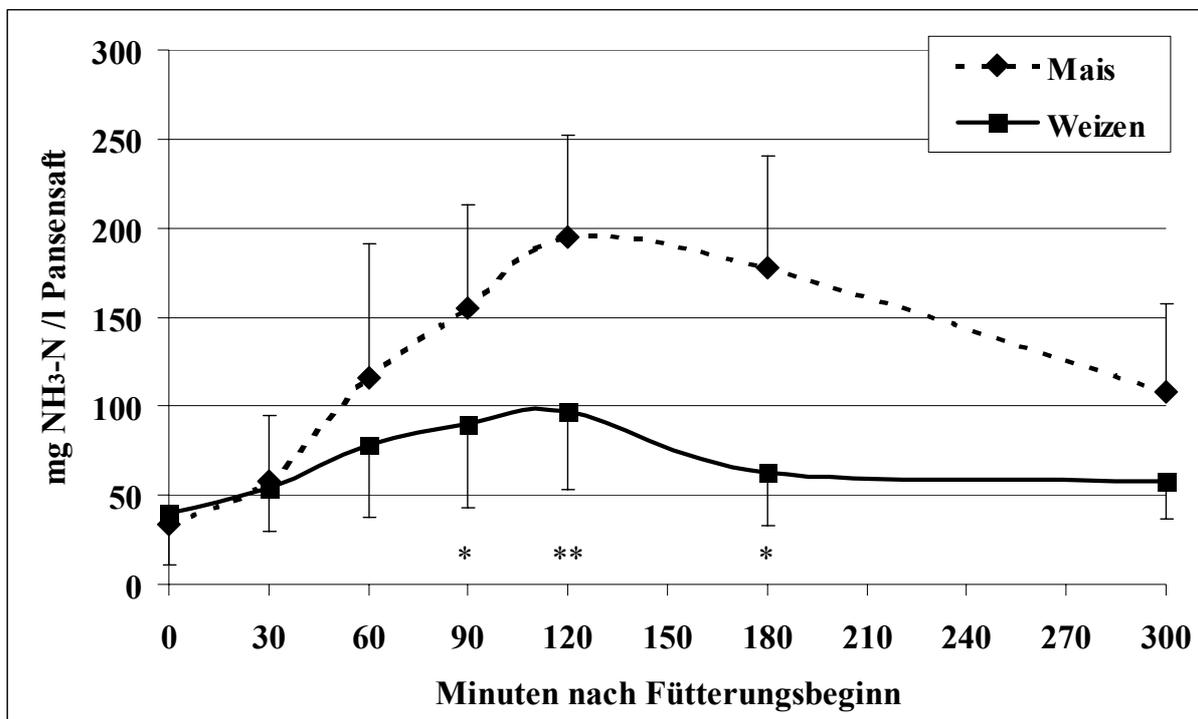
Der Anteil an Essigsäure an den Gesamtfettsäuren war bei der weizenbetonten Ration gegenüber der maisbetonten Ration tendenziell vermindert, der Anteil an Propionsäure signifikant ( $p \leq 0,001$ ) erhöht, wodurch sich das engere Acetat : Propionat-Verhältnis bei der weizenbetonten Ration errechnete, was auf die intensiveren Umsetzungen, den niedrigeren

pH-Wert und die dadurch ungünstigeren Bedingungen für den Zellwand- bzw. Rohfaserabbau im Pansen zurückzuführen ist. Statistisch zu sichernde Einflüsse der Stärkequelle zeigten sich weiterhin bei den Anteilen an Iso-Valeriansäure ( $p \leq 0,01$ ) und Valeriansäure ( $p \leq 0,001$ ).

**Tabelle 37: Gesamtfettsäurenkonzentration sowie molare Anteile der einzelnen flüchtigen Fettsäuren im Pansensaft der Milchkühe drei Stunden nach Beginn der Morgenfütterung (MW $\pm$ SD; n=3; gemittelt über die Adaptationszeiten von 14 bzw. 35 d)**

	Kraftfuttermischung mit		Sign.
	87 % Mais	87 % Weizen	
<b>Gesamtkonzentration an flüchtigen Fettsäuren (mmol/l)</b>			
	134,7 <sup>b</sup> $\pm$ 16,2	143,8 <sup>a</sup> $\pm$ 18,4	**
<b>Flüchtige Fettsäuren (molare Anteile, %)</b>			
Essigsäure	59,0 $\pm$ 3,2	56,9 $\pm$ 2,7	n.s.
Propionsäure	22,7 <sup>b</sup> $\pm$ 3,3	28,1 <sup>a</sup> $\pm$ 5,3	***
Buttersäure	14,3 $\pm$ 1,1	15,4 $\pm$ 3,1	n.s.
Iso-Buttersäure	0,7 $\pm$ 0,2	0,6 $\pm$ 0,2	n.s.
Valeriansäure	1,7 <sup>b</sup> $\pm$ 0,2	4,7 <sup>a</sup> $\pm$ 1,3	***
Iso-Valeriansäure	1,6 <sup>a</sup> $\pm$ 0,3	1,1 <sup>b</sup> $\pm$ 0,5	**
<b>C<sub>2</sub>:C<sub>3</sub>-Verhältnis</b>	<b>2,7 : 1<sup>a</sup> <math>\pm</math> 0,5</b>	<b>2,1 : 1<sup>b</sup> <math>\pm</math> 0,5</b>	<b>**</b>

<sup>ab</sup> ( $p \leq 0,05$ )



**Abbildung 11: Verlauf der NH<sub>3</sub>-N-Konzentration (mg/l) im Pansensaft der Milchkühe (MW $\pm$ SD; n=3; gemittelt über die Adaptationszeiten 14 d bzw. 35 d; \* $p \leq 0,05$ ; \*\* $p \leq 0,01$ )**

Ein signifikanter Einfluss der unterschiedlich langen Adaptationszeiten, gemittelt über beide Rationen (nicht abgebildet), zeigte sich bei der Gesamtfettsäurenkonzentration. Diese betrug nach 35 d Adaptation 134,3 mmol/l im Gegensatz zu 144,1 mmol/l nach 14 d Adaptation ( $p \leq 0,05$ ). Die Konzentration an Propionsäure war mit 23,8 Mol % gegenüber 25,3 Mol %, die der Buttersäure mit 13,7 Mol % gegenüber 14,6 Mol % und der Valeriansäure mit 2,8 Mol % gegenüber 3,4 Mol % ebenfalls erniedrigt.

Die  $\text{NH}_3\text{-N}$ -Konzentrationen im Pansensaft der Tiere zeigten 90 ( $p \leq 0,05$ ), 120 ( $p \leq 0,01$ ) und 180 ( $p \leq 0,05$ ) Minuten nach Fütterungsbeginn signifikante Unterschiede zwischen der mais- und der weizenbetonten Ration (Abbildung 11; Daten in Tabelle 4 im Anhang; gemittelt über die Adaptationszeiten 14 d bzw. 35 d). Die Maximalwerte wurden bei beiden Rationen etwa 120 Minuten nach Fütterungsbeginn erreicht.

In Tabelle 38 sind die Mittelwerte für den Ammoniak-Stickstoffgehalt im Pansensaft nach 14 bzw. 35 Tagen Adaptation, gemittelt über beide Rationen, dargestellt. Die tendenziell niedrigeren Werte nach längerer Adaptationszeit lassen vermuten, dass die Pansenmikroben die hohen Kraftfuttermengen effektiver genutzt haben, so dass tendenziell mehr mikrobielles Protein gebildet und somit mehr Ammoniak-Stickstoff verbraucht wurde.

**Tabelle 38: Mittelwerte der  $\text{NH}_3\text{-N}$ -Konzentration (mg/l) im Pansensaft nach 14 bzw. 35 Tagen Adaptation, gemittelt über beide Rationen mit Mais und Weizen, (MW  $\pm$  SD; n=3)**

Minuten nach Beginn der Morgenfütterung	14 d Adaptation	35 d Adaptation	Sign.
0	40,4 $\pm$ 29,0	32,8 $\pm$ 7,6	n.s.
30	72,3 $\pm$ 34,7	40,1 $\pm$ 10,7	n.s.
60	114,8 $\pm$ 39,1	79,5 $\pm$ 76,8	n.s.
90	137,6 $\pm$ 56,1	107,4 $\pm$ 66,4	n.s.
120	156,5 $\pm$ 61,6	135,8 $\pm$ 82,9	n.s.
180	125,2 $\pm$ 74,6	115,8 $\pm$ 84,6	n.s.
300	82,0 $\pm$ 32,0	83,6 $\pm$ 57,7	n.s.

### 4.1.3 Nährstoff-Fluss am Duodenum

Wie im Versuchsplan im Abschnitt 3.2.1 beschrieben betragen die Adaptationszeiten für die aus der Chymusprobensammlung ermittelten Ergebnisse 21 d bzw. 42 Tage. Angaben über die täglichen Trockensubstanz-Flüsse am Duodenum für jeden der 5 Chymussammeltage finden sich in Tabelle 6 im Anhang. Tabelle 39 zeigt den Nährstoff-Fluss am Duodenum der Versuchstiere für beide Rationen, gemittelt über die Adaptationszeiten 21 d bzw. 42 d.

Die maisbetonte Ration wurde unvollständiger im Pansen umgesetzt, so dass gegenüber der weizenbetonten Ration in absoluten Zahlen 1153 g Trockensubstanz, 1193 g organische Substanz, 1267 g NfE und 1228 g Stärke mehr am Dünndarm anfließen. Im Gegensatz dazu fließen bei der maisbetonten Ration 165 g weniger Rohfaser an.

Mit 5,5 Prozentpunkten Differenz zwischen den Trockensubstanz-Flüssen bezogen auf die Nährstoff-Aufnahme (61,6 vs. 56,1 %) war der Einfluss der Kraftfuttermischung signifikant ( $p \leq 0,001$ ). Ebenso war die Differenz zwischen den Flüssen an organischer Substanz mit 6,6

Prozentpunkten signifikant ( $p \leq 0,001$ ). Auch bei der Fraktion der NfE bzw. bei der Stärke war mit 11,9 ( $p \leq 0,01$ ) bzw. 19,2 Prozentpunkten ( $p \leq 0,001$ ) ein signifikanter Einfluss der Kraftfuttermischungen zu verzeichnen.

**Tabelle 39: Nährstoff-Fluss am proximalen Duodenum der Kühe (MW  $\pm$  SD; n=3; gemittelt über die Adaptationszeiten von 21 d bzw. 42 d)**

	Kraftfuttermischung mit		Sign.
	87 % Mais	87 % Weizen	
<b>Fluss in g/d<sup>1)</sup></b>			
T	11044 $\pm$ 642	9891 $\pm$ 431	-
OS	8843 $\pm$ 489	7650 $\pm$ 410	-
XP	3171 $\pm$ 251	3259 $\pm$ 145	-
XL	720 $\pm$ 137	541 $\pm$ 49	-
XF	641 $\pm$ 73	806 $\pm$ 142	-
XX	4311 $\pm$ 347	3044 $\pm$ 153	-
XS	1523 $\pm$ 233	295 $\pm$ 103	-
<b>Fluss in % der Aufnahme</b>			
T	61,6 <sup>a</sup> $\pm$ 1,2	56,1 <sup>b</sup> $\pm$ 0,5	***
OS	53,0 <sup>a</sup> $\pm$ 1,4	46,4 <sup>b</sup> $\pm$ 1,0	***
XP	124,1 $\pm$ 10,3	118,4 $\pm$ 8,4	n.s.
XL	89,4 $\pm$ 17,9	105,0 $\pm$ 10,9	n.s.
XF	23,7 <sup>a</sup> $\pm$ 0,7	30,8 <sup>b</sup> $\pm$ 3,1	**
XX	40,7 <sup>a</sup> $\pm$ 3,4	28,8 <sup>b</sup> $\pm$ 1,8	**
XS	24,2 <sup>a</sup> $\pm$ 3,4	5,0 <sup>b</sup> $\pm$ 1,7	***

<sup>1)</sup> Statistik wurde nur für die Relativzahlen gerechnet; <sup>ab</sup> ( $p \leq 0,05$ )

Im Gegensatz zu den großen Differenzen zwischen den Verdaulichkeiten der NfE und der Stärke fiel der Unterschied in den Verdaulichkeiten der organischen Substanz aufgrund des gebildeten mikrobiellen Proteins bzw. des unabgebauten Futterproteins geringer aus. Durch die Proteinsynthese aus dem rezirkulierten N sowie endogene N-Zuflüsse lag der Rohproteinfluss am Duodenum bei 124,1 bzw. 118,4 % der aufgenommenen Menge. Die Differenz von 5,7 Prozentpunkten zwischen den Rationen war aufgrund der hohen Standardabweichungen nicht statistisch zu sichern. Bei der weizenbetonten Ration war der Abbau der Rohfaser im Pansen gegenüber der maisbetonten um 7,1 Prozentpunkte vermindert ( $p \leq 0,01$ ).

Aus den Aufnahmewerten an Nährstoffen und den jeweiligen Flussmengen am Duodenum konnten die Verdaulichkeiten im Pansen bestimmt werden. In Tabelle 40 sind die Werte nach 21 d bzw. 42 d Adaptation an die Rationen dargestellt. Eine tendenzielle Erhöhung der Verdaulichkeit nach längerer Gewöhnung an das jeweilige Kraftfutter zeigte sich bei allen Nährstoffen außer der Rohfaser sowohl bei der mais- als auch bei der weizenbetonten Ration.

Die Verdaulichkeit der Trockensubstanz war nur beim Maiseinsatz nach 42 d Adaptation um 1,5 Prozentpunkte gegenüber 21 d erhöht, was sich aufgrund der geringen Streuung als signifikant erwies ( $p \leq 0,05$ ), bei der weizenbetonten Ration konnte kein Gewöhnungseffekt festgestellt werden. Die organische Substanz wurde nach 42 d Adaptation 2,5 bzw. 0,9 Prozentpunkte höher verdaut, der Effekt war jedoch nur bei der maisbetonten Ration statistisch signifikant ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabelle 40: Verdaulichkeit (%) der Nährstoffe bis zum Duodenum nach 21 bzw. 42 Tagen Adaptation (A) an die Rationen (MW  $\pm$ SD; n=3)**

	Kraftfuttermischung mit				Sign. A
	87 % Mais		87 % Weizen		
	21 d A	42 d A	21 d A	42 d A	
T	37,6 <sup>b</sup> $\pm$ 1,0	39,2 <sup>a</sup> $\pm$ 1,0	44,2 $\pm$ 0,4	43,5 $\pm$ 0,3	*
OS	45,8 <sup>b</sup> $\pm$ 0,3	48,3 <sup>a</sup> $\pm$ 0,7	53,2 $\pm$ 0,1	54,1 $\pm$ 1,4	*
XP	-19,7 $\pm$ 11,5	-28,5 $\pm$ 8,6	-12,5 $\pm$ 2,1	-24,3 $\pm$ 8,1	n.s.
XL	5,2 $\pm$ 15,0	15,9 $\pm$ 22,1	-1,1 $\pm$ 13,7	-8,9 $\pm$ 7,9	n.s.
XF	76,4 $\pm$ 0,8	76,2 $\pm$ 0,8	69,5 $\pm$ 3,8	68,9 $\pm$ 3,0	n.s.
XX	57,3 $\pm$ 2,9	61,4 $\pm$ 2,9	69,9 $\pm$ 0,1	72,6 $\pm$ 1,5	n.s.
XS	73,6 $\pm$ 1,4	78,0 $\pm$ 3,4	94,5 $\pm$ 2,2	95,6 $\pm$ 1,3	n.s.

<sup>ab</sup> ( $p \leq 0,05$ )

Die Differenzen zwischen den Verdaulichkeiten nach 21 bzw. 42 d Adaptation betragen jeweils für die mais- und die weizenbetonte Ration -8,8 und -11,8 Prozentpunkte für Rohprotein, 10,7 und -7,8 Prozentpunkte für Rohfett und -0,2 und -0,6 Prozentpunkte für Rohfaser. Bei der Fraktion der NfE war der Adaptationseffekt mit 4,1 (Mais-Ration) bzw. 2,7 (Weizen-Ration) Prozentpunkten Differenz ähnlich. Die scheinbaren Verdaulichkeiten der Stärke waren nach 42 gegenüber 21 Tagen Adaptation um 4,4 bzw. 1,1 Prozentpunkte höher.

Die Erhöhung der Verdaulichkeit der organischen Substanz nach 42 gegenüber 21 Tagen Adaptation wurde größtenteils durch die Erhöhung der NfE- bzw. der Stärkeverdaulichkeit verursacht. Dass die Verdaulichkeit der organischen Substanz niedriger ausfiel als die der NfE- bzw. der Stärke, war durch eine zusätzliche mikrobielle Proteinsynthese nach 42 d Adaptation zu erklären, was durch eine höhere Proteinanflutung im Dünndarm nach längerer Adaptationszeit bestätigt wurde.

Auffallend waren die großen tierindividuellen Unterschiede, die sich in hohen Standardabweichungen, besonders bei der Verdaulichkeit des Rohproteins und des Rohfettes, niederschlugen. Die über die Adaptationszeiten gemittelten ruminalen Verdaulichkeiten sind in Tabelle 7 im Anhang dargestellt.

Der Anteil des NH<sub>3</sub>-N am N-Fluss am Duodenum beträgt nach SCHAFT (1983) und ENGLING (1988) 5,2  $\pm$  1,8 %. Der sich daraus ergebende NAN-Fluss x 6,25 am Duodenum ist in Tabelle 41 dargestellt. Die am Dünndarm gemessene NAN-Menge stellt das nutzbare Rohprotein plus endogenes Protein dar. Ein Vergleich der aus den DLG-Futterwerttabellen (1997) kalkulierten nXP-Werte (Tabelle 35) mit den in der Tabelle 41 dargestellten, aus den Chymusflussmengen ermittelten, nXP-Werten zeigt, dass zwischen beiden Parametern bei der Kraftfuttermischung mit Mais eine Differenz von 34 g, bei der Mischung mit Weizen eine Differenz von 118 g besteht.

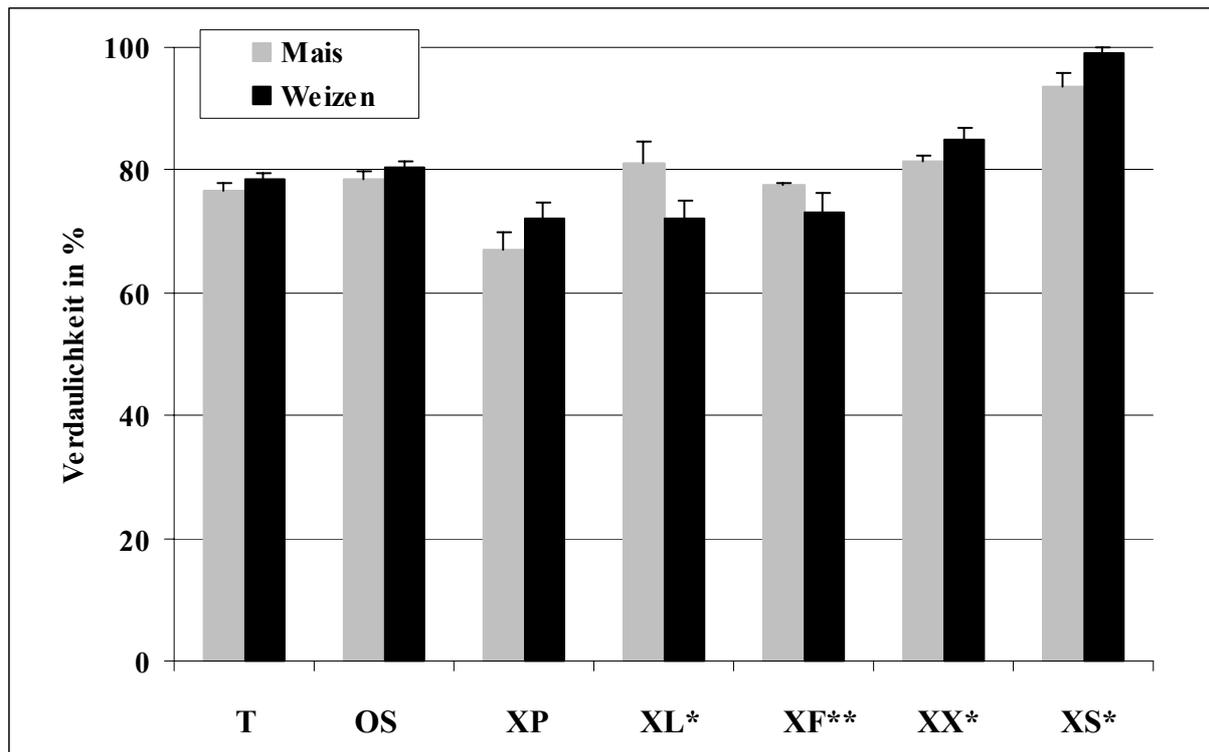
**Tabelle 41: NAN-Fluss und nXP in g am Duodenum der Kühe (MW  $\pm$  SD; n=3; gemittelt über die Adaptationszeiten von 21 d und 42 d)**

	Krafftuttermischung mit		Sign.
	87 % Mais	87 % Weizen	
<b>NAN-Fluss x 6,25 (g)</b>			
nach 21 d Tagen Adaptation	3059 $\pm$ 332	3151 $\pm$ 183	n.s.
nach 42 d Tagen Adaptation	2953 $\pm$ 254	3028 $\pm$ 232	n.s.
gesamt	3006 $\pm$ 295	3090 $\pm$ 214	n.s.
<b>nXP<sup>1)</sup> (g)</b>			
nach 21 d Tagen Adaptation	2814 $\pm$ 326	2934 $\pm$ 174	n.s.
nach 42 d Tagen Adaptation	2727 $\pm$ 246	2822 $\pm$ 222	n.s.
gesamt	2771 $\pm$ 287	2878 $\pm$ 204	n.s.

<sup>1)</sup>nXP = (NAN x 6,25) am Duodenum – endogenes XP; endogener N = 3,6 g/kg T am Dünndarm

#### 4.1.4 Verdaulichkeit der Nährstoffe im Gesamtrakt

Abbildung 12 zeigt die scheinbaren Gesamtverdaulichkeiten der Nährstoffe der Rationen mit Mais bzw. Weizen, gemittelt über beide Adaptationszeiten.



\*( $p \leq 0,05$ ); \*\* ( $p \leq 0,01$ ) zwischen den Krafftuttermischungen mit Mais und Weizen

**Abbildung 12: Scheinbare Verdaulichkeit der Nährstoffe im Gesamtrakt (MW  $\pm$  SD; n=3; Werte in Tabelle 8 im Anhang)**

Die Trockensubstanz und die organische Substanz wiesen in der maisbetonten Ration eine um jeweils 1,9 Prozentpunkte und das Rohprotein eine um 5,1 Prozentpunkte erniedrigte Verdaulichkeit auf. Im Gegensatz dazu war beim Rohfett bzw. bei der Rohfaser in der maisbetonten Ration eine um 9,2 ( $p \leq 0,05$ ) bzw. 4,3 ( $p \leq 0,01$ ) Prozentpunkte höhere scheinbare Verdaulichkeit als bei der weizenbetonten zu verzeichnen.

Die Weizenstärke als schnell abbaubare Stärkequelle wies auch im Gesamttrakt eine um 4,0 Prozentpunkte höhere Verdaulichkeit als die Maisstärke auf.

Wie im Versuchsplan (vgl. Abschnitt 3.2.1) beschrieben, betrug die Adaptationszeit für die in den Verdauungsversuchen ermittelten Werte 14 d bzw. 35 Tage. Die in Tabelle 42 dargestellten Ergebnisse für beide Rationen und Adaptationszeiten wiesen eine insgesamt hohe scheinbare Gesamtverdaulichkeit für die Inhaltsstoffe der Ration aus. Die Verdaulichkeiten der Nährstoffe der Mais-Ration waren nach 35 d gegenüber 14 d Adaptation nur tendenziell erhöht, die der NfE-Fraktion tendenziell vermindert. Die Differenzen zwischen den Verdaulichkeiten nach 35 bzw. 14 d Adaptation betragen 0,3 (T), 0,1 (OS), 2,1 (XP), 0,8 (XL), 0,4 (XF), -0,3 (XX) und 1,7 (XS) Prozentpunkte.

Die für den Weizen nach 35 d Adaptation aufgeführten Verdaulichkeiten stammen aus Daten von nur einem Tier und sollten daher nicht überbewertet werden (vgl. Abschnitt 3.2.1). Ein Einfluss der um 14 d längeren Adaptationszeit war beim Weizen nicht erkennbar.

**Tabelle 42: Scheinbare Gesamtverdaulichkeit der Nährstoffe nach 14 bzw. 35 Tagen Adaptation (A) an die Rationen (MW  $\pm$  SD; n=3)**

	Kraftfuttermischung mit				Sign. A
	87 % Mais		87 % Weizen		
	14 d A	35 d A	14 d A	35 d A <sup>1)</sup>	
T	76,6 $\pm$ 1,7	76,9 $\pm$ 0,5	79,0 $\pm$ 1,1	78,2	n.s.
OS	78,5 $\pm$ 1,8	78,6 $\pm$ 0,4	81,0 $\pm$ 1,0	80,0	n.s.
XP	66,0 $\pm$ 4,1	68,1 $\pm$ 0,9	70,2 $\pm$ 1,9	74,2	n.s.
XL	80,8 $\pm$ 4,5	81,6 $\pm$ 2,5	73,4 $\pm$ 3,3	70,6	n.s.
XF	77,3 $\pm$ 0,1	77,7 $\pm$ 0,1	74,7 $\pm$ 3,3	71,7	n.s.
XX	81,6 $\pm$ 1,4	81,3 $\pm$ 0,5	85,7 $\pm$ 2,1	84,3	n.s.
XS	92,7 $\pm$ 1,4	94,4 $\pm$ 3,2	98,4 $\pm$ 1,0	99,8	n.s.

<sup>1)</sup> nur ein Tier (vgl. Abschnitt 3.2.1)

Tabelle 43 zeigt den Abbau der Trockensubstanz, der organischen Substanz, der Rohfaser und der Stärke im Pansen, Darm und Gesamttrakt. Durch die kompensatorische Verdauung der Trocken- und der organischen Substanz im Darm fielen die Unterschiede in der Gesamtverdaulichkeit mit jeweils 1,9 Prozentpunkten nicht mehr so stark aus wie die in der ruminalen Verdaulichkeit mit 5,5 bzw. 6,6 Prozentpunkten Differenz.

Die Rohfaser wurde vorrangig im Pansen abgebaut. Durch eine weitere Verdauung der Faser im Dickdarm reduzierte sich jedoch die Differenz der ruminalen Verdaulichkeit zwischen der Mais- und der Weizen-Ration von 7,1 auf 4,3 Prozentpunkte in der Gesamtverdaulichkeit. Das maisbetonte Kraftfutter erwies sich als resistenter gegenüber dem ruminalen Abbau, so dass die Stärke dieser Ration um 19,2 Prozentpunkte niedriger abgebaut wurde. Im Darm konnte dieser geringere Abbau z.T. kompensiert werden, so dass die Gesamtverdaulichkeit der Stärke der maisbetonten Ration nur noch um 5,6 Prozentpunkte niedriger lag.

**Tabelle 43: Verdaulichkeit der Trockensubstanz, organischen Substanz, Rohfaser und Stärke im Pansen, Darm und Gesamtrakt im Versuch 1 (MW  $\pm$ SD; n=3)**

Parameter	Kraftfuttermischung mit		Sign.
	87 % Mais	87 % Weizen	
<b>Trockensubstanz</b>			
Pansen	38,4 <sup>b</sup> $\pm$ 1,2	43,9 <sup>a</sup> $\pm$ 0,5	***
Darm	38,3 <sup>a</sup> $\pm$ 1,0	34,7 <sup>b</sup> $\pm$ 1,2	*
Gesamt	76,7 $\pm$ 1,2	78,6 $\pm$ 1,0	n.s.
<b>organische Substanz</b>			
Pansen	47,0 <sup>b</sup> $\pm$ 1,4	53,6 <sup>a</sup> $\pm$ 1,0	***
Darm	31,6 <sup>a</sup> $\pm$ 1,6	26,9 <sup>b</sup> $\pm$ 3,0	*
Gesamt	78,6 $\pm$ 1,2	80,5 $\pm$ 1,0	n.s.
<b>Rohfaser</b>			
Pansen	76,3 <sup>a</sup> $\pm$ 0,7	69,2 <sup>b</sup> $\pm$ 3,1	**
Darm	1,2 <sup>b</sup> $\pm$ 1,8	4,0 <sup>a</sup> $\pm$ 2,0	**
Gesamt	77,5 <sup>a</sup> $\pm$ 0,3	73,2 <sup>b</sup> $\pm$ 3,1	**
<b>Stärke</b>			
Pansen	75,8 <sup>b</sup> $\pm$ 3,4	95,0 <sup>a</sup> $\pm$ 1,7	***
Darm	17,7 <sup>a</sup> $\pm$ 3,1	4,1 <sup>b</sup> $\pm$ 1,8	***
Gesamt	93,5 <sup>b</sup> $\pm$ 2,4	99,1 <sup>a</sup> $\pm$ 1,0	*

<sup>ab</sup> (p $\leq$ 0,05)

Untersucht wurde weiterhin der Anteil der Diaminopimelinsäure (DAPA) in % des gesamten Rohproteins im Kot der Tiere (Tabelle 44). Es war festzustellen, dass die Gehalte an DAPA als Parameter für die Intensität der mikrobiellen Umsetzungen im Dickdarm bei der maisbetonten Ration signifikant höher waren als bei der weizenbetonten (p $\leq$ 0,01), was die intensive Fermentation im Dickdarm bei der maisbetonten Ration bestätigte. Nährstoffe, die in den Dickdarm gelangten, wurden fermentiert, und als Bestandteil des Mikrobenproteins entstand Diaminopimelinsäure.

**Tabelle 44: Anteil der Diaminopimelinsäure (DAPA) in % am gesamten Rohprotein in den Kotproben im Versuch 1 (MW  $\pm$ SD; n=3)**

	Kraftfuttermischung mit		Sign.
	87 % Mais	87 % Weizen	
<b>DAPA in % des XP-Gehaltes</b>			
nach 14 d Tagen Adaptation	1,00 <sup>a</sup> $\pm$ 0,06	0,60 <sup>b</sup> $\pm$ 0,01	**
nach 35 d Tagen Adaptation	0,98 $\pm$ 0,04	0,52 <sup>1)</sup>	-
gesamt	0,99 <sup>a</sup> $\pm$ 0,16	0,56 <sup>b</sup> $\pm$ 0,06	**

<sup>1)</sup> nur ein Tier (vgl. Abschnitt 3.2.1); <sup>ab</sup> (p $\leq$ 0,05)

Mit zunehmender Adaptation wurden im vorderen Teil des Darmtraktes mehr Nährstoffe verdaut, wodurch weniger Material in den Dickdarm gelangte, somit weniger durch die Mikroben fermentiert wurde und der Gehalt an DAPA tendenziell sank.

## 4.2 Versuch 2

### 4.2.1 Versuchsverlauf, Rohnährstoffgehalt der Futtermittel und Futteraufnahme

Dieser Versuch wurde als Lateinisches Quadrat mit Messwiederholung geplant und durchgeführt. Während des gesamten Versuches traten keine Komplikationen an den Fisteln bzw. den Kanülen auf. Ohne zu verstopfen, machten sie die Probenentnahmen aus Duodenum und Ileum möglich.

Durch die duodenale Applikation der hohen Stärkemenge kam es in einzelnen Perioden gelegentlich zu kurzzeitigen Durchfallerscheinungen. In diesen Fällen wurde der Kot 7-9 Stunden nach der Applikation pastös, bei einigen Tieren auch schmierig. Dazu kam ein unangenehmer Geruch.

Die Tiere wurden 10-14 Tage nach Versuchsende geschlachtet und der Verdauungstrakt post mortem begutachtet. Die Bullen zeigten meist leichte Entzündungen am Eingang der Duodenumskanüle. Am Eingang der ilealen Kanülen, welche sich im Bereich von 12 bis 20 cm caudal der ileocaecalen Klappe befanden, zeigten sich bei zwei Tieren chronisch gewordene leichte Entzündungen mit fibrösen, bläschenartigen Gebilden. Ansonsten waren die gesamten weiteren Darmtrakte ohne Befund, ebenso die Nieren, das Nierenfett, die Milz und das Herz. Die Leber war bei 3 Tieren an einigen Stellen bindegewebig durchsetzt.

In Tabelle 45 sind die Rohnährstoff- und Stärkegehalte der eingesetzten Futtermittel und der Mais- bzw. Weizenstärke dargestellt.

**Tabelle 45: Rohnährstoff- und Stärkegehalte der Maissilage, des Luzerneheus und der eingesetzten Mais- bzw. Weizenstärke im Versuch 2 (MW  $\pm$  SD; n=5)**

	T (%)	OS	XP	XL	XF	XX	XS
in % der Trockensubstanz							
Maissilage	35,0	94,9	9,1	3,6	24,1	58,1	29,9
	$\pm 1,6$	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 0,3$	$\pm 1,2$	$\pm 1,4$	$\pm 4,3$
Luzerneheu	88,0	90,3	17,7	1,6	35,8	35,2	4,4
	$\pm 0,7$	$\pm 0,6$	$\pm 1,4$	$\pm 0,1$	$\pm 1,2$	$\pm 1,8$	$\pm 0,6$
Maisstärke	88,8	99,9	0,6	0,2	0,0	99,1	98,1
	$\pm 0,4$	$\pm 0,0$	$\pm 0,1$	$\pm 0,0$	$\pm 0,0$	$\pm 0,1$	$\pm 0,3$
Weizenstärke	88,8	99,9	0,7	0,2	0,0	99,0	98,3
	$\pm 0,4$	$\pm 0,0$	$\pm 0,1$	$\pm 0,0$	$\pm 0,0$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$

In der Mais- bzw. Weizenstärke waren geringe Mengen an Rohfett und Rohprotein zu finden, der Stärkegehalt lag bei beiden bei 98 %. Der Amylosegehalt der Maisstärke betrug  $20,2 \pm 1,7$  %, der der Weizenstärke  $22,7 \pm 1,7$  %. Sie unterschieden sich nicht signifikant voneinander und stimmten mit den in der Literatur beschriebenen Werten gut überein (vgl. Abschnitt 2.2).

In Tabelle 46 ist die mittlere tägliche Rohrnährstoff- und Stärkeaufnahme der Bullen ohne Stärke-Applikation dargestellt, in Tabelle 47 einschließlich duodенaler Stärke-Applikation. Im Versuch 2 wurden 750 bzw. 1500 g kommerzielle Mais- bzw. Weizenstärke duodenal appliziert. Bei einem Trockensubstanzgehalt von 88,8 % für beide Stärken entspricht das 666 bzw. 1332 g Stärke-T pro Tier und Tag. Bei 98,1 bzw. 98,3 % Stärkegehalt ergeben sich 653 bzw. 1307 g reine Stärke pro Tier und Tag für die Mais- und 655 bzw. 1309 g pro Tier und Tag für die Weizen-Variante. Diese Werte werden im Folgenden in den Tabellenköpfen und den Abbildungsunterschriften zu finden sein, da sich alle Flussmengen- und Verdaulichkeitsberechnungen auf diese beziehen.

Die in der Tabelle 46 und Tabelle 47 dargestellten Daten sollen einen Überblick über die aufgenommenen bzw. zugeführten Rohrnährstoff- und Stärkemengen geben. Sie sind deshalb in kg und nur mit einer Kommastelle angegeben. Weiterhin wird im Folgenden zwischen Aufnahme, d.h. oraler Aufnahme des Futters, und Zufuhr, d.h. oraler Aufnahme des Futters plus duodenal applizierter Stärke, unterschieden.

**Tabelle 46: Mittlere Rohrnährstoff- und Stärkeaufnahme (kg/d) der Bullen (MW  $\pm$ SD; n=4) ohne Stärke-Applikation**

	Vorperiode	Maisstärke-Applikation		Weizenstärke-Applikation	
		653 g/d	1307 g/d	655 g/d	1309 g/d
T	6,4 $\pm$ 0,3	7,7 $\pm$ 0,9	8,0 $\pm$ 0,9	7,9 $\pm$ 0,9	7,9 $\pm$ 0,5
OS	5,9 $\pm$ 0,3	7,1 $\pm$ 0,8	7,3 $\pm$ 0,9	7,3 $\pm$ 0,8	7,2 $\pm$ 0,5
XP	1,1 $\pm$ 0,0	1,1 $\pm$ 0,2	1,2 $\pm$ 0,2	1,2 $\pm$ 0,1	1,2 $\pm$ 0,1
XL	0,1 $\pm$ 0,0	0,2 $\pm$ 0,0	0,2 $\pm$ 0,0	0,2 $\pm$ 0,0	0,2 $\pm$ 0,0
XF	2,1 $\pm$ 0,1	2,4 $\pm$ 0,3	2,5 $\pm$ 0,3	2,5 $\pm$ 0,3	2,4 $\pm$ 0,2
XX	2,6 $\pm$ 0,1	3,4 $\pm$ 0,4	3,4 $\pm$ 0,4	3,4 $\pm$ 0,4	3,4 $\pm$ 0,3
XS	0,8 $\pm$ 0,1	1,0 $\pm$ 0,1	1,0 $\pm$ 0,2	1,0 $\pm$ 0,2	1,1 $\pm$ 0,1

In der Vorperiode lag die Nährstoffaufnahme deutlich unter der der nachfolgenden vier Perioden, was mit der zu Versuchsbeginn noch geringeren Lebendmasse der Tiere zusammenhing (vgl. Tabelle 24 im Abschnitt 3.3.2). Die Futtermengen wurden dann, wie in 3.3.3 dargestellt, abschnittsweise erhöht, um der Lebendmasseentwicklung der Bullen Rechnung zu tragen. Im Versuchsmittel war die mittlere Rohrnährstoff- und Stärkeaufnahme bei den einzelnen Versuchsvarianten gleich (Tabelle 46).

**Tabelle 47: Mittlere Rohrnährstoff- und Stärkezufuhr (kg/d) der Bullen (MW  $\pm$ SD; n=4) einschließlich duodенaler Stärke-Applikation**

	Maisstärke-Applikation		Weizenstärke-Applikation	
	653 g/d	1307 g/d	655 g/d	1309 g/d
T	8,4 $\pm$ 0,9	9,3 $\pm$ 0,9	8,6 $\pm$ 0,9	9,2 $\pm$ 0,5
OS	7,8 $\pm$ 0,8	8,7 $\pm$ 0,9	7,9 $\pm$ 0,8	8,5 $\pm$ 0,5
XP	1,1 $\pm$ 0,2	1,2 $\pm$ 0,2	1,2 $\pm$ 0,1	1,2 $\pm$ 0,1
XL	0,2 $\pm$ 0,0	0,2 $\pm$ 0,0	0,2 $\pm$ 0,0	0,2 $\pm$ 0,0
XF	2,4 $\pm$ 0,3	2,5 $\pm$ 0,3	2,5 $\pm$ 0,3	2,4 $\pm$ 0,2
XX	4,1 $\pm$ 0,4	4,8 $\pm$ 0,4	4,0 $\pm$ 0,4	4,7 $\pm$ 0,2
XS	1,7 $\pm$ 0,1	2,3 $\pm$ 0,2	1,7 $\pm$ 0,2	2,3 $\pm$ 0,1

Wie aus Tabelle 47 ersichtlich, wurden durch die Stärke-Applikationen die Aufnahme an Stärke um 650 g bei der niedrigen Dosis bzw. um 1,3 kg bei der größeren Dosis erhöht, damit einhergehend stiegen die Mengen an zugeführter Trockensubstanz, organischer Substanz und NfE. Die Unterschiede zwischen den Aufnahmen der Mais- und Weizenstärke-Varianten bei gleicher Stärkedosis waren gering. Hinsichtlich der Stärkeaufnahme war keine Differenz festzustellen, die Differenzen in der Trockensubstanz-Aufnahme betragen max. 0,2 kg (vgl. Tabelle 47).

Der Anteil der Rohfaser an der Trockenmasse belief sich bei 653 g bzw. 1307 g Maisstärke-Applikationen auf 28,9 bzw. 27,0 % sowie bei den 655 g bzw. 1309 g Weizenstärke-Applikationen auf 29,0 bzw. 26,6 %. In Tabelle 48 sind die in jeder Variante aufgenommenen Mengen an umsetzbarer Energie (ME) dargestellt (DLG-Futterwerttabellen 1997; GfE 2000).

**Tabelle 48: Tägliche Energieaufnahme (ME) und Energiegehalt pro kg T im Versuch 2 (n=4)**

	Maisstärke-Applikation		Weizenstärke-Applikation	
	653 g/d	1307 g/d	655 g/d	1309 g/d
MJ ME pro Tag	92,3	102,8	94,2	101,1
MJ ME pro kg T	11,0	11,0	11,0	11,0

Für eine Lebendmasse von 351-479 kg wird für Aufzuchttrinder eine Trockensubstanz-Aufnahme von 6,4-9,0 kg veranschlagt (DLG-Futterwerttabellen 1997; GfE 2000). Die im Versuch ermittelte Aufnahme lag mit 6,4 kg in der Vorperiode bis 9,3 kg in den Versuchsperioden mit den größeren Dosen in diesem Bereich. Für diesen Altersabschnitt werden bei einer Lebendmassezunahme von 1000 g pro Tag 74,5-92,4 MJ ME als Bedarf angegeben. Die Werte in Tabelle 48 belegen, dass die Tiere ausreichend versorgt waren.

#### 4.2.2 Charakterisierung der Vormagenverhältnisse

Die jeweils drei Stunden nach Beginn der Morgenfütterung und Stärke-Applikation gemessenen pH-Werte und  $\text{NH}_3\text{-N}$ -Konzentrationen im Pansensaft sind in Tabelle 49 aufgeführt.

**Tabelle 49: pH-Wert und  $\text{NH}_3\text{-N}$ -Konzentration im Pansensaft (PS) der Tiere im Versuch 2 (MW  $\pm$ SD; n=4)**

	Maisstärke-Applikation		Weizenstärke-Applikation		Sign.
	653 g/d	1307 g/d	655 g/d	1309 g/d	
pH	6,6 $\pm$ 0,2	6,7 $\pm$ 0,2	6,7 $\pm$ 0,2	6,8 $\pm$ 0,3	n.s.
$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/l PS)	245,8 $\pm$ 40,6	245,6 $\pm$ 38,6	226,9 $\pm$ 40,0	208,5 $\pm$ 37,8	n.s.

Da die Stärke-Applikationen ins Duodenum der Tiere erfolgten, blieben diese auf die pH-Werte im Pansen ohne Einfluss. Die Gesamtkonzentration an flüchtigen Fettsäuren im Pansensaft (Tabelle 50), gemessen jeweils drei Stunden nach Beginn der Morgenfütterung, war in den Weizenstärke-Varianten tendenziell niedriger. Dafür kann keine Erklärung gegeben werden, da die duodenale Stärke-Applikation keinen Einfluss auf die Pansenparameter ausüben dürfte.

Die molaren Anteile an den Gesamtfettsäuren wiesen nur geringe oder keine Unterschiede auf. Zum einen hatte die Gewöhnung an die Ration bereits vor der Vorperiode stattgefunden, zum anderen konnte die duodenale Applikationen keinen Einfluss auf die Pansenverhältnisse ausüben, so dass zwischen den Varianten keine Unterschiede zu erwarten gewesen waren. Das C<sub>2</sub> : C<sub>3</sub>-Verhältnis war sehr weit, aber durch die kraftfutterlose, sehr strukturreiche Fütterung nicht außergewöhnlich.

**Tabelle 50: Gesamtfettsäurenkonzentration sowie molare Anteile der einzelnen flüchtigen Fettsäuren im Pansen saft der Bullen (MW  $\pm$ SD; n=4)**

	Maisstärke-Applikation		Weizenstärke-Applikation		Sign.
	653 g/d	1307 g/d	655 g/d	1309 g/d	
	<b>Gesamtkonzentration an flüchtigen Fettsäuren (mmol/l)</b>				
	115,8 $\pm$ 16,3	116,9 $\pm$ 15,8	110,2 $\pm$ 16,6	108,1 $\pm$ 7,2	n.s.
	<b>Flüchtige Fettsäuren (molare Anteile, %)</b>				
Essigsäure	69,9 $\pm$ 10,9	72,4 $\pm$ 11,4	67,8 $\pm$ 13,3	70,6 $\pm$ 7,3	n.s.
Propionsäure	14,8 $\pm$ 2,7	13,5 $\pm$ 1,4	15,0 $\pm$ 2,5	14,4 $\pm$ 2,1	n.s.
Buttersäure	8,9 $\pm$ 1,4	8,3 $\pm$ 0,2	10,5 $\pm$ 3,5	8,9 $\pm$ 1,7	n.s.
Iso-Buttersäure	1,4 $\pm$ 0,2	1,3 $\pm$ 0,2	1,5 $\pm$ 0,3	1,4 $\pm$ 0,1	n.s.
Valeriansäure	1,6 $\pm$ 0,5	1,6 $\pm$ 0,4	1,6 $\pm$ 0,6	1,5 $\pm$ 0,4	n.s.
Iso-Valeriansäure	3,0 $\pm$ 0,7	2,6 $\pm$ 0,7	3,2 $\pm$ 0,7	2,9 $\pm$ 0,4	n.s.
<b>C<sub>2</sub>:C<sub>3</sub>-Verhältnis</b>	<b>4,8 : 1 <math>\pm</math>1,0</b>	<b>5,3 : 1 <math>\pm</math>0,4</b>	<b>4,6 : 1 <math>\pm</math>1,2</b>	<b>5,0 : 1 <math>\pm</math>1,1</b>	n.s.

#### 4.2.3 Nährstoff-Flüsse am Duodenum und Ileum sowie Nährstoffausscheidung mit dem Kot und daraus errechnete Verdaulichkeiten

Die Flussmengen der Nährstoffe am Duodenum bzw. Ileum sowie die Ausscheidungen mit dem Kot wurden bei gleicher Ration an allen vier Tieren in der Vorperiode ermittelt und daraus die entsprechenden Verdaulichkeiten errechnet.

**Tabelle 51: Nährstoff (NS)-Fluss am und Verdaulichkeit bis zum Duodenum in der Vorperiode (MW  $\pm$ SD; n=4) im Versuch 2**

	NS-Fluss in g/d	Verdaulichkeit in %
T	2363 $\pm$ 131	63,2 $\pm$ 1,0
OS	1903 $\pm$ 122	67,7 $\pm$ 1,0
XF	693 $\pm$ 51	67,6 $\pm$ 0,9
XX	722 $\pm$ 68	71,8 $\pm$ 2,8
XS	41 $\pm$ 3	95,1 $\pm$ 0,4

In Tabelle 51 finden sich die Nährstoff-Flüsse am Duodenum sowie Angaben über den Umfang der Verdauung bis zum Duodenum. 63,2 % der Trockensubstanz, 67,7 % der organischen Substanz und 95,1 % der Stärke der Grundration wurden im Pansen verdaut.

Aufgrund der im Laufe des Versuchs ansteigenden Menge an aufgenommenem Futter mussten die in den einzelnen Versuchsperioden das Duodenum bzw. das Ileum erreichenden bzw. mit dem Kot ausgeschiedenen Nährstoffmengen berechnet werden. Hierzu wurde die

jeweils aufgenommene Nährstoffmenge mit dem in der Vorperiode ermittelten Anteil unverdauter Nährstoffe multipliziert, in der Annahme, dass dieser im weiteren Versuch annähernd konstant blieb. So wurde z.B. die in den Versuchsperioden aufgenommene organische Substanz (7229 g; 2. Spalte in Tabelle 52) mit dem Fluss am Duodenum aus der Vorperiode (32,3 %) multipliziert, so dass sich ein kalkulierter Fluss am Duodenum in den Versuchsperioden von 2335 g ergab. Analog wurden die Flüsse am Ileum bzw. die Ausscheidung mit dem Kot kalkuliert. Die Mittelwerte der Ergebnisse dieser Berechnungen finden sich in Tabelle 52. Diese stellen die Grundlage für alle nachfolgenden Berechnungen dar. Dabei wurde jedoch im Folgenden nicht mit den Mittelwerten, sondern mit den analog zu diesem Vorgehen errechneten Einzelwerten für jede Versuchsvariante gerechnet.

**Tabelle 52: Mittlere Aufnahme in der Vorperiode und den Versuchsperioden und daraus kalkulierte Flussmengen an organischer Substanz, Stärke und Rohfaser sowie deren Ausscheidung mit dem Kot (MW  $\pm$  SD; n=4)**

	OS	XS	XF
<b>Gemessene Mengen in der Vorperiode</b>			
<b>Aufnahme (kg/d)</b>			
	5,9 $\pm$ 0,3	0,8 $\pm$ 0,1	2,1 $\pm$ 0,1
<b>Fluss am Duodenum (in % der Aufnahme)</b>			
	32,3 $\pm$ 1,0	4,9 $\pm$ 0,4	32,4 $\pm$ 0,9
<b>Fluss am Ileum (in % der Aufnahme)</b>			
	21,8 $\pm$ 0,3	4,4 $\pm$ 0,1	25,5 $\pm$ 0,4
<b>Ausscheidung mit dem Kot (in % der Aufnahme)</b>			
	16,9 $\pm$ 0,5	2,8 $\pm$ 0,5	21,2 $\pm$ 0,4
<b>Mittlere Aufnahme in den Versuchsperioden ohne Stärke-Applikation (g/d)</b>			
9 d A	7115	1061	2414
23 d A	7342	1020	2525
gesamt <sup>1)</sup>	7229	1041	2469
<b>Mittlerer kalkulierter Fluss<sup>2)</sup> am Duodenum (g/d)</b>			
9 d A	2298	52	756
23 d A	2372	50	790
gesamt	2335	51	773
<b>Mittlerer kalkulierter Fluss<sup>2)</sup> am Ileum (g/d)</b>			
9 d A	1551	47	616
23 d A	1601	45	644
gesamt	1576	46	630
<b>Mittlere kalkulierte Ausscheidung<sup>2)</sup> mit dem Kot (g/d)</b>			
9 d A	1202	30	512
23 d A	1241	29	535
gesamt	1222	30	524

<sup>1)</sup> über die gesamte Versuchsdauer

<sup>2)</sup> aus Aufnahme und geflossenem bzw. unverdaulichem Anteil in der Vorperiode (vgl. Text); A = Adaptation

#### 4.2.3.1 Organische Substanz

Tabelle 53 zeigt Daten über die Aufnahme an organischer Substanz und ihre Flussmengen aus der Ration bzw. aus Ration und Applikation.

**Tabelle 53: Zufuhr an organischer Substanz und ihre Flussmengen aus Ration bzw. aus Ration und Stärke-Applikation in g/d (n=4)**

	Maisstärke-Applikation		Weizenstärke-Applikation	
	653 g/d	1307 g/d	655 g/d	1309 g/d
<b>Aufnahme ohne Stärke-Applikation (g/d)</b>				
9 d A	7078	7264	7103	7015
23 d A	7131	7426	7434	7379
gesamt	7104	7345	7268	7197
<b>applizierte organische Substanz (g/d)</b>				
	665	1331	665	1330
<b>Zufuhr (g/d)</b>				
9 d A	7743	8595	7768	8345
23 d A	7796	8757	8099	8709
gesamt	7769	8676	7933	8527
<b>Fluss am Duodenum</b>				
<b>aus der Ration (kalkuliert; vgl. Tabelle 52; g/d)</b>				
9 d A	2286	2346	2294	2266
23 d A	2303	2399	2401	2384
gesamt	2295	2372	2348	2325
<b>aus Ration und Applikation (g/d)</b>				
9 d A	2951	3677	2959	3596
23 d A	2968	3730	3066	3714
gesamt	2960	3703	3013	3655

A = Adaptation

Die Zufuhr an organischer Substanz war in den Sammelwochen nach 23 d Adaptation infolge der geringfügig höheren Menge an verabreichten Futtermitteln etwas höher als in den Sammelwochen nach 9 d Adaptation. Die Flussmengen der organischen Substanz am Duodenum aus der „Ration und Applikation“ ergaben sich rein rechnerisch aus dem kalkulierten Fluss der Vorperiode aus dem Futter (vgl. Tabelle 52) plus der mit der Applikation verabreichten organischen Substanz.

In Tabelle 54 sind die Flussmengen am Ileum aufgeführt. Im Mittel erreichten 1725 g bei den niedrigen bzw. 2016 g bei den hohen Dosen das Ileum aus der Ration plus Applikation (22,0 % bzw. 23,4 % der zugeführten organischen Substanz). Von der niedrigen zur hohen Menge applizierten Stärke, bezogen auf die zugeführte Menge an organischer Substanz, war eine Verminderung der Verdaulichkeit um 1,2 (Maisstärke) bzw. 1,6 Prozentpunkte (Weizenstärke) zu beobachten. Die Differenzen zwischen den niedrigen und den hohen Dosen erwiesen sich in jedem Falle als signifikant ( $p \leq 0,001$ ). Ebenfalls statistisch zu sichern war bei der hohen Dosis Weizenstärke der Unterschied zwischen den Adaptationszeiten, welche eine Differenz von 0,7 Prozentpunkten hervorrief ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabelle 54: Flussmengen an organischer Substanz am Ileum der Bullen nach Stärke-Applikation (n=4)**

	Maisstärke-Applikation		Weizenstärke-Applikation	
	653 g/d	1307 g/d	655 g/d	1309 g/d
<b>Fluss am Ileum (g/d)<sup>1)</sup></b>				
<b>aus der Ration (kalkuliert; vgl. Tabelle 52)</b>				
9 d A	1542	1583	1548	1529
23 d A	1554	1618	1620	1608
gesamt	1548	1601	1584	1568
<b>aus Ration und Applikation (gemessen)</b>				
9 d A	1715	2004	1705	1991
23 d A	1715	2043	1765	2023
gesamt	1715	2024	1735	2007
<b>aus der Applikation</b>				
9 d A	173	421	157	462
23 d A	161	425	145	415
gesamt	167	423	151	439
<b>Fluss am Ileum<sup>1)</sup></b>				
<b>aus Ration und Applikation (in % der Zufuhr)</b>				
9 d A	22,1 <sup>c</sup>	23,3 <sup>b</sup>	21,9 <sup>c</sup>	<b>23,9<sup>a</sup></b>
23 d A	22,0 <sup>b</sup>	23,3 <sup>a</sup>	21,8 <sup>b</sup>	<b>23,2<sup>a</sup></b>
gesamt	22,1 <sup>b</sup>	23,3 <sup>a</sup>	21,9 <sup>b</sup>	23,5 <sup>a</sup>
<b>aus Ration und Applikation (in % des Duodenalfusses)</b>				
9 d A	58,1 <sup>a</sup>	54,5 <sup>b</sup>	57,6 <sup>a</sup>	55,3 <sup>b</sup>
23 d A	57,8 <sup>a</sup>	54,8 <sup>b</sup>	57,5 <sup>a</sup>	54,5 <sup>b</sup>
gesamt	57,9 <sup>a</sup>	54,6 <sup>b</sup>	57,6 <sup>a</sup>	54,9 <sup>b</sup>
<b>aus der Applikation (in % der Applikation)</b>				
9 d A	26,0 <sup>c</sup>	31,6 <sup>b</sup>	23,6 <sup>d</sup>	34,7 <sup>a</sup>
23 d A	24,3 <sup>b</sup>	32,0 <sup>a</sup>	21,8 <sup>c</sup>	31,2 <sup>a</sup>
gesamt	25,1 <sup>b</sup>	31,8 <sup>a</sup>	22,7 <sup>c</sup>	33,0 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup> Statistik wurde nur für die Relativzahlen gerechnet; <sup>abc</sup> (p≤0,05); **Fettdruck** zeigt signifikante Unterschiede (p≤0,05) zwischen 9 und 23 d Adaptation; A = Adaptation;

Bezogen auf die Flussmenge an organischer Substanz am Duodenum erreichten aus Futter und Applikation bei den niedrigen Dosen 57,8 %, bei den hohen Dosen 54,8 % das Ileum. Das entsprach bei den hohen Dosen gegenüber den niedrigen einer Erhöhung der Verdaulichkeit von jeweils 3,3 (Mais-Variante; p≤0,01) bzw. 2,7 Prozentpunkten (Weizen-Variante; p≤0,05), was durch den höheren Anteil leichtverdaulicher Komponenten aus der Applikation zu erklären ist.

Aus der Applikation selbst erreichten von 665 g der applizierten organischen Substanz bei den niedrigen Dosen im Mittel 159 g (23,9 %), von 1330 g applizierter organischer Substanz bei den hohen Dosen im Mittel 431 g (32,4 %) das Ileum. Es zeigte sich eine Abnahme der Verdaulichkeit mit steigender Applikationsmenge. Von der niedrigen zur hohen Dosis konnte eine Verminderung der Verdaulichkeit von 6,7 Prozentpunkten bei der Maisstärke-Applikation bzw. von 10,3 Prozentpunkten bei der Weizenstärke-Applikation beobachtet werden. Diese Effekte erwiesen sich für beide Adaptationszeiten und die gesamten Perioden als statistisch signifikant (p≤0,001).

In % der Applikation bewirkte eine längere Adaptationszeit bei der niedrigen Maisstärke-Dosis eine um 1,7 Prozentpunkte, bei der niedrigen Weizenstärke-Dosis eine um 1,8 Prozentpunkte höhere Verdaulichkeit. Bei der hohen Dosis Maisstärke zeigte sich kein Effekt. Demgegenüber konnte aber ein Einfluss der Adaptationszeit bei der hohen Dosis Weizenstärke statistisch abgesichert werden ( $p \leq 0,05$ ). Nach 23 d Adaptation wurde eine um 3,5 Prozentpunkte höhere Verdaulichkeit ermittelt.

Es wird ersichtlich, dass zwischen den Stärkequellen Mais und Weizen insgesamt nur unbedeutende Unterschiede bestanden. Bei der Verdaulichkeit der organischen Substanz aus der Applikation waren signifikante Unterschiede zwischen Mais und Weizen nur bei der niedrigen Dosis festzustellen, bei der hohen Dosis lediglich nach 9 d Adaptation ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabelle 55: Ausscheidung an organischer Substanz mit dem Kot der Bullen nach Stärke-Applikation (n=4)**

	Maisstärke-Applikation		Weizenstärke-Applikation	
	653 g/d	1307 g/d	655 g/d	1309 g/d
<b>Ausscheidung mit dem Kot (g/d)<sup>1)</sup></b>				
<b>aus der Ration (kalkuliert; vgl. Tabelle 52)</b>				
9 d A	1193	1225	1198	1183
23 d A	1202	1252	1253	1244
gesamt	1198	1239	1226	1214
<b>aus Ration und Applikation (gemessen)</b>				
9 d A	1302	1498	1292	1459
23 d A	1304	1521	1343	1499
gesamt	1303	1510	1318	1479
<b>aus der Applikation</b>				
9 d A	109	273	96	276
23 d A	102	269	90	255
gesamt	105	271	93	266
<b>Ausscheidung mit dem Kot<sup>1)</sup></b>				
<b>aus Ration und Applikation (in % der Zufuhr)</b>				
9 d A	16,8 <sup>b</sup>	17,4 <sup>a</sup>	16,6 <sup>b</sup>	17,5 <sup>a</sup>
23 d A	16,7 <sup>b</sup>	17,4 <sup>a</sup>	16,6 <sup>b</sup>	17,2 <sup>a</sup>
gesamt	16,8 <sup>b</sup>	17,4 <sup>a</sup>	16,6 <sup>b</sup>	17,3 <sup>a</sup>
<b>aus Ration und Applikation (in % des Duodenalflusses)</b>				
9 d A	44,1 <sup>a</sup>	40,7 <sup>b</sup>	43,6 <sup>a</sup>	40,6 <sup>b</sup>
23 d A	43,9 <sup>a</sup>	40,8 <sup>b</sup>	43,8 <sup>a</sup>	40,4 <sup>b</sup>
gesamt	44,0 <sup>a</sup>	40,8 <sup>b</sup>	43,7 <sup>a</sup>	40,5 <sup>b</sup>
<b>aus der Applikation (in % der Applikation)</b>				
9 d A	16,3 <sup>b</sup>	20,5 <sup>a</sup>	14,1 <sup>b</sup>	20,7 <sup>a</sup>
23 d A	15,3 <sup>b</sup>	20,2 <sup>a</sup>	13,5 <sup>b</sup>	19,2 <sup>a</sup>
gesamt	15,8 <sup>b</sup>	20,4 <sup>a</sup>	13,8 <sup>b</sup>	20,0 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup> Statistik wurde nur für die Relativzahlen gerechnet; <sup>ab</sup> ( $p \leq 0,05$ ); A = Adaptation;

In der faecalen Ausscheidung der organischen Substanz (Tabelle 55) erwies sich der Einfluss der unterschiedlichen Dosen als höchst signifikant ( $p \leq 0,001$ ). Im Mittel wurden 1310 g bei den niedrigen Dosen bzw. 1494 g bei den hohen Dosen aus Ration und Applikation ausgeschieden (16,7 % bzw. 17,4 % der zugeführten organischen Substanz).

Aus der Applikation selbst wurden bei der niedrigen Mais-Variante 105 g, bei der niedrigen Weizen-Variante nur noch 93 g organische Substanz im Kot der Tiere ermittelt. Die hohen Dosen unterschieden sich nicht erheblich, es wurden 271 g bzw. 266 g der organischen Substanz bei der Mais- bzw. der Weizen-Variante ausgeschieden. Durch den im Duodenum großen Anteil leichtverdaulicher Bestandteile aus den hohen Dosen Mais- bzw. Weizenstärke und der Ration war die Verdaulichkeit in diesen Dosen um jeweils 3,2 Prozentpunkte höher als bei der Applikation der niedrigen Dosen.

Auf die applizierte organische Substanz bezogen wurden bei den Mais-Varianten jedoch 4,6 ( $p \leq 0,001$ ) und bei den Weizen-Varianten sogar 6,2 Prozentpunkte ( $p \leq 0,001$ ) mehr von der großen Menge an applizierter Stärke ausgeschieden. Bei der Betrachtung des Einflusses der unterschiedlichen Adaptationszeit zeigte sich in jeder Versuchsvariante ein tendenzieller Einfluss der um 14 Tage längeren Gewöhnung an die Applikation.

#### 4.2.3.2 Stärke

Tabelle 56 zeigt Daten über die Zufuhr an Stärke und ihre Flussmengen aus der Ration bzw. aus Ration und Applikation.

**Tabelle 56: Zufuhr an Stärke und ihre Flussmengen aus Ration bzw. aus Ration und Stärke-Applikation in g/d (n=4)**

	Maisstärke-Applikation		Weizenstärke-Applikation	
	653 g/d	1307 g/d	655 g/d	1309 g/d
<b>Aufnahme ohne Stärke-Applikation (g/d)</b>				
9 d A	1058	1075	1056	1057
23 d A	999	1009	1027	1044
gesamt	1029	1042	1042	1051
<b>applizierte Stärke (g/d)</b>				
	653	1307	655	1309
<b>Zufuhr (g/d)</b>				
9 d A	1711	2382	1711	2366
23 d A	1652	2316	1682	2353
gesamt	1682	2349	1697	2360
<b>Fluss am Duodenum</b>				
<b>aus der Ration (kalkuliert; vgl. Tabelle 52; g/d)</b>				
9 d A	52	53	52	52
23 d A	49	50	50	51
gesamt	51	52	51	52
<b>aus Ration und Applikation (g/d)</b>				
9 d A	705	1360	707	1361
23 d A	702	1357	705	1360
gesamt	704	1359	706	1361

A = Adaptation

Die Zufuhr an Stärke mit der Ration war in den Sammelwochen nach 23 d Adaptation geringfügig niedriger als in den Wochen nach 9 d Adaptation, da der Stärkegehalt der Futtermittel im Versuchsverlauf etwas geringer wurde. Die Flussmengen am Duodenum aus Ration und Applikation ergeben sich rein rechnerisch aus dem kalkulierten Fluss der

Vorperiode aus dem Futter (vgl. Tabelle 52) plus der mit der Applikation verabreichten Stärke.

In Tabelle 57 sind die Flussmengen der Stärke am Ileum aufgeführt. Im Gesamtmittel erreichten 206 g bei den niedrigen bzw. 469 g bei den hohen Dosen das Ileum aus der Ration plus Applikation (12,2 % bzw. 19,9 % der zugeführten Stärke). Der Einfluss der unterschiedlichen Stärkedosen erwies sich als signifikant ( $p \leq 0,001$ ).

**Tabelle 57: Flussmengen an Stärke am Ileum der Bullen nach Stärke-Applikation (n=4)**

	Maisstärke-Applikation		Weizenstärke-Applikation	
	653 g/d	1307 g/d	655 g/d	1309 g/d
<b>Fluss am Ileum (g/d)<sup>1)</sup></b>				
<b>aus der Ration (kalkuliert; vgl. Tabelle 52)</b>				
9 d A	47	47	47	47
23 d A	44	44	45	46
gesamt	46	46	46	47
<b>aus Ration und Applikation (gemessen)</b>				
9 d A	212	472	202	506
23 d A	215	455	194	439
gesamt	214	464	198	473
<b>aus der Applikation</b>				
9 d A	165	425	155	459
23 d A	171	411	149	393
gesamt	168	418	152	426
<b>Fluss am Ileum<sup>1)</sup></b>				
<b>aus Ration und Applikation (in % der Zufuhr)</b>				
9 d A	12,4 <sup>c</sup>	19,8 <sup>b</sup>	11,8 <sup>c</sup>	<b>21,4<sup>a</sup></b>
23 d A	13,0 <sup>b</sup>	19,6 <sup>a</sup>	11,6 <sup>b</sup>	<b>18,7<sup>a</sup></b>
gesamt	12,7 <sup>b</sup>	19,7 <sup>a</sup>	11,7 <sup>b</sup>	20,1 <sup>a</sup>
<b>aus Ration und Applikation (in % des Duodenalflusses)</b>				
9 d A	30,1 <sup>c</sup>	34,7 <sup>b</sup>	28,5 <sup>c</sup>	<b>37,2<sup>a</sup></b>
23 d A	30,6 <sup>b</sup>	33,5 <sup>a</sup>	27,6 <sup>b</sup>	<b>32,3<sup>a</sup></b>
gesamt	30,4 <sup>b</sup>	34,1 <sup>a</sup>	28,1 <sup>b</sup>	34,8 <sup>a</sup>
<b>aus der Applikation (in % der Applikation)</b>				
9 d A	25,3 <sup>c</sup>	32,5 <sup>b</sup>	23,7 <sup>c</sup>	<b>35,1<sup>a</sup></b>
23 d A	26,1 <sup>b</sup>	31,4 <sup>a</sup>	22,8 <sup>c</sup>	<b>30,0<sup>a</sup></b>
gesamt	25,7 <sup>b</sup>	32,0 <sup>a</sup>	23,3 <sup>c</sup>	32,6 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup> Statistik wurde nur für die Relativzahlen gerechnet; <sup>abc</sup> ( $p \leq 0,05$ ); **Fettdruck** zeigt signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen 9 und 23 d Adaptation; A = Adaptation;

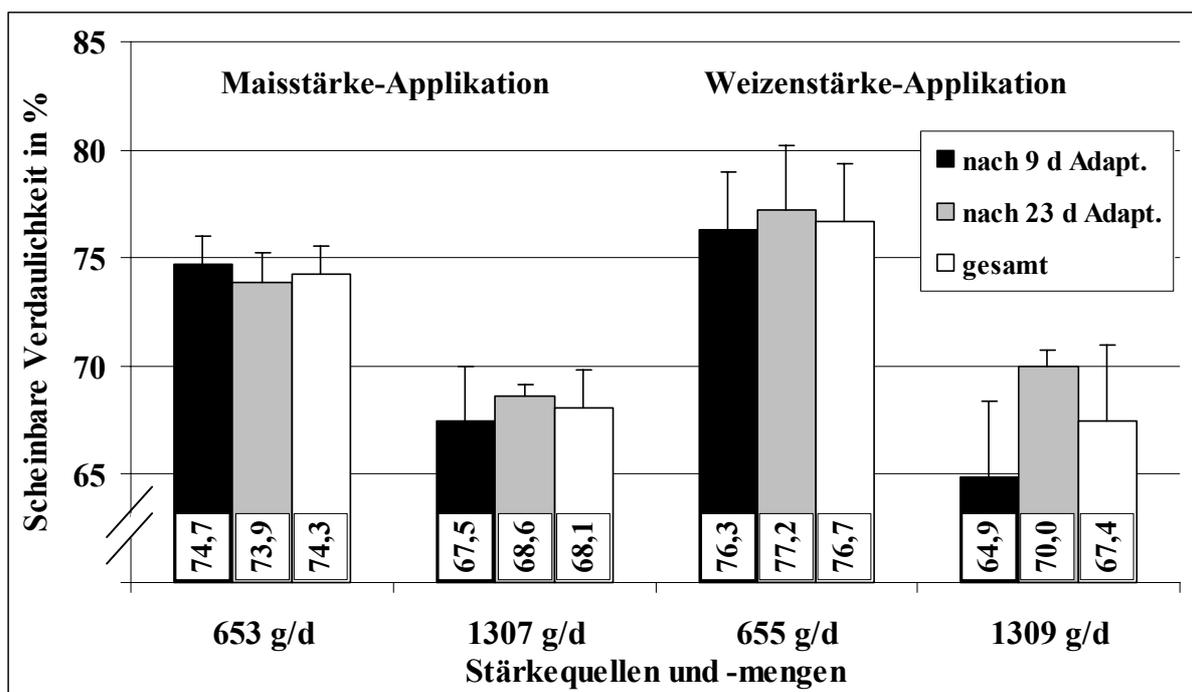
Signifikante Unterschiede zwischen der Mais- und der Weizenstärke-Applikation konnten bei den hohen Dosen nach 9 d Adaptation bei der Verdaulichkeit aus Ration und Applikation, bezogen auf die Zufuhr, gefunden werden. Dabei wies die Weizenstärke eine um 1,6 Prozentpunkte ( $p \leq 0,05$ ) höhere Verdaulichkeit auf.

Bezogen auf die duodenale Flussmenge an Stärke aus Futter und Applikation erreichten bei den niedrigen Dosen im Mittel 29,3 % bzw. 34,5 % bei den hohen Dosen das Ileum. Das

entsprach bei den hohen Dosen gegenüber den niedrigen einer Abnahme der Verdaulichkeit von 3,7 (Mais-Variante;  $p \leq 0,01$ ) bzw. 6,7 Prozentpunkten (Weizen-Variante;  $p \leq 0,001$ ).

Aus der Applikation erreichten von 654 g Stärke im Mittel 160 g (24,5 %), von 1308 g Stärke im Mittel 422 g (32,3 %) das Ileum. Die applizierte Stärke wurde mit zunehmender Menge am Darm vermindert verdaut. So konnten signifikante Differenzen bei der Mais-Variante (Abnahme um 6,3 Prozentpunkte;  $p \leq 0,001$ ) und bei der Weizen-Variante (Abnahme um 9,3 Prozentpunkte;  $p \leq 0,001$ ) gefunden werden.

Bei der Betrachtung des von der applizierten Stärke verdauten Anteils wurde bei Verabreichung der niedrigen Dosen nach 23 d Adaptationszeit eine um 3,3 Prozentpunkte ( $p \leq 0,05$ ) höhere Verdaulichkeit der Weizenstärke und über den gesamten Versuch eine um 2,4 Prozentpunkte ( $p \leq 0,05$ ) höhere Verdaulichkeit derselben gegenüber der Maisstärke gefunden. Bei Applikation der hohen Menge wurde nach 9 d Adaptation eine um 2,6 Prozentpunkte niedrigere Verdaulichkeit der Weizenstärke gegenüber der Maisstärke gefunden ( $p \leq 0,05$ ). Abbildung 13 zeigt die Verdaulichkeit der applizierten Stärke im Dünndarm.



**Abbildung 13:** Scheinbare Verdaulichkeit der applizierten Stärke vom proximalen Duodenum bis zum terminalen Ileum (in % der Zufuhr; MW $\pm$ SD; n=4)

In % der Applikation selbst bewirkte eine längere Adaptationszeit bei der hohen Maisstärke-Dosis eine um 1,1 Prozentpunkte, bei der niedrigen Weizenstärke-Dosis eine um 0,9 Prozentpunkte höhere Verdaulichkeit. Deutlicher wurde dieser Effekt bei der hohen Weizenstärke-Dosis mit einer statistisch abgesicherten Erhöhung der Verdaulichkeit um 5,1 Prozentpunkte ( $p \leq 0,05$ ). Allerdings erscheint eine Flussmenge von 35,1 % im Gegensatz zu

30,0 % nach nur 14 d Tagen längerer Adaptationszeit sehr hoch, zumal damit die Verdaulichkeit der Weizenstärke-Variante niedriger ausfällt als die der Maisstärke.

In der faecalen Stärkeausscheidung (Tabelle 58) erwies sich der Einfluss der unterschiedlichen Dosen als signifikant ( $p \leq 0,001$ ). Im Mittel wurden bei den niedrigen Dosen aus Ration und Applikation 128 g (7,6 % der Zufuhr), bei den hohen Dosen 273 g (11,6 % der Zufuhr) an Stärke ausgeschieden. Aus der Applikation selbst wurden bei der niedrigen Mais-Variante 106 g, bei der niedrigen Weizen-Variante nur 91 g Stärke im Kot der Tiere ermittelt ( $p \leq 0,01$ ). Die hohen Dosen unterschieden sich nicht erheblich, es wurden 248 g bzw. 240 g der Stärke bei der Mais- bzw. der Weizen-Variante ausgeschieden ( $p > 0,05$ ).

**Tabelle 58: Ausscheidung an Stärke mit dem Kot der Bullen nach Stärke-Applikation (n=4)**

	Maisstärke-Applikation		Weizenstärke-Applikation	
	653 g/d	1307 g/d	655 g/d	1309 g/d
<b>Ausscheidung mit dem Kot (g/d)<sup>1)</sup></b>				
<b>aus der Ration (kalkuliert)</b>				
9 d A	30	30	30	30
23 d A	28	28	29	29
gesamt	29	29	30	30
<b>aus Ration und Applikation (gemessen)</b>				
9 d A	139	281	120	275
23 d A	130	273	121	263
gesamt	135	277	121	269
<b>aus der Applikation</b>				
9 d A	109	251	90	245
23 d A	102	245	92	234
gesamt	106	248	91	240
<b>Ausscheidung mit dem Kot<sup>1)</sup></b>				
<b>aus Ration und Applikation (in % der Zufuhr)</b>				
9 d A	8,1 <sup>b</sup>	11,8 <sup>a</sup>	7,0 <sup>b</sup>	11,6 <sup>a</sup>
23 d A	7,9 <sup>b</sup>	11,8 <sup>a</sup>	7,2 <sup>b</sup>	11,2 <sup>a</sup>
gesamt	8,0 <sup>b</sup>	11,8 <sup>a</sup>	7,1 <sup>b</sup>	11,4 <sup>a</sup>
<b>aus Ration und Applikation (in % des Duodenalflusses)</b>				
9 d A	19,7 <sup>b</sup>	20,7 <sup>a</sup>	17,0 <sup>c</sup>	20,2 <sup>a</sup>
23 d A	18,5 <sup>b</sup>	20,1 <sup>a</sup>	17,2 <sup>c</sup>	19,3 <sup>a</sup>
gesamt	19,1 <sup>b</sup>	20,4 <sup>a</sup>	17,1 <sup>c</sup>	19,8 <sup>ab</sup>
<b>aus der Applikation (in % der Applikation)</b>				
9 d A	16,8 <sup>b</sup>	19,2 <sup>a</sup>	13,9 <sup>c</sup>	18,8 <sup>a</sup>
23 d A	15,7 <sup>b</sup>	18,7 <sup>a</sup>	14,1 <sup>c</sup>	17,8 <sup>a</sup>
gesamt	16,3 <sup>b</sup>	19,0 <sup>a</sup>	14,0 <sup>c</sup>	18,3 <sup>a</sup>

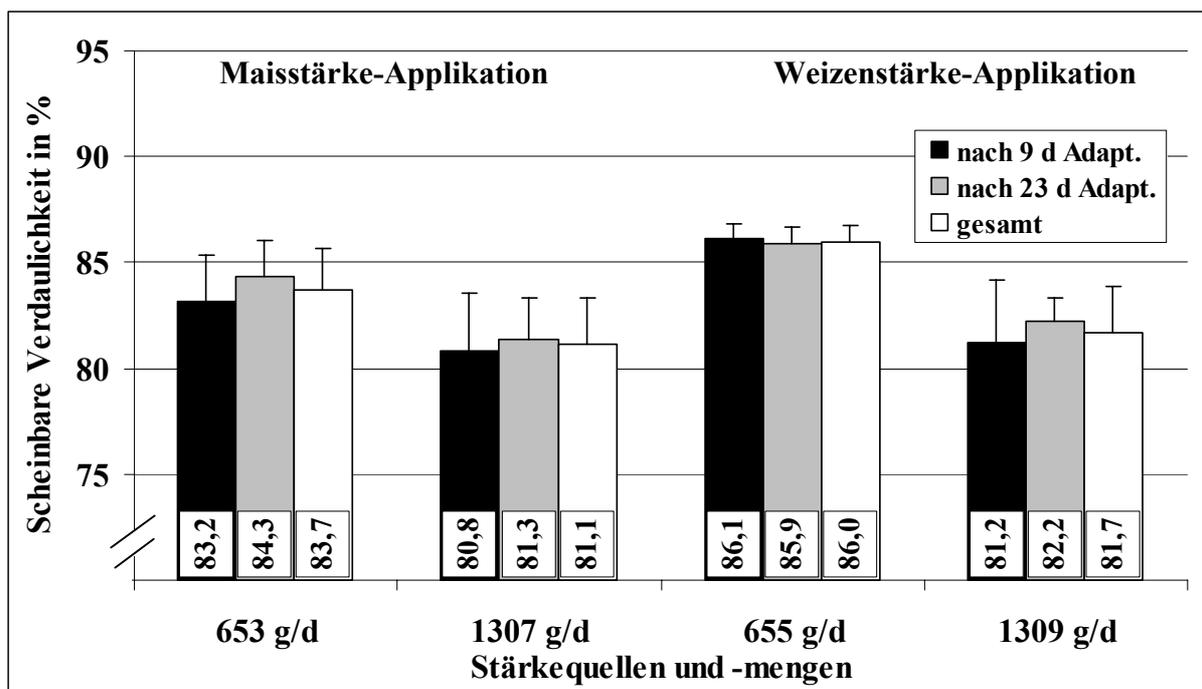
<sup>1)</sup> Statistik wurde nur für die Relativzahlen gerechnet; <sup>abc</sup> ( $p \leq 0,05$ ); A = Adaptation;

Auf die Zufuhr bezogen waren die Mengen an ausgeschiedener Stärke zwischen den Stärkequellen sehr ähnlich (8,0 bzw. 7,1 % der aufgenommenen Menge bei der niedrigen, 11,8 bzw. 11,4 % bei der hohen Mais- bzw. Weizen-Variante). Der Einfluss der unterschiedlich hohen Stärke-Dosis konnte jedoch mit  $p \leq 0,001$  statistisch abgesichert werden.

Auf die Stärkemenge am Duodenum bezogen konnten gerichtete Einflüsse dahingehend festgestellt werden, dass bei den Weizenstärke-Varianten gegenüber den Mais-Varianten 2,0 (niedrige Dosis;  $p \leq 0,01$ ) bzw. 0,6 Prozentpunkte (hohe Dosis;  $p \geq 0,05$ ) weniger Stärke die Tiere verließ. Desweiteren wurden bei den hohen Mengen Mais- bzw. Weizenstärke 1,3 ( $p \leq 0,05$ ) bzw. 2,7 ( $p \leq 0,001$ ) Prozentpunkte mehr Stärke als bei den niedrigen Dosen ausgeschieden.

Auf die applizierte Stärke bezogen konnte bei der niedrigen Dosis ein signifikanter Einfluss der Stärkequelle auf die Verdaulichkeit im Gesamtdarm festgestellt werden ( $p \leq 0,001$ ): Weizenstärke zeigte eine um 2,3 Prozentpunkte höhere Verdaulichkeit. Die Differenzen in der scheinbaren Verdaulichkeit zwischen den Stärkemengen waren höchst signifikant ( $p \leq 0,001$ ). Mit zunehmender Stärkemenge am Darm verringerte sich die Verdaulichkeit bei Maisstärke um 2,7, bei der Weizenstärke um 4,3 Prozentpunkte.

Außer bei der niedrigen Dosis Weizenstärke zeigte sich für die Applikation selbst in jedem Falle ein tendenzieller Einfluss der um 14 Tage längeren Gewöhnung. Abbildung 14 zeigt die Verdaulichkeit der applizierten Stärke im Gesamtdarm.



**Abbildung 14:** Scheinbare Verdaulichkeit der applizierten Stärke vom proximalen Duodenum bis zum Ende des Rectums (in % der Zufuhr; MW±SD; n=4)

#### 4.2.3.3 Rohfaser

Im Gegensatz zu den bereits betrachteten Nährstoffen gelangte Rohfaser nur mit der Ration in das Tier, da die Stärke-Applikation keine Rohfaser enthielt. Somit konnte die Rohfaser als Maß für die Übereinstimmung zwischen den kalkulierten und den gemessenen bzw.

errechneten Ergebnissen herangezogen werden. Für die Ermittlung der kalkulierten Werte wurde die in der Vorperiode aufgenommene Rohfasermenge mit dem ermittelten Anteil unverdauter Nährstoffe multipliziert, in der Annahme, dass dieser im weiteren Versuch annähernd konstant blieb. Tabelle 59 zeigt Daten über die Aufnahme (Zufuhr) an Rohfaser und ihre Flussmengen aus der Ration.

**Tabelle 59: Aufnahme an Rohfaser und ihre Flussmengen am Duodenum in g/d (n=4)**

	Maisstärke-Applikation		Weizenstärke-Applikation	
	653 g/d	1307 g/d	655 g/d	1309 g/d
<b>Aufnahme=Zufuhr (g/d)</b>				
9 d A	2411	2474	2409	2361
23 d A	2440	2568	2569	2523
gesamt	2426	2521	2489	2442
<b>Fluss am Duodenum kalkuliert; (vgl. Tabelle 52 und Text; g/d)</b>				
9 d A	781	802	781	765
23 d A	790	832	833	817
gesamt	786	817	807	791

A = Adaptation

**Tabelle 60: Flussmengen an Rohfaser am Ileum der Bullen nach Stärke-Applikation (n=4)**

	Maisstärke-Applikation		Weizenstärke-Applikation	
	653 g/d	1307 g/d	655 g/d	1309 g/d
<b>Fluss am Ileum (g/d)</b>				
<b>aus der Ration (kalkuliert; vgl. Tabelle 52 und Text)</b>				
9 d A	747	767	747	732
23 d A	756	796	797	782
gesamt	752	782	772	757
<b>aus der Ration (gemessen)</b>				
9 d A	751	818	718	752
23 d A	735	819	776	807
gesamt	743	819	747	780
<b>Differenz zwischen kalkuliertem und gemessenem Fluss</b>				
9 d A	-4	-51	29	-20
23 d A	21	-23	21	-26
gesamt	9	-37	25	-23
<b>Fluss am Ileum</b>				
<b>aus der Ration (in % der Zufuhr)</b>				
9 d A	31,1 <sup>b</sup>	33,0 <sup>a</sup>	29,8 <sup>b</sup>	31,8 <sup>a</sup>
23 d A	30,1 <sup>b</sup>	31,9 <sup>a</sup>	30,2 <sup>b</sup>	32,0 <sup>a</sup>
gesamt	30,6 <sup>b</sup>	32,5 <sup>a</sup>	30,0 <sup>b</sup>	31,9 <sup>a</sup>
<b>aus der Ration (in % des Duodenalfusses)</b>				
9 d A	96,1 <sup>bc</sup>	102,0 <sup>a</sup>	92,0 <sup>c</sup>	98,2 <sup>ab</sup>
23 d A	93,0 <sup>b</sup>	98,4 <sup>a</sup>	93,2 <sup>b</sup>	98,8 <sup>a</sup>
gesamt	94,6 <sup>bc</sup>	100,2 <sup>a</sup>	92,6 <sup>c</sup>	98,5 <sup>ab</sup>

<sup>1)</sup> Statistik wurde nur für die Relativzahlen gerechnet; <sup>abc</sup> (p≤0,05); A = Adaptation;

Die Zufuhr an Rohfaser war in den Probenentnahmewochen nach 23 d Adaptation, aufgrund leicht veränderter Nährstoffzusammensetzung der Maissilage bzw. des Luzerneheus, geringfügig höher als in den Wochen nach 9 d. In Tabelle 60 sind die Flussmengen der Rohfaser am Ileum aufgeführt.

Aus den Messungen ergab sich am Ileum eine Rohfaser-Flussmenge von im Mittel 30,3 % der Zufuhr bei den niedrigen bzw. 32,2 % der Zufuhr bei den hohen Dosen. Die Abweichungen zwischen ermitteltem und kalkuliertem Fluss betragen 2,3 bzw. 3,8 Prozentpunkte und zeigen, dass die Kalkulation gerechtfertigt war und in der richtigen Größenordnung lag.

Bezogen auf die duodenale Flussmenge der Rohfaser erreichten bei 654 g Stärke-Applikation im Mittel 93,6 % bzw. bei 1308 g Stärke-Applikation 99,4 % das Ileum. Die Rohfaser wurde somit fast ausschließlich im Pansen verdaut. Im Dünndarm war kaum noch eine weitere Verdauung der Rohfaser festzustellen, wie an den duodenalen (vgl. Tabelle 59) und ilealen Flussmengen (vgl. Tabelle 60) ersichtlich ist.

In der faecalen Ausscheidung der Rohfaser (Tabelle 61) bestanden keine Unterschiede. Im Mittel wurden bei den niedrigen Dosen 22,2 % der Zufuhr ( $p>0,05$ ), bei den hohen Dosen 22,6 % der Zufuhr ( $p>0,05$ ) ausgeschieden. Die Übereinstimmung zwischen ermittelten und kalkulierten Werten war mit 0,2 bzw. 1,6 Prozentpunkten sehr gut.

**Tabelle 61: Ausscheidung von Rohfaser mit dem Kot der Bullen nach Stärke-Applikation (n=4)**

	Maisstärke-Applikation		Weizenstärke-Applikation	
	653 g/d	1307 g/d	655 g/d	1309 g/d
<b>Ausscheidung mit dem Kot (g/d)</b>				
<b>aus der Ration (kalkuliert; vgl. Tabelle 52 und Text)</b>				
9 d A	535	549	535	524
23 d A	542	570	570	560
gesamt	539	560	553	542
<b>aus der Ration (gemessen)</b>				
9 d A	537	549	519	550
23 d A	544	579	578	560
gesamt	541	564	549	555
<b>Differenz zwischen kalkulierter und gemessener Ausscheidung</b>				
9 d A	-2	-0	16	-26
23 d A	-2	-9	-8	-0
gesamt	-2	-4	4	-13
<b>Ausscheidung mit dem Kot</b>				
<b>aus der Ration (in % der Zufuhr)</b>				
9 d A	22,3 <sup>a</sup>	22,2 <sup>a</sup>	21,5 <sup>a</sup>	23,3 <sup>a</sup>
23 d A	22,3 <sup>a</sup>	22,5 <sup>a</sup>	22,5 <sup>a</sup>	22,2 <sup>a</sup>
gesamt	22,3 <sup>a</sup>	22,4 <sup>a</sup>	22,0 <sup>a</sup>	22,8 <sup>a</sup>
<b>aus der Ration (in % des Duodenalflusses)</b>				
9 d A	68,7 <sup>ab</sup>	68,5 <sup>ab</sup>	66,5 <sup>b</sup>	71,9 <sup>a</sup>
23 d A	68,8 <sup>a</sup>	69,5 <sup>a</sup>	69,4 <sup>a</sup>	68,6 <sup>a</sup>
gesamt	68,8 <sup>a</sup>	69,0 <sup>a</sup>	68,0 <sup>a</sup>	70,3 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup> Statistik wurde nur für die Relativzahlen gerechnet; <sup>ab</sup> ( $p\leq 0,05$ ); A = Adaptation;

Auch auf den Fluss am Duodenum bezogen waren die Werte sehr einheitlich. So wurden im Dickdarm bei 653 g bzw. 1307 g Maisstärke-Applikation und 655 g bzw. 1309 g Weizenstärke-Applikation noch weitere 31,2 bzw. 31,0 Prozentpunkte und 32,0 bzw. 29,7 Prozentpunkte der Rohfaser (100 minus 68,8; 69,0; 68,0 bzw. 70,3 %) verdaut.

#### 4.2.4 Freie Glucose im Dünndarm

Um zu überprüfen, ob Glucose, die bei der Stärkehydrolyse im Dünndarm freigesetzt wurde, nachzuweisen war, wurde in den ilealen Darmsaftproben freie Glucose bestimmt (Tabelle 62).

**Tabelle 62: Freie Glucose im ilealen Darmsaft (% der ilealen DS-T; MW  $\pm$ SD; n=4)**

	Vor- periode	Maisstärke-Applikation		Weizenstärke-Applikation	
		653 g/d	1307 g/d	655 g/d	1309 g/d
9 d A	-	0,24 $\pm$ 0,08	0,26 $\pm$ 0,08	0,25 $\pm$ 0,07	0,25 $\pm$ 0,09
23 d A	-	0,27 $\pm$ 0,06	0,25 $\pm$ 0,04	0,27 $\pm$ 0,04	0,26 $\pm$ 0,04
gesamt	0,20 $\pm$ 0,02	0,26 $\pm$ 0,07	0,26 $\pm$ 0,06	0,26 $\pm$ 0,05	0,26 $\pm$ 0,04

DS = Darmsaft; A = Adaptation

Zwischen den einzelnen Varianten der Stärke-Applikation zeigten sich keine Unterschiede hinsichtlich der Menge an freier Glucose im Dünndarm. Die Differenzen waren durch laboranalytische Schwankungen, die anhand der Standards abzuleiten waren, gegeben. Auch gegenüber der Vorperiode, in der keine Stärke-Applikation stattfand, waren die Werte nur tendenziell erhöht.

#### 4.2.5 Konzentration der Blutglucose

Die an den vier Versuchstieren in der Vorperiode bestimmten Konzentrationen an Blutglucose betragen 20, 40, 60, 120 und 180 Minuten nach Fütterungsbeginn 3,9, 3,8, 3,7, 3,6 und 3,4 mmol/l. Die in den jeweiligen Stärkevarianten ermittelten Blutglucose-Konzentrationen zu verschiedenen Zeiten nach Fütterungsbeginn und Stärke-Applikation sind in Tabelle 63 dargestellt.

Zu keinem Zeitpunkt der Messungen und zwischen keiner der Applikations-Varianten traten nennenswerte Unterschiede auf, was die starke homöostatische Regelung der Blutglucose-Konzentration bestätigt. In der Tendenz war ein leichter Abfall der Konzentrationen von 20 bis 180 Minuten nach Fütterungsbeginn und Stärke-Applikation von  $3,5 \pm 0,2$  auf  $3,2 \pm 0,1$  mmol/l festzustellen.

**Tabelle 63: Konzentration an Blutglucose (mmol/l) bei den Bullen zu verschiedenen Zeiten nach Fütterungsbeginn und Stärke-Applikation (n=4)**

Minuten <sup>1)</sup>		Maisstärke-Applikation		Weizenstärke-Applikation	
		653 g/d	1307 g/d	655 g/d	1309 g/d
20	9 d A	3,5	3,4	3,3	3,5
	23 d A	3,2	3,4	3,4	3,4
	gesamt	3,4	3,4	3,4	3,5
40	9 d A	3,6	3,5	3,2	3,6
	23 d A	3,3	3,3	3,4	3,5
	gesamt	3,5	3,4	3,3	3,6
60	9 d A	3,5	3,2	3,1	3,3
	23 d A	3,3	3,2	3,3	3,5
	gesamt	3,4	3,2	3,2	3,4
120	9 d A	3,4	3,2	3,1	3,3
	23 d A	2,9	3,2	3,2	3,2
	gesamt	3,2	3,2	3,2	3,3
180	9 d A	3,3	3,2	3,4	3,2
	23 d A	3,1	3,2	3,1	3,2
	gesamt	3,2	3,2	3,3	3,2

<sup>1)</sup>Minuten nach Fütterungsbeginn und Stärke-Applikation; A = Adaptation

## 4.3 Versuch 3

### 4.3.1 Versuchsverlauf, Rohnährstoffgehalt der Futtermittel und Futteraufnahme

Als Wiederholung mit höheren Stärkemengen und zur Überprüfung der Ergebnisse des Stärke-Applikationsversuches an Bullen wurde Versuch 3 mit vier trockenstehenden Milchkühen ebenfalls als Lateinisches Quadrat mit Messwiederholung geplant und durchgeführt.

Die Untersuchungen verliefen ohne Komplikationen. Während des gesamten Versuches traten keine Störungen an Fisteln bzw. Kanülen auf, sie wurden regelmäßig auf Durchgängigkeit geprüft und machten die Probenentnahmen aus dem Duodenum und Ileum gut möglich.

In einigen Fällen löste sich in den Wochen zwischen den Sammelperioden, wahrscheinlich durch das Ablegen bzw. Aufstehen der Tiere, ein Verbindungsstück zwischen beiden Stümpfen der ilealen Re-entrant Kanüle, so dass etwas Darmsaft verloren ging, welches für den Versuch keinerlei Auswirkungen hatte, aber die Nährstoffversorgung der Tiere etwas reduzierte.

Die Kühe waren gesund, nahmen die Ration in den Versuchsperioden vollständig auf und zeigten, nach Eingewöhnungszeit, gegenüber der Infusion, d.h. der Säuberung und Pflege der Kanülen und Infusionsapparatur, in der Spülphase beim Lösen der Infusionsschläuche von der Kanüle und dem erneuten Verbinden und den Probenentnahmen, keine Unruhe oder Angst. Der Kot wies normale Konsistenz und typischen Geruch auf.

Eine Woche nach Versuchsende wurden die Kühe geschlachtet und der Verdauungstrakt post mortem begutachtet. Ein Tier wies eine polyzystöse Nierendegeneration, kombiniert mit Fettinfiltration und zwei große Zysten in der Bauchhöhle auf, die aber nicht auf das Versuchsgeschehen zurückzuführen waren. Alle anderen Organe und die der anderen Kühe waren ohne Befund. Die ilealen Re-entrant Kanülen befanden sich ca. 13-17 cm (erster Stumpf) bzw. 8-11 cm (zweiter Stumpf) caudal der ileocaecalen Klappe.

Tabelle 64 zeigt die Rohnährstoff- und Stärkegehalte der eingesetzten Futtermittel und der Mais- bzw. Weizenstärke. Die Amylosegehalte der Mais- bzw. Weizenstärke betragen wie im Versuch 2  $20,2 \pm 1,7$  % bzw.  $22,7 \pm 1,7$  %.

**Tabelle 64: Rohnährstoff- und Stärkegehalte der Maissilage, des Luzerneheus und der eingesetzten Mais- bzw. Weizenstärke im Versuch 3 (MW  $\pm$ SD; n=5)**

	T (%)	OS	XP	XL	XF	XX	XS
		in % der Trockensubstanz					
Maissilage	33,3	95,6	9,2	3,2	25,7	57,5	26,7
	$\pm 0,8$	$\pm 0,5$	$\pm 0,6$	$\pm 0,1$	$\pm 2,9$	$\pm 3,4$	$\pm 0,3$
Luzerneheu	86,1	91,2	16,8	1,7	33,2	39,5	1,3
	$\pm 2,1$	$\pm 0,5$	$\pm 2,3$	$\pm 0,2$	$\pm 2,0$	$\pm 1,4$	$\pm 0,1$
Maisstärke	88,7	99,9	0,8	0,2	0,0	98,9	98,8
	$\pm 0,2$	$\pm 0,0$	$\pm 0,1$	$\pm 0,0$	$\pm 0,0$	$\pm 0,1$	$\pm 0,3$
Weizenstärke	88,5	99,9	0,8	0,2	0,0	98,9	98,8
	$\pm 0,2$	$\pm 0,0$	$\pm 0,1$	$\pm 0,0$	$\pm 0,0$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$

Die Maissilage wies einen etwas geringeren Trockensubstanzgehalt als im Versuch 2, ansonsten aber die gleiche Qualität auf. Die Trockensubstanz, der Rohprotein- und der Rohfasergehalt des Luzerneheus lagen etwas niedriger als im Versuch 2, auch der Stärkegehalt war um 3,1 Prozentpunkte geringer. Die Stärken wiesen einen um 0,1 Prozentpunkte höheren Proteingehalt auf, ansonsten waren die Werte sehr ähnlich. Der Stärkegehalt lag bei beiden Stärken bei 99 %.

Im Versuch 3 wurden 1000 bzw. 2000 g kommerzielle Mais- bzw. Weizenstärke duodenal infundiert. Für die Maisstärke ergab sich bei einem T-Gehalt von 88,7 % 887 bzw. 1774 g Stärke-T pro Tier und Tag, bei einem Stärkegehalt von 98,8 % in der T eine reine Stärkemenge von 876 bzw. 1753 g pro Tier und Tag. Für die Weizenstärke mit einem T-Gehalt von 88,5 % errechnete sich eine Stärke-T pro Tier und Tag von 885 bzw. 1770 g und eine reine Stärkemenge von 875 bzw. 1750 g. Die jeweils letztgenannten Werte werden im Folgenden in den Tabellenköpfen und den Abbildungsunterschriften verwendet, da sich alle Flussmengen- und Verdaulichkeitsberechnungen auf diese beziehen.

**Tabelle 65: Mittlere Rohrnährstoff- und Stärkeaufnahme (kg/d) der Milchkühe ohne Stärke-Infusion (MW  $\pm$ SD; n=4)**

	Vorperiode	Maisstärke-Infusion		Weizenstärke-Infusion	
		876 g/d	1753 g/d	875 g/d	1750 g/d
T	4,3 $\pm$ 0,2	3,9 $\pm$ 0,1	3,9 $\pm$ 0,1	3,9 $\pm$ 0,1	3,9 $\pm$ 0,1
OS	4,0 $\pm$ 0,2	3,6 $\pm$ 0,1	3,7 $\pm$ 0,1	3,7 $\pm$ 0,1	3,7 $\pm$ 0,1
XP	0,5 $\pm$ 0,0	0,5 $\pm$ 0,0	0,5 $\pm$ 0,0	0,5 $\pm$ 0,0	0,5 $\pm$ 0,0
XL	0,1 $\pm$ 0,0	0,1 $\pm$ 0,0	0,1 $\pm$ 0,0	0,1 $\pm$ 0,0	0,1 $\pm$ 0,0
XF	1,3 $\pm$ 0,1	1,1 $\pm$ 0,1	1,2 $\pm$ 0,1	1,2 $\pm$ 0,1	1,2 $\pm$ 0,1
XX	2,1 $\pm$ 0,0	1,9 $\pm$ 0,1	1,9 $\pm$ 0,1	1,9 $\pm$ 0,1	1,9 $\pm$ 0,1
XS	0,6 $\pm$ 0,0	0,6 $\pm$ 0,1	0,6 $\pm$ 0,0	0,6 $\pm$ 0,0	0,6 $\pm$ 0,0

Die in den Tabelle 65 und Tabelle 66 dargestellten Daten sollen einen Überblick über die aufgenommenen bzw. zugeführten Rohrnährstoff- und Stärkemengen geben. Sie sind deshalb in kg und nur mit einer Kommastelle angegeben. Weiterhin wird im Folgenden zwischen Aufnahme, d.h. oraler Aufnahme des Futters, und Zufuhr, d.h. oraler Aufnahme des Futters plus duodenal infundierter Stärke, unterschieden. In Tabelle 65 ist die mittlere tägliche Rohrnährstoff- und Stärkeaufnahme der Milchkühe ohne Stärke-Infusion dargestellt, in Tabelle 66 einschließlich Stärke-Infusion.

Die Nährstoffaufnahme lag in der Vorperiode aufgrund eines kleinen Anteils Stroh in der Ration, welcher nach der Vorperiode gestrichen wurde, da die Tiere diesen nicht aufnahmen, gering über der Nährstoffaufnahme in den Versuchsperioden (vgl. Abschnitt 3.4.3). Da die Ration ansonsten über den gesamten Versuchszeitraum konstant blieb und die Kühe diese vollständig verzehrten, war die Aufnahme an Rohrnährstoffen und Stärke in allen Varianten gleich (Tabelle 65).

**Tabelle 66: Mittlere Rohrnährstoff- und Stärkezufuhr (kg/d) der Milchkühe einschließlich duodенaler Stärke-Infusion (MW  $\pm$ SD; n=4)**

	Maisstärke-Infusion		Weizenstärke-Infusion	
	876 g/d	1753 g/d	875 g/d	1750 g/d
T	4,8 $\pm$ 0,1	5,7 $\pm$ 0,1	4,8 $\pm$ 0,1	5,7 $\pm$ 0,1
OS	4,5 $\pm$ 0,1	5,5 $\pm$ 0,1	4,6 $\pm$ 0,1	5,5 $\pm$ 0,1
XP	0,5 $\pm$ 0,0	0,5 $\pm$ 0,1	0,5 $\pm$ 0,1	0,5 $\pm$ 0,1
XL	0,1 $\pm$ 0,0	0,1 $\pm$ 0,0	0,1 $\pm$ 0,0	0,1 $\pm$ 0,0
XF	1,2 $\pm$ 0,1	1,2 $\pm$ 0,1	1,2 $\pm$ 0,1	1,2 $\pm$ 0,1
XX	2,7 $\pm$ 0,0	3,7 $\pm$ 0,0	2,8 $\pm$ 0,0	3,7 $\pm$ 0,0
XS	1,5 $\pm$ 0,1	2,4 $\pm$ 0,1	1,5 $\pm$ 0,1	2,4 $\pm$ 0,1

Wie aus Tabelle 66 ersichtlich, wurde durch die Stärke-Infusion die Zufuhr an Trockensubstanz, organischer Substanz, NFE und Stärke erhöht. Die Rohrnährstoff- und Stärke-Aufnahmen innerhalb einer Stärke-Dosis (z.B. 876 g Mais- bzw. Weizenstärke) waren gleich. Der Anteil der Rohfaser an der Trockenmasse belief sich bei den niedrigen Mengen auf 25,0 % und bei den hohen Mengen auf 21,1 %.

**Tabelle 67: Tägliche Energieaufnahme (NEL) und Energiegehalt pro kg T im Versuch 3 (n=4)**

	Maisstärke-Infusion		Weizenstärke-Infusion	
	876 g/d	1753 g/d	875 g/d	1750 g/d
MJ NEL pro Tag	32,7	39,4	33,0	39,3
MJ NEL pro kg T	6,8	6,9	6,8	6,9

Mit Hilfe der DLG-Futterwerttabellen (1997) wurde die in jeder Variante aufgenommene Menge an Nettoenergie (NEL) ermittelt (Tabelle 67). Für eine Lebendmasse von 450-550 kg leitet sich für trockenstehende Kühe ein Bedarf von 28,6-33,3 MJ NEL pro Tag ab (DLG-Futterwerttabellen 1997; GfE 2000). Dieser Bedarf wurde im Versuch bei allen Varianten abgedeckt.

### 4.3.2 Charakterisierung der Vormagenverhältnisse

Die jeweils drei Stunden nach Beginn der Morgenfütterung gemessenen pH-Werte und NH<sub>3</sub>-N-Konzentrationen im Pansensaft sind in Tabelle 68 aufgeführt. Da die Stärke-Infusion in das Duodenum der Tiere erfolgte, blieb diese auf die pH-Werte und die NH<sub>3</sub>-N-Konzentrationen ohne Einfluss. Die Gesamtkonzentration an flüchtigen Fettsäuren im Pansensaft (Tabelle 69), gemessen jeweils drei Stunden nach Beginn der Morgenfütterung, war insgesamt sehr niedrig. Das spricht dafür, dass die Umsetzungen im Pansen nicht sehr intensiv waren.

**Tabelle 68: pH-Wert und NH<sub>3</sub>-N-Konzentration im Pansensaft (PS) im Versuch 3 (MW  $\pm$ SD; n=4)**

	Maisstärke-Infusion		Weizenstärke-Infusion		Sign.
	876 g/d	1753 g/d	875 g/d	1750 g/d	
pH	6,8 $\pm$ 0,3	6,7 $\pm$ 0,3	6,7 $\pm$ 0,2	6,9 $\pm$ 0,3	n.s.
NH <sub>3</sub> -N (mg/l PS)	106,4 $\pm$ 21,7	135,1 $\pm$ 16,1	152,3 $\pm$ 44,0	135,5 $\pm$ 24,2	n.s.

**Tabelle 69: Gesamtfettsäurenkonzentration sowie molare Anteile der einzelnen flüchtigen Fettsäuren im Pansensaft der Kühe im Versuch 3 (MW  $\pm$ SD; n=4)**

	Maisstärke-Infusion		Weizenstärke-Infusion		Sign.
	876 g/d	1753 g/d	875 g/d	1750 g/d	
<b>Gesamtkonzentration an flüchtigen Fettsäuren (mmol/l)</b>					
	68,9 $\pm$ 9,5	68,0 $\pm$ 11,8	62,6 $\pm$ 11,8	65,8 $\pm$ 5,3	n.s.
<b>Flüchtige Fettsäuren (molare Anteile, %)</b>					
Essigsäure	72,1 $\pm$ 10,5	69,9 $\pm$ 19,8	68,8 $\pm$ 19,1	70,6 $\pm$ 5,1	n.s.
Propionsäure	15,7 $\pm$ 2,3	17,2 $\pm$ 1,6	17,2 $\pm$ 4,2	16,6 $\pm$ 2,6	n.s.
Buttersäure	7,8 $\pm$ 1,4	8,2 $\pm$ 1,9	9,1 $\pm$ 2,7	8,2 $\pm$ 1,5	n.s.
Iso-Buttersäure	0,9 $\pm$ 0,1	0,9 $\pm$ 0,1	0,9 $\pm$ 0,2	0,9 $\pm$ 0,2	n.s.
Valeriansäure	1,4 $\pm$ 0,2	1,7 $\pm$ 0,2	1,8 $\pm$ 0,4	1,6 $\pm$ 0,2	n.s.
Iso-Valeriansäure	1,8 $\pm$ 0,8	1,6 $\pm$ 0,4	1,8 $\pm$ 0,7	1,7 $\pm$ 0,6	n.s.
<b>C<sub>2</sub>:C<sub>3</sub>-Verhältnis</b>	<b>4,6 : 1 <math>\pm</math>0,4</b>	<b>4,2 : 1 <math>\pm</math>1,4</b>	<b>4,2 : 1 <math>\pm</math>1,4</b>	<b>4,3 : 1 <math>\pm</math>0,6</b>	n.s.

Die molaren Anteile der flüchtigen Fettsäuren an den Gesamtfettsäuren wiesen nur unbedeutende Unterschiede ( $p > 0,05$ ) auf. Die Gewöhnung an die Ration hatte bereits vor der Vorperiode stattgefunden und die duodenale Infusion hatte auf die Verhältnisse im Pansen keinen Einfluss. Das  $C_2 : C_3$ -Verhältnis war relativ weit, aber bei der kraftfutterlosen, sehr strukturreichen Fütterung nicht außergewöhnlich.

### 4.3.3 Nährstoff-Flüsse am Duodenum und Ileum sowie Nährstoffausscheidung mit dem Kot und daraus errechnete Verdaulichkeiten

Die Flussmengen an Nährstoffen am Duodenum bzw. Ileum sowie die Ausscheidungen mit dem Kot wurden bei gleicher Ration an allen vier Tieren in der Vorperiode ermittelt und daraus die entsprechenden Verdaulichkeiten errechnet. In Tabelle 70 finden sich die Nährstoff-Flüsse am Duodenum sowie Angaben über den Umfang der Verdauung bis zum Duodenum.

Mit 41,7 % fiel die ruminale Verdaulichkeit der organischen Substanz der Ration relativ niedrig aus, was vermutlich auf den verabreichten Anteil Stroh zurückzuführen ist. Die durch den Rohaschegehalt im Darmsaft verursachte Differenz von 12,0 Prozentpunkten zwischen der Verdaulichkeit der Trockensubstanz und der der organischen Substanz lag im üblichen Bereich. Die geringe Stärkemenge der Ration wurde mit 94,8 % in ähnlichem Ausmaß wie die Stärke im Versuch 2 mit 95,1 % verdaut.

**Tabelle 70: Nährstoff (NS)-Fluss am und Verdaulichkeit bis zum Duodenum in der Vorperiode (MW  $\pm$ SD; n=4) im Versuch 3**

	NS-Fluss in g	% verdaut
T	3065 $\pm$ 110	29,7 $\pm$ 2,6
OS	2393 $\pm$ 126	41,7 $\pm$ 2,8
XF	596 $\pm$ 29	52,9 $\pm$ 1,9
XX	927 $\pm$ 60	58,3 $\pm$ 2,1
XS	32 $\pm$ 1	94,8 $\pm$ 0,2

Tabelle 71 zeigt die Mengen an aufgenommener organischer Substanz, Stärke und Rohfaser, und die Nährstoff-Flüsse am Duodenum und Ileum sowie die Ausscheidung mit dem Kot in der Vorperiode. Da die Rohnährstoffaufnahme in Vor- und Versuchsperioden nicht absolut gleich ausfiel, musste in diesem Versuch ebenfalls der Fluss am Duodenum und Ileum sowie die Ausscheidung mit dem Kot aus der Futterration für die nachfolgenden Versuchsperioden kalkuliert werden.

Hierzu wurde die jeweils aufgenommene Nährstoffmenge mit dem in der Vorperiode ermittelten Anteil unverdauter Nährstoffe multipliziert, in der Annahme, dass dieser im Versuch annähernd konstant blieb. So wurde z.B. die in den Versuchsperioden aufgenommene organische Substanz (3670 g; 2. Spalte in Tabelle 71) mit dem Fluss am Duodenum aus der Vorperiode (58,3 %) multipliziert, so dass sich ein kalkulierter Fluss am Duodenum in den Versuchsperioden von 2140 g ergab.

Analog wurden die Flüsse am Ileum bzw. die Ausscheidung mit dem Kot kalkuliert. Die Mittelwerte der Ergebnisse dieser Berechnungen sind ebenfalls in Tabelle 71 aufgeführt. Diese stellen die Grundlage für alle nachfolgenden Berechnungen dar. Dabei wurde jedoch im Folgenden nicht von den Mittelwerten, sondern von den analog zu diesem Vorgehen errechneten Einzelwerten für jede Versuchsvariante ausgegangen.

**Tabelle 71: Mittlere Aufnahme in der Vorperiode und den Versuchsperioden und daraus kalkulierte Flussmengen an organischer Substanz, Stärke und Rohfaser sowie deren Ausscheidung mit dem Kot (MW  $\pm$ SD; n=4)**

	OS	XS	XF
<b>Gemessene Mengen in der Vorperiode</b>			
<b>Aufnahme (kg/d)</b>			
	4,1 $\pm$ 0,2	0,6 $\pm$ 0,0	1,3 $\pm$ 0,1
<b>Fluss am Duodenum (in % der Aufnahme)</b>			
	58,3 $\pm$ 2,8	5,2 $\pm$ 0,2	47,1 $\pm$ 1,9
<b>Fluss am Ileum (in % der Aufnahme)</b>			
	37,8 $\pm$ 0,4	1,8 $\pm$ 0,1	40,6 $\pm$ 0,3
<b>Ausscheidung mit dem Kot (in % der Aufnahme)</b>			
	35,7 $\pm$ 0,2	0,0 $\pm$ 0,0	36,0 $\pm$ 0,5
<b>Mittlere Aufnahme in den Versuchsperioden ohne Stärke-Applikation (kg/d)</b>			
9 d A	3684	553	1168
23 d A	3657	549	1157
gesamt	3670	551	1162
<b>Mittlerer kalkulierter Fluss<sup>1)</sup> am Duodenum (g/d)</b>			
9 d A	2148	29	550
23 d A	2132	29	545
gesamt	2140	29	547
<b>Mittlerer kalkulierter Fluss<sup>1)</sup> am Ileum (g/d)</b>			
9 d A	1393	10	474
23 d A	1382	10	470
gesamt	1387	10	472
<b>Mittlere kalkulierte Ausscheidung<sup>1)</sup> mit dem Kot (g/d)</b>			
9 d A	1315	0	421
23 d A	1305	0	416
gesamt	1310	0	418

<sup>1)</sup> aus Aufnahme und geflossenem bzw. unverdaulichem Anteil in der Vorperiode (vgl. Text); A = Adaptation

#### 4.3.3.1 Organische Substanz

Tabelle 72 zeigt Daten über die Aufnahme an organischer Substanz und ihre Flussmengen aus der Ration bzw. aus Ration und Infusion. Die Zufuhr an organischer Substanz war über den gesamten Versuch nahezu konstant. Die Flussmengen am Duodenum aus Ration und Infusion ergaben sich rein rechnerisch aus dem kalkulierten Fluss der Vorperiode aus dem Futter (vgl. Tabelle 71) plus der mit der Infusion verabreichten organischen Substanz.

**Tabelle 72: Zufuhr an organischer Substanz und ihre Flussmengen aus Ration bzw. aus Ration und Stärke-Infusion in g/d (n=4)**

	Maisstärke-Infusion		Weizenstärke-Infusion	
	876 g/d	1753 g/d	875 g/d	1750 g/d
	<b>Aufnahme ohne Stärke-Infusion (g/d)</b>			
9 d A	3684	3684	3684	3684
23 d A	3574	3684	3684	3684
gesamt	3629	3684	3684	3684
	<b>infundierte organische Substanz (g/d)</b>			
	886	1772	884	1768
	<b>Zufuhr (g/d)</b>			
9 d A	4570	5456	4568	5452
23 d A	4460	5456	4568	5452
gesamt	4515	5456	4568	5452
	<b>Fluss am Duodenum (g/d)</b>			
	<b>aus der Ration (kalkuliert; vgl. Tabelle 71; g/d)</b>			
9 d A	2148	2148	2148	2148
23 d A	2084	2148	2148	2148
gesamt	2116	2148	2148	2148
	<b>aus Ration und Infusion (g/d)</b>			
9 d A	3034	3920	3032	3915
23 d A	2970	3920	3032	3915
gesamt	3002	3920	3032	3915

A = Adaptation

Tabelle 73 zeigt die Flussmengen am Ileum. Im Mittel erreichten 1638 g bei den niedrigen bzw. 2267 g bei den hohen Dosen das Ileum aus der Ration plus Infusion (36,1 % bzw. 41,6 % der zugeführten organischen Substanz). Von der niedrigen zur hohen Infusionsmenge war, bezogen auf die zugeführte Menge an organischer Substanz, eine Verminderung der Verdaulichkeit um 5,7 (Maisstärke;  $p \leq 0,001$ ) bzw. 5,2 Prozentpunkte (Weizenstärke;  $p \leq 0,001$ ) zu beobachten.

Ebenfalls statistisch zu sichern waren die Unterschiede zwischen den Stärkequellen, wobei bei den niedrigen Dosen die Weizenstärke um 0,6 und bei den hohen Dosen um 1,1 Prozentpunkte höher verdaut wurde ( $p \leq 0,001$ ).

Ein Effekt der längeren Gewöhnung an die Infusion war in jeder Variante sichtbar. Nach längerer Adaptation war eine Erhöhung der Verdaulichkeit von 0,3 ( $p \leq 0,05$ ), 0,4 ( $p \leq 0,01$ ), 0,6 ( $p \leq 0,01$ ) und 0,6 ( $p \leq 0,01$ ) Prozentpunkten zu verzeichnen.

Bezogen auf die Menge an organischer Substanz am Duodenum erreichten aus Futter und Infusion bei den niedrigen Dosen 54,3 %, bei den hohen Dosen 57,9 % das Ileum. Das entsprach bei den hohen Dosen gegenüber den niedrigen einer Erniedrigung der Verdaulichkeit von 3,9 (Mais-Varianten;  $p \leq 0,001$ ) bzw. 3,2 Prozentpunkten (Weizen-Variante;  $p \leq 0,001$ ).

**Tabelle 73: Flussmengen an organischer Substanz am Ileum der Kühe nach Stärke-Infusion (n=4)**

	Maisstärke-Infusion		Weizenstärke-Infusion	
	876 g/d	1753 g/d	875 g/d	1750 g/d
<b>Fluss am Ileum (g/d)<sup>1)</sup></b>				
<b>aus der Ration (kalkuliert; vgl. Tabelle 71)</b>				
9 d A	1393	1393	1393	1393
23 d A	1351	1393	1393	1393
gesamt	1372	1393	1393	1393
<b>aus Ration und Infusion (gemessen)</b>				
9 d A	1670	2309	1648	2254
23 d A	1613	2286	1619	2216
gesamt	1642	2298	1634	2235
<b>aus der Infusion</b>				
9 d A	277	916	255	861
23 d A	262	893	226	823
gesamt	270	905	241	842
<b>Fluss am Ileum<sup>1)</sup></b>				
<b>aus Ration und Infusion (in % der Zufuhr)</b>				
9 d A	<b>36,5<sup>c</sup></b>	<b>42,3<sup>a</sup></b>	<b>36,1<sup>d</sup></b>	<b>41,3<sup>b</sup></b>
23 d A	<b>36,2<sup>c</sup></b>	<b>41,9<sup>a</sup></b>	<b>35,5<sup>d</sup></b>	<b>40,7<sup>b</sup></b>
gesamt	36,4 <sup>c</sup>	42,1 <sup>a</sup>	35,8 <sup>d</sup>	41,0 <sup>b</sup>
<b>aus Ration und Infusion (in % des Duodenalfusses)</b>				
9 d A	55,0 <sup>c</sup>	58,9 <sup>a</sup>	<b>54,4<sup>c</sup></b>	<b>57,6<sup>b</sup></b>
23 d A	54,3 <sup>c</sup>	58,3 <sup>a</sup>	<b>53,4<sup>d</sup></b>	<b>56,6<sup>b</sup></b>
gesamt	54,7 <sup>c</sup>	58,6 <sup>a</sup>	53,9 <sup>c</sup>	57,1 <sup>b</sup>
<b>aus der Infusion (in % der Infusion)</b>				
9 d A	<b>31,3<sup>c</sup></b>	<b>51,7<sup>a</sup></b>	<b>28,9<sup>d</sup></b>	<b>48,7<sup>b</sup></b>
23 d A	<b>29,6<sup>c</sup></b>	<b>50,4<sup>a</sup></b>	<b>25,7<sup>d</sup></b>	<b>46,6<sup>b</sup></b>
gesamt	30,4 <sup>c</sup>	51,1 <sup>a</sup>	27,3 <sup>d</sup>	47,7 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup> Statistik wurde nur für die Relativzahlen gerechnet; <sup>abcd</sup> (p≤0,05); **Fettdruck** zeigt signifikante Unterschiede (p≤0,05) zwischen 9 und 23 d Adaptation; A = Adaptation;

Aus der Infusion erreichten von 885 g der infundierten organischen Substanz bei den niedrigen Dosen im Mittel noch 256 g (28,9 %), von 1774 g infundierter organischer Substanz bei den hohen Dosen im Mittel noch 874 g (49,4 %) das Ileum. Daher zeigte sich eine Abnahme der Verdaulichkeit mit steigender Infusionsmenge. Von der niedrigen zur höheren Dosis konnte eine Verminderung der Verdaulichkeit von 20,7 Prozentpunkten bei der Maisstärke-Infusion (p≤0,001) bzw. von 20,4 Prozentpunkten bei der Weizenstärke-Infusion (p≤0,001) beobachtet werden.

Desweiteren war ein signifikanter Einfluss der Stärkequelle zu verzeichnen. Von den niedrigen Dosen Weizenstärke wurden 3,1 Prozentpunkte (p≤0,001) und von den hohen Dosen 3,4 Prozentpunkte (p≤0,001) mehr verdaut.

In % der Infusion bewirkte eine längere Adaptationszeit bei der niedrigen Maisstärke-Dosis eine um 1,7 Prozentpunkte (p≤0,05) und bei der niedrigen Weizenstärke-Dosis eine um 3,2 (p≤0,01) Prozentpunkte höhere Verdaulichkeit. Bei den hohen Dosen zeigten sich ebenfalls signifikante Erhöhungen der Verdaulichkeit nach längerer Adaptation (1,3 Prozentpunkte

Differenz bei  $p \leq 0,05$  bei der Maisstärke und 2,1 Prozentpunkte Differenz bei  $p \leq 0,05$  bei der Weizenstärke).

**Tabelle 74: Ausscheidung an organischer Substanz mit dem Kot der Kühe nach Stärke-Infusion (n=4)**

	Maisstärke-Infusion		Weizenstärke-Infusion	
	876 g/d	1753 g/d	875 g/d	1750 g/d
<b>Ausscheidung mit dem Kot (g/d)<sup>1)</sup></b>				
<b>aus der Ration (kalkuliert; vgl. Tabelle 71)</b>				
9 d A	1315	1315	1315	1315
23 d A	1276	1315	1315	1315
gesamt	1296	1315	1315	1315
<b>aus Ration und Infusion (gemessen)</b>				
9 d A	1359	1735	1318	1678
23 d A	1319	1720	1317	1664
gesamt	1339	1728	1317	1671
<b>aus der Infusion</b>				
9 d A	44	420	3	363
23 d A	43	405	2	349
gesamt	43	413	2	356
<b>Ausscheidung mit dem Kot<sup>1)</sup></b>				
<b>aus Ration und Infusion (in % der Zufuhr)</b>				
9 d A	29,7 <sup>c</sup>	<b>31,8<sup>a</sup></b>	28,8 <sup>d</sup>	<b>30,8<sup>b</sup></b>
23 d A	29,6 <sup>c</sup>	<b>31,5<sup>a</sup></b>	28,8 <sup>d</sup>	<b>30,5<sup>b</sup></b>
gesamt	29,7 <sup>c</sup>	31,7 <sup>a</sup>	28,8 <sup>d</sup>	30,7 <sup>b</sup>
<b>aus Ration und Infusion (in % des Duodenalflusses)</b>				
9 d A	44,8 <sup>a</sup>	44,3 <sup>a</sup>	43,5 <sup>b</sup>	42,9 <sup>b</sup>
23 d A	44,4 <sup>a</sup>	43,9 <sup>a</sup>	43,4 <sup>a</sup>	42,5 <sup>b</sup>
gesamt	44,6 <sup>a</sup>	44,1 <sup>ab</sup>	43,5 <sup>b</sup>	42,7 <sup>c</sup>
<b>aus der Infusion (in % der Infusion)</b>				
9 d A	4,9 <sup>c</sup>	<b>23,7<sup>a</sup></b>	0,3 <sup>d</sup>	<b>20,5<sup>b</sup></b>
23 d A	4,9 <sup>c</sup>	<b>22,9<sup>a</sup></b>	0,2 <sup>d</sup>	<b>19,8<sup>b</sup></b>
gesamt	4,9 <sup>c</sup>	23,3 <sup>a</sup>	0,2 <sup>d</sup>	20,1 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup> Statistik wurde nur für die Relativzahlen gerechnet; <sup>abcd</sup> ( $p \leq 0,05$ ); **Fettdruck** zeigt signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen 9 und 23 d Adaptation; A = Adaptation;

In der faecalen Ausscheidung der organischen Substanz (Tabelle 74) erwies sich der Einfluss der unterschiedlichen Dosen als höchst signifikant ( $p \leq 0,001$ ). Im Mittel wurden 1328 g bei den niedrigen Dosen bzw. 1700 g bei den hohen Dosen aus Ration und Infusion ausgeschieden (29,3 % bzw. 31,2 % der zugeführten organischen Substanz). Desweiteren war der Einfluss der Stärkequelle statistisch abzusichern. Bezogen auf die zugeführte organische Substanz wurde in den niedrigen Dosen die Weizenstärke um 0,9 Prozentpunkte ( $p \leq 0,001$ ) und in den hohen Dosen um 1,0 Prozentpunkte ( $p \leq 0,001$ ) höher verdaut. Ein signifikanter Einfluss der Adaptationszeit zeigte sich mit jeweils 0,3 Prozentpunkten Differenz bei den hohen Dosen Mais- bzw. Weizenstärke ( $p \leq 0,05$ ).

Aus der Infusion selbst wurden bei der niedrigen Mais-Variante noch 43 g, bei der niedrigen Weizen-Variante nur noch 2 g organische Substanz im Kot der Tiere ermittelt. Bei den hohen Dosen wurden 413 g bzw. 356 g der organischen Substanz bei der Mais- bzw. der Weizen-

Variante ausgeschieden. Das bedeutete eine Abnahme der Verdaulichkeit von der niedrigen zur hohen Dosis um 18,4 (Mais-Variante;  $p \leq 0,001$ ) bzw. um 19,9 Prozentpunkte (Weizen-Variante;  $p \leq 0,001$ ).

Bei der Betrachtung des Einflusses der unterschiedlichen Adaptationszeit zeigte sich im Falle der hohen Dosen ein signifikanter Effekt. Eine um 14 Tage längere Gewöhnung an die Infusion erhöhte die Verdaulichkeit bei der Mais-Variante um 0,8 ( $p \leq 0,05$ ), bei der Weizen-Variante um 0,7 ( $p \leq 0,05$ ) Prozentpunkte.

#### 4.3.3.2 Stärke

Tabelle 75 zeigt Daten über die Zufuhr an Stärke und ihre Flussmengen aus der Ration bzw. aus Ration und Infusion.

Die Zufuhr an Stärke mit der Ration war in allen Versuchsabschnitten und über den gesamten Versuch nahezu konstant. Die Flussmengen am Duodenum aus Ration und Infusion ergaben sich rein rechnerisch aus dem kalkulierten Fluss der Vorperiode aus dem Futter (vgl. Tabelle 71) plus der mit der Infusion verabreichten Stärke.

**Tabelle 75: Zufuhr an Stärke und ihre Flussmengen aus Ration bzw. aus Ration und Stärke-Infusion in g/d (n=4)**

	Maisstärke-Infusion		Weizenstärke-Infusion	
	876 g/d	1753 g/d	875 g/d	1750 g/d
<b>Aufnahme ohne Stärke-Infusion (g/d)</b>				
9 d A	553	553	553	553
23 d A	537	553	553	553
gesamt	545	553	553	553
<b>infundierte Stärke (g/d)</b>				
	876	1753	875	1750
<b>Zufuhr (g/d)</b>				
9 d A	1429	2306	1428	2303
23 d A	1413	2306	1428	2303
gesamt	1421	2306	1428	2303
<b>Fluss am Duodenum (g/d)</b>				
<b>aus der Ration (kalkuliert; vgl. Tabelle 71)</b>				
9 d A	29	29	29	29
23 d A	28	29	29	29
gesamt	29	29	29	29
<b>aus Ration und Infusion (g/d)</b>				
	905	1782	904	1779
	904	1782	904	1779
	905	1782	904	1779

A = Adaptation

In Tabelle 76 sind die Flussmengen an Stärke am Ileum aufgeführt. Im Mittel erreichten 250 g bei den niedrigen Dosen bzw. 856 g bei den hohen Dosen das Ileum aus Ration plus Infusion (17,6 % bzw. 37,2 % der zugeführten Stärke). Der Einfluss der unterschiedlichen Stärkedosen erwies sich als signifikant ( $p \leq 0,001$ ).

**Tabelle 76: Flussmengen an Stärke am Ileum der Kühe nach Stärke-Infusion (n=4)**

	Maisstärke-Infusion		Weizenstärke-Infusion	
	876 g/d	1753 g/d	875 g/d	1750 g/d
<b>Fluss am Ileum (g/d)<sup>1)</sup></b>				
<b>aus der Ration (kalkuliert; vgl. Tabelle 71)</b>				
9 d A	10	10	10	10
23 d A	10	10	10	10
gesamt	10	10	10	10
<b>aus Ration und Infusion (gemessen)</b>				
9 d A	270	893	252	849
23 d A	250	867	227	812
gesamt	260	880	240	831
<b>aus der Infusion</b>				
9 d A	260	883	242	839
23 d A	240	857	217	802
gesamt	250	870	230	821
<b>Fluss am Ileum<sup>1)</sup></b>				
<b>aus Ration und Infusion (in % der Zufuhr)</b>				
9 d A	<b>18,9<sup>c</sup></b>	<b>38,7<sup>a</sup></b>	<b>17,6<sup>d</sup></b>	<b>36,9<sup>b</sup></b>
23 d A	<b>17,7<sup>c</sup></b>	<b>37,6<sup>a</sup></b>	<b>15,9<sup>d</sup></b>	<b>35,3<sup>b</sup></b>
gesamt	18,3 <sup>c</sup>	38,2 <sup>a</sup>	16,8 <sup>d</sup>	36,1 <sup>b</sup>
<b>aus Ration und Infusion (in % des Duodenalflusses)</b>				
9 d A	<b>29,8<sup>c</sup></b>	<b>50,1<sup>a</sup></b>	<b>27,9<sup>d</sup></b>	<b>47,7<sup>b</sup></b>
23 d A	<b>27,7<sup>c</sup></b>	<b>48,7<sup>a</sup></b>	<b>25,1<sup>d</sup></b>	<b>45,7<sup>b</sup></b>
gesamt	28,8 <sup>c</sup>	49,4 <sup>a</sup>	26,5 <sup>d</sup>	46,7 <sup>b</sup>
<b>aus der Infusion (in % der Infusion)</b>				
9 d A	<b>29,6<sup>c</sup></b>	<b>50,4<sup>a</sup></b>	<b>27,6<sup>d</sup></b>	<b>48,0<sup>b</sup></b>
23 d A	<b>27,5<sup>c</sup></b>	<b>48,9<sup>a</sup></b>	<b>24,8<sup>d</sup></b>	<b>45,8<sup>b</sup></b>
gesamt	28,6 <sup>c</sup>	49,7 <sup>a</sup>	26,2 <sup>d</sup>	46,9 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup> Statistik wurde nur für die Relativzahlen gerechnet; <sup>abcd</sup> (p≤0,05); **Fettdruck** zeigt signifikante Unterschiede (p≤0,05) zwischen 9 und 23 d Adaptation; A = Adaptation;

Ebenso wurden signifikante Unterschiede zwischen den Stärkequellen gefunden (p≤0,001). Bei den niedrigen Dosen wurde, bezogen auf die Zufuhr, bei der Weizenstärke eine um 1,5 Prozentpunkte höhere Verdaulichkeit, bei den hohen Dosen eine um 2,1 Prozentpunkte höhere Verdaulichkeit gefunden.

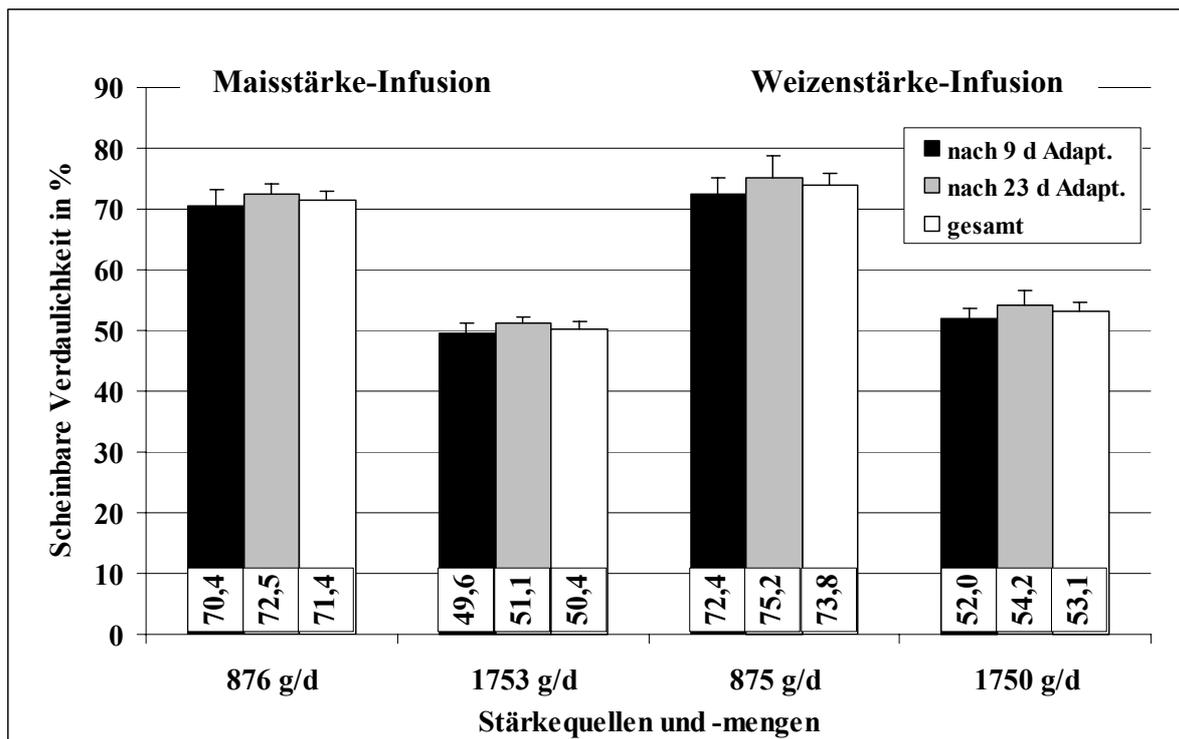
Nach 23 d gegenüber 9 d Adaptation an die Infusion wurde, bezogen auf die Zufuhr, in allen vier Varianten eine jeweils um 1,2 (p≤0,01), 1,1 (p≤0,01), 1,7 (p≤0,001) und 1,6 Prozentpunkte (p≤0,001) höhere Verdaulichkeit gefunden.

Bezogen auf die duodenale Flussmenge an Stärke aus Futter und Infusion erreichten bei den niedrigen Dosen im Mittel 27,7 % bzw. bei den hohen Dosen 48,1 % das Ileum. Das entsprach bei den hohen Dosen gegenüber den niedrigen einer Abnahme der Verdaulichkeit um jeweils 20,6 (Mais-Variante; p≤0,001) bzw. 20,2 Prozentpunkte (Weizen-Variante; p≤0,001).

Aus der Infusion selbst erreichten von 876 g Stärke im Mittel noch 240 g (27,4 %), von 1752 g Stärke im Mittel noch 846 g (48,3 %) das Ileum. Die infundierte Stärke wurde mit

zunehmender Menge am Darm vermindert verdaut. So konnten signifikante Differenzen bei der Maisstärke (Abnahme um 21,1 Prozentpunkte;  $p \leq 0,001$ ) und bei der Weizenstärke (Abnahme um 20,7 Prozentpunkte;  $p \leq 0,001$ ) gefunden werden. Von der infundierten Stärke selbst wurde bei den niedrigen Dosen von der Weizenstärke wiederum 2,4 Prozentpunkte ( $p \leq 0,001$ ), bei den hohen Dosen 2,8 Prozentpunkte mehr verdaut ( $p \leq 0,001$ ).

Für die infundierte Stärke selbst wurde nach längerer Adaptationszeit eine jeweils um 2,1 ( $p \leq 0,001$ ), 1,5 ( $p \leq 0,01$ ), 2,8 ( $p \leq 0,001$ ), 2,2 Prozentpunkte ( $p \leq 0,001$ ) höhere Verdaulichkeit als nach 9 d festgestellt. Abbildung 15 zeigt die scheinbare Verdaulichkeit der infundierten Stärke im Dünndarm.



**Abbildung 15:** Scheinbare Verdaulichkeit der infundierten Stärke vom proximalen Duodenum bis zum terminalen Ileum (in % der Zufuhr; MW $\pm$ SD; n=4)

In Tabelle 77 sind die im Kot ausgeschiedenen Stärkemengen zusammengestellt. Da aus der Ration keine Stärke ausgeschieden wurde, konnte die im Kot analysierte Stärkemenge der Infusion zugeschlagen werden. Von der niedrigen Stärkemenge wurden 40 g (Mais) bzw. 2 g (Weizen) ausgeschieden, von den hohen Mengen 367 g (Mais) bzw. 319 g (Weizen). Das entsprach bei den niedrigen Dosen im Mittel 1,5 % der zugeführten Menge, bei den hohen Dosen 14,9 %.

Signifikante Unterschiede wurden sowohl zwischen den Stärkequellen als auch den Stärkedosen festgestellt. Mit zunehmender Stärkemenge nahm die Verdaulichkeit im Gesamtrakt ab. Bezogen auf die zugeführte Menge wurden von der hohen Dosis Maisstärke 13,1 Prozentpunkte ( $p \leq 0,001$ ) weniger, von der hohen Dosis Weizenstärke 13,7

Prozentpunkte ( $p \leq 0,001$ ) weniger verdaut. Innerhalb der niedrigen Dosis wurde die Weizenstärke bezogen auf die Zufuhr um 2,6 Prozentpunkte ( $p \leq 0,001$ ), innerhalb der hohen Dosen um 2,0 Prozentpunkte ( $p \leq 0,001$ ) höher verdaut als die Maisstärke.

Bei der hohen Dosis Maisstärke erbrachte eine um 14 Tage längere Adaptationszeit an die Infusion eine Erhöhung der scheinbaren Verdaulichkeit um 0,4 Prozentpunkte und war damit signifikant (16,1 vs. 15,7 %;  $p \leq 0,05$ ).

**Tabelle 77: Ausscheidung an Stärke mit dem Kot der Kühe nach Stärke-Infusion (n=4)**

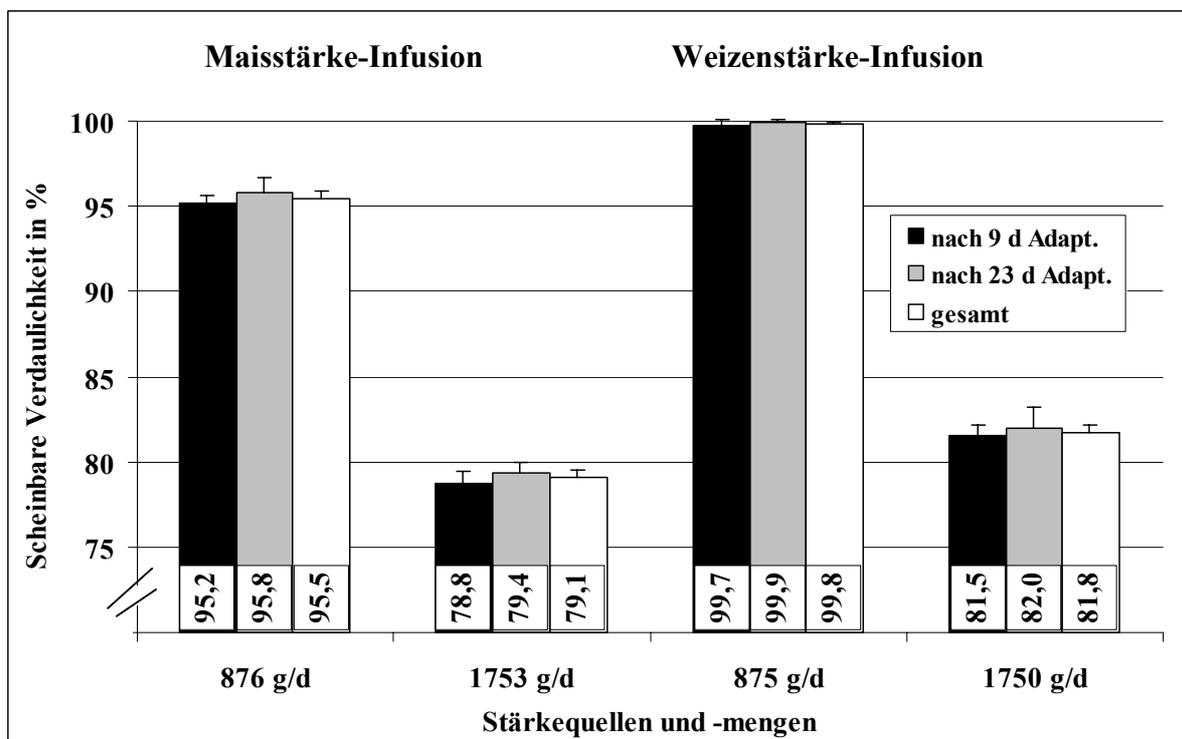
	Maisstärke-Infusion		Weizenstärke-Infusion	
	876 g/d	1753 g/d	875 g/d	1750 g/d
<b>Ausscheidung mit dem Kot (g/d)<sup>1)</sup></b>				
<b>aus der Ration (kalkuliert)</b>				
9 d A	0	0	0	0
23 d A	0	0	0	0
gesamt	0	0	0	0
<b>aus Ration und Infusion (gemessen)</b>				
9 d A	42	372	3	324
23 d A	37	361	1	315
gesamt	40	367	2	319
<b>aus der Infusion</b>				
9 d A	42	372	3	324
23 d A	37	361	1	315
gesamt	40	367	2	319
<b>Ausscheidung mit dem Kot<sup>1)</sup></b>				
<b>aus Ration und Infusion (in % der Zufuhr)</b>				
9 d A	3,0 <sup>c</sup>	<b>16,1<sup>a</sup></b>	0,2 <sup>d</sup>	14,0 <sup>b</sup>
23 d A	2,9 <sup>c</sup>	<b>15,7<sup>a</sup></b>	0,1 <sup>d</sup>	13,7 <sup>b</sup>
gesamt	2,8 <sup>c</sup>	15,9 <sup>a</sup>	0,2 <sup>d</sup>	13,9 <sup>b</sup>
<b>aus Ration und Infusion (in % des Duodenalflusses)</b>				
9 d A	4,7 <sup>c</sup>	<b>20,9<sup>a</sup></b>	0,3 <sup>d</sup>	<b>18,2<sup>b</sup></b>
23 d A	4,1 <sup>c</sup>	<b>20,3<sup>a</sup></b>	0,1 <sup>d</sup>	<b>17,7<sup>b</sup></b>
gesamt	4,4 <sup>c</sup>	20,6 <sup>a</sup>	0,2 <sup>d</sup>	18,0 <sup>b</sup>
<b>aus der Infusion (in % der Infusion)</b>				
9 d A	4,8 <sup>c</sup>	<b>21,2<sup>a</sup></b>	0,3 <sup>d</sup>	<b>18,5<sup>b</sup></b>
23 d A	4,2 <sup>c</sup>	<b>20,6<sup>a</sup></b>	0,1 <sup>d</sup>	<b>18,0<sup>b</sup></b>
gesamt	4,5 <sup>c</sup>	20,9 <sup>a</sup>	0,2 <sup>d</sup>	18,3 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup> Statistik wurde nur für die Relativzahlen gerechnet; <sup>abcd</sup> ( $p \leq 0,05$ ); **Fettdruck** zeigt signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen 9 und 23 d Adaptation; A = Adaptation;

Auf den Stärke-Fluss am Duodenum bezogen konnten gerichtete Einflüsse dahingehend festgestellt werden, dass bei den Weizenstärke-Varianten gegenüber den Mais-Varianten 4,2 (niedrige Dosis;  $p \leq 0,001$ ) bzw. 2,6 Prozentpunkte (hohe Dosis;  $p \leq 0,001$ ) mehr Stärke im Gesamtdarm verdaut wurde. Desweiteren nahm die Verdaulichkeit von der niedrigen zur hohen Stärkegabe um 16,2 Prozentpunkte (Maisstärke;  $p \leq 0,001$ ) bzw. um 17,8 Prozentpunkte (Weizenstärke;  $p \leq 0,001$ ) ab.

Auf die infundierte Stärke bezogen wurden bei den Mais-Varianten 16,4 ( $p \leq 0,001$ ) und bei den Weizen-Varianten 18,1 Prozentpunkte ( $p \leq 0,001$ ) mehr von der hohen Menge gegenüber den niedrigen ausgeschieden. Weiterhin konnte der Unterschied zwischen den Stärkequellen statistisch abgesichert werden. Innerhalb der niedrigen Dosen wurde von der Mais-Variante 4,3 Prozentpunkte ( $p \leq 0,001$ ) mehr Stärke ausgeschieden, innerhalb der hohen Dosen 2,6 Prozentpunkte ( $p \leq 0,001$ ).

Außer bei der niedrigen Dosis Weizenstärke zeigte sich für die Stärkeausscheidung aus der Infusion in jedem Falle ein signifikanter Einfluss der um 14 Tage längeren Gewöhnung. Die Differenzen zwischen den Werten beider Adaptationszeiten für alle vier Varianten betragen 0,6 ( $p \leq 0,05$ ), 0,6 ( $p \leq 0,05$ ), 0,2 und 0,5 ( $p \leq 0,05$ ) Prozentpunkte. Abbildung 16 zeigt die Verdaulichkeit der infundierten Stärke im Gesamtdarm.



**Abbildung 16:** Scheinbare Verdaulichkeit der infundierten Stärke vom proximalen Duodenum bis zum Ende des Rectums (in % der Zufuhr; MW $\pm$ SD; n=4)

#### 4.3.3.3 Rohfaser

Im Gegensatz zu den bereits betrachteten Nährstoffen gelangte Rohfaser nur mit der Ration in das Tier, da die Stärke-Infusion keine Rohfaser enthielt. Somit konnte die Rohfaser als Maß für die Übereinstimmung zwischen den kalkulierten und den gemessenen bzw. errechneten Ergebnissen herangezogen werden. Für die Ermittlung der kalkulierten Werte wurde die in der Vorperiode aufgenommene Rohfasermenge mit dem ermittelten Anteil unverdauter Nährstoffe multipliziert, in der Annahme, dass dieser im weiteren Versuch annähernd konstant blieb. Tabelle 78 zeigt Daten über die Zufuhr an Rohfaser und den kalkulierten

Rohfaser-Fluss am Duodenum. Die Aufnahme (Zufuhr) an Rohfaser war in allen Varianten nahezu gleich, nur bei der niedrigen Maisstärke-Variante kam es aufgrund von einigen Futter-Rückwaagen in der Sammelwoche nach 23 d Adaptation zu einer geringfügig niedrigeren Aufnahme. In Tabelle 79 sind die Flussmengen der Rohfaser am Ileum aufgeführt.

**Tabelle 78: Aufnahme an Rohfaser und ihre Flussmengen am Duodenum in g/d (n=4)**

	Maisstärke-Infusion		Weizenstärke-Infusion	
	876 g/d	1753 g/d	875 g/d	1750 g/d
<b>Aufnahme=Zufuhr (g/d)</b>				
9 d A	1168	1168	1168	1168
23 d A	1122	1168	1168	1168
gesamt	1145	1168	1168	1168
<b>Fluss am Duodenum (g/d)</b>				
<b>kalkuliert; (vgl. Tabelle 71 und Text)</b>				
9 d A	550	550	550	550
23 d A	528	550	550	550
gesamt	539	550	550	550

A = Adaptation

**Tabelle 79: Flussmengen an Rohfaser am Ileum der Kühe nach Stärke-Infusion (n=4)**

	Maisstärke-Infusion		Weizenstärke-Infusion	
	876 g/d	1753 g/d	875 g/d	1750 g/d
<b>Fluss am Ileum (g/d)<sup>1)</sup></b>				
<b>aus der Ration (kalkuliert; vgl. Tabelle 71 und Text)</b>				
9 d A	474	474	474	474
23 d A	456	474	474	474
gesamt	465	474	474	474
<b>aus der Ration (gemessen)</b>				
9 d A	482	482	468	484
23 d A	448	478	455	474
gesamt	465	480	462	479
<b>Differenz zwischen kalkulierte und gemessenem Fluss</b>				
9 d A	-8	-8	6	-10
23 d A	8	-4	19	0
gesamt	0	-6	12	-5
<b>Fluss am Ileum<sup>1)</sup></b>				
<b>aus der Ration (in % der Zufuhr)</b>				
9 d A	<b>41,3<sup>ab</sup></b>	41,3 <sup>ab</sup>	<b>40,0<sup>b</sup></b>	<b>41,5<sup>a</sup></b>
23 d A	<b>39,9<sup>b</sup></b>	40,9 <sup>a</sup>	<b>38,9<sup>c</sup></b>	<b>40,6<sup>a</sup></b>
gesamt	40,6 <sup>b</sup>	41,1 <sup>a</sup>	39,5 <sup>c</sup>	41,1 <sup>a</sup>
<b>aus der Ration (in % des Duodenalflusses)</b>				
9 d A	<b>87,6<sup>a</sup></b>	87,7 <sup>a</sup>	<b>85,0<sup>b</sup></b>	<b>88,0<sup>a</sup></b>
23 d A	<b>84,7<sup>b</sup></b>	86,9 <sup>a</sup>	<b>82,6<sup>c</sup></b>	<b>86,1<sup>a</sup></b>
gesamt	86,2 <sup>a</sup>	87,3 <sup>a</sup>	83,8 <sup>b</sup>	87,1 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup> Statistik wurde nur für die Relativzahlen gerechnet; <sup>abc</sup> (p≤0,05); **Fettdruck** zeigt signifikante Unterschiede (p≤0,05) zwischen 9 und 23 d Adaptation; A = Adaptation;

Aus den Messungen ergaben sich am Ileum Rohfaser-Flussmengen von im Mittel 40,1 % der Zufuhr bei niedriger bzw. 41,1 % der Zufuhr bei hoher Stärke-Infusion. Die Abweichungen

zwischen ermitteltem und kalkuliertem Fluss betragen jeweils 1,3 Prozentpunkte und zeigen, dass die Kalkulation gerechtfertigt war und in der richtigen Größenordnung lag.

Die Verdaulichkeit der Rohfaser verminderte sich von der niedrigen zur hohen Dosis um 0,5 bzw. 1,6 Prozentpunkte (Mais- bzw. Weizenstärke-Variante;  $p \leq 0,01$ ). Ein signifikanter Unterschied zwischen den Stärkequellen fand sich nur in der niedrigen Dosis nach 23 d Adaptation sowie über den gesamten Versuch betrachtet ( $p \leq 0,01$ ), wobei die Rohfaser in den Weizen-Varianten um 1,0 bzw. um 1,1 Prozentpunkte höher verdaut wurde.

Statistisch gesicherte Einflüsse der längeren Adaptationszeit waren, bezogen auf die Zufuhr, bei allen Varianten, außer bei der hohen Maisstärke-Dosis, sichtbar. Im Vergleich zu 9 d Adaptation flossen nach 23 d 1,4 Prozentpunkte (niedrige Mais-Variante;  $p \leq 0,001$ ) bzw. 1,1 und 0,9 Prozentpunkte (niedrige und hohe Weizen-Variante;  $p \leq 0,001$ ) weniger Rohfaser am Ileum an.

In der faecalen Ausscheidung der Rohfaser (Tabelle 80) bestanden keine Unterschiede. Im Mittel wurden bei den niedrigen Dosen 411 g und bei den hohen Dosen 427 g Rohfaser ausgeschieden (35,6 % bzw. 36,5 % der Zufuhr). Die Übereinstimmung zwischen ermittelten und kalkulierten Werten war mit jeweils 1,4 Prozentpunkten Abweichung bei den niedrigen und hohen Dosen sehr gut.

**Tabelle 80: Ausscheidung an Rohfaser mit dem Kot der Kühe nach Stärke-Infusion (n=4)**

	Maisstärke-Infusion		Weizenstärke-Infusion	
	876 g/d	1753 g/d	875 g/d	1750 g/d
<b>Ausscheidung mit dem Kot (g/d)<sup>1)</sup></b>				
<b>aus der Ration (kalkuliert; vgl. Tabelle 71 und Text)</b>				
9 d A	421	421	421	421
23 d A	404	421	421	421
gesamt	413	421	421	421
<b>aus der Ration (gemessen)</b>				
9 d A	424	429	409	416
23 d A	404	435	407	425
gesamt	414	432	408	421
<b>Differenz zwischen kalkulierter und gemessener Ausscheidung</b>				
9 d A	-3	-8	12	5
23 d A	0	-14	14	-4
gesamt	-1	-11	13	0
<b>Ausscheidung mit dem Kot<sup>1)</sup></b>				
<b>aus der Ration (in % der Zufuhr)</b>				
9 d A	36,3 <sup>ab</sup>	36,7 <sup>a</sup>	35,0 <sup>c</sup>	35,6 <sup>bc</sup>
23 d A	36,0 <sup>b</sup>	37,3 <sup>a</sup>	34,8 <sup>c</sup>	36,4 <sup>ab</sup>
gesamt	36,2 <sup>b</sup>	37,0 <sup>a</sup>	34,9 <sup>c</sup>	36,0 <sup>b</sup>
<b>aus der Ration (in % des Duodenalfusses)</b>				
9 d A	77,1 <sup>ab</sup>	77,9 <sup>a</sup>	74,4 <sup>c</sup>	75,5 <sup>bc</sup>
23 d A	76,4 <sup>b</sup>	79,1 <sup>a</sup>	73,9 <sup>c</sup>	77,2 <sup>ab</sup>
gesamt	76,8 <sup>ab</sup>	78,5 <sup>a</sup>	74,2 <sup>c</sup>	76,4 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup> Statistik wurde nur für die Relativzahlen gerechnet; <sup>abc</sup> ( $p \leq 0,05$ ); **Fettdruck** zeigt signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen 9 und 23 d Adaptation; A = Adaptation;

Selbst im hinteren Darmtrakt war noch ein tendenzieller Einfluss der hohen Infusionsdosen auf die Verdaulichkeit der Rohfaser zu bemerken. Von der niedrigen zur hohen Infusionsmenge kam es zu einer signifikanten Verminderung der Verdaulichkeit von 0,8 (Mais;  $p \leq 0,05$ ) bzw. 1,1 Prozentpunkten (Weizen;  $p \leq 0,05$ ).

Weiterhin war der Effekt der Stärkequellen signifikant. Über den gesamten Versuch hinweg wurde bezogen auf die Zufuhr bei den niedrigen Dosen eine um 1,3 Prozentpunkte niedrigere Verdaulichkeit der Mais-Variante ( $p \leq 0,05$ ) sowie bei den hohen Dosen eine um 1,0 Prozentpunkte niedrigere Verdaulichkeit der Mais-Variante ( $p \leq 0,05$ ) festgestellt.

Auf den Fluss am Duodenum bezogen wurden aus den niedrigen Dosen im Mittel 75,5, aus den hohen Dosen im Mittel 77,5 % ausgeschieden. Somit erhöhte die Fermentation im Dickdarm bei 876 g bzw. 1753 g Maisstärke-Infusion und 875 g bzw. 1750 g Weizenstärke-Infusion die Rohfaser-Verdauung im Darm um 9,4 (86,2 minus 76,8 %) bzw. 8,8 Prozentpunkte (87,3 minus 78,5 %) und 9,6 (83,8 minus 74,2 %) bzw. 10,7 Prozentpunkte (87,1 minus 76,4 %).

Innerhalb der Mais-Varianten wurde die Rohfaser bei Verabreichung der hohen Dosen um 1,7 ( $p > 0,05$ ), innerhalb der Weizen-Varianten um 2,2 Prozentpunkte ( $p \leq 0,05$ ) niedriger verdaut als bei Verabreichung der niedrigen Dosen. Weiterhin war auch hier ein Einfluss der Stärkequelle festzustellen. Innerhalb der niedrigen Dosen wurde die Rohfaser der Weizen-Variante um 2,6 ( $p \leq 0,05$ ), innerhalb der hohen Dosen um 2,1 Prozentpunkte höher verdaut ( $p \leq 0,05$ ).

#### 4.3.4 Freie Glucose im Dünndarm

Um zu überprüfen, ob Glucose, die bei der Stärkehydrolyse im Dünndarm freigesetzt wurde, im Ileum nachzuweisen war, wurde in den ilealen Darmsaftproben freie Glucose bestimmt (Tabelle 81).

Gegenüber der Vorperiode fanden sich in den Versuchsvarianten deutlich höhere Glucosemengen im ilealen Darmsaft vor (0,37-0,93 %). Zwischen den Maisstärke-Dosierungen zeigten sich keine Unterschiede, in der hohen Dosis fanden sich nur 0,03 Prozentpunkte mehr freie Glucose vor. Bei den Weizen-Varianten war in der hohen Dosis 0,32 Prozentpunkte mehr freie Glucose festzustellen als bei der niedrigen Dosierung.

**Tabelle 81: Freie Glucose im ilealen Darmsaft (% der ilealen DS-T; MW  $\pm$  SD; n=4)**

	Vor- periode	Maisstärke-Infusion		Weizenstärke-Infusion	
		876 g/d	1753 g/d	875 g/d	1750 g/d
9 d A	-	0,74 $\pm$ 0,43	0,85 $\pm$ 0,33	0,55 $\pm$ 0,48	1,11 $\pm$ 0,42
23 d A	-	0,76 $\pm$ 0,46	0,71 $\pm$ 0,24	0,69 $\pm$ 0,30	0,76 $\pm$ 0,18
gesamt	0,18 $\pm$ 0,01	0,75 $\pm$ 0,41	0,78 $\pm$ 0,28	0,62 $\pm$ 0,38	0,94 $\pm$ 0,35

DS = Darmsaft; A = Adaptation

Weiterhin war auffallend, dass bei den niedrigen Dosen die Werte nach 23 d Adaptation höher waren als nach 9 d, bei den hohen Dosen aber die Werte nach 9 d Adaptation. Insgesamt geben diese analysierten Werte der freien Glucose nur Tendenzen an, da sie aufgrund der hohen Standardabweichungen nicht überbewertet werden dürfen.

### 4.3.5 Konzentration der Blutglucose

Die an den vier Versuchstieren in der Vorperiode bestimmten Konzentrationen an Blutglucose lagen im Normalbereich und betragen 180 Minuten nach Fütterungsbeginn im Mittel  $3,2 \pm 0,2$  mmol/l. Die in den jeweiligen Stärke-Varianten ermittelten Blutglucose-Konzentrationen sind in Tabelle 82, die Werte für die Einzeltiere in Tabelle 16 im Anhang dargestellt.

**Tabelle 82: Konzentration an Blutglucose (mmol/l) bei den Kühen 180 Minuten nach Fütterungsbeginn in den jeweiligen Versuchsvarianten (MW  $\pm$ SD; n=4)**

Maisstärke-Infusion		Weizenstärke-Infusion	
876 g/d	1753 g/d	875 g/d	1750 g/d
$3,3 \pm 0,1$	$3,3 \pm 0,0$	$3,6 \pm 0,3$	$3,4 \pm 0,2$

Zwischen den Infusions-Varianten zeigten sich keine signifikanten Unterschiede, was auf die starke homöostatische Regelung der Blutglucose-Konzentration zurückzuführen ist. Die gemessenen Werte lagen im Normalbereich.

## 5 DISKUSSION

### 5.1 Methodenkritik

*In vivo*-Messungen von Nährstoffumsetzungen sind kosten-, arbeits- und zeitaufwendig. Zudem bergen die geringe Tierzahl, die Notwendigkeit des Einsatzes von Markern und durch das Personal bedingte Effekte Fehlerquellen (STERN et al. 1997). Die Durchführung von Versuchen mit Hilfe von Tieren, welche operativ mit Kanülen und/oder Fisteln verschiedener Art versehen sind, ist zudem oftmals mit Komplikationen verbunden. Bei HARMON und RICHARDS (1997) finden sich Hinweise, dass durch Kanülen die Darmperistaltik gehemmt wird und so auch Chymus-Rückflüsse, besonders im Duodenum, auftreten können. Einfache T-Kanülen wirken sich am wenigsten nachteilig auf die intestinale Motilität und den Chymus-Fluss aus (HARMON und RICHARDS 1997). Änderungen in der Verdaulichkeit der Nährstoffe durch Kanülen sind nicht beschrieben. Nachteilig bei T-Kanülen ist die Heterogenität des Darmsaftes, welche die Sammlung repräsentativer Proben schwierig macht. Im Ileum spielt dieses Problem eine geringere Rolle, da die Digesta homogener sind.

Das proximale Duodenum stellt gute Bedingungen für die Applikation einer Kanüle dar, da es nahezu unbeweglich und dicht an der Bauchwand gelegen ist. Aufgrund des niedrigen pH-Wertes besteht auch wenig Gefahr für eine postoperative Infektion. Beim Ileum dagegen findet sich eine hohe Anzahl von Bakterien, welche Infektionen verursachen können. Das Ileum und Caecum bewegen sich außerdem stärker, können sich drehen und von der Bauchwand weggleiten. Der Ort der Kanulierung ist damit schwieriger zu wählen. Weiterhin können am Ileum eher Verwachsungen, die die Kanüle mit der Zeit verschließen, oder andere postoperative Probleme auftreten (HARMON und RICHARDS 1997).

Bei den in dieser Arbeit dargestellten Versuchen kam es zu keinen Problemen, die in Zusammenhang mit der Fistulierung bzw. Kanulierung der Tiere standen. Die Kanülen wurden regelmäßig überprüft und die Fisteln gepflegt.

Im Versuch 3 (vgl. Abschnitt 3.4 bzw. 4.3) löste sich in einigen Fällen in den Wochen zwischen den Sammelperioden, wahrscheinlich durch das Ablegen bzw. Aufstehen der Tiere, das Verbindungsstück zwischen beiden Stümpfen der ilealen Re-entrant Kanüle, so dass etwas Darmsaft verloren ging, welches für den Versuch aber keine Auswirkungen hatte, außer dass die Nährstoffversorgung der Tiere geringfügig reduziert war. Der leichte Gewichtsverlust während des Versuches könnte z.T. hierauf, aber auch auf die verhaltene Fütterung und die Versuchsbelastungen zurückzuführen sein (vgl. Abschnitt 3.4.2; Tabelle 27).

Als kritisch ist die Art der Stärke-Applikation im Versuch 2 anzusehen. Aufgrund der fehlenden Ausstattung kam es zu der in 3.5.2.1 beschriebenen Weise der Applikation der Stärke. Eine solche zweimalige „Shot“-Applikation pro Tag könnte sich negativ auf die Verhältnisse im Darm und die Verdaulichkeitswerte auswirken. Die gefundenen Ergebnisse wiesen jedoch keine grundsätzlichen Unterschiede zu denen aus Versuch 3 mit kontinuierlicher Infusion auf. Die Einflussfaktoren Stärkemenge, Stärkequelle und Adaptationszeit führten in beiden Versuchen (4.2 und 4.3) zu prinzipiell gleichen Aussagen und reihten sich, wie im Abschnitt 5.3 dargestellt, sehr gut in Literaturdaten ein.

Es war festzustellen, dass die Tierkategorie (Bullen oder Kühe) und die Applikationsform (zweimalige Gabe pro Tag oder kontinuierliche Infusion) keinen erkennbaren Einfluss auf die Ergebnisse und die grundlegenden Aussagen zur Verdauung von Stärke und weiteren Rohnährstoffen im Dünndarm bzw. im Gesamtdarm ausübten.

In beiden Versuchen wurde jedoch nur die scheinbare Verdaulichkeit verschiedener Nährstoffe bzw. ihr Verschwinden aus dem Dünn- bzw. Gesamtdarm, nicht aber die hydrolysierte und absorbierte Menge bzw. deren intermediäre Verwertung, bestimmt. So blieb auch hier der Bedarf für den Stoffwechsel des Darmgewebes unberücksichtigt.

In der Mais- und Weizenstärke war keine Rohfaser enthalten (Tabelle 45; 4.2.1 und Tabelle 64; 4.3.1). Da grundsätzlich davon auszugehen ist, dass der Rohfaser-Fluss aus der Ration am Ileum durch die Stärke-Applikation bzw. -Infusion nicht beeinflusst wird, konnte ein Vergleich der Verdaulichkeiten der Rohfaser bis zum Ileum bzw. im Gesamttrakt in beiden Versuchen als Maßstab zur Überprüfung der aus den Werten des Vorversuches kalkulierten bzw. im Hauptversuch ermittelten Flussmengen bzw. Ausscheidungen aus der Futterration genutzt werden. Wie in 4.2.3.3 bzw. 4.3.3.3 und 5.3 bzw. 5.4 dargestellt, stimmten die kalkulierten mit den gemessenen Flussmengen sehr gut überein.

Die Bestimmtheitsmaße ( $B = r^2$ ; Tabellen 18 bis 24 im Anhang) waren recht hoch. Im Versuch 1 konnten im Mittel  $85,0 \pm 13,0 \%$  (0,51 bis 0,99), im Versuch 2  $85,0 \pm 9,0 \%$  (0,61 bis 0,98) und im Versuch 3  $88,0 \pm 14,0 \%$  (0,59 bis 0,99) aller Variationen mit Hilfe des gewählten statistischen Modells erklärt werden.

## **5.2 Pansenfermentation**

### **5.2.1 Pansenphysiologische Untersuchungen**

Im Versuch 1 (4.1) führte die Ration mit der Mais-Kraftfuttermischung bis etwa 140 Minuten ppr zu einem niedrigeren pH-Wert als die Ration mit der Weizen-Kraftfuttermischung (Abbildung 9 in 4.1.2).

Aus der Literatur ist jedoch bekannt, dass Maisstärke im Pansen langsamer und unvollständiger abgebaut wird als Gerste, Weizen oder Tapioka (vgl. 2.3.1; WALDO 1973; ØRSKOV 1986; SPICER et al. 1986; McCARTHY et al. 1989; HERRERA-SALDANA et al. 1990a; STREETER et al. 1990a; KUNG et al. 1992; BEYER et al. 1993, LEBZIEN und ENGLING 1995; LEBZIEN 1998) und somit bei gleicher Futteraufnahme weniger flüchtige Fettsäuren entstehen und der pH-Wert stabiler und auf höherem Niveau bleibt (ØRSKOV 1986; HERRERA-SALDANA et al. 1990a; BEYER et al. 1993; KENNELLY et al. 1999).

Bei gleicher Stärkeaufnahme wäre also bei der Weizengruppe mit niedrigerem pH-Wert zu rechnen gewesen als bei den Tieren mit Maisstärkeangebot. Dass dieser erwartete Effekt nicht beobachtet werden konnte (Abbildung 9 in 4.1.2), kann z.T. dadurch begründet werden, dass die Stärkeaufnahme in der Maisgruppe geringfügig höher war (6,3 vs. 6,0 kg) als in der Weizengruppe (Tabelle 33 und Tabelle 34 in 4.1.1). Bei einer Stärkeanflutung am Duodenum von 1523 g bei der Mais-Ration bzw. 295 g bei der Weizen-Ration (Tabelle 39 in 4.1.3) war damit die Menge an fermentierter Stärke im Pansen mit 4762 g für die Maisgruppe bzw.

5661 g für die Weizengruppe nahezu gleich. Trotzdem hätte der pH-Wert des Maises schon kurz nach Fütterungsbeginn oberhalb des pH-Wertes der Weizengruppe liegen müssen. Vermutlich nahmen die Tiere das Mais-Krafftutter schneller auf als das Weizen-Krafftutter, so dass der pH-Wert stärker sank.

Ab etwa 140 Minuten nach Fütterungsbeginn lag der pH-Wert in beiden Gruppen im physiologisch kritischen Bereich ( $<5,8$ ; LEBZIEN 2000). Allerdings war beim Mais ein Plateau bei pH 5,7 zu verzeichnen, während der pH-Wert beim Weizen ohne ersichtliches Plateau bis zum Ende des Messzeitraumes nach 300 Minuten ppr weiter abfiel (Abbildung 9 in 4.1.2). Diese Abnahme des pH-Wertes wirkte sich negativ auf die Verdaulichkeit der Rohfaser aus (vgl. 2.3.1; LEBZIEN 1985; ROHR et al. 1989; CONE 1991; WIDYOBROTO und PEYRAUD 1993; STERN et al. 1997; De VISSER et al. 1998; MEIJER et al. 1999), was im Weiteren noch diskutiert wird (vgl. 5.2.2).

pH-Werte unter 5,5 bewirken zuerst eine Eliminierung der Protozoen (EADIE et al. 1967), und die cellulolytischen Bakterien reduzieren ihre Aktivität (MERTENS und LOFTEN 1980), wohingegen die amylolytischen Bakterien erst bei einem pH-Wert von 5,1 in ihrem Wachstum gehemmt werden (RUSSELL et al. 1979). Der über drei Tage jeweils 180 Minuten ppr gemessene pH-Wert betrug bei der Mais-Variante 5,8 und bei der Weizen-Variante 5,5 und war damit signifikant verschieden ( $p \leq 0,05$ ; vgl. 4.1.2).

LEBZIEN und ENGLING (1995) fanden 180 Minuten ppr bei mais- bzw. weizenbetonten Krafftuttern in Kombination mit Grassilage (45 : 55 % auf T-Basis) in beiden Fällen einen pH-Wert von 6,3, d.h. es wurde aufgrund niedriger Anteile an Stärketrägern im Krafftutter kein Unterschied zwischen den Varianten gefunden.

Untersuchungen von PHILIPPEAU et al. (1999a), AXE et al. (1987), FLACHOWSKY (1994) und JENTSCH et al. (1992) bestätigten den 3 h nach Beginn der Morgenfütterung im eigenen Versuch 1 gefundenen Unterschied zwischen schnell und langsam abbaubaren Stärkequellen. 3 Stunden nach Beginn der Morgenfütterung fanden PHILIPPEAU et al. (1999a) einen pH-Wert von 6,5 für Mais bzw. 6,3 für Weizen, AXE et al. (1987) 5,9 für eine Sorghum-Ration bzw. 5,7 für eine Weizen-Ration, FLACHOWSKY et al. (1993) 6,3 für Mais bzw. 5,8 für Gerste bei einem Krafftutteranteil von 75 % und JENTSCH et al. (1992) 6,5 für Mais bzw. 6,3 für Gerste bei einem Krafftutteranteil von 50 % (vgl. Tabelle 6 in 2.3.1.2).

Insgesamt zeigten sich höhere Mengen Maisschrot als pansenphysiologisch weniger bedenklich als hohe Mengen Weizenschrot. Trotz der relativ geringen Unterschiede im pH-Wert war im Versuch 1 die ruminale Verdaulichkeit der Rohfaser bei der maisbetonten Ration mit 76,3 % deutlich höher als bei der weizenbetonten mit 69,2 % (vgl. 4.1.3 und Tabelle 43).

Bezüglich des pH-Wertes war zudem ein Adaptationsprozess zu beobachten. Die über drei Tage gemittelten, 180 Minuten ppr gemessenen pH-Werte betrugen nach 14 Tagen Adaptation 5,4, nach 35 Tagen jedoch 5,8 und waren damit hoch signifikant verschieden ( $p \leq 0,01$ ). In Abbildung 10 in 4.1.2 wird deutlich, dass durch eine längere Gewöhnung an krafftutterreiche Rationen der pH-Wert weniger absinkt. 30 und ab 90 Minuten ppr war der Effekt der Adaptationszeiten signifikant ( $p \leq 0,05$ ). Nach 300 Minuten betrug der Unterschied 0,7 Einheiten ( $p \leq 0,05$ ).

In der Literatur liegen Untersuchungen zum Einfluss unterschiedlich langer Adaptationszeiten an Rationen auf die Pansenfermentation nur sehr begrenzt vor (CLEMENS und JOHNSON

1973; KAUFFOLD et al. 1975; BERGNER und MÜNCHOW 1978; HA et al. 1983; WEISS 1994). Anpassungsreaktionen der Pansenschleimhaut bei veränderten Ernährungsbedingungen beginnen unmittelbar nach der Rationsumstellung. Dabei sind Sofortwirkungen (veränderte Sauerstoffaufnahme und Zellkernvolumen) von Langzeitwirkungen (qualitative morphologische Merkmale, wie gewebliche Proliferation und Regression) zu unterscheiden (KAUFFOLD et al. 1975; DIRKSEN et al. 1986). Mit stark proliferierter Pansenschleimhaut der intensiv ernährten Kälber konnten beträchtlich größere Mengen an Fettsäuren absorbiert werden als bei durch Heufütterung geringer ausgebildeter Pansenschleimhaut (DIRKSEN et al. 1986). Die Pansenschleimhaut reguliert somit den pH-Wert, indem sie die Anhäufung von Säuren und somit einen weiteren Abfall des pH-Wertes verhindert.

An Rationen mit niedrigen Stärkegehalten adaptieren sich die Tiere innerhalb von 10 Tagen (CLEMENS und JOHNSON 1973), ansonsten führen die Anpassungen nach KAUFFOLD et al. (1975) nach drei Wochen zu stabilen pansenphysiologischen Verhältnissen. DIRKSEN et al. (1986) konnten mit einer Studie an Kühen, die mit Beginn der Trockenstehzeit eine energiearme Ration erhielten und 14 Tage vor der Kalbung auf energiereiches Futter umgestellt wurden, nachweisen, dass die Pansenschleimhaut der Tiere erst vier bis fünf Wochen nach der Umstellung auf die energiereiche Ration den Proliferationsgrad erreicht hatte, den sie vor Verabreichung des energiearmen Futter auswies.

BERGNER und MÜNCHOW (1978) fanden nach 6-wöchiger gegenüber 2-wöchiger Adaptationszeit an verschiedene Trockenfutter-Rationen 180 Minuten nach Fütterungsbeginn keine Unterschiede im pH-Wert, welcher im Mittel 6,9 betrug. HA et al. (1983) untersuchten an Lämmern, die mit 97 % Mais in der Ration gefüttert wurden, die Wirkung verschiedener Puffer auf Pansen- und Blutparameter und stellten fest, dass nach einer Adaptationszeit von ca. 14 Tagen die Pansen- und Blutparameter nicht mehr durch die verschiedenen Puffersubstanzen zu beeinflussen waren.

In den Versuchen 2 und 3 (Abschnitte 4.2.2 und 4.3.2) wurden die pH-Werte nur zur Charakterisierung der Vormagenverhältnisse gemessen und lagen mit 6,6-6,8 im Versuch 2 bzw. 6,7-6,9 im Versuch 3 in einem physiologisch günstigen Bereich. Dabei waren zwischen den Versuchsvarianten keinerlei Unterschiede festzustellen, da die Stärkegabe ins Duodenum erfolgte.

Ein niedriger pH-Wert im Pansen weist auf eine hohe Konzentration an flüchtigen Fettsäuren (FFS) im Pansen hin, welche aus dem Umfang ihrer Bildung und der Geschwindigkeit ihrer Absorption resultiert. Ihre Gesamtkonzentration war im Versuch 1 (4.1.2) bei der weizenbetonten Ration aufgrund der intensiven Umsetzungen im Pansen höher ( $143,8 \pm 18,4$  vs.  $134,7 \pm 16,2$ ). Dieser Befund stimmte mit dem anderer Autoren überein (ROHR und KAUFMANN 1975; AXE et al. 1987; JIANZHONG 1998; PHILIPPEAU et al. 1999a; KENNELLY et al. 1999). So fanden LOOSE et al. (1998a) 180 Minuten ppr beim Weizenschrot  $114,3 \pm 15,8$ , beim Maisschrot  $89,4 \pm 15,7$  mmol FFS /l. BURGWALD-BALSTADT et al. (1995) ermittelten 180 Minuten ppr bei Verabreichung konzentratreicher Rationen  $145,8$  mmol FFS /l, bei grobfutterreichen Rationen  $111,8$  mmol FFS /l.

Die um 21 Tage längere Adaptationszeit im Versuch 1 resultierte in Übereinstimmung mit dem höheren pH-Wert in signifikant niedriger Gesamtfettsäuren-Konzentration im Pansensaft ( $134,3$  vs.  $144,1$  mmol FFS/l;  $p \leq 0,05$ ; vgl. 4.1.2). Dieser Befund steht in Übereinstimmung mit Ergebnissen von BERGNER und MÜNCHOW (1978), welche bei 6-wöchiger gegenüber 2-wöchiger Adaptationszeit an verschiedene Trockenfutter-Rationen einen tendenziellen

Abfall von 82,3 auf 80,7 mmol FFS/l fanden. Der Adaptationseffekt dürfte jedoch weniger auf eine verminderte Fettsäurenproduktion als auf eine erhöhte Fettsäurenabsorption zurückzuführen sein, denn Wiederkäuer sind in der Lage, ihre Absorptionskapazität bei erhöhter Konzentration an FFS durch Vergrößerung der Pansenschleimhaut (Proliferation) zu erhöhen (WEIGAND et al. 1975; DIRKSEN et al. 1986; WEISS 1994).

Nach ROHR und KAUFMANN (1975), ØRSKOV und OLTJEN (1967), FUCHANG (1998), JIANZHONG (1998) und KENNELLY et al. (1999) bedingt ein hoher Gehalt an Stärke große Anteile an Propionsäure im Pansensaft. Dies kann für die Glucoseversorgung der Milchkuh von Bedeutung sein, da Propionsäure das Hauptausgangsprodukt für die Gluconeogenese beim Wiederkäuer ist (Abschnitte 2.3.1 und 2.4).

Andererseits ist der Essigsäure-Anteil bei schnell abbaubaren Getreiden aufgrund der intensiven Umsetzungen im Pansen erniedrigt (PHILIPPEAU et al. 1999a; vgl. Abschnitt 2.3.1). BURGWALD-BALSTADT et al. (1995) fanden bei konzentrat- gegenüber grobfutterreichen Rationen Essigsäure-Anteile von 50,7 bzw. 70,3 Mol % und Propionsäure-Anteile von 28,7 bzw. 17,5 Mol %.

Der Essigsäureanteil an den Gesamtfettsäuren war auch im vorliegenden Versuch 1 bei der weizenbetonten gegenüber der maisbetonten Ration tendenziell vermindert (56,9 vs. 59,0), der Propionsäureanteil ( $p \leq 0,001$ ) signifikant erhöht (28,1 vs. 22,7), so dass sich das engere Acetat:Propionat-Verhältnis bei der weizenbetonten Ration ergab (2,0 vs. 2,6). Somit war nicht nur der hohe Stärkeanteil in der Ration, sondern maßgeblich die unterschiedliche Abbaubarkeit der Stärkequellen von Bedeutung (vgl. 4.1.2).

Übereinstimmend fanden McCARTHY et al. (1989) eine Verminderung des Essigsäurespiegels in Verbindung mit schnell abbaubaren Getreiden im Vergleich zu hohen Maisgaben (57,3 gegenüber 60,0 mol%). Auch LEBIZEN und ENGLING (1995) beobachteten bei den Tieren, die eine maisbetonte Kraftfuttermischung erhielten, signifikant höhere Essigsäure- (68,9 vs. 60,2) und geringere Propionsäureanteile (16,5 vs. 20,7). Das engste Acetat:Propionat-Verhältnis fand sich in diesem Versuch bei der Weizengruppe (2,9 : 1), das weiteste beim Einsatz von maisbetontem Kraftfutter (4,2 : 1).

Die um 21 Tage längere Adaptation führte im Versuch 1 zu signifikant erniedrigten Propionsäure-Gehalten im Pansensaft (23,8 vs. 25,3 Mol %;  $p \leq 0,001$ ; vgl. 4.1.2). Dieser Befund stimmt in der Tendenz mit Ergebnissen von BERGNER und MÜNCHOW (1978) überein, welche nach 6-wöchiger gegenüber 2-wöchiger Adaptationszeit an verschiedene Trockenfutter-Rationen Werte von im Mittel 15,5 gegenüber 17,4 Mol % fanden. Auch HA et al. (1983) fanden nach ca. 14 Tagen Adaptationszeit an konzentratreiche Rationen bei Lämmern einen erniedrigten Propionat-Gehalt von 21,9 vs. 32,9 Mol %.

Die  $\text{NH}_3\text{-N}$ -Konzentrationen im Pansensaft lagen im Versuch 1 (4.1.2) außer zu Fütterungsbeginn während des gesamten Messzeitraumes über dem Minimalwert für eine effektive mikrobielle Proteinsynthese von 50 mg/l Pansensaft (SATTER und ROFFLER 1975; SLYTER et al. 1979). Auch in den Versuchen 2 und 3 lagen die  $\text{NH}_3\text{-N}$ -Werte mit im Mittel  $231,7 \pm 17,9$  und  $132,3 \pm 19,1$  mg/l Pansensaft oberhalb des Minimalwertes.

Desweiteren lag der  $\text{NH}_3\text{-N}$ -Wert im Versuch 1 für die maisbetonte Ration aufgrund der etwas geringeren zur Verfügung stehenden Energie für die mikrobielle Proteinsynthese und dem damit einhergehenden geringeren Verbrauch von Ammoniak über dem der

weizenbetonten Ration. Dieser Effekt war 90 ( $p \leq 0,05$ ), 120 ( $p \leq 0,01$ ) und 180 Minuten ( $p \leq 0,05$ ) nach Fütterungsbeginn signifikant. Der über drei Tage gemittelte, 180 Minuten ppr gemessene  $\text{NH}_3\text{-N}$ -Gehalt betrug 178,1 mg/l Pansensaft für die Maisvariante bzw. 62,8 mg/l für die Weizenvariante.

Der höhere Ammoniak-Stickstoffgehalt im Versuch 2 gegenüber dem im Versuch 3 (231,7 bzw. 132,3 mg/l; vgl. Abschnitte 4.2.2 und 4.3.2) war durch den höheren Rohproteingehalt in der Ration der Bullen (Versuch 2: 14,1 % in der T) gegenüber der Ration der Kühe (Versuch 3: 10,6 % in der T) zu erklären.

## **5.2.2 Ruminale Verdaulichkeiten bzw. Nährstoff-Fluss am Duodenum**

Im Versuch 1 (4.1) flossen aufgrund der weniger intensiven ruminalen Umsetzungen bei der maisbetonten Ration signifikant mehr Trockensubstanz (5,5 Prozentpunkte Differenz), organische Substanz (6,6 Prozentpunkte), NfE (11,9 Prozentpunkte) und Stärke (19,2 Prozentpunkte) am Duodenum der Tiere als bei der weizenbetonten Ration an (Tabelle 39 in 4.1.3).

Zu ähnlichen Werten kamen LOOSE et al. (1998a), die mit 7,0 Prozentpunkten bzw. 32,0 Prozentpunkten Differenz eine erhöhte Anflutung von organischer Substanz bzw. Stärke aus Maisschrot gegenüber Weizenschrot feststellten.

Die ruminale Verdaulichkeit der Trockensubstanz betrug im Versuch 1 bei der maisbetonten Ration 38,4 %, bei der weizenbetonten 43,9 % (Tabelle 43 in 4.1.3). Letztere lag niedriger als die von BOCK et al. (1991) ermittelte Verdaulichkeit von 59,1 % bei einer Weizenschrot-Maissilage-Ration. Das lässt sich zum einen durch die niedrigere T-Aufnahme der Tiere im Versuch von BOCK et al. (1991; 7,9 kg, damit einhergehende niedrigerer Passagerate durch den Pansen als im eigenen Versuch mit 17,2 kg T-Aufnahme) und zum anderen dadurch erklären, dass die von BOCK et al. (1991) verabreichte Ration mit Maissilage sicherlich insgesamt höher verdaulich war als die im Versuch 1 verfütterte mit Grassilage.

KUNG et al. (1992) fanden bei der Verabreichung von Maissilage und Mais als Kraftfutter eine ruminale Verdaulichkeit der organischen Substanz von 44,3 %, bei Gerste als Kraftfutter 49,3 %. Damit wurde in diesem Versuch eine um 5,0 Prozentpunkte höhere Verdaulichkeit bei der Gersten-Ration als leicht abbaubare Stärkequelle gegenüber der Mais-Ration als schwer abbaubare Stärkequelle im Vergleich zu 6,6 Prozentpunkten im eigenen Versuch 1 ermittelt. AXE et al. (1987) beobachteten eine um 24,1 Prozentpunkte höhere ruminale Verdaulichkeit der organischen Substanz bei einer Weizen-Ration (66,4 %) gegenüber einer Sorghum-Ration (42,3 %) und damit eine größere Differenz als im eigenen Versuch 1, allerdings lag in dieser Untersuchung ein anderes Grundfutter-Kraftfutter-Verhältnis als im eigenen Versuch vor.

Die ruminale Verdaulichkeit der Stärke im Versuch 1 betrug 75,8 % bei der maisbetonten Ration bzw. 95,0 % bei der weizenbetonten Ration (Tabelle 43 in 4.1.3). Andere Autoren fanden bei mais- oder sorghumbetonten Rationen einen Stärkeabbau im Pansen in einer Spanne von 42,3 bis 92,7 % (KARR et al. 1966; GOETSCH et al. 1986; SPICER et al. 1986; AXE et al. 1987; McCARTHY et al. 1989; STREETER et al. 1990d; KUNG et al. 1992). Bei weizen- oder gerstebetonten Rationen wird eine Spanne von 73,1 bis 96,5 % in der Literatur

angegeben (AXE et al. 1987; McCARTHY et al. 1989; ZINN 1989; BOCK et al. 1991; KUNG et al. 1992; vgl. auch Tabelle 3 in 2.3.1.1).

Als Grund für die unterschiedlichen Verdaulichkeiten innerhalb der langsam bzw. schnell abbaubaren Stärkequellen kommen neben ihrer verschiedenartigen Aufbereitung die Höhe der Futterraufnahme, unterschiedliche Grundfutter : Kraftfutter-Verhältnisse, Fütterungsfrequenzen sowie Sortenunterschiede in Betracht (NOCEK und TAMMINGA 1991). Mit zunehmendem ruminalen Stärkeabbau steht ein geringerer Anteil an Bypass-Stärke für die Glucoseversorgung der Milchkuh zur Verfügung.

Die aus der Literatur bekannte Abnahme der Rohfaserverdaulichkeit mit höheren Stärkeanteilen oder bei ruminal schnell abbaubaren Stärketrägern (MERTENS und LOFTEN 1980; KELLNER et al. 1985; ROHR et al. 1989; WIDYOBROTO und PEYRAUD 1993; De VISSER et al. 1998; MEIJER et al. 1999) konnte im Versuch 1 bestätigt werden (Tabelle 43 in 4.1.3) und zeigt, dass die cellulolytischen Pansenmikroben sehr empfindlich auf fallende pH-Werte reagieren und in ihrer Tätigkeit gehemmt sind.

Im Versuch 1 flossen bei der weizenbetonten Ration gegenüber der maisbetonen 165 g mehr Rohfaser am Dünndarm an, was einer um 7,1 Prozentpunkte geringeren ruminalen Rohfaserverdauung entsprach (76,3 vs. 69,2 %). Die Pansenmikroben reagierten vermutlich, wie schon in 4.1.3 angesprochen, bei der weizenbetonten Ration auf den durch vermehrte Fettsäureproduktion erniedrigten pH-Wert im Pansen, auch wenn dieser erst 140 Minuten ppr unter dem der maisbetonten Ration lag, und verloren an cellulolytischer Aktivität.

Die tägliche nXP-Aufnahme (Tabelle 35 in 4.1.1) betrug bei der maisbetonten Ration 2805 g, bei der weizenbetonten Ration 2760 g, die tägliche RNB betrug -38 g bei der maisbetonten bzw. -5 g bei der weizenbetonten Ration. Ein Vergleich dieser nach den DLG-Futterwerttabellen (1997) und der GfE (2000) kalkulierten nXP-Werte (Tabelle 35 in 4.1.1) mit den aus der Chymus-Sammlung ermittelten nXP-Werten von 2771 g für die maisbetonte bzw. 2878 g für die weizenbetonte Ration (Tabelle 41 in 4.1.3) zeigt, dass zwischen den geschätzten und gemessenen Werten bei der Kraftfuttermischung mit Mais eine Differenz von 34 g, bei der Mischung mit Weizen eine Differenz von 118 g bestand. Somit wurde die nXP-Menge um 1,2 bzw. 4,1 Prozentpunkte unter- bzw. überschätzt. Eine ausreichende Protein-Versorgung der Tiere war folglich gegeben.

Ein Mangel an im Pansen verfügbarem Stickstoff kann zur Beeinträchtigung der Pansenfermentation und der mikrobiellen Proteinsynthese führen, da Pansenbakterien ihren N-Bedarf vorwiegend über Ammoniak decken, welches für über 80 % der Bakterienarten essentiell ist (BRYANT 1963; PIATKOWSKI et al. 1990). Das Ammoniak stammt dabei sowohl aus der Desaminierung von Aminosäuren und aus dem Abbau von NPN-Verbindungen als auch aus dem rumeno-hepatischen Kreislauf (KAUFMANN und HAGEMEISTER 1975).

Bei der weizenbetonten Ration wurde wiederum durch die im Pansen zusätzlich zur Verfügung stehende Energie mehr mikrobielles Protein gebildet als bei der maisbetonten Ration (4.1.3). Da bei der maisbetonten Ration jedoch mehr unabgebautes Futterprotein anfließt (LEBZIEN et al. 1983), betrug die Differenz zwischen der Weizen- und der Mais-Variante nur 88 g. Bezogen auf die Aufnahme, welche bei der Weizen-Variante höher war, lag der Rohproteinfluss am Duodenum aufgrund der Proteinsynthese aus dem rezirkulierten N

sowie den endogenen N-Zuflüssen bei 118,4 % gegenüber 124,1 % bei der Mais-Variante und damit 5,7 Prozentpunkte niedriger.

Im Versuch 1 erreichten zwar bei der maisbetonten Ration (4.1.3) 179 g mehr Rohfett den Darm, jedoch in % der Aufnahme 15,6 Prozentpunkte weniger, was mit der weniger im Pansen zur Verfügung stehenden Energie der Mais-Ration gegenüber der Weizen-Ration und der damit einhergehenden geringeren mikrobiellen Fettsynthese zusammenhängt (KNIGHT et al. 1978; BØRSTING und WEISBJERG 1989). Bei der Weizen-Ration erreichten aufgrund des zusätzlich durch die Pansenmikroben synthetisierten Fettes 105,0 % der aufgenommenen Menge den Dünndarm.

Insgesamt wurde die maisbetonte Ration aufgrund der in Abschnitt 2.3.1 dargestellten Eigenschaften des Maises (NOCEK und TAMMINGA 1991; CONE 1991; FLACHOWSKY 1994; OWENS et al. 1998) als langsam abbaubare Stärkequelle unvollständiger und langsamer im Pansen umgesetzt als die Ration mit Weizen als schnell abbaubare Stärkequelle.

In den Versuchen 2 und 3 wurden ruminale Verdaulichkeiten nur in den Vorperioden bestimmt. In den Versuchsperioden erfolgte die duodenale Applikation bzw. Infusion der Stärke und die Probenentnahme aus dem Ileum und dem Kot.

Die ruminalen Verdaulichkeiten im Versuch 2 (T: 63,2 %; OS: 67,7 %; XX: 71,8 %; vgl. Tabelle 51 in 4.2.3) fielen sehr hoch aus. Die ruminalen Verdaulichkeiten im Versuch 3 (T: 29,7 %; OS: 41,7 %; XX: 58,3 %, vgl. Tabelle 70 in 4.3.3) stimmten dagegen gut mit den von JOCHMANN (1999) und LOOSE (1999) gefundenen Werten an Milchkühen überein. Als mögliche Erklärung für diese hohe Verdaulichkeit im Versuch 2 könnte die niedrige Lebendmasse der Bullen von im Mittel 350 kg dienen. Diese Tiere waren noch recht klein und deshalb nicht mit ausgewachsenen bzw. älteren Tieren zu vergleichen. Der noch relativ kleine Pansen der Bullen könnte zu einer anderen Passagerate und Pansenfermentation als bei ausgewachsenen Kühen führen. Weiterhin wurde im Gegensatz zum Versuch 3, in dem in der Vorperiode Stroh verfüttert wurde, kein Stroh verfüttert, was die Verdaulichkeit etwas erhöht haben könnte.

Somit stellt sich die Frage, ob Versuche zur Bestimmung der ruminalen Verdaulichkeit an Bullen geeignet sind, um Schlussfolgerungen für die Fütterung ausgewachsener Milchkühe zu ziehen. Aber obwohl die ruminalen Verdaulichkeiten so unterschiedlich ausfielen, konnten bei der Verdaulichkeit im Dünn- bzw. Gesamtdarm keine grundsätzlichen Unterschiede zwischen den Ergebnissen der Versuche 2 und 3 gefunden werden (vgl. 4.2; 4.3 und 5.3). Die postruminale Verdaulichkeit unterlag, im Gegensatz zur ruminalen, nicht der starken Beeinflussung durch Tierkategorie, Alter, physiologischen Status und dadurch veränderte Fermentationsbedingungen, wie das anscheinend beim Hauptkompartiment Pansen der Fall ist. Auch zahlreiche Ergebnisse aus der Literatur zeigen (Tabelle 9 in 2.3.1.2 und Abbildung 17 in 5.3), dass für die Bestimmung postruminaler Verdaulichkeiten sowohl Versuche an Bullen als auch an Milchkühen herangezogen werden können.

Die ruminale Verdaulichkeit der Stärke war weniger durch die Tierkategorie beeinflusst und lag im Versuch 2 mit 95,1 % (4.2.3) ähnlich hoch wie die im Versuch 3 mit 94,8 % (4.3.3).

### 5.3 Hydrolyse und Absorption verschiedener Nährstoffe im Dünndarm

In den Versuchen 2 und 3 wurde nur die scheinbare Verdaulichkeit bestimmt, nicht aber zwischen hydrolysierter und absorbierter Menge bzw. der intermediären Verwertung unterschieden.

Ein interessanter Unterschied zeigte sich bei der Verdaulichkeit der organischen Substanz bezogen auf die Flussmenge am Duodenum. Im Versuch 2 erreichten aus Ration und Stärke-Applikation (4.2.3.1) bei den niedrigen Dosen 57,8 %, bei den hohen Dosen 54,8 % der organischen Substanz das Ileum. Das entsprach einer Erhöhung der OS-Verdaulichkeit von jeweils 3,3 (Maisvarianten;  $p \leq 0,01$ ) bzw. 2,7 Prozentpunkten (Weizenvariante;  $p \leq 0,05$ ) trotz zunehmender Stärkemenge am Duodenum. Als Erklärung kann der höhere Stärkeanteil und die damit größere Menge an leichtverdaulichen Kohlenhydraten dienen.

Im Gegensatz dazu erreichten im Versuch 3, bezogen auf die Flussmenge an organischer Substanz am Duodenum, aus Futter und Infusion bei den niedrigen Dosen 54,3 % und bei den hohen Dosen 57,9 % das Ileum, d.h. bei der hohen Stärkemenge am Duodenum lag die OS-Verdaulichkeit um 3,9 (Maisvariante;  $p \leq 0,001$ ) bzw. 3,2 Prozentpunkte (Weizenvariante;  $p \leq 0,001$ ) niedriger als bei der geringeren Stärkemenge. Der Effekt der Erhöhung der Verdaulichkeit durch den höheren Anteil leichtverdaulicher Komponenten aus der Infusion an der Gesamtzufuhr wurde somit von der bei großen Stärkemengen im Duodenum abnehmenden Stärkeverdauung im Dünndarm (4.2.3.1 und 4.3.3.1) überlagert.

Die in Tabelle 83 aufgeführten Ergebnisse zur intestinalen Stärkeverdaulichkeit aus den eigenen Versuchen bzw. aus Versuchen anderer Autoren zeigen eine recht gute Übereinstimmung.

Der von ZINN (1989) gefundene Wert für Gerste ist als extrem niedrig anzusehen. Eine Erklärung hierfür kann nicht gegeben werden. Wie in 2.3.1.2 beschrieben, verdeutlichen die erheblichen Streuungen das Wirken vieler verschiedener Einflussfaktoren. Zudem gestaltet sich ein Vergleich eigener Werte mit denen anderer Autoren oft schwierig, da viele Einflussfaktoren, wie genaue Rationsgestaltung, Futtermittelverabreichung, Versuchsbedingungen und Tiereigenschaften nicht immer angegeben sind.

Bei der Betrachtung der Verdaulichkeit von Stärke im Dünndarm machten die im Versuch 2 nach Stärke-Applikation gefundenen Ergebnisse insgesamt deutlich (4.2.3.2), dass weniger die Stärkequelle (Mais oder Weizen), sondern vielmehr die Menge an Bypass-Stärke eine Rolle spielte. Die Verdaulichkeit nahm mit steigender Menge an Stärke ab und erreichte bei großen Bypass-Mengen Werte, die die energetische Nutzung der Bypass-Stärke durch das Tier uneffektiv werden lassen.

**Tabelle 83: Intestinale Verdaulichkeit der Stärke - Vergleich eigener Ergebnisse mit denen anderer Autoren**

Versuch / Autor	Stärkequelle	Stärke-Aufnahme in kg	Stärkemenge am Duodenum in g	Intestinale Stärke-Verdaulichkeit
				in % der Zufuhr
Versuch 2 (4.2.3); mit Stärke-Applikation	Mais	1,7	653	87,3
	Weizen	1,7	655	88,3
	Mais	2,3	1307	80,3
	Weizen	2,3	1309	79,9
Versuch 3 (4.3.3); mit Stärke-Infusion	Mais	1,5	876	81,4
	Weizen	1,5	875	83,2
	Mais	2,4	1753	61,8
	Weizen	2,4	1750	63,9
ZINN (1989)	Gerste	2,1	200	77,3
KARR et al. (1966)	Gerste	1,0	360	92,7
	Gerste	1,9	540	85,4
	Gerste	2,4	780	78,3
	Gerste	2,7	980	64,3
				in % des duodenalen Flusses
Versuch 2 (4.2.3); mit Stärke-Applikation	Mais	1,7	653	69,9
	Weizen	1,7	655	66,9
	Mais	2,3	1307	65,9
	Weizen	2,3	1309	65,2
Versuch 3 (4.3.3); mit Stärke-Infusion	Mais	1,5	876	71,2
	Weizen	1,5	875	73,5
	Mais	2,4	1753	50,1
	Weizen	2,4	1750	53,3
AXE et al. (1987)	Weizen	2,8	520	95,2
	Sorghum	2,7	1390	65,9

Demgegenüber zeigten die Ergebnisse des Versuchs 3 nach Stärke-Infusion auch signifikante Unterschiede zwischen den Stärkequellen) und deuten somit darauf hin, dass nicht nur die Menge an Stärke, die den Dünndarm erreicht, sondern auch die Eigenschaften der Stärkequellen einen Einfluss auf die intestinale Stärke-Verdauung ausüben. Die Weizenstärke wurde gegenüber der Maisstärke im Versuch 2 tendenziell, im Versuch 3 sogar signifikant höher verdaut (Tabelle 57 in 4.2.3.2; Tabelle 76 in 4.3.3.2). In diesen Versuchen gelangten gleiche Mengen der jeweiligen Stärke in den Dünndarm, somit wurden die spezifischen Unterschiede zwischen den Stärkequellen sichtbar. Dennoch überwog deutlich der Einfluss der Stärkemenge auf die intestinale Stärkeverdauung.

Van VUUREN et al. (1997) unterstrichen demgegenüber, dass unter praktischen Fütterungsbedingungen die postruminale Stärkeverdauung sogar zum größeren Teil von den physikalisch-chemischen Eigenschaften der Stärke und nicht von tierspezifischen Faktoren abhängt. Diese These kann durch die eigenen Versuche nicht bestätigt werden, da die Unterschiede zwischen den Stärkedosen in Versuch 2 und 3 stärker ausfielen als die zwischen den Stärkequellen, wobei davon ausgegangen wird, dass bei den Stärkedosen die tierspezifischen Einflussfaktoren, aber bei den Stärkequellen die physikalisch-chemischen

Eigenschaften derselben stärker zum Tragen kommen. MILLS et al. (1999b) kamen zu dem Ergebnis, dass ein Zusammenspiel zwischen futtermittel- und tierspezifischen Faktoren vorliegt.

Der Einfluss der Stärkequelle auf die Stärkeverdauung im Dünndarm wurde auch von anderen Autoren untersucht (HIBBERD et al. 1985). In Versuchen von STREETER et al. (1990a) wurden von der in das Duodenum gelangenden Stärke 12 % (gelbes Sorghum) bis 29 % (hetero-gelbes Sorghum) im Dünndarm verdaut. Die Gesamttrakt-Verdaulichkeit unterschied sich zwischen den Stärkequellen jedoch nicht.

Bei geringerer ruminaler Verdauung ist logischerweise der Anteil postruminaler Verdauung an der Gesamtverdauung höher. So fanden MILLS et al. (1999b) in Auswertung verschiedener Untersuchungen eine tendenziell niedrigere postruminale Verdaulichkeit bezogen auf die gesamte Verdaulichkeit für Weizen und Gerste (14 %) als für trockengewalzten Mais bzw. Sorghum (33 bzw. 44 %). Dieser Befund kann durch die kompensatorische höhere Verdauung der ansonsten bis dahin langsam abbaubaren Stärkequellen erklärt werden.

Die höhere intestinale Verdaulichkeit der organischen Substanz der maisbetonten Kraftfutter-Variante mit 31,6 % gegenüber der weizenbetonten Kraftfutter-Variante mit 26,9 % im Versuch 1 ( $p \leq 0,05$ ) bestätigte die Befunde von MILLS et al. (1999b). Bei der Verdaulichkeit der Stärke war der Unterschied mit 17,7 % für das Mais-Kraftfutter bzw. 4,1 % für das Weizen-Kraftfutter noch deutlicher ( $p \leq 0,01$ ).

Wie in 5.1 bereits erwähnt, wurde die Rohfaser-Flussmenge am Ileum als Maßstab zur Überprüfung der kalkulierten bzw. der gemessenen Werte herangezogen, da die Applikation bzw. die Infusion keine Rohfaser enthielt und somit der Rohfaser-Fluss nicht beeinflusst wurde. Im Versuch 2 (Tabelle 60 in 4.2.3.3) betrug die Abweichungen zwischen ermitteltem und kalkuliertem Fluss 2,3 bzw. 3,8 Prozentpunkte und zeigten, dass die Kalkulation gerechtfertigt war und in der richtigen Größenordnung lag. Ebenso erwies sich im Versuch 3 (Tabelle 79 in 4.3.3.3), dass die Abweichungen zwischen gemessenem und kalkuliertem Fluss nur jeweils 1,3 Prozentpunkte betrug und somit die Kalkulation sehr nah am tatsächlichen Wert lag.

Als weiterer Einflussfaktor wurden unterschiedlich lange Adaptationszeiten (9 und 23 d) untersucht. Im Versuch 2 erbrachte die um 14 Tage längere Adaptationszeit meist nur eine tendenzielle Erhöhung der Verdaulichkeit (vgl. 4.2.3), jedoch bei der präcaecalen Verdaulichkeit der organischen Substanz der großen Dosis Weizenstärke bezogen auf die Zufuhr eine signifikante Erhöhung der Verdaulichkeit (+0,7 Prozentpunkte; Tabelle 54 in 4.2.3.1). Auch bei der präcaecalen Verdaulichkeit der Stärke wurde bei der hohen Dosis Weizenstärke bezogen auf die Zufuhr (+2,7), auf den duodenalen Fluss (+4,9) und auf die Applikation selbst (+5,1 Prozentpunkte) eine signifikante Erhöhung der Verdaulichkeit ( $p \leq 0,05$ ) festgestellt.

Im Versuch 3 waren die Unterschiede durch die gewählten Infusionsmengen von 1000 bzw. 2000 g deutlicher. So wurden signifikante Erhöhungen der präcaecalen OS-Verdaulichkeit in allen vier Varianten bezogen auf die Zufuhr und Infusion selbst gefunden, bezogen auf den duodenalen Fluss nur bei den Mais-Varianten (+0,3 bis +3,2 Prozentpunkte;  $p \leq 0,05$  bis  $p \leq 0,01$ ; Tabelle 73 in 4.3.3.1). Die präcaecale Stärke-Verdaulichkeit war bezogen auf die

Zufuhr, den duodenalen Fluss und die Infusion selbst in jeder der vier Varianten signifikant höher (+1,2 bis +2,8 Prozentpunkte;  $p \leq 0,05$ ; Tabelle 76 in 4.3.3.2).

Diese Befunde stehen in Übereinstimmung mit Ergebnissen von BAUER et al. (1995), welche bei adaptierten Tieren nach abomasaler Stärke-Infusion einen erhöhten Glucoseflux durch die PDV, niedrigere Lactat-, Ammoniak- und Harnstoffgehalte fanden und somit auch Adaptationseffekte nachweisen konnten. Andere Autoren postulierten wiederum, dass eine Adaptation minimal ist und mehr als 14 Tage benötigt (McALLAN und LEWIS 1985; HARMON 1992; KREIKEMEIER et al. 1991). Möglich ist, dass in den eigenen Untersuchungen der Adaptationseffekt noch größer gewesen wäre, wenn eine Sammlung zwischen dem 1-5.Tag und danach zwischen dem 14.-18.Tag stattgefunden hätte, anstatt zwischen den 10.-14. bzw. dem 24.-28. Tag (vgl. 3.3.1 und 3.4.1).

KREIKEMEIER et al. (1991) fanden nach einer abomasalen Maisstärke-Infusion freie Glucose im Ileum vor. Bei 20, 40 bzw. 60 g/h bzw. 480, 960 bzw. 1440 g Maisstärke-Infusion pro Tag wurden 17, 36 bzw. 41 g Glucose pro Tag im ilealen Darmsaft analysiert. Daraus wurde geschlossen, dass die Stärkehydrolyse die Kapazität zur Glucoseabsorption überschritten hatte und eine Sättigung des Absorptionssystems eingetreten war.

Im Versuch 2 wurde in allen Varianten 0,26 % freie Glucose in der ilealen Darmsaft-T gefunden (Tabelle 62 in 4.2.4). Bezogen auf 2067 bzw. 2396 g und 2100 bzw. 2365 g Trockensubstanz-Fluss am Ileum bei 653 bzw. 1307 g Maisstärke- und 655 bzw. 1309 g Weizenstärke-Applikation ergaben sich Glucose-Flüsse von 5 bis 6 g am Tag. Somit war keine Sättigung bzw. Überforderung des Absorptionssystems nachzuweisen, woraus geschlussfolgert werden kann, dass eher die Stärkehydrolyse der begrenzende Faktor war.

Im Versuch 3 wurden bei 876 bzw. 1753 g Maisstärke- und 875 bzw. 1750 g Weizenstärke-Infusion 0,75 bzw. 0,78 % und 0,62 bzw. 0,94 % freie Glucose in der ilealen Darmsaft-T gefunden (Tabelle 81 in 4.3.4). Bezogen auf einen Trockensubstanz-Fluss am Ileum von 1985 bzw. 2644 g und 1978 bzw. 2577 g ergaben sich damit Glucose-Flüsse von 15 bzw. 21 g und 12 bzw. 24 g. Aufgrund der hohen Standardabweichungen dürfen diese Werte jedoch nur als Tendenzen angesehen und nicht überbewertet werden. Obwohl diese Werte unterhalb der von KREIKEMEIER et al. (1991) gefundenen Werte lagen, könnte hieraus dennoch im Gegensatz zum Versuch 2 eine Begrenzung der Absorptionskapazität der Glucose abgeleitet werden.

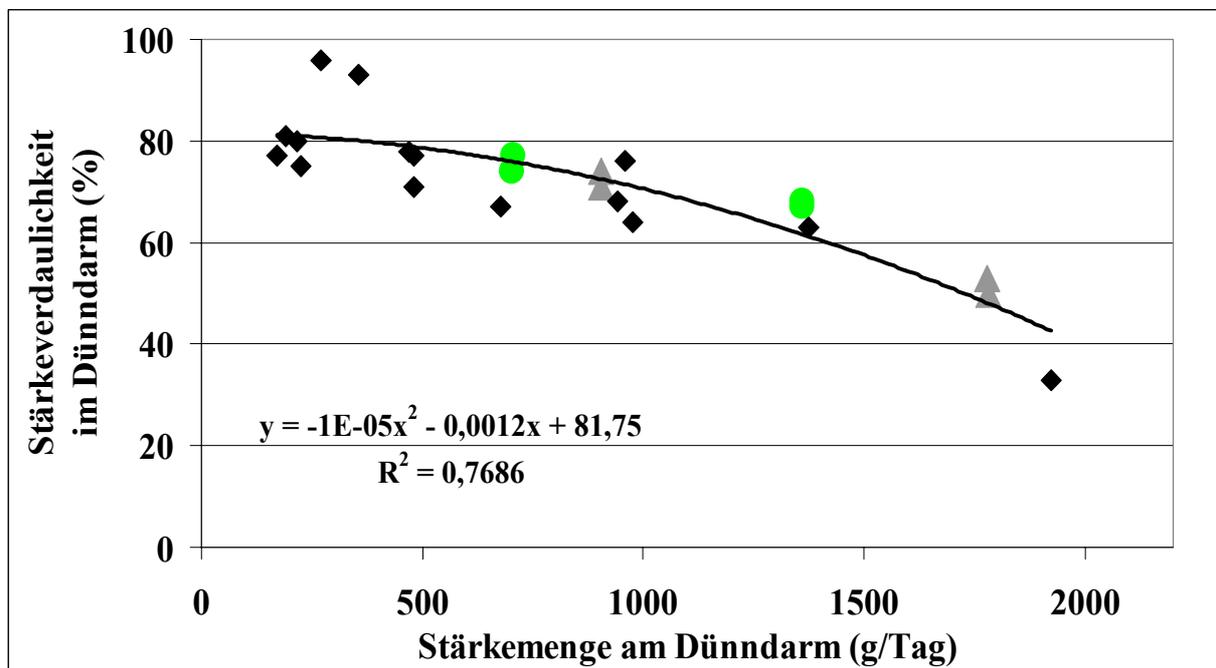
Auch BRANCO et al. (1999) fanden wie KREIKEMEIER et al. (1991) freie Glucose in größeren Mengen im duodenalen (188 g/d) und ilealen Darmsaft (128 g/d) sowie im Kot (78,5 g/d) vor. Den Autoren war die exakte Quelle dieser Glucose unklar. Sie vermuteten, dass mikrobielle Polysaccharide (McALLAN und SMITH 1974), sezernierte Mukopolysaccharide und nicht absorbierte freie Glucose zu dieser Fraktion beitrugen.

In beiden Versuchen zur Bestimmung der postruminale Kapazität zur Stärkeverdauung im Dünndarm wurde in Übereinstimmung mit KARR et al. (1966), LITTLE et al. (1968), LEDOUX et al. (1985), OWENS et al. (1986), THEURER (1986), NOCEK und TAMMINGA (1991), KREIKEMEIER et al. (1991), van VUUREN et al. (1997) und HUNTINGTON (1997) eine Limitierung derselben festgestellt. So fanden auch BRANCO et al. (1999) in Untersuchungen die niedrigste Effizienz bei der höchsten abomasalen Infusionsrate von 960 g Maisstärke pro Tag.

Über die Mengen an Stärke bzw. Glucose, die im Dünndarm noch effizient verdaut bzw. absorbiert werden können, liegen sehr widersprüchliche Ergebnisse vor. VEARASILP (1986) konnte eine Stärke-Verdauung von 1,5 kg/d im Dünndarm aufzeigen. FLACHOWSKY (1994) gab in Auswertung einer Literaturstudie das Stärkeverdaunungs- und Glucoseabsorptionsvermögen, das energetische Vorteile gegenüber der Fermentation im Pansen bringt, mit 0,8-1,5 kg pro Tier und Tag an. McALLAN (1982) postulierte aus seinen Untersuchungen, dass nur bis zu 0,8 kg Glucose pro Tag absorbiert werden, wohingegen KAUFMANN und HAGEMEISTER (1978) eine Glucoseabsorption von 1,6 kg / Tag am Darm feststellten.

Van VUUREN et al. (1997) sowie McCARTHY et al. (1989) extrapolierten sogar auf Mengen von 2 bis 5 kg Stärke bzw. Glucose pro Tier und Tag sowie maximal 5,1 kg Maisstärke pro Tag. Hier muss jedoch zwischen dem, was potentiell verdaulich, und dem, was energetisch noch effizient und damit für das Tier sinnvoll ist, differenziert werden.

Die Einreihung der eigenen Ergebnisse (Versuche 2 und 3) in Literaturdaten (Abbildung 17) zeigte, dass bei geringen Mengen an Bypass-Stärke ihre Verdaulichkeit nahezu 90 % ist, dass jedoch bei über 1500 g Stärke am Darm die Verdaulichkeit unter 60 % absinkt und damit energetisch ineffizient wird (OWENS et al. 1986; Abbildung 17; Daten zu Tabelle 17 im Anhang). Nach OWENS et al. (1986) ist die energetische Effizienz dann verbessert, wenn von der Bypass-Stärke im Dünndarm noch über 70 % verdaut würden. Hiernach kann als Richtwert für die Menge an noch effektiv zu verwertender Bypass-Stärke im Dünndarm bei Rindern 1,0-1,3 kg pro Tier und Tag angesehen werden.



**Abbildung 17:** Einfluss der Menge an Bypass-Stärke auf die Stärkeverdaulichkeit im Dünndarm (KARR et al. 1966; HIBBERD et al. 1985; AXE et al. 1987; ZINN 1988, 1989 und 1990; BOCK et al. 1991; BRANCO et al. 1999; eigene Ergebnisse: Versuch 2: Kreise in der Abb.; Versuch 3: Dreiecke in der Abb.)

Als Ursachen für eine begrenzte Nutzung von Bypass-Stärke im Dünndarm werden, wie in 2.3.2 bereits erwähnt, folgende Thesen diskutiert:

- Aufgrund zu geringer Amylase-, Maltase- bzw. inadäquater Isomaltase-Aktivitäten, entweder durch zu geringe Bereitstellung der Enzyme, nicht ausreichende Bedingungen für die Wirkung derselben oder das Vorhandensein von Enzyminhibitoren besteht eine begrenzte Kapazität für die intestinale Stärkehydrolyse (MAYES und ØRSKOV 1974; McALLAN und LEWIS 1985; OWENS et al. 1986; NOCEK und TAMMINGA 1991; KREIKEMEIER et al. 1991).

Das pH - Optimum der  $\alpha$ -Amylase liegt bei 6,9 (WHEELER und NOLLER 1977). Im Duodenum ist dies erst distal der Einmündung des Pankreasganges sowie im Jejunum und Ileum gegeben, im proximalen Teil des Duodenums dagegen liegt der pH-Wert bei 2,5 – 3. ØRSKOV (1986) demonstrierte an 30 kg schweren Schafen, dass bei abomasaler Infusion von Stärke nicht die Amylase limitierend war, sondern die Enzyme zum Abbau der Di-, Tri- und Oligosaccharide.

- Eventuell könnte die zur Verfügung stehende Zeit für die Stärkehydrolyse im Dünndarm zu kurz sein. Die durchschnittliche Verweildauer der Digesta im Dünndarm beträgt 7 h (MAMBRINI und PEYRAUD 1997), bei längerer Verweildauer würde sich eventuell das Ausmaß der Stärkeverdauung erhöhen (OWENS et al. 1986).
- Die Stärkegranula weisen eine schlechte Zugänglichkeit für Enzyme durch Unlöslichkeit oder Undurchdringlichkeit der Oberfläche, bedingt durch die Beschaffenheit der Proteinmatrix, durch Einschlüsse, wie z.B. Tannine, auf. Hierbei kommen die Verschiedenartigkeit der Granula bei unterschiedlichen Stärkequellen bzw. Sortenunterschiede innerhalb einer Stärkequelle zum Tragen (THORNE et al. 1983; ROONEY und PFLUGFELDER 1986; CONE und VLOT 1990; CONE 1991; KOTARSKI et al. 1992; McALLISTER et al. 1993; HUNTINGTON 1997).

Größere Partikel werden auch im Dünndarm schlechter verdaut. Die technische Bearbeitung bewirkt in erster Linie eine Veränderung der Partikelgröße, eine Gelatinisierung und/oder eine Zerstörung der Proteinmatrix, welche die Granula zusammenhält (THEURER 1986; POORE et al. 1993a; 1993b; HUBER et al. 1994; OLIVEIRA et al. 1995; JOY et al. 1997; HUNTINGTON 1997; EKINCI und BRODERICK 1997).

- Es besteht weiterhin eine begrenzte Kapazität für die Glucoseabsorption im Dünndarm (McALLAN und LEWIS 1985; KREIKEMEIER et al. 1991).

Der Transport der Glucose durch das Darmgewebe erfolgt beim Wiederkäuer durch eine aktive, natriumabhängige Pumpe. Das  $\text{Na}^+$ /Glucose-Cotransporter-Gen (SGLT1) ist dabei essentiell (ALLISON und SHIRAZI-BEECHEY 1997). Die größte Dichte des Transporters ist im proximalen und die niedrigste im distalen Bereich des Dünndarms zu finden (HUNTINGTON 1997; ZHAO et al. 1998). Hier wird ein Problem deutlich. Während der optimale pH-Wert für die Wirkung der Amylase erst im hinteren Teil des Dünndarm gegeben ist, arbeitet der Transporter bereits im vorderen Teil am intensivsten.

In Arbeiten von ØRSKOV (1986) war bei einer Glucose-Infusion die Kapazität zur Absorption limitierend. HUNTINGTON'S (1997) Simulationen und Berechnungen

fürten zu der Aussage, dass die Absorptionskapazität erstlimitierend für die Menge an Glucose ist, die nach Stärkehydrolyse beim nicht adaptierten Tier aufgenommen werden kann. Die Menge an hydrolysiertes Stärke überschritt hier die maximale Absorptionskapazität für Glucose.

Nach Adaptation kann allerdings die Transportkapazität im ersten Drittel des Dünndarm auf das Zweifache steigen. Damit wäre beim adaptierten Tier die Stärkehydrolyse erstlimitierend (OWENS et al. 1986; KREIKEMEIER et al. 1991; HUNTINGTON 1997; ALLISON und SHIRAZI-BEECHEY 1997). In Untersuchungen von ALLISON und SHIRAZI-BEECHEY (1997) wurde deutlich, dass die relative Ausprägung des Na<sup>+</sup>/Glucose-Co-Transporters (SGLT1) mit zunehmendem Alter abnimmt, nahezu bis zum vollständigen Verschwinden bei einem 2-3 Jahre alten Schaf. Nach Glucose-Infusion konnte der Transporter jedoch wieder aktiviert werden, so dass dieser ca. 70-80 % des Wertes eines 7 Tage alten Lamms erreichte.

Bei energetischen Kalkulationen ist zu beachten, dass die Glucoseabsorption im Dünndarm durch den mit 664 Aminosäuren im Molekül recht großen Transporter SGLT1 möglicherweise doch energieaufwendiger als in letzter Zeit angenommen ist. Ungeklärt ist außerdem der Energieaufwand für die Synthese, den Einbau und die Funktion des Transporters.

PEHRSON und KNUTSON (1980) untersuchten den Einfluss des Laktationsstadiums auf das Glucoseabsorptionsvermögen und stellten fest, dass eine abomasale Glucose-Infusion in gleichem Ausmaß von hochleistenden Kühen im ersten Laktationsdrittel und niedrigleistenden Kühen am Ende der Laktation absorbiert wurde. Dieses Ergebnis bestätigte die Möglichkeit der Nutzung von trockenstehenden Milchkühen im Versuch 3.

- Als weitere Ursache werden teilweise unzureichende Adaptationszeiten an hohe Stärkemengen im Dünndarm diskutiert. In den eigenen Versuchen 2 und 3 konnte eine tendenzielle, z.T. signifikante Erhöhung der Verdaulichkeit der Stärke im Dünndarm nach längerer Adaptationszeit beobachtet werden. Andere Autoren wiesen eine nur minimale Adaptation aus (McALLAN und LEWIS 1985; HARMON 1992). ØRSKOV (1986) fand innerhalb von vier Wochen keinen Gewöhnungseffekt an die eingesetzten Infusionsmengen.
- Eine Rolle könnte die unterschiedliche Konsistenz der Digesta, bedingt durch verschiedene Futtermittel und Rationsanteile, spielen. Eine höhere Viskosität des Darmsaftes könnte die Verdauung im Dünndarm reduzieren (OWENS et al. 1986).
- Glucose wird im Dünndarm z.T. mikrobiell fermentiert (NICOLETTI et al. 1984; FLACHOWSKY 1999). So sind säuretolerante Bakterien zur Fermentation einfacher Zucker und Stärke im Dünndarm befähigt (McALLAN und SMITH 1974). KAMPHUES (1987) wies eine mikrobielle Fermentation von Stärke und Zucker durch säuretolerante Bakterien, wie sie im Dünndarm von Ferkeln auftreten, nach, was auch bei Wiederkäuern von Bedeutung sein könnte. Ungeklärt ist, in welchem Ausmaß diese Mikroorganismen mit den körpereigenen Enzymen um die Kohlenhydrate konkurrieren und ob diese Fermentation mengenmäßig relevant ist (NOCEK und TAMMINGA 1991).
- Zusätzlich im Dünndarm zur Verfügung stehende Glucose wird bereits weitgehend im Darmepithel verbraucht (Umsetzungen im Splanchnicus – Gewebemetabolismus; vgl.

2.3.2.3; LOMAX und BAIRD 1983; RUST 1983; OWENS et al. 1986; NOCEK und TAMMINGA 1991).

So vermuten NOCEK und TAMMINGA (1991) und ARMENTANO (1992) einen Verbrauch der durch stärkereiche Rationen und Bypass-Stärke zusätzlich zur Verfügung stehenden Glucose zum Abbau von Nährstoffen und deren Absorption, für metabolische und sekretorische Zellprozesse, Proteinumbau und zellulären Transport. Untersuchungen zeigten (HUNTINGTON und REYNOLDS 1986; KREIKEMEYER et al. 1991), dass nur 30-40 % der im Dünndarm verschwundenen Stärke als Glucose in der Pfortader ankommen. HUNTINGTON und REYNOLDS (1985) fanden im Pfortaderblut Glucosemengen wieder, die 65 % der infundierten Glucose, aber nur 35 % der infundierten Stärke entsprachen.

Beim Vergleich einer Gras- mit einer Maisration bestimmten JANES et al. (1985) bei Schafen ein Verschwinden von  $\alpha$ -Glucosiden aus dem Dünndarm von 8 bzw. 91 g/d. Im Blut der Vena mesenterica cranialis bestimmten sie jedoch eine Nettoglucoseabsorption von -9 bzw. 85 g/d. Da mittels isopenmarkierter Glucose gleichzeitig ein Glucoseverbrauch des MDV von ca. 16 g/d ermittelt wurde, gaben die Autoren eine Absorption von insgesamt 7 bzw. 101 g Glucose je Tag an. Dies deutete darauf hin, dass die aus dem Dünndarm verschwundene Menge bei der Grasration nicht ausreichte, um den Glucoseverbrauch des MDV abzudecken. Es muss somit Glucose aus anderen Quellen zur Verfügung gestanden haben. Ebenso überschritt bei der Maisration die insgesamt absorbierte Glucosemenge die aus dem Dünndarm verschwundene Menge.

In Versuchen von WIEGHART et al. (1986) an laktierenden Milchkühen fand eine positive portale Nettoabsorption an Glucose erst dann statt, wenn die tägliche Aufnahme an verdaulicher Energie 94 MJ überstieg. Negative Werte für die Nettoglucoseabsorption weisen nach WIEGHART et al. (1986) darauf hin, dass die Gewebe größere Glucosemengen verbrauchen als absorbiert wurden.

Bei Milchkühen mit einer 60:40 Maissilage : Konzentrat-Ration, einer T-Aufnahme von 15,6 kg und einer Milchleistung von 32,2 kg war die Differenz zwischen arteriellem und Pfortaderblut ebenfalls negativ, d.h. die PDV verbrauchte über die aus dem Darmlumen absorbierte Menge an Glucose hinaus noch eine bestimmte Menge, welche über das arterielle Blut zugeführt wurde (REYNOLDS et al. 1988).

Insgesamt finden in den PDV neben dem Glucose- und Aminosäurestoffwechsel auch beträchtliche Umsetzungen von Acetat, Propionat, Butyrat, 3-Hydroxybutyrat und Lactat statt. Variationen im Nettofluss aus den PDV an Glucose, flüchtigen Fettsäuren und Milchsäure können nach DANFAER (1999) zu 95 % aus der ME-Aufnahme erklärt werden. Die PDV nimmt Glucose auf und gibt Acetat und Propionat in höheren Mengen sowie Butyrat und Lactat in kleineren Mengen ab.

- Im Blut wird die endogene Glucose und der Glucosespiegel innerhalb gewisser Grenzen (3,3-4,4 mmol/l; ROSENBERGER et al. 1990) stark homöostatisch reguliert (vgl. 2.5; THILSTED 1985; HERBEIN et al. 1985; KOLB 1989; NOCEK und TAMMINGA 1991; STANGASSINGER 1997). In den eigenen Untersuchungen konnte diese starke homöostatische Regulierung bestätigt werden, zwischen den Versuchsvarianten traten keine nennenswerten Unterschiede in der Blutglucose-Konzentration auf (3,2-3,6 mmol/l; vgl. 4.2.5 und 4.3.5).

- Die Aufnahme von zusätzlicher Glucose in die Milchdrüse scheint limitiert zu sein, denn in Untersuchungen von OLDICK et al. (1997) blieb selbst bei erhöhten Plasmakonzentrationen an Glucose (3,6 auf 3,9 mmol/l) eine Milchmengensteigerung aus.

Wechselwirkungen zwischen diesen aufgeführten einzelnen Faktoren sind in Abhängigkeit von Stärkequelle, Reifegrad, Sorte, Bearbeitungsverfahren, Fütterungsniveau und Rationsgestaltung sowie tierspezifischen Einflussfaktoren, wie z.B. Alter und Laktationsstadium, denkbar.

## 5.4 Verdaulichkeit im Gesamtrakt bzw. Gesamtdarm

Im Versuch 1 lag die Verdaulichkeit der Trockensubstanz bzw. der organischen Substanz im Gesamtrakt bei der maisbetonten Ration 2,1 bzw. 1,9 Prozentpunkte unter der der weizenbetonten Ration (76,7 vs. 78,8;  $p > 0,05$  bzw. 78,6 vs. 80,5 %;  $p > 0,05$ ; Abbildung 12, Tabelle 42 und Tabelle 43 in 4.1.4). Dieses steht in Übereinstimmung mit den von THEURER (1986) und NOCEK und TAMMINGA (1991) zusammengestellten Ergebnissen, nach denen langsamer abbaubare Stärketräger aufgrund des unvollständigeren ruminalen Abbaus und der nur teilweisen Kompensation der Verdauung in den hinteren Darmabschnitten eine etwas niedrigere Gesamtverdaulichkeit gegenüber schneller abbaubaren Stärketrägern aufweisen.

Die in der Literatur angegebenen Werte für die Gesamtverdaulichkeit der organischen Substanz von Rationen mit maisbetontem Kraftfutter liegen zwischen 64,2 und 86,4 % (AXE et al. 1987; KUNG et al. 1992; LEBZIEN und ENGLING 1995; LOOSE et al. 1998a; LOOSE 1999) je nach Anteil an Mais in der Ration und dem gefütterten Grundfutter. Für weizenbetontes Kraftfutter bzw. weizenbetonte Rationen sind Werte von 78,1 bis 89,8 % Verdaulichkeit im Gesamtrakt angegeben (AXE et al. 1987; ZINN 1989; BOCK et al. 1991; LOOSE et al. 1998a). Die eigenen Werte liegen somit innerhalb dieser hier aufgeführten Spannen.

Die Rohfaserverdaulichkeit im Gesamtrakt lag im Gegensatz zur organischen Substanz bei der maisbetonten Ration in Übereinstimmung mit den Ergebnissen verschiedener Autoren über der der weizenbetonten Ration (77,5 vs. 73,2 %;  $p \leq 0,01$ ; Abbildung 12 und Tabelle 43 in 4.1.4). Da die durch den hohen Anteil leicht fermentierbarer Kohlenhydrate im Pansen reduzierte ruminale Rohfaserverdaulichkeit (2.3.1) in den folgenden Darmabschnitten nicht vollständig kompensiert werden kann, ist die Verdaulichkeit der Rohfaser auch im Gesamtrakt reduziert (KELLNER et al. 1985; ROHR et al. 1989; WIDYOBROTO und PEYRAUD 1993; De VISSER et al. 1998; MEIJER et al. 1999).

So fanden auch HEJAZI et al. (1999) bei Einsatz von gemahlenem, pelletiertem Mais gegenüber ganzem, geschältem Mais eine Abnahme der NDF-Verdaulichkeit und LOOSE et al. (1998a) eine mit 63,3 % niedrigere Rohfaserverdaulichkeit im gesamten Trakt für eine Weizenschrot-Ration gegenüber 74,3 % für eine Maisschrot-Ration. Der Effekt der unterschiedlichen Stärkequellen war mit 11,0 Prozentpunkten Differenz in der Verdaulichkeit wahrscheinlich aufgrund der höheren Stärkeaufnahmen in diesem Versuch (LOOSE et al. 1998a) noch deutlicher ausgeprägt als im eigenen Versuch 1. In einer Untersuchung von LEBZIEN und ENGLING (1995) wurde die Rohfaser in der Weizenvariante mit 67,5 % gegenüber 74,5 % in der Maisvariante um 7,0 Prozentpunkte vermindert verdaut.

Die in der Literatur beschriebene höhere Gesamtverdaulichkeit der Stärke von schnell bzw. leicht abbaubaren Stärketrägern (THEURER 1986; NOCEK und TAMMINGA 1991) konnte ebenfalls durch die eigenen Ergebnisse bestätigt werden. Im Versuch 1 wurde die Stärke der maisbetonten Ration mit 93,5 % um 5,6 Prozentpunkte niedriger verdaut als die der weizenbetonten Ration mit 99,1 % (Abbildung 12 und Tabelle 43 in 4.1.4). Diese Differenz konnte aufgrund hoher Standardabweichungen nicht statistisch gesichert werden ( $p > 0,05$ ).

In der Literatur wird für maisbetonte Kraftfuttermischungen eine Stärkeverdaulichkeit von 93,2 bis 99,0 % je nach Trockensubstanz- und Stärkeaufnahme angegeben (McCARTHY et al. 1989; KUNG et al. 1992; LEBZIEN und ENGLING 1995; LOOSE et al. 1998a; LOOSE 1999). Für weizenbetonte bzw. gerstenbetonte Kraftfutter werden Stärkeverdaulichkeiten im gesamten Trakt von 95,4 bis 99,4 % angegeben (KARR et al. 1966; McCARTHY et al. 1989; ZINN 1989; BOCK et al. 1991; KUNG et al. 1992; LEBZIEN und ENGLING 1995; LOOSE et al. 1998a). Die eigenen Werte liegen innerhalb dieser Spannen.

Die Rohproteinverdaulichkeit im Gesamtrakt ist beim Rind ohne große Aussagekraft. Sie lag im Versuch 1 bei der maisbetonten Ration bei 67,1 % und bei der weizenbetonten bei 72,2 % ( $p > 0,05$ ; Abbildung 12 und Tabelle 42 in 4.1.4). Diese Differenz entsprach in etwa der von KUNG et al. (1992) gefundenen, die bei einer Mais-Ration eine Rohproteinverdaulichkeit im Gesamtrakt von 62,8 % gegenüber 69,1 % bei einer Gersten-Ration beobachteten. Die geringere Rohproteinverdaulichkeit beim Einsatz maisbetonter Rationen ist vor allem auf den höheren Anteil an Stärke, die den Dickdarm erreicht, zurückzuführen. Diese liefert den Dickdarmmikroben Energie zur Synthese von Mikrobeneiweiß. Die entstehenden Aminosäuren werden im Dickdarm nicht vollständig absorbiert, wodurch die Verdaulichkeit des Rohproteins bei Mais-Rationen niedriger ausfällt. Als Bestandteil des Mikrobenproteins entstand Diaminopimelinsäure (DAPA), welche bei der Mais-Kraftfuttermischung einen Anteil von 0,99 % und bei der Weizen-Kraftfuttermischung 0,56 % am gesamten Rohprotein des Kotes aufwies ( $p \leq 0,01$ ; Tabelle 44 in 4.1.4).

In Tabelle 84 werden die eigenen Ergebnisse hinsichtlich der Adaptationseffekte mit denen von CLEMENS und JOHNSON (1973) verglichen. Die im Versuch 1 um 21 Tage längere Adaptationszeit (vgl. 3.2.1) erbrachte eine um Zehntel-Prozentpunkte höhere Gesamtrakt-Verdaulichkeit (Tabelle 42 in 4.1.4). Auch die nach längerer Adaptationszeit tendenziell geringere Menge an synthetisierter DAPA (0,98 gegenüber 1,00 % bzw. 0,52 gegenüber 0,60 % Anteil am gesamten Protein bei der Mais- bzw. Weizen-Mischung) sprechen für eine intensivere präcaecale Verdauung und somit geringerer mikrobieller Synthese im Dickdarm. Diese Adaptationseffekte waren jedoch weniger stark ausgeprägt als im Versuch von CLEMENS und JOHNSON (1973; Tabelle 84).

Im Versuch 2 erbrachte die um 14 Tage längere Adaptationszeit meist nur eine tendenzielle Erhöhung der Verdaulichkeit (vgl. 4.2.3), im Versuch 3 jedoch waren die Unterschiede durch die gewählten Infusionsmengen von 1000 bzw. 2000 g insgesamt deutlicher. So konnten bei der Gesamt-Verdaulichkeit der organischen Substanz, bezogen auf die Zufuhr und die Infusion, bei den hohen Dosen signifikante Erhöhungen der Verdaulichkeit nach längerer Adaptationszeit festgestellt werden (+0,3 bis +0,8 Prozentpunkte;  $p \leq 0,05$ ; Tabelle 74 in 4.3.3.1). Weiterhin war die Gesamt-Stärkeverdaulichkeit, bezogen auf die Zufuhr, bei der hohen Dosis Maisstärke sowie, bezogen auf den duodenalen Fluss und die Infusion, bei allen Varianten außer der niedrigen Dosis Weizenstärke nach längerer Adaptationszeit erhöht (+0,4 bis +0,6 Prozentpunkte;  $p \leq 0,05$ ; Tabelle 77 in 4.3.3.2).

**Tabelle 84: Vergleich der Verdaulichkeit (%) verschiedener Nährstoffe nach 20 bzw. 50 Tagen Adaptation an eine Mais-Baumwoll-Ration beim Schaf (CLEMENS und JOHNSON 1973) mit eigenen Ergebnissen**

	Adaptationszeit	Verdaulichkeit in %			
		T	OS	XS	Cellulose <sup>1)</sup> bzw. XF
		im Gesamttrakt			
CLEMENS und JOHNSON 1973 Versuch 1 (Mais)	20 d	58,8	60,1	-	18,2 <sup>1)</sup>
	50 d	62,2	64,3	-	38,0 <sup>1)</sup>
	14 d	76,6	78,5	92,7	77,3
	35 d	76,9	78,6	94,4	77,7
		im Gesamtdarm (Duodenum bis Rectum)			
Versuch 2	9 d	-	55,9	80,3	31,3
(653 g Mais)	23 d	-	56,1	81,5	31,2
Versuch 2	9 d	-	59,3	79,3	31,5
(1307 g Mais)	23 d	-	59,2	79,9	30,5
Versuch 2	9 d	-	56,4	83,0	33,5
(655 g Weizen)	23 d	-	56,2	82,8	30,6
Versuch 2	9 d	-	59,4	79,8	28,1
(1309 g Weizen)	23 d	-	59,6	80,7	31,4
Versuch 3	9 d	-	55,2	95,3	22,9
(876 g Mais)	23 d	-	55,6	95,9	23,6
Versuch 3	9 d	-	55,7	<b>79,1</b>	22,1
(1753 g Mais)	23 d	-	56,1	<b>79,7</b>	20,9
Versuch 3	9 d	-	56,5	99,7	25,6
(875 g Weizen)	23 d	-	56,6	99,9	26,1
Versuch 3	9 d	-	57,1	<b>81,8</b>	24,5
(1750 g Weizen)	23 d	-	57,5	<b>82,3</b>	22,8

**Fettdruck** zeigt signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen 9 und 23 d Adaptation

Während eine Verlängerung der Adaptationszeit die Verdaulichkeit der Nährstoffe erhöhte, führte eine Steigerung der duodenal applizierten bzw. infundierten Stärkemenge in Übereinstimmung mit Ergebnissen von THEURER (1986), NOCEK und TAMMINGA (1991) und Van VUUREN et al. (1997) zu einer Verminderung der Nährstoffverdaulichkeit im Gesamttrakt.

So nahm im Versuch 2 die Stärke-Verdaulichkeit aus verabreichtem Futter und applizierter Stärke bei Erhöhung der Stärkemenge von 654 auf 1308 g je Tier und Tag bei der Mais-Variante von 92,0 auf 88,2 % und bei der Weizen-Variante von 92,9 auf 88,6 % ab. Der Einfluss der Stärkedosis war in beiden Fällen mit  $p \leq 0,001$  statistisch zu sichern. Die Stärkequellen unterschieden sich nicht signifikant. Im Versuch 3 verminderte sich die Stärke-Verdaulichkeit aus verabreichtem Futter und infundierter Stärke bei Erhöhung der Stärkemenge von 876 auf 1752 g je Tier und Tag bei der Mais-Variante von 97,2 auf 84,1 % und bei der Weizen-Variante von 99,8 auf 86,1 %. In diesem Fall waren sowohl die Unterschiede zwischen den Stärkemengen und als auch zwischen den Stärkequellen signifikant ( $p \leq 0,001$ ).

Im Versuch 2 waren die gefundenen Unterschiede zwischen den vier Stärke-Varianten geringer als im Versuch 3, was auf den relativ geringen Anteil der per Applikation

verabreichten Stärkemenge an der Gesamtration zurückzuführen ist. Bei im Mittel 7,9 kg T-Aufnahme wurden 750 bzw. 1500 g Stärke (9,5 bzw. 19,0 % der T) appliziert. Im Versuch 3 war der relative Anteil der Infusion wesentlich höher gewählt. Bei einer T-Aufnahme von 3,9 kg betragen die infundierten Mengen 1000 bzw. 2000 g (25,6 bzw. 51,3 % der T). Somit traten die Unterschiede zwischen den Varianten stärker hervor.

Die von KNOWLTON et al. (1998b) gefundene Stärke-Verdaulichkeit nach 1500 g/d Maisstärke-Infusion in den Labmagen lag trotz der hohen T-Aufnahme von 21,8 kg mit 93,1 % höher als die eigenen Werte (88,4 % bei 1308 g bzw. 85,5 % bei 1752 g). Das dürfte darauf zurückzuführen sein, dass es sich dabei um teilhydrolysierte Stärke handelte. Die von HIBBERD et al. (1985) beim Einsatz von 1500 g Sorghumstärke-Bypass gefundene Verdaulichkeit mit 89,7 % stimmte dagegen sehr gut mit den Verdaulichkeiten der hohen Dosen aus dem Versuch 2 überein (88,2 bzw. 88,6 %). Das Mittel der im Versuch 3 eingesetzten Maisstärke-Infusionsdosen betrug aus Ration und Infusion 1344 g und lag damit etwas niedriger als der Sorghumstärke-Bypass bei HIBBERD et al. (1985). Die gemittelte Stärke-Verdaulichkeit der beiden Maisstärke-Varianten ergab im gesamten Trakt 90,6 % und stimmte damit fast genau mit dem Wert von 89,7 % bei etwas höherem Durchfluss im Versuch von HIBBERD et al. (1985) überein.

Auch die Stärke-Verdaulichkeiten der niedrigen Mais- und Weizenstärke-Dosen aus Versuch 3 (97,2 bzw. 99,8 %) stimmten gut mit dem von BOCK et al. (1991) ermittelten Wert von 96,0 % und den von KARR et al. (1966) gemittelten 98,5 % überein. Die beiden Autoren arbeiteten ebenfalls mit Bypass-Stärkemengen in der Spanne von 360-980 g pro Tier und Tag.

An Rohfaser wurde vom proximalen Duodenum bis Ende des Rectums im Versuch 2 bei 653 g bzw. 1307 g Maisstärke-Applikation und 655 g bzw. 1309 g Weizenstärke-Applikation 31,2 bzw. 31,0 Prozentpunkte und 32,0 bzw. 29,7 Prozentpunkte verdaut. Da außer im Pansen Rohfaser ausschließlich im Dickdarm verdaut werden kann, deutet dies auf ein beachtliches Fermentationspotential im Dickdarm hin. Dabei kompensierte der Dickdarm z.T. die etwas niedrigere Verdauung der Rohfaser bei den Mais-Varianten. Im Versuch 3 wurden bei den vier Versuchsvarianten 21,5 bis 25,8 % Prozentpunkte in diesem Abschnitt verdaut.

Wie in 5.1 bereits dargestellt, wurde die Rohfaser-Ausscheidung mit dem Kot als Maßstab zur Überprüfung der kalkulierten bzw. der gemessenen Werte herangezogen, da die Applikation bzw. die Infusion keine Rohfaser enthielt. Die Übereinstimmung zwischen ermittelten und kalkulierten Werten war sowohl im Versuch 2 mit 0,2 bzw. 1,6 Prozentpunkten als auch im Versuch 3 mit jeweils 1,4 Prozentpunkten sehr gut.

Die im Vergleich von Mais und Weizen besonders im Versuch 3 ermittelten Ergebnisse weisen darauf hin, dass Maisstärke nicht nur im Pansen, sondern auch im weiteren Magen-Darm-Trakt resistenter gegen den enzymatischen Abbau ist als Weizenstärke. Dabei scheint ein Zusammenhang zwischen der Proteinschicht und dessen Struktur im Maiskorn und der Abbaubarkeit des Maiskorns zu bestehen (ROONEY und PFLUGFELDER 1986; McALLISTER et al. 1993 und 1994). Das „Zein“ im Mais ist ebenfalls relativ resistent gegen den Abbau, wogegen Albumine, Globuline und Gluteline schneller abgebaut werden können (STERN et al. 1997).

Untersuchungen verschiedener Autoren (STREETER et al. 1990c; KOTARSKI et al. 1992; DOMBRINK-KURTZMANN und BIETZ 1993; MICHALET-DOREAU und CHAMPION 1995) zeigten auf, dass es unterschiedliche chemische Zusammensetzungen des Proteins in

den amorphen Regionen im Endosperm gibt, die eventuell auch hinsichtlich des Abbaus eine Bedeutung haben. Dabei war in diesen Arbeiten die absolute Menge der Proteine weniger bedeutend als die Verteilung an der Oberfläche der Granula. Nach THORNE et al. (1983) haben auch die sich zwischen verkleisterter Stärke und Proteinen bildenden Komplexe einen negativen Einfluss auf die Abbaubarkeit der Nährstoffe. Desweiteren werden für die Unterschiede zwischen Weizen und Mais auch die unterschiedlichen Gehalte an Amylose und Amylopektin (vgl. 4.2.1) diskutiert (KOTARSKI et al. 1992). In den eingesetzten Stärken der Versuche 2 und 3 bestanden keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des Amylosegehaltes. Der der Maisstärke lag mit 20,2% tendenziell tiefer als der der Weizenstärke mit 22,7%.

## 5.5 Energetische Effizienz der Glucosebereitstellung

Stärke, die nicht ruminal abgebaut wird, steht dem Wiederkäuer im Dünndarm als wichtige Glucosequelle zur Verfügung. Sie kann nach ØRSKOV (1986), BEYER et al. (1993), CHASE (1993), MERCHEN et al. 1997 und JIANZHONG 1998 um 33 bis 42% effizienter verwertet werden als im Pansen. Die energetische Effizienz würde nach OWENS et al. (1986) in solchen Situationen verbessert sein, in denen von der Bypass-Stärke im Dünndarm noch über 70% verdaut würde.

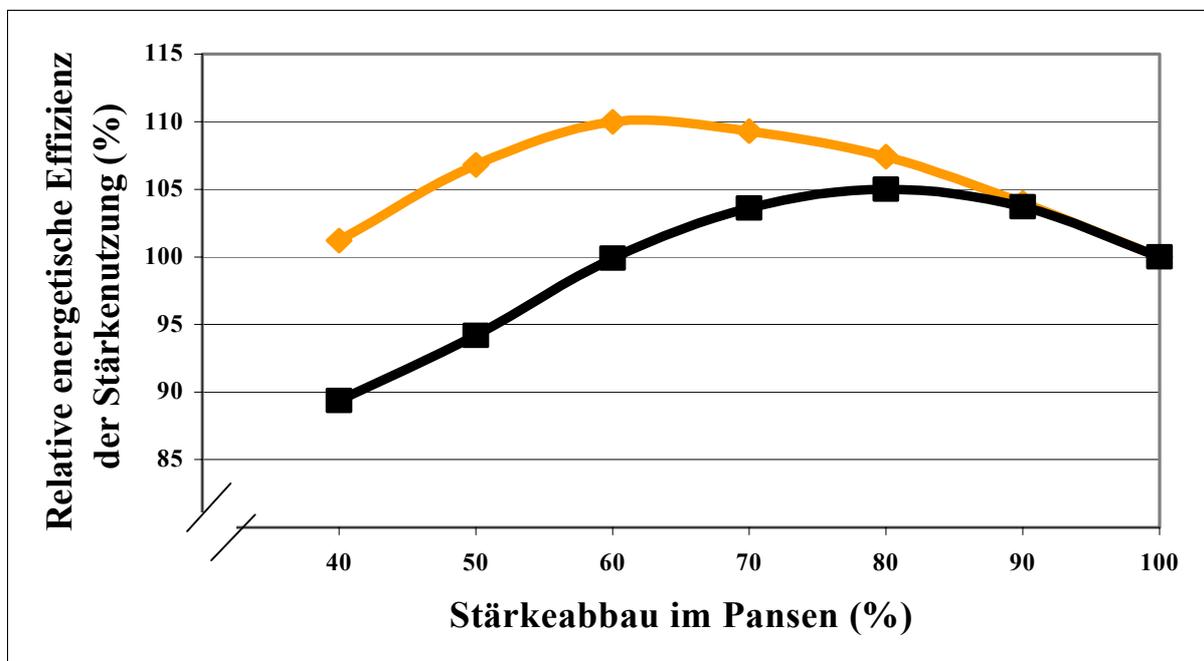
Da wie in den vorliegenden Versuchen nachgewiesen und in Übereinstimmung mit anderen Arbeiten (KARR et al. 1966; LITTLE et al. 1968; LEDOUX et al. 1985; OWENS et al. 1986; THEURER 1986; NOCEK und TAMMINGA 1991; van VUUREN et al. 1997; HUNTINGTON 1997) die Kapazität des Dünndarms zur Stärkeverdauung beim Wiederkäuer begrenzt ist, hängt der erstrebenswerte Umfang des ruminalen Stärkeabbaus vor allem von der Menge an aufgenommener Stärke und erst in zweiter Linie von der Stärkequelle ab. Bei einer Stärkeaufnahme von 3000 g/d fluten bei einem ruminalen Abbau von 60% 1,2 kg Stärke im Dünndarm an, bei 6000 g Stärkeaufnahme wird die gleiche Stärkemenge im Dünndarm bei 80% Abbau im Pansen bereitgestellt (Tabelle 85).

**Tabelle 85: Modellkalkulation zur Nutzung von Stärke in Abhängigkeit von der Höhe der Stärkeaufnahme, dem ruminalen Stärkeabbau und der Dünndarmverdaulichkeit (Stärkeaufnahme: 3000 bzw. 6000 g/Tag)**

Stärkeaufnahme g/d	Stärkeabbau im Pansen (%)		
	60	70	80
	Bypass-Stärke (g/d)		
3000	1200	900	600
6000	2400	1800	1200
	Stärkeverdauung im Dünndarm (%)		
3000	70	80	90
6000	50	60	70
	Verdaute Stärkemenge im Dünndarm (g/d)		
3000	840	720	540
6000	1200	1080	840
	Stärkefluss in den Dickdarm (g/d)		
3000	360	180	60
6000	1200	720	360

Bei einer Verdopplung der verabreichten Stärkemenge von 3000 auf 6000 g erhöht sich durch die abnehmende Stärkeverdauung im Dünndarm die Menge an verdauter Stärke nur um 360 bzw. 300 g (60 bzw. 80 % Abbau). Eine Verlagerung der Stärke in den Dickdarm ist unerwünscht, da die Nutzung derselben nicht mehr effizient ist (KARR et al. 1966; THEURER 1986; DIXON und NOLAN 1982). Daraus resultiert, dass es nicht sinnvoll ist, einen geringen Stärkeabbau und einen hohen Bypass unter allen Bedingungen anzustreben.

Einschränkend ist zu sagen, dass bei der Modellkalkulation in Tabelle 85 davon ausgegangen wird, dass die gleiche Menge an Bypass-Stärke im Dünndarm gleichermaßen verdaut wird, unabhängig davon, ob sie aus einer großen Menge leicht abbaubarer oder aus einer geringen Menge schwer abbaubarer Stärke stammt. Dies ist nach NOCEK und TAMMINGA (1991; vgl. Abbildung 2 in 2.3.2.3) jedoch nicht der Fall. Nach ihren Berechnungen hat die ruminale Abbaubarkeit per se einen Einfluss auf die postramidale Stärkeverdauung. Die Gefahren hoher Mengen leicht abbaubarer Stärke wie Abfall des pH-Wertes, Acidosegefahr und geringere Effizienz der Stärkenutzung sind in 2.3.1 und 2.6 beschrieben worden.



**Abbildung 18:** Relative energetische Effizienz von Stärke bei Milchkühen in Abhängigkeit von der Höhe der Störkeaufnahme (◆ 3000 g/d; ■ 6000 g/d) und dem Stärkeabbau im Pansen (100 % = vollständige Fermentation im Pansen)

Aus Tabelle 85 wurden die Mengen, die im Pansen, Dünndarm und Dickdarm verdaut wurden, mit den entsprechend angenommenen relativen energetischen Effizienzen (Pansen 100 %, Dünndarm 140 %, Dickdarm 80 %, Kot 0 %) verrechnet und so die Gesamteffizienz der Stärkenutzung ermittelt. Die vollständige Fermentation der Stärke im Pansen wurde dabei gleich 100 % gesetzt. Durch die von ØRSKOV (1986), BEYER et al. (1993), CHASE (1993), MERCHEN et al. (1997) und JIANZHONG (1998) postulierte - um 33 bis 42 % - höhere Effizienz wurden dem Dünndarm 40 % zugeschlagen. Demgegenüber fällt die Effizienz im Dickdarm nach ZINN und OWENS (1980) um 10-20 % niedriger aus. Folglich wurden 80 %

Effizienz für die Dickdarmverdauung veranschlagt. Die sich daraus ergebenden Verläufe sind in Abbildung 18 dargestellt.

Bei einer Stärkeaufnahme von 3000 g wäre die höchste Effizienz bei 60 % Stärkeabbau im Pansen gegeben, bei 6000 g jedoch bei 80 %, d.h. je mehr Konzentrate und damit auch Stärke eine Hochleistungskuh aufnimmt, desto höher muss die ruminale Abbaubarkeit sein, denn bei gleichbleibender Abbaubarkeit würde zuviel Stärke im Dünndarm anfluten und könnte nicht mehr effizient verwertet werden. Bei einer Verlagerung der Stärke in den Dickdarm wird diese, ebenso wie im Pansen, mikrobiell zu flüchtigen Fettsäuren und Methan fermentiert, wobei diese Fermentation um bis zu 10-20 % ineffizienter ist (ZINN und OWENS 1980).

In Tabelle 86 werden die in den verschiedenen Abschnitten des Verdauungstraktes je g Glucose auftretenden Energieverluste bzw. -gewinne gegenübergestellt und somit die Kalkulation in Tabelle 14 in 2.6 konkretisiert.

**Tabelle 86: Energetische Kalkulation zur Stärkenutzung im Pansen bzw. Dün- und Dickdarm bei unterschiedlichem Stärkeeintritt in den Dünndarm (Energiegehalt der Glucose: 15,7 kJ/g)**

Umsetzungen	Energieverlust/ Energieverbrauch (% des Energiegehaltes der Glucose)	Stärkeeintritt in den Dünndarm (kg/Tag)					
		0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Bilanzierung je g Glucose (kJ/g)							
Ruminale Fermentation	ca. 25 <sup>1)</sup>	<b>11,8</b>	-	-	-	-	-
Verdaulichkeit im Dünndarm in % <sup>2)</sup>	-	-	68	60	55	45	40
Hydrolyse im Dünndarm		<b>10,7</b>	<b>9,4</b>	<b>8,6</b>	<b>7,1</b>	<b>6,3</b>	
Absorption der Glucose	ca. 25 <sup>3)</sup>	-	<b>8,0</b>	<b>7,1</b>	<b>6,5</b>	<b>5,3</b>	<b>4,7</b>
Gluconeogenese (Propionat zu Glucose)	25 <sup>4)</sup>	<b>7,9</b>	-	-	-	-	-
Ausscheidung mit dem Kot (% und kJ)	100	-	1% -0,2	2% -0,3	4% -0,6	8% -1,3	12% -1,9
Menge im Dickdarm Energiegewinn bei Fermentation im Dickdarm und Gluconeogenese	Energiemenge aus Stärke x 0,5 (Fermentation) x 0,75 (Gluconeogenese)	-	<b>4,8</b> <b>1,8</b>	<b>6,0</b> <b>2,2</b>	<b>6,5</b> <b>2,4</b>	<b>7,3</b> <b>2,7</b>	<b>7,5</b> <b>2,8</b>
“Verfügbare” Energie je g Glucose (kJ)		<b>7,9</b>	<b>9,8</b>	<b>9,3</b>	<b>8,9</b>	<b>8,0</b>	<b>7,5</b>

1) BERGNER und HOFFMANN (1997) 2) nach Abbildung 17 3) McBRIDE und KELLY 1990; SHIRAZI-BEECHEY et al. (1995) 4) BERGNER und HOFFMANN (1997); CHUDY (1999)

Grundsätzlich ist beim gegenwärtigen Kenntnisstand davon auszugehen, dass die enzymatische Verdauung der Stärke und die Glucoseabsorption im Dünndarm energetisch effizienter sind als der mikrobielle Stärkeabbau im Pansen zu flüchtigen Fettsäuren und die

Gluconeogenese in der Leber (SCHIEMANN et al. 1971; OWENS et al. 1986; MERCHEN et al. 1997; JIANZHONG 1998).

Bei Stärkeabbau im Pansen werden 25 % Fermentations- bzw. Wärmeverluste unterstellt (BERGNER und HOFFMANN 1997), d.h. bei 15,7 kJ/g sind nach der Fermentation 11,8 kJ/g vorhanden. Die Absorption der flüchtigen Fettsäuren erfolgt als passive Diffusion ohne zusätzlichen Energieaufwand (BERGMAN 1990; RECHKEMMER et al. 1995). Zur Erzeugung von 1 J Glucoseenergie über die Gluconeogenese sind 1,5 J erforderlich (1,2-1,8 J/J; ca. 25 % der Ausgangsenergie, Tabelle 86). Nach erfolgter Gluconeogenese sind somit 7,9 kJ/g Glucose verfügbar, da bei der Gluconeogenese von 15,7 kJ Energie 25 %, d.h. 3,9 kJ, verloren gehen (BERGNER und HOFFMANN 1997; CHUDY 1999). So verbleiben von den 11,8 kJ noch 7,9 kJ.

Bei einem Stärkeeintritt von jeweils 1,2, 1,4, 1,6, 1,8 bzw. 2,0 kg in den Dünndarm stehen von 15,7 kJ noch 10,7, 9,4, 8,6, 7,1 bzw. 6,3 kJ/g Glucose zur Verfügung. Dabei wird davon ausgegangen, dass bei steigender Menge an Bypass-Stärke ihre Verdaulichkeit im Dünndarm abnimmt. In dieser Kalkulation wird nach Abbildung 17 in 5.3 für 1,2 kg Bypass-Stärke 68 %, für 1,4 kg 60 %, für 1,6 kg 55 %, für 1,8 kg 45 % bzw. für 2,0 kg 40 % Verdaulichkeit angenommen.

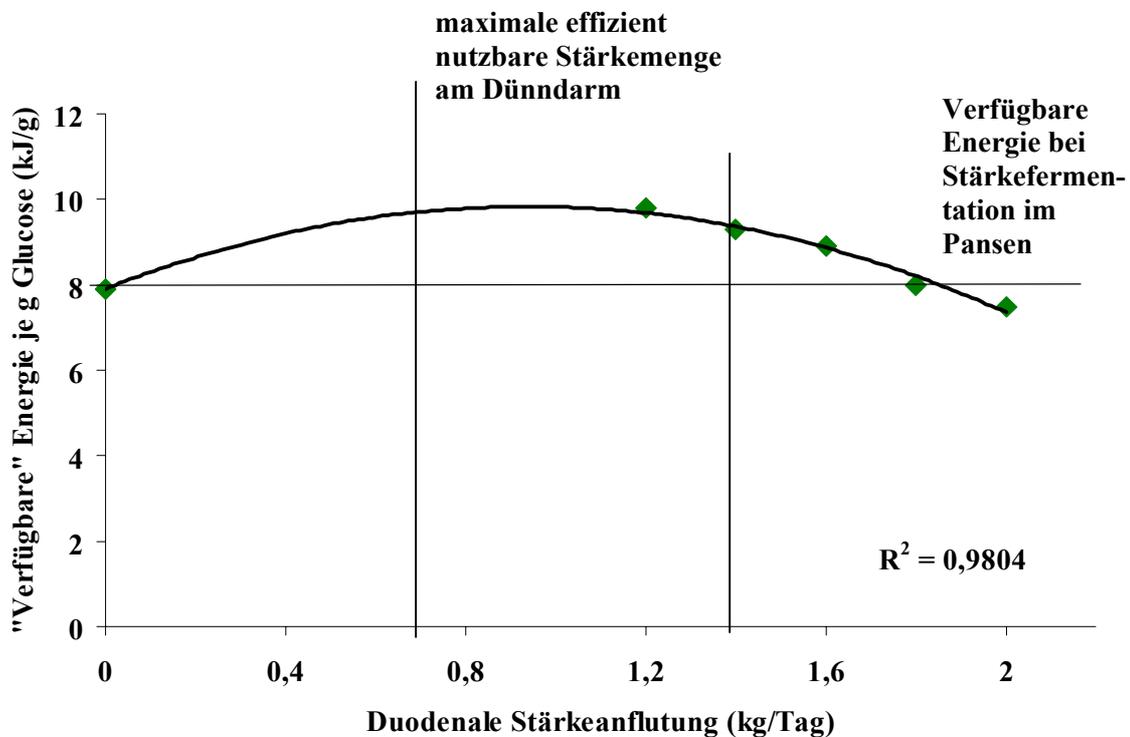
Unbefriedigende Kenntnisse liegen allerdings zum Energieverbrauch für die Stärkehydrolyse und die Glucoseabsorption vor. Es gibt verschiedene Hinweise, dass der intestinale Glucose-Transport energieaufwendiger ist als bisher angenommen (McBRIDE und KELLY 1990; SHIRAZI-BEECHEY et al. 1995). Beispielsweise besteht der Na<sup>+</sup>-abhängige Glucose-Co-Transporter beim Wiederkäuer aus 664 Aminosäuren (SHIRAZI-BEECHEY et al. 1995). Über die Nutzungsdauer und damit die Erneuerung dieses Transport-Proteins liegen keine Informationen vor. Unter Berücksichtigung dieser Unklarheiten wurden für die Stärkeverdauung und die Glucoseabsorption im Dünndarm ein Energieverlust von 25 % je g Glucose unterstellt (McBRIDE und KELLY 1990; SHIRAZI-BEECHEY et al. 1995; Tabelle 86), so dass nach Absorption noch 8,0, 7,1, 6,5, 5,3 bzw. 4,7 kJ/g Glucose zur Verfügung stehen.

Bei höheren Stärkemengen im Dünndarm der Milchkuh und geringer Verdaulichkeit strömt mehr Stärke in den Dickdarm. Da diese Mengen nicht vollständig mikrobiell umgesetzt werden können, ist mit fäkaler Stärkeausscheidung zu rechnen (bei 1,2, 1,4, 1,6, 1,8 bzw. 2,0 kg Bypass-Stärke mit 1, 2, 4, 8 bzw. 12 %). Die Mengen entsprechen Verlusten von 0,2, 0,3, 0,6, 1,3 bzw. 1,9 kJ/g Glucose, die von den verbleibenden Energiemengen, die den Dickdarm erreichen, subtrahiert werden müssen. In den Dickdarm gelangen 32, 40, 45, 55 bzw. 60 % der Bypass-Menge, somit 4,8, 6,0, 6,5, 7,3 bzw. 7,5 kJ Energie.

Für die im Dickdarm mikrobiell umgesetzten Stärkemengen wurden doppelt so hohe Energieverluste (50 %) unterstellt wie im Pansen. Beim Energieaufwand für die Gluconeogenese aus im Dickdarm entstandenen Fermentationsprodukten wurde mit gleichen Werten (25 %) wie im Pansen kalkuliert, so dass sich im Dickdarm eine zusätzliche Energie von 1,8, 2,2, 2,4, 2,7 bzw. 2,8 kJ/g Glucose ergibt, die mit den aus dem Dünndarm stammenden Energiemengen addiert werden. So ergeben sich Endzahlen von 9,8, 9,3, 8,9, 8,0 bzw. 7,5 kJ Energie je g Glucose für 1,2, 1,4, 1,6, 1,8 bzw. 2,0 kg Bypass-Stärke am Dünndarm.

Unter Berücksichtigung der getroffenen Unterstellungen kann demnach beim Eintrag von 1,2 kg Stärke in den Dünndarm mit etwa 1,9 kJ mehr Nettoenergie, bei 1,4 kg Stärke am Dünndarm mit ca. 1,4 kJ mehr Nettoenergie kalkuliert werden als bei vollständiger Fermentation im Pansen (9,8 bzw. 9,3 kJ/g Glucose gegenüber 7,9 kJ/g).

Bei 1,8 kg Bypass-Stärke im Dünndarm kann nahezu keine energetische Überlegenheit gegenüber der Pansenfermentation mehr ausgewiesen werden (8,0 gegenüber 7,9 kJ/g). Aufgrund dieser Berechnungen sollten trotz der erwähnten Unsicherheiten in der Kalkulation (Energieverbrauch für die Stärkehydrolyse und Glucoseabsorption, energetische Effizienz der Umsetzungen im Dickdarm) und der Nachteile großer Stärkemengen im Dickdarm nicht mehr als 1,3 kg Stärke, wie aus Abbildung 17 in 5.3 bereits als Richtwert abgeleitet wurde, maximal aber 1,8 kg, in den Dünndarm gelangen. Bei diesen Stärkemengen ist eine höhere Energieausbeute als bei vollständiger Fermentation im Pansen zu erwarten (Abbildung 19).



**Abbildung 19:** Energetische Effizienz der Stärkenutzung in Abhängigkeit von der Stärkemenge am Dünndarm

## 5.6 Fütterungsversuche und Leistungsdaten

Die aus den vorliegenden Versuchen und aus durchgeführten energetischen Kalkulationen zur Effizienz der Stärkenutzung abgeleiteten grundsätzlichen Aussagen werden durch die Ergebnisse zahlreicher Milchleistungsversuche bestätigt.

REYNOLDS et al. (1996) schlussfolgerten aus ihrem Maisstärke-Infusionsversuch, dass bei Milchkühen 2 kg Stärke pro Tier und Tag postruminal verdaut werden können. Jedoch wurde die durch die Infusion zusätzlich zur Verfügung stehende Energie oberhalb 700 g pro Tag für die Körperfettsynthese genutzt, da eine weitere Erhöhung der Stärkemenge am Dünndarm keine weitere Steigerung der Milchleistung erbrachte. Ebenso postulierten NOCEK und TAMMINGA (1991) und McCARTHY et al. (1989), dass eine intestinal zur Verfügung stehende Glucose unter Umständen die Lactosesynthese verbessern kann, dass jedoch die Milchleistung nicht beeinflusst wird.

Wie im Abschnitt 2.7 in Tabelle 15 dargestellt wurden beim Einsatz ruminal langsam abbaubarer Stärketräger im Gegensatz zu ruminal schnell abbaubaren annähernd gleiche Leistungen bei gleichen Inhaltsstoffen erzielt. Vermutlich konnte die am Dünndarm vermehrt anflutende Stärke nicht effizient verwertet werden. In Tabelle 87 sind einige Ursachen zusammengefasst, warum beim Einsatz ruminal langsam abbaubarer im Gegensatz zu schnell abbaubarer Stärke mehr Milch erzeugt werden könnte und warum nicht wesentlich mehr als 1 kg pro Tag zu erwarten ist.

**Tabelle 87: Ursachen für unterschiedliche Milchleistungen bei Einsatz langsam abbaubarer Stärke im Pansen (Hauptpunkte)**

Mögliche Ursachen für eine Leistungssteigerung bei Verabreichung ruminal langsam abbaubarer Stärkequellen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stabilisierung des Pansenmilieus (pH-Wert, flüchtige Fettsäuren)</li> <li>• Höherer Zellwandabbau im Pansen</li> <li>• Geringere Energieverluste (Methan, Wärme) im Pansen</li> <li>• Mehr Stärke am Dünndarm und effizientere Verwertung dieser im Dünndarm, geringere Stoffwechselbelastung (Einsparung glucogener Substanzen)</li> </ul>
Mögliche Ursachen für eine Leistungssteigerung von nur 1 kg Milch bei Verabreichung ruminal langsam abbaubarer Stärkequellen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Weniger glucoplastische Substanzen (C<sub>3</sub>) im Pansen</li> <li>• Begrenzte Stärkehydrolyse und/oder limitierte Glucoseabsorption im Dünndarm; (geringere Stärkemengen werden besser genutzt als größere Mengen)</li> <li>• Höherer Energieverbrauch bei Stärkenutzung (Hydrolyse, Absorption) im Dünndarm als erwartet</li> <li>• Mikrobielle Fermentation der Glucose im Dünndarm</li> <li>• Nutzung zusätzlich absorbierter Glucose im Dünndarmepithel und im Eingeweidegewebe für energetische Zwecke</li> <li>• Keine „echte“ Nutzung der zusätzlich zur Verfügung stehenden Glucose in den Zielorganen (z.B. Milchdrüse), sondern andere Verteilung im Körper</li> </ul>

HUNTINGTON (1997) schlussfolgerte aus Berechnungen und Simulationen, dass Getreidestärke am besten genutzt wird, wenn sie größtenteils im Pansen umgesetzt wird. In einer Versuchsanstellung von HERRERA-SALDANA und HUBER (1989) wurden vier Rationen mit ruminale Stärkeabbaubarkeiten von 74,7, 69,9, 62,3 und 48,3 % eingesetzt. Die korrespondierenden Milchleistungen beliefen sich auf 37,4, 34,9, 34,2 und 34,6 kg/d. Auch im Versuch von HUBER et al. (1994) korrelierte eine hohe ruminale Abbaubarkeit (76 vs. 51 %) mit einer höheren Milchleistung (37,4 vs. 35,0 kg). Diese Studien und die Versuche zahlreicher anderer Autoren (BUSH et al. 1979; NOCEK und TAMMINGA 1991; POORE et al. 1993a; JOY et al. 1997; SANTOS et al. 1997; TITGEMEYER 1997) weisen darauf hin, dass eine maximale Energieausnutzung, Fütterungseffizienz und Milchleistung eher im Zusammenhang mit erhöhter ruminale Abbauraten als mit Stärkenutzung im Dünndarm stehen.

Tatsächlich ist zu beobachten, dass die tierische Leistung in den meisten Fällen durch einen erhöhten ruminale Stärkeabbau verbessert wurde, entweder direkt durch eine Erhöhung der Leistung oder indirekt durch eine Verbesserung der Futterverwertung oder des Energiestatus (vgl. Abschnitt 2.7; BUSH et al. 1979; HERRERA-SALDANA und HUBER 1989; POORE et al. 1993a; HUBER et al. 1994; JOY et al. 1997; SANTOS et al. 1997; TITGEMEYER 1997; THEURER et al. 1999; SANTOS et al. 2000).

ØRSKOV (1986) formuliert zusammenfassend, dass mit einer Verlagerung der Verdauung in den postruminale Bereich mehr Probleme geschaffen als gelöst werden. Diese Probleme entstehen wahrscheinlich insbesondere durch die Limitierung der Stärkeverdauung und der Glucoseabsorption im Dünndarm, dem Verbrauch der zusätzlich zur Verfügung stehenden Glucose schon im Darmepithel und im Splanchnicus und dem Problem der faecalen Stärkeverluste, wenn beträchtliche Mengen den Dickdarm erreichen.

## 5.7 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse des vorliegenden Versuchs 1 bestätigten, dass eine Ration mit langsam abbaubarem Stärketräger (Mais) als Hauptkraftfutterkomponente im Gegensatz zu schnell abbaubarem Stärketräger (Weizen) eine niedrigere ruminale Verdaulichkeit der Stärke u.a. Nährstoffe aufweist (XS: 81,2 vs. 95,8;  $p \leq 0,001$ ; T: 38,4 vs. 43,9 %;  $p \leq 0,001$ ) und somit mehr Bypass-Nährstoffe am Dünndarm liefert. Die Verdaulichkeit der Faserbestandteile war jedoch bei der Maisration höher (76,3 vs. 69,2 %;  $p \leq 0,01$ ).

Eine längere Adaptationszeit an kraftfutterreiche Rationen bewirkte eine Stabilisierung des Pansenmilieus (pH-Wert: 5,8 vs. 5,5;  $p \geq 0,05$ ) und eine tendenzielle bzw. in einigen Fällen signifikant erhöhte ruminale Verdaulichkeit der Stärke u.a. Nährstoffe.

Aus den Befunden der Versuche 2 und 3 konnte abgeleitet werden, dass die Verdaulichkeit der Stärke u.a. Nährstoffe mit zunehmender Menge am Dünndarm deutlich abnimmt (Verminderung um 1,3 bis 20,6 Prozentpunkte;  $p \leq 0,05$  bis  $p \leq 0,001$  bei Erhöhung der Stärkemenge am Dünndarm von 654 auf 1308 g bzw. von 876 auf 1752 g). Große Mengen an Bypass-Stärke können aufgrund einer begrenzten Verdauungskapazität im Wiederkäuer-Dünndarm häufig nur unzureichend verdaut werden, wie auch Ergebnisse anderer Autoren zeigten. Die Tierkategorie Jungbulle oder Milchkuh üben hierauf keinen Einfluss aus.

Obwohl sich auch zwischen den Stärkequellen Mais und Weizen z.T. signifikante Unterschiede zeigten, war der Effekt der den Dünndarm erreichenden Menge an Stärke auf die Verdaulichkeit im Dünndarm deutlicher ausgeprägt.

Sowohl im Dünndarm als auch im Gesamtdarm erbrachte eine um 14 Tage längere Adaptation eine tendenzielle bzw. in einigen Fällen sogar eine signifikante Erhöhung der postruminalen Verdaulichkeit der Stärke u.a. Nährstoffe.

Aus den vorliegenden Untersuchungen ist unter Berücksichtigung von Literaturdaten und energetischen Kalkulationen nach derzeitigem Kenntnisstand abzuleiten, dass als Richtwert für die Menge an Bypass-Stärke, die noch energetisch effizient im Dünndarm verdaut werden kann, 1,3 bis maximal 1,8 kg pro Tier und Tag angesehen werden kann, denn je höher die Stärkeanflutung am Dünndarm ist, desto geringer ist die Absorption, und die theoretischen Vorteile einer Nutzung im Dünndarm gehen verloren. Insgesamt kommt somit der Höhe der Futter- bzw. Energieaufnahme bei der Hochleistungskuh eine größere Bedeutung zu als der Verlagerung der Stärkeverdauung in die nachgelagerten Darmabschnitte. Je nach Stärkeaufnahme der Tiere bzw. Stärkeabbau im Pansen müssen langsam und schnell abbaubare Stärkequellen in zweckmäßigem Umfang eingesetzt bzw. kombiniert werden, um eine maximale energetische Ausnutzung der Stärke zu erreichen.

Aus dem Genannten ist abzuleiten, dass bei geringer Stärkeaufnahme größere Stärke-Anteile den Pansen unverdaut passieren sollten, da sie im Dünndarm effizienter genutzt werden. Dagegen können bei hoher Stärkeaufnahme durchaus 80-90 % im Pansen abgebaut werden, da nach derzeitigem Kenntnisstand ansonsten die energetischen Vorteile einer Stärkeverdauung im Dünndarm verloren gehen. Die in Tabelle 88 aufgeführten zweckmäßigen Stärkemengen in der Tagesration von Milchkühen berücksichtigen die unterschiedlichen Verlusthöhen im Pansen, Dünndarm, Dickdarm bzw. Kot und sind auf den angestrebten Stärkeeintrag in den Dünndarm von 1,5 kg pro Tag zugeschnitten.

**Tabelle 88: Zweckmäßige Stärkemenge in der Tagesration von Milchkühen in Abhängigkeit vom ruminalen Stärkeabbau bei einer unterstellten Stärkeanflutung im Dünndarm von 1,5 kg/ Tier und Tag**

Stärkeabbau im Pansen (%)	40	50	60	70	80
Zweckmäßige Stärkemenge in der Tagesration (kg Stärke pro Tier und Tag)	2,5	3,0	3,8	5,0	7,5

In Tabelle 89 wird ein Vorschlag zum zweckmäßigen Einsatz langsam (L) und schnell (S) abbaubarer Stärkequellen in Abhängigkeit von der Höhe der Stärke- und Futteraufnahme unterbreitet, um die angestrebten 1,5 kg Stärke je Tag am Dünndarm zu erhalten. Bei Rationen mit geringer Stärkemenge, d.h. bis zu 4 kg, würden sich langsam abbaubare Stärketräger eignen, bei Rationen mit hoher Stärkemenge, d.h. über 6 kg, entweder schnell und vollständig abbaubare oder intensiver bearbeitete Stärketräger.

**Tabelle 89: Geeignete Stärkequelle in Abhängigkeit von der Stärkeaufnahme und der Höhe der Futtermittelaufnahme von Milchkühen**

Stärkeaufnahme (kg/Tier und Tag)		2	4	6	8
Notwendiger Stärkeabbau im Pansen (%), um 1,5 kg Stärke je Tag am Dünndarm zu erhalten		25	62	75	82
Futtermittelaufnahme (kg T / Tier und Tag)	12	L	L	-	-
	15	L	L	L / S	-
	18	L	L / S	S / L	S
	21	L	L / S	S / L	S
	24	L	L / S	S	S

L langsam abbaubare Stärkequelle (Maisschrot, Sorghum)

S schnell abbaubare Stärkequelle (Weizen- oder Gerstenschrot, Tapiokamehl)

Bei Berücksichtigung dieser Zusammenhänge ergeben sich hohe Anforderungen an die Kenntnisse der Abbaudynamik und Zusammensetzung der eingesetzten Kraftfuttermischungen. Weitere Untersuchungen bzw. energetische Kalkulationen sind notwendig, um die Ursachen einer begrenzten Stärkenutzung näher zu ermitteln bzw. Möglichkeiten ihrer Beeinflussung, z.B. Einsatz geschützter Amylase, zu validieren. Der nach dem derzeitigen Kenntnisstand ermittelte Richtwert von 1,5 kg Bypass-Stärke pro Tier und Tag muss abgesichert werden.

## 6 ZUSAMMENFASSUNG

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Nährstoffumsetzungen im Verdauungstrakt des Rindes nach Einsatz unterschiedlicher Mengen an Mais- und Weizenstärke als langsam bzw. schnell abbaubare Stärkequelle zu bestimmen. In drei Versuchen wurden dabei

- der Einfluss der Stärkequelle (Mais, Weizen) im Kraftfutter auf die Pansenfermentation, die Nährstoffumsetzungen im Pansen, die Anflutung von Stärke u.a. Nährstoffen am Duodenum und die Verdaulichkeit im Gesamtrakt untersucht (Versuch 1),
- der Einfluss der Stärkequelle und Stärkemenge auf die postruminale Verdaulichkeit von Stärke u.a. Nährstoffen nach duodenaler Mais- bzw. Weizenstärke-Applikation bzw. -infusion untersucht (Versuche 2 und 3) und
- der Effekt zweier unterschiedlich langer Adaptationszeiten an Stärkequelle und -dosis bestimmt.

Versuch 1 wurde in Form eines unvollständigen Cross overs an 3 mit Pansen- und Duodenalfisteln ausgestatteten, laktierenden Milchkühen der Rasse Deutsche Holstein (mittlere Lebendmasse (LM)  $639 \pm 16$ ,  $\emptyset$  Milchleistung  $32,7 \pm 2,3$  kg) im Institut für Tierernährung in Braunschweig durchgeführt. Die Tiere erhielten im Mittel 10,5 kg Kraftfutter-Trockenmasse (T) mit einem Anteil von 87 % Mais- bzw. Weizenschrot und 7,1 kg Grassilage-T. Der Versuch unterteilte sich in zwei Perioden á 49 Tagen, in denen die Tiere nacheinander die Kraftfuttermischung mit Mais oder Weizen erhielten.

Jede Periode unterteilte sich in eine 14-tägige Adaptationsphase mit anschließendem Verdauungsversuch (5 Tage), in dem auch Pansensaftproben entnommen wurden, und darauffolgender Gewinnung von duodenalen Chymusproben über 120 h zur Ermittlung des Nährstoff-Flusses. Als Flussmarker wurde  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  eingesetzt. Nach 9 Tagen weiterer Adaptation an die Rationen wurde nochmals ein Verdauungsversuch sowie eine Chymussammlung aus dem proximalen Duodenum durchgeführt.

Im Institut für Tierernährung in Nitra (Slowakei) wurden zur Bestimmung der postruminalen Verdaulichkeit von Stärke u.a. Nährstoffen im Versuch 2 vier Bullen (mittlere LM 410 kg), im Versuch 3 vier trockenstehende Milchkühe (mittlere LM 475 kg) der Rasse Slowakische Schwarzbunte mit Pansenfisteln und Kanülen am proximalen Duodenum sowie terminalen Ileum eingesetzt, die jeweils eine Ration aus 5,4 kg Maissilage-T und 3,6 kg Luzerneheu-T (Versuch 2) bzw. aus 2,1 kg Maissilage-T und 1,9 kg Luzerneheu-T (Versuch 3) erhielten.

654 bzw. 1308 g Mais- bzw. Weizenstärke je Tag, angerührt in Wasser, wurden mittels Schlauch und aufgesetztem Trichter in zwei Teilgaben in das proximale Duodenum der Bullen appliziert (Versuch 2). Den Kühen wurden 876 bzw. 1752 g Mais- bzw. Weizenstärke je Tag mittels Peristaltikpumpe kontinuierlich in das proximale Duodenum infundiert. Das Versuchsdesign war in beiden Fällen ein 4x4 lateinisches Quadrat mit Perioden á 28 Tagen, welches sich aus den zwei Stärkedosen und den zwei Stärkequellen ergab. Innerhalb jeder Periode erfolgten die ersten Probennahmen aus Ileum und Kot nach 9 Tagen Adaptation an Stärkequelle und -menge und die nächsten nach 23 Tagen Adaptation. Als Flussmarker wurde  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  verwendet.

Im Rahmen der Untersuchungen wurden im Futter, in den Rückwaagen, den duodenalen und ilealen Darmsäften sowie im Kot WEENDER-Analysen nach den VDLUFA-Vorschriften und Stärkeanalysen mit Hilfe von Enzymen ( $\alpha$ -Amylase und Amyloglucosidase) nach SALOMONSSON et al. (1984) durchgeführt. In den duodenalen und ilealen Darmsäften sowie im Kot erfolgte die Bestimmung der Chromoxid-Konzentration mit Hilfe der Atomabsorptionsspektrometrie.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

### **Pansenparameter**

- Beim Einsatz von 87 % Mais bzw. Weizen im Kraftfutter (Versuch 1) zeigten sich sowohl in Bezug auf die Stärkequellen als auch auf die Länge der Adaptationszeit signifikante Effekte. Das Kraftfutter mit Mais resultierte gegenüber der Variante mit Weizen 3 h nach Beginn der Morgenfütterung in einem höheren pH-Wert (5,8 vs. 5,5;  $p > 0,05$ ),  $\text{NH}_3$ -Gehalt (178,1 vs. 62,8 mg/l;  $p \leq 0,05$ ) sowie einer niedrigeren Gesamtfettsäurenkonzentration im Pansensaft (134,7 vs. 143,8 mmol/l;  $p \leq 0,01$ ).
- Die um 14 d längere Adaptationszeit erbrachte eine Stabilisierung des pH-Wertes (5,9 vs. 5,4;  $p \leq 0,05$ ) sowie eine Erniedrigung des  $\text{NH}_3$ -Gehaltes (115,8 vs. 125,5 mg/l;  $p > 0,05$ ) und der Gesamtfettsäurenkonzentration (134,3 vs. 144,1 mmol/l;  $p \leq 0,05$ ) im Pansensaft 3 h nach Beginn der Morgenfütterung.
- Die in den Versuchen 2 und 3 zur Charakterisierung der Vormagenverhältnisse 3 h nach Beginn der Morgenfütterung ermittelten Pansenparameter pH-Wert,  $\text{NH}_3$ -Gehalt, Gesamtfettsäurenkonzentration bzw. molare Anteile der Fettsäuren und die zu verschiedenen Zeiten nach Beginn der Morgenfütterung gemessenen Blutglucose-Konzentrationen zeigten keine Unterschiede zwischen den Varianten und lagen im Normalbereich.

### **Nährstoffumsetzungen im Pansen bzw. Nährstoffanflutung am Duodenum**

- Im Versuch 1 resultierte das Mais-Kraftfutter gegenüber dem Weizen-Kraftfutter in einer signifikant niedrigeren ruminalen Verdaulichkeit der T, der organischen Substanz (OS), der stickstofffreien Extraktstoffe (NfE) und der Stärke (XS) (Verdaulichkeit der OS: 47,0 vs. 53,6 %;  $p \leq 0,001$ , XS: 75,8 vs. 95,0;  $p \leq 0,001$ ), die Verdaulichkeit der Rohfaser (XF) war signifikant erhöht (76,3 vs. 69,2 %,  $p \leq 0,01$ ). Somit führte eine Ration mit Mais im Gegensatz zu Weizen zur Anflutung größerer Mengen an Bypass-Nährstoffen am Dünndarm (OS: 8843 vs. 7650 g;  $p \leq 0,001$ ; XS: 1523 vs. 295 g;  $p \leq 0,001$ ).
- Nach längerer Adaptationszeit wurde beim Einsatz beider Kraftfuttermischungen jeder Nährstoff, außer Rohfaser, tendenziell, die T und OS sogar signifikant höher im Pansen verdaut als nach kürzerer Adaptationszeit (OS / Mais: 48,3 vs. 45,8 %;  $p \leq 0,05$ ; OS / Weizen: 54,1 vs. 53,2 %;  $p \leq 0,05$ ).

### **Verdaulichkeit im Dünndarm (proximales Duodenum bis terminales Ileum)**

- In den Versuchen 2 und 3 nahm die Stärke-Verdaulichkeit mit zunehmender Stärkemenge am Duodenum ab. Von der niedrigen zur hohen Applikationsmenge (654 und 1308 g; Versuch 2) war im Dünndarm eine Abnahme der Stärke-Verdaulichkeit aus Futter und applizierter Stärke von 69,6 auf 65,9 % (Mais) bzw. von 66,9 auf 65,2 % (Weizen) zu verzeichnen ( $p \leq 0,001$ ). Von der niedrigen zur hohen Infusionsmenge (876 und 1752 g; Versuch 3) nahm die Stärke-Verdaulichkeit aus Futter und infundierter Stärke von 71,2 auf 50,6 % (Mais) bzw. von 73,5 auf 53,3 % (Weizen) ab ( $p \leq 0,001$ ).
- Die Verdaulichkeit der applizierten bzw. infundierten Stärke im Dünndarm nahm von 74,3 auf 68,0 % (Mais) bzw. von 76,7 auf 67,4 % (Weizen) im Versuch 2 ( $p \leq 0,001$ ) sowie von 71,4 auf 50,3 % (Mais) bzw. von 73,8 auf 53,1 % (Weizen) im Versuch 3 ( $p \leq 0,001$ ) ab. Somit wurde in Übereinstimmung mit den Ergebnissen zahlreicher Autoren eine Begrenzung der Kapazität zur Stärkeverdauung nachgewiesen.
- Zwischen den Stärkequellen fanden sich z.T. signifikante Unterschiede. Im Versuch 2 wurden von 654 g applizierter Weizenstärke im Dünndarm mit 76,7 gegenüber 74,3 % 2,4 ( $p \leq 0,05$ ) Prozentpunkte mehr, von 1308 g Weizenstärke wider Erwarten mit 67,4 gegenüber 68,0 % 0,6 Prozentpunkte ( $p > 0,05$ ) weniger verdaut als von den entsprechenden Mengen Maisstärke. Im Versuch 3 wurden von 876 g infundierter Weizenstärke mit 73,8 gegenüber 71,4 % 2,4 ( $p \leq 0,001$ ) Prozentpunkte, von 1752 g mit 53,1 gegenüber 50,3 2,8 Prozentpunkte ( $p \leq 0,001$ ) mehr verdaut als von der Maisstärke. Obwohl sich zwischen den Stärkequellen Mais und Weizen Unterschiede zeigten, war der Effekt der den Dünndarm erreichenden Menge an Stärke auf die Verdaulichkeit im Dünndarm deutlicher ausgeprägt.
- Die um 14 Tage längere Adaptationszeit resultierte im Versuch 2 bei der großen Dosis Weizenstärke in einer signifikanten Erhöhung der Stärke-Verdaulichkeit, bei den anderen Varianten nur in einer tendenziellen Erhöhung. Im Versuch 3 war der Effekt bei allen Varianten signifikant, es wurden nach längerer Adaptationszeit 1,5 bis 2,8 Prozentpunkte mehr Stärke verdaut.

### **Verdaulichkeit im Gesamtrakt bzw. Gesamtdarm (proximales Duodenum bis zum Ende des Rectums)**

- Im Versuch 1 war die Gesamt-Verdaulichkeit der T, OS, NfE und Stärke beim Mais-Kraftfutter niedriger als beim Weizen-Kraftfutter (OS: 78,6 vs. 80,5 %), die der Rohfaser signifikant höher (77,5 vs. 73,2 %;  $p \leq 0,01$ ). Die längere Adaptationszeit erbrachte nur bei der Mais-Variante eine leichte Erhöhung der Verdaulichkeit bei allen Nährstoffen.
- In den Versuchen 2 bzw. 3 war, bezogen auf die Stärkemenge aus Ration und Applikation bzw. Infusion, eine Verminderung der Verdaulichkeit im Gesamtdarm von der niedrigen zur hohen Stärkemenge von 80,9 auf 79,6 % ( $p \leq 0,001$ ) bzw. von 95,6 auf 79,4 % ( $p \leq 0,001$ ) bei der Maisstärke und von 82,9 auf 80,2 % ( $p \leq 0,001$ ) bzw. von 99,8 auf 82,0 % ( $p \leq 0,001$ ) bei der Weizenstärke zu verzeichnen.

- Bezogen auf die applizierten bzw. infundierten Mengen erniedrigte sich die Verdaulichkeit in den Versuchen 2 bzw. 3 von der niedrigen zur hohen Dosis von 83,7 auf 81,0 % ( $p \leq 0,001$ ) bzw. von 95,5 auf 79,1 % ( $p \leq 0,001$ ) bei der Maisstärke und von 86,0 auf 81,7 % ( $p \leq 0,001$ ) bzw. von 99,8 auf 81,7 % ( $p \leq 0,001$ ) bei der Weizenstärke.
- Die Unterschiede zwischen den Stärkequellen konnten in den meisten Fällen statistisch abgesichert werden. Im Versuch 2 wurden von 654 g Weizenstärke mit 86,0 gegenüber 83,7 % 2,3 ( $p \leq 0,05$ ) Prozentpunkte, von 1308 g Weizenstärke mit 81,7 gegenüber 81,0 % 0,7 ( $p > 0,05$ ) Prozentpunkte mehr verdaut als von den entsprechenden Menge Maisstärke. Im Versuch 3 wurden von 876 g Weizenstärke mit 99,8 gegenüber 95,5 % 4,2 ( $p \leq 0,001$ ) Prozentpunkte bzw. von 1752 g Weizenstärke mit 81,7 gegenüber 79,1 % 2,6 ( $p \leq 0,001$ ) Prozentpunkte mehr verdaut als von der Maisstärke.
- Nach 23 Tagen Adaptation wurden im Gesamtdarm 0,2 bis 0,6 Prozentpunkte mehr Stärke verdaut ( $p > 0,05$ ) als nach 9 Tagen Adaptation. Somit führte sowohl im Dünndarm als auch im Gesamtdarm eine längere Adaptationszeit zu einer tendenziellen bzw. signifikanten Erhöhung der postruminalen Verdaulichkeit.

Unter Berücksichtigung von Literaturdaten und energetischen Kalkulationen wurde nach derzeitigem Kenntnisstand als Richtwert für die Menge an Bypass-Stärke, die noch energetisch effizient im Dünndarm verdaut werden kann, 1,3 bis maximal 1,8 kg pro Tier und Tag abgeleitet. Je nach Stärkeaufnahme der Tiere bzw. Stärkeabbau im Pansen müssen langsam und schnell abbaubare Stärkequellen in zweckmäßigen Umfang eingesetzt bzw. kombiniert werden, um die maximale energetische Ausnutzung der Stärke zu erreichen.

## 7 SUMMARY

Angelika Matθέ

### **Nutrient Conversion in the Digestive Tract of Ruminants after Corn or Wheat Starch Application in Different Amounts**

The objective of the investigation was to study the conversion of nutrients in the digestive tract of ruminants after using different amounts of corn or wheat starch, which are known as a slowly or rapidly degradable starch sources.

Three metabolism experiments were conducted to determine:

- the effect of starch source (corn, wheat) in concentrates on rumen fermentation, nutrient conversion in the rumen, duodenal digesta flow of starch and other nutrients as well as on total tract digestibility (experiment 1),
- the effect of starch source and starch dose on postruminal digestibility of starch and other nutrients after duodenal starch application or infusion of corn or wheat starch (experiment 2 and 3),
- the effect of two different adaptation times to source and dose of starch (experiment 1, 2 and 3).

Experiment 1, which was performed at the Institute of Animal Nutrition in Braunschweig (FAL), was designed as an incomplete cross over with three lactating German Holstein cows (mean live weight (LW)  $639 \pm 16$  kg; mean daily milk  $32.7 \pm 2.3$  kg) fitted with ruminal and duodenal cannulas. The animals received 7.1 kg dry matter (DM) grass silage and 10.5 kg DM of concentrate mixture with either 87 % corn or wheat. The experiment was divided into two periods over 49 days each, in which the animals were fed in succession either the corn or the wheat concentrate.

Each period comprised 14 days of adaptation with a subsequent digestibility trial (5 days) and rumen fluid sampling followed by duodenal digesta sampling for 120 h to determine the duodenal digesta flow. After another adaptation period of 9 days, a further digestibility trial with rumen fluid sampling and duodenal digesta sampling was conducted.  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  was used as a flow marker.

Experiment 2 and 3 were carried out at the Institute of Animal Nutrition in Nitra (Slovak Republic) to determine the postruminal digestibility of starch and other nutrients. In experiment 2 four bulls and in experiment 3 four cows (Slovakian Black and White; mean LW 410 kg or 475 kg, respectively) with ruminal, duodenal and ileal cannulas received 5.4 kg DM corn silage and 3.6 kg DM alfalfa hay or 2.1 kg DM corn silage and 1.9 kg DM alfalfa hay, respectively.

In experiment 2, 654 or 1308 g corn or wheat starch per day were added to warm tap water twice a day and applied (using a tube with funnel) into the proximal duodenum of the bulls. In experiment 3, 876 or 1752 g corn or wheat starch, respectively, per day were continuously infused (using peristaltic pumps) into the proximal duodenum of the cows. Both experiments were carried out as a 4x4 Latin square resulting from two starch doses and two starch sources, with four periods over 28 days. Each period comprised 9 days of adaptation to the starch source and dose and was followed by five days of ileal digesta sampling and faeces collection, another 9 days of adaptation and again five days of ileal digesta sampling and faeces collection. Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> was used as a flow marker.

Feeds, refusals, duodenal and ileal digesta as well as faeces samples were analysed according to WEENDE procedure (METHODENBUCH III, VDLUFA, 1976). Starch was determined according to SALOMONSSON et al. (1984). In the duodenal and ileal digesta as well as in faeces Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> concentrations were analysed by atomic absorption.

The results obtained are summarised as follows:

### **Rumen fermentation**

- After feeding the 87 % corn or wheat concentrate, respectively (exp. 1), significant effects of starch source and adaptation time were observed. The corn concentrate resulted in a higher pH value (5.8 vs. 5.5;  $p>0.05$ ) and ammonia N concentration (178.1 vs. 62.8 mg/l;  $p\leq 0.05$ ) than the wheat concentrate 180 minutes ppr. Corn concentrate also resulted in a lower total volatile fatty acid (VFA) concentration in the rumen fluid (134.7 vs. 144.1 mmol/l;  $p\leq 0.01$ ) as compared to wheat concentrate.
- The prolonged adaptation period of 14 days resulted in a stabilisation of pH value at a higher level (5.9 vs. 5.4;  $p\leq 0.05$ ) and a decreased NH<sub>3</sub>-N (115.8 vs. 125.5 mg/l;  $p>0.05$ ). Total VFA concentration in the rumen fluid 180 minutes postprandial also decreased (134.3 vs. 144.1 mmol/l;  $p\leq 0.05$ ).
- In Experiment 2 and 3, rumen parameters, which were determined to characterise the rumen milieu 180 minutes ppr, showed no differences between groups in the pH value, the ammonia N, the total VFA concentration or the molar proportions of the VFA, these values varied within normal ranges. No differences were found in the glucose concentration in the blood, measured at different times ppr..

### **Nutrient conversion in the rumen or duodenal digesta flow**

- In Experiment 1, the ration with the corn concentrate resulted in a significantly lower ruminal digestibility of DM, organic matter (OM), nitrogen-free extracts (NfE) and starch (XS) (digestibility of OM: 47.0 vs. 53.6 %;  $p\leq 0.001$ ; XS: 75.8 vs. 95.0 %;  $p\leq 0.001$ ) and in a significantly higher crude fibre (XF) digestibility (76.3 vs. 69.2 %;  $p\leq 0.01$ ) as compared to the ration with the wheat concentrate. Thus, the ration with corn led to higher amounts of bypass-nutrients (OM: 8843 vs. 7650 g;  $p\leq 0.001$ ; XS: 1523 vs. 295 g;  $p\leq 0.001$ ) as compared to wheat.

- The prolonged adaptation time showed a tendency towards higher digestibility of all nutrients, except XF, in either concentrate mixture. Digestion of DM and OM were significantly higher after 42 as compared to 21 days of adaptation (OM / corn concentrate: 48.3 vs. 45.8 %;  $p \leq 0.05$ ; OM / wheat concentrate: 54.1 vs. 53.2 %;  $p \leq 0.05$ ).

### **Digestibility in the small intestine (proximal duodenum to terminal ileum)**

- In experiment 2 and 3, starch digestibility in the small intestine decreased with the increasing amount of bypass-starch. From the low to the high dose (654 and 1308 g; exp. 2) starch digestibility (ration plus application) decreased from 69.6 to 65.9 % in the case of corn starch ( $p \leq 0.001$ ), and from 66.9 to 65.2 % in the case of wheat starch ( $p \leq 0.001$ ). From the low to the high dose (876 and 1752 g; exp. 3) starch digestibility (ration plus infusion) decreased from 74.3 to 68.0 % in the case of corn starch ( $p \leq 0.001$ ), and from 76.7 to 67.4 % in the case of wheat starch ( $p \leq 0.001$ ).
- Digestibility of the duodenally applied or infused starch in the small intestine decreased from the low to the high dose from 74.3 to 68.0 % in the case of corn starch ( $p \leq 0.001$ ), from 76.7 to 67.4 % in the case of wheat starch ( $p \leq 0.001$ ) in experiment 2, and from 71.4 to 50.3 % (corn starch;  $p \leq 0.001$ ) and from 73.8 to 53.1 % (wheat starch;  $p \leq 0.001$ ) in experiment 3. Thus, a limited capacity of starch digestion, as established by previous authors, was confirmed.
- Starch digestibility varied significantly with starch source. In experiment 2, digestibility of the corn starch applied at the level of 654 g was 2.4 percent points (pp) less (74.3 vs. 76.7 %;  $p \leq 0.05$ ) as compared to the wheat starch; at the high dose level of 1308 g, the difference was 0.6 pp (68.0 vs. 67.4 %;  $p > 0.05$ ). In experiment 3, when 876 g starch were infused, corn starch was digested 2.4 pp less (71.4 vs. 73.8 %;  $p \leq 0.001$ ) as compared to the wheat starch; when 1752 g starch were infused, the difference was 2.8 pp (50.3 vs. 53.1 %;  $p \leq 0.001$ ). Although differences were observed between corn and wheat starch, the effect of the different amounts of starch reaching the duodenum was more strongly pronounced.
- In experiment 2, the prolonged adaptation period resulted in a significantly higher starch digestibility in the case of the high dose wheat starch. Only a slight tendency towards higher digestibility was found in all other groups. In experiment 3, the effect of adaptation was significant in all groups; after a prolonged adaptation period, starch digestibility had increased by 1.5 to 2.8 pp.

### **Digestibility in the total tract or in the total intestine (proximal duodenum to end of rectum) respectively**

- In experiment 1, the total tract digestibility of DM, OM, NfE and starch was lower for the ration with corn than for that with wheat (OM: 78,6 vs. 80,5 %;  $p > 0.05$ ), whereas digestibility of XF was significantly higher (77.5 vs. 73.2 %;  $p \leq 0.01$ ). The prolonged adaptation period resulted in a slightly higher digestibility of nearly all nutrients, however, only in the case of the corn ration.

- In experiments 2 and 3, the total intestinal starch digestibility decreased with the increasing amount of bypass starch. From the low to the high dose (654 and 1308 g; exp. 2) digestibility of the total starch (ration plus application) decreased from 80.9 to 79.6 % (corn starch;  $p \leq 0.001$ ) and from 82.9 to 80.2 % (wheat starch;  $p \leq 0.001$ ). Increasing the starch dose from 876 to 1752 g by duodenal infusion (exp. 3) the digestibility of total starch (ration plus infusion) decreased from 95.6 to 79.4 % in the case of the corn starch ( $p \leq 0.001$ ) and from 99.8 to 82.0 % in the case of the wheat starch ( $p \leq 0.001$ ).
- The total intestinal digestibility of the applied or infused starch decreased from the low to the high dose from 83.7 to 81.0 % (corn starch;  $p \leq 0.001$ ) and from 86.0 to 81.7 % (wheat starch;  $p \leq 0.001$ ) in experiment 2, and from 95.5 to 79.1 % (corn starch;  $p \leq 0.001$ ) and from 99.8 to 81.7 % (wheat starch;  $p \leq 0.001$ ) in experiment 3.
- The starch digestibility varied mostly with the starch source. In experiment 2, the low duodenal dose of 654 g corn starch was digested 2.3 pp less as compared to the equivalent dose of wheat starch (83.7 vs. 86.0 %;  $p \leq 0.05$ ); in the case of the high dose of 1308 g starch the corresponding difference, was 0.7 pp (81.0 vs. 81.7 %;  $p > 0.05$ ). In experiment 3, when 876 g starch were infused, digestibility of the corn starch was 4.2 pp less (95.5 vs. 99.8 %;  $p \leq 0.001$ ) as compared to that of wheat starch; when 1752 g starch were infused, the corresponding difference was 2.6 pp (79.1 vs. 81.7 %;  $p \leq 0.001$ ).
- After 23 days of adaptation starch digestion in the total intestine was 0.2 to 0.6 pp higher as compared to 9 days of adaptation. Thus, a longer adaptation period led, in both the small as well as the total intestine, to a slight or significant increase of the postruminal starch digestion.

On the basis of available literature data and model calculations of the energetic efficiency of starch utilisation, it was estimated that the amount of bypass-starch, which can be efficiently utilised in the small intestine, is supposed to be 1.3 – 1.8 kg per animal and day. Depending on the animal's starch intake and the ruminal starch degradability, a combination of slowly and rapidly degradable starch sources should be provided to ensure the maximum energy utilisation from starch.

## 8 LITERATURVERZEICHNIS

- ABEL, Hj. (1995): Laktation. In: ABEL, Hj.; FLACHOWSKY, G.; JEROCH, H.; MOLNAR, S. (Hrsg.): Nutztierernährung. Gustav-Fischer-Verlag Jena, Stuttgart, 289-301.
- ABEL, Hj.; VAITIEKUNAS, M.; MASCH, E. (1992): Fette und Kohlenhydrate als Energieträger im Milchleistungsfutter. Kraftfutter 2, 44-48.
- ABEL, Hj.; LUILAMPE, J.; RUSSE, S.; AHRENS, F. (1997): Zur Kinetik des Glucoseumsatzes bei Milchkühen mit abomasaler Casein- oder Wasserinfusion. Schriftenreihe des Forschungsinstitutes für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere (FBN) 10. Internationale Vortragsstagung – Verdauungsphysiologie und Stoffumsatz beim Wiederkäuer, Editoren: VOIGT, J. und HAGEMEISTER, H., 50-59.
- ALDRICH, J.M.; MÜLLER, L.D.; VARGA, D.A.; GRIEL, L.C., Jr. (1993): Nonstructural carbohydrate and protein effects on rumen fermentation, nutrient flow and performance of dairy cows. J. Dairy Sci. 76, 1091-1105.
- ALLISON, G.G.; SHIRAZI-BEECHEY, S.P. (1997): Measurements of ovine SGLT1 mRNA levels by competitive RT-PCR. Biochemical Society Transactions 25, 481S.
- AMARAL-PHILLIPS, D.M.; MCGILLIARD, A.D.; LINDBERG, G.L.; VEENHUIZEN, J.J.; YOUNG, J.W. (1993): Effects of decreased availability of glucose for dairy cows. J. Dairy Sci. 76, 752-761.
- ARMENTANO, L.E. (1992): Ruminant hepatic metabolism of volatile fatty acids, lactate and pyruvate. Conference: Hepatic metabolism of organic acids in ruminants. J. Nutr. 122, 838-842.
- AXE, D.E.; BOLSEN, K.K.; HARMON, D.L.; LEE, R.W.; MILLIKEN, G.A.; AVERY, T.B. (1987): Effects of wheat and high moisture sorghum grain fed singly and in combination on ruminal fermentation, solid and liquid flow, site and extent of digestion and feeding performance of cattle. J. Anim. Sci. 64, 897-906.
- BAUER, M.L.; HARMON, D.L.; McLEOD, K.R.; HUNTINGTON, G.B. (1995): Adaptation to small intestinal starch assimilation and glucose transport in ruminants. J. Anim. Sci. 73, 1828-1838.
- BEAUCHEMIN, K.A.; RODE, L.M. (1997): Minimum versus optimum concentrations of fiber in dairy cow diets based on barley silage and concentrates of barley or corn. J. Dairy Sci. 80, 1629-1639.
- BERGMAN, E.N. (1990): Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. Physiol. Rev. 70, 567-590.

- BERGNER, H.; MÜNCHOW, H. (1978): Prüfung verschiedener pelletierter oder teilpelletierter Trockenfütterationen auf Strohbasis an Milchkühen. 1. Mitteilung: Pansenfermentations- und Milchleistungsparameter in der Adaptationsphase zu Beginn der 1. Laktation. Arch. Tierernährung 28, 355-366.
- BERGNER, H.; HOFFMANN, L. (1997): Bioenergetik und Stoffproduktion landwirtschaftlicher Nutztiere. Kapitel 3: Bioenergetik des intermediären Nährstoffumsatzes. Harward Academie Publishers Deutschland, 51-188.
- BEYER, M.; JENTSCH, W.; HOFFMANN, L. (1993): Einfluss der Stärkeherkünfte Gerste, Mais und Kartoffeln und ihrer Rationsanteile auf die Nährstoffverdaulichkeit und die Energieverwertung bei Wiederkäuern. 2. Mitteilung – Anteile an ruminal und postruminal verdauten Nährstoffen beim Rind. Arch. Anim. Nutr. 43, 63-77.
- BOCK, B.J.; HARMON, D.L.; BRANDT, R.T., Jr.; SCHNEIDER, J.E. (1991): Fat source and calcium level effects on finishing steer performance, digestion and metabolism. J. Anim. Sci. 69, 2211-2224.
- BØRSTING, C.F.; WEISSBJERG, M.R. (1989): Influence of fat and feed level on fibre digestibility *in vitro* and *in sacco* and on volatile fatty acid proportions in the rumen. Acta Vet Scand Suppl. 86, 137-139.
- BRANCO, A.F.; HARMON, D.L.; BOHNERT, D.W.; LASON, B.T.; BAUER, M.L. (1999): Estimating true digestibility of nonstructural carbohydrates in the small intestine of steers. J. Anim. Sci. 77, 1889-1895.
- BRANDT, M.; SCHULDT, A.; VEARASILP, T. (1986): Körnergetreide und Lieschkolbenschrotsilage in der Milchkuhfütterung. Schriftenreihe der Agrarwiss. Fak. der Univ. Kiel 45, 90.
- BRYANT, M.P. (1963): Identification of groups of anaerobic bacteria active in the rumen. Symposium on microbial digestion in ruminants: J. Anim. Sci. 22, 801-813.
- BURGWALD-BALSTADT, L.A.; CATON, J.S.; BURKE, V.I.; OLSON, K.C. (1995): Influence of forage level and naloxone injection on feed intake, digestion, and plasma hormone and metabolite concentrations in dairy heifers. J. Anim. Sci. 73, 2677-2686.
- BUSH, L.J.; NETEMEYER, G.D.; ADAMS, G.D. (1979): Reconstituted sorghum grain for lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 62, 1094-1097.
- CASPER, D. P.; SCHINGOETHE, D. J. (1989): Lactation response of dairy cows to diets varying in ruminal solubilities of carbohydrate and crude protein. J. Dairy Sci. 72, 928-941.
- CASPER, D.P.; MAIGA, H.A.; BROUK, M.J.; SCHINGOETHE, D. J. (1999): Synchronization of carbohydrate and protein sources on fermentation and passage rates in dairy cows. J. Dairy Sci. 82, 1779-1790.

- CHAIYABUTR, N.; KOMOLVANICH, S.; SAWANGKOON, S.; PREUKSAGORN, S.; CHANPONGSANG, S. (1998): Glucose metabolism in vivo in crossbred Holstein cattle feeding on different types of roughage during late pregnancy and early lactation. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A* 119, 905-913.
- CHASE, L.E. (1993): Starch digestion in the dairy cow - what are the limits. *Proc. Cornell Nutr. Conf. for Feed Manufacturers, Rochester*, 90-97.
- CHEN, K.H.; HUBER, J.T.; THEURER, C.B.; SWINGLE, R.S.; SIMAS, J.; CHAN, S.C.; WU, Z.; SULLIVAN, J.L. (1994): Effect of steam flaking of corn and sorghum grains on performance of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 77, 1038-1043.
- CHUDY, A. (1999): Energy requirement for gluconeogenesis – measurements in bulls with fistulas in the duodenum. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 29, 178-180.
- CLARK, J.H.; SPIRES, H.R.; DERRIG, R.G.; BENNINK, M.R. (1977): Milk production, nitrogen utilization and glucose synthesis in lactating cows infused postruminally with sodium caseinate and glucose. *J. Nutr.* 107, 631-644.
- CLARY, J.J.; MITCHELL, G.E, Jr.; LITTLE, C.O.; BRADLEY, N.W. (1969): Pancreatic amylase activity from ruminants fed different rations. *Can. J. Physiolog. Pharmacol.*, 47, 161-164.
- CLEMENS, E.T.; JOHNSON, R.R. (1973): Influence of dietary nitrogen source, concentrate level and biuret level in sheep on the adaptation of rumen microorganism to biuret as a nonprotein nitrogen source. *J. Nutr.* 103, 1406-1413.
- CONE, J.W. (1991): Degradation of starch in feed concentrates by enzymes, rumen fluid and rumen enzymes. *J. Sci. Food Agric.* 54, 23-34.
- CONE, J.W.; VLOT, M. (1990): Comparison of degradability of starch in concentrates by enzymes and rumen fluid. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 63, 142-148.
- CROOM, W.J, Jr.; McBRIDGE, B.; BIRD, A.R.; FAN, Y.-K.; ODLE, J.; FROETSCHEL, M.; TAYLOR, I.L. (1998): Regulation of intestinal glucose absorption: a new issue in animal science. *Can. J. Anim. Sci.* 78, 1-13.
- DAENICKE, R. (2000): Fütterungsversuche zum Einsatz verschiedener Stärkequellen bei Milchkühen. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft "Zum Futterwert von Mais"*, Öffentliche Sitzung der AG Futterkonservierung und Fütterung des Deutschen Maiskomitees in der FAL, Braunschweig, 28./29.03; 60-70.
- DAENICKE, R.; GÄDEKEN, D.; LEBZIEN, P. (1997): Einsatz von Körnermais in der Milchvieh- und Mastbullenfütterung. 11. Maiskolloquium, März 1997, 41-43.
- DANFAER, A. (1999): Nutrient flow across the liver in dairy cows. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 8, 13-25.

- De GREGORIO, R.M.; TUCKER, R.E.; MITCHELL, G.E., Jr.; GILL, W.W. (1982): Carbohydrate fermentation in the large intestine of lambs. *J. Anim. Sci.* 54, 855-862.
- De PETERS, E. J.; TAYLOR, S. J. (1985): Effect of feeding corn or barley on composition of milk and diet digestibility. *J. Dairy Sci.* 68, 2027-2032.
- De VISSER, H. (1993): Characterisation of carbohydrates in compound feeds. In: P.C. Garnsworthy, D.J.A. Cole (Editors). *Recent Advances in Animal Nutrition*. Nottingham University Press, Nottingham, 19-38.
- De VISSER, H. (1997): Netflux in splanchnic tissue of dairy cows, an update for feeding systems. *Schriftenreihe des Forschungsinstitutes für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere (FBN) 10. Internationale Vortragsagung – Verdauungsphysiologie und Stoffumsatz beim Wiederkäuer*, Editoren: VOIGT, J. und HAGEMEISTER, H., 60-67.
- De VISSER, H.; KLOP, A.; van der KOELEN, C.J.; van VUUREN, A.M. (1998): Starch supplementation of grass harvested at two stages of maturity prior to ensiling: Intake, digestion and degradability by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 81, 2221-2227.
- DEWHURST, R.J.; FISHER, W.J.; DAVIES, D.W.R.; MARSDEN, M. (1997): Supplementation of grass silage-based diets for cows with concentrates containing high levels of cereal starch. *Proc. Br. Soc. Anim. Sci., Ann. Meeting in Scarborough, March 1997*, 91 (Abstract).
- DHIMAN, T.R.; CADORNIGA, C.; SATTER, L.D. (1993): Protein and energy supplementation of high alfalfa silage diets during early lactation. *J. Dairy Sci.* 73, Suppl. 1, 124 (Abstract).
- DIEZ-GONZALEZ, F.; CALLAWAY, T.R.; KIZOULIS, M.G.; RUSSELL, J.B. (1998): Grain feeding and the dissemination of acid-resistant *Escherichia coli* from cattle. *Science* 281, 1666-1668.
- DIXON, W.J. (1953): Processing data for outliers. *Biometrics* 9, 74-89.
- DIXON, R.M. und NOLAN, J.V. (1982): Studies of the large intestine of sheep. 1. Fermentation and absorption in sections of the large intestine. *Br. J. Nutr.* 47, 289-300.
- DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer (1997): Erarbeitet von der Dokumentationsstelle der Universität Hohenheim; 7. Erweiterte und neugestaltete Ausgabe; DLG-Verlag, Frankfurt.
- DOMBRINK-KURTZMANN, M.A.; BIETZ, J.A. (1993): Zein composition in hard and soft endosperm of maize. *Cereal Chem.* 70, 105-108.
- EADIE, J.; MARGARET, P.N.; HOBSON, S.; MANN, R.S. (1967): A note on some comparisons between the rumen content of barley-fed steers and that of young calves also fed on high concentrate ration. *Anim. Production* 9, 247-250.

- EKINCI, C.; BRODERICK, G.A. (1997): Effect of processing high moisture ear corn on ruminal fermentation and milk yield. *J. Dairy Sci.* 80, 3298-3307.
- ELLIOT, J.M. (1976): The glucose economy of the lactating dairy cow. In: *Proc. Cornell Nutr. Conf. Feed Mfg, Cornell Univ., Ithaca, NY*, 59.
- ENGLING, F.P. (1988): Überprüfung verschiedenartiger Gärfutter unter ernährungsphysiologischen Aspekten: Ein Beitrag zur Erweiterung der Basis wirtschaftseigener Futtermittel in der Milchviehfütterung. Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen.
- FETT, R. (1988): Maisstärke – ein guter Energieträger für Hochleistungskühe. *Kraftfutter* 12, 426-427.
- FLACHOWSKY, G. (1994): Ernährungsphysiologische Besonderheiten von Maisstärkehaltigen Futtermitteln in der Wiederkäuerernährung. AG Futterkonservierung und Fütterung im Deutschen Maiskomitee e.V., Bad Hersfeld, 2./3. März 1994.
- FLACHOWSKY, G. (1999): Fütterung der 10000 Liter Kuh: Glucose-ein Schlüssel für hohe Leistungen. DLG-Fütterungskonferenz, 9./10. Feb. 1999, Braunschweig, 1-15. Hrsg.: Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V., Frankfurt / Main.
- FLACHOWSKY, G.; BALDEWEG, P.; SCHEIN, G. (1992): A note on the *in sacco* dry matter degradability of variously processed maize grains and of different maize varieties in sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 39, 173-181.
- FLACHOWSKY, G.; KOCH, H.; TIROKE, K.; MATTHEY, M. (1993): Influence of the ratio between wheat straw and ground barley, ground corn or dried sugar beet pulp on *in sacco* dry matter degradation of ryegrass and wheat straw, rumen fermentation and apparent digestibility in sheep. *Arch. Anim. Nutr.* 43, 157-167.
- FLUHARTY, F.L.; LOERCH, S.C. (1989): Chemical treatment of ground corn to limit ruminal starch digestion. *Can. J. Anim.* 69, 173-180.
- FUCHANG, L. (1998): The digestibility of corn starch in small intestine and its effect on energy conversion in beef cattle. Dissertation, China Agricultural University, Beijing, 100094 (Abstract).
- GÄDEKEN, D.; LEBZIEN, P.; DAENICKE, R. (1995): Untersuchungen zur energetischen Verwertung von Mais und Weizen bei Milchkühen. *Proc. 10. Maiskolloquium, Halle*, 23./24. März, 39-41.
- GfE, GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE (2000): Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere 3, Milchkühe und Aufzuchttrinder (im Druck).
- GOETSCH, A.L.; OWENS, F.N.; DORAN, B.E. (1986): Whole or ground corn with different roughage sources in high concentrate diets for beef heifers. *Oklahoma State Univ. Agr. Exp. Sta. Rep. MP 118*, 156-160.

- GOLLNISCH, K. (2000): Folgen hoher Stärkeaufnahmen auf Prozesse im Dickdarm von Rindern. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft "Zum Futterwert von Mais", Öffentliche Sitzung der AG Futterkonservierung und Fütterung des Deutschen Maiskomitees in der FAL, Braunschweig, 28./29.03; 46-59.
- GOLLNISCH, K.; LOOSE, K.; MATTHES, S; FLACHOWSKY, G. (2000): Einfluss einer stärkereichen Fütterung auf das Vorkommen von *Escherichia Coli* im Kot von Milchkühen. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 9, 97.
- GRINGS, E.E.; ROFFLER, R.E.; DEITELHOFF, D.P. (1992): Evaluation of corn and barley as energy sources for cows in early lactation fed alfalfa-based diets. J. Dairy Sci. 75, 193-200.
- HA, J.K.; EMERICK, R.J.; EMBRY, L.B. (1983): In vitro effect of pH-variations on rumen fermentation and in vivo effects of buffers in lambs before and after adaptation to high concentrate diets. J. Anim. Sci. 56, 698-706.
- HARMON, D.L. (1992): Dietary influences on carbohydrases and small intestinal starch hydrolysis capacity in ruminants. J. Nutr. 122, 203-210.
- HARMON, D.L.; RICHARDS, C.J. (1997): Considerations for gastrointestinal cannulations in ruminants. J. Anim. Sci. 75, 2248-2255.
- HEJAZI, S.; FLUHARTY, F.L.; PERLEY, J.E.; LOERCH, S.C.; LOWE, G.D. (1999): Effects of corn processing and dietary fiber source on feedlot performance, visceral organ weight, diet digestibility and nitrogen metabolism in lambs. J. Anim. Sci. 77, 507-515.
- HERBEIN, J.H.; AIELLO, R.J.; ECKLER, L.I.; PEARSON, R.E.; AKENS, R.M. (1985): Glucagon, insulin, growth hormone and glucose concentrations in blood plasma of lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 68, 320-325.
- HERRERA-SALDANA, R.E.; HUBER, J.T. (1989): Influence of varying protein and starch intake degradability's on performance of lactating cows. J. Dairy Sci. 72, 1477-1483.
- HERRERA-SALDANA, R.E.; GOMEZ-ALARCON, R.; TORABI, M.; HUBER, J.T. (1990a): Influence of synchronizing protein and starch degradation in the rumen on nutrient utilization and microbial protein synthesis. J. Dairy Sci. 73, 142-148.
- HERRERA-SALDANA, R.E.; HUBER, J.T.; POORE, M.H. (1990b): Dry matter, crude protein and starch degradability of five cereal grains. J. Dairy Sci. 73, 2386-2393.
- HIBBERD, C.A.; WAGNER, D.G.; HINTZ, R.L.; GRIFFIN, D.D. (1985): Effects of sorghum grain variety and reconstitution on site and extent of starch and protein digestion in steers. J. Anim. Sci. 61, 702-712.

- HILL, T.M.; SCHMIDT, S.P.; RUSSELL, R.W.; THOMAS, E.E.; WOLFE, D.F. (1991): Comparison of urea treatment with established methods of sorghum grain preservation and processing on site and extent of starch digestion by cattle. *J. Anim. Sci.* 69, 4570-4576.
- HOVENKAMP-HERMELINK, J.H.M.; De VRIES, J.N.; ADAMSE, P.; JACOBSEN, E.; WITHOLT, B.; FEENSTRA, W.J. (1988): Rapid estimation of the amylose/amylopectin ratio in small amounts of tuber and leaf tissue of the potato. *Potato research* 31, 241-246.
- HRIC, I.; KALLUS, B.; LEBZIEN, P.; SCHWARZ, F. (2000): Einfluss des Reifestadiums auf die *in situ* Abbaubarkeit von Maiskörnern verschiedener Sorten im Pansen von Milchkühen. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 9, 106.
- HUBER, J.T.; THEURER, C.B.; SIMAS, J.M.; SANTOS, F.P.; CHEN, K.H. (1994): Effect of shifting site on starch digestibility on performance of dairy cows. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 3, 39.
- HUNTINGTON, G.B. (1997): Starch utilization by ruminants: From basics to the bunk. *J. Anim. Sci.* 75, 852-867.
- HUNTINGTON, G.B.; REYNOLDS, P.J. (1985): Net portal absorption of metabolites in beef heifers fed hay or concentrate and abomasally infused with glucose or starch. *J. Anim. Sci.* 61, Suppl. 1, 467 (Abstract).
- HUNTINGTON, G.B.; REYNOLDS, P.J. (1986): Net absorption of glucose, L-lactat, volatile fatty acids and nitrogenous compounds by bovine given abomasal infusion of starch or glucose. *J. Dairy Sci.* 69, 2428-2436.
- HURTAUD, C.; RULQUIN, H.; VERITE, R. (1998): Effects of graded duodenal infusions of glucose on yield and composition of milk from dairy cows. 1. Diets based on corn silage. *J. Dairy Sci.* 91, 3239-3247.
- JANES, A.N.; WEEKES, T.E.C.; ARMSTRONG, D.G. (1985): Absorption and metabolism of glucose by the mesenteric-drained viscera of sheep fed on dried-grass or ground maize-based diets. *Br. J. Nutr.* 54, 449-458.
- JENTSCH, W.; WITTENBURG, H.; BEYER, M. (1992): Einfluss der Stärkeherkünfte Gerste, Mais, Kartoffeln und ihrer Rationsanteile auf die Nährstoffverdaulichkeit und Energieverwertung bei Wiederkäuern. *Arch. Anim. Nutr.* 42, 301-316.
- JEROCH, H.; FLACHOWSKY, G.; WEISSBACH, F. (1993): *Futtermittelkunde*. Gustav-Fischer-Verlag Jena, Stuttgart.
- JIANZHONG, Z. (1998): The digestibility of carbohydrate in small intestine and its effect on energy conversion in beef cattle. Dissertation, China Agricultural University, Beijing, 100094 (Abstract).

- JOCHMANN, K. (1999): Ernährungsphysiologische Untersuchungen zum Einfluss der Maisreife und des Einsatzes von Milchsäurebakterien bei der Herstellung von Maissilage auf die Umsetzungen im Verdauungstrakt sowie auf die Leistungen bei Wiederkäuern. Dissertation, Universität Jena.
- JOHNSON, L.; HARRISON, J.H.; HUNT, C.; SHINNERS, K.; DOGGETT, C.G.; SAPIENZA, D. (1999): Nutritive value of corn silage as affected by maturity and mechanical processing: A contemporary review. *J. Dairy Sci.* 82, 2813-2825.
- JOY, M.T.; De PETERS, J.E.; FADEL, J.G.; ZINN, R.A. (1997): Effects of corn processing on the site and extent of digestion in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 80, 2087-2097.
- KALCHREUTER, S. (1994): Stärkefuttermittel machen nicht nur stark. *Der Tierzüchter* 8, 33-35.
- KAMPHUES, J. (1987): Untersuchungen zu Verdauungsvorgängen bei Absatzferkeln in Abhängigkeit von Futtermenge und -zubereitung sowie von Futterzusätzen. Habilitationsschrift, Tierärztliche Hochschule Hannover.
- KARR, M.R.; LITTLE, C.O.; MITCHELL, G.E., Jr. (1966): Starch disappearance from different segments of the digestive tract of steers. *J. Anim. Sci.* 25, 652-654.
- KAUFFOLD, P.; VOIGT, J.; PIATKOWSKI, B. (1975): Untersuchungen über den Einfluss von Ernährungsfaktoren auf die Pansenschleimhaut. 1. Mitteilung: Strukturen und Funktionen nach Fütterung extremer Rationen und plötzlichem Futterwechsel. *Arch. Tierernährung.* 25, 247-256.
- KAUFMANN, W.; HAGEMEISTER, H. (1975): Zur Verwertung von Harnstoff (NPN) beim Wiederkäuer. Übers. *Tierernährung* 3, 33-65.
- KAUFMANN, W.; HAGEMEISTER, H. (1978): Gibt es Verträglichkeitsgrenzen für Stärke und Zucker in der Milchviehfütterung? *Der Tierzüchter* 9, 384-387.
- KELLNER, R.J.; KIRCHGESSNER, M.; KREUZER, M. (1985): Einfluss verschiedener Stärkeanteile und Stärkearten in halbsynthetischen Rationen auf die Verdaulichkeit der Nährstoffe beim Schaf. *Landwirtschaftliche Forschung*, 38, 287-297.
- KENNELLY, J.J.; ROBINSON, B.; KHORASANI, G.R. (1999): Influence of carbohydrate source and buffer on rumen fermentation characteristics, milk yield and milk composition in early-lactation Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 82, 2486-2496.
- KIJORA, C.; BERGNER, H.; SZAKACS, J.; BARTELT, J.; GÖTZ, K.-P. (1992): Umsatz von <sup>15</sup>N-Harnstoff beim Schaf nach einer Infusion von <sup>15</sup>N-Harnstoff in den Dünndarm. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 67, 237-249.
- KNIGHT, R.; SUTTON, J.D.; McALLAN, A.B.; SMITH, R.H. (1978): The effect of the dietary lipid supplementation on digestion and synthesis in the stomach of sheep. *Proc. Nutr. Soc.* 37, 14A.

- KNOWLTON, K.F.; GLENN, B.P.; ERDMAN, R.A. (1998a): Performance, ruminal fermentation and site of starch digestion in early lactation cows fed corn grain harvested and processed differently. *J. Dairy Sci.* 81, 1972-1984.
- KNOWLTON, K.F.; DAWSON, T.E.; GLENN, B.P.; HUNTINGTON, G.B.; ERDMAN, R.A. (1998b): Glucose metabolism and milk yield of cows infused abomasally or ruminally with starch. *J. Dairy Sci.* 81, 3248-3258.
- KOLB, E. (1989): *Lehrbuch der Physiologie der Haustiere*. VEB Gustav Fischer Verlag Jena.
- KOTARSKI, S.F.; WANISKA, R.D.; THURN, K.K. (1992): Starch hydrolysis by the ruminal microflora. *J. Nutr.* 122, 178-190.
- KOTTERER, L.; MÜNCH, S. (1985): *Untersuchungsverfahren für das milchwirtschaftliche Laboratorium*. 7. Auflage, Volkswirtschaftlicher Verlag München, Verlag Th. Mann Gelsenkirchen-Buer, Arbeitsgemeinschaft für das milchwirtschaftliche Fachbuch, 13-25.
- KREIKEMEIER, K.K.; HARMON, D.L.; PETERS, J.P.; GROSS, K.L.; ARMENDARIZ, C.K.; KREHBIEL, C.J. (1990): Influence of dietary forage and feed intake on carbohydrase activity and small intestinal morphology of calves. *J. Anim. Sci.* 68, 2916-2929.
- KREIKEMEIER, K.K.; HARMON, D.L.; BRANDT, R.T., Jr.; AVERY, T.B.; JOHNSON, D.E. (1991): Small intestinal starch digestion in steers: Effect of various levels of abomasal glucose, corn starch and corn dextrin infusion on small intestinal disappearance and net glucose absorption. *J. Anim. Sci.* 69, 328-338.
- KRONFELD, D.S.; RAGGI, F.; RAMBERG, C.F. (1968): Mammary blood flow and ketone metabolism in normal, fasted and ketotic cows. *Anim. J. Physiol.* 215, 218-227.
- KUNG, L.; TUNG, R.S.; CARMEAN, B.R. (1992): Rumen fermentation and nutrient digestion in cattle fed diets varying in forage and energy source. *Anim. Feed. Sci. and Technol.* 39, 1-12.
- KURZE, M.; CSAICSICH, A.; OSWALD, R.; GÄBEL, G. (1999): Nutritive Regulation des ruminalen Glucosetransports. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 8, 86.
- LEBZIEN, P. (1985): *Neuere Untersuchungen zum Getreideinsatz in Milchviehrationen*. Landesarbeitskreis Fütterung Baden-Württemberg e.V., Stuttgart, 1-16.
- LEBZIEN, P. (1998): Aktuelle Themen der Tierernährung und Veredelungswirtschaft: Bedeutung der Protein- und Stärkeumsetzungen im Pansen für die Versorgung der Hochleistungskuh. Cuxhaven, 26./27.11., 46-63.
- LEBZIEN, P. (2000): Pansenphysiologische Effekte unterschiedlicher Stärkeabbauraten. *Landbauforschung Völkenrode. Tagungsband: Zum Futterwert von Mais. Öffentliche Sitzung der AG Futterkonservierung und Fütterung des Deutschen Maiskomitees*, FAL, 28./29.3., 25-32.

- LEBZIEN, P.; ROHR, K.; SCHAFFT, H. (1983): Vergleichende Untersuchungen über die N-Umsetzungen im Verdauungstrakt von Milchkühen bei Verfütterung von Weizen bzw. Körnermais. Landbauforschung Völkenrode 33, 57-64.
- LEBZIEN, P.; ENGLING, F.P. (1995): Zum Einfluss von Kraftfuttermischungen mit unterschiedlichen Kohlenhydratträgern auf die Pansenfermentation und Rohrnährstoffverdaulichkeit bei Milchkühen. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. 74, 208-218.
- LEBZIEN, P.; DAENICKE, R.; AULRICH, K. (1996): Vergleich von unzerkleinertem NaOH-behandeltem und geschrotetem Weizen hinsichtlich des Einflusses auf die Umsetzungen im Verdauungstrakt von Milchkühen. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. 75, 96-104.
- LEBZIEN, P.; SHOO, J.; MANCINI, V.; JOCHMANN, K.; FLACHOWSKY, G. (1997): Vergleich der *in situ* Abbaubarkeit verschiedener Sorten von Körnermais. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 6, 104.
- LEDOUX, D.R.; WILLIAMS, J.E.; STROUD, T.E.; GARNER, G.B.; PATERSON, J.A. (1985): Influence of forage level on passage rate, digestibility and performance of cattle. J. Anim. Sci. 61, 1559-1566.
- LEMOUQUET, S.; RIDEAU, N.; RULQUIN, H.; FAVERDIN, P.; SIMON, J.; VERITE, R. (1997): Effects of a duodenal glucose infusion on the relationship between plasma concentration of glucose and insulin in dairy cows. J. Dairy Sci. 80, 2854-2865.
- LITTLE, C.O.; MITCHELL, G.E., Jr.; REITNOUR, C.M. (1968): Postruminal digestion of corn starch in steers. J. Anim. Sci. 27, 790-792.
- LÖFFLER, G.; PETRIDES, P.E. (1997): Biochemie und Pathobiochemie. Springer-Verlag, 5. Auflage. 122-361, 378-423.
- LOMAX, M.A.; BAIRD, G.D. (1983): Blood flow and nutrient exchange across the liver and gut of the dairy cow. Br. J. Nutr. 49, 481-496.
- LONZANO, O.; THEURER, C.B.; ALIO, A.; HUBER, J.T.; DELGADO-ELORDUY, A.; CUNEO, P.; De YOUNG, D.; SADIK, M.; SWINGLE, R.S. (2000): Net absorption and hepatic metabolism of glucose, L-lactate and volatile fatty acids by steers fed diets containing sorghum grain processed as dry-rolled or steam-flaked at different densities. J. Anim. Sci. 78, 1364-1371.
- LOOSE, K. (1999): Untersuchungen zum Einfluss verschiedener Körnermaishybriden auf die Stärke- und Proteinumsetzungen im Verdauungstrakt von Milchkühen. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover.
- LOOSE, K.; LEBZIEN, P.; FLACHOWSKY, G. (1998): Vergleichende Untersuchungen zum Einfluss von Weizen- und Maisschrot auf die Umsetzungen im Verdauungstrakt von Milchkühen. Kongressband, 110. VDLUFA-Kongress in Giessen, VDLUFA – Verlag Darmstadt, VDLUFA-Schriftenreihe 49, 409-412.

- LOOSE, K.; LEBZIEN, P.; FLACHOWSKY, G. (1999): Untersuchungen zum Einfluss der Versuchsdauer auf die ermittelte Rohrnährstoffverdaulichkeit bei Milchkühen. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 8, 63.
- MAMBRINI, M.; PEYRAUD, J.L. (1997): Retention time of feed particles and liquids in the stomachs and intestines of dairy cows. Direct measurements and calculations based on faecal collection. Reprod. Nutr. Dev. 37, 427-442.
- MATTHÉ, A.; LEBZIEN, P.; FLACHOWSKY, G. (1999): Influence of maize grain drying process on its *in situ* degradability in dairy cows. J. Anim. and Feed Sci. 8, 379-386.
- MATTHÉ, A.; LEBZIEN, P.; FLACHOWSKY, G. (2000): Zur Bedeutung von Bypass-Stärke für die Glucoseversorgung von hochleistenden Milchkühen. Übers. Tierernährung 28, 1-64.
- MAYNE, C.S.; DOHERTY, J.G. (1996): The effect of fine grinding or sodium hydroxide treatment of wheat offered as part of a concentrate supplement on the performance of lactating dairy cows. Anim. Sci. 63, 11-19.
- MAYES, R.W. und ØRSKOV, E.R. (1974): The utilization of gelled maize starch in the small intestine of sheep. Br. J. Nutr. 32, 143-153.
- McALLAN, A.B. (1982): Digestion of glucose polymer in cattle. Vol. 1, book 1. Moskow, UdSSR, International dairy congress, 1, 82, Mir Publishers.
- McALLAN, A.B.; SMITH, R.H. (1974): Carbohydrate metabolism in ruminants: Bacterial carbohydrates formed in the rumen and their contribution to digesta entering the duodenum. Br. J. Nutr. 31, 77-88.
- McALLAN, A.B. und LEWIS, P.E. (1985): The removal of glucose, maltose and different starches from the small intestines of steers. Arch. Tierernährung 35, 495-505.
- McALLISTER, T.A.; RODE, L.M.; CHENG, K.-J.; BUCHANAN-SMITH, J.G. (1992): Effect of formaldehyde-treated barley or escape protein on the ruminal environment and digestion in steers. Can. J. Anim. Sci. 72, 317-328.
- McALLISTER, T.A.; PHILLIPPE, R.C.; RODE, L.M.; CHENG, K.-J. (1993): Effect of the protein matrix on the digestion of cereal grains by ruminal microorganisms. J. Anim. Sci. 71, 205-212.
- McALLISTER, T.A.; BAE, H.D.; JONES, G.A.; CHENG, K.-J. (1994): Microbial attachment and feed digestion in the rumen. J. Anim. Sci. 72, 3004-3018.
- McBRIDE, B.W.; KELLY, J.M. (1990): Energy cost of absorption and metabolism in the ruminant gastrointestinal tract and liver: a review. J. Anim. Sci. 68, 2997-3010.
- McCARTHY, R.D., Jr.; KLUSMEYER, T.H.; VICINI, J.L.; CLARK, J.H.; NELSON, D.R. (1989): Effect of source of protein and carbohydrate on ruminal fermentation and passage of nutrients to the small intestine of lactating cows. J. Dairy Sci. 72, 2002-2016.

- MEIJS, J.A.C. (1986): Comparison of starchy and fibrous concentrates for grazing dairy cows. Symposium nr. 19, British Grassland Society, Hurley, 129-137.
- MEIJER, G.A.L.; BONTEMPO, V.; van VUUREN, A.M.; van der MEULEN, J. (1997): Effect of starch on the bio availability of glutamine and leucine in the dairy cow. *J. Dairy Sci.* 80, 2143-2148.
- MEIJER, G.A.L.; KLOP, A.; De VISSER, H.; van VUUREN, A.M. (1999): Effect of starch on the degradation of neutral detergent fibre in rumen and large intestine of dairy cows. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 8, 82.
- MERCHEN, N.R.; ELIZALDE, J.C.; DRACKLEY, J.K. (1997): Current perspective on assessing site of digestion in ruminants. *J. Anim. Sci.* 75, 2223-2234.
- MERTENS, D.R.; LOFTEN, J.R. (1980): The effect of starch on forage fibre digestion kinetics in vitro. *J. Dairy Sci.* 63, 1437-1446.
- METHODENBUCH III der VDLUFA, VORSCHRIFTEN 4.1.1; 5.1.2; 6.1.4; 8.1 (1976): Methodenbuch der landwirtschaftlichen Forschungs- und Untersuchungsanstalt, Biochemische Untersuchungen von Futtermitteln, Vorschrift 4.1.1: Bestimmung von Rohprotein, Kjeldahl-Aufschluss; Vorschrift 5.1.2: Bestimmung von Rohfett; Vorschrift 6.1.4: Bestimmung der Rohfaser; Vorschrift 8.1: Bestimmung der Rohasche, VDLUFA-Verlag J. Neumann, Darmstadt.
- METODY ZKOUSENI KRMIV - CESKOSLOVENSKA STATNI NORMA (1985): Vorschrift zur Rohaschebestimmung; zur Bestimmung des Rohfettes (CSN, cast 7), des Rohproteins (CSN, cast 4), der Rohfaser (CSN, cast 20) und der NFE (CSN, cast 24).
- MICHALET-DOREAU, B.; CHAMPION, M. (1995): Influence of maize genotype on rate of ruminal starch degradation. *Ann. Zootechn. Suppl.* 44, 191.
- MILLS, J.A.N.; FRANCE, J.; DIJKSTRA, J. (1999a): A review of starch digestion in the lactating dairy cow and proposals for a mechanistic model: 1. Dietary starch characterisation and ruminal starch digestion. *J. Anim. Feed Sci.* 8, 291-340.
- MILLS, J.A.N.; FRANCE, J.; DIJKSTRA, J. (1999b): A review of starch digestion in the lactating dairy cow and proposals for a mechanistic model: 2. Postruminal starch digestion and small intestinal glucose absorption. *J. Anim. Feed Sci.* 8, 451-481.
- MIRON, J.; BEN-GHEDALIA, D.; SOLOMON, R. (1997): Digestibility by dairy cows of monosaccharide components in diets containing either ground sorghum or sorghum grain treated with sodium hydroxide. *J. Dairy Sci.* 80, 144-151.
- NAKAMURA, T.; OWEN, F.G. (1989): High amounts of soy hulls for pelleted concentrate diets. *J. Dairy Sci.* 72, 988-994.
- NICOLETTI, J.M.; DAVIS, C.L.; HESPELL, R.B.; LEEDLE, J.A.Z. (1984): Enumeration and presumptive identification of bacteria from the small intestine of sheep. *J. Dairy Sci.* 67, 1227-1235.

- NOCEK, J.E.; TAMMINGA, S. (1991): Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effect on milk yield and composition. *J. Dairy Sci.* 74, 3598-3629.
- OLDICK, B.S.; STAPLES, C.R.; THATCHER, W.W.; GYAWU, P. (1997): Abomasal infusion of glucose and fat – effect on digestion, production and ovarian and uterine functions of cows. *J. Dairy Sci.* 80, 1315-1328.
- OLIVEIRA, J.S.; HUBER, J.T.; SIMAS, J.M.; THEURER, C.B.; SWINGLE, R.S. (1995): Effect of sorghum grain processing on site and extent of digestion of starch in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 78, 1318-1327.
- OVERTON, T.R.; DRACKLEY, J.K.; OTTEMANN-ABBAMONTE, C.J.; BEAULIEU, A.D.; CLARK, J.H. (1998): Metabolic adaptation to experimentally increased glucose demand in ruminants. *J. Anim. Sci.* 76, 2938-2946.
- OVERTON, T.R.; DRACKLEY, J.K.; OTTEMANN-ABBAMONTE, C.J.; BEAULIEU, A.D.; EMMERT, L.S.; CLARK, J.H. (1999): Substrate utilization for hepatic gluconeogenesis is altered by increased glucose demand in ruminants. *J. Anim. Sci.* 77, 1940-1951.
- OWENS, F.N.; ZINN, R.A.; KIM, J.K. (1986): Limits to starch digestion in the ruminants small intestine. *J. Anim. Sci.* 63, 1634-1648.
- OWENS, F.N.; SECRIST, D.S.; HILL, W.J.; GILL, D.R. (1998): Acidosis in cattle: a review. *J. Anim. Sci.* 78, 275-286.
- ØRSKOV, E.R. (1986): Starch digestion and utilization in ruminants. *J. Anim. Sci.* 63, 1624-1633.
- ØRSKOV, E.R.; OLTJEN, R.R. (1967): Influence of carbohydrates and nitrogen sources on the rumen volatile fatty acids and ethanol of cattle fed purified diets. *J. Nutr.* 93, 222-228.
- ØRSKOV, E.R.; FRASER, C.; KAY, R.N.B. (1969): Dietary factors influencing the digestion of starch in the rumen and small and large intestine of early weaned lambs. *Br. J. Nutr.* 23, 217-226.
- PAPPENHEIMER, J.R.; REISS, K.Z. (1987): Contribution of solvent drag through intercellular junctions to absorption of nutrients by the small intestine of the rat. *J. Membrane Biol.* 100, 123-136.
- PARYS, C.; MATTHÉ, A.; LEBZIEN, P.; FLACHOWSKY, G. (2000): Einfluss der Tierart und der Rationsgestaltung auf die *in sacco* Abbaubarkeit von Weizen und Mais im Pansen. Abstr., 112. VDLUFA-Kongress in Stuttgart-Hohenheim, VDLUFA – Verlag Darmstadt, VDLUFA-Schriftenreihe, 179.
- PEHRSON, B.; KNUTSON, M. (1980): Glucose und lactose absorption from small intestine of dairy cows. *Zbl. Vet. Med. A* 27, 644-651.

- PHILIPPEAU, C.; Le DESCHAULT De MONDREDON, F.; MICHALET-DOREAU, B. (1999a): Relationship between ruminal starch degradation and the physical characteristics of corn grain. *J. Anim. Sci.* 77, 238-243.
- PHILIPPEAU, C.; MARTIN, C.; MICHALET-DOREAU, B. (1999b): Influence of grain source on ruminal characteristics and rate, site and extent of digestion in beef steers. *J. Anim. Sci.* 77, 1587-1596.
- PIATKOWSKY, B.; GÜRTLER, H.; VOIGT, J. (1990): Grundzüge der Wiederkäuerernährung. Gustav-Fischer-Verlag Jena.
- POORE, M.H.; MOORE, J.A.; SWINGLE, R.S.; ECK, T.P.; BROWN, W.H. (1993a): Response of lactating Holstein cows to diets varying in fibre source and ruminal starch degradability. *J. Dairy Sci.* 76, 2235-2243.
- POORE, M.H.; MOORE, J.A.; SWINGLE, R.S.; ECK, T.P.; SWINGLE, R.S.; THEURER, C.B. (1993b): Effect of fibre source and ruminal starch degradability on site and extent of digestion in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 76, 2244-2253.
- RECHKEMMER, G.; GÄBEL, G.; DIERNAES, L.; SEHESTED, J.; MÖLLER, P.D.; von ENGELHARDT, W. (1995): Transport of short chain fatty acids in the fore stomach and hindgut. In: ENGELHARDT, W.; LEONHARD-MAREK, S.; BREVES, G.; GIESECKE, D. (Editors): *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction*. Stuttgart, Ferdinand Enke Verlag.
- REYNOLDS, C.K.; HUNTINGTON, G.B.; TYRRELL, H.F.; REYNOLDS, P.J. (1988): Net portal-drained visceral and hepatic metabolism of glucose, L-lactate and nitrogenous compounds in lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 71, 1803-1812.
- REYNOLDS, C.K.; BEEVER, D.E.; SUTTON, J.D. (1996): Effect of incremental duodenal starch infusion on milk composition and yield in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 79, Suppl. 1, 138.
- ROHR, K. (1983): Unveröffentlichte Untersuchungen über den Einfluss der Versuchsdauer im Verdauungsversuch. Institut für Tierernährung, FAL, Braunschweig.
- ROHR, K.; KAUFMANN, W. (1975): Probleme der Energieversorgung hochleistender Milchkühe. Sonderdruck Ber. Landwirtschaft 191, 245-256.
- ROHR, K.; BRANDT, M.; CASTRILLO, O.; LEBZIEN, P.; ASSMUS, G. (1979): Der Einfluss eines teilweisen Ersatzes von Futterprotein durch Harnstoff auf den Stickstoff- und Aminosäurenfluss am Duodenum. *Landbauforschung Völkenrode* 29, 32-40.
- ROHR, K.; LEBZIEN, P.; DAENICKE, R.; SCHAFT, H. (1989): Zum Einfluss von Futtergetreide in Milchviehrationen auf die Verdauungsvorgänge und Leistungsparameter. 1. Mitteilung: Getreidereiche Kraftfuttermischungen als Ergänzung zur Grassilage. *Landwirtschaftliche Forschung* 42, 2-3, 93-103.

- ROONEY, L.W.; PFLUGFELDER, R.L. (1986): Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. *J. Anim. Sci.* 63, 1607-1623.
- ROSENBERGER, G.; DIRKSEN, G.; GRÜNDER, H.-D.; STÖBER, M. (1990): Die klinische Untersuchung des Rindes. 3. Aufl., Verlag Paul Parey, 216.
- ROWELL, A.; DYER, J.; HOMANN, R.R.; SHIRAZI-BEECHEY, S.P. (1997): Expression of Na<sup>+</sup>/glucose co-transporters in the intestinal brush-border membrane of ruminants with different feeding habits. *Biochemical Society Transactions* 25, 114.
- RUSSELL, J.B.; SHARP, W.M.; BALDWIN, R.L. (1979): The effect of pH on maximum bacterial growth rate and its possible role as a determinant of bacterial competition in the rumen. *J. Anim. Sci.* 25, 1170-1176.
- RUSSELL, J.R.; YOUNG, A.W.; JORGENSEN, N.A. (1981): Effect of dietary corn starch intake on ruminal, small intestinal and large intestinal starch digestion in cattle. *J. Anim. Sci.* 52, 1177-1182.
- RUST, S.R. (1983): Associative effects in the ruminant animal. Ph.D. Dissertation, Oklahoma State Univ., Stillwater.
- SALOMONSSON, A.C.; THEANDER, O.; WESTERLUND, O. (1984): Chemical characterisation of some Swedish cereal whole meal and brain fractions. *Swedish J. agric. Res.* 14, 111-117.
- SANTOS, F.A.P.; HUBER, J.T.; THEURER, C.B.; SWINGLE, R.S.; WU, Z.; SIMAS, J.M.; CHEN, K.H.; CHAN, S.C.; SANTOS, J.; De PETERS, E.J. (1997): Comparison of barley and sorghum grain processed at different densities for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80, 2098-2103.
- SANTOS, J.E.P.; HUBER, J.T.; THEURER, C.B.; NUSSIO, C.B.; NUSSIO, L.G.; TARAZON, M.; FISH, D. (2000): Effects of grain processing and bovine somatotropin on metabolism and ovarian activity of dairy cows during early lactation. *J. Dairy Sci.* 83, 1004-1015.
- SAS INSTITUTE Inc. (1988): SAS / Stat User's Guide Release 6.03 Edition, SAS Circle Box 8000 Cary, NC 27512-8000.
- SATTER, L.D.; ROFFLER, R.E. (1975): Nitrogen requirement and utilization in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 58, 1219-1237.
- SCHAFFT, H. (1983): Untersuchungen zur Quantifizierung des Abbaus von Futterrohprotein in den Vormägen von Milchkühen. Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen.
- SCHIEMANN, R.; NEHRING, K.; HOFFMANN, L.; JENTSCH, W.; CHUDY, A. (1971): Energetische Futterbewertung und Energienormen. Dt. Landwirtschaftsverlag Berlin, 344S.

- SCHULDT, A. (1989): Einfluss der Getreideart, der technischen Behandlung von Getreide sowie der Rationsgestaltung auf Ort und Ausmaß der Verdauung der Getreidestärke in Milchkühen. Dissertation, Agrarwissenschaftliche Fakultät, Universität Kiel.
- SHIRAZI-BEECHEY, S.P.; WOOD, I.S.; DYER, J.; SCOTT, D.; KING, T.P. (1995): Intestinal sugar transport in ruminants. In: von ENGELHARDT, W.; LEONHARD-MAREK, S.; BREVES, G.; GIESECKE, D. (Editors): Ruminant Physiology, Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction. Stuttgart, Ferdinand Enke Verlag, 117-133.
- SLOAN, B.K.; ROWLINSON, P.; ARMSTRONG, D.G. (1987): A note on concentrate energy source for dairy cows in mid lactation. *Anim. Prod.* 45, 321-323.
- SLYTER, L.A.; THEURER, B.C.; SOWE, J.; NOON, T.H. (1979): Effect of ruminal ammoniac concentration on nitrogen utilization by steers. *J. Anim. Sci.* 48, 906-912.
- SPICER, L.A.; BRENT THEURER, C.; SOWE, J.; NOON, T.H. (1986): Ruminal and post-ruminal utilisation of nitrogen and starch from sorghum grain-, corn- and barley- based diets by beef steers. *J. Anim. Sci.* 62, 521-530.
- STANGASSINGER, M. (1997): Zum Glucosestoffwechsel der Wiederkäuer unter Belastungszuständen. Schriftenreihe des Forschungsinstitutes für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere (FBN) 10. Internationale Vortragstagung – Verdauungsphysiologie und Stoffumsatz beim Wiederkäuer, Editoren: VOIGT, J. und HAGEMEISTER, H., 38-49.
- STERN, M.D.; BACH, A.; CALSAMIGLIA, S. (1997): Alternative techniques for measuring nutrient digestion in ruminants. *J. Anim. Sci.* 75, 2256-2276.
- STREETER, M.N.; WAGNER, D.G.; OWENS, F.N.; HIBBERD, C.A. (1989): Combination of high-moisture harvested sorghum grain and dry-rolled corn: Effects on site and extent of digestion in beef heifers. *J. Anim. Sci.* 67, 1623-1633.
- STREETER, M.N.; WAGNER, D.G.; OWENS, F.N.; HIBBERD, C.A. (1990a): The effect of pure and partial yellow endosperm sorghum grain hybrids on site and extent of digestion in beef steers. *J. Anim. Sci.* 69, 2571-2584.
- STREETER, M.N.; WAGNER, D.G.; HIBBERD, C.A.; OWENS, F.N. (1990b): Comparison of corn with four sorghum grain hybrids: site and extent of digestion in steers. *J. Anim. Sci.* 68, 3429-3440.
- STREETER, M.N.; WAGNER, D.G.; HIBBERD, C.A.; MITCHELL, E.D.; OLTJEN, J.W. (1990c): Effect of variety of sorghum grain on digestion and availability of dry matter and starch in vitro. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 29, 279-287.
- STREETER, M.N.; WAGNER, D.G.; HIBBERD, C.A.; OWENS, F.N. (1990d): The effect of sorghum grain variety on site and extent of digestion in beef heifers. *J. Anim. Sci.* 68, 1121-1132.

- SUTTON, J.D. (1971): Carbohydrate digestion and glucose supply in the gut of the ruminants. *Proc. Nutr. Soc.* 30, 243-248.
- SÜDEKUM, K.-H.; BRANDT, M. (1990): Untersuchungen zum Ausmaß und Ort der Verdauung der Stärke roher Kartoffel bei Milchkühen. *Das wirtschaftseigene Futter* 36, 246-257.
- SZAKACS, J.; CHRASTINOVÁ, L.; VANCISIN, J.; KLEGA, K. (1990a): Fistulaz bachora u hovadzieho dobytku. *Veter. Med. (Praha)* 35, 449-455.
- SZAKACS, J.; KLEGA, K.; CHRASTINOVÁ, L.; VANCISIN, J. (1990b): Starostlivost o zvierata s bachorovou fistulou. *Veter. Med. (Praha)* 35, 601-605.
- TAMMINGA, S.; van VUUREN, A.M.; van der KOELEN, C.J.; KETELAAR, R.S.; van der TOGT, P.L. (1990): Ruminant behaviour of structural carbohydrates, non-structural carbohydrates and crude protein from concentrate ingredients in dairy cows. *Netherlands J. Agric. Sci.* 38, 513-526.
- THEURER, C.B. (1986): Grain processing effects on starch utilization by ruminants. *J. Anim. Sci.* 63, 1649-1662.
- THEURER, C.B.; HUBER, J.T.; DELGADO-ELORDUY, A.; WANDERLEY, R. (1999): Invited Review: Summary of steam-flaking corn or sorghum grain for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82, 1950-1959.
- THILSTED, S.H. (1985): Plasma glucose concentration and glucose turnover rate in the dairy cow in late pregnancy and early lactation. *Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde* 53, 1-9.
- THORNE, M.J.; THOMPSON, L.U.; JENKINS, D.J.A. (1983): Factors affecting starch digestibility and the glycemic response with special reference to legumes. *Am. J. Clin. Nutr.* 38, 481-488.
- TITGEMEYER, E.C. (1997): Design and interpretation of nutrient digestion studies. *J. Anim. Sci.* 75, 2235-2247.
- TOMMERVIK, R.S.; WALDEN, D.E. (1995): Comparative feeding value of wheat, corn, barley, milo, oats, and a mixed concentrate ration for lactating cows. *J. Dairy Sci.* 52, 68-73.
- van VUUREN, A.M.; GERRITZEN, M.A.; De VISSER, H. (1997): Intestinal absorption of starch in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80, Suppl. 1, 245.
- van VUUREN, A.M.; KLOP, A.; van der KOELEN, C.J.; De VISSER, H. (1999): Starch and stage of maturity of grass silage: Site of digestion and intestinal nutrient supply in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82, 143-152.

- VEARASILP, T. (1986): Site and extent of maize starch digestion in relation to stage of maize maturity in lactating cows. Dissertation, Agrarwissenschaftliche Fakultät, Universität Kiel.
- VOET, D.; VOET, J.G. (1994): Biochemie. Übers. hrsg. von MAELICKE, A. und MÜLLER-ESTERL, W., Übers. von BÖRSCH-SUPAN, M., 1. korr. Nachdruck der 1. Aufl., Weinheim, New York, Basel, Cambridge, Tokyo, VCH.
- VOIGT, J.; STEEGER, H. (1967): Zur quantitativen Bestimmung von Ammoniak, Harnstoff und Ketokörpern in biologischem Material mit Hilfe eines modifizierten Mikrodiffusionsgefäßes. Arch. Tierernährung 17, 289-293.
- von ENGELHARDT, W.; BREVES, G. (2000): Physiologie der Haustiere. Enke im Hippokrates Verlag GmbH, Stuttgart.
- WALDO, D.R. (1973): Extent and partition of cereal grain starch digestion in ruminants. J. Anim. Sci. 37, 1062-1074.
- WALKER, J.A.; HARMON, D.L. (1995): Influence of ruminal or abomasal starch hydrolysate infusion on pancreatic exocrine secretion and blood glucose and insulin concentrations in steers. J. Anim. Sci. 73, 3766-3774.
- WEIGAND, E.; YOUNG, J.W.; MCGILLARD, A.D. (1975): Volatile fatty acid metabolism by rumen mucosa from cattle fed hay or grain. J. Dairy Sci. 58, 1294-1300.
- WEIGAND, E.; MEYER, U.; GUTH, N. (1993): Intake, chewing activity and carbohydrate digestibility by lactating dairy cows fed maize silage with different physical structure. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. 69, 120-132.
- WEISS, B. (1994): The relationship between the acidity of the rumen contents and the proliferation status of the rumen mucosa in cattle. Berl. Münch. Tierärztl. Wochenschr. 107, 73-78.
- WEISS, W.P.; FISHER, G.R.; ERIKSON, G.M. (1989): Effect of source of neutral detergent fibre and starch on nutrient utilization by dairy cows. J. Dairy Sci. 72, 2308-2315.
- WHEELER, W.E.; NOLLER, C.H. (1977): Gastrointestinal tract pH and starch in faeces of ruminants. J. Anim. Sci. 44, 131-135.
- WIDYOBROTO, B.P.; PEYRAUD, J.L. (1993): Effect of varying the proportion of concentrate with the same starch content in the diet on the passage rate and the ruminal digestion in dairy cows. Ann Zootech. 42, 154 (Abstract).
- WIEGHART, M.R.; SLEPETIS, R.; ELLIOT, J.M.; SMITH, D.F. (1986): Glucose absorption and hepatic gluconeogenesis in dairy cows fed diets varying in forage content. J. Nutr. 116, 839-850.
- WILLIAMS, C.H.; DAVID, D.J.; JISMAA, O. (1962): The determination of chromic oxide in faeces samples by atomic absorption spectrophotometry. In: J. Agric. Sci. 59, 381-385.

- YANG, W.Z.; BEAUCHEMIN, K.A.; FARR, B.I.; RODE, L.M. (1997): Comparison of barley, hull-less barley and corn in the concentrate of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80, 2885-2895.
- YU, P.; EGAN, A.R.; HOLMES, J.H.G.; LEURY, B.J. (1998): Influence of dry roasting of whole faba beans (*vicia faba*) on rumen degradation characteristics in dairy cows, II: Starch. *Asian-Australian J. Anim. Sci.* 11, 503-509.
- ZHAO, F.Q.; OKINE, E.K.; CHEESEMAN, C.I.; SHIRAZI-BEECHEY, S.P.; KENNELLY, J.J. (1998): Glucose transport gene expression in lactating bovine gastrointestinal tract. *J. Anim. Sci.* 76, 2921-2929.
- ZINN, R.A. (1988): Comparative feeding value of supplemental fat in finishing diets for feedlot steers supplemented with and without monensin. *J. Anim. Sci.* 66, 213-227.
- ZINN, R.A. (1989): Influence of level and source of dietary fat on its comparative feeding value in finishing diets for feedlot steers: metabolism. *J. Anim. Sci.* 67, 1038-1049.
- ZINN, R.A. (1990): Influence of steaming time on site of digestion of flaked corn in steers. *J. Anim. Sci.* 68, 776-781.
- ZINN, R.A.; OWENS, F.N. (1980): Influence of roughage level and feed intake level on digestive function. *Oklahoma State Univ., Agr. Exp. Sta. Res. MP 107*, 150-155.

## 9 ANHANG

**Tabelle 1: Vitamin-Mineralstoffmischungen für den Versuch 1**

		<b>basu-kraft, Nr. 0441 – SM:</b> verabreicht: 100 g je Tier und Tag	<b>Rinder ADE SUPER 5</b>
Inhalts- stoffe in %	Calcium	-	17,5
	Natrium	10	10
	Magnesium	3	3
	Phosphor	-	5
	<b>Ca : P</b>	-	<b>3,5 : 1</b>
Zusatz- stoffe in mg/kg	Nikotinsäure	60 000	-
	Biotin	50 000	-
	Eisen	8 000	1 000
	Mangan	8 000	4 000
	Zink	6 000	6 000
	β-Carotin	6 000	-
	Kupfer	1 500	1 300
	Antioxidanz BHT	1 000	-
	Jod	60	50
	Selen	-	50
	Kobalt	-	10
	Vitamin E	6 000 mg	4 000 mg
	Vitamin A	1 000 000 IE	1 000 000 IE
	Vitamin D3	100 000 IE	100 000 IE

**Tabelle 2: Vitamin-Mineralstoffmischung für die Versuche 2 und 3**

		<b>VITAMIX S1 (Biofactory GmbH)</b> verabreicht: 100 g je Tier und Tag
Inhalts- stoffe in %	Calcium	7
	Phosphor	10
	Natrium	7
	Magnesium	4
	<b>Ca : P</b>	<b>0,7 : 1</b>
Zusatz- stoffe in mg/kg	Zink	5000
	Mangan	1940
	Eisen	850
	Jod	100
	Kobalt	40
	Selen	6
	Vitamin E	900 mg
	Vitamin A	804 000 IE
	Vitamin D3	97 000 IE

**Tabelle 3: Zusammensetzung der Borsäure (NH<sub>3</sub>-N-Bestimmung im Pansensaft)**

Chemikalien	Menge
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	5000 mg
Äthylalkohol	200 ml
Bromkresolgrün	3,3 mg
Methylrot	6,6 mg
Alkohol	10 ml
H <sub>2</sub> O bidest	ad 1000 ml

**Tabelle 4: Zeitlicher Verlauf der im Pansen von Milchkühen untersuchten Parameter nach Fütterung von weizen- bzw. maisbetontem Kraftfutter (Versuch 1, MW  $\pm$ SD; n=3; gemittelt über die Adaptationszeiten von 14 d bzw. 35 d)****1. pH-Werte**

Minuten nach Beginn der Morgenfütterung	Kraftfuttermischung mit		Sign.
	87 % Mais	87 % Weizen	
0	6,5 $\pm$ 0,3	6,8 $\pm$ 0,2	n.s.
30	6,3 <sup>b</sup> $\pm$ 0,2	6,7 <sup>a</sup> $\pm$ 0,1	**
60	6,2 <sup>b</sup> $\pm$ 0,3	6,5 <sup>a</sup> $\pm$ 0,2	*
90	6,1 <sup>b</sup> $\pm$ 0,3	6,5 <sup>a</sup> $\pm$ 0,2	*
120	5,9 $\pm$ 0,3	6,0 $\pm$ 0,4	n.s.
180	5,7 $\pm$ 0,4	5,6 $\pm$ 0,3	n.s.
300	5,7 $\pm$ 0,5	5,4 $\pm$ 0,5	n.s.

<sup>ab</sup> (p $\leq$ 0,05)**2. NH<sub>3</sub>-N (mg/l)**

Minuten nach Beginn der Morgenfütterung	Kraftfuttermischung mit		Sign.
	87 % Mais	87 % Weizen	
0	33,6 $\pm$ 9,9	39,6 $\pm$ 28,5	n.s.
30	58,1 $\pm$ 36,6	54,3 $\pm$ 24,3	n.s.
60	116,2 $\pm$ 75,1	78,1 $\pm$ 40,9	n.s.
90	155,4 <sup>a</sup> $\pm$ 57,7	89,7 <sup>b</sup> $\pm$ 46,8	*
120	195,0 <sup>a</sup> $\pm$ 57,0	97,3 <sup>b</sup> $\pm$ 44,3	**
180	178,1 <sup>a</sup> $\pm$ 62,4	62,8 <sup>b</sup> $\pm$ 30,0	*
300	107,9 $\pm$ 49,2	57,7 $\pm$ 20,6	n.s.

<sup>ab</sup> (p $\leq$ 0,05)

**Tabelle 5: Mittlerer Verlauf des pH-Wertes in beiden Versuchsgruppen nach 14 und 35 Tagen Adaptation an die kraftfutterreichen Rationen im Versuch 1 (MW  $\pm$ SD; n=3; gemittelt über beide Rationen)**

Minuten nach Beginn der Morgenfütterung	pH-Wert –Verlauf nach		Sign.
	14 d Adaptation	35 d Adaptation	
0	6,6 $\pm$ 0,3	6,7 $\pm$ 0,2	n.s.
30	6,4 <sup>b</sup> $\pm$ 0,3	6,6 <sup>a</sup> $\pm$ 0,2	*
60	6,2 $\pm$ 0,3	6,5 $\pm$ 0,2	n.s.
90	6,1 <sup>b</sup> $\pm$ 0,3	6,4 <sup>a</sup> $\pm$ 0,2	*
120	5,7 <sup>b</sup> $\pm$ 0,2	6,2 <sup>a</sup> $\pm$ 0,2	*
180	5,4 <sup>b</sup> $\pm$ 0,2	5,9 <sup>a</sup> $\pm$ 0,2	*
300	5,2 <sup>b</sup> $\pm$ 0,3	5,9 <sup>a</sup> $\pm$ 0,4	**

<sup>ab</sup> (p $\leq$ 0,05)

**Tabelle 6: Täglicher Trockensubstanz-Fluss am Duodenum (kg) der drei Versuchstiere in den verschiedenen Versuchsabschnitten im Versuch 1 (n=3)**

Periode I	Kraftfuttermischung mit		
	87 % Mais Ulane	87 % Weizen Leisa	87 % Mais Romke
14.06.99	11,47	10,74	11,70
15.06.99	11,89	10,64	12,02
16.06.99	11,17	10,37	11,64
17.06.99	12,39	9,94	11,38
18.06.99	11,53	10,07	11,05
MW und SD	11,69 $\pm$ 0,42	10,35 $\pm$ 0,31	11,56 $\pm$ 0,32
Periode I 23 d A	Kraftfuttermischung mit		
	87 % Mais Ulane	87 % Weizen Leisa	87 % Mais Romke
05.07.99	10,60	9,98	10,47
06.07.99	10,58	10,41	10,69
07.07.99	11,28	10,21	10,88
08.07.99	11,40	9,74	11,29
09.07.99	10,90	10,36	10,98
MW und SD	10,95 $\pm$ 0,34	10,14 $\pm$ 0,25	10,86 $\pm$ 0,28
Periode II 9 d A	Kraftfuttermischung mit		
	87 % Weizen Ulane	87 % Mais Leisa	87 % Weizen Romke
02.08.99	9,35	11,72	11,46
03.08.99	10,24	11,43	10,11
04.08.99	10,11	10,97	9,35
05.08.99	10,11	11,42	10,17
06.08.99	9,64	10,90	10,03
MW und SD	9,89 $\pm$ 0,34	11,29 $\pm$ 0,31	10,22 $\pm$ 0,68

Fortsetzung Tabelle 6

Periode II 23 d A	Kraftfuttermischung mit		
	87 % Weizen Ulane	87 % Mais Leisa	87 % Weizen Romke
23.08.99	8,46	10,24	8,81
24.08.99	9,69	9,52	9,42
25.08.99	9,81	9,88	9,67
26.08.99	9,95	9,58	9,29
27.08.99	9,00	10,35	9,57
MW und SD	9,38 ± 0,56	9,91 ± 0,34	9,35 ± 0,30

MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung

**Tabelle 7: Verdaulichkeit (%) der Nährstoffe bis zum Duodenum im Versuch 1 (MW ± SD; n=3)**

T / OS bzw. Nährstoffe	Kraftfuttermischung mit		Sign.
	87 % Mais	87 % Weizen	
T	38,4 <sup>b</sup> ± 1,2	43,9 <sup>a</sup> ± 0,5	***
OS	47,0 <sup>b</sup> ± 1,4	53,6 <sup>a</sup> ± 1,0	***
XP	-24,1 ± 10,3	-18,4 ± 8,4	n.s.
XL	10,6 ± 17,9	-5,0 ± 10,9	n.s.
XF	76,3 <sup>a</sup> ± 0,7	69,2 <sup>b</sup> ± 3,1	**
XX	59,3 <sup>b</sup> ± 3,4	71,2 <sup>a</sup> ± 1,8	**
XS	75,8 <sup>b</sup> ± 3,4	95,0 <sup>a</sup> ± 1,7	***

<sup>ab</sup> (p≤0,05)

**Tabelle 8: Scheinbare Gesamtverdaulichkeit (%) der Nährstoffe im Versuch 1 (MW ± SD; n=3)**

T / OS bzw. Nährstoffe	Kraftfuttermischung mit		Sign.
	87 % Mais	87 % Weizen	
T	76,7 ± 1,2	78,6 ± 1,0	n.s.
OS	78,6 ± 1,2	80,5 ± 1,0	n.s.
XP	67,1 ± 2,9	72,2 ± 2,5	n.s.
XL	81,2 <sup>a</sup> ± 3,3	72,0 <sup>b</sup> ± 3,1	*
XF	77,5 <sup>a</sup> ± 0,3	73,2 <sup>b</sup> ± 3,1	**
XX	81,4 <sup>b</sup> ± 1,0	85,0 <sup>a</sup> ± 1,8	*
XS	93,5 <sup>b</sup> ± 2,4	99,1 <sup>a</sup> ± 1,0	*

<sup>ab</sup> (p≤0,05)

**Tabelle 9: Mittlerer Trockensubstanz-Fluss am Ileum und T-Ausscheidung mit dem Kot nach 9 bzw. 23 Tagen Adaptation (A) an Stärkequelle und -dosis im Versuch 2 (MW  $\pm$ SD; n=4)**

	Maisstärke-Applikation		Weizenstärke-Applikation	
	653 g/d	1307 g/d	655 g/d	1309 g/d
	<b>T-Fluss am Ileum in % der T-Aufnahme</b>			
9 d A	24,6 <sup>c</sup> $\pm$ 0,6	25,7 <sup>b</sup> $\pm$ 0,5	24,7 <sup>c</sup> $\pm$ 0,1	26,2 <sup>a</sup> $\pm$ 0,3
23 d A	24,6 <sup>b</sup> $\pm$ 0,2	25,7 <sup>a</sup> $\pm$ 0,4	24,4 <sup>b</sup> $\pm$ 0,7	25,4 <sup>a</sup> $\pm$ 0,3
gesamt	24,6 <sup>b</sup> $\pm$ 0,4	25,7 <sup>a</sup> $\pm$ 0,5	24,6 <sup>b</sup> $\pm$ 0,5	25,8 <sup>a</sup> $\pm$ 0,5
	<b>T-Ausscheidung mit dem Kot in % der T-Aufnahme</b>			
9 d A	17,8 <sup>b</sup> $\pm$ 0,7	18,4 <sup>a</sup> $\pm$ 0,7	17,7 <sup>b</sup> $\pm$ 0,8	18,5 <sup>a</sup> $\pm$ 0,8
23 d A	17,8 <sup>b</sup> $\pm$ 0,6	18,2 <sup>a</sup> $\pm$ 0,9	17,5 <sup>b</sup> $\pm$ 0,5	18,0 <sup>a</sup> $\pm$ 0,6
gesamt	17,8 <sup>b</sup> $\pm$ 1,0	18,3 <sup>a</sup> $\pm$ 0,5	17,6 <sup>b</sup> $\pm$ 1,0	18,2 <sup>a</sup> $\pm$ 0,9

<sup>abc</sup> (p $\leq$ 0,05); **Fettdruck** zeigt signifikante Unterschiede (p $\leq$ 0,05) zwischen 9 und 23 d Adaptation;

**Tabelle 10: Scheinbare Verdaulichkeit (V) der Trockensubstanz aus Futter und Stärke-Applikation im Dünn- bzw. Gesamtdarm in % der Aufnahme im Versuch 2 (MW  $\pm$ SD; n=4)**

	Maisstärke-Applikation		Weizenstärke-Applikation	
	653 g/d	1307 g/d	655 g/d	1309 g/d
V im Dünndarm <sup>1)</sup>				
9 d A	41,0 $\pm$ 2,3	44,2 $\pm$ 1,3	41,5 $\pm$ 1,1	43,5 $\pm$ 1,9
23 d A	41,0 $\pm$ 2,4	44,0 $\pm$ 1,6	41,5 $\pm$ 2,3	44,6 $\pm$ 1,4
gesamt	41,0 $\pm$ 2,2	44,1 $\pm$ 1,4	41,5 $\pm$ 1,6	44,0 $\pm$ 1,6
V im Gesamtdarm <sup>2)</sup>				
9 d A	57,2 $\pm$ 2,0	60,0 $\pm$ 1,7	58,1 $\pm$ 1,4	60,3 $\pm$ 2,4
23 d A	57,5 $\pm$ 1,7	60,2 $\pm$ 2,6	57,9 $\pm$ 1,5	60,6 $\pm$ 2,0
gesamt	57,4 $\pm$ 1,7	60,1 $\pm$ 2,0	58,0 $\pm$ 1,3	60,4 $\pm$ 2,1

<sup>1)</sup>vom proximalen Duodenum bis zum terminalen Ileum

<sup>2)</sup>vom proximalen Duodenum bis zum Kot

A = Adaptation

**Tabelle 11: Scheinbare Verdaulichkeit (V) der Trockensubstanz aus der Stärke-Applikation im Dün- bzw. Gesamtdarm in % bzw. g der applizierten Trockensubstanz im Versuch 2 (MW  $\pm$ SD; n=4)**

	Maisstärke-Applikation		Weizenstärke-Applikation	
	653 g/d	1307 g/d	655 g/d	1309 g/d
<b>Verdaulichkeit im Dünndarm<sup>1)</sup></b>				
9 d A V in %	74,1 <sup>a</sup> $\pm$ 3,8	68,4 <sup>b</sup> $\pm$ 1,4	77,2 <sup>a</sup> $\pm$ 2,0	65,4 <sup>b</sup> $\pm$ 2,8
Menge in g/d	484 $\pm$ 25	893 $\pm$ 19	505 $\pm$ 13	856 $\pm$ 37
23 d A V in %	75,4 <sup>b</sup> $\pm$ 1,5	67,7 <sup>c</sup> $\pm$ 0,7	79,1 <sup>a</sup> $\pm$ 5,8	70,2 <sup>c</sup> $\pm$ 1,5
Menge in g/d	492 $\pm$ 10	885 $\pm$ 10	518 $\pm$ 38	918 $\pm$ 20
gesamt V in %	74,8 <sup>b</sup> $\pm$ 2,7	68,1 <sup>c</sup> $\pm$ 1,1	78,2 <sup>a</sup> $\pm$ 4,2	67,8 <sup>c</sup> $\pm$ 3,3
Menge in g/d	488 $\pm$ 17	887 $\pm$ 14	512 $\pm$ 26	887 $\pm$ 29
<b>Verdaulichkeit im Gesamtdarm<sup>2)</sup></b>				
9 d A V in %	82,7 <sup>b</sup> $\pm$ 2,7	79,3 <sup>c</sup> $\pm$ 3,4	87,5 <sup>a</sup> $\pm$ 0,6	79,5 <sup>c</sup> $\pm$ 3,1
Menge in g/d	540 $\pm$ 18	1037 $\pm$ 45	573 $\pm$ 4	1041 $\pm$ 41
23 d A V in %	84,7 <sup>ac</sup> $\pm$ 2,2	80,4 <sup>b</sup> $\pm$ 2,5	87,7 <sup>a</sup> $\pm$ 1,6	81,8 <sup>bc</sup> $\pm$ 1,0
Menge in g/d	553 $\pm$ 14	1051 $\pm$ 33	574 $\pm$ 11	1071 $\pm$ 13
gesamt V in %	83,7 <sup>b</sup> $\pm$ 2,5	79,9 <sup>c</sup> $\pm$ 2,8	87,6 <sup>a</sup> $\pm$ 1,1	80,7 <sup>bc</sup> $\pm$ 2,4
Menge in g/d	547 $\pm$ 16	1044 $\pm$ 39	574 $\pm$ 7	1056 $\pm$ 27

<sup>1)</sup> vom proximalen Duodenum bis zum terminalen Ileum; <sup>2)</sup> vom proximalen Duodenum bis zum Kot  
<sup>abc</sup> (p $\leq$ 0,05); **Fettdruck** zeigt signifikante Unterschiede (p $\leq$ 0,05) zwischen 9 und 23 d Adaptation;  
A = Adaptation

**Tabelle 12: Konzentration an Blutglucose (mmol/l) bei den Bullen (Verlauf nach Versuchsende) zu verschiedenen Zeiten nach Fütterungsbeginn und Stärke-Applikation (n=4)**

Minuten <sup>1)</sup>	Maisstärke-Applikation		Weizenstärke-Applikation	
	653 g/d	1307 g/d	655 g/d	1309 g/d
5	3,5	3,1	3,3	3,4
10	3,2	3,4	3,4	3,1
15	3,2	3,1	3,4	3,0
20	3,4	3,1	3,2	3,1
25	3,4	3,4	3,4	3,4
30	3,5	3,4	3,4	3,4
35	3,4	3,3	3,4	3,3
40	3,6	3,5	3,2	3,3
45	3,8	3,4	3,5	3,8
50	3,8	3,4	3,4	3,6
55	3,4	3,4	3,4	3,4
60	3,4	3,3	3,5	3,4
90	3,4	3,3	2,8	3,5
120	3,4	3,4	3,2	3,5
180	3,4	3,4	3,2	3,3
240	3,9	3,4	3,2	3,6
300	3,4	3,5	3,3	3,6

Fortsetzung Tabelle 12

Minuten <sup>1)</sup>	Maisstärke-Applikation		Weizenstärke-Applikation	
	653 g	1307 g	655 g	1309 g
360	3,6	3,4	3,5	3,8
420	3,8	3,2	3,5	3,9
480	3,7	3,3	3,5	3,7
540	3,8	3,1	3,3	3,4
600	3,7	2,8	3,2	3,3
660	3,5	3,2	3,2	3,4
720	3,6	3,2	3,1	3,4

\* Minuten nach Fütterungsbeginn und Stärke-Applikation

**Tabelle 13: Mittler Trockensubstanz-Fluss am Ileum und T-Ausscheidung mit dem Kot nach 9 bzw. 23 Tagen Adaptation an Stärkequelle und -dosis im Versuch 3 (MW  $\pm$ SD; n=4)**

	Maisstärke-Infusion		Weizenstärke-Infusion	
	876 g/d	1753 g/d	875 g/d	1750 g/d
<b>T-Flüsse am Ileum in % der T-Aufnahme</b>				
9 d A	<b>43,0<sup>c</sup> <math>\pm</math> 1,1</b>	<b>47,4<sup>a</sup> <math>\pm</math> 1,2</b>	<b>42,3<sup>d</sup> <math>\pm</math> 0,9</b>	<b>46,4<sup>b</sup> <math>\pm</math> 1,1</b>
23 d A	<b>41,9<sup>c</sup> <math>\pm</math> 1,2</b>	<b>46,4<sup>a</sup> <math>\pm</math> 0,9</b>	<b>41,1<sup>d</sup> <math>\pm</math> 1,0</b>	<b>45,1<sup>b</sup> <math>\pm</math> 0,7</b>
gesamt	<b>42,5<sup>c</sup> <math>\pm</math> 0,8</b>	<b>46,9<sup>a</sup> <math>\pm</math> 0,7</b>	<b>41,7<sup>d</sup> <math>\pm</math> 0,9</b>	<b>45,8<sup>b</sup> <math>\pm</math> 0,9</b>
<b>T-Ausscheidung mit dem Kot in % der T-Aufnahme</b>				
9 d A	<b>33,5<sup>c</sup> <math>\pm</math> 1,0</b>	<b>35,0<sup>a</sup> <math>\pm</math> 0,9</b>	<b>32,6<sup>d</sup> <math>\pm</math> 0,9</b>	<b>33,9<sup>b</sup> <math>\pm</math> 0,9</b>
23 d A	<b>32,8<sup>c</sup> <math>\pm</math> 0,8</b>	<b>34,1<sup>a</sup> <math>\pm</math> 0,7</b>	<b>32,0<sup>d</sup> <math>\pm</math> 0,6</b>	<b>33,2<sup>b</sup> <math>\pm</math> 0,5</b>
gesamt	<b>33,2<sup>c</sup> <math>\pm</math> 0,5</b>	<b>34,6<sup>a</sup> <math>\pm</math> 0,6</b>	<b>32,3<sup>d</sup> <math>\pm</math> 0,4</b>	<b>33,6<sup>b</sup> <math>\pm</math> 0,5</b>

abcd (p $\leq$ 0,05); Fettdruck zeigt signifikante Unterschiede (p $\leq$ 0,05) zwischen 9 und 23 d Adaptation;

**Tabelle 14: Scheinbare Verdaulichkeit (V) der Trockensubstanz aus Futter und Stärke-Infusion im Dün- bzw. Gesamtdarm in % der Aufnahme (MW  $\pm$ SD; n=4)**

	Maisstärke-Infusion		Weizenstärke-Infusion	
	876 g/d	1753 g/d	875 g/d	1750 g/d
<b>V im Dünndarm<sup>1)</sup></b>				
9 d A	44,7 $\pm$ 1,5	41,6 $\pm$ 1,3	45,6 $\pm$ 1,6	42,9 $\pm$ 1,2
23 d A	45,6 $\pm$ 1,6	42,1 $\pm$ 1,4	46,3 $\pm$ 1,9	43,7 $\pm$ 1,3
gesamt	45,2 $\pm$ 1,2	41,9 $\pm$ 1,0	46,0 $\pm$ 1,3	43,3 $\pm$ 0,9
<b>V im Gesamtdarm<sup>2)</sup></b>				
9 d A	57,0 $\pm$ 1,4	56,9 $\pm$ 1,0	58,1 $\pm$ 1,3	58,3 $\pm$ 0,9
23 d A	57,3 $\pm$ 1,2	57,4 $\pm$ 1,0	58,1 $\pm$ 1,4	58,6 $\pm$ 0,9
gesamt	57,2 $\pm$ 1,2	57,2 $\pm$ 1,0	58,1 $\pm$ 1,3	58,5 $\pm$ 0,9

<sup>1)</sup> vom proximalen Duodenum bis zum terminalen Ileum; <sup>2)</sup> vom proximalen Duodenum bis zum Kot  
A = Adaptation

**Tabelle 15: Scheinbare Verdaulichkeit (V) der Trockensubstanz aus der Stärke-Infusion im Dün- bzw. Gesamtdarm in % bzw. g der infundierten Trockensubstanz im Versuch 2 (MW  $\pm$ SD; n=4)**

	Maisstärke-Infusion		Weizenstärke-Infusion	
	876 g/d	1753 g/d	875 g/d	1750 g/d
	<b>Verdaulichkeit im Dünndarm<sup>1)</sup></b>			
9 d A V in %	<b>68,8<sup>b</sup> <math>\pm</math> 1,7</b>	<b>48,8<sup>d</sup> <math>\pm</math> 1,9</b>	<b>72,5<sup>a</sup> <math>\pm</math> 3,2</b>	<b>52,1<sup>c</sup> <math>\pm</math> 1,8</b>
Menge in g/d	603 $\pm$ 15	856 $\pm$ 33	635 $\pm$ 28	912 $\pm$ 31
23 d A V in %	<b>71,6<sup>b</sup> <math>\pm</math> 1,2</b>	<b>50,0<sup>d</sup> <math>\pm</math> 0,7</b>	<b>75,4<sup>a</sup> <math>\pm</math> 4,7</b>	<b>54,1<sup>c</sup> <math>\pm</math> 2,3</b>
Menge in g/d	627 $\pm$ 10	877 $\pm$ 12	660 $\pm$ 41	947 $\pm$ 41
gesamt V in %	<b>70,2<sup>b</sup> <math>\pm</math> 1,9</b>	<b>49,4<sup>d</sup> <math>\pm</math> 0,8</b>	<b>74,0<sup>a</sup> <math>\pm</math> 2,0</b>	<b>53,1<sup>c</sup> <math>\pm</math> 1,4</b>
Menge in g/d	615 $\pm$ 17	867 $\pm$ 15	648 $\pm$ 18	930 $\pm$ 25
	<b>Verdaulichkeit im Gesamtdarm<sup>2)</sup></b>			
9 d A V in %	<b>95,2<sup>b</sup> <math>\pm</math> 0,3</b>	<b>75,8<sup>d</sup> <math>\pm</math> 0,4</b>	<b>99,8<sup>a</sup> <math>\pm</math> 0,2</b>	<b>79,4<sup>c</sup> <math>\pm</math> 0,4</b>
Menge in g/d	834 $\pm$ 3	1329 $\pm$ 7	873 $\pm$ 2	1390 $\pm$ 6
23 d A V in %	<b>95,4<sup>b</sup> <math>\pm</math> 0,2</b>	<b>77,2<sup>d</sup> <math>\pm</math> 0,2</b>	<b>100,1<sup>a</sup> <math>\pm</math> 0,2</b>	<b>80,2<sup>c</sup> <math>\pm</math> 0,8</b>
Menge in g/d	836 $\pm$ 2	1353 $\pm$ 3	876 $\pm$ 2	1403 $\pm$ 15
gesamt V in %	<b>95,3<sup>b</sup> <math>\pm</math> 0,2</b>	<b>76,5<sup>d</sup> <math>\pm</math> 1,0</b>	<b>100,0<sup>a</sup> <math>\pm</math> 0,2</b>	<b>79,8<sup>c</sup> <math>\pm</math> 0,5</b>
Menge in g/d	835 $\pm$ 2	1341 $\pm$ 17	875 $\pm$ 2	1397 $\pm$ 9

<sup>1)</sup> vom proximalen Duodenum bis zum terminalen Ileum; <sup>2)</sup> vom proximalen Duodenum bis zum Kot

<sup>abcd</sup> (p $\leq$ 0,05); **Fettdruck** zeigt signifikante Unterschiede (p $\leq$ 0,05) zwischen 9 und 23 d Adaptation;

A = Adaptation

**Tabelle 16: Konzentration an Blutglucose (mmol/l) 180 Minuten nach Fütterungsbeginn im Versuch 3 (n=4)**

	Vor- periode	Maisstärke-Infusion		Weizenstärke-Infusion	
		876 g	1753 g	875 g	1750 g
Belinda	3,2	3,2	3,3	3,4	3,3
Laura	3,1	3,2	3,3	3,2	3,3
Ivana	3,1	3,4	3,3	3,9	3,3
Milka	3,2	3,4	3,2	3,7	3,6

**Tabelle 17: Stärkeverdaulichkeit im Dünndarm in % bei unterschiedlichen Stärkemengen am Dünndarm in g (nach verschiedenen Autoren)**

<b>Autor</b>	<b>Stärkemenge am Dünndarm in g / Tag</b>	<b>Stärkeverdaulichkeit im Dünndarm in %</b>
Axe et al. (1987)	1376	63
Bock et al. (1991)	471 / 676	78 / 67
Branco et al. (1999)	480 / 960	77 / 76
Hibberd et al. (1985)	482 / 943 / 1923	71 / 68 / 33
Karr et al. (1966)	356 / 975	93 / 64
Zinn (1988)	170 / 224	77 / 75
Zinn (1989)	190 / 216	81 / 80
Zinn (1990)	270	96
Matthé (Bullen)	704 / 706 / 1359 / 1361	74 / 77 / 68 / 67
Matthé (Kühe)	904 / 905 / 1179 / 1782	74 / 71 / 53 / 50

**Tabelle 18: Ergebnisse der 1-faktoriellen Varianzanalyse mit dem Faktor Quelle und der Messwiederholung Adaptationszeit im Versuch 1 – Nährstoff-Aufnahmen**

	B	Rohnährstoff- und Stärkeaufnahme in den Verdauungsversuchen				Inter-aktionen				
		Quelle (FG <sup>1)</sup> 11)								
		MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)					
	B	Adaptationszeit (FG 11)				Inter-aktionen				
		Adaptationszeit (FG 11)								
		MQ	F-Wert	Sign.	Rest (b)					
T	0,987	28594,810	0,68	0,495	527613,591	515460,315	12,34	0,072	41775,070	-
OS	0,979	8699,293	0,15	0,740	415769,750	502502,5841	8,41	0,1012	59780,2017	-
XP	0,997	119287,344	220,91	0,005	12823,633	41661,667	77,15	0,013	539,981	-
XL	0,999	208296,444	4903,31	0,000	52,378	4417,922	104,00	0,001	42,481	-
XF	0,953	112,007	0,01	0,933	40279,888	112783,944	9,18	0,094	110,835	-
XX	0,956	1982,921	0,08	0,803	96879,864	31042,831	1,26	0,378	156,686	-
XS	0,991	1645533,0803	128,76	0,008	6325,939	3194,965	0,25	0,667	12779,858	-
<b>Rohnährstoff- und Stärkeaufnahme in den Darmsaftsammelwochen</b>										
<b>Quelle (FG 11)</b>										
	B	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (b)	Inter-aktionen
T	0,880	5308,5902	0,03	0,877	90955,390	3800126,946	19,57	0,012	194188,3825	-
OS	0,817	3153,563	0,02	0,887	69812,766	1647887,733	11,93	0,026	138136,091	-
XP	0,833	245375,771	7,18	0,055	2106,9786	298037,360	8,73	0,042	34155,775	-
XL	0,999	208296,444	4903,31	0,000	52,378	4417,922	104,00	0,001	42,481	-
XF	0,600	1298,010	0,01	0,923	8746,354	561899,913	4,60	0,099	122173,553	-
XX	0,318	3493,059	0,07	0,810	13827,846	6134,545	0,12	0,751	52977,009	-
XS	0,991	2655784,458	258,98	0,000	726,949	39315,866	3,83	0,1218	10254,803	-

<sup>1)</sup> Gesamtfreiheitsgrade

**Tabelle 19: Ergebnisse der 1-faktoriellen Varianzanalyse mit dem Faktor Quelle und der Messwiederholung Adaptationszeit im Versuch 1 - verdauungsphysiologische Untersuchungen**

	B	Ruminale Verdaulichkeit der Rohnährstoffe				Adaptationszeit (FG 11)				Inter-aktionen	
		Quelle (FG 11)		Rest (a)	MQ	F-Wert		Sign.	Rest (b)		
		F-Wert	Sign.			F-Wert	Sign.				
VQ <sub>r</sub> %	0,998	71,105	1682,62	0,000	0,011	0,508	12,03	0,026	0,042	QxA***	
VQ <sub>0s</sub> %	0,984	107,696	178,55	0,000	0,000	8,518	14,12	0,020	0,603		
VQ <sub>xP</sub> %	0,538	117,528	1,04	0,365	2,940	318,785	2,83	0,168	112,507		
VQ <sub>xL</sub> %	0,878	188,496	2,12	0,219	42,506	6,765	0,08	0,797	89,066		
VQ <sub>xT</sub> %	0,957	200,046	67,62	0,001	0,002	14,520	4,91	0,091	2,958		
VQ <sub>xx</sub> %	0,931	376,992	41,95	0,003	0,014	45,982	5,12	0,087	8,986		
VQ <sub>xs</sub> %	0,972	532,513	114,91	0,000	2,750	14,018	3,02	0,157	4,634		
<b>Gesamtverdaulichkeit der Rohnährstoffe</b>											
	B	Quelle (FG 11)		Rest (a)	MQ	Adaptationszeit (FG 11)		Rest (b)	Inter-aktionen		
		F-Wert	Sign.			F-Wert	Sign.				
VQ <sub>r</sub> %	0,890	4,020	3,68	0,195	3,575	0,406	0,37	0,604	1,091		
VQ <sub>0s</sub> %	0,931	0,035	0,04	0,867	0,063	0,583	0,60	0,521	0,979		
VQ <sub>xP</sub> %	0,923	14,580	3,14	0,218	0,011	27,563	5,94	0,135	4,643		
VQ <sub>xL</sub> %	0,982	305,259	77,85	0,013	12,834	6,988	1,78	0,314	3,921		
VQ <sub>xT</sub> %	0,996	372,812	285,54	0,004	16,263	0,519	0,40	0,593	1,306		
VQ <sub>xx</sub> %	0,981	22,310	37,38	0,026	0,001	3,658	6,13	0,132	0,597		
VQ <sub>xs</sub> %	0,785	27,966	4,62	0,045	0,304	1,184	0,20	0,702	6,050		
<b>Rohprotein- und nXP-Fluss</b>											
	B	Quelle (FG 11)		Rest (a)	MQ	Adaptationszeit (FG 11)		Rest (b)	Inter-aktionen		
		F-Wert	Sign.			F-Wert	Sign.				
XP-Fluss	0,889	0,100	8,12	0,056	0,008	0,043	3,51	0,135	0,012		
nXP	0,877	0,122	9,31	0,058	0,008	0,031	2,37	0,199	0,013		

**Tabelle 20: Ergebnisse der 1-faktoriellen Varianzanalyse mit dem Faktor Quelle und der Messwiederholung Adaptationszeit im Versuch 1 – pansenphysiologische Untersuchungen**

	pH-Wert im Pansen (Minuten nach Fütterungsbeginn)				Adaptationszeit (FG 11)				Inter-aktionen	
	B	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)	MQ	F-Wert	Sign.		Rest (b)
0	0,774	0,163	3,67	0,128	0,024	0,037	0,84	0,411	0,045	QxA*
30	0,948	0,416	42,46	0,003	0,042	0,145	14,82	0,018	0,010	-
60	0,822	0,437	9,51	0,037	0,048	0,255	5,55	0,078	0,046	-
90	0,860	0,403	11,24	0,029	0,108	0,320	8,93	0,040	0,036	-
120	0,867	0,051	1,09	0,355	0,025	0,935	19,90	0,011	0,047	-
180	0,819	0,086	1,66	0,268	0,001	0,780	14,96	0,018	0,052	-
360	0,889	0,429	6,07	0,069	0,242	1,327	18,77	0,012	0,071	-
MW <sup>1)</sup>	0,929	0,355	18,76	0,012	0,026	0,496	26,20	0,007	0,019	-
<b>Ammoniakgehalt im Pansen (Minuten nach Fütterungsbeginn)</b>										
	Quelle (FG 11)				Adaptationszeit (FG 11)				Inter-aktionen	
B	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (b)		
0	0,615	0,006	0,00	0,973	4,047	1,718	0,38	0,570	4,502	-
30	0,644	1,500	0,17	0,698	18,060	31,170	3,61	0,130	8,632	-
60	0,844	109,953	6,92	0,058	2,195	37,242	2,34	0,201	15,884	-
90	0,862	184,039	13,12	0,022	1,921	27,331	1,95	0,235	14,029	-
120	0,953	323,694	50,41	0,002	9,245	12,875	2,01	0,230	6,421	-
180	0,838	365,508	14,10	0,020	9,724	2,641	0,10	0,765	25,924	-
360	0,510	52,747	1,98	0,233	0,001	0,075	0,00	0,960	26,696	-

<sup>1)</sup> Mittelwert dreier Proben von drei aufeinanderfolgenden Tagen 180 Minuten nach Fütterungsbeginn

## Fortsetzung Tabelle 20:

	B	Flüchtige Fettsäuren im Pansensaft (FG 23)						Inter- aktionen		
		Quelle (FG 11)			Adaptationszeit (FG 11)					
		MQ	F-Wert	Sign.	MQ	F-Wert	Sign.		Rest (b)	
C <sub>2</sub>	0,706	51,705	1,11	0,309	2,751	20,411	0,44	0,518	46,761	-
C <sub>3</sub>	0,895	328,591	52,62	0,000	194,338	122,695	19,65	0,000	6,244	-
nC <sub>4</sub>	0,654	13,532	1,23	0,285	56,364	39,838	3,61	0,076	11,046	-
iC <sub>4</sub>	0,756	0,188	9,65	0,067	0,055	0,009	0,46	0,507	0,019	-
nC <sub>5</sub>	0,958	109,850	268,61	0,000	8,246	8,497	20,78	0,000	0,410	QxA**
iC <sub>5</sub>	0,910	3,281	79,01	0,003	0,053	0,409	9,85	0,066	0,042	QxA***
Summe FFS	0,755	1746,324	16,06	0,001	200,640	580,147	5,33	0,035	108,755	-

**Tabelle 21:** Ergebnisse der zwei-faktoriellen Varianzanalyse mit den Faktoren Stärkequelle und Stärkedosis sowie der Messwiederholung Adaptationszeit im Versuch 2 – verdauungsphysiologische Untersuchungen

	B	Verdaulichkeit der Rohnährstoffe aus der Ration plus Applikation bis zum Ileum						Inter- aktionen						
		Quelle (FG 31)			Dosis (FG 31)									
		MQ	F-Wert	Sign.	MQ	F-Wert	Sign.		Rest (a)					
VQ <sub>T</sub> %	0,931	0,000	0,00	0,979	0,075	11,993	113,67	0,000	0,075	0,682	6,46	0,026	1,266	-
VQ <sub>OS</sub> %	0,956	0,000	0,00	0,990	0,075	16,849	204,32	0,000	0,075	0,466	5,65	0,035	0,990	-
VQ <sub>XP</sub> %	0,874	0,630	0,32	0,585	7,984	3,465	1,73	0,212	7,984	21,830	10,93	0,006	23,969	QxDxA*
VQ <sub>XF</sub> %	0,873	1,753	0,73	0,411	3,353	31,185	12,92	0,004	3,353	0,658	0,27	0,611	28,957	-
VQ <sub>XS</sub> %	0,977	0,772	0,76	0,400	1,374	458,515	452,93	0,000	1,374	3,927	3,88	0,072	12,148	QxA*

## Fortsetzung Tabelle 21

Verdaulichkeit der Rohnährstoffe aus der Ration plus Applikation im Gesamttrakt														
Quelle (FG 31)				Dosis (FG 31)				Adaptationszeit (FG 31)				Inter- aktionen		
B	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)	MQ	F-Wert	Sign.		Rest (b)	
V <sub>Q<sub>T</sub></sub> %	0,934	0,153	1,85	0,199	0,101	2,862	34,64	0,000	0,101	0,394	4,77	0,049	0,991	-
V <sub>Q<sub>08</sub></sub> %	0,928	0,140	1,67	0,220	0,096	3,511	41,80	0,000	0,096	0,138	1,64	0,224	1,008	-
V <sub>Q<sub>xp</sub></sub> %	0,714	0,007	0,00	0,956	1,512	1,276	0,58	0,463	1,512	3,296	1,49	0,246	26,613	-
V <sub>Q<sub>x<sup>f</sup></sub></sub> %	0,836	0,130	0,14	0,711	1,240	1,209	1,34	0,270	1,240	0,041	0,04	0,836	10,867	-
V <sub>Q<sub>xs</sub></sub> %	0,931	3,387	3,26	0,096	0,538	131,018	126,15	0,000	0,538	0,518	0,50	0,494	12,463	-
Verdaulichkeit ausgewählter Rohnährstoffe aus der Applikation im Dünndarm														
Quelle (FG 31)				Dosis (FG 31)				Adaptationszeit (FG 31)				Inter- aktionen		
B	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)	MQ	F-Wert	Sign.		Rest (b)	
V <sub>Q<sub>T</sub></sub> %	0,925	19,594	3,51	0,086	9,348	584,136	104,64	0,000	9,348	26,463	4,47	0,050	66,988	-
V <sub>Q<sub>08</sub></sub> %	0,886	2,904	0,37	0,554	9,891	568,351	72,60	0,000	9,891	22,579	2,88	0,115	93,938	-
V <sub>Q<sub>xs</sub></sub> %	0,945	7,003	2,22	0,162	8,586	482,439	153,17	0,000	8,586	20,624	6,55	0,025	37,796	QxD* ; QxA* ; DxA*
Verdaulichkeit ausgewählter Rohnährstoffe aus der Applikation im Gesamtdarm														
Quelle (FG 31)				Dosis (FG 31)				Adaptationszeit (FG 31)				Inter- aktionen		
B	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)	MQ	F-Wert	Sign.		Rest (b)	
V <sub>Q<sub>T</sub></sub> %	0,901	42,366	11,56	0,005	4,731	231,555	63,21	0,000	4,731	15,374	4,20	0,063	43,962	QxD*
V <sub>Q<sub>08</sub></sub> %	0,855	14,311	2,84	0,118	3,041	202,206	40,10	0,000	3,041	6,480	1,28	0,279	60,517	-
V <sub>Q<sub>xs</sub></sub> %	0,927	17,464	13,19	0,003	1,294	99,476	75,12	0,000	1,294	3,026	2,28	0,157	15,891	-

Fortsetzung Tabelle 21

		Flussmengen ausgewählter Rohnhärstoffe aus Ration und Applikation in % des Duodenalflusses												
		Quelle (FG 31)				Dosis (FG 31)				Adaptationszeit (FG 31)				
B	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (b)	Inter- aktionen	
														Quelle (FG 31)
B		MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (b)	Inter- aktionen
OS%	0,937	0,023	0,01	0,938	2,753	70,775	19,66	0,001	2,753	0,454	0,13	0,729	43,196	-
XS%	0,865	5,561	1,22	0,291	6,218	219,766	48,18	0,000	6,218	21,321	4,67	0,052	54,741	-
XF%	0,915	26,281	0,66	0,432	26,972	270,398	6,80	0,023	26,972	12,079	0,30	0,592	476,880	-
<b>Ausscheidung ausgewählter Rohnhärstoffe mit dem Kot aus Ration und Applikation in % des Duodenalflusses</b>														
B		MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (b)	Inter- aktionen
OS%	0,957	0,714	0,42	0,531	4,057	85,086	49,59	0,000	4,057	0,017	0,01	0,922	20,591	-
XS%	0,876	14,298	9,78	0,009	2,263	30,284	20,72	0,001	2,263	3,270	2,24	0,161	17,536	-
XF%	0,884	0,318	0,01	0,909	25,591	13,120	0,56	0,468	25,591	0,194	0,01	0,929	279,869	-

**Tabelle 22: Ergebnisse der zwei-faktoriellen Varianzanalyse mit den Faktoren Stärkequelle und Stärkedosis sowie der Messwiederholung Adaptationszeit im Versuch 2 – pansenphysiologische Parameter und Glucosekonzentration im Blut**

	Pansenphysiologische Parameter												Inter-aktionen	
	B	Quelle (FG 23)				Dosis (FG 23)				Adaptationszeit (FG 23)				
		MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)	MQ	F-Wert	Sign.		Rest (b)
pH	0,793	0,098	2,13	0,194	n.b. <sup>1)</sup>	0,069	1,52	0,264	n.b.	0,025	0,54	0,490	0,274	-
NH <sub>3</sub>	0,903	47,040	7,99	0,060	n.b.	5,227	0,89	0,382	n.b.	0,552	0,09	0,769	35,311	-
C <sub>2</sub>	0,607	3,249	1,44	0,275	n.b.	0,408	0,18	0,685	n.b.	3,190	1,41	0,279	13,538	-
C <sub>3</sub>	0,895	0,012	0,50	0,506	n.b.	0,081	3,44	0,113	n.b.	0,207	8,85	0,025	0,140	-
nC <sub>4</sub>	0,812	0,017	0,45	0,530	n.b.	0,098	2,63	0,156	n.b.	0,128	3,43	0,113	0,223	-
iC <sub>4</sub>	0,870	0,000	0,14	0,724	n.b.	0,001	4,41	0,081	n.b.	0,000	1,24	0,309	0,002	-
nC <sub>5</sub>	0,924	0,001	1,06	0,344	n.b.	0,000	0,19	0,675	n.b.	0,005	6,23	0,047	0,005	-
iC <sub>5</sub>	0,900	0,000	0,05	0,830	n.b.	0,011	5,22	0,063	n.b.	0,027	13,16	0,011	0,012	-
ΣFFS	0,697	3,161	1,38	0,285	n.b.	0,014	0,01	0,941	n.b.	8,249	3,59	0,107	13,780	-
C <sub>2</sub> /C <sub>3</sub>	0,748	0,395	0,47	0,518	n.b.	1,170	1,39	0,282	n.b.	0,062	0,07	0,795	5,036	-
<b>Glucosekonzentration im Blut (Minuten nach Fütterungsbeginn)</b>														
	B	Quelle (FG 15)				Dosis (FG 15)				Adaptationszeit (FG 15)				Inter-aktionen
		MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (b)	
20	0,690	0,000	0,00	0,985	n.b.	0,021	0,33	0,606	n.b.	0,074	1,17	0,450	0,191	-
40	0,772	0,000	0,01	0,939	n.b.	0,050	1,11	0,369	n.b.	0,084	1,88	0,309	0,134	-
60	0,823	0,000	0,00	0,992	n.b.	0,003	0,06	0,818	n.b.	0,131	2,51	0,235	0,157	-
120	0,885	0,000	0,01	0,935	n.b.	0,016	0,82	0,431	n.b.	0,109	5,53	0,097	0,059	-
180	0,738	0,003	0,05	0,840	n.b.	0,000	0,01	0,941	n.b.	0,136	2,18	0,269	0,187	-

<sup>1)</sup> nicht bestimmt

**Tabelle 23: Ergebnisse der zwei-faktoriellen Varianzanalyse mit den Faktoren Stärkequelle und Stärkedosis sowie der Messwiederholung Adaptationszeit im Versuch 3 – verdauungsphysiologische Untersuchungen**

		<b>Verdaulichkeit der Rohnährstoffe aus der Ration plus Infusion bis zum Ileum</b>												
		<b>Quelle (FG 31)</b>				<b>Dosis (FG 31)</b>				<b>Adaptationszeit (FG 31)</b>				
B	MQ	F-Wert	Sign.	Rest	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (b)	Inter-akt.	
		<b>Quelle (FG 31)</b>				<b>Dosis (FG 31)</b>				<b>Adaptationszeit (FG 31)</b>				
B		MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (b)	Inter-akt.
VQ <sub>1</sub> %	0,995	6,364	97,54	0,000	0,246	155,364	2381,48	0,000	0,246	2,231	34,20	0,000	0,783	QxD*
VQ <sub>0S</sub> %	0,995	5,755	52,37	0,000	0,357	241,835	2200,86	0,000	0,357	2,242	20,40	0,001	1,319	QxD*
VQ <sub>xP</sub> %	0,901	0,008	0,04	0,851	1,033	6,588	31,01	0,000	1,033	1,248	5,88	0,032	2,549	QxA*; DxA*
VQ <sub>xP</sub> %	0,947	3,044	14,29	0,003	0,300	8,642	40,57	0,000	0,300	7,537	35,38	0,000	2,556	QxD*
VQ <sub>xS</sub> %	0,999	26,390	71,47	0,000	0,944	3071,320	8317,59	0,000	0,944	16,103	43,61	0,000	4,431	-
<b>Verdaulichkeit der Rohnährstoffe aus der Ration plus Infusion im Gesamtrakt</b>														
B		<b>Quelle (FG 31)</b>				<b>Dosis (FG 31)</b>				<b>Adaptationszeit (FG 31)</b>				Inter-akt.
		MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (b)	
VQ <sub>T</sub> %	0,992	6,213	378,40	0,000	0,062	17,287	1052,89	0,000	0,062	0,414	25,22	0,000	0,197	QxD*
VQ <sub>0S</sub> %	0,991	6,588	233,03	0,000	0,068	29,607	1047,17	0,000	0,068	0,252	8,91	0,011	0,339	-
VQ <sub>xP</sub> %	0,940	8,674	18,73	0,001	0,163	55,230	119,27	0,000	0,163	18,211	39,33	0,000	5,557	-
VQ <sub>xP</sub> %	0,706	10,114	7,10	0,021	0,109	7,022	4,93	0,046	0,109	0,261	0,18	0,676	17,098	-
VQ <sub>xS</sub> %	0,999	44,110	311,87	0,000	0,382	1441,98	10195,39	0,000	0,382	0,868	6,14	0,029	1,697	QxD*
<b>Verdaulichkeit ausgewählter Rohnährstoffe aus der Infusion im Dünndarm</b>														
B		<b>Quelle (FG 31)</b>				<b>Dosis (FG 31)</b>				<b>Adaptationszeit (FG 31)</b>				Inter-akt.
		MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (b)	
VQ <sub>T</sub> %	0,997	110,484	107,02	0,000	4,822	3472,361	3363,34	0,000	4,822	39,029	37,80	0,000	12,389	-
VQ <sub>0S</sub> %	0,995	86,988	56,22	0,000	5,948	3384,176	2187,26	0,000	5,948	34,736	22,45	0,001	18,567	-
VQ <sub>xS</sub> %	0,998	51,893	71,69	0,000	2,494	3488,422	4819,35	0,000	2,494	37,693	52,07	0,000	8,686	-

Fortsetzung Tabelle 23:

Flussmengen ausgewählter Rohnährstoffe aus Ration und Applikation in % des Duodenalflusses													
Quelle (FG 31)													
B	MQ	F-Wert	Sign.	Rest	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (b)	
	(a)				(a)				(b)				
OS%	0,947	10,707	13,60	0,003	1,806	101,567	129,01	0,000	1,806	5,144	6,53	0,025	9,447
XS%	0,998	49,278	72,73	0,000	2,372	3342,553	4933,07	0,000	2,372	35,892	52,97	0,000	8,131
XF%	0,944	13,703	5,75	0,034	3,856	38,500	16,16	0,002	3,856	32,240	13,53	0,003	28,589
<b>Ausscheidung ausgewählter Rohnährstoffe aus Ration und Applikation in % des Duodenalflusses mit dem Kot</b>													
Quelle (FG 31)													
B	MQ	F-Wert	Sign.	Rest	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (b)	
	(a)				(a)				(b)				
OS%	0,799	12,840	19,09	0,001	0,793	3,348	4,98	0,046	0,793	0,624	0,93	0,354	8,070
XS%	0,999	92,480	319,60	0,000	0,730	2305,544	7967,73	0,000	0,730	1,739	6,01	0,031	3,472
XF%	0,855	44,746	7,35	0,019	2,207	31,681	5,20	0,042	2,207	1,488	0,24	0,630	73,064
<b>Verdaulichkeit ausgewählter Rohnährstoffe aus der Infusion im Gesamtdarm</b>													
Quelle (FG 31)													
B	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)	MQ	F-Wert	Sign.	Rest	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (b)	
	(a)				(a)				(b)				
VQ <sub>1</sub> %	0,999	125,849	2173,79	0,000	0,316	3024,864	55248,54	0,000	0,316	3,367	58,16	0,000	0,695
VQ <sub>0s</sub> %	0,999	121,875	808,86	0,000	0,664	2903,411	19269,22	0,000	0,664	1,518	10,08	0,008	1,808
VQ <sub>xs</sub> %	0,999	97,441	320,67	0,000	0,760	2371,538	7804,64	0,000	0,760	1,834	6,03	0,030	3,646

**Tabelle 24: Ergebnisse der zwei-faktoriellen Varianzanalyse mit den Faktoren Stärkequelle und Stärkedosis sowie der Messwiederholung Adaptationszeit im Versuch 3 – pansenphysiologische Parameter und Glucosekonzentration im Blut**

	Pansenphysiologische Parameter												Inter-akt.			
	Quelle (FG 15)				Dosis (FG 15)				Adaptationszeit (FG 15)							
	B	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)	MQ	F-Wert	Sign.		Rest (b)		
pH	0,850	0,007	0,15	0,726	n.b.	0,002	0,05	0,839	n.b.	0,088	1,91	0,304	0,137	-		
NH <sub>3</sub>	0,650	21,344	1,30	0,338	n.b.	1,416	0,09	0,789	n.b.	1,712	0,10	0,952	49,446	-		
C <sub>2</sub>	0,920	0,578	1,74	0,279	n.b.	0,015	0,04	0,846	n.b.	0,255	0,77	0,584	0,999	-		
C <sub>3</sub>	0,655	0,006	0,12	0,753	n.b.	0,011	0,23	0,665	n.b.	0,025	0,51	0,703	0,146	-		
nC <sub>4</sub>	0,713	0,000	0,01	0,921	n.b.	0,000	0,00	0,961	n.b.	0,023	1,22	0,438	0,056	-		
iC <sub>4</sub>	0,783	0,000	0,28	0,631	n.b.	0,000	0,07	0,807	n.b.	0,000	0,42	0,751	0,000	-		
nC <sub>5</sub>	0,618	0,000	0,05	0,835	n.b.	0,000	0,22	0,674	n.b.	0,000	0,30	0,828	0,002	-		
iC <sub>5</sub>	0,588	0,000	0,03	0,878	n.b.	0,000	0,02	0,897	n.b.	0,000	0,15	0,925	0,009	-		
ΣPFPS	0,970	0,699	5,37	0,103	n.b.	0,050	0,39	0,578	n.b.	0,504	3,87	0,148	0,391	-		
C <sub>2</sub> /C <sub>3</sub>	0,690	0,71	0,05	0,835	n.b.	0,133	0,10	0,776	n.b.	0,252	0,18	0,902	4,133	-		
<b>Glucosekonzentration im Blut</b>																
B	Quelle (FG 15)				Rest (a)	Dosis (FG 15)				Rest (a)	Adaptationszeit (FG 15)				Rest (b)	Inter-akt.
	MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)		MQ	F-Wert	Sign.	Rest (a)		MQ	F-Wert	Sign.	Rest (b)		
	0,910	0,126	7,23	0,075	n.b.	0,060	3,44	0,161	n.b.	0,050	2,85	0,207	0,052	-		

## DANKSAGUNG

Während meiner Doktorandenzeit am Institut für Tierernährung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig, am Institut für Tierernährung des Institutes für Tierproduktion in Nitra (Slowakische Republik) und am Institut für Tierernährung und Ernährungsphysiologie der Universität Gießen habe ich eine vielseitige Unterstützung erfahren, die wesentlich zum Gelingen der vorliegenden Arbeit beitrug.

Mein Dank gilt den Herren Prof. Dr. G. Flachowsky und Prof. Dr. E. Weigand für die Überlassung des Themas, für die gewährten Arbeitsmöglichkeiten am Institut in Braunschweig, für die Betreuung der Arbeit und die Anregungen zu ihrer Fertigstellung. Mein Dank gilt weiterhin Herrn Prof. Dr. A. Sommer für die gewährten Arbeitsmöglichkeiten am Institut für Tierernährung in Nitra, wo ich den Applikations- und den Infusionsversuch durchgeführt habe.

Ganz besonderer Dank gilt Herrn Dr. Peter Lebzien für die jederzeit fachliche Unterstützung, für die praktische Hilfe in Nitra zur Inbetriebnahme der Infusionsapparaturen, für die aufbauenden Mails in problematischen Zeiten in Nitra, für die fachliche Beratung und Diskussion der Ergebnisse, für seine Geduld und die menschliche Unterstützung in Durststrecken. Als ein sehr guter Betreuer hat er wesentlich zum Gelingen der Arbeit beigetragen.

Den Mitarbeitern des Institutes für Tierernährung in Nitra danke ich für die Unterstützung bei den täglichen und nächtlichen Probennahmen in 18 (!) Sammelwochen, für die zahlreichen Weender-Analysen, besonders Frau M. Polacikova für die Chromanalyse, Frau Dr. Z. Ceresnakova für ihr Verständnis und Herrn Dr. J. Szakacs für die Hilfe beim Applikationsversuch an Bullen.

Ohne das Holzgestell von Herrn Varecka hätten wir beim Kuhversuch die Infusionsgläser auf den Heizplatten wahrscheinlich selbst halten müssen. Ivan Hric danke ich für die Hilfe bei der Durchführung des Infusionsversuches an Kühen, für seine Geduld und seine Vermittlung bei Kommunikationsproblemen mit Kollegen. Ohne seine Unterstützung, besonders beim Wechseln der Infusionslösungen jede 12 Stunden an 112 Tagen, und der Kontrolle der leider manchmal verstopften Schläuche wären die Probleme wesentlich größer gewesen. Ich danke Frau Dr. M. Svetlanska, Frau Prekopova und Monika für die schönen privat verbrachten Stunden.

Den Kollegen und Doktoranden in Braunschweig danke ich für die Hilfe bei der Durchführung des Versuchs, für die Hilfe bei den Darmsaftsammelperioden, besonders bei denen, die Nachtschichten übernahmen, Herrn K. Mundstock für die Betreuung der Tiere, Herrn A. Jagow für die Chrombestimmung und den Kollegen im Weender-Labor für die Analysen. Ich danke Herrn H. Eckardt für die Hilfe bei den zahlreichen Stärkebestimmungen.

Herrn D.-D. Strauß danke ich für seine Hilfe bei der statistischen Auswertung. Mit viel Geduld half er mir, dem Computer das schließlich richtige Modell begreiflich zu machen. Herrn Dr. H. Böhme danke ich für die Hilfe zur Vervielfältigung der Arbeit.

Meiner Zimmerkollegin Sabine Hartinger danke ich für ihre Geduld, ihren Rat, die vielen Aufmerksamkeiten und das sehr angenehme Arbeitsklima. Es war ein Arbeitsplatz zum Wohlfühlen.

Ich danke Claudia für ihren Trost und Zuspruch in schwierigen Stunden, für ihre vielfältige Hilfe, für seitenweises Korrekturlesen, für ihre Geduld und ihr Verständnis. Sie gab mir eine Menge Kraft und Zuversicht. Ohne sie wären diese Jahre wesentlich schwieriger gewesen.

## **LEBENS LAUF**

### **PERSÖNLICHE DATEN**

Name Angelika Maureen Matthé  
Geburtsdatum und Ort 21.03.1971 in Wolgast

### **SCHULBILDUNG**

9/1977 – 7/1987 Polytechnische Oberschule in Wolgast;  
Zehnklassiger Abschluss (Mittlere Reife)  
9/1987 – 7/1989 Erweiterte Oberschule “Arthur Becker” in Wolgast  
Abitur (Hochschulreife)

### **AUSBILDUNG, BERUF UND STUDIUM**

9/1989 – 8/1990 Landwirtschaftliches Vorpraktikum im VEG Tierzucht Kölsa  
Ausbildung zum Facharbeiter für Tierproduktion,  
Spezialisierung Rinderproduktion,  
gleichgestellt am 01.11.1994 mit dem Berufsabschluss  
Tierwirtin (Rinderhaltung)  
9/1990 – 8/1992 Studium der Agrarwissenschaften an der Universität Leipzig mit  
Abschluss des Vordiploms  
9/1992 – 8/1993 Landwirtschaftliches Praktikum im National Agricultural Centre  
in Stoneleigh, Warwickshire, England,  
Erwerb des First Certificate in English der Universität  
Cambridge mit dem Certificate Grade B  
9/1993 – 8/1996 Studium der Agrarwissenschaften an der Justus-Liebig  
Universität Giessen mit Abschluss des Diploms in der  
Fachrichtung „Nutztierwissenschaften“  
9/1996 – 8/1997 Studium der Pädagogik für berufliche Schulen mit  
Abschluss des 1. Staatsexamens  
seit 9/1997 Doktorandin im Institut für Tierernährung der  
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL),  
Braunschweig