

Universität für Bodenkultur Wien

Department für Nachhaltige Agrarsysteme
Institut für Nutztierwissenschaften
(Vorstand: Univ. Prof. Dr.med.vet. Christoph Winckler)

Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft

Raumberg-Gumpenstein
Institut für Nutztierforschung
(Leiter: Univ.-Doz. Dr. L. Gruber)
Institut für Artgemäße Tierhaltung u. Tiergesundheit
(Leiter: Dr. J. Gasteiner)
Institut Für Pflanzenbau u. Kulturlandschaft
(Leiter: Univ.-Doz. Dr. K. Buchgraber)



**AUSWIRKUNGEN UNTERSCHIEDLICHER QUALITÄTEN
VON WIESENFUTTER AUF FUTTERWERT,
LEISTUNGSDATEN UND PANSENSAFT-PARAMETER VON
MILCHKÜHEN**

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
an der Universität für Bodenkultur Wien
Eingereicht von
Dipl.-Ing. Markus Rechberger

Beurteiler:

Univ.-Prof. Dr. Josef Böhm
Univ.-Prof. Dr. Jürgen Zentek

Betreuer:

Univ.-Doz. Dr. L. Gruber

Beratungsteam:

Dr. J. Gasteiner
Univ.-Doz. Dr. K. Buchgraber
Ao. Univ.-Prof. Dr. W. Knaus

Radstadt, August 2011

Danksagung

Mein herzlicher Dank gilt Herrn Univ.-Doz. Dr. Leonhard Gruber und Herrn Dr. Johann Gasteiner. Ohne ihre Unterstützung wäre die vorliegende Studie nicht zustande gekommen bzw. wahrscheinlich nicht zu Ende geführt worden. Ihre Betreuung beschränkte sich nicht nur auf fachliche Belange sondern war auch persönlich eine große Bereicherung für mich.

Auch Herr Univ. Doz. Dr. Karl Buchgraber und Herr Mag. Thomas Guggenberger haben wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Das LFZ Raumberg-Gumpenstein bot ideale Voraussetzungen. In den verschiedenen Phasen meiner Dissertation wurde ich von den jeweils zuständigen Abteilungen stets kompetent, zuvorkommend und freundlich unterstützt.

Besonders erwähnen möchte ich hier Ing. Reinhard Resch vom Institut für Pflanzenbau und Kulturlandschaft und vom Institut für Nutztierforschung Johann Häusler, DI. Marcus Urdl sowie Andrea Adelwöhrer und Helga Bahar.

Dem gesamten Stallteam in Gumpenstein bin ich für ihre Hilfe und die nette Zeit in ihren Reihen sehr verbunden.

Für die Initiierung und die Unterstützung bedanke ich mich bei meinem Vorgesetzten Herrn Dr. Robert Fischer von der Firma Richter Pharma.

Widmen möchte ich diese Arbeit meiner Familie, die mir auch in schwierigen Zeiten beigestanden ist, sowie meiner Lebensgefährtin Elisabeth für ihre Unterstützung und ihr Verständnis.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Zielsetzung und Abgrenzung der Fragestellung	2
2.1 Zielsetzung	2
2.2 Abgrenzung	3
3 Datengrundlagen, Material und Methoden	4
3.1 Datengrundlagen	4
3.1.1 Grundfutter	4
3.1.1.1 Zusammensetzung und Bedeutung für die Milchkuh	4
3.1.1.1.1 Chemismus und Analysen	4
3.1.1.1.2 Inhaltsstoffe, Verdaulichkeit, Futteraufnahme, Energiekonzentration, Trockenmasse	10
3.1.1.1.3 Bedarf: Energie, Eiweiß, Struktur, Mineralstoffe und Vitamine	12
3.1.1.2 Grundfutterqualität und Futterwert	15
3.1.1.3 Einfluss auf die Grundfutterqualität	16
3.1.1.3.1 Geologie, Boden, Standort und Klima, Botanik	16
3.1.1.3.2 Bewirtschaftung (Schnittzeitpunkt, Schnitzzahl, Düngung)	17
3.1.1.3.3 Konservierung (Stabilität, Nährstoffgehalte)	19
3.1.1.4 Auswirkungen der Grundfutterqualität	20
3.1.1.4.1 Milchleistung und Milchinhaltsstoffe	20
3.1.1.4.2 Lebendmasse und Körperkondition	22
3.1.1.4.3 Nährstoffausscheidung	24
3.1.2 Krafftuttereinfluss	25
3.1.2.1 Stoffwechsel	25
3.1.2.1.1 Inhaltsstoffe und Zusammensetzung, Verdaulichkeit, Energie- und Strukturversorgung	25
3.1.2.1.2 Futteraufnahme und Grundfuttermverdrängung	29
3.1.2.2 Leistung	31

3.1.2.2.1 Milchleistung und Milchinhaltsstoffe	31
3.1.2.2.2 Lebendmasse und Körperkondition	33
3.1.2.2.3 Wechselwirkungen: Krafffutter und Rasse, Grundfutterqualität, Laktationsstadium	33
3.1.2.3 Wirtschaftlichkeit und Effizienz	34
3.1.3 Fermentation und Umsetzung im Pansen	36
3.1.3.1 Besonderheiten der Wiederkäuerernährung	38
3.1.3.1.1 Abbau von stickstoffhaltigen Verbindungen	38
3.1.3.1.2 Abbau von Kohlenhydraten	39
3.1.3.1.3 Abbau von Fetten	42
3.1.3.2 Pansenmilieu, diätetische Einflussfaktoren und Stoffwechselstörungen	43
3.1.3.2.1 pH-Wert	44
3.1.3.2.2 Flüchtige Fettsäuren	47
3.1.3.2.3 Temperatur	49
3.1.3.3 Pansenazidose	50
3.1.3.3.1 Entstehung und Ursachen	50
3.1.3.3.2 Einteilung	51
3.1.3.3.3 Diagnose und pH-Wert-Messung	51
3.1.3.3.4 Auswirkungen von Pansenübersäuerung	56
3.1.3.3.5 Prävention und Therapie	58
3.2 Material	61
3.2.1 Grundfutter	61
3.2.1.1 Aufwuchsbedingungen (Standort, Bewirtschaftung, Stadium, Schnitzzahl)	61
3.2.1.2 Ernte und Ertrag	64
3.2.1.3 Konservierung	64
3.2.2 Krafffutter	65
3.2.2.1 Zusammensetzung und technologische Verarbeitung	65
3.2.2.2 Mineralstoffergänzung	66

3.2.3 Versuchstiere, Haltung und Fütterung	66
3.3 Methoden	67
3.3.1 Versuchsaufbau und Versuchsplan	67
3.3.2 Erhebungen	69
3.3.2.1 Futterqualitäten, Futteraufnahme	69
3.3.2.2 pansenphysiologische Parameter	69
3.3.2.3 Milchleistung	70
3.3.2.4 Verdaulichkeit	70
3.3.2.5 Lebendmasse, Körperkondition	70
3.3.3 chemische Analysen	70
3.3.4 Sensortechnik	71
3.3.5 statistische Auswertung	73
4 Ergebnisse	75
4.1 Versuchsverlauf	75
4.2 Futteranalysen	75
4.2.1 Grundfutter	75
4.2.1.2 Gerüstsubstanzen	75
4.2.1.3 Protein	76
4.2.1.4 Verdaulichkeit und Energiekonzentration	76
4.2.1.5 Mineralstoffe	76
4.2.1.6 Sinnenprüfung des Grundfutters	76
4.2.2 Krafffutter	77
4.3 Futteraufnahme, Nährstoffaufnahme und Nährstoffzusammensetzung	78
4.3.1 Futter- und Nährstoffaufnahme	78
4.3.2 Nährstoffzusammensetzung der Versuchsration	79
4.4 Lebendmasse und Körperkondition	85
4.5 Milchleistung und Inhaltsstoffe	85
4.5.1 Milchleistung	85
4.5.2 Milchinhaltstoffe	86

4.6 Bedarfsdeckung	86
4.7 Pansensaftanalyse	90
4.7.1 Flüchtige Fettsäuren	90
4.7.2 pH-Wert	90
4.7.3 Ammonium	90
4.7.4 Azidität und Alkalität	91
4.8 Intraruminale Sensormessungen	99
4.8.1 Temperatur	99
4.8.2 pH-Wert	99
4.8.3 pH-Verweildauer	100
4.8.4 pH-Verlauf	100
5 Diskussion	111
5.1 Futteranalysen und Versorgung	111
5.1.1 Ertrag	111
5.1.2 Rohrnährstoffe	111
5.1.3 Gerüstsubstanzen	112
5.1.4 Verdaulichkeit und Energie	112
5.1.5 Protein	113
5.1.6 Mineralstoffe	113
5.1.7 Sensorische Futterqualität	113
5.1.8 Aufnahme	113
5.1.9 Zusammensetzung der Ingesta	115
5.2 Leistung und Bedarfsdeckung	115
5.2.1 Leistung	115
5.2.2 Bedarfsdeckung	116
5.3 Pansensaft-Parameter	117
5.3.1 Temperatur	117
5.3.2 Fettsäuren	117
5.3.3 Ammonium, Azidität, Alkalität	118

5.3.4 pH-Wert	118
5.3.5 pH-Wert – Verweildauer und Verlauf	119
6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	121
6.1 Schlussfolgerungen	121
6.2 Zusammenfassung	123
6.3 Summary	124
7 Literaturverzeichnis	125
8 Lebenslauf	136

1 Einleitung

Auf Grund des Leistungsniveaus in der heutigen Rinderproduktion und dem damit verbundenen Fütterungsregime (Krafftutteranteil) stellt die Pansenazidose (subacute rumen acidosis, SARA) eine beträchtliche Herausforderung sowohl für Landwirte als auch für Tierärzte dar. Wachsende Betriebsgrößen und ein hoher Druck auf den Gestehungspreis zwingen den Milchproduzenten zur Senkung der Produktionskosten, zur Verbesserung der Produktqualität und zur Steigerung der Arbeitsproduktivität (WENDL 1998).

Unter Pansenazidose sind Störungen des Pansenstoffwechsels zu verstehen, die durch einen zu tiefen pH-Wert im Pansen – unter pH 6,0 – charakterisiert sind (KIRCHGESSNER et al. 2008). Der pH-Wert wird maßgeblich durch die Zusammensetzung der Futtermittelration bestimmt (DIRKSEN 2002). Rationen mit hohem Anteil an leicht und rasch fermentierbaren Kohlenhydraten bei einem gleichzeitig zu geringen Anteil an strukturwirksamer Rohfaser führen zu einer Absäuerung des Vormageninhaltes. Die Konzentration von kurzkettigen Fettsäuren, insbesondere an Milchsäure, im Pansensaft steigt dadurch massiv an, während durch den mangelnden Struktureffekt die Pufferung mittels Speichelsekretion abnimmt. Die Vormagenflora verschiebt sich durch den sinkenden pH-Wert zugunsten grampositiver, milchsäureproduzierender Kokken, was den pH-Wert weiter absinken lässt. Die gramnegative Flora sowie die Protozoenpopulation werden stark dezimiert.

Der hohe Einsatz von leicht und rasch fermentierbaren Kohlenhydraten über Krafftutter und die damit verbundene Verdrängung strukturreicher Grundfuttermittel führt häufig zu bestandsweise auftretenden Problemen durch SARA (GASTEINER 2001, KLEEN et al. 2003).

ENEMARK et al. (2001) geben die subakute Pansenazidose nach der Ketose (26 %) mit 22 % als zweithäufigste Diagnose bei Milchkühen an. Für die USA schwanken die Angaben für die Inzidenz von SARA von 19 % bis 26 % (GARRETT 1996, OETZEL et al. 1999).

Aufgrund der Häufigkeit von SARA können die verursachten Kosten zu einem betriebswirtschaftlichen Problem werden. In den Vereinigten Staaten vermutet man jährlichen Einbußen von zwischen 500 Mio. USD bis 1 Mrd. USD (DONOVAN 1997). Der Verlust pro Kuh wird auf 400 USD bis 475 USD geschätzt (STONE 1999).

Die tiergesundheitslichen Auswirkungen der Pansenazidose sind vielfältig und können von Euterentzündungen über Fruchtbarkeitsprobleme bis hin zu Klauenerkrankungen reichen (DIRKSEN 1990, NOCEK 1997, NORDLUND 2003).

Studien bezüglich Diagnose, Therapie und Prävention der subakuten Pansenazidose sind somit sowohl für die Landwirtschaft als auch für die Veterinärmedizin von Bedeutung.

Dauerhaft nutzbringende Tierhaltung ist nur möglich, wenn der Landwirt
„... von der Natur seiner Tiere gründliche Kenntnisse besitze, um daraus im Allgemeinen, wie in vielen besonderen Fällen eine möglichst naturgemäße Behandlung abzuleiten, ohne die ein befriedigendes Ziel niemals erreicht werden kann.“
(Heinrich Wilhelm von Pabst, 1798-1868)

2 Zielsetzung und Abgrenzung der Fragestellung

Der Nachweis der subakuten Pansenazidose (SARA) ist derzeit vor allem indirekt und retrospektiv und basiert auf sekundären klinischen Symptomen. Anzeichen sind Durchfall und ein Rückgang der Futteraufnahme (BLOOD und RADOSTITS 1989, NORDLUND und GARRETT 1994), ein gesteigerter Anteil an unverdauten Partikeln im Kot (GASTEINER 2001), die Depression des Milchfettgehaltes und des Fett/Eiweiß-Quotienten (SEEMANN und SPOHR 2007) sowie eine verminderte Milch- und Produktionsleistung (DIRKSEN 1990, NORDLUND et al. 1995, OSSENT et al. 1997, GANTKE et al. 1998, OWENS et al. 1998, COOPER et al. 1999, LISCHER und OSSENT 2002, NORDLUND 2003).

Da SARA auf Managementproblemen basiert und damit nicht nur bei Einzeltieren sondern bestandsweise gehäuft auftritt, wird sie oft erst nach der Korrektur des Fütterungsregimes, also im Nachhinein bestätigt (GASTEINER et al. 2008). Erst die Kombination von klinischer Untersuchung, Futtermittelbeurteilung, Rationsbewertung bzw. –berechnung sowie die Analyse des Pansensaftes stellen die Grundlage zur frühzeitigen Erkennung, noch besser zur Vorbeugung von SARA dar (GASTEINER et al. 2008).

2.1 Zielsetzung der Fragestellung

Ziel dieser Arbeit ist es, den Einfluss der Qualität von Wiesenfutter auf Futterwert, Leistungsdaten und Pansensaft-Parameter von Milchkühen sowie die Bedeutung des Krafftuttereinsatzes festzustellen.

Als langfristige Ziele können die Verbesserung der Tiergesundheit aufgrund geeigneter Massnahmen im Fütterungsregime zur Vermeidung von SARA sowie die Optimierung des wirtschaftlichen Erfolges im Milchviehbetrieb gesehen werden. Eine Kostenreduzierung für den Landwirt ergäbe sich zum Einen durch eine Reduktion der Tierarztkosten, zum Anderen aufgrund einer Aufrechterhaltung der Milchleistung, Vermeidung von Wartezeiten nach dem Einsatz von pharmazeutischen Präparaten sowie durch Erhöhung der Nutzungsdauer der Tiere.

Die Praxistauglichkeit des Pansensensors soll ebenfalls weiter entwickelt werden. Mittelfristig wäre ein Einsatz der Pansensonden in großen Betrieben bei speziell ausgewählten Indikatortieren vorstellbar.

Damit wäre der Forderung nach einer möglichst genauen Beobachtung des Befindens, der Gesundheit und der Leistung der einzelnen Tiere für eine erfolgreiche Rinderhaltung Rechnung getragen (BRUNSCH et al. 2001). Die Ergebnisse der pH-Wert-Messung könnten gut in eine Integrierte Tierärztliche Bestandsbetreuung (ITB) eingebaut werden. Als Bestandsbetreuung wird eine Integration von Management- und Produktionsplänen mit Plänen zur Erhaltung eines hohen Gesundheitsstatus verstanden. Ziel ist die Gewinnmaximierung für den Landwirt (SAUNDERS 2001), bzw. die Arbeit von Landwirt und Tierarzt zu erleichtern, die Leistung einer Herde dauerhaft zu verbessern und den Betrieb vor wirtschaftlichen Einbußen so weit wie möglich zu schützen (SIEVERS 2005).

2.2 Abgrenzung der Fragestellung

Um eine wirklich aussagekräftige Diagnose einer subakuten Azidose zu erhalten, ist die Messung des pH-Wertes vom Pansensaft notwendig (OETZEL 2003).

Bisher standen zur Probenentnahme von Pansensaft verschiedene Sonden zur peroralen Entnahme oder die Rumenozentese zur Verfügung (DUFFIELD et al. 2004). Beide Methoden sind in der Praxis jedoch umstritten. So wird der pH-Wert durch die Methode der Schlundsonden-Entnahme aufgrund möglicher Speichelbeimengungen beeinflusst. Die Methode der Pansensaftgewinnung durch Rumenozentese kann negative Auswirkungen auf die Tiergesundheit haben (DIRKSEN 1990, GEISHAUSER und GITZEL 1996, SEEMANN und SPOHR 2007, STRABEL 2007).

Mit Hilfe von neuen, eigens entwickelten Sonden zur kabellosen, intra-ruminalen pH-Wert-Messung und externen Empfangsgeräten können nun erstmals pH-Wert und Temperatur ohne Einfluss von Messtechnik im Zeitverlauf gemessen werden.

Besonderes Augenmerk soll auf die Messung der Werte im zeitlichen Verlauf gelegt werden, da nicht nur die Extreme, sondern vor allem die Dauer des pH-Wertes unter einem bestimmten Niveau entscheidend für die Entstehung von SARA ist (NOCEK 2002, SEEMANN und SPOHR 2007, CERRATO-SANCHEZ et al. 2008).

In einem drei-faktoriellen Versuchsdesign wird der Einfluss der Konservierungsart (Heu vs. Silage) und des Vegetationsstadiums (jüngeres vs. älteres Futter vom 1. Aufwuchs) sowie des Krafftutterniveaus auf die genannten Parameter untersucht.

3 Datengrundlagen, Material und Methoden

3.1 Datengrundlagen

3.1.1 Grundfutter

3.1.1.1 Zusammensetzung und Bedeutung für die Milchkuh

Als Ergebnis einer Entwicklungsgeschichte, die im Miozän ihren Ursprung genommen hat, konnte sich der Wiederkäuer ausgezeichnet an eine ökologische Nische anpassen. Durch sein spezielles Verdauungssystem ist er in der Lage, Symbionten ein optimales Milieu in den Vormägen anzubieten. Im Gegenzug bauen diese Mikroben jene faserreichen Futterbestandteile ab, die ansonsten für die Wirtstiere aufgrund ihrer Enzymausstattung nicht für ihren Stoffwechsel verfügbar wären. Dadurch können wiederkauende Tierarten auch schwer verdauliche Kohlenhydrate als Nahrungsquelle nutzen. So entstehen durch Fermentation von Pflanzenbestandteilen Essigsäure, Propionsäure und Buttersäure. Diese kurzkettigen Fettsäuren sind die Grundlage der Energieversorgung von Wiederkäuern. Der zweite Aspekt dieser „win-win“-Symbiose stellt die zur Verfügungstellung von Mikrobenprotein mit hoher biologischer Wertigkeit aufgrund seines Aminosäurenmusters dar.

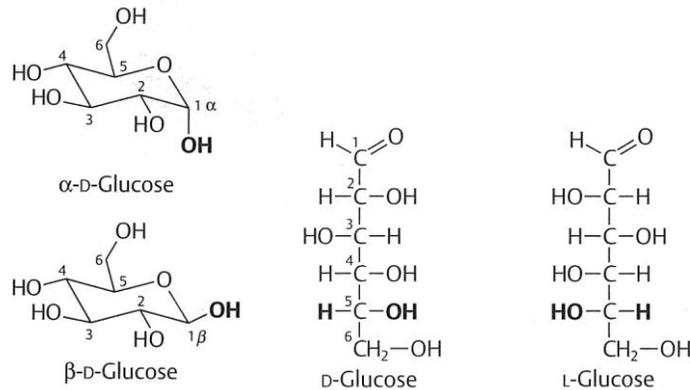
3.1.1.1.1 Chemismus und Analysen

Wiesenfutter ist ein hochgradig inhomogenes Futtermittel. Wie hoch der Anteil der verschiedenen Inhaltsstoffe ist, hängt von den Pflanzenarten bzw. der botanischen Zusammensetzung, von Vegetationsstadium und Schnittzeitpunkt, von Standort und Jahreszeit sowie von Jahreswitterung und Düngung ab (WEISS et al. 2000). Da dieses phototrophe „Grundfutter“ die Basis für seine Lebensäußerungen und die Leistungsfähigkeit landwirtschaftlich genutzter, organotropher, Tiere darstellt, ist die Erfassung der Futterbestandteile sowie die exakte Analyse der einzelnen Komponenten von großer Bedeutung.

Kohlenhydrate:

Sie sind die primären Syntheseprodukte der Photosynthese, weshalb die Trockenmasse des Pflanzenkörpers zu 70-80 % aus Kohlenhydraten besteht. Kohlenhydrate machen den überwiegenden Teil der Energieträger in der Pflanze aus. Sie sind aus Zuckermonomeren ($C_x(H_2O)_y$) zusammengesetzt. Nach Ihrer Struktur handelt es sich um Polyalkohole, deren primäre und sekundäre Hydroxylgruppe oxidiert ist, wobei sie entweder Aldose- oder Ketoseform einnehmen (DUDEN „CHEMIE“ 1984). Maßgeblich für ihre chemischen Eigenschaften ist zum Einen die Konfiguration jenes asymmetrisch substituierten Kohlenstoff-Atoms, das am weitesten von der Carbonyl-Gruppe entfernt ist (D/L-Form), zum Anderen die Art und der Ort des Ringschlusses des Monosaccharides (MORTIMER 1996). Um eine α -glycosidische Bindung handelt es sich, wenn die OH-Gruppen am Bindungsort nicht drehen und somit in einer Ebene liegen, von einer β -glycosidischen Bindung spricht man, wenn sie dies hingegen schon tun.

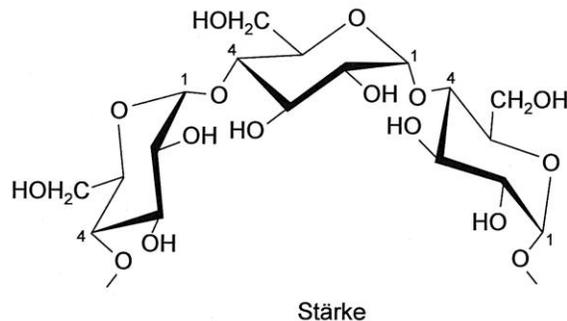
Grafik 1: D/L-Form, α/β -glycosidische Bindung von Glukose (MORTIMER 1996)



Die mengenmäßig bedeutendsten Zucker bestehen aus 5 bzw. 6 C-Atomen (Pentosen, Hexosen). Je nach Bindung besitzen die entstehenden Polymere unterschiedliche Eigenschaften. Stärke und Glykogen sind Polysaccharide der D-Glucose (eine C_6 -Aldose) mit α 1-4-Bindung (bzw. 1-6). Deshalb sind sie schraubenförmig gewunden, wasserlöslich und quellfähig. Hier liegt ihre hohe Verdaulichkeit zugrunde.

Stärke ist das wichtigste Assimilationsprodukt der Pflanzen. Sie ist das häufigste Reservopolysaccharid der Pflanzen (NULTSCH 1986) und besteht aus Amylose (ca. 25 %) und Amylopektin (ca. 75 %). Durch Enzymeinwirkung wird Stärke über Dextrine und Maltose zur Glukose abgebaut.

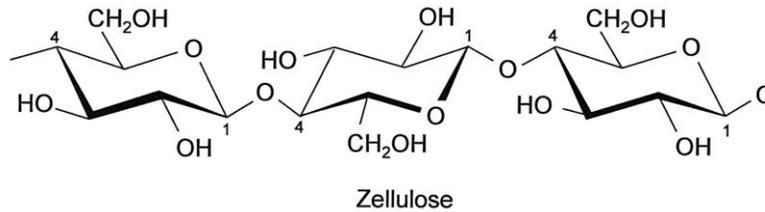
Grafik 2: Stärkedarstellung (NULTSCH 1986)



Zellulose besteht zwar auch aus tausenden von Glukosemolekülen, weist hingegen eine β 1-4-glycosidische Bindung auf, die dazu führt, dass langgestreckte, gerade und schwer lösliche Polysaccharide entstehen (NULTSCH 1986). Solche „Fibrillen“ werden zusätzlich durch Wasserstoffbrücken stabilisiert. Zellulose ist somit ausgezeichnet für die Bildung von Zellwänden und Gerüstsubstanzen geeignet.

Zellulose ist farb- und geruchlos und unlöslich in Wasser und organischen Lösungsmitteln. Sie ist der Hauptbestandteil der pflanzlichen Zellmembran und damit die weitaus häufigste organische Verbindung; sie kann nur von wenigen Lebewesen, meist Mikroorganismen abgebaut werden (DUDEN „CHEMIE“ 1984). Die Verdaulichkeit hängt stark vom Grad der Lignifizierung ab.

Grafik 3: Zellulosedarstellung (NULTSCH 1986)



Während Zellulose und Stärke aus C₆-Zuckern bestehen, finden sich in der Hemizellulose auch Pentosen (z.B. Xylose, Arabinose). Hemizellulosen sind sehr heterogen, ihre Zusammensetzung hängt nicht nur von der Pflanzenspezies sondern auch vom Pflanzenteil ab. In jedem Fall bilden sie die Grundsubstanz (Matrix) der Zellwand (NULTSCH 1986).

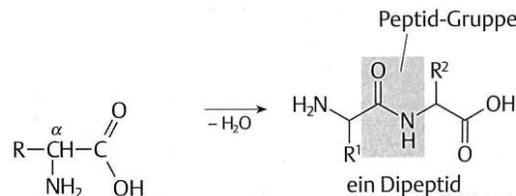
Die Interzellulardsubstanz besteht vornehmlich aus Pektinen und Polymeren von sauren Polysacchariden (v.a. Galakturonsäure). Sie kommen besonders in der Mittellamelle vor. Lignine sind keine Kohlenhydrate, sondern Mischpolymere aus Phenylpropanen, die sich zu einem dreidimensionalen Gitter vernetzen und so die Zellwand durchdringen (NULTSCH 1986). Sie sind kaum abbaubar. Ligninreiche Pflanzenteile vermindern die Verdaulichkeit von Nährstoffen.

Nach heutigem Verständnis geht man davon aus, dass Lignin in der Zellwand aus hochkondensiertem Phenylpropan (Kernlignin) gebildet wird. Hemizellulose bindet hauptsächlich über die p-Cumarsäure und die Ferulasäure (Nichtkern-Lignin). So entstehen elastische Verbindungen.

Proteine:

Proteine sind Makromoleküle, deren Grundbausteine Aminosäuren sind. Das charakteristische Merkmal ist die Peptidbindung.

Grafik 4: Protein, Protein mit Peptidbindung (MORTIMER 1996)



Sie führen dem Organismus als einziger Nährstoff nennenswerte Mengen an Stickstoff zu (KIRCHGESSNER et al. 2008). Die Trockenmasse des Pflanzenkörpers besteht zu 10-20 % aus Protein.

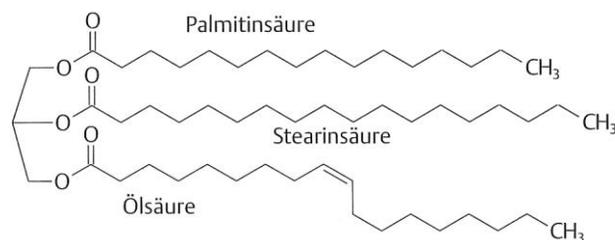
Beim Wiederkäuer wird ein großer Teil der Nahrungsproteine bereits im Pansen umgesetzt. Die Proteinverdauung wird durch proteolytische Enzyme der Mikroorganismen katalysiert, wobei Futterproteine schrittweise zu Aminosäuren abgebaut und größtenteils weiter zu Ammoniak gespalten werden. Beim Abbau des Kohlenstoffgerüsts entstehen CO₂ und flüchtige Fettsäuren.

Stickstoffhaltige Verbindungen ohne strukturelle Eigenschaften eines Proteins (d.h. ohne Peptidbindung) werden als Nicht-Protein-Stickstoff (NPN) bezeichnet. Sie können meist nur mikrobiell verwertet werden, weswegen sie für Wiederkäuer einen gewissen ernährungsphysiologischen Wert haben. NPN sind reichlich in Grünfütterpflanzen (15 %), in vegetativen Speicherorganen wie Wurzeln, Knollen und Zwiebeln (bis zu 50 %) sowie in Körnern und Samen enthalten. Die absoluten Gehalts-Mengen gehen jedoch mit zunehmender Reife zurück (KIRCHGESSNER et al. 2008).

Fette:

Lediglich etwa 3 % der Pflanzentrockenmasse bestehen aus Fetten. Hierbei handelt es sich vor allem um nicht hydrolysierbare Lipide. Ester des dreiwertigen Alkohols Glycerin binden drei Fettsäuren (gestreckte Carbonsäuren) und bilden so Triglyceride.

Grafik 5: Beispiel – Triglycerid (MORTIMER 1996)

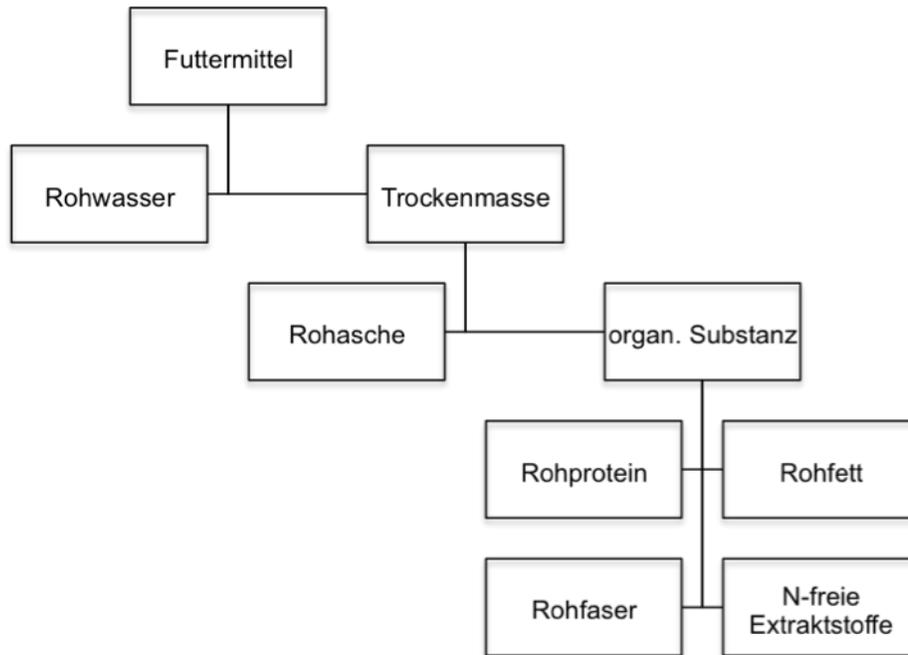


Die Fettverbrennung ergibt im Vergleich zu anderen Nährstoffen die höchste Energieausbeute (ca. 39 kJ/g). Aufgrund ihres hohen Energiegehaltes und der nahezu wasserfreien Speicherung sind Triglyceride eine ideale Form der Energiereserve. In der Pflanze sind sie vor allem in den Samen und ölhaltigen Früchten gespeichert (KIRCHGESSNER et al. 2008).

Weender Futtermittelanalyse:

Die Weender Analyse (HENNEBERG und STOHMANN 1864) wurde an der landwirtschaftlichen Versuchsanstalt in Weende bei Göttingen als Methode zur Charakterisierung von Futtermitteln entwickelt. Ein Nachteil dieses relativ einfachen Verfahrens ist, dass nicht alle Nährstofffraktionen chemisch bestimmt werden, sondern einige lediglich rechnerisch aus Differenzen ermittelt werden.

Grafik 6: Weender Futtermittelanalyse (nach KIRCHGESSNER et al. 2008)



Im ersten Schritt wird eine zerkleinerte Probe für vier Stunden bei 103 °C getrocknet. Die so bestimmte Trockenmasse ist geringgradig fehlerhaft, da die Bezeichnung „Rohwasser“ darauf hinweist, dass bei der Trocknung auch flüchtige, kurzkettige Fettsäuren, Ammoniak, ätherische Öle und andere flüchtige Substanzen entweichen.

Durch Veraschung im Muffelofen bei 550 °C wird die organische von der anorganischen Komponente getrennt. Da die organische Substanz (OS) vorwiegend aus Kohlenstoff besteht, verbleibt die anorganische Substanz als „Rohasche“. Auch hier entstehen Unkorrektheiten aufgrund der Annahme, dass alles Organische aus Kohlenstoff besteht und im Weiteren die OS aus der Differenz: TM – Rohasche errechnet wird und somit nicht direkt auf einer Analyse basiert.

Rohprotein wird meist nach Kjeldahl durch Aufschluss mit Schwefelsäure und Destillation und Titration des freigesetzten Ammoniaks bestimmt.

Rohfett analysiert man mittels Extraktion mit Petrolether im Soxhlet-Apparat. Dadurch erfasst man jedoch eine sehr heterogene Gruppe, die eigentlich wenig Aussage über den energetischen Wert zulässt, da z.B. Wachse, Harze und Farbstoffe vom tierischen Organismus nicht verstoffwechselt werden können.

Rohfaser bezeichnet den in Säuren und Laugen unlöslichen fett-, stickstoff- und aschefreien Rückstand der Trockenmasse. Jener Teil dieser Fraktion, die schon in Lösung geht, wird als „N-freie Extraktstoffe“ bezeichnet und nur rechnerisch erfasst.

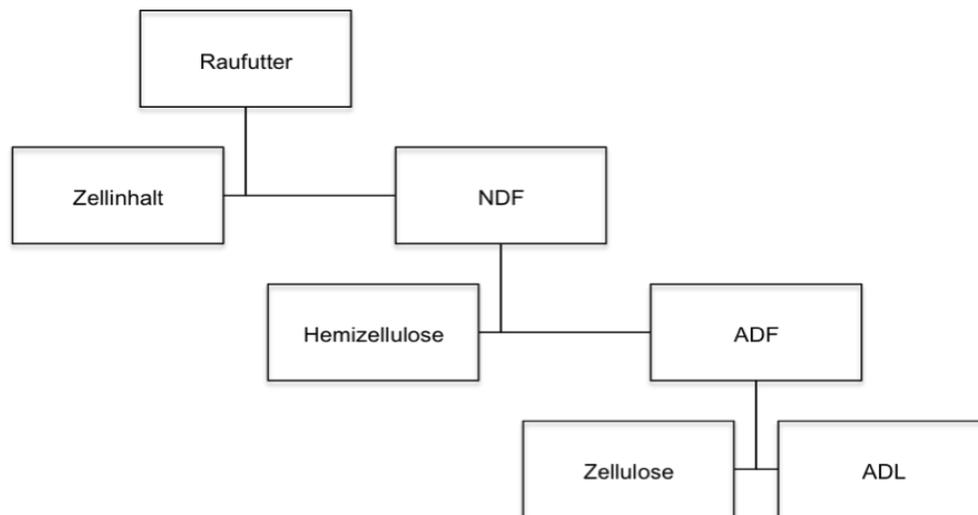
Die Rohnährstoffgruppen dieser Analyse sind keine einheitlichen chemischen Stoffgruppen, sondern lediglich Gruppierungen mit ähnlichen chemischen Eigenschaften (TAFERNER 2006). Für einen relativen Vergleich verschiedener Futtermittel sind die Verhältnisse der Rohnährstoffe durchaus geeignet, zur exakten Beurteilung von

verdauungsphysiologischen Vorgängen sind vor allem die Informationen über die Kohlenhydratfraktionen unzureichend.

Detergentienanalyse nach van Soest:

Die Rohfaser aus der Weender Analyse entspricht nicht der tatsächlichen Faser des Futtermittels, weil durch ungeeignete Lösungsmittel auch Hemizellulose und Teile von Lignin in Lösung gehen. Somit ergibt sich zwangsläufig auch eine falsche Einschätzung des Gehaltes von Nichtfaser-Kohlenhydraten. Gerade die Fähigkeit des Wiederkäuers, bestimmte Faser-Kohlenhydrate als Nährstoffquelle zu nutzen, ist von besonderer Bedeutung, weshalb von van Soest die sogenannte Detergentien-Analyse entwickelt wurde. Damit kann zwischen Nichtfaserstoffen aus dem Zellinhalt (lösliche Kohlenhydrate, Stärke, organische Säuren, Protein), die nahezu vollständig verdaulich sind, und Faserstoffen der Zellwand, die nur durch die mikrobielle Fermentation in den Vormägen genutzt werden können, unterschieden werden.

Grafik 7: Prinzip der Detergentienanalyse nach van Soest
(nach KIRCHGESSNER et al. 2008)

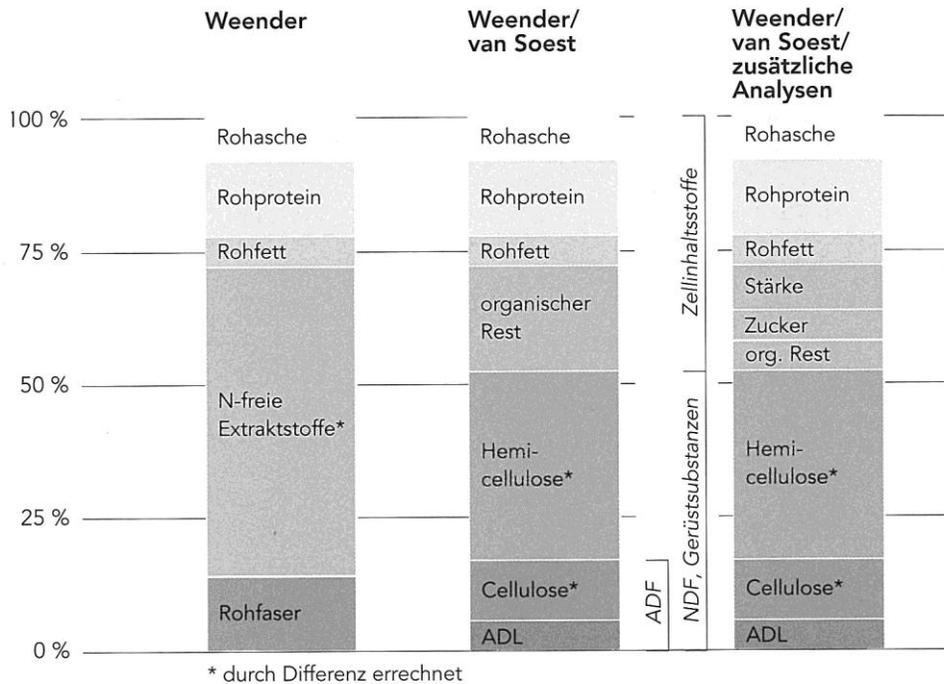


Die Summe der Gerüstsubstanzen wird dabei als Rückstand nach dem Kochen in Neutraldetergentien-Lösung erhalten (NDF, neutral detergent fiber). Die Detergentien-Lösung besteht aus Na-Lauryl-Sulfat, EDTA und Triethylen-Glykol sowie Puffern.

Hemizellulose lässt sich durch Behandlung der Probe mit saurer Detergentien-Lösung (CTAB in Schwefelsäure) lösen. Der Rückstand wird als ADF (acid detergent fiber) bezeichnet und enthält im wesentlichen Zellulose und Lignin.

Im letzten Schritt wird durch Kochen in Schwefelsäure (72 %) auch die Zellulose gelöst, über bleibt nur Lignin, ADL (acid detergent lignin).

Grafik 8: Futtermittelanalyse nach Weende bzw. van Soest (KIRCHGESSNER et al. 2008)



Auch diese Methode arbeitet mit Stoffgruppen und nicht mit chemisch definierten Substanzen. Der große Vorteil besteht jedoch in der Tatsache, dass vom Begriff „Rohfaser“ Abstand genommen werden kann und die N-freien Extraktstoffe einer Aufgliederung weichen müssen.

Folgende Gleichungen kommen zum Einsatz:

$$\begin{aligned} \text{NFC} &= \text{TM} - (\text{XA} + \text{XP} + \text{XL} + \text{NDF}) \\ \text{Hemizellulose} &= \text{NDF} - \text{ADF} \\ \text{Zellulose} &= \text{ADF} - \text{ADL} \end{aligned}$$

3.1.1.1.2 Inhaltsstoffe, Verdaulichkeit, Futteraufnahme, Energiekonzentration, Trockenmasse

Zur genauen Beschreibung der Inhaltsstoffe eines Futtermittels wurde in den 1990er Jahren von Mitarbeitern der Cornell University (USA) ein mathematisches Modell mit der Bezeichnung „Cornell Net Carbohydrate and Protein System“ (CNCPS) entwickelt (FOX et al. 1992). Es berücksichtigt die ruminale Fermentation, die Verfügbarkeit von Kohlenhydraten und Protein sowie den Bedarf der Tiere und die Rationsbewertung (GRUBER 2009).

Das CNCPS geht von der Annahme aus, dass Futtermittel aus Kohlenhydraten, Protein, Fett, Asche und Wasser bestehen. Kohlenhydrate und Proteine werden bezugnehmend auf die unterschiedliche Abbaurate in sog. Fraktionen unterteilt. So sind vier Kohlenhydrat- und fünf Proteinfractionen unterscheidbar. Mit „A“ gekennzeichnete Fraktionen sind im Pansen sofort und vollständig abbaubar, Fraktionen „B“ stehen den Mikroben zur Fermentation in unterschiedlicher Geschwindigkeit zur Verfügung. Die Fraktion „C“ ist nicht abbaubar.

Bei den Kohlenhydraten (CHO) unterscheidet man zwischen Faser- (FC) und Nichtfaserkohlenhydraten (NFC). Erstere beinhalten Zellulose, Hemizellulose und Lignin.

Die Fraktionen werden folgendermaßen ermittelt (SNIFFEN et al. 1992):

$$\begin{aligned} \text{CHO} &= \text{TM} - (\text{XP} + \text{XL} + \text{XA}) \\ \text{C} &= \text{ADL} \times 2,4 \\ \text{B}_2 &= \text{NDF} - (\text{NDIP} + \text{C}) \\ \text{FC} &= \text{C} + \text{B}_2 \\ \text{NFC} &= \text{CHO} - \text{FC} \\ \text{B}_1 &= \text{XS} + \text{Pektin} \\ \text{A} &= \text{NFC} - \text{B}_1 \end{aligned}$$

Tabelle 1: Fraktionen der Kohlenhydrate nach CNCPS

Fraktionen	Kohlenhydrate
A	Zucker und flüchtige Substanzen
B ₁	Stärke und Pektine
B ₂	Verdauliche Faserkohlenhydrate
C	Unverdauliche Faser

Auch die Fraktionen des Proteins entsprechen deren Abbauraten. A und B₁ stellen die löslichen Bestandteile (SolXP) dar. Bei C handelt es sich um Zellwandprotein, das nicht aus der Matrix gelöst werden kann (acid detergent insoluble Protein, ADIP).

Tabelle 2: Fraktionen der Proteine nach CNCPS

Fraktionen	Proteine
A	Sofort und vollständig abbaubares Protein (NPN)
B ₁	Rasch abbaubares, lösliches, echtes Protein (Albumin, Globulin)
B ₂	Protein mit mittlerer Abbaurrate (Glutelin)
B ₃	Langsam abbaubares Protein (Extensin, Prolamin)
C	Unabbaubares Protein (nicht verfügbar, an Zellwand gebunden)

$$\begin{aligned} \text{Rohprotein (XP)} &= \text{Kjeldahl-N} \times 6,25 \\ \text{SolXP} &= \text{A} + \text{B}_1 \\ \text{A} &= \text{SolXP} - \text{B}_1 \\ \text{B}_1 &= \text{SolXP} - \text{A} \\ \text{C} &= \text{ADIP} \\ \text{B}_3 &= \text{NDIP} - \text{ADIP} \\ \text{B}_2 &= \text{XP} - (\text{A} + \text{B}_1 + \text{B}_3 + \text{C}) \end{aligned}$$

Die effektive Verdaulichkeit eines Nährstoffes hängt sowohl von der Fermentationsrate als auch von seiner Passagerate ab:

$$\text{deg} = k_f / (k_f + k_p)$$

Die Fermentationsrate hängt vor allem vom Futtermittel selbst, zum Teil auch von der Wiederkautätigkeit und der Futtermittelverarbeitung ab. In den Fraktionen A und B₁ wird ein hoher Anteil im Pansen fermentiert, die Passage fällt nicht stark ins Gewicht.

Die Passagerate kann als Antagonist angesehen werden. Sie ist in den Fraktionen B₂ und C sehr hoch und wird von Futteraufnahme, Partikelgröße und Futterart bestimmt.

Mit steigender Futteraufnahme erhöht sich die Passagerate, die effektive Abbaubarkeit sinkt.

Umgekehrt erhöht eine hohe Verdaulichkeit die Futteraufnahme, da zum Einen bei einer Ration mit hohem Anteil an Gerüstsubstanzen der Pansen die physikalische Maximalfüllung erreicht, zum Anderen bei einem hohen Anteil an rasch fermentierbaren Bestandteilen die physiologische Sättigung eintritt.

Während der Vegetation finden grundlegende morphologische und chemische Veränderungen des Wiesenfutters statt. Das Vegetationsstadium bestimmt den Anteil und die Zusammensetzung der Gerüstsubstanzen und auch die Art der Zellinhaltsstoffe. Sowohl Futteraufnahme, Verdaulichkeit als auch Energiegehalt des Wiesenfutters sinken mit fortschreitender Reife des Pflanzenbestandes und vermindern dadurch den Futterwert.

Höhere Futterwerte und damit verbundene höhere Futteraufnahmen bewirken höhere Milchleistungen. Eine gesteigerte Individualleistung ist aber nicht mit einer besseren Flächenleistung gleichzusetzen. Untersuchungen haben gezeigt, dass aufgrund von geringerer Besatzdichte die höchste Flächenproduktivität bei mittlerer Schnitthäufigkeit (d.h. bei mittlerer Grundfutterqualität) zu erzielen ist (GRUBER et al. 2000). Limitierende Faktoren sind aber in jedem Fall die Stabilität des Pflanzenbestandes sowie die stoffwechselphysiologischen Vorgänge im Pansen.

Zusammensetzung und Inhaltsstoffe sowie die Eignung zur Deckung des leistungsbezogenen Bedarfs des Wiederkäuers hängen von der Qualität und daher von einer gewissenhaften Grünlandwirtschaft ab.

3.1.1.1.3 Bedarf: Energie, Eiweiß, Struktur, Mineralstoffe und Vitamine

Der tierische Organismus ist gezwungen, die in den Nährstoffen aufgenommene Energie umfassend zu nutzen. Mithilfe von Zitratzyklus und Atmungskette steht dem Körper Energie für Erhaltung und Leistung zur Verfügung. Die Verluste am physikalischen Brennwert der Futterenergie sind durch die Bildung von Methan und Fermentationswärme bedingt (KIRCHGESSNER et al. 2008). Nach Abzug der Extrawärme steht die Nettoenergie zur Verfügung. Neben der Lebendmasse sind für den Erhaltungsbedarf weiters das genetische Potential, eventueller Weidegang, das Leistungsniveau sowie Umweltfaktoren wie die Umgebungstemperatur von Bedeutung. Als Leistung ist bei der Milchkuh das Wachstum, die Trächtigkeit, das Anlegen von körpereigenen Reserven und die Milchleistung anzusehen. Grundsätzlich benötigen diese Leistungen etwa doppelt so viel Energie wie die reine Erhaltung.

In der praktischen Rationsgestaltung wird die Gesamtfutteraufnahme nach Kenntnis der Einzelkomponenten (z.B. Grundfutter, Krafffutter) und ihres Verzehrs berechnet und dem Energiebedarf, der sich in Abhängigkeit der täglichen Milchleistung ergibt, gegenübergestellt (SCHWARZ 2000). Wichtig ist, dass die Energieversorgung sowohl von der Energiekonzentration als auch von der Gesamtfutteraufnahmeabhängigkeit abhängt. SCHWARZ (2000) sieht daher als wichtigstes Ziel des Futtermanagements die Maximierung der Gesamtfutteraufnahme bei Berücksichtigung des Laktationsstandes. Über die Grundfutteraufnahme entscheidet dessen Qualität und in weiterer Folge die mögliche Ergänzung mit Krafffutter. Die Grundfutterverdrängung spielt hier eine maßgebliche Rolle.

Der Proteinbedarf ist im eigentlichen Sinn ein Aminosäurenbedarf. Im Gegensatz zu Monogastriern weicht die Zusammensetzung der Aminosäuren im Dünndarm von der alimentär aufgenommenen Aminosäuren-Zusammensetzung aufgrund der Umsetzung im Pansen deutlich ab. Etwa zwei Drittel und mehr des im Dünndarm angefluteten nXP sind der mikrobiellen Synthese zuzurechnen (SCHWARZ 2000). Laut GfE ergibt sich eine Mikrobenproteinsynthese von 10,1 g pro MJ ME ($\pm 1,5$ g).

Der Rest wird als „im Pansen unabgebautes Rohprotein“ (UDP) bezeichnet. Ab einer Milchleistung von etwa 15 kg können die Mikroorganismen alleine kaum mehr ausreichend Protein zur Verfügung stellen, bei einer Leistung von 40 kg ist ein UDP-Bedarf von ungefähr 30 % zu erwarten.

Der Erhaltungsbedarf setzt sich aus endogenen N-Verlusten über Harn und Kot sowie aus Oberflächenverlusten durch Haut und Hornabschilfungen zusammen und ist relativ konstant. Der Nettoleistungsbedarf ergibt sich aus der Synthese des Milchproteins und dem Ansatz von Körperprotein. Bei einer Leistung von z.B. 30 kg Milch macht der Leistungsanteil 74,5 % des Gesamtbedarfs aus.

Durch die Steuerung des UDP-Anteils der Ration kann auf den hohen Leistungsbedarf reagiert werden. Allerdings ist darauf Rücksicht zu nehmen, dass die Vormagensymbionten nicht in eine Proteinmangelsituation kommen und die Grenzen der Wiederkäuergerechtheit nicht unterschritten werden dürfen.

Steigt der Energiegehalt im Futter aufgrund einer erhöhten Schnitthäufigkeit, tut er dies nicht im selben Maß wie der Proteingehalt. Da mehr Protein in den Pansen herangeführt wird, als die Mikroben aufgrund ihrer Energieversorgung umbauen können, entsteht ein Stickstoffüberschuss, der zu tiergesundheitslichen Belastungen führen kann. Ein so entstehender Eiweißüberschuss führt in weiterer Folge zu einer Erhöhung der Harnstoffausscheidung und damit zu einer vermehrten Stickstoffbelastung der Umwelt.

Wiederkäuer benötigen zur Aufrechterhaltung ihrer normalen Pansenfunktion neben der Zufuhr adäquater Mengen fermentierbarer Nährstoffe auch eine ausreichende Aufnahme an „strukturiertem“ Futter (STEINGASS und ZEBELI 2008). Physikalische Futtereigenschaften sollen physiologische Bedingungen aufrechterhalten.

Ein Mindestgehalt an Faser ist laut GRUBER (2009) insbesondere erforderlich für eine:

- Maximale Futter- und Energieaufnahme
- Normale Pansenfermentation
- Günstige Milchfettsynthese
- Prophylaxe von Gesundheitsstörungen

Ziel ist es, Milchkühe einerseits mit ausreichend Energie zu versorgen, andererseits das Pansenmilieu zu stabilisieren und das Mikrobewachstum zu fördern. Durch das Wiederkauen wird Speichel gebildet, der durch seine Pufferfähigkeit den pH-Wert im

Pansen reguliert. Mit einem Sinken des pH-Wertes verändert sich auch das Azetat/Propionat-Verhältnis. Der Milchfettgehalt fällt ab, er ist somit ein geeignetes Maß für die Wiederkäuergerechtheit einer Ration.

Zur Bewertung der Struktur wurde der Begriff „strukturwirksame Rohfaser“ eingeführt (HOFFMANN 1990, PIATKOWSKI et al. 1990). Als strukturwirksam gilt ein Futterpartikel mit mindestens 8 mm Länge (Rind). Je nach Futtermittel, Vegetationsstadium und Partikelgröße werden unterschiedliche Strukturfaktoren angenommen. Als Referenzwert wurde Heu mit mittlerer Qualität mit dem Faktor 1 festgelegt. Diese sind mit dem Rohfasergehalt zu multiplizieren. Da es kaum möglich war mit diesem System verbindliche Werte festzulegen, entwickelten DE BRABANDER et al. (1999) den „Strukturwert“ (SW). Anhand umfassender Versuche wurden kritische Grundfutteranteile ermittelt.

Heute gilt die physikalisch effektive NDF (peNDF) als geeignetster Parameter zur Beurteilung der Futterstruktur. Der chemisch ermittelte Gehalt an NDF wird mit der Art des Futtermittels und dessen physikalischen Eigenschaften in Verbindung gesetzt. Aufgrund von Literaturdaten wurde von MERTENS (1997) die physikalische Effizienz ermittelt. Die Kauaktivität von langem Gräserheu dient als Standard mit dem Faktor 1. Je nach Grobfutterklasse (Heu, Silagen), botanischer Herkunft (Gräser, Leguminosen, Silomais) und physikalischer Form (Zerkleinerungsgrad) erhalten die Kategorien pe-Faktoren. Als Mindestgehalt an peNDF gibt MERTENS (1997) 18,6 % der TM an, was einem Milchfettgehalt von 3,4 % entspricht. Dieser Wert entspricht allerdings einer Untergrenze und ist keine Empfehlung, da der Faserbedarf auch von der Milchleistung und somit der Futteraufnahme abhängt.

Tabelle 3: Notwendige Gehalte an peNDF>1,18mm in Abhängigkeit von TM-Aufnahme und Gehalt an abbaubarer Stärke der Ration (STEINGASS und ZEBELI 2008)

abbaubare Stärke (% i. TM)	TM-Aufnahme (kg)				
	18	20	22	24	26
10	28,5	29,2	29,9	30,7	31,4
14	30,0	30,8	31,5	32,2	32,9
18	31,6	32,3	33,0	33,8	34,5
22	33,1	33,8	34,6	35,3	36,0

Sowohl eine gesteigerte Futteraufnahme als auch ein höherer Gehalt an abbaubarer Stärke lassen das optimale Niveau der peNDF zwischen 28 und 36 % in der TM schwanken.

Eine angepasste Zufuhr von Mineralstoffen und Vitaminen sichert die vielfältigen Funktionen des Körpers. Sowohl Mängel als auch Überschüsse sind aus gesundheitlicher, ökologischer und ökonomischer Sicht zu vermeiden.

Für die Fütterung sind vor allem die Mengenelemente Calcium, Phosphor, Magnesium, Natrium, Kalium und Chlorid sowie die Spurenelemente Mangan, Zink, Kupfer und Selen von Bedeutung, da sie meist in zu geringen Mengen verfügbar sind und zugefüttert werden müssen. Magnesium wird zu 80 % aus den Vormägen aufgenommen, eine gestörte Vormagenverdauung kann zu Mangelerscheinungen (Tetanie) führen. Die anderen Mineralstoffe werden im Dünndarm absorbiert.

Auch im Mineralstoffgehalt besteht ein signifikanter Einfluss der Nutzungsfrequenz. Bei häufigerer Nutzung ist mit einem höheren Mineralstoffgehalt zu rechnen. Für den Anstieg des Calcium-Gehaltes sind sowohl botanische Verschiebung (Zunahme der Leguminosen und Kräuter) als auch die höheren, mineralstoffreicheren Blattanteile bei steigender Nutzungsfrequenz verantwortlich (GRUBER et al. 2000).

Die ausreichende Versorgung mit fett- und wasserlöslichen Vitaminen ist eine wesentliche Voraussetzung für Gesundheit, Leistungsbereitschaft und Fruchtbarkeit von Milchkühen (WINDISCH 2003). Die fettlöslichen Vitaminen A, D und E werden aus dem Dünndarm aufgenommen. Ihre Bereitstellung in geeigneter Quantität muss durch die eingesetzten Futtermittel erfolgen. Für wasserlösliche Vitamine (B₁, B₂, B₆, B₁₂, Biotin, Cholin, Folsäure, Niacin, Pantothenensäure) müssen keine Vorkehrungen getroffen werden, da sie in der Regel von einer gesunden Pansenflora synthetisiert werden können.

Der tatsächliche Bedarf von Mineralstoffen und Vitaminen hängt von Lebendmasse und Leistung (Laktation, Zuwachs, Trächtigkeit,...) ab.

3.1.1.2 Grundfutterqualität und Futterwert

Die Qualität des Grundfutters hat in der leistungsorientierten Fütterung einen hohen Stellenwert. Nur über hochwertige, wirtschaftseigene Futtermittel mit hoher Energiekonzentration können entsprechende Milchmengen bzw. Tageszunahmen erreicht werden (RESCH 2007). Eine tier- und artgerechte Fütterung unter Ausnutzung des genetischen Potentials entscheidet letztlich über den wirtschaftlichen Erfolg des landwirtschaftlichen Betriebes.

Neben der botanischen Zusammensetzung des Grundfutters tragen Rohfasergehalt und Energiekonzentration maßgeblich zur Futterqualität bei. Der Rohfasergehalt wird stark vom Erntezeitpunkt beeinflusst, mit zunehmender Reife steigt der Anteil an schwer- und unverdaulichen Gerüstsubstanzen und sinkt die Energiedichte damit.

Negativ korreliert mit dem Alter des Futters ist der Rohproteingehalt. Durch die Art der Konservierung kann der Proteingehalt jedoch relativ stark beeinflusst werden (Heubelüftung, Silierung).

Der TM-Gehalt zeichnet für die Erhaltung der Qualität verantwortlich. Unter einem Wassergehalt von 14 % gilt Heu als lagerstabil. Darüber kann durch Nachschwitzen ein massiver Anstieg von Mikroorganismen einsetzen, der unter Temperaturerhöhung wertvolle Nährstoffe zersetzt. Verpilzung und Selbstentzündung können weitere Folgen sein. Beim Silieren ist das Erreichen eines Trockenmassegehalts zwischen 30 und 40 % für die ordnungsgemäße Milchsäuregärung maßgeblich.

Sowohl Fehlgärungen als auch eine reduzierte Nährstoff- bzw. Energiekonzentration können durch hohe Rohaschegehalte hervorgerufen werden.

Ziel einer optimalen Gärfutterbereitung ist es, durch Stabilisierung des pH-Wertes, hohe Qualitätsverluste zu vermeiden (RESCH 2008).

Idealerweise bedient man sich zur Beurteilung des Grundfutters umfassender chemischer Analysen. In der landwirtschaftlichen Praxis ist dies allerdings nicht immer möglich bzw. sinnvoll (BUCHGRABER et al. 2004). In der Praxis wird nur rund ein Prozent der Futterpartien Österreichs in Laboratorien exakt in Hinblick auf den Nährstoffgehalt und den Futterwert analysiert (RESCH 2007). Damit Grundfutter hinsichtlich seiner Qualität trotzdem richtig eingestuft werden kann, ist ein einheitliches Beurteilungsschema notwendig. Nur so können eine standardisierte Qualität (auch überbetrieblich) kontrolliert und Ziele definiert bzw. Auswirkungen zugeordnet werden.

1997 erschien erstmals eine Futterwerttabelle für den Alpenraum. Grundlage waren ca. 7.000 Futterproben (RESCH et al. 2006). Die heutigen Tabellen der Österreichischen Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau beruhen auf über 25.000 Proben und sind somit für die österreichischen Bedingungen maßgeschneidert.

Als Einflussfaktoren auf die Grundfutterqualität halten die Futterart, der Pflanzenbestand, die Nutzungshäufigkeit und die Art der Konservierung Einzug in die Tabelle. Sie sind die wesentlichen Kriterien für den Gehalt an Nähr- und Mineralstoffen.

Tabelle 4: Gliederung der ÖAG-Futterwerttabelle (RESCH et al. 2006)

Futterart	Pflanzenbestand	Aufwuchs	Vegetationsstadium
Silage	Dauerwiese	1. Aufwuchs	Schossen
Heu/Grummet	Weide	Folgeaufwüchse	Ähren-, Rispenschieben
Grünfutter	Feldfutter Silomais sonstige		Beginn Blüte Mitte Blüte Ende Blüte Überständig

Im ersten Schritt wird eine repräsentative Probe gezogen, von der das Vegetationsstadium der Leitpflanzen (Goldhafer, Knautgras bzw. Rotklee, Luzerne) bestimmt wird. Man unterscheidet: Schossen, Ähren-, Rispenschieben, Beginn Blüte, Mitte bis Ende Blüte und überständig. Gemeinsam mit den oben angeführten Einflussfaktoren ergeben sich aus der Tabelle ablesbare Futterwerte.

Tabelle 5: Futterwerttabelle 2006 (Auszug)

	Trocken- masse TM g/kg FM	Rohfaser XF g/kg TM	Rohprotein XP	Verdau- lichkeit dOM %	Umsetz- bare Energie ME MJ/kg TM	Netto- energie- laktation NEL
1. Aufwuchs						
Grünfutter	166	227	161	76	10,52	6,29
Silage	353	248	158	73	10,11	6,05
Heu	891	258	124	70	9,56	5,66
Folgeaufwüchse						
Grünfutter	184	217	181	69	9,85	5,80
Silage	392	238	167	71	9,77	5,80
Heu	888	246	141	70	9,49	5,60

3.1.1.3 Einfluss auf die Grundfutterqualität

Die bestimmenden Faktoren sind in der Grundfutterproduktion äußerst vielfältig und stehen miteinander in komplexer Beziehung. Qualitative und auch quantitative Auswirkungen sind oft nicht eindeutig auf einzelne Ursachen zurückführbar.

3.1.1.3.1 Geologie, Boden, Standort und Klima, Botanik

Diese Faktoren sind entweder gar nicht oder kaum (Botanik) beeinflussbar. Trotzdem sind auch hier exakte Kenntnisse vom Vorteil. Bodentyp, Bodenart, Struktur und

Gründigkeit des Bodens spielen neben den Bodenwasserverhältnissen, dem Gehalt an verfügbaren Nährstoffen sowie weiteren physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften eine große Rolle. Die Bodenverhältnisse werden vom Ausgangsgestein wesentlich mitbestimmt (BUCHGRABER et al. 2004). Im Dauergrünland befindet sich die Hauptwurzelmasse in ca. fünf Zentimeter Tiefe, weshalb leichte, seichtgründige Böden aufgrund der Trocknungsgefahr weniger ideal sind. Bindige, etwas feuchte und steinige Böden stellen dafür weniger Schwierigkeiten dar.

Der Standort definiert Seehöhe, Hangneigung und Ausrichtung der Anbauflächen. Er ist untrennbar mit den klimatischen Verhältnissen und den Wetterextremen des jeweiligen Erntejahres verbunden. Pro 100 Höhenmeter ergibt sich eine Verzögerung der Reife der Leitgräser von drei bis vier Tagen (BUCHGRABER et al. 2004). Zusätzlich nimmt die durchschnittliche Tagestemperatur mit zunehmender Höhenlage ab, die Vegetationsdauer verkürzt sich drastisch. Die Hangneigung verursacht neben unterschiedlichen Bewirtschaftungsvoraussetzungen auch eine unterschiedliche Wasserhaltungsfähigkeit und – je nach Ausrichtung – eine unterschiedliche Sonneneinstrahlung. Beides zeigt sich aufgrund der unterschiedlichen Versorgung der Pflanze auch im erreichten Reifezeitpunkt.

Als Folge dieser Gesichtspunkte ist die Nutzungsintensität reduziert, was wiederum andere Nährstoffzusammensetzung und Energiegehalt bewirkt, da die geerntete Pflanze physiologisch jünger ist. Je kürzer die Wachstumsphase desto geringer ist der Anteil an Gerüstsubstanzen.

Abhängig von der Nutzungsintensität sowie der Düngung entwickeln sich aufgrund ihrer Ansprüche und Eigenschaften unterschiedliche Pflanzengesellschaften. Bei eher extensiver Nutzung treten obergrasbetonte Bestände auf. Hier dominieren Glatthafer, Knautgras, Wiesenfuchsschwanz und Timothee. Rotklee und hohe Kräuter sind hier ebenfalls zu finden. Bereits im Ähren-, Rispschieben bauen diese Pflanzen viel Zellwandmasse auf, um ein gutes Standvermögen zu gewährleisten, da hier ein hoher Stängelanteil vorliegt. Dadurch sind sie zwar robust und ertragssicher, können aber nicht so große Mengen an leicht löslichen Inhaltsstoffen liefern. Bei intensiverer Nutzung und/oder besseren Standortbedingungen dominieren Goldhafer, Wiesenrispe, englisches Raygras, Rotschwingel und Weißklee. Zu beachten ist, dass trotz der intensiven Nutzung die generative Vermehrung der Gräser gewährleistet sein muss, da es sonst zu Verunkrautung kommen kann, was wiederum zu Verlusten bei der Konservierung führt. Untergrasbetonte Bestände enthalten um etwa 20 g mehr Protein je kg TM als extensiv genutzte Wiesen (RESCH 2007). Mit steigender Nutzungsfrequenz geht der Gräseranteil zurück. Durch N-Düngung kann dem entgegengesteuert werden, aber Leguminosen werden dann teilweise verdrängt.

Durch eine höhere Nutzungsfrequenz ändert sich die morphologische Zusammensetzung des Pflanzenbestandes. Der Anteil des Blattes nimmt zu. Auch hier wirkt die N-Düngung entgegen, da die Pflanze physiologisch älter ist (GRUBER et al. 2000).

3.1.1.3.2 Bewirtschaftung (Schnittzeitpunkt, Schnitzzahl, Düngung)

Aufgrund der Reifung der Wiesenfutterpflanze kommt es im Laufe der Vegetation zu einer grundlegenden Veränderung der Zusammensetzung von Gerüstsubstanzen und Zellinhaltsstoffen. Das Entwicklungsstadium der Pflanze ist also die entscheidende Einflussgröße auf den Futterwert.

Im Zuge der Pflanzenentwicklung kommt es zu einer morphologischen Veränderung. Der Stängelanteil nimmt zu, die Blattmasse ist im Verhältnis geringer. Auch die Lignifizierung schreitet voran. Der Anteil an Rohprotein geht zurück, während der Gehalt an Rohfaser bzw. Gerüstsubstanzen steigt. Als Ergebnis sinkt auch der Energiegehalt. Das Vegetationsstadium übt einen signifikanten Einfluss auf die Abbaubarkeit der Trockenmasse aus. Der Anteil der Fraktion a (rasch und vollständig lösliche Fraktion) geht leicht zurück, während die Fraktion b (unlösliche, potentiell abbaubare Fraktion) kaum Schwankungen zeigt. Den auffälligsten Einfluss findet man bei der Abbaurate c, weshalb die effektive Abbaubarkeit als Funktion von a, b und c durch einen deutlichen Rückgang geprägt ist (GRUBER et al. 2008).

Mit der Nutzungsfrequenz entscheidet man über Energie- und Nährstoffgehalt des Futters. Je nach Anzahl der Aufwüchse ergeben sich einerseits unterschiedliche Vegetationsstadien, andererseits finden sich auch Unterschiede zwischen den Aufwüchsen hinsichtlich ihrer Eigenschaften.

Allgemein hat der erste Aufwuchs vor allem generative Aufgaben, weshalb er hauptsächlich Pflanzenteile mit reproduktiven Aufgaben ausbildet. Die Folgeaufwüchse sind wesentlich für vegetative Zwecke geeignet. Der verstärkte Blattanteil sorgt für hohe Photosyntheseleistung.

Mit steigender Nutzungshäufigkeit von zwei auf vier Schnitte erhöht sich erwartungsgemäß der Gehalt an Rohprotein (von 11 auf 16 %) und verringert sich der Gehalt an Rohfaser (von 31 auf 25 %). Die Gerüstsubstanzen sinken (von 60 auf 49 %, GRAGGABER 2004). Die Nutzungshäufigkeit hat keinen großen Einfluss auf die Verteilung der Proteinfractionen des CNCPS. Ausnahme ist die Fraktion C. Physiologisch älteres Wiesenfutter enthält mehr Protein, das für eine mikrobielle Verdauung nicht verfügbar ist. Die Kohlenhydratfraktionen des CNCPS sind hingegen sehr wohl betroffen. Die höhere Intensität verursacht eine Reduktion der Faserkohlenhydrate (B₂ und C) von 75 auf 64 %, die rasch verfügbaren Fraktionen (A und B₁) gehen zurück (GRUBER et al. 2004).

Der erste Aufwuchs verfügt über eine höhere potentielle Abbaubarkeit als die Folgeaufwüchse. Der Unterschied verringert sich aber im zeitlichen Verlauf. Nach sieben Wochen ist kaum ein Unterschied zwischen den potentiellen Abbaubarkeiten festzustellen. Der Futterwert des ersten Aufwuchses ist somit eine Folge des Vegetationsstadiums, weshalb der frühe Schnitt des ersten Aufwuchses besonders lohnend wäre. Dadurch verringert sich aber der Mengenertrag, da der erste Schnitt die höchste Zuwachsrates besitzt. Nach dem Schnitt tritt außerdem eine Phase geringer Wachstumsrate auf, in der neue vegetative Teile zur Versorgung der Pflanze ausgebildet werden. Gerade der erste Schnitt braucht hierfür relativ lange, da er grundsätzlich eher für die Reproduktion ausgebildet ist.

Durch die Düngung wird die N-Versorgung der Pflanze erhöht, wodurch sich der Proteingehalt etwas erhöhen lässt. Vor allem aber bewirkt sie eine Beschleunigung des Pflanzenwachstums. Daraus resultieren höhere Erträge. Das physiologische Alter ist erhöht, was zur Steigerung des Anteils an nicht verfügbaren Faserkohlenhydraten führt. Andererseits führt die N-Düngung zu einer Zunahme des Gräseranteiles um ca. 10 % (GRUBER et al. 2000).

3.1.1.3.3 Konservierung (Stabilität, Nährstoffgehalte)

Die ordnungsgemäße Verarbeitung nach der Ernte kann bis dorthin aufgetretene Mängel des Futters natürlich nicht mehr beheben. Sie entscheidet sehr wohl aber über die Erhaltung und Stabilität des Futterwertes.

Im Hinblick auf den Rohfasergehalt sollte Heu spätestens bei einsetzender Blüte geerntet werden, da sich sonst, besonders beim rasch wachsenden ersten Aufwuchs, die Energiedichte deutlich reduziert. Belüftungsheu zeigt sich hinsichtlich des Energiegehaltes vorteilhafter als Heu aus Bodentrocknung (RESCH 2008). Mit der Heubelüftung können auch hohe Rohproteingehalte erzielt werden. Die größte Verlustursache stellen beim Proteingehalt die Bröckelverluste bei der Ernte dar. Besonders Bestände mit hohem Leguminosen- und Kräuteranteil sind stark betroffen. Allgemein sollten die Bröckelverluste 10 bis 20 % nicht überschreiten.

Verunreinigungen durch Erde oder Reste von Wirtschaftsdünger schlagen sich im Rohaschegehalt nieder. Speziell der erste Schnitt weist bei Heu niedrige Werte auf. Rohaschegehalte unter 80 g/kg TM deuten auf Abbröckelverluste von Blattmasse hin. Damit verbunden ist auch ein Verlust an wichtigen Mineralstoffen. Mit Zunahme des Rohaschegehaltes um 10 g/kg TM sinkt gleichzeitig die Energiedichte um 0,1 MJ NEL/kg TM (RESCH 2008).

Hinsichtlich der CNCPS-Fractionen bewirkt die Konservierung als Heu eine Steigerung der Proteinfraction B₂ (mittlere Abbaurate) auf Kosten von B₃ und C (GRAGGABER 2004).

Die Futteraufbereitung als Silage gewinnt noch immer an Bedeutung. Auch für die Silage ist die Wahl des Erntezeitpunktes verantwortlich für den Gehalt an Gerüstsubstanzen und Energie. Bei einem Rohfasergehalt von über 27 % ist der Gehalt an wasserlöslichem Zucker für eine gute Milchsäuregärung zu gering (BUCHGRABER und RESCH 1993). Durch die Gärung ergibt sich ein leichter Eiweißabbau, grundsätzlich wird der Proteingehalt aber gut konserviert. Durch das Anwelken der Silage ist ein TM-Gehalt von 30 bis 40 % zu erzielen. Dadurch wird die Zuckerkonzentration erhöht und die Bedingungen für die Milchsäuregärung verbessert. Werte darunter führen zu Sickersaftbildung, darüber werden Pilze und Hefen gefördert. Der Trockenmassegehalt entscheidet über die Verdichtbarkeit und somit über das Risiko einer Buttersäuregärung. Als signifikanter Einflussfaktor der Verunreinigung gilt die Schnitthöhe bei der Ernte. Unter fünf Zentimeter steigt die Gefahr, coliforme Keime und Clostridien einzutragen. Bei Zunahme des Rohaschegehaltes um 1 % steigt der Buttersäuregehalt um 0,6 g/kg TM (RESCH 2008). Während die Weender Analyse keine Unterschiede zwischen den Konservierungsformen aufzeigt, macht das CNCPS Details sichtbar. Die Proteinfraction A (NPN, sofort löslicher N) steigt stark, vom Proteinabbau beim Gärungsprozess sind vor allem die Fractionen B₁ und B₃ betroffen. Im Zuge der Produktion von Milchsäure wird vorwiegend die Kohlenhydratfraction A (Zucker) fermentiert (GRUBER et al. 2004), wodurch die Anteile der Fractionen B und C in Relation ansteigen (TAFERNER 2006). Durch die Silierung ändert sich die potentielle Abbaubarkeit nicht, da eine Erhöhung der Fraction a von einer Senkung der Fraction b aufgehoben wird (TAFERNER 2006).

Trotz Kenntnis der grundlegenden Regeln für eine einwandfreie Bereitung guter Qualitäten, sind in der Praxis höchst unterschiedliche Niveaus anzutreffen (TIEFENTHALER 2009). Neben dem Energiegehalt und dem Proteinwert sind Aspekte

der Strukturwirkung, der Kohlenhydratversorgung, der Wirkstoffversorgung und nicht zuletzt der Gärqualität, der hygienischen Beschaffenheit und der Silage von Bedeutung (SPIEKERS 2004).

Tabelle 6: Gärqualitäten (WIEDNER 2002)

		Gärqualität			
		Sehr gut		Sehr schlecht	
		1.Aufwuchs	Folgeaufw.	1.Aufwuchs	Folgeaufw.
Nährstoffgehalt (Durchschnittswerte)					
Trockenmasse	g/kg	376	405	337	351
Rohprotein	g/kg TM	155	160	150	158
Rohfaser	g/kg TM	262	258	286	275
Rohasche	g/kg TM	104	116	115	128
NEL	MJ/kg TM	6,07	5,69	5,74	5,49
Gärqualität (Durchschnittswerte)					
Milchsäure	g/kg FM	16,7	17,3	7,3	7,9
Essigsäure	g/kg FM	3,4	3,5	3,0	3,8
Buttersäure	g/kg FM	0,5	0,5	8,8	8,0
pH-Wert		4,3	4,4	5,1	5,3
NH ₃ -Anteil	%	6,3	5,9	20,6	18,4
Punkte		98,1	98,0	21,4	21,6

3.1.1.4 Auswirkungen der Grundfutterqualität

Je höher die Leistung – vor allem der Milchkuh – steigt, umso wichtiger wird die Qualität des Futters. Aufgrund der physikalisch begrenzten Aufnahmefähigkeit, ist man gezwungen, den Energie- und Nährstoffbedarf des Tieres mittels leistungsangepasster Qualitäten der Ration zu decken. Dies stellt vor allem einen Auftrag an die Grundfutterproduktion dar, da Mängel in der Versorgung aufgrund der Besonderheiten des Stoffwechsels von Wiederkäuern nicht alleine durch eine Steigerung der Kraffuttermenge ausgeglichen werden können. Außerdem stellt die Bereitstellung von Kraffutter einen bedeutenden ökonomischen und ökologischen Faktor dar.

3.1.1.4.1 Milchleistung und Milch Inhaltsstoffe

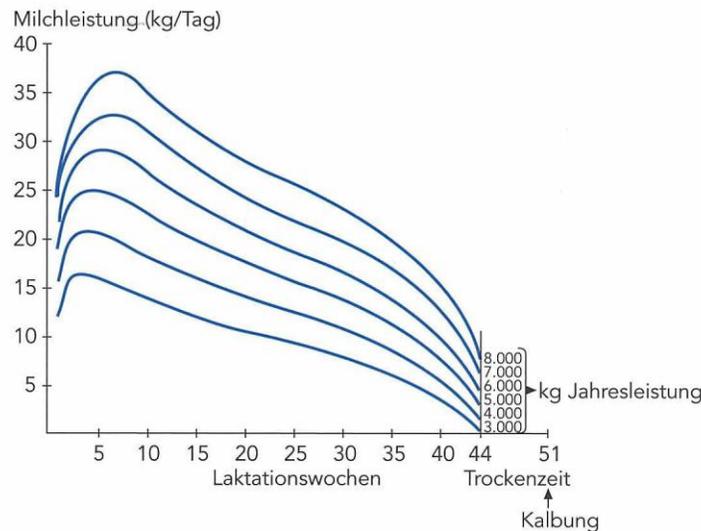
Die Milchleistung wird durch das genetische Potential der Kuh begrenzt. Darüber hinaus kann sie nicht gesteigert werden. Da jedoch die Erblichkeitsanteile für die aktuelle Leistung gering sind, wird die Milchmenge auch sehr stark von der Fütterung beeinflusst (KIRCHGESSNER et al. 2008).

Fehlernährung kann durch ungeeignete Nährstoffzufuhr hervorgerufen werden. KIRCHGESSNER et al. (2008) beschreibt folgende Zusammenhänge:

Ein Energiemangel führt bei ausreichender Proteinzufuhr zwar zu einem Leistungsabfall, nicht jedoch im vollen Ausmaß, da durch Mobilisierung von Körperreserven teilweise ein Ausgleich stattfindet. Dauert dieser Zustand an, ergeben sich gesundheitliche Probleme für die Kuh. Proteinmangel bei ausreichender Energieversorgung führt zu ähnlichen Ergebnissen. Auch der Überschuss von Protein bewirkt eventuell eine Leistungsminderung, da der Umbau im Pansen Energie verbraucht und die anfallenden N-Produkte im Intermediärstoffwechsel beseitigt werden müssen.

Die Auswirkungen des Versorgungsniveaus können nicht gesondert betrachtet werden, sondern sind mit dem Zeitpunkt im Laktationsverlauf in Verbindung zu setzen.

Grafik 9: Standardlaktationskurven bei unterschiedlicher Leistung
(KIRCHGESSNER et al. 2008)



Zu Beginn der Laktation ist eine Energieunterversorgung festzustellen. Hier ist besonders auf die Grundfutterqualität zu achten. Durch die Mobilisation von Körperfett steigt der Milchfettgehalt jedoch, während der Eiweißgehalt aufgrund der geringen, energieabhängigen, Synthese von Mikrobenprotein im Pansen absinkt (GRUBER et al. 1995). Ursache ist das verringerte praepartale Futteraufnahmevermögen. Während der Trockenstehzeit ist die Aufnahme deutlich niedriger als während der Laktation. Um den Zeitpunkt der Abkalbung erreicht die Futteraufnahme ihren Tiefststand. In den ersten 50 Tagen erfährt die Aufnahme einen steilen Anstieg, ihr Maximum wird zwischen dem 50. und dem 70. Tag erreicht. Danach setzt wieder ein Abwärtstrend ein. Bei hoher Grundfutterqualität ist zum Einen das Energiedefizit nicht so stark ausgeprägt, zum Anderen steigt die Futteraufnahme nach der Abkalbung steiler an, was zu einer früheren Deckung des Energiebedarfs führt (GRUBER et al. 1995). Die Gefahr einer Ketose ist trotzdem nicht außer Acht zu lassen.

Mit einer Steigerung der Grundfutterqualität steigt die Futteraufnahme. GRUBER et al. (2000) geben eine Steigerung von 3,34 kg TM je MJ NEL an. Aufgrund eines rascheren und vollständigeren Abbaus des Futters im Pansen steigt auch die Energie- und Proteinversorgung der Kuh. Die aus dem Grundfutter erzielbare Milchleistung steigt um 4,3 kg ECM/ MJ NEL (GRUBER et al. 1995). Mit einer Steigerung der Nutzungsfrequenz kann die Milchleistung je Tier erhöht werden. Da die Flächenausstattung der Betriebe in der alpenländischen Landwirtschaft allerdings den limitierenden Faktor darstellt, ist für den wirtschaftlichen Erfolg die Leistung je Fläche von weit größerer Bedeutung. Durch Erhöhung der Schnitffrequenz sinkt der Trockenmasseertrag (s. Kap. 3.1.1.3.2). In weiterer Folge verringert sich die Besatzdichte aufgrund des Minderertrages und der höheren Futteraufnahme. Der klassische Gegensatz von Quantität und Qualität bewirkt auch in diesem Fall ein Optimum bei mittlerer Schnitffrequenz. Durch die Düngung kann die Produktivität etwas gesteigert werden, allerdings wird auch das Pflanzenwachstum beschleunigt und daher folglich ein früherer Schnitzeitpunkt erforderlich (GRUBER et al.

2000). Neben der Qualität sind Lebendmasse, Trächtigkeitsstadium, Laktation, Leistung, Rasse und Fütterungsmanagement für die Grundfutteraufnahme von Bedeutung.

Im Gegensatz zur Düngung wirkt sich die Futterqualität auch auf die Zusammensetzung der Milch aus. Die für die Milchfettsynthese genutzten Fettsäuren entstammen drei Quellen. Vor allem zu Beginn der Laktation wird zusätzlich vermehrt körpereigenes Depotfett herangezogen (Lipoproteine sehr niedriger Dichte, very low density lipoproteins, sowie Chylomikronen des Blutplasmas). Aus der Ration wird Futterfett geliefert. Beim Kohlenhydratabbau im Pansen bauen Zellulolyten die gelieferte Zellulose zu Essigsäure und Buttersäure ab. Azetat und β -Hydroxybutyrat dienen in der Milchdrüse zur de novo Synthese von Fettsäuren. Ist das Pansenmilieu für diese Mikroben ungünstig, sinkt die Fettsynthese. Der Milchfettgehalt ist somit ein Zeiger für die wiederkäuergerechte Strukturversorgung über die Fütterung. Die Fettsäuren unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Kettenlänge, Depotfett liefert länger-kettige und auch ungesättigte Fettsäuren (INNERHOFER 1998).

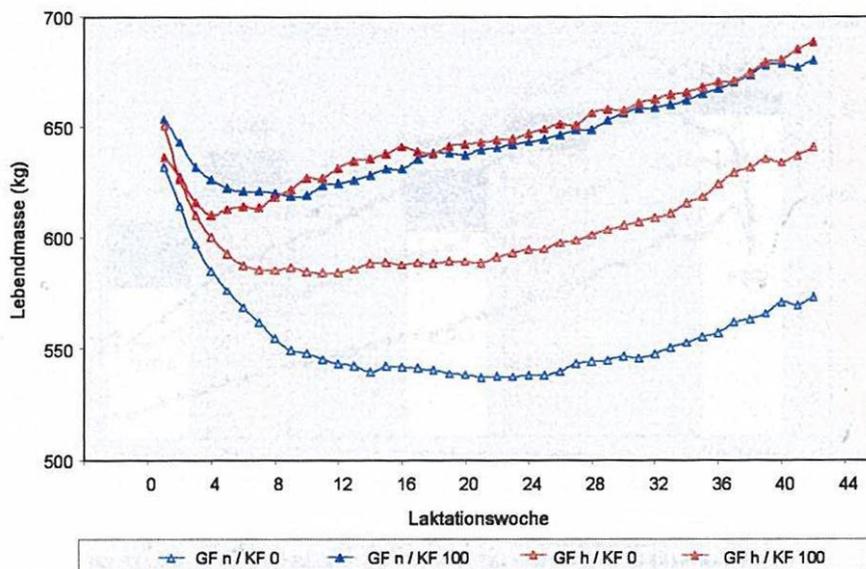
Der Gehalt an Milcheiweiß fällt mit sinkender Futterqualität. Ursache können eine geringere Schnitffrequenz („überständiges Futter“), die Lage der Futterfläche (insbesondere die Seehöhe) aufgrund einer geringen duodenalen Rohproteinversorgung aber auch eine zu geringe Energiezufuhr sein, welche den Umbau von Rohprotein zu Mikrobeneiweiß limitiert.

Da der Wiederkäuer Nichtfaser-Kohlenhydrate nahezu vollständig abbaut, dient vor allem Stärke, die durch Amylolyten zu Propionsäure abgebaut wurde, der Glukoneogenese. Die gewonnene Glukose kann gemeinsam mit Galactose für die Bildung von Lactose verwendet werden. Ein hoher Laktosegehalt der Milch deutet daher auf eine gute Energieversorgung der Kuh hin.

3.1.1.4.2 Lebendmasse und Körperkondition

Eine höhere Energieversorgung aufgrund gesteigerter Grundfutterqualität spiegelt sich auch in den Lebendgewichten wieder, wobei hier besonders auf den Einfluß der Rasse hingewiesen werden muss. Am Deutlichsten ist jedoch die Entwicklung im Laufe der Laktation zu sehen. Nach dem Abkalben kommt es zu einer reduzierten Futteraufnahme. Gleichzeitig nimmt die Milchproduktion zu. Das Tier vollbringt eine beachtliche Mobilisierungsleistung. Die negative Energiebilanz dauert etwa zwölf Wochen an. Durch eine hohe Grundfutterqualität kann diese Phase deutlich reduziert werden. Bei niedriger Qualität kann die Gewichtsabnahme bis zu 100 kg betragen und bis zu 170 Tage dauern (GRUBER et al. 1995).

Grafik 10: Lebendmasse in Abhängigkeit von Grundfutterqualität und Krafftutterniveau im Laktationsverlauf (GRUBER et al. 1995)



Besonders deutlich tritt die Mobilisierung im unteren Qualitätsbereich auf. Während bei einer Vierschnittnutzung die rechnerische Milchleistung mit der tatsächlichen annähernd übereinstimmte, ergab sich bei zwei, bzw. drei Schnitten 11 bzw. 16 kg ECM, obwohl die Energieversorgung theoretisch nur 5,7 bzw. 12,7 kg ECM ermöglichen hätte (GRUBER et al. 2000).

Die Beurteilung des Körperkonditionszustandes der Milchkuh hat sich zur Kontrolle der Ration als sinnvoll und praxistauglich erwiesen. Eine Erhebung von Futteraufnahme und Analyse der Nährstoff- und Energiegehalte ist zwar die exakteste Methode, sie wird aber für eine gesamte Kuhgruppe durchgeführt und trifft somit nur die „Durchschnittskuh“. Mit Hilfe der Körperkonditionsbeurteilung kann dafür jedes Tier individuell auf seinen Ernährungsstatus getestet werden (EDMONDSON et al. 1989). Da diese Methode kostenlos ist, kann und soll sie auch regelmäßig durchgeführt werden. So werden auch die Veränderungen sichtbar.

Die Methode wird als „Body condition scoring“ (BCS) bezeichnet.

Hüftbeinhöcker, Sitzbeinhöcker und Querfortsätze werden betastet. Die Bereiche Dornfortsätze-Lendenwirbelsäule, Übergang zur Hungergrube, Zwischenbereiche Sitz- und Hüftbeinhöcker sowie die Beckenausgangsgrube werden subjektiv beurteilt. Je nach Erscheinungsbild werden Punkte von 1 (hochgradig abgemagert) bis 5 (hochgradig verfettet) vergeben, wobei rassespezifische Unterschiede zu berücksichtigen sind. Die angestrebte Körperkondition ist vom Laktationsstadium abhängig.

Tabelle 7: Anzustrebender BCS-Verlauf (HÄUSLER 2006)

Laktationsabschnitt	Tage nach der Abkalbung	Körperkondition Idealbereich	Punkte (Mittelwert)
Abkalbung	-10 bis +10	3,25 – 3,75	3,50
frühe Laktation	30 bis 50	2,50 – 3,25	3,00
frühe Laktation	51 bis 90	2,25 – 3,00	2,75
mittlere Laktation	91 bis 180	2,50 – 3,25	3,00
späte Laktation	über 180	3,00 – 3,50	3,25
Trockenstellen		3,25 – 3,75	3,50

Entsprechen die vorgefundenen Werte nicht den gewünschten, müssen Fütterung und Haltung bzw. Gesundheitsstatus überprüft werden.

3.1.1.4.3 Nährstoffausscheidung

Die Ausscheidung der Nährstoffe hängt stark von der Nutzungsfrequenz der Futterfläche ab. GRUBER et al. (2000) stellten nicht nur eine Steigerung der Güllemenge, sondern auch eine erhöhte Ausscheidungsmenge an den Nährstoffen Stickstoff, Phosphor und Kalium fest. Dies erklärt sich als Folge höherer Konzentration im Grundfutter. Die sinkende Besatzdichte bei intensiverer Nutzung bewirkt jedoch einen Rückgang der Güllemenge pro Hektar. Ohne Kraffuttereinsatz beeinflusst die Schnitthäufigkeit die Nährstoffrücklieferung kaum. Die einzelnen Nährstoffe verhalten sich unterschiedlich. Bezogen auf die Fläche bleibt die N-Ausscheidung relativ konstant, P geht zurück und K findet sein Maximum bei mittlerer Schnitffrequenz.

Durch eine N-Düngung erhöht sich der Überschuss pro Hektar, niedriges Düngungsniveau bewirkt eine steigende N-Bilanz bei höherer Schnitthäufigkeit, im hohen Düngungsniveau bleibt diese Bilanz konstant. Phosphor- und Kalium-Bilanz werden vom Düngungsniveau kaum beeinflusst. Mit der häufigeren Nutzung nimmt die Unterversorgung mit Kalium ab, da sowohl Ertrag als auch Entzug zurückgehen. Die N-Düngung führt zu einem höheren Entzug von Kalium und damit zu einer negativen Bilanz.

3.1.2 Krafftuttereinfluss

Der Begriff „Krafftutter“ ist – trotz seiner häufigen Verwendung – nicht klar definiert (GRUBER 2007). In der Fütterungspraxis und im Sprachgebrauch versteht man darunter konzentrierte Futtermittel mit gesteigerter Verdaulichkeit und Energiekonzentration. Sie weisen einen hohen Gehalt an Nichtfaser-Kohlenhydraten wie Stärke und Zucker auf. Verdaulichkeiten von 70 % bis 90 % resümieren aus den teilweise hohen Gehalten an Protein und Fett.

3.1.2.1 Stoffwechsel

Aufgrund des aktuellen Niveaus der Milchproduktion kommen Krafftutteranteile von bis zu 50 % in der Ration zum Einsatz. Das bleibt natürlich nicht ohne Auswirkungen.

Beim glycolytischen Abbau von Glukose in den Zellen wird Energie für den Stoffwechsel gewonnen. Beim anaeroben Abbau entsteht als Endprodukt Laktat, beim aeroben Abbau entsteht Puryvat, das weiter abgebaut werden kann. Bei gleichzeitig geringen Anzahl an laktatverwertenden Mikroben steigt die Menge an Laktat im Pansen stark an (KIRCHGESSNER et al. 2008). Durch das hohe Angebot an Stärke produzieren amylolytische Mikroorganismen im Pansen mehr Propionsäure. Durch die Anhäufung von Fettsäuren fällt der pH-Wert im Vormagenbereich. So führen hohe Krafftuttermengen zu einer Verschiebung des Verhältnisses von C₂/C₃-Körpern. Die Konzentrationen von Essigsäure (C₂ aus Zellulose) und Buttersäure (C₄) sinken (MAULBETSCH 2005). Eine Erhöhung des Raufutteranteiles um 10% führt zu einer Steigerung der C₂-Produktion um 6,6 mmol je MJ verdaulicher Energie, eine Erhöhung der Krafftuttermenge bedingt ein engeres C₂/C₃-Verhältnis (LEBZIEN et al. 1981). Durch Supplementierung mit Enzymen wird immer wieder versucht, den Verlust an fibrolytischer Aktivität auszugleichen (WENNING 2008).

3.1.2.1.1 Inhaltsstoffe und Zusammensetzung, Verdaulichkeit, Energie- und Strukturversorgung

GRUBER et al. (2005) unterschieden zwischen Energie- und Proteinträgern. Zu ersteren zählten Getreide und deren Nebenprodukte sowie Wurzeln und Knollen. Bei den Proteinträgern waren Leguminosensamen und Ölsaaten, Extraktionsschrote, Ölkuchen bzw. Expeller und Nebenprodukte zu finden.

Tabelle 8: Gehalte der Futtermittel an Rohnährstoffen und Gerüstsubstanzen
(GRUBER et al. 2005)

Futtermittel	TM	XP	XL	XF	XX	XA	NDF	ADF	ADL	ZEL	HEM
Energieträger											
Getreidearten											
Gerste	908	142	14	38	782	24	362	47	9	38	315
Weizen	914	154	13	23	790	20	196	43	9	34	153
Hafer	929	122	40	134	674	30	379	162	29	133	217
Roggen	914	119	11	25	825	19	234	45	16	29	189
Triticale	916	140	11	34	789	26	186	41	12	29	145
Mais	908	96	47	28	814	14	154	38	6	31	117
CCM-Silage	652	99	38	26	821	15	125	30	6	24	95
Maiskornsilage	804	106	37	33	810	14	201	33	10	23	168
Sorghum-Hirse	906	106	32	25	819	18	208	47	23	24	162
Nebenprodukte											
Weizenfuttermehl	920	200	50	87	605	58	411	127	34	93	284
Weizenkleie	918	188	34	111	601	66	511	146	39	107	364
Pressschnitzel	319	90	7	189	657	57	419	238	12	226	181
Trockenschnitzel	934	117	7	165	613	98	400	227	24	202	174
Sojaschnitzel	925	193	50	301	400	56	538	365	24	341	174
Wurzeln und Knollen											
Futterrübe	239	51	2	56	848	43	110	65	19	47	45
Kartoffel	246	81	2	30	810	76	175	41	15	26	134
Tapioka	931	54	6	80	798	62	153	104	28	76	49
Proteinträger											
Leguminosen und Ölsaaten											
Ackerbohne	920	331	10	92	528	39	317	123	42	82	193
Erbse	907	223	9	73	660	35	398	108	5	103	290
Sojabohne	954	398	185	110	252	55	168	138	32	105	31
Rapssamen	973	206	351	249	151	44	252	236	55	181	16
Sonnenblumensamen	970	167	344	303	156	31	372	300	94	206	71
Extraktionsschrote											
Sojaextr. 44	932	472	17	83	347	82	167	121	18	103	45
Sojaextr. 50	929	515	12	51	347	76	98	70	9	61	29
Sojaextr. geschützt	925	496	10	42	376	76	262	67	9	58	194
Rapsextr.	919	387	21	135	380	77	268	229	87	141	40
Rapsextr. geschützt	884	388	25	121	383	83	314	226	92	135	88
Sonnenblumenextr.	936	367	32	219	308	74	341	255	72	183	86
Ölkuchen bzw. Expeller											
Rapskuchen	936	348	80	129	372	70	319	234	84	151	85
Sonnenblumenexpeller	952	332	41	210	348	69	382	275	91	184	107
Kürbiskernkuchen	939	627	118	48	89	118	131	64	8	55	67
Palmkernexpeller	944	184	89	215	466	46	730	440	138	303	289
Nebenprodukte											
Biertrebersilage	258	270	88	170	421	51	561	219	58	161	342
Biertreber getrocknet	935	254	68	187	453	38	620	255	66	189	365
Weizenschlempe getr.	922	351	27	73	495	54	317	132	56	75	185
Maisschlempe getr.	920	292	116	77	466	48	332	108	41	67	223
Maizeglutenfeed	914	253	14	71	592	69	389	92	11	81	297
Maiskleber	903	655	18	18	280	29	66	31	3	29	35

Tabelle 9: Kohlenhydrat- und Proteinfractionen der Futtermittel laut CNCPS
(GRUBER et al. 2005)

Futtermittel Fraktionen	Kohlenhydrate							Protein				
	CHO	FC	NFC	A	B1	B2	C	A	B1	B2	B3	C
Energieträger												
Getreidearten												
Gerste	820	319	501	6,1	55,0	36,2	2,7	14,3	2,3	52,8	28,2	2,5
Weizen	813	165	648	8,0	71,7	17,6	2,8	16,9	2,8	60,4	17,6	2,3
Hafer	808	351	457	5,6	50,9	34,9	8,6	23,2	3,5	50,9	20,0	2,4
Roggen	850	215	635	7,5	67,3	20,6	4,7	26,3	1,1	55,8	13,8	3,0
Triticale	823	160	663	8,1	72,6	16,0	3,4	22,7	3,7	54,8	16,9	1,9
Mais	843	142	701	1,2	81,9	15,0	1,8	21,2	3,3	62,4	2,5	10,6
CCM-Silage	848	119	729	4,3	81,7	12,4	1,7	47,4	0,7	45,6	4,3	2,0
Maiskornsilage	843	181	662	3,9	74,6	18,7	2,8	22,3	2,1	57,2	12,6	5,8
Sorghum-Hirse	844	173	671	7,9	71,5	14,0	6,5	12,7	2,7	51,8	21,8	11,0
Nebenprodukte												
Weizenfuttermehl	692	386	306	4,4	40,0	43,8	11,7	38,4	7,7	41,3	9,8	2,7
Weizenkleie	712	457	255	1,9	33,9	51,0	13,3	29,4	5,1	36,9	26,0	2,5
Pressschnitzel	846	390	456	5,4	48,6	42,6	3,4	24,1	2,2	41,3	27,6	4,8
Trockenschnitzel	778	354	423	5,5	49,1	38,1	7,4	34,5	1,2	24,6	27,1	12,6
Sojaschnitzel	701	479	222	3,2	28,5	60,3	8,1	13,1	1,4	55,0	22,5	8,0
Wurzeln und Knollen												
Futterrübe	904	107	797	88,2	0,0	6,9	4,9	65,3	8,3	20,3	3,5	2,7
Kartoffel	840	171	669	2,2	77,4	16,0	4,3	65,0	10,4	20,0	2,0	2,5
Tapioka	879	146	732	3,6	79,7	9,1	7,6	23,7	2,0	61,8	3,6	8,9
Proteinträger												
Leguminosen und Ölsaaten												
Ackerbohne	620	253	366	4,3	54,6	25,2	15,8	48,9	8,8	23,2	12,8	6,3
Erbse	732	359	374	4,1	46,9	47,5	1,5	47,1	6,8	28,6	13,9	3,7
Sojabohne	361	110	251	6,9	62,5	9,3	21,3	19,9	4,8	60,7	1,8	12,8
Rapssamen	400	211	189	47,2	0,0	19,6	33,2	24,4	13,0	42,4	3,5	16,8
Sonnenblumensamen	458	344	114	25	0,0	25,7	49,3	33,4	13,9	36,1	10,4	6,2
Extraktionsschrote												
Sojaextr. 44	430	129	301	7,0	63,0	19,9	10,2	9,8	2,7	79,5	5,0	3,0
Sojaextr. 50	379	71	327	8,2	74	12,4	5,4	8,4	2,5	83,7	2,6	2,8
Sojaextr. geschützt	417	65	352	8,4	76	10,2	5,3	5,2	0,3	54,8	32,8	6,9
Rapsextr.	515	218	298	57,7	0,0	1,6	40,6	23,5	4,3	59,1	4,9	8,2
Rapsextr. geschützt	504	258	246	48,8	0,0	7,7	43,5	7,9	1,7	75,8	8,1	6,6
Sonnenblumenextr.	527	310	217	41,0	0,0	25,9	33,1	30,2	2,1	59,4	4,5	3,9
Ölkuchen bzw. Expeller												
Rapskuchen	502	217	285	56,8	0,0	3,2	40,0	18,6	0,6	51,2	11,0	18,5
Sonnenblumenexpeller	558	320	238	42,6	0,0	18,4	39,0	14,3	0,3	66,7	15,2	3,5
Kürbiskernkuchen	137	84	53	38,0	0,0	47,2	14,8	13,5	1,3	77,6	6,3	1,2
Palmkernexpeller	681	607	74	10,8	0,0	40,7	48,5	7,7	0,4	25,2	49,5	17,1
Nebenprodukte												
Biertrebersilage	591	475	116	0,0	19,6	57,0	23,4	7,5	0,2	60,7	20,8	10,9
Biertreber getrocknet	640	521	119	0,0	18,5	56,7	24,8	7,6	0,3	52,7	23,3	16,1
Weizenschlempe getr.	568	217	351	0,0	61,8	14,5	23,7	11,8	0,3	59,6	20,2	8,0
Maisschlempe getr.	543	267	276	0,0	51,1	30,8	18,2	8,3	0,2	69,5	13,7	8,3
Maizeglutenfeed	663	360	303	0,0	45,6	50,3	4,1	62,8	0,6	25,0	10,1	1,6
Maiskleber	298	23	275	3,6	88,6	5,5	2,2	3,3	0,4	89,7	3,0	3,5

Die niedrigsten Proteingehalte weisen die Wurzeln und Knollen auf, Getreide liegt zwischen 10 und 15 %, was durch Verarbeitung erhöht wird. Die Proteinträger zeigen naturgemäß die höchsten Proteingehalte.

Der Rohfettanteil ist mit Ausnahme der Ölsaaten (Sojabohne, Rapssamen und Sonnenblumensamen) sehr niedrig.

Unter den Energieträgern zeigt die Verarbeitung auch durch eine Erhöhung der Rohfasergehalte ihre Wirkung. Die Gruppe der Proteinträger ist sehr inhomogen. Rapssamen, Sonnenblumensamen, Sonnenblumenextraktionsschrot und Palmexpeller fallen mit hohen Rohfaseranteilen auf. Die Rohfaser der Getreide besteht vorwiegend aus Hemizellulose, Zellulose hat bei Mühlennachprodukten, Biertrebern, Schlempen, Futterrübe, Press- und Trockenschnitzel, Tapioka und den Ölsaaten sowie deren Verarbeitungsprodukten den höheren Anteil. In der Gruppe Ölsaaten und deren Verarbeitungsprodukte zeigt sich zudem ein hoher Ligninanteil.

Wie zu erwarten besitzen die Energieträger die höchsten Kohlenhydratanteile. Die Entnahme von Nichtfaser-Kohlenhydraten bei der Verarbeitung bewirkt eine relative Anreicherung von Faser-Kohlenhydraten. In der Proteingruppe sind Soja und dessen Extraktionsschrote besonders reich an Nichtfaser-Kohlenhydraten. Sonnenblumensamen und Palmexpeller verhalten sich umgekehrt.

Den Hauptteil der Proteinfractionen übernimmt üblicherweise B2 (mittlere Abbaurate). Ausnahmen stellen Futterrübe, Kartoffel, Ackerbohne und Erbse (viel Fraktion A, „hohe Abbaurate“) dar. Die Verarbeitung von Ölsaaten bewirkt eine Verringerung der Abbauraten (GRUBER et al. 2005).

Getreide besitzen hohe Abbauraten, Mais, Leguminosensamen und Ölsaaten sind langsamer verfügbar. Durch Verarbeitung (Extraktion, Trocknung) sinken die Abbauraten ebenfalls. Wurzeln und Knollen, Leguminosensamen und Ölsaaten weisen die höchsten Abbaubarkeiten auf (GRUBER et al. 2005). Bearbeitung reduziert auch die Abbaubarkeit, wobei technologische Maßnahmen bewusst zur Erhöhung des UDP werden (können).

Durch eine Steigerung der Krafftuttermenge in der Ration sinkt der pH-Wert im Pansen und in der Folge auch der Abbau der Gerüstsubstanzen. Die Verdauungsdepression kann auf eine verringerte Aktivität der zellulolytischen Pansenmikroben zurückgeführt werden (ZEILER 2003). Neben der pH-Wert Schwankung selbst ist auch der Einfluss der Dauer der pH-Wert Senkung auf das Pansenmilieu zu berücksichtigen. Weiters führt die mit Krafftutter verbundene Erhöhung des Futterniveaus zu einer erhöhten Passagerate, die eine weitere Verminderung des Abbaus nach sich zieht.

Die Versorgung mit Krafftutter muss immer leistungsabhängig erfolgen. Zu Beginn der Laktation ist das Energiedefizit am höchsten. Wird in dieser Phase Energie bereitgestellt, kann die Mobilisation aus den Körperreserven sowohl Mengen- als auch zeitmäßig deutlich reduziert werden. Bei einer Überversorgung werden Reserven angelegt. Die Beziehung zwischen Energieversorgung und theoretisch möglicher Milchleistung ist wesentlich enger als zur tatsächlichen Milchleistung (GRUBER 2007).

Die bedarfsgerechte Energieversorgung wird nur erreicht, wenn gleichzeitig eine Optimierung der mikrobiellen Wachstums- bzw. Abbaubedingungen im Pansen angestrebt wird. Verschlechterte Abbaubedingungen für die pflanzlichen Gerüstsubstanzen können eine deutliche Minderung der tatsächlichen Energieversorgung bewirken (SCHWARZ 2000).

Aus Mangel an Strukturkohlenhydraten fehlt der physikalische Anreiz zur Rejektion. Dadurch sinkt die Speichelproduktion, das Puffersystem im Vormagen ist gestört.

Neben der Krafftuttermenge ist die Zusammensetzung von entscheidendem Einfluss. Faserreiche Bestandteile können die negative Auswirkung auf die Wiederkautätigkeit reduzieren.

3.1.2.1.2 Futteraufnahme und Grundfuttermverdrängung

Zur Abdeckung des Nährstoffbedarfes bei sehr hohen Milchleistungen sind ein hoher Krafftutteranteil und beste Grundfutterqualität Voraussetzung (GRUBER et al. 1995). Wichtigstes Ziel des Futtermanagements muss die Maximierung der Gesamtfutteraufnahme sein (SCHWARZ 2000).

Die Futteraufnahme wird im Wesentlichen von drei Faktorgruppen bestimmt: Das Futter weist starke Unterschiede aufgrund von Art, Konservierung, Nährstoff- und Energiegehalt, Struktur, Gerüstsubstanzen, Passagerate und Verdaulichkeit auf. Das Fütterungsmanagement entscheidet über Rationszusammensetzung (bis hin zur Vorlage einer Totalmischung), Frequenz, Sequenz und Fressdauer. Das Tier selbst limitiert die Aufnahme durch seine Leistung und den Versorgungsgrad, genetische Vorgaben, Alter, körperliche Voraussetzungen wie Lebendmasse, Körperbau („Rahmen“), Körperkondition und nicht zuletzt durch gustatorische Präferenzen.

Die Grundfutterqualität ist entscheidend für deren Aufnahme und die wiederum für die Höhe der möglichen Krafftuttermgängerung im Rahmen der stoffwechselphysiologischen Möglichkeiten, insbesondere eines stabilen Pansenmilieus (SCHWARZ 2000). Die Auswirkung der Grundfutterqualität auf die Milchleistung geht mit steigendem Krafftutterniveau zurück, da eine ausgeglichene Energiebilanzierung verstärkt vom Konzentratfutter übernommen wird.

Aufgrund der Vorlage von Krafftutter wird die Gesamtfutteraufnahme zwar erhöht, mit steigendem Konzentratfutteranteil sinkt jedoch die Aufnahme von Grundfutter. Die sogenannte „Verdrängung“ tritt ein. Dafür sind im Wesentlichen zwei Ursachen verantwortlich:

Durch die rasche Fermentation von leichtverdaulichen Kohlenhydraten wird die Propionsäurekonzentration erhöht. Die Gabe von Konzentrat vermindert zusätzlich die Kautätigkeit, auch die Speichelproduktion ist vermindert. Das Pufferregulativ ist verändert, der pH-Wert sinkt. Dadurch sind die zellulolytischen Pansenmikroben beeinträchtigt und es kommt zu einem verminderten Grundfütterabbau. Die Vormägen bleiben somit physikalisch länger gefüllt, die Aufnahme wird reduziert.

Mit der gesteigerten Energieaufnahme ist der Energiebedarf früher gedeckt, die subjektive Sättigung der Kuh tritt ein. Diese, physiologische Ursache hat den größeren Anteil an der Grundfütterverdrängung. Bei hohen Energieüberschüssen wurden hohe Verdrängungsraten festgestellt (GRUBER 2007).

GRUBER (2007) ermittelte, in Abhängigkeit von Grundfütterration, Krafftutterart und Krafftutterniveau, Verdrängungsraten von 0,51 kg TM Grundfütter pro kg TM Krafftutter. Die Gesamtfütteraufnahme stieg entsprechend um 0,49 kg TM pro kg Krafftutter, damit war eine Erhöhung der Energieaufnahme von 5,17 MJ NEL verbunden. Bei höherer Energiekonzentration des Grundfütters erhöht sich die Grundfütteraufnahme und

verringert sich der Krafffutteranteil. Durch den Krafffutteranteil erhöhte sich die Energiekonzentration der Gesamtration um 0,13 MJ NEL (GRUBER 2007). In einem Versuch mit unterschiedlichen Grundfutterqualitäten betrug die Grundfuttermverdrängung bei niedriger Qualität 0,23 und bei hoher Grundfutterqualität 0,33 kg je kg TM Krafffutter (GRUBER et al. 1995). Neben der Wirkung des Krafffutters auf den pH-Wert wird die Verdrängung des Grundfutters durch Krafffutter ganz besonders durch das Energieversorgungs niveau (Energiebilanz) gesteuert (FAVERDIN et al. 1991).

Bei hohen Grundfutterqualitäten stellt sich aufgrund des hohen Energieniveaus eine höhere Grundfuttermverdrängung ein. Während Tiere mit einem Energiedefizit nahezu alles verfügbare aufnehmen, sind gesättigte Tiere selektiver und auf einem höheren Energieversorgungsstatus. Trotz Krafffutteranteil ist die Gesamtfuttermaufnahme bei niedrigeren Grundfutterqualitäten geringer als bei höheren Qualitäten (GRUBER 2009). Um eine bedarfsgerechte Ration zu berechnen, bedarf es neben dem Nährstoffgehalt auch der möglichst genauen Kenntnis der Futtermaufnahme. Nur so kann die Fütterung ökonomisch der Leistung angepasst, aber auch hinsichtlich des Stoffaustretes ökologisch gestaltet werden.

Zur Vorhersage der Futtermaufnahme wurden seit Jahrzehnten verschiedene mathematische Ansätze mit unterschiedlichster Streuung und Erwartungstreue erstellt. GRUBER et al. (2004) haben auf Datenbasis von zehn Instituten in Österreich, Deutschland und Schweiz acht Schätzformeln mit einem Erklärungsvermögen von über 83% der Futtermaufnahmevarianz vorgestellt. Als Einflussfaktoren werden berücksichtigt:

Tierbedingt: Rasse (Fleckvieh, Brown Swiss, Holstein Friesian), Laktationszahl (1, 2, 3 und ab 4), Laktationstag, Lebendmasse (kg), Milchleistung (kg/Tag)

Futtermbedingt: Krafffutter (Verzehr oder Rationsanteil, kg TM/Tag oder % der TM), Energiegehalt im Grundfutter (MJ NEL/kg TM), Anteile an Heu, Maissilage, Grünfutter (% der TM), Verhältnis Rohprotein/Energie (g RP/MJ NEL)

Betriebsbedingt: Region (Ö, D, CH), Managementniveau (mittel, hoch), Fütterungssystem (getrennte Vorlage, Mischration)

Tabelle 10: Schema der Futtermaufnahme-Schätzformel (GRUBER et al. 2004)

$$\begin{aligned}
 TM_{GES} = & - 0,56 + \text{Land} \times \text{Rasse} + \text{Laktationszahl} + \text{Laktationsmonat} + (\text{Tier}) \\
 & + b_{LM} \times LM + (b_{\Delta LM} \times \Delta LM) + b_{Milch} \times \text{Milch} \\
 & + b_{KF} \times KF + 0,98 \times NEL_{GF} \\
 & + 0,012 \times \text{Heu}\% + 0,007 \times \text{Maissilage}\% + 0,006 \times \text{Grünfutter}\% \\
 & + 0,21 \times XP/NEL - 0,0023 \times XP/NEL^2
 \end{aligned}$$

In der Formel sind zwei Effektgruppen einbezogen:

Die fixen Effekte beziehen sich auf Land, Rasse und Management sowie Laktationszahl und Laktationsmonat. Milchbetonte Rassen haben eine gesteigerte Futtermaufnahme aufgrund ihres erhöhten Erhaltungsbedarfes. Das Futter- und Tiermanagement zeigt Unterschiede in der Art der Vorlage, aber auch im Gesundheitsstatus. Je nach Betriebsführung sind hier Zu- und Abschläge von 0,5 bis 1,5 kg TM je Kuh und Tag empfohlen. Hinsichtlich der Laktationszahl zeigt sich, dass Erstlaktierende und Tiere ab der vierten Laktation ein geringeres Aufnahmevermögen besitzen. Ursache können das

nicht abgeschlossene Wachstum bzw. bei den Älteren chronische und zurückliegende Gesundheitsprobleme sein. Der Einfluss des Laktationsstadiums ist hochsignifikant. Zu Beginn der Laktation ist die Aufnahme gering, später agiert der Körper anabol, die Futteraufnahmesteigerung geht jedoch zurück.

Die zweite Effektgruppe besteht aus Regressionskoeffizienten.

Lebendmasse und Lebendmasseveränderung beinhalten als Fehlerquelle die Unsicherheit der Wiegeergebnisse (Füllstand des Verdauungstraktes). Weiters ist zu beachten, dass eine hohe Masse bei jungen Tieren vor allem von einem großen Rahmen herrührt, bei Älteren eher vom Verfettungsgrad. Pro 100 kg Lebendmasse ist 1 kg Futter zu veranschlagen ($b_{LM}=0,01$) und je kg Lebendmasseänderung 0,36 kg ($b_{\Delta LM}$).

Die Regression der Milchleistung hat zu Laktationsbeginn aufgrund der Mobilisation eher losen Zusammenhang, die Beziehung wird im Zeitverlauf enger.

Der Regressionskoeffizient für Kraftfutter beschreibt die Erhöhung der Gesamtfutteraufnahme je zusätzlichem kg Kraftfutter und damit auch die Grundfuttermverdrängung. Die Erhöhung der Aufnahme wird mit Fortschreiten der Laktation geringer, da auch das Energiedefizit geringer wird.

Die Grundfutterqualität wird mit der Energiekonzentration (MJ NEL/kg TM), der Verdaulichkeit (dOM, %) oder dem Rohfasergehalt beschrieben. Die Grundfütterzusammensetzung hat linearen Einfluss. Je 10 % Heu, Maissilage oder Grünfütter steigt die Gesamtfutteraufnahme um 0,12, 0,07 bzw. 0,06 kg TM. Mit dem Protein/Energie-Verhältnis wird die Versorgung der Pansenmikroben beschrieben. Unter einem Proteingehalt von 6 bis 8 % ist der Stickstoffbedarf der Mikroben trotz ruminohepatischen Kreislaufes nicht mehr zu decken. Mit steigendem Proteingehalt steigt die Futteraufnahme.

3.1.2.2 Leistung

Defizite aufgrund niedriger Grundfutterqualitäten lassen sich (insbesondere bei der Milcherzeugung) auch durch hohe Kraftfuttermgaben nicht wieder wettmachen (GRUBER 2009).

3.1.2.2.1 Milchleistung und Milchhaltsstoffe

Der Einfluss vom Kraftfutter unterliegt hohen Schwankungen. Maßgeblich hierfür sind das Laktationsstadium, das Energieniveau und die Versorgung, die Dauer von Über- oder Unterversorgung und die Proteinversorgung.

Bei hochlaktierenden Kühen ist mit einer linearen Steigerung der Milchleistung von 0,8 bis 1,2 kg je kg Kraftfutter (8 MJ NEL) zu rechnen (GRUBER et al. 1995). Rechnerisch würde man mehr Steigerung erwarten. Da die Tiere zu Beginn der Laktation aber hochgradig Körperreserven mobilisieren, können sie eine höhere Leistung aufweisen, als es ihrer Nährstoffversorgung entspricht. Zu bedenken ist allerdings, dass diese Substituierung nur über eine relativ geringe Zeitspanne ohne bleibende Folgen für Leistung und Gesundheit des Tieres funktioniert.

Aufgrund der Grundfuttermitteldrängung wird zwar mehr Energie aus Kraftfutter zugeführt, gleichzeitig erfolgt aber eine Energiereduktion durch die verminderte Grundfuttersaufnahme. Die zu erwartende Milchleistung muss somit immer von der Gesamtration errechnet werden.

Die „scheinbare“ Effizienz ist somit nach dem Abkalben gering, steigert sich dann jedoch, um später, wenn nicht bedarfsgerecht rationiert wird, wieder abzufallen (bei sinkender Milchleistung wird Energie als Körperreserve wieder angesetzt). Langfristig ist von einem degressiven Anstieg der Milchleistung auszugehen. Bei einem Energiedefizit von 14 bis 21 MJ NEL steigt die Milchleistung pro kg TM Kraftfutter um mehr als 2,0 kg an, bei ausgeglichener Bilanz um 1,1 kg und bei einem Energieüberschuss von 14 bis 21 MJ NEL nur um 0,6 bis 0,3 kg (GRUBER 2007).

Die Steigerung der Milchleistung infolge einer Rationsumstellung tritt zeitverzögert und in Abhängigkeit von der Anwendungsdauer auf. Vom theoretisch möglichen Wert von 1,63 kg ECM-Steigerung pro kg TM Kraftfutter konnten kurzfristig nur 0,45 kg, mittelfristig 1,07 und erst bei langfristigen Einsatz (über die gesamte Laktation) 1,34 kg erzielt werden (GRUBER 2007). Eine Senkung der Kraftfuttermenge um 3,0 kg TM gegenüber Bedarfsgerechtigkeit hat langfristig eine höhere Auswirkung (3,4 kg ECM) auf die Leistung als mittelfristig (2,3 kg ECM) (GRUBER 2007).

Die Milchleistung ist nicht nur von der aktuellen Ration, sondern auch vom Niveau der Vorphasen abhängig. URDL et al. (2007) stellten einen Unterschied von 5 kg ECM aufgrund von Unter- bzw. Überversorgung in der vorhergehenden Trockenstehzeit fest.

Die Auswirkung der Kraftfuttergaben ist auch vom Laktationsstadium abhängig. Zu Beginn steigt die Effizienz linear, flacht später aber ab. Bei Unterversorgung ist die Kraftfutterration maßgeblich für die langfristige Leistung. Durch ein Energiedefizit ist das Tier länger mit dem Auffüllen der körpereigenen Reserven beschäftigt und kann sein genetisches Potential nicht ausschöpfen.

Mit steigendem Energieniveau geht die Kraftfutterwirkung von 2,3 auf 0,5 kg ECM pro kg TM Kraftfutter zurück (GRUBER 2007). Dies deckt sich mit dem Gesetz des abnehmenden Grenzertrages nach Mitscherlich.

Hauptursache für Unterschiede in der Zusammensetzung der gewonnenen Milch ist die Fermentation in den Vormägen. Bei hohen Kraftfutteranteilen (über 55% der Ration) wird vermehrt Propionat gebildet. Acetat, der Ausgangsstoff für die Milchfettsynthese, wird in geringeren Mengen produziert. Verantwortlich für die Milchfettdepression ist jedoch nicht in erster Linie ein Acetatmangel sondern die Wirkung von Propionsäure. Sie stimuliert die Sekretion des Hormons Insulin und damit die Lipogenese in den Fettgeweben. Die Versorgung der Milchdrüse ist herabgesetzt. Eine hohe Frequenz der Kraftfuttermitteldrängung wirkt sich positiv auf den Milchfettgehalt aus. Langfristig verursacht in erster Linie der Energiemangel einen geringeren Milchfettgehalt. MAULBETSCH (2005) stellt einen direkten Zusammenhang zwischen Nichtfaserkohlenhydraten und dem Milchfettgehalt dar. Wird ein Gehalt von 3,4 % angestrebt errechnet sich mittels Regression ein NDF-Gehalt der Ration von ca. 28 % $((3,4-1,72)/0,06 = 28)$. Bei einer Verringerung des Rohfasergehaltes um 5 % errechnet sich eine Senkung des Milchfettgehaltes um 0,45 % $(y = 2,27+0,09x)$.

Mit steigender Energie- und Proteinversorgung steigt auch der Milchproteingehalt. Im Durchschnitt erhöht sich der Milcheiweißgehalt um 0,03 % je kg TM Krafffutter (GRUBER 2007). Milcheiweißgehalte unter 3,1 bis 3,2 % deuten auf eine Energieunterversorgung hin (GRUBER 2007). Die Pansenmikroben sind energetisch nicht mehr in der Lage, das zugeführte Rohprotein umzubauen.

Mit steigender Versorgung an rasch verfügbaren Kohlenhydraten steigt der Gehalt an Laktose in der Milch (MAULBETSCH 2005).

3.1.2.2 Lebendmasse und Körperkondition

Kühe versuchen ihre Milchleistung entsprechend ihres genetischen Potentials konstant zu halten. Bei Unterversorgung mobilisieren sie, bei Überversorgung legen sie Körperreserven an. Eine zu große Überversorgung wird nach Einstellung eines Energiegleichgewichtes physiologisch unterbunden. Die Futteraufnahme wird reduziert.

Mittel- und vor allem langfristig ist eine Energieunterversorgung klar am Rückgang der Lebendmasse zu erkennen. Bei bedarfsgerechter Fütterung geben GRUBER et al. (1995) ein Lebendgewicht nach dem Abkalben von 650 kg an, welches bis zum Laktationsende auf 697 kg anstieg. Ohne Krafffuttergaben sank das Gewicht von 654 kg auf 632 kg beim Trockenstellen. In langfristigen Versuchen erhöhte sich die Lebendmasse pro kg TM Krafffutter um 9,3 kg. Zur Beschreibung der Körperreserven ist die Masse unzureichend. Die Füllung des Verdauungstraktes, das Gewicht der Frucht und Wassereinlagerungen lassen kein direktes Urteil zu (GRUBER 2007).

3.1.2.2.3 Wechselwirkungen:

Krafffutter und Rasse, Grundfutterqualität, Laktationsstadium

Kühe reagieren auf Krafffutter entsprechend ihres genetischen Potentials. Milchbetonte Rassen (z.B. Holstein Friesian) sind in der Lage, auf eine Krafffuttersteigerung mit einem deutlichen Anstieg der Milchleistung zu reagieren. Außerdem wird das Nährstoffangebot je nach Rasse bzw. Nutzungsrichtung unterschiedlich in Milch und Körperansatz aufgeteilt. Selbst in energiedefizitären Phasen zeigt Krafffutter bei Zweinutzungsrasen eine geringere Wirkung.

Tabelle 11: Einfluss von Rasse und Krafffutterniveau auf Milchleistung, Mobilisation und Krafffutterwirkung (nach GRUBER 2007)

Krafffutterniveau (%)		Fleckvieh	Holstein Friesian
0	Milchleistung kg ECM/Jahr	4.465	4.987
	Mobilisation	934	1.113
	KF-Wirkung kg ECM/kg KF	1,21	2,17
100	Milchleistung kg ECM/Jahr	5.728	8.052
	KF-Wirkung kg ECM/kg KF	1,03	1,76

Mit steigenden Krafffuttergaben sinkt die Bedeutung der Grundfutterqualität. GRUBER et al. (1995) fanden eine Steigerung der Milchleistung pro kg TM Krafffutter von 1,52 kg, unabhängig von der Grundfutterqualität.

3.1.2.3 Wirtschaftlichkeit und Effizienz

Die Futterkosten machen in der Milchproduktion je nach Bestandesgröße 18 bis 28% der gesamten Produktionskosten aus. Bis zu einer Leistung von 6.000 kg Milch sinken die Kosten, darüber kann, aufgrund von Krafffutterkosten und Tierarztkosten, kaum mehr ein Vorteil erwirtschaftet werden (PFINGSTNER 1993).

Alle Faktoren, welche die Milchleistung positiv beeinflussen, erhöhen den Rohertrag (Grundfutterqualität, Krafffutterniveau, Rasse) (GRUBER et al. 1995). Zur Ermittlung des Deckungsbeitrages sind allerdings die variablen Kosten zu berücksichtigen. Somit wirken alle Effizienz steigernden Faktoren positiv auf den Nettoerfolg des Betriebes. Zum Beispiel kann bei milchbetonten Rassen daher auch eine hochgradige Steigerung der Krafffuttermenge wirtschaftlich interessant sein.

Einen wichtigen Kostenfaktor stellt die veterinärmedizinische Betreuung dar. Eine nicht adäquate Krafffutterergänzung führt zu Störungen im Stoffwechselgeschehen. Schon die Grundfutterqualität wirkt sich auf die Zahl der Behandlungen durch den Tierarzt aus, sowohl im Stall als auch je Tier.

Tabelle 12: Tierarztbesuche, Fruchtbarkeit (GRUBER et al. 1995)

Versuchsfaktor Stufe	Grundfutterqualität		Krafffutterniveau (%)			Rasse	
	niedrig	hoch	0	50	100	FV	HF
Tierarztbesuche							
Anteil der Kühe (%)	23,7	19,4	23,2	13,7	27,8	13,1	30,1
Anzahl je Kuh	0,32	0,25	0,29	0,17	0,41	0,18	0,39
Besamungsindex (%)	1,61	1,41	1,36	1,62	1,55	1,47	1,56

Der Einfluss des Krafffutterniveaus schwankt. Als Erklärung mag hier gelten, dass im Niveau KF0 ein massives Energiedefizit besteht, was zu Komplikationen führt. Erreicht die Versorgung 50% des Bedarfes werden die Einflüsse geringer. Wird der Krafffutterbedarf gänzlich gedeckt, wird erstens der Stoffwechsel auf sein Maximum angeregt, zweitens ist die Menge an rasch fermentierbaren Kohlenhydraten schon beachtlich. Milchbetonte Hochleistungsrassen erscheinen in dieser Studie (aufgrund ihres Leistungsniveaus) gesundheitsanfälliger. Die Fruchtbarkeit profitiert einerseits von guter Grundfutterqualität, andererseits schwankt der Krafffuttereinfluss. Ohne Krafffutteranteil in der Ration ist der Besamungsindex am niedrigsten. Mithilfe von Krafffuttermengen ist man nicht imstande, insbesondere bei Hochleistungstieren eine Mobilisation vollständig zu unterbinden. Nach der Abkalbung führt Mobilisation bei gleichzeitigen, zu hohen Krafffuttermengen eventuell zu Störungen in der Vormagenverdauung, indem die hohe Menge an Fettsäuren zu einer vermehrten Ketonkörpersynthese führen (Azeton aus Azetazetat). Die Konzentrationen der Ketonkörper steigen vor allem im Blut, im Urin sowie in der Milch (KIRCHGESSNER et al. 2008).

Eine Milchleistungssteigerung über 1 bis maximal 2,3 kg je kg TM Krafffutter ist nur bei einer negativen Energiebilanz zu erwarten. In der Praxis ist daher ab dem 150. Bis 200. Tag die Einsatzhöhe von Krafffutter kritisch zu prüfen, da die Effizienz gering und die Grundfuttermenge zu hoch ist (GRUBER 2009).

Der Einsatz von Krafffutter ist auch aus ethischen Gesichtspunkten zu betrachten (Nahrungsmittelkonkurrenz, Umweltbelastung) (GRUBER 2007).

Bezogen auf die Produktionsfläche ist folgendes zu beobachten:

Durch die Grundfutterverdrängung und weil Kraftfutter zum Teil die Energieversorgung des Tieres übernimmt, kann die Besatzdichte erhöht werden. So wird auch bei einer relativ geringen Grundfutterqualität eine gute Milchleistung erzielt. Bei geringen Kraftfuttermengen wird die höchste Milchproduktivität bei höchster Schnitthäufigkeit erzielt, bei bedarfsgerechter Kraftfuttermenge dagegen bei niedrigster Schnitthäufigkeit.

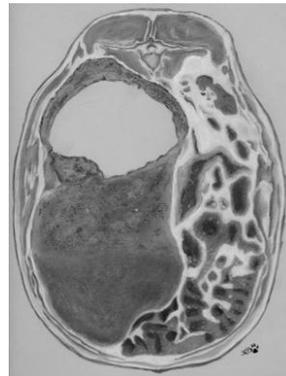
Bei niedriger Kraftfuttermenge ist nur ein schwacher Einfluss der Schnitthäufigkeit auf die Nährstoffausscheidung pro Fläche festzustellen. Wird bedarfsgerecht gefüttert, fallen die höchsten Nährstoffausscheidungen bei der niedrigsten Schnittfrequenz an (GRUBER et al. 2000).

3.1.3 Fermentation und Umsetzung im Pansen

3.1.3.1 Besonderheiten der Wiederkäuerernährung

Wiederkäuer selbst sind ebenso wenig in der Lage, Futter mit einem hohen Anteil an Zellwandbestandteilen aufzuspalten, wie Monogastriden. Um pflanzliche Gerüstsubstanzen trotz fehlender zellulolytischer Enzymausstattung effektiv nutzen zu können, hat sich im Laufe der Evolution ein Symbiosesystem mit Mikroorganismen entwickelt. Vor dem eigentlichen Drüsenmagen, dem Labmagen, ist ein großräumiges Hohlraumssystem (Vormagensystem) ausgebildet, das aus Pansen, Haube (Netzmagen) und Psalter (Blättermagen) besteht. Die Schleimhaut der Vormagenabteilungen ist frei von Drüsen (PIATKOWSKI et al. 1990). Das Fassungsvermögen des gesamten Magens beim erwachsenen Rind schwankt je nach Größe und Rasse des Tieres zwischen 65 – 120 l. Von dem Gesamtinhalt entfallen auf Pansen und Haube im Durchschnitt 84 %, auf den Pansen allein etwa 55 – 100 l. Der Blättermagen fasst 4 – 8 l, der Labmagen 6 – 12 l (SCHUMMER UND HABERMEHL et al. 1987).

Abbildung 1: Pansenquerschnitt (GASTEINER et al. 2008)



Der Pansen ist ein großer, seitlich abgeflachter Sack, der die linke Bauchhöhlenhälfte fast vollständig ausfüllt. Er ist durch starke Muskelbalken, die „Pansenpfeiler“, mehrfach unterteilt, wodurch ein dorsaler und ein, etwas größerer, ventraler Pansensack entstehen. Kranzfurchen grenzen den kaudalen und kranialen Blindsack von den beiden Pansensäcken ab. Der dorsale Anfangsblindsack ist zum Netzmagen hin offen und wird auch Pansenvorhof oder Schleudermagen genannt. Durch ihn, teilweise durch seine Muskeltätigkeit unterstützt, findet ein Austausch der Futtermassen zwischen dem Rumen und dem Reticulum statt. Bei der Rejektion ist er von Bedeutung, da er Futtermasse in den Ösophagus zurückbefördert (MAULBETSCH 2005). Besondere Bedeutung kommt der Pansenmucosa zu. Etwa 10 – 60 Zotten pro cm² mit einer Höhe von ca. 5 mm und einer Breite von ca. 1 mm vergrößern die Gesamtoberfläche um den Faktor 7. Hier werden Fettsäuren, Ammoniak, Magnesium und Natrium absorbiert sowie Harnstoff durch Urease gespalten (PIATKOWSKI et al. 1990). Form und Absorptionskapazität der Zotten sind von der Futterration abhängig. Bei leicht verdaulichen Rationen reagiert das Pansenepithel durch Oberflächenvergrößerung, Anpassung von Gewebedurchdringbarkeit und intraepithelen Stoffwechsel sowie der Zellaktivität (PENNER et al. 2011). Propion- und Buttersäure von stärkereicher Fütterung fördern den geweblichen Aufbau. Die Resorptionskapazität liegt im sauren Bereich deutlich höher als bei pH 7. In diesem Bereich steigt aber die Gefahr der

Hyperkeratose (Keratinauflagerungen schuppen nicht mehr ab und schnüren das Epithel ein). Nekrotische Zustände stellen sich ein.

Abbildung 2: Pansen mit Pansenzotten und Haube mit Haubenleisten, Schlachtpräparat (GASTEINER et al. 2010)



Die Haube ist kugelig und kraniokaudal leicht abgeflacht. Dorsal geht sie ohne sichtbare Grenze in den Pansenvorhof über, ventral und seitlich ist sie von der Pansen-Hauben-Furche vom Pansen deutlich abgesetzt. Im Reticulum bildet die Schleimhaut ein netzartiges und wabenförmiges Relief aus. Sie bildet eine funktionale Einheit mit dem Pansen.

Über das Zentralnervensystem werden geordnete Kontraktionen und Relaxationen von Haube und Pansen ausgelöst. Zuerst zieht sich die Haube zusammen, um nach einer kurzen Erschlaffung wieder zu kontrahieren. Durch die Kontraktion des dorsalen Pansensackes wird Futterbrei in den ventralen Pansensack gedrängt. Dadurch werden die Ingesta durchmischt, psalterreifes Futter in den Psalter befördert und noch zu lange Partikel wiedergekaut. Unter physiologischen Bedingungen treten beim Rind 7 bis 12 solcher Kontraktionen in fünf Minuten auf. Futteraufnahme und Wiederkauen erhöhen die Frequenz, der Abfall des pH-Wertes (aber auch die Erhöhung) können sie zum Erliegen bringen. Die durch Gärvorgänge im Pansen entstandenen Gase werden durch Eruktion in einem sekundären Kontraktionszyklus 5 bis 8 mal in zehn Minuten freigegeben (PIATKOWSKI et al. 1990).

Der Blättermagen ist oval mit dorsaler Krümmung. Er sitzt rechts auf Höhe der Haube. Seinen Namen verdankt er der typischen Inneneinrichtung. Die kutane Schleimhaut bildet Psalterblätter unterschiedlicher Größe aus. Hauptaufgabe dieses Vormagens ist es, dem Nahrungsbrei Wasser und Mineralstoffe zu entziehen, um ihn so einzudicken.

Der Labmagen hat Birnenform und besitzt eine nach links und ventral gerichtete Krümmung. Anders als die Vormägen verfügt er über eine drüsenhaltige Schleimhaut. Er entspricht dem einhöhligen Magen anderer Säugetiere. Bei Neugeborenen macht der Labmagen etwa 50 % der Mägen aus, da die fermentative Verdauung noch nicht

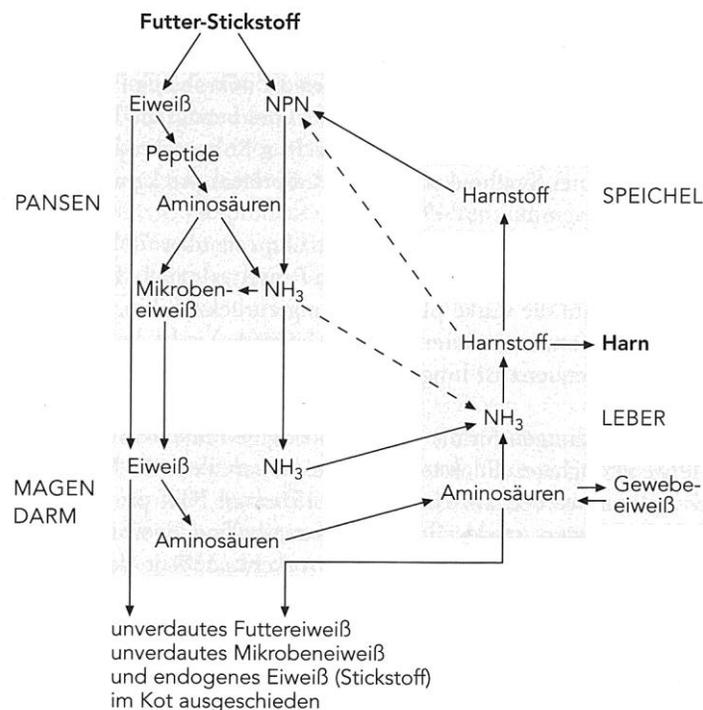
ausgeprägt ist. Durch Produktion und Abgabe von Salzsäure wird der pH-Wert abgesenkt, die Verdauung mittels körpereigener Enzyme setzt ein.

3.1.3.1.1 Abbau von stickstoffhaltigen Verbindungen

Auch Wiederkäuer haben einen physiologischen Bedarf an essentiellen Aminosäuren, um körpereigenes Protein aufzubauen. Anders als Monogastriden können sie allerdings auch auf hochwertiges Mikrobenprotein zurückgreifen.

Über das Futter werden pflanzliches Protein und Nicht-Protein-Stickstoffverbindungen (Nukleinsäuren, Nitrate, freie Aminosäuren, Amide, Ammoniak, Harnstoff) aufgenommen (BORCHERT 2007). Zusätzlich tragen endogene Sekrete (Mucoproteine, Harnstoff, abgeschilferte Epithelzellen) sowie bis zu 20 % über die Pansenwand rezirkulierter Harnstoff zur Stickstoffversorgung bei. Übersteigt der vorhandene Ammoniak den Stickstoffbedarf, so wird er aus dem Pansen absorbiert und in der Leber zu Harnstoff umgewandelt. Dieser Harnstoff wird entweder über den Urin ausgeschieden oder gelangt in die Speichelflüssigkeit bzw. diffundiert wieder in den Pansen. Dort spalten ihn mikrobielle Ureasen zu Ammoniak, er steht den Mikroben wieder als Stickstoffquelle zur Synthese zur Verfügung („ruminohepatischer Kreislauf“).

Grafik 11: Eiweißstoffwechsel des Wiederkäuers (KIRCHGESSNER et al. 2008)



Mit der Harnstoffausscheidung über den Urin steht dem Tier ein sensibles Instrument zur ökonomischen Stickstoffverwertung zur Verfügung. Besteht ein Kohlenhydratmangel, steigen die N-Ausscheidungen, da aufgrund eines Energiedefizits die Proteinsynthese gehemmt ist. Die Stickstoffkonzentration in der Leber und der Harnstoffgehalt im Plasma zeigen deutlich den Versorgungsgrad mit Protein. Die Ammoniakmenge darf dabei

allerdings die Kapazität der Harnstoffsynthese nicht überschreiten. Als kritische Grenze gilt 39g verfügbarer Stickstoff je kg TM (KIRCHGESSNER et al. 2008).

Die Mikroorganismen des Pansens synthetisieren sowohl nicht essentielle als auch essentielle Aminosäuren für das Wirtstier. Die Zusammensetzung der Aminosäuren im Zwölffingerdarm weicht stark von den Aminosäuren des Futterproteins ab. Das Aminosäuremuster des Mikrobeneiweißes ist im Vergleich zu Milcheiweiß als äußerst günstig einzustufen. Der Wiederkäuer ist von der Qualität des Futterproteins weit weniger abhängig als der Monogastrier. Über 200 verschiedene Mikroorganismenarten im Pansen nutzen in unterschiedlicher Weise verschiedene Stickstoffquellen (KIRCHGESSNER et al. 2008). Die Abbaubarkeit des Futterproteins kann zwischen 50 und 100 % liegen.

Proteasen der Mikroorganismen bauen die Proteine enzymatisch bis zu Oligo- und Dipeptiden sowie Aminosäuren und ein Großteil dieser Verbindungen weiter zu Ammoniak ab. Als solcher dient er den meisten Bakterien als Baustein für die Proteinsynthese. Aufgrund ihrer Enzymausstattung verwenden Cellulose- und Hemizelluloseabbauende Bakterien vorwiegend oder ausschließlich Ammoniak als Stickstoffquelle (RUSSELL et al. 1992). Andere Mikroben benötigen mehrere Stickstoffquellen. So bestehen 40 bis 80 % des am Darm ankommenden Eiweißes aus Mikrobenprotein (RIEMEIER 2004). Die Angaben zur biologischen Wertigkeit schwanken in der Literatur zwischen 66 und 87. Die Aminosäurezusammensetzung ist relativ konstant, lediglich aufgrund der Herkunft von Protozoen oder Bakterien sind Unterschiede feststellbar. Der Anteil des unabgebauten Rohproteins beträgt 20 bis 30 %. Dieser Anteil wird mit steigender Leistung immer wichtiger und kann mithilfe der Rationszusammensetzung und technisch durch den Einsatz von geschützten Proteinen reguliert werden. Die Menge darf die Grenzen der ausreichenden Versorgung der Pansenmikroben aber nicht überschreiten. Eine Synchronisation des Rohprotein- und Kohlenhydratabbaues im Pansen, zur Maximierung der Effizienz der mikrobiellen Proteinsynthese, wird sehr widersprüchlich diskutiert (RIEMEIER 2004). Den maßgeblichen Einfluss auf die Syntheseleistung haben zum Einen der Gehalt an verfügbarem Substrat und zum Anderen die über die Kohlenhydrate zugeführte Energie. Proteinsynthese und Kohlenhydratabbau können also nicht getrennt voneinander betrachtet werden.

3.1.3.1.2 Abbau von Kohlenhydraten

Kohlenhydrate sind die Hauptenergielieferanten für die Wiederkäuer. Im Gegensatz zu Monogastriden werden sie jedoch nicht nur bis zur Stufe der Monosaccharide gespalten, sondern zu Pyruvat (Brenztraubensäure) weiter abgebaut. Die flüchtigen Fettsäuren Propionsäure, Essigsäure und Buttersäure sind die Endprodukte. Dabei entstehen Gärgase (Methan, CO₂), die über den Ruktus abgegeben werden. Der Großteil der Fettsäuren wird bereits im Pansen absorbiert; gelangen Kohlenhydrate in die nachfolgenden Verdauungsorgane, werden sie enzymatisch abgebaut (KIRCHGESSNER et al. 2008). Welche Fettsäuren produziert werden, hängt hochgradig mit der Futterzusammensetzung und dem Verarbeitungsgrad zusammen. Stärke und Zucker aus verschiedenen Kraftfuttermitteln führen zu einem Anstieg von Propionat und Butyrat. In weiterer Folge ist Propionat der Ausgangsstoff für die Gluconeogenese. Rohfaserreiche Rationen erhöhen den Acetatanteil und fördern so die Fettsynthese.

Hinsichtlich ihrer Abbauleistung lassen sich die kohlenhydratabbauenden Mikroben in struktur- und nichtstrukturkohlenhydratabbauende Organismen unterscheiden. Die Nichtstrukturkohlenhydrate bestehen zu unterschiedlichen Teilen aus Zucker und Stärke, wobei in praxisüblichen Wiederkäuerrationen die Stärke deutlich überwiegt (RIEMEIER 2004). Ihre Verdaulichkeit ist relativ hoch, kann jedoch durch Erhitzen und Abkühlen eingeschränkt sein. Auch ganze Getreidekörner und granuläre Stärke in Mais sind schlechter verdaulich. Der Abbau erfolgt hauptsächlich extrazellulär durch Enzyme von amylytischen Bakterien. Auch Pansenprotozoen sind am Stärkeabbau beteiligt. Bei einer Erhöhung des Gehaltes an leicht fermentierbaren Kohlenhydraten steigt die Zahl der Protozoen zwar kurzfristig, aufgrund des Anstieges der Fettsäuren und der verstärkten Bildung von Milchsäure sinkt jedoch der pH-Wert, die Protozoen werden eliminiert (RIEMEIER 2004). Stärke, die den Dünndarm erreicht, wird durch körpereigene Enzyme und als Glukose absorbiert.

Der Großteil der zugeführten Kohlenhydrate besteht aus Zellwandbestandteilen. Im Gegensatz zum Wirtstier sind die Mikroorganismen im Pansen in der Lage, β -glukosidische Bindungen zu spalten. Zellulose und Hemizellulose werden hydrolytisch gespalten. Monomere werden über Pyruvat in kurzkettige Fettsäuren umgewandelt und stehen somit dem Wiederkäuer als Energiequelle zur Verfügung. Zellulolyten sind jedoch nicht so säuretolerant wie Amylolyten. Deshalb führt ein sinkender pH-Wert zu einer Reduktion der Faserverdauung. Zusätzlich verschlechtert er die Haftbedingungen für zellulolytische Mikroben an den Zellwänden aufgrund der Anlagerung von H^+ - Ionen anstelle von Metallionen.

Futtermittel unterscheiden sich sowohl hinsichtlich ihrer Verdaulichkeit als auch der Fermentationsrate. Passage- und Fermentationsrate stehen im Pansen miteinander in Konkurrenz. Für Feststoffe liegt die Passagerate bei 3 bis 20 % pro Stunde, die Fermentationsrate bei 3 bis 15 % je Stunde.

Die Herkunft von Kohlenhydraten übt unterschiedlichen Einfluß auf die Wirkung im Pansen aus.

Tabelle 13: Einfluss von Kohlenhydraten unterschiedlicher Herkunft auf die Umsetzungen im Pansen (BORCHERT 2007)

	Kohlenhydrate	
	schnell fermentierbar	strukturwirksam
Abbaubarkeit im Pansen	↑	↓
Verdaulichkeit	↑↑	↓↓
Energiegehalt	↑↓	↓↓
pH-Wert im Pansen	↓	↑
mikrobielle Proteinsynthese	↑	↑↓
Wiederkauaktivität	↓	↑↑
Passagegeschwindigkeit	↑	↓

Rasch fermentierbare Kohlenhydrate liefern mehr Energie und fördern damit die mikrobielle Proteinsynthese, senken aber die Wiederkauaktivität, während sie gleichzeitig die Produktion von flüchtigen Fettsäuren erhöhen. Dadurch ergibt sich eine Veränderung des pH-Wertes im Pansen mit kaskadenartigen Konsequenzen.

Die Kohlenhydratverdaulichkeit ändert sich weiters mit der Futtermenge und dem Verhältnis von Grund- zu Krafffutter. Die Gabe von Fett über die Ration schränkt die Kohlenhydratverdaulichkeit im Pansen ein.

Das CNCPS stellt ein Modell dar, das die quantitative Ermittlung der Fermentationvorgänge ermöglicht. Hierfür wird das mikrobielle Ökosystem im Pansen in zwei Gruppen geteilt:

Mikroben, welche die Faserkohlenhydrate Zellulose und Hemizellulose fermentieren, verwenden ausschließlich Ammoniak als Stickstoffquelle. Sie wachsen langsam und haben einen geringen Erhaltungsbedarf (0,05 g CHO pro g Bakterien je Stunde).

Mikroben, die Nichtfaserkohlenhydrate fermentieren (Stärke, Pektin, Zucker), verwerten neben NH_3 auch Peptide und Aminosäuren. Sie wachsen rascher, haben aber einen höheren Erhaltungsbedarf (0,15 g CHO pro g Bakterien je Stunde) (RUSSELL et al. 1992).

Die mikrobielle Leistung wird nach folgendem Modell errechnet (ISAACSON et al. 1975, RUSSELL et al. 1992):

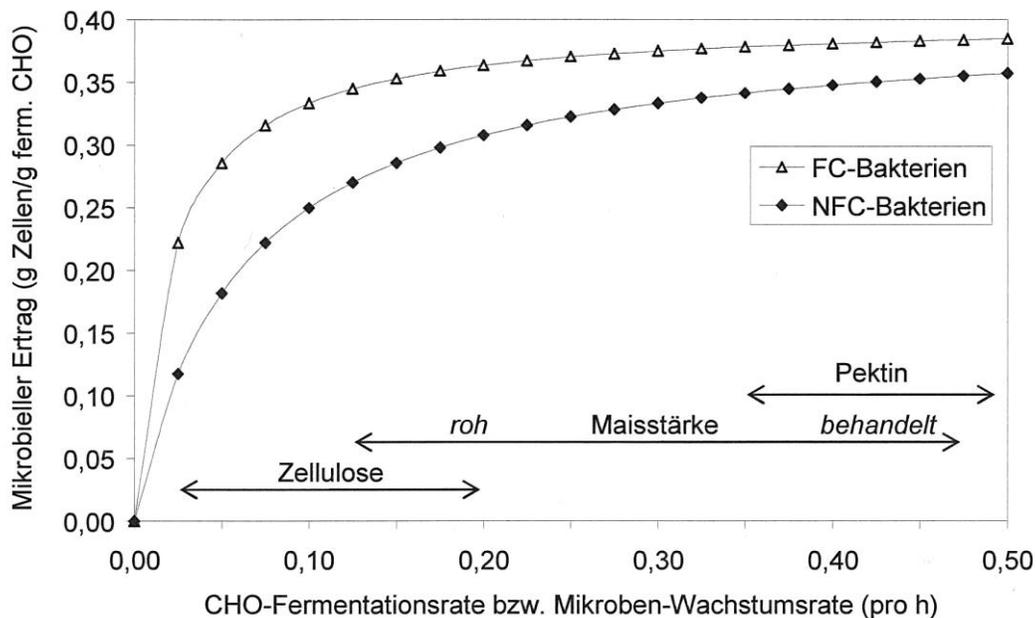
$$\text{Effizienz} = 1 / ((\text{Erhaltung} / \text{Wachstumsrate}) + (1 / \text{theoretisch maximale Leistung}))$$

Unter Erhaltung versteht sich der Erhaltungsbedarf der Bakterien (0,05 bzw. 0,15 g CHO pro g Bakterien je Stunde). Die theoretisch maximale Leistung beträgt 50 %. Sie wird mit 0,5 g Mikrobenmasse pro g fermentierten Kohlenhydraten angegeben (ISAACSON et al. 1975). Da die Syntheseleistung der Protozoen jedoch im Modell nicht berücksichtigt wird, wird dieser Wert um 20 % reduziert (RUSSELL et al. 1992). Somit ergeben sich 40 % theoretisch maximale Leistung.

Die Wachstumsrate der Bakterien entspricht der Kohlenhydrat-Fermentationsrate.

Sinkt der pH-Wert, sinkt auch die Syntheseleistung. Über den NDF-Gehalt aus Grobfutter werden die Verhältnisse eingeschätzt. Je NDF-Prozent unter 20 % im Grobfutter reduziert sich der Mikrobenertrag um 2,5 %. Wenn Stickstoff in Form von Peptiden oder Aminosäuren vorliegt (bis zu einem Aminosäuregehalt von 14 % der organischen Masse), erhöht sich die mikrobielle Leistung der NFC-Bakterien um bis zu 18,7 % (RUSSELL et al. 1992).

Grafik 12: Einfluss der Kohlenhydrat-Fermentationsrate bzw. Wachstumsrate auf den Ertrag an Mikroorganismen im CNCPS (RUSSELL et al. 1992)



Die Effizienz wird zur Wachstumsrate in Abhängigkeit gestellt und somit auch mit dem Erhaltungsbedarf verknüpft. Der Erhaltungsbedarf sinkt in Relation mit steigender Kohlenhydrat-Fermentationsrate, wobei die FC-Bakterien immer eine höhere Wachstums-Effizienz aufweisen. Mit dem vorliegenden Modell wird die Abhängigkeit der mikrobiellen Leistung von der tatsächlich im Pansen fermentierten Masse an Kohlenhydraten dargestellt. Gesamtverdaulichkeit und Energieaufnahme beschreiben hingegen die Versorgung des Wirtstieres (GRUBER 2009).

3.1.3.1.3 Abbau von Fetten

Wiederkäuer tolerieren weniger Fett im Futter als andere Säugetiere. Die Grenze des Fetteinsatzes liegt bei 5 % der TM der Futterration (KIRCHGESSNER et al. 2008). Darüber wirkt sich der Fettgehalt negativ auf die Mikrobenaktivität aus.

Im Pansen werden die Esterbindungen der Triglyceride aus Konzentratfutter und Diglyceride aus den Chloroplasten von Grünfutter zu Glycerin und freien Fettsäuren gespalten. In den Vormägen findet nur eine Absorption kurzkettiger Fettsäuren statt. Langkettige Fettsäuren werden entweder sofort in den Dünndarm transportiert und dort mittels Pankreaslipase und Unterstützung von Gallensäure gespalten oder im Pansen modifiziert. Dabei werden vor allem ungesättigte Fettsäuren hydriert. Die Doppelbindungen werden zu Einfachbindungen umgebaut. Zusätzlich werden dabei oft cis-Konfigurationen in trans-Konfigurationen umgebaut. Diese sind gut absorbierbar, weshalb die Körperfette der Wiederkäuer, einschließlich der Milchfette, deutlich mehr trans-Fette enthalten als Monogastriden (KIRCHGESSNER et al. 2008).

Werden freie Fettsäuren nicht von Mikroorganismen im Pansen genutzt, können sie mit den Kationen Calcium und Magnesium Komplexe bilden. Diese stehen sodann nicht mehr als Puffer zur Verfügung, weshalb der pH-Wert im Pansen sinkt. Größere Futter-

fettmengen sollten daher nur in pansenverträglicher (pansenstabiles oder geschütztes Fett) Form verfüttert werden (SCHRÖDER et al. 2000).

3.1.3.2 Pansenmilieu, diätetische Einflussfaktoren und Stoffwechselstörungen

Der Wiederkäuer und das im Pansen befindliche Ökosystem stehen in enger symbiotischer Beziehung zueinander. Einerseits hängt das Wirtstier von den Abbauleistungen der Mikroorganismen und in weiterer Folge von deren Syntheseleistung ab. Andererseits finden die Symbionten in den Vormägen ideale Voraussetzungen für die mikrobielle Verdauung vor:

Konstante Temperatur, NaHCO_3 im Speichel für die Abpufferung der flüchtigen Fettsäuren, kontinuierliche Nährstoffversorgung (endogen und exogen), gute Durchmischung durch 7 bis 15 Pansenkontraktionen je Minute, intensive Zerkleinerung durch Wiederkauen, regelmäßige Abgabe von Gärgasen (5 bis 8 mal pro Minute), kontinuierliche Entfernung der Stoffwechselprodukte durch Absorption (JEROCH et al. 2008) und ein entsprechend günstiger hoher Wassergehalt. Mikroorganismen und Pansenmilieu bedingen sich gegenseitig. Beide reagieren sehr sensibel auf Veränderungen.

Der Pansen adulter Rinder ist mit einer komplexen Mischung aus Bakterien, Protozoen, Pilzen und Hefen besiedelt. In Abhängigkeit von der Ration schwankt ihre Gesamtzahl von 10^{18} bis 10^{21} pro ml Pansensaft (WENNING 2008).

Die zahlenmäßig größte Gruppe der Symbionten stellen die Bakterien dar. Die Keimzahl macht etwa 5 bis 10% des gesamten Panseninhaltes aus (KIRCHGESSNER et al. 2008). Weiters hängt sie stark von der Fütterung ab. Stärkereiche Futtermittel erhöhen die Gesamtzahl der Keime im Vergleich zu Zellulosereicher Fütterung um ein Vielfaches.

Tabelle 14: Einfluss der Futterart auf den Keimgehalt im Pansensaft (KIRCHGESSNER et al. 2008)

	Keimzahl in 10^9 /ml Pansensaft
Stroh	4 – 15
Heu	9 – 15
stärkereiche Fütterung	50 – 60
Rübenblatt	10 – 20
Rüben	9 – 15

Neben der Quantität der Bakterienbesiedelung spielt selbstverständlich die Zusammensetzung eine große Rolle. Die über 200 Spezies lassen sich in Anlehnung an ihre Fermentationsleistung unterscheiden.

Zellulolytische Bakterien (z.B.: *Bacteroides succinogenes*, *Ruminococcus albus*, *Ruminococcus flavefaciens*) findet man an Futterpartikel assoziiert. Sie verwenden ausschließlich Ammoniak als Stickstoffquelle, sind streng anaerob und säureempfindlich.

Amylolytische Bakterien (z.B.: *Bacteroides amylophilus*, *Succinimonas amylolytica*, *Streptococcus bovis*) sind weniger säureempfindlich und kommen (so wie Proteolyten) frei in der Pansenflüssigkeit vor. *Bacteroides ruminicola* und *Butyrifibrio fibrisolvans* können sowohl Amylose als auch Saccharose und Pektin spalten. Sie sind mittelgradig säuretolerant.

Die für erwachsene Rinder typische Keimflora wird bei einem Angebot entsprechender Futtermittel etwa in einem Alter von 9 bis 13 Wochen erreicht und bedarf keines Kontaktes mit adulten Tieren (PIATKOWSKI et al. 1990).

Mit 10^5 bis 10^6 und über 100 Spezies sind die Protozoen die zweitgrößte Gruppe im Pansen. Sie müssen erst durch Kontakt mit anderen Tieren erworben werden. Sie machen etwa 20 bis 40 % der mikrobiellen Biomasse aus. Sie beteiligen sich am Umsatz aller Nährstoffe, nehmen Bakterien und Futterpartikel auf und spalten deren Proteine (PIATKOWSKI et al. 1990). Einige Arten sind in der Lage, zellulosereiche Fragmente mittels Phagozytose zu verdauen (MAULBETSCH 2005). Von besonderer Bedeutung sind sie aufgrund ihres Vermögens, ganze Stärkekörner aufzunehmen und sie dadurch der raschen bakteriellen Fermentation zu entziehen. Damit wird das Pansenmilieu maßgeblich stabilisiert.

Die in den Vormägen lebenden Pilze wurden als Letzte entdeckt und machen etwa 8 % der Biomasse aus. Sie bauen eine Reihe von Substraten wie Zellulose, Xylan, Stärke, Protein und Pectin sowie auch stark lignifizierte Gewebe ab. Sie sind in der Lage, Läsionen an pflanzlichen Oberflächen hervorzurufen, wodurch sie Zugangspforten für andere Mikroorganismen schaffen (WENNING 2008).

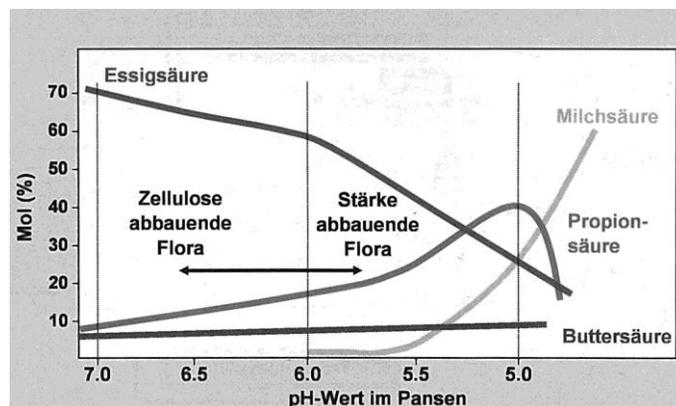
Die Pansenflora ist ein „Multi-Spezies-Konsortium“, das synergetisch wirkt und auf sich ändernde Nährstoffzufuhr reagiert. Eine Futterumstellung bedarf einer Anpassung der Mikroorganismen. Es ist erst nach 14 Tagen wieder mit einem optimalen Verlauf der Verdauungsvorgänge zu rechnen (PIATKOWSKI et al. 1990).

3.1.3.2.1 pH-Wert

Der pH-Wert im Pansen ist ausschlaggebend für die Zusammensetzung der Mikroorganismenpopulation im Pansen. Gleichzeitig ist er aber auch abhängig vom Bakterienstoffwechsel.

Das Produkt der zellulolytischen Abbautätigkeit der Pansenmikroben ist zu einem beträchtlichen Teil Essigsäure. Dadurch wird ein pH-Wert von etwa 6,5 bis 7,0 eingestellt, gleichzeitig stellt dieses Milieu ideale Bedingungen für diese Lebewesen dar. Steigt die Aktivität von Amyolyten, sinkt der pH-Wert.

Grafik 12: ruminale Fermentation als Folge der Anpassung an die pH-Regulation (KAUFMANN 1980)



Zellulolytische Bakterien benötigen für ihr Wachstum einen pH-Wert von mindestens 6,2 (GRANT und MERTENS 1992). Sinkt der pH-Wert unter 6,1 bis 6,0, so ist eine Faserverdauung nicht mehr gewährleistet (STEWART 1977, MOULD und ORSKOV 1983). Die zellulolytische Verdauung bzw. das Wachstum der zellulolytischen Organismen findet bei einem pH-Wert von 6,7 ihr Optimum (VAN SOEST 1994). Die Rationsgestaltung bewegt sich im Spannungsfeld zwischen Optimierung der Bedingungen für Amylolyten und Zellulolyten.

ZEBELI et al. (2008) führten eine Risikoanalyse anhand von 326 Versuchen zur Definition von physiologischen und pathologischen pH-Werten sowie deren Dauer durch. Nach dieser Metaanalyse ist ein mittlerer pH-Wert von 6,33 als physiologisch zu bezeichnen. Liegt eine subakute Pansenazidose vor, wurde ein mittlerer pH-Wert von 5,98 festgestellt.

Tabelle 15: Abgrenzung normaler pH-Werte im Pansen von SARA (ZEBELI et al. 2008)

	Tagesmittelwert		Dauer des pH <5,8 (h/d)	
	Untergrenze	Obergrenze	Untergrenze	Obergrenze
normale Fermentation	6,16	6,49	1,62	5,24
SARA	5,82	6,14	5,47	15,54

Zur Aufrechterhaltung normaler Bedingungen darf der mittlere pH-Wert nicht unter 6,14 bis 6,16 liegen. Zugleich darf die Dauer eines pH-Wertes unter 5,8 5,24 bis 5,47 Stunden am Tag nicht überschreiten (ZEBELI et al. 2008). Nicht nur die Absolutwerte sind von Bedeutung, sondern auch die Verweildauer in einem bestimmten Milieu. In einem in vitro durchgeführten Versuch konnte durch einen pH-Wert von 5,6 für vier Stunden ebenso wenig Effekt festgestellt werden, wie durch eine Fluktuation von pH 5,1 und pH 7,1 für jeweils zwei Stunden. Senkte man den pH-Wert jedoch für vier Stunden auf 5,1, so war die ruminale mikrobielle Fermentation beeinflusst (CERRATO-SANCHEZ et al. 2008). Der pH-Wert im Pansen ist ein deutlicher Hinweis auf die Versorgungssituation des Wiederkäuers.

Der mittlere, optimale, Tages-pH-Wert korrespondiert mit einem peNDF-Gehalt von mindestens 31,2% bei einer TM-Aufnahme von 20kg und 14% Stärkegehalt (ZEBELI et al. 2008). Steigt die im Pansen verfügbare fermentierbare Substanz aufgrund einer höheren Futteraufnahme oder einer Erhöhung der abbaubaren Stärke, so erhöht sich der Bedarf an Struktur.

STEINGASS und ZEBELI (2008) stellten anhand einer Metaanalyse fest, dass der Gehalt an physikalisch effektiver NDF_{>1,18mm} (NDF-Gehalt der Ration x Masseanteil der Siebfraktion >1,18mm) der beste Parameter zur Charakterisierung der Strukturwirksamkeit einer TMR ist. Sie beschreiben den Zusammenhang folgendermaßen:

$$\text{pH} = 6,05 + 0,044 \times \text{peNDF}_{>1,18\text{mm}} (\% \text{ der TM}) - 0,0006 \times \text{peNDF}^2 (\% \text{ der TM}) - 0,017 \times \text{abbaubare Stärke} (\% \text{ der TM}) - 0,016 \times \text{TM-Aufnahme (kg/d)}$$

Der Milchfettgehalt folgt nach MERTENS (1997) der Gleichung:

$$\text{Milchfett} (\%) = 4,32 - 0,171 \times (100/\text{peNDF}\%)$$

Ein pH-Wert von 6,15 (Grenze zu SARA) entspricht 28 % peNDF und 3,4 % Milchfettgehalt. Anzustreben sind 30 bis 33 % peNDF (entspricht 3,8 % Milchfett).

Das Tier benötigt zur Stabilisierung der Säurenverhältnisse im Vormagenbereich strukturreiches Futter zum Puffern. Die Menge an Kraftfutter muss einerseits den Bedarf decken, andererseits das Pansenmilieu trotzdem im physiologischen Rahmen belassen.

Der pH-Wert ist abhängig vom Bakterienstoffwechsel, von der Geschwindigkeit der Absorption der gebildeten Fettsäuren bzw. deren Konzentration im Pansen sowie vom Wasser- und Stoffaustausch und der stündlichen Passagerate. Im Laufe des Tages erfährt er aufgrund der Futterraufnahme Schwankungen. Den Tiefststand erreicht er etwa 2 bis 4 Stunden nach der Fütterung. Durch öftere, dafür kleinere Gaben von Futter, insbesondere von Kraftfutter lässt sich der Einfluss reduzieren.

Sowohl eine Steigerung der Gesamtfuttermenge als auch die Steigerung der Kraftfutterkomponente führen zum Sinken des pH-Wertes. Nach Zulage von Kraftfutter liegt der pH-Wert tiefer als bei alleiniger Heufütterung (VERWOHLT 1996, GASTEINER et al. 2008).

Die Steigerung der Kraftfuttermenge führt zu einer intensiveren Fermentation im Pansen. Die Verdaulichkeit der Strukturkohlenhydrate ist bei hohen Kraftfutttergaben geringer, was auf eine verringerte Aktivität der Zellulolyten zurückzuführen ist (ZEILER 2003). Des Weiteren ist mit einem Rückgang der Grundfuttteraufnahme zu rechnen. Auch die Art der Fütterungsstrategie wirkt sich auf den pH-Wert aus. BORCHERT (2007) verglich die Vorlage in unterschiedlicher Reihenfolge (zuerst Grundfutter oder Kraftfutter) bzw. als Totalmischration. Die TMR ergab den gleichmäßigsten Tagesverlauf, was auf die günstige Zusammensetzung der Ration zurückzuführen sein könnte. Alle drei Strategien bewirkten einen Abfall des pH-Wertes, wobei TMR und zuerst Kraftfutter schneller zu einer Senkung führten.

Die Möglichkeiten des Tieres, den pH-Wert im Pansen zu regulieren, sind begrenzt (ZEILER 2003). Speichelfluss, Fermentationsrate und Passagerate bestimmen die Menge an flüchtigen Fettsäuren im Pansen.

Der Speichel wird bei den Wiederkäuern von den drei Hauptspeicheldrüsen Ohrspeicheldrüse (Gl. parotis), Unterkieferdrüse (Gl. mandibularis) und den Unterzungendrüsen (Gl. sublinguales), sowie durch die mittleren und kleinen Wanddrüsen der Mundhöhle gebildet. Grundsätzlich sind sie paarig ausgebildet. Das Sekret von Gaumen-, Backen-, und Pharynxdrüsen sowie den beiden Unterkiefer- und Unterzungendrüsen ist mukös und dient vor allem der Gleitfähigkeit. Beim Kalb hat es auch noch enzymatische Wirkung. Der Hauptanteil des Speichels wird von der Ohrspeicheldrüse gebildet. Sie produziert anhaltend ein wässriges, seröses, isotones Sekret mit bedeutenden Mengen an Hydrogencarbonat (vor allem NaHCO_3). Adulte Rinder sezernieren etwa 180 bis 200 l Speichel täglich, etwa 70 % der Flüssigkeit im Pansen stammen aus der Speichelproduktion (GASTEINER 2001). Die Dauersekretion ist reflektorisch beeinflusst, durch Reizungen von Mundschleimhaut und Speiseröhre wird die Sekretabgabe stimuliert. Ein Druckanstieg im Pansen bewirkt eine Hemmung der Produktion. Die Unterkieferdrüsen sind nur bei Futterraufnahme tätig.

Die Menge des Speichels ist von der Wiederkauaktivität abhängig. Je schneller gefressen wird (Kraftfutter), desto geringer ist die Sekretion. Pro abgeschlucktem Bissen werden 80 bis 90 ml Speichel mit einem TM-Gehalt von ca. 20 % abgesondert (PIATKOWSKI et al. 1990).

Etwa 50 % der Speichelmenge werden beim Wiederkauen, 30 % in Ruhephasen und nur 20 % beim Fressen abgesondert. Die Wiederkautätigkeit (etwa 40.000 bis 60.000 Kauschläge täglich) ist ein zyklischer Prozess, der mit der Kontraktion der Vormägen synchron geschaltet ist (GASTEINER 2001).

Das Puffersystem im Pansen stellt sich aufgrund der Rationszusammensetzung ein. Rasch fermentierbare Kohlenhydrate erhöhen den Gehalt an Fettsäuren und reduzieren gleichzeitig die Speichelproduktion durch vermindertes Wiederkauen und reduzierte Fressdauer. Zusätzlich wird der Flüssigkeitsgehalt im Vormagen reduziert, eine Verdünnung kann nicht im vollen Umfang stattfinden. Faserreiche Futter hingegen bewirken eine Stabilisierung des pH-Wertes.

Zwischen Kauaktivität und HCO_3^- - Konzentration besteht eine hohe Korrelation. Bei einem Anstieg der Kauzeit um 10 % pro Stunde steigt der pH um 0,6 Einheiten (MAULBETSCH 2005).

Tabelle 16: Faktoren, die zur Pansenpufferung führen
(VAN SOEST 1994)

Quelle	Ursache	Wirkung
Passage	Osmotischer Druck	Verdünnung
Absorption	Futter- und Wasseraufnahme	
Speichel	Konzentration freier Fettsäuren	Entfernung freier Fettsäuren
	Strukturwirksame Rohfaser	Bikarbonate und Phosphate
	und Wiederkautätigkeit	
Rohfaser	Kationenaustausch	Neutralisation
Protein	NH_3 -Produktion	Neutralisation
mikrobielle Aktivität	mikrobielles Wachstum	

Zusätzlich besteht die Möglichkeit, exogene Puffersubstanzen zum Einsatz zu bringen. Vor allem bei TMR erhöht die Gabe von NaHCO_3 den pH-Wert und den Azetatgehalt, während der Propionatgehalt sinkt.

Bei separater Kraffuttermenge sind – eventuell aufgrund einer erhöhten Wasseraufnahme und damit zu starken Verdünnung der Puffer – keine offensichtlichen Effekte festzustellen (SCHEIDEMANN 2001).

Bei der Verabreichung so wirkender Substanzen sind die Schmachhaftigkeit und damit ein eventuell negativer Einfluss auf die Futteraufnahme zu berücksichtigen.

3.1.3.2 Flüchtige Fettsäuren

Die Zusammensetzung des Fettsäurenmusters im Pansen resultiert aus der Fütterung. Beim Wiederkäuer wird der Hauptteil der Kohlenhydrate bereits im Pansen durch Mikroorganismen abgebaut. Hierbei werden nicht nur Stärke und Disaccharide gespalten, sondern in großem Umfang auch Zellulose und andere NSP. Im Gegensatz um monogastrischen Tier werden die Kohlenhydrate aber nicht nur bis zur Stufe der Monosaccharide gespalten, sondern weiter abgebaut zu Pyruvat (Brenztraubensäure) und schließlich zu kurzkettigen Fettsäuren (KIRCHGESSNER et al. 2008). Diese Säuren decken etwa 60 % des Energiebedarfes des Wiederkäuers. Propionat kann entweder über den Acrylweg über die Bildung von Laktat oder über den Succinatweg entstehen (KIRCHGESSNER et al. 2008).

Acetat entsteht aus Pyruvat unter Bildung von Formiat bzw. CO₂ und H₂ und weiters Methan. Butyrat entsteht aus Acetat, entweder in Umkehr der Beta-Oxidation oder über Malonyl-CoA (PIATKOWSKI et al. 1990).

Tabelle 17: Bildung flüchtiger Fettsäuren im Pansen der Kuh durch verschiedene Futtermittel (PIATKOWSKI et al. 1990)

	Gesamt-FFS mmol/100 ml	Essigsäure (%)	Propionsäure (%)	Buttersäure (%)
Weidegras, sehr jung	14	58	20	22
Weidegras, weidereif	11	64	19	17
Weidegras, überständig	7	75	15	10
Grassilage	9	69	17	14
Maissilage	10	70	19	11
Zuckerrübenblattsilage	11	62	18	20
Luzernehäcksel	13	69	20	11
Stroh, gehäckselt	6	78	15	7
Heu, lang	8	74	18	8
Heu, pelletiert	11	66	22	12
Grobfutter:Getreide 70:30	10	66	18	16
Grobfutter:Getreide 70:30	12	65	22	13
Grobfutter:Getreide 70:30	10	63	16	22

Aufgrund des Energieniveaus durch die Kohlenhydratversorgung ergibt sich die quantitative Leistungsfähigkeit, durch die Fettsäurezusammensetzung die qualitative Leistung der Milchkuh.

Als Hauptprodukte der mikrobiellen Kohlenhydratverdauung in den Vormägen entstehen, je nach Verdaulichkeit der Ration, täglich etwa 2,5 bis 3,5 l Essigsäure, 0,8 bis 1,5 l Propionsäure und 0,7 bis 1 l Buttersäure (NIGM 1986).

Entscheidend für die Konzentration der Fettsäuren sind Futteraufnahmefrequenz, Rationszusammensetzung und Futtermenge sowie Absorptionsrate und Abbaubarkeit. Die mengenmäßigen Verhältnisse zueinander sind geprägt vom Verhältnis zwischen Grundfutter und Krafftutter (SCHEIDEMANN 2001). Die Art der Kohlenhydrate bestimmt die Zusammensetzung wesentlich. Strukturkohlenhydrate verursachen die Produktion von großen Mengen an Essigsäure und reduzieren die Propionsäurebildung. Stärkeabbauende Mikroorganismen produzieren 35-45 mol/100 mol FFS, Zellulolyten hingegen nur 15-20 mol/100 mol FFS (ORSKOV 1986). Zellulosereiche Fütterung bewirkt ein weites Azetat/Propionat-Verhältnis (bis zu 4:1). Umgekehrt verengen hohe Gaben von Stärke das C₂:C₃-Verhältnis (bis zu 1,5:1). Auch in den Untersuchungen von RIEMEIER (2004) ergab sich bei einem Krafftutteranteil von 50 % ein pH-Wert von 6,3 – 6,5 und ein C₂/C₃-Verhältnis von 2,7 – 3,2:1.

Durch Verarbeiten des Grundfutters wird das Fettsäuremuster zugunsten der Propionsäure verschoben. Die Vorlage einer TMR erhöht aufgrund ihrer optimierten Zusammensetzung den Essigsäureanteil.

Die Fettsäurenkonzentration hängt neben der Produktion und der Pufferung auch hochgradig von der Absorption ab. Mit sinkendem pH-Wert verändert sich die Absorptionsrate. Bei pH 4,5 wird Buttersäure besser absorbiert als Propionsäure, diese wiederum besser als Essigsäure. Bei pH 5,4 werden Buttersäure und Propionsäure

annähernd gleich, Essigsäure deutlich geringer als die beiden Anderen aufgenommen. Bei pH 6,3 bis 7,2 ist die Absorption der drei Fettsäuren annähernd gleich. Mit steigender Propionsäurekonzentration sinkt deren Absorption, die Essigsäure wird mit steigender Konzentration besser absorbiert, Buttersäure verhält sich konstant (ZEILER 2003).

Das Fettsäurenmuster ist vom pH-Wert im Pansen abhängig (vgl. Grafik 12). Bei fallendem pH-Wert nimmt der molare Anteil der Essigsäure ab, Propion- und Buttersäure können ihren Anteil zunächst steigern. Fällt der pH-Wert auf 6,0, steigt die Zahl der milchsäureproduzierenden Bakterien und damit auch der Milchsäuregehalt. Die Milchsäure besitzt eine höhere Acidität als die flüchtigen Fettsäuren. Der pH-Wert fällt rasch. Wird das anfallende Laktat nicht von spezifischen Bakterien umgebaut, sinkt der pH weiter. Milchsäurebildner sind säuretoleranter. Kurzfristig steigt die Konzentration der Propionsäure, da Laktatfermenter die Milchsäure zu Propionsäure abbauen. Unter pH 5,5 stirbt die physiologische Pansenflora ab (RÜHLE 1990). Im zeitlichen Verlauf der Fermentation verringert sich der Essigsäureanteil und steigt der Propionsäureanteil aufgrund des fallenden pH-Wertes (NIGM 1986).

3.1.3.2.3 Temperatur

Wiederkäuer halten ihre Körperkerntemperatur in relativ engen Grenzen konstant. Gesteuert vom Hypothalamus werden etwaige Abweichungen so rasch wie möglich durch Wärmeabgabe oder Wärmeproduktion ausgeglichen. Während sich die Körperschale noch der Umgebungstemperatur annähern kann, ist die Körperkerntemperatur vom Außenklima im Bereich der thermoneutralen Temperatur unabhängig (SIEVERS 2005). Über- bzw. untersteigt die Umgebungstemperatur von adulten Rindern -10 °C oder +20 °C (bei Kälbern zwischen +5 °C und +15 °C), so muss der Organismus zusätzlich Nährstoffe zur Wärmeproduktion oxidieren (KIRCHGESSNER et al. 2008). Je Grad Celsius Unterschreitung der Grenztemperatur sind etwa 3 % des energetischen Erhaltungsbedarfes zusätzlich für die Erhaltung der Körperkerntemperatur aufzuwenden. In diesem Fall ist mit Leistungseinbußen zu rechnen. Erstens wird der Erhaltungsbedarf anteilig erhöht, zweitens kann bei anhaltender Temperaturunterschreitung ein optimales Fermentationsmilieu nicht aufrechterhalten und Gesundheitsschäden nicht ausgeschlossen werden.

Der Normalbereich der Kerntemperatur liegt bei Kälbern zwischen 38,5 °C und 39,5 °C und bei erwachsenen Rindern zwischen 38,3 °C und 38,8 °C. Zyklusstadium, Tageszeit, Arbeit, Stress, Bewegung und Rasse können beeinflussend wirken.

Zusätzlich wirkt die Fütterung auf die Temperatur. Intensive Fermentationsprozesse führen zu einer intraruminalen Temperatursteigerung. GASTEINER et al. (2008) konnten zwar einen signifikanten Einfluss der Wasseraufnahme auf die ruminale Temperatur feststellen, bei ausschließlicher Heufütterung war aber keine Beziehung zum Fütterungszeitpunkt zu erkennen. ALZAHAL et al. (2008) fanden hingegen nicht nur eine Temperatursteigerung im Pansen aufgrund der Fütterung, sie setzen sogar die Verweildauer in einem bestimmten Temperaturbereich mit dem Auftreten der Subakuten Pansenazidose in Zusammenhang. In dieser Studie betrug die Vormagentemperatur in der Versuchsgruppe länger über 39,2 °C als in der Kontrollgruppe.

3.1.3.3 Pansenazidose

Die Pansenazidose ist am Veterinary College der University of Wisconsin die am häufigsten diagnostizierte Stoffwechselstörung von Kühen (HUTJENS 1998). Ein Drittel der in einer US-Amerikanischen Studie untersuchten Herden wies bei mehr als 40 % der Kühe SARA auf (GARRETT et al. 1997). Sie wirkt, je nach Verlauf, leistungsmindernd bis letal.

3.1.3.3.1 Entstehung und Ursachen

Der pH-Wert schwankt bereits unter physiologischen Bedingungen in einem relativ weiten Bereich zwischen 6,5 und 7,2 (BAUMGARTNER 2005). Im Zuge der reticulo-ruminalen Gärsäureproduktion sinkt der pH-Wert ab und erreicht zwei bis vier Stunden nach der Futteraufnahme seinen Tiefpunkt und steigt danach aufgrund der Ruminations und der damit verbundenen starken Speichelproduktion wieder an (GASTEINER et al. 2008).

Bei einem Überschuss von leicht verdaulichen Kohlenhydraten ist die Vermehrungsrate der Pansenbakterien stark erhöht. Nach der Aufnahme solcher Rationen setzt eine intensive Fettsäuregärung ein, dadurch kann die Gesamtsäuremenge vom physiologischen Wert von 60 – 120 mmol/l bis zu 180 mmol/l ansteigen (DIRKSEN 2006). Es kommt zu einem Abfall des pH-Wertes im Vormagenbereich. Außerdem verdrängt ein hoher Anteil an rasch fermentierbaren Kohlenhydraten (Zucker, Stärke) zusehends strukturwirksame Kohlenhydrate in Form von Rohfaser. Dadurch sind Wiederkauen und Speichelproduktion vermindert. Dies bewirkt die Reduktion der Pufferkapazität des Speichels. Im so entstehenden Milieu werden sowohl Fettsäuremuster als auch die Zusammensetzung der Pansenflora deutlich verändert. Während amylytische Bakterien zunehmen, sinkt gleichzeitig die Zahl der zellulolytischen Bakterien. Dadurch ist der Abbau des erhöhten Stärkegehaltes der Ration durch das Enzym Amylase begünstigt und die Glukosekonzentration im Pansensaft (physiologisch 160 mg/dl) kann 1.400 mg/dl überschreiten (OWENS et al. 1998). Die Osmolarität ist erhöht, wodurch die Absorption von freien Fettsäuren aus dem Pansen vermindert ist (OWENS et al. 1998).

Durch die veränderte Bakterienflora werden organische Säuren rascher und vermehrt produziert. Normalerweise nicht beteiligte Bakterien (*Sc. Bovis* etc.) vermehren sich rasch und bilden in erster Linie Laktat (OWENS et al. 1998, ROSSOW 2003). Die Pansenbakterien sind Laktatproduzenten oder Zehrer, im sauren Milieu sterben die Zehrer ab während sich die Produzenten vermehren, Laktat wird akkumuliert.

Opportune Bakterienstämme, welche für die Steigerung z.B. der Glucose- und Laktatwerte verantwortlich sind, intensivieren ihr Wachstum, v.a. Koliforme, Aminosäure decarboxylierende Mikroben produzieren Endotoxine und Amide (Histamine). Die Produktion von Essigsäure und der Stoffwechsel von Protozoen sind hingegen gestört. Allgemein ist eine Verringerung der Protozoenpopulation festzustellen (NAGARAJA und TITGEMEYER 2007). Im Vergleich zu einer Ration mit 20% Krafftutter und 80% Heu und einer Ration mit 80 % Krafftutter und 20 % Heu stellten GOAD et al. (1997) allgemein eine erhöhte Bakterienpopulation, aber vor allem einen Anstieg der Amylytolyten und der Laktobazillen fest. Die Protozoen hingegen verzeichneten einen Rückgang.

Das Fettsäurenmuster ist deutlich verändert. Propionsäure und Buttersäure werden vermehrt produziert und der Essigsäurenanteil sinkt. Bei einer ausgewogenen Rationszusammensetzung stellt sich etwa das Verhältnis zwischen Essig-, Propion- und Buttersäure bei 65:20:15 mol% ein. Bei einem pH-Wert von 5,5 ändert sich die Zusammensetzung in Richtung 36:40:26. Fällt der pH-Wert unter 6,0 steigt die Milchsäurenproduktion massiv an (DIRKSEN 1985).

Die Azidose ist somit die pathologische Konsequenz eines chemischen, physikalischen und mikrobiellen Ungleichgewichtes.

3.1.3.3.2 Einteilung

In Abhängigkeit vom Auftreten bzw. Fernbleiben klinischer Symptome kann man zwischen klinischer und subklinischer Acidose unterschieden werden.

Klinische Pansenazidose

Hierunter ist eine akute Übersäuerung des Vormageninhaltes infolge der pathologischen Veränderung des Säurestatus zu verstehen (Lactacidosis acuta ingestorum ruminis) (DIRKSEN 2006). Infolge einer Fehlgärung steigt die Konzentration der Milchsäure im Vormageninhalt an, der pH-Wert sinkt unter 5,0. Meistens tritt sie als Herdengeschehen auf (PIATKOWSKI et al. 1990).

Nach 12 – 24 h entwickelt sich eine ausgeprägte Indigestion mit einem hochgradig gestörten Allgemeinbefinden. Die Tiere zeigen Inappetenz, sind träge bis apathisch, liegen fest, die Milchsekretion versiegt. Koma tritt ein. Ist der Verlauf stürmischer, sind Muskelzittern, Unruhe, Niederwerfen, Schweißausbruch und schwere Diarrhoe festzustellen. Die Atmung ist frequent und intensiviert. Die Herzfrequenz steigt auf über 100 – 120/min. Ohne Behandlung können erkrankte Tiere binnen 24 h verenden.

Subklinische Pansenazidose (Subclinical Rumen Acidosis, SARA)

Es besteht über längere Zeit oder regelmäßig wiederkehrend eine subklinisch verlaufende Übersäuerung des Vormageninhaltes infolge intensiver Produktion von flüchtigen Fettsäuren, welche nicht ausreichend durch Absorption, Umbau, Abbau und Abtransport entfernt werden. Die Milchsäurebildung erhöht sich schubweise. Der pH-Wert unduliert um 5,5, wobei kurzzeitig fütterungsabhängige Minima bis zu 5,2 auftreten können. Die Anteile von Propion- und Buttersäure, zeitweise auch der Milchsäure sind erhöht (DIRKSEN 2006).

3.1.3.3.3 Diagnose und pH-Wert-Messung

Da die Pansenazidose, unabhängig von ihrer Erscheinungsform, ein fütterungsbedingtes Problem ist, ist eine Beobachtung des Gesamtbestandes eines Betriebes sinnvoll.

Als Beurteilungskriterium für die Herde wird ein "Cut-Point" von pH 5,5 angesehen (KLEEN et al. 2003). Ab diesem Wert ist ein Rind als im Stadium einer subakuten Pansenazidose befindlich anzusehen (GARRETT et al. 1999, OETZEL 2003). GARRETT et al. (1999) fordern die Einführung eines "Alarm-Level" von 25 %: sinkt der pH-Wert von mehr als 25 % der Tiere in einer Herde unter 5,5, besteht Handlungsbedarf hinsichtlich SARA. NORDLUND und GARRETT (1994) setzen die Grenze etwas höher an. Sie postulieren SARA in einer Herde ab mindestens einem Drittel der Tiere unter pH 5,6. Zwischen 5,6 und 5,8 bezeichnet er die Tiere als marginal acidotisch. Um die erheblichen Schwankungen im Pansen zu berücksichtigen, ist ein Minimum von 10

Messungen je Herde vorzunehmen. Damit wären allerdings alle Rinder über pH 5,8 im physiologischen Bereich, wo STONE (1999) bereits seinen cut-point setzt.

Alle angegebenen Werte wurden mittels Rumenocentese oder oraler Entnahme ermittelt. Die in der vorliegenden Studie eingesetzte Sensortechnik bietet den erheblichen und vor allem praxistauglichen Vorteil, daß nicht nur ein Einzelwert gemessen wird, sondern der zeitliche Verlauf des pH-Wertes berücksichtigt wird. Daher müssen keine aufwändigen Mittelwerte aus verschiedenen Tieren (mind. 10) errechnet werden und es entsteht die Möglichkeit, einzelne Indikatortiere in größere Herden einzubauen.

Die Auswirkungen der Azidose sind vielfältig. Während bei der klinischen Form klare Symptome erkennbar sind, sind bei der SARA vor allem Folgeerscheinungen festzustellen, die jedoch eine direkte Aussage erschweren, zumal sie meistens erst retrospektiv auftreten und zuordenbar sind.

Klinische Anzeichen ergeben sich durch den abgesunkenen pH-Wert. Es entstehen schmerzhafte Entzündungen der Vormagenschleimhaut (Ruminitis). Die Entwicklung der Pansenzotten ist gestört. Die Fresslust des Rindes wird dadurch stark beeinflusst. Der Kot wird dünnbreiig, heller und gelber, sein pH sinkt, der Geruch ist süß bis sauer. Durch die mangelhafte Verdauung finden sich Ingestapartikel mit mehr als 1 bis 2 cm Länge und zum Teil ganze Getreidekörner (KLEEN et al. 2003). Ein Rückgang der Futteraufnahme (low intake syndrom) und Diarrhoe werden als pathologisch definiert (NORDLUND und GARRETT 1994, GARRETT et al. 1999).

Durch den gesteigerten Glucosegehalt steigt die Osmolarität, was zur reduzierten Adsorption von freien Fettsäuren aus dem Pansen führt, der Flüssigkeitsentzug ist reduziert, es entstehen Durchfälle, der Körper dehydriert.

Wie bereits erwähnt, ist die Diagnose von SARA (vor allem in der Praxis) nur indirekt bzw. retrospektiv aufgrund der Beurteilung des Komplexes Gesundheitszustand – Produktionsdaten – Futterration möglich. Diese Vorgangsweise lässt jedoch keine Rückschlüsse auf qualitative und quantitative Ausprägung zu, sondern versucht den Zustand der Tiere mit ja/nein (krank/gesund bzw. produktionsbeeinträchtigt/nicht) zu beantworten.

Bei der Untersuchung des pH-Wertes des Blutes sind keine eindeutigen Aussagen über das Vorliegen von SARA zu treffen. Bei der Passage der Pansenwand werden die Fettsäuren zum Teil neutralisiert, bisweilen findet man eine metabolische Blutazidose vor (KLEEN et al. 2003).

Die Untersuchung des Pansensaftes zeigt eine milchige, grüne bis braune Farbe, Partikel sind kaum vorhanden, der Geruch ist stark sauer, mikroskopisch lassen sich nur grampositive Kokken und Stäbchen nachweisen.

Tabelle 18: Zusammensetzung des Pansensaftes
(BELKNAP und NAVARRE 2000)

Parameter	Ergebnis	Interpretation
Farbe	grün gelbgrün grünbraun milchig-braun	phys.: Grünfutter phys.: Silage phys.: GF + KF path.: KF-Überschuß
Geruch	aromatisch sauer	phys. path.: KF-Überschuß
Protozoen	alle Größen und Spezies keine großen Entodiniomorphen keine Entodiniomorphen keine Protozoen	phys. ggr. Indigestion mittl. Indigestion Pansenazidose
Methylenblau-entfärbungszeit	< 150 sek >150 sek	phys. panseninaktivität (Pansenazidose)
Sedimentation/Flotation	4-8 min beschleunigt verlangsamt	phys. bei Inappetenz schaumige Gärung
Gram-Färbung	Gram- > Gram+ Gram+ > Gram-	phys. path.: Pansenazidose
Chlorid-Gehalt	<30mmol/l >30mmol/l	phys. abomasaler Reflux
pH-Wert	6,2-7,2 5,5-6,2, zeitweilig <5,5 permanent <5,5 >7,5	phys. path.: latente Pansenazidose path.: akute Pansenazidose path.: N-Überschuß

Insbesondere die Messung des pH-Wertes stellt die definitive Untersuchungsmethode zur Erkennung einer Pansenazidose dar (KRAUSE und OETZEL 2006, STEINGASS und ZEBELI 2008). Besonders wichtig ist dabei, tageszeitliche Schwankungen aufgrund des Bezuges zur Futteraufnahme bei der Probenentnahme zu berücksichtigen. Sowohl Fressen als auch Wiederkauen sind rhythmische Aktivitäten. Nach der Futteraufnahme tritt zunächst eine Ruhephase ein, in der die Fermentation im Pansen und damit Fettsäurensynthese und pH-Wert-Senkung schon einsetzen. Erst nach ein bis drei Stunden beginnt das Tier mit dem Wiederkauen, wodurch in großen Mengen Speichel produziert wird, der wiederum für die Pufferung des Milieus sorgt (GASTEINER et al. 2008). KLEEN et al. (2003) fordern deshalb eine Übereinkunft zu welchem Zeitpunkt die ruminalen pH-Werte auf ihre Physiologie hin beurteilt werden sollen. Eine Empfehlung könnte, bei getrennter Vorlage von Grund- und Kraftfutter, 2 bis 5 Stunden nach der Kraftfuttergabe sein. Beim Einsatz von TMR sollte die Entnahme erst 5 bis 8 Stunden nach der Fütterung erfolgen (MUTSVANGWA 2003).

Die Vorgabe, bei TMR länger zu warten, kann dadurch erklärt werden, daß durch eine exaktere Bedarfsanpassung geringere pH-Schwankungen folgen, weshalb sich der mittelfristige Einfluß erst später einstellt. Getrennte Gaben führen zu nahezu sofortiger pH-Wert-Senkung und – nach Einsetzen der Speichelproduktion – zu relativ rascher Pufferung.

Für die Pansensaftentnahme gibt es bis dato zwei Möglichkeiten:

Erstens die Schlundsonde, die rasch und einfach vonstatten geht. Dem zu untersuchenden Rind wird eine Schlundsonde gesetzt und Pansensaft wird entweder aktiv mittels Pumpe gewonnen oder Pansensaft fließt nach Absenken des Kopfes aus der Sonde (DIRKSEN 1975). Die Probe entstammt jedoch der Haube, wodurch der Speichelfluss durch die Manipulation angeregt ist und die Probe einen höheren Bicarbonatwert aufweist (DUFFIELD et al. 2004). Der pH-Wert des Speichels beträgt etwa 8,5. Dadurch ist das Messergebnis als ungenau einzustufen (ENEMARK 2008). Man kann zwar die ersten 100 bis 200 ml der Probe verwerfen, eine oftmalige Entnahme ist jedoch trotzdem problematisch.

Selbst die Bauart der Sonde hat einen Einfluß auf die Quantität des Speichelflusses (DIRKSEN 1975, GEISHAUSER und GITZEL 1996, SEEMANN und SPOHR 2007, NEIDL 2010).

Der zweite Weg zur Entnahme ist die Rumenocentese. Mittels Punktion des ventralen Pansensackes mit einer Kanüle wird Pansensaft durch Erzeugung von Unterdruck mit einer Spritze gewonnen. Ein bis zwei handbreit vor dem linken Kniegelenk (SEEMANN und SPOHR 2007) auf Höhe des Patellaoberrandes (STRABEL 2007) wird die Kuh nach Rasur und aseptischen Kautelen sediert und der Schmerz lokal ausgeschaltet. KLEEN et al. (2004) empfehlen 2 ml Lidocain 2 % s.c. und i.m.. Eine Abweichung von dieser Vorgangsweise ist in Österreich aufgrund des gültigen Tierschutzgesetzes nicht zulässig und aus ethischer Sicht auch nicht vertretbar. Gewonnen werden nur wenige Milliliter Pansensaft, diese sind jedoch nicht mit Speichel kontaminiert (NORDLUND 2003).

Dies bringt zwar genauere Werte (NORDLUND et al. 1995, DUFFIELD et al. 2004, KLEEN 2004, GEISHAUSER und GITZEL 1996), birgt jedoch die Gefahr von Blutbeimengungen, erfordert eine veterinärmedizinische Betreuung des Tieres und stellt ein hohes Potential für Hämatome, Infektionen und allgemein eventuell negative Auswirkung auf die Tiergesundheit dar. Als Reaktion auf die Rumenocentese wurden unter anderem Fieber, verminderte Futteraufnahme, eine gespannte Bauchdecke, positive Fremdkörperproben, Lungengeräusche (in-, expiratorisch), Peritonitis, Auflagerungen im Peritoneum und Hämatome festgestellt (STRABEL 2007). Bei etwa 5,5 % der Tiere waren im Rahmen einer Studie von KLEEN et al. (2004) Veränderungen an der Einstichstelle wie Hämatome und Abszesse festzustellen, knapp 2 % reagierten mit einem insgesamt verschlechterten Gesundheitszustand. Auch das Risiko für den Probenzieher sollte nicht unterschätzt werden. Somit ist diese Art der Gewinnung nur in bestimmter Anzahl und in bestimmten zeitlichen Abständen möglich.

Vergleicht man diese Entnahmetechniken, ist ein um 0,28 niedriger pH-Wert und eine höhere Konzentration der flüchtigen Fettsäuren aus der Rumenocentese festzustellen (GARRETT et al. 1999). STRABEL (2007) fand für die Schlundsondentechnik sogar eine Differenz von 0,2 bis 1,9 pH-Einheiten. Auch die Untersuchungen von VERWOHLT (1996) kommen zu den gleichen Ergebnissen. Proben, welche über eine Maul-Pansen-Sonde entnommen wurden, weisen im Mittel einen um 0,57 höheren pH-Wert und eine um 12,68 mmol/l geringere Fettsäurenkonzentration auf, als Proben, die mittels Rohrsonde und Fistel entnommen wurden. Der Einfluß trifft auf alle Fettsäuren im gleichen Maße zu. Neben einer Verdünnung der über eine Maul-Pansen-Sonde gewonnenen Probe mit Speichel könnte die höhere Konzentration der flüchtigen Fettsäuren, der über eine Rohrsonde entnommenen Probe auch durch eine weiter dorsal oder caudal erfolgte Entnahme verursacht sein (VERWOHLT 1996).

Auch die eigentliche Messung des pH-Wertes ist unbefriedigend: Indikatorpapier ist mit einer Toleranz von $\pm 0,15$ sehr ungenau (NAPPERT und NAYLOR 2001) und der Einsatz eines pH-Meters ist teuer, aufwändig und unterliegt starken Schwankungen aufgrund unterschiedlicher Entnahmestellen im Pansen.

Um die störenden Faktoren möglichst auszuschalten, begann man schon früh mit in vivo Messungen zu experimentieren (SMITH 1941). Als weitere Entwicklung folgte die kontinuierliche Dokumentation (JOHNSON und SUTTON 1968, MCARTHUR und MILLIMORE 1968). DADO und ALLEN (1993) stellten einen Zusammenhang zwischen Futter- bzw. Wasseraufnahme und der Kautätigkeit her. Eine kontinuierliche Messung bietet im Vergleich zum "spot sampling" maßgebliche Vorteile: die Fluktuation des pH-Wertes kann exakter und entlang einer Zeitachse beobachtet werden (DADO und ALLEN 1993, KEUNEN et al. 2002, COTTEE et al. 2004, RUSTOMO et al. 2006, ALZAHAL et al. 2007). Starke Schwankungen sind kritischer zu betrachten als ein konstantes Einstellen des Pansenmilieus auf einem niedrigen Niveau (SEEMANN und SPOHR 2007).

Die bisher eingesetzten Systeme arbeiten mit einem Sensor im Pansen und einer Speichereinheit entweder am Sensor, der zum Auslesen entnommen werden muß (DADO und ALLEN 1993, COTTEE et al. 2004, KEUNEN ET AL. 2002, NOCEK 2002, PENNER et al. 2006, RUSTOMO et al. 2006, SIEVERS 2005) oder verfügen über eine Verkabelung mit einer Einheit, die außen am Tier befestigt wird (ALZAHAL et al. 2007). In diesen Fällen ist eine fistulierte Kuh auf jeden Fall vonnöten. Sie sind somit nicht für den Praxiseinsatz in der Landwirtschaft geeignet.

SIEVERS (2005) beschreibt anhand einer Kalibrierungskurve massive Messungenauigkeiten des Leitfähigkeitsmessgerätes und kommt zu dem Schluß, daß die Leitfähigkeit des Pansensaftes von zu vielen Parametern beeinflusst wird, als daß physiologische oder pathophysiologische Prozesse in den Vormägen (wie eine Pansenazidose) erkannt werden könnten. Eine Interpretation hinsichtlich der Konzentration der kurzkettigen Fettsäuren oder des pH-Wertes sei nicht möglich. Bei einer Weiterentwicklung des Bolus solle die Leitfähigkeitsmesseinheit sogar entfernt werden.

Erste Versuche mit Funksystemen brachten ebenfalls unbefriedigende Ergebnisse. Das Hauptproblem stellte die Drift der Messungen dar (ENEMARK et al. 2002, GOENSE et al. 2008, MOTTRAM et al. 2008, ZOSEL et al. 2008). Die Werte begannen nach einiger Zeit linear zu wandern. Da diese Fehler mathematisch zu bearbeiten sind und Schätzungen inkludieren, entsteht somit eine fehleranfällige Ungenauigkeit. Daten aus dem Körper herauszusenden funktioniert zwar, ist aber hinsichtlich Genauigkeit und Frequenz verbesserbar (IPEMA et al. 2008). KILIC (2011) beschreibt, daß Pansensensoren zwar eine exzellente Möglichkeit für die kontinuierliche pH-Wert-Messung in vivo darstellen kann, zur Zeit aber noch in einem sehr frühen Entwicklungsstadium sind. Noch sei mit unerklärlichen Abweichungen von Bolus-Messergebnissen (z.B.: Kahne Ltd., KB1000) zu Kontrollmessungen zu rechnen.

Die limitierenden Faktoren dieser Technologie stellen die Drift der pH-Werte und die Funkübertragung der Daten zur Basisstation dar (LIN 2009).

In einer Zusammenarbeit des Lehr- und Forschungszentrums für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein und dem Gründerzentrum Science Park der Technischen Universität Graz wurde deshalb eine Sonde in Bolusform zur intraruminalen pH-Messung entwickelt (GASTEINER et al. 2008).

3.1.3.3.4 Auswirkungen von Pansenübersäuerung

Tiere mit akuter Pansenübersäuerungen nehmen weder Futter noch Wasser auf, sind träge und erscheinen müde und knirschen mit den Zähnen. Sie können aber auch nervös erscheinen und die Symptome einer Kolik zeigen. Der Flüssigkeitsmangel in Geweben und Blutgefäßen führt aufgrund der Herz-Kreislaufbelastung zu hohen Atem- und Herzfrequenzen. Resistenz und Immunitätsbildung sind gestört.

Ein leichter Krankheitsverlauf führt zu einer reduzierten Milchleistung, bei mittelgradigen Erkrankungen versiegt sie. Die Rohmilchqualität wird gemindert (PIATKOWSKI et al. 1990).

Sinkt der Milchfettgehalt bzw. entwickelt sich eine Milchfettdepression, liegt eine Azidose nicht in jedem Fall vor, da es sich hierbei um unterschiedliche Stoffwechselabläufe handelt. Da die Entstehungsgrundlage jedoch zum Teil gleich ist, findet man oft eine positive Korrelation zwischen Milchfettgehalt und pH-Wert im Pansen. Die Bestimmung des Milchfettgehaltes und des Fett/Eiweiß-Quotienten alleine sind also keine zuverlässigen diagnostischen Parameter, auf die Rohmilchqualität ist jedoch zu achten, da hier ein starker Anstieg des Gehaltes an somatischen Zellen festzustellen ist (ROSSOW 2008).

Auch bei normalem Milchfettgehalt kann eine Azidose vorliegen. Insbesondere neumelkende Kühe weisen infolge der Mobilisation von Körperfett fast immer eine Ketose auf. Bei gleichzeitigem Auftreten von Ketose und Azidose ergeben sich "normale" Werte für Fettgehalt und Fett/Eiweiß-Quotient. Solche kompensierten Keto-Azidosen führen zu falschen Interpretationen der Milchhaltsstoffe. Zusätzlich müssen Eiweiß- und Harnstoffgehalt der Milch, der Kot auf unverdaute Partikel und der Pansen auf Geräusche/Motilität geprüft werden. Vor allem ist aber die Futterration zu berücksichtigen (GASTEINER et al. 2008).

SARA führt aufgrund einer Reduktion der Pansenmotilität, der gestörten Fermentation und beeinträchtigter Pansenzotten zu einer reduzierten Futteraufnahme. Dafür sind unter Anderem bakterielle Endotoxine und Histamine verantwortlich.

Die gestörte Osmolarität senkt die Absorption. Kumulierte Glucose, Fettsäuren und Laktat führen eventuell zu einer gesteigerten Flüssigkeitsaufnahme. Der Kot wird dünnbreiig und hell. Unverdaute Partikel mit mehr als 1 bis 2 cm Länge und zum Teil ganze Getreidekörner sind vorzufinden (KLEEN et al. 2003).

Die großen Mengen an Säure im Pansen schädigen die Mucosa, Ödeme und Nekrosen werden ausgebildet. Pansenparakeratosen bzw. -hyperkeratosen bilden sich bis hin zur Ruminitis. Bakterien gelangen über das Blut in die Leber. Dort können Abszesse entstehen (ULBRICH et al. 2004). Ein Zusammenhang zwischen Ruminitis und Leberabszessen ist als gesichert anzusehen (DIRKSEN et al. 1985). Auch andere Organe sind mitunter betroffen. In vielen Fällen verursachen *Actinomyces pyogenes* und/oder *Fusobacterium necrophorum* auch Lungen- und andere Abszesse (NORDLUND et al. 1995).

In Leber, Niere, Lunge, Herz und anderen Geweben sind (chronische) Entzündungsprozesse nachweisbar. Es wird vermutet, daß unter anderem ruminale Bakterien-Endotoxine einen Anstieg von Akutphase-Proteinen im Blut verursachen und dadurch Entzündungen in diversen Organen verantworten (PLAIZIER et al. 2007).

Die exzessive Produktion von Mucopolysacchariden lässt die Pansenflüssigkeit zähflüssiger werden. Gemeinsam mit einer verringerten Motilität stabilisiert sich so der Schaum, welcher ein Aufstoßen von Gas verhindert. Eine Pansentympanie liegt vor (CHENG et al. 1998).

Epistaxis und Hemoptysis können als Ergebnisse des Posterior vena caval Thrombose-Syndroms auftreten (NORDLUND 2003).

Ein niedriger Pansen-pH-Wert bedingt eine Änderung der Zusammensetzung der Mikroflora von überwiegend gramnegativ zu grampositiven Bakterien wie Streptokokken und Lactobacillen, die vermehrt Milchsäure bilden. Sinkt der pH-Wert, sterben die gramnegativen Keime ab, Endotoxine werden freigesetzt. Laktat, Endotoxine und Histamin gelangen über den Blutkreislauf in den Körper, greifen die Lederhaut im Klauenbereich an und stören somit den Keratinmetabolismus dieser Zellen. Die akute bis chronische, fütterungsbedingte Klauenrehe ist als klassische Folge von Pansenübersäuerung anzusehen (KOFLER 2001). Osteopathien und Sehnenabriss sind weitere Folgen dieser Vorgänge.

Rationen mit einem Rohproteingehalt über 22 % in der TM verursachen Laminitis (VERMUNT 1992). Eine suboptimale Pansenfunktion kann sowohl die Häufigkeit als auch die Intensität von Lahmheiten beeinflussen (WESTWOOD et al. 2003). HUTJENS (1998) stellt einen Zusammenhang zwischen Laminitis und Kraftfuttermengen von über 3 kg pro Mahlzeit fest. Toxische und vasoaktive Substanzen beeinträchtigen zusammen mit Blutgerinnungsstörungen die Mikrozirkulation in der Lederhaut, es kommt zu Vasokonstriktion und Ischämie sowie zur Öffnung von arterio-venösen Anastomosen. Der Blutfluß wird an den Kapillaren der Lederhaut vorbeigeführt. Das Gewebe wird unzureichend versorgt, es kommt zu Nekrosen und Störungen der Hornproduktion. Die Verbindung zwischen Lederhaut und Klauenhorn ist entzündlichen und degenerativen Veränderungen ausgesetzt (KOFLER 2001).

Euterpathogene Keime werden, von verminderter Absorption und damit vermehrtes Auftreten von Glucose im Darm, deutlich gefördert (GASTEINER et al. 2008).

Die Azidose kann aufgrund gestörter immunologischer Vorgänge zu Infektionen des Euters oder auch des Geschlechtsapparates beitragen (NORDLUND 2003).

SARA verursacht eine verminderte Fertilität, fördert die Geburt untergewichtiger, lebensschwacher Jungtiere und löst Nachgeburtverhalten aus (ULBRICH et al. 2004). Die reduzierte Futteraufnahme und eine gestörte Energiebilanz tragen zusätzlich dazu bei.

Eine metabolische Blutazidose tritt aufgrund der Anflutung des Blutes mit sauren Stoffwechselprodukten auf. Zunächst kann durch Pufferung der pH-Wert der Körperflüssigkeiten konstant gehalten werden, die Blutazidose wird kompensiert bis eine metabolische Azidose entsteht. Bei anhaltender Belastung erstreckt sich die metabolische Azidose auf den intrazellulären Raum, verschiedene Stoffwechselstörungen werden ausgebildet (PIATKOWSKI et al. 1990).

Metabolische Azidosen führen infolge eines Aktivitätsrückganges der Natrium-Kalium-ATPase zu einem Anstieg des extrazellulären Kaliums (hyperkaliämische Azidose). Deutliche Kaliumüberschüsse führen zu Störungen der Nerven- und Muskelzellaktivität (KIRCHGESSNER et al. 2008).

Etwa 5-10 % der Kohlenhydratfermentation erfolgt auch beim Wiederkäuer enzymatisch im Dünndarm. Azidotische Zustände im Pansen und ein vermehrter Eintrag von Fettsäuren in den Darm verursachen auch hier einen Abfall des pH-Wertes. Niedrige

pH-Werte und erhöhte Fettsäurekonzentrationen im Kot, wässrige Durchfälle und Darmmucosapartikel im Kot weisen auf eine "hindgut acidosis" hin (GRESSLEY et al. 2011)

Die Nutzungsdauer der Tiere sinkt (KLEEN et al. 2003).

3.1.3.3.5 Prävention und Therapie

Eine Pansenazidose wird aufgrund der Fütterungsanamnese, klinischer Erscheinungen und Pansenftuntersuchungen diagnostiziert. Je nach Grad und Stadium wird die Behandlung angesetzt. In leichten Fällen reichen diätetische Maßnahmen mit Unterstützung von Puffersubstanzen wie Natriumbikarbonat. Eine energische Therapie der Begleiterscheinungen ist wichtig (ROSSOW 2003).

Handelt es sich um schwere Indigestionen mit einer deutlichen Störung des Allgemeinzustandes sind zusätzliche Vorkehrungen zu treffen. Ist die Azidose aufgrund eines "Überfressens" aufgetreten, ist unverdauter Panseninhalt zu entfernen. Weiters muß die Milchsäureproduktion bzw. müssen Milchsäurebildner gehemmt werden. Dafür kommen Antibiotika in Kombination mit Antazida zum Einsatz. Es ist darauf zu achten, daß die eingesetzten Arzneimittel laktolytische Bakterien schonen. Die Applikation von Pansenflüssigkeit gesunder Tiere zum Aufbau einer physiologischen Flora ist aufgrund der Tierseuchenbekämpfung (BSE) nicht mehr zulässig. Der Einsatz von Bäckerhefe zur Förderung einer physiologischen mikrobiellen Besiedelung hat sich bewährt (PIATKOWSKI et al. 1990). Probiotika wie Milchsäurebakterien und Hefen sollen mit – teilweise unerwünschten – Mikroorganismen in Konkurrenz treten. Neben dem Eindringen, Anheften und der Vermehrung dieser zugesetzten Flora (Platzhalterfunktion) beruht ihre Wirkung auf der Absonderung bestimmter Stoffwechselprodukte, welche selektiv die Vermehrung anderer Keime hemmt bzw. fördert (GASTEINER 2001). Um den osmotischen Druck zu senken, ist auf eine fraktionierte Wasseraufnahme zu achten, bzw. gegebenenfalls 40 – 60 l lauwarmes Wasser mittels Schlundsonde zu verabreichen. Mittels Infusion von Kochsalzlösung ist der Wasserhaushalt des Organismus ebenfalls gut auffüllbar, eine Leberschutztherapie ist empfehlenswert (PIATKOWSKI et al. 1990). Mit Antazida ist der pH-Wert zu heben und mit Infusionslösungen eine Hämokonzentration sowie eine Blutazidose zu beheben (DIRKSEN 2006).

Thiamin (Vitamin B₁) ist als Coenzym am Kohlenhydratabbau beteiligt (KIRCHGESSNER et al. 2008). Ein niedriger Pansen-pH-Wert sowie Fusarien erhöhen je-doch die Thiaminaseaktivität (GASTEINER 2001). Der Einsatz von Thiamin bei einer Azidose ist bis dato noch nicht untersucht.

Nach einer Acidose steigt der pH-Wert zwar relativ rasch wieder an, das Fettsäurenprofil braucht wesentlich länger (ENJALBERT et al. 2007). Wie lange die Pansenmikroben brauchen, um sich wieder zu erholen, ist unklar. Schätzungen liegen bei mindestens einer Woche, in vitro Versuche ergaben etwa sechs bis zehn Tage (SLYTER 1976).

Als Prophylaxe sind in erster Linie Maßnahmen hinsichtlich der Rationsgestaltung und des Fütterungsmanagements zu sehen. KLEEN et al. (2003) sehen zwei Prinzipien der Vorsorge: erstens sind Pansenmucosa und Pansenflora peripartal eine einwandfreie Adaptierung auf höhere Krafftutterlevels durch eine langsame Umstellung zu ermöglichen. Die Pansenschleimhaut benötigt 4 – 6 Wochen und die Symbionten etwa 3 Wochen zur Anpassung an höhere Krafftuttergaben (NORDLUND et al. 1995); zweitens muß mit faserreichen Rationen der pH-Wert in physiologischen Grenzen gehalten werden. Die zugeteilten Rationen müssen in Qualität und Quantität sowohl der Leistung als auch dem Trächtigkeitsstand der Tiere entsprechen.

Für Milchkühe wird ein Rohfasergehalt von mindestens 18 % in der TM empfohlen. Bei Futterumstellungen ist langsam vorzugehen (KLEEN et al. 2003, ROSSOW 2003), damit sich sowohl Pansenflora und -fauna als auch die Pansenschleimhaut adaptieren können. Unter Umständen können Puffersubstanzen und andere Agenzien zugefüttert werden (DIRKSEN 2006). Die Futterzusatztechnologie zeigt hierfür mehrere Ansätze auf. Entweder werden direkt laktatzehrende Bakterienstämme eingesetzt oder sie werden durch die Gabe von Laktatproduzenten frühzeitig stimuliert. Zum Teil werden Untersuchungen mit der Gabe von Laktat in frühen Stadien – vor dem Wechsel zu krafftutterreichen Rationen – zur Anpassung des Pansenmilieus durchgeführt (KLEEN et al. 2003).

Vorbeugende Maßnahmen (SHAVER 1998):

- eine Mindestversorgung von 400 g strukturierter Rohfaser je 100 kg Lebendmasse ist zu sichern
- der ADF-Gehalt soll mindestens 18 – 21 % und der NDF-Gehalt mindestens 27 – 30 % betragen
- der NFC-Gehalt der Ration soll 35 – 40 % der TM nicht überschreiten
- in TMR-Rationen sollen mindestens 10 % der Futterpartikel länger als 4 cm sein
- die Stärkeverdauung ist anhand des Feinheitsgrades des Getreides und der Kotbeschaffenheit zu beurteilen und zu regulieren
- Futtermixer müssen exakt arbeiten, am Futtertisch darf keine Entmischung auftreten
- Menge und Zusammensetzung einer TMR-Ration sind täglich zu kontrollieren, der TM-Gehalt und die TM-Aufnahme sind zu überwachen
- Maissilage soll 75 % bei laktierenden 50 % bei trockenstehenden Kühen nicht überschreiten
- drei Wochen vor dem Abkalben soll die Ration 35 – 40 % NFC enthalten, um sie an solch hohe Gaben zu gewöhnen; mindestens 50 % der TM sollen aus Grundfutter bestehen
- unmittelbar nach der Abkalbung ist auf einen hohen Fasergehalt zu achten
- bei Komponentenfütterung ist die Tagesmenge von Getreide langsam zu steigern und zumindest auf drei bis vier Mahlzeiten aufzuteilen
- maximale Teilgaben von Krafftutter dürfen 1,5 kg nicht überschreiten
- selektives Fressen von Getreide ist zu verhindern
- Hitzestress ist zu vermeiden
- Puffer füttern

Die Forderung der NFC-Gabe zur Adaption erscheint schlüssig. PENNER et al. (2007) konnten jedoch keine Reduktion des SARA-Risikos postpartum aufgrund von höheren Krafftuttergaben präpartum feststellen.

Eine kleinere Anzahl an Mahlzeiten bedingt eine höhere Menge und eine raschere Aufnahme. Dies verursacht wiederum eine größere pH-Wert Senkung (SCHWARTZKOPF-GENSWEIN et al. 2003). Auch GASTEINER et al. (2008) beschreiben abrupte Futterumstellungen, unregelmäßige Futteraufnahmen (variiende Mengen von Grund- und Kraffutter) sowie eine geringe Fütterungsfrequenz des Kraffutters als mögliche Azidoseursachen, die als präventive Maßnahme, zu vermeiden sind. GARRETT et al. (1997) beschreiben bei 19% der frühlaktierenden Kühe und bei 26% der Mittellaktation SARA. Erstere erkranken aufgrund der unzureichenden oder zu schnellen Futterumstellung und damit der überforderten Pansenmucosa. Zweitere werden vor allem durch Managementfehler verursacht. (KLEEN et al. 2003).

Da die Herkunft der rasch fermentierbaren Kohlenhydrate für das Verdauungssystem egal ist, ist auch bei Weidegang auf Flächen mit leicht verdaulichen Bestandteilen (z.B. Raygras) auf die Entstehung einer Acidose zu achten (O'GRADY et al. 2007, LEAN et al. 2008).

3.2 Material

Im vorliegenden Versuch sollte der Einfluss der Grundfutterqualität, der Konservierungsart und des Kraffutterniveaus auf Produktionsdaten und pansenphysiologische Parameter untersucht werden.

3.2.1 Grundfutter

3.2.1.1 Aufwuchsbedingungen (Standort, Bewirtschaftung, Stadium, Schnitzzahl)

Für die vorliegende Studie wurde zur Herstellung der Grundfutter die „Irdninger Wiese“, eine Dauerwiese des LFZ Raumberg-Gumpenstein herangezogen. Diese befindet sich im Gebiet der Gemeinde Irdning im steirischen Ennstal. Der Mittelteil des Tales erstreckt sich über etwa 45 km und ist zwischen den nördlichen Kalkalpen (Mesozoikum) und im Süden dem Kristallin der Niederen Tauern eingebettet. Der Talboden entspricht einer glazial geformten inneralpinen Tal- und Terrassenzone. Er ist besonders flach, nach dem Rückzug der würmkaltzeitlichen Vergletscherung bildete sich eine Breite von fast 6 km. Diese Ausdehnung macht das Tal für die grünlanddominierte Kulturlandschaft besonders interessant. Durch die Vergletscherung wurde das Tal akzentuiert und die Flanken übersteilt. Nach dem Abschmelzen der Vergletscherung wurde das Tal mit quartären Sedimenten zu einem Sohltal aufgefüllt. Die Übertiefung erreicht im Bereich Wörschach stellenweise bis zu 190 m (FANK et al. 2004).

Das Ausgangsmaterial der Bodenbildung in diesem Gebiet ist Enns-Alluvium, die Böden sind zum überwiegenden Teil Au-Gleye und vergleyte graue Auböden. Im Zuge der Ennsregulierung (1860 bis 1960) erfolgte eine Flächenentwässerung, was häufig zu einer leichten Verbraunung geführt hat.

Die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (2010) gibt für diese Region eine Jahresdurchschnittstemperatur von 6,7 °C und ca. 160 Frosttage pro Jahr an. Durchschnittlich ist mit einer Regenmenge von 969 l/m² an insgesamt 129 Regentagen zu rechnen. Die Niederschläge kommen vorwiegend von Nord bzw. Nordwest. Für inneralpine Bedingungen ist die Menge aufgrund der Abschirmung von Niederen Tauern, Dachstein und Ennstaler Gebirge auffallend gering.

Zu erwarten sind 1.570 Sonnenstunden pro Jahr, im April über zehn und im Mai noch mindestens ein Frosttag. Das Versuchsjahr 2009 zeichnete sich durch sehr schneereiche Monate Februar und März aus, April und Mai hingegen waren etwa ein bis drei Grad Celsius über dem langjährigen Temperaturdurchschnitt. Im Mai traten häufig kräftige Gewitter auf. Diese führten am 12., 19. und 22. Mai zu heftigem Hagelschlag. Ebenso wie der Mai war auch der Juni von Starkregenereignissen geprägt. Beide Monate lieferten Niederschläge von etwa 200 % des langjährigen Mittels. Die Beobachtungsstation Aigen im Ennstal meldete das Schoßen von Dauergrünland am 8. April 2009 und die Ernte der ersten Mahd am 21. Mai 2009 (ZAMG 2010).

Die Irdninger Wiese entspricht dem Anmoor, ist bezüglich Feuchtigkeit und Durchlässigkeit mäßig, schwach sauer, mittelgründig, stark humös, kalkfrei und weist als Grünland mittlere Wertigkeit auf (BFW 2009). Sie liegt auf 640 m Seehöhe und hat eine Größe von 5,2 ha. In den Jahren 1989 und 1990 wurde hier Mais kultiviert, 1991 erfolgte eine Neuansaat mit einer Dauerwiesenmischung.

Seit 2003 werden einmal jährlich im Herbst ca. 30 t/ha betriebseigener Wirtschaftsdünger und im Frühjahr 100kg/ha Hyper-korn aufgebracht.

Am 18. Mai 2009 wurde der Pflanzenbestand bonitiert. Aufgrund seines Vorkommens wurde die Fläche als Fuchsschwanzwiese eingestuft. Die Bonitierung erfolgte in drei Segmenten. Die mittlere Wuchshöhe betrug 41 cm, der Gräseranteil im Durchschnitt 69,0 %, auf Leguminosen fielen 11,3 % und auf Kräuter 19,7%. Die Mittelwerte für die Deckung ergaben für Obergräser 40,0 %, für Untergräser 20,3 % (Gräser gesamt: 60,3 %), für Leguminosen 13,0 %, für hohe Kräuter 5,7 % und niedere Kräuter 29,0 % (in Summe 34,7 % Kräuter). Die Gesamtdeckung lag zwischen 106,0 % und 112,0 %.

Wiesenfuchsschwanz (*Alopecurus pratensis*), Schlangenknoterich (*Persicaria bistorta*), Kuckuckslichtnelke (*Lychnis flos cuculi*) Kriechender Hahnenfuß (*Ranunculus repens*), Löwenzahn (*Taraxacum officinale*), Schlanksegge (*Carex acuta*) u.ä. deuten auf einen feuchten Standort hin. Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea*) und Fuchsschwanz deuten zwar auf kurzfristige Vernässung bzw. Überflutung hin, aufgrund ihrer Anatomie sind lang anhaltende und stauende Nässe allerdings ausgeschlossen. Löwenzahn, kriechender und scharfer Hahnenfuß (*Ranunculus acris*) sowie Weißklee (*Trifolium repens*) lassen eine sehr gute Nährstoffversorgung vermuten.

Tabelle 19: Bonitierung Irdninger Wiese, 18.05.2009

Prüfnummer	1	2	3	
Projektive Deckung (%)	97	98	98	
Wuchshöhe vertikal (cm)	43	41	39	
Gräser (%)	70	67	70	
Leguminosen (%)	8	15	11	
Kräuter (%)	22	18	19	
Wiesenfuchsschwanz	33	15	25	<i>Alopecurus pratensis</i>
Timothe	5	7	4	<i>Phleum pratensis</i>
Rohrglanzgras	12	8	10	<i>Phalaris arundinacea L</i>
Wiesenschwingel	1	+	+	<i>Festuca pratensis</i>
Knautgras	+	-	-	<i>Dactylis glomerata</i>
Obergräser	51	30	39	
Wiesenrispe	6	7	10	<i>Poa pratensis</i>
Schlanksegge	3	18	4	<i>Carex acuta</i>
Gemeine Rispe	3	3	2	<i>Poa trivialis</i>
Fadenbinse	-	+	+	<i>Juncus filiformis</i>
Rotstraußgras	-	+	5	<i>Agrostis tenuis</i>
Untergräser	12	28	21	
Gräser gesamt	63	58	60	
Rotklee	2	1	6	<i>Trifolium pratense</i>
Weißklee	8	15	6	<i>Trifolium repens</i>
Vogelwicke	+	-	1	<i>Vicia cracca</i>
Leguminosen	10	16	13	
Scharfer Hahnenfuß	2	6	1	<i>Ranunculus acris</i>
Kuckuckslichtnelke	+	1	1	<i>Lychnis flos-cuculi</i>
Bärenklau	+	-	+	<i>Heracleum sphondylium</i>
Stumpfbläättriger Ampfer	2	1	1	<i>Rumex obtusifolius</i>
Wiesenkerbel	+	+	2	<i>Anthriscus sylvestris</i>
Krauser Ampfer	+	+	-	<i>Rumex crispus</i>
Weißer Taubnessel	+	-	-	<i>Lamium album</i>
Hohe Kräuter	4	8	5	
Löwenzahn	15	10	12	<i>Taraxacum officinale</i>
Sauerampfer	2	1	1	<i>Rumex acetosa</i>
Kriechender Hahnenfuß	15	12	12	<i>Ranunculus repens</i>
Hornkraut	1	1	1	<i>Cerastium holostoides</i>
Hirtentäschelkraut	+	-	-	<i>Capsella bursa-pastoris</i>
Schafgarbe	2	+	2	<i>Achillea millefolium</i>
Quendel-Ehrenpreis	+	+	+	<i>Veronica serpyllifolia</i>
Gundelrebe	+	-	-	<i>Glechoma hederacea</i>
Kriechender Günsel	+	-	-	<i>Ajuga reptans</i>
Spitzwegerich	-	+	-	<i>Plantago lanceolata</i>
Sumpfkresse	-	-	+	<i>Rorippa palustris</i>
Schlangenknoäterich	+	+	+	<i>Polygonum bistorta</i>
Niedere Kräuter	35	24	28	
Kräuter gesamt	39	32	33	
Gesamtdeckung	112	106	106	

3.2.1.2 Ernte und Ertrag

Um einen möglichst signifikanten Einfluss des Versuchsfaktors „Grundfutterqualität“ zu erhalten, wurden vom ersten Aufwuchs der Irdinger Wiese zwei Erntezeitpunkte zu sehr unterschiedlichen Vegetationsstadien gewählt. Der erste Schnitt erfolgte am 20.05.2009 zu Blütebeginn des Wiesenfuchsschwanzes. Die gemähte Fläche betrug 3,13 ha. Die restliche Vegetation befand sich im Stadium des Ähren- bzw. Rispschiebens. Der zweite Schnitt sollte Grundfutter mit niedriger Qualität hervorbringen, erstreckte sich über 1,96 ha und wurde drei Wochen später, am 9. 6. 2009, durchgeführt. Die gesamte Vegetation hatte ihre Blütephase beendet und war samenreif.

Tabelle 20: Ertrag der Versuchsfläche

	früher Schnitt („hohe Qualität“)		später Schnitt („niedrige Qualität“)	
	Heu	Silage	Heu	Silage
Ertrag (kg FM)	4.690	11.175	5.145	8.465
TM-Gehalt (%)	76,65	40,28	70,10	50,10
Ertrag (kg TM)	3.595	4.501	3.607	4.241
Ertrag (kg FM)	15.865		13.610	
Ertrag (kg FM je ha)	5.069		6.944	
Ertrag (kg TM)	8.096		7.848	
Ertrag (kg TM je ha)	2.587		4.004	

Am Folgetag des frühen Schnittes (21.05.2009) wurden 15 Siloballen mit einem Gesamtfrischgewicht von 11.175 kg und 40,28 % Trockenmasse gefertigt. Die geerntete Trockenmasse betrug somit 4.501 kg. 4.690 kg Frischmasse Heu mit 76,65 % TM entsprachen 3.595 kg Trockenmasse. Die Resttrocknung erfolgte durch Belüftung. Der Gesamtertrag betrug 8.096 kg bzw. 2.587 kg TM je ha.

Der späte Schnitt erbrachte 14 Siloballen mit 8.465 kg Frischmasse mit 50,10 % Trockenmasse, bzw. 4.241 kg Trockenmasse. Die Trockenmasse von 3.607 kg Heu resultierte aus 5.145 kg mit einer Trockenmasse von 70,10 %.

Deutlich zu erkennen ist, dass in den zusätzlichen Aufwuchstagen ein Frischmassezuwachs von etwa 37 % erfolgte (5.059 kg FM je ha bzw 6.944 kg FM/ha), der Trockenmasseertrag stieg in dieser Phase allerdings um beinahe 55 % (2.587 kg TM je ha bzw. 4.004 kg TM je ha). Wie zu erwarten war, steigt mit Reifung der Pflanzen der Gehalt an Gerüstsubstanzen.

Die Ernte der frühen Schnittes (d.h. der hohen Grundfutterqualität) konnte aufgrund der Wetterbedingungen nicht früher stattfinden.

3.2.1.3 Konservierung

Das Futter wurde zu den vorgesehenen Erntezeitpunkten gemäht. Der Versuchsfaktor „Konservierung“ wurde durch die Verarbeitung als Silage (Siloballen) bzw. Heu (Bodentrocknung mit Restbelüftung) unterschieden.

Am Folgetag des ersten Schnittes (21.05.2009) wurden 15 Siloballen gefertigt. Das Heu wurde mittels Ladewagen abtransportiert und der Restbelüftung zugeführt. Mit dem zweiten Schnitt wurde am 10.06.2009 gleich vorgegangen. Die Silageverarbeitung ergab 14 Siloballen.

Heu steigerte seinen Frischmasseertrag zwar um 75 % (1.498 kg FM je ha bzw. 2.625 kg FM je ha), der Trockenmassezuwachs erreichte allerdings nur 60 % (1.148,5 kg TM je ha bzw. 1.840 kg TM je ha). Der Trockenmassegehalt sank von 76,65 % auf 70,10%.

Die Trockenmasse der Silage reduzierte sich vom ersten zum zweiten Schnitt 40,28 % auf 50,10 %. Der Silagefrischmasseertrag stieg um 21 % (3.570 kg FM je ha bzw. 4.319 kg FM je ha) der Trockenmasseertrag sogar um 50 % (1.438 kg TM je ha bzw. 2.164 kg TM je ha). Der höchste Flächenertrag wurde somit in diesem Versuch mit Silage vom späten Schnitt erzielt.

Bei Silierung ist ein Masseverlust von etwa 5 % zu erwarten, die Heubereitung bewirkt Verluste von bis zu 20 %. Bei Heubelüftung kann dieser Wert im Vergleich zur Bodentrocknung von etwa 15 % auf ungefähr 10 % reduziert werden (BUCHGRABER und GINDL 2004). Die Ergebnisse des gegenständlichen Versuches entsprechen den Erwartungen aus der Literatur.

Von beiden Konservierungsverfahren sollte unter den gegebenen Umständen eine möglichst gute Qualität erzeugt werden.

3.2.2 Kraftfutter

Das Kraftfutterniveau stellt den dritten Versuchsfaktor dar. Die beiden Kraftfutterniveaus sind 0 bzw. 35 % der TM-Aufnahme. Mittels exakter Ein- und der individuellen Rationen Rückwaage und der täglich ermittelten Trockenmasse des Grundfutters errechnete sich der Kraftfutteranteil in Höhe von 35 %.

Als Grundfutter wurden ausschließlich die Versuchsfutter verwendet, d.h. keine Maissilage und kein versuchsfremdes Heu.

3.2.2.1 Zusammensetzung und technologische Verarbeitung

In allen Versuchstiergruppen mit Kraftfutterrationsration wurde die gleiche, speziell für diesen Versuch gemischte Zusammensetzung verwendet:

30 % Gerste, 30 % Mais, 20 % Weizen, 15 % Trockenschnitzel, 5 % Weizenkleie

3.2.2.2 Mineralstoffergänzung

Zur Ergänzung mit Mineral- und Wirkstoffen wurden die Mineralstoffmischung „Garant Rimin Phos“ sowie Viehsalz verwendet und – je nach Futterration – in geeigneter Menge zugeteilt.

Tabelle 21: Inhaltsstoffe von Garant Rimin Phos (je kg)

6% Calcium	150 mg	Fe	750.000 i.E.	Vit.A
12% Phosphor	800 mg	Cu	75.000 i.E.	Vit.D ₃
10% Magnesium	5.700 mg	Zn	3.000 i.E.	Vit.E
8% Natrium	1.500 mg	Mn		
90% Rohasche (Ca/P = 0,5)	30 mg	Se		
	50 mg	Co		
	113 mg	J		

3.2.3 Versuchstiere, Haltung und Fütterung

Für diese Studie wurden aus dem Bestand des Lehr- und Forschungszentrums für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein vier pansenfistulierte Kühe der Kreuzung Braunvieh x Holstein Friesian herangezogen. Zum Einsatz kamen zwei Tiere in der ersten und zwei Tiere in der zweiten Laktation. Aufgrund des Versuchseinsatzes wurden die Kühe vorerst nicht trockengestellt. Sowohl die Anzahl der eingesetzten Tiere, als auch die Vorgabe von exakten Kriterien für den Einsatz im gegenständlichen Versuch, musste der Bedingung, dass es sich um Tiere mit Pansenfistel handeln sollte, welche jedoch in limitierter Zahl zur Verfügung stehen, unterworfen werden.

Tabelle 22: Versuchstiere

Tier	geboren	Laktationszahl	Belegung	Laktationstag zu Versuchsbeginn	Abkalbedatum
Nagerl AT 798.253.707	05.06.2005	2	02.07.2009	378	13.04.2010
Norgard AT 798.251.507	24.05.2005	2	nicht trächtig	249	–
Nestl AT 579.816.609	24.11.2006	1	20.08.2009	173	25.06.2010
Nordwind AT 579.799.609	04.07.2006	1	17.05.2009	391	13.02.2010

Der Einsatz von Tieren mit Pansenfistel sollte ein rasches Eingreifen im Falle von technischen Schwierigkeiten mit der relativ neuen Sensortechnik ermöglichen, ohne den Versuch selbst zu gefährden. Zusätzlich war dadurch die Entnahme von Pansensaft leicht, rasch und mit minimierten Einfluss der Entnahmetechnik möglich. Die eingesetzte Pansenfistel hat einen Innendurchmesser von 100 mm und besteht aus drei Teilen. Eine Gegenscheibe aus Hartplastik bietet den Gegenhalt für den Rahmen aus Gummi. Der Deckel besitzt eine Gewindeöffnung. So kann Pansensaft entnommen werden, ohne die eigentliche Pansenfistel öffnen zu müssen, das Milieu bleibt unbeeinträchtigt.

Abbildung 3: Pansenfistel



Die Tiere waren in Einzelanbindung aufgestellt. Die Fresseinrichtungen waren strikt getrennt, eine Vermischung der jeweiligen Futtervorlage war nicht möglich. Lecksteine wurden vor Versuchsbeginn entfernt. Die Fütterung erfolgte ab der betriebsüblichen Stallzeit um 4:30 und 15:00 Uhr durch das Stallpersonal bzw. den Dissertanten. Die Wasserversorgung erfolgte über Selbsttränken.

Für die vorliegenden Untersuchungen an pansenfistulierten Rindern liegen die Tierversuchsgenehmigungen GZ 7A10A-78GU-14/2009-4 vom 16. 11. 2009 (für die Tiere Nestl und Nordwind) und GZ 7A10A-78GU-12/2008-3 vom 29. 4. 2008 (für die Tiere Nagerl und Norgard) lt. TVG vom zuständigen Amt der steiermärkischen Landesregierung vor

3.3 Methoden

3.3.1 Versuchsaufbau und Versuchsplan

Die Studie wurde in den Forschungseinrichtungen des LFZ Raumberg-Gumpenstein durchgeführt. Beteiligt waren die Institute für Pflanzenbau und Kulturlandschaft (Futterbereitung), Nutztierforschung (Fütterungs- und Verdauungsversuche) sowie das Institut für Artgemäße Tierhaltung und Tiergesundheit (pansenphysiologische Messungen).

Der Versuch mit $2 \times 2 \times 2$ Gruppen wurde nach der Methode des lateinischen Quadrates mit 4 pansenfistulierten Kühen in 4 Perioden im Winter 2009/2010 durchgeführt (incomplete latin square). Diese Anordnung wurde gewählt, um den Einfluß des Individuums auszuschließen, da der Effekt des Futters auf den pH-Wert von Tier zu Tier schwankt (BEAUCHEMIN 2007). Der Grund dafür ist nicht ganz klar. Eventuell ist die Population der Mikroorganismen im Pansen unterschiedlich und/oder die Selektion anders (SCHWARTZKOPF-GENSWEIN et al. 2003).

Die untersuchten Faktorstufen waren:

Versuchsfaktor 1: Grundfutterqualität (hoch – niedrig)

zwei Faktorstufen aufgrund verschiedener Vegetationsstadien

Versuchsfaktor 2: Konservierung (Heu – Silage)

zwei Faktorstufen aufgrund der Verarbeitung

Versuchsfaktor 3: Kraffutterniveau (0 % – 35 % der TM-Aufnahme)

Tabelle 23: Faktorstufen

Faktoren	Faktorstufen							
	hoch				niedrig			
	Heu		Silage		Heu		Silage	
Kraffutter (%)	0	35	0	35	0	35	0	35

Eine Periode dauerte 28 Tage, wobei 10 Tage als Anfütterungsphase dienten. Die Gesamtdauer betrug somit 16 Wochen mit zusätzlich einer Woche Vorperiode vor Versuchsbeginn zur Angewöhnung der Tiere an die Versuchsbedingungen.

Versuchsbeginn war der 19.10.2009, die Vorperiode begann bereits am 12.10.2009.

Tabelle 24: Versuchsplan

Periode	Datum	Heu frühe Ernte	Silage frühe Ernte	Heu späte Ernte	Silage späte Ernte
Periode 1	19.10.09 - 15.11.09	Nordwind (KF 35)	Nagerl (KF 0)	Nestl (KF 0)	Norgard (KF 35)
Periode 2	16.11.09 - 13.12.09	Norgard (KF 0)	Nordwind (KF 35)	Nagerl (KF 35)	Nestl 3 (KF 0)
Periode 3	14.12.09 - 10.01.10	Nestl (KF 35)	Norgard (KF 0)	Nordwind (KF 0)	Nagerl (KF 35)
Periode 4	11.01.10 - 07.02.10	Nagerl (KF 0)	Nestl (KF 35)	Norgard (KF 35)	Nordwind (KF 0)

Periode	Datum	Nordwind	Nagerl	Nestl	Norgard
Periode 1	19.10.09 - 15.11.09	Heu früh (KF 35)	Silage früh (KF 0)	Heu spät (KF 0)	Silage spät (KF 35)
Periode 2	16.11.09 - 13.12.09	Silage früh (KF 35)	Heu spät (KF 35)	Silage spät (KF 0)	Heu früh (KF 0)
Periode 3	14.12.09 - 10.01.10	Heu spät (KF 0)	Silage spät (KF 35)	Heu früh (KF 35)	Silage früh (KF 0)
Periode 4	11.01.10 - 07.02.10	Silage spät (KF 0)	Heu früh (KF 0)	Silage früh (KF 35)	Heu spät (KF 35)

Zu Beginn jeder Periode wurde das Kraffutterniveau innerhalb der ersten 10 Tagen kontinuierlich auf 35 % der TM der Versuchsration gesteigert. Für die Versuchsauswertung wurden die Tage 11 – 28 herangezogen.

Außer der Variation der Versuchsfaktoren (Konservierung, Aufwuchs, Kraffutter) wurde auf ceteris paribus-Bedingungen großer Wert gelegt.

3.3.2 Erhebungen

Die Versuchsdaten wurden kontinuierlich erhoben.

Tabelle 25: Erhebungen

täglich	wöchentlich	je Periode
TM-Gehalt (Silage)	TM-Gehalt (Heu, Kraftfutter)	Sinnenprüfung
Futteraufnahme		BCS
Milchleistung (Menge, Inhaltsstoffe)		Lebendmasse
		Pansensaftentnahme

3.3.2.1 Futterqualitäten, Futteraufnahme

Es wurden vier Variationen an Grundfutter untersucht. Die Faktoren und deren Stufen waren frühes bzw. spätes Vegetationsstadium und Konservierung als Heu oder Silage. Zur Einschätzung der Qualitätsunterschiede wurden Sinnenprüfungen und Laboranalysen durchgeführt.

Die Sinnenprüfung erfolgte für jedes Grundfutter einmal pro Periode mithilfe der Silage-, bzw. Heubewertung nach dem ÖAG-Schlüssel (1999). Im ersten Schritt erfolgte eine sensorische Beurteilung von Geruch, Gefüge und Farbe des Futtermittels. Heu wurde zusätzlich auf Verunreinigungen kontrolliert.

Die Futteraufnahme wurde täglich individuell festgestellt. Von jeder Grundfütterration wurde eine Ein- und Rückwaage vorgenommen. Die Vorperiode wurde jeweils zur Anpassung der Grund- und Kraftfuttergaben verwendet. Um ad libitum Bedingungen zu erreichen, wurde die Grundfuttereinwaage mit einem Zuschlag von 10 % versehen. Eine Waage-Computer-Einheit war im Stallbereich installiert. Die Rückwaage wurde mithilfe dieser Apparaturen gewogen, aus der Differenz der Wägungen errechnete ein Computerprogramm die folgende Einwaage. Der Kraftfutteranteil wurde jeweils auf Basis der vorhergehenden Grundfutteraufnahme ermittelt. Eine Kraftfutterrückwaage gab es nicht.

Die bei der Trocknung flüchtiger Substanzen entstehenden Stoffverluste wurden mit der Formel von WEISSBACH und KUHLA (1995) berechnet:

$$\begin{aligned} \text{Korrekturfaktor} &= 0,994 + 1,37/\text{TM}(\%) \text{ bzw.} \\ \text{TM}_{\text{korr}}(\%) &= 2,08 + 0,975 \text{ TM}(\%) \end{aligned}$$

3.3.2.2 Pansenphysiologische Parameter

Zur Ermittlung der Pansensaftparameter der Kühe aufgrund der jeweiligen Fütterration wurde jeweils in der letzten Woche der Versuchsperiode an zwei aufeinanderfolgenden Tagen Pansensaft genommen. Hierfür wurde mittels Saugpumpe per fistulam je 100 ml aus dem Pansen entnommen. Die Entnahmezeiten waren von 04:30 bis 18:30 Uhr im Abstand von zwei Stunden. Aus den Proben wurde der pH-Wert gemessen, im Anschluß wurden sie tiefgefroren. In der späteren Laboranalyse wurden die Gärparameter ermittelt.

Die Gärssäuren Essigsäure, Propionsäure und Buttersäure wurden gaschromatographisch, NH_3 mit Hilfe der Elektrode nach WIEDNER (2002) bestimmt. Die Zucker/Pufferkapazität (AZI/ALK) wurden ebenfalls analysiert.

Die kontinuierliche Messung des pH-Wertes und der Temperatur im Pansen wurde im Abstand von 10 Minuten mithilfe eines Pansensensors gemessen.

3.3.2.3 Milchleistung

Die Milchmenge wurde zweimal täglich durch das Stallpersonal erhoben. Gemolken wurde, betriebsüblich ab 04:30 und 15:00 Uhr mittels Rohmelkanlage. Die Inhaltsstoffe der Milch (Fett, Eiweiß, Laktose, Zellzahl, FFT und Harnstoff) wurden aus einer aliquoten Mischung von Morgen- und Abendmelk im QLM – Qualitätslabor St. Michael (staatlich anerkanntes Labor für Lebensmitteluntersuchungen und Umweltanalytik) untersucht.

3.3.2.4 Verdaulichkeit

Zur näheren Charakterisierung der eingesetzten Futtermittel wurden Verdaulichkeitsversuche nach den Richtlinien der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (1991) an vier adulten Hammeln durchgeführt.

Die hierfür benötigten Futterproben wurden einmal wöchentlich vom Versuchsfutter der Rinder gezogen und bis zur Fütterung tiefgefroren.

3.3.2.5 Lebendmasse, Körperkondition

Die Lebendmasse wurde zu Beginn und bei der Umstellung der Futterrationen an drei aufeinanderfolgenden Tagen ermittelt. Mit der Beurteilung der Körperkondition durch visuelle Einstufung nach EDMONDSON et al. (1989) wurde einmal je Periode der Body Conditional Score erhoben.

3.3.3 Chemische Analysen

Die Analysen der Nähr- und Mineralstoffgehalte wurden an der Abteilung für analytische Chemie des LFZ Raumberg-Gumpenstein mit dem TECATOR-System durchgeführt. Von den vier Grundfuttermitteln und dem Kraftfutter wurde je Versuchsperiode eine Sammelprobe zur Analyse bereitgestellt.

Die Weender Analyse wurde nach den Analysenvorschriften von VDLUFA (1976) bzw. ALVA (1983) durchgeführt: Trockenmasseermittlung durch Wäge-Trocknungsverfahren durch Vortrocknung bei 60 °C und 3 h Haupttrocknung bei 105 °C, die Verbrennungsanalyse nach Dumas ergab den Rohproteingehalt, Rohfett und Rohfaser konnten durch das hydrolytische Zweistufenaufschlußverfahren analysiert werden. Trockenveraschung im Muffelofen bei max. 600°C ergab die Werte für Rohasche.

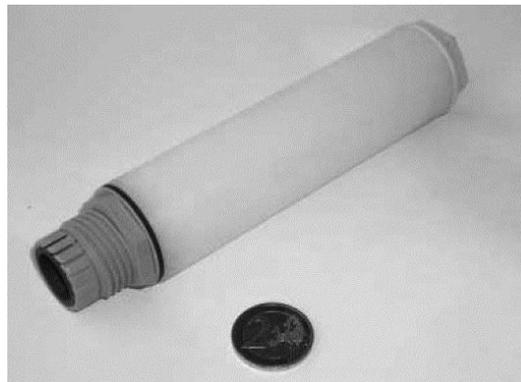
Die Analyse der Gerüstsubstanzen (NDF, ADF, ADL) erfolgte mit der Detergenzienmethode nach GOERING und VAN SOEST (1970).

3.3.4 Sensortechnik

In einer Zusammenarbeit des Lehr- und Forschungszentrums für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein und dem Gründerzentrum Science Park der Technischen Universität Graz wurde eine Sonde in Bolusform zur intraruminalen pH-Wert-Messung entwickelt. Diese wird über Pansenfisteln im ventralen Bereich des Retikulums eingebracht und ermittelt die elektrische Leitfähigkeit und somit den pH-Wert des Pansensaftes. Sie besteht aus Copolymerisiertem Polyoxymethylen (POM C), einem bruchsicheren Kunststoff.

Das Gehäuse hat eine Dichte von $1,4 \text{ g/cm}^3$ und beherbergt das eigentliche Sensorsystem, welches durch die elektrische Leitfähigkeit des Pansensaftes den pH-Wert ermittelt. Die Messergebnisse werden von einem A/D-Konverter aufgezeichnet und per Mikroprozessor mit Uhrzeit und Datum weiterverarbeitet und abgespeichert.

Abbildung 4: Pansensensor

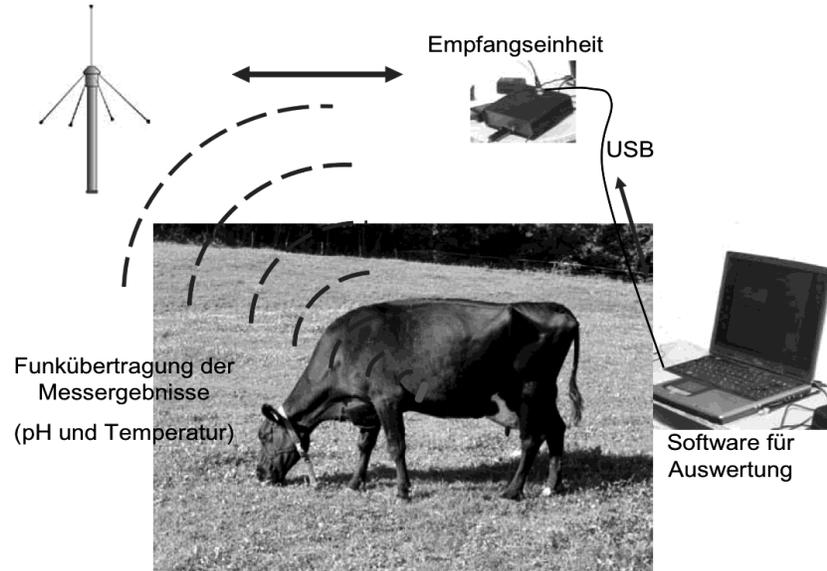


Die Sonde hat eine Länge von 180 mm und einem Durchmesser von 36 mm. Das Gewicht beträgt 208 g. Sie stellt keine Irritation für die Tiere dar und verursacht damit keine Verfälschung der Messergebnisse. Weder Fressverhalten noch Futteraufnahme sind beeinträchtigt (GASTEINER et al. 2008, GASTEINER et al. 2010).

Das Messintervall ist stufenlos von einer Sekunde bis zu mehreren Stunden einstellbar. Davon hängt auch die Stromversorgung als limitierender Faktor ab. Derzeit ist jedoch von einer Leistungsdauer des Akkus von mindestens sechs Monaten auszugehen. Für die vorliegende Studie wurde ein Messintervall von 10 Minuten gewählt.

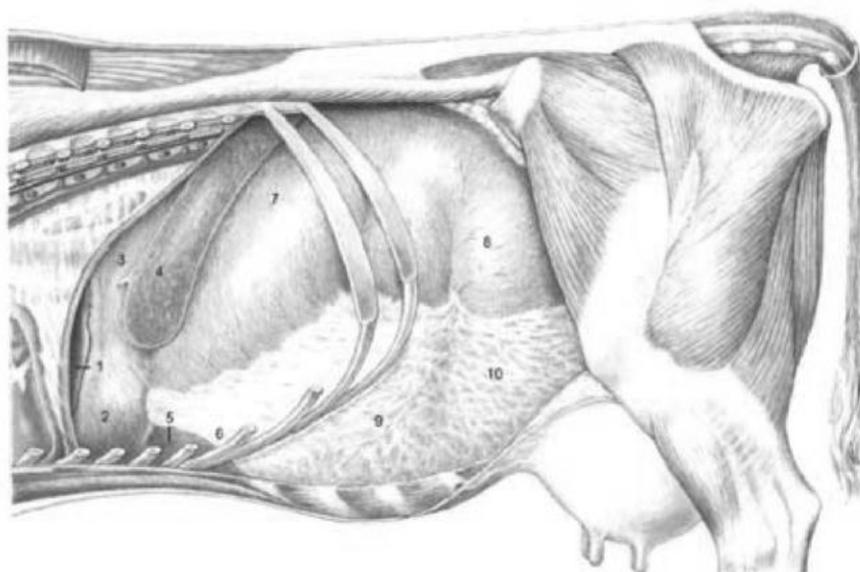
Ein externes Empfangsgerät kann die gewonnenen Daten über Funkwellen (433 MHz) auslesen. In weiterer Folge können die Ergebnisse entweder über USB an einen Laptop im unmittelbaren Nahebereich oder per Internet an eine Fernauslesestelle übertragen werden. Ein speziell entwickeltes EDV-Programm erlaubt ein sofortiges Ablesen und eine graphische Darstellung der Messwerte.

Abbildung 5: Sendeeinheit



Damit auf technische Probleme des Sensors sofort reagiert werden kann und der Verlauf der Studie dadurch nicht gefährdet würde, war die Auslesung der Werte vor Ort vorgesehen. Die Sonden werden über Pansenfisteln im ventralen Bereich des Retikulums eingelegt. Da die Lage dort fixiert ist, kann auch immer vom gleichen Ort im Pansen gemessen werden, der zudem die Stelle mit den geringsten Schwankungen darstellt, da dort die geringste Durchmischung stattfindet. Das Retikulum stellt auch die Lage beim Abschlucken ohne Fistel dar und ist damit gleich, auch wenn ohne Pansenfistel gearbeitet würde.

Abbildung 6: Schnitt durch das Verdauungssystem des Rindes (GASTEINER et al. 2008)



Vor dem Einlegen wurden die Sonden für je eine Stunde in zwei Eichlösungen mit pH 4 bzw. 7 kalibriert. Nach der Entnahme wurde ebenfalls kalibriert, um etwaige Abweichungen interpolieren zu können. Dadurch kann die Messung zusätzlich abgesichert und validiert werden. Die Werte zeigten jedoch keinerlei Drift.

Bei der Validierung der Messergebnisse durch Vergleich der Ergebnisse mit den Eichlösungen errechnete sich im Rahmen von vorhergehenden Studien ein mittlerer Korrelationskoeffizient von $r = 0,998$. Wie zu erwarten war, brachten Vergleichsmessungen mittels Probenentnahme via Pansenfistel ähnliche Ergebnisse. Je saurer das Milieu wurde, umso größer waren die Messunterschiede, was auf die Lage der Sonde zurückzuführen ist, da sich am Boden des Retikulums im Vergleich zur Zentesestelle deutlich weniger Speichel befindet. Bei einer Probenentnahme über eine Schlundsonde ergaben sich aufgrund der Verunreinigung durch Speichel etwas höhere Werte (GASTEINER et al. 2008, GASTEINER et al. 2010).

3.3.5 statistische Auswertung

Bei der Auswertung der gewonnenen Versuchsdaten wurden die Haupteffekte Konservierungsart, Erntezeitpunkt und Krafftutterniveau sowie die Interaktionen Konservierung \times Ernte und Konservierung \times Krafftutterniveau berücksichtigt.

Folgende Daten wurden mit dem Computerprogramm SAS (2010) als mixed model ("procedure mixed") nach der Methode von Kenward-Roger statistische ausgewertet:

- Futter- und Nährstoffaufnahme aus Grundfutter
- Zusammensetzung der Ration
- Leistungsparameter
- Bedarfsdeckung
- pH-Werte der Pansensensormessung (Mittelwert, Minimum, Maximum, Standardabweichung)
- Pansentemperatur
- pH-Verweildauer
- pH-Verlauf

In den Ergebnistabellen werden die LS means, die p-Werte, die AIC (Akaike Information Criterion – "smaller is better") sowie die Standardabweichung angegeben.

$$Y_{ijk} = \mu + K_i + E_j + KF_k + (K \times E)_{ij} + (K \times KF)_{ik} + e_{ijk}$$

Y_{ijk}	= Beobachtungswert der abhängigen Variable
μ	= gemeinsame Konstante
K_i	= fixer Effekt der Konservierungsart
E_j	= fixer Effekt des Erntezeitpunktes
KF_k	= fixer Effekt des Krafftutterniveaus
$(K \times E)_{ij}$	= Interaktion Konservierung \times Erntezeitpunkt
$(K \times KF)_{ik}$	= Interaktion Konservierung \times Krafftutterniveau
e_{ijk}	= Restkomponente

Die statistische Auswertung der Ergebnisse der Pansensaftanalysen (NH₄, Azidität, Alkalität, pH-Wert, Fettsäuren) sowie deren zeitlicher Verlauf erfolgte mit dem Computerprogramm STATGRAPHICS PLUS 5.1 per GLM.

In den Ergebnistabellen werden die LS means, die p-Werte sowie die Standardabweichung angegeben. Es wurde das selbe statistische Modell wie bei den Berechnungen in SAS herangezogen.

4 Ergebnisse

4.1 Versuchsverlauf

Insgesamt verliefen alle vier Versuchsperioden ohne Komplikationen. Die Versuchsanordnung wurde entsprechend dem lateinischen Quadrat durchgeführt (vgl. Kap. 3.3.1). Zum Einsatz kam ausschließlich das vorgesehene Grundfutter ad libitum bzw. Kraffutter in der errechneten Quantität. Die Vorperioden zur Adaption an die jeweils neue Ration wurden ebenfalls eingehalten und erwiesen sich als geeignete Zeitspanne.

Die Erhebungen der Futterqualitäten, Futteraufnahme, Milchleistung, Verdaulichkeit, Lebendmasse, Körperkondition sowie die Entnahme des Pansensaftes wurden den vorgesehenen Intervallen gemäß durchgeführt.

Eine veterinärmedizinische Versorgung war nicht notwendig. Keines der Tiere zeigte Krankheitssymptome oder musste aus dem Versuch ausgeschieden werden. Weder Tiergesundheit noch Futteraufnahme oder Fressverhalten waren durch den Sensor oder die eingesetzte Pansenfistel beeinträchtigt.

Alle in den Pansen eingelegten Messeinheiten verblieben bis zum Ende der jeweiligen Messphase im Retikulum. Zur Wartung und Kontrolle wurden die Sensoren teilweise über die Pansenfistel entnommen, von den Tieren selbst wurden sie nicht ausgestoßen. Sowohl der äußere Kunststoffmantel als auch die inneren Bauteile der Sensoren überstanden den intraruminalen Einsatz unbeschadet.

Da im Versuchsbetrieb nur vier pansenfistulierte Tiere zur Verfügung standen, konnte im vorliegenden Versuch keine Rücksicht auf deren Laktationsstadium genommen werden. Dieses war bereits beträchtlich fortgeschritten und die Kühe „Nordwind“ und „Nagerl“ wurden vor Ende der letzten Versuchsperiode trockengestellt.

4.2 Futteranalysen

4.2.1 Grundfutter

Die Gehalte an Rohnährstoffen und Gerüstsubstanzen, Proteinwert, Verdaulichkeit und Energiekonzentration sowie der Mineralstoffgehalt der Grundfuttermittel sind in Tabelle 27 angegeben. Die Daten sind Mittelwerte der Analysen der vier Versuchsperioden.

4.2.1.1 Trockenmasse und Rohnährstoffe

Während der Erntezeitpunkt bei Heu keinen Einfluss auf die Trockenmasse (TM) ausübte (813 und 808 g/kg), zeigte sich bei der Silage ein deutlicher Unterschied (402 und 513 g/kg). Mit zunehmenden Pflanzenalter sank bei beiden Konservierungsformen der Rohproteingehalt (XP) ebenso wie der Rohfettgehalt (XL).

Sowohl Rohfaser (XF) als auch der Gehalt an stickstofffreien Extraktstoffen (XX) wiesen mit fortschreitendem Vegetationsstadium Steigerungen auf. Die Rohasche (XA) fiel bei Heu von 69 auf 58 g/kg TM, bei Silage von 78 auf 76 g/kg TM.

4.2.1.2 Gerüstsubstanzen

Der Neutraldetergentien-Faser-Gehalt (NDF) stieg bei Heu im Bezug zum Erntetermin von 556 auf 568 g/kg TM, bei Silage war eine höhere Steigerung von 520 auf 550 g/kg TM zu beobachten. Säuredetergentien-Faser (ADF) und Säuredetergentien-Lignin (ADL) nahmen allgemein zu.

4.2.1.3 Protein

Im Pansen abbaubares Protein (rumen degradable protein, RDP) und unabbaubares Protein (undegradable dietary protein, UDP) reduzierten sich mit der Aufwuchsdauer bei beiden Konservierungsarten. Dieser Entwicklung folgten auch das am Duodenum nutzbare Protein (nXP) und das Mikrobenprotein (MP).

Die Differenz zwischen Futterrohprotein (XP) und nutzbarem Rohprotein (nXP) geteilt durch 6,25 entspricht der ruminalen Stickstoffbilanz (RNB). Beim frühen Schnitt war sie positiv (Heu: 1,4 g/kg TM, Silage: 3,4 g/kg TM). Der spätere Schnitt erbrachte eine negative Stickstoffbilanz.

4.2.1.4 Verdaulichkeit und Energiekonzentration

Insgesamt nahm die Verdaulichkeit von Rohfett, Rohfaser und organischer Masse ab, wobei sie bei der Konservierung Heu in stärkerem Ausmaß reduziert wurde als bei Silage.

Sowohl die Konzentration an umsetzbarer Energie (ME) als auch an Nettoenergie-Laktation (NEL) zeigte im Verlauf der Pflanzenentwicklung eindeutig eine Abnahme. Bei Heu fiel die ME von 9,44 auf 8,70 MJ/kg TM, bei Silage von 9,41 auf 8,97 MJ/kg TM. Analog dazu fiel die NEL bei Heu von 5,54 auf 5,02 MJ/kg TM und bei Silage von 5,51 auf 5,21 MJ/kg TM.

4.2.1.5 Mineralstoffe

Die Analyse umfasste die Mengenelemente Kalzium (Ca), Phosphor (P), Magnesium (Mg), Kalium (K) und Natrium (Na) sowie die Spurenelemente Mangan (Mn), Zink (Zn) und Kupfer (Cu). Der Kalziumgehalt zeigte bei beiden Konservierungsmethoden vom frühen zum späten Schnitt eine Steigerung. Phosphor, Magnesium, Kalium und Kupfer hingegen wiesen sinkende Konzentrationen auf. Natrium blieb bei Heu konstant, bei Silage stieg der Gehalt. Mangan und Zink stiegen bei Heu, bei Silage fielen diese Werte.

4.2.1.6 Sinnenprüfung des Grundfutters

Tabelle 26 zeigt das Ergebnis der Sinnenprüfung. Heu wies hinsichtlich Geruch, Farbe und Gefüge im späteren Schnitt einen Qualitätsverlust auf. Zusätzlich wurde die Verunreinigung höher. Geruch und Farbe der Silage waren konstant, nur das Gefüge wurde bei spätem Schnitt schlechter.

Tabelle 26: Sinnenprüfung

Konservierung	Heu		Silage	
	früh	spät	früh	spät
Erntezeitpunkt				
Geruch	3,00	2,75	7,00	7,00
Farbe	3,25	3,00	4,00	4,00
Gefüge	6,00	4,25	1,25	1,00
Verunreinigung	1,00	2,00	/	/
Punkte	13,25	12,50	12,25	12,00
Qualitätsfaktor	0,80	0,725	0,75	0,725
Vegetationsstadium	2	4	2	4
NEL (MJ/kg TM)	5,66	5,00	6,05	5,45
Qualitätspunkte	84,97	63,41	97,71	78,11
Futterwertzahl	68,07	45,97	73,29	56,63
QP aus Analyse	80,07	63,73	79,74	70,27
FWZ aus Analyse	64,06	46,20	59,81	50,95

Der Energiewert aus der ÖAG-Futterwerttabelle (RESCH et al. 2006) ergab im Vergleich zu den Energiewerten aus der Futtermittelanalyse eine höhere Qualität für Silage, wohingegen die tatsächlichen Energiegehalte für Heu vom frühen Schnitt einen Vorteil gegenüber Silage aufwiesen. Beim späteren Schnitt entsprach das Verhältnis den Tabellenergebnissen.

Tabelle 27: Inhaltsstoffe des Grundfutters und Kraftfutters

Konservierung		Heu		Silage		Kraftfutter
Erntezeitpunkt		früh	spät	früh	spät	
Trockenmasse	g/kg	813	808	402	513	867
Rohnährstoffe						
XP	g/kg TM	136	104	151	110	108
XL	g/kg TM	21	19	32	26	24
XF	g/kg TM	287	312	271	308	70
XX	g/kg TM	487	507	468	480	764
XA	g/kg TM	69	58	78	76	34
Gerüstsubstanzen						
NDF	g/kg TM	556	568	520	550	211
ADF	g/kg TM	327	352	322	353	79
ADL	g/kg TM	36	43	40	45	11
Proteinwert						
RDP	g/kg TM	110	82	128	94	72
UDP	g/kg TM	26	22	23	17	36
nXP	g/kg TM	127	114	126	115	159
RNB	g/kg TM	1,4	-1,6	3,4	-0,8	-8,2
MP	g/kg TM	100	91	103	98	122
degXP	%	80,8	79,0	85,0	85,0	67,0
Verdaulichkeit und Energiekonzentration						
dXL	%	37,5	32,0	55,3	54,3	75,0
dXF	%	66,6	61,7	67,5	66,4	57,5
dOM	%	67,2	61,9	66,1	64,0	85,4
ME	MJ/kg TM	9,44	8,70	9,41	8,97	13,30
NEL	MJ/kg TM	5,54	5,02	5,51	5,21	8,40
Mineralstoffe						
Ca	g/kg TM	5,7	5,9	6,8	7,9	2,0
P	g/kg TM	3,1	2,5	3,1	2,7	3,3
Mg	g/kg TM	2,8	2,9	3,3	3,0	1,4
K	g/kg TM	19,9	14,7	17,6	16,2	9,1
Na	g/kg TM	0,22	0,15	0,38	0,38	0,93
Mn	mg/kg TM	169	65	64	80	28
Zn	mg/kg TM	39	27	29	30	34
Cu	mg/kg TM	13,4	10,6	10,8	11,8	6,0

4.2.2 Kraftfutter

Hinsichtlich der Probennahme und Analyse des Kraftfutters wurde in gleicher Weise verfahren wie beim Grundfutter. Die Ergebnisse sind in Tabelle 28 zusammengefasst.

Bei den Nährstoffen hatten Rohfaser und Rohasche niedrigere Werte als bei den Grundfutterarten. Rohprotein lag deutlich unter den frühen Schnitten von Heu und Silage und war mit den späten Schnitten etwa gleichauf. Der Gehalt an stickstofffreien Extraktstoffen zeigte sich wesentlich höher (764 g/kg TM). Rohfett lag mit 24 g/kg TM über den Werten von Heu jedoch unter jenen von Silage. Alle Gerüstsubstanzen wiesen bei Kraftfutter niedrigere Gehaltswerte auf als bei den Grundfutterarten.

Im Pansen abbaubares Protein war mit 72 g/kg TM bei Kraftfutter unter, Mikrobenprotein mit 122 g/kg TM, unabbaubares Protein mit 36 g/kg TM und nutzbares Rohprotein mit 159 g/kg TM über dem jeweiligen Wert der Grundfutter. Die ruminale Stickstoffbilanz war wesentlich stärker negativ, als bei Grundfutter.

Sowohl die Verdaulichkeit von Rohfett als auch von organischer Masse waren bei Kraftfutter höher (75,0 bzw. 85,4 %), die Verdaulichkeit von Rohfaser war niedriger (57,5 %).

Umsetzbare Energie war über 40 % (früher Schnitt) bzw. über 60 % (später Schnitt) höher, Nettoenergie-Laktation über 50 % (früher Schnitt) bzw. über 60 % (später Schnitt) höher als bei Grundfutter.

Die Konzentration der Mineralstoffe Kalzium, Magnesium, Kalium, Mangan und Kupfer im Kraftfutter niedriger, jene von Natrium und von Phosphor (außer bei Silage, früher Schnitt) höher und bei Zink etwa gleich wie bei Grundfutter.

4.3 Futteraufnahme, Nährstoffaufnahme und Nährstoffzusammensetzung im Pansen

4.3.1 Futter- und Nährstoffaufnahme

In Tabelle 28a ist die Futter- und Nährstoffaufnahme aus dem Grundfutter für die Haupteffekte, in Tabelle 28b für die Interaktionen angeführt.

Silage bewirkte eine signifikant höhere Aufnahme von Rohprotein als Heu (1941 bzw. 1759 g). Rohfett, Rohasche und Säuredetergentien-Lignin zeigten die gleiche Tendenz. Im Pansen abbaubares Protein war bei Silage höher als bei Heu (1590 bzw. 1363 g), unabbaubares Protein verhielt sich umgekehrt (351 bzw. 396 g). Die ruminale Stickstoffbilanz lag für Heu deutlich unter dem Silagewert (-27,3 bzw. -3,0 g). Silage brachte einen höheren Wert für Mikrobenprotein (1598 bzw. 1522 g).

Die Konservierungsform übte keinen Einfluss auf die Aufnahme von Rohfaser, stickstofffreien Extraktstoffen, den Gerüstsubstanzen NDF und ADF, Nichtfaser-Kohlenhydraten und organischer Masse aus. Am Duodenum nutzbares Protein und Mikrobenprotein wurden von der Konservierung ebenso wenig beeinflusst wie die Energieaufnahme. Die Frischmasseaufnahme war bei Heu deutlich niedriger als bei Silage. Weder die Trockenmasseaufnahme des Grundfutters noch des Kraftfutters zeigten eine Beeinflussung durch die Konservierungsform des Grundfutters.

Hinsichtlich des Erntezeitpunktes ergaben sich beim frühen Schnitt signifikant höhere Aufnahmen von Rohprotein und Rohfett. Die Rohascheaufnahme war im späten Schnitt niedriger als im frühen. Bei Verwendung des frühen Schnittes wurde mehr Neutraldetergentien-Faser aufgenommen (7399 und 7065 g), ebenso organische Masse. Rohfaser, stickstofffreie Extraktstoffe und Säuredetergentien-Faser waren unbeeinflusst. Säuredetergentien-Lignin und Nichtfaser-Kohlenhydrate wurden vom späteren Schnitt positiv beeinflusst.

Die Proteinaufnahme war bei der früheren Ernte deutlich höher, die ruminale Stickstoffbilanz wies eine signifikante Differenz von 51 g auf.

Die Energieaufnahme war beim frühen Schnitt höher als beim späten (93,2 und 84,2 MJ NEL).

Vom jüngeren Futter wurde mehr aufgenommen (12,60 bzw. 11,39 kg TM), hier war die Kraftfutteraufnahme jedoch reduziert (2,97 bzw. 3,28 kg TM). Die Gesamtaufnahme von TM war beim frühen Schnitt höher (15,57 bzw. 14,67 kg TM).

Mit Ausnahme von Rohasche und Neutraldetergentien-Faser zeigte die Gabe von Kraftfutter deutlichen Einfluss auf die Nährstoffaufnahme. Rohprotein, Rohfett, stickstofffreie Extraktstoffe, Nichtfaser-Kohlenhydrate und die Proteinparameter waren deutlich erhöht. Rohfaser, Säuredetergentien-Faser und Säuredetergentien-Lignin wurden negativ beeinflusst. Die Energieaufnahme war mit Kraftfutter ebenso erhöht, wie die Gesamtaufnahme von TM (16,79 bzw. 13,44 kg). Die Aufnahme von TM aus dem Grundfutter war herabgesetzt (10,55 bzw. 13,44 kg).

Der Anteil des Kraftfutters an der Gesamttrockenmasseaufnahme war weder von Konservierungsform noch vom Schnittzeitpunkt beeinflusst.

Die Aufnahme von Rohprotein zeigte beim frühen Schnitt einen deutlich höheren Unterschied zwischen Heu (1937 g) und Silage (2325 g) als beim späten (1580 bzw. 1557 g). Rohfett erfuhr durch den späteren Erntezeitpunkt bei der Silage (503 auf 369 g) eine wesentlich stärkere Reduktion der Aufnahme als bei Heu (327 auf 310 g). Krafftuttermgaben steigerten die Rohfettaufnahme bei Heufütterung deutlich mehr (ca. 37 %) als bei Silagefütterung (ca. 12 %).

Bei der Konservierung als Heu stiegen mit dem späteren Schnitt die Aufnahmen von Rohfaser, stickstofffreien Extraktstoffen, Säuredetergentien-Faser, Säuredetergentien-Lignin, Nichtfaser-Kohlenhydraten und organische Masse. Silage verhielt sich genau umgekehrt. Die Neutraldetergentien-Faser stieg zwar in beiden Verarbeitungsgruppen, bei Silage aber deutlich stärker.

Die Werte von im Pansen abbaubarem Protein, unabbaubarem Protein, nutzbarem Rohprotein und Mikrobenprotein verringerten sich mit der Pflanzenentwicklung, bei Silage aber mehr als bei Heu. RDP konnte durch Krafftuttermgabe bei Heu wesentlich mehr gesteigert werden (ca. 15 %) als bei Silage (ca. 3 %).

Die ruminale Stickstoffbilanz war für Heu selbst beim frühen Schnitt negativ (-8,1 g). Bei Silage war der frühe Schnitt zwar positiv (28,8 g), fiel mit der späteren Ernte jedoch um 16 % stärker als bei Heu auf -34,8 g. Trotzdem war der Wert deutlich über dem Wert von Heu (-46,50 g). Die Gabe von Krafftutterm verringerte die RNB von Silage von einem ursprünglich positiven Wert wesentlich mehr als bei Heugaben.

Die Energieaufnahme fiel mit fortgeschrittener Pflanzenreife bei Silierung stärker als bei Heuproduktion.

Die Frischmasseaufnahme war bei Heu relativ konstant, im Falle von Silage reduzierte sie sich mit dem späteren Schnitt (37,63 bzw. 26,76 kg). Die TM-Aufnahme von Grundfutter (GFTM) zeigte, ebenso wie die Gesamtaufnahme von TM (GesTM), ein ähnliches Bild. Während die Gabe von Krafftutterm die FM bei Heu vom späten Schnitt steigern konnte (15,47 auf 19,66 kg), reduzierte sie die FM bei Silagefütterung (33,43 auf 30,96 kg).

4.3.2 Nährstoffzusammensetzung der Versuchsrationen

Für sämtliche Stoffwechselforgänge im Pansen ist im eigentlichen Sinne nicht die Zusammensetzung der einzelnen Futtermittel bzw. deren Aufnahme maßgeblich, sondern die Zusammensetzung der tatsächlich im Vormagensystem verfügbaren Ingesta.

Tabelle 29a (Haupteffekte) und 29b (Interaktionen) geben die Nährstoffkonzentrationen in den jeweiligen Versuchsgruppen an. Diese wurden errechnet aus Nährstoffaufnahme dividiert durch Trockenmasseaufnahme.

Konservierungsform, Erntezeitpunkt und Krafftuttermniveau hatten auf nahezu alle Konzentrationen in der Ingesta signifikanten Einfluss. Lediglich die Säuredetergentien-Faser und das nutzbare Rohprotein wurden von der Konservierungsart nicht maßgeblich verändert.

Der Gehalt an Rohprotein sank mit der späteren Ernte (von 137 auf 107 g/kg TM), war bei Silage höher als bei Heu (126 bzw. 117 g/kg TM) und wurde mit Krafftuttermgaben reduziert (119 bzw. 125 g/kg TM). Die Pflanzenreifung senkte XP bei Silage stärker als bei Heu. Krafftutterm wirkte sich hier bei Silage stärker negativ aus.

Silage bewirkte eine höhere Rohfettkonzentration, diese fiel beim späten Schnitt allerdings stärker als bei Heu. Krafftutterm steigerte XL bei Heufütterung und senkte sie bei Silagefütterung.

Heufütterung erhöhte die Konzentration an Rohfaser (von 249 auf 257 g/kg TM) ebenso wie die Vorlage von Futter aus später Ernte (von 240 auf 265 g/kg TM) und der Verzicht auf Krafftutterm (von 211 auf 294 g/kg TM). Bei Silage steigerte die spätere Ernte den Rohfasergehalt in höherem Ausmaß als bei Heu.

Niedrigere Werte für die stickstofffreien Extraktstoffe wurden durch Silage (528 bzw. 547 g/kg TM), den früheren Schnitt (530 bzw. 545 g/kg TM) und den Verzicht auf Krafftutter (486 bzw. 589 g/kg TM) erreicht. Gemeinsam mit Heu hatte die Krafftuttergabe weniger Einfluss auf die XX-Steigerung als mit Silage.

Bei Silage der frühen Ernte und Krafftutterniveau 0 % ergaben sich höhere Rohaschekonzentrationen. Heu reagierte stärker auf den frühen Schnitt, jedoch weniger auf Krafftutter als Silage.

Heufütterung bewirkte höhere Werte für die Neutraldetergentien-Faser (496 bzw. 475 g/kg TM), die Pflanzenreife steigerte diese, bei Silagefütterung doppelt so stark wie bei Heugabe. Krafftuttergaben reduzierten den NDF-Gehalt, bei Heu stärker als bei Silage.

Frühe Ernte sowie Krafftuttergaben bewirkten eine niedrigere Säuredetergentien-Faserkonzentration.

Silage lies das Säuredetergentien-Lignin in der Ingesta steigen (von 34 auf 36 g/kg TM), später Schnitt und Krafftutterverzicht ebenso. Der späte Schnitt wirkte sich bei Heu stärker aus.

Nichfaser-Kohlenhydrate und organische Masse waren durch Heufütterung, spätere Ernte und Krafftuttereinsatz höher konzentriert. Beim Heu wirkte sich der Schnittzeitpunkt stärker aus.

Im Vergleich zu Heufütterung bewirkte Silage eine höhere Konzentration von im Pansen abbaubarem Protein (104 bzw. 91 g/kg TM) und Mikrobenprotein (104 bzw. 101 g/kg TM). Unabbaubares Protein wurde durch Heu erhöht (26 bzw. 23 g/kg TM). Späte Ernte reduzierte die Gehalte bei allen Proteinparametern. Krafftutter steigerte unabbaubares Protein (22 bzw. 27 g/kg TM), nutzbares Rohprotein (120 bzw. 135 g/kg TM) und Mikrobenprotein (98 bzw. 107 g/kg TM).

Hinsichtlich RDP und UDP wirkte sich die Silierung stärker auf den Konzentrationsverlust durch spätere Ernte aus. Krafftutter senkte RDP und erhöhte UDP mit Silage stärker, MP reagierte auf Krafftutter mehr in Verbindung mit Heu.

Silage lieferte mehr Energie (5,84 MJ NEL/kg TM) als Heu (5,78 MJ NEL/kg TM). Ebenso der frühere Schnitt (5,97 bzw. 5,65 MJ NEL/kg TM). Krafftutter wirkte sich unabhängig von der Art des Grundfutters positiv auf den Energiegehalt aus (6,30 bzw. 5,32 MJ NEL/kg TM). Der Einfluss des Erntezeitpunktes war bei Heu deutlich höher als bei Silage.

Heufütterung, spätere Ernte und Krafftuttergaben steigerten den Trockenmassegehalt.

Sowohl Erntezeitpunkt als auch Krafftutter wirkten sich bei Silage stärker aus als bei Heu.

Tabelle 28a: Futter- und Nährstoffaufnahme aus Grundfutter (Haupteffekte Konservierung, Ernte und Kraffutterniveau)

		Konservierung		Erntezeitpunkt		Kraffutterniveau		K	p-Werte	KF	AIC	SE
		Heu	Silage	früh	spät	0 %	35 %					
Aufnahme Masse und KF-Anteil												
FM	kg	17,57	32,20	27,49	22,27	24,45	25,31	<0,001	<0,001	0,442	1223	1,64
GFTM	kg	11,85	12,15	12,60	11,39	13,44	10,55	0,309	<0,001	<0,001	929	0,66
KFTM	kg	3,17	3,08	2,97	3,28	0,00	6,24	0,472	0,014	<0,001	280	0,13
GesTM	kg	15,02	15,23	15,57	14,67	13,44	16,79	0,464	0,006	<0,001	948	0,77
NDF	g/kg LM	11,3	11,0	11,4	10,9	11,3	11,0	0,301	0,071	0,233	838	0,4
KF-Anteil TM	%	18,74	18,56	18,47	18,83	0,00	37,24	0,719	0,471	<0,001	1217	0,36
Nährstoffaufnahme												
XP	g	1759	1941	2131	1569	1712	1988	<0,001	<0,001	<0,001	3504	108
XL	g	319	436	415	339	340	414	<0,001	<0,001	<0,001	2682	20
XF	g	3770	3710	3718	3762	3931	3550	0,487	0,611	<0,001	3898	190
XX	g	8303	8108	8281	8131	6518	9894	0,237	0,360	<0,001	4211	399
XA	g	857	1039	1030	865	948	947	<0,001	<0,001	0,953	3186	52
NDF	g	7328	7137	7399	7065	7354	7111	0,250	0,048	0,144	4229	376
ADF	g	4274	4327	4324	4277	4529	4072	0,596	0,630	<0,001	3976	220
ADL	g	503	543	508	537	546	500	0,001	0,017	<0,001	2873	25
NFC	g	4746	4681	4600	4828	3095	6332	0,496	0,022	<0,001	3899	213
OM	g	14151	14195	14545	13801	12501	15845	0,878	0,014	<0,001	4529	715
Proteinaufnahme												
RDP	g	1363	1590	1720	1233	1417	1537	<0,001	<0,001	<0,001	3407	88
UDP	g	396	351	411	335	296	451	<0,001	<0,001	<0,001	2593	20
nXP	g	1930	1960	2067	1822	1629	2261	0,445	<0,001	<0,001	3478	102
RNB	g	-27,3	-3,0	10,4	-40,6	13,4	-43,7	<0,001	<0,001	<0,001	1628	2
MP	g	1522	1598	1643	1477	1324	1796	0,021	<0,001	<0,001	3369	81
Energieaufnahme												
ME	MJ	147,4	150,9	156,4	142,0	123,3	175,1	0,252	<0,001	<0,001	2129	7,6
NEL	MJ	87,6	89,8	93,2	84,2	71,8	105,6	0,234	<0,001	<0,001	1852	4,5

Tabelle 28b: Futter- und Nährstoffaufnahme aus Grundfutter (Interaktionen Konservierung x Ernte und Konservierung x Krafftutterniveau)

	Konservierung x Ernte				Konservierung x Krafftutterniveau				p-Werte		SE	
	Hf	Hs	Sf	Ss	H0	H35	S0	S35	K x E	K x KF		
Aufnahme Masse und KF-Anteil												
FM	kg	17,35	17,78	37,63	26,76	15,47	19,66	33,43	30,96	<0,001	0,010	1,81
GFTM	kg	11,89	11,80	13,31	10,99	13,13	10,56	13,75	10,54	<0,001	0,280	0,69
KFTM	kg	3,01	3,33	2,92	3,24	0,00	6,32	0,00	6,15	0,999	0,472	0,16
GesTM	kg	14,90	15,13	16,23	14,23	13,13	16,88	13,75	16,69	<0,001	0,205	0,80
NDF	g/kg LM	11,0	11,6	11,8	10,3	11,1	11,5	11,5	10,6	<0,001	0,014	0,4
KF-Anteil TM	%	18,99	18,50	17,95	19,17	0,00	37,42	0,00	37,06	0,095	0,719	0,50
Nährstoffaufnahme												
XP	g	1937	1580	2325	1557	1584	1933	1840	2042	<0,001	0,063	111
XL	g	327	310	503	369	269	368	411	460	<0,001	0,001	21
XF	g	3624	3917	3812	3608	3924	3617	3938	3482	0,007	0,393	199
XX	g	8085	8522	8477	7740	6525	10082	6511	9706	0,001	0,271	415
XA	g	923	790	1137	941	837	877	1060	1018	0,133	0,051	54
NDF	g	7253	7402	7546	6728	7379	7276	7329	6945	0,006	0,394	393
ADF	g	4127	4422	4522	4132	4450	4098	4607	4046	0,001	0,293	231
ADL	g	458	548	559	526	517	489	575	511	<0,001	0,125	27
NFC	g	4457	5035	4742	4621	3070	6423	3121	6242	<0,001	0,229	223
OM	g	13972	14330	15118	13273	12302	16000	12700	15690	0,001	0,224	743
Proteinaufnahme												
RDP	g	1521	1206	1919	1261	1269	1458	1564	1616	<0,001	0,033	90
UDP	g	417	374	406	296	316	475	276	426	<0,001	0,519	21
nXP	g	1989	1870	2145	1775	1588	2271	1669	2250	0,003	0,197	105
RNB	g	-8,1	-46,5	28,8	-34,8	-0,5	-54,1	27,4	-33,3	<0,001	0,003	2
MP	g	1560	1484	1727	1469	1263	1781	1385	1811	0,006	0,147	84
Energieaufnahme												
ME	MJ	150,2	144,7	162,5	139,3	119,5	175,4	127,0	174,8	0,006	0,187	7,9
NEL	MJ	89,7	85,6	96,7	82,9	69,6	105,7	74,1	105,5	0,010	0,186	4,7

Tabelle 29a: Inhaltsstoffe der Gesamtration (Haupteffekte Konservierung, Ernte und Krautfutterniveau)

	Konservierung		Ernte		Krautfutterniveau		K	p-Werte	KF	AIC	SE
	Heu	Silage	früh	spät	0 %	35 %					
Nährstoffkonzentration											
XP	117	126	137	107	125	119	<0,001	<0,001	<0,001	523	2
XL	21	28	26	23	25	25	<0,001	<0,001	<0,001	-281	0
XF	257	249	240	265	294	211	<0,001	<0,001	<0,001	1656	2
XX	547	528	530	545	486	589	<0,001	<0,001	<0,001	1758	1
XA	58	69	66	60	70	57	<0,001	<0,001	<0,001	724	0
NDF	496	475	478	494	549	423	<0,001	<0,001	<0,001	1858	2
ADF	291	289	279	301	338	242	0,277	<0,001	<0,001	1732	2
ADL	34	36	33	38	41	30	<0,001	<0,001	<0,001	627	0
NFC	307	301	293	316	231	377	0,006	<0,001	<0,001	1933	2
OM	942	931	934	940	930	943	<0,001	<0,001	<0,001	724	0
Proteinkonzentration											
RDP	91	104	110	85	103	92	<0,001	<0,001	<0,001	694	2
UDP	26	23	26	22	22	27	<0,001	<0,001	<0,001	253	0
nXP	127	128	133	123	120	135	0,823	<0,001	<0,001	760	1
RNB	-1,6	-0,2	0,7	-2,5	0,7	-2,6	<0,001	<0,001	<0,001	-21	0
MP	101	104	105	100	98	107	<0,001	<0,001	<0,001	506	0
Energiekonzentration											
ME	9,74	9,83	10,02	9,55	9,13	10,44	<0,001	<0,001	<0,001	-515	0,00
NEL	5,78	5,84	5,97	5,65	5,32	6,30	<0,001	<0,001	<0,001	-667	0,00
Trockenmasse											
GesTM	852	488	653	687	640	700	<0,001	0,003	<0,001	2634	9
Mineralstoffkonzentration											
Calcium	5,1	6,3	5,4	6,0	6,6	4,9	<0,001	<0,001	<0,001	-353	0,1
Phosphor	2,9	3,0	3,2	2,7	2,9	3,0	<0,001	<0,001	<0,001	-1491	0,0
Magnesium	2,6	2,8	2,8	2,7	3,0	2,4	<0,001	<0,001	<0,001	-921	0,0
Kalium	15,8	15,5	17,0	14,2	17,1	14,1	<0,001	<0,001	<0,001	-127	0,2
Natrium	0,32	0,48	0,41	0,39	0,28	0,52	<0,001	<0,001	<0,001	-1430	0,00
Mangan	100	64	100	64	94	69	<0,001	<0,001	<0,001	908	2
Zink	33	30	34	30	31	32	<0,001	<0,001	<0,001	-321	0
Kupfer	10,9	10,3	11,0	10,3	11,6	9,6	<0,001	<0,001	<0,001	-326	0,0

Tabelle 29b: Inhaltsstoffe der Gesamtration (Interaktionen Konservierung x Ernte und Konservierung x Kraftfutterniveau)

	Konservierung x Ernte				Konservierung x Kraftfutterniveau				p-Werte		SE	
	Hf	Hs	Sf	Ss	H0	H35	S0	S35	K x E	K x KF		
Nährstoffkonzentration												
XP	g/kg TM	130	104	143	110	120	115	130	12	<0,001	<0,001	2
XL	g/kg TM	22	20	31	26	20	22	29	28	<0,001	<0,001	0
XF	g/kg TM	246	267	235	262	299	214	289	208	0,015	0,063	2
XX	g/kg TM	539	555	521	534	497	597	474	581	0,489	0,019	2
XA	g/kg TM	62	53	70	68	63	52	77	61	<0,001	<0,001	0
NDF	g/kg TM	491	502	465	485	562	431	535	415	0,007	0,002	2
ADF	g/kg TM	280	302	279	300	339	242	337	242	0,968	0,568	2
ADL	g/kg TM	31	37	34	38	40	29	42	31	<0,001	0,008	0
NFC	g/kg TM	294	320	291	311	235	380	228	374	0,168	0,874	2
OM	g/kg TM	938	947	930	932	937	948	923	939	<0,001	<0,001	0
Proteinkonzentration												
RDP	g/kg TM	103	80	118	89	96	87	111	97	<0,001	<0,001	2
UDP	g/kg TM	28	24	25	20	24	28	20	26	<0,001	<0,001	0
nXP	g/kg TM	133	122	132	123	120	135	120	135	<0,001	0,956	1
RNB	g/kg TM	-0,4	-2,9	1,8	-2,2	-0,1	-3,2	1,6	-2,0	<0,001	<0,001	0
MP	g/kg TM	104	97	106	103	96	106	100	108	<0,001	<0,001	0
Energiekonzentration												
ME	MJ/kg TM	10,05	9,43	9,99	9,67	9,07	10,41	9,19	10,47	<0,001	0,153	0,00
NEL	MJ/kg TM	5,99	5,56	5,94	5,73	5,28	6,27	5,36	6,32	<0,001	0,180	0,00
Trockenmasse												
GesTM	g/kg TM	860	843	445	532	848	856	433	544	<0,001	<0,001	11
Mineralstoffkonzentration												
Calcium	g/kg TM	5,0	5,2	5,9	6,8	5,8	4,4	7,3	5,3	<0,001	<0,001	0,1
Phosphor	g/kg TM	3,2	2,6	3,2	2,8	2,8	3,0	2,9	3,1	<0,001	<0,001	0,0
Magnesium	g/kg TM	2,6	2,7	3,0	2,7	2,9	2,3	3,2	2,5	<0,001	<0,001	0,0
Kalium	g/kg TM	17,9	13,6	16,1	14,8	17,3	14,2	16,9	14,0	<0,001	0,024	0,2
Natrium	g/kg TM	0,35	0,30	0,48	0,49	0,19	0,46	0,38	0,58	<0,001	<0,001	0,00
Mangan	mg/kg TM	142	58	58	70	116,9	83	72	56	<0,001	<0,001	2
Zink	mg/kg TM	38	28	30	31	33	33	30	31	<0,001	<0,001	0
Kupfer	mg/kg TM	12,0	9,8	9,9	10,7	12,0	9,8	11,3	9,4	<0,001	<0,001	0,1

4.4 Lebendmasse und Körperkondition

Lebendmasse und Body Condition Score nach EDMONDSON et al. (1989) sind in Tabelle 30 dargestellt. Beide Parameter sind hochgradig vom Laktationsstadium, das Gewicht zusätzlich stark vom aktuellen Füllungsgrad des Verdauungstraktes während der Wägung abhängig. Wie Tabelle 31a zu entnehmen ist, konnte kein Einfluss der Haupteffekte festgestellt werden.

Tabelle 30: Lebendmasse- und BCS-Entwicklung

Periode	KF (%)	Lebendmasse				BCS			
		Heu		Silage		Heu		Silage	
		früh	spät	früh	spät	früh	spät	früh	spät
Nordwind									
1	35	643				3,50			
2	35		662				3,50		
3	0			653				3,25	
4	0				683				3,25
Nestl									
1	0		593				3,00		
2	0				559				3,00
3	35	559				2,75			
4	35			608				2,75	
Nagerl									
1	0			643				3,00	
2	35		694				3,25		
3	35				747				3,00
4	0	767				3,00			
Norgard									
1	35				622				2,75
2	0	615				2,50			
3	0			631				2,75	
4	35		608				2,75		

4.5 Milchleistung und Inhaltsstoffe

Die im Folgenden vorgestellten Ergebnisse zur Milchleistung sind den Tabellen 31a (Haupteffekte) und 31b (Interaktionen) zu entnehmen.

4.5.1 Milchleistung

Ausgehend vom Versorgungsgrad der Kühe im vorliegenden Versuch ergäben sich theoretische Milchleistungen (theoret. Lstg.) von bis zu 21,4 kg. Die Konservierung übte darauf ebenso wenig Einfluss aus wie auf die tatsächliche Milchleistung (Milchmenge). Der Erntezeitpunkt wirkte sich hingegen deutlich aus. Der frühe Schnitt brächte theoretisch 17,35 kg, der späte nur 14,56 kg. Bei Silage war der Einfluss wesentlich stärker ausgeprägt als bei Heu. Krafffutter steigerte die theoretische Leistung von 10,66 auf 21,25 kg.

Die tatsächliche Milchleistung lag klar unter den errechneten Leistungserwartungen. Unabhängig von Konservierungsart und Schnittzeitpunkt konnten nur ca. 73 % der errechneten Milchmenge tatsächlich gewonnen werden. Die stärkste Differenz zeigte sich beim Krafffutter. Ohne Krafffutter erreichte die tatsächliche Leistung immerhin 93 %, mit nur 63 % der theoretischen.

Die energiekorrigierte Milchmenge (ECM) zeigte den gleichen Trend, wobei der Einfluss des Schnittzeitpunktes bei Silage stärker war als bei Heu. Die fettfreie Trockenmasse (FFT) wurde von der Konservierung als Heu positiv beeinflusst.

4.5.2 Milchinhaltstoffe

Mit Einsatz von Kraftfutter sank der Milchfettgehalt (von 4,99 auf 4,74 %). Bei Heu war kein Unterschied zwischen den Erntezeitpunkten festzustellen, bei Silage zeigte der späte einen höheren Fettgehalt (4,72 bzw. 5,04 %).

Im Vergleich zu Heu brachte Silage einen niedrigeren Proteingehalt (3,58 bzw. 3,82 %).

Der Laktosegehalt hing von der Konservierungsart und dem Kraftfuttereinsatz, nicht aber vom Erntezeitpunkt ab. Bei Silage war die positive Wirkung des Kraftfutters auf den Laktosegehalt (4,50 bzw. 4,71 %) wesentlich stärker als bei Heu (4,65 bzw. 4,72 %).

Die erzielten Mengen an Fett, Protein und Laktose zeigten sich nicht von der Konservierungsart beeinflusst. Die spätere Ernte des Grundfutters reduzierte die Mengen allerdings schon. Bei Silage war die Wirkung deutlich stärker ausgeprägt als bei Heu. Kraftfutter lies die Werte signifikant ansteigen.

4.6 Bedarfsdeckung

Aufgrund des Erhaltungbedarfs und der jeweiligen Leistung wurde für jede Futtergruppe der Bedarf von Energie und Protein errechnet (Tabellen 32a und 32b).

Die Konservierungsform hatte weder Einfluss auf den Bedarf an Nettoenergie-Laktation noch auf den Bedarf an nutzbarem Rohprotein. Mit dem späteren Erntezeitpunkt sank der Bedarf an Energie von 85,4 auf 74,5 MJ NEL und an Protein von 1579 auf 1307 g nXP. Der Kraftfuttereinsatz lies den Bedarf steigen, und zwar von 72,1 auf 87,8 MJ NEL bzw. von 1190 auf 1697 g nXP. Sowohl Energie- als auch Proteinbedarf sanken mit dem späten Schnitt bei Silage wesentlich stärker. Der Kraftfuttereinfluss wurde von der Konservierungsform nicht beeinflusst.

Hinsichtlich der Bedarfsdeckung von NEL war zwischen den Konservierungsarten Heu und Silage ebenso wenig ein signifikanter Unterschied (112,9 bzw. 112,4 %) festzustellen wie zwischen der frühen und späten Ernte (111,2 bzw. 114,1 %). Der Einsatz von Kraftfutter steigerte die Deckung von 103,5 auf 121,7 %.

Die Versorgung mit nutzbarem Rohprotein zeigte deutlich höhere Überschüsse als die Energieversorgung.

Auch hier hatte die Konservierungsart keinen Einfluss. Bei der späteren Ernte war die nXP-Versorgung höher als bei der früheren (155,9 bzw. 139,7 %). Mit Kraftfuttergaben fiel der Versorgungsgrad von 160,3 auf 135,4 %.

Weder bei der Energiebedarfsdeckung noch bei der Deckung des nXP-Bedarfs waren Wechselwirkungen zwischen Konservierungsart und Schnittzeitpunkt bzw. zwischen Konservierungsart und Kraftfutterniveau feststellbar.

Tabelle 31a: Milchleistung und Lebendmasseentwicklung (Haupteffekte Konservierung, Ernte und Kraftfutterniveau)

	Konservierung		Erntezeitpunkt		Kraftfutterniveau		p-Werte		AIC	SE
	Heu	Silage	früh	spät	0 %	35 %	K	E		
Milchleistung										
theoret. Lstg.	kg	15,61	17,35	14,56	10,66	21,25	0,212	<0,001	1240	1,09
Milchmenge	kg	11,59	12,84	10,56	9,93	13,48	0,782	0,028	537	1,84
ECM	kg	11,75	13,75	10,05	9,18	14,62	0,748	0,004	903	2,18
Inhaltsstoffe										
Fettgehalt	%	4,85	4,79	4,94	4,99	4,74	0,680	0,105	321	0,27
Proteingehalt	%	3,82	3,71	3,70	3,75	3,65	0,048	0,938	-50	0,25
Laktosegehalt	%	4,68	4,64	4,65	4,57	4,72	0,002	0,536	-261	0,08
FFT	%	9,36	9,21	9,18	9,20	9,19	0,002	0,734	84	0,21
Fettmenge	g	553	609	512	488	633	0,563	0,001	-491	0,08
Proteinmenge	g	422	452	379	346	484	0,580	0,010	-885	0,06
Laktosemenge	g	549	602	495	460	637	0,992	0,022	-800	0,09
Rohmilchqualität										
Zellzahl	1000/ml	137,31	149,92	131,97	197,47	84,43	0,851	0,657	2509	59,35
Gewichtsentwicklung										
Lebendmasse	kg	650,0	648,3	649,3	648,9	647,8	0,854	0,969	653	35,4

Tabelle 31b: Milchleistung und Lebendmasseentwicklung (Interaktionen Konservierung x Ernte und Konservierung x Krautfutterniveau)

	Konservierung x Ernte				Konservierung x Krautfutterniveau				p-Werte		SE	
	Hf	Hs	Sf	Ss	H0	H35	S0	S35	K x E	K x KF		
Milchleistung												
theoret. Lstg.	kg	16,16	15,06	18,54	14,05	9,78	21,44	11,54	21,05	0,004	0,056	1,15
Milchmenge	kg	11,79	11,39	13,89	9,73	9,45	13,73	10,40	13,22	0,052	0,379	1,91
ECM	kg	12,43	11,07	15,08	9,03	8,64	14,86	9,72	14,38	0,035	0,418	2,28
Inhaltsstoffe												
Fettgehalt	%	4,87	4,83	4,72	5,04	4,96	4,74	5,02	4,74	0,026	0,738	0,28
Proteingehalt	%	3,98	3,67	3,43	3,73	3,91	3,73	3,59	3,57	0,019	0,490	0,26
Laktosegehalt	%	4,66	4,71	4,62	4,59	4,65	4,72	4,50	4,71	0,085	0,005	0,09
FFT	%	9,47	9,25	8,96	9,12	9,41	9,30	9,00	9,08	0,046	0,275	0,22
Fettmenge	g	559	547	658	477	461	646	515	620	0,003	0,117	0,08
Proteinmenge	g	429	414	474	344	337	507	356	462	0,028	0,174	0,06
Laktosemenge	g	559	538	646	453	447	651	474	624	0,048	0,462	0,09
Rohmilchqualität												
Zellzahl	1000/ml	184,39	90,22	115,45	173,73	185,99	88,62	208,95	80,23	0,077	0,687	65,02
Gewichtsentwicklung												
Lebendgewicht	kg	656,8	643,1	641,8	654,7	663,3	636,6	637,5	658,6	0,201	0,05	36,0

Tabelle 32a: Bedarfsdeckung (Haupteffekte Konservierung, Ernte und Kraffutterniveau)

Bedarf	Konservierung		Ernte		Kraffutterniveau		p-Werte	K	E	KF	AIC	SE
	Heu	Silage	früh	spät	0 %	35 %						
Bedarf NEL	MJ	79,2	80,7	85,4	74,5	72,1	87,8	0,568	0,002	<0,001	1515	4,9
Bedarf nXP	g	1449	1437	1579	1307	1190	1697	0,842	0,002	<0,001	3132	152
Bedarfsdeckung												
Überschuß NEL	MJ	8,2	9,3	7,4	10,1	-0,2	17,7	0,651	0,294	<0,001	1917	7,3
Überschuß nXP	g	477	526	484	519	438	564	0,346	0,500	0,024	3423	176
Deckung NEL	%	112,9	112,4	111,2	114,1	103,5	121,7	0,881	0,415	<0,001	2054	10,2
Deckung nXP	%	147,1	148,5	139,7	155,9	160,3	135,4	0,917	0,274	0,117	2204	20,4

Tabelle 32b: Bedarfsdeckung (Interaktionen Konservierung x Ernte und Konservierung x Kraffutterniveau)

Bedarf	Konservierung x Ernte				Konservierung x Kraffutterniveau				p-Werte		SE
	Hf	Hs	Sf	Ss	H0	H35	S0	S35	K x E	K x KF	
Bedarf NEL	MJ	81,8	76,7	89,1	72,3	70,8	73,4	87,9	0,044	0,641	5,2
Bedarf nXP	g	1500	1398	1658	1216	1154	1225	1650	0,020	0,191	158
Bedarfsdeckung											
Überschuß NEL	MJ	7,1	9,2	7,7	10,9	-1,2	0,8	17,8	0,813	0,735	7,5
Überschuß nXP	g	483	470	484	568	432	445	607	0,354	0,489	179
Deckung NEL	%	112,7	113,1	109,6	115,1	104,6	102,5	122,2	0,482	0,660	10,5
Deckung nXP	%	148,3	145,9	131,1	166,0	162,4	158,2	138,9	0,216	0,687	22,4

4.7 Pansensaftanalyse

Die Beeinflussung der Ergebnisse der Pansensaftanalyse durch die Haupteffekte bzw. die Interaktionen finden sich in den Tabellen 33a und 33b.

4.7.1 Flüchtige Fettsäuren

Durch die vorgelegte Ration werden die Konzentrationen der flüchtigen Fettsäuren im Pansen hochgradig beeinflusst. Heu und frühe Ernte bewirkten einen signifikanten Anstieg von Essigsäure. Während die Nutzung des späten Schnittes von Heu den Essigsäurewert leicht steigen ließ (von 64,5 auf 65,5 mmol/l), sank dieser durch Silage späten Schnittes (von 58,4 auf 51,7 mmol/l). In Kombination mit Krafftutter stieg durch Heu der Essigsäuregehalt, mit Silagegabe und Krafftutter fiel dieser im Vergleich zur Kombination Silage ohne Krafftutter.

Die Propionsäurekonzentration verhielt sich in gleicher Weise.

Mit Heufütterung und Verwendung des späten Schnittes sank der Wert von Buttersäure.

Krafftuttergaben steigerten alle Fettsäurekonzentrationen. In Summe bewirkte das eine Steigerung von 83,1 mmol/l auf 88,8 mmol/l.

Durch Heufütterung war die Gesamtkonzentration der Fettsäuren mit 91,5 mmol/l deutlich höher als bei Silagefütterung (80,5 mmol/l). Ebenso lies die Nutzung des frühen Schnittes im Vergleich zur späteren Ernte höhere Fettsäurewerte erkennen (88,3 bzw. 83,6 mmol/l).

Die Verläufe der Fettsäurekonzentrationen sind in den Tabellen 34, 35 und 36a und b angeführt.

Im zeitlichen Verlauf stieg ca. zwei Stunden nach der Fütterung die Essigsäurekonzentration im Pansen an, und zwar unabhängig von Konservierung und Erntezeitpunkt. Nach etwa 9 - 10 Stunden war der Ausgangswert wieder erreicht. Auf Krafftutterationen reagierte die Essigsäurekonzentration zwar auch in Form eines Anstieges, dieser war aber erst ca. 4 - 5 Stunden nach der Vorlage festzustellen.

Die Chronologie der Propionsäure- und Buttersäureverläufe stellt sich ähnlich dar, wobei die Auswirkung von Krafftutter rascher erkennbar war als bei Essigsäure.

4.7.2 pH-Wert

Unmittelbar nach der Entnahme, noch vor Gefrierlagerung der Pansensaftproben wurde mittels pH-Meter der pH-Wert ermittelt. Rationen bestehend aus Heu, frühem Schnitt und mit Krafftutteranteil ergaben hierbei tiefere Werte. Während bei Silagefütterung der Erntezeitpunkt eine sehr geringe Rolle spielte (früh: 6,94, spät: 6,91), war bei Heufütterung ein höherer pH-Wert bei später Ernte feststellbar (pH 6,76 bzw. 6,60).

4.7.3 Ammonium

In der vorliegenden Arbeit wurden NH_4^+ -Konzentrationen von 7,00 bis 33,00 mmol/l gemessen. Silagefütterung steigerte den Gehalt von 15,0 auf 17,0 mmol/l, die Vorlage des frühen Schnittes ergab mit 18,8 mmol/l den höheren Wert als späte Ernte (13,2 mmol/l). Ohne Krafftuttergaben zeigten sich höhere Konzentrationen.

Die Fütterung bewirkte etwa zwei Stunden später einen deutlichen Anstieg der NH_4^+ -Gehalte um ca. 40 bis zu über 300 % (Tabellen 37a und b). Vier Stunden nach der Morgenfütterung begannen die Werte wieder zu sinken, um etwa 6 Stunden nach der Vorlage wieder den Ausgangswert zu erreichen. Eine Ausnahme stellt Heu, insbesondere das früh geerntete dar. Diese Ration lässt Ammonium länger steigen und braucht auch länger, um wieder zum Wert vor der Fütterung zu gelangen. Die Abendfütterung verursacht eine inhomogene Reaktion. Hier bedingen Silage und später Schnitt eine ähnliche Chronologie wie Heu bei der Morgenfütterung.

4.7.4 Azidität und Alkalität

Die Ermittlung von Azidität und Alkalität erfolgte mittels Titration.

Durch Heugabe, Verwendung des frühen Schnittes und Krafftutervorlage wurde die Azidität gesteigert. Während die Konservierung die Alkalität nicht beeinflusste, sank diese durch Nutzung der späten Ernte und durch Verzicht auf Krafftutter. Bei Heufütterung ergab sich durch den frühen Schnitt eine niedrigere Alkalität als durch die spätere Ernte, Silage brachte gegenteilige Werte.

Im zeitlichen Verlauf zeigte sich die Wirkung der Futtevorlage auf die Azidität nach zwei Stunden. Heu und Krafftuttergaben verursachten längere Anstiege (Tabellen 38a und b).

Die Alkalität wurde – ebenfalls nach zwei Stunden – negativ beeinflusst. Rationen mit Heu reagierten etwas verzögert (Tabellen 39a und b).

Tabelle 33a: Pansensaftanalyse (Haupteffekte Konservierung, Ernte und Krafftutterniveau)

	Konservierung		Ernte		Krafftutterniveau		p-Werte	SE			
	Heu	Silage	früh	spät	0 %	35 %			K	E	KF
Fettsäuren											
Essigsäure	mmol/l	65,01	55,01	61,43	58,58	58,30	61,71	<0,001	0,011	0,003	0,77
Propionsäure	mmol/l	16,35	14,95	16,05	15,25	15,50	15,80	<0,001	0,002	0,232	0,18
Buttersäure	mmol/l	10,09	10,55	10,84	9,80	9,31	11,32	0,005	<0,001	<0,001	0,11
Pansensaftanalyse											
pH-Wert		6,68	6,92	6,77	6,83	6,93	6,67	<0,001	0,021	<0,001	0,02
NH ₄	mmol/l	14,95	17,03	18,83	13,16	17,52	14,47	<0,001	<0,001	<0,001	0,36
Azidität		7,59	6,06	7,48	6,17	6,22	7,44	<0,001	<0,001	<0,001	0,14
Alkalität		90,61	90,77	93,84	87,53	93,05	88,33	0,917	<0,001	<0,001	1,06

Tabelle 33b: Pansensaftanalyse (Interaktionen Konservierung x Ernte und Konservierung x Krafftutterniveau)

	Konservierung x Ernte				Konservierung x Krafftutterniveau				p-Werte		SE	
	Hf	Hs	Sf	Ss	H0	H35	S0	S35	K x E	K x KF		
Fettsäuren												
Essigsäure	mmol/l	64,50	65,51	58,36	51,66	60,15	69,86	56,45	53,56	<0,001	<0,001	1,09
Propionsäure	mmol/l	16,04	16,65	16,05	13,85	15,51	17,19	15,48	14,41	<0,001	<0,001	0,25
Buttersäure	mmol/l	10,32	9,86	11,37	9,74	8,50	11,69	10,13	10,97	<0,001	<0,001	0,16
Pansensaftanalyse												
pH-Wert		6,60	6,76	6,94	6,91	6,83	6,53	7,03	6,82	0,002	0,097	0,03
NH ₄	mmol/l	17,44	12,47	20,22	13,84	16,22	13,69	18,81	15,25	0,172	0,315	0,51
Azidität		8,59	6,59	6,38	5,75	7,00	8,19	5,44	6,69	0,001	0,877	0,20
Alkalität		89,75	91,47	97,94	83,59	91,56	89,66	94,53	87,00	<0,001	0,065	1,50

Tabelle 34a: Tagesverlauf des Gehaltes an Essigsäure (Haupteffekte Konservierung, Ernte und Krafftutterniveau)

Zeitpunkt	Konservierung		Ernte		Krafftutterniveau		p-Werte		SE
	Heu	Silage	früh	spät	0 %	35 %	K	E	
4:30	61,98	49,74	56,20	55,51	51,37	60,35	0,025	0,854	2,49
6:30	63,45	55,52	64,23	54,75	60,09	58,88	0,227	0,164	3,93
8:30	62,47	54,87	59,74	57,59	57,39	59,94	0,172	0,664	3,23
10:30	72,84	58,72	64,25	67,31	60,34	71,22	0,082	0,642	4,31
12:30	68,00	50,95	60,68	58,27	57,65	61,30	0,032	0,673	3,74
14:30	60,59	48,57	58,36	50,81	54,85	54,31	0,087	0,230	3,77
16:30	65,98	57,16	59,58	63,55	59,34	63,80	0,209	0,538	4,17
18:30	64,75	64,54	68,43	69,86	65,39	63,90	0,984	0,469	6,70

Tabelle 34b: Tagesverlauf des Gehaltes an Essigsäure (Interaktionen Konservierung x Ernte und Konservierung x Krafftutterniveau)

Zeitpunkt	Konservierung x Ernte				Konservierung x Krafftutterniveau				p-Werte		SE
	Hf	Hs	Sf	Ss	H0	H35	S0	S35	K x E	K x KF	
4:30	62,35	61,61	50,06	49,42	55,61	68,35	47,13	52,35	0,989	0,345	3,52
6:30	68,85	58,06	59,60	51,44	59,47	67,44	60,72	50,32	0,825	0,174	5,56
8:30	60,69	64,24	58,78	50,95	57,69	67,24	57,10	52,64	0,281	0,200	4,57
10:30	69,58	76,11	58,93	58,52	63,38	82,31	57,31	60,14	0,599	0,258	6,10
12:30	68,11	67,89	53,25	48,65	64,50	71,50	50,81	51,10	0,701	0,560	5,29
14:30	59,51	61,67	57,20	39,95	57,51	63,67	52,19	44,95	0,143	0,278	5,34
16:30	64,67	67,29	54,50	59,82	61,16	70,79	57,52	56,80	0,830	0,430	5,89
18:30	62,28	67,21	74,57	54,51	61,90	67,59	68,87	60,21	0,260	0,491	9,48

Tabelle 35a: Tagesverlauf des Gehaltes an Propionsäure (Haupteffekte Konservierung, Ernte und Krafftutterniveau)

Zeitpunkt	Konservierung		Ernte		Krafftutterniveau		p-Werte		SE
	Heu	Silage	früh	spät	0 %	35 %	K	E	
4:30	14,92	13,34	14,81	13,46	13,64	14,62	0,110	0,156	0,55
6:30	17,42	16,80	18,61	15,61	17,91	16,31	0,655	0,082	0,91
8:30	15,35	15,39	15,76	14,98	15,61	15,13	0,979	0,639	1,09
10:30	17,43	15,51	16,45	16,59	15,25	17,69	0,134	0,825	0,72
12:30	16,55	13,64	15,78	14,40	14,27	15,92	0,040	0,228	0,69
14:30	14,11	12,23	14,04	12,30	13,83	12,51	0,277	0,310	1,06
16:30	17,82	16,38	16,64	17,56	16,97	17,24	0,363	0,548	0,99
18:30	17,20	16,31	16,39	17,12	16,51	17,00	0,577	0,646	1,03

Tabelle 35b: Tagesverlauf des Gehaltes an Propionsäure (Interaktionen Konservierung x Ernte und Konservierung x Krafftutterniveau)

Zeitpunkt	Konservierung x Ernte			Konservierung x Krafftutterniveau			p-Werte		SE
	Hf	Hs	Sf	H0	H35	S0	S35	K x E	
4:30	15,08	14,77	14,54	14,34	15,51	12,94	13,74	0,249	0,77
6:30	18,92	15,92	18,29	17,54	17,31	18,28	15,31	0,994	1,29
8:30	14,62	16,07	16,90	14,49	16,21	16,73	14,05	0,221	1,54
10:30	16,19	18,67	16,51	15,54	19,32	14,96	16,06	0,094	1,02
12:30	16,66	16,44	14,90	15,35	17,75	13,19	14,08	0,298	0,97
14:30	13,44	14,78	14,63	13,47	14,75	14,19	10,27	0,109	1,49
16:30	17,08	18,56	16,20	16,46	19,18	17,47	15,29	0,709	1,41
18:30	16,36	18,04	16,43	16,90	17,50	16,12	16,50	0,549	1,46

Tabelle 36a: Tagesverlauf des Gehaltes an Buttersäure (Haupteffekte Konservierung, Ernte und Krafftutterniveau)

Zeitpunkt	Konservierung		Ernte		Krafftutterniveau		p-Werte		SE
	Heu	Silage	früh	spät	0 %	35 %	K	E	
4:30	8,95	8,25	8,74	8,46	7,36	9,84	0,218	0,595	0,34
6:30	10,17	11,53	12,22	9,49	10,62	11,08	0,326	0,088	0,86
8:30	10,00	11,34	11,35	9,99	9,83	11,50	0,020	0,019	0,25
10:30	11,58	10,94	11,80	10,71	10,00	12,52	0,667	0,474	0,98
12:30	10,19	9,17	10,14	9,22	8,47	10,90	0,233	0,269	0,51
14:30	9,24	8,28	9,59	7,93	7,84	9,68	0,443	0,215	0,79
16:30	10,32	12,40	11,29	11,43	10,40	12,32	0,139	0,910	0,80
18:30	10,31	12,50	11,63	11,19	10,00	12,82	0,076	0,653	0,65

Tabelle 36b: Tagesverlauf des Gehaltes an Buttersäure (Interaktionen Konservierung x Ernte und Konservierung x Krafftutterniveau)

Zeitpunkt	Konservierung x Ernte				Konservierung x Krafftutterniveau				p-Werte		SE
	Hf	Hs	Sf	Ss	H0	H35	S0	S35	K x E	K x KF	
4:30	9,01	8,89	8,47	8,04	7,24	10,65	7,49	9,02	0,766	0,119	0,47
6:30	11,41	8,94	13,03	10,04	8,96	11,39	12,28	10,78	0,842	0,181	1,21
8:30	10,32	9,68	12,38	10,30	8,50	11,49	11,16	11,52	0,115	0,021	0,36
10:30	11,96	11,19	11,64	10,24	9,71	13,44	10,28	11,60	0,830	0,430	1,38
12:30	10,54	9,83	9,74	8,60	8,75	11,62	8,18	10,16	0,779	0,572	0,72
14:30	9,32	9,16	9,86	6,71	7,67	10,81	8,01	8,56	0,253	0,311	1,12
16:30	9,88	10,76	12,70	12,10	8,60	12,04	12,20	12,60	0,547	0,250	1,13
18:30	10,15	10,48	13,11	11,90	8,54	12,09	11,45	13,56	0,450	0,476	0,92

Tabelle 37a: Tagesverlauf des Gehaltes an Ammonium (Haupteffekte Konservierung, Ernte und Krafftutterniveau)

Zeitpunkt	Konservierung		Ernte		Krafftutterniveau		p-Werte		SE
	Heu	Silage	früh	spät	0 %	35 %	K	E	
4:30	13,25	10,25	12,25	11,25	12,38	11,13	0,306	0,712	1,81
6:30	18,88	23,88	24,25	18,50	23,50	19,25	0,046	0,030	1,23
8:30	17,50	20,25	23,38	14,38	21,38	16,38	0,161	0,005	1,13
10:30	12,63	12,00	15,63	9,00	14,38	10,25	0,814	0,056	1,76
12:30	10,25	7,13	11,13	6,25	10,00	7,38	0,188	0,069	1,39
14:30	9,88	9,13	11,13	7,88	11,13	7,88	0,614	0,077	0,97
16:30	18,75	25,88	27,13	17,50	23,38	21,25	0,104	0,047	2,41
18:30	18,50	27,75	25,75	20,50	24,00	22,25	0,037	0,156	2,13

Tabelle 37b: Tagesverlauf des Gehaltes an Ammonium (Interaktionen Konservierung x Ernte und Konservierung x Krafftutterniveau)

Zeitpunkt	Konservierung x Ernte			Konservierung x Krafftutterniveau			p-Werte			SE
	Hf	Hs	Sf	H0	H35	S0	S35	K x E	K x KF	
4:30	12,75	13,75	11,75	13,50	13,00	11,25	9,25	0,478	0,784	2,56
6:30	20,00	17,75	28,50	17,50	20,25	29,50	18,25	0,115	0,016	1,75
8:30	21,75	13,25	25,00	19,00	16,00	23,75	16,75	0,770	0,280	1,60
10:30	16,50	8,75	14,75	16,00	9,25	12,75	11,25	0,674	0,350	2,48
12:30	13,00	7,50	9,25	12,75	7,75	7,25	7,00	0,767	0,295	1,97
14:30	12,75	7,00	9,50	12,25	7,50	10,00	8,25	0,143	0,337	1,38
16:30	21,25	16,25	33,00	19,50	18,00	27,25	24,50	0,246	0,863	3,40
18:30	21,50	15,50	30,00	19,25	17,75	28,75	26,75	0,815	0,938	3,01

Tabelle 38a: Tagesverlauf der Azidität (Haupteffekte Konservierung, Ernte und Krafftutterniveau)

Zeitpunkt	Konservierung		Ernte		Krafftutterniveau		p-Werte		SE
	Heu	Silage	früh	spät	0 %	35 %	K	KF	
4:30	6,13	6,00	6,88	5,25	6,00	6,13	0,838	0,838	0,41
6:30	8,50	7,00	8,88	6,63	7,88	7,63	0,145	0,778	0,59
8:30	8,50	5,88	8,38	6,00	6,25	8,13	0,080	0,171	0,80
10:30	8,63	6,13	7,63	7,13	6,38	8,38	0,077	0,130	0,74
12:30	7,00	4,63	6,63	5,00	5,38	6,25	0,041	0,336	0,57
14:30	5,38	4,63	5,13	4,88	4,75	5,25	0,655	0,764	1,10
16:30	7,88	7,50	8,25	7,13	7,13	8,25	0,664	0,233	0,57
18:30	8,75	6,75	8,13	7,38	6,00	9,50	0,095	0,019	0,65

Tabelle 38b: Tagesverlauf der Azidität (Interaktionen Konservierung x Ernte und Konservierung x Krafftutterniveau)

Zeitpunkt	Konservierung x Ernte			Konservierung x Krafftutterniveau			p-Werte		SE
	Hf	Hs	Sf	H0	H35	S0	S35	K x E	
4:30	7,25	5,00	6,50	5,75	6,50	6,25	5,75	0,337	0,337
6:30	10,25	6,75	7,50	9,00	8,00	6,75	7,35	0,206	0,417
8:30	10,25	6,75	6,50	7,00	10,00	5,50	6,25	0,374	0,374
10:30	9,00	8,25	6,25	7,75	9,50	5,00	7,25	0,824	0,824
12:30	8,50	5,50	4,75	6,50	7,50	4,25	5,00	0,161	0,884
14:30	5,75	5,00	4,50	5,25	5,50	4,25	5,00	0,764	0,880
16:30	8,25	7,50	8,25	8,00	7,75	6,25	8,75	0,664	0,161
18:30	9,50	8,00	6,75	6,75	10,75	5,25	8,25	0,460	0,615

Tabelle 39a: Tagesverlauf der Alkalität (Haupteffekte Konservierung, Ernte und Krafftutterniveau)

Zeitpunkt	Konservierung		Ernte		Krafftutterniveau		p-Werte		SE
	Heu	Silage	früh	spät	0 %	35 %	E	K	
4:30	91,50	95,63	97,00	90,13	96,63	90,50	0,020	0,088	1,30
6:30	92,13	88,88	94,38	86,63	95,63	85,38	0,281	0,629	4,40
8:30	88,13	90,88	92,13	86,88	91,88	87,13	0,300	0,567	3,12
10:30	95,75	94,75	100,00	90,50	95,50	95,00	0,085	0,822	2,94
12:30	92,50	86,38	91,75	87,13	90,75	88,13	0,083	0,038	1,42
14:30	91,13	95,38	96,75	89,75	92,88	93,63	0,275	0,485	3,91
16:30	88,38	90,00	91,50	86,88	93,38	85,00	0,215	0,632	2,22
18:30	85,38	84,25	87,25	82,28	87,75	81,88	0,235	0,764	2,47

Tabelle 39b: Tagesverlauf der Alkalität (Interaktionen Konservierung x Ernte und Konservierung x Krafftutterniveau)

Zeitpunkt	Konservierung x Ernte			Konservierung x Krafftutterniveau			p-Werte		SE	
	Hf	Hs	Sf	H0	H35	S0	S35	K x E		K x KF
4:30	90,25	92,75	103,75	91,25	91,75	102,00	89,25	0,007	0,023	1,83
6:30	94,25	90,00	94,50	95,00	89,25	96,25	81,50	0,604	0,510	6,22
8:30	84,00	92,25	100,25	90,00	86,25	93,75	88,00	0,038	0,832	4,41
10:30	95,50	96,00	104,50	94,00	97,50	97,00	92,50	0,074	0,391	4,16
12:30	92,25	92,75	91,25	93,50	91,50	88,00	84,75	0,064	0,772	2,01
14:30	89,25	93,00	104,25	92,75	89,50	93,00	97,75	0,124	0,510	5,54
16:30	87,25	89,50	95,75	90,00	86,75	96,75	83,25	0,094	0,178	3,14
18:30	85,25	85,50	89,25	86,00	84,75	89,50	79,00	0,216	0,256	3,49

4.8 Intraruminale Sensormessungen

Die im Folgenden besprochenen Werte sind den Tabellen 41a (Haupteffekte) und 41b (Interaktionen) zu entnehmen.

4.8.1 Temperatur

Die im Pansen gemessene Temperatur betrug im Mittel aller Tiere für die gesamte Versuchsdauer 39,08 °C. Die niedrigste Temperatur (37,15 °C) wurde bei der Ration Heu, früher Schnitt, 35 % Kraftfutter, die höchste Temperatur mit 40,64 °C bei Heu, später Schnitt, 35 % Kraftfutter, gemessen.

Die von den Sensoren im Pansen gemessenen mittleren Temperaturen (Tabelle 34a bzw. 34b) wurden weder von der Grundfutterart noch vom Kraftfuttereinsatz signifikant beeinflusst.

4.8.2 pH-Wert

Im Durchschnitt aller Gruppen betrug der mittlere pH-Wert 6,47. Das mittlere pH-Minimum betrug 6,17, das mittlere pH-Maximum 6,73. Die Standardabweichung war im Schnitt 0,12.

Der kleinste Wert für das pH-Minimum wurde bei der Ration Heu, früher Schnitt, 35 % Kraftfutter gemessen (5,60), der höchste Wert mit Silage, früher Schnitt, kein Kraftfutter (6,78).

Für Silage, später Schnitt, 35 % Kraftfutter ergab sich der niedrigste pH-Durchschnitt (6,06), für Silage, frühe Ernte, kein Kraftfutter der höchste Mittelwert (6,97).

Das geringste Maximum brachte Heu, später Schnitt, kein Kraftfutter (6,25). Silage, früher Schnitt, 35 % Kraftfutter das höchste Maximum (7,30).

Mit 0,07 war die pH-Standardabweichung bei Heu, später Schnitt, kein Kraftfutter am niedrigsten, 0,22 ergab die maximale Standardabweichung bei Silage, frühe Ernte, 35 % Kraftfutter.

Tabelle 40: Minima und Maxima der pH-Werte und der Temperatur

	pH-Minimum	Ration	pH-Mittel	pH-Maximum	Ration
Minimum	5,60	Hf35	6,17	6,78	Sf0
Durchschnitt	6,06	Ss35	6,47	6,97	Sf0
Maximum	6,25	Hs0	6,73	7,30	Sf35
Standardabw.	0,07	Hs0	0,12	0,22	Sf35
Temperatur °C	37,15	Hf35	39,08	40,65	Hs35

Konservierungsart, Schnittzeitpunkt und Kraftfuttergaben beeinflussten den mittleren pH-Wert nicht maßgeblich (Tabelle 33a bzw. 33b), wenschon der Mittelwert bei Silage deutlich höher war als bei Heu, der Pansen-pH durch Verfütterung von Futter später Ernte tiefer fiel als durch frühe Ernte und mit Kraftfutter unter dem Wert ohne Kraftfutter lag.

Hinsichtlich des pH-Minimums bewirkte die späte Ernte signifikant tiefere pH-Werte als die frühe (pH 6,16 bzw. 6,27). Kraftfuttergaben senkten die pH-Werte (von pH 6,29 auf 6,14). Silage zeigte mit pH 6,31 zwar ein höheres Minimum, der Unterschied zu Heu (pH 6,12) konnte statistisch aber nicht abgesichert werden. Während bei Heu der späte Schnitt das pH-Minimum hob (von pH 6,07 auf 6,17), fiel es bei Silage (von pH 6,47 auf 6,15).

Das pH-Maximum bei Silage (6,83) zeigte eine Abweichung von jenem des Heus (6,71), war aber ebenfalls statistisch nicht signifikant. Die Pflanzenreife senkte das pH-Maximum von 6,86 auf 6,68. Gegenüber den Kraftfuttergaben zeigte sich dieser Wert konstant.

Die Standardabweichung zeigte bei Heu frühen Schnittes die höchsten Schwankungen (0,14). Auch das Kraftfutterniveau steigert die Standardabweichung von 0,10 auf 0,14.

Auf Konservierungsart und Schnittzeitpunkt reagierte das Verdauungssystem nicht signifikant.

4.8.3 pH-Verweildauer

Zur Beurteilung der Einflüsse der Versuchsfaktoren auf den pH-Wert wurden pH-Wert-Grenzen bei 6,5, 6,3, 6,0, 5,8 und 5,5 gezogen und erhoben, wie lange sich der pH-Wert unter der jeweiligen Grenze befand. Der Bereich pH 6,0-5,5 konnte statistisch nicht ausgewertet werden, da hier zu wenige Beobachtungen vorlagen.

Die Konservierung als Heu führte bei Fütterung zu einer leicht höheren Verweildauer unter einem Pansen-pH von 6,5 als die Silierung (13,99 bzw. 13,70 h), vor allem aber zu einer wesentlich längeren Zeitspanne unter pH 6,3 (9,29 bzw. 3,93 h). Hinsichtlich des Erntezeitpunktes war es der späte Schnitt, welcher den pH-Wert länger unter 6,5 (11,19 bzw. 16,50 h) und noch deutlicher unter 6,3 (3,94 bzw. 9,29 h) verweilen lies.

Krafftutereinsatz erhöhte die Dauer unter pH 6,5 von 11,62 auf 16,07 h und die Zeit unter pH 6,3 von 6,38 auf 6,85 h.

Heu der späten Ernte bewirkte mit 18,24 h unter pH 6,5 und 11,75 h unter pH 6,3 die jeweils längste Verweildauer des gegenständlichen Versuches. Beim Einsatz des frühen Schnittes führte Silage zu einer längeren Verweildauer unter pH 6,5, jedoch zu einer drastisch kürzeren Zeitspanne unter pH 6,3. In Kombination mit Krafftutter betrug die Dauer unter pH 6,5 bei Heufütterung 1,43 h länger als bei Silagefütterung. Im Bereich unter pH 6,3 bewirkte die Kombination Heu mit Krafftutter ebenfalls zu einer längeren Verweildauer. Die längere Zeitspanne der Ration Heu ohne Krafftutter im Vergleich zu Silage ohne Krafftutter unter pH 6,3 ist besonders beachtlich (11,37 bzw. 1,39 h).

4.8.4 pH-Verlauf

Der Verlauf des pH-Wertes ist in den Tabellen 42a (Haupteffekte) und 42b (Interaktionen) angeführt.

Der mittlere Tages pH-Wert lag bei Heufütterung bei 6,44 und bei Silagefütterung bei 6,58. Durch den Einsatz des späten Schnittes fiel der pH-Mittelwert von 6,58 (früher Schnitt) auf 6,44. Krafftutergaben senkten das Ergebnis von 6,55 auf pH 6,43.

Während der Erntezeitpunkt keinen Einfluss auf den pH-Tagesmittelwert bei Rationen mit Heu ausübte (pH 6,44), fiel mit der Nutzung des späten Schnittes bei Silage der pH-Wert von 6,73 auf pH 6,43.

Etwa 30 Minuten nach der Futtevorlage setzte die Wirkung – unabhängig von der Zusammensetzung – der Ration auf den pH-Verlauf ein. Der Tiefststand des Pansen-pH wurde nach zwei Stunden erreicht. Der vor der Morgenfütterung gemessene pH-Wert wurde vor der Abendfütterung nicht erreicht, da der zeitliche Abstand zwischen Morgen- und Abendfütterung 10,50 h, jener zwischen Abend- und Morgenfütterung jedoch 13,50 h betrug.

Der zeitliche Verlauf durch die Rationen Heu, früher und später Schnitt sowie Silage später Schnitt stellen sich sehr ähnlich dar. Der pH-Wert der Ration Silage früher Schnitt liegt den ganzen Tag deutlich darüber. Weiters ist festzustellen, dass durch Silage der späten Ernte nach Erreichen des pH-Minimums im Pansen der pH-Wert etwa fünf Stunden auf dem tiefen Niveau verbleibt, während die anderen Rationen einen konstanten Anstieg nach Überwinden des pH-Tiefstandes – zwei Stunden nach der Fütterung – bewirken.

Die Interaktion von Konservierungsform und Krafftutereinsatz zeigt den gleichen pH-Verlauf wie die anderen Rationen.

Abbildung 7: pH-Wert-Verlauf nach Haupteffekten

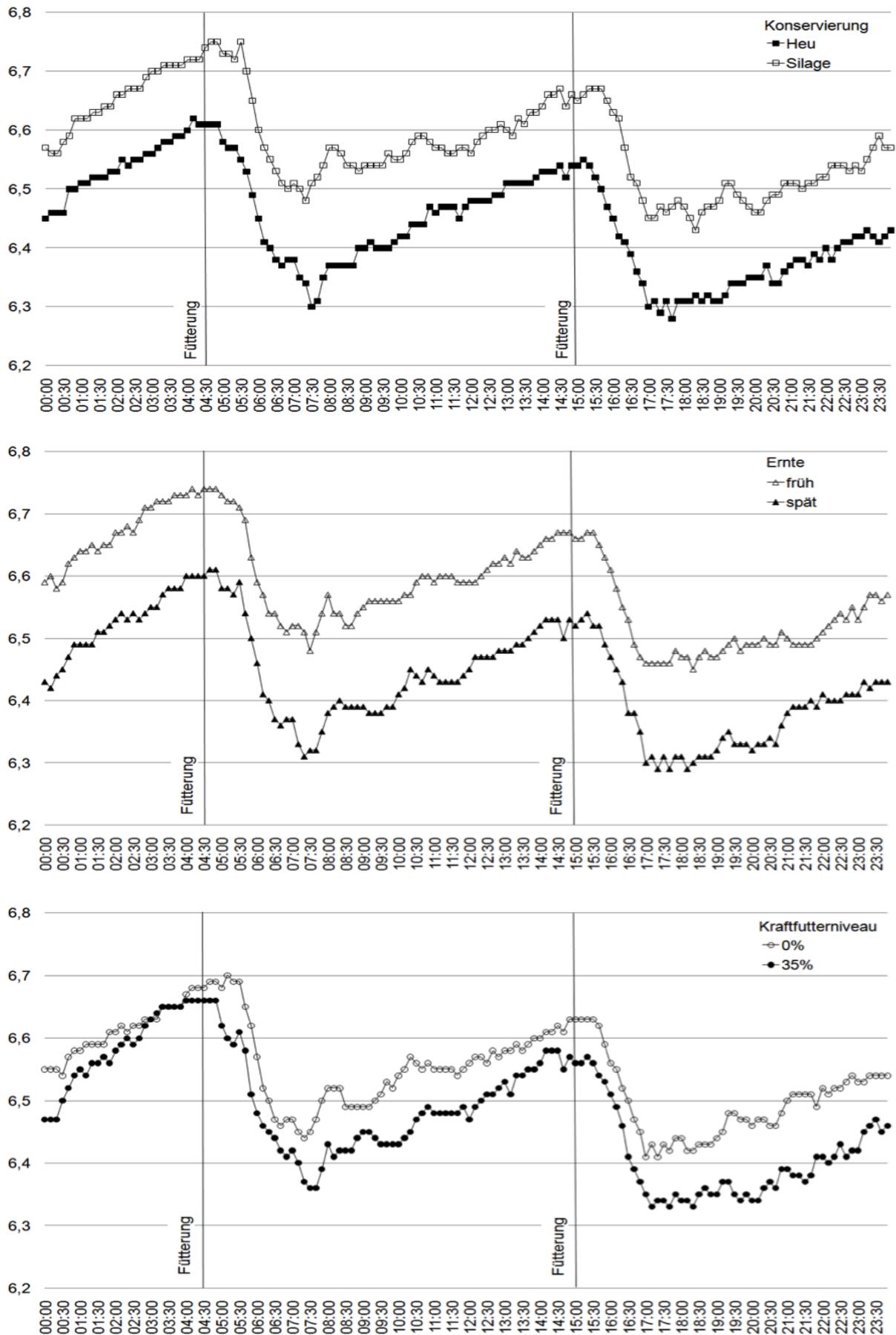


Tabelle 41a: Pansenmilieu (Haupteffekte Konservierung, Ernte und Kraffutterniveau)

	Konservierung		Ernte		Kraffutterniveau		p-Werte	K	E	KF	AIC	SE
	Heu	Silage	früh	spät	0 %	35 %						
Sensormessung												
pH-Mittel	6,43	6,61	6,58	6,47	6,59	6,46	0,211	0,408	0,266	-406	0	
pH-Minimum	6,12	6,31	6,27	6,16	6,29	6,14	0,158	0,004	<0,001	-202	0	
pH-Maximum	6,71	6,83	6,86	6,68	6,77	6,77	0,161	0,004	0,913	-322	0	
pH-Standardabweichung	0,12	0,12	0,12	0,12	0,10	0,14	0,227	0,008	<0,001	-795	0	
H ₃ O	442,07	278,54	311,75	408,87	316,48	404,14	0,111	0,258	0,280	1825	52	
Temperatur °C	39,18	39,24	38,74	39,68	39,24	39,18	0,932	0,224	0,922	-141	0	
pH-Verweildauer												
Stunden unter pH 6,5	13,99	13,70	11,19	16,50	11,62	16,07	0,906	0,100	0,142	1912	100,71	
pH 6,3	9,29	3,93	3,94	9,29	6,38	6,85	0,139	0,164	0,873	1455	130,36	

Tabelle 41b: Pansenmilieu (Interaktionen Konservierung x Ernte und Konservierung x Kraffutterniveau)

	Konservierung x Ernte				Konservierung x Kraffutterniveau				p-Werte		SE
	Hf	Hs	Sf	Ss	H0	H35	S0	S35	K x E	K x KF	
Sensormessung											
pH-Mittel	6,48	6,38	6,67	6,55	6,49	6,37	6,68	6,54	0,939	0,884	0
pH-Minimum	6,07	6,17	6,47	6,15	6,19	6,05	6,39	6,23	0,001	0,951	0
pH-Maximum	6,75	6,67	6,97	6,69	6,72	6,69	6,82	6,84	0,184	0,847	0
pH-Standardabw.	0,14	0,11	0,11	0,12	0,11	0,14	0,09	0,14	<0,001	0,502	0
H ₃ O	396,04	488,10	227,45	329,64	416,04	468,10	216,91	340,18	0,942	0,651	72
Temperatur °C	38,44	39,92	39,04	39,44	39,34	39,03	39,14	39,33	0,383	0,692	1
pH-Verweildauer											
Stunden unter pH 6,5	9,74	18,24	12,64	14,76	11,19	16,79	12,04	15,36	0,364	0,688	137,67
pH 6,3	6,83	11,75	1,04	6,83	11,37	7,21	1,39	6,48	0,904	0,305	174,78

Tabelle 42a: Tagesverlauf des pH-Wertes (Haupteffekte Konservierung, Ernte und Kraffutterniveau)

Zeitpunkt	Konservierung		Ernte		Kraffutterniveau		K	p-Werte E	KF	AIC	SE
	Heu	Silage	früh	spät	0 %	35 %					
00:00	6,45	6,57	6,59	6,43	6,55	6,47	0,251	<0,001	0,031	-214	0,09
00:10	6,46	6,56	6,60	6,42	6,55	6,47	0,351	<0,001	0,032	-145	0,09
00:20	6,46	6,56	6,58	6,44	6,55	6,47	0,314	0,003	0,06	-144	0,09
00:30	6,46	6,58	6,59	6,45	6,54	6,50	0,320	0,001	0,281	-161	0,10
00:40	6,50	6,59	6,62	6,47	6,57	6,52	0,389	0,005	0,175	-174	0,10
00:50	6,50	6,62	6,63	6,49	6,58	6,54	0,289	0,003	0,280	-176	0,10
01:00	6,51	6,62	6,64	6,49	6,58	6,55	0,327	<0,001	0,356	-170	0,10
01:10	6,51	6,62	6,64	6,49	6,59	6,54	0,276	<0,001	0,194	-171	0,09
01:20	6,52	6,63	6,65	6,49	6,59	6,56	0,290	<0,001	0,349	-198	0,09
01:30	6,52	6,63	6,64	6,51	6,59	6,56	0,267	<0,001	0,252	-165	0,08
01:40	6,52	6,64	6,65	6,51	6,59	6,57	0,255	0,003	0,467	174	0,09
01:50	6,53	6,64	6,65	6,52	6,61	6,56	0,259	0,001	0,199	-152	0,08
02:00	6,53	6,66	6,67	6,53	6,61	6,58	0,221	0,001	0,379	-174	0,09
02:10	6,55	6,66	6,67	6,54	6,62	6,59	0,298	0,001	0,352	-190	0,10
02:20	6,54	6,67	6,68	6,53	6,61	6,60	0,228	<0,001	0,779	-165	0,09
02:30	6,55	6,67	6,67	6,54	6,62	6,59	0,299	0,001	0,344	-146	0,10
02:40	6,55	6,67	6,69	6,53	6,62	6,60	0,250	<0,001	0,469	-156	0,09
02:50	6,56	6,69	6,71	6,54	6,63	6,62	0,251	<0,001	0,687	-211	0,10
03:00	6,56	6,70	6,71	6,55	6,63	6,63	0,259	<0,001	0,904	-191	0,10
03:10	6,57	6,70	6,72	6,55	6,63	6,64	0,330	<0,001	0,672	-191	0,11
03:20	6,58	6,71	6,72	6,57	6,65	6,65	0,299	<0,001	0,929	-217	0,11
03:30	6,58	6,71	6,72	6,58	6,65	6,65	0,246	0,001	0,952	-199	0,09
03:40	6,59	6,71	6,73	6,58	6,65	6,65	0,277	<0,001	0,955	-197	0,09
03:50	6,59	6,71	6,73	6,58	6,65	6,65	0,230	<0,001	0,928	-183	0,09
04:00	6,60	6,72	6,73	6,60	6,67	6,66	0,269	0,001	0,718	-202	0,09
04:10	6,62	6,72	6,74	6,60	6,68	6,66	0,272	0,001	0,734	-202	0,09
04:20	6,61	6,72	6,73	6,60	6,68	6,66	0,307	0,003	0,588	-217	0,09
04:30	6,61	6,74	6,74	6,60	6,68	6,66	0,256	<0,001	0,497	-217	0,09
04:40	6,61	6,75	6,74	6,61	6,69	6,66	0,168	0,001	0,398	-208	0,08
04:50	6,61	6,75	6,74	6,61	6,69	6,66	0,117	<0,001	0,148	-231	0,08
05:00	6,58	6,73	6,73	6,58	6,68	6,62	0,056	<0,001	0,099	-211	0,06
05:10	6,57	6,73	6,72	6,68	6,70	6,60	0,024	<0,001	0,008	-219	0,04
05:20	6,57	6,72	6,72	6,57	6,69	6,59	0,015	<0,001	0,003	-174	0,04
05:30	6,55	6,75	6,71	6,59	6,69	6,61	0,011	0,001	0,008	-218	0,04
05:40	6,53	6,70	6,69	6,54	6,65	6,58	0,045	<0,001	0,015	-202	0,05

Zeitpunkt	Konservierung		Ernte		Kraftfutterniveau 0 %	Kraftfutterniveau 35 %	K	p-Werte E	KF	AIC	SE
	Heu	Silage	früh	spät							
05:50	6,49	6,65	6,63	6,50	6,62	6,51	0,094	<0,001	0,001	-155	0,07
06:00	6,45	6,60	6,59	6,46	6,57	6,48	0,110	<0,001	0,013	-151	0,07
06:10	6,41	6,57	6,57	6,41	6,52	6,46	0,170	<0,001	0,096	-173	0,10
06:20	6,40	6,55	6,54	6,40	6,50	6,45	0,251	<0,001	0,026	-156	0,12
06:30	6,38	6,53	6,54	6,37	6,47	6,44	0,366	<0,001	0,264	-139	0,16
06:40	6,37	6,51	6,52	6,36	6,46	6,42	0,377	<0,001	0,077	-143	0,15
06:50	6,38	6,50	6,51	6,37	6,47	6,41	0,381	0,001	0,094	-140	0,13
07:00	6,38	6,51	6,52	6,37	6,47	6,42	0,311	0,002	0,152	-185	0,12
07:10	6,35	6,50	6,52	6,33	6,45	6,40	0,277	0,001	0,257	-129	0,13
07:20	6,34	6,48	6,51	6,31	6,44	6,37	0,279	<0,001	0,051	-121	0,11
07:30	6,30	6,51	6,48	6,32	6,45	6,36	0,104	0,001	0,041	-144	0,09
07:40	6,31	6,52	6,51	6,32	6,47	6,36	0,141	<0,001	0,013	-111	0,11
07:50	6,35	6,54	6,54	6,35	6,50	6,39	0,159	<0,001	0,009	-135	0,10
08:00	6,37	6,57	6,57	6,38	6,52	6,43	0,172	<0,001	0,011	-132	0,12
08:10	6,37	6,57	6,54	6,39	6,52	6,41	0,139	<0,001	0,002	-156	0,10
08:20	6,37	6,56	6,54	6,40	6,52	6,42	0,197	<0,001	0,003	-174	0,12
08:30	6,37	6,54	6,52	6,39	6,49	6,42	0,272	<0,001	0,011	-163	0,13
08:40	6,37	6,54	6,52	6,39	6,49	6,42	0,245	0,001	0,037	-138	0,12
08:50	6,40	6,53	6,54	6,39	6,49	6,44	0,288	<0,001	0,084	-171	0,11
09:00	6,40	6,54	6,55	6,39	6,49	6,45	0,309	<0,001	0,172	-131	0,13
09:10	6,41	6,54	6,56	6,38	6,49	6,45	0,311	<0,001	0,203	-130	0,11
09:20	6,40	6,54	6,56	6,38	6,50	6,44	0,336	<0,001	0,062	-119	0,13
09:30	6,40	6,54	6,56	6,38	6,51	6,43	0,313	<0,001	0,083	-117	0,12
09:40	6,40	6,56	6,56	6,39	6,53	6,43	0,230	<0,001	0,006	-133	0,11
09:50	6,41	6,55	6,56	6,39	6,52	6,43	0,243	<0,001	0,009	-131	0,10
10:00	6,42	6,55	6,56	6,41	6,54	6,43	0,265	<0,001	0,002	-136	0,09
10:10	6,42	6,56	6,57	6,42	6,55	6,44	0,184	0,001	0,009	-159	0,08
10:20	6,44	6,58	6,57	6,45	6,57	6,45	0,212	0,003	0,006	-157	0,09
10:30	6,44	6,59	6,59	6,44	6,56	6,47	0,179	0,001	0,026	-152	0,09
10:40	6,44	6,59	6,60	6,43	6,55	6,48	0,208	<0,001	0,044	-150	0,10
10:50	6,47	6,58	6,60	6,45	6,56	6,49	0,308	<0,001	0,060	-134	0,10
11:00	6,46	6,57	6,59	6,44	6,55	6,48	0,321	0,001	0,091	-124	0,10
11:10	6,47	6,57	6,60	6,43	6,55	6,48	0,343	<0,001	0,046	-138	0,09
11:20	6,47	6,56	6,60	6,43	6,55	6,48	0,385	0,001	0,079	-117	0,10
11:30	6,47	6,56	6,60	6,43	6,55	6,48	0,355	<0,001	0,046	-128	0,08
11:40	6,45	6,57	6,59	6,43	6,54	6,48	0,233	0,001	0,115	-126	0,08
11:50	6,47	6,57	6,59	6,44	6,55	6,49	0,330	0,001	0,164	-143	0,09

Zeitpunkt	Konservierung		Ernte		Kraftfutterniveau 0 %	Kraftfutterniveau 35 %	K	p-Werte E	KF	AIC	SE
	Heu	Silage	früh	spät							
12:00	6,48	6,56	6,59	6,45	6,56	6,47	0,326	0,001	0,020	-131	0,07
12:10	6,48	6,58	6,59	6,47	6,57	6,49	0,300	0,002	0,032	-140	0,08
12:20	6,48	6,59	6,60	6,47	6,57	6,50	0,271	<0,001	0,035	-123	0,09
12:30	6,48	6,60	6,61	6,47	6,56	6,51	0,244	<0,001	0,110	-121	0,09
12:40	6,49	6,60	6,62	6,47	6,58	6,51	0,191	<0,001	0,031	-163	0,07
12:50	6,49	6,61	6,62	6,48	6,57	6,52	0,208	<0,001	0,085	-136	0,07
13:00	6,51	6,60	6,63	6,48	6,58	6,53	0,315	<0,001	0,102	-178	0,08
13:10	6,51	6,59	6,62	6,48	6,58	6,51	0,316	<0,001	0,025	-178	0,07
13:20	6,51	6,62	6,64	6,49	6,59	6,54	0,243	<0,001	0,095	-173	0,07
13:30	6,51	6,61	6,63	6,49	6,58	6,54	0,326	<0,001	0,123	-158	0,09
13:40	6,51	6,63	6,63	6,50	6,59	6,55	0,269	<0,001	0,166	-166	0,09
13:50	6,52	6,63	6,64	6,51	6,60	6,55	0,262	0,001	0,187	-187	0,09
14:00	6,53	6,64	6,65	6,52	6,60	6,56	0,269	0,001	0,219	-164	0,09
14:10	6,53	6,66	6,66	6,53	6,61	6,58	0,241	0,001	0,434	-189	0,09
14:20	6,53	6,66	6,66	6,53	6,61	6,58	0,159	0,001	0,340	-153	0,08
14:30	6,54	6,67	6,67	6,53	6,62	6,58	0,195	0,001	0,299	-157	0,08
14:40	6,52	6,64	6,56	6,50	6,61	6,55	0,239	<0,001	0,123	-157	0,09
14:50	6,54	6,66	6,67	6,53	6,63	6,57	0,223	0,001	0,120	-174	0,08
15:00	6,54	6,65	6,66	6,52	6,63	6,56	0,213	0,001	0,059	-151	0,08
15:10	6,55	6,49	6,66	6,53	6,63	6,56	0,248	0,001	0,039	-158	0,07
15:20	6,54	6,67	6,67	6,54	6,63	6,57	0,146	<0,001	0,085	-187	0,07
15:30	6,52	6,67	6,67	6,52	6,63	6,56	0,091	0,003	0,079	-179	0,06
15:40	6,50	6,67	6,65	6,52	6,62	6,54	0,123	0,002	0,039	-188	0,08
15:50	6,47	6,65	6,63	6,49	6,59	6,53	0,147	<0,001	0,038	-156	0,09
16:00	6,45	6,63	6,61	6,47	6,56	6,51	0,143	<0,001	0,097	-141	0,09
16:10	6,42	6,62	6,58	6,45	6,55	6,49	0,131	0,003	0,129	-104	0,09
16:20	6,41	6,57	6,55	6,43	6,52	6,46	0,206	0,003	0,095	-146	0,10
16:30	6,39	6,52	6,53	6,38	6,50	6,41	0,285	0,011	0,098	-172	0,10
16:40	6,36	6,51	6,49	6,38	6,47	6,39	0,248	0,011	0,048	-182	0,11
16:50	6,34	6,48	6,47	6,35	6,45	6,37	0,274	0,009	0,056	-210	0,11
17:00	6,30	6,45	6,46	6,30	6,41	6,35	0,223	<0,001	0,072	-191	0,10
17:10	6,31	6,45	6,46	6,31	6,43	6,33	0,216	0,009	0,073	-200	0,09
17:20	6,29	6,47	6,46	6,29	6,41	6,34	0,162	<0,001	0,093	-161	0,10
17:30	6,31	6,46	6,46	6,31	6,43	6,34	0,233	0,001	0,035	-174	0,10
17:40	6,28	6,47	6,46	6,29	6,42	6,33	0,146	0,001	0,064	-176	0,10
17:50	6,31	6,48	6,48	6,31	6,44	6,35	0,156	0,002	0,060	-198	0,09
18:00	6,31	6,47	6,47	6,31	6,44	6,34	0,194	0,007	0,068	-193	0,10

Zeitpunkt	Konservierung		Ernte		Kraftfutterniveau 0 %	Kraftfutterniveau 35 %	K	E	KF	AIC	SE
	Heu	Silage	früh	spät							
18:10	6,31	6,45	6,47	6,29	6,42	6,34	0,254	0,001	0,055	-199	0,10
18:20	6,32	6,43	6,45	6,30	6,42	6,33	0,293	0,001	0,014	-191	0,09
18:30	6,31	6,46	6,47	6,31	6,43	6,35	0,184	0,002	0,059	-171	0,09
18:40	6,32	6,47	6,48	6,31	6,43	6,36	0,256	<0,001	0,037	-159	0,11
18:50	6,31	6,47	6,47	6,31	6,43	6,35	0,170	0,003	0,070	-169	0,09
19:00	6,31	6,48	6,47	6,32	6,44	6,35	0,164	0,006	0,075	-200	0,10
19:10	6,32	6,51	6,48	6,34	6,45	6,37	0,164	0,001	0,038	-186	0,11
19:20	6,34	6,51	6,49	6,35	6,48	6,37	0,191	0,001	0,005	-174	0,10
19:30	6,34	6,49	6,50	6,33	6,48	6,35	0,259	0,003	0,018	-158	0,11
19:40	6,34	6,48	6,48	6,33	6,47	6,34	0,178	0,002	0,007	-167	0,08
19:50	6,35	6,47	6,49	6,33	6,47	6,35	0,202	0,009	0,022	-214	0,08
20:00	6,35	6,46	6,49	6,32	6,46	6,34	0,302	0,001	0,009	-181	0,09
20:10	6,35	6,46	6,49	6,33	6,47	6,34	0,303	<0,001	0,004	-192	0,10
20:20	6,37	6,48	6,50	6,33	6,47	6,36	0,233	<0,001	0,016	-144	0,10
20:30	6,34	6,49	6,49	6,34	6,46	6,37	0,194	<0,001	0,021	-163	0,09
20:40	6,34	6,49	6,49	6,33	6,46	6,36	0,173	<0,001	0,009	-158	0,08
20:50	6,36	6,51	6,51	6,36	6,46	6,39	0,173	0,001	0,013	-215	0,09
21:00	6,37	6,51	6,50	6,38	6,50	6,39	0,214	0,004	0,007	-184	0,09
21:10	6,38	6,51	6,49	6,39	6,51	6,38	0,214	0,015	0,003	-192	0,09
21:20	6,38	6,50	6,49	6,39	6,51	6,38	0,226	0,049	0,010	-167	0,09
21:30	6,37	6,51	6,49	6,39	6,51	6,37	0,195	0,064	0,013	-154	0,08
21:40	6,39	6,51	6,49	6,40	6,51	6,38	0,202	0,067	0,018	-174	0,08
21:50	6,38	6,52	6,50	6,39	6,49	6,41	0,225	0,032	0,085	-180	0,09
22:00	6,40	6,52	6,51	6,41	6,52	6,41	0,279	0,012	0,006	-139	0,10
22:10	6,38	6,54	6,52	6,40	6,51	6,40	0,182	0,007	0,012	-170	0,10
22:20	6,40	6,54	6,53	6,40	6,52	6,41	0,214	0,001	0,007	-153	0,09
22:30	6,41	6,54	6,54	6,40	6,52	6,43	0,263	0,001	0,024	-177	0,10
22:40	6,41	6,53	6,53	6,41	6,53	6,41	0,234	0,002	0,046	-162	0,09
22:50	6,42	6,54	6,55	6,41	6,54	6,42	0,187	0,001	0,004	-164	0,08
23:00	6,42	6,53	6,53	6,41	6,53	6,42	0,238	0,004	0,006	-129	0,08
23:10	6,43	6,55	6,55	6,43	6,53	6,45	0,194	0,001	0,017	-183	0,08
23:20	6,42	6,57	6,57	6,42	6,54	6,46	0,174	0,003	0,079	-178	0,09
23:30	6,41	6,59	6,57	6,43	6,54	6,47	0,106	0,004	0,102	-165	0,08
23:40	6,42	6,57	6,56	6,43	6,54	6,45	0,130	0,003	0,031	-157	0,08
23:50	6,43	6,57	6,57	6,43	6,54	6,46	0,185	0,003	0,062	-184	0,09

Tabelle 42b: Tagesverlauf des pH-Wertes (Interaktionen Konservierung x Ernte und Konservierung x Krafftutterniveau)

Zeitpunkt	Konservierung x Ernte			Konservierung x Krafftutterniveau					p-Werte		SE
	Hf	Hs	Sf	Ss	H0	H35	S0	S35	K x E	K x KF	
00:00	6,47	6,43	6,71	6,43	6,50	6,40	6,60	6,54	0,029	0,911	0,11
00:10	6,50	6,43	6,70	6,42	6,52	6,41	6,59	6,53	0,072	0,880	0,12
00:20	6,49	6,45	6,68	6,44	6,52	6,41	6,58	6,54	0,074	0,816	0,11
00:30	6,46	6,47	6,72	6,44	6,49	6,44	6,59	6,57	0,016	0,945	0,13
00:40	6,49	6,51	6,75	6,44	6,55	6,44	6,59	6,60	0,007	0,786	0,13
00:50	6,49	6,50	6,76	6,47	6,55	6,45	6,60	6,31	0,006	0,729	0,12
01:00	6,51	6,51	6,76	6,48	6,56	6,47	6,60	6,64	0,007	0,747	0,12
01:10	6,53	6,49	6,75	6,49	6,55	6,47	6,63	6,62	0,042	0,840	0,11
01:20	6,53	6,50	6,77	6,49	6,55	6,48	6,62	6,63	0,020	0,816	0,11
01:30	6,54	6,51	6,75	6,51	6,56	6,48	6,62	6,63	0,029	0,779	0,11
01:40	6,54	6,50	6,76	6,52	6,55	6,49	6,64	6,64	0,125	0,880	0,11
01:50	6,54	6,52	6,77	6,52	6,56	6,50	6,65	6,63	0,037	0,885	0,11
02:00	6,54	6,52	6,79	6,54	6,56	6,50	6,66	6,66	0,047	0,879	0,11
02:10	6,55	6,55	6,79	6,53	6,58	6,52	6,66	6,66	0,020	0,869	0,12
02:20	6,56	6,53	6,81	6,54	6,56	6,53	6,66	6,68	0,016	0,892	0,11
02:30	6,55	6,55	6,80	6,54	6,58	6,52	6,67	6,67	0,016	0,874	0,13
02:40	6,56	6,53	6,81	6,53	6,57	6,52	6,67	6,67	0,028	0,899	0,12
02:50	6,57	6,55	6,85	6,54	6,59	6,53	6,68	6,71	0,021	0,813	0,13
03:00	6,57	6,56	6,85	6,54	6,59	6,54	6,67	6,72	0,010	0,789	0,13
03:10	6,57	6,57	6,86	6,53	6,59	6,55	6,66	6,73	0,003	0,813	0,14
03:20	6,57	6,59	6,87	6,55	6,61	6,55	6,68	6,74	0,002	0,799	0,14
03:30	6,60	6,57	6,85	6,58	6,60	6,57	6,70	6,73	0,039	0,879	0,12
03:40	6,60	6,58	6,85	6,58	6,61	6,58	6,70	6,72	0,010	0,897	0,12
03:50	6,61	6,56	6,84	6,59	6,59	6,58	6,71	6,72	0,080	0,942	0,11
04:00	6,61	6,59	6,84	6,60	6,62	6,59	6,72	6,72	0,043	0,927	0,12
04:10	6,64	6,60	6,85	6,60	6,63	6,61	6,73	6,71	0,060	0,918	0,12
04:20	6,62	6,60	6,84	6,60	6,63	6,59	6,72	6,72	0,071	0,939	0,12
04:30	6,61	6,61	6,87	6,60	6,65	6,57	6,72	6,75	0,017	0,777	0,12
04:40	6,62	6,60	6,87	6,62	6,65	6,56	6,73	6,76	0,036	0,720	0,10
04:50	6,62	6,60	6,87	6,62	6,65	6,56	6,73	6,76	0,041	0,712	0,10
05:00	6,61	6,54	6,85	6,61	6,62	6,53	6,74	6,72	0,135	0,768	0,08
05:10	6,61	6,54	6,84	6,62	6,64	6,51	6,76	6,70	0,150	0,703	0,06
05:20	6,60	6,53	6,83	6,61	6,63	6,50	6,76	6,69	0,108	0,745	0,06
05:30	6,56	6,54	6,85	6,65	6,61	6,49	6,77	6,73	0,095	0,622	0,05

Zeitpunkt	Konservierung x Ernte				Konservierung x Kraftfutterniveau				p-Werte		SE
	Hf	Hs	Sf	Ss	H0	H35	S0	S35	K x E	K x KF	
05:40	6,53	6,52	6,85	6,56	6,59	6,47	6,72	6,69	0,007	0,712	0,07
05:50	6,47	6,50	6,80	6,49	6,56	6,41	6,67	6,62	0,001	0,694	0,09
06:00	6,43	6,47	6,76	6,44	6,51	6,38	6,63	6,58	0,002	0,791	0,09
06:10	6,38	6,43	6,75	6,39	6,45	6,36	6,58	6,57	0,000	0,836	0,12
06:20	6,34	6,46	6,75	6,35	6,45	6,34	6,55	6,55	<0,001	0,811	0,14
06:30	6,30	6,46	6,78	6,29	6,43	6,33	6,51	6,55	<0,001	0,829	0,19
06:40	6,30	6,44	6,73	6,29	6,41	6,33	6,52	6,50	<0,001	0,918	0,18
06:50	6,33	6,43	6,69	6,31	6,42	6,34	6,52	6,48	<0,001	0,948	0,16
07:00	6,35	6,40	6,69	6,34	6,41	6,34	6,54	6,49	0,004	0,957	0,15
07:10	6,34	6,35	6,70	6,31	6,36	6,33	6,54	6,47	0,009	0,933	0,16
07:20	6,35	6,33	6,67	6,28	6,35	6,33	6,54	6,41	0,003	0,782	0,14
07:30	6,30	6,29	6,67	6,35	6,31	6,28	6,58	6,43	0,028	0,747	0,12
07:40	6,32	6,30	6,71	6,33	6,32	6,30	6,81	6,43	0,006	0,724	0,14
07:50	6,34	6,36	6,74	6,34	6,39	6,31	6,61	6,48	0,001	0,894	0,13
08:00	6,36	6,38	6,78	6,37	6,42	6,32	6,62	6,53	<0,001	0,984	0,15
08:10	6,36	6,37	6,72	6,41	6,42	6,31	6,62	6,51	0,004	0,985	0,13
08:20	6,35	6,39	6,72	6,41	6,42	6,32	6,61	6,52	0,001	0,979	0,15
08:30	6,34	6,41	6,71	6,37	6,42	6,33	6,57	6,51	<0,001	0,950	0,16
08:40	6,33	6,41	6,70	6,37	6,42	6,33	6,57	6,51	<0,001	0,937	0,15
08:50	6,37	6,42	6,70	6,36	6,43	6,36	6,56	6,51	<0,001	0,968	0,14
09:00	6,37	6,42	6,72	6,36	6,43	6,37	6,55	6,53	<0,001	0,934	0,16
09:10	6,41	6,41	6,71	6,36	6,45	6,37	6,54	6,53	0,001	0,875	0,14
09:20	6,40	6,41	6,72	6,36	6,45	6,35	6,55	6,53	0,001	0,879	0,20
09:30	6,41	6,39	6,71	6,37	6,46	6,34	6,56	6,53	0,017	0,857	0,15
09:40	6,40	6,39	6,72	6,40	6,46	6,33	6,59	6,53	0,004	0,882	0,14
09:50	6,42	6,39	6,70	6,39	6,45	6,36	6,60	6,50	0,013	0,975	0,13
10:00	6,43	6,42	6,69	6,40	6,48	6,37	6,61	6,49	0,013	0,988	0,12
10:10	6,44	6,40	6,69	6,43	6,47	6,37	6,62	6,50	0,070	0,972	0,11
10:20	6,43	6,45	6,71	6,45	6,52	6,36	6,61	6,55	0,025	0,795	0,11
10:30	6,45	6,43	6,72	6,45	6,51	6,37	6,61	6,56	0,039	0,783	0,10
10:40	6,44	6,43	6,75	6,43	6,50	6,37	6,60	6,58	0,007	0,776	0,13
10:50	6,46	6,48	6,74	6,43	6,54	6,40	6,58	6,58	0,004	0,723	0,12
11:00	6,47	6,46	6,71	6,43	6,51	6,41	6,59	6,55	0,031	0,859	0,12
11:10	6,48	6,45	6,72	6,41	6,52	6,42	6,59	6,54	0,020	0,878	0,12
11:20	6,48	6,45	6,72	6,41	6,52	6,41	6,58	6,54	0,042	0,862	0,13
11:30	6,49	6,45	6,71	6,41	6,53	6,41	6,57	6,55	0,023	0,778	0,11
11:40	6,48	6,43	6,69	6,44	6,51	6,40	6,58	6,55	0,131	0,794	0,10

Zeitpunkt	Konservierung x Ernte				Konservierung x Kraftfutterniveau				p-Werte		SE
	Hf	Hs	Sf	Ss	H0	H35	S0	S35	K x E	K x KF	
11:50	6,48	6,46	6,71	6,43	6,52	6,42	6,57	6,56	0,049	0,803	0,12
12:00	6,49	6,46	6,68	6,44	6,53	6,42	6,59	6,53	0,068	0,866	0,10
12:10	6,48	6,48	6,70	6,45	6,54	6,54	6,60	6,56	0,032	0,802	0,11
12:20	6,47	6,49	6,74	6,45	6,54	6,42	6,61	6,58	0,009	0,777	0,11
12:30	6,47	6,48	6,74	6,46	6,52	6,43	6,61	6,59	0,003	0,842	0,11
12:40	6,51	6,47	6,73	6,47	6,54	6,44	6,61	6,59	0,030	0,757	0,09
12:50	6,51	6,47	6,73	6,48	6,53	6,44	6,61	6,60	0,012	0,795	0,10
13:00	6,53	6,48	6,73	6,47	6,55	6,46	6,60	6,60	0,016	0,792	0,10
13:10	6,55	6,47	6,69	6,49	6,57	6,46	6,60	6,57	0,193	0,765	0,09
13:20	6,54	6,49	6,74	6,50	6,55	6,47	6,62	6,61	0,031	0,813	0,10
13:30	6,52	6,49	6,74	6,48	6,55	6,47	6,61	6,60	0,013	0,832	0,11
13:40	6,51	6,51	6,77	6,49	6,56	6,46	6,62	6,64	0,003	0,752	0,12
13:50	6,51	6,52	6,76	6,50	6,57	6,47	6,62	6,64	0,011	0,746	0,11
14:00	6,52	6,53	6,77	6,51	6,57	6,48	6,64	6,64	0,012	0,781	0,11
14:10	6,52	6,54	6,80	6,52	6,58	6,48	6,63	6,68	0,007	0,686	0,12
14:20	6,53	6,52	6,78	6,54	6,57	6,48	6,65	6,68	0,382	0,694	0,10
14:30	6,55	6,53	6,80	6,54	6,59	6,49	6,66	6,68	0,005	0,705	0,11
14:40	6,53	6,50	6,78	6,50	6,57	6,47	6,65	6,63	0,036	0,821	0,11
14:50	6,55	6,53	6,78	6,53	6,59	6,48	6,66	6,65	0,054	0,744	0,11
15:00	6,54	6,53	6,79	6,52	6,59	6,48	6,67	6,64	0,028	0,803	0,10
15:10	6,55	6,54	6,78	6,52	6,61	6,48	6,66	6,64	0,025	0,708	0,10
15:20	6,53	6,54	6,80	6,54	6,60	6,50	6,66	6,68	0,011	0,596	0,09
15:30	6,53	6,51	6,80	6,54	6,60	6,44	6,66	6,67	0,074	0,528	0,08
15:40	6,48	6,53	6,82	6,51	6,59	6,42	6,66	6,67	0,005	0,589	0,10
15:50	6,43	6,51	6,83	6,47	6,54	6,40	6,64	6,65	<0,001	0,664	0,12
16:00	6,41	6,49	6,81	6,45	6,52	6,38	6,61	6,65	<0,001	0,621	0,12
16:10	6,38	6,47	6,79	6,44	6,49	6,35	6,61	6,62	0,002	0,673	0,12
16:20	6,35	6,47	6,76	6,38	6,47	6,34	6,57	6,57	<0,001	0,757	0,13
16:30	6,34	6,44	6,71	6,33	6,45	6,33	6,55	6,50	0,007	0,858	0,13
16:40	6,28	6,43	6,69	6,32	6,41	6,30	6,53	6,48	<0,001	0,875	0,14
16:50	6,28	6,40	6,67	6,29	6,40	6,29	6,51	6,45	0,001	0,902	0,14
17:00	6,26	6,34	6,66	6,25	6,31	6,29	6,50	6,40	<0,001	0,856	0,13
17:10	6,28	6,35	6,63	6,27	6,35	6,27	6,50	6,40	0,015	0,948	0,11
17:20	6,27	6,30	6,66	6,27	6,31	6,26	6,50	6,40	0,001	0,968	0,13
17:30	6,28	6,34	6,65	6,27	6,35	6,27	6,50	6,41	0,002	0,958	0,13
17:40	6,27	6,29	6,65	6,29	6,32	6,24	6,52	6,42	0,011	0,945	0,12
17:50	6,31	6,30	6,64	6,32	6,35	6,27	6,52	6,43	0,036	0,983	0,12

Zeitpunkt	Konservierung x Ernte				Konservierung x Kraftfutterniveau				p-Werte		SE
	Hf	Hs	Sf	Ss	H0	H35	S0	S35	K x E	K x KF	
18:00	6,31	6,31	6,64	6,30	6,34	6,28	6,54	6,41	0,050	0,880	0,13
18:10	6,30	6,32	6,63	6,27	6,33	6,29	6,51	6,38	0,010	0,817	0,13
18:20	6,31	6,33	6,59	6,28	6,35	6,29	6,50	6,38	0,007	0,828	0,12
18:30	6,33	6,31	6,61	6,31	6,34	6,29	6,52	6,40	0,049	0,820	0,11
18:40	6,31	6,33	6,64	6,29	6,35	6,30	6,51	6,42	0,002	0,915	0,13
18:50	6,31	6,31	6,63	6,32	6,33	6,28	6,53	6,41	0,035	0,851	0,12
19:00	6,29	6,32	6,64	6,33	6,33	6,27	6,54	6,43	0,024	0,916	0,13
19:10	6,30	6,34	6,67	6,35	6,36	6,28	6,55	6,47	0,006	0,992	0,14
19:20	6,32	6,36	6,67	6,34	6,39	6,28	6,56	6,46	0,002	0,982	0,13
19:30	6,33	6,35	6,67	6,31	6,40	6,29	6,56	6,42	0,018	0,935	0,14
19:40	6,35	6,33	6,61	6,34	6,39	6,29	6,56	6,39	0,086	0,821	0,10
19:50	6,37	6,32	6,60	6,35	6,39	6,30	6,56	6,39	0,251	0,788	0,10
20:00	6,36	6,34	6,61	6,31	6,40	6,30	6,53	6,39	0,047	0,932	0,12
20:10	6,35	6,34	6,62	6,31	6,40	6,30	6,53	6,39	0,019	0,901	0,12
20:20	6,35	6,34	6,64	6,32	6,39	6,30	6,54	6,42	0,015	0,921	0,12
20:30	6,35	6,34	6,64	6,33	6,39	6,30	6,54	6,43	0,016	0,941	0,11
20:40	6,34	6,34	6,64	6,33	6,39	6,29	6,54	6,43	0,011	0,945	0,11
20:50	6,35	6,36	6,66	6,36	6,41	6,31	6,55	6,47	0,007	0,945	0,11
21:00	6,35	6,39	6,66	6,37	6,43	6,31	6,57	6,46	0,008	0,966	0,12
21:10	6,37	6,39	6,62	6,39	6,44	6,32	6,58	6,44	0,061	0,968	0,11
21:20	6,38	6,38	6,61	6,40	6,44	6,32	6,58	6,43	0,176	0,946	0,11
21:30	6,36	6,38	6,61	6,40	6,44	6,31	6,58	6,44	0,154	0,983	0,11
21:40	6,38	6,39	6,61	6,41	6,45	6,32	6,57	6,45	0,201	0,992	0,10
21:50	6,38	6,39	6,63	6,40	6,42	6,35	6,57	6,47	0,114	0,937	0,12
22:00	6,37	6,43	6,65	6,39	6,47	6,34	6,56	6,48	0,009	0,898	0,12
22:10	6,37	6,39	6,67	6,40	6,44	6,32	6,58	6,49	0,024	0,915	0,12
22:20	6,39	6,41	6,68	6,40	6,47	6,33	6,57	6,50	0,012	0,862	0,11
22:30	6,40	6,42	6,69	6,39	6,47	6,35	6,57	6,51	0,013	0,873	0,12
22:40	6,41	6,41	6,66	6,41	6,47	6,34	6,58	6,48	0,039	0,930	0,11
22:50	6,42	6,41	6,67	6,42	6,49	6,34	6,59	6,50	0,054	0,870	0,10
23:00	6,43	6,41	6,64	6,41	6,48	6,36	6,58	6,48	0,078	0,944	0,10
23:10	6,43	6,42	6,67	6,44	6,48	6,38	6,59	6,52	0,040	0,908	0,10
23:20	6,44	6,41	6,70	6,44	6,46	6,38	6,61	6,54	0,107	0,989	0,11
23:30	6,43	6,39	6,71	6,47	6,46	6,37	6,62	6,56	0,149	0,950	0,10
23:40	6,43	6,41	6,69	6,46	6,46	6,37	6,61	6,53	0,090	0,974	0,10
23:50	6,46	6,41	6,69	6,44	6,48	6,39	6,61	6,53	0,124	0,982	0,11

5 Diskussion

5.1 Futteranalysen und Versorgung

5.1.1 Ertrag

Der Ertrag der für den gegenständlichen Versuch genutzten Futterfläche ergab beim frühen Schnitt 2.587 kg TM/ha. Dieser Wert ist durch den Erntezeitpunkt begründet und entspricht etwa den Angaben von BUCHGRABER und GINDL (2004) für Mehrschnittflächen in dieser Höhenlage. Mit fortgesetztem Pflanzenwachstum steigerte sich der Ertrag bei der zweiten Ernte auf 4.004 kg TM/ha, was dem Erwartungswert eines ersten Aufwuchses einer Dreischnittnutzung entspricht (GRUBER et al. 2000).

Bei der Konservierung als Heu sank der Trockenmassegehalt mit späterer Ernte von 76,7 auf 70,1 %. Der Trockenmassegehalt ist im Wesentlichen eine Folge der Anwelkbedingungen während der Ernte des Versuchsfutters. Eventuell ist dieses Resultat auch auf hohe Bröckelverluste aufgrund des weiten Fortschrittes der physiologischen Reife zurückzuführen. BUCHGRABER und GINDL (2004) geben bei durchschnittlichen Bedingungen zwischen 10 und 20 % Bröckelverluste an, was sich mit o.a. Werten decken würde. Bezüglich ihres Trockenmasseverlaufes (von 40,3 auf 50,1 %) entspricht die Silage den Erwartungen.

5.1.2 Rohnährstoffe

Die morphologische Entwicklung zeigt sich bei der Zusammensetzung der Pflanzen in Form eines höheren Stängelanteils. Mit zunehmendem Alter reduzierte sich der Rohproteingehalt erwartungsgemäß, während sich der Rohfaseranteil um bis zu 14 % erhöhte.

Frühe Ernte kann mit Ergebnissen einer gesteigerten Nutzungsfrequenz verglichen werden. GRUBER et al. (2000) zeigten den gleichen Trend auf. Der Rohproteingehalt ging in der Silage im zeitlichen Verlauf im Vergleich zu Heu deutlich stärker zurück, Rohfett nahm bei Silage anteilmäßig ebenfalls stärker ab. Eine Erklärung dafür ist in der Fermentierung des Futters zu finden (RESCH 2008).

Der Gehalt an stickstofffreien Extraktstoffen wurde durch spätere Ernte gesteigert, bei Heu um 4,1 und bei Silage um 2,6 %. Wie die Analysen zeigen (Tabelle 26), stiegen mit fortschreitendem Vegetationsstadium die Gerüstsubstanzen erwartungsgemäß an. Da aber gleichzeitig die Gehalte an Rohprotein, Rohfett und Rohasche sanken, erhöhten sich – wider Erwarten – gleichzeitig auch die Gehalte an N-freien Extraktstoffen bzw. an Nichtfaser-Kohlenhydraten. Zusätzlich zur Veränderung der chemischen Zusammensetzung sind auch Verschiebungen in der Zusammensetzung der botanischen Artengruppen denkbar (Gräser, Kräuter, Leguminosen). Laut VAN SOEST (1994) werden die Photosyntheseprodukte (wasserlösliche Kohlenhydrate) aufgrund der klimatischen Verhältnisse – viel Sonneneinstrahlung bei vergleichsweise niedrigen Temperaturen – nicht vollständig in Strukturkohlenhydrate übergeführt. Allerdings ist die XX-Fraktion der Weender Analyse nicht aussagekräftig bzw. irreführend, da bei der Analyse der Rohfaser auch Teile der Gerüstsubstanzen (besonders Lignin und Hälzellulose) in Lösung gehen. Diese werden in der Folge bei der rechnerischen Ermittlung der N-freien Extraktstoffe irrtümlicherweise den Nichtstruktur-Kohlenhydraten (d.h. den XX) zugerechnet. Es kommt zu einer Überschätzung der Nährstoffverwertbarkeit (JEROCH et al. 2008). Im gegenständlichen Versuch ergab die Detergentienanalyse auch für die Nichtfaser-Kohlenhydrate höhere Werte analog zur XX-Fraktion. Der Verlauf des Aufwuchses ließ die leicht verwertbaren Zellbestandteile ansteigen, in der Silage wurden diese aber stärker fermentiert.

Im Vergleich zur ÖAG-Futterwerttabelle (RESCH et al. 2006) lag der Rohproteinanteil für Heu über den Erwartungswerten, die Silage entsprach zwar im frühen Schnitt, lag bei der späten Ernte jedoch deutlich zurück. Die Rohfasergehalte waren bei der frühen Ernte höher, bei der späten entsprachen sie den Tabellenangaben, was auf leichte Unterschiede in der Pflanzengesellschaft der Versuchsfläche deutet. Die Gehalte an Rohasche unter 80 g/kg TM zeigen zum Einen die hygienische Unbedenklichkeit des Futters, zum Anderen können sie ein Hinweis auf Bröckelverluste und damit ein Verlust an Mineralstoffen sein (RESCH 2008).

5.1.3 Gerüstsubstanzen

Mit fortschreitendem Vegetationsstadium steigt der Zellwandanteil, während die Zellinhaltsstoffe (v.a. Rohprotein, aber auch Rohfett und Rohasche) sinken (MINSON 1990, VAN SOEST 1994). Vor allem die hier betrachteten ersten Aufwüchse bilden verstärkt reproduktive Organe. Deshalb wird vermehrt Zellulose in den Stängel eingebaut (MINSON 1990). Ein Zusammenhang zwischen Rohfasergehalt und Gerüstsubstanzen, wie von VAN SOEST (1990) beschrieben, ist gegeben. Während die Neutraldetergentien-Faser bei Heu relativ konstant war und den Einfluss des steigenden Gehaltes an stickstofffreien Extraktstoffen deutlich macht, stieg dieser Zellwandbestandteil bei Silage deutlich mit dem späteren Schnitt. Die Erhöhung der Säuredetergentien-Faser ist auf die vermehrte Zelluloseeinlagerung in die Stängel zurückzuführen (MINSON 1990). Der zunehmende ADL-Anteil ergibt sich durch die steigenden Außentemperaturen während des Wachstums (VAN SOEST 1994).

5.1.4 Verdaulichkeit und Energie

Die Abbaubarkeit sinkt im zeitlichen Verlauf. Der Einfluss des Vegetationsstadiums wirkt sich überragend auf den Futterwert aus und zeigt sich sowohl in der Futteraufnahme als auch in der Verdaulichkeit (MINSON 1990, VAN SOEST 1994, GRUBER et al. 2010). Junge Pflanzen zeigen zu Beginn der Vegetation eine starke Entwicklung der Assimilationsfläche, der Blattanteil ist verhältnismäßig groß. Die Blätter enthalten mehr verfügbare Nähr- und Mineralstoffe als der Stängel. Zellinhaltsstoffe (Protein, Nichtfaser-Kohlenhydrate wie Zucker und Stärke, Fette) sind nahezu vollständig verdaulich (VAN SOEST 1967). Durch die Entwicklung der Pflanze verändert sich das Blatt/Stängel-Verhältnis. Der Stängel besteht vorwiegend aus Gerüstsubstanzen. Die Faserkohlenhydrate Zellulose und Hemizellulose sind – bei geringer Abbaugeschwindigkeit – von Pansenmikroben abbaubar (VAN SOEST 1967, SNIFFEN et al. 1992). Lignin ist unverdaulich. Die chemische Komplexbildung mit Hemizellulose und die physikalische Inkrustierung der Faserkohlenhydrate verursachen den Verdaulichkeitsrückgang mit fortschreitender Pflanzenreife (VAN SOEST 1967).

Die geringere Abnahme der Verdaulichkeit bei Silage weist auf höhere Verluste durch die Konservierung als Heu hin. Atmung, Witterungseinflüsse, mechanische Bearbeitung und Lagerverluste verursachen einen Nährstoffabbau, der durch die Silierung deutlich reduziert ist (MENKE und HUSS 1987).

Die Energiegehalte wiesen bei der späteren Ernte aufgrund der sich ändernden Nährstoffgehalte eine deutliche Abnahme auf und entsprachen bei der Bereitung als Heu der Futterwerttabelle für den Alpenraum (RESCH 2007) bzw. der DLG-Futterwerttabelle (2004), die Silage lag etwas unter den dort angegebenen Werten. Die Energiegehalte der Silage liegen beim frühen Schnitt etwas und beim späten Schnitt deutlich über jenen von Heu. Dafür sind im Wesentlichen höhere Bröckelverluste im Zuge der Heuwerbung verantwortlich. Weiters führen McDONALD et al. (1991) ein theoretisches Silagemodell an, nach welchem der Trockenmasseverlust bei der Silierung 4,2 %, jener der Energie aber lediglich 0,5 % beträgt, da die Fermentationsprodukte höhere Energiegehalte aufweisen als ihre Ausgangssubstrate.

5.1.5 Protein

Im Pansen abbaubares Protein und unabbaubares Protein reduzierten sich mit der Aufwuchsdauer bei beiden Konservierungsarten aufgrund der verringerten Rohproteingehalte. Dadurch sinken natürlich das Mikrobenprotein und in Summe das am Duodenum nutzbare Protein. Die ausgewogene Energie- und Proteinversorgung zeigt sich dadurch, dass das unabbaubare Protein nicht steigt. Zwischen Heu und Silage bestanden deutliche Unterschiede hinsichtlich der ruminalen Stickstoffbilanz. Bei Heu führte früher Schnitt zu einer leicht positiven und später Schnitt zu einer leicht negativen RNB (+1,4 bzw. -1,6 g RNB/kg TM). Dagegen wies bei den Silagen der frühe Schnitt gegenüber dem späten eine deutlich positive ruminale N-Bilanz auf (3,4 vs. -0,8 g RNB/kg TM).

5.1.6 Mineralstoffe

Blattwerk von Grünpflanzen besitzt gegenüber den Stängeln eine höhere Konzentration an Mineralstoffen, sind aber auch hinsichtlich Abbröckelverluste empfindlicher. Vor allem bei der Heubereitung nimmt der Mineralstoffgehalt ab (RESCH et al. 2009). Die gegenständlichen Werte von Phosphor, Magnesium, Kalium, Zink und Kupfer entsprechen im Wesentlichen diesen Aussagen. Davon abweichende Konzentrationen bei Kalzium, Natrium und Mangan können Ursache von Schwankungen in Bodenzusammensetzung, Wasserführung und damit Pflanzengesellschaft sein. Sie verhalten sich wie ein zweiter Aufwuchs, eventuell kann hier der Effekt von abgeschlossener generativer Phase und Einsetzen eines vegetativen Wachstums aufgezeigt werden.

5.1.7 Sensorische Futterqualität

Heu zeigte sich bezüglich der sensorischen Beurteilungsparameter sensibler als Silage. Bei Geruch, Farbe und Gefüge war ein Qualitätsverlust im Zuge der Lagerung festzustellen, Silage war hier konstant. Weiters stiegen bei Heu die Verunreinigungen.

Während Silage in Ballen von der Umgebung unbeeinflusst ist, zeigt sich bei Heu ein gewisser Umweltfaktor.

Ein Konzentrationsverlust von stickstofffreien Extraktstoffen aufgrund erhöhter Trockenmasse der Silage späten Schnittes durch Bröckelverluste oder verschlechterten Gärbedingungen wie von ZEILER (2003) beschrieben, konnte nicht festgestellt werden.

Die Nährstoffgehalte der früh geernteten Silage entsprechen den regionalen Verhältnissen einer mittleren Qualität (WIEDNER 2002).

5.1.8 Aufnahme

Durch die Verbesserung der Grundfutterqualität (früher Schnitt) erhöhte sich die Grundfutteraufnahme von 11,39 auf 12,60 kg TM. Ursache dafür ist der raschere und vollständigere Abbau im Pansen (GRUBER et al. 1995), die Verdaulichkeit der organischen Masse zeigt diesen Umstand (KLEINMANN und POTTHAST 1984).

Während der Unterschied der Grundfutteraufnahme zwischen den Schnitten bei Silage besonders deutlich war (13,31 bzw. 10,99 kg TM), war dieser Einfluss bei Heu wesentlich geringer (11,89 bzw. 11,80 kg TM), was auf der höheren Schmackhaftigkeit der jeweils jüngeren Ration beruht (ZEILER 2003).

Gaben von Krafffutter senkten die Grundfutteraufnahme signifikant, von 13,44 auf 10,55 kg TM (Grundfuttermverdrängung). Der Gehalt an Gerüstsubstanzen entscheidet über die Füllung des Pansens (MERTENS 1994). Erhöhte Säureproduktion aus der Fermentation der Nichtfaser-Kohlenhydrate des Krafffutters schädigt besonders die auf den Abbau von Gerüstsubstanzen spezialisierten, acidophoben Mikroben. Die Verdauungsleistung sinkt, die physikalische Sättigung ist früher erreicht (ORSKOV 1986). Weiters setzt bei erhöhter Energieversorgung auch die physiologische Sättigung ein (FAVERDIN et al. 1991).

Die Gesamtfutteraufnahme stieg mit der Krafffuttergabe von 13,44 auf 16,79 kg TM.

Bei einer Verdrängung des Grundfutters im Ausmaß von 0,46 kg TM pro kg TM Krafffutter ergab sich eine Steigerung der Gesamtfutteraufnahme von 0,54 kg TM pro kg TM Krafffutter. GRUBER (2007) beschreibt ähnliche Werte (Grundfuttermverdrängung: 0,51 kg TM pro kg TM Krafffutter).

Im Mittel erreichte die Krafffuttergabe während des gesamten Versuches in dieser Fütterungsgruppe mit 37,2 % der Trockenmasseaufnahme annähernd das Ziel von 35 %. Maßgeblich ist, dass weder Konservierungsform noch Erntezeitpunkt einen Einfluss auf den Krafffutteranteil hatten. Die Vorgaben wurden also exakt eingehalten.

Dem Trend der Gesamttrockenmasseaufnahme folgte auch die Energieaufnahme, wobei die verringerte Grundfutteraufnahme aufgrund des späteren Schnitzeitpunktes bei der Silage durch eine etwas höhere Krafffutteraufnahme nicht kompensiert wurde und die NEL-Versorgung hier deutlich fiel (von 96,7 auf 82,9 MJ). Im Gegensatz zur Ernte war der Einfluss der Konservierungsform nicht signifikant (vgl. Kap. 5.1.5). Krafffuttergaben steigerten die Energieaufnahme aufgrund der Tatsache, dass verdrängtes Grundfutter durch energetisch höher bewertete Komponenten ersetzt wurde und die Gesamtfutteraufnahme stieg.

Eine Betrachtung der einzelnen Nährstoffaufnahmen zeigt deutlich die physiologische Entwicklung der Futterpflanzen. Rohprotein, Rohfett, stickstofffreie Extraktstoffe und Rohasche wurden bei späterem Schnitt in verringerter Menge aufgenommen als bei früher Ernte. Rohfaser und Lignin verhielten sich umgekehrt. Geringere Grundfutteraufnahmen bei einer gleichzeitigen Steigerung der Krafffutteraufnahme bei spät geernteten Rationen erhöhten hier die aufgenommenen Nichtfaser-Kohlenhydrate und minderten die gefressenen Gerüstsubstanzen NDF und ADF.

Konservierte man das Grundfutter als Silage, so zeigte sich eine erhöhte Aufnahme von Rohprotein und Rohfett. Während durch die Heuproduktion im Idealfall Energieverluste von mindestens 20 - 25 % und Proteinverluste von bis zu 50 % verursacht werden (MENKE und HUSS 1987), unterbindet die Gärfutterbereitung den aeroben Nährstoffabbau. Die zu erwartenden Verluste belaufen sich auf ca. 14 - 24 % (ROTZ und MUCK 1994). Da bei der Fermentation in Silage aus den rasch und leicht abbaubaren Kohlenhydraten v.a. Milchsäure gebildet wird, waren diese in der aufgenommenen Trockenmasse von Silage weniger enthalten als bei Heufütterung. Anteilsmäßig stiegen die Werte für schlechter verfügbare Kohlenhydrate (ADF, ADL) bei der Silageaufnahme. Die Verluste von leicht abbaubaren Inhaltsstoffen durch Heuproduktion erhöhten den relativen Gehalt an NDF bei Heuaufnahme. Die Nichtfaser-Kohlenhydrate sind ein maßgeblicher Inhaltsstoff von Krafffutter, was dessen Einfluss klar zeigt. Der späte Schnitt war gekennzeichnet durch eine Steigerung der Kohlenhydrataufnahme bei Heugaben und – bedingt durch den starken Rückgang der Grundfutteraufnahme – eine Reduktion bei Silagefütterung.

Zusätzlich wirkte die Besonderheit des Versuchsfutters in Bezug auf die Aufnahme von Nichtfaser-Kohlenhydraten. Die höheren Gehalte im Futter bei Heu und beim späten Schnitt setzten sich bei der Aufnahme sowohl absolut als auch je kg TM fort.

Krafffutter lieferte erwartungsgemäß hohe Mengen an Protein, wobei der Anteil an im Pansen unabbaubarem Protein typischerweise besonders deutlich war, aber auch die Fermentationsrate der Mikroorganismen im Pansen begünstigte (vgl. RNB). Silierung erwirkte durch das Unterbinden von Zellatmung und aerober Mikrobentätigkeit in der Ration ebenfalls wesentlich höhere nutzbare Proteingehalte. Der späte Schnitt brachte insgesamt niedrigere Proteinaufnahmen mit sich, bei Silage wirkte sich das in Form der geringeren Proteinaufnahme wesentlich stärker aus als bei Heu, da das Eiweißniveau bei Heu schon beim frühen Schnitt deutlich tiefer lag.

5.1.9 Zusammensetzung der Ingesta

Die Summe der Rationskomponenten hat auf die Zusammensetzung des so entstehenden Futterbreis im Pansen überragende Bedeutung. Die einzelnen Konzentrationen verhalten sich erwartungsgemäß.

Rohprotein war durch den Einsatz der frühen Ernte erhöht und wurde durch Silagefütterung ebenfalls gesteigert (vgl. Kap. 5.1.9), bei Heugaben fiel der Gehalt des späten Schnittes aufgrund des ohnehin niedrigeren Proteingehaltes in geringerem Ausmaß.

Auch Rohfett ist durch Silierung wesentlich höher konzentriert.

Bei später Ernte stiegen der Gehalt an Rohfaser und Gerüstsubstanzen, die in der Silage – außer Lignin – in geringerem Ausmaß zu finden sind. Bei Heu steigert der höhere Verlust an Inhaltsstoffen und deren Verdaulichkeit die relativen Gehalte an Rohfaser und Gerüstsubstanzen.

Organische Masse stieg mit dem Pflanzenalter und Krafftuttermengen und war durch Silagebereitung verringert.

Die Aufnahme sowohl von Stickstofffreien Extraktstoffen, als auch von Nichtfaserkohlenhydraten wurde signifikant vom Krafftuttermengeinsatz beeinflusst. Aufgrund einer höheren Aufnahme von Krafftutter und trotz Grundfuttermengeverdrängung ergaben sich für späte Schnitte und Heurationen in Verbindung mit den Grundfuttermengen auch deutlich höhere Konzentrationen an XX und NFC.

Der Futterbrei des frühen Schnittes wies eine höhere Energiekonzentration auf (6,0 bzw. 5,7 MJ NEL/kg), Krafftutter erhöht diesen Wert von 5,3 auf 6,3 MJ NEL/kg.

5.2 Leistungen und Bedarfsdeckung

5.2.1 Leistung

Die Unterschiede in den vorgelegten Rationen verursachten keine signifikanten Änderungen von Lebendgewicht und Körperkondition. Im Endstadium der Laktation wäre aufgrund eines anabolen Körpersubstanzansatzes eine Steigerung von Gewicht und BCS in Abhängigkeit von Grundfutterqualität und Krafftuttermenge (GRUBER 2007, GRUBER 2009, GRUBER et al. 1995, GRUBER et al. 2000) zu erwarten gewesen. Um dahingehende Auswirkungen nachweisen zu können, war der gegenständliche Versuch zu kurz und die Laktation der Tiere weit fortgeschritten.

Die tatsächliche Milchleistung kann das genetische Potential nicht übersteigen. Die Erblichkeitsanteile sind jedoch gering. Deshalb hängt die erbrachte Milchmenge stark von der Fütterung ab (KIRCHGESSNER et al. 2008). Die vorliegenden Ergebnisse zeigen ganz klar den Einfluss von Energie- und Proteinzufuhr bzw. deren Konzentrationen im Pansen auf die Leistung. Silage war Heu leicht überlegen, früher Schnitt überragte den späten und Krafftutter konnte die Milchmenge in jedem Fall steigern. Die erbrachten Milchleistungen lagen deutlich unter den theoretischen Erwartungen. Unabhängig vom Krafftuttermengeeinfluss wurden lediglich etwa 73 % erreicht. Ohne Krafftutter konnten die Kühe noch 93 % der erwarteten Leistung aus der Nährstoff- und Energieaufnahme erbringen. Mit Krafftuttermengen wurden 37 % der Futterinhaltsstoffe für den Körperansatz verwendet und nicht in Milchleistung umgewandelt. Ursache hierfür ist der anabole Stoffwechsel aufgrund der weit fortgeschrittenen Laktation. Zusätzlich muss man von einem nichtlinearen Anstieg der Milchmenge mit zunehmender Krafftuttermenge ausgehen (Gruber 2007). Zum einen reduziert die Verdrängung die Aufnahmen aus dem Grundfutter, zum anderen führt der Insulinstieg zu einer höheren Lipogenese im Fettgewebe.

Der in allen Gruppen vorgefundene hohe Fettgehalt der Milch deutet (trotz fehlendem direkten Zusammenhang) darauf hin, dass keine kritischen pH-Werte im Pansen erreicht wurden (vgl. Kap.3.1.3.3.4).

Krafftutergaben reduzierten den Milchfettgehalt. Durch das Absenken des pH-Wertes im Pansen wird die Zahl der zellulolytischen Mikroben reduziert. Deren Stoffwechselprodukt – die Essigsäure – ist jedoch das Ausgangssubstrat für die Milchfettsynthese (KAUFMANN 1976). VAN SOEST (1994) führt die Milchfettsenkung vor allem auf die antilipogene Wirkung der Propionsäure über den bereits erwähnten Insulineinfluss zurück. Für die Synthese von Milchprotein konnte Heu Protein der geeignetsten Form liefern.

Der Laktosegehalt war durch Krafftutereinsatz gesteigert, da durch die Lieferung von Stärke vermehrt Propionsäure für die Glukoneogenese zur Verfügung stand.

In Summe war die Gesamtmenge an Milchinhaltsstoffen durch den Erntezeitpunkt von Grundfutter, nicht aber von der Konservierungsart beeinflusst. Die Inhaltsstoffe waren beim späten Schnitt geringer, Silage zeigte die wesentlich höheren Rückgänge.

5.2.2 Bedarfsdeckung

Bei keiner der Fütterungsgruppen wurden negative Energie- oder Proteinbilanzen festgestellt. Auch dadurch zeigt sich die fortgeschrittene Laktation. GRUBER et al. (1995) stellten, je nach Grundfutterqualität, 170 bzw. 230 Tage postpartum eine ausgeglichene Energiebilanz fest. Wie bei allen weiblichen Säugetieren werden auch bei Kühen gegen Ende der Laktation Körperreserven angelegt bzw. wieder aufgefüllt, die zu Beginn der Laktation mobilisiert werden. Auch der Energiebedarf für die Gravidität war mehr als gedeckt.

Der hohe Laktosegehalt der Milch belegt eine hohe Energieversorgung der Kühe, die nicht mit der relativ niedrigen Milchleistung abgestimmt ist.

Deutlich erkennbar war der höhere Energie- und Proteinbedarf bei den Rationen frühe Ernte und mit Krafftutter aufgrund der höheren Milchleistung. Besonders hoch waren die Bedarfswerte bei Silage früher Ernte und Heu mit Krafftutergabe analog zur Milchleistung, wobei die Beziehung zwischen Energieversorgung und theoretisch möglicher Milchleistung wesentlich enger ist als zur tatsächlichen Milchleistung (GRUBER 2007).

Trotz höherer Leistung wurde die Deckung des Bedarfes sowohl von Energie als auch von nutzbarem Rohprotein durch die Gabe von Krafftutter noch erhöht. Wäre die Ration nicht Versuchsanforderung, müsste man den Krafftutereinsatz sehr kritisch prüfen. In der Praxis ist ab dem 150. bis 200. Laktationstag fast immer eine geringere Krafftutereffizienz gegeben (GRUBER 2009).

Hinsichtlich der Bedarfsdeckung von NEL war zwischen den Konservierungsarten Heu und Silage ebenso wenig ein signifikanter Unterschied (112,9 bzw. 112,4 %) festzustellen wie zwischen der frühen und späten Ernte (111,2 bzw. 115,1 %). Der Einsatz von Krafftutter steigerte die Deckung von 103,5 auf 121,7 %.

Die Versorgung mit nutzbarem Rohprotein zeigte deutlich höhere Überschüsse als die Energieversorgung. Auch hier konnte die Konservierungsart keinen Einfluss nehmen. Bei der späteren Ernte war die nXP-Versorgung höher als bei der früheren (155,9 bzw. 139,7 %). Mit Krafftutergaben fiel der Versorgungsgrad von 160,3 auf 135,4 %.

Durch das Missverhältnis von Energie und Proteinversorgung kann es eventuell zu einem Leistungsrückgang kommen. Überschüssige N-Produkte müssen mit relativ hohem Energieaufwand aus dem Intermediär-Stoffwechsel beseitigt werden. Ein sekundärer Energiemangel entsteht (KIRCHGESSNER et al. 2008).

5.3 Pansensaft-Parameter

5.3.1 Temperatur

Die durchschnittliche Vormagentemperatur des gesamten Versuches lag bei 39,08 °C. Der niedrigste Temperaturwert wurde bei der Ration Heu, früher Schnitt, 35 % Kraftfuttergabe gemessen, der höchste Wert lag bei Heu, später Schnitt, 35 % Kraftfutter. Weder Grundfutter noch Kraftfutter übten in der vorliegenden Untersuchung einen signifikanten Einfluss auf die Pansentemperatur aus. Das bestätigt sich durch die Tatsache, dass sowohl Minimum als auch Maximum bei Rationen mit Kraftfutterzuteilung zu finden waren, obwohl Kraftfutter den stärksten Einfluss auf die Aufnahme von rasch fermentierbaren Futterbestandteilen hat (OETZEL 2003, IPEMA et al. 2008). SIEVERS (2005) berichtet von einem Temperaturanstieg von 39,3 °C auf 40,2 °C bei Ergänzung der Heufütterung von 6 kg Kraftfutter pro Tag. Auch GASTEINER et al. (2010) stellten mit der gleichen Messeinheit, wie in der vorliegenden Untersuchung eingesetzt, eine leicht höhere Temperatur infolge Kraftfuttergaben fest, wobei der Einfluss der Wasseraufnahme durch das zeitliche Zusammentreffen von Trinken und Temperaturabfall auch in dieser Untersuchung bestätigt wurde. ALZAHAL et al. (2008) fanden eine Korrelation zwischen dem ruminalen pH-Wert und der Temperatur ($R^2=0,77$). Im Vergleich zu gesunden Tieren lag bei Kühen mit subakuter Pansenazidose der pH-Wert längere Zeit unter 5,6 und über einer Vormagentemperatur von 39,2 °C. Für solche Auswirkungen war das angestrebte Kraftfütterniveau von 35 % zu gering. Da die Temperatur von Faktoren wie Lebensalter, Zyklusstadium, Tageszeit, Arbeit, Stress, Bewegung, Rasse (SIEVERS 2005) sowie Wasseraufnahme, Außentemperatur und individuellen Unterschieden beeinflusst wird, konnten hier keine Zusammenhänge festgestellt werden. Möglicherweise könnte die Steigerung der Fütterungsfrequenz die aufgenommene Wassermenge pro Trinkereignis und damit die Auswirkung auf die Pansentemperatur abschwächen (ROBLES et al. 2007).

5.3.2 Fettsäuren

Entscheidend für die Konzentration der Fettsäuren sind Futteraufnahmefrequenz, Rationszusammensetzung und aufgenommene Futtermenge sowie Absorptionsrate und Abbaubarkeit. Die mengenmäßigen Verhältnisse zueinander sind geprägt vom Verhältnis zwischen Grundfutter und Kraftfutter (SCHEIDEMANN 2001).

Die bei Heufütterung signifikant höhere Konzentration der Essigsäure ergibt sich durch den hohen Anteil an Strukturkohlenhydraten in der Ration. Eine positive Wirkung von früher Ernte und Kraftfuttergaben auf die Essigsäurekonzentration war ebenso wenig zu erwarten wie die höhere Propionsäurekonzentration infolge von Rationen mit frühem Schnitt, vor allem bei Silage. Rationen mit Heu beeinflussten die Fettsäurekonzentrationen entsprechend den Nährstoffaufnahmen. Der späte Schnitt und Kraftfuttergaben steigerten in Kombination mit Heu sowohl die Essigsäure- als auch die Propionsäurekonzentration. Silage zeigte eine andere Auswirkung: der späte Schnitt verursachte sowohl eine geringere Essigsäure- als auch eine geringere Propionsäurekonzentration bei annähernd gleichem Verhältnis im Fettsäuremuster. Durch die Nutzung der später geernteten Silage und selbst durch Kraftfuttergaben fiel die Gesamtkonzentration der Fettsäuren.

Die Gesamtkonzentration der Fettsäuren lag bei Heufütterung bei 91,5 mmol/l und bei Silagefütterung bei 80,5 mmol/l. Hier zeigt sich der Einfluss der Nährstoffaufnahmen (Tab. 28a).

Ursache für die unerwarteten Konzentrationen kann in der unterschiedlichen Auswirkung der Rationen selbst auf Absorptionsrate und Abbaubarkeit liegen (s. Kap. 3.1.3.2.3). Auch die Reihenfolge der Aufnahme der einzelnen Rationskomponenten bewirkt einen Unterschied in der Entwicklung der Fettsäurekonzentration und der Pufferung durch die Speichelproduktion (BORCHERT 2007).

Die Beziehung zwischen dem pH-Wert und der Konzentration der flüchtigen Fettsäuren ist gering. Speichelproduktion und Absorptionskapazität sind sehr tierindividuell (ALLEN 1997).

Großen Einfluss hat auch die Entnahmestelle der Probe. Im Reticulum ist eine höhere Fettsäurenkonzentration zu erwarten als in der Pansenmitte (NIGM 1986). Die im Pansen gebildeten Fettsäuren werden dort auch zum Großteil direkt absorbiert (s. Kap. 3.1.3.1). Das unterschiedliche Absorptionsvermögen der jeweiligen Magenregionen (VERWOHLT 1996) sowie teilweise hohe Durchmischungsraten erschweren einen Vergleich der Fettsäurenkonzentrationen zusätzlich.

Eine Veränderung im Fettsäurenmuster weist auf azidotische Probleme hin. HUTJENS (1998) beschreibt bei Pansenazidose einen pH-Wert unter 6,0 und ein Verhältnis von Propionat zu Azetat von <2,2. MORGANTE et al. (2007) beschreiben bei einem pH-Wert von 5,8 eine Fettsäurenkonzentration von 123 mmol/l, unter pH 5,8 stieg diese auf 145 mmol/l und unter pH 5,5 auf 150 mmol/l. Diese Werte wurden im gegenständlichen Versuch nicht erreicht und waren aufgrund der Versuchsanordnung auch nicht Ziel.

5.3.3 Ammonium, Azidität, Alkalität

Durch die proteolytische Aktivität der Mikroorganismen im Pansen entsteht Ammoniak (Kap.3.1.1.1.1). Der überwiegende Teil wird jedoch protoniert und liegt als Ammonium-Ion (NH_4^+) vor.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen deutlich die Proteinaufnahme durch Grund- und Krafffutter und in weiterer Folge die Zusammensetzung der Gesamtration. Silage und frühe Ernte bewirken eine höhere Proteolyserate. Es bestand zu keiner Zeit ein Stickstoffmangel, der Einfluss von rezirkuliertem Harnstoff (s. Kap. 3.1.3.1.1) kann vernachlässigt werden.

Die Werte der Titrationsazidität entsprachen der Gesamtfettsäurenkonzentration in den Haupteffekten, die Alkalität konnte keine gesicherten Zusammenhänge aufweisen.

5.3.4 pH-Wert

Die verabreichten Rationen bewirkten keine pH-Wert-Reduktion in einen Bereich, der eine akute Pansenazidose hervorgerufen hätte. Einzelne Werte lagen zwar im Bereich der angegebenen „Cut-Points“ für SARA, stellten aufgrund ihrer kurzen Dauer jedoch kein Problem dar (ZEBELI et al. 2008). Da die Pansenazidose als Herdengeschehen angesehen wird (s. Kap. 3.1.3.3.3), bestand für keine Fütterungsgruppe eine dahingehende Gefährdung. Dies war auch nicht Ziel der vorliegenden Studie, welche die Auswirkung landesüblicher Milchviehfütterung zu untersuchen hatte.

Die Konzentration von leicht und rasch fermentierbaren Kohlenhydraten ist maßgeblich für den pH-Wert im Pansen. Die vorliegenden Ergebnisse können das bestätigen.

Heu lieferte im Vergleich zu Silage höhere Mengen an Nichtfaser-Kohlenhydraten. Sowohl pH-Mittelwert (6,43) als auch Minimum (6,12) und Maximum (6,75) lagen daher tiefer als bei Silagegabe (6,61, 6,31 bzw. 6,83). Gasteiner et al. (2010) beschreiben sehr ähnliche Werte bei reiner Heufütterung. Der mittlere pH-Wert betrug 6,49 (dies entspricht exakt dem Wert der Wechselwirkung Heu ohne Krafffutter), der Nadir 6,14.

Wie bereits diskutiert, lieferte das später geerntete Versuchsfutter höhere Mengen an Nichtfaser-Kohlenhydraten als der frühe Schnitt. Die Entwicklung des pH-Wertes ist dadurch klar erklärbar. Die Gruppe mit später Ernte erreicht hinsichtlich Mittelwert (6,47), Minimum (6,16) und Maximum (6,68) geringere pH-Werte als jene, welcher der frühe Schnitt vorgelegt wurde (6,58, 6,27 bzw. 6,86). Besonders bei Silage war der Einfluss des Erntezeitpunktes signifikant. Das pH-Minimum fiel von 6,47 auf 6,15.

Krafffutter brachte die erwarteten Ergebnisse. Der Krafffuttereinsatz senkte den Mittelwert. Auch das pH-Minimum wurde signifikant beeinflusst. Das Maximum konnte es nicht heben.

Die von ZEILER (2003) erarbeiteten Regressionen zwischen Rationskriterien und pH-Wert liefern ähnliche Werte wie die vorliegenden Sensormessungen und bestätigen die Zusammenhänge bzw. die Tendenzen der einzelnen Futtergruppen.

Tabelle 43: Ergebnisvergleich der Regressionsanalysen nach ZEILER (2003) mit pH-Messwerten

pH-Wert	Konservierung		Ernte		Krafftutter	
	Heu	Silage	früh	spät	0 %	35 %
Sensor	6,43	6,61	6,58	6,47	6,59	6,46
6,61-0,0564×KF (kg/Tag)	6,43	6,44	6,44	6,43	6,61	6,23
7,87-0,0041×NFC (g/kg TM)	6,57	6,61	6,66	6,52	6,93	6,32

Mit Krafftuttergaben ereigneten sich deutlich größere Schwankungen (0,14) als ohne (0,10). Auch durch Heufütterung des frühen Schnittes waren höhere Schwankungen erkennbar (0,14). Die größte Spanne zwischen pH-Minimum und pH-Maximum ergab sich bei Krafftuttereinsatz. Mit Krafftutter lag die Differenz um 31 % höher als ohne Krafftutter. Das ist insofern von Bedeutung, da starke Schwankungen kritischer zu betrachten sind als ein konstantes Einstellen des Pansenmilieus auf einem niedrigen Niveau (SEEMANN und SPOHR 2007). Heu spätem Schnittes bewirkt zwar ein niedriges, dafür aber stabileres pH-Niveau im Pansen. Diese Situation kann für das Verdauungssystem eventuell leichter zu verarbeiten sein als die durch Krafftutter verursachten höheren Schwankungen.

MAULBETSCH (2005) stellt die These auf, dass bei niedrigen Krafftutterniveaus die zellulolytische Population der Pansenmikroben so gefördert ist, dass sowohl Abbauraten als auch Abbaugeschwindigkeit steigen. Der Einfluss auf den pH-Wert ist jedoch ungeklärt und konnte in dieser Studie nicht thematisiert werden.

Eine Reduktion der Futtermenge, wie sie PLAIZIER et al. (2008) aufzeigen, konnte aufgrund der fehlenden pH-Extremwerte nicht festgestellt werden. SLYTER (1976) sieht einen Zusammenhang zwischen Körperkondition und Azidose-Veranlagung, wobei sich hier die Frage nach Ursache und Wirkung stellt.

Ein Zusammenhang zwischen Milchfettgehalt und pH-Wert konnte aus dem gleichen Grund nicht nachgewiesen werden.

Ebenfalls nicht abschätzbar ist der Einfluss der Pufferung im Pansen aufgrund einer Verdünnung der Ingesta. Jene Rationen, die höhere Mengen an Nichtfaser-Kohlenhydraten liefern, bewirken auch einen höheren Trockenmassegehalt im Pansen. Der entstehende osmotische Druck bewirkt verstärkt Wasseraustritt aus dem umliegenden Gewebe in den Pansen (ULBRICH et al. 2004), wodurch die Konzentration und der pH-Wert des Nahrungsbreis verändert sind.

Größere Futtermengen bewirken eine raschere Futtermengeaufnahme und damit einen stärkeren pH-Wert-Abfall (SCHWARTZKOPF-GENSWEIN et al. 2003). ROBLES et al. (2007) fanden durch höhere Fütterungsfrequenzen keinen Einfluss auf den durchschnittlichen pH-Wert im Pansen, 12 Stunden nach der Fütterung war der pH-Wert bei zwei Fütterungen jedoch deutlich höher als bei einmaliger oder dreimaliger Fütterung pro Tag. Da bei dreimaliger Fütterung (8 Stunden Intervall) die Wirkungen nach 12 Stunden überlagert sind, kann man von einer stabilisierenden Wirkung von höheren Fütterungsfrequenzen auf das Pansenmilieu ausgehen, besonders bei Rationen mit geringem Anteil an Gerüstsubstanzen.

5.3.5 pH-Wert – Verweildauer und Verlauf

Die Fermentierbarkeit der in der Ration enthaltenen Kohlenhydrate bewirkt neben ihrem Einfluss auf den pH-Wert im Pansen auch Unterschiede in der Verweildauer unter den festgelegten pH-Wert-Schwellen.

Rationen mit Heu und die Nutzung des später geernteten Grundfutters bewirken – ebenso wie der Einsatz von Krafffutter – wesentlich längere Zeitspannen in den tieferen pH-Wert-Bereichen. Die Werte der Kombinationen Heu, späte Ernte und Heu mit Krafffutter sind beträchtlich.

Der von ZEBELI et al. (2008) definierte physiologische mittlere pH-Wert von 6,33 wurde in der gegenständlichen Studie nicht unterschritten (s. Kap. 3.1.3.2.1), durch Rationen mit rasch fermentierbaren Kohlenhydraten aber erreicht.

Der Einsatz von Puffersubstanzen (z.B. NaHCO_3) kann das Fermentationsmilieu im Pansen zwar stabilisieren, solange die Ration jedoch ausreichend Rohfaser enthält – also keine Extremwerte verursacht – ist die Wirkung allerdings gering (SCHEIDEMANN 2001).

Werden Rationen mit extrem hohen Krafffutteranteilen und geringer Struktur eingesetzt, sind Puffervorlagen durchaus empfehlenswert (eventuell in Form einer TMR), wobei die Tiere selbst keine Tendenz zeigen, vermehrt puffernde Substanzen aufzunehmen (KEUNEN et al. 2003, COTTEE et al. 2004).

Durch den Einsatz von als Heu konservierten Grundfutters zeigte sich zwar kein Unterschied hinsichtlich des Einsatzes der Wirkung der Ration auf den pH-Wert, der Verlauf belegt aber den rascheren Wiederanstieg bei Heugaben aus einem tieferen pH-Bereich. Später Schnitt und Krafffuttergaben wirken ähnlich.

Der Verlauf zeigt den Einfluss höherer Anteile rasch und leicht fermentierbarer Kohlenhydrate neben der Schwankungsbreite auch auf die Schwankungsgeschwindigkeit des pH-Wertes. Die Adaptation des Pansenmilieus ist damit erschwert.

Die Wechselwirkung zwischen Konservierungsart und Schnittzeitpunkt zeigt, dass spät geerntete Silage – jenes Grundfutter mit deutlich höheren pH-Werten – sowohl eine wesentlich geringere Schwankungsbreite als auch eine geringere Schwankungsgeschwindigkeit aufweist.

Die unterschiedlichen Zeitspannen zwischen der Morgen- und Abendfütterung (10,50 h) und jener zwischen Abend- und Morgenfütterung (13,50 h) verursachen unterschiedliche pH-Werte unmittelbar vor den Folgefütterungen. Eventuell kann ein zeitlicher Ausgleich diesen Endwert vor Fütterung anheben und harmonisieren.

Die Bedeutung der Ration auf die ruminale mikrobielle Fermentation und damit auf das Pansenmilieu und die Azidoseinzidenz liegt im Zusammenwirken von pH-Wert und Dauer des Einflusses (CERRATO-SANCHEZ et al. 2008, ZEBELLI et al. 2008).

6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

6.1 Schlussfolgerungen

Basierend auf die vorliegende Studie können über die Auswirkungen unterschiedlicher Qualitäten von Wiesenfutter auf Futterwert, Leistungsdaten und Pansensaft-Parameter von Milchkühen folgende Schlüsse gezogen werden:

Aufgrund der morphologischen Entwicklung reduziert sich der Rohproteingehalt der Futterpflanzen mit zunehmendem Alter während sich der Rohfaseranteil erhöht.

Die später geernteten Wiesenfutter weisen aufgrund des fortgeschrittenen Vegetationsstadiums höhere Werte an Gerüstsubstanzen auf. Allerdings sanken gleichzeitig die Gehalte an Rohprotein, Rohfett und Rohasche, weshalb der relative Anteil an N-freien Extraktstoffen bzw. an Nichtfaser-Kohlenhydraten stieg.

Zusätzlich sind auch Verschiebungen in der Zusammensetzung der botanischen Artengruppen denkbar bzw. werden die Photosyntheseprodukte aufgrund der klimatischen Verhältnisse eventuell nicht vollständig in Strukturkohlenhydrate übergeführt.

Zur Beurteilung einer Ration müssen daher immer exakte Analysen herangezogen werden. Aussagen bezüglich der Futterqualität, die nur auf den Erntezeitpunkten basieren, sind nicht zulässig.

Auch die Abbaubarkeit sinkt im zeitlichen Verlauf aufgrund des geänderten Blatt/Stängel-Verhältnisses. Während das Blatt große Mengen an nahezu vollständig verdaulichen Zellinhaltsstoffen liefert, besteht der Stängel vorwiegend aus Gerüstsubstanzen mit geringer Abbaubarkeit. Durch die Konservierung als Heu ist Grundfutter wesentlich höheren Nährstoffverlusten ausgesetzt als bei Silierung.

Eine Verbesserung der Grundfutterqualität führt neben der höheren Schmackhaftigkeit aufgrund eines rascheren und vollständigeren Abbaus im Pansen zu höheren Futteraufnahmen. Krafftutter führt aufgrund von physikalischer und physiologischer Sättigung zu einer Verdrängung von Grundfutter, lässt die Gesamtfutteraufnahme jedoch steigen.

Die Nährstoffaufnahmen entsprechen der physiologischen Entwicklung und damit der chemischen Zusammensetzung der Futterpflanzen. Rohprotein, Rohfett, stickstofffreie Extraktstoffe und Rohasche wurden bei späterem Schnitt in verringerter Menge aufgenommen als bei früher Ernte. Rohfaser und Lignin verhielten sich umgekehrt. Geringere Grundfutteraufnahmen bei einer gleichzeitigen Steigerung der Krafftutteraufnahme bei spät geerntetem Wiesenfutter erhöhte die Aufnahme der Nichtfaser-Kohlenhydrate und minderte die Aufnahme der Gerüstsubstanzen NDF und ADF.

Durch die Unterbindung des aeroben Nährstoffabbaues bei der Gärfutterbereitung erhöhte die Vorlage von Silage die Rohprotein- und Rohfettaufnahme. Die Fermentation in Silage bildet aus rasch und leicht abbaubaren Kohlenhydraten v.a. Milchsäure. Darum stieg die anteilmäßige Aufnahme von schlechter verfügbaren Kohlenhydraten (ADF, ADL) bei Silagefütterung ebenfalls an.

Die höheren Gehalte an Nichtfaser-Kohlenhydraten bei Heu im Vergleich zu Silage bzw. beim späteren Erntezeitpunkt setzten sich bei der Aufnahme sowohl absolut als auch je kg TM fort.

Krafftutter liefert hohe Mengen an Nichtstruktur-Kohlenhydraten.

Silierung bewirkte durch das Unterbinden von Zellatmung und aerober Mikrobentätigkeit in der Ration ebenfalls wesentlich höhere nutzbare Proteingehalte.

Energie- und Proteinzufuhr beeinflussen die Milchleistung signifikant. Die Verwendung von Silage (im Vergleich zu Heu), ein früher Erntezeitpunkt des Wiesenfutters und Krafftutter erhöhten im vorliegenden Versuch die Milchmenge. Die Kühe befanden sich aufgrund der fortgeschrittenen Laktation in der anabolen Phase ihres Stoffwechsels. Die theoretische Milchleistung kann durch die tatsächliche Leistung – besonders bei Krafftuttereinsatz – nicht erreicht werden.

Krafftutter reduziert die Zahl der zellulolytischen Mikroben im Pansen und damit auch die verfügbare Essigsäure. Der Milchfettgehalt ist deshalb reduziert. Durch die höhere Anlieferung von Stärke aus Krafftutter steht gleichzeitig aber mehr Propionsäure für die Glukoneogenese zur Verfügung.

In jedem Fall ist der Einsatz von Krafftutter – unter Berücksichtigung des Laktationsstadiums – aufgrund der ökologischen und ökonomischen Auswirkungen kritisch zu prüfen.

Die Temperatur im Vormagenbereich unterliegt hochgradig dem Einfluss der Wasseraufnahme. Als Parameter zur Beurteilung des Zustandes des Pansenmilieus erscheint sie deshalb wenig geeignet.

Entscheidend für die Konzentrationen der flüchtigen Fettsäuren im Pansen sind neben Fütterungsfrequenz, Rationszusammensetzung und Futtermenge auch Absorptionsrate und Abbaubarkeit. Unterschiedliches Absorptionsvermögen der jeweiligen Magenregionen, teilweise hohe Durchmischungsraten sowie tierindividuell unterschiedliche Speichelproduktion und Absorptionskapazität erschweren den Vergleich und verringern den direkten Zusammenhang von Fettsäurenkonzentration und pH-Wert.

Maßgeblich für den pH-Wert im Pansen ist die Konzentration an leicht und rasch fermentierbaren Kohlenhydraten aus der Ration. Heu, später geerntetes Versuchsfutter und Krafftuttermengen bewirkten deutlich tiefere pH-Werte als Silage, früher Schnitt und Verzicht auf Krafftutter.

Zusätzlich zu den erzielten pH-Werten zeigt sich auch, dass die pH-Wert relevantesten Rationen (Heu, Krafftutterniveau 35 %) deutlich stärkere Schwankungen im Verlauf des pH-Wertes verursachen.

Liegt kein Abfall in den azidotischen Bereich vor, so sind Rationen, die konstant tiefere pH-Werte verursachen eventuell solchen Rationen, die zwar höhere Werte, dafür aber mit größerer Schwankungsbreite bewirken, vorzuziehen, da sich das Pansenmilieu besser darauf einstellen kann.

Rationen mit hohen Anteilen an leicht und rasch fermentierbaren Kohlenhydraten (Heu, späte Ernte, Krafftutterniveau 35 %) führen zu wesentlich höheren Zeitspannen in tiefen pH-Wert-Bereichen.

Die Wirkung der Fütterung setzt – unabhängig von der Rationszusammensetzung – nach etwa 30 Minuten ein. Aus tieferen pH-Wert-Bereichen erfolgt jedoch ein rascherer Anstieg in Richtung des Ausgangswertes. Diese, durch die Ration verursachte, höhere Schwankungsbreite und Schwankungsgeschwindigkeit könnte durch eine Erhöhung der Fütterungsfrequenz (z.B. Transponderfütterung) und damit verbundenen geringeren Futtermengen je Futterraufnahme oder Einsatz von TMR eventuell ausgeglichen werden.

Der verwendete Pansensensor kann als zuverlässiges Instrument zur Ermittlung von pH-Wert und Temperatur im Pansen betrachtet werden. Der Einsatz zur Klärung weiterer Forschungsfragen hinsichtlich der Pansenphysiologie – insbesondere in extremeren Bereichen (z.B. Azidose) – kann ebenso empfohlen werden wie die Ausstattung von Indikatortieren unter Praxisbedingungen, wobei vorerst noch die Kosten des Systems als limitierender Faktor anzusehen sind.

6.2 Zusammenfassung

Auswirkungen unterschiedlicher Qualitäten von Wiesenfutter auf Futterwert, Leistungsdaten und Pansensaft-Parameter von Milchkühen

Auf Grund des Leistungsniveaus in der heutigen Rinderproduktion und dem damit verbundenen Fütterungsregime ist die Pansenazidose (subacute rumen acidosis, SARA) nach der Ketose die zweithäufigste Stoffwechselerkrankung bei Milchkühen. Der hohe Einsatz von leicht und rasch fermentierbaren Kohlenhydraten (Krafftutter) bei gleichzeitiger Verdrängung strukturreicher Grundfuttermittel führt häufig zu bestandsweise auftretenden Problemen durch SARA und stellt eine beträchtliche Herausforderung sowohl für Landwirte als auch für Tierärzte dar.

In der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluss der Qualität von Wiesenfutter auf Futterwert, Leistungsdaten und Pansensaft-Parameter von Milchkühen sowie die Bedeutung des Krafftuttereinsatzes erhoben. In einem drei-faktoriellen Versuchsdesign wurden Auswirkungen von Konservierungsart (Heu vs. Silage), Vegetationsstadium (jüngeres vs. älteres Futter vom 1. Aufwuchs) sowie Krafftutterniveau (0 vs. 35 %) auf die genannten Parameter untersucht. Mit Hilfe von neu entwickelten Sensoren zur kabellosen intraruminalen pH-Wert- und Temperatur-Messung konnte besonderes Augenmerk auf die Messung der Werte im zeitlichen Verlauf gelegt werden.

Die fortschreitende physiologische Reife führte zu einer Steigerung der Gerüstsubstanzen, die Gehalte an Rohprotein, Rohfett und Rohasche waren in einem Ausmaß reduziert, dass der relative Anteil an Nichtfaser-Kohlenhydraten ebenfalls anstieg. Abbaubarkeit und Grundfutteraufnahme sanken ebenfalls.

Bei Silierung des Wiesenfutters war die Abnahme der Verdaulichkeit geringer als bei Heubereitung. Höhere Rohprotein- und Rohfettgehalte in Silage wiesen auf höhere Nährstoffverluste bei der Konservierung als Heu hin.

Die Versuchsdauer lies es nicht zu, Veränderungen von Lebendgewicht und Körperkondition zu diskutieren. Höhere Energie- und Proteinzufuhr (Silage, früher Schnitt, Krafftutterniveau 35 %) steigerten die Milchmenge. Die theoretische Milchleistung konnte aufgrund des fortgeschrittenen Laktationsstadiums nicht erreicht werden. Krafftuttergaben reduzierten den Milchfettgehalt und steigerten den Laktosegehalt.

Die Temperaturmessungen waren durch den Einfluss der Wasseraufnahme überlagert und konnten daher keinen signifikanten Zusammenhang zur vorgelegten Ration aufweisen.

Rationen mit höherem Anteil an rasch und leicht fermentierbaren Kohlenhydraten (Heu, später Schnitt, Krafftutterniveau 35 %) bewirkten eine pH-Wert-Senkung sowohl von Mittelwert als auch der Minima und Maxima.

Diese Rationen verursachten auch höhere Schwankungen und eine längere Verweildauer in tieferen pH-Wert-Bereichen.

Der Einsatz der Wirkung der Fütterung auf den pH-Wert erfolgte – unabhängig von der Rationszusammensetzung – nach etwa 30 Minuten. Rationen, die einen stärkeren Abfall verursacht hatten, führten jedoch zu einem rascheren Wiederanstieg aus einem tieferen pH-Wert-Bereich.

Die Wirkung der Rationszusammensetzung auf die ruminale mikrobielle Fermentation und damit auf Pansenmilieu und Azidoseinzidenz besteht aus dem Zusammenwirken von pH-Wert, Schwankungsbreite und Schwankungsdauer.

Schlagwörter: Wiesenfutterqualität, Krafftutter, Pansen, Azidose, pH-Wert, Sensor

6.3 Summary

Effects of different qualities of meadow forage on nutritive value, performance data and parameters of rumen fluid of dairy cows

Because of the high production level in modern cattle-farming and the associated feeding regimen acidosis (esp. subacute rumen acidosis, SARA) is the second most frequent metabolic disease of dairy cows. High proportions of quickly and easily fermentable carbohydrates (concentrate) and simultaneously substitution of forage containing much physically effective fiber often lead to a problem of herd health and represents a considerable challenge for farmers as well as vets.

In the present work the influence of quality of meadow forage and the use of concentrate on nutritive value, performance data and parameters of rumen fluid of dairy cows were investigated.

In a three-factorial experimental design the effects of conservation (hay vs. silage), stage of vegetation (younger vs. older forage of first growth) and level of concentrate (0 vs. 35%) were analysed.

Using a new assembled unit for wireless intraruminal measurement of pH value and temperature it was possible to pay special attention on examining the measured data in chronological course.

During physiological development of the meadow plants the contents of cell wall content increased while the contents of crude protein, crude fat and crude ash were reduced to such an extent that the relative share of non-fiber-carbohydrates also increased. Digestibility and feed intake decreased.

Ensiling of meadow forage caused a smaller decrease of digestibility than drying for hay. Increased contents of crude protein and crude fat in silage indicate higher nutrient losses by conservation as hay.

The duration of the experiment was too short to discuss changes in live weight and body condition. Higher energy and protein supply (achieved by conservation as silage, by early harvest or the high concentrate level of 35%) increased milk quantity. The actual milk yield was lower than the theoretical one due to advanced stage of lactation. Concentrate decreased the milk fat content and increased the lactose content.

Temperature measurements were superimposed by the effect of water intake of the animals, a significant effect of the diet could therefore not be found.

Diets with higher content of quickly and easily fermentable carbohydrates (hay, later harvest, concentrate level 35%) caused reductions of pH values (measured as mean, minimum and maximum of pH).

These diets caused also higher fluctuations and longer length of stay in areas of deeper pH values.

The onset effect of feeding on pH value took place after 30 minutes, independently of the diet. Diets causing a higher decrease of pH value raised out faster out of a low pH value area.

The effect of diet on ruminal microbial fermentation and thereby on rumen fluid and incidence of acidosis consists of the interaction of pH value, range of fluctuation and duration of fluctuation.

Keywords: grass forage quality, concentrate, rumen, acidosis, pH value, sensor

7 Literaturverzeichnis

ALLEN, M.S., 1997: Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. *J. Dairy Sci.* 80, 1447-1462.

ALVA (Arbeitsgemeinschaft landwirtschaftlicher Versuchsanstalten), 1983: Österreichisches Methodenbuch für die Untersuchung von Futtermitteln, Futterzusatzstoffen und Schadstoffen. Selbstverlag ALVA.

ALZAHAL, O., B. RUSTOMO, N.E. ODONGO, T.F. DUFFIELD und B.W. McBRIDE, 2007: Technical note: a system for continuous recording of ruminal pH in cattle. *J. Anim. Sci.* 85, 213-217.

ALZAHAL, O., E. KEBREAB, J. FRANCE, M. FROETSCHEL und B.W. McBRIDE, 2008: Ruminal Temperature may aid in the detection of subacute rumen acidosis. *J. Dairy Sci.* 91, 202-207.

BAUMGARTNER, W., 2005: Klinische Propädeutik der inneren Krankheiten und Hautkrankheiten der Haus- und Heimtiere. Parey Verlag, Stuttgart.

BEAUCHEMIN, K.A., 2007: Ruminal acidosis in dairy cows: balancing physically effective fiber with starch availability. Florida Ruminant Nutrition Symposium, 30.-31. Jänner 2007, Gainesville, FL.

BELKNAP, E.B. und C.B. NAVARRE, 2000: Differentiation of gastrointestinal diseases in adult cattle. *Vet. Clin. N. Am. Food Anim. Pract.* 16, 59–86.

BFW 2009: Datengrundlage: Digitale Bodenkarte von Österreich, 1km-Raster Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW).

BLOOD, D.C. und O.M. RADOSTITS, 1989: *Veterinary Medicine*. Ed. Balliere and Tindall, London.

BORCHERT, U., 2007: Einfluss unterschiedlicher Fütterungsstrategien (getrennte Vorlage, TMR) auf die Fermentationsbedingungen und Umsetzungen im Pansen der Milchkuh. Diss. Univ. Bonn.

BRUNSCH, R., U. BREHME und M. TÜRK, 2001: Management im Kuhstall – ein Beitrag zur gläsernen Produktion. ForschungsReport 2, 8-11.

BUCHGRABER, K. und R. RESCH, 1993: Der Einfluss der Produktion von Grassilage auf die Futterqualität und Gärbiologie sowie die Auswirkungen auf die Verfütterung und Milchqualität in der Praxis – Silageprojekt „Steirisches Ennstal“. BAL Gumpenstein, Veröffentlichung Heft 20, 11-32.

BUCHGRABER, K. und G. GINDL, 2004: Zeitgemässe Grünlandbewirtschaftung. Leopold Stocker Verlag, Graz/Stuttgart.

CERRATO-SANCHEZ, M., S. CALSAMIGLIA und A. FERRET, 2008: Effect of the magnitude of the decrease of rumen pH on rumen fermentation in a dual-flow continuous culture system. *J. Anim. Sci.* 86, 378-383.

CHENG, K.J., T.A. McALLISTER, J.D. POPP, A.N. HRISTOV, Z. MIR und H.T. SHIN, 1998: A review of bloat in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 76, 299-308.

- COOPER, R.J., T.J. KLOPFENSTEIN, R.A. STOCK, C.T. MILTON, D.W. HEROLD und J.C. PARROTT, 1999: Effects of imposed feed intake variation on acidosis and performance of finishing steers. *J. Anim. Sci.* 77, 1093-1099.
- COTTEE, G., I. KYRIAZAKIS, T.M. WIDOWSKI, M.I. LINDINGER, J.P. CANT, T.F. DUFFIELD, V.R. OSBORNE und B.W. McBRIDE, 2004: The effects of subacute ruminal acidosis on sodium bicarbonate-supplement water intake for lactating cows. *J. Dairy Sci.* 87, 2248-2253.
- DADO, R.G. und M.S. ALLEN, 1993: Continuous computer acquisition of feed and water intakes, chewing, reticular motility and ruminal pH of cattle. *J. Dairy Sci.* 76, 1589-1600.
- DE BRABANDER, D.L., J.L. DE BOEVER, J.M. VANACKER, C.V. BOUCQUE und S.M. BOTTERMAN, 1999: Evaluation of physical structure in dairy cattle nutrition. In: GARNSWORTHY, P.C. und J. WISEMAN (Ed.): *Recent Advances in Animal Nutrition*. Nottingham Univ. Press, 111-145.
- DIRKSEN, G., 1975: Eine lenkbare Sonde zur gezielten Pansensaftentnahme beim Rind. *Tierärztl. Umschau* 8, 367-370.
- DIRKSEN, G., 1985: Der Pansenazidose-Komplex – neuere Erkenntnisse und Erfahrungen. *Tierärztl. Praxis* 13, 501-512.
- DIRKSEN, G., 1990: Verdauungsapparat. In: ROSENBERGER, G. (Ed.): *Die klinische Untersuchung des Rindes*. Verlag Paul Parey, Berlin/Hamburg, 288-400.
- DIRKSEN, G., 2002: Krankheiten von Haube und Pansen beim ruminanten Rind. In: ROSENBERGER, G. (Ed.): *Innere Medizin und Chirurgie des Rindes*. Blackwell Verlag, Berlin/Wien, 429-493.
- DIRKSEN, G., 2006: Krankheiten von Haube und Pansen beim ruminanten Rind. In: DIRKSEN, G., H.D. GRÜNDER und M. STÖBER (Ed.): *Innere Medizin und Chirurgie des Rindes*. Parey in MVS Medizinverlage, Stuttgart, 396-455.
- DIRKSEN, G., H.G. LIEBICH und E. MEYER, 1985: Adaptive changes of the ruminal mucosa and their functional and clinical significance. *Bovine Pract.* 20, 116-120.
- DLG (Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft), 2004: *Grobfutterbewertung*. DLG-Ausschuss für Futtermittelkonservierung, Frankfurt.
- DONOVAN, J., 1997: Subacute rumen acidosis is costing us millions. *Hoard's Dairyman* 142, 666.
- DUDEN, 1984: *Chemie*. Bibliographisches Institut, Mannheim/Wien/Zürich, Dudenverlag.
- DUFFIELD, T., J.C. PLAIZIER, A. FAIRFIELD, R. BAGG, G. VESSIE, P. DICK, J. WILSON, J. ARAMINI und B. McBRIDE, 2004: Comparison of techniques for measurement of rumen pH in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87, 59-66.
- EDMONDSON, A.J., I.J. LEAN, L.D. WEAVER, T. FARVER und G. WEBSTER, 1989: A body condition scoring chart of Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 54, 979-979.
- ENEMARK, J.M.D., 2008: The monitoring, prevention and treatment of sub-acute ruminal acidosis (SARA): a review. *The Veterinary Journal* 176, 32-43.
- ENEMARK, J.M.D. und R.J. JØRGENSEN, 2001: Subclinical rumen asidosis as a cause of reduced appetite in newly calved dairy cows in Denmark: Results of a poll among Danish dairy practitioners. *Vet Q.* 23, 206-210.

- ENEMARK, J.M.D., G. PETERS und R.J. JØRGENSEN, 2002: Continuous monitoring of rumen pH – a case study with cattle. *J. Vet. Med.* A50, 62-66.
- ENJALBERT, F., Y. VIDEAU, M.C. NICOT und A. TROEGELER-MEYNADIER, 2007: Effects of induced subacute ruminal acidosis on milk fat content and fatty acid profile. *J. Anim. Physiol. a. Nutr.* 92, 264-291.
- FANK, J., H. THEURETZBACHER und C. RUCH, 2004: Bericht zur hydrologischen Exkursion. Modul Hydrologie und Hydrogeographie, WS 2003/2004, Karl-Franzens-Universität Graz.
- FAVERDIN, P., J.P. DULHY, J.B. COULON, R. VERITE, L.P. GAREL, L. ROUEL und B. MARQUIS, 1991: Substitution of roughtage by concentrates for dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 27, 137-156.
- FOX, D.G., C.J. SNIFFEN, J.D. O'CONNOR, J.B. RUSSELL und P.J. VAN SOEST, 1992: A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. III. Cattle requirements and diet adequacy. *J. Anim. Sci.* 70, 3578-3596.
- GANTKE, S.M., K. NUSS und R. KÖSTLIN, 1998: Röntgenbefunde bei der Klauenrehe des Rindes. *Tierärztl. Praxis* 26, 239-246.
- GARRETT, E.F., 1996: Subacute rumen acidosis (SARA): *Large Anim. Vet.* 51, 6-10.
- GARRETT, E.F., K.V. NORDLUND, W.J. GOODGER, und G.R. OETZEL, 1997: A cross-sectional field study investigating the effect of periparturient dietary management on ruminal pH in early lactation dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80, 169.
- GARRETT, E.F., M.N. PEREIRA, K.V. NORDLUND, L.E. ARMENTANO, W.J. GOODGER und G.R. OETZEL, 1999: Diagnostic methods for the detection of subacute ruminal acidosis in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82, 1170-1178.
- GASTEINER, J., 2001: Grundlagen der Verdauungsvorgänge beim Rind – Pansenphysiologie, Pansenazidose. Bericht 28. Viehwirtschaftliche Fachtagung, BAL Gumpenstein, 2.-3. Mai 2001, 69-73.
- GASTEINER, J., M. FALLAST, M. ROSENKRANZ, J. HÄUSLER, K. SCHNEIDER, M. SCHWAB und T. GUGGENBERGER, 2008: Möglichkeiten zur Messung des pH-Wertes im Pansen. Bericht 35. Viehwirtschaftliche Fachtagung, LFZ Raumber-Gumpenstein, 9.-10. April 2008, 27-32.
- GASTEINER, J., T. GUGGENBERGER, J. HÄUSLER und K. SCHNEIDER, 2010: Zusammenhänge zwischen Pansen-pH-Wert und der Fütterung sowie die Bedeutung für die Tiergesundheit – Untersuchungen zum Einsatz einer intraruminalen, kabellosen pH-Messeinheit. Abschlussbericht Projekt PanSens I, Projekt Nr. 100378/1 BMLFUW.
- GEISHAUSER, T. und A. GITZEL, 1996: A comparison of rumen fluid sampled by oro-ruminal probe versus rumen fistula. *Small Ruminant Research* 21, 63-69.
- GOAD, D.W., C.L. GOAD und T.G. NAGARAJA, 1997: Ruminal microbial and fermentative changes associated with experimentally induced subacute acidosis in steers. *J. Anim. Sci.* 76, 234-241.
- GOENSE, D., W. HOUWERS, A. KLOP, H.C. MÜLLER, D. UNSENOS und W. WEHREN, 2008: A wireless network for measuring rumen pH in dairy cows. *Proc. Livestock Precision Farming 2009*, Wageningen Publishers, 117-125.

- GOERING, H.K. und P.J. VAN SOEST, 1970: Forage fiber analysis (Apparatus, reagents, procedures and some applications). Agric. Handbook 379, Washington, DC, USA, ARS, USDA, 1-20.
- GRAGGABER, S., 2004: Einfluss der Konservierung von Wiesenfutter und Silomais auf die Gehalte an Kohlenhydraten und Protein nach dem Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS). Dipl.Arbeit BOKU Wien.
- GRANT, J.R. und D.R. Mertens, 1992: Influence of buffer pH and raw corn starch addition on in vitro fiber digestion kinetics. J. Dairy Sci. 75, 2762-2768.
- GRESSLEY, T.F., M.B. HALL und L.E. ARMENTANO, 2011: RUMINANT NUTRITIONAL SYMPOSIUM: Productivity, digestion, and health responses to hindgut acidosis in ruminants. J. Anim. Sci. 89, 1120-1130.
- GRUBER, L., 2007: Einfluss der Krafftuttermenge auf Futteraufnahme und Leistung von Milchkühen. Bericht 34. Viehwirtschaftliche Fachtagung, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 19.-20. April 2007, 35-51.
- GRUBER, L., 2009: Chemische Zusammensetzung, Analytik und Bedeutung pflanzlicher Gerüstsubstanzen in der Ernährung der Wiederkäuer. Übers. Tierernährg. 37, 45-86.
- GRUBER, L., R. STEINWENDER und W. BAUMGARTNER, 1995: Einfluss von Grundfutterqualität und Krafftutterniveau auf Leistung, Stoffwechsel und Wirtschaftlichkeit von Kühen der Rasse Fleckvieh und Holstein Friesian. Bericht 22. Tierzuchttagung, BAL Gumpenstein, 9.-10. Mai 1995, 1-49.
- GRUBER, L., A. STEINWIDDER, T. GUGGENBERGER, A. SCHAUER, J. HÄUSLER, R. STEINWENDER und B. STEINER, 2000: Einfluss der Grünlandbewirtschaftung auf Ertrag, Futterwert, Milcherzeugung und Nährstoffausscheidung. Bericht 27. Viehwirtschaftliche Fachtagung, BAL Gumpenstein, 6.-8. Juni 2000, 41-88.
- GRUBER, L., F.J. SCHWARZ, D. ERDIN, B. FISCHER, H. SPIEKERS, H. STEINGASS, U. MEYER, A. CHASSOT, T. JILG, A. OBERMAIER und T. GUGGENBERGER, 2004: Vorhersage der Futteraufnahme von Milchkühen – Datenbasis von 10 Forschungs- und Universitätsinstituten Deutschlands, Österreichs und der Schweiz. 116. VDLUFA Kongress, 13.-17. Sept. 2004, Rostock, Kongressband 2004, 484-505.
- GRUBER, L., G. STÖGMÜLLER, K. TAFERNER, L. HABERL, G. MAIERHOFER, B. STEINER, A. STEINWIDDER, A. SCHAUER und W. KNAUS, 2005: Protein- und Kohlenhydrat-Fractionen nach dem Cornell net carbohydrate and protein system sowie ruminaler Nährstoffabbau in situ von energie- und proteinreichen Krafftuttermitteln. Übers. Tierernährg. 33, 1-15.
- GRUBER, L., F. WIELSCHER, A. SCHAUER und M. URDL, 2008: Abbau der Trockenmasse in situ in Abhängigkeit von Vegetationsstadium und Aufwuchs. Bericht ALVA-Jahrestagung, LFZ Raumberg-Gumpenstein, 26.-27. Mai 2008, 164-167.
- GRUBER, L., A. SCHAUER, J. HÄUSLER, A. ADELWÖHRER, K.-H. SÜDEKUM, F. WIELSCHER, M. URDL und S. KIRCHHOF, 2010: Einfluss des Wachstumsstadiums von Dauerwiesenfutter auf Ertrag, Futterwert, Futteraufnahme und Leistung bei Milchkühen im Laufe einer ganzen Vegetationsperiode. 122. VDLUFA Kongress, 21.-24. Sept. 2010, Kiel, Kongressband 2010, 633-671.
- HÄUSLER, J., 2006: Körperkonditionsbeurteilung von Milchkühen - So kontrollieren Sie Ihre Fütterung. Der Fortschrittliche Landwirt 2006/22, 53-62.
- HENNEBERG, W. und F. STOHMANN, 1864: Beiträge zur Begründung einer rationellen Fütterung der Wiederkäuer. 2. Heft, Braunschweig.

- HOFFMANN, M., 1990: Tierfütterung. Dt. Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- HUSS, W., 1987: Wirtschaftsfuttermittel und ihre Konservierung – Grünfütter, Sliagen, Rauhfuttermittel (Grünfütterkonservierung). In: MENKE, K.H. und W. HUSS (ED.): Tierernährung und Futtermittelkunde. UTB Ulmer, 178.
- HUTJENS, M.F., 1998: Rumen acidosis. University of Illinois Extension. www.livestocktrail.uiuc.edu/dairynet/paperDisplay.cfm?ContentID=215. Letzter Zugriff: 15. März 2011.
- INNERHOFER, W., 1998: Beziehungen zwischen Fütterung und Milchleistung, Milchinhaltsstoffen, Harnstoff-, Zellgehalt und Fruchtbarkeit in 30 Betrieben mit Mischration. Dipl.Arbeit BOKU Wien.
- IPEMA, A.H., D. GOENSE, P.H. HOGWERF, H.W.J. HOUWERS und H.I.J. ROEST, 2008: Pilot study to monitor body temperature of dairy cows with a rumen bolus. Computers and Electronics in Agriculture 64(1), 49-52.
- ISAACSON, H.R., F.C. HINDS, M.P. BRYANT und F.N. OWENS, 1975: Efficiency of energy utilization by mixed rumen bacteria in continuous culture. J. Dairy Sci. 58, 1645-1659.
- JEROCH, H., W. DROCHNER und O. SIMON, 2008: Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere. Verlag Ulmer, Stuttgart.
- JOHNSON, V.W. und J.D. SUTTON, 1968: The continuous recording of the pH in the bovine rumen. Br. J. Nutr. 22, 303-307.
- KAUFMANN, W., 1976: Influence of the composition of the ration and the feeding frequency on pH-regulation in the rumen and on feed intake in ruminants. Livest. Prod. Sci. 3, 103-114.
- KAUFMANN, W., H. HAGEMEISTER und G. DIRKSEN, 1980: Adaptation to changes in dietary composition, level and frequency of feeding. In: RUCKEBUSCH, J. und C. THIVEND (Ed.): Digestive Physiology and Metabolism in Ruminants. Lancaster. MTP Press, 587-602.
- KEUNEN, J.E., J.C. PLAIZIER, L. KYRIAZAKIS, T.F. DUFFIELD, T.M. WIDOWSKY, M.I. LINDINGER und B.W. McBRIDE, 2002: Effects of a subacute ruminal acidosis model on the diet selection of dairy cows. J. Dairy Sci. 85, 3304-3313.
- KEUNEN, J.E., J.C. PLAIZIER, L. KYRIAZAKIS, T.F. DUFFIELD, T.M. WIDOWSKY, M.I. LINDINGER und B.W. McBRIDE, 2003: Effects of a subacute ruminal acidosis on free-choice intake of sodium bicarbonate in lactating cows. J. Dairy Sci. 86, 954-957.
- KILIC, U., 2011: Use of wireless rumen sensors in ruminant nutrition research. Asian J. Anim. Sci. 5, 46-55.
- KIRCHGESSNER, M., F.X. ROTH, F.J. SCHWARZ und G.I. STANGL, 2008: Tierernährung. DLG-Verlag, Frankfurt, 12. Auflage.
- KLEEN, J.L., 2004: Prevalence of subacute ruminal acidosis in dutch dairy herds – a field study. Diss. TiHo Hannover.
- KLEEN, J.L., G.A. HOOIJER, J. REHAGE und J.P.T.M. NOORDHUIZEN, 2003: Subacute ruminal acidosis (SARA): a review. J. Vet. Med. A50, 406-414.
- KLEEN, J.L., G.A. HOOIJER, J. REHAGE und J.P. NOORDHUIZEN, 2004: Rumenocentesis (rumen puncture): a viable instrument in herd health diagnosis. Dtsch. Tierärztl. Wochenschrift 111, 458-462.
- KLEINMANS, J. und V. POTTHAST, 1989: Zur Verdrängung von Grundfutter durch Kraftfutter in der Milchviehfütterung. Übers. Tierernährg. 12, 165-186.

- KOFLER, J., 2001: Beziehung zwischen Fütterung und Gliedmaßenkrankungen bei Rindern – Diagnostik, Therapie und Prophylaxe. Bericht 28. Viehwirtschaftliche Fachtagung, BAL Gumpenstein, 2.-3. Mai 2001, 75-89.
- KRAUSE, K.M. und G.R. OETZEL, 2006: Understanding and preventing subacute ruminal acidosis in dairy herds: a review. *J. Anim. Feed Sci. Technol.* 126, 215-236.
- LEAN, I.J., C.T. ESTWOOD und M.C. PLAYFORD, 2008: Livestock disease threats associated with intensification of pastoral dairy farming. *New Zealand Veterinary Journal* 56, 261-269.
- LEBZIEN, P., K. ROHR und H.J. OSLAGE, 1981: Untersuchungen über die Abhängigkeit der Fettsäureproduktion im Pansen von der Rationszusammensetzung. *Arch. Tierernährung* 31, 685-696.
- LIN, X., 2009: Evaluation of Kahne rumen sensors in fistulated sheep and cattle under contrasting feeding conditions. Masterarbeit, Massey Univ. Palmerston North, New Zealand.
- LISCHER, CH.J. und P. OSSENT, 2002: Pathogenesis of sole lesions attributed to laminitis in cattle. In: SHEARER, J.K. (Ed.): 12th Int. Symposium on Lameness in Ruminants. Orlando, USA, 82-89.
- MAULBETSCH, A., 2005: Untersuchungen zum Einfluss von Heuqualität und Kraftfutterniveau auf Verdauungsvorgänge in unterschiedlichen Schichten und Phasen des Panseninhaltes bei Milchkühen. Diss. Univ. Hohenheim.
- McARTHUR, J.M. und J.E. MILLIMORE, 1968: Continuous recording of in vivo rumen pH in fistulated cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 48, 237-240.
- McDONALD, P., A.R. HENDERSON und S.J.E. HERON, 1991: *The Biochemistry of Silage*. Chalcombe Publications, 2nd Edition.
- MERTENS, D.R., 1997: Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80, 1463-1481.
- MINSON, D.J., 1990: Forage in ruminant Nutrition. Academic Press Inc. San Diego, 9-17.
- MORGANTE, M., C. STELLETTA, P. BERZAGHI, M. GIANESELLA und I. ANDRIGHETTO, 2007: Subacute rumen acidosis in lactating cows: an investigation intensive Italian dairy herds. *J. Anim. Physiol. a. Nutr.* 91, 226-234.
- MORTIMER, C.E., 1996: *Chemie*. Georg Thieme Verlag Stuttgart/New York.
- MOTTRAM, T., J. LOWE, M. McGOWAN und N. PHILLIPS, 2008,: Technical note: a wireless telemetric method of monitoring clinical acidosis in dairy cows. *Computers and Electronics in Agriculture* 64, 45-48.
- MOULD, F. und E.R. ØRSKOV, 1983: Manipulation of rumen fluid pH and its influence on cellulolysis in sacco, dry matter degradation and the rumen microflora of sheep offered either hay or concentrate. *Anim. Feed Sci. Technol.* 10, 1-14.
- MUTSVANGWA, T., 2003: Sub-acute ruminal acidosis (SARA) in dairy cows. www.omafra.gov.on.ca/english/livestock/dairy/facts/03-031.htm. Letzter Zugriff: 15. März 2011.
- NAGARAJA, T.G. und E.C. TITGEMEYER, 2007: Ruminal acidosis in beef cattle: the current microbiological and nutritional outlook. *J. Dairy Sci.* 90, 17-38.
- NAPPERT, G. und J.M. NAYLOR, 2001: A comparison of pH determination methods in food animal practice. *Can. Vet. J.* 42, 364-367.

- NEIDL, A., 2010: Überprüfung von fünf verschiedenen Sonden zur Pansensaftentnahme beim adulten Rind auf Zuverlässigkeit, Praxistauglichkeit und Genauigkeit der gelieferten Ergebnisse. Diss. VMU Wien.
- NIGM, M., 1986: Einfluss verschiedener Futtermittel auf den pH-Wert, die Produktion von Ammoniak und flüchtigen Fettsäuren im Pansen. Diss. BOKU Wien.
- NOCEK, J.E., 1997: Bovine acidosis: implications of laminitis. *J. Dairy Sci.* 80, 1005-1028.
- NOCEK, J.E., J.G. ALLMAN und W.P. KAUTZ, 2002: Evaluation of an inwelling ruminal probe methodology and effect of grain level on diurnal pH variation in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 85, 422-428.
- NORDLUND, K.V., 2003: Herd-based diagnosis of subacute ruminal acidosis. American Association of Bovine Practitioners, Preconvention Seminar 7, 36th Conference, 15.-17. September 2003, Columbus, OH.
- NORDLUND, K.V. und E.F. GARRETT, 1994: Rumenocentesis: a technique for the diagnosis of herd-based subacute rumen acidosis. *Bovine Practitioner* 28, 109-112.
- NORDLUND, K.V., E.F. GARRETT und G.R. OETZEL, 1995: Herd-based rumenocentesis: a clinical approach to the diagnosis of subacute rumen acidosis. *Compend. Contin. Educ. Pract. Vet.* 17, 48-56.
- NULTSCH, W., 1986: Allgemeine Botanik. Thieme Verlag, Stuttgart/New York.
- O'GRADY, L., M.L. DOHERTY und F.J. MULLIGAN, 2007: Subacute ruminal acidosis (SARA) in grazing Irish dairy cows. *The Veterinary Journal* 176, 44-49.
- OETZEL, G.R., K.V. NORLUND und E.F. GARRETT, 1999: Effect of ruminal pH and stage of lactation on ruminal lactate concentrations in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82, 38.
- OETZEL, G.R., 2003: Herd-based biological testing for metabolic disorders. American Association of Bovine Practitioners, Preconvention Seminar 7, 36th Conference, 15.-17. September 2003, Columbus, OH.
- ØRSKOV, E.R., 1986: Starch digestion and utilization in ruminants. *J. Anim. Sci.* 63, 1624-1633.
- OSSENT, P., P.R. GREENOUGH und J.J. VERMUNT, 1997: Laminitis. In: GREENOUGH, P.R. und A.D. WEAVER (Ed.): Lameness in cattle. Saunders Company, Philadelphia, 277-292.
- OWENS, F.N., D.S. SECRIST, W.J. HILL und D.R. GILL, 1998: Acidosis in cattle: a review. *J. Anim. Sci.* 76, 275-286.
- PENNER, G.B., K.A. BEAUCHEMIN und T. MUTSVANGWA, 2006: An evaluation of the accuracy and precision of a stand-alone submersible continuous ruminal pH Measurement system. *J. Dairy Sci.* 89, 2132-2140.
- PENNER, G.B., K.A. BEAUCHEMIN und T. MUTSVANGWA, 2007: Severity of ruminal acidosis in primiparous Holstein cows during the periparturient period. *J. Dairy Sci.* 90, 365-375.
- PENNER, G.B., M.A. STEELE, J.R. ASCHENBACH und B.W. McBRIDE, 2011: RUMINANT NUTRITIONAL SYMPOSIUM: Molecular adaptation of ruminal epithelia to highly fermentable diets. *J. Anim. Sci.* 89, 1108-1119.
- PFINGSTNER, H., 1993: Produktionskosten und Wettbewerb in der Rinderhaltung. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Agrarwirtschaft, Wien, 72.

- PIATKOWSKI, B., H. GÜRTLER und J. VOIGT, 1990: Grundzüge der Wiederkäuer-Ernährung. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- PLAZIER, J.C., D.O. KRAUSE, G.N. GOZHO und B.W. McBRIDE, 2008: Subacute ruminal acidosis in dairy cows: The physiological causes, incidence and consequences. The Veterinary Journal 176, 21-31.
- RESCH, R., 2007: Neue Futterwerttabellen für den Alpenraum. Bericht 34. Viehwirtschaftliche Fachtagung, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 19.-20. April 2007, 61-75.
- RESCH, R., 2008: Grundfutterqualität – Bewertung der wichtigsten Einflüsse. Bericht 5. Fachtagung für Schafhaltung, LFZ Raumberg-Gumpenstein, 2008, 1-7.
- RESCH, R., T. GUGGENBERGER, G. WIEDNER, A. KASAL, K. WURM, L. GRUBER, F. RINGDORFER und K. BUCHGRABER, 2006: Futterwerttabellen für das Grundfutter im Alpenraum. Der Fortschrittliche Landwirt 24, Sonderbeilage.
- RIEMEIER, A., 2004: Einfluss der ruminalen Stickstoffbilanz (RNB) auf die Pansenfermentation, mikrobielle Proteinsynthese, Menge des am Dünndarm anflutenden nutzbaren Proteins (nXP) sowie die Stickstoffausscheidung. Diss. TiHo Hannover.
- ROBLES, V., L.A. GONZALEZ, A. FERRET, X. MANTECA und S. CALSAMIGLIA, 2007: Effects of feeding frequency on intake, ruminal fermentation and feeding behavior in heifers fed high-concentrate diets. J. Anim. Sci. 85, 2538-2547.
- ROSSOW, N., 2003: Die Pansenacidose – wichtigste fütterungsbedingte Erkrankung der Milchkuh. web2.cylex.de/firma-homepage/http%3A/www.portal-rind.de-5230703.html. Letzter Zugriff: 15. März 2011.
- ROSSOW, N., 2008: Beziehung zwischen Milchfettdepression und subakuter Pansenazidose. <http://www.portal-rind.de/index.php?name=News&file=article&sid=132&theme=Printer>. Letzter Zugriff: 15. März 2011.
- ROTZ, C.A. und R.E. MUCK, 1994: Changes in forage quality during harvest and storage. In: Fahey, G.C., M. Collins, D.R. MERTENS und L.E. Moser (Ed.): Forage Quality, Evaluation, and Utilization. National Conference on Forage Quality, Evaluation, and Utilization. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, USA, 828-868.
- RÜHLE, R., 1990: Untersuchungen an Milchkühen zum Einsatz von Milchleistungsfuttern mit unterschiedlich hohen Gehalten leichtfermentierbarer Kohlenhydrate bei rationierter und freier Grundfutteraufnahme. Diss. Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- RUSSELL, J.B., J.D. O'CONNOR, D.G. FOX, P.J. VAN SOEST und C.J. SNIFFEN, 1992: A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. I. Ruminal fermentation. J. Anim. Sci. 70, 3551-3561.
- RUSTOMO, B., O. ALZAHAL, J.P. CANT, M.Z. FAN, T.F. DUFFIELD, N.E. ODONGO und B.W. McBRIDE, 2006: Acidogenic value of feeds II. Effects of rumen acid load from feeds on dry matter intake, ruminal pH, fiber degradability and milk production in the lactating dairy cow. Can. J. Anim. Sci. 86, 119-126.
- SAUNDERS, W.B., 2001: Principles of health management of food-producing animals. In: RADOSTITS, O. (Ed.): Heard Health, Food Animal Production Medicine. Philadelphia, 1-45.
- SCHEIDEMANN, C., 2001: Vergleichende Untersuchungen zur Fütterung von Totalen Mischrationen (TMR) bei Milchkühen. Diss. TiHo Hohenheim.
- SCHNEIDER, K., J. GASTEINER, T. GUGGENBERGER, M. URDL, S. ROSENKRANZ, M. FALLAST, S. STEINER, A. NEIDL, N. LINHART und W. BAUMGARTNER, 2008:

Vergleichende Untersuchungen zur Messung des pH-Wertes im Vormagensystem von Rindern. Berl. Münch. Tierärztl. Wochenschr. 123, 10-16.

SCHRÖDER, A., B. PIEPER und J. LICKFETT, 2000: Einsatz von pansengeschütztem Fett bei Hochleistungskühen aus der Sicht der Beratung. Handbuch der tierischen Veredelung 2000, Kamlage Verlag, Osnabrück, 407-418.

SCHUMMER, A. und K.H. HABERMEHL, 1987: Verdauungsapparat. In: NICKEL, R., A. SCHUMMER und E. SEIFERLE (Ed.): Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Band II. Verlag Paul Parey, Berlin/Hamburg, 19-194.

SCHWARTZKOPF-GENSWEIN, K.S., K.A. BEAUCHEMIN, D.J. GIBB, D.H. CREWS JR, D.D. HICKMAN, M. STREETER und T.A. McALLISTER, 2003: Effect of bunk management on feeding behaviour, ruminal acidosis and performance of feedlot cattle: a review. J. Anim. Sci. 81, 149-158.

SCHWARZ, F.J., 2000: Fütterung hochleistender Milchkühe (Energie- und Proteinversorgung, Wiederkäuergerechtigkeit). Bericht 27. Viehwirtschaftliche Fachtagung, BAL Gumpenstein, 6.-8. Juni 2000, 19-25.

SEEMANN, G. und M. SPOHR, 2007: Untersuchungen zur Häufigkeit der subklinischen Pansenazidose und zur Zuverlässigkeit üblicher Diagnostika. Bericht 32. Fortbildungsveranstaltung Labordiagnostik in der Bestandsbetreuung, 22. Juni 2007, Tierklinik Leipzig, 16-19.

SHAVER, R.D., 1998: Prevention of sub-acute rumen acidosis (SARA) in dairy cows. <http://www.wisc.edu/dysci/uwex/nutritn/pubs/NutrAndMgt/PreventionofSub-AcuteRumen.html>. Letzter Zugriff: 1. November 2009.

SIEVERS, A.K., 2005: Entwicklung einer intraruminalen Datenmesseinheit als Managementhilfe in der Milchviehhaltung. Diss. Christian-Albrechts-Univ. Kiel.

SLYTER, L.L., 1976: Influence of acidosis on rumen function. J. Anim. Sci. 43, 910-929.

SMITH, V.R., 1941: In vivo studies of hydrogen ion concentrations in the rumen of the dairy cow. J. Dairy Sci. 24, 659-665.

SNIFFEN, C.J., J.D. O'CONNOR, P.J. VAN SOEST, D.G. FOX und J.B. RUSSELL, 1992: A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. II. Carbohydrate and protein availability. J. Anim. Sci. 70, 3562-3577.

SPIEKERS, H., 2004: Tierphysiologische Anforderungen an die Silagequalität, LfL, Grub.

STEINGASS, H. und Q. ZEBELLI, 2008: Strukturbewertung von Rationen für Milchkühe. Bericht 35. Viehwirtschaftliche Fachtagung, LFZ Raumberg-Gumpenstein, 9.-10. April 2008, 19-25.

STEWART, C.S., 1977: Factors affecting cellulolytic activity of rumen contents. Appl. Environm. Microbiol. 33, 497-502.

STONE, W.C., 1999: The effect of subclinical rumen acidosis on milk components. Proceedings Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers, Cornell University, Ithaca, New York, 40-46.

STRABEL, D., A. EWY, T. KAUFMANN, A. STEINER und M. KIRCHHOFER, 2007: Rumenozentese: Eine geeignete Methode zur Bestimmung des pH-Wertes im Pansensaft? Schweiz. Arch. Tierheilkde. 149, 301-307.

- TAFERNER, K.C., 2006: Einfluss von Vegetationsstadium, Sorte, Konservierung und Standort von Silomais auf den Gehalt an Protein und Kohlenhydraten nach dem Cornell-System und auf den in-Situ-Abbau der Trockenmasse. Dipl.Arbeit BOKU Wien.
- TIEFENTHALER, F., 2009: Entwicklung der Qualität von Silagen und Heu im österreichischen Grünland – Konsequenzen für die Fütterungspraxis. Bericht 15. Alpenländisches Expertenforum, LFZ Raumberg-Gumpenstein, 26. März 2009, 25-28.
- ULBRICH, M., M. HOFFMANN und W. DROCHNER, 2004: Fütterung und Tiergesundheit. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- URDL, M., L. GRUBER, A. SCHAUER, G. MAIERHOFER, J. HÄUSLER, T. GUGGENBERGER und A. STEINWIDDER, 2007: Einfluss der Energieversorgung vor und nach der Abkalbung auf die Stoffwechselsituation von Milchkühen. Bericht 34. Viehwirtschaftliche Fachtagung, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 19.-20. April 2007, 15-18.
- VAN SOEST, P.J., 1967: Development of a comprehensive system of feed analysis and its application to forages. J. Anim. Sci. 26, 119-128.
- VAN SOEST, P.J., 1994: Nutritional Ecology of the Ruminant. 2nd Ed. Cornell University Press, Ithaca und London.
- VDLUFA (Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten), 1976 inkl. Ergänzungsblätter 1983, 1988, 1993, 1997: Methodenbuch III – Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- VERMUNT, J.J., 1992: Subclinical laminitis in dairy cattle. New Zealand Veterinary Journal 40, 133-138.
- VERWOHLT, S. 1996: Untersuchungen im Pansen-, Labmagen- und Blinddarminhalt von Kühen unterschiedlicher Fütterung. Diss. Justus-Liebig-Univ. Gießen.
- WEISS, J., W. PABST, K.E. STRACK und S. GRANZ, 2000: Tierproduktion. Parey Buchverlag, Berlin.
- WEISSBACH, F., und S. KUHLA, 1995: Stoffverluste bei der Bestimmung des Trockenmassegehaltes von Silagen und Grünfutter: Entstehende Fehler und Möglichkeiten der Korrektur. Übers. Tierernährg. 23, 189-214.
- WENDL, G., 1998: Elektronikeinsatz in der Rinderhaltung – von der Identifizierung bis zur Automatisierung. Elektronik in der Landtechnik: Einsatz in der Innen- und Außenwirtschaft. Schriftenreihe der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, Tänikon 47, 101-112.
- WENNING, P., 2008: Einfluss einer Supplementierung von Nicht-Stärke-Polysaccharid-hydrolysierenden Enzymen und einer α -Amylase auf einige Leistungsparameter bei Milchkühen. Diss. Freie Univ. Berlin.
- WESTWOOD, C.T., E. BRAMLEY und I.J. LEAN, 2003: Review of the relationship between nutrition and lameness in pasture-fed dairy cattle. New Zealand Veterinary Journal 51, 208-218.
- WIEDNER, G., 2002: Silagequalität in der Praxis. Bericht 8. Alpenländisches Expertenforum, BAL Gumpenstein, 9.-19. April 2002, 57-62.
- WIELSCHER, F.J., 2009: Die ruminale Abbaubarkeit von Wiesenfutter nach der Nylon-Bag-Methode. Dipl.Arbeit BOKU Wien.

WINDISCH, W., 2003: Spurenelement- und Vitaminversorgung laktierender Kühe. Bericht 30. Viehwirtschaftliche Fachtagung, BAL Gumpenstein, 24.-25. April 2003, 1-6.

ZEBELI, Q., J. DIJKSTRA, M. TAJAJ, H. STEINGASS, B.N. AMETAJ und W. DROCHNER, 2008: Modeling the adequacy of dietary fiber in dairy cows based on the responses of ruminal pH and milk fat production to composition of the diet. J. Dairy Sci. 91, 2046-2066.

ZEILER, E.E., 2003: Einfluss von Partikellänge und Trockenmassegehalt von Grassilagen bei unterschiedlichem Krafftutterniveau auf Pansenparameter, Verdaulichkeit und Futteraufnahme von Rindern. Diss. BOKU Wien.

ZAMG, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, 2010:

http://www.zamg.ac.at/klima/klima_monat/wetterrueckblick/. Letzter Zugriff: 15. März 2011.

ZOSEL, J., H. KADEN, G. PETERS, M. HOFFMANN, P. RUDISCH, L. JÄKEL, G. LAUCKNER, A. GRODRIAN und U. GUTH, 2008: Continuous long-term monitoring of ruminal pH. Bericht 22. International Conference on Eurosensors - Dresden, 7.-10. September 2008, 395-399

8 Lebenslauf

Persönliche Daten

Name:	DI. Dipl.-Päd. Ing. Markus Rechberger
Geburtstag	9.8.1976
Geburtsort	Neunkirchen
Land	Österreich
Staatsangehörigkeit	Österreich

Ausbildung

1982 – 1986	Volksschule II, 2500 Baden
1986 – 1990	Bundesgymnasium Baden-Frauengasse, 2500 Baden
1990 – 1995	Höhere technische Bundes-Lehr- und Versuchsanstalt Mödling, Ausbildungszweig Tiefbau
1998 – 2005	Diplomstudium an der Universität für Bodenkultur, Wien Studienrichtung Landwirtschaft
2005	Agrarpädagogische Akademie, Wien

Beruflicher Werdegang

1995 – 1996	Präsenzdienst
1996 – 1997	Ing. Martin Koisser, 2500 Baden, Bautechniker
1997 – 2005	Wallner & Neubert GmbH, 1050 Wien, techn. Angestellter
seit 2006	Richter Pharma AG, 4600 Wels, Veterinäraussendienst