

**Aus dem Institut für Tierernährung und Stoffwechselphysiologie
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel**

**Nährstoffabbau im Pansen von Rindern bei Rationen mit
Feuchtgetreide oder chemisch behandelten Ölsaatprodukten**

**Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel**

**vorgelegt von
Dipl. –Ing. agr. Maike Wulf
aus Neumünster**

Kiel 2004

Gedruckt mit Genehmigung der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der
Christian-Albrechts-Universität Kiel

Dekan: Prof. Dr. F. Taube

1. Berichterstatter: Prof. Dr. K.-H. Südekum

2. Berichterstatter: Prof. Dr. A. Susenbeth

Tag der mündlichen Prüfung: 06.11.2003

Zusammenfassung

Maike Wulf

Nährstoffabbau im Pansen von Rindern bei Rationen mit Feuchtgetreide oder chemisch behandelten Ölsaaten

In der vorliegenden Arbeit sollten Fragen über die Auswirkungen des Abbaus von Stärke aus Feuchtgetreide und Fetten aus Rapsexpellern und Sojabohnen auf die Fermentation im Pansen geklärt werden.

Im ersten Teil der Arbeit wurden die Nährstoffverdaulichkeiten von luftdicht gelagertem oder mit Harnstoff behandeltem Feuchtgetreide sowie die Auswirkungen auf das Pansenmilieu bei Verabreichung des Getreides in drei Zerkleinerungsgraden geprüft. Roggen (81,4 % Trockenmasse, TM), Weizen (82,0 % TM) und Sommergerste (81,1 % TM) wurden nach grober Zerkleinerung (Quetschen) in einem Flachsilo luftdicht gelagert, die Wintergerste (83,6 % TM) wurde gequetscht, mit Harnstoff behandelt und ebenfalls in einem Flachsilo gelagert. Roggen und Weizen wurden jeweils in Form eines 3 x 3 lateinischen Quadrates an 6 pansenfistulierten Ochsen, die Sommergerste und Wintergerste gemeinsam in Form eines 4 x 4 lateinischen Quadrates an 4 pansenfistulierten Ochsen getestet. Roggen, Weizen und Sommergerste wurden in einem der 3 Zerkleinerungsgrade (gequetscht, gequetscht und nachvermahlen auf 6 bzw. 3 mm), die Wintergerste wurde nur in gequetschter Form als Konzentratfutter verabreicht, als Grobfutter wurde Grassilage vorgelegt. Zusätzlich wurde ein Gemisch aus jeweils 50 % trockenen Roggen- und Weizenkörnern (88,0 % TM) als Kontrollvariante (gemahlen auf 3 mm) an 6 Ochsen geprüft. Das Grobfutter:Kraftfutter-Verhältnis betrug 30:70 (Roggen, Weizen und Roggen-Weizen-Gemisch) bzw. 40:60 (Sommergerste und Wintergerste), das Ernährungsniveau lag beim 1,3-fachen des geschätzten energetischen Erhaltungsbedarfs. Eine Versuchsperiode erstreckte sich über 21 Tage, am 11. Tag wurde mit der Sammelperiode begonnen. Die Verdaulichkeiten der Stärke und der organischen Masse im Gesamttrakt waren nicht durch den Zerkleinerungsgrad beeinflusst ($p > 0,10$), im Durchschnitt wurden Verdaulichkeiten von mehr als 99 % (Stärke) und 73 bis 80 % (organische Masse) erreicht. Trotz der hohen Stärkegehalte wurden für nahezu alle Messzeitpunkte pH-Werte über 6,0 in der Pansenflüssigkeit ermittelt. Dabei gab es zwischen den Getreidearten größere Unterschiede als zwischen den Zerkleinerungsgrade. Das gequetschte Getreide führte zu einer vollständigen Verwertung der Stärke mit stabilen ruminalen Verhältnissen.

Im zweiten Teil der Arbeit wurde mittels *in vivo* und *in situ* Methoden geprüft, ob sich die chemische Behandlung von Futtermitteln zum Schutz des Futterproteins vor dem ruminalen Abbau ebenfalls schützend auf das Rohfett auswirkt. Es wurden 4 verschiedene Rationen vorgelegt. Die beiden Rationen mit Rapsexpellern bestanden (auf TM-Basis) aus 40 % Heu, 25 % Gerste und 35 % unbehandelten (RM) oder mit Xylose behandelten (RMT) Rapsexpellern. Die TM der beiden Sojabohnen-Rationen bestand aus 40 % Heu, 30 % Gerste und 30 % unbehandelten (SB) oder mit Formaldehyd behandelten (SBT) Sojabohnen. Die Futtermittel wurden an 4 ausgewachsenen, pansenfistulierten Ochsen in Form eines 4 x 4 Lateinischen Quadrat getestet. Die Ochsen wurden einmal täglich um 7.00 Uhr gefüttert. Eine Versuchsperiode erstreckte sich über 11 Tage. Die Ochsen, die die Sojabohnen-Rationen erhielten, zeigten den höchsten Rohfettabbau und hatten höhere Mengen an TM, organische Masse, Neutral-Detergenzienfaser und Säure-Detergenzienfaser im Panseninhalt 24 Stunden nach der Fütterung im Vergleich zu den Tieren, die die Rapsrationen erhielten. *In situ* unterlag das Rohfett aller Futtermittel einem intensiven Abbau, insbesondere bei den kurzen Inkubationszeiten konnte man höhere Rohfettverluste bei RMT und SBT im Vergleich zu den unbehandelten Varianten feststellen. Zu allen Messzeitpunkten waren die Konzentrationen an Ammoniak-Stickstoff für RMT und SBT geringer ($p < 0,01$) als für RM und SB, was als Indikator für einen ausgeprägten Rohproteinschutz gesehen werden kann. *In situ* zeigte das Rohprotein von RMT und SBT einen geringeren Abbau ($p < 0,01$) als RM und SB. Die chemische Behandlung von Sojabohnen mit Formaldehyd und von Rapsexpellern mit Xylose hatte keinen schützenden Effekt auf das Rohfett gegenüber dem ruminalen Abbau, obwohl ein Rohproteinschutz ausgebildet war. Sowohl die *in vivo* als auch die *in situ* Methode war zur Überprüfung des Rohproteinschutzes geeignet, allerdings variierte das Ausmaß des Rohfettabbaus sehr stark zwischen den beiden Methoden.

SUMMARY

Maike Wulf

Nutrient digestion in the rumen of cattle fed diets containing high-moisture grain or chemically treated oilseed products

This study was conducted to measure effects of starch degradation of high moisture grain and degradation of crude fat from soybeans and expeller rapeseed meal on ruminal fermentation in cattle.

In the first part of the paper, nutrient degradation of airtight stored or urea-treated high-moisture grain and its effects on ruminal fermentation were studied. Rye, wheat and spring barley grains were harvested as high moisture grain (on average 81.5% dry matter, DM), rolled and stored airtight in a bunker silo. Winter barley (83.6% DM) was rolled, treated with urea and stored in a bunker silo. Rye, wheat and spring barley grains were fed in three different physical forms to six (barley diets: four) mature, ruminally cannulated steers: rolled prior to storage, rolled plus ground prior to feeding (6 mm), and rolled plus ground prior to feeding (3 mm), winter barley was fed as rolled grain. Additionally, a mix (50:50) from dry-ground rye and wheat grains (88% DM) was fed as a control-treatment. Steers were fed at 1.3 times maintenance energy requirements on forage:concentrate diets (30:70 rye, wheat and mix rye-wheat; 40:60 spring and winter barley, on DM basis). Experimental periods lasted 21 days, on day 11 the sampling period started. Whole-tract digestibility of starch and organic matter (OM) was not affected ($P > 0.10$) by processing method, on average more than 99.0% of starch and 73% (barley diets) to 80% of OM was digested. Despite of high starch intakes, at almost all points of observation ruminal pH values were above 6.0. Grain source affected ruminal pH more than did degree of processing. Rolling high-moisture rye, wheat and spring barley appears sufficient to ensure complete starch digestion while maintaining a favourable ruminal environment. At low feed intake with 60 respectively 70% grain on DM basis, neither reduction in nutrient digestibility nor decrease in ruminal pH-value was observed.

The second part of the paper was conducted to investigate with *in vivo* and *in situ* methods whether chemical methods designed to protect feed crude protein (CP) against ruminal degradation were also effective in protecting crude fat. Four diets were formulated which contained expeller rapeseed meal or ground whole soybeans. The two rapeseed meal diets consisted of (dry matter (DM) basis) 40% grass hay, 25% barley and 35% untreated (RM) or xylose-treated (RMT) expeller rapeseed meal. The DM of the two soybean diets consisted of 40% grass hay, 30% barley and 30% untreated (SB) or formaldehyde-treated (SBT) ground whole soybeans. Four mature steers, fitted with a ruminal canula, were used in a 4 x 4 Latin square arrangement of treatments. Steers were fed once daily at 07:00 h. Each treatment period lasted 11 days. *In vivo*, steers fed the soybean diets showed higher crude fat disappearance 24 h after feeding and had more DM, organic matter, neutral detergent fibre and acid detergent fibre in the rumen compared to steers fed the rapeseed diets. *In situ*, crude fat extensively disappeared from all feedstuffs, and in particular after short-time incubation, crude fat of RMT and SBT was more degraded than in the untreated feedstuffs. At all times of observation concentrations of ammonia-N in ruminal fluid were lower ($P < 0.01$) for RMT and SBT than for RM and SB, indicating that CP of the treated feeds was protected against ruminal degradation. These findings are consistent with the *in situ* data up to 24 h of incubation i.e., RMT and SBT had a lower ($P < 0.01$) CP degradation than RM and SB. Treating ground, whole soybeans with formaldehyde and expeller rapeseed meal with xylose had no protective effect against crude fat degradation in rumen, although protein protection was effective. Both *in vivo* and *in situ* methods were suitable to assess CP degradation in the rumen and both methods indicated also that chemical treatment had no effect on ruminal crude fat degradation, but the estimated extent of crude fat disappearance differed widely between *in vivo* and *in situ* estimates.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
KAPITEL 1: Einleitung	2
KAPITEL 2: Qualität und Futterwert von luftdicht gelagertem oder mit Harnstoff konserviertem Feuchtgetreide für Wiederkäuer	5
KAPITEL 3: Effect of chemical treatment of soybeans and expeller rapeseed meal on <i>in vivo</i> and <i>in situ</i> crude fat and crude protein disappearance from the rumen	44
KAPITEL 4: Schlussbetrachtung	65
KAPITEL 5: Literaturverzeichnis	69

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

A	Acetat
ADF	Säure-Detergenzien Faser
ADL	Säure-Detergenzien-Lignin
CELL	Cellulose
CF	crude fat
CP	crude protein
DM	dry matter
DRM	diet with untreated expeller rapeseed meal
DRMT	diet with treated expeller rapeseed meal
DSB	diet with untreated soybeans
DSBT	diet with treated soybeans
ED	effective degradability
EE	ether extract
FFS	Kurzkettige Fettsäuren
GLM	general linear model
h	Stunden, hours
HEM	Hemicellulose
KbE	koloniebildende Einheit
MW	Mittelwert
NDF	Neutral-Detergenzien-Faser
NH ₃ -N	Ammoniak-Stickstoff
OM	Organische Masse
<i>p</i>	Irrtumswahrscheinlichkeit
P	Propionat
R3	Roggen, gequetscht und gemahlen 3 mm
R6	Roggen, gequetscht und gemahlen 6 mm
RM	untreated expeller rapeseed meal
RMT	treated expeller rapeseed meal
RQ	Roggen, gequetscht
RUP	ruminally undegraded protein
RW	Roggen-Weizen Gemisch
SB	untreated soybeans

SBT	treated soybeans
SCFA	short chain fatty acids
SD	Standard Abweichung
SEM	Standard error of means, Standardfehler
SFFS	Summe kurzkettiger Fettsäuren
SP	small particles
TiO ₂	Titandioxid
TM	Trockenmasse
W3	Weizen, gequetscht und gemahlen 3 mm
W6	Weizen, gequetscht und gemahlen 6 mm
WQ	Weizen, gequetscht
WS	water-soluble material
XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein

KAPITEL 1

Einleitung

Durch die intensive züchterische Bearbeitung sind Milchkühe mit einer Laktationsleistung von über 10 000 kg Milch keine Seltenheit mehr. Dieses hohe genetische Leistungsvermögen kann nur durch Fortschritte in der Haltung und im Management des Tierbestandes erreicht und gehalten werden. Neben den verschiedenen Aspekten des „Kuh-Komforts“ hat die leistungsgerechte Fütterung der Tiere dabei eine herausragende Bedeutung.

Insbesondere in den ersten 100 Tagen der Laktation hat die Kuh einen gesteigerten Energie- und Nährstoffbedarf, der nicht durch die Futteraufnahme gedeckt werden kann. Durch den Einsatz von qualitativ hochwertigem Grundfutter und energiereichen Konzentratfuttern kann man diesem Effekt entgegen wirken. Allerdings sind einer weiteren Steigerung der Energiedichte von Milchviehrationen im Hinblick auf die Strukturversorgung der Tiere zunehmend Grenzen gesetzt.

Energiereiche Futtermittel wie z. B. Getreide zeichnen sich in der Regel durch eine hohe Fermentationsintensität im Pansen aus. Zur optimalen Nutzung der Energie aus Getreidestärke ist daher eine solche Behandlung nötig, die dem Tier ausreichend Energie zur Verfügung stellt, aber gleichzeitig negative Auswirkungen auf das Pansenmilieu reduziert. Durch eine übermäßige Körnerbearbeitung kann es zu einem extremen pH-Wertabfall und einer damit verbundenen Reduktion der Grundfutteraufnahme kommen, was wiederum in einer Verschlechterung der Energieversorgung des Tieres resultiert (ØRSKOV, 1976; 1986). Nach ØRSKOV (1986) sollte das Ausmaß der Bearbeitung daher so gewählt werden, dass eine gute Verdaulichkeit erreicht wird und gleichzeitig negative Effekte auf die Gesundheit und Leistung der Tiere vermieden werden. Bei Getreidekörnern mit einem Feuchtigkeitsgehalt von < 14 % hat sich das grobe Quetschen gegenüber dem feinen Mahlen als vorteilhaft für das Pansenmilieu erwiesen (SCHULDT, 1989; MCALLISTER und CHENG, 1996).

Im ersten Teil dieser Arbeit wurde geprüft, wie sich luftdicht gelagertes Getreide mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 20 % hinsichtlich der Auswirkungen der Bearbeitungsintensität auf das Pansenmilieu und der Nährstoffverdaulichkeit im Gesamtrakt von trockenem Getreide unterscheidet.

Setzt man Fette zur Steigerung der Energiedichte in der Wiederkäuerfütterung ein, können die durch den schnellen Stärkeabbau bedingten Probleme vermieden werden.

Eine nennenswerte Erhöhung des Rohfettgehaltes in Milchviehrationen zur Verbesserung der Energieversorgung speziell frühlaktierender Milchkühe ist aber nur dann wirksam, wenn das Fett in einer weitgehend pansenstabilen Form vorliegt, so dass negative Auswirkungen freigesetzter Fettsäuren auf das mikrobielle Wachstum (HENDERSON, 1973; MACZULAK et al., 1981) und die Pansenfermentation (CHALUPA, 1984; 1986) verhindert werden. Fettreiche Futtermittel wie Sojabohnen und Rapsexpeller werden zum Teil chemisch behandelt, um das Rohprotein vor dem mikrobiellen Abbau im Pansen zu schützen.

Im zweiten Teil dieser Arbeit wurde der Frage nachgegangen, ob die Behandlung fettreicher Futtermittel, die zur Bereitstellung von pansenstabilem Rohprotein eingesetzt werden, gleichzeitig auch das Rohfett vor dem ruminalen Abbau schützt.

KAPITEL 2

Qualität und Futterwert von luftdicht gelagertem oder mit Harnstoff konserviertem Feuchtgetreide für Wiederkäuer

Sinkende Erzeugerpreise steigern die Wirtschaftlichkeit der innerbetrieblichen Verwertung von Getreide als Ersatz bzw. Ergänzung zu handelsüblichen Kraftfutterkomponenten. Wegen der häufig ungünstigen, instabilen Wetterlage bei der Ernte werden nur selten Erntepartien mit einem Feuchtigkeitsgehalt von weniger als 14 % geerntet, daher muss eine Nachbehandlung zur Konservierung der Körner erfolgen, um eine verderbfreie und somit verlustarme Lagerung zu ermöglichen.

Das Hauptproblem bei der Feuchtgetreidelagerung ist der Verderb durch Hefen und Schimmelpilze (FÜLL et al., 1992). Schon bei einer geringen Erhöhung des Keimgehaltes geht die Haltbarkeit stark zurück. Die verschiedenen Konservierungsverfahren zielen daher darauf ab, den Schadorganismen möglichst ungünstige Bedingungen für das Wachstum zu schaffen. Dies geschieht durch Maßnahmen wie Wasserentzug, Veränderung des pH-Wertes im Erntegut oder Sauerstoffabschluss. Die Aktivität schädlicher Mikroorganismen hängt in erster Linie vom Feuchtigkeitsgehalt des Getreides ab, die Trocknung der Körner mit angewärmter Luft ist daher eines der sichersten, aber auch eines der kostenintensivsten Verfahren zur Konservierung des Ernteguts. Soll das Getreide nur zu Fütterungszwecken genutzt werden, eignen sich Feuchtkonservierungsverfahren wie z. B. die Behandlung des Erntegutes mit chemischen Zusätzen wie Propionsäure und Harnstoff, oder aber die Lagerung unter Luftabschluss. Sowohl die luftdichte Lagerung als auch die Konservierung durch Harnstoffzusatz erscheinen im Hinblick auf die geringen Kosten und die einfachen technischen Voraussetzungen besonders für den Einsatz in der Praxis geeignet zu sein. Allerdings darf mit Harnstoff konserviertes Getreide nur an Wiederkäuer verfüttert werden (ANONYM, 2002).

Lagerung unter Luftabschluss

Die Lagerung unter Luftabschluss eignet sich besonders für Getreide mit einem Feuchtigkeitsgehalt von bis zu 20 %. Der im Getreidestock vorhandene Sauerstoff wird von den Getreidekörnern und den an den Getreidekörnern anhaftenden Mikroorganismen veratmet, dabei kommt es zu einem Anstieg der Kohlendioxid-Konzentration im Lager (KASPERSSON et al., 1988). Die Kohlendioxid-Atmosphäre

wirkt sich einschränkend auf die Lebensfähigkeit der Mikroorganismen aus, da viele der Schaderreger wie Schimmelpilze und Hefen auf eine aerobe Umwelt angewiesen sind, zudem wird die Kornatmung unterbunden (FÜRLI et al., 1992).

Das Getreide kann in Flachsilos gelagert werden, allerdings setzt dieses eine gleichmäßige Verdichtung und sorgfältige Abdeckung mit Folie voraus (OBERBARNSCHEIDT et al., 1992). Auf diese Weise konserviertes Getreide kann nur für die Fütterung eingesetzt werden, ein Einsatz als Braugetreide bzw. als Saatgetreide ist durch den Verlust der Keimfähigkeit nicht mehr möglich (FÜRLI et al., 1992).

Eine Konservierung durch Kohlendioxid-Atmosphäre findet nur bei Kornfeuchten von bis zu 20 % statt (IDLER et al., 1993), bei Feuchtigkeitsgehalten von mehr als 20 % findet neben der Kohlendioxid-Bildung eine Milchsäuregärung statt (FÜRLI et al., 1992), die mit zunehmender Kornfeuchte immer intensiver wird. Für eine stabile Milchsäuregärung sind jedoch Kornfeuchten von 35 % notwendig (PETTERSSON et al., 1996).

Einsatz von Harnstoff

Der konservierende Effekt des Harnstoffes beruht auf der hydrolytischen Spaltung von Harnstoff zu Ammoniak und dem dadurch bedingten Anstieg des pH-Wertes. Die für diesen Prozess nötige Urease wird durch spontan ablaufende, mikrobielle Prozesse in feuchten Futtermitteln gebildet (SCHMIDT et al., 1982). Ammoniak besitzt eine direkte, toxische Wirkung auf Mikroorganismen (JEROCH, 1993), durch die chemische Reaktion kommt es kurzzeitig zu einer Erwärmung im Getreidestock und zu einem Anstieg des pH-Wertes auf 8 – 9 (SANFTLEBEN und DRESCHER, 2002).

Um eine erfolgreiche Konservierung zu erreichen, sollte der Feuchtigkeitsgehalt des Getreides bei mindestens 18 % liegen, bei geringeren Feuchtigkeitsgehalten kann dem Erntegut problemlos Wasser zugesetzt werden, ohne dass eine Beeinträchtigung der hygienischen Qualität des Getreides bei der Auslagerung auftritt (SCHMIDT et al., 1982). Die Dosierungsempfehlung liegt bei etwa 2 – 3 kg Futterharnstoff auf 100 kg Getreide (Frischsubstanz), die eingesetzte Harnstoffmenge ist unabhängig vom

Feuchtigkeitsgehalt des Getreides (SCHMIDT et al., 1982; SANFTLEBEN und DRESCHEL, 2002). Beim Einsatz von Harnstoff ist besonders auf eine gleichmäßige Verteilung des Harnstoffes im Getreide zu achten, damit eine stabile Konservierung erreicht wird und um Probleme bei der Verfütterung zu vermeiden, wenn sich der Harnstoff in Futterschichten akkumuliert. Um ein Entweichen des gasförmigen Ammoniaks zu vermeiden, sollte der Getreidestock mindestens 4 Wochen mit einer Folie abgedeckt werden (SANFTLEBEN und DRESCHEL, 2002).

Mit Harnstoff konserviertes Getreide darf nur in der Fütterung von Wiederkäuern eingesetzt werden (ANONYM, 2002). Bei der Gestaltung der Ration ist auf den erhöhten Gehalt an Nicht-Protein-Stickstoff-Verbindungen (NPN-Verbindungen) zu achten, beim Einsatz von mit Harnstoff konserviertem Getreide in grasbetonten Rationen kann es ansonsten zu einer vermehrten Belastung des Stoffwechsels durch Ammoniak kommen. Auf diese Art konserviertes Getreide eignet sich daher besonders für maisbetonte Rationen.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war, 1.) die Auswirkungen verschiedener Konservierungsverfahren auf die Qualität und den Hygienestatus von Feuchtgetreide zu prüfen, und 2.) die Wirkung unterschiedlicher Zerkleinerungsgrade auf das Milieu im Pansen und die Nährstoffverdaulichkeit im Gesamttrakt von Wiederkäuern zu untersuchen.

1. Material und Methoden

1.1. Luftdicht konservierter Feuchttroggen – Versuch 1

1.1.1. Tiere

Fünf ausgewachsene Ochsen der Rasse Angler Rotvieh und ein ausgewachsener Ochse der Rasse Hinterwälder wurden in diesem Versuch genutzt. Das durchschnittliche Lebendgewicht der Ochsen während des Versuches betrug 833 ± 108 kg (Mittelwert \pm Standardabweichung). Jeder Ochse war mit einer

Pansenfistel ausgestattet, deren innerer Durchmesser 10 cm betrug (Modell 1C, Bar Diamond, Parma, ID, USA). Die Tiere wurden in Einzelanbindung gehalten, Wasser stand in Selbsttränken zur freien Verfügung.

1.1.2. Futtermittel

Der in diesem Versuch eingesetzte Feuchttroggen stammte von der Landprodukte GmbH Frauenhagen/Mürow (Uckermark, Brandenburg) und wurde 1997 geerntet. Aufgrund sehr trockener Bedingungen im Erntejahr wurde das Getreide durch Zugabe von Wasser auf einen Feuchtigkeitsgehalt von etwa 20 % eingestellt. Nach einer 24-stündigen Einwirkzeit wurde das Getreide mit einem mobilen Doppelwalzenstuhl gequetscht, dabei wiesen 36,9 % des Getreides eine Partikelgröße von mehr als 1 mm auf. Der gequetschte Roggen wurde anschließend in einem Flachsilo eingelagert, durch Befahren des Erntegutes mit dem Radlader verdichtet und luftdicht mit Folie abgedeckt. Bei der Einlagerung des Getreides wurde eine Verdichtung von 850 kg/m^3 angestrebt.

Um eine Aussage über die hygienische Qualität des Feuchttroggens machen zu können, wurde der Keimbesatz bei der Einlagerung des Getreides bestimmt. Das Getreide wurde nach sieben Wochen ausgelagert und verfüttert.

1.1.3. Fütterung

Die sechs Rinder erhielten eine konzentratfutterreiche Ration (70 % Konzentratfutter, 30 % Grasanwelksilage in der Trockenmasse, TM), die zweimal täglich um 7.00 und 19.00 Uhr vorgelegt wurde. Das Ernährungsniveau lag beim 1,3-fachen des geschätzten energetischen Erhaltungsbedarfes (GfE, 2001). Als Konzentratfutter wurde Feuchttroggen (81,4 % TM) in jeweils drei Zerkleinerungsgraden (gequetscht; gequetscht und gemahlen durch ein Sieb mit 6 mm Lochdurchmesser; gequetscht und gemahlen durch ein Sieb mit 3 mm Lochdurchmesser) vorgelegt. Die Tiere bekamen täglich 120 g Vormischung, bestehend aus 20 g Titandioxid (TiO_2) und 100 g einer handelsüblichen Mineralstoff- und Vitaminmischung für Rinder, die sich wie folgt zusammensetzte: 18 % Calcium,

2,5 % Phosphor, 10 % Natrium, 4 % Magnesium; Zusatzstoffe je kg: 800 000 I.E. Vitamin A, 80 000 I.E. Vitamin D₃, 1 500 I.E. Vitamin E, 6000 mg Zink, 4000 mg Mangan, 1200 mg Kupfer, 25 mg Kobalt, 25 mg Jod und 50 mg Selen.

1.1.4. Versuchsplan

Der Versuch wurde in Form eines doppelt besetzten 3 x 3 lateinischen Quadrates durchgeführt. Eine Versuchsperiode erstreckte sich über 21 Tage, wobei 10 Tage zur Adaptation an das Versuchsfutter vorgesehen waren. Am 11. Tag wurde bei den Ochsen stündlich über 24 h der pH-Wert im ventralen Pansensack über die Pansenfistel gemessen und gleichzeitig Pansenflüssigkeitsproben zur Bestimmung der Konzentration an kurzkettigen Fettsäuren (SCFA), Milchsäure und Ammoniakstickstoff (NH₃-N) gezogen. Die Pansenflüssigkeitsproben wurden gleich nach der Entnahme bei -18 °C eingefroren und bis zur Analyse tiefgefroren aufbewahrt. Vom 12. bis zum 21. Tag wurde der Kot stichprobenartig gesammelt. Dazu wurde zweimal täglich zu den Fütterungszeitpunkten eine repräsentative Probe des frisch abgesetzten bzw. rektal entnommenen Kotes gesammelt, die Menge betrug jeweils etwa 200 g.

1.2. Luftdicht konservierter Feuchtweizen – Versuch 2

1.2.1. Tiere

Die Ochsen sind in Versuch 1 beschrieben (1.1.1.).

1.2.2. Futtermittel

Der im Versuch 2 eingesetzte Feuchtweizen stammte von demselben Betrieb wie in Versuch 1 und wurde wie unter 1.1.2. behandelt.

1.2.3. Fütterung

Die Fütterung erfolgte wie unter 1.1.3. beschrieben. Als Konzentratfutter wurde Feuchtweizen (82,0 % TM) in drei Zerkleinerungsgraden (gequetscht; gequetscht und gemahlen durch ein Sieb mit 6 mm Lochdurchmesser; gequetscht und gemahlen durch ein Sieb mit 3 mm Lochdurchmesser) eingesetzt.

1.2.4. Versuchsplan

Der Versuch 2 wurde wie in 1.1.4. beschrieben durchgeführt.

1.3. Luftdicht konservierte Sommergerste und harnstoffbehandelte Wintergerste - Versuch 3

1.3.1. Tiere

Vier ausgewachsene Ochsen der Rasse Deutsche Rotbunte wurden in diesem Versuch genutzt. Das durchschnittliche Lebendgewicht der Tiere während des Versuches betrug 862 ± 57 kg (Mittelwert \pm Standardabweichung). Jeder Ochse war mit einer Pansenfistel ausgestattet, deren innerer Durchmesser 10 cm betrug (Modell 1C, Bar Diamond, Parma, ID, USA). Die Tiere wurden in Einzelanbindung gehalten, Wasser stand in Selbsttränken zur freien Verfügung.

1.3.2. Futtermittel

Das in diesem Versuch eingesetzte Getreide stammte ebenfalls von der Landprodukte GmbH Frauenhagen/Mürow (Uckermark, Brandenburg) und wurde 1998 geerntet. Sowohl die Sommergerste als auch die Wintergerste wurden direkt nach dem Drusch mit einem fahrbaren Doppelwalzenstuhl gequetscht, anschließend wurde die Sommergerste in einem Flachsilo eingelagert, durch Befahren mit einem Radlader verdichtet und luftdicht mit Folie abgedeckt. Die Wintergerste wurde mit 5 kg Futterharnstoff je 100 kg Getreide behandelt und wie die Sommergerste in einem

Flachsilo verdichtet und mit einer Folie abgedeckt. Bei der Einlagerung beider Getreidearten wurde eine Verdichtung von 850 kg/m^3 angestrebt. Nach einer siebenwöchigen Lagerzeit wurde das Getreide ausgelagert und verfüttert.

1.3.3. Fütterung

Die vier Rinder erhielten eine konzentratfutterreiche Ration (60 % Konzentratfutter, 40 % Grasanwelksilage, bezogen auf TM), die zweimal täglich um 7.00 und 19.00 Uhr vorgelegt wurde. Das Ernährungsniveau lag beim 1,3-fachen des geschätzten energetischen Erhaltungsbedarfs (GFE, 2001). Als Konzentratfutter wurde Sommergerste (81,1 % TM) in jeweils drei Zerkleinerungsgraden (gequetscht; gequetscht und gemahlen durch ein Sieb mit 6 mm Lochdurchmesser; gequetscht und gemahlen durch ein Sieb mit 3 mm Lochdurchmesser) vorgelegt. Zusätzlich wurde eine mit Harnstoff behandelte Wintergerste (83,6 % TM) geprüft. Die Ochsen bekamen täglich 270 g Vormischung, bestehend aus 20 g TiO_2 , 100 g einer handelsüblichen Mineralfutter- und Vitaminmischung für Rinder und 150 g Sojaextraktionsschrot. Die Zusammensetzung der Mineralstoff- und Vitaminmischung ist 1.1.3. zu entnehmen.

1.3.4. Versuchsplan

Der Versuch wurde in Form eines einfach besetzten 4×4 lateinischen Quadrates durchgeführt. Eine Versuchsperiode erstreckte sich über 21 Tage, wobei 10 Tage zur Adaptation an das Versuchsfutter vorgesehen waren. Am 11. Tag wurde bei den Ochsen stündlich über 24 h der pH-Wert im ventralen Pansensack über die Pansenfistel gemessen. Vom 12. bis zum 21. Tag wurde der Kot stichprobenartig gesammelt. Dazu wurde zweimal täglich zu den Fütterungszeitpunkten eine repräsentative Probe des frisch abgesetzten bzw. rektal entnommenen Kotes gesammelt, die Menge betrug jeweils etwa 200 g. Die Indikatorsubstanz TiO_2 wurde den Tieren zu jeder Mahlzeit mit der Mineralstoffmischung gegeben.

1.4. Roggen-Weizen-Gemisch – Versuch 4

1.4.1. Tiere

Die Ochsen sind in Versuch 1 beschrieben (1.1.1.).

1.4.2. Futtermittel

Das in diesem Versuch eingesetzte Getreide stammte aus Schleswig-Holstein und hatte einen TM-Gehalt von 87,7 %. Es wurde bereits auf 3 mm vermahlen von der Firma Plambeck, Brügge, bezogen.

1.4.3. Fütterung

Die sechs Rinder erhielten eine konzentratfutterreiche Ration (70 % Konzentratfutter, 30 % Grasanwelksilage auf TM bezogen), die zweimal täglich um 7.00 und 19.00 Uhr vorgelegt wurde. Als Konzentratfutter wurde eine Mischung aus jeweils 50 % Roggen- und Weizenkörnern vorgelegt (87,7 % TM), vermahlen auf 3 mm. Zusätzlich bekamen die Rinder täglich 120 g Vormischung, bestehend aus 20 g TiO₂ und 100 g einer handelsüblichen Mineralstoff- und Vitaminmischung für Rinder. Die Zusammensetzung dieser Mischung ist unter 1.1.3. angegeben.

1.4.4. Versuchsplan

Das Futtermittel wurde in einer Periode an den Tieren getestet. Das Roggen-Weizen-Gemisch diente als Kontrollvariante zu den Feuchtgetreiden aus den Versuchen 1, 2 und 3. Eine Versuchsperiode erstreckte sich über 21 Tage, wobei 10 Tage zur Adaptation an das Versuchsfutter vorgesehen war. Am 11. Tag wurde bei den pansenfistulierten Ochsen beginnend vor der Morgenfütterung stündlich über 12 Stunden der pH-Wert gemessen und gleichzeitig Pansenflüssigkeitsproben zur Bestimmung der Konzentration an SCFA, Milchsäure und NH₃-N gezogen. Die Kotsammlung erfolgte wie in Versuch 1 (1.1.4.) beschrieben.

1.5. Analysen

Die TM der Grassilagen, des Roggens, des Weizens, der Sommergerste und der Wintergerste sowie der Kotproben wurde durch Gefriertrocknung mit anschließender Restfeuchtebestimmung bei 105 °C über Nacht ermittelt. Die gefriergetrockneten, gemahlene Futter- und Kotproben der Versuche 1 – 4 wurden nach den Vorschriften des „Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten“ (VDLUFA) (BASSLER, 1988; 1993) auf ihre Gehalte an Rohasche, Rohfaser, Rohprotein und Rohfett analysiert. Die Bestimmung des Rohfettgehaltes erfolgte durch Petrolether-Extraktion nach der Soxhlet Methode zuvor waren die Proben mit heißer Salzsäure aufgeschlossen worden.

Die Gehalte an Neutral-Detergenzienfaser (NDF), Säure-Detergenzienfaser (ADF) und Säure-Detergenzien-Lignin (ADL) in den Futtermitteln und im Kot wurden nach GOERING und VAN SOEST (1970) ermittelt. Bei den Konzentratfuttermitteln wurde der NDF-Gehalt durch die Zugabe von α -Amylase vor dem Kochen und einer weiteren Gabe nach 30 min Kochzeit bestimmt, da die hohen Stärkegehalte des Getreides zu Filtrationsschwierigkeiten und zu einer Überschätzung des NDF-Gehaltes geführt hätten. Die Gehalte an Hemicellulose und Cellulose wurden durch Subtraktion aus den Gehalten an NDF, ADF und ADL ermittelt (Hemicellulose = NDF – ADF; Cellulose = ADF – ADL).

Die Schätzung der Kotmenge erfolgte mittels TiO_2 als unverdaulicher Markersubstanz (BRANDT und ALLAM, 1987) in frischen Kotproben (Versuche 1 – 4). In den aufgetauten, frischen Kotproben wurde der Rohproteingehalt nach Kjeldahl gemessen. Der Stärkegehalt im Kot und in den Futtermitteln wurde enzymatisch durch die Bestimmung der Summe aus freier und α -glycosidisch gebundener Glucose ermittelt (BRANDT et al., 1987).

Zur Ermittlung der hygienischen Qualität wurden die Ergosteringehalte im Feuchttroggen und Feuchtweizen nach der siebenwöchigen Lagerzeit bei der LUFA Augustenberg, Karlsruhe, mittels High Performance Liquid Chromatography (HPLC)-Verfahren bestimmt (MÜLLER und SCHWADORF, 1988). Das Säulenmaterial besteht dabei aus einer reversed phase Säule mit C-8-Ketten als funktionelle Gruppen (MOS-Hypersil, 125 x 4,6 mm, 5 μm , Firma Shandon), eluiert wird mit Methanol-Wasser

(95:5, v/v) bei einer Flussrate von 1,5 ml/min und einer Retentionszeit von etwa 2,4 min.

Die Pansensaftproben aus den Versuchen 1, 2 und 4 wurden aufgetaut und vorbereitend für die nachfolgenden Analysen bei 19 200 x g (SCFA) beziehungsweise 1860 x g (NH₃-N) für 28 min zentrifugiert. Anschließend wurde der Gehalt an NH₃-N durch Dampfdestillation (BRANDT, 1979) bestimmt.

Die Bestimmung der Gehalte an SCFA aus den Versuchen 1 und 2 erfolgte mittels Gaschromatographie (Gerät: GC 8360 Carlo Erba, Fisons Instruments). Die Trennung erfolgte auf einer Säule von 30 m Länge x 0,530 mm Durchmesser (DB-FFAP) bei 220 °C, als Trägergas wurde Helium verwendet. Der Gehalt an Milchsäure wurde mit dem HPLC-Verfahren nach der Methode von SIEGFRIED et al. (1984) ermittelt. Beide Untersuchungen wurden am Institut für Agrartechnik Bornim e.V. in Potsdam durchgeführt.

Die Pansenflüssigkeitsproben aus Versuch 4 wurden am Institut für Tierernährung und Stoffwechsellphysiologie, Christian-Albrechts-Universität, Kiel, auf den Gehalt an SCFA und Milchsäure mittels HPLC nach der Methode von SIEGFRIED et al. (1984) untersucht.

1.6. Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Versuche 1 – 3 erfolgte mit dem Statistik-Programm-Paket SAS (2000) mit der Prozedur general linear models (GLM). Für die Berechnung der Beziehungen zwischen Versuchsfaktoren und Zielgrößen wurde das folgende statistische Modell verwendet:

$$y_{ijk} = \mu + \text{Tier}_i + \text{Periode}_j + \text{Behandlung}_k + e_{ijk}$$

wobei μ das Gesamtmittel, Tier_i den fixen Effekt des i -ten Tieres, Periode_j den fixen Effekt der j -ten Periode, Behandlung_k den fixen Effekt der k -ten Behandlung und e_{ijk} den Resteffekt darstellt. Die Mittelwertvergleiche der Versuche 1 und 2 wurden mittels orthogonaler Kontraste durchgeführt: Quetschen vs. (Mittelwert Mahlen durch ein Sieb

mit 6 mm Lochgröße + Mahlen durch ein Sieb mit 3 mm Lochgröße) sowie Mahlen durch ein Sieb mit 6 mm Lochgröße vs. Mahlen durch ein Sieb mit 3 mm Lochgröße.

Die Mittelwertsvergleiche von Versuch 3 wurden mittels folgender orthogonaler Kontraste durchgeführt: Sommergerste gequetscht vs. (Mittelwert Sommergerste gemahlen durch ein Sieb mit 6 mm Lochgröße + Sommergerste gemahlen durch ein Sieb mit 3 mm Lochgröße); Sommergerste gemahlen durch ein Sieb mit 6 mm Lochgröße vs. Sommergerste gemahlen durch ein Sieb mit 3 mm Lochgröße sowie gequetschte Wintergerste vs. (Mittelwert Sommergerste gequetscht + Sommergerste gemahlen durch ein Sieb mit 6 mm Lochgröße + Sommergerste gemahlen durch ein Sieb mit 3 mm Lochgröße). Eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,10$ wird im Weiteren als signifikant bezeichnet.

2. Ergebnisse

2.1. Luftdicht konservierter Feuchttroggen – Versuch 1

Der Keimbesatz des Feuchttroggens stieg nach siebenwöchiger Lagerung von 2×10^4 koloniebildende Einheiten (KbE/g), gemessen bei der Einlagerung, auf 4×10^8 KbE/g. Obwohl auch die Egosteringlehalte mit 21,0 mg/kg TM als Maß für die von Pilzen gebildete Biomasse über den sogenannten „vorläufigen Normalbereichen“ (MÜLLER und SCHWADORE, 1988) lagen, wurde das Pilzgift Ochratoxin als Indikator für Lagerpilztoxine nicht nachgewiesen (Ochratoxin A Gehalt $< 0,2$ ng/ml). Augenscheinlich konnte kein Verderb des Feuchttroggens beobachtet werden.

Die mittleren TM- und Nährstoffgehalte des Feuchttroggens, der Grassilage und der Gesamtration sind in Tabelle 1 aufgeführt. Da es sich bei den drei Roggenvarianten (Roggen, gequetscht; Roggen, gequetscht und gemahlen durch ein Sieb mit 6 mm Lochdurchmesser; Roggen, gequetscht und gemahlen durch ein Sieb mit 3 mm Lochdurchmesser) um Getreide aus dem gleichen Lager handelte, wurden die für die jeweiligen Varianten gemessenen Analysenwerte verrechnet und als Mittelwert

angegeben ($n = 3$). Die drei unterschiedlich zerkleinerten Roggenvarianten wurden stärkeäquivalent gegeneinander ausgetauscht. Im Mittel nahmen die Tiere 3,3 kg Stärke auf, die mittlere TM-Aufnahme lag bei 7,7 kg.

Tabelle 1: Mittlere Trockenmasse- (TM %) und Nährstoffgehalte des Feuchtroggens, der Grassilage und der Gesamtration

	Roggen	Grassilage	Ration
Trockenmasse	80,9	29,4	65,5
Organische Masse	98,1	88,6	94,3
Stärke	58,4	2,3	42,6
Rohfaser	2,3	30,0	9,5
Rohfett	1,5	3,3	1,8
Rohprotein	10,9	14,1	11,6
NDF	16,5	56,1	26,5
ADF	4,0	37,5	12,7
ADL	2,1	2,7	2,2

NDF = Neutral-Detergenzienfaser; ADF = Säure-Detergenzienfaser; ADL = Säure-Detergenzienlignin.

In Tabelle 2 sind die Verdaulichkeiten der einzelnen Nährstoffe im Gesamttrakt zusammengefasst. Die Art der Nachbehandlung der Roggenkörner hatte keinen Einfluss ($p > 0,10$) auf die Verdaulichkeit der TM, organischen Masse (OM), Rohfaser, NDF, ADF, Hemicellulose und Cellulose.

Die Stärke aller Varianten wurde mit Werten von 98,3 bis 99,8 % nahezu vollständig verdaut. Die höchste numerische Stärkeverdaulichkeit wurde bei dem auf 3 mm vermahlenden Roggen beobachtet. Das Nachvermahlen der Getreidekörner auf 6 und 3 mm führte zu einer besseren Stärkeverdaulichkeit im Vergleich zum Quetschen ($p < 0,01$).

Tabelle 2: Nährstoffverdaulichkeiten im Gesamttrakt (in %) nach der Fütterung von Feuchtroggen

	RQ	R6	R3	SEM
Trockenmasse	79,3	80,2	79,3	0,04
Organische Masse	82,0	82,7	82,2	0,36
Stärke	98,3	99,5	99,8	0,10
Rohfaser	70,0	69,0	65,8	3,29
Rohfett	46,5	45,3	37,2	3,38
NDF	65,0	67,3	66,2	1,93
ADF	61,8	62,7	61,8	1,75
Hemicellulose	68,2	71,3	70,2	2,64
Cellulose	69,3	71,8	68,3	1,61

RQ = Roggen, gequetscht; R6 = Roggen, gequetscht und gemahlen auf 6 mm; R3 = Roggen, gequetscht und gemahlen auf 3 mm; SEM = Standardfehler, NDF = Neutral-Detergenzienfaser; ADF = Säure-Detergenzienfaser.

In Abbildung 1 sind die pH-Werte im ventralen Pansensack dargestellt. Die höchsten Werte wurden direkt vor den beiden Fütterungszeitpunkten (7.00 und 19.00 Uhr) gemessen. Der pH-Wert-Verlauf des gequetschten Roggens zeigt die geringsten Schwankungen im Zeitablauf. Die tiefsten pH-Werte wurden für den auf 6 mm vermahlene Roggen gemessen. Die stärksten post-prandialen Schwankungen zeigte die auf 3 mm vermahlene Variante, der niedrigste Wert lag bei pH 6,0, der höchste Wert wurde mit 6,8 zu Beginn der Abendfütterung gemessen. Statistisch abzusichern ($p < 0,10$) waren die Unterschiede im pH-Wert zwischen der gequetschten und den nachvermahlene Varianten nur zu den Zeitpunkten 22.00 und 24.00 Uhr, die Unterschiede zwischen der auf 6 und der auf 3 mm vermahlene Variante waren zu drei Zeitpunkten (7.00, 2.00 und 5.00 Uhr) statistisch abzusichern ($p < 0,10$).

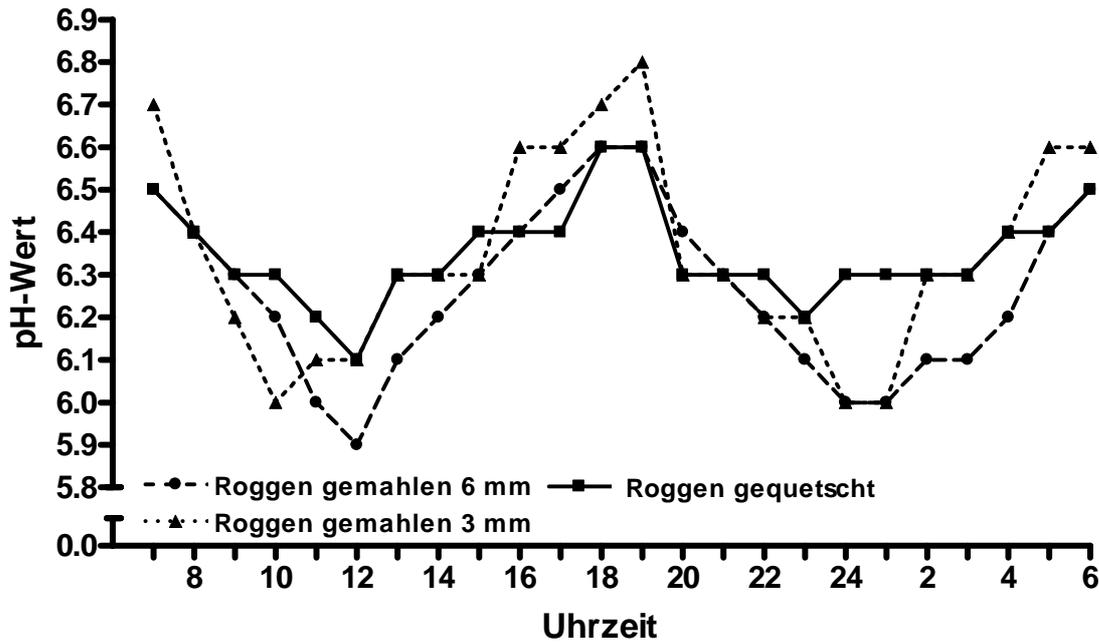


Abbildung 1: Mittlere pH-Werte im ventralen Pansensack bei der Fütterung von Feuchttrogen.

Der Standardfehler lag im Bereich 0,05 – 0,11.

In Tabelle 3 sind die Konzentrationen an $\text{NH}_3\text{-N}$ in der Pansenflüssigkeit dargestellt. Die Art der Zerkleinerung hatte keinen signifikanten Einfluss auf die $\text{NH}_3\text{-N}$ -Konzentrationen in der Pansenflüssigkeit. Der Verlauf der Werte ist durch ein Maximum 2 Stunden nach der Fütterung gekennzeichnet. Insgesamt befand sich die $\text{NH}_3\text{-N}$ -Konzentration auf einem niedrigen Niveau.

Tabelle 3: Ammoniak-Stickstoff-Konzentrationen (mmol/l) in der Pansenflüssigkeit nach der Fütterung von Feuchttrogen, ermittelt vor (7.00 Uhr) sowie 2, 4 und 6 Stunden nach der Fütterung

Uhrzeit	RQ	R6	R3	SEM
7.00	3,2	3,5	4,0	0,3
9.00	8,4	8,9	8,3	0,7
11.00	3,6	4,8	4,1	0,8
13.00	3,5	2,5	2,9	0,5

RQ = Roggen, gequetscht; R6 = Roggen, gequetscht und gemahlen auf 6 mm; R3 = Roggen, gequetscht und gemahlen auf 3 mm; SEM = Standardfehler.

In Tabelle 4 sind die Konzentrationen an Essigsäure, Propionsäure, das Essigsäure:Propionsäure-Verhältnis sowie die Summe der kurzkettigen Fettsäuren (SCFA) in der Pansenflüssigkeit nach der Fütterung von Feuchttroggen aufgeführt. Trotz der hohen Stärkeaufnahmen wurden hohe Essigsäure- und niedrige Propionsäure-Konzentrationen gemessen. Zwischen den drei Rationsvarianten gab es nur 4 Stunden nach der Fütterung signifikante Unterschiede in der Essigsäure-Konzentration, sowohl zwischen der gequetschten und den gemahlten Varianten ($p < 0,01$), als auch zwischen den beiden gemahlten Varianten ($p < 0,10$). Die Essigsäure-Konzentration der auf 6 mm vermahlene Variante lag um 10 Prozentpunkte über der auf 3 mm vermahlene Variante ($p < 0,01$).

Zu allen Messzeitpunkten konnte ein sehr weites Essigsäure:Propionsäure-Verhältnis ($> 4,3$) gemessen werden. Die Unterschiede im Propionsäure-Gehalt wie auch im Essigsäure:Propionsäure-Verhältnis ließen sich nicht statistisch absichern ($p > 0,10$).

Die niedrigsten SCFA-Konzentrationen fanden sich vor der Fütterung, post-prandial kam es dann zu einem Anstieg. Für die auf 3 mm vermahlene Variante wurde 2 Stunden nach der Fütterung die höchste Konzentration gemessen (112,8 mmol/l), die maximale SCFA-Konzentration für die auf 6 mm vermahlene Variante wurde nach 4 Stunden gemessen (117,0 mmol/l), während die maximale SCFA-Konzentration der gequetschten Variante erst 6 Stunden nach der Fütterung auftrat (103,5 mmol/l). Unterschiede zwischen der gequetschten und den gemahlten Varianten gab es um 11.00 Uhr ($p < 0,02$) und um 13.00 Uhr zwischen der auf 3 und der auf 6 mm nachvermahlene Variante ($p < 0,05$).

Tabelle 4: Konzentrationen (mmol/l) von Essigsäure, Propionsäure sowie das Verhältnis von Essigsäure zu Propionsäure (E:P) und die Summe an kurzkettigen Fettsäuren (Σ SCFA) vor (7.00 Uhr) sowie 2, 4 und 6 Stunden nach der Fütterung von Feuchtroggen

	Uhrzeit	RQ	R6	R3	SEM
Essigsäure	7.00	62,5	64,4	60,4	1,9
	9.00	66,6	71,4	74,0	3,6
	11.00	67,7	78,8	73,2	1,8
	13.00	70,0	77,1	67,1	1,5
Propionsäure	7.00	12,1	11,8	9,9	0,8
	9.00	15,6	16,9	16,9	0,8
	11.00	15,7	18,2	16,0	0,9
	13.00	15,8	16,5	13,5	1,2
E:P	7.00	5,5	5,6	6,2	0,3
	9.00	4,4	4,3	4,5	0,2
	11.00	4,5	4,4	4,7	0,3
	13.00	4,6	4,8	5,1	0,3
Σ SCFA	7.00	89,5	92,8	85,2	3,6
	9.00	99,1	105,9	112,8	5,9
	11.00	100,2	117,0	108,8	3,6
	13.00	103,5	111,4	98,1	4,1

RQ = Roggen, gequetscht; R6 = Roggen, gequetscht und gemahlen auf 6 mm; R3 = Roggen, gequetscht und gemahlen auf 3 mm; SEM = Standardfehler.

In Tabelle 5 sind die Konzentrationen an Milchsäure sowie an SCFA angegeben. Zwischen den einzelnen Zerkleinerungsgraden gab es zwar numerische Unterschiede, statistisch abzusichern ($p < 0,10$) waren sie aber nur bei der Konzentration an iso-Buttersäure (zu allen Messzeitpunkten zwischen R6 und R3), n-Valeriansäure (4 Stunden nach der Fütterung, zwischen R6 und R3 sowie der gequetschten und den gemahlenden Varianten) und Capronsäure (vor der Fütterung und 4 Stunden danach zwischen R6 und R3). Trotz der hohen täglichen Stärkeaufnahme

von 3,3 kg wurden nur geringe Konzentrationen an Milchsäure ($\leq 2,7$ mmol/l) ermittelt.

Tabelle 5: Konzentrationen (mmol/l) an Milchsäure und kurzkettigen Fettsäuren vor (7.00 Uhr) sowie 2, 4 und 6 Stunden nach der Fütterung von Feuchttroggen

	Uhrzeit	RQ	R6	R3	SEM
Milchsäure	7.00	0,4	1,3	0,7	0,33
	9.00	0,3	0,9	2,7	1,14
	11.00	0,4	0,6	0,9	0,28
	13.00	1,1	1,1	0,7	0,43
iso-Buttersäure	7.00	0,9	1,0	0,9	0,03
	9.00	1,2	1,3	1,2	0,04
	11.00	1,1	1,3	1,2	0,04
	13.00	1,0	1,1	1,0	0,03
n- Buttersäure	7.00	11,4	13,1	11,7	1,33
	9.00	12,0	12,5	16,5	2,10
	11.00	12,3	14,1	14,7	2,40
	13.00	13,1	13,0	13,1	2,57
iso-Valeriansäure	7.00	1,4	1,5	1,5	0,13
	9.00	1,9	2,0	2,4	0,19
	11.00	1,8	2,2	2,2	0,17
	13.00	1,8	1,9	2,0	0,20
n-Valeriansäure	7.00	0,7	0,7	0,6	0,07
	9.00	1,2	1,3	1,4	0,08
	11.00	1,3	1,8	1,3	0,12
	13.00	1,2	1,3	1,2	0,15
Capronsäure	7.00	0,3	0,3	0,2	0,03
	9.00	0,5	0,4	0,4	0,05
	11.00	0,4	0,7	0,4	0,08
	13.00	0,5	0,5	0,3	0,09

RQ = Roggen, gequetscht; R6 = Roggen, gequetscht und gemahlen auf 6 mm; R3 = Roggen, gequetscht und gemahlen auf 3 mm; SEM = Standardfehler.

2.2. Luftdicht konservierter Feuchtweizen - Versuch 2

Der Keimbesatz des Feuchtweizens stieg nach siebenwöchiger Lagerung von 2×10^4 KbE/g, gemessen bei der Einlagerung, auf 4×10^8 KbE/g. Obwohl auch die Egosteringehalte mit 12,7 mg/kg TM als Maß für die von Pilzen gebildete Biomasse über den sogenannten „vorläufigen Normalbereichen“ lagen, wurde das Pilzgift Ochratoxin als Indikator für Lagerpilztoxine nicht nachgewiesen (Ochratoxin A Gehalt $< 0,2$ ng/ml). Augenscheinlich konnte kein Verderb des Feuchtweizens beobachtet werden.

Die mittleren Nährstoffgehalte des Feuchtweizens, der Grassilage und der Gesamtration sind in Tabelle 6 aufgeführt. Da es sich bei den drei Weizenvarianten (Weizen, gequetscht; Weizen, gequetscht und durch ein Sieb mit 6 mm Lochgröße nachvermahlen; Weizen, gequetscht und durch ein Sieb mit 3 mm Lochgröße nachvermahlen) um Getreide aus dem gleichen Lager handelte, wurden die für die jeweiligen Varianten gemessenen Analysenwerte verrechnet und als Mittelwert angegeben ($n = 3$). Die drei Weizenvarianten wurden stärkeäquivalent gegeneinander ausgetauscht, so dass eine durchschnittliche tägliche Stärkeaufnahme von etwa 3,6 kg realisiert werden konnte, insgesamt nahmen die Tiere etwa 8,2 kg TM am Tag auf.

Tabelle 6: Mittlere Trockenmasse- (TM %) und Nährstoffgehalte des Feuchtwizens, der Grassilage und der Gesamtration

	Weizen	Grassilage	Ration
Trockenmasse	82,1	28,3	66,0
Organische Masse	98,0	88,3	93,6
Stärke	61,8	2,1	44,0
Rohfaser	2,3	30,9	10,3
Rohfett	1,5	3,0	1,9
Rohprotein	12,9	16,2	13,6
NDF	15,4	55,7	26,5
ADF	3,8	36,6	13,0
ADL	1,3	3,3	1,8

NDF = Neutral-Detergenzienfaser; ADF = Säure-Detergenzienfaser; ADL = Säure-Detergenzienlignin.

In Tabelle 7 sind die Verdaulichkeiten der einzelnen Nährstoffe im Gesamttrakt dargestellt. Zwischen den drei Zerkleinerungsgraden bestanden keine signifikanten Unterschiede in den Verdaulichkeiten der einzelnen Nährstoffe ($p > 0,10$).

Die Stärkeverdaulichkeit des gequetschten Weizens lag um etwa 1 % unter der der beiden gemahlten Varianten, mit Verdaulichkeiten von 98,8 % und darüber hinaus zeigte die Stärke die höchste Verdaulichkeit aller in der Tabelle aufgeführten Nährstoffe und wurde in allen drei Varianten nahezu vollständig verdaut.

Tabelle 7: Nährstoffverdaulichkeiten im Gesamttrakt (in %) nach der Fütterung von Feuchtweizen

	WQ	W6	W3	SEM
Trockenmasse	75,8	76,0	75,8	0,7
Organische Masse	78,8	79,0	78,7	0,5
Stärke	98,8	99,8	99,8	0,0
Rohfaser	64,8	64,3	63,3	1,7
Rohfett	31,3	31,5	28,7	4,9
NDF	63,2	62,3	61,3	2,0
ADF	54,5	52,0	54,2	2,0
Hemicellulose	71,3	71,2	69,2	2,5
Cellulose	63,8	62,3	64,3	2,1

WQ = Weizen, gequetscht; W6 = Weizen, gequetscht und gemahlen auf 6 mm; W3 = Weizen, gequetscht und gemahlen auf 3 mm; SEM = Standardfehler, NDF = Neutral-Detergenzienfaser; ADF = Säure-Detergenzienfaser.

Abbildung 2 gibt Auskunft über den pH-Wertverlauf im ventralen Pansensack nach der Fütterung von Feuchtweizen. Die tiefsten pH-Werte (6,2) konnte man für den auf 3 mm vermahlene Weizen im Abschnitt von 2 - 6 Stunden nach der Morgenfütterung beobachten, statistisch ließ sich der Unterschied zwischen den beiden gemahlene Varianten um 10.00 Uhr nachweisen ($p < 0,10$). Der gequetschte und der auf 6 mm vermahlene Weizen zeigten einen sehr einheitlichen pH-Wertverlauf auf demselben Niveau.

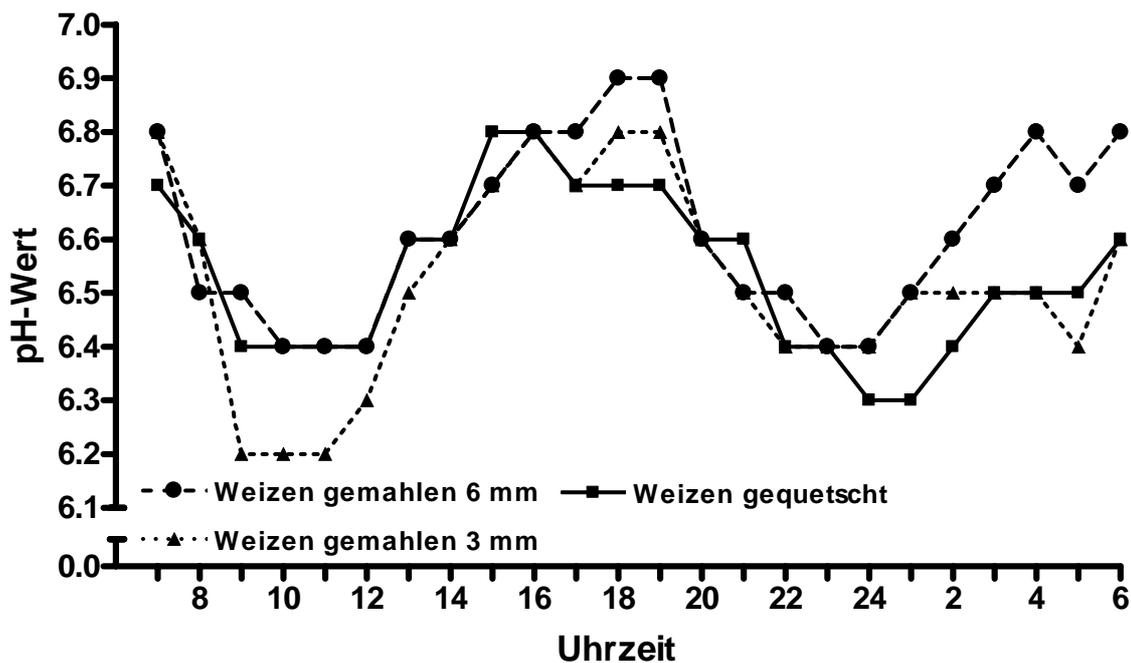


Abbildung 2: Mittlere pH-Werte im ventralen Pansensack bei der Fütterung von Feuchtweizen.

Der Standardfehler lag im Bereich 0,03 – 0,15.

Unterschiede im Kurvenverlauf gab es 6 Stunden nach der Abendfütterung, hier lassen sich signifikante Abweichungen ($p < 0,10$) zwischen den Varianten nachweisen. Die tiefsten pH-Werte wurden für den gequetschten Weizen beobachtet, die höchsten für den auf 6 mm vermahlene Weizen.

In Tabelle 8 sind die Konzentrationen an $\text{NH}_3\text{-N}$ in der Pansenflüssigkeit nach der Fütterung der drei Feuchtweizenvarianten aufgeführt. Die Art der Zerkleinerung hatte keinen Einfluss auf die $\text{NH}_3\text{-N}$ -Konzentration in der Pansenflüssigkeit vor sowie 2, 4 und 6 Stunden nach der Fütterung ($p > 0,10$). Um 9.00 Uhr, d. h. zwei Stunden nach der Fütterung wurden die höchsten $\text{NH}_3\text{-N}$ -Konzentrationen gemessen, nach 4 Stunden lagen die Werte noch über denen vor der Fütterung.

Tabelle 8: Ammoniak-Stickstoff-Konzentrationen (mmol/l) in der Pansenflüssigkeit nach der Fütterung von Feuchtweizen, ermittelt vor (7.00 Uhr) sowie 2, 4 und 6 Stunden nach der Fütterung

Uhrzeit	WQ	W6	W3	SEM
7.00	4,8	4,8	5,4	0,4
9.00	10,4	11,9	11,6	0,9
11.00	5,7	6,8	6,8	0,9
13.00	4,1	6,3	4,7	1,3

WQ = Weizen, gequetscht; W6 = Weizen, gequetscht und gemahlen auf 6 mm; W3 = Weizen, gequetscht und gemahlen auf 3 mm; SEM = Standardfehler.

Tabelle 9 zeigt die Konzentrationen in der Pansenflüssigkeit an SCFA und das Essigsäure:Propionsäure-Verhältnis nach der Fütterung von Feuchtweizen. Zwischen den drei Zerkleinerungsgraden des Feuchtweizens wurden numerische Unterschiede in der Essigsäure- und Propionsäure-Konzentration sowie dem Essigsäure:Propionsäure-Verhältnis gemessen, die nicht abzusichern waren ($p > 0,10$). Vor der Fütterung wurden die geringsten Konzentrationen an Essigsäure, Propionsäure sowie der Summe an SCFA gemessen, post-prandial stiegen sie bis etwa 4 Stunden nach der Fütterung an. Auffallend ist das weite Essigsäure:Propionsäure-Verhältnis ($> 4,1$), das trotz der hohen täglichen Stärkeaufnahme von 3,6 kg erreicht wurde.

Tabelle 9: Konzentrationen (mmol/l) von Essigsäure, Propionsäure sowie das Verhältnis von Essigsäure zu Propionsäure (E:P) und die Summe an kurzkettigen Fettsäuren (Σ SCFA) vor (7.00 Uhr) sowie 2, 4 und 6 Stunden nach der Fütterung von Feuchtweizen.

	Uhrzeit	WQ	W6	W3	SEM
Essigsäure	7.00	62,0	46,3	59,4	6,3
	9.00	68,9	60,0	71,2	7,1
	11.00	73,1	70,6	74,8	4,0
	13.00	70,4	66,7	71,4	3,2
Propionsäure	7.00	9,1	7,4	9,0	1,1
	9.00	13,2	14,8	14,9	1,2
	11.00	13,5	14,6	15,0	1,3
	13.00	12,1	12,3	12,9	0,8
E:P	7.00	6,8	5,4	6,6	0,6
	9.00	5,2	4,1	4,9	0,5
	11.00	5,4	5,0	5,2	0,4
	13.00	5,6	5,8	5,7	0,3
Σ SCFA	7.00	88,1	68,0	85,6	9,7
	9.00	104,1	97,7	109,5	9,1
	11.00	109,3	108,7	114,4	7,0
	13.00	104,1	100,5	108,1	5,0

WQ = Weizen, gequetscht; W6 = Weizen, gequetscht und gemahlen auf 6 mm; W3 = Weizen, gequetscht und gemahlen auf 3 mm; SEM = Standardfehler.

In Tabelle 10 sind die Konzentrationen an Milchsäure sowie an SCFA nach der Fütterung von Feuchtweizen dargestellt. Es wurden numerische Unterschiede zwischen den Zerkleinerungsgraden festgestellt, die sich aber zu keinem Zeitpunkt statistisch absichern ließen ($p > 0,10$). Die niedrigsten Konzentrationen wurden vor der Fütterung festgestellt, die maximalen Konzentrationen wurden 2 bzw. 4 Stunden nach der Fütterung gemessen.

Tabelle 10: Konzentrationen (mmol/l) an Milchsäure und kurzkettigen Fettsäuren vor (7.00 Uhr) sowie 2, 4 und 6 Stunden nach der Fütterung von Feuchtweizen

	Uhrzeit	WQ	W6	W3	SEM
Milchsäure	7.00	1,5	0,6	0,7	0,41
	9.00	1,6	0,9	0,7	0,43
	11.00	4,6	1,0	2,6	2,04
	13.00	1,0	1,7	1,0	0,67
iso-Buttersäure	7.00	1,0	0,9	1,1	0,14
	9.00	1,5	1,5	1,4	0,05
	11.00	1,4	1,4	1,3	0,04
	13.00	1,3	1,2	1,3	0,05
n-Buttersäure	7.00	13,0	10,8	12,6	1,61
	9.00	15,4	16,1	16,9	1,66
	11.00	16,0	16,8	17,8	1,97
	13.00	16,0	16,2	17,3	1,16
iso-Valeriansäure	7.00	1,7	1,4	2,4	0,62
	9.00	2,6	2,6	2,8	0,33
	11.00	2,6	2,4	2,9	0,48
	13.00	2,3	2,1	3,2	0,70
n-Valeriansäure	7.00	0,7	0,7	0,7	0,20
	9.00	1,7	1,9	1,6	0,16
	11.00	1,8	2,0	1,8	0,25
	13.00	1,3	1,4	1,5	0,21
Capronsäure	7.00	0,4	0,4	0,3	0,13
	9.00	0,9	0,8	0,7	0,17
	11.00	1,0	0,8	0,7	0,21
	13.00	0,7	0,7	0,6	0,18

WQ = Weizen, gequetscht; W6 = Weizen, gequetscht und gemahlen auf 6 mm; W3 = Weizen, gequetscht und gemahlen auf 3 mm; SEM = Standardfehler.

2.3. Luftdicht konservierte Sommergerste und Harnstoff konservierte Wintergerste – Versuch 3

Die mittleren Nährstoffgehalte der Sommergerste, der Wintergerste, der Grassilage und der beiden Gesamtrationen sind in Tabelle 11 aufgeführt. Da es sich bei den drei Sommergerstenvarianten (Sommergerste, gequetscht; Sommergerste, gequetscht und auf 6 mm vermahlen; Sommergerste, gequetscht und auf 3 mm vermahlen) um Getreide aus dem gleichen Lager handelte, wurden die für die jeweiligen Varianten gemessenen Analysenwerte verrechnet und als Mittelwert angegeben (n = 3). Die drei Zerkleinerungsgrade der Sommergerste wurden stärkeäquivalent gegeneinander ausgetauscht, es wurde eine Stärkeaufnahme von etwa 2,8 kg pro Tier und Tag erreicht. Der Stärkegehalt der Rationsvariante Wintergerste lag etwa 5,5 Prozentpunkte unterhalb deren der Sommergerstenrationen. Durch die Zugabe von Harnstoff wurde der Rohproteingehalt der Wintergerste deutlich erhöht.

Die TM-Aufnahme war bei der Wintergerste um 0,5 kg höher, dadurch konnte eine mit 2,5 kg ähnliche Stärkeaufnahme wie bei den Sommergerstevarianten (2,8 kg) erreicht werden.

Tabelle 11: Mittlere Trockenmasse- (TM %) und Nährstoffgehalte der Sommergerste, der Wintergerste, der Grassilage und den beiden Rationen.

	Sommergerste	Wintergerste	Grassilage	RSG	RWG
Trockenmasse	81,1	83,6	44,7	66,1	67,6
Organische Masse	97,5	97,5	92,2	94,3	94,0
Stärke	55,6	50,4	n.a.	32,8	28,2
Rohfaser	4,0	6,0	32,4	14,4	17,0
Rohfett	1,2	1,3	1,6	1,4	1,4
Rohprotein	11,4	22,2	8,6	10,7	16,6
NDF	23,6	28,8	63,8	35,5	43,1
ADF	5,8	8,1	36,5	17,1	19,9
ADL	1,3	1,6	2,9	1,9	2,1

RSG = Ration mit Sommergerste; RWG = Ration mit Wintergerste; NDF = Neutral-Detergenzienfaser, ADF = Säure-Detergenzienfaser; ADL = Säure-Detergenzienlignin; n.a. = nicht analysiert.

Tabelle 12 zeigt die Verdaulichkeiten der Nährstoffe. Bei den Sommergerstenvarianten hatte die Art der Zerkleinerung einen Einfluss ($p < 0,10$) auf die Verdaulichkeiten einiger Nährstoffe.

Die Verdaulichkeit der TM und OM war bei der gequetschten Sommergerste etwas höher als bei beiden zusätzlich gemahlten Varianten ($p < 0,09$). Die NDF und Hemicellulose der gequetschten Sommergerste wurde signifikant ($p < 0,02$) besser verdaut als bei den beiden nachvermahlten Varianten. Zwischen der auf 6 und der auf 3 mm nachvermahlten Sommergerste bestanden nur Unterschiede in der Verdaulichkeit von Rohfaser und Rohfett ($p < 0,05$). Keinerlei Einfluss ($p > 0,10$) des Zerkleinerungsgrads der Sommergerste konnte bei der Verdaulichkeit der Stärke beobachtet werden, sie wurde mit 99,8 % nahezu vollständig verdaut. Beim Vergleich der Verdaulichkeiten der einzelnen Nährstoffe im Mittel der Sommergerstevarianten mit denen der Wintergerste wurden keine Unterschiede ermittelt ($p < 0,10$).

Tabelle 12: Nährstoffverdaulichkeiten im Gesamtrakt (in %) nach der Fütterung von luftdicht konservierter Sommergerste und mit Harnstoff behandelter Wintergerste.

	SGQ	SG6	SG3	WG	SEM
Trockenmasse	77,8	75,8	76,3	75,2	0,7
Organische Masse	75,1	73,0	73,7	72,9	0,7
Stärke	99,8	99,9	99,9	99,7	0,1
Rohfaser	72,3	75,1	68,2	72,1	1,7
Rohfett	45,9	36,9	45,8	47,4	2,6
NDF	71,5	66,9	67,5	72,1	0,9
ADF	63,8	60,7	60,2	64,5	1,5
Hemicellulose	77,6	72,1	73,4	78,5	1,2
Cellulose	71,9	67,4	66,4	71,9	1,6

SGQ = Sommergerste, gequetscht; SG6 = Sommergerste, gequetscht und gemahlen auf 6 mm; SG3 = Sommergerste, gequetscht und gemahlen auf 3 mm; WG = Wintergerste, gequetscht; SEM = Standardfehler, NDF = Neutral-Detergenzienfaser, ADF = Säure-Detergenzienfaser.

Die in Abbildung 3 dargestellten pH-Werte zeigen einen sehr einheitlichen Verlauf, extreme pH-Wert Schwankungen zwischen den einzelnen Sommergerstenvarianten sind nicht zu erkennen. Unterschiede im pH-Wert bestanden nur um 3.00 Uhr morgens zwischen den beiden gemahlten Varianten und um 6.00 Uhr morgens sowohl zwischen den beiden nachvermahlten Sommergerstenvarianten als auch zwischen der gequetschten und den nachvermahlten Varianten ($p < 0,10$). Der tiefste pH-Wert wurde für die auf 6 mm nachvermahlene Sommergerste 4 Stunden nach der Morgenfütterung gemessen.

Der pH-Wertverlauf der Wintergerste zeigte einen im Vergleich zu den Sommergerstenvarianten leicht zeitversetzten Verlauf, d. h., die höchsten bzw. tiefsten Werte wurden etwa eine Stunde nach den extremen Werten bei der Sommergerste gemessen. Statistisch abzusichern ($p < 0,10$) waren diese Unterschiede eine Stunde nach der Morgenfütterung (8.00 Uhr) und direkt vor der Abendfütterung (19.00 Uhr), sowie in den beiden folgenden Stunden (20.00 und 21.00 Uhr).

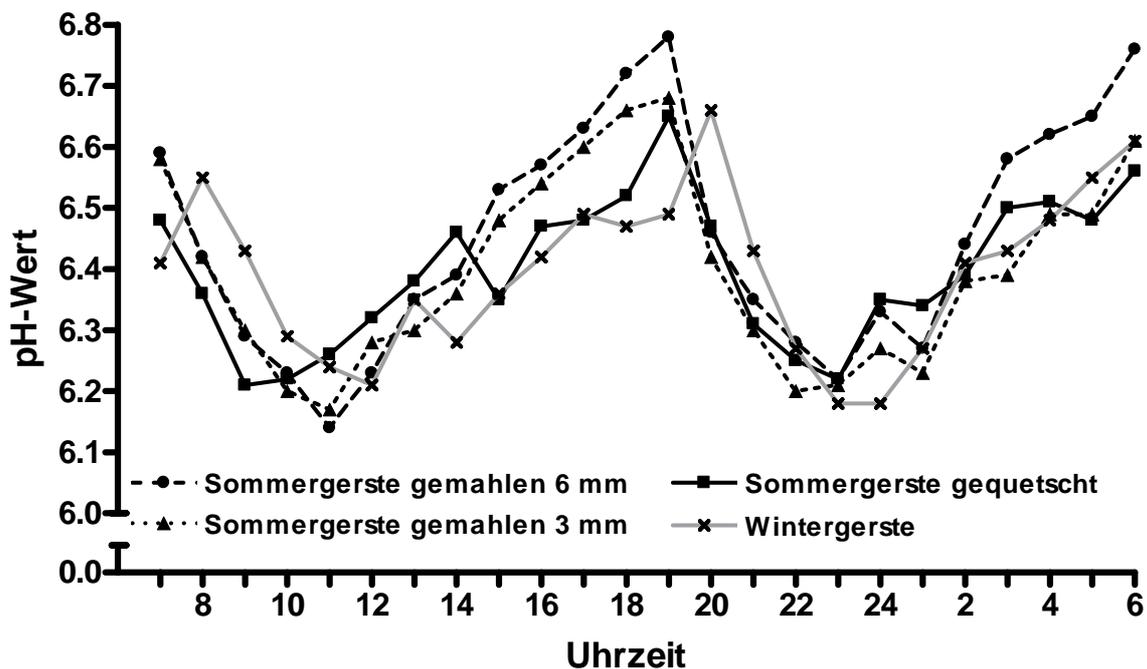


Abbildung 3: Mittlere pH-Werte im ventralen Pansensack bei der Fütterung von luftdicht konservierter Sommergerste und mit Harnstoff konservierter Wintergerste.

Der Standardfehler lag im Bereich 0,03 – 0,10.

2.4. Roggen-Weizen-Gemisch – Versuch 4

Die mittleren Nährstoffgehalte der Roggen-Weizen-Mischung, der Grassilage und der Ration sind in Tabelle 13 aufgeführt. Die Tiere nahmen im Durchschnitt 8,3 kg TM auf, die Stärkeaufnahme betrug 3,4 kg pro Tier und Tag.

Tabelle 13: Mittlere Trockenmasse- (TM %) und Nährstoffgehalte der Roggen-Weizen-Mischung, der Grassilage und der Gesamtration.

	Roggen-Weizen	Grassilage	Ration
Trockenmasse	87,8	33,2	66,0
Organische Masse	97,0	88,7	88,7
Stärke	55,7	1,8	41,0
Rohfaser	2,6	29,0	9,3
Rohfett	1,5	2,9	1,8
Rohprotein	11,5	14,5	12,1
NDF	15,1	56,0	25,3
ADF	3,9	36,1	12,0
ADL	1,8	2,6	9,3

NDF = Neutral-Detergenzienfaser; ADF = Säure-Detergenzienfaser; ADL = Säure-Detergenzienlignin.

Nach der Fütterung des Roggen-Weizen-Gemischs wurden folgende Verdaulichkeiten ermittelt: Trockenmasse 76,6 %, organische Masse 79,5 %, Stärke 99,3 %, Rohfaser 64,9 %, Rohfett 21,0 %, NDF 62,1 %, ADF 58,1 %, Hemicellulose 65,7 % und Cellulose 68,0 %. Die Stärke wurde mit 99,3 % nahezu vollständig im Gesamttrakt verdaut.

Abbildung 4 zeigt den Verlauf des pH-Wertes im ventralen Pansensack nach Fütterung des Roggen-Weizen-Gemisches. Vier Stunden nach der Morgenfütterung wurde der tiefste pH-Wert mit 6,0 gemessen. Bis zum Beginn der Abendfütterung stieg der pH-Wert und erreichte mit 6,7 den höchsten Wert.

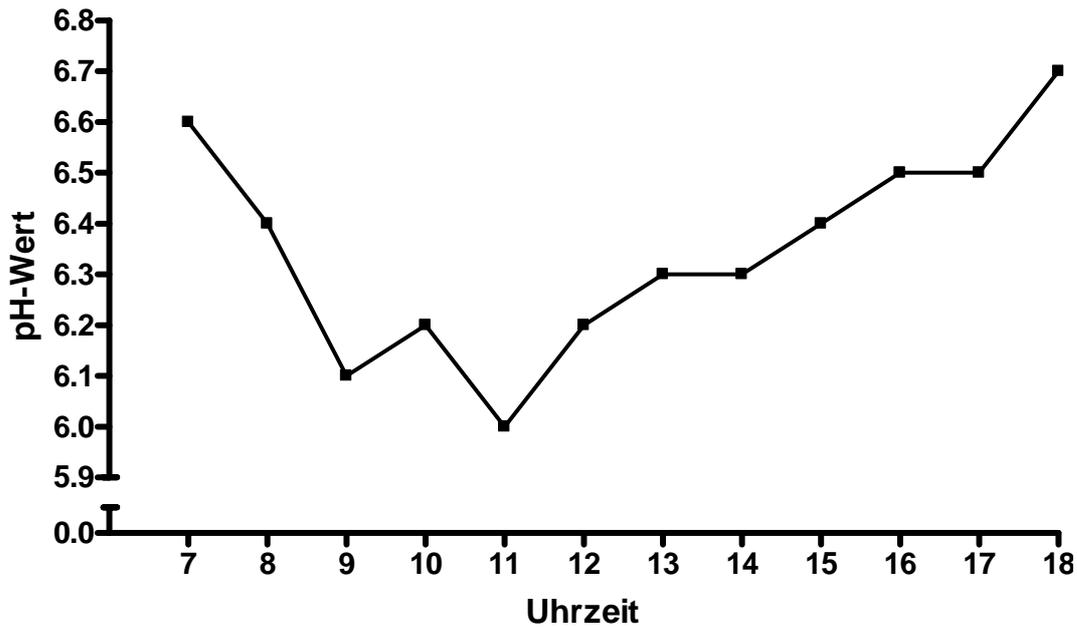


Abbildung 4: Mittlere pH-Werte im ventralen Pansensack bei der Fütterung von einem Roggen-Weizen-Gemisch.

Der $\text{NH}_3\text{-N}$ -Konzentration in der Pansenflüssigkeit lag vor Beginn der Fütterung bei 3,4 mmol/l. Zwei Stunden nach der Fütterung wurde mit 7,7 mmol/l die höchste Konzentration an $\text{NH}_3\text{-N}$ gemessen. Gegen 11.00 Uhr sank die $\text{NH}_3\text{-N}$ -Konzentration auf 4,7 mmol/l, 6 Stunden nach der Fütterung lag die $\text{NH}_3\text{-N}$ -Konzentration mit 3,1 mmol/l unter der vor der Fütterung.

In Tabelle 14 sind die Konzentrationen von Essigsäure, Propionsäure, das Essigsäure:Propionsäure-Verhältnis sowie die Summe an SCFA angegeben. Die niedrigsten Konzentrationen der beiden Fettsäuren wurden direkt vor der Fütterung in der Pansenflüssigkeit gemessen. Die Essigsäure-Konzentration stieg in den ersten 4 Stunden nach der Fütterung an (62,5 mmol/l), gegen 13.00 Uhr sank die Essigsäure-Konzentration um 4,6 mmol/l auf 57,9 mmol/l. Die Propionsäure-Konzentration stieg innerhalb der ersten beiden Stunden nach der Fütterung stark an (von 10,8 auf 19,2 mmol/l), ein Rückgang der Propionsäure-Konzentration in der Pansenflüssigkeit konnte während der folgenden 4 Stunden praktisch nicht beobachtet werden. Die vergleichsweise hohe Propionsäure-Konzentration sorgte für ein enges

Essigsäure:Propionsäure-Verhältnis. Vor der Fütterung wurde das weiteste Verhältnis gemessen (4,1), 2 Stunden nach der Fütterung wurde das engste Essigsäure:Propionsäure-Verhältnis gemessen (2,9). Die maximale Konzentration der Summe an SCFA wurde 4 Stunden nach der Fütterung gemessen (102,0 mmol/l).

Tabelle 14: Konzentration (mmol/l) von Essigsäure, Propionsäure sowie das Verhältnis von Essigsäure zu Propionsäure (E:P) und die Summe an kurzkettigen Fettsäuren (Σ SCFA) vor (7.00 Uhr) sowie 2, 4 und 6 Stunden nach der Fütterung des Roggen-Weizen-Gemischs.

	7.00	9.00	11.00	13.00
Essigsäure	44,6	56,5	62,5	57,9
Propionsäure	10,8	19,2	18,9	18,9
E:P	4,1	2,9	3,3	3,1
Σ SCFA	68,4	93,2	102,0	96,5

Die Konzentrationen an Milchsäure sowie an SCFA sind in Tabelle 15 dargestellt. Die Konzentration an Milchsäure war vor und 2 Stunden nach der Fütterung sehr gering (0,04 bzw. 0,4 mmol/l), 4 Stunden nach der Fütterung verzehnfachte sich die Konzentration auf 4,2 mmol/l, um dann um 13.00 Uhr einen Wert von 3,7 mmol/l zu erreichen. Bei allen SCFA konnte die geringste Konzentration vor der Fütterung beobachtet werden. Nach der Fütterung konnte bei allen Fettsäuren ein Anstieg der Konzentration beobachtet werden, der jedoch nicht so stark ausgeprägt war wie bei der Milchsäure.

Tabelle 15: Konzentration (mmol/l) an Milchsäure und kurzkettigen Fettsäuren vor (7.00 Uhr) sowie 2, 4 und 6 Stunden nach der Fütterung des Roggen-Weizen-Gemischs.

	7.00	9.00	11.00	13.00
Milchsäure	n.n.	0,4	4,2	3,7
iso-Buttersäure	0,8	0,9	1,1	1,3
n-Buttersäure	9,2	11,9	14,0	13,2
iso-Valeriansäure	2,5	3,4	4,0	3,8
n-Valeriansäure	0,6	1,3	1,5	1,4

n.n.= nicht nachgewiesen

3. Diskussion

Hygienestatus Feuchttroggen und –weizen

Der Anstieg des Keimbesatzes des Feuchttroggen und Feuchtweizens (Versuche 1 und 2) von 2×10^4 KbE/g auf 4×10^8 KbE/g während der siebenwöchigen Lagerzeit führte zu erhöhten Ergosteringehalten. Der Ergosteringehalt kann als zuverlässiger chemischer Indikator für die von Pilzen gebildete Biomasse angesehen werden (MÜLLER und SCHWADORF, 1988). Obwohl die Ergosteringehalte mit Werten von 21,0 mg/kg TM für Feuchttroggen und 12,7 mg/kg TM für Feuchtweizen sehr deutlich über den für Getreide ermittelten sogenannten „vorläufigen Normalbereichen“ lagen (MÜLLER und SCHWADORF, 1988), wurde das Pilzgift Ochratoxin A als Indikator für Lagerpilztoxine nicht nachgewiesen. Bislang gelten für Weizen Bereiche von $1,96 \pm 2,37$ mg/kg TM, für Gerste von $2,43 \pm 2,70$ mg/kg TM und Hafer von $2,42 \pm 4,90$ mg/kg TM als unbedenklich für den Einsatz der Getreideart zu Fütterungszwecken, für Roggen liegen noch keine Angaben vor (MÜLLER und SCHWADORF, 1988).

Nach EIMER (1986) ist ein hoher Pilzbesatz nicht zwangsläufig mit einem höheren Anteil toxischer Stoffe verbunden. Die physiologische Aktivität innerhalb einer definierten Pilzart kann stark schwanken, so dass durch das bloße Auftreten dieser Art nicht automatisch auf das Vorkommen von Mykotoxinen geschlossen werden kann (SCHULZ, 1986). Vermutlich wirkte sich die eintägige Zwischenlagerung mit dem Ziel der Nachbefeuchtung der Körner begünstigend auf den Keimbesatz mit unerwünschten Keimen aus (RATSCHOW, 1986). In vorangegangenen Untersuchungen an mit derselben Technik luftdicht gelagertem Feuchtgetreide blieb der Keimbesatz nach mehrmonatiger Lagerzeit vollkommen unbedenklich (OBERBARNSCHEIDT et al., 1992; IDLER et al., 1993).

Die Lagerdauer von luftdicht konserviertem Feuchtgetreide scheint von der Jahreszeit und den damit verbundenen Umweltbedingungen abhängig zu sein. KASPERSSON et al. (1988) beobachteten die Aktivität der Mikroorganismen in einen luftdicht gelagerten Getreidestock über einen neunmonatigen Zeitraum. Während der Herbst- und Wintermonate verzeichneten sie einen Rückgang des mikrobiellen Wachstums, im Frühjahr kam es bedingt durch Luftdruckschwankungen zu einem

vermehrten Einstrom von Sauerstoff in die Silos, was in einem sprunghaften Wachstum von Hefepilzen resultierte.

Verdaulichkeit der Stärke und der organischen Masse im Gesamttrakt

Während die Art der Zerkleinerung keinen Einfluss auf die Verdaulichkeit der OM und Stärke sowie der Faserfraktionen (NDF und ADF) von Feuchttroggen und Feuchtweizen ausübte, wurde bei der Sommergerste die OM, die NDF und Hemicellulose der gequetschten Variante besser verdaut als bei den beiden gemahlten Varianten, auf die Verdaulichkeit der Stärke im Gesamttrakt konnte aber ebenfalls kein Effekt beobachtet werden.

Vergleicht man die Ergebnisse der vier durchgeführten Versuche, so konnten zwar nominelle Unterschiede in der Stärkeverdaulichkeit zwischen trockenem Roggen-Weizen-Gemisch, Feuchttroggen, Feuchtweizen, Sommergerste und Wintergerste und auch den jeweiligen Zerkleinerungsgraden gequetscht, gequetscht und gemahlen auf 6 mm und gequetscht und gemahlen auf 3 mm ermittelt werden, diese Unterschiede besitzen jedoch weder biologische noch praktische Relevanz. Die Stärkeverdaulichkeit lag bei allen Versuchen auf einem hohen Niveau, die ermittelten Werte lagen zwischen 98,3 und 99,9 % (Tabellen 2, 7 und 12).

Mit einer Stärkeverdaulichkeit von 99,3 % lag das auf 3 mm vermahlene Gemisch von trockenen Roggen- und Weizenkörnern 0,5 Prozentpunkte unter den entsprechenden gemahlten Feuchttroggen- und -weizenvarianten. Die in den vorangegangenen Untersuchungen ermittelte Stärkeverdaulichkeit von Feuchtgetreide im Gesamttrakt kann als vollständig angesehen werden und erreicht ähnliche Werte wie sie in der Literatur für trockenes Getreide angegeben werden. SCHULDT (1989) fand an Milchkühen bei Stärkeaufnahmen von 4,1 kg Stärkeverdaulichkeiten im Gesamttrakt in einem Bereich von 98,1 bis 99,6 % nach der Fütterung von trockenem gequetschtem oder gemahlenem Weizen.

Die Verdaulichkeit der OM lag bei den Rationen mit Sommergerste und Wintergerste in einem Bereich von 72,9 – 75,1 %, MORAN (1996) beobachtete eine

etwas geringere OM- und Stärke-Verdaulichkeit (68,9 bzw. 93,0 %) beim Einsatz von gequetschter trockener Gerste in einer Milchviehration. Die Rationen mit dem Feuchtroggen, Feuchtweizen und dem Roggen-Weizen-Gemisch bewirkte Verdaulichkeiten der OM von 78,7 – 82,7 % (Tabellen 2, 7 und 12). Das Gemisch aus trockenen Roggen- und Weizenkörnern erreichte eine OM-Verdaulichkeit, die zwischen der des Feuchtroggens und –weizens lag.

In anderen Untersuchungen (BERGNER und WEISSBACH, 1983; SCHULDT, 1989; LEBZIEN und ROHR, 1995) wurde ebenfalls kein Effekt des Zerkleinerungsgrades von trockenen Getreidekörnern auf die Verdaulichkeit der Stärke und OM im Gesamttrakt beobachtet. Aus den zitierten sowie den eigenen Untersuchungen lässt sich schließen, dass eine über das Quetschen hinausgehende Bearbeitung trockener wie feuchter Getreidekörner nicht notwendig ist, um eine zufrieden stellende Verdaulichkeit der Stärke und der organischen Masse zu erreichen.

Ruminale pH-Werte und Konzentration an SCFA in der Pansenflüssigkeit

Der gequetschte Feuchtroggen bewirkte im Vergleich zu den gemahlten Varianten einen etwas stabileren pH-Wertverlauf. Betrachtet man die Tagesmittelwerte der 3 Zerkleinerungsgrade, so erhält man zwar sowohl für die gequetschte als auch für die auf 3 mm vermahlene Variante den pH-Wert 6,35, durch die geringeren postprandialen Schwankungen kommt es jedoch bei der gequetschten Variante zu gleichmäßigeren Bedingungen im Pansen. Prüft man die Konzentration an SCFA in der Pansenflüssigkeit nach der Fütterung von Feuchtroggen, so wurden nur 4 Stunden nach der Fütterung geringere Essigsäure- und n-Valeriansäure-Konzentration für den gequetschten Roggen im Vergleich zu den gemahlten Varianten gemessen. Die Gesamtkonzentration an SCFA unterschied sich zu keinem Zeitpunkt zwischen den drei Roggenvarianten, die Werte liegen in einem Bereich von 85,2 – 117,0 mmol/l, was auf eine intensive Fermentation schließen lässt. Es wurden die höchsten numerischen SCFA-Konzentrationen bei den gemahlten Roggenvarianten gemessen, gleichzeitig wurden auch die tiefsten pH-Werte für die gemahlten Varianten beobachtet.

Beim Feuchtweizen konnte man während der pH-Wert Messung am Tag keinen Unterschied zwischen der gequetschten und den gemahlten Varianten beobachten. In der Nacht konnte zu einem Zeitpunkt ein signifikanter Einfluss des Zerkleinerungsgrades auf den pH-Wert gemessen werden, weitere Unterschiede ließen sich nicht absichern. Der gequetschte Weizen und der auf 3 mm nachvermahlene Weizen erreichten einen Tagesmittelwert von pH 6,53, während für den auf 6 mm nachvermahlene Weizen ein pH-Wert von 6,61 gemessen wurde. Beim Feuchtweizen konnte kein Einfluss des Zerkleinerungsgrades auf die Konzentration an Milchsäure, die Gesamtkonzentration an SCFA sowie das Essigsäure:Propionsäure-Verhältnis festgestellt werden. Wie beim Feuchtroggen gab es auch beim Feuchtweizen einen Zusammenhang zwischen dem Zerkleinerungsgrad sowie der Gesamtkonzentration an SCFA und dem pH-Wert. Der auf 3 mm vermahlene Weizen verursachte die tiefsten pH-Werte im Pansen, gleichzeitig wurden für diese Variante auch die höchsten Gesamtkonzentrationen an SCFA gemessen. LEBZIEN und ROHR (1995) konnten ebenso keine Unterschiede im pH-Wert zwischen gequetschtem und gemahlenem Weizen im pH-Wert beobachten, tendenziell konnten sie eine geringere Gesamtkonzentration an SCFA für den trockenen gequetschten Weizen beobachten.

Im pH-Wertverlauf der Sommergerste wurden keine Unterschiede zwischen der gequetschten und den gemahlten Varianten gemessen, nur um 6.00 Uhr morgens war der pH-Wert der gequetschten Variante geringer als für die beiden nachvermahlene Varianten, allerdings lag er mit pH 6,55 trotzdem auf einem hohen Niveau. Die folgende Tagesmittelwerte wurden beobachtet: pH 6,40 für die gequetschte Sommergerste, pH 6,45 für die auf 6 mm nachvermahlene Sommergerste, pH 6,40 für die auf 3 mm nachvermahlene Sommergerste und pH 6,39 für die gequetschte Wintergerste. Vergleicht man die gemittelten pH-Werte der 3 Sommergerstenrationen mit denen der Wintergerste, so konnte ein zeitverzögerter Verlauf beobachtet werden, der sich um 8.00, 19.00 sowie 20.00 und 21.00 Uhr statistisch belegen ließ. Der um etwa eine Stunde versetzte pH-Wert Verlauf der Wintergerste im Vergleich zu den Sommergerstevarianten ist mit der durch die Harnstoffbehandlung langsameren Rate der Stärkefermentation im Pansen zu erklären (KAISER, 1999). Dies spiegelt sich auch in der signifikant besseren NDF-Verdaulichkeit der Wintergerstenration verglichen mit

den Sommergerstenrationen wieder. KAISER (1999) kommt in seiner Übersichtsarbeit zu einem ähnlichen Schluss.

Obwohl die täglich aufgenommene Stärkemenge zwischen den Rationen Feuchtroggen, Feuchtweizen und Roggen-Weizen-Gemisch nur leicht differierte (3,3 - 3,6 kg), wurden sehr unterschiedliche Essigsäure- und Propionsäure-Konzentrationen in der Pansenflüssigkeit ermittelt. Während bei den beiden Feuchtgetreiden hohe Essigsäure- (im Mittel 69,4 mmol/l Feuchtroggen bzw. 66,2 mmol/l Feuchtweizen) und geringe Propionsäure-Konzentrationen (im Mittel 14,9 mmol/l Feuchtroggen bzw. 12,4 mmol/l Feuchtweizen) festgestellt wurden, wurden beim Roggen-Weizen-Gemisch eine Essigsäure-Konzentration von 55,4 mmol/l und eine Propionsäure-Konzentration von 17,0 mmol/l festgestellt. Diese Unterschiede zeigen sich auch in der Relation von Essigsäure zu Propionsäure. Während die beiden Feuchtgetreidevarianten mit 5,9 bzw. 4,9 (Feuchtweizen bzw. Feuchtroggen, Tagesmittelwerte) sehr weite Essigsäure:Propionsäure-Verhältnisse erreichten, wurde beim Roggen-Weizen-Gemisch ein wesentlich engeres Essigsäure:Propionsäure-Verhältnis gemessen (3,4). Die hohe Konzentration an Essigsäure, die geringere Propionsäure-Konzentration sowie das weite Essigsäure:Propionsäure-Verhältnis im Vergleich zum Roggen-Weizen-Gemisch sprechen für einen langsameren Abbau der Stärke aus dem Feuchtgetreide, denn bei einer schnellen Fermentation der Stärke im Pansen kommt es zu einer vermehrten Bildung von Propionsäure und einer verringerten Bildung von Essigsäure (ØRSKOV, 1986). Diese Beobachtung spiegelt sich jedoch nicht in den pH-Werten wieder.

Die niedrigeren Essigsäure-Konzentrationen der Ration Roggen-Weizen-Gemisch im Vergleich zu den Feuchtgetreiden deuten auf eine geringere Fermentation der Faserfraktionen im Pansen hin, die Faserverdaulichkeit im Gesamttrakt bewegte sich aber auf dem Niveau des Feuchtweizens, bei dem die höchsten ruminalen Essigsäure- und geringsten Propionsäure-Konzentrationen festgestellt wurden. Die geringere Verdaulichkeit der Faserfraktionen des Roggen-Weizen-Gemisch wurde vermutlich im weiteren Verlauf der Verdauung im Dickdarm ausgeglichen (Südekum et al., 1991).

Angesichts der hohen täglichen Stärkeaufnahmen lagen die pH-Werte bei allen 5 eingesetzten Getreiden auf einem relativ hohen Niveau. Verglichen mit den anderen Rationsvarianten wurden die höchsten pH-Werte für den Feuchtweizen gemessen, die niedrigsten Werte ergaben sich für den Feuchtroggen. Das Gemisch aus trockenem Roggen und Weizen verursachte im Pansen pH-Werte, die sich eher auf dem Niveau des Feuchtroggens bewegten.

Rangiert man die Getreidearten anhand ihrer pH-Tagesmittelwerte, so ergibt sich die Reihenfolge: Feuchtweizen (6,55), Sommergerste (6,42), Wintergerste (6,39), Roggen-Weizen-Gemisch (6,34) und Feuchtrogggen (6,32). SCHULDT (1989) beobachtete in ihrer Untersuchung mit Milchkühen den höchsten pH-Wert für gequetschten Roggen (6,42), für Gerste ermittelte sie einen pH-Wert von 6,36, allerdings wurden mit 2,4 kg Stärke pro Tier und Tag geringere Stärkemengen bei insgesamt jedoch höheren TM-Aufnahmen von den Tieren aufgenommen.

Das feuchte Getreide führte im Gegensatz zum trockenen Roggen-Weizen-Gemisch zu einem stabileren Pansenmilieu. Dies könnte auf die unterschiedliche Reaktion feuchter gegenüber trockener Getreidekörner auf die mechanische Bearbeitung zurückzuführen sein. Trockene Getreidekörner sind aufgrund ihrer Reife härter und weniger viskos als feuchte Körner. Bei einer mechanischen Bearbeitung wie dem Quetschen oder Mahlen werden die Stärkegranula der härteren Getreidekörner stark zerkleinert, während sie bei den feuchten Körnern eher intakt bleiben und der Anteil feiner Partikel reduziert ist (HIRONAKA et al., 1978; CHRISTEN et al., 1996; ROWE et al., 1999). Liegen grobe Kornpartikel vor, so müssen zunächst cellulolytische Bakterien die Zellwände des Endosperms besiedeln und verdauen, damit die amylolytischen Spezies Zugang zu den Stärkegranula bekommen. Dies führt zu einer Reduktion im Ausmaß und Geschwindigkeit der Stärkefermentation (MCALLISTER und CHENG, 1996). Dagegen kann ein zu hoher Anteil an feinen Partikeln durch die schnelle Fermentation im Pansen zu einer übermäßigen Säureproduktion führen, damit ist häufig ein Rückgang der Grundfutteraufnahme verbunden (DIXON und STOCKDALE, 1999). Der Grad der mechanischen Bearbeitung sollte daher so gewählt werden, dass eine hohe Verdaulichkeit im Gesamttrakt erreicht wird und dabei negative Effekte auf die Gesundheit und Leistung der Tiere vermieden werden können (ØRSKOV, 1986).

Nach MATHISON (1996) konnten an Untersuchungen mit Mastochsen gesteigerte Futteraufnahmen und eine bessere Fütterungseffizienz nach der Verfütterung von Feuchtgetreide im Vergleich zu trockenem Getreide beobachtet werden. Dies kann durch den geringeren Umsatz des feuchten Getreides im Pansen begründet werden, wie KUNG et al. (1983) beim Vergleich von feuchter Gerste und mit Natronlauge behandelte Gerste im Pansen beobachtet haben

Ruminale Konzentrationen an Ammoniak-Stickstoff

Die beim Feuchttroggen, Feuchtweizen und Roggen-Weizen-Gemisch gemessenen $\text{NH}_3\text{-N}$ -Konzentrationen spiegeln die normalen Verhältnisse im Pansen wider (SATTER und SLYTTER, 1974; MEHREZ et al., 1977): Zwischen den Zerkleinerungsgraden gab es weder beim Feuchttroggen noch beim Feuchtweizen Unterschiede in der $\text{NH}_3\text{-N}$ -Konzentration in der Pansenflüssigkeit. Vergleicht man aber die beiden feuchten Getreidevarianten, so ergeben sich für den Feuchtweizen deutlich höhere $\text{NH}_3\text{-N}$ -Konzentrationen in der Pansenflüssigkeit. Dies kann auf den um 2 Prozentpunkte höheren Gehalt an Rohprotein im Feuchtweizen zurück zu führen sein (Tabelle 8). Die $\text{NH}_3\text{-N}$ -Konzentration des Roggen-Weizen-Gemischs lagen etwa in dem selben Bereich wie die beim Feuchttroggen ermittelten Werte, der Rohproteingehalt der Rationen unterschied sich um 0,5 Prozentpunkte.

Die hohen $\text{NH}_3\text{-N}$ -Konzentrationen 2 Stunden nach der Fütterung, die übereinstimmend für alle 3 Getreidearten gefunden wurden, sind ein Indikator für eine rasche Fermentation der stickstoffliefernden Substanzen, die hauptsächlich aus der Grassilage stammen. Vier Stunden nach der Fütterung sind die mittleren $\text{NH}_3\text{-N}$ -Konzentrationen bei allen drei Getreidevarianten etwa nur noch halb so hoch wie die um 9.00 Uhr gemessenen Werte. Durch die schnell verfügbare Energie aus der Getreidestärke konnte der freigesetzte Stickstoff zur Bildung von Mikroben-Protein genutzt werden. STREETER et al. (1989) und POORE et al. (1993) haben eine höhere Anflutung von mikrobiellem Protein in den Dünndarm nach der Fütterung von Getreide festgestellt. Sechs Stunden nach der Fütterung lagen die $\text{NH}_3\text{-N}$ -

Konzentrationen auf demselben Niveau wie vor der Fütterung (Feuchtweizen) oder sogar etwas darunter (Feuchttroggen und Roggen-Weizen-Gemisch).

4. Schlussfolgerungen und Fütterungsempfehlungen

Aus den unter den gewählten Versuchsbedingungen, d. h., bei ausgewachsenen, kastrierten Rindern mit einer Futteraufnahme entsprechend dem 1,3-fachen des energetischen Erhaltungsbedarfs, erzielten Ergebnissen lassen sich folgende Schlussfolgerungen und Fütterungsempfehlungen für den Einsatz von feuchtem, luftdicht gelagertem Roggen, Weizen und Sommergerste sowie mit Harnstoff behandelter Wintergerste formulieren:

Es konnte kein Unterschied zwischen den gequetschten und gemahlene Feuchtgetreidevarianten auf die Verdaulichkeit der Stärke und der OM von Feuchtgetreide im Gesamttrakt festgestellt werden. Die Stärke wurde in allen geprüften Varianten nahezu vollständig verdaut.

Für alle Feuchttroggen und –weizenvarianten wurden, unabhängig vom Zerkleinerungsgrad, weite Essigsäure:Propionsäure-Verhältnisse in der Pansenflüssigkeit festgestellt. Im Gegensatz dazu führte die Fütterung des trockenen Roggen-Weizen-Gemischs zu engen Essigsäure:Propionsäure -Verhältnissen.

Obwohl täglich große Stärkemengen von den Tieren aufgenommen wurden, lagen die pH-Werte im Pansen auf einem hohen Niveau. Zwischen den Getreidearten bestanden Unterschiede hinsichtlich ihrer Wirkung auf das Pansenmilieu. Im Gegensatz zu trockenem Getreide führt das Feuchtgetreide zu einem stabilerem Milieu im Pansen, wobei folgende pH-Tagesmittelwerte gemessen wurden: Feuchtweizen (6,55), Sommergerste (6,42), Wintergerste (6,39), Roggen-Weizen-Gemisch (6,34) und Feuchttroggen (6,32). Bei höheren Futteraufnahmen, wie sie z. B. bei Milchviehrationen erreicht werden, kann der positive Effekt des Feuchtgetreides auf das Pansenmilieu noch stärker ausgeprägt sein.

Die gequetschten Feuchtgetreidevarianten führten zu einem etwas stabileren pH-Wertverlauf als die gemahlene Varianten. Während die Unterschiede zwischen den Zerkleinerungsgraden bei Weizen und Sommergerste nicht relevant waren, erwies sich der gequetschte Roggen als vorteilhaft auf den pH-Wert im Gegensatz zu den gemahlene Varianten. Um eine zu rasche Fermentation der Stärke im Pansen und somit ein zu starkes Absinken des pH-Wertes zu vermeiden, sollte eher gequetschtes als gemahlene Getreide eingesetzt werden.

Bei niedrigem Fütterungsniveau wurden auch bei 60 bzw. 70 % Getreide in der TM der Rationen weder ein Rückgang der Nährstoffverdaulichkeiten noch eine starke pH-Wert Absenkung in der Pansenflüssigkeit beobachtet.

Getreide ist ein gutes Ausgleichsfutter in gras- wie auch in maisbetonten Rationen. Der Stickstoff-Überschuss aus Grassilagen kann durch die schnell verfügbare Energie aus dem Getreide von den Mikroorganismen zur Proteinsynthese genutzt werden. Die Stärke in maisbetonten Rationen wird von den ruminalen Mikroorganismen nur langsam abgebaut. Ein Teil der Maisstärke gelangt, insbesondere wenn der Mais mit einem hohen Reifegrad geerntet wurde, unabgebaut in den Dünndarm. Dadurch entsteht für die Mikroorganismen ein Mangel an leicht verfügbarer Energie, der dann durch Stärke aus schnell fermentierbaren Getreidearten ausgeglichen werden kann.

Die eintägige Zwischenlagerung zur Nachbefeuchtung der Roggen- und Weizenkörner erwies sich als nachteilig für die hygienische Qualität der Futtermittel. Es wurde ein erhöhter Keimbesatz festgestellt, der aber nicht mit dem Vorkommen des Lagerpilztoxins Ochratoxin A verbunden war.

Die luftdichte Lagerung von Feuchtgetreide ist nur in den Herbst- und Wintermonaten bei entsprechendem Vorschub ohne Verluste durch Schimmelbildung möglich. Soll das Getreide in Frühjahr und Sommer verfüttert werden, empfiehlt sich eher die Behandlung mit chemischen Zusätzen wie z. B. Harnstoff oder organischen Säuren.

KAPITEL 3

**Effects of chemically treated
soybeans and expeller rapeseed meal
on *in vivo* and *in situ*
crude fat and crude protein disappearance
from the rumen**

1. Introduction

Whole and solvent-extracted soybeans as well as expeller rapeseed meal, treated with formaldehyde or xylose, can be used in feeding of dairy cows to supply elevated amounts of ruminally undegraded protein (RUP). Besides crude protein (CP) both feedstuffs contain considerable amounts of lipid that can increase total energy intake of high-yielding dairy cows especially in early lactation when feed energy intake is lower than the energy demand for milk production.

The fatty acid (FA) composition of the triglycerides varies between these two oilseeds, but both are high in unsaturated long-chain FA (LCFA). Rapeseed or canola oils contain 52 to 63% oleic (C18:1), 20 to 31% linoleic (C18:2) and 9 to 13% linolenic (C18:3) acids; while soybean oil has 24 to 31% oleic, 49 to 58% linoleic and 2 to 10% linolenic acids (LENNERTS, 1984; KENNELLY, 1996). Unsaturated LCFA, released from triglycerides during microbial hydrolysis in the rumen, can have negative effects on microbial growth (HENDERSON, 1973; MACZULAK et al., 1981), resulting in reduced degradation of plant cell wall components. Fats added to ruminant diets can disrupt fermentation in the rumen, causing reduced digestibility of nonlipid energy sources (JENKINS, 1993). To avoid this problem, several processes have been investigated to protect dietary fat against ruminal degradation. These include saponification of FA with calcium (JENKINS and PALMQUIST, 1984), coating of FA with a protected protein matrix (SCOTT et al., 1970) and extrusion of oilseeds (DEACON et al., 1988). Providing both RUP and ruminally undegraded fat in one feedstuff would be an advantage in dairy cattle feeding, because the detrimental effects of fat on ruminal fermentation and stress on the liver due to excess ammonia from dietary ruminally degraded protein (RDP) would be avoided.

The objectives of the present study were to investigate whether chemical treatments used for CP protection against ruminal degradation simultaneously protect crude fat (CF) from ruminal degradation and to evaluate different methods for estimating ruminal CF degradation.

1. Materials and Methods

1.1. Feedstuffs (concentrates)

Two expeller rapeseed meals and two soybean products were obtained commercially. The untreated (RM) and xylose-treated (RMT; RaPass[®]) expeller rapeseed meals were provided by Raiffeisen Hauptgenossenschaft Nord AG, Kiel, Germany. The RMT was produced using xylose in sulfite liquor as described by WINOWSKI (1991). According to the manufacturer's information, the treatment was at approximately 25% moisture and 105 to 108°C for about 40 min. The ground soybeans (SB) and the formaldehyde-treated SB (SBT; Bioprofin[®] V) were supplied by Wulfamast GmbH, Dinklage, Germany. Gaseous formaldehyde (1.1 g/kg SB), released from a mixture of formaldehyde and Sipernat[®] (Degussa AG, Düsseldorf, Germany) under controlled temperature and pressure, was used to produce the SBT.

2.2. Animals and diets

Four-year old German Red Pied steers, four, weighing 879 ± 68 kg were used. Each steer was fitted with a 10 cm internal diameter ruminal cannula (Model 1C, Bar Diamond, Parma, ID, USA) and housed in individual tie stalls with free access to water. Steers were fed once daily at 07:00 h. Four diets were formulated and offered in a 4 x 4 Latin square arrangement of treatments. The dry matter (DM) of the rapeseed

diets consisted of 400 g/kg grass hay, 250 g/kg ground barley grain and 350 g/kg of either RM or RMT. The DM of the soybean diets consisted of 400 g/kg grass hay, 300 g/kg ground barley grain and 300 g/kg of either SB or SBT (Table 16). To ensure adequate mineral and vitamin intake of the steers, the diets were supplemented with 75 g/d of a commercial vitamin and mineral premix.

2.3. *In vivo* study

Each treatment period lasted 11 d, which included a 7 d diet adjustment period followed by a 2 d sampling period. On day 9, ruminal fluid samples were collected and pH values were measured prior to feeding (07:00 h) and 2, 3 and 5 h after feeding. Samples were removed by a vacuum pump through a firm tube into a glass container and acidified to a pH < 3 with 10% (v/v) H₂SO₄ to stop microbial activity. Samples were then stored at -18°C until analysis. The tube additionally contained a gel electrode to measure pH directly in the ventral sac of the rumen at the same position where ruminal fluid samples were collected. The pH was measured immediately before exhausting ruminal fluid.

On the last day of the sampling period, the reticulo-rumens of the steers were manually emptied 24 h after the last feeding. All ruminal contents that could be removed by hand were emptied into a rectangular, insulated tub. Material not removable by hand was bailed into an insulated plastic barrel. The reticulo-rumen was considered to be empty, when no more liquids could be retrieved from the folds of the rumen. Complete emptying took no longer than 20 min. Both ruminal contents fractions were weighed, mixed thoroughly and subsampled (solid material 2 kg and

Table 16
Ingredient and chemical composition of the diets

	Diet				SEM	Contrasts ^a ($P <$)	
	Expeller rapeseed meal (RM)		Soybeans (SB)			Diet	Treatment
	Untreated	Treated	Untreated (U)	Treated (T)			
Ingredient ^b composition (kg dry matter (DM)/d)							
Grass hay (<i>Lolium</i>)	3.58	3.58	3.58	3.58			
Barley grain	2.18	2.18	2.62	2.62			
RM	3.07	-	-	-			
RMT	-	3.06	-	-			
SB	-	-	2.66	-			
SBT	-	-	-	2.64			
Mineral vitamin premix ^c	0.09	0.09	0.09	0.09			
Total DM intake	8.92	8.91	8.95	8.93			
Chemical composition (g/kg DM)							
Ash	68	68	69	68	0.7	0.333	0.535
Neutral detergent fibre	430	456	390	391	5.1	0.001	0.022
Acid detergent fibre	236	225	196	193	2.6	0.001	0.017
Crude protein	182	181	171	173	1.4	0.001	0.780
Crude fat	54	52	74	73	0.7	0.001	0.060

^aNo interaction effect (diet x treatment) was observed.

^bRM = untreated expeller rapeseed meal; RMT = xylose-treated expeller rapeseed meal; SB = untreated soybeans; SBT = formaldehyde-treated soybeans.

^cContained per kg: Ca, 220 g; Na, 80 g; Mg, 80 g; P, 30 g; Zn, 8000 mg; Mn, 5000 mg; Cu, 1000 mg; Fe, 500 mg; Se, 80 mg; I, 60 mg; Co, 20 mg; vitamin A, 500,000 IU; vitamin D₃, 50,000 IU; vitamin E, 1,500 IU.

liquids 1 kg). The emptied fluid followed by the solid material were returned to the rumen within 15 min. Immediately after collection the samples were frozen at -18°C .

2.4. *In situ* study

The *in situ* study started on day 8. The experimental design corresponded to the 4 x 4 Latin square conducted *in vivo*. Ruminal disappearance of DM, organic matter (OM), CP and CF was determined by using polyester bags (5 x 10 cm; R510, Ankom Technology, Fairport, NY, USA) with a pore size of $50 (\pm 15) \mu\text{m}$. Five bags of each feed (RM, RMT; SB and SBT) were used per steer and incubation time, and 1.3 g of fresh matter were placed in each bag. Until the start of incubation, bags were stored at -18°C .

Before incubation, each bag was sealed with a commercial cable binder (10 cm length), then bags were clamped to a cylindrical anchor weight (800 g), which was tied to a 80 cm long main line outside the fistula. Prior to incubation, the bags were soaked in 40°C water for 10 min. All bags were inserted into the ventral sac of the rumen at 07:00 h directly before feeding. Incubation periods were 2, 4, 8, 16, 24 and 48 h. Long-time (72 and 336 h) incubations were conducted in a separate period after the end of the whole experiment using the same four steers and incubating all four feedstuffs simultaneously in the rumens of all steers. After ruminal incubation, bags were immediately immersed in ice water to minimize microbial activity. Bags were then washed with cold water in a washing machine for 20 minutes in order to remove feed particles adhering to the bag surface. Water was exchanged 5 times during washing and no spin cycle was used.

Zero time disappearance values (0 h) were obtained by washing pre-soaked, unincubated bags in a similar fashion. Water-soluble (WS) material was estimated by washing 5 replicates of each feed through a folded filter paper (No. 595^{1/2}, Schleicher and Schuell, Dassel, Germany). All washed bags and filter paper residues were freeze-dried over 24 h. Water-insoluble DM, OM, CP and CF escaping in small particles (SP) from the bags were estimated by subtracting water-soluble DM, OM, CP and CF from corresponding 0 h values. The single values obtained for DM, OM, CP and CF disappearance (DI_i) were then corrected (C) for SP by the equation (WEISBJERG et al., 1990):

$$CDI_i = DI_i - SP \times (1 - ((DI_i - (SP+WS)) / (1 - (SP+WS))))$$

Degradation of DM, OM, CP and CF (CDEG) was calculated using the equation of McDonald (1981):

$$CDEG = a + b (1 - e^{-c(t-L)}) \text{ for } t > L,$$

where: CDEG = disappearance at time t corrected for SP; a = an intercept representing the proportion of DM (OM, CP, CF) solubilized at the initiation of incubation (time 0; soluble fraction), b = the fraction of DM (OM, CP, CF) insoluble but degradable in the rumen, c = a rate constant of disappearance of fraction b , t = time of incubation and L = discrete lag phase. The non-linear parameters a , b , c and L were estimated by an iterative least squares procedure (SAS, 1988).

The effective degradability (ED) of DM (OM, CP, CF) was calculated using the equation:

$$ED = a + (bc/(c+k)) \times e^{-kL},$$

where k is the estimated rate of outflow from the rumen and a , b , c and L are the same parameters as described earlier. The equation is a modification to the one

published by McDONALD (1981), where the term “ e^{-kL} ” reads “ $e^{-(c+k)L}$ ”. This suggests that during the lag phase both degradation and passage occur, which is not correct as it is assumed that no degradation takes place during the lag phase. The ED of DM, OM, CP and CF were estimated as ED2, ED5 and ED8 assuming rumen solid outflow rates of 0.02, 0.05 and 0.08/h, considered to be representative of low, medium and high feed intake levels (AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL, 1984).

2.5. Analytical procedures

The DM of ruminal solid material and liquids, and of residues after ruminal incubation were determined by freeze drying and subsequent oven drying at 105°C overnight. The DM of all feeds was determined by oven-drying at 105°C overnight. Feedstuffs and freeze-dried ruminal contents were ground successively in centrifugal mills with 3 and 1 mm screens. Feedstuffs and ruminal contents were analysed for ash, CP, CF, neutral detergent fibre (NDF) and acid detergent fibre (ADF). Residues of feeds after ruminal incubation were analysed for CP and CF. Ash was determined by ashing in a muffle furnace at 550°C overnight (16 h). The N was determined using a standard Kjeldahl procedure using Cu^{2+} as a catalyst (method 4.1.1) and CF was analyzed as petroleum ether extract by the Soxhlet method (method 5.1.1) according to “Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten” (VDLUFA; BASSLER, 1988; 1993). The NDF and ADF analyses were conducted according to VAN SOEST et al. (1991). Detergent fibre analyses were performed without the use of decalin. Sodium sulfite was omitted and triethylene glycol was used instead of 2-ethoxyethanol in the NDF procedure, and NDF on barley grain was determined with α -amylase. The NDF and ADF values are expressed with residual ash.

uminal fluid samples were thawed, centrifuged at 19,200 x g (for analysis of short chain FA, SCFA) and 1860 x g (for analysis of ammonia-nitrogen, NH₃-N), respectively, for 28 min and supernatants after centrifugation were used for further analyses. The SCFA were separated and quantified by ion chromatography using HClO₄ as an eluent in a commercial laboratory (LUF A Nord-West, Oldenburg, Germany). Analysis of NH₃-N was by steam distillation (BRANDT, 1979).

2.6. Statistical methods

Ruminal fermentation variables (pH, SCFA, NH₃-N) were averaged within steer and period, and means were subjected to analysis of variance. Data of in vivo and in situ trials was subjected to analysis of variance using the general linear model procedure of SAS (1988). The model was as follows:

$$Y_{ijk} = \mu + F_i + A_j + P_k + e_{ijk},$$

where Y is the observed response; μ is the overall mean; F is the effect of feedstuff (in situ) or diet (in vivo); A is the effect of animal; P is the effect of period and e is the residual error. Feedstuff (in situ) and diet (in vivo) means for all variables were further analysed with the specific contrasts: feedstuff (expeller rapeseed meal vs. soybeans); treatment (untreated vs. chemically treated feeds) and interaction effect (feedstuff x treatment).

3. Results

3.1. *In vivo* study

Diets were designed to correspond to practical German recommendations. Therefore, chemical compositions were similar within diet type (i.e., expeller rapeseed

meal or soybean), except for an increase of NDF and decrease of ADF contents caused by treating the RM (Table 16). However, considerable differences occurred between the two diet types except for ash contents (Table 16). The concentration of CP was lower and that of CF was higher for the soybean diets. Due to the presence of hulls of the rapeseed, the expeller rapeseed meal diets had higher NDF and ADF contents than the soybean diets.

Chemical treatment had no major influence on the amount of DM or any of its components in ruminal contents 24 h after feeding (Table 17). A trend ($p < 0.10$) only was observed for the effect of diet on rumen fill of DM, OM and ash, which together with the effect of the interaction (diet x treatment; DM and OM only) on these variables indicates that rumen fill was higher for DSBT compared with DSB, whereas no difference occurred between the two expeller rapeseed meal diets. In contrast, there was a clear effect of diet on ruminal contents of all these variables (Table 17). Although intakes of DM the same for all diets (Table 16), the rumens of the steers fed the expeller rapeseed meal diets contained less ($p < 0.01$) DM and OM and considerably lower amounts of NDF and ADF than those fed the soybean diets.

When data for CF in Table 17 is expressed as disappearance of CF at 24 h after last feeding related to previous daily CF intake, the two types of diets differed remarkably. The highest value was obtained for DSBT followed by DSB; both rapeseed meal diets had considerably lower CF disappearance.

Table 17

Rumen fill (kg) of dry matter and its components 24 hours after feeding

	Diet				SEM ^c	Contrasts (<i>p</i> <)		
	Expeller rapeseed meal		Soybeans			Diet	Treatment	Interaction
	Untreated	Treated	Untreated	Treated				
Dry matter	5.54	5.46	6.70	7.69	0.200	0.001	0.064	0.038
Organic matter	4.81	4.81	5.95	6.89	0.195	0.001	0.055	0.052
Ash	0.72	0.66	0.75	0.80	0.011	0.001	0.460	0.003
NDF	2.80	2.85	4.01	4.43	0.166	0.001	0.216	0.303
ADF	1.68	1.63	2.19	2.42	0.091	0.001	0.356	0.186
Crude fat	0.36	0.29	0.29	0.25	0.061	0.402	0.383	0.876
Crude fat ^a	25.9	37.0	66.6	62.1	4.66	0.001	0.495	0.128

^aDisappearance of crude fat (% of the previous daily crude fat intake).

Even though all diets contained a high proportion of concentrate (60% of DM) with considerable quantities of readily fermentable starch, the average pH values in the ventral sac of the rumen were relatively high (Table 18), which is also supported by the observed range (data not shown) from 6.7 to 6.9 before feeding to 6.1 and 6.35 at 5 h after feeding.

The concentrations of acetic and propionic acids, total SCFA and the acetic to propionic acid ratio were similar for soybean and rapeseed diets (Table 18). Only the butyric acid concentration was higher for the expeller rapeseed meal than the soybean diets. Treatment of feeds had an effect such that propionic and butyric acids and total SCFA concentrations were lower for the diets containing treated feeds than for those with untreated feeds.

Concentrations of $\text{NH}_3\text{-N}$ in ruminal fluid were lower for the DRMT and DSBT diets than for the DRM and DSB diets and were also lower for diets containing the treated feeds than for those containing the untreated feeds (Table 18). The latter observation indicates that the extent and rate of ruminal CP degradation were reduced considerably and both chemical methods were effective in protecting CP against ruminal degradation. However, the difference between the diets containing treated versus untreated feedstuffs was much greater for the soybean than the expeller rapeseed meal diets, which was also reflected in an interaction (diet x treatment) effect.

Table 18

pH values in the ventral sac of the rumen and concentrations (mmol/l) of short-chain fatty acid (SCFA) and ammonia-N in ruminal fluid^a

	Diet				SEM ^c	Contrasts (<i>p</i> <)		
	Expeller rapeseed meal		Soybeans			Diet	Treatment	Interaction
	Untreated	Treated	Untreated	Treated				
pH	6.40	6.43	6.37	6.50	0.077	0.821	0.302	0.502
Acetic acid (A)	60.6	60.8	63.1	57.4	2.83	0.869	0.335	0.300
Propionic acid (P)	21.8	19.8	24.3	20.3	1.47	0.319	0.047	0.476
A to P ratio	2.9	3.1	2.8	3.0	0.15	0.774	0.111	0.422
Butyric acid	11.4	9.5	8.7	7.6	0.58	0.001	0.012	0.507
Total SCFA	93.9	90.2	96.2	85.3	4.49	0.733	0.059	0.358
Ammonia-N	9.9	7.3	6.6	3.2	0.49	0.004	0.001	0.001

^aEach value based on 16 observations (4 steers x 4 times after feeding (0, 2, 3 and 5 h)).

3.2. *In situ* trial

Nonlinear parameter estimates and effective degradability values are presented in Table 19. Except for the rate constant of disappearance (c) and the lag phase, all nonlinear parameters and effective degradability values of the DM showed an interaction effect (feedstuff x treatment). Compared to their untreated counterparts, chemically treated feedstuffs had a lower water-soluble fraction (fraction a) and lower rate constants of disappearance (fraction c) of DM and a less effectively degraded DM at all three passage rates.

The soluble (a) fraction of CP was lower for the treated feedstuffs and was reduced to a greater extent for RMT than for SBT (interaction effect; Table 19). The degradable (d) fraction of CP was more than 90% in all feeds and, in contrast to fraction a, was highest for RMT and SBT. Chemical treatment increased the lag phase of CP of RMT and SBT. Effective degradability values of CP were lowest for RMT and SBT.

Numerically, CF had higher rate constants of disappearance than those of DM and CP (Table 19). While the a fraction of CF was similar among feeds ($p > 0.10$), there were differences in the insoluble but degradable fraction between RM and RMT compared to SB and SBT. Effects of feedstuff and treatment on fraction d were found. In contrast to CP, the lag phase for CF degradation was shorter for RMT and SBT than for RM and SBT, mainly due to an exceptionally long lag phase for RM. The effective degradability values of CF were (ED2) or tended to be (ED5, ED8) smaller for both expeller rapeseed meals compared to the soybeans. At all assumed passage rates, the CF of SBT numerically had the highest effective degradability.

Table 19

Nonlinear estimates^a and effective degradability values^b (ED; g/kg) of dry matter, organic matter, crude protein and crude fat from polyester bags *in situ*

	Diet				SEM ^c	Contrasts (<i>p</i> <)		
	Expeller rapeseed meal		Soybeans (SB)			Feedstuff	Treatment	Interaction
	Untreated	Treated	Untreated	Treated				
Dry matter								
a (g/kg)	324	261	341	269	2.1	0.001	0.001	0.096
b (g/kg)	482	580	619	672	5.1	0.001	0.001	0.005
c (/h)	0.095	0.045	0.083	0.045	0.0069	0.399	0.001	0.399
Lag (h)	0.7	0.6	1.7	1.4	0.043	0.077	0.579	0.843
d (g/kg)	806	841	959	941	5.6	0.001	0.175	0.004
ED2	713	659	818	719	7.1	0.001	0.001	0.024
ED5	625	530	690	564	7.5	0.001	0.001	0.085
ED8	568	462	611	484	6.7	0.003	0.001	0.160

	Diet				SEM ^c	Contrasts (<i>p</i> <)		
	Expeller rapeseed meal		Soybeans (SB)			Feedstuff	Treatment	Interaction
	Untreated	Treated	Untreated	Treated				
Crude protein								
a (g/kg)	313	129	228	141	6.1	0.001	0.001	0.001
b (g/kg)	606	870	761	859	6.8	0.001	0.001	0.001
c (/h)	0.068	0.033	0.080	0.033	0.0076	0.443	0.002	0.443
Lag (h)	0	3.6	0.7	4.6	1.20	0.489	0.022	0.910
d (g/kg)	919	999	989	1000	2.0	0.001	0.001	0.001
ED2	777	625	824	634	8.1	0.015	0.001	0.059
ED5	659	413	674	419	7.7	0.206	0.001	0.552
ED8	589	319	582	323	7.0	0.894	0.001	0.454

	Diet				SEM ^c	Contrasts (<i>p</i> <)		
	Expeller rapeseed meal		Soybeans (SB)			Feedstuff	Treatment	Interaction
	Untreated	Treated	Untreated	Treated				
Crude fat								
a (g/kg)	224	223	237	229	8.5	0.314	0.611	0.698
b (g/kg)	731	722	760	744	11.2	0.062	0.302	0.804
c (/h)	0.158	0.118	0.100	0.155	10.5	0.379	0.503	0.005
Lag (h)	1.7	0.2	0.1	0	0.14	0.001	0.002	0.004
d (g/kg)	956	945	997	974	3.6	0.001	0.004	0.131
ED2	844	834	860	886	10.5	0.019	0.459	0.138
ED5	724	720	729	788	17.5	0.081	0.163	0.1184
ED8	638	641	644	716	19.9	0.089	0.107	0.133

^aa = The proportion of nutrient solubilized at initiation of incubation; b = the fraction of nutrient insoluble but degradable in the rumen; c = the rate constant (/h) of disappearance of fraction b; Lag = lag phase (hours) prior to the commencement of degradation of fraction b; d = a + b, degradable fraction.

^bEffective degradability at three ruminal passage rates, i. e., 0.02, 0.05 and 0.08/h

4. Discussion

4.1. *In vivo* study

4.1.1. Rumen fill

AMENY et al. (1995) were the first to use a single time point rumen evacuation 24 h after feeding to measure effects of type and inclusion level of supplemental fat on degradation of cell wall components in the rumen. These researchers assumed that the average time that fibre remains in the rumen of steers is 24 h and, by this time, negative effects of CF on fibre-degrading bacteria and protozoa will be most detectable. Further, they concluded that rumen emptying is an appropriate method to measure effects of source and level of dietary fat on ruminal DM and fibre degradation, especially in combination with conventional characteristics of ruminal fermentation such as concentrations of SCFA.

In the present study, the higher disappearance of CF from the rumen of steers fed the soybean diets, which was paralleled by higher amounts of NDF and ADF remaining 24 h after the previous feeding, could be a sign of reduced fibre digestibility caused by ruminally released FA. Free FA associated with fibre particles in the rumen can prevent the close attachment of cellulolytic bacteria, which is a prerequisite for fibre degradation (JENKINS, 1993). This observation was more pronounced for the soybean diets, compared to expeller rapeseed meal diets, which may be partly due to the soybean diets contained more fat (2.2 percentage units of CF) and less fibre (NDF, ADF) than the rapeseed meal diets. TACKETT et al. (1996) observed an interaction between the fibre content in the diet and fat supplementation on ruminal fermentation. Addition of fat led to disruption of ruminal fermentation only in a low fibre diet, whereas in a high fibre diet, this effect did not occur. Feed particles from hay compete

with microbial surfaces for binding of FA, helping to reduce the negative effects on ruminal microorganisms (MACZULAK et al., 1981).

Different treatments of feedstuffs have been reported as being effective in reducing CP degradation in the rumen. Physical methods include treatments with dry or moist heat, whereas chemical methods can be treatment with only a chemical or combinations of moist heat with chemicals such as formaldehyde or xylose. The addition of xylose, in an aqueous calcium-magnesium lignosulfonate solution, to rapeseed commodities decreased degradability of DM and CP in the rumen (MCALLISTER et al., 1993; SHANNAK, 2000). Micronization of oilseeds has protected CP against ruminal degradation (WANG et al., 1997; PETIT et al., 2002), and under certain circumstances, polyunsaturated FA are hydrogenated and yield higher amounts of C16:0 and C18:0. This may lead to a less harmful action of free FA on rumen microbes (PETIT et al., 2002). KHORASANI et al. (1991) postulated that reducing the rate and extent of ruminal digestion of the protein-rich matrix surrounding the fat droplets of rapeseed (canola) seeds would influence ruminal degradation of fat. Treating rapeseed products with formaldehyde reduced extent of ruminal biohydrogenation of FA (TYMCHUK et al., 1998), resulting in increased contents of C18:2 and C18:3 FA in milk compared to untreated rapeseed products (TYMCHUK et al., 1998; DELBECCHI et al., 2001). TYMCHUK et al. (1997) reported that treating rapeseed with formaldehyde reduced in situ degradability of CP and CF compared to heat treated and untreated canola seed. In the present study, although a protein protecting effect was observed when diets with xylose-treated expeller rapeseed meal or formaldehyde-treated soybeans were fed to steers, no protective effect was observed on CF degradation in the rumen. In soybeans, the protein bodies are surrounded by small fat droplets (LIU,

1997), hence the protected protein would not protect its fat against ruminal degradation.

4.1.2. Ruminal fermentation

Neither chemical treatment nor diet influenced the pH values in the ventral sac of the rumen of the steers. The absence of effect of diet agrees with results of others, who also observed no effect on ruminal pH when cattle diets had elevated concentrations of fat (KHORASANI et al., 1992; FERLAY and DOREAU, 1994; JOUANY, 1994; GRANT et al., 2000).

With only a few exceptions, the concentrations in ruminal fluid of total SCFA, acetate, propionate as well as the acetate to propionate ratio were similar among diets. When higher proportions of fat (6% of dietary DM) were added to dairy cow diets, more pronounced effects were found (TACKETT et al., 1996), such as a decrease of acetate and an increase of propionate concentrations in ruminal fluid and a trend towards decreased total SCFA concentrations.

ONETTI et al. (2001) reported decreased $\text{NH}_3\text{-N}$ concentrations, when fat (tallow or choice white grease) at 2 or 4% of DM were supplemented to a dairy cow diet. As expected, in the present study, lower $\text{NH}_3\text{-N}$ concentrations in rumen fluid were observed for diets with chemically treated feedstuffs, providing evidence for a strong protein protection. This corresponds to results of MCALLISTER et al. (1993) and KANJANAPRUTHIPONG et al. (2002), who found the lowest $\text{NH}_3\text{-N}$ concentrations in xylose-treated canola meal and formaldehyde-treated soybeans.

4.2. *In situ* study

In full accordance with the *in vivo* study, the CF of all feedstuffs was extensively degraded in the rumen *in situ*. Contrary to the *in vivo* data on CF disappearance, however, differences between the expeller rapeseed meal and soybean diets for effectively degraded CF were small. In full accordance with the *in vivo* data, *in situ* no effect of treatment on kinetics or extent of CF degradation was observed. Although an efficient CP protection against ruminal degradation was observed, chemical treatments had no protective effect against CF degradation in the rumen. Interestingly, the rate of degradation of CF was even higher than that of OM and CP, which was also indicated by the *in vivo* data.

5. Conclusions

Chemical treatment of expeller rapeseed meal with xylose, and soybeans with formaldehyde did not protect against ruminal crude fat degradation, although crude protein was effectively protected. Moreover, *in vivo* and *in situ* crude fat degradation were only partly consistent, as both methods indicated that chemical treatment had no effect on ruminal crude fat degradation, but the estimated extent of degradation differed between *in vivo* and *in situ* estimates. However, both *in vivo* and *in situ* results showed that ruminal crude protein degradation was much lower for the two chemically treated feedstuffs.

KAPITEL 4

Schlussbetrachtung

Die hochleistende Kuh hat direkt nach der Geburt einen sprunghaft ansteigenden Nährstoffbedarf, der nicht durch den verzögerten Anstieg der postpartalen Futteraufnahme ausgeglichen wird. Um den Energiegehalt der Ration und damit die Gesamtenergieaufnahme zu erhöhen, werden energiereiche Futtermittel wie Getreide oder fettreiche Komponenten wie die Samen von Ölsaaten oder Rapsexpeller eingesetzt, die aber bei zu großen Anteilen in der Ration zu Störungen der mikrobiellen Population und Fermentation im Pansen führen können. In den Blickpunkt des Interesses sind daher Verfahren gelangt, die das Ausmaß und die Rate der Fermentation im Pansen reduzieren und die Verdauung teilweise von den Vormägen in den Dünndarm verlagern.

Da Rinder nur eine begrenzte Möglichkeit haben, Getreidekörner durch das Kauen zu beschädigen, ist eine Bearbeitung des Korns vor der Fütterung notwendig. Physikalische Bearbeitungsmethoden wie das Quetschen oder Mahlen sind die gebräuchlichsten Verfahren zur Verbesserung der Verwertung heimischer wie fremder Getreidearten. Beiden Verfahren ist gemein, dass die Samenschale des Korns verletzt wird, dadurch wird die Oberfläche des Korns vergrößert und das Endosperm kann durch Verdauungsenzyme angegriffen werden. Während beim Quetschen das Korn weitgehend als großer Partikel erhalten bleibt und dadurch die Rate und das Ausmaß des Abbaus verringert wird, können beim Mahlen extrem feine Partikel entstehen, die sehr schnell fermentiert werden (ROWE et al., 1999). Die Stärke von Weizen, Gerste und Roggen kann leicht fermentiert werden, für gequetschte Körner wird ein Abbau von 85 – 92 % im Pansen berichtet (SCHULDT, 1989). Die Stärke wird von den Mikroorganismen über Zwischenstufen zu kurzkettigen Fettsäuren abgebaut, durch die in kurzer Zeit anfallenden hohen Konzentrationen an kurzkettigen Fettsäuren kommt es zu einem Abfall im ruminalen pH-Wert. Bei einem niedrigen Grundfutteranteil mit geringer Strukturwirksamkeit, wie er oft in Rationen für hochleistende Kühe zu finden ist, kommt es zu einer Reduktion der Wiederkautätigkeit und somit der Speichelproduktion. Die puffernde Wirkung des Speichels fehlt, dadurch wird der pH-Abfall weiter verstärkt (MATTHÉ et al., 2000). Durch die niedrigen pH-Werte kommt es zu einer Veränderung in der mikrobiellen Population. Während die amylolytischen Bakterien niedrige pH-Werte gut vertragen und erst bei Werten von pH 5,1 ihr Wachstum einstellen, kommt es bei cellulolytischen Spezies schon bei pH 6,0 zu einer

Reduktion in ihrer Aktivität (RUSSELL et al., 1979), was in einer geringeren Faserverdaulichkeit resultiert (DEVISSER et al., 1998).

In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass die Verfütterung von feuchten im Gegensatz zu trockenen Getreidekörnern durch weniger ausgeprägte postprandiale pH-Wertschwankungen zu einem stabileren Milieu im Pansen führte. Dies äußerte sich in einer hohen mikrobiellen Aktivität, insbesondere die hohen Konzentrationen an Essigsäure lassen auf eine etablierte Population an Cellulolyten schließen. Beim Einsatz in Milchviehrationen lassen sich daher möglicherweise höhere Futteraufnahmen erzielen. Tendenziell bewirkte das Quetschen im Gegensatz zum Mahlen günstige ruminale Verhältnisse, auf die Verdaulichkeit der Stärke und organischen Masse konnte kein Einfluss der Bearbeitungsweise beobachtet werden. Für Rinder reicht daher das Quetschen von feuchten Getreidekörnern zur vollständigen Verwertung der Nährstoffe aus.

Futtermittel wie Sojabohnen oder Rapsexpeller enthalten neben hochwertigen Proteinen auch Fette, die zur Erhöhung der Energiekonzentration in Milchviehrationen beitragen können. Fette werden im großen Umfang in den Vormägen abgebaut. Die Triglyceride werden im Pansen hydrolysiert, dabei werden Fettsäuren und Glycerin freigesetzt. Während das Glycerin von den Mikroorganismen energetisch verwertet werden kann, können die freigesetzten Fettsäuren nicht genutzt werden. Handelt es sich bei den freigesetzten Fettsäuren um ungesättigte, so werden sie im Pansen von den Mikroben hydrogeniert. Obwohl der eindeutige Zweck der Hydrogenierung noch nicht geklärt ist, wird vermutet, dass die Mikroorganismen sich dadurch vor toxischen Effekten der ungesättigten Fettsäuren schützen (JENKINS, 1993). Größere Mengen an mehrfach ungesättigten Fettsäuren führen zu einer Beeinflussung der Mikrobenpopulation im Pansen. Freie, ungesättigte Fettsäuren zeigten *in vitro* ausgeprägtere negative Effekte auf Cellulolyten als auf Amylolyten (MACZULAK et al., 1981). *In vivo* lassen sich die Veränderungen in der Zusammensetzung der Mikrobenpopulation durch eine reduzierte Verdaulichkeit der Faserbestandteile, eine geringere Produktion an kurzkettigen Fettsäuren, ein verengtes Essigsäure:Propionsäure-Verhältnis und eine verringerte Methanogenese beobachten (DOREAU und CHILLIARD, 1997). Fettsäuren legen sich wie ein Film um Futterpartikel

und Mikroben und verhindern so die feste Anhaftung der Cellulolyten an diese Partikel (HARFOOT und HAZLEWOOD, 1988). Außerdem üben sie auch oberflächenaktive Effekte auf die Mikroben aus. Werden große Mengen ungeschützter Fette in Rationen eingesetzt, kommt es neben der Reduktion der Faserverdaulichkeit zu einem Rückgang der Futteraufnahme. Um diese negativen Effekte der Fettzulage zu umgehen, werden vermehrt sogenannte geschützte Fette eingesetzt. Durch Verseifung der Fettsäuren mit Calcium (JENKINS und PALMQUIST, 1984), Umhüllung der Fettsäuren mit einer geschützten Proteinmatrix (SCOTT et al., 1970) oder den Einsatz von Fettsäuren mit einem hohen Schmelzpunkt (CHALUPA et al. 1986) kommt es zu einer Verlagerung der Verdauung von den Vormägen in den Dünndarm. Einige fettreiche Futtermittel wie Sojabohnen und Rapsexpeller werden chemisch behandelt, um das Rohprotein vor dem ruminalen Abbau zu schützen. Es ist daher von Interesse, ob sich diese etablierten Verfahren auch schützend gegenüber dem Rohfettabbau im Pansen auswirken.

In der vorliegenden Arbeit führte die Behandlung von Rapsexpellern mit Xylose und Sojabohnen mit Formaldehyd nicht zu einem schützenden Effekt des Rohfetts vor dem ruminalen Abbau, obwohl der Rohproteinschutz voll etabliert war. Die Proteinkörper der Sojabohne sind von kleinen Fetttröpfchen umgeben (Fettmatrix), daher führt ein reduzierter Proteinabbau nicht zwangsläufig zu einem reduzierten Fettabbau (LIU, 1997). Im Panseninhalt konnten bei einer intensiven Fettverdauung größere Mengen an TM, OM sowie NDF und ADF nach der Fütterung der beiden Sojarationen beobachtet werden, dies gibt einen Hinweis auf eine reduzierte mikrobielle Aktivität im Pansen. Die *in situ* und die *in vivo* Methode lieferten nur beim Rohproteinabbau ähnliche Ergebnisse. Bei der Überprüfung des Rohfettabbaus konnte zwar mit beiden Methoden nachgewiesen werden, dass durch die chemische Behandlung der Futtermittel kein Rohfettenschutz erreicht wurde. Zwischen den beiden Methoden gab es aber Unterschiede im Ausmaß des ruminalen Rohfett-Abbaus.

KAPITEL 5

Literaturverzeichnis

- AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL, 1984. The nutrient requirements of ruminant livestock, Suppl. No.1. Commonwealth Agric. Bureau, Farnham Royal.
- ANONYM, 2002. Futtermittelverordnung, Anlage 1: Einzelfuttermittel. BGBl, I, § 596.
- AMENY, G.A., L.D. BUNTING, L.S. STICKER, B.F. JENNY, R.W. HINTZ, 1995. Evaluation of the ruminal effects of supplemental fat in lucerne hay and maize silage rations using rumen evacuation and ruminal metabolite concentrations. Anim. Feed Sci. Technol. **53**, 305-315.
- BASSLER, R. (Ed.), 1988, 1993. VDLUFA-Methodenbuch, Band III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. 3. Aufl., 2. Ergänzungslieferung 1988 und 3. Ergänzungslieferung 1993. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- BERGNER, E. und F. WEISSBACH, 1983. Zum Einfluss des Zerkleinerungsgrades auf die Verdaulichkeit von Getreidekörnern. Untersuchungen mit Weizen und Gerste an Rindern. Arch. Tierernähr. **33**, 241–250.
- BRANDT, M., 1979. Versuche zur Quantifizierung der mikrobiellen Proteinsynthese (mit Hilfe von ¹⁵N) bei Verwendung harnstoffhaltiger Rationen. Diss., Agrarwiss. Fak., Christian-Albrechts-Univ., Kiel, 115 S.
- BRANDT, M. UND S.M. ALLAM , 1987. Analytik von TiO₂ im Darminhalt und Kot nach Kjeldahlaufschluß. Arch. Anim. Nutr. **37**, 453 - 454.
- BRANDT, M., A. SCHULDT, P. MANNERKORPI, T. VEARASILP, 1987. Zur enzymatischen Stärkebestimmung im Darminhalt und Kot von Kühen mit hitzestabiler Amylase. Arch. Anim. Nutr. **37**, 455.
- CHALUPA, W., B. RICKABAUGH, D.S. KRONFELD, D. SKLAN, 1984. Ruminal fermentation in vitro as influenced by long-chain fatty acids. J. Dairy Sci. **67**, 1439-1444.

- CHALUPA, W., B. VECCHIARELLI, A.E. ELSEER, P.S. KRONFELD, D. SKLAN, D.L. PALMQUIST, 1986. Ruminale Fermentation in vivo as influenced by long-chain fatty acids. *J. Dairy Sci.* **69**, 1293-1301.
- CHRISTEN, S.D., T.M. HILL, M.S. WILLIAMS, 1996. Effects of tempered rolled barley on milk yield, intake and digestion kinetics of lactating holstein cows. *J. Dairy Sci.* **79**, 1394-1399.
- DEACON, M.A., G. DE BOER, J.J. KENNELLY, 1988. Influence of jet-sploding and extrusion on ruminal and intestinal disappearance of canola and soybeans. *J. Dairy Sci.* **71**, 745-753.
- DELBECCHI, L., C.E. AHNADI, J.J. KENNELLY, P. LACASSE, 2001. Milk fatty acid composition and mammary lipid metabolism in holstein cows fed protected or unprotected canola seeds. *J. Dairy Sci.* **84**, 1375-1381.
- DEVISSER, H., A. KLOP, C.J. VAN DER KOELEN & A.M. VAN VUUREN, 1998. Starch supplementation of grass harvested at two stages of maturity prior to ensiling: intake, digestion, and degradability by dairy cows. *J. Dairy Sci.* **81**, 2221-2277.
- DIXON, R.M. and C.R. STOCKDALE, 1999. Associative effects between forages and grains: consequences for feed utilisation. *Aust. J. Agric. Res.* **50**, 757-773.
- DOREAU, M and Y. CHILLIARD, 1997. Digestion and metabolism of dietary fat in farm animals. *Br. J. Nutr.* **78** Suppl. , S15-S35.
- EIMER, M., 1986. Mikrobieller Besatz und Verderbgrenzen bei der Getreidetrocknung und -lagerung. In: *Getreidekonservierung und -lagerung*,; Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Münster-Hiltrup, S. 27-40.

- FERLAY, A. and M. DOREAU, 1994. Influence of method of administration of rapeseed oil in dairy cows. 1. Digestion of nonlipid components. *J. Dairy Sci.* **75**, 3020-3027.
- FÜRLI, C., B. OBERBARNSCHEIDT, G. WARTENBERG, 1992. Lagern und Konservieren von feuchtem Getreide. *Neue Landwirtschaft*, Heft **7**, 83–86.
- GFE, 2001. Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. Nr. 8: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. DLG-Verlag Frankfurt Main, 136 S.
- GOERING, H.K. and P.J. VAN SOEST, 1970. Forage Fiber Analysis. *Agric. Handbook* No. 379; ARS, USDA. Washington, DC, 20 pp.
- GRANT, R.J., T.J. KLOPFENSTEIN, K. FANNING, C. WILSON, 2000. Effect of non-enzymatically browned sunflower seeds on ruminal fermentation and milk composition in dairy cows. *J. Anim. Sci.* **78** Suppl. 1/ *J. Dairy Sci.* **83**, Suppl. 1, 280 (Abstr.).
- HARFOOT, C.G. und G.P. HAZLEWOOD, 1988. Lipid metabolism in the rumen. In: *The rumen microbial ecosystem*. P.N. Hobson, ed. Elsevier Appl. Sci., New York, NY, pp 285-322.
- HENDERSON, C., 1973. The effects of fatty acids on pure cultures of rumen bacteria. *J. agric. Sci. Camb.* **81**, 107-112.
- HIRONAKA, R., N. KIMURA, G.C. KOZUB, 1978. Influence of feed particle size on rate and efficiency of gain, characteristics of rumen fluid and rumen epithelium, and numbers of rumen protozoa. *Can. J. Anim. Sci.* **59**: 395–402.

- IDLER, CH., CH. FÜLL, B. OBERBARNSCHEIDT, 1993. Konservierung von feuchtem Futtergetreide, Proc. 9. Internationale Tagung zu Problemen der Getreideverarbeitung und Getreidechemie, 18.10.–20.10.1993, Bergholz-Rehbrücke, S. 248-262.
- JENKINS, T.C., 1993. Symposium: Advances in ruminant lipid metabolism. Lipid metabolism in the rumen. *J. Dairy Sci.* **76**, 3851-3863.
- JENKINS, T.C. and D.L. PALMQUIST, 1984. Effect of fatty acids or calcium soaps on total nutrient digestibility in lactating cows. *J. Dairy Sci.* **67**, 978-986.
- JEROCH, H., 1993. Körner und Samen. In: Futtermittelkunde. H. Jeroch, G. Flachowsky, F. Weißbach (Hrsg.) Gustav Fischer, Jena, S. 238-297.
- JOUANY, J.P., 1994. Manipulation of microbial activity in the rumen. *Arch. Anim. Nutr.* **46**, 133-153.
- KAISER, A.G., 1999. Increasing the utilisation of grain when fed whole to ruminants. *Aust. J. Agric. Res.* **50**, 737–756.
- KANJANAPRUTHIPONG, J., C. VAJRABUKKA, S. SINDHUVANICH, 2002. Effects of formalin treated soy bean as a source of rumen undegradable protein on rumen functions of non-lactating dairy cows on concentrate based-diets. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* **10**, 1439-1444.
- KASPERSSON, A., S. LINDGREN, N. EKSTRÖM, 1988. Microbial dynamics in barley grain stored under controlled atmosphere. *Anim. Feed Sci. Tech.* **19:4**, 299-312.
- KENNELLY, J.J. 1996. The fatty acid composition of milk fat as influenced by feeding oilseeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* **60**, 137-152.

- KHORASANI, G.R., P.H. ROBINSON, G. DE BOER, J.J. KENNELLY, 1991. Influence of canola fat on yield, fat percentage, fatty acid profile, and nitrogen fractions in holstein milk. *J. Dairy Sci.* **74**, 1904-1911.
- KHORASANI, G.R., G. DE BOER, P.H. ROBINSON, J.J. KENNELLY, 1992. Effect of canola fat on ruminal and total tract digestion, plasma hormones, and metabolites in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* **75**, 492-501.
- KUNG, L. JR., B.W. JESSE, J.W. THOMAS, J.T. HUBER, R.S. EMERY, 1983. High moisture ground ear corn, high moisture barley or sodium hydroxide treated barley for lactating cows: milk production and ration utilization. *Can. J. Anim. Sci.* **63**, 155-162.
- LEBZIEN, P. und K. ROHR, 1995. Zum Einfluss von gemahlenem beziehungsweise gequetschtem Weizen auf die Verdauungsvorgänge bei Milchkühen. *Wirtschaftseig. Futter* **41**(1), 5-15.
- LENNERTS, L. 1984. Pflanzliche Öle und Fette, ihre Zusammensetzung und Verwendung in der menschlichen Ernährung und im technischen Sektor. In: Ölschrote, Ölkuchen, pflanzliche Öle und Fette. Verband deutscher Ölmühlen, Strothe, Hannover, 308-320 S.
- LIU, K., 1997. Chemistry and nutritional value for soybean components. In: Liu, K., Soybeans - chemistry, technology, and utilization. Chapman & Hall, New York, pp. 25-113.
- MACZULAK, A.E., B.A. DEHORITY, D.L. PALMQUIST, 1981. Effects of long-chain fatty acids on growth of rumen bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* **42**, 856-862.
- MATTHÉ, A., P. LEBZIEN, G. FLACHOWSKY, 2000. Zur Bedeutung von ByPass-Stärke für die Glucoseversorgung von hochleistenden Milchkühen. *Übers. Tierernährg.* **28**, 1-64.

- MATHISON, G.W., 1996. Effects of processing on the utilization of grain by cattle. Anim. Feed Sci. Tech. **58**, 113–125.
- MCALLISTER, T.A., K.-J. CHENG, K.A. BEAUCHEMIN, D.R.C. BAILEY, M.D. PICKARD, R.P. GILBERT, 1993. Use of lignosulfonate to decrease the rumen degradability of canola meal protein. Can. J. Anim. Sci. **73**, 211-215.
- MCALLISTER, T.A. und K.-J. CHENG, 1996. Microbial strategies in the rumen digestion of cereal grains. Anim. Feed Sci. Tech. **62:1**, 29-36.
- MCDONALD, I., 1981. A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. J., Agric. Sci. Camb. **96**, 251-252.
- MEHREZ, A.Z., R.E. ØRSKOV, I. MCDONALD, 1977. Rates of rumen fermentation in relation to ammonia concentration. B. J. Nutr. **38**, 437-443.
- MORAN, J.B., 1996. Cereal grains in complete diets for dairy cows: a comparison of rolled barley, wheat and oats and of three methods of processing oats. Anim. Prod., **43**, 27-36.
- MÜLLER, H.M. und K. SCHWADORF, 1988. Ergosterin – ein Parameter zur quantitativen Bestimmung des Pilzbesatzes von Futtermitteln. Kraftfutter. **71**, 174-178.
- OBERBARNSCHEIDT, B., E. SCHADE, C. FÜRLI, 1992. Feuchtgetreide konservieren – Konservieren von feuchtem Futtergetreide in Flachsilos. Landtechnik **47:6**, 285–288.
- ONETTI, S.G., R.D. SHAVER, M.A. MCGUIRE, R.R. GRUMMER, 2001. Effect of type and level of dietary fat on rumen fermentation and performance of dairy cows fed corn silage-based diets. J. Dairy Sci. **84**, 2751-2759.

- ØRSKOV, E.R., 1976. The effect of processing on digestion and utilization of cereals by ruminants. *Proc. Nutr. Soc.*, **35**, 245-252.
- ØRSKOV, E.R., 1986. Starch digestion and utilization in ruminants. *J. Anim. Sci.*, **63**, 1624-1633.
- PETTERSSON, T., K. MARTINSSON, P. LINGVALL, 1996. Ensiling barley grain: optimum harvest time. *Swedish J. Agric. Res.* **26**, 189–197.
- PETIT, H.V., G.F. TREMBLAY, E. TREMBLAY, P. NADEAU, 2002. Ruminal biohydrogenation of fatty acids, protein degradability, and dry matter digestibility of flaxseed treated with different sugar and heat combinations. *Can. J. Anim. Sci.* **82**, 241-250.
- POORE, M.H., J.A. MOORE, T.P. ECK, R.S. SWINGLE, C.B. THEURER, 1993. Effect of fibre source and ruminal starch degradability on site and extent of digestion in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, **76**, 2244-2253.
- RATSCHOW, J.-P., 1986. Getreide in Flachsilos luftdicht lagern. In: *Getreidekonservierung und –lagerung*; Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (Eds), Münster-Hiltrup, S. 115–120.
- ROWE, J.B., M. CHOCT, D.W. PETHICK, 1999. Processing cereal grains for animal feeding. *Aust. J. Agric. Res.* **50**, 721–736.
- RUSSELL, J.R., W.M. SHARP, R.L. BALDWIN, 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.*, **48**, 251-255.
- SAS INSTITUTE, Inc., 2000. Tech. Rep. P-229, Release 6.07. SAS Institute Inc., Cary, NC.

- SANFTLEBEN, P. UND H. DRESCHER, 2002. Feuchtgetreidekonservierung – Möglichkeiten und Einsatz, www.landwirtschaft-mv.de, Zugriff am 14. 07.03.
- SATTER, L.D. UND L.L. SLYTTER, 1974. Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production in vitro. Br. J. Nutr. **32**, 199-208.
- SCOTT, T.W., L.J. COOK, K.A. FERGUSON, I.W. McDONALD, R.A. BUCHANAN, G. L. HILLS, 1970. Production of polyunsaturated milk fat in domestic ruminants. Aust. J. Sci. **32**, 291-293.
- SCHMIDT, L., F. WEISSBACH, H. CÖSTER, 1982. Harnstoff als Konservierungsmittel bei der Lagerung feuchter Futterstoffe. 3. Mitteilung: Verfütterung von harnstoffkonserviertem Feuchtgetreide an Mastrinder. Arch. Tierernähr **32:2**, 99–108.
- SCHULDT, A., 1989. Einfluss der Getreideart, der technischen Behandlung von Getreide sowie der Rationszusammensetzung auf den Ort und das Ausmaß der Verdauung der Getreidestärke in Milchkühen. Diss., Agrarwiss. Fak., Christian-Albrechts-Univ., Kiel, 130 S.
- SCHULZ, F.A., 1986. Mikroorganismenbesatz auf eingelagertem Getreide – ein Überblick. In: Getreidekonservierung und –lagerung; Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (Eds), Münster-Hiltrup, S. 21–26.
- SHANNAK, S., 2000. Organic matter and crude protein degradation characteristics of feedstuffs during in situ ruminal fermentation. Diss., Agrarwiss. Fak., Christian-Albrechts-Univ., Kiel, 73 S.
- SIEGFRIED, R., H. RÜCKEMANN, G. STUMPF, 1984. Eine HPLC-Methode zur Bestimmung organischer Säuren in Silagen. Landwirtsch. Forsch. **37**, 298-304.

- STREETER, M.N., D.G. WAGNER, F.N. OWENS, C.A. HIBBERD, 1989. Combinations 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.
- SÜDEKUM, K.-H., M. BRANDT, A. SCHULDT, T. VEARASILP, 1991. Digestion of cell-wall carbohydrates in the large intestine of dairy cows. In: *Digestive Physiology of the Hindgut*. M. Kirchgeßner (Ed), *Adv. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* **22**, 93-96.
- TACKETT, V.L., J.A. BETRAND, T.C. JENKINS, F.E. PARDUE, L.W. GRIMES, 1996. Interaction of dietary fat and acid detergent fiber diets of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* **79**, 270-275.
- TYMCHUK, S.M., G.R. KHORASANI, M.L. SWIFT, J.J. KENNELLY, 1997. Effect of formaldehyde and heat treatment on extent of rumen escape of canola seed protein and lipid. *Can. J. Anim. Sci.* **77**, 542.
- TYMCHUK, S.M., G.R. KHORASANI, J.J. KENNELLY, 1998. Effect of feeding formaldehyde- and heat-treated oil seed upon milk yield and milk composition. *Can. J. Anim. Sci.* **78**, 693-700.
- VAN SOEST, P.J., ROBERTSON, J.B., LEWIS, B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* **74**, 3583-3597.
- WANG, Y, T.A. MCALLISTER, D.R. ZOBELL, M.D. PICKARD, Z. MIR, K.-J. CHENG, 1997. The effect of micronization of full-fat canola seed on digestion in the rumen and total tract of dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.* **77**, 431-440.

WEISBJERG, M.R., P.K. BHARGAVA, T. HVELPLUND, J. MADSEN, 1990. Anvendelse af nedbrydningsprofiler i fodermiddelvurderingen. Beretning fra Statens Husdyrbrugsforsøg No. 679. Tjele, 33 pp.

WINOWSKI, T.S., 1991. Ruminant feed method of making and method of using. United States Patent 5,023,091. June 11, 1991.

DANKSAGUNG

Nach Abschluss meiner Dissertation möchte ich mich bei allen herzlich bedanken, die mir in vielfältiger Weise bei der Erstellung der vorliegenden Arbeit geholfen haben. Ich werde mich immer gerne an meine Doktorandenzeit und an das freundliche, von Hilfsbereitschaft geprägte, kollegiale Klima erinnern!

Der Christian-Albrechts-Universität danke ich herzlich für die Gewährung eines Stipendiums (Promotionsstipendium zur Förderung des Wissenschaftlichen und künstlerischen Nachwuchses des Landes Schleswig-Holstein).

Mein besonderer Dank gilt:

Herrn Prof. Dr. Karl-Heinz Südekum für die Aufnahme am Institut für Tierernährung und Stoffwechselfysiologie und die Überlassung des Themas. Besonders zu erwähnen ist seine Unterstützung beginnend bei der Versuchsplanung bis hin zum Zusammenschreiben der Arbeit, sowie seine große Diskussions- und Hilfsbereitschaft.

Den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Institutes für Tierernährung und Stoffwechselfysiologie für ihre Hilfsbereitschaft bei der Durchführung der Tierversuche und der Laboranalysen. Speziell möchte ich mich bei Rita Kopp und Monika Paschke-Beese für die Unterstützung bei der Bearbeitung meiner Proben bedanken. Ein ganz herzliches Dankeschön geht an Wiebke Kühl, die mir immer mit Rat und Tat im Labor sowie im Stall zur Seite stand.

Herrn O. Schade und Herrn N. Reher für die Bereitstellung der Rapsexpeller und der gemahlene Sojabohnen sowie der Landprodukte GmbH Frauenhagen/Mürow (Brandenburg) für die Bereitstellung des Feuchtgetreides.

Dem Institut für Agrartechnik Bornim (ITB), Potsdam, für die gute Zusammenarbeit. Herrn Prof. C. Fürll, Frau Dr. C. Idler und Herrn T. Hoffmann danke ich für die logistische und analytische Unterstützung meiner Arbeit.

Meinem Mann Hans Heinrich Wulf danke ich von ganzem Herzen für seinen Zuspruch und seinen moralischen Beistand besonders in „stürmischen“ Zeiten.

LEBENS LAUF

Name: Maike Wulf, geb. Klein
Geburtstag: 04.12.1973
Geburtsort: Neumünster
Staatsangehörigkeit: deutsch
Familienstand: verheiratet mit Hans Heinrich Wulf
11.02.2004 Geburt von Jan Henrik Wulf

Schulbildung:

1980 – 1984 Grundschule Großenaspe
1984 – 1990 Realschule Bad Bramstedt
1990 – 1993 Theodor-Litt-Schule, Neumünster
Abschluss: Abitur

Berufsausbildung:

1993 – 1995 Landwirtschaftliche Ausbildung

Studium:

1995 – 2000 Studium der Agrarwissenschaften, Fachrichtung
Tierproduktion, an der Christian-Albrechts-Universität in Kiel
Abschluss: Diplom-Agraringeneurin

Dissertation:

2000 – 2003 Institut für Tierernährung und Stoffwechselfysiologie,
Christian-Albrechts-Universität in Kiel

Tag der Disputation 06.11.2003