

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

**„ENTWICKLUNG EINER INTRARUMINALEN DATENMESSEINHEIT
ALS MANAGEMENTHILFE IN DER MILCHVIEHHALTUNG“**

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

vorgelegt von
Tierärztin Anne Katrin Sievers
aus Schöppenstedt

Kiel 2005

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

Dekan: Prof. Dr. S. Wolffram

Erster Berichterstatter: Prof. Dr. S. Wolffram

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

Tag der mündlichen Prüfung: 14. Juli 2005

Die Dissertation wurde mit dankenswerter finanzieller Unterstützung der
Stiftung Schleswig-Holsteinische Landschaft angefertigt.

für meine Eltern

INHALTSVERZEICHNIS

EINLEITUNG	2
KAPITEL 1	
LITERATURÜBERSICHT	4
KAPITEL 2	
DIE DATENMESSEINHEIT (BOLUS)	25
KAPITEL 3	
ÜBERPRÜFUNG DER FUNKTIONSWEISE DES BOLUS <i>IN VITRO</i>	34
KAPITEL 4	
ÜBERPRÜFUNG DER FUNKTIONSWEISE DES BOLUS <i>IN VIVO</i>	50
KAPITEL 5	
ABSCHLIEßENDE DISKUSSION	76
ZUSAMMENFASSUNG	82
SUMMARY	83
LITERATURVERZEICHNIS	84
ANHANG	91

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Entwicklung von Herdengröße und Anzahl der Betriebe in Deutschland von 1981 bis 2003	5
Abbildung 2:	Einsatzbereiche der Prozesssteuerung in der Rinderhaltung	7
Abbildung 3:	Haubenkontraktionen beim adulten Rind	16
Abbildung 4:	Bolus	27
Abbildung 5:	Zubehörteile	27
Abbildung 6:	Schemazeichnung Bolus	28
Abbildung 7:	Schaltbild Altimetermodul MS5543	29
Abbildung 8:	Querschnitt durch den Boluskopf	30
Abbildung 9:	Schaltbild des Leitfähigkeitsmessgerätes im Bolus	31
Abbildung 10:	Sitz des Bolus im Netzmagen	32
Abbildung 11:	Korrelation der mittels Bolus bzw. externem Thermometer ermittelten Temperatur im Wasserbad	36
Abbildung 12:	Bolus mit aufgesetztem Druckadapter	37
Abbildung 13:	Korrelation der mittels Bolus erfassten bzw. anhand der Höhe der Wassersäule kalkulierten Druckdifferenzen	38
Abbildung 14:	<i>In vitro</i> -Simulation von Haubenkontraktionen	38
Abbildung 15:	Verlauf der durch das Referenzgerät bzw. durch den Bolus ermittelten Werte bei steigenden KCl-Gehalten der Kalibrierlösung	40

Abbildung 16: Kalibrierkurve des Leitfähigkeitsmessgerätes	41
Abbildung 17: Verlauf der mittels Referenzgerät bzw. Bolus ermittelten Leitfähigkeit bei steigender Osmolarität	44
Abbildung 18: Veränderungen der Zusammensetzung des Pansensaftes von Rindern nach induzierter Pansenazidose	46
Abbildung 19: Einfluss unterschiedlich hoher Gehalte an dissoziierten organischen Säuren auf die mittels Referenzgerät gemessene Leitfähigkeit	48
Abbildung 20: Verlauf der intraretikulären Temperatur und der Konzentration kurzkettiger Fettsäuren (KKFS) bei Kuh 4543 bei drei verschiedenen Fütterungsvarianten (A, B, C)	56
Abbildung 21: Verlauf der intraretikulären Temperatur von vier Kühen (8203, 4016, 4301 und 4543) an drei Versuchstagen (VT) mit Auftreten von Fieber	58
Abbildung 22: Intraretikulärer Druckverlauf 1 Stunde vor (A), während (B) und 5 Stunden nach (C) der Vollnarkose	61
Abbildung 23: Mittels Bolus erfasste Druckschwankungen in der Haube bei Kuh 8203 am 3. Versuchstag	62
Abbildung 24: Mittels Bolus erfasste Druckschwankungen in der Haube bei Kuh 8203 am 3. Versuchstag mit Kontraktionsartefakt	63
Abbildung 25: Verlauf der Kontraktionsfrequenz [Ktr/min] bei drei verschiedenen Fütterungsvarianten (A, B, C)	64
Abbildung 26: Verlauf der Kontraktionsfrequenz [Ktr/min] gemittelt über drei Fütterungsvarianten	65
Abbildung 27: Mittels Bolus erfasste Druckschwankungen in der Haube eines Ochs	68
Abbildung 28: Verlauf des pH-Wertes und der Konzentration kurzkettiger Fettsäuren (KKFS) bei drei verschiedenen Fütterungsvarianten (A, B, C)	70

Abbildung 29: Verlauf der Leitfähigkeit und der Konzentration
dissoziierter kurzkettiger Fettsäuren (diss. KKFS)
bei drei verschiedenen Fütterungsvarianten (A, B, C)

71

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Vergleich von unterschiedlichen Kennzeichnungsvarianten bei Rindern	11
Tabelle 2:	Tierbedingte und nicht-tierbedingte Einflussfaktoren auf die Kontraktionsfrequenz der Vormägen	17
Tabelle 3:	Für die Leitfähigkeit des Pansensaftes relevante Bestandteile und die physiologischen Konzentrationsbereiche	23
Tabelle 4:	Daten zur Erstellung der Kalibrierkurve des Leitfähigkeitsmessgerätes im Bolus	39
Tabelle 5:	Einfluss des pH-Wertes auf die Leitfähigkeit	42
Tabelle 6:	Zusammensetzung des „künstlichen Pansensaftes“	43
Tabelle 7:	Einfluss der Konzentration der KKFS auf die Leitfähigkeit	45
Tabelle 8:	Zusammensetzung der Lösungen zur Simulation einer Pansenazidose	47
Tabelle 9:	Fütterungsvarianten (A, B, C) und Versuchsplan	52
Tabelle 10:	Trockenmasse- (TM) und Nährstoffgehalte des Frischgrases an drei verschiedenen Versuchstagen (VT)	52
Tabelle 11:	Trockenmasse- (TM) und Nährstoffgehalte der Sojabohnenschalen, der gequetschten Gerste, der Maissilage und des Gerstenstrohs	53
Tabelle 12:	Tabellarische Darstellung der Fütterungsvarianten	53
Tabelle 13:	Gesamtfutteraufnahme pro Tier und Fütterungsvariante	55
Tabelle 14:	Mittelwerte der Kontraktionsfrequenz und Temperatur pro Versuchstag und Tier	66

Tabelle 15: Futtermittelaufnahme pro Tier (8203, 4301, 4016, 4543)
und Versuchstag (VT)

91

Abkürzungsverzeichnis

A	Querschnitt eines beliebigen Leiters
BS	Buttersäure
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
d	Länge eines beliebigen Leiters
diss.	dissoziiert
E	elektrische Feldstärke
ES	Essigsäure
F	Finadyne [®]
FFAP	free fatty acid phase
FM	Frischmasse
G	Gerste
<i>g</i>	Gravitationsbeschleunigung (9,81 m/s ²)
Gl	Elektrode mit Gleichspannung
Gr	Gras
Inf.	Infusion
KCl	Kaliumchlorid
KKFS	kurzkettige Fettsäuren
Ktr	Kontraktionen
M	Maissilage
MS	Milchsäure
MW ± SE	Mittelwert ± Standardfehler
NDF	Neutral-Detergenzienfaser
p	probability (Wahrscheinlichkeit)
pAH	para-Aminohippursäure
POM	Polyoxymethylen
PS	Propionsäure
r ²	Bestimmtheitsmaß
Rx	unbekannter Messwiderstand
R4, R5	Widerstände des Spannungsteilers
S	Sojabohnenschalen
SCFA	short chain fatty acids

SR	sustained release
St	Gerstenstroh
Su	Supplement
TM	Trockenmasse
Transp.	Transponder
U_m	Messspannung
v	Ionengeschwindigkeit
VT	Versuchstag
W	Elektrode mit Wechselspannung
ρ	Materialkonstante

Einleitung

Im Laufe der letzten zehn Jahre hat sich die Milchviehhaltung in Europa deutlich verändert. Die Anzahl der Betriebe ist gesunken, wobei die Herdengrößen jedoch deutlich zugenommen haben. Diese Entwicklung zu Großbetrieben bringt ökonomische Vorteile mit sich, aber auch Probleme im Management großer Herden. Vor allem die Einzeltierüberwachung kann nicht ausreichend abgedeckt werden, wodurch Brunst- und Krankheitssymptome häufiger nicht rechtzeitig erkannt werden. Dadurch können für den Milchviehalter wiederum erhebliche Kosten entstehen, die zu wirtschaftlichen Einbußen führen. Um dies zu vermeiden, ist der Einsatz von Herdenmanagementsystemen in der Milchviehhaltung sinnvoll. So könnten in Zukunft neben Systemen, die etwa der Milchmengenerfassung oder der elektronischen Tiererkennung dienen, auch Systeme, durch die der Gesundheitsstatus einer Herde beziehungsweise der Einzeltiere kontinuierlich und zuverlässig erfasst wird, zum Einsatz kommen. Die in der hier vorliegenden Arbeit durchgeführte Entwicklung einer Datenmesseinheit (Bolus) im Netzmagen soll dazu beitragen, die Gesundheitsüberwachung in Milchviehherden zu verbessern. Daneben bietet die intraruminale Messeinheit die Möglichkeit der Erfassung von Einzeltierdaten unter natürlichen Produktionsbedingungen.

Der im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Bolus soll Störungen im Bereich des Vormagensystems erkennen. Hierfür wurden als Parameter Temperatur-, Druck- und Leitfähigkeitsmessung ausgewählt. Die notwendigen Messgeräte wurden in einen Kunststoff-Bolus integriert, welcher im Netzmagen der Kuh positioniert wird. Schwerpunkt dieser Arbeit war die Erprobung der Funktionsweise der einzelnen Messgeräte *in vitro* und *in vivo* unter physiologischen Bedingungen. In **Kapitel eins** werden in Form einer Literaturübersicht allgemeine Aspekte zum Elektronikeinsatz in Herdenmanagementsystemen erläutert und der bisherige Stand der Entwicklung dargestellt. Im Weiteren wird auf die Parameter Temperatur, Druck und Leitfähigkeit im Vormagensystem von Wiederkäuern näher eingegangen. In **Kapitel zwei** wird der Aufbau und die Funktionsweise der in dieser Studie verwendeten Datenmesseinheit (Bolus) näher vorgestellt. Die Überprüfung der Funktionsweise des Bolus *in vitro* wird in **Kapitel drei** und die Überprüfung der Funktionsweise des Bolus *in vivo* wird in **Kapitel vier** beschrieben. Eine abschließende Diskussion der vorgestellten Ergebnisse und

Überlegungen zu weiteren notwendigen Entwicklungen werden in **Kapitel fünf** vorgenommen.

Die in der vorliegenden Arbeit dargestellten Daten wurden teilweise im Rahmen des X. International Symposium on Ruminant Physiology in Kopenhagen, Dänemark, vorgestellt (Sievers *et al.*, 2004).

Kapitel 1

Literaturübersicht

Herdenmanagement

Herdenmanagement hat zum Ziel, 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. Durch den Strukturwandel bedingte Bestandszunahmen bei gleichzeitig steigenden Milchleistungen stellen zunehmend höhere Anforderungen an den Betriebsleiter sowie an das Herdenmanagement (Moriz & Doluschitz, 2002). Die Anzahl der Rinderhalter wird in den nächsten Jahren weiter abnehmen, wobei jedoch die Bestandsgrößen stetig wachsen (s. Abb. 1).

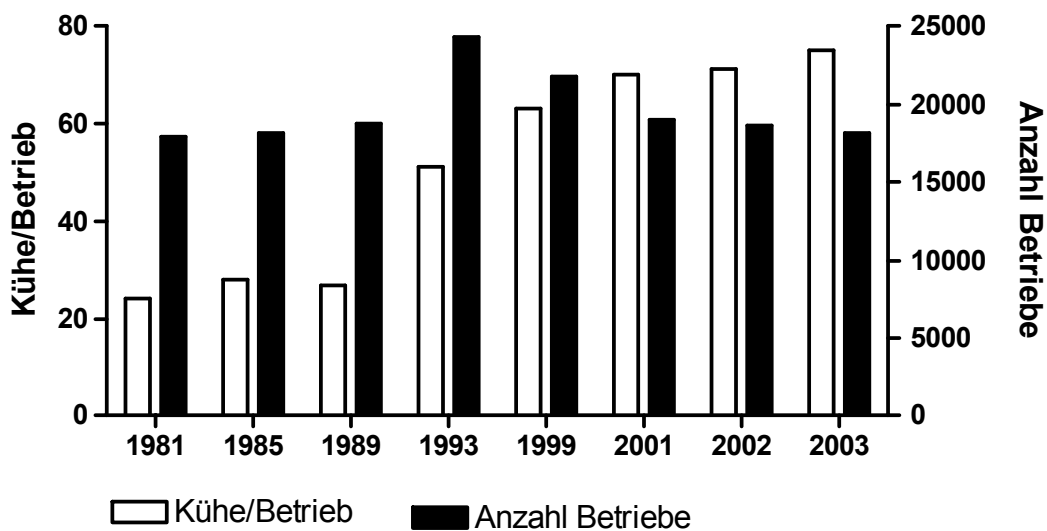


Abbildung 1: Entwicklung von Herdengröße und Anzahl der Betriebe in Deutschland von 1981 bis 2003 (ab 1989 mit neuen Bundesländern) (Quelle: Jahresbericht 2003, Vereinigte Informationssysteme Tierhaltung w. V.)

Diese Situation zwingt den Landwirt zur Senkung der Produktionskosten, zur Verbesserung der Produktqualität und zur Steigerung der Arbeitsproduktivität (Wendl, 1998). Der Einsatz ausgereifter Herdenmanagementsysteme ist somit unerlässlich, zumal auch der Verbraucher verstärkt eine nachprüfbar produzierte Lebensmittel fordert. Nach Doluschitz und Funk (1992) sind gerade in der Milchviehhaltung neben den allgemeinen betrieblichen Verhältnissen vor allem Informationen über das Einzeltier bei der Bewältigung von Managementaufgaben von Bedeutung. So unterscheiden Enevoldsen *et al.* (1996) 18 Faktoren aus den Bereichen Gesundheit, Reproduktion, Remontierung und Milchleistung, um eine Herde und ihre Einzeltiere genau erfassen zu können. Einige dieser

Faktoren wie Herdengröße, Alter der Tiere, Alter des Tieres zum Zeitpunkt der ersten Kalbung, Zwischenkalbezeit, Überlebensrate der Kälber und Kühe post partum und Abkalberate müssen nicht tagtäglich erfasst werden. Andere Leistungsparameter wie Milchmenge, Milchinhaltsstoffe, Körpergewicht und Grundfutteraufnahme müssen täglich erfasst werden, um krankheitsbedingte Veränderungen rechtzeitig zu erkennen. Um diesen Anforderungen gerecht werden zu können und die dabei anfallenden Datenmengen sinnvoll verwalten zu können, bietet sich der Einsatz von rechnergestützten Verfahren an.

Elektronikeinsatz in Herdenmanagementsystemen

Der Einsatz von rechnergestützten Verfahren in Herdenmanagementsystemen ist vielseitig. So kommen zum Beispiel in den Bereichen Gesundheit, Reproduktion, Milchleistung und Fütterung elektronische Hilfsmittel zum Einsatz. Während die Prozesstechnik zurzeit in erster Linie für die rechnergesteuerte Fütterung, die Milchleistungserfassung und für einfachere Formen der Tierüberwachung (s. Abb. 2) eingesetzt wird, werden zukünftig umfassendere Systeme für die Tierüberwachung und automatische Melksysteme an Bedeutung gewinnen.

Laut Brehme *et al.* (2003) besteht großer Bedarf an objektiven, zuverlässigen Messsystemen in der Tierhaltung, um in einer Herde die Tiere sicher und schnell zu erkennen, die entweder krank, brünstig oder stillbrünstig sind oder unter zu großem Stress leiden. Dabei soll gerade das kontinuierliche Messen von tierphysiologisch relevanten Parametern zu einer unverzichtbaren Hilfe für den Landwirt werden, da es so möglich ist, Entscheidungen über Einzeltiere sicher zu treffen. Ein Messsystem ist aber nur dann eine Hilfe für den Landwirt, wenn es in Verbindung mit einem ausgereiften Auswertungsprogramm verwendet wird.

einem Anteil von 26,3 % an falsch-positiven „Erkennungen“. Brehme *et al.* (2001b) untersuchten den Einsatz eines intravaginalen Funkdatenloggers, der sowohl Körperkerntemperatur als auch die Leitfähigkeit des Vaginalschleimes kontinuierlich misst. Dabei stellte sich heraus, dass die Leitfähigkeit bedingt durch einen hohen Grad an schwer definierbaren Einflussfaktoren kein geeigneter Parameter zur Brunsterkennung ist, wohl aber die Körperkerntemperatur, die zwischen 0,1 und 1 °C während der Brunst ansteigt. Brehme und Brunsch (2002) kombinierten den Parameter Körperkerntemperatur in einer zweiten Generation von Funkdatenloggern mit dem Parameter Bewegungsaktivität. Die Bewegungsaktivität kann zum Brunstzeitpunkt um bis zu 400 % ansteigen (Kiddy, 1977). Durch diese Neuerung im Funkdatenlogger konnten laut Brehme und Brunsch (2002) 90 % der brünstigen Kühe erkannt werden, sogar stillbrünstige Tiere wurden so korrekt als brünstig erkannt.

Da der Anstieg der Bewegungsaktivität als ein zuverlässiger Parameter für die Brunsterkennung gilt, ist auch der Einsatz sogenannter Pedometer geeignet (Firk, 2002). Pedometer können oberhalb des Fesselgelenkes oder mittels eines Halsbandes am Hals angebracht werden, wobei die Anzahl falsch positiver Ergebnisse bei Messungen am Hals signifikant höher ist (Erasmus *et al.*, 1992). Pedometer registrieren die Aktivität des Tieres als elektrischen Impuls. Brehme und Brunsch (2002) berichteten, dass durch den alleinigen Einsatz von Pedometern 50 bis 60 % der brünstigen Kühe sicher erkannt werden können. Lehrer *et al.* (1992) erzielten sogar eine Erkennungsrate von 91 % bei 8 % falsch-positiven Ergebnissen. Nach Untersuchungen von Peter und Bosu (1986) steigt die Rate der Brunsterkennungen mit Hilfe eines Pedometers von der ersten zur dritten Ovulation post partum von 51 auf 93% an.

Neben dem Einsatz von Managementhilfen zur Brunsterkennung gibt es auch schon erste Ansätze, den Gesundheitsstatus einer Herde mit elektronischen Hilfen besser erfassen zu können. So kommen zum Beispiel Leitfähigkeitsmessgeräte zum Einsatz, die während des Melkens die Leitfähigkeit der Milch überprüfen, um Kühe zu erkennen, die an einer akuten oder subakuten Mastitis erkrankt sind. Leitfähigkeit und Zellzahl können als indirekter Test für subklinische Mastitiden benutzt werden (Nielen *et al.*, 1993). Nielen beschreibt aber auch, dass die Online-Leitfähigkeitsmessung zur Erkennung von subklinischen Mastitiden zwar eine hohe Spezifität, aber eine niedrige Sensitivität aufweist. Grundsätzlich ist die Früherkennung von Mastitiden sinnvoll, da dadurch der

Antibiotikaeinsatz reduziert, die Genesungsphase verkürzt und der Milchverlust pro Kuh vermindert wird (Milner *et al.*, 1997).

Ein weiterer Parameter, der sich zur Gesundheitsüberwachung eignet und der ein zuverlässiger Indikator für viele Erkrankungen ist, ist die Körpertemperatur. Hier ist nicht nur die absolute Höhe der Körpertemperatur von Bedeutung, sondern auch deren Verlauf über mehrere Tage, weil dadurch auf ablaufende Abwehrprozesse im Körper oder auf die Gesundung des Tieres geschlossen werden kann (Brehme *et al.*, 2001a). Bei der Messung kommen einerseits sogenannte Thermoinjektate zum Einsatz, die im Gesichtsfeld oder im Bereich des Schildknorpels am Ohr angebracht werden. Nach Brehme *et al.* (1999) ist diese Art der Messung bei Kühen in Offenstallhaltung jedoch nutzlos, da das Außenklima einen gravierenden Einfluss auf die Messung hat und somit nur ein geringer Zusammenhang zwischen Körperkerntemperatur und den gemessenen Temperaturen an der Körperoberfläche besteht. Brehme *et al.* (2001b) entwickelten deshalb zur Messung der Körperkerntemperatur einen intravaginalen Datenlogger, der sowohl Daten über längere Zeit speichern als auch periodisch per Funk an einen Computer senden kann. Durch die kontinuierliche Messung mittels intravaginaler Datenlogger konnte der untersuchte Tierbestand sowohl hinsichtlich der Tiergesundheit als auch hinsichtlich der Brunstverläufe überprüft werden.

Um die Leistung einer Herde durch Managementmaßnahmen dauerhaft zu verbessern und den Betrieb vor wirtschaftlichen Einbußen so gut wie möglich zu schützen, ist eine permanente Kontrolle der Leistungsparameter, wie zum Beispiel die Milchmenge des Einzeltieres, Voraussetzung. Auch in diesem Bereich kommen bereits vielfältige elektronische Hilfsmittel zum Einsatz. Verschiedene Milchmengenmessgeräte geben dem Landwirt nicht nur Informationen über die tatsächliche Milchmenge des Einzeltieres, sondern auch Informationen über die durchschnittliche und maximale Milchflussrate und die individuelle Melkdauer (Ordolff, 1995).

Für die rechnergesteuerte Fütterung und die elektronische Milchmengenerfassung ist allerdings eine zuverlässige automatische Tiererkennung die Voraussetzung. Die Viehverkehrsverordnung regelt auf Bundesebene die individuelle Kennzeichnungspflicht für Rinder, Schafe, Ziegen, Schweine und Pferde. In dieser Verordnung werden die aktuell erlassenen EU-Richtlinien zur Tierkennzeichnung und Rückverfolgbarkeit des Einzeltieres

umgesetzt. Momentan sind zur individuellen Kennzeichnung für Rinder, Schweine, Schafe und Ziegen Ohrmarken nach bestimmten Mustern vorgeschrieben, zusätzlich existieren für Rinder und Pferde Rinder- beziehungsweise Equidenpässe (VVVO, 2003). Neben dieser „konventionellen“ Form der Tiererkennung ist seit den siebziger Jahren auch die Tiererkennung mittels eines Transponders am Halsband möglich. Der technische Fortschritt in der Mikroelektronik hat zu weiteren neuen Kennzeichnungsvarianten geführt. Zusätzlich zu der ebenfalls äußerlich anzubringenden Ohrmarke mit integriertem Transponder werden Transponder eingesetzt, die meist am Ohrgrund subkutan injiziert werden oder Transponder, die in Form von Boli in den Netzmagen der Tiere eingebracht werden. Den unterschiedlichen Nutzen, die Einsatzmöglichkeiten sowie die Vor- und Nachteile dieser Kennzeichnungsformen für Rinder stellt Wendl dar (1998; Tabelle 1). Für die Transpondertechnologie wurde mit den ISO Standards 11784 und 11785 eine Vereinheitlichung hinsichtlich Codestruktur, Aktivierungsfrequenz, Antwortfrequenz, Modulation und Codierung geschaffen (International Organisation for Standardization (ISO), 1996 a und 1996 b).

Im Auftrag der Europäischen Union wurde von 1998 bis 2001 das sogenannte IDEA-Projekt (Identification electronique des animaux) durchgeführt, bei dem der Einsatz von elektronischen Tiererkennungssystemen getestet werden sollte. Ziel war es, ein generalisiertes Tierkennzeichnungssystem auf EU-Ebene von der Geburt bis zur Schlachtung des Tieres zu schaffen, um so auch dem Verbraucher in Hinsicht auf eine „gläserne Produktion“ entgegen zu kommen. An dem Projekt nahmen sechs Länder (Frankreich, Deutschland, Italien, Niederlande, Portugal, Spanien) teil, wobei drei Formen von elektronischen Tiererkennungssystemen an Schafen, Rindern und Ziegen getestet wurden: Elektronische Ohrmarken, subkutan injizierbare Transponder und Boli im Netzmagen. Die Kennzeichnungssysteme wurden ebenfalls auf die in Tabelle 1 aufgeführten Merkmale getestet. Der abschließende Bericht des Projektes zeigt, dass durch eine elektronische Kennzeichnung eine wesentliche Verbesserung der Nutztiererkennung erreicht werden kann (Ribo *et al.*, 2001). In der Tat macht die Europäische Union solche elektronischen Markierungen ab Mitte 2006 zur Pflicht.

Tabelle 1: Vergleich von unterschiedlichen Kennzeichnungsvarianten bei Rindern (modifiziert nach Wendl, 1998)

Merkmal	Ohrmarke (Barcode)	Halsband (Transp.)	Ohrmarke (Transp.)	Injektat (Transp.)	Bolus (Transp.)
Fälschungssicherheit	- / +	-	- / +	+	+
Geringes Verlustrisiko	-	-	-	+	+
Eignung für alle Tierarten	+ / -	-	+ / -	+	- ^{a)}
Einfache Anbringung	+	+	+	+ / -	+
Zusätzliche visuelle Nummer nicht notwendig	+ / -	+ / -	+ / -	-	-
Entnahme im Schlachthof	+	+	+	+ / -	+
Automatische Identifikation	-	+	+	+	+
ISO-Kompatibilität (Nummer und Technik)	- ^{b)}	+ / - ^{c)}	+	+	+
Möglichkeit zur Kombination mit Sensoren	-	-	-	+	+ / -
Eignung für innerbetrieblichen Nutzen	-	+	+	+	+
außerbetrieblichen Nutzen	+	-	+	+	+

^{a)}abhängig von der Entwicklung der Vormägen; ^{b)}nur Nummerncode; ^{c)}zum Teil noch nicht ISO-kompatibel; + = positiv zu bewerten; - = negativ zu bewerten; Transp. = Transponder

Verwendung intraruminaler Boli beim Wiederkäuer

Der Begriff „Bolus“ stammt aus dem Griechischen und kann mit Bissen, Klumpen oder große Pille übersetzt werden. Im Bereich der Rinderhaltung wird der Begriff Bolus im Zusammenhang mit drei Anwendungsgebieten benutzt: Tieridentifizierung, „Sustained-Release“-Boli (SR-Boli) zur Wirkstoffabgabe und experimentelle Datenmessboli.

Zur Verwendung von Boli im Netzmagen von Wiederkäuern wurden vielfältige Versuche gemacht, etwa über geeignete Materialien, das notwendige spezifische Gewicht, um einen Verbleib des Bolus im Netzmagen zu gewährleisten, die Verträglichkeit sowohl bei Jungtieren als auch bei Adulten sowie über die Lesbarkeit und die Lesegeräte.

Als Materialien wurden verschiedene Kunststoffe und Keramik getestet. Caja *et al.* (1999) entwickelten einen Bolus aus Keramik, um Transponder für den Einsatz im Netzmagen sicher zu verpacken. Dabei war vor allem die geringe Porosität und die Ungiftigkeit des Materials zusammen mit einem hohen spezifischen Gewicht ($> 3,3 \text{ g/cm}^3$) von Bedeutung. Der Keramikzylinder wurde zusätzlich mit einem Plastikmantel überzogen und hatte folgende Maße: Länge 6,6 cm, Durchmesser 2 cm, Gewicht 67 g. In den USA wurde 2001 von der Firma DU PONT ein Bolus aus Hytrel[®] (thermoplastisches Polyesterelastomer) entwickelt, der aus einem Guss hergestellt wird (monolithischer Bolus) und unter dem Namen „EZ.ID rumen bolus“ auf dem Markt ist. Dieser Bolus wiegt 72 g, ist 6,85 cm lang und hat einen Durchmesser von 2,15 cm. Die Firma NEDAP AGRI (Groenlo, Niederlande) bietet einen Bolus an, in dem alle elektronischen Teile in einer Glasskapsel untergebracht sind, die wiederum in einer Plastikschrutzhülle untergebracht ist. Hier ist ein rostfreies Stahlgewicht exzentrisch angebracht, um das Absinken des Bolus im Netzmagen zu beschleunigen.

Um den Verbleib des Bolus im Netzmagen zu gewährleisten, ist laut Fallon und Rogers (2001) ein spezifisches Gewicht von mindestens $2,75 \text{ g/cm}^3$ notwendig. Zusätzlich beeinflussen aber auch Größe, Form und Gesamtgewicht des Bolus die Verlustrate. So verzeichneten Fallon und Rogers bei Rindern keinerlei Verluste durch den Einsatz von Boli mit einem spezifischen Gewicht von $2,75 \text{ g/cm}^3$. Zuvor lag die Verlustrate von Boli mit einem spezifischen Gewicht von nur $1,75 \text{ g/cm}^3$ bei 100 %. Caja *et al.* (1999) benutzten in ihren Studien sogar Boli mit einem spezifischen Gewicht von über $3,3 \text{ g/cm}^3$ und erreichten eine Verlustrate von nur 0,3 % bei 1487 Rindern.

Garin *et al.* (2003) untersuchten die Verträglichkeit von intraruminalen Boli anhand von Veränderungen des Volumens und Gewichtes des Reticulorumens, Zottengröße, Grad der Keratinisierung und Anzahl an toten Zellen des reticuloruminalen Epithels bei 45 heranwachsenden männlichen Lämmern. Eine Gruppe bekam einen sogenannten Mini-Bolus (0,93 x 3,74 cm und 5,2 g) in der ersten Lebenswoche, eine weitere Gruppe bekam einen sogenannten S-Bolus (1,5 x 3,91 cm, 20 g) nach dem Absetzen in der 5. Lebenswoche und eine Kontrollgruppe blieb ohne Bolus. Gewicht und Volumen des Reticulorumens unterschieden sich nicht zwischen den Gruppen. Lämmer mit dem Mini-Bolus hatten größere Pansenzotten mit einer geringeren Keratinisierung als in der Kontrollgruppe, die Werte der S-Bolus-Gruppe lagen zwischen den beiden anderen Gruppen. Weder der Mini- noch der S-Bolus beeinträchtigte die Entwicklung des

Reticulorumens, noch gab es negative Effekte auf die Gesundheit oder die Mastleistung. Lediglich die frühe Eingabe des Mini-Bolus bewirkte ein verstärktes Zottenwachstum. Madeiros (1992) berichtet allerdings von einer Ruptur des Oesophagus bei einem Kalb, bedingt durch Regurgitation des Bolus sieben Tage nach der Eingabe und gibt zu Bedenken, dass mit dieser Komplikation immer zu rechnen ist, wenn man Boli einsetzt. Nach Cawley und Kerry (2002) kann der Einsatz von Boli in Einzelfällen bei Kälbern Reticulitis mit Gewichtsverlust verursachen. Bei den Versuchen von Caja (1999) traten aber weder Komplikationen bei Schaflämmern noch bei Mutterschafen hinsichtlich Wachstum, Futteraufnahme oder Fruchtbarkeit auf, woraus die Autoren schlossen, dass auch bei Rindern keine Komplikationen durch Boli zu erwarten sind.

Zur Eingabe von Boli werden normalerweise dieselben Geräte verwendet, die man in der Rinderhaltung auch zur Eingabe von Käfigmagneten benutzt. Mit dem Eingaber wird der Bolus auf dem Zungenrücken platziert. Setzt bei dem Tier der normale Schluckreflex ein, wird der Bolus aus dem Applikator geschossen und abgeschluckt. Verletzungen können hierbei nur entstehen, wenn der Applikator zu weit in den Rachen des Tieres vorgeschoben wird. Das Tier sollte nach der Eingabe noch einige Zeit beobachtet werden (Fallon *et al.*, 2003). Bei sehr jungen Kälbern kann das Abschlucken durch eine Massage des Oesophagus erleichtert werden (Caja *et al.*, 1999). Bei Jungtieren besteht allerdings bei dieser Form der Eingabe die Gefahr, dass der Bolus im Oesophagus stecken bleibt oder durch den Schlundrinnenreflex in den Blättermagen gelangt und von da aus weiter in den Labmagen, was zu ernsthaften gesundheitlichen Schäden führen kann. Muller (1998) untersuchte daher die Möglichkeit, den Bolus direkt im Netzmagen abzulegen, um solche Komplikationen zu umgehen. Er entwickelte einen Boluseingaber für Kälber auf der Basis einer 90 cm langen Schlundsonde, die bis in den Netzmagen eingeführt wird und durch die dann der Bolus direkt dort abgelegt werden kann. Es traten keinerlei Probleme mit dieser Technik auf. Auch Hove *et al.* (1991) entwickelten ein Gerät, um SR-Boli direkt in den Netzmagen von Rentieren einbringen zu können. Hier handelt es sich um eine Art Zange, die durch einen 1,10 m langen Schlauch, der Stahlseile enthält, verlängert wird und an dessen Ende sich ein Greifmechanismus zur Fixation des Bolus befindet. Nach der Eingabe wurden bei 100 Tieren der Oesophagus und der Netzmagen zur Untersuchung entnommen und bei keinem Tier konnten Narben oder Wunden festgestellt werden.

Im Abschnitt „Elektronikeinsatz in Herdenmanagementsystemen“ wurde schon kurz auf Boli mit integrierten Transpondern zur Tiererkennung eingegangen. Wie aus Tabelle 1

ersichtlich, schneidet die Bolus-Variante neben den Injektaten bei allen Merkmalen am besten ab. Nach Fallon und Rogers (1999) hat der Bolus einen zusätzlichen Vorteil gegenüber den Injektaten, indem bei einem Bolus nicht die Gefahr besteht, dass das Fleisch des Schlachtkörpers bei weiterer Verarbeitung kontaminiert werden könnte. Die wesentlich kleineren Injektate hingegen können leicht bei Unachtsamkeit mitverarbeitet werden. Auch die illegale operative Entfernung des Injektates ist wesentlich einfacher als bei einem intraruminalen Bolus. So kommen verschiedene Untersuchungen zu dem Schluss, dass ein Bolus im Moment die geeignetste Form zur elektronischen Tiererkennung im Bezug auf Fälschungssicherheit, Verlustrate und Zurückgewinnung bei Schlachtung darstellt. Die Möglichkeit der Wiederverwendung bedingt geringe Kosten für den Nutzer (McAllister *et al.*, 2000; Wendl, 1998; Fallon *et al.*, 2003). Nachteile gegenüber anderen Tieridentifizierungsmethoden sind jedoch die hohen Anschaffungskosten und Probleme bei der Lesbarkeit. Die Bolusdaten lassen sich derzeit aus maximal 20 bis 75 cm Entfernung auslesen, je nachdem ob ein tragbares Lesegerät (kleinere Distanz) oder ein stationäres (größere Distanz) verwendet wird. Aus diesem Grund muss häufig in größeren Herden zusätzlich eine äußere Erkennungsmarke am Tier angebracht werden (Fallon *et al.*, 2003).

Der Einsatz von Boli zur kontrollierten Wirkstoffabgabe über längere Zeit (SR-Boli) findet vielfältig Anwendung. So werden SR-Boli zum Beispiel zur Versorgung der Tiere mit Spurenelementen wie Selen, Kupfer oder Kobalt eingesetzt. Hemingway *et al.* (1997) benutzten zum Beispiel Boli (5,5 cm lang, Durchmesser 1,8 cm, spezifisches Gewicht $2,9 \text{ g/cm}^3$) bei Kälbern über 75 kg Körpergewicht, um Spurenelemente und Vitamine zu supplementieren. SR-Boli kommen auch zum Einsatz, um Antiparasitika zu verabreichen (Zingerman *et al.*, 1997). Bei Rentieren und Weidetieren wurden im Jahre 1986 nach der Tschernobylkatastrophe Boli mit Hexacyanoferraten eingesetzt, um radioaktives Cäsium zu binden, bevor es über den Darm aufgenommen werden konnte (Hove, 1993).

Da der im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Bolus Daten zur Vormagenmotorik, intraruminalen Temperatur und zu Leitfähigkeitsveränderungen im Pansensaft liefern soll, werden in den folgenden Abschnitten diese Sachverhalte näher dargestellt.

Das Vormagensystem

Netzmagen (Reticulum, Haube), Pansen (Rumen) und Blättermagen (Omasum, Psalter) gehören zum Vormagensystem der Wiederkäuer. Der Labmagen (Abomasum) entspricht dem drüsenhaltigen Magen der Monogastriden. Das Vormagensystem der Wiederkäuer ist sehr voluminös und nimmt den gesamten linken Bauchraum vom Zwerchfell bis zur Beckenhöhle ein. Der Netzmagen sitzt cranial an der Zwerchfellkuppel, besitzt mit Papillen besetzte Leisten, die im Inneren ein Netz bilden und hat ein Volumen von circa 8 Litern beim ausgewachsenen Rind (Loeffler, 1977). Vom Pansenvorhof ist er durch die Hauben-Pansen-Falte abgeteilt. Funktionell bilden Netzmagen und Pansen jedoch eine Einheit und werden deshalb auch als „Reticulorumen“ bezeichnet. Der Pansen nimmt mit einem Volumen von circa 150 Litern (adultes Rind) fast den gesamten linken Bauchraum ein und wird durch die „Pansenpfeiler“ in Pansenvorhof, dorsalen und ventralen Pansensack, sowie in dorsalen und ventralen Blindsack unterteilt. Die Schleimhautoberfläche des Pansens ist drüsenfrei und trägt zahlreiche Zotten. Netzmagen und Blättermagen sind über die Hauben-Psalteröffnung miteinander verbunden. Der Blättermagen hat ein Volumen von circa 11 Litern, liegt medial der Haube im intrathorakalen Bereich der Bauchhöhle und weist an seiner Oberfläche unterschiedlich große Falten (Blätter) auf. Der Labmagen hat ein Volumen von circa 15 Litern und liegt überwiegend ventral und rechts der Medianen.

Vormagenmotorik

Die reflektorisch gesteuerte Vormagenmotorik gewährleistet eine intensive Durchmischung der Ingesta, die Abgabe der Pansengase („Ruktus“), das Wiederkäuen („Rejektion“) und den geregelten Weitertransport von Ingesta aus dem Reticulorumen in den Psalter beziehungsweise Labmagen.

Der in dieser Arbeit entwickelte Bolus wird in der Haube platziert, daher kann nur die Haubenmotorik direkt erfasst werden. Die Motorik des Vormagensystems beruht auf vago-vagalen Reflexen. Man unterscheidet bei den Kontraktionswellen A- und B-Zyklen, wobei ein A-Zyklus immer mit einer zweiphasigen Haubenkontraktion (s. Abb. 3) beginnt. In der ersten Phase reduziert die Haube ihr Volumen zur Hälfte und in der zweiten Phase verschwindet das Lumen der Haube fast vollständig. Daran schließen sich die Kontraktionen des übrigen Vormagensystems an. Das Wiederkäuen erfolgt durch eine

zusätzliche Haubenkontraktion (s. Pfeil) unmittelbar vor der biphasischen Haubenkontraktion, wodurch Ingesta vor allem aus dem Bereich der Haube zurück ins Maul gelangt und wiedergekaut wird.

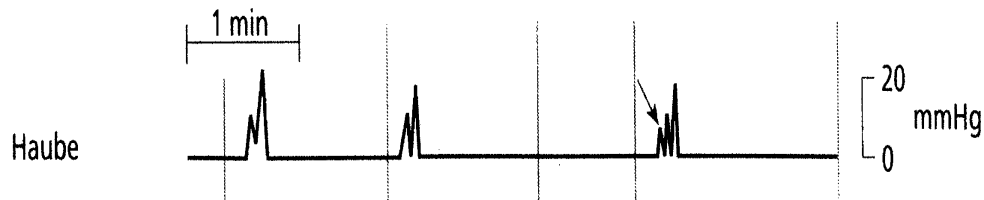


Abbildung 3: Haubenkontraktionen beim adulten Rind (Kaske, 2005)

Ein B-Zyklus beginnt im Bereich der Pansenblindsäcke und schließt sich immer unmittelbar einem A-Zyklus an, wobei allerdings nicht jede A-Welle von einer B-Welle gefolgt sein muss. B-Zyklen ermöglichen den Ruktus und sind somit an der Entfernung von Fermentationsgasen aus den Vormägen beteiligt. Die durchschnittliche Kontraktionsfrequenz beträgt 3 Kontraktionen in 2 Minuten (Kaske, 2005).

Einfluss verschiedener Faktoren auf die Vormagenmotorik

Die Vormagenmotorik kann sowohl durch tierbedingte als auch durch nicht-tierbedingte Faktoren beeinflusst werden. Diese können physiologischen oder pathologischen Ursprungs sein. Kontraktionsparameter wie Dauer oder Amplitude sind tierindividuell sehr unterschiedlich und daher als Indikatoren für Kontraktionseinflüsse nicht geeignet. Die Kontraktionsfrequenz hingegen variiert wenig von Tier zu Tier, reagiert empfindlich auf Einflüsse und ist somit ein aussagekräftiger Parameter. Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die wichtigsten Einflussfaktoren.

Tabelle 2: Tierbedingte und nicht-tierbedingte Einflussfaktoren auf die Kontraktionsfrequenz der Vormägen (modifiziert nach Rosenberger, 1990)

	Faktor	Kontraktionsfrequenz
tierbedingte Faktoren	Pansen-pH	↓
	Futteraufnahme	↑
	Parasympathicus	↓
	Tympanie	↓
nicht-tierbedingte Faktoren	Innendruck	↑
	Raufutteranteil	↑
	Fremdkörper	↓
	Nicht-traumatische Entzündung des Reticulorumens	↓

↑ bzw. ↓ = Anstieg bzw. Abfall

Bei den nachfolgend aufgeführten Studien wurden Vormagenkontraktionen mit Hilfe von Druckaufnehmern an fistulierten Tieren registriert. So verzeichneten Li *et al.* (2000) bei Schafen einen Anstieg der Kontraktionsfrequenz von 1,33 Kontraktionen (Ktr)/Minute (min) 10 min vor der Fütterung auf 2,47 Ktr/min 20 min nach der Fütterung. Hirayama *et al.* (2001) untersuchten den Einfluss von Außentemperatur und Fütterungszeitpunkt auf Kontraktionsparameter bei japanischen Rindern. Die Außentemperatur hatte bei diesem Versuch keine Auswirkung auf die Kontraktionsfrequenz, die Frequenz variierte jedoch zwischen Futteraufnahme (21,0 Ktr/min), Wiederkauen (7,0 Ktr/min) und Ruhephase (6,6 Ktr/min). Nach Okine *et al.* (1998) ist die Kontraktionsfrequenz am höchsten während der Futteraufnahme und am niedrigsten während des Wiederkauens. Nørgaard (1989) untersuchte den Einfluss des Langstrohanteils auf die Kauaktivität und die Pansenmotorik bei laktierenden Kühen. Bei Erhöhung des Langstrohanteils von 4 auf 20 % erhöhten sich die Pansenkontraktionen von 1,45 auf 1,55 Ktr/min während der Futteraufnahme. Während des Wiederkauens lag die Frequenz bei 1,4 Ktr/min ohne signifikanten Einfluss des Langstrohanteils, aber mit signifikanten Unterschieden zwischen den einzelnen Kühen. Nørgaard beschreibt auch eine Art „Pawlow-Reflex“ bei Kühen, der sich in intensiven irregulären Kontraktionen des Pansens mit hoher Frequenz 1 bis 3 Minuten vor der

Fütterung äußerte, wenn die Kühe das Motorengeräusch des Futterautomaten wahrnahmen (Nørgaard, 1989).

Mercer *et al.* (1988) erhöhten schrittweise den Druck im Pansen von adulten Schafen durch Befüllen mit Stickstoff. Bei einem Anstieg des Innendruckes um 1,96 kPa erreichten sie eine Erhöhung der Frequenz von 2 auf 6 Ktr/min. Bhattacharyya (1978) stellt in seinen Untersuchungen zur Beziehung zwischen intraruminaler Temperatur und Vormagenkontraktionen bei verschiedenen Fütterungen fest, dass ein Anstieg der Temperatur nach der Fütterung keinen Einfluss auf die Pansenmotorik hat. Kelly *et al.* (1991) untersuchten bei Rindern den Einfluss des Parasympathomimeticums Slaframin auf die Motilität des Vormagensystems und konnten durch dessen Einsatz die Kontraktionen von 1,16 auf 1,10 Ktr/min herabsetzen. Auch Froetschel *et al.* (1986) untersuchten den Einfluss von Slaframin und konnten bei Schafen die Frequenz der Vormagenkontraktionen um 78 % und bei Rindern um 64 % reduzieren.

Eine Vielzahl von Erkrankungen beeinflusst die Vormagenmotorik. Störungen der Hauben-Pansenmotorik sind daher häufig keine selbstständigen Krankheiten, sondern Begleiterscheinung der verschiedensten Organ- oder Allgemeinerkrankungen.

Gerade im Netzmagen sammeln sich häufig Fremdkörper an, die zu schmerzhaften Verletzungen der Netzmagenwand führen können. Kommt es dabei zur Perforation der Wand, kann sich zusätzlich eine Bauchfellentzündung und/oder eine Herzbeutelentzündung entwickeln. Diese als Reticuloperitonitis traumatica bezeichnete Erkrankung ist für das Rind sehr schmerzhaft und führt rasch zu einer Verminderung der Vormagenmotorik bis hin zu völligem Stillstand. Neumann (1979) stellt in seiner Untersuchung bei ca. 12 % von 2237 Schlachtrindern Fremdkörper im Netzmagen fest, wobei diese Rinder unterschiedlich fortgeschrittene pathologische Veränderungen zeigten. Auch jede nicht-traumatisch bedingte Entzündung von Netzmagen und Pansen (Reticuloruminitis nontraumatica) beeinträchtigt die Vormagenmotorik erheblich. Ursachen können das Füttern von heißer Schlempe, reizenden Pflanzen, Vergiftungen oder eine mikrobielle Infektion unterschiedlichen Ursprungs sein. Eine Reticuloruminitis nontraumatica ist ferner Begleiterscheinung verschiedener viraler Erkrankungen.

Eine weitere häufig auftretende Erkrankung ist die klinische oder subklinische Pansenazidose. Eine Pansenazidose entsteht, wenn die natürlichen Puffersysteme in den Vormägen nicht mehr ausreichen, den pH-Wert des Pansensaftes im physiologischen

Bereich von 5,5 bis 7,4 konstant zu halten (Rosenberger, 1990). Dabei kommt es zu einer Übersäuerung des Vormageninhalts mit Absinken des pH-Wertes auf 5,0 oder tiefer. Auslöser sind meist Rationen mit überhöhtem Anteil an leicht fermentierbaren Kohlenhydraten bei gleichzeitig geringer physikalischer Struktur (Dirksen, 2002). Die Konzentration an kurzkettigen Fettsäuren im Pansensaft steigt dadurch massiv an, wobei gleichzeitig die Speichelsekretion und damit der Zufluss an Puffersubstanzen abnehmen. Die Vormagenflora verschiebt sich durch den sinkenden pH-Wert zugunsten grampositiver, Milchsäure produzierender Kokken, was den pH-Wert weiter absinken lässt. Die gramnegative Flora und die Protozoenpopulation werden stark dezimiert. Der stark übersäuerte Panseninhalt ruft sowohl lokale als auch systemische Reaktionen hervor, was unter anderem auch die Motorik stark beeinträchtigt. Crichlow und Chaplin (1985) induzierten eine Pansenazidose bei Schafen und untersuchten dabei den Zusammenhang zwischen dem pH-Wert und der Vormagenmotorik. Die Frequenz von 0,67 Ktr/min bei einem pH-Wert von 7,52 sank auf eine Frequenz von nur noch 0,30 Ktr/min bei einem pH-Wert von 4,54. Lal *et al.* (1989) stellten bei Ziegen mit induzierter Pansenazidose 48 Stunden nach der Kraftfuttergabe bei allen 12 Versuchstieren ein vollständiges Sistieren der Vormagenmotorik fest.

Vormagenkontraktionen können auch durch eine Tympanie stark herabgesetzt sein. Unter einer Tympanie versteht man eine übermäßige Ansammlung von Gärgasen im Pansen. Die Ursache ist immer eine Störung der Eruktation, wodurch das Gas nicht mehr oder unzureichend abgeführt wird. Das Gas kann sich dabei in Form einer Gasblase ansammeln oder im Panseninhalt als feiner Schaum verteilt sein. Im letzteren Fall spricht man von einer Tympanie mit „schaumiger Gärung“ (Cheng *et al.*, 1998). Beide Formen der Tympanie führen dazu, dass sich Pansen und Haube umso weniger kontrahieren können, desto mehr der Druck im Pansen ansteigt. Bei einem perakutem Verlauf des Geschehens kann das Tier innerhalb von 1 bis 2 Stunden infolge einer Atemlähmung und Kreislaufversagen verenden (Cheng *et al.*, 1998; Mills & Christian, 1970).

Temperaturverhältnisse im Vormagensystem von Wiederkäuern

Wiederkäuer sind wie alle Säugetiere homoiotherme Tiere, die ihre Körperkerntemperatur in relativ engen Grenzen konstant halten können. Kommt es zu kurzzeitigen Abweichungen von der Normaltemperatur, besitzt der Körper eine vom Hypothalamus aus

gesteuerte körpereigene Thermoregulation. Über Wärmeabgabe oder Wärmeproduktion wird die Temperatur so schnell wie möglich wieder an die Normaltemperatur angeglichen. Bei einem homoiothermen Organismus unterscheidet man zwischen „Körperkern“ (das Innere des Rumpfes und Gehirn) und „Körperschale“ (Extremitäten), wobei nur der Kern homoiotherm ist und die Temperatur der „Schale“ sich der Umgebungstemperatur annähern kann (Jessen, 2005). Als Körperkerntemperatur wird die im Körperinneren eines Tieres gemessene Temperatur definiert, die unabhängig von Außenklimafaktoren ist (Brehme *et al.*, 1999). Die Körperkerntemperatur wird beim Rind üblicherweise rektal mit handelsüblichen Glasthermometern oder Digitalthermometern gemessen. Der Normalbereich liegt bei Kälbern zwischen 38,5 und 39,5 °C, bei Jungrindern zwischen 38,0 und 39,5 °C und bei erwachsenen Tieren zwischen 38,0 und 39,0 °C. Die rektale Temperatur ist aber nur dann für die Körperkerntemperatur repräsentativ, wenn folgende Kriterien bei der Messung beachtet werden (Rosenberger, 1990):

1. rektale Eingriffe dürfen erst nach der Messung vorgenommen werden
2. es dürfen keine Entzündungen im Messbereich vorliegen
3. das Thermometer muss mindestens 8 Zentimeter in den Mastdarm eingeschoben werden
4. die Lufttemperatur muss im thermoneutralen Bereich liegen
5. es darf kein mangelhafter Schluss des Afters vorliegen

Einfluss verschiedener Faktoren auf die Temperatur in Pansen und Netzmagen

Die Körperkerntemperatur des Rindes hat einen recht großen physiologischen Schwankungsbereich. Grund hierfür ist unter anderem der Einfluss folgender tiereigener Faktoren:

1. Lebensalter
2. Zyklusstadium
3. Tageszeit
4. Arbeit, Stress, Bewegung
5. Rasse

Nach Brehme *et al.* (2001b) kann der Verlauf der Körpertemperatur einer Kuh und die Kombination dieses Parameters mit anderen Parametern, wie zum Beispiel der Aktivität, wichtige Informationen zur Brunsterkennung oder der Gesundheitsüberwachung beitragen.

Sie entwickelten daher einen intravaginalen Langzeitdatenlogger, um die Körperkerntemperatur kontinuierlich und ohne äußere störende Einflüsse messen zu können. Zusätzlich misst der Datenlogger die Tieraktivität. Mit dieser Methode wurden Temperaturen von 37,9 bis 41,5 °C bei den Kühen gemessen. Die Spitzentemperatur von 41,5 °C wurde bei einer Kuh mit hochgradiger Mastitis registriert. Eine durch Prostaglandin-Applikation induzierte Brunst bewirkte einen Temperaturanstieg um durchschnittlich 0,9 °C. In einem weiteren Versuch wurden bei Außentemperaturen von 5 bis 30 °C Schwankungen der Körperkerntemperatur von lediglich 0,2 °C gemessen. Auch Kyle *et al.* (1998) haben in ihren Versuchen mit einem intravaginalen Datenlogger die Temperatur zur Brunsterkennung gemessen. Der brunstbedingte Temperaturanstieg betrug hier $0,9 \pm 0,3$ °C über eine Zeitspanne von $6,5 \pm 2,7$ Stunden.

Lefcourt und Adams (1998) untersuchten den Einfluss der Außentemperatur auf die Körperkerntemperatur von Ochsen in Offenstallhaltung. Sie benutzten dazu Temperatursensoren, die in das Peritoneum der Tiere implantiert wurden und die Daten telemetrisch senden konnten. In diesen Untersuchungen wurden keine Änderungen der Körperkerntemperatur bei Außentemperaturen zwischen -16 °C und +18 °C beobachtet.

Das Vormagensystem der Wiederkäuer gehört zum Körperkern. Temperaturen, die im Netzmagen gemessen werden, sind aber nicht nur von den oben aufgeführten Faktoren beeinflusst, sondern auch von der Fütterung beziehungsweise daraus resultierenden Fermentationsprozessen. Knaupp *et al.* (1998) untersuchten den Einfluss von Heufütterung im Vergleich zu Kraftfuttergaben auf die Wärmebildung im ventralen Bereich des Pansens bei Rindern. Bei zweimaliger Fütterung von 6 kg Heu pro Tag wurden durchschnittlich Temperaturen von 39,3 °C gemessen. Bei zusätzlicher zweimaliger Fütterung von 6 kg Kraftfutter pro Tag stieg die intraruminale Temperatur aufgrund intensiver Fermentation auf 40,2 °C an. Durch den Einsatz eines Wärmeaustauschers im Pansen, mit dem der Panseninhalt auf 44°C erhitzt beziehungsweise bis auf 28°C herabgekühlt werden konnte, zeigten Mercer *et al.* (1985), dass die rektale Temperatur sich dabei nur um 0,5 °C erhöhte beziehungsweise um 1,1 °C erniedrigte. Obwohl die Temperaturen im Vormagensystem während dieses Versuches erheblichen Schwankungen ausgesetzt waren, wirkten sich diese demnach deutlich abgeschwächt auf die Körperkerntemperatur aus.

Die Temperatur in Netzmagen und Pansen kann kurzzeitig auch durch die Aufnahme von kaltem Wasser beziehungsweise Futter absinken. Durch Einfüllen von 240 ml Wasser mit

einer Temperatur von 20°C erreichten van Weeren-Keverling Buisman *et al.* (1990) bei ruminierenden Kälbern eine Erniedrigung der intraruminalen Temperatur um 0,5 °C.

Eine Vielzahl von Erkrankungen geht mit einer Veränderung der Körperkerntemperatur einher. Steigt die Temperatur über den für das jeweilige Lebensalter angegebenen Normalbereich, kommt als Ursache Fieber in Betracht. Fieber ist eine Reaktion auf Infektionen. Eine übermäßige umweltbedingte Erwärmung führt dagegen zum Hitzschlag. Durch Fieber oder Hitzschlag bedingt, können länger anhaltende Körperkerntemperaturen zwischen 42 und 43 °C zu Kollaps und Tod des Tieres führen. Ebenso lebensbedrohlich sind Unterkühlungen. Die körpereigene Wärmeproduktion erreicht ein Maximum bei einer Kerntemperatur von etwa 35 °C und fällt dann mit weiter sinkender Kerntemperatur wieder ab (Jessen, 2005).

Elektrische Leitfähigkeit des Pansensaftes

Die Leitfähigkeit ist der reziproke Wert des Widerstandes und wird in Siemens [$S = 1/\Omega$] angegeben. Für den Widerstand eines beliebigen Leiters gilt die Beziehung: $R = \rho \times d/A$, wobei „d“ für die Länge [cm] und A für den Querschnitt [cm²] steht. Die Materialkonstante „ ρ “ bezeichnet man als spezifischen Widerstand [$\Omega \times \text{cm}$], ihr reziproker Wert ist folglich die spezifische Leitfähigkeit [S/cm]. Hierbei stellt d/A einen von der Gestalt des Leiters abhängigen geometrischen Formfaktor dar. Um im Pansensaft verschiedene Messungen der Leitfähigkeit miteinander vergleichen zu können, muss die Form der verwendeten Leitfähigkeitselektroden konstant sein. Ist der Abstand der Elektroden 1 cm, können die Werte direkt in S dargestellt werden.

Pansensaft ist eine Elektrolytlösung. Jedes geladene Teilchen trägt prinzipiell zur Leitfähigkeit des Pansensaftes bei. Wie stark ein individuelles Ion die Leitfähigkeit beeinflusst, hängt im Wesentlichen von seiner Konzentration und der Ionenbeweglichkeit ab. Unter der Ionenbeweglichkeit versteht man den Quotienten aus der Ionengeschwindigkeit „v“ und der elektrischen Feldstärke „E“. Aber nicht nur Konzentration und Ionenbeweglichkeit einzelner geladener Teilchen haben einen Einfluss auf die Leitfähigkeit, sondern zum Beispiel auch die Osmolarität des Mediums. Eine hohe Osmolarität schränkt die Ionenbeweglichkeit ein und verringert somit die Leitfähigkeit des Mediums. Tabelle 3 gibt Auskunft über die Art und Konzentration der wichtigsten Substanzen im Pansensaft, die die Leitfähigkeit beeinflussen können.

Tabelle 3: Für die Leitfähigkeit des Pansensaftes relevante Bestandteile und die physiologischen Konzentrationsbereiche (Rosenberger, 1990)

Parameter	Referenzwert
pH-Wert ^{a)}	5,5-7,4
Cl ⁻ -Ionen	15-30 mmol/ l
Na ⁺ - und K ⁺ -Ionen	200-250 mmol/ l
Gesamtkonzentration KKFS ^{b)}	60-120 mmol/ l
Essigsäure	35-69 mmol/ l
Buttersäure	9-18 mmol/ l
Propionsäure	14-27 mmol/ l
Ameisen-, Valerian-, Capron- und höhere Fettsäuren	bis 3-6 mmol/ l
Milchsäure	1-3 mmol/ l
Ammoniak	5-15 mmol/ l
Osmolarität	250-350 mosmol/ l

^{a)}indirekter Einfluss über Dissoziation von Säuren und Basen; ^{b)}kurzkettige Fettsäuren

Einflüsse auf die elektrische Leitfähigkeit des Pansensaftes

Fütterungen und endogene Faktoren beeinflussen die Zusammensetzung des Pansensaftes und damit möglicherweise die Leitfähigkeit. So erhöht sich zum Beispiel bei der Aufnahme von Konzentratfutter die Konzentration an kurzkettigen Fettsäuren (KKFS) im Pansensaft. Wird dabei die Pufferkapazität des Pansensaftes überschritten, kann sich eine Pansenazidose entwickeln (s. S. 18). Im fortgeschrittenen Stadium der Erkrankung kommt es bei sinkendem pH-Wert zu erhöhter Milchsäureproduktion, wobei die Milchsäurekonzentrationen von über 100 mmol/l erreichen kann. Die Konzentration der KKFS und der Milchsäure bestimmen gemeinsam mit dem pH-Wert die Konzentration an dissoziierten KKFS und an Laktat. Nur dissoziiert vorliegende Teilchen können die Leitfähigkeit beeinflussen. Ebenso haben bei solchen Vorgängen die Osmolarität des Pansensaftes und die unterschiedliche Ionenbeweglichkeit der KKFS bzw. des Laktates einen Einfluss auf die Leitfähigkeit. Crichlow und Chaplin (1985) stellten bei einer durch hohe Kraftfuttergaben künstlich induzierten Pansenazidose bei Schafen nach 12 Stunden einen Anstieg der Milchsäurekonzentration und der Osmolarität fest (von $3 \pm 0,1$ auf 148 ± 12 mmol/l beziehungsweise von 245 ± 25 auf 454 ± 28 mosmol/l). Bei einer ebenfalls

experimentell hervorgerufenen Azidose bei Ziegen verzeichneten Lal *et al.* (1989) einen Abfall des pH-Wertes von 7,08 auf 4,54 24 Stunden nach der Krafftuttergabe, der Gehalt an Milchsäure stieg von $4,1 \pm 0,3$ mmol/l vor der Fütterung auf 295 ± 17 mmol/l 12 Stunden nach der Fütterung an. Die Gesamtkonzentration an KKFS stieg zunächst von 65 ± 3 mmol/l vor der Fütterung auf 148 ± 15 mmol/l 12 Stunden nach der Fütterung an. Danach fiel sie nach 48 Stunden aber auf 32 ± 2 mmol/l ab. In einer weiteren Studie lag die Gesamtkonzentration an KKFS 10 Stunden nach der Fütterung sogar bei $163 \pm 1,6$ mmol/l (Mutsvangwa *et al.*, 2002).

Weiterhin kann jede Fütterung, die die Konzentration an Elektrolyten im Pansensaft verändert, wie etwa übliches Mineralfutter oder Salzlecksteine, die Leitfähigkeit beeinflussen. Durch den Eintrag an Elektrolyten kann sich die Leitfähigkeit erhöhen, gleichzeitig kommt es aber dadurch wieder zu vermehrter Wasseraufnahme, was die Leitfähigkeit wieder herabsetzt.

Abschließend ist zu sagen, dass in der wissenschaftlichen Literatur Untersuchungen zur Beeinflussung der intraruminalen Leitfähigkeit unter variierenden Bedingungen nicht verfügbar sind. Die Literaturrecherche hierzu wurde mit Hilfe der elektronischen Datenbanken „CAB Abstracts“ (<http://web5s.silverplatter.com>) und „Pub Med“ (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>) durchgeführt.

Kapitel 2

Die Datenmesseinheit (Bolus)

In einer dieser Arbeit vorrausgegangenen Studie verwendete Jeß (2000) ein Vorläufermodell des hier vorgestellten Bolus. Dieses Vorläufermodell aus V2A-Stahl (Länge 15 cm, Durchmesser 4 cm, spezifisches Gewicht $2,2 \text{ g/cm}^3$; Kneisner und Doering Elektronik GmbH, Braunschweig) konnte sowohl Druck als auch Temperatur messen, die Daten speichern und wurde über eine Batterie mit Energie versorgt. Die Daten konnten nach Schlachtung der Kuh und Entnahme des Bolus über eine RS232-Schnittstelle mittels PC ausgelesen und ausgewertet werden. Zur Temperaturmessung wurde ein Widerstandsthermometer und zur Druckmessung ein piezoresistiver Absolutdrucksensor verwendet, der in den Deckel des Bolus eingelassen war.

Die Entwicklung und Anfertigung des in dieser Arbeit verwendeten Bolus erfolgte ebenfalls in Zusammenarbeit mit der Firma Kneisner und Doering Elektronik GmbH in Braunschweig. Im Rahmen des Projektes wurden zunächst 5 Boli als Prototypen angefertigt.

Aufbau des Bolus

Der verwendete Prototyp des Bolus (Abb. 4) ist 16,5 cm lang, hat einen Außendurchmesser von 3,6 cm und wiegt 245 g (spezifisches Gewicht: $1,47 \text{ g/cm}^3$). Die Hülle und die Verschlusskappe des Bolus bestehen aus Polyoxymethylen (POM), einem lebensmittel-echten, weißen Kunststoff, der sich durch hohe Abriebfestigkeit, hervorragendes Federvermögen, hohe Ermüdungsfestigkeit bei wechselnder Belastung und Widerstandsfähigkeit gegen Spannrissbildung auszeichnet (Kern GmbH, Großmaischeid). An einem Ende ist der Bolus durch eine Kappe verschlossen, die mit einer speziell angefertigten Zange abgenommen werden kann (Abb. 5). Zur Abdichtung gegen Feuchtigkeit sind innerhalb der Kappe zwei O-Ringe aus Gummi angebracht.

Im Inneren des Bolus befinden sich die Messinstrumente, der Datenspeicher und der Akku. Zur Programmierung und zum Laden des Akkus besitzt der Bolus eine serielle RS232-Schnittstelle, die zugänglich wird, wenn man die Kappe entfernt. Um den Bolus über diese Schnittstelle programmieren und laden zu können, wird zwischen Bolus und Computer eine eigens für den Bolus entwickelte Interfacebox (Kneisner und Doering Elektronik GmbH, Braunschweig) geschaltet, an die auch ein Ladegerät (Universalnetzteil UN7, H&H, Essen) für den Bolus angeschlossen werden kann.



Abbildung 4: Bolus (links: geschlossen, unteres Ende mit Gummimembran; rechts: geöffnet, mit Schlafstecker)



Abbildung 5: Zubehörteile (von links nach rechts: Schlafstecker, Verschlusskappe, Spezialzange)

Durch diese Interfacebox benötigt der Bolus nur eine Schnittstelle, die sowohl zum Laden als auch zum Programmieren dient. Zum Transport und bei Nichtgebrauch bleibt der Bolus geöffnet und auf die RS232-Schnittstelle wird ein sogenannter „Schlafstecker“ (Abb. 4 und 5) aufgesetzt, durch den der Energieverbrauch des Akkus auf ein Minimum reduziert wird.

Als Akku dient ein 1,2 V Nickel-Cadmium-Akku (VT Cs 1500, Saft, Bagnolet, Frankreich) mit 4,2 cm Länge, einem Durchmesser von 2,2 cm und einem Gewicht von 48 g. Dieser Akku (Abb. 6) wurde speziell für den Einsatz in dauerhaft warmer Umgebung entwickelt und ist auch für wiederholtes kurzzeitiges Laden bei nicht vollständig leerem Akku geeignet.

Auf der Leiterplatte (Abb. 6) sind alle elektronischen Bauteile des Bolus untergebracht, die für die einzelnen Funktionen des Bolus und die Koordination der Funktionen zuständig sind. So befindet sich hier ein Mikrorechner (AduC832, Analog Devices, Surrey, England), der den Rechner, Programm- und Datenspeicher, mehrere Analog-Digital-Wandler sowie mehrere digitale Ein- und Ausgänge enthält. Der Mikrorechner wird mit einer Spannung von 3 V betrieben, wobei die Akkuspannung von 1,2 V mit einem Schaltregler auf die erforderliche Betriebsspannung von 3 V gewandelt wird. Weiterhin sind hier Teile des Leitfähigkeitsmessgerätes, Anschlüsse zur Stromversorgung, für das Barometer und das Thermometer untergebracht. Der Datenspeicher ist in der Lage 16.198 Messwerte zu speichern. Im Inneren des Bolus ist zusätzlich ein Bleigewicht (Abb. 6) angebracht, um dem Bolus zum einen das notwendige spezifische Gewicht zu verleihen, zum anderen soll durch das Gewicht erreicht werden, dass der Bolus sich immer senkrecht in der Haube befindet. Das Ende mit der Druckmembran soll dadurch immer nach unten gerichtet sein.

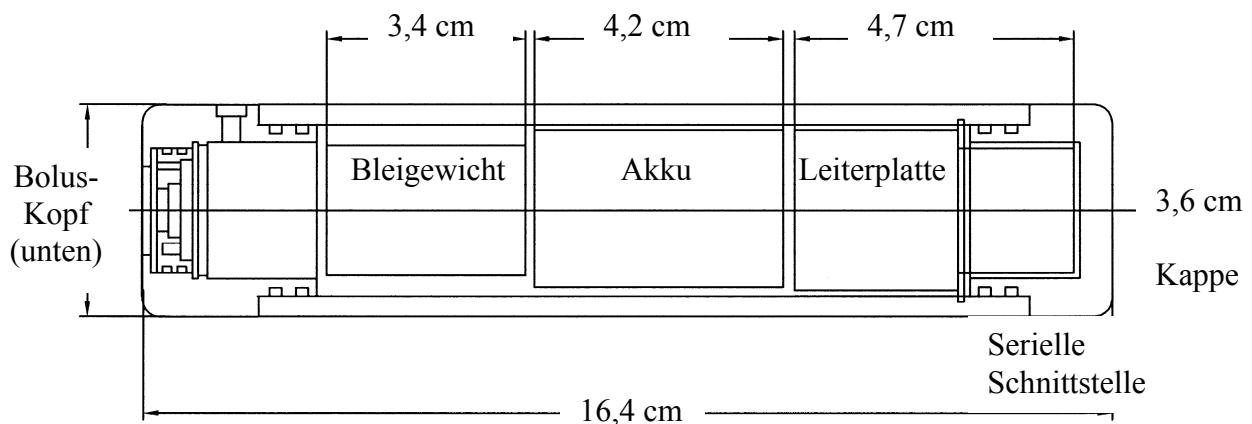


Abbildung 6: Schemazeichnung Bolus

Integrierte Messinstrumente

Der Bolus ist in der Lage Druck, Temperatur und Leitfähigkeit zu messen. Das verwendete Barometer (Altimetermodul MS5534, Intersema, Bevaix, Schweiz) beinhaltet zusätzlich ein Thermometer (Abb. 7). Es zeichnet sich durch hohe Genauigkeit, geringen Stromverbrauch und kleine Baugröße (Durchmesser 7 mm, Höhe 4 mm) aus. Die Elektronik ist auf einem Keramiksubstrat von 10 x 10 mm untergebracht. Der Messbereich liegt zwischen 30 und 110 hPa. Das Kernstück ist eine Siliciummesszelle, die nach dem piezoresistiven Prinzip arbeitet. Ein Analog-Digital-Wandler-System wandelt die analogen Signale (druck- und temperaturabhängige Spannungen) der Messzelle in digitale Werte für Druck und Temperatur um. Der Wandler misst neben der Ausgangsspannung der Messzelle auch ihren temperaturabhängigen Brückenwiderstand. Dieses Signal wird zur Kompensation des temperaturabhängigen Drucksignals verwendet, ist allerdings auch als sehr fein auflösendes Thermometer nutzbar (0,01 °C Auflösung). Der Messbereich für das Thermometer liegt zwischen -10 und +60°C.

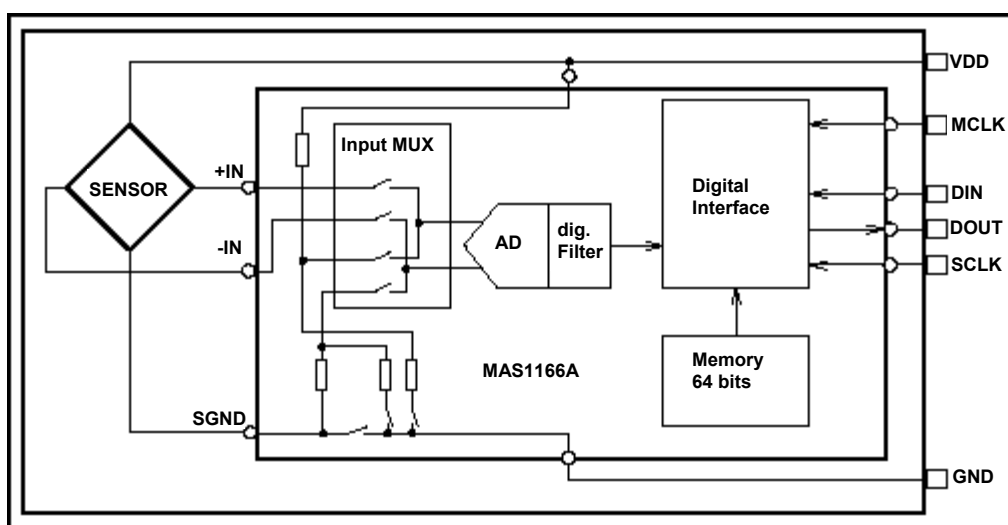


Abbildung 7: Schaltbild Altimetermodul MS5534; Intersema, Bevaix, Schweiz

Der Drucksensor mit dem Thermometer ist im Kopf des Bolus untergebracht und wird von einer Gummimembran abgedeckt (Abb.8). Zur besseren Druckübertragung zwischen der Gummimembran und dem Barometer befindet sich im Zwischenraum ein Flüssigmetall. Hierbei handelt es sich um Galinstan[®] (Geratherm Medical AG, Geschwenda), einem

Eutektikum aus den Metallkomponenten Gallium, Indium und Zinn, das ähnliche physikalische Eigenschaften wie Quecksilber hat, aber ungiftig ist.

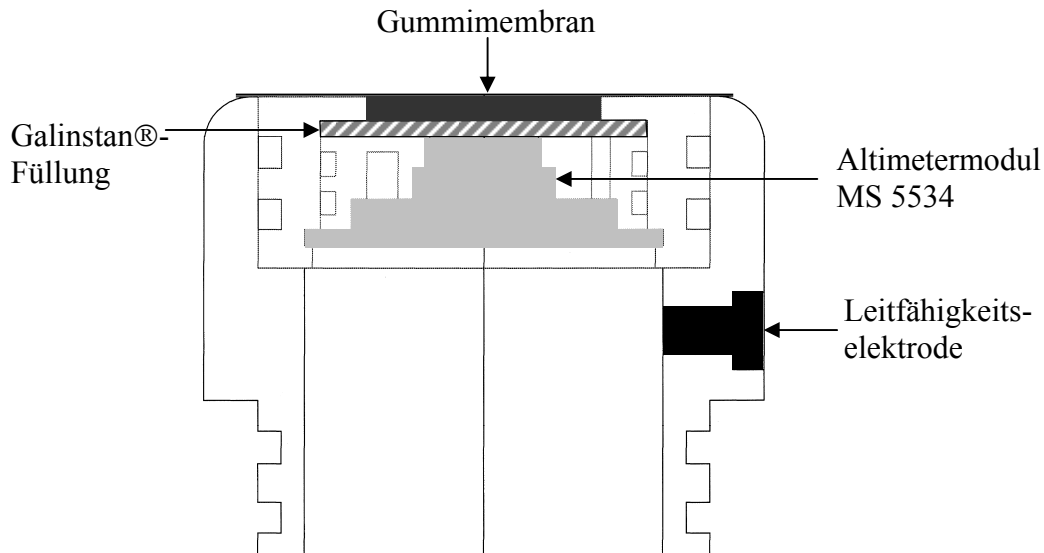


Abbildung 8: Querschnitt durch den Boluskopf

Das Leitfähigkeitsmessgerät wurde speziell für den Bolus entwickelt (Abb. 9). Die elektronischen Komponenten sitzen auf der Leiterplatte und die Leitfähigkeitselektroden sind seitlich am Boluskopf in einem Abstand von 1 cm angebracht (Abb. 8). Als Elektroden dienen zwei rundgeschliffene Sechskantschrauben aus säurefestem V4A-Edelstahl. Da es sich bei dem in den Bolus eingebauten Leitfähigkeitsmessgerät um Prototypen handelt und die Elektroden daher auch nicht kalibriert sind, muss das Gerät mit Hilfe eines Referenzgerätes kalibriert werden (s. S. 39).

Vereinfacht besteht die Messschaltung aus dem Spannungsteiler mit den Widerständen „R4“ und „R5“ und dem unbekanntem Widerstand „Rx“, der sich zwischen den Messelektroden in der Flüssigkeit befindet (Abb. 9). An der unteren Elektrode (W) liegt eine rechteckförmige Wechselspannung mit einer Frequenz von 8 kHz an, die zwischen 0 und 3 V schwingt. Diese Steuerspannung hat eine positive und negative Halbwelle bezogen auf die Spannung, die bei leitfähigem Medium zwischen den Elektroden herrscht und die vom Bolus als Leitfähigkeitswert registriert wird (Messspannung in mV). Der Wechselstrom verhindert eine Teilchenanlagerung an der Elektrode. An der anderen Elektrode (Gl) liegt eine Gleichspannung von 1,5 V an. Werden die Elektroden nun in ein

leitfähiges Medium verbracht, wird die Wechselspannung auf die Elektrode mit der Gleichspannung übertragen. Die Höhe der übertragenen Messspannung wird an dem Knotenpunkt zwischen „R4“ und „R5“ an „Rx“ (s. Pfeil) abgefragt und gespeichert, jedoch nur bei positiver Halbwelle. Da „Rx“ parallel zu „R4“ geschaltet ist, ist der Summenwiderstand aus beiden kleiner als „R4“ und die Messspannung steigt an, desto kleiner „Rx“ wird. Je höher also die Leitfähigkeit des Mediums ist, desto höher ist die gemessene Spannung. Eine Umrechnung der Werte von mV in mS erfolgt außerhalb des Gerätes.

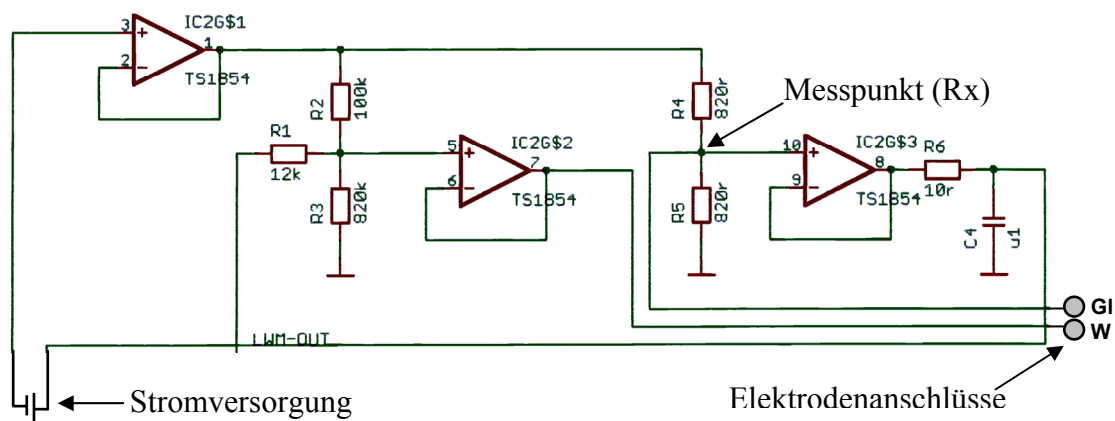


Abbildung 9: Schaltbild des Leitfähigkeitsmessgerätes im Bolus

Das Funktionsprinzip

Vor jeder Messung können folgende Parameter mittels eines für den Bolus entwickelten Computerprogramms (Kneisner und Doering Elektronik GmbH, Braunschweig) eingestellt werden:

1. Dauer eines Messzyklus
2. Dauer der Messperiode für jeden einzelnen Parameter
3. Messintervall für jeden einzelnen Parameter

Ein Messzyklus besteht aus einer aktiven Phase, in der Messungen durchgeführt werden und einer sogenannten Schlafphase, die der Einsparung von Energie dient. Die Dauer der Messung eines Parameters (Temperatur, Druck und Leitfähigkeit) innerhalb eines Messzyklus wird als Messperiode bezeichnet. Das Messintervall bestimmt, in welchen Zeitabständen während einer Messperiode Werte aufgenommen werden. So kann zum

Beispiel definiert werden, dass der Bolus alle 60 min in den aktiven Zustand übergeht und die Messungen startet. Die Temperatur wird dann zum Beispiel über eine Messperiode von 5 Minuten registriert, wobei alle 10 Sekunden eine Messung erfolgt (30 Einzelwerte). Die parallel durchgeführte sekundliche Messung von Druck über eine Messperiode von 15 min ergibt dann 900 Einzelwerte. Der Parameter, der die längste Messperiode aufweist (in diesem Beispiel die Druckmessung), legt fest, wie lange der Bolus innerhalb eines Messzyklus aktiv bleibt und bestimmt somit auch den Energieverbrauch. Je höher die Anzahl der Einzelmessungen innerhalb einer Messperiode ist, desto mehr Speicherplatz wird belegt und umso mehr Energie wird verbraucht. Ein erhöhter Energieverbrauch setzt wiederum die nötige Aufladefrequenz des Bolus herauf. Die verschiedenen Messinstrumente innerhalb des Bolus können nicht unabhängig voneinander messen. Ist der Bolus aktiv, werden auch alle Funktionen aktiviert. Der Bolus enthält zudem eine interne Uhr, die Echtzeitmessungen ermöglicht.

Über die Bolus-Software lassen sich nicht nur die Messgeräte programmieren, sondern auch Updates der Software im Bolus durchführen. Die Software dient weiterhin dazu, den Ladezustand des Akkus zu prüfen und anzuzeigen. Über das System lässt sich jedem Bolus zur Identifikation eine Nummer zuordnen. Weiterhin bietet der verwendete Prototyp des Bolus die Möglichkeit, über eine „Monitorfunktion“ Testmessungen zu machen, während er geöffnet und an einen Computer angeschlossen ist.

Für die Messung im Tier muss der Bolus im Netzmagen platziert werden (s. Abb.10). In

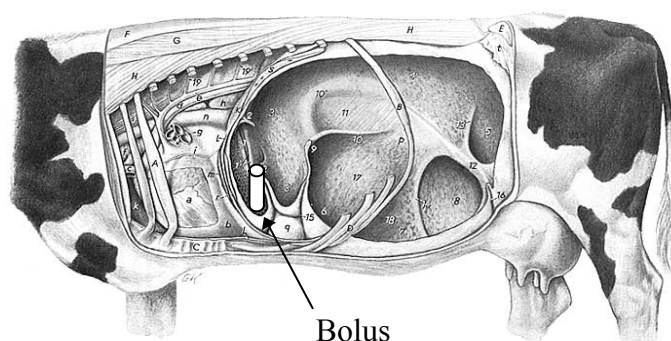


Abbildung 10: Sitz des Bolus im Netzmagen (nach Nickel *et al.*, 2004)

dieser Studie wurde ausschließlich mit Pansen-fistulierten Tieren gearbeitet, so dass der Bolus immer unter manueller Kontrolle im Netzmagen abgelegt werden konnte. Bei jeder

auf diese Art durchgeführten Messung befand sich der Bolus bei Entnahme nach der Messung unverändert im Netzmagen.

Nach einer Messung werden die Daten als Textdatei in einen Ordner auf dem Computer eingelesen. Ein „Messwert“ umfasst dabei nicht nur die eigentlichen Messwerte (Temperatur-, Druck- und Leitfähigkeitswert), sondern zusätzlich auch folgende Informationen:

1. Nummer des Bolus
2. Nummer des Messzyklus
3. Messkanal (1: Temperatur, 2: Druck, 3: Leitfähigkeit, 5: Akku-Spannung)
4. Unix-Zeit

Die Originaldaten aus dem Bolus werden zum Teil ohne Kommastellen angegeben und das Datum und die Uhrzeit als Unix-Zeit. Diese Daten können dann in weitere Rechenprogramme übertragen und in entsprechende Formate transformiert werden.

Kapitel 3

Überprüfung der Funktionsweise des Bolus *in vitro*

Überprüfung der Messfunktionen *in vitro*

Eine Überprüfung des Bolus *in vitro* ist notwendig, um zu wissen, wie die einzelnen Messgeräte unter standardisierten Bedingungen reagieren und durch welche Faktoren sie beeinflusst beziehungsweise gestört werden können. Eine genaue Kalibrierung der Messgeräte ist ebenfalls nur unter standardisierten Bedingungen *in vitro* möglich. Je nach Versuchsaufbau kann man so die Messgenauigkeit, Ansprechzeit (Dauer bis ein vorgegebener Messwert als solcher auch erkannt wird) und Reproduzierbarkeit der Messungen ermitteln.

Überprüfung des Thermometers

Bei dem im Bolus vorhandenen Thermometer handelt es sich um ein Widerstandsthermometer, dessen Widerstand sich bei Temperatureinwirkung erhöht. Die gemessenen Widerstandswerte werden in die entsprechenden Temperaturwerte umgesetzt.

Zur Überprüfung der Funktion des im Bolus integrierten Thermometers wurde dieser in ein thermostatisiertes Wasserbad (SW21, Julabo, Seelbach/Schwarzwald) verbracht. Mit dem Wasserbad lässt sich die gewünschte Temperatur in 0,1 °C-Schritten einstellen. Der Bolus sollte für diesen Versuch in einem 5-minütigen Messzyklus die Temperatur über eine Messperiode von 30 Sekunden bei einem Messintervall von 1 Sekunde messen. Aus den Werten jeder Messperiode wurde dann für die weitere Auswertung ein Mittelwert (MW) gebildet. Parallel dazu wurde die Temperatur im Wasserbad mit einem externen Thermometer (Allgebrauchsthermometer, Erich Eydam KG, Kiel) registriert. Mit Hilfe des Programms GraphPad Prism 4 (Version 4.01, GraphPad Software Inc., San Diego, USA) wurde die Korrelation zwischen der mittels Bolus beziehungsweise externem Thermometer gemessenen Temperatur berechnet (Sachs, 1999). Die vom Bolus erfassten Temperaturdaten korrelierten hoch signifikant ($r^2 = 0,9941$, $p < 0.0001$) mit den Messdaten des externen Thermometers (Abb. 11).

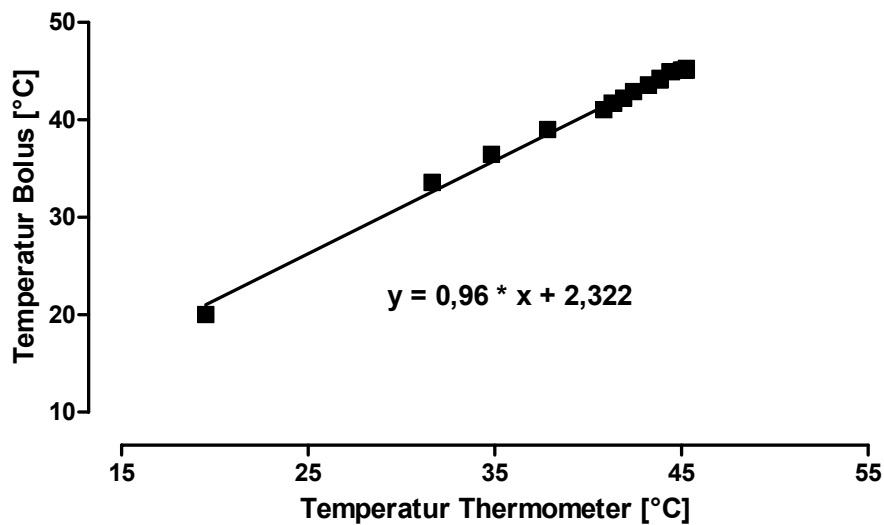


Abbildung 11: Korrelation der mittels Bolus bzw. externem Thermometer ermittelten Temperatur im Wasserbad
 MW ± SEM (SEM kleiner als Symbol); n = 90 (3 Boli mit jeweils 30 Messungen); $r^2 = 0,9941$, $p < 0,0001$; die eingezeichnete Gerade wurde mittels linearer Regression berechnet

Überprüfung der Funktionsweise des Barometers

Zur Überprüfung des Barometers wurde ein Druckadapter verwendet (Abb. 12), mit dem über die Wassersäule in einem Schlauch ein definierter Druck erzeugt werden kann. Hiermit sollte gezeigt werden, ob und mit welcher Dämpfung die Druckübertragung mit Hilfe des Flüssigmetalls Galinstan[®] von der Gummimembran auf das Barometer stattfindet. Dabei wurde durch Füllen des Wasserschlauches, der sich in senkrechter Position befand, der Druck auf die Gummimembran kontinuierlich erhöht (maximaler Druck 127,4 hPa).



Abbildung 12: Bolus mit aufgesetztem Druckadapter

Bei jedem erzeugten Druck wurde der Wert mit einem Messintervall von 10 Sekunden über eine Messperiode von 100 Sekunden erfasst. Die Dauer eines gesamten Messzyklus betrug 5 Minuten. Die Messwerte einer Messperiode wurden zu jeweils einem Mittelwert zusammengefasst. Abbildung 13 zeigt den Bezug zwischen dem über die Höhe der Wassersäule berechneten und dem mittels Bolus registrierten Druck. Mit Hilfe des Programms GraphPad Prism 4 (Version 4.01, GraphPad Software Inc., San Diego, USA) wurde die Korrelation zwischen dem berechneten und dem mittels Bolus registrierten Druck berechnet (Sachs, 1999). Die vom Bolus erfassten Druckanstiege korrelierten hoch signifikant mit den anhand der Höhe der Wassersäule kalkulierten Druckdifferenzen ($r^2 = 0,898$, $p < 0,0001$). Da es sich bei den Haubenkontraktionen, die letztendlich über den Bolus erfasst werden sollen, um rasche Druckschwankungen handelt, wurde in einem weiteren Versuch geprüft, ob der Bolus rasche Druckschwankungen in relevanten Bereichen registriert. Dabei wurde ein 10-minütiger Messzyklus mit einer Messperiode von 5 Minuten, in der jede Sekunde der Druck registriert wurde, gewählt. Während der 5-minütigen Messperiode wurde der Schlauch des Druckadapters mehrmals mit 50 cm Wassersäule befüllt und wieder entleert. Das entspricht einer Druckdifferenz von 49 hPa. Literaturangaben über die Druckamplitude von Haubenkontraktionen bewegen sich zwischen 6,8 hPa und 85,73 hPa (Okine *et al.*, 1989; Hirayama *et al.*, 2001). Die Dauer einer biphasischen Haubenkontraktion wird von Jeß (2000) mit 4,2 Sekunden und von Li *et al.*, (2000) mit 3,3 Sekunden angegeben.

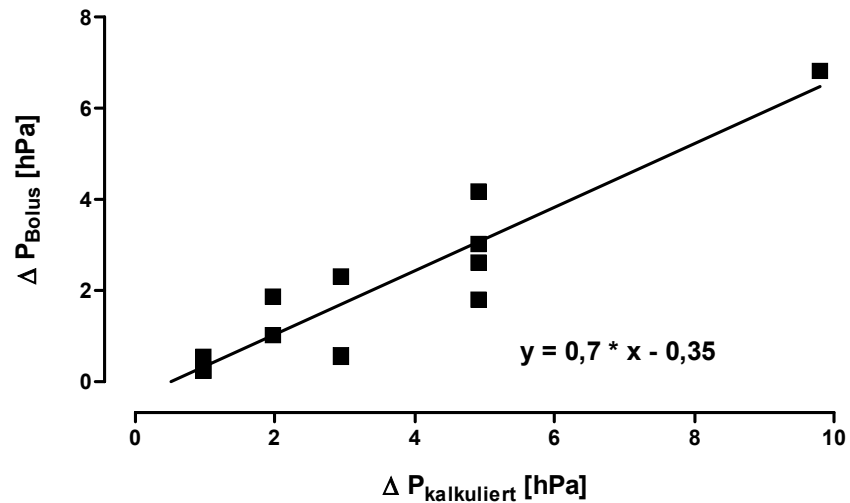


Abbildung 13: Korrelation der mittels Bolus erfassten bzw. anhand der Höhe der Wassersäule kalkulierten Druckdifferenzen
 MW \pm SEM (SEM kleiner als Symbol); n = 20 (2 Boli mit jeweils 10 Messungen); $r^2 = 0,898$, $p < 0,0001$; die eingezeichnete Gerade wurde mittels linearer Regression berechnet

Abbildung 14 zeigt 5 simulierte Kontraktionen innerhalb von 5 Minuten. Aus der Abbildung wird ersichtlich, dass der Bolus jede simulierte Druckschwankung unmittelbar registriert und auch rasche Druckschwankungen zuverlässig erfasst.

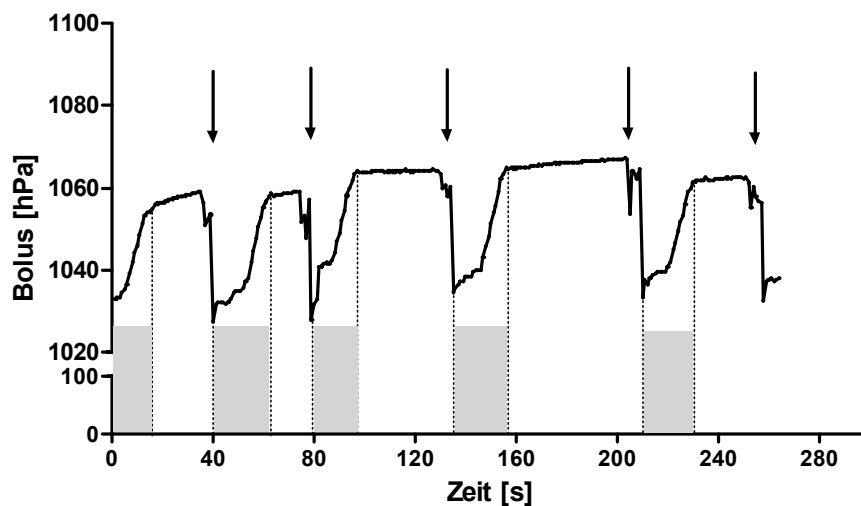


Abbildung 14: *In vitro*-Simulation von Haubenkontraktionen
 ↓ = Entleeren; █ = Befüllen des Adapters

Kalibrierung des Leitfähigkeitsmessgerätes

Bei dem im Bolus verwendeten Leitfähigkeitsmessgerät handelt es sich um einen nicht-kalibrierten Prototyp, weshalb eine Kalibrierung erforderlich ist. Durch die Messschaltung bedingt werden die Werte in mV angegeben (Messprinzip s. S. 30). Zur Kalibrierung wurden unterschiedlich konzentrierte KCl-Lösungen verwendet, da Kalium- und Chlorid-Ionen in wässriger Lösung eine nahezu gleiche Ionenbeweglichkeit besitzen (Lide, 1993). Die Leitfähigkeiten der Lösungen wurden zur Kontrolle mit einem geeichten Referenzgerät (HI 9033, HANNA Instruments, Kehl am Rhein) gemessen. Der Bolus war so programmiert, dass in einem 5 minütigen Messzyklus die Leitfähigkeit während einer Messperiode 20-mal in 10-sekündigem Abstand gemessen wurde. Aus den Werten jeder Messperiode wurde ein Mittelwert gebildet. Der Bolus wurde nacheinander in die verschiedenen Lösungen verbracht. Vor einem Wechsel von einer Lösung in die nachfolgende wurde der Bolus mit destilliertem Wasser abgespült und gründlich abgetrocknet. Die Lösungen befanden sich während der Messung in einem Wasserbad, das auf 39°C temperiert war. Die ermittelten Werte sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Daten zur Erstellung der Kalibrierkurve des Leitfähigkeitsmessgerätes im Bolus

Kalibrierlösung [mol KCl/ l]	Referenzgerät^a [mS]	Bolus^b [mV]
0,004	0,67	0,363 ± 0,006
0,01	1,59	0,658 ± 0,008
0,03	4,50	1,121 ± 0,006
0,05	7,57	1,328 ± 0,006
0,1	14,53	1,536 ± 0,004
0,2	28,05	1,674 ± 0,002
0,3	40,48	1,721 ± 0,001

^a)MW, n = 2; ^b)MW ± SEM, n = 80 (4 Boli mit jeweils 20 Messungen)

Abbildung 15 stellt die vom Bolus ermittelten Werte vergleichend zu den durch das Referenzgerät Ermittelten dar. Während sich für das Referenzgerät zwischen der KCl-Konzentration und den Leitfähigkeitswerten eine lineare Beziehung ergab, zeigt die Beziehung zwischen der KCl-Konzentration und den Leitfähigkeitswerten bei der

Bolusmessung einen kurvilinearen Verlauf mit einer Plateaubildung, die bereits bei einer KCl-Konzentration von 0,1 mol/l beginnt. Das bedingt, dass letztendlich die Leitfähigkeit in Lösungen mit einer Konzentration an gelösten, geladenen Teilchen von über 0,1 mol/l nicht mehr zuverlässig erfasst werden kann.

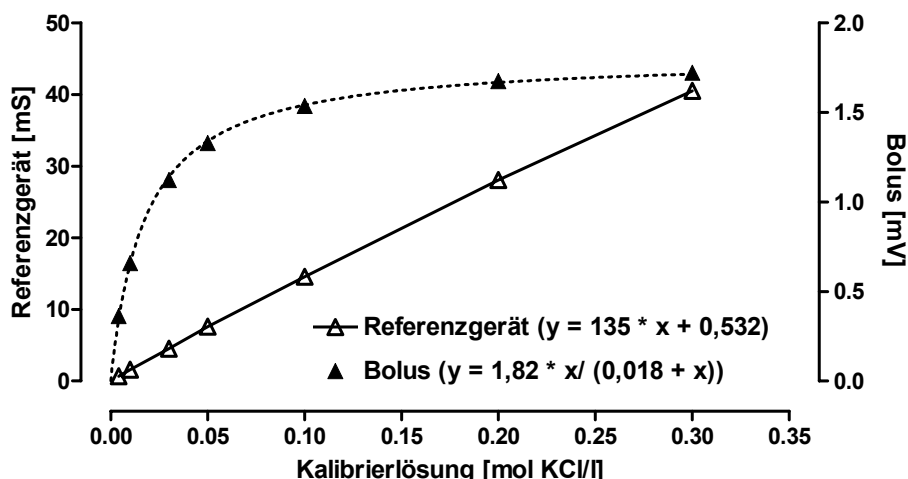


Abbildung 15: Verlauf der durch das Referenzgerät bzw. durch den Bolus ermittelten Werte bei steigenden KCl-Gehalten der Kalibrierlösung
Referenzgerät: MW, n = 2; Bolus: MW ± SEM (SEM kleiner als das Symbol), n = 80 (4 Boli mit jeweils 20 Messungen); die gestrichelte Kurve wurde mittels nicht-linearer, die Gerade mittels linearer Regression berechnet

In Abbildung 16 ist die eigentliche Kalibrierkurve dargestellt. Betrachtet man die Messschaltung des Leitfähigkeitsmessgerätes (S. 31, Abb. 9) und stellt eine Gleichung für die Messspannung in Abhängigkeit von Rx auf, ergibt sich folgende Formel:

$$U_M = (R_4 / ((R_x \times R_5) / (R_x + R_5) + R_4)) \times U_{Gl}$$

wobei U_M die Messspannung und U_{Gl} die Spannung ist, die an der Referenzelektrode (Gl) anliegt. Mit Hilfe dieser Formel wird durch Einsetzen der in Tabelle 4 aufgeführten Boluswerte deutlich, dass aufgrund der Messschaltung keine Kalibriergerade zustande kommen kann. Eine einfache lineare Umrechnung der Bolus-Werte von mV in mS für spätere Auswertungen ist nicht möglich. Bei allen folgenden Abbildungen, in denen Bolus-Werte in mS angegeben werden, wird die in Abbildung 16 aufgeführte Formel zur Umrechnung benutzt. Bedingt durch die in Abbildung 15 dargestellten Messeigenschaften des Leitfähigkeitsmessgerätes im Bolus, nimmt die Messgenauigkeit zwischen 1 und 2 mV

stark ab. Es kann somit davon ausgegangen werden kann, dass Werte in Bereichen mit hoher Leitfähigkeit mit dem Bolus nicht erfasst werden können.

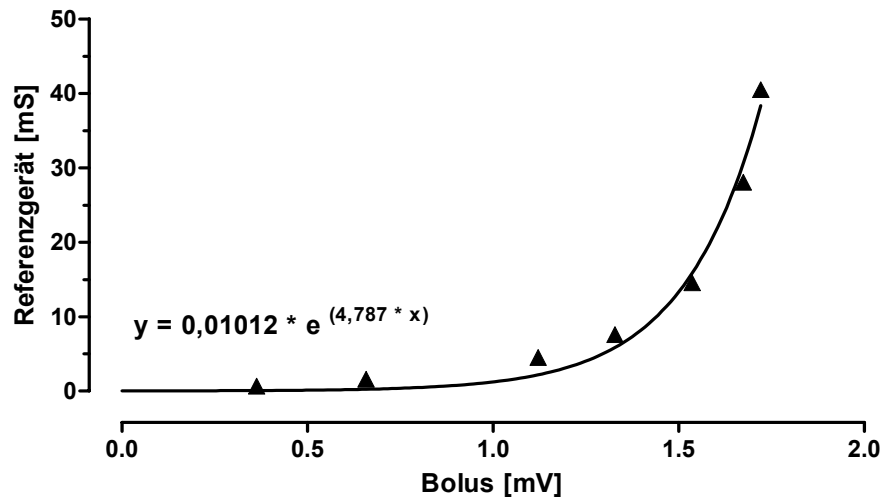


Abbildung 16: Kalibrierkurve des Leitfähigkeitsmessgerätes
MW \pm SEM (SEM kleiner als das Symbol), n = 80 (4 Boli mit jeweils 20 Messungen); die eingezeichnete Kurve wurde mittels einer nicht-linearen Regression berechnet

Da es sich bei diesem Leitfähigkeitsmessgerät um einen neu entwickelten Prototypen handelt, der eigens für den Bolus entwickelt wurde, wurde auch die Art der Messschaltung noch nicht vorher erprobt. Diese Schaltung muss anhand weiterer Entwicklungsarbeit durch eine für den Bolus und die Bedingungen in den Vormägen (hohe Leitfähigkeit) geeignete Technik ersetzt werden. Im Folgenden werden zwar die Leitfähigkeitswerte, die mittels Bolus erfasst wurden, noch dargestellt, aber aufgrund des vorliegenden Sachverhalts nicht weiter interpretiert.

***In vitro*-Untersuchungen zur Beeinflussung der Leitfähigkeit**

Wie bereits in der Literaturübersicht dargestellt wurde, nehmen viele verschiedene Inhaltsstoffe des Pansensaftes, wie zum Beispiel die Konzentration an gelösten anorganischen und organischen Ionen, der pH-Wert und der osmotische Druck, Einfluss auf die Leitfähigkeit. Dabei wirken die einzelnen Bestandteile nicht unabhängig voneinander, sondern beeinflussen sich häufig gegenseitig. In den folgenden Versuchen

wurden der Einfluss des pH-Wertes, der Osmolarität und der Konzentration der kurzkettigen Fettsäuren einzeln untersucht, um ihren Einfluss isoliert darzustellen. Zusätzlich wurde versucht, die Entstehung einer Pansenazidose *in vitro* zu simulieren und dies mit dem Bolus abzubilden.

Einfluss des pH-Wertes

In einer auf 39 °C temperierten NaCl-Lösung (150 mmol/l) wurden durch Zugabe von HCl (0,1 mol/l) pH-Werte zwischen 4,0 und 6,0 eingestellt und mit Hilfe eines externen pH-Meters (MP 220 pH-Meter, Mettler Toledo, Steinbach), wie auch in den folgenden Versuchen, überprüft. In den Lösungen mit unterschiedlichem pH-Wert wurde zunächst mit dem Leitfähigkeitsreferenzgerät die Leitfähigkeit bestimmt (Tabelle 5).

Tabelle 5: Einfluss des pH-Wertes auf die Leitfähigkeit

pH-Wert	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0
Leitfähigkeit^{a)} [mS]	15,24	15,33	15,30	15,31	15,37	15,30

^{a)}Mittelwerte; n = 2

Die Messungen ergaben, dass der pH-Wert der Lösung bei unveränderter Ionenkonzentration die Leitfähigkeit nicht beeinflusst. Die Messung wurde daher nicht mit dem Bolus wiederholt.

Der „künstliche Pansensaft“

In den folgenden Versuchen zum Einfluss der Osmolarität und zum Einfluss kurzkettiger Fettsäuren auf die Leitfähigkeit, sowie zur Simulation einer Pansenazidose wurde „künstlicher Pansensaft“ verwendet, um die Verhältnisse im Pansen widerzuspiegeln (Tab. 6). Der pH-Wert des „künstlichen Pansensaftes“ ohne die Zugabe von KKFS betrug 6,88 und die Osmolarität lag bei 437 mosmol/l. Die Osmolarität wurde, wie auch in den folgenden Versuchen, anhand der Erniedrigung des Gefrierpunktes mit einem Osmometer (Osmometer Automatic, Knauer, Bad Homburg) bestimmt. Nach Lösen der Salze wurde die Pufferlösung für jeden der folgenden Versuche ca. 1 Stunde in einem Erlen-

meyerkolben mit CO₂ begast. Kurz vor den Messungen wurden die Lösungen in 500 ml Bechergläser umgefüllt und auf 39°C temperiert. Da zwischen den einzelnen KKFS Essig (ES)-, Propion (PS)- und Buttersäure (BS) aufgrund des ähnlichen pKs-Wertes (ES: 4,76; PS: 4,88; BS: 4,82; Lide, 1993) kein unterschiedliches Dissoziationsverhalten vorliegt, wurde nur Essigsäure eingesetzt. Nach Zugabe von Essigsäure kam es bei allen Versuchen zu Gasbildung.

Tabelle 6: Zusammensetzung des „künstlichen Pansensaftes“ (Susenbeth *et al.*, 2004)

Substanz	Konzentration [mmol/l]
NaCl	75
NaHCO ₃	45
Na ₂ HPO ₄	2
KCl	5
KHCO ₃	20
CaCl ₂	2
Mannitol	5
KKFS	variabel

Einfluss der Osmolarität

Um den Einfluss der Osmolarität auf die Leitfähigkeit zu überprüfen, wurde der ungeladene Zuckeralkohol D-Mannitol (0, 50, 100, 150 und 200 mmol/l) eingesetzt. Zu jedem Ansatz wurde Essigsäure in einer Konzentration 100 mmol/l hinzugefügt. Der pH-Wert der Lösungen betrug danach 4,8. Der Bolus wurde so programmiert, dass innerhalb einer Messperiode die Leitfähigkeit 40-mal in einem Messintervall von 10 Sekunden erfasst wurde. Zur weiteren Bearbeitung wurde ein Mittelwert pro Messperiode gebildet. Abbildung 17 zeigt den Verlauf der sowohl mit dem Referenzgerät als auch mit dem Bolus ermittelten Leitfähigkeit bei ansteigender Osmolarität der Lösung. Dabei ergab sich mit zunehmender Osmolarität eine sinkende Leitfähigkeit.

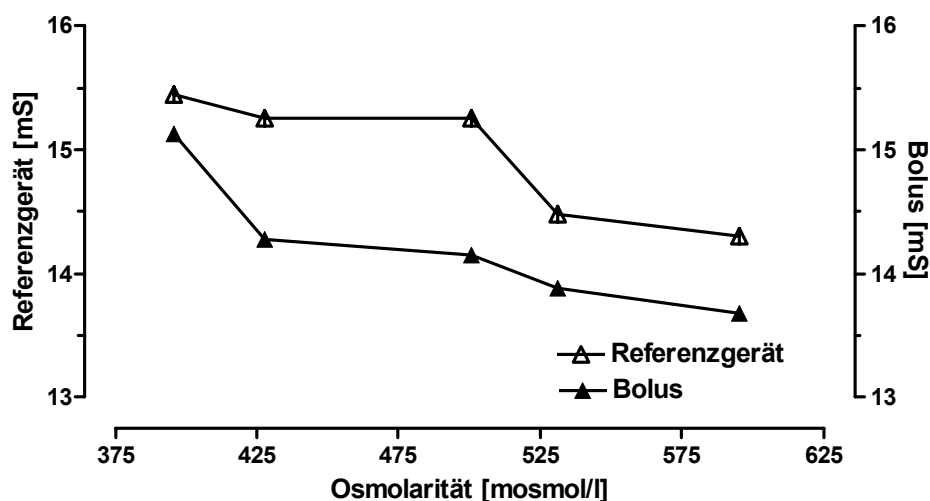


Abbildung 17: Verlauf der mittels Referenzgerät bzw. Bolus ermittelten Leitfähigkeit bei steigender Osmolarität
Referenzgerät: MW, n = 2; Bolus: MW ± SEM (SEM kleiner als das Symbol), n = 160 (4 Boli mit jeweils 40 Messungen)

Zwischen der ansteigenden Osmolarität und den Leitfähigkeitswerten des Referenzgerätes wurde mit Hilfe des Programms GraphPad Prism 4 (Version 4.01, GraphPad Software Inc., San Diego, USA) eine Korrelation berechnet (Sachs, 1999). Osmolarität und Leitfähigkeit korrelierten signifikant miteinander ($r^2 = 0,814$, $p < 0,05$). Die Osmolarität hat somit einen signifikanten Einfluss auf die Leitfähigkeit.

Einfluss der Konzentration von KKFS

Um den Einfluss der Konzentration von KKFS zu überprüfen, wurde Essigsäure in einer Konzentration von 0, 50, 100 und 150 mmol/l eingesetzt. Der pH-Wert der Lösungen wurde nach Zugabe von Essigsäure gemessen. Um die Osmolarität in den jeweiligen Lösungen konstant zu halten, wurden die unterschiedlichen Zugaben von Essigsäure durch einen entsprechenden Zusatz von D-Mannitol kompensiert und die Osmolarität danach gemessen. Zusätzlich wurde anhand der Henderson-Hasselbalch'schen Gleichung ($pH = pK_s + \log \frac{[\text{konjugierte Base}]}{[\text{Säure}]}$) die Konzentration an dissoziierter Essigsäure in den verschiedenen Lösungen berechnet. Zur Messung wurde der Bolus so programmiert, dass die Leitfähigkeit innerhalb einer Messperiode 40-mal in einem Messintervall von 10 Sekunden erfasst wurde. Aus diesen Messwerten wurde dann pro Messperiode ein Mittelwert gebildet. Tabelle 7 gibt eine Übersicht über die Versuchslösungen mit den

jeweiligen pH-Werten und der errechneten Konzentration an dissoziierter Essigsäure, sowie über die durch das Referenzgerät und den Bolus erfassten Leitfähigkeitswerte.

Tabelle 7: Einfluss der Konzentration der KKFS auf die Leitfähigkeit

Lösung	ES [mmol/ l]	pH-Wert	Acetat ^{a)} [mmol/ l]	Osmolarität ^{b)} [mosmol/l]	Referenzgerät ^{c)} [mS]	Bolus ^{d)} [mS]
1	0	6,88	0	437	12,69	10,46 ± 0,01
2	50	5,77	44,05	419	12,74	7,85 ± 0,01
3	100	4,88	48,85	399	13,01	8,64 ± 0,01
4	150	4,50	42,71	436	13,25	9,5 ± 0,01

^{a)}Konzentration der dissoziierten ES; ^{b)}durch D-Mannitol ausgeglichen; ^{c)}MW, n = 2; ^{d)}MW ± SEM, n = 160 (4 Boli mit jeweils 4 Messungen = 160 Messungen gesamt)

Die Osmolarität sollte theoretisch in allen Versuchslösungen annähernd gleich sein. Die hier erhaltenen Schwankungen lassen sich durch Messungenauigkeiten des Osmometers durch die Gasbildung (CO₂) in den Lösungen erklären.

Die mit dem Referenzgerät ermittelten Leitfähigkeitswerte steigen von Lösung 1 bis Lösung 4 an, lassen aber keine Rückschlüsse auf die Gesamtkonzentration an Essigsäure zu. Das Ziel wäre aber, Aussagen über die Gesamtkonzentration der KKFS anhand der Leitfähigkeit machen zu können. Dies ist aber nicht möglich, da aufgrund der unterschiedlichen pH-Werte die Konzentration der dissoziierten KKFS ungefähr gleich bleibt. Dabei ist aber zu bedenken, dass die Pufferkapazität des „künstlichen Pansensafts“ begrenzt ist. Liegt eine ausreichende Pufferkapazität vor, wie dies zum Beispiel *in vivo* sein könnte, würde dies bei einem Anstieg der Gesamtkonzentration an KKFS zu einem konstanten pH-Wert und daher zu einem Anstieg der Konzentration der dissoziierten KKFS führen, was sich wiederum in einer veränderten Leitfähigkeit widerspiegeln würde.

Simulation einer Pansenazidose

Bei einer Pansenazidose finden mehrere Prozesse in zeitlicher Abfolge statt, die die Leitfähigkeit potenziell beeinflussen können. Ursachen und Folgen einer Pansenazidose wurden bereits im Literaturteil beschrieben (s. S. 18). In diesem Versuch sollten die verschiedenen pathophysiologischen Phasen bei der Entstehung einer akuten Pansenazidose durch 5 verschiedene Ansätze simuliert werden. Die Zusammensetzung der einzelnen Lösungen orientiert sich dabei an den in Abbildung 18 dargestellten Verläufen und ist in Tabelle 8 zusammenfassend dargestellt.

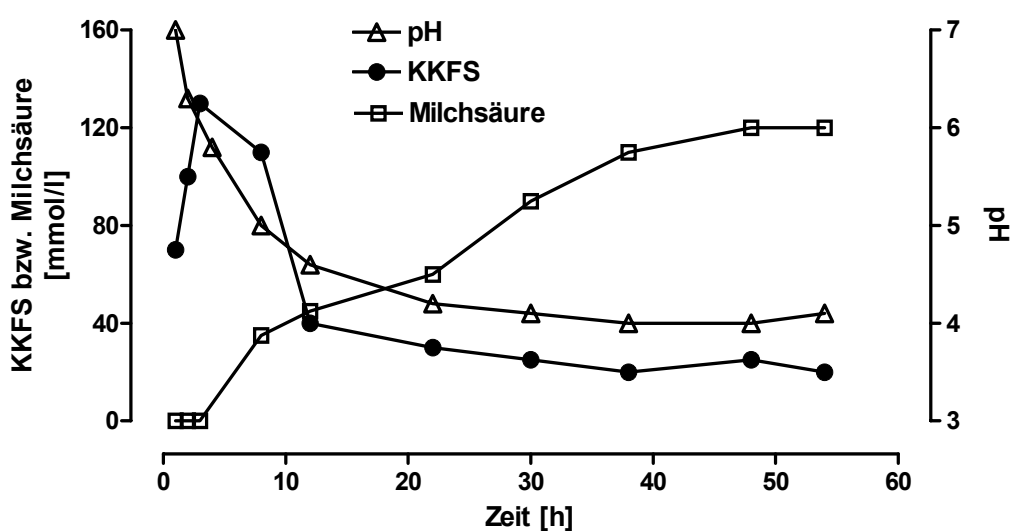


Abbildung 18: Veränderungen der Zusammensetzung des Pansensaftes von Rindern nach induzierter Pansenazidose (nach Gäbel, 1990)
 KKFS = kurzkettige Fettsäuren

Um die Osmolarität in den jeweiligen Lösungen konstant zu halten, wurden die unterschiedlichen Zugaben von Essig- und Milchsäure wieder durch einen entsprechenden Zusatz von D-Mannitol kompensiert und die Osmolarität danach gemessen. Zusätzlich wurde anhand der Henderson-Hasselbalch'schen Gleichung die Konzentration an dissoziierter Essigsäure und an dissoziierter Milchsäure in den verschiedenen Lösungen berechnet. Zur Messung wurde der Bolus so programmiert, dass die Leitfähigkeit innerhalb einer Messperiode 40-mal in einem Messintervall von 10 Sekunden erfasst wurde. Aus diesen Messwerten wurde dann pro Messperiode ein Mittelwert gebildet.

Tabelle 8: Zusammensetzung der Lösungen zur Simulation einer Pansenazidose

Lösung ^{a)}	pH-Wert	ES [mmol/ l]	Acetat ^{b)} [mmol/ l]	MS ^{c)} [mmol/ l]	Laktat ^{d)} [mmol/ l]	Referenz-Gerät ^{e)} [mS]	Bolus ^{f)} [mS]
1	6,71	0	0	0	0	12,74	10,98 ± 0,01
2	5,73	50	43,56	0	0	12,76	8,64 ± 0,01
3	4,88	100	48,72	0	0	13,05	10,46 ± 0,01
4	4,40	100	23,96	100	77,21	12,84	9,97 ± 0,01
5	4,15	50	7,55	150	98,56	12,67	10,46 ± 0,01

^{a)}Osmolarität durch D-Mannitol ausgeglichen; ^{b)}Anteil der dissoziierten ES ; ^{c)}MS = Milchsäure (pKs = 3,87); ^{d)}Anteil der dissoziierten MS ; ^{e)}MW, n = 2 ; ^{f)}MW ± SEM, n = 160 (4 Boli mit jeweils 40 Messungen)

Unter den gewählten Bedingungen ist somit die Gesamtkonzentration an dissoziierten organischen Säuren (ES+MS) ausschlaggebend für die Leitfähigkeit. Ein Einfluss der Osmolarität sollte eigentlich nicht bestehen, da diese durch D-Mannitol ausgeglichen wurde. Wie im vorherigen Versuch traten aber auch hier erhebliche Störungen der Osmolaritätsmessung aufgrund der Gasbildung in den HCO₃⁻-gepufferten Lösungen auf (360-451 mosmol/l).

Abbildung 19 zeigt die Gesamtkonzentration an dissoziierter Essigsäure und Milchsäure in Bezug zur Leitfähigkeit. Die durch das Referenzgerät ermittelten Leitfähigkeitswerte bleiben auch bei steigender Konzentration an dissoziierten organischen Säuren fast konstant. Auch unter Berücksichtigung der schwankenden Osmolarität lässt sich unter den verschiedenen Bedingungen, die die wesentlichen Veränderungen bei der Entstehung einer Pansenazidose in zeitlicher Abfolge simulieren, kein deutlicher Einfluss auf die Leitfähigkeit nachweisen. Dies lässt die Vermutung zu, dass über die Erfassung der Leitfähigkeit die im Ablauf einer Pansenazidose eintretenden Veränderungen des Pansenmilieus nicht erfassbar sind.

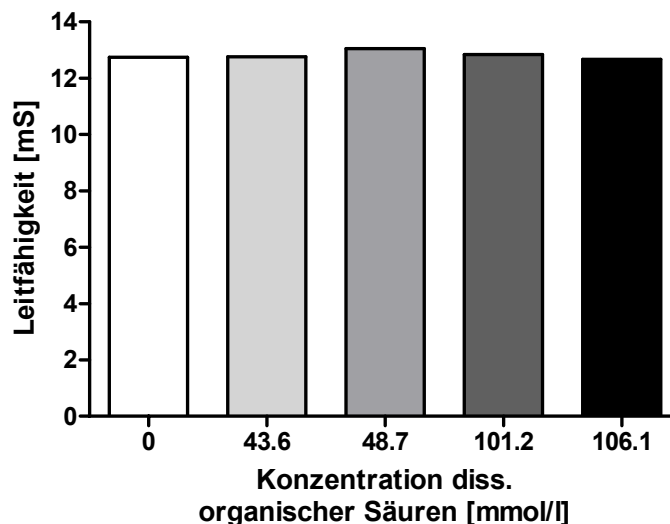


Abbildung 19: Einfluss unterschiedlich hoher Gehalte an dissoziierten organischen Säuren auf die mittels Referenzgerät gemessene Leitfähigkeit
MW, n = 2

Diskussion

Die Überprüfung der Funktionsweise des Bolus *in vitro* diene unter anderem dazu, zu erfassen, welche Parameter mit der vorhandenen Messtechnik zuverlässig erfassbar sind.

Die Überprüfung des Thermometers zeigte, dass die vom Bolus registrierten Temperaturwerte hoch signifikant mit den über ein externes Thermometer registrierten Messwerte korrelieren ($r^2 = 0,994$). Somit ist das im Bolus verwendete Thermometer ein zuverlässiges Messinstrument, sowohl hinsichtlich der Messgenauigkeit, als auch der Ansprechzeit. Beim Einsatz im Tier sind somit hinsichtlich der Temperaturmesstechnik keine Probleme zu erwarten.

Zur Überprüfung des Barometers wurden Drücke mit Hilfe des Druckadapters simuliert. Absolut herrschende Drücke sind mit dem Bolus laut Herstellerangaben nicht erfassbar, da - durch die Abdeckung der Membran bedingt- nur 50% des wirklich herrschenden Druckes erfasst werden. Bei Messungen im Tier ist aber nicht der absolute Druck von Interesse, sondern vielmehr durch Kontraktionen verursachte Druckschwankungen. Die vom Bolus registrierten Druckänderungen korrelierten hoch signifikant mit den durch den Adapter erzeugten Druckänderungen ($r^2 = 0,806$). Mit der Simulation von Haubenkontraktionen konnte gezeigt werden, dass der Bolus jede Druckschwankung unmittelbar identifiziert und auch rasche Druckschwankungen zuverlässig erfasst. Eine nennenswerte Verzögerung

durch die Gummimembran besteht somit nicht. Der Bolus sollte daher auch Haubenkontraktionen *in vivo* einwandfrei registrieren können.

Bei der Kalibrierung des Leitfähigkeitsmessgerätes wurde deutlich, dass die vom Bolus gemessenen Werte nicht einer Kalibriergeraden folgen, sondern einer exponentiellen Funktion. Dies kommt durch die Messschaltung zustande. Stellt man nämlich für die Messspannung eine Gleichung in Abhängigkeit vom Widerstand zwischen den Messelektroden auf, wird deutlich, dass aufgrund der Schaltung der einzelnen Widerstände keine Kalibriergerade zustande kommen kann. Daraus folgt, dass das Leitfähigkeitsmessgerät, schon durch seine Bauart bedingt, in unter physiologischen Bedingungen relevanten Bereichen keine brauchbaren Messwerte liefert. Da aufgrund der Vielzahl an gelösten Teilchen im Pansensaft von einer hohen Leitfähigkeit im Vormagensystem ausgegangen werden muss, kann bereits nach den ersten *In vitro*-Messungen festgehalten werden, dass das Leitfähigkeitsmessgerät ungeeignet erscheint. Mit Hilfe der mittels Referenzgerät *in vitro* durchgeführten Messungen konnte aber gezeigt werden, dass der pH-Wert zwar keinen, die Osmolarität aber sehr wohl einen Einfluss auf die Leitfähigkeit hat. Bei ansteigender Osmolarität sinkt die Leitfähigkeit signifikant. In dem Versuch zum Einfluss der Konzentration KKFS auf die Leitfähigkeit wurde deutlich, dass in wenig gepufferten Medien der pH-Wert bei ansteigender Konzentration der KKFS parallel sinkt, die Konzentration dissoziierter KKFS dadurch aber fast konstant bleibt. Eine Änderung der Leitfähigkeit kann in dem Fall nicht erwartet und konnte auch nicht gezeigt werden. Die Simulation der Pansenazidose zeigte aber, dass auch bei steigenden Gehalten an dissoziierten organischen Säuren keine Rückschlüsse auf variierende Gehalte an KKFS und Milchsäure möglich waren. Hier stellt sich die Frage nach der grundsätzlichen Eignung des Parameters Leitfähigkeit. Da die Verhältnisse im Tier ungleich komplizierter sind, sind auch *in vivo* Probleme hinsichtlich der Eignung dieses Parameters zu erwarten. Leitfähigkeit wird durch eine Vielzahl an Parametern (geladene Teilchen, Osmolarität, pH-Wert) beeinflusst, die sich wiederum gegenseitig beeinflussen und überdecken. Aussagen über den Verlauf einzelner Parameter sind daher nicht möglich.

Kapitel 4

Überprüfung der Funktionsweise des Bolus *in vivo*

Einleitung

Nachdem durch *In vitro*-Versuche gezeigt werden konnte, dass der Bolus Temperatur und Druckschwankungen zuverlässig messen und speichern kann, wurde nun ein erster *In vivo*-Versuch durchgeführt. Die in dieser Arbeit gemachten Messungen an Tieren dienten vor allem dazu, Messwerte unter physiologischen Verhältnissen zu erhalten. Untersuchungen zum Einfluss experimentell induzierter oder natürlicherweise auftretender Erkrankungen konnten im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht untersucht werden.

Material und Methoden

Der Versuch fand im Rinderversuchsstall am Institut für Tierernährung und Physiologie des landwirtschaftlichen Forschungszentrums in Foulum/Tjele, Dänemark, statt. Ziel dieses Versuches war die Untersuchung verschiedener Einflussfaktoren auf die Stickstoffverwertung im Pansen. Bei effizienter Wiederverwertung und gleichzeitig geringerer Stickstoffaufnahme kann der Wirkungsgrad des ruminalen Stickstoffes verbessert werden (Røjen *et al.*, 2004). Um dies zu untersuchen, wurden 3 verschiedene Fütterungsstrategien mit zeitlich unterschiedlicher Gabe von gequetschter Gerste und Sojabohnenschalen zur Supplementierung von Frischgras bei Milchkühen eingesetzt. Da die verabreichte Ration Stallhaltung mit täglich mehrstündigem Weideaustrieb simulieren sollte, bekamen die Tiere nachmittags zusätzlich Maissilage und Gerstenstroh. Bei dem Versuchsentwurf wurden die Bolusmessungen nicht berücksichtigt. Der Bolus sollte nur versuchsbegleitend Temperatur, Druck und Leitfähigkeit im Pansen messen. Die Fütterung wurde also nicht spezifisch im Hinblick auf die Erprobung des Bolus konzipiert und so werden im Folgenden die Rationszusammensetzung und Futteraufnahme nur der Vollständigkeit halber aufgeführt.

Als Versuchstiere dienten vier in Anbindehaltung aufgestallte laktierende Kühe der Rasse Holstein-Friesian (Körpergewicht 580 bis 624 kg, Milchleistung 17 bis 21 kg/Tag), von denen drei Tiere mit jeweils einem Dauerkatheter in einer Mesenterialarterie und -vene, der Pfortader und einer Lebervene ausgestattet waren. Zusätzlich hatten alle Tiere eine Pansenfistel. Die Zusammensetzung der Ration und zeitliche Abfolge der unterschiedlichen Fütterungsvarianten ist in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9: Fütterungsvarianten (A, B, C) und Versuchsplan

Uhrzeit	Tätigkeit bzw. Fütterung	Variante A	Variante B	Variante C
6.00	Melken	-	-	-
7.00	Supplement	Sojabohnenschalen	Gerste ^{a)}	-
8.00-15.45	Grundfutter	Frischgras	Frischgras	Frischgras
15.45	Grundfütter-rückwaage und Supplement	Gerste Maissilage Gerstenstroh	Sojabohnenschalen Maissilage Gerstenstroh	Sojabohnenschalen Gerste Maissilage Gerstenstroh
16.00	Melken	-	-	-

^{a)}gequetschte Gerste

Da das verwendete Frischgras täglich geerntet wurde, traten bezüglich der Nährstoffzusammensetzung gewisse Schwankungen auf. Tabelle 10 zeigt die unterschiedlichen Trockenmasse- und Nährstoffgehalte des Frischgrases an den drei Versuchstagen.

Tabelle 10: Trockenmasse- (TM) und Nährstoffgehalte des Frischgrases an drei verschiedenen Versuchstagen (VT)

Inhaltsstoff [% der Trockenmasse]	1. VT	2. VT	3. VT
Trockenmasse [%]	17,9	20,4	16,7
Rohasche	8,1	6,2	8,0
Rohprotein	13,2	10,8	14,1
Rohfett	2,8	2,3	3,1
Kohlenhydrate	75,9	80,7	74,8
Stärke	5,2	5,5	3,9
Rohfaser	20,4	21,2	18,0
NDF ^{a)}	36,1	38,8	32,8

^{a)}Neutral-Detergenzienfaser

Tabelle 11 zeigt die Trockenmasse- und Nährstoffgehalte der Supplemente und zusätzlich verwendeten Futtermittel. Tabelle 12 zeigt die Verteilung der Fütterungsvarianten pro Versuchstag und Tier.

Tabelle 11: Trockenmasse (TM)- und Nährstoffgehalte der Sojabohnenschalen, der gequetschten Gerste, der Maissilage und des Gerstenstrohs

Inhaltsstoff [% der Trockenmasse]	Sojabohnenschalen	Gerste (gequetscht)	Maissilage	Gerstenstroh
Trockenmasse [%]	87,6	88,6	34,8	90,7
Rohasche	4,9	2,1	11,2	4,8
Rohprotein	11,4	11,1	7,8	3,8
Rohfett	2,4	2,9	2,8	1,4
Kohlenhydrate	81,3	83,9	78,3	90,0
Stärke	0,4	59,3	24,4	1
Rohfaser	41,5	4,3	18,1	47,8
NDF ^{a)}	67,6	19,1	37,3	90,0

^{a)}Neutral-Detergenzienfaser

Tabelle 12: Tabellarische Darstellung der Fütterungsvarianten

VT	Kuh 8203	Kuh 4016	Kuh 4301	Kuh 4543^{b)}
1	A ^{a)}	B	C	C
2	B	C	A	A
3	C	A	B	B

^{a)}Fütterungsvarianten A, B und C (siehe Tabelle 9); ^{b)}nur mit Pansenfistel ausgestattet

Jede Fütterungsperiode dauerte 7 Tage. Am siebten Tag wurden über den Zeitraum von 24 Stunden Proben gewonnen. Die Entnahme von Blut und Pansensaft erfolgte alle 90 Minuten, wobei Blut aus der Mesenterialarterie und der Portal- und Lebervene via Katheter und Pansensaft durch die Pansenfistel entnommen wurde. Die erste Probenentnahme erfolgte um 6.00 Uhr und die letzte um 4.30 Uhr des darauf folgenden Tages. Harn und

Kot wurden über einen Zeitraum von 24 Stunden gesammelt. In diesem Zeitraum wurde der Zeitpunkt jeder Wasseraufnahme notiert. Zusätzlich bekam jede Kuh für den Zeitraum der Probenentnahme eine Dauerinfusion von para-Aminohippursäure (pAH; 186,7 mmol/l; 35 mmol/h) zur Berechnung von Blutflussraten. Die Infusion wurde eine Stunde vor der ersten Blutprobenentnahme über den Mesenterialvenenkatheter begonnen. Für jede Fütterungsvariante ergeben sich 4 Datensätze pro Messparameter.

Von den entnommenen Proben (Blut, Pansensaft etc.) sind in Bezug auf Referenzmessungen nur die Pansensaftproben relevant. Die Pansensaftproben wurden direkt nach der Entnahme kurzfristig auf Eis gelagert und zur weiteren Untersuchung in das Labor verbracht. Dort wurden nach 10-minütiger Zentrifugation (3000 x g) die Leitfähigkeit des Pansensaftes mittels des Referenzgerätes und der pH-Wert mit einem pH-Meter (IQ240, IQ Scientific Instruments Inc., San Diego, USA) bestimmt. Danach wurden 8 ml des zentrifugierten Überstandes entnommen, mit 2 ml 25%iger meta-Phosphorsäure versetzt und für die später durchgeführte Bestimmung der Konzentration der KKFS bei minus 20 °C gelagert. Die Konzentration der KKFS wurde mittels Gaschromatographie nach Kristensen *et al.* (1996) bestimmt. Zur Analyse wurde ein Gaschromatograph (Varian 3400, Analytical Instruments, Værløse, Dänemark) verwendet, welcher mit einer FFAP (free fatty acid phase)-Säule (30 m Länge, 0,53 mm Durchmesser; 1 µm Cyanopropylsiloxan-Film; Hewlett und Packard) ausgestattet war. Als Trägergas wurde Helium mit einer Durchflussrate von 1 ml/min eingesetzt.

Ergebnisse

Futteraufnahme

Die zum Teil erheblichen Schwankungen in der Futteraufnahme sind größtenteils auf Störungen des Allgemeinbefindens der Tiere an einigen Versuchstagen zurückzuführen (s. S. 57). In Tabelle 13 ist die Gesamtfutteraufnahme pro Tier und Fütterungsvariante dargestellt. Eine detaillierte Darstellung der Futteraufnahme für die einzelnen Futtermittel und Tiere pro Versuchstag befindet sich im Anhang (s. S. 91).

Tabelle 13: Gesamtfutteraufnahme pro Tier und Fütterungsvariante

Fütterungsvariante		Kuh 8203	Kuh 4016	Kuh 4301	Kuh 4543
A	[kg FM ^{a)}]	57,0	60,7	37,1	39,3
	[kg TM ^{b)}]	15,8	15,8	11,1	12,3
B	[kg FM]	42,6	55,1	18,3	60,6
	[kg TM]	13,7	15,4	6,3	16,4
C	[kg FM]	60,7	50,1	41,1	53,9
	[kg TM]	15,9	14,9	12,5	16,1

^{a)}Frischmasse; ^{b)}Trockenmasse

Erfassung der Körpertemperatur

Während der 24-stündigen Versuchsperiode wurden mittels Bolus alle 90 Minuten parallel zur Blut- und Pansensaftprobenentnahme Temperatur, Druck und Leitfähigkeit registriert. Innerhalb dieses Messzyklus wurde die Temperatur während einer Messperiode 20-mal mit einem Messintervall von 10 Sekunden gemessen. Daraus wurde dann ein Mittelwert für jede Messperiode gebildet. Am letzten und vorletzten Versuchstag zeigten einige der Tiere Fieber. Die Messungen an diesen Tieren konnten für eine Auswertung hinsichtlich des Einflusses der Fütterungsvarianten auf den intraretikulären Temperaturverlauf nicht berücksichtigt werden und werden getrennt dargestellt (s. S. 58).

In Abbildung 20 ist exemplarisch der Temperaturverlauf der Kuh 4543 bei jeder Fütterungsvariante zusammen mit dem Verlauf der Gesamtkonzentration an KKFS dargestellt. Dabei sollte geprüft werden, ob eine verstärkte Fermentation, die durch Bildung von Fermentationswärme bei gleichzeitigem Anstieg der KKFS charakterisiert ist, sich im Verlauf der Temperaturkurve niederschlägt.

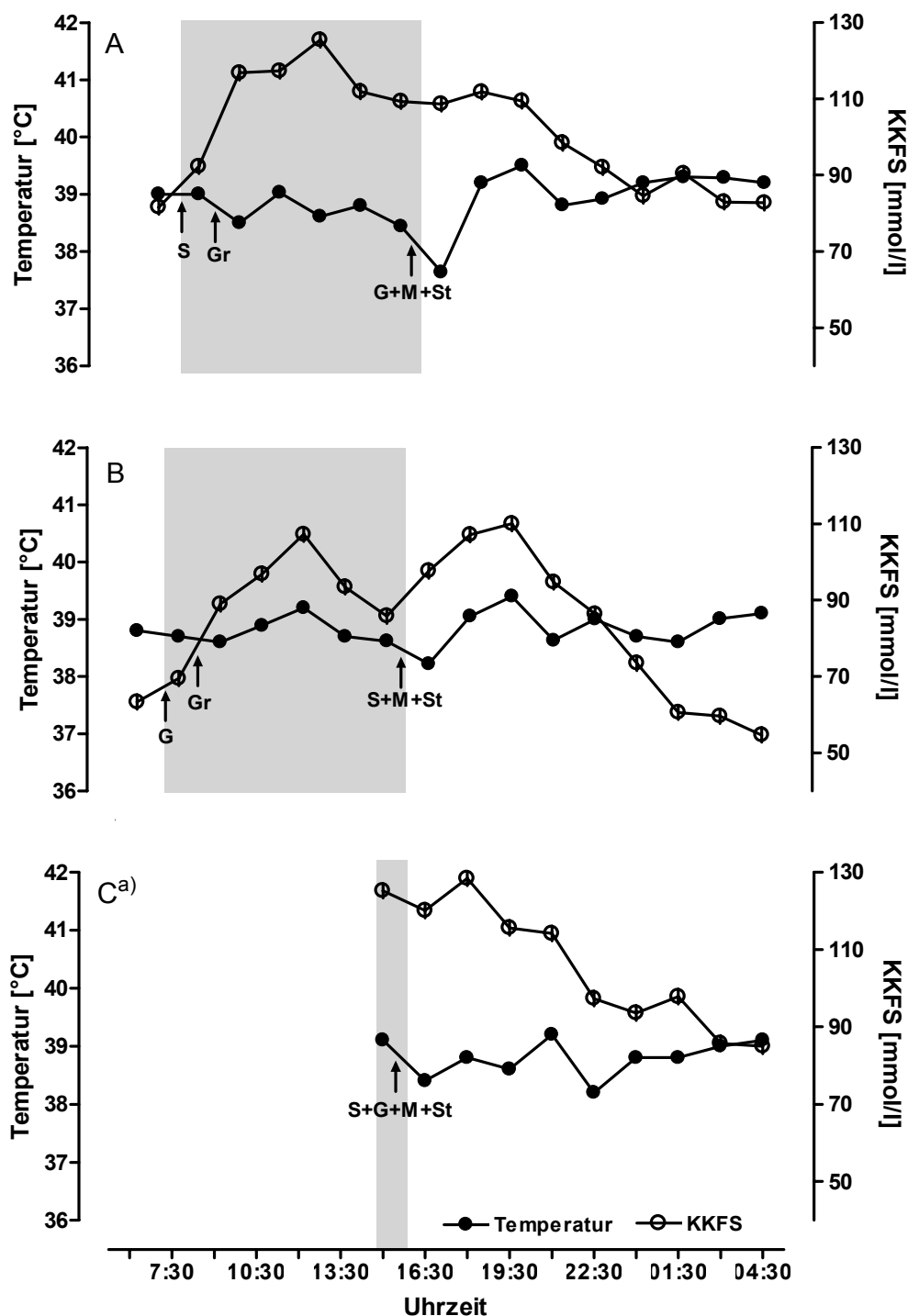


Abbildung 20: Verlauf der intrarektikulären Temperatur und der Konzentration kurzkettiger Fettsäuren (KKFS) bei Kuh 4543 bei drei verschiedenen Fütterungsvarianten (A, B, C)
 Temperatur: MW \pm SEM (SEM kleiner als das Symbol), n = 20, (1 Bolus mit 20 Messungen); KKFS: n = 1; Dauer der Futtervorlage ist grau unterlegt; S, G, Gr, M und St: Sojabohnenschalen, Gerste, Gras, Maissilage und Gerstenstroh; ^{a)}verkürzte Messdauer durch Neu-Programmierung der Boli am 1. Versuchstag während der Messungen

Bei keiner der Fütterungsvarianten ließ sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem Temperaturverlauf im Netzmagen und der Konzentration der KKFS erkennen. Die Konzentration der KKFS steigt zum Zeitpunkt der einzelnen Futtevorlagen deutlich an und fällt gewisse Zeit nach der Fütterung wieder ab. Die Temperatur hingegen bleibt in einem engen physiologischen Rahmen konstant (MW \pm SEM: A: $38,9 \pm 0,1$; B: $38,83 \pm 0,1$; C: $38,8 \pm 0,1$). Daher wurde auf eine weitere statistische Auswertung der Daten verzichtet. Insbesondere bei Variante A und weniger deutlich auch bei den anderen beiden Fütterungsvarianten fällt die Temperatur um 16.30 Uhr ab. Da diese Messung unmittelbar nach der letzten Fütterung erfolgte, könnte als Grund für diesen Temperaturrückgang die unmittelbar zuvor stattgefundenene Aufnahme der Maissilage vermutet werden. Die Maissilage wurde außerhalb des Stalles gelagert, ihre Temperatur entsprach somit der Umgebungstemperatur von ca. 10 °C. Der Temperaturrückgang um 16.30 Uhr konnte auch bei den übrigen Tieren beobachtet werden, sofern der Temperaturverlauf nicht durch Fieber bestimmt war (s. Abb. 21).

Einige der Kühe entwickelten am 2. und 3. Versuchstag Fieber. Von Fieber spricht man bei einem ausgewachsenen Rind ab einer Körperkerntemperatur von 39 °C (Rosenberger, 1990). Während des Versuches wurde nicht bei jeder Kuh das Fieber sofort bemerkt, denn solange eine Kuh normales Fress- und Wiederkauverhalten bei regulärer Wasseraufnahme zeigte, wurde die Temperatur in dieser Zeit nicht parallel mit einem Fieberthermometer bestimmt. Lediglich am letzten Versuchstag fielen drei Kühe durch geringgradige Apathie auf, woraufhin die Temperatur mit einem Fieberthermometer parallel überprüft und Fieber festgestellt wurde. Die vierte Kuh (4543) entwickelte an keinem der Versuchstage Fieber. Als ein Grund für das Fieber kommt die Infusion mit para-Aminohippursäure in Betracht, die nicht pyrogen-frei sterilisiert worden war. Zum einen spricht dafür, dass Kuh 4543 ohne Katheter, und somit auch ohne Infusion, kein Fieber entwickelt hat. Zum anderen spricht auch dafür, dass das Fieber am ersten Versuchstag noch nicht ausgebildet war und sich die Höhe des Fiebers vom zweiten auf den dritten Versuchstag gesteigert hat (s. Abb. 21). Dies könnte ein Hinweis auf den typischen Verlauf einer allergischen Reaktion auf Pyrogene sein (Dahme & Weiss, 1999). Abbildung 21 zeigt die Temperaturkurven für alle Tiere und Versuchstage.

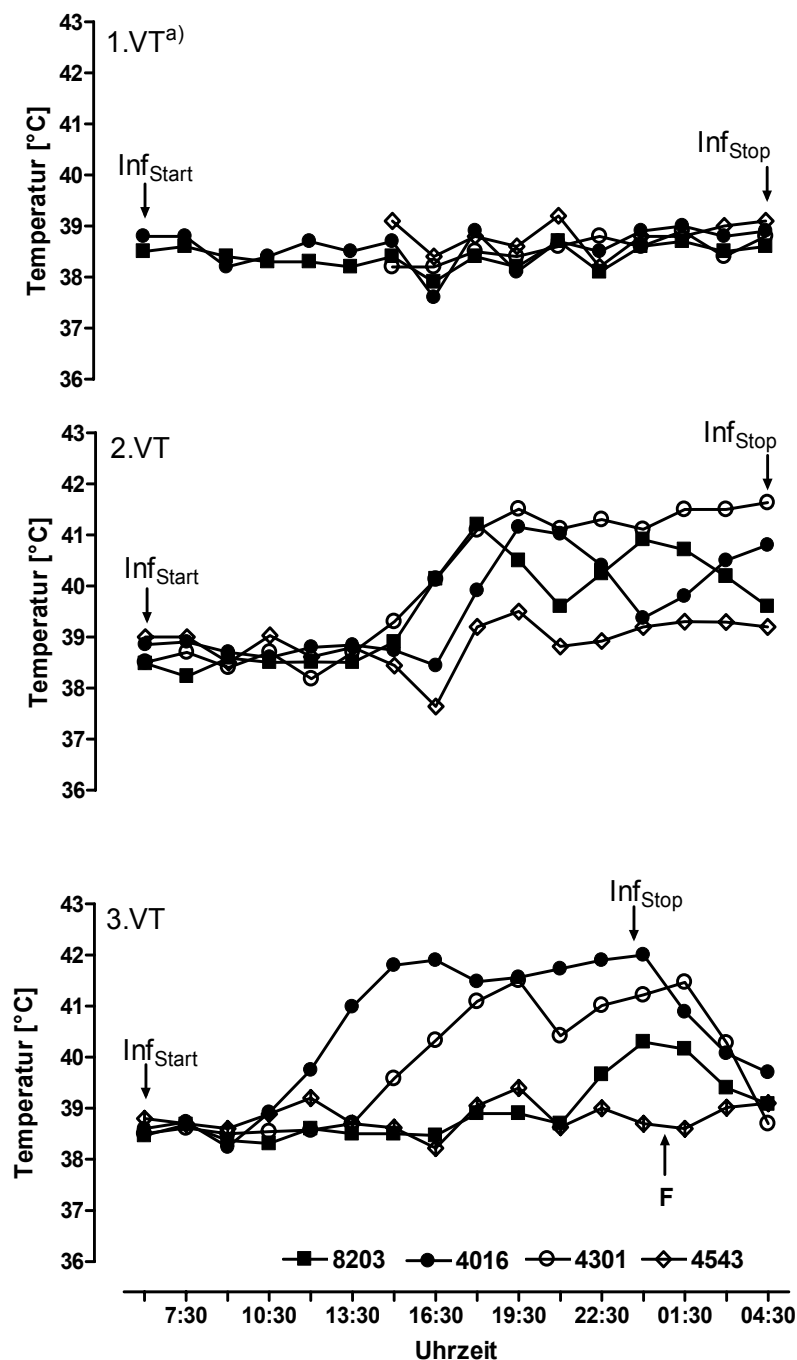


Abbildung 21: Verlauf der intraretikulären Temperatur von vier Kühen (8203, 4016, 4301 und 4543) an drei Versuchstagen (VT) mit Auftreten von Fieber

KKT: MW ± SEM (SEM kleiner als das Symbol), n = 20, (1 Bolus mit 20 Messungen); Inf = Infusion von para-Aminohippursäure; F = Injektion mit Flunixin (Finadyne®);
^a) verkürzte Messdauer zweier Boli durch Neu-Programmierung

Besonders am dritten Versuchstag wird deutlich, dass vor allem zwei der Tiere (4016 und 4301) schon bald nach Einsetzen der Infusion hochgradiges Fieber entwickelten. Die mittlere Körperkerntemperatur lag an diesem Tag bei Kuh 4016 bei 40,5 °C und das Temperaturmaximum sogar bei 42,0 °C. Bei Kuh 4301 lag die mittlere Körperkerntemperatur bei 39,8 °C und das Temperaturmaximum bei 41,5 °C. Die dritte Kuh (8203) entwickelte erst später im Tagesverlauf des dritten Versuchstages Fieber, hier lag die mittlere Körperkerntemperatur bei 38,9 °C und das Temperaturmaximum bei 40,5 °C. Die Futteraufnahme war sowohl am zweiten als auch am dritten Versuchstag bei Kuh 8203 und Kuh 4016 nicht beeinträchtigt. Bei Kuh 4301 sank die Futteraufnahme im Laufe des Versuches jedoch von 12,5 kg TM am 1. Versuchstag und 11,1 kg TM am 2. Versuchstag auf 6,3 kg TM am dritten Versuchstag ab (s. Tab. 13).

Die Temperaturwerte des Bolus korrelierten hoch signifikant mit den am dritten Versuchstag durch das Fieberthermometer ermittelten Temperaturwerten ($r^2 = 0,917$, $p < 0,0001$). Dabei ist zu erwähnen, dass die mit dem Fieberthermometer ermittelten Werte von denen durch den Bolus Ermittelten nur um 0,2 bis 0,4 °C abwichen. An diesem Versuchstag wurde die Infusion mit para-Aminohippursäure vorzeitig um 0.30 Uhr gestoppt und die drei erkrankten Kühe erhielten eine intravenöse Injektion mit dem Antipyretikum Flunixin (Finadyne RP Injektionslösung 50 mg/ml[®], Firma Essex Tierarznei, München). Nach der Flunixin-Injektion sank das Fieber deutlich. Bei der letzten Messung um 4.30 Uhr betrug die Körperkerntemperatur bei Kuh 4016 39,7 °C, bei Kuh 4301 38,7 °C und bei Kuh 8203 39,1 °C. Anhand dieser Temperaturverläufe konnte gezeigt werden, dass sich mit dem Bolus auch Fieber sicher erfassen lässt.

Erfassung der Netzmagenkontraktionen

Netzmagenkontraktionen wurden mittels Bolus als Druckänderungen im Inneren der Haube während der 24-stündigen Versuchsperiode erfasst. Pro Versuchstag ergaben sich 16 Messperioden von je 13,3 Minuten Dauer (800 Messungen mit einem Messintervall von 1 Sekunde) in einem Messzyklus von 90 Minuten. Da während der Versuchsperioden keine Überprüfung der Druckmessung mittels eines Referenzgerätes oder eine zeitgleiche auskultatorische Erfassung der Kontraktionen möglich war, wurden in einem Vorversuch operationsbegleitende Messungen vor, während und nach einer Vollnarkose

vorgenommen. Damit ist es möglich, alle gemessenen Druckschwankungen kausal auf Haubenkontraktionen zurückzuführen.

Messungen *intra operationem*

Zur Implantation der Dauerkatheter (s. S. 51) wurden die Tiere in Vollnarkose gelegt und auf der linken Körperseite gelagert. Anschließend wurde die Bauchhöhle hinter dem rechten Rippenbogen eröffnet. Die Narkoseeinleitung erfolgte durch intravenöse Gabe von Xylazinhydrochlorid (0,11 mg/kg KGW; Xylazin 2 %[®], Alfavet Tierarzneimittel GmbH, Neumünster) und Ketamin (2,2 mg/kg KGW; Ketavet[®], Pharmacia GmbH, Erlangen), woran sich eine Inhalationsnarkose mit Isofluran (2,3-3 %, Isoflo[®], Heiland Vet GmbH, Hamburg) anschloss. Die Kühe hatten 12 Stunden lang vor der Operation keinen Zugang zum Futter. Sobald die Tiere aus der Narkose erwacht waren, wurde ihnen wieder Futter angeboten, welches sie auch sogleich in geringen Mengen aufnahmen. Die Messung mittels Bolus begann 1 Stunde vor Narkoseeinleitung. Der Bolus wurde so programmiert, dass in einem Messzyklus von 20 Minuten über eine Messperiode von 5 Minuten jede halbe Sekunde der Druck gemessen wurde. Abbildung 22 zeigt exemplarisch den von einem Tier ermittelten Kontraktionsverlauf 1 Stunde vor, während und 5 Stunden nach der Narkose. Vor, während und nach der Narkose wurde die Vormagenmotorik auskultatorisch überprüft. Sowohl 1 Stunde vor als auch 5 Stunden nach der Operation konnten Kontraktionen festgestellt werden. Während der Narkose konnten sowohl auskultatorisch als auch visuell bei geöffneter Bauchhöhle keine Kontraktionen festgestellt werden. Der durch Auskultation und visuell erhobene Befund wurde durch die Bolusdaten bestätigt. Der Bolus ist somit geeignet, Haubenkontraktionen zu erfassen.

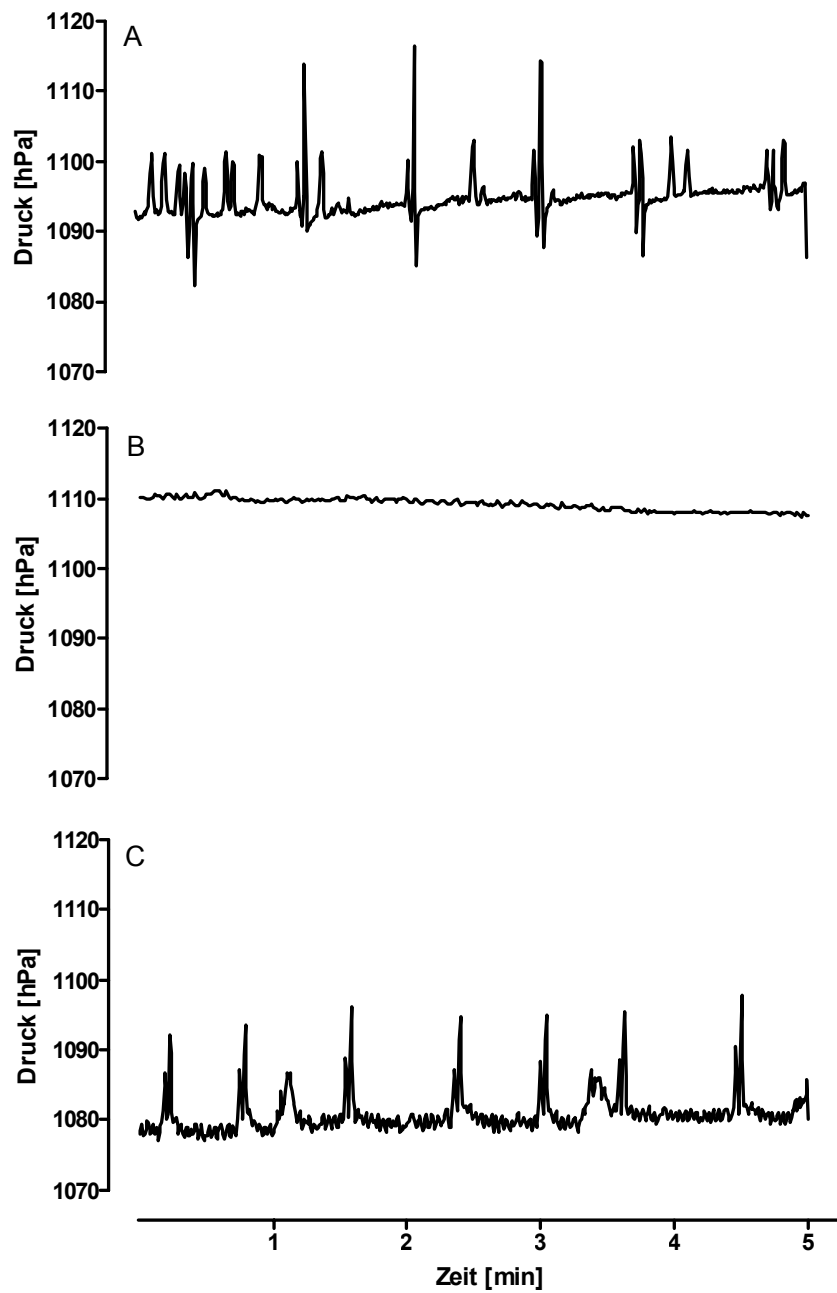


Abbildung 22: Intraretikulärer Druckverlauf eine Stunde vor (A), während (B) und fünf Stunden nach (C) der Vollnarkose
Einzelwerte von Kuh 4301

Messungen während des Fütterungsversuches

Um Aussagen über die Kontraktionsfrequenz der Vormägen, zum Beispiel bei unterschiedlicher Fütterung, treffen zu können, muss anhand der individuellen Druckkurven die Anzahl „wahrer“ Kontraktionen ermittelt werden. Hierbei ist zu beachten, dass nicht jede erfasste Druckschwankung zwingend eine Kontraktion sein muss, sondern während einer Messung auch Artefakte auftreten könnten. Um Artefakte auszuschließen, wurde eine „Kontraktion“ folgendermaßen definiert: Eine Kontraktion liegt vor, wenn der Druckanstieg mindestens 3-mal größer ist als die Druckschwankungen der Basislinie innerhalb einer Messperiode. Dabei werden nur positive Amplituden berücksichtigt. Abbildung 23 zeigt beispielhaft den Verlauf der Druckschwankung bei Tier 8203 am dritten Versuchstag (Fütterungsvariante C). Die so als Kontraktion eingestuft Druckanstiege in Abbildung 23 wiesen im Mittel einen Wert von $84,2 \pm 27,7$ hPa auf. Der durchschnittliche Druckanstieg der Basislinie zwischen den „Druckspitzen“ lag bei $0,9 \pm 1$ hPa bei einem durchschnittlichen Ausgangsdruck von $1030,58$ hPa $\pm 4,27$ hPa. Die Anzahl der hier ermittelten Kontraktionen über 13,3 Minuten beträgt somit 22, was eine Kontraktionsfrequenz von 1,7 Ktr/min ergibt. Das entspricht den Angaben über Kontraktionsfrequenzen gesunder Tiere (ca. 3 Ktr/ 2 min; Kaske, 2005).

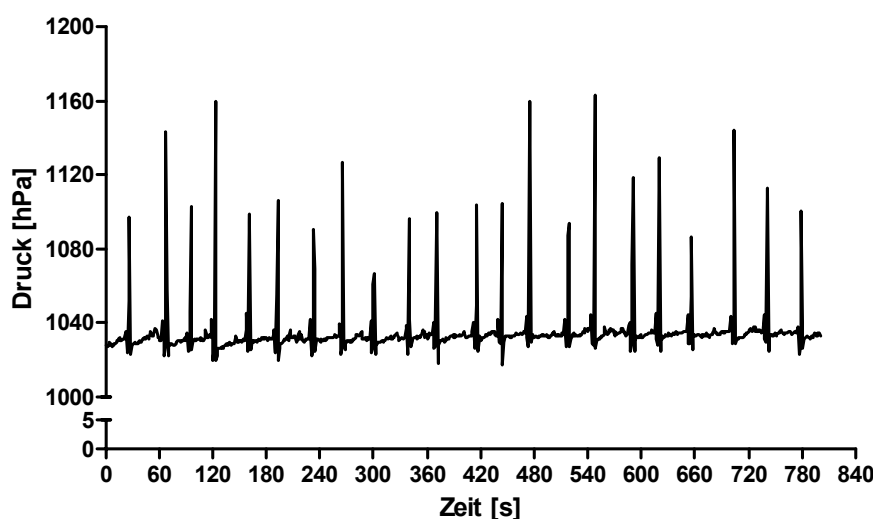


Abbildung 23: Mittels Bolus erfasste Druckschwankungen in der Haube bei Kuh 8203 am 3. Versuchstag
1,7 Kontraktionen/min; 800 Einzelwerte über 13,3 Minuten

Ein Beispiel für eine nicht-berücksichtigte Druckschwankung zeigt Abbildung 24. Der durch den Pfeil gekennzeichnete Druckanstieg (2,7 hPa) erfüllt nicht das Kriterium,

dreimal größer zu sein als die Druckschwankungen der Basislinie in dieser Messperiode. Die als Kontraktionen gewerteten Druckschwankungen in diesem Zeitverlauf wiesen einen durchschnittlichen Druckanstieg von $7,98 \pm 1,33$ hPa auf (Abb. 24). Ohne diese Druckschwankungen beträgt der durchschnittliche Druckanstieg der Basislinie $1,12 \pm 0,92$ hPa bei einem durchschnittlichen Ausgangsdruck von $1272,53 \pm 4,27$ hPa. Eine Kontraktion müsste hier also einen Druckanstieg von mindesten 3,36 hPa aufweisen. Die Anzahl der Druckspitzen über 13,3 Minuten beträgt in diesem Beispiel 14. Daraus ergibt sich eine Kontraktionsfrequenz von 1,05 Ktr/min.

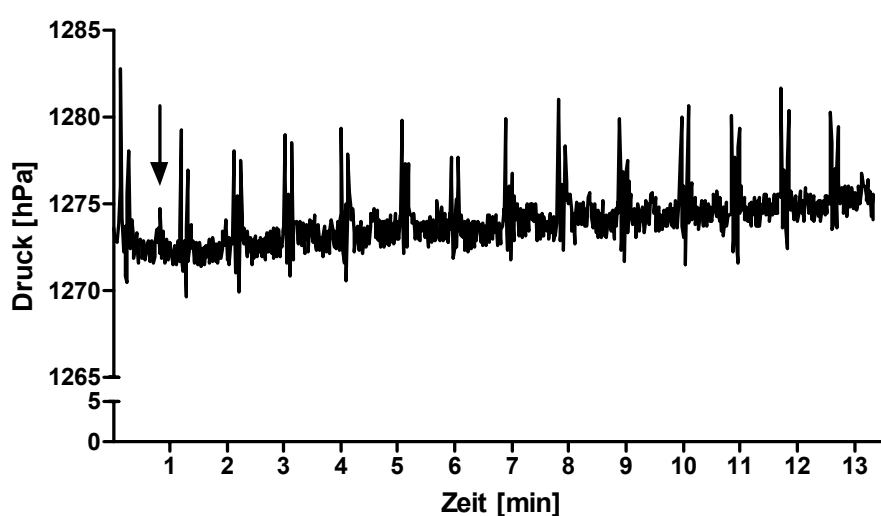


Abbildung 24: Mittels Bolus erfasste Druckschwankungen in der Haube bei Kuh 8203 am 3. Versuchstag mit Kontraktionsartefakt 1,05 Ktr/min; 800 Einzelwerte über 800 Sekunden

Um den Einfluss der verschiedenen Fütterungen auf die Kontraktionsfrequenz zu überprüfen, wurden nach der hier dargestellten Vorgehensweise alle erfassten Druckverläufe ausgewertet. Es werden jeweils Mittelwerte der vier Tiere pro Fütterungsvariante gezeigt (Abb. 25). Für Variante C liegen bis 13.30 Uhr wegen der erforderlichen Neu-Programmierung der Boli am ersten Versuchstag von nur zwei Tieren Messdaten vor. Die Zeitspanne, in der die Tiere Zugang zu Futter hatten (7.00 Uhr bis ca. 16.00 Uhr), ist grau hinterlegt.

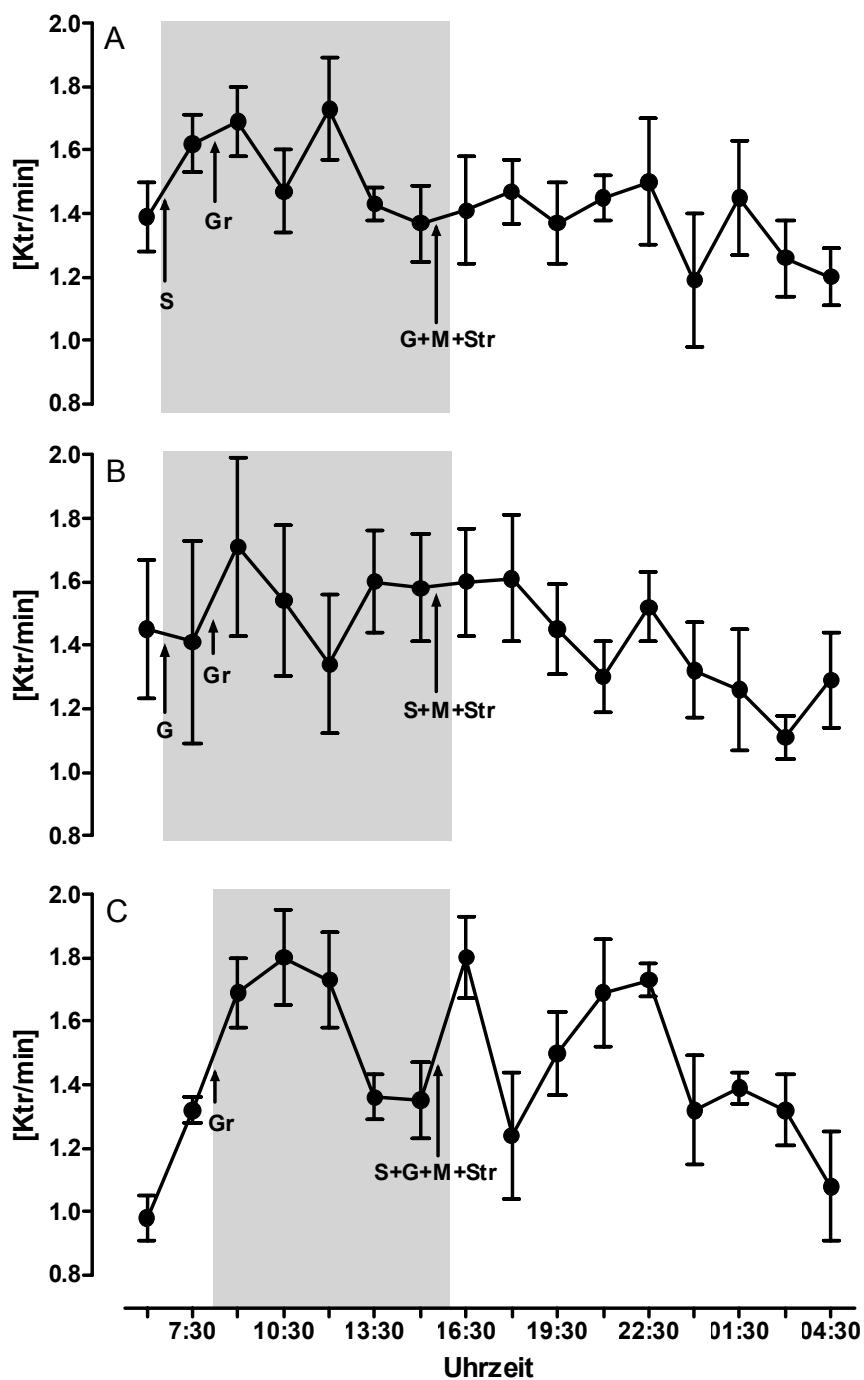


Abbildung 25: Verlauf der Kontraktionsfrequenz [Ktr/min] bei drei verschiedenen Fütterungsvarianten (A, B, C)
 MW \pm SEM, n = 4, (bei C bis 13.30 Uhr n = 2 durch Neu-Programmierung der Boli, ab 15.30 Uhr n = 4); Dauer der Futtervorlage ist grau unterlegt, S, G, Gr, M und St: Sojabohnenschalen, Gerste, Gras, Maissilage und Gerstenstroh

Es erfolgte eine statistische Auswertung der Kontraktionsfrequenzdaten mit dem Programm SAS WIN 8.1 (SAS Inst. Inc., Cary, USA). Diese wurde nach dem Prinzip der wiederholten Messung (repeated measurement) durchgeführt. Als Einflussgrößen wurden die Fütterungsvariante, Messperiode, der Versuchstag, das Tier und die Interaktion zwischen Fütterung und Messperiode untersucht. Für die Auswertung wurde eine spatiale Kovarianzstruktur gewählt, welche beinhaltet, dass mit zunehmendem zeitlichem Abstand zwischen verschiedenen Zeitpunkten die Kovarianz abnimmt. Ergab die varianzanalytische Auswertung signifikante Effekte, wurden diese mit Hilfe des „Fisher Least significance difference Tests“ abgesichert. Aus dieser Auswertung ergab sich, dass außer der Messperiode ($p = 0,0077$) keine der oben genannten Größen einen signifikanten Einfluss auf die Kontraktionsfrequenz hatten. So ist die Kontraktionsfrequenz während der Fütterung um 9.00 Uhr, 10.30 Uhr und 11.00 Uhr signifikant höher als um 6.00 Uhr vor der Fütterung und signifikant höher als von 22.00 Uhr bis 4.30 Uhr nach der Fütterung. Die Fütterung selbst erhöht die Kontraktionsfrequenz signifikant. Zur Verdeutlichung ist in Abbildung 26 der über jede Messperiode, alle Tiere und Fütterungsvarianten gemittelte Verlauf der Kontraktionsfrequenz dargestellt.

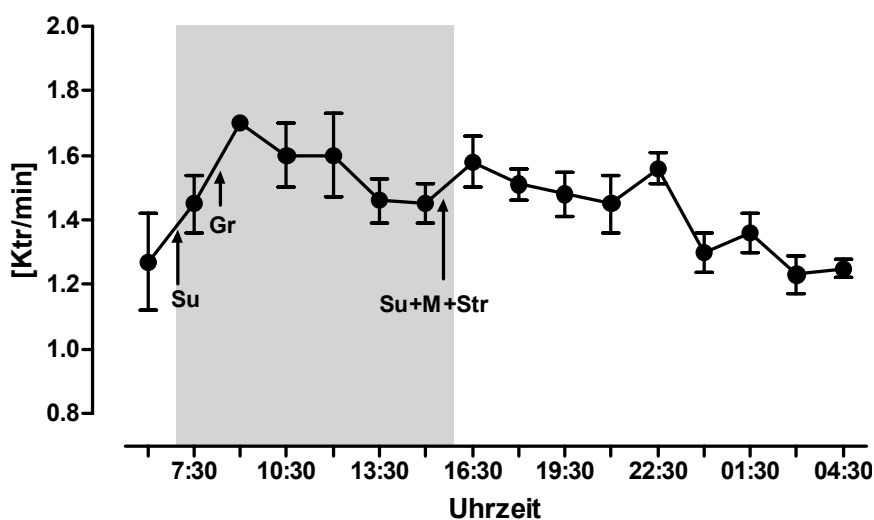


Abbildung 26: Verlauf der Kontraktionsfrequenz [Ktr/min] gemittelt über drei Fütterungsvarianten
 MW \pm SEM, n = 3, Dauer der Futtevorlage ist grau unterlegt;
 Su, Gr, M und St: Supplement, Gras, Maissilage und Gerstenstroh

Einfluss von Fieber auf die Kontraktionsfrequenz

Wie in Abbildung 21 dargestellt, trat bei drei der vier Kühe an zwei Versuchstagen Fieber auf. Fieberhafte Erkrankungen können die Vormagenmotorik beeinträchtigen und bei hochgradigen fiebrigen Erkrankungen kann die Motorik sogar vollständig zum Erliegen kommen (Dirksen, 2002). Um zu überprüfen, ob es signifikante Unterschiede zwischen der Kontraktionsfrequenz bei Fieber beziehungsweise ohne Fieber gab, wurde pro Kuh für jeden Versuchstag ein Mittelwert der ermittelten Kontraktionsfrequenzen gebildet. Zur Verdeutlichung sind in Tabelle 14 neben den Mittelwerten der Kontraktionsfrequenzen auch die Mittelwerte der Temperatur pro Kuh für jeden Versuchstag dargestellt. Die statistische Auswertung erfolgte jeweils pro Kuh, es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Tieren geprüft. Die Auswertung wurde mit einer einfachen Varianzanalyse (ANOVA) und einem sich anschließenden Tukey-Test durchgeführt (Sachs, 1999). Die Berechnungen erfolgten mit dem Programm GraphPad Prism 4 (Version 4.01, GraphPad Software Inc., San Diego, USA).

Tabelle 14: Mittelwerte der Kontraktionsfrequenz und Temperatur pro Versuchstag und Tier

Tier	1.VT ¹⁾		2.VT		3.VT	
	KF ²⁾ [Ktr/min]	T ³⁾ [°C]	KF [Ktr/min]	T [°C]	KF [Ktr/min]	T [°C]
8203	1,54 ± 0,1 ^a	38,4 ± 0,1 ^A	1,56 ± 0,1 ^a	39,6 ± 0,3 ^{A,B}	1,48 ± 0,1 ^a	38,9 ± 0,2 ^A
4016	1,62 ± 0,1 ^a	38,6 ± 0,1 ^A	1,43 ± 0,1 ^{a,b}	39,6 ± 0,2 ^B	1,32 ± 0,1 ^b	40,5 ± 0,3 ^C
4301	1,54 ± 0,1 ^a	38,5 ± 0,1 ^A	1,34 ± 0,0 ^b	40,1 ± 0,3 ^B	1,03 ± 0,1 ^c	39,8 ± 0,3 ^B
4543	1,50 ± 0,1 ^a	38,8 ± 0,1 ^A	1,55 ± 0,1 ^a	38,9 ± 0,1 ^A	1,56 ± 0,1 ^a	38,8 ± 0,1 ^A

¹⁾Versuchstag; ²⁾Kontraktionsfrequenz, MW ± SEM, n = 16; ³⁾Intraretikuläre Temperatur, MW ± SEM, n = 16; Werte ohne gemeinsamen Buchstaben unterscheiden sich signifikant pro Tier; kleine Buchstaben = Vergleich KF; große Buchstaben = Vergleich T

Hieraus ergab sich, dass sich bei Kuh 4543 ohne Fiebereinfluss über alle Versuchstage die Kontraktionsfrequenzen nicht signifikant voneinander unterscheiden. Auch bei Kuh 8203 gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kontraktionsfrequenzen über alle Versuchstage. Bei dieser Kuh war das Fieber auch nur mittelgradig ausgeprägt und die Futteraufnahme war nicht beeinträchtigt (s. S. 55). Auch bei Kuh 4016 war die Futteraufnahme nicht beeinträchtigt, trotzdem ist die Kontraktionsfrequenz am dritten Versuchstag signifikant niedriger als am ersten Versuchstag. Dieses Tier hatte sowohl am zweiten als auch am dritten Versuchstag hochgradiges Fieber. Bei Kuh 4301 war die Futteraufnahme am dritten Versuchstag deutlich erniedrigt und sie zeigte ebenfalls an den letzten beiden Versuchstagen hochgradiges Fieber. Bei diesem Tier sank die Kontraktionsfrequenz signifikant von Versuchstag zu Versuchstag (s. Tab. 14).

Erfassung der Kontraktionsfrequenz in Ochsen

Messungen zur Erfassung der Haubenkontraktionen wurden nicht nur an Milchkühen, sondern auch an Ochsen durchgeführt (Körpergewicht 970 bis 1100 kg). Die hier dargestellten Druckmessungen erfolgten an sechs fistulierten Ochsen der Rasse Deutsche Rotbunte am Institut für Tierernährung und Stoffwechselfysiologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Abbildung 28 zeigt exemplarisch den intraretikulären Druckverlauf über 5 Minuten bei einem Ochsen. Der Bolus war dabei so programmiert, dass während der Messperiode von 5 Minuten der Druck mit einem Messintervall von 1 Sekunde erfasst wurde. Alle an den übrigen Ochsen erfassten Druckkurven hatten einen ähnlichen Verlauf. Der hier dargestellte Druckverlauf zeigt eine Kontraktionsfrequenz von 1,8 Ktr/min, die somit nicht nennenswert von den bei den Milchkühen durchschnittlich ermittelten Kontraktionsfrequenzen abweicht (s. Abb. 25). Mit diesen Messungen konnte gezeigt werden, dass die Druckmessung mittels Bolus auch in Tieren mit wesentlich größerer Körpermasse erfolgreich durchführbar ist.

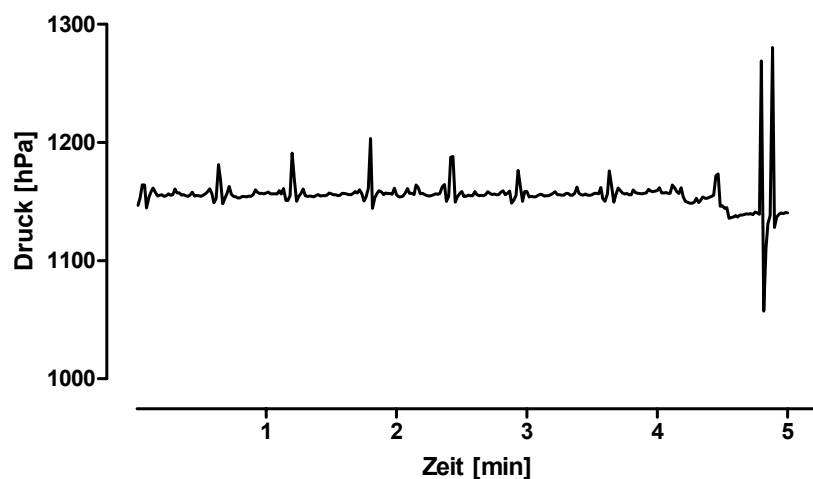


Abbildung 27: Mittels Bolus erfasste Druckschwankungen in der Haube eines Ochs (Körpergewicht 1080 kg; 1,8 Kontraktionen/min)
300 Einzelwerte über 5 Minuten

Erfassung der Leitfähigkeit

Zur Überprüfung der Leitfähigkeitsmessung im Netzmagen wurde in dem *In vivo*-Versuch die Leitfähigkeit zeitgleich mit dem Referenzgerät bestimmt (s. S. 54), das auch in den *In vitro*-Versuchen eingesetzt wurde. Weiterhin wurden die Konzentration der kurzkettigen Fettsäuren und der pH-Wert des Pansensaftes zu jedem Messzeitpunkt erfasst. Die Konzentration der kurzkettigen Fettsäuren wurde mittels Gaschromatographie bestimmt (s. S. 54). Wie bereits in Kapitel 3 dargestellt wurde, besteht eine enge Beziehung zwischen dem pH-Wert und der Konzentration an KKFS im Pansensaft. Inwieweit sich der pH-Wert aufgrund ansteigender Konzentrationen an KKFS ändert und damit verbunden der Dissoziationsgrad der KKFS, hängt von der Pufferkapazität des Pansensaftes und dem Verbrauch an Basenäquivalenten ab. Durch diese gegenseitige Beeinflussung ergibt sich die Gesamtkonzentration an dissoziierten KKFS, die wiederum für die spätere Betrachtung der Leitfähigkeitsmessung wichtig ist.

In Abbildung 28 ist zunächst der zeitliche Verlauf von pH-Wert und Konzentration an KKFS bei allen drei Fütterungsvarianten dargestellt, wobei nochmals darauf hingewiesen werden muss, dass beide Parameter nicht mit dem Bolus gemessen wurden. Hierbei fällt auf, dass der pH-Wert bei allen drei Varianten von anfangs ca. 6,8 (Messzeitpunkt 6.00 Uhr nach Futterkarenz in der Nacht) nach der ersten Supplement-Fütterung (Messzeitpunkt

7.30 Uhr; bei Variante C auch ohne Supplementfütterung) kurzzeitig auf 7,0 ansteigt. Dies lässt sich vielleicht auf einen verstärkten Speichelfluss zum Zeitpunkt der Fütterung zurückführen. Zwei bis vier Stunden nach der Futteraufnahme erreichte der pH-Wert seinen Tiefpunkt bei 5,5, um danach langsam wieder anzusteigen. Die in Abbildung 28 dargestellten Verläufe entsprechen den Angaben in der Literatur zu pH-Verläufen unter physiologischen Bedingungen (Nocek *et al.*, 2002; Duffield *et al.*, 2004). Eine Berechnung der Korrelation (Sachs, 1999) zwischen pH-Wert und Konzentration der KKFS erfolgte durch das Programm GraphPad Prism 4 (Version 4.01, GraphPad Software Inc., San Diego, USA). In allen Fütterungsvarianten korrelierten diese beiden Parameter hoch signifikant miteinander (A: $r^2 = 0,841$, $p < 0,0001$; B: $r^2 = 0,95$, $p < 0,0001$; C: $r^2 = 0,95$, $p < 0,0001$).

In den *In vitro*-Versuchen konnte gezeigt werden, dass der pH-Wert selbst keinen direkten Einfluss auf die Leitfähigkeit hat (s. S. 42, Tab. 5). Er hat aber insofern einen indirekten Einfluss, indem er den Anteil an dissoziierten kurzkettigen Fettsäuren bestimmt. An kurzkettigen Fettsäuren wurden im Einzelnen Essigsäure (pKs: 4,76), Buttersäure (pKs: 4,82), Iso-Buttersäure (pKs: 4,85), Propionsäure (pKs: 4,88), Valeriansäure (pKs: 4,81), Isovaleriansäure (pKs: 4,76) und Capronsäure (pKs: 4,85) erfasst. Nur dissoziiert vorliegende kurzkettige Fettsäuren können einen Einfluss auf die Leitfähigkeit haben. Mit Hilfe der Henderson-Hasselbalch'schen Gleichung (s. S. 44) und den oben angegebenen pKs-Werten (Lide, 1993) wurde daher für jeden Messzeitpunkt und für jede kurzkettige Fettsäure der dissoziierte Anteil ausgerechnet. Abbildung 29 zeigt den Zeitverlauf der Konzentration an dissoziierten KKFS sowie der von Bolus und Referenzgerät gemessenen Leitfähigkeit, wobei allerdings nur die Darstellung der Gesamtkonzentration der dissoziierten KKFS (Summe der individuell bestimmten KKFS) dargestellt ist.

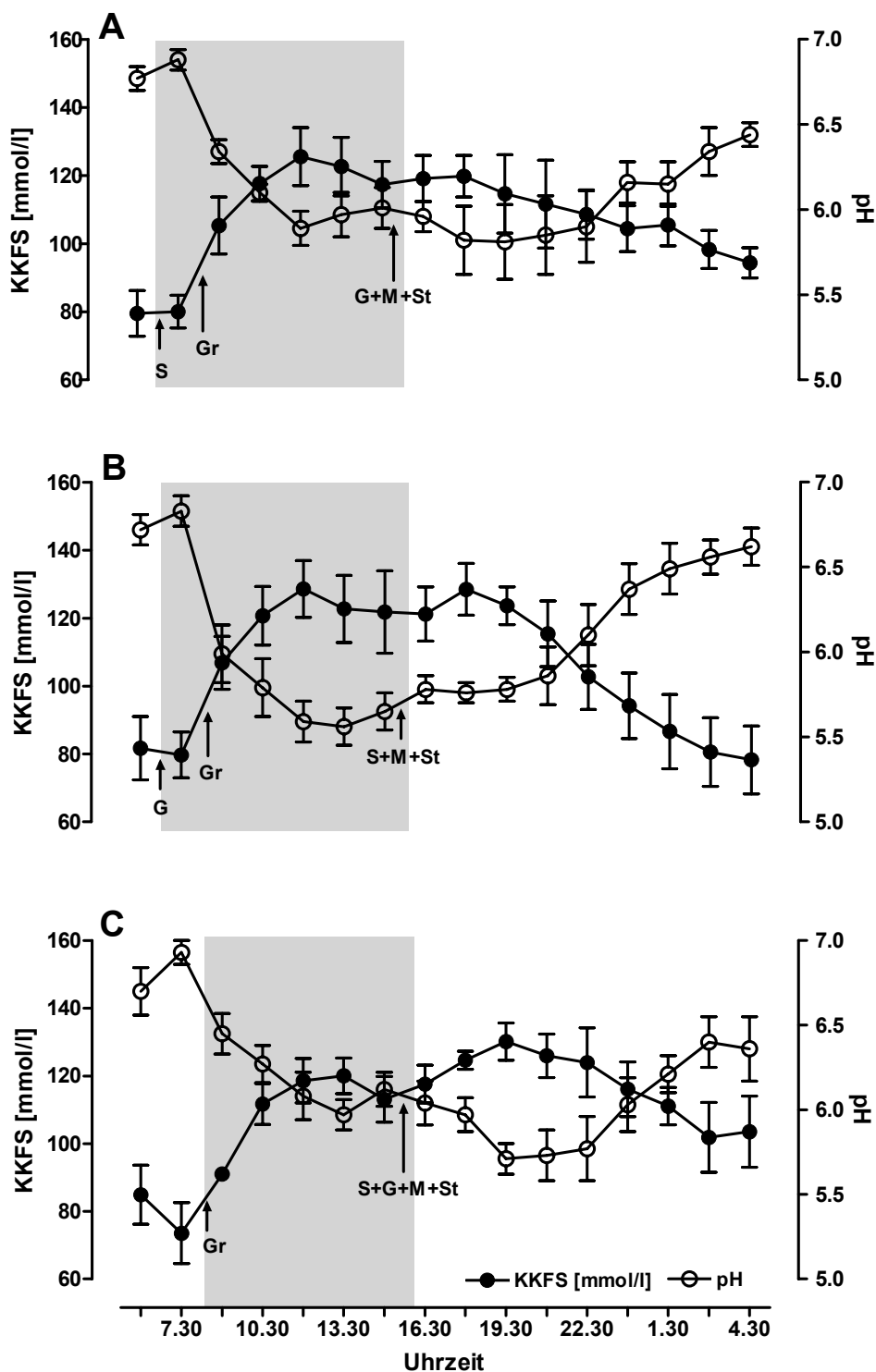


Abbildung 28: Verlauf des pH-Wertes und der Konzentration kurzkettiger Fettsäuren (KKFS) bei drei verschiedenen Fütterungsvarianten (A, B, C)
 pH-Wert und KKFS: MW ± SEM, n = 4, Dauer der Futtervorlage ist grau unterlegt; S, G, Gr, M und St: Sojabohnenschalen, Gerste, Gras, Maissilage und Gerstenstroh

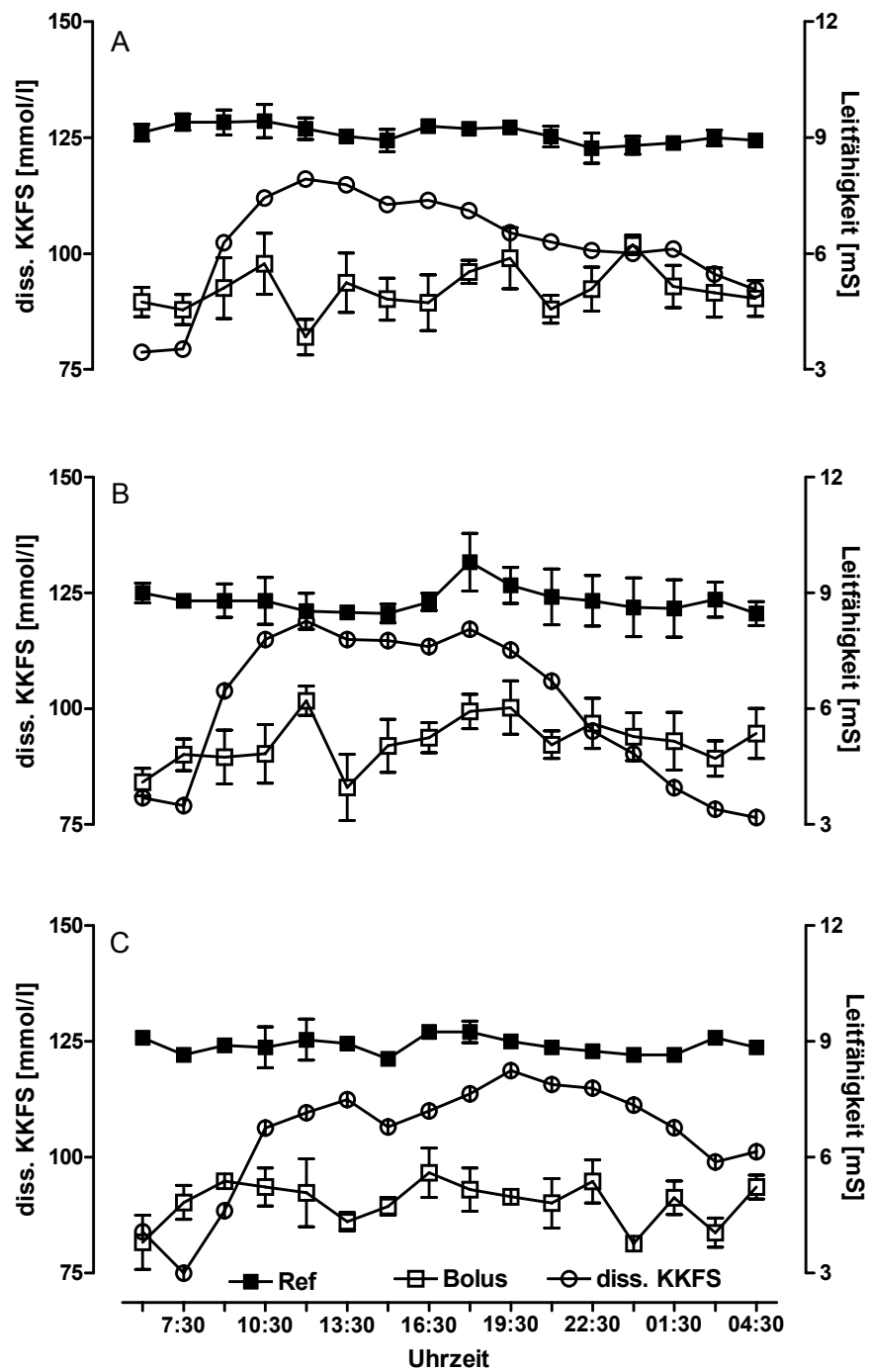


Abbildung 29: Verlauf der Leitfähigkeit und der Konzentration dissoziierter kurzkettiger Fettsäuren (diss. KKFS) bei drei verschiedenen Fütterungsvarianten (A, B, C). Die Messung der Leitfähigkeit erfolgte sowohl mittels Referenzgerät als auch mittels Bolus; Bolus: MW \pm SEM, n = 4; Referenzgerät: MW \pm SEM, n = 3; diss. KKFS: Werte berechnet (s. Text)

In Abbildung 29 fällt auf, dass die vom Referenzgerät erfassten Leitfähigkeitswerte bei jeder Fütterungsvariante und unabhängig vom Verlauf der dissoziierten kurzkettigen Fettsäuren sehr konstant und ohne größere Schwankungen verlaufen. Die vom Bolus ermittelten Leitfähigkeitswerte sind sehr viel niedriger und zeigen in ihrem Verlauf größere Schwankungen. Ein Zusammenhang mit dem Verlauf der dissoziierten kurzkettigen Fettsäuren lässt sich aber bei keiner der beiden Messungen erkennen. In Anbetracht dieser Kurvenverläufe wurde auf eine weitere statistische Auswertung verzichtet. Die Werte des Referenzgerätes zeigen, dass im Pansensaft die Leitfähigkeit in einem Bereich liegt, in dem der Bolus bereits große Messungenauigkeiten aufweist (s. Kalibrierkurve auf S. 41). Eine weitere Interpretation der Boluswerte ist daher nicht sinnvoll.

Diskussion

Erfassung der intraruminalen Temperatur

Die Ergebnisse der Temperaturmessung im Tier bestätigten die vorab gewonnenen Erkenntnisse über das Bolus-Thermometer aus den *In vitro*-Versuchen. Auch im Tier erwies sich das Thermometer im Bolus als ein sehr zuverlässiges Messinstrument hinsichtlich Messgenauigkeit und Ansprechzeit.

Mögliche endogene Einflussgrößen, die zu einem vorübergehenden Absinken beziehungsweise Anstieg der intraruminalen Temperatur führen können, sind unter physiologischen Bedingungen die Futter- und Wasseraufnahme und die in Zusammenhang mit den mikrobiellen Prozessen gebildete Fermentationswärme. Bei dem in der vorliegenden Arbeit beschriebenen *In vivo*-Versuch wurden keine Aufzeichnungen über die Menge und Temperatur des aufgenommenen Wassers gemacht, aber es wurde notiert, ob zeitgleich beziehungsweise kurz vor oder nach einer Messung Leitungswasser über die Selbsttränke aufgenommen wurde. Bei 9 Beobachtungen wurde eine Wasseraufnahme zum Zeitpunkt der Messung registriert, diese führte aber bei keinem Tier zu einem Absinken der Temperatur im Netzmagen. Man kann annehmen, dass die aufgenommenen Wassermengen eher gering waren, da bereits durch die Frischgrasfütterung viel Flüssigkeit aufgenommen wurde und daher kein deutlicher Einfluss auftrat. Hinzu kommt, dass nur

alle 90 Minuten über eine Messperiode von 200 Sekunden die Temperatur erfasst wurde. Diese Messdauer war möglicherweise zu kurz gewählt, um solche Effekte zu erfassen. Neben der intraruminalen Temperatur wurde in der eigenen Untersuchung auch die Konzentration kurzkettiger Fettsäuren als Indikator für die Fermentationsaktivität geprüft. Der Verlauf der intraruminalen Temperatur korrelierte jedoch bei keinem Tier und keiner Fütterungsvariante mit dem Anstieg oder Abfall der Konzentration kurzkettiger Fettsäuren. Somit scheint sich die entstandene Fermentationswärme zumindest unter den hier vorliegenden Bedingungen nicht in einer erhöhten Temperatur im Netzmagen zu manifestieren. Knaupp *et al.* (1998) zeigten jedoch an adulten Rindern, dass sich durch die zusätzliche Fütterung von 6 kg Kraftfutter zweimal am Tag die intraruminale Temperatur im Vergleich zu alleiniger Heufütterung um 1 °C erhöhen lässt. Somit scheint es möglich, dass bei den im vorliegenden Versuch untersuchten Tieren die entstandene Fermentationswärme aufgrund der verabreichten Kraftfuttermengen nicht ausreicht hat, um die Temperatur im Pansen merklich zu erhöhen. Man kann nicht ausschließen, dass bei anderen Rationen mit höheren Gehalten an leicht fermentierbaren Kohlenhydraten und/oder höheren Futteraufnahmen die Fermentationswärme sich merklich in der intraruminalen Temperatur niederschlägt.

Nicht alle erfassten Temperaturkurven konnten in Hinblick auf die Fütterung ausgewertet werden, da drei der Kühe an zwei Versuchstagen mittel- bis hochgradiges Fieber zeigten. Durch eine Überprüfung der Körperkerntemperatur mittels Fieberthermometer am dritten Versuchstag konnte gezeigt werden, dass eine enge Korrelation zwischen den im Netzmagen und den rektal erfassten Temperaturwerten besteht. Fieber erhöht also auch die intraruminale Temperatur, was durch den Bolus einwandfrei erfasst werden kann. Nach Gabe des Antipyretikums sank die Temperatur deutlich. Ausschlaggebend für die Erkennung fiebriger Erkrankungen mittels Bolus ist, dass fiebrige Erkrankungen in der Regel keine kurzfristigen Veränderungen der Körperkerntemperatur im Minutenbereich hervorrufen, sondern immer zu einem Temperaturanstieg über Stunden bis Tage führen. Dazu kommt, dass bei Kühen mit Fieber die Futteraufnahme häufig drastisch sinkt und so im Falle einer Erkrankung keine nennenswerte Fermentationswärme mehr auftritt. Liegt eine über längere Zeit vom Bolus gemessene erhöhte Temperatur im Netzmagen mit einer zeitgleich sinkenden Futteraufnahme und möglicherweise einem Rückgang der motorischen Aktivität der Vormägen vor, kann man davon ausgehen, dass das Tier an einer fiebrigen Erkrankung leidet. Der bei Fieber auftretende Rückgang der Futteraufnahme

sowie eine reduzierte Pansenmotorik wurden auch in den hier durchgeführten Versuchen beobachtet (s. S. 66).

Erfassung der Netzmagenkontraktionen

Durch Messungen *intra operationem* konnte gezeigt werden, dass es sich bei den durch den Bolus erfassten Druckschwankungen eindeutig um Haubenkontraktionen handelt. Weiterhin konnte durch diesen Vorversuch bewiesen werden, dass der Bolus ein Sistieren der Vormagentätigkeit sicher abbildet. Da eine Vielzahl von Erkrankungen, wie zum Beispiel eine Pansenazidose, mit reduzierter Futteraufnahme und verminderter Vormagenmotorik einhergehen, könnte daher die Erfassung der Kontraktionsfrequenz zumindest schwerwiegende Störungen sicher erkennen lassen.

Die in dieser Arbeit in Zusammenhang mit den *In vivo*-Messungen untersuchten Fütterungsvarianten hatten keinen signifikanten Einfluss auf die Kontraktionsfrequenz. Der hier durchgeführte Fütterungsversuch war jedoch auch nicht so konzipiert, dass im Hinblick auf Strukturwerte unterschiedliche Kontraktionsfrequenzen zu erwarten gewesen wären. So konnte Nørgaard (1989) in seinen Versuchen durch den Einsatz von Stroh (3,2 kg TM/Tag; Strukturwert 4,3) die Kontraktionsfrequenz von 1,45 Ktr/min auf 1,55 Ktr/min erhöhen. Die hier eingesetzten Futtermittel unterschieden sich hinsichtlich ihrer Strukturwerte jedoch nicht stark voneinander (Sojabohnenschalen: 0,6; gequetschte Gerste: -0,03; Maissilage: 1,57, Frischgras: 1,6; De Brabander *et al.*, 1999). Eine Ausnahme hiervon ist das Gerstenstroh (Strukturwert 4,3), das jedoch nur in einer geringen Menge verfüttert wurde (0,1 kg FM/Tag). Die Futteraufnahme selbst hatte jedoch insofern einen Einfluss, da während dieser Zeit die Kontraktionsfrequenz signifikant erhöht war. Dies entspricht auch verschiedenen, in der Literatur beschriebenen Beobachtungen zur Erhöhung der Kontraktionsfrequenz durch die Futteraufnahme (Okine *et al.*, 1998; Li *et al.*, 2000; Hirayama *et al.*, 2001). Die durch den Bolus ermittelte durchschnittliche Kontraktionsfrequenz bei gesunden Tieren von 1,56 bis 1,6 Ktr/min über 24 Stunden (Tab. 14) bestätigt ebenfalls Angaben aus der Literatur (3 Ktr/ 2 min; Kaske, 2005). Weiterhin konnte durch eine kombinierte Betrachtung der Parameter Temperatur und Druck gezeigt werden, dass Fieber die Kontraktionsfrequenz bei zwei von drei erkrankten Tieren signifikant reduziert hat.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der Bolus Kontraktionsfrequenzen des Netzmagens zuverlässig wiedergibt. Andere Druckparameter, wie Druckamplitude und

-dauer sind für die Erkennung von Erkrankungen nicht relevant und können durch die Lage des Bolus im Netzmagen stark beeinflusst werden.

Erfassung der Leitfähigkeit

Anhand der Kalibrierkurve des Leitfähigkeitsmessgerätes konnte festgestellt werden, dass der Bolus nur in Lösungen mit geringer Leitfähigkeit repräsentative Werte liefert. Pansensaft ist aber aufgrund einer Vielzahl an gelösten Teilchen eine Lösung mit einer hohen Leitfähigkeit. Die Leitfähigkeitswerte des Pansensaftes, die mit dem Referenzgerät erhoben worden sind, liegen bei ca. 9 mS. Daher kann man davon ausgehen, dass das Bolus-Leitfähigkeitsmessgerät mit einem Messbereich bis maximal 5 mS für den Einsatz im Tier ungeeignet ist. Es ist somit auch nicht sinnvoll, die vom Bolus erfassten Werte weiter zu interpretieren.

Bei den hier durchgeführten Messungen mit den Fütterungsvarianten A, B und C konnten keinerlei Zusammenhänge zwischen den durch das Referenzgerät erhobenen Leitfähigkeitswerten und der Konzentration an dissoziierten KKFS festgestellt werden. Um den durch das Referenzgerät dargestellten, recht konstanten Verlauf der Leitfähigkeit besser nachvollziehen zu können, müssten zusätzlich die Konzentration aller im Pansensaft enthaltenen Elektrolyte und Angaben über die Osmolarität vorliegen. Für diese Parameter liegen jedoch keine Werte vor. Ziel der Untersuchung war unter anderem, mit Hilfe der Leitfähigkeitsmessung Rückschlüsse auf die Konzentration der KKFS oder gar auf den pH-Wert des Pansensaftes ziehen zu können. Da jedoch die Leitfähigkeit des Pansensaftes von vielen Parametern beeinflusst wird und auch diese sich zusätzlich gegenseitig beeinflussen, ist eine Interpretation der Leitfähigkeit im oben genannten Sinne nicht möglich. So muss aufgrund der mittels Referenzgerät ermittelten Werte festgehalten werden, dass trotz der genannten Probleme mit der Leitfähigkeitsmessung mittels Bolus auch bei technisch einwandfreier Funktion der Messung die Leitfähigkeit für das Abbilden physiologischer oder pathophysiologischer Prozesse in den Vormägen ungeeignet scheint.

Kapitel 5

Abschließende Diskussion

Ein erfolgreiches Herdenmanagement bei Milchvieh stellt zunehmend höhere Anforderungen an den Betriebsleiter, da in den nächsten Jahren sowohl die Herdengrößen als auch die Milchleistung des Einzeltieres weiter ansteigen werden (Moriz & Doluschitz, 2002). Jede moderne Hochleistungskuh erfordert eine immer intensivere Überwachung durch den Landwirt, damit Stoffwechselstörungen, Krankheiten und Brunst rechtzeitig erkannt werden können. Nur so kann der Landwirt einer Minderung der Milchqualität und wirtschaftlichen Ausfällen effektiv entgegen wirken. Der dadurch entstehende erhöhte Arbeitsaufwand erhöht auch die Produktionskosten. Unter dem Aspekt der erhöhten Kosten und dem Aspekt der Arbeitswirtschaft wird der Einsatz von ausgereiften Herdenmanagementsystemen für den Landwirt zunehmend interessanter. Ein Herdenmanagementsystem kann den heutzutage oftmals an der Belastungsgrenze arbeitenden Landwirt entlasten und wirtschaftlichen Ausfällen entgegenwirken.

Der Begriff Herdenmanagementsystem umfasst verschiedene Formen von elektronischen Hilfsmitteln, die überwiegend in den Bereichen Reproduktion, Milchleistung, Tiererkennung und Fütterung zum Einsatz kommen. Herdenmanagementsysteme, speziell zur Gesundheitsüberwachung, kommen momentan nur zur Mastitisprävention zum Einsatz. Daneben gibt es einige experimentelle Ansätze zur kontinuierlichen Temperaturmessung mittels intravaginaler Datenlogger zum Ziel der Brunsterkennung (Brehme *et al.*, 2001b). Ein Herdenmanagementsystem zur Gesundheitsüberwachung, das sowohl auf kontinuierlicher Temperaturmessung als auch auf Druckmessung und Leitfähigkeitsmessung im Netzmagen basiert, ist bisher nicht frei erhältlich. Bei der in dieser Studie entwickelten Datenmesseinheit in Bolusform handelt es sich somit um einen Prototyp, der noch in keiner anderen Studie in dieser Form zum Einsatz gekommen ist. Lediglich Jeß (2000) benutzte in seiner Studie ein Vorgängermodell, welches zwar Temperatur und Druck messen konnte, dessen Messgeräte und -prinzipien jedoch keine Gemeinsamkeiten mit dem in dieser Studie verwendeten Modell aufweisen. Dabei ist die Idee, intraruminale Boli bei Wiederkäuern einzusetzen, nicht neu. Intraruminale Boli werden bei Wiederkäuern in erster Linie als Transportmittel für Transponder zur Tiererkennung und als Transportmittel für verschiedene Wirkstoffe eingesetzt. In dieser Studie sollte nun erstmals die Entwicklung einer Datenmesseinheit in Bolus-Form als Herdenmanagementsystem zur Gesundheitsüberwachung erfolgen. Im Vordergrund stand bei dieser Studie die Frage, inwieweit sich Temperatur-, Druck- und Leitfähigkeitsmessung im Netzmagen zur Gesundheitsüberwachung eignen und ob mittels Bolus diese Messungen

im Tier möglich sind. Zur Klärung dieser Frage wurde in zwei Schritten vorgegangen: im ersten Versuchsabschnitt wurde der Bolus *in vitro* getestet und kalibriert; in einem zweiten Versuchsabschnitt kam der Bolus im Tier zum Einsatz. Die hier gewonnenen Daten wurden mit Hilfe der Erkenntnisse aus den *In vitro*-Versuchen interpretiert.

Temperaturmessung

Die Temperaturmessung stellte sich in den *In vitro*-Versuchen als zuverlässiger Parameter hinsichtlich Messgenauigkeit und –schnelligkeit dar. Für die Temperaturmessung im Tier ist vor allem die Messgenauigkeit relevant, da die Körperkerntemperatur nur in einem Bereich zwischen 36 °C und 42 °C und nur in Ausnahmefällen darüber hinaus schwankt. Durch die Messungen im Wasserbad und bei den mit Fieber erkrankten Tieren, bei denen die Temperatur zusätzlich mit einem externen Thermometer erfasst wurde, konnte nachgewiesen werden, dass das im Bolus integrierte Thermometer zuverlässig Temperaturunterschiede von 0,1 °C erkennen kann. Eine Messverzögerung im Vergleich zum externen Thermometer machte sich bei den in dieser Studie unternommenen Versuchen nicht bemerkbar. Die Temperaturmessung im Netzmagen ist aber durchaus verschiedenen Einflussfaktoren unterworfen. So kann durch die Aufnahme von kaltem Futter oder durch die Aufnahme von größeren Mengen kalten Wassers die Temperatur im Netzmagen messbar sinken. Zur Früherkennung von Krankheiten sind aber nur Temperaturanstiege relevant. Sowohl Fieber als auch Fermentationswärme können die Temperatur im Netzmagen erhöhen. Bei fieberhaften Erkrankungen ist die Futteraufnahme aber gleichzeitig verringert und, wie in diesem Versuch gezeigt werden konnte, zusätzlich die Vormagenmotorik herabgesetzt. Auf diese Art und Weise kann mit Hilfe des Bolus jede Erkrankung festgestellt werden, die mit einer längerfristigen Erhöhung der Körpertemperatur einhergeht.

Nach Untersuchungen von Kyle *et al.* (1998) und Brehme *et al.* (2001b) bewirkt eine Brunst einen durchschnittlichen Anstieg der Körperkerntemperatur von $0,9 \pm 0,3$ °C über eine Zeitspanne von $6,5 \pm 2,7$ Stunden. Es scheint daher durchaus sinnvoll zu sein, in einer weiteren Untersuchung zu prüfen, ob der intraruminale Bolus auch zur Brunsterkennung geeignet ist.

Druckmessung

Die in Zyklen ablaufende, für alle Vormägen reflektorisch gesteuerte Motorik lässt sich durch die Erfassung von Netzmagenkontraktionen abbilden. Ist die Netzmagenmotorik gestört, kann davon ausgegangen werden, dass die gesamte Vormagenmotorik betroffen ist. Der einzige aussagekräftige Parameter ist dabei die Kontraktionsfrequenz, andere Kontraktionsparameter können durch die Lage des Bolus im Netzmagen beeinflusst werden. Kontraktionen erfasst der Bolus durch die Messung von Druckdifferenzen. Im *In vitro*-Versuch wurden diese mit Hilfe eines Druckadapters erfolgreich simuliert. Dass es sich bei den im Tier erfassten Druckschwankungen auch wirklich um Kontraktionen des Netzmagens handelt, konnte durch die narkosebegleitende Messung bewiesen werden. Aus diesem Versuch konnte aber auch geschlossen werden, dass mit Hilfe des Bolus Erkrankungen erkannt werden können, die mit einer deutlichen Reduzierung der Vormagenmotorik einhergehen. Weiterhin konnte während des Fütterungsversuches eine signifikante Erhöhung der Kontraktionsfrequenz durch die Futtermittelvorgabe festgestellt werden. Auch Li *et al.* (2000) konnten in Untersuchungen bei Rindern eine Erhöhung der Kontraktionsfrequenz von 1,33 auf 2,47 Ktr/min durch Futtermittelvorgabe verzeichnen. Hirayama *et al.* (2001) beschreiben sogar einen Anstieg von 6,6 auf 21,0 Ktr/min pro Minute während der Fütterung bei Rindern.

Zur Druckmessung lässt sich abschließend sagen, dass dieser Parameter sicher am geeignetsten zur Früherkennung von Krankheiten ist, da die Vormagenmotorik des Rindes sehr sensibel auf Störungen reagiert. So macht sich zum Beispiel jede lokale Störung (Fremdkörper, etc.), aber auch jede systemische Störung, die mit Fieber oder Schmerzen einhergeht, in einer reduzierten Pansenmotorik bemerkbar, was mit Hilfe des vorgestellten Bolus erfasst werden kann.

Leitfähigkeitsmessung

Wissenschaftliche Arbeiten zur experimentellen Leitfähigkeitsmessung des Pansensaftes sind nicht verfügbar, jedoch finden sich Angaben zur Konzentration der Bestandteile, die die Leitfähigkeit bestimmen (Rosenberger, 1990). Weiterhin finden sich Angaben über Konzentrationsänderungen der auf die Leitfähigkeit einflussnehmenden Inhaltsstoffe bei Erkrankungen oder unterschiedlichen Fütterungen (Crichlow & Chaplin, 1985; Lal *et al.*, 1989; Mutsvangwa *et al.*, 2002). In dieser Studie konnte aber gezeigt werden, dass der

Parameter Leitfähigkeit ungeeignet ist, um Aussagen über stoffwechselphysiologische Verläufe im Vormagensystem zu treffen. Grund ist, dass die Leitfähigkeit vielen Einflussgrößen unterworfen ist, wodurch sich einzelne relevante Einflussgrößen (Konzentration der KKFS oder von Milchsäure, K^+ - und Na^+ -Ionen, etc.) in ihrem Verlauf nicht mehr darstellen lassen. Zur Früherkennung von Krankheiten sollte aber gerade dieses möglich sein.

Bei einer Weiterentwicklung des Bolus sollte der Parameter „Leitfähigkeit“ daher nicht weiter bedacht werden und das Leitfähigkeitsmessgerät aus dem Bolus entfernt werden. In dem sehr begrenzten Raum, in dem die Messgeräte im Bolus untergebracht sind, kann so neuer Platz für andere Technik geschaffen werden.

Notwendige Weiterentwicklungen des Bolus für den Praxiseinsatz

Der Bolus kann auf dem derzeitigen Stand der Entwicklung Temperatur und Druck im Netzmagen zuverlässig messen. Je nach Programmierung und Häufigkeit der Datenaufnahme kann der Bolus auch länger als 24 Stunden im Tier eingesetzt werden. Limitierende Faktoren dabei sind der Datenspeicherplatz und die Akkuleistung. In der hier vorliegenden Entwicklungsstufe ist jedoch nur ein Einsatz in fistulierten Tieren möglich, da sowohl zum Auslesen der Daten und Programmierung als auch zum Laden des Akkus der Bolus regelmäßig aus der Kuh entnommen werden muss. Der Einsatz des Bolus in nicht-fistulierten Tieren setzt jedoch voraus, dass der Bolus lebenslang im Tier verbleiben und genutzt werden kann. Hierfür sind folgende Weiterentwicklungen notwendig:

- Senden und Empfangen von Daten per Funk
- Aufladen des Bolus in der Kuh

Erste Versuche hierzu wurden bereits unternommen. So kann der Bolus mittels Magnetinduktionsstrom durch die Bauchwand der Kuh hindurch in einer Ladestation geladen werden. Auch wurde ein erster Versuch unternommen, eine Datensende- und Empfangstechnik zu integrieren. Es konnte sogar Funkkontakt mit dem Bolus in der Kuh hergestellt werden. Allerdings traten hierbei Probleme beim Einbau der Technik auf. In der Praxis wird der Bolus oral eingegeben, somit ist die Größe des Bolus stark limitiert. Die momentan verfügbare Datensende- und Ladetechnik ist aber sehr platzfordernd und bedingt eine erhebliche Verlängerung des Bolus, so dass dieser nicht mehr oral appliziert werden kann. Hier sind weitere Entwicklungsarbeiten notwendig.

Im momentanen Zustand, und natürlich auch mit später integrierter Sende- und Ladetechnik, eignet sich der Bolus bereits jetzt sehr gut für Forschungsarbeiten im Bereich des Vormagensystems, bei denen Druck- und Temperaturmessung gefragt sind.

Für den Einsatz als Managementhilfe fehlen dem Bolus aber noch entscheidende Attribute. So müsste zum Beispiel noch die Software entwickelt werden, die die erhaltenen Bolus-Daten automatisch auswertet und Abweichungen vom Normalzustand erkennt. Ab wann es sich wirklich um eine ernstzunehmende Abweichung von der physiologischen Körpertemperatur oder der Kontraktionsfrequenz handelt, ist tierindividuell unterschiedlich. Vor Inbetriebnahme eines solchen tierindividuellen Managementsystems müssen daher für jede Kuh zuerst Referenzwerte durch Messungen im gesunden Zustand festgelegt werden. Die Abweichungen müssten dann für den Landwirt in einer Art „Alarmliste“ täglich angezeigt werden. Die Software sollte dabei auch die von Grunert und Mansfeld (1989), Pflug (1990), sowie Schade und Distl (1994) aufgestellten Anforderungen an computergestützte Herdenmanagementprogramme erfüllen (s. S. 7).

Um sicher gehen zu können, dass alle relevanten Veränderungen auch erfasst werden, müssen die Messzyklen, Messperioden und Messintervalle mit ausreichender Häufigkeit und Dauer gewählt werden. Messungen sollten jedoch im Praxisgebrauch so wenig wie möglich erfolgen, um die Leistungskapazität des Akkus und den Speicherplatz des Bolus nicht zu überlasten. Häufige Messungen und belegter Speicherplatz bedeuten auch häufiges Senden der Daten, was viel Energie kostet. Das hat zur Folge, dass der Akku oft geladen werden muss. Kombiniert man die Ladestation für den Bolus in einem heutzutage üblichen Boxenlaufstall zum Beispiel mit der Tränke oder dem Melkstand, ist die Aufenthaltsdauer der Kühe in der Ladestation automatisch begrenzt und somit auch die Ladedauer.

In Zukunft wäre auch der Einsatz des Bolus zur elektronischen Tiererkennung denkbar. So kann durch den Einsatz eines Bolus bei Verlust der Ohrmarken die Identifizierung des Tieres trotzdem sichergestellt werden. Die Programmierung einer Ohrmarkennummer anstatt der Bolusnummer ist schon jetzt technisch möglich und durch die Lokalisation des Bolus im Netzmagen ist er weitestgehend vor Manipulation geschützt.

Abschließend ist zu sagen, dass bis zu einem Einsatz des Bolus als praxistaugliche Managementhilfe noch weitere umfassende Entwicklungsarbeit notwendig ist. Mit dieser Studie konnte aber gezeigt werden, dass die Entwicklung einer Managementhilfe auf der Basis einer Datenmesseinheit im Netzmagen vielversprechend und zukunftssträchtig ist.

Zusammenfassung

In Milchviehherden steigt die Anzahl der Tiere pro Herde kontinuierlich an, wodurch jedoch die Zeit für Einzeltierbeobachtungen abnimmt. Das Ziel der vorliegenden Studie war die Entwicklung einer Datenmesseinheit im Netzmagen als Managementhilfe, mit der Temperatur-, Druck- und Leitfähigkeitsverläufe in Einzeltieren erfasst werden können. Vorteil eines intraretikulären Bolus ist, dass Messungen ohne Beeinflussung durch äußere Faktoren erfolgen können, keine Manipulationen von außen vorgenommen werden können und die Verlustrate gering ist. Gemeinsam mit der Firma Kneisner und Doering Elektronik GmbH, Braunschweig, wurde ein Kunststoff-Bolus entwickelt (16,5 cm Länge, 3,6 cm Außendurchmesser, Gewicht 245 g, spezifisches Gewicht 1,47 g/cm³), welcher ein Thermometer, ein Barometer, ein Leitfähigkeitsmessgerät, einen Mikrorechner zur Datenspeicherung und Funktionssteuerung und einen Akku enthält. Zum Laden und Programmieren wurde der Bolus über eine serielle Schnittstelle an einen Computer angeschlossen. In verschiedenen *In vitro*- und *In vivo*-Versuchen wurde die Funktionsweise der Messgeräte überprüft. Die Bolus-Werte wurden mit Werten verglichen, die mit Referenzgeräten ermittelt wurden. *In vitro* zeigte das Thermometer eine Messgenauigkeit von 0,1 °C. In dem *In vivo*- Experiment, das mit vier fistulierten, laktierenden Kühen durchgeführt wurde, konnten mit Hilfe des Bolus Tagestemperaturverläufe und Fieber dargestellt werden. Mit dem Bolus kann somit jede Erkrankung festgestellt werden, die mit einer längerfristigen Erhöhung der Körpertemperatur einhergeht. Druckänderungen wurden *in vitro* zu 50 % erfasst. *In vivo* konnten durch die Messung von Druckschwankungen Netzmagenkontraktionen dargestellt werden, wodurch auch Änderungen der Kontraktionsfrequenz erfasst werden konnten. Der Bolus ist damit geeignet, jede Krankheit anzuzeigen, die sich in einer veränderten Vormagenmotorik niederschlägt. Das Leitfähigkeitsmessgerät zeigte anhand einer Kalibrierkurve massive Messungenauigkeiten und ist somit für Messungen sowohl *in vitro* als auch *in vivo* ungeeignet, unterschiedliche Konzentrationen an KKFS anzuzeigen, wodurch Indigestionen oder auch eine Pansenazidose erkannt werden könnten. Aber auch Leitfähigkeit selbst ist aufgrund vieler Einflussfaktoren und sich überdeckender Effekte ein sehr komplexer Parameter und für die Erkennung pathophysiologischer Zustände ungeeignet. Für einen Einsatz des Bolus als Managementhilfe in Milchviehherden sind weitere umfassende Entwicklungen notwendig, wie z.B. das Senden und Empfangen von Daten aus der Kuh und die Entwicklung von Software zur Auswertung von Rohdaten.

Summary

The number of animals within European dairy herds is increasing while the time for surveillance of each cow is decreasing. The aim of the present study was to develop an intrareticular device (Bolus) as a management aid for monitoring changes in conductivity, pressure and temperature in individual cows. The Bolus is independent of external disturbing factors, can not be manipulated from the outside and is not lost easily. In cooperation with a commercial company (Kneisner and Doering Elektronik GmbH, Braunschweig), we have developed a plastic bolus (16.5 cm length, 3.6 cm outer diameter, weight 245 g, specific weight 1.47 g/cm³) containing a thermometer, a barometer, an electrical conductivity meter, a chip for data storage and functional management and a rechargeable battery. For loading and programming the Bolus is connected to a computer by a serial interface. In a series of *in vitro* and *in vivo* experiments the principal functioning of the measurement devices was checked. The data obtained by the Bolus were compared to those obtained by external reference devices. Water temperatures *in vitro* could be recorded with an accuracy of 0.1 °C. In the *in vivo* experiment, using four ruminally cannulated lactating cows, daily temperature curves and fever could be shown with the help of the Bolus. Consequently the Bolus is able to detect any illness which causes a long-lasting increase in body core temperature. Pressure changes were recorded *in vitro* with an efficacy of 50 %. *In vivo* pressure recordings were successfully used for registration of contractions of the reticulorumen and to detect a change in contraction frequency. Therefore the Bolus is useful to detect illnesses which reduces ruminoreticular motility. Measurement of the conductivity of ruminal fluid by the instrument integrated within the Bolus was severely hampered by an inaccurate measurement principle. For this reason the instrument is useless for *in vitro* and *in vivo* measurements. Furthermore with the external reference conductivity meter no results could be obtained *in vitro* and *in vivo* with respect to the influence of different concentrations of SCFA to detect illnesses, like rumen acidosis etc. Conductivity is a complex parameter due to a high number of influencing factors and overlapping effects and therefore does not appear to be a useful parameter to detect pathophysiological changes. The intraruminal device is able to reliably monitor changes in body temperature and ruminoreticular motility. The use of the device as a management tool however, needs further development, e.g. with respect to sending and receiving data from the inside of the cow.

Literaturverzeichnis

- Bhattacharyya, N. K. (1978).** The physiological relationship between pH, TVFA, rumen temperature and rumen motility. *Indian Journal of Physiology and Allied Sciences* **32**, 79-89.
- Brehme, U., Ahlers, D., Laufeld, P., Scheibl, P., Scherping, E., & Stollberg, U. (2001 a).** Tierdatenmessungen mit sensorgestützten Messsystemen für Aussagen im Herdenmanagement von Milchkühen. *15. IGN-Tagung Tierschutz und Nutztierhaltung, 4.-6.10.2001, Halle/S., Tagungsband*, Hrsg. Internationale Gesellschaft für Nutztierhaltung, 26-31.
- Brehme, U., Ahlers, D., Laufeld, P., Scheibl, P., Scherping, E., & Werner, D. (2001b).** Brunsterkennung und Gesundheitsüberwachung mittels sensorgestützter Funkdatenlogger. *Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung 2001, Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim*, Hrsg. Landwirtschaftsverlag, Münster, 44-49.
- Brehme, U., Bahr, C. & Holz, R. (2003).** Brunsterkennung von Rindern-Vergleichsuntersuchungen zur Arbeitsweise von Pedometern und Halsbandrescountern. *Landtechnik* **58**, 106-107.
- Brehme, U. & Brunsch, R. (2002).** Measurement of animal data and their importance for herd management on dairy cow farms. *8th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture, Kusadasi (Türkei), Proceedings*, Hrsg. Department of Agricultural Machinery of the Faculty of Agriculture of Ege, University of Izmir, Türkei, 378-384.
- Brehme, U., Brunsch, R., Scherping, E., & Werner, D. (1999).** Sensorgestützte Datenerfassung bei Rindern zur Weiternutzung im Herdenmanagement. *Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik der Bayrischen Landesanstalt für Landwirtschaft Freising- Weihenstephan*, Hrsg. Landwirtschaftsverlag, Münster, 255-261.
- Caja, G., Conill, C., Nehring, R., & Ribo, O. (1999).** Development of a ceramic bolus for the permanent electronic identification of sheep, goat and cattle. *Computers and Electronics in Agriculture* **24**, 45-63.
- Cawley, L. R. & Kerry, K. E. (2002).** Reticulitis due to an identification bolus? *The Veterinary Record* **23**, 644.
- Cheng, K. J., McAllister, T. A., Histrov, A. N., Mir, Z., Shin, H. T., & Popp, J. D. (1998).** A review of bloat in feedlot cattle. *Journal of Animal Science* **76**, 299-308.

- Crichlow, E. C. & Chaplin, R. K. (1985).** Ruminant lactic acidosis: Relationship of forestomach motility to nondissociated volatile fatty acids levels. *American Journal of Veterinary Research* **46**, 1908-1911.
- Dahme, E. & Weiss, E. (Hrsg.) (1999).** *Grundriss der speziellen pathologischen Anatomie der Haustiere*, 5. Auflage, Enke Verlag, Stuttgart.
- De Brabander, D. L., De Boever, J. L., Vanacker, J. M., Boucque, C. V., & Botterman, S. M. (1999).** Evaluation of physical structure in dairy cattle nutrition. In *Recent Advances in Animal Nutrition 1999*. Hrsg. Garnsworthy, P. C. & Wiseman, J. 111-145. Nottingham University Press, Loughborough, UK.
- Delwiche, M., Tang, X., BonDurant, R., & Munro, C. (2000).** Estrus detection with a progesterone biosensor. *Transactions of the ASAE* **44**, Hrsg. American Society of Agricultural Engineers, 2003-2008.
- Dirksen, G. (2002).** Krankheiten von Haube und Pansen beim ruminanten Rind. In *Innere Medizin und Chirurgie des Rindes*, 4. Auflage. Hrsg. Dirksen, G., Gründer, H.-D., & Stöber, M., 396-454. Parey Buchverlag, Berlin.
- Doluschitz, R. & Funk, R. (1992).** Top-Management für große Milchviehherden. *Landtechnik* **47**, 381-385.
- Duffield, T., Plaizier, J. C., Fairfield, A., Bagg, R., Vessie, G., Dick, P., Wilson, J., Aramini, J., & McBride, B. W. (2004).** Comparison of techniques for measurement of rumen pH in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* **87**, 59-66.
- Enevoldsen, C., Hindhede, J., & Kristensen, T. (1996).** Dairy herd management types assessed from indicators of health, reproduction, replacement, and milk production. *Journal of Dairy Science* **79**, 1221-1236.
- Eradus, W. J., Rossing, W., Hogewerf, P. H., & Benders, E. (1992).** Signal processing of activity data for oestrus detection in dairy cattle. *Proceedings of the International Symposium on Prospects for Automatic Milking, EAAP Publication No. 65*. Hrsg. Pudoc Scientific Publishers, Wageningen, Holland 360-369.
- Fallon, R. J. & Rogers, P. A. M. (1999).** Evaluation of implantable electronic identification systems for cattle. *Irish Journal of Agricultural and Food Research* **38**, 189-199.

- Fallon, R. J. & Rogers, P. A. M. (2001).** Evaluation of rumen boluses as a method of electronic animal identification. *Irish Journal of Agricultural and Food Research* **40**, 161-168.
- Fallon, R. J., Rogers, P. A. M., & Early, B. (2003).** Electronic Animal Identification-End of Project Report. *Beef Production Series* **46**.
- Firk, R. 2002.** Methods and traits for automatic oestrus detection in dairy cows. *Dissertation sc. agr*, Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Froetschel, M. A., Croom, W. J., Hagler, W. M., Argenzio, R., Liacos, J., & Broquist, H. P. (1986).** Effects of slaframine on ruminant digestive function; ruminal motility in sheep and cattle. *Journal of Animal Science* **63**, 1502-1508.
- Gäbel, G. (1990).** Pansenazidose: Interaktionen zwischen den Veränderungen im Lumen und in der Wand des Pansens. *Übersichten zur Tierernährung* **18**, 1-38.
- Garin, D., Caja, G., & Bocquier, F. (2003).** Effects of small ruminal boluses used for electronic identification of lambs on the growth and development of the reticulorumen. *Journal of Animal Science* **81**, 879-884.
- Grunert, E. & Mansfeld, R. (1989).** Der Computereinsatz im Rahmen der Fruchtbarkeitsüberwachung beim Rind aus klinischer Sicht. *Collegium veterinarium* **XX**, 33-36.
- Hemingway, R. G., Parkins, J. J., & Ritchie, N. S. (1997).** Sustained-release boluses to supply trace elements and vitamins to calves. *Veterinary Journal* **153**, 221-224.
- Hirayama, T., Asato, N., & Ohta, M. (2001).** Behaviour and ruminal contraction of Japanese black cattle in the summer season. *Animal Science Journal* **72**, 605-609.
- Hove, K. (1993).** Chemical methods for reduction of the transfer of radio nuclides to farm animals in semi-natural environment. *Science of the Total Environment* **137**, 1-3.
- Hove, K., Staaland, H., Pedersen, Ø., Ensby, T., & Sæthre, O. (1991).** Equipment for placing a sustained release bolus in the rumen of the reindeer. *Rangifer: scientific journal of reindeer and reindeer husbandry* **11**, 49-52.
- International Organisation for Standardization (ISO) (1996a).** *ISO 11784. Radiofrequency identification of animals- Code structure*. Genf.

- International Organisation for Standardization (ISO) (1996b).** *ISO 11785. Radiofrequency identification of animals- Technical concept.* Genf.
- Jessen, C. (2005).** Wärmebilanz und Temperaturregulation. In *Physiologie der Haustiere*, 2. Auflage, Hrsg. Engelhardt, W. v. & Breves, G., 446-460. Enke Verlag, Stuttgart.
- Jeß, H.-J. (2000).** Überprüfung der Pulsfrequenz, Tränkemenge, Hauttemperatur, Pansentemperatur und -kontraktion auf ihren Nutzen für wissenschaftliche Managementsysteme beim Rind. *Dissertation sc. agr.*, Humboldt-Universität Berlin.
- Kaske, M. (2005).** Vormagenmotorik und Ingestapassage. In *Physiologie der Haustiere*, 2. Auflage, Hrsg. Engelhardt, W. v. & Breves, G., 328. Enke Verlag, Stuttgart.
- Kelly, J. M., Froetschel, M. A., Croom, W. J., Hagler, W. M., & McBride, B. W. (1991).** Effect of a parasympathomimetic agent, slaframine, on reticulo-omasal orifice function. *Canadian Journal of Animal Science* **71**, 321-326.
- Kiddy, C. A. (1977).** Variation in physical activity as an indicator of oestrus in dairy cows. *Journal of Dairy Science* **60**, 235-243.
- Knaupp, S., Eggert, W., Steingäß, H., & Drochner, W. (1998).** Postprandialer Temperaturverlauf im dorsalen und ventralen Bereich der Pansenfaserschicht bei Variation der Energiedichte. *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology* **7**, 72.
- Kristensen, N. B., Danfær, A., Tetens, V., & Agergaard, N. (1996).** Portal recovery of intraruminally infused short-chain fatty acids in sheep. *Acta Agricultura Scandinavica, Section A* **46**, 26-38.
- Kyle, B. L., Kennedy, A. D., & Small, J. A. (1998).** Measurement of vaginal temperature by radiotelemetry for the prediction of estrus in beef cows. *Theriogenology* **49**, 1437-1449.
- Lal, S. B., Dwivedi, S. K., Sharma, M. C., & Swarup, D. (1989).** Clinico-biochemical and microbial studies in rumen liquor in experimental acidosis in goats. *Indian Journal of Veterinary Medicine* **9**, 81-85.
- Lefcourt, A. M. & Adams, W. R. (1998).** Radiotelemetric measurement of body temperature in feedlot steers during winter. *Journal of Animal Science* **76**, 1830-1837.
- Lehrer, A. R., Lewis, G. S., & Aizinbud, E. (1992).** Oestrus detection in cattle: recent developments. *Animal Reproduction Science* **28**, 355-361.

- Li, B. T., Okine, E. K., & Christopherson, R. J. (2000).** Effect of vasoactive intestinal polypeptide and environmental temperature on forestomach electromyographic activity and gastrointestinal contraction in sheep. *Canadian Journal of Animal Science* **80**, 343-353.
- Lide, D. R. (Hrsg.) (1993).** *Handbook of Chemistry and Physics*, 74. Auflage. Hrsg. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida, USA.
- Loeffler, K. (Hrsg.) (1977).** *Anatomie und Physiologie der Haustiere*, 3. Auflage. 235. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Madeiraso, C. A. (1992).** Possible complication with rumen boluses. *The Veterinary Record* **19**, 271-272.
- Mansfeld, R. & Metzner, M. (1992).** Tierärztliche Betreuung von Milcherzeugerbetrieben. *Teil 1: Strategie der Bestandsbetreuung. Praktischer Tierarzt* **5**, 396-406.
- McAllister, T. A., Gibb, D. J., Kemp, R. A., Huisma, C., Olson, M. E., Milligan, D., & Schwartzkopf-Genswein, K. S. (2000).** Electronic identification: Applications in beef production and research. *Canadian Journal of Animal Science* **80**, 392.
- Mercer, J. B., Johnsen, H. K., Mathiesen, S. D., & Blix, A. S. (1985).** An intraruminal heat exchanger for use in large conscious animals. *Rangifer: Scientific Journal of Reindeer and Reindeer Husbandry* **5**, 10-14.
- Mercer, S. A., Colvin, H. W., & Backus, R. C. (1988).** Elevated intra-rumen pressure and secondary rumen contractions in sheep (*Ovis aries*). *Comparative Biochemistry and Physiology* **90A**, 481-489.
- Mills, J. H. & Christian, R. G. (1970).** Lesions of bovine tympany. *Journal of the American Veterinary Medicine Association* **157**, 947-952.
- Milner, P., Page, K. L., & Hillerton, J. E. (1997).** The effects of early antibiotic treatment following diagnosis of mastitis detected by a change in the electrical conductivity of milk. *Journal of Dairy Science* **80**, 859-863.
- Moriz, C. & Doluschitz, R. (2002).** Intensives Herdenmanagement -Grundlage der Kosten in der Milchviehhaltung. *Landtechnik* **5**, 284-285.
- Muller, K. E. (1998).** Feasibility of the concept of orally administered electronic boluses for identification of cattle. *Dissertation med. vet*, Faculty of Veterinary Medicine, Utrecht University, Holland.

- Mutsvangwa, T., Walton, J. P., Plaizier, J. C., Duffield, T., Bagg, R., Dick, P., Vessie, G., & McBride, B. W. (2002).** Effects of a monensin controlled-release capsule or premix on attenuation of subacute ruminal acidosis in dairy cows. *Journal of Dairy Science* **85**, 3454-3461.
- Neumann, N. (1979).** Untersuchungen über das Vorkommen von Netzmagen-Fremdkörpern bei Schlachtrindern in Bayern. *Dissertation med. vet.*, Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Nickel, R., Schummer, A., & Seiferle, E. (2004).** Eingeweide. In *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere*, 9. Auflage. Hrsg. Nickel, R., Schummer, A., & Seiferle, E., Paul Parey Verlag, Berlin.
- Nielen, M., Schukken, Y. H., Van de Broek, J., Brand, A., Deluyker, H. A., & Maatje, K. (1993).** Relations between on-line electrical conductivity and daily milk production on a low somatic cell count farm. *Journal of Dairy Science* **76**, 2589-2596.
- Nocek, J. E., Allman, J. G., & Kautz, W. P. (2002).** Evaluation of an indwelling ruminal probe methodology and effect of grain level on diurnal pH variation in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* **85**, 422-428.
- Nørgaard, P. (1989).** The influence of physical form of ration on chewing activity and rumen motility in lactating cows. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A* **39**, 187-202.
- Okine, E. K., Mathison, G. W., Kaske, M., Kennelly, J. J., & Christopherson, R. J. (1998).** Current understanding of the role of the reticulum and reticulo-omasal orifice in the control of the digesta passage from the ruminoreticulum of sheep and cattle. *Canadian Journal of Animal Science* **78**, 15-21.
- Ordolff, D. (1995).** Entwicklungsstand der Milchmengenmessung. *Milchpraxis* **33**, 68-70.
- Peter, A. T. & Bosu, W. T. K. (1986).** Postpartum ovarian activity in dairy cows: correlation between behavioural oestrus, pedometer measurements and ovulations. *Theriogenology* **26**, 111-115.
- Pflug, W. (1990).** Computergesteuerte Herdenbetreuung unter besonderer Berücksichtigung der Fruchtbarkeit. *Collegium veterinarium* **XXI**, 40-42.

- Ribo, O., Korn, C., Meloni, U., Cropper, M., De Winne, P., & Cuypers, M. (2001).** IDEA: a large-scale project on electronic identification of livestock. *Review of Scientific Technology* **20**, 426-436.
- Røjen, B. A., Raun, B. M. L., Lund, P., & Kristensen, N. B. (2004)** Effect of supplement strategy on splanchnic net fluxes of ammonia and urea in dairy cows fed fresh grass. *Journal of Animal and Feed Sciences* **13**, Suppl. 1, 347-350.
- Rosenberger, G. (Hrsg.) (1990).** *Die klinische Untersuchung des Rindes*, 3. Auflage, Parey Buchverlag, Berlin.
- Sachs, L. (Hrsg.) (1999).** *Angewandte Statistik- Anwendung statistischer Methoden*, 9. Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg.
- Schade, A. & Distl, O. (1994).** Das tierärztliche Herdenbetreuungs- und Informationssystem THEBIS. *Praktischer Tierarzt* **75**, 587-596.
- Sievers, A. K.; Kristensen, N. B.; Laue, H.-J. & Wolfram, S. (2004).** Development of an intraruminal device for data sampling and transmission. *Journal of Animal and Feed Sciences* **13**, Suppl. 1, 207-210.
- Susenbeth, A., Dickel, T., Südekum, K.-H., Drochner, W., & Steingäß, H. (2004).** Energy requirements of cattle for standing and for ingestion, estimated by a ruminal emptying technique. *Journal of Animal Science* **82**, 136-142.
- van Weeren-Keverling Buisman, A., Kuiper, R., Gootjes, P., van der Velden, M. A., & Breukink, H. J. (1990).** Temperature sensors in the rumen and abomasum to study reticular groove reflex in veal calves. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* **64**, 220-226.
- VVVO (2003).** *Bekanntmachung der Neufassung der Viehverkehrsverordnung (VVVO)*, Bundesgesetzblatt, 381.
- 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.
- Zingerman, J. R., Cardinal, J. R., Chern, R. T., Holste, J., Williams, J. B., Eckenhoff, B., & Wright, J. (1997).** The in vitro and in vivo performance of an osmotically controlled delivery system- IVOMEC SR[®] bolus. *Journal of Controlled Release* **47**, 1-11.

Anhang

Tabelle 15: Futterraufnahme pro Tier (8203, 4301, 4016, 4543) und Versuchstag (VT)

	Futterraufnahme pro Tag							
	[kg FM]				[kg TM]			
	8203	4301	4016	4543	8203	4301	4016	4543
1. VT								
Frischgras	42,7	29,4	40,8	46,3	7,6	5,2	7,3	8,3
Maissilage	8,2	5,6	8,2	8,2	2,8	1,9	2,8	2,8
Sojabohnenschalen	3,0	3,0	3,0	3,0	2,7	2,7	2,7	2,7
Gerste^{a)}	3,0	3,0	3,0	3,0	2,6	2,6	2,6	2,6
Gerstenstroh	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
gesamt	57,0	41,1	55,1	60,6	15,8	12,5	15,4	16,4
2.VT								
Frischgras	29,3	26,8	39,0	39,6	6,0	5,5	8,0	8,1
Maissilage	7,2	6,2	5,0	8,2	2,4	2,0	1,7	2,7
Sojabohnenschalen	3,0	2,0	3,0	3,0	2,6	1,8	2,6	2,6
Gerste	3,0	2,0	3,0	3,0	2,6	1,7	2,6	2,6
Gerstenstroh	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
gesamt	42,6	37,1	50,1	53,9	13,7	11,1	14,9	16,1
3.VT								
Frischgras	46,4	12,1	47,0	25,0	7,8	2,0	7,9	4,2
Maissilage	8,2	2,1	7,6	8,2	2,8	0,7	2,6	2,8
Sojabohnenschalen	3,0	2,0	3,0	3,0	2,6	1,7	2,6	2,6
Gerste	3,0	2,0	3,0	3,0	2,6	1,7	2,6	2,6
Gerstenstroh	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
gesamt	60,7	18,3	60,7	39,3	15,9	6,3	15,8	12,3

^{a)}gequetschte Gerste

Danksagung

Ich danke Herrn Prof. Dr. S. Wolffram für die Überlassung des Themas und für seinen nicht nachlassenden Einsatz und die Unterstützung bei der Anfertigung dieser Arbeit. Herzlichen Dank insbesondere für die ausgezeichnete Betreuung und nötige Geduld bei der Entwicklung des Bolus sowie bei der Durchführung und Auswertung der Versuche, für jedes aufmunternde Wort und das zu jeder Zeit offene Ohr für jede Art von Problem.

Mein Dank gilt auch Herrn Prof. Dr. H.-J. Laue als Vater der Idee zur Entwicklung des Bolus und dafür, dass er mich an Herrn Prof. Wolffram und sein Institut vermittelt hat.

Ein großes Dankeschön an die Stiftung Schleswig-Holsteinische Landschaft für die finanzielle Unterstützung dieses Projektes.

Herrn H.-J. Kneisner und Herrn H. Lorke von der Firma Kneisner und Doering Elektronik GmbH in Braunschweig möchte ich für die sehr aufwendige Fertigung und technische Entwicklung des Bolus danken und ohne deren Einsatz diese Arbeit sicherlich nicht zustande gekommen wäre. Mein Dank gilt dabei auch für die gute Zusammenarbeit und die unermüdliche Nachhilfe in Elektrotechnik.

Ein großes Dankeschön an Dr. Niels Bastian Kristensen und Mitarbeiter aus Foulum, Dänemark, die es mir ermöglicht haben, den *In vivo*-Versuch an ihrem Institut durchzuführen sowie für die Unterstützung und Anregungen dabei.

Prof. Dr. K.-H. Südekum möchte ich für die vielfältige Unterstützung und seine ständige Diskussionsbereitschaft danken.

Für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung und zahlreichen helfenden Worten danke ich Dr. Ralf Blank.

Fürs Ochsen-Zähmen danke ich Clemens Benthin.

Ein großes Dankeschön an alle Mitarbeiter des Institutes für Tierernährung und Stoffwechselphysiologie für die sehr schöne Zeit in Kiel.

Meinen Kolleginnen Kathrin, Katharina, Stephanie, Judith und Susanne möchte ich für den Spaß, den wir hatten und die vielen hilfreichen Gespräche für alle Lebenslagen danken.

Für die richtigen Worte zur richtigen Zeit und seine Unterstützung danke ich Stephan.

Meinen Eltern danke ich für alles, was sie während der Zeit meines Studiums, der Doktorarbeit und darüber hinaus für mich getan haben.

Lebenslauf

Persönliche Angaben

Name: Anne Katrin Dorothee Sievers
Familienstand: ledig
Staatsangehörigkeit: deutsch
Geburtsdatum: 04.12.1977
Geburtsort: Wolfenbüttel
Eltern: Dr. med. Ulrich Sievers (Internist) und Kitty Sievers-Riechelmann (Lehrerin)
Geschwister: Florian (Journalist) und Christian (Freier Künstler)

Schulbildung

1984-1990 Grundschule und Orientierungsstufe Schöppenstedt
1990-1997 Gymnasium im Schloß Wolfenbüttel
1997 Abitur

Studium

1997-2002 Studium der Veterinärmedizin an der Tierärztlichen Hochschule Hannover
Dezember 2002 Staatsexamen

Praktika

1995 & 1997 Praktikum bei Dr. Matthias Jenter, Fachtierarzt für Pferde, Mariental
1998 & 2000 Praktikum bei Dr. Jens Siebert, Fachtierarzt für Chirurgie, Hamersleben
2001 6-wöchiges Auslandspraktikum an der Tierärztlichen Hochschule in Ankara/ Türkei
2002 6-wöchiges Praktikum bei TÄ Dr. Pöhlmann/Dr. Roth, Owschlag
6-wöchiges Praktikum im Institut für Reproduktionsmedizin der Tierärztlichen Hochschule Hannover
6-wöchiges Praktikum am Schlachthof Halberstadt

Berufstätigkeit

01/2003-04/2005 wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Tierernährung und Stoffwechselfysiologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
seit 05/2005 Anstellung als Assistentin in der Tierarztpraxis Lotz und Dr. Zieger, Kirtorf

Kiel, den 02.05.2005

Eidesstattliche Erklärungen

Tierärztin Anne Katrin Sievers

Eidesstattliche Erklärung:

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Titel „Entwicklung einer intraruminalen Datenmesseinheit als Managementhilfe in der Milchviehhaltung“ selbständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt habe und dass ich die Arbeit noch keinem anderen Fachbereich bzw. noch keiner anderen Fakultät vorgelegt habe.

Kiel, den 02.05.2005

Hiermit erkläre ich, dass gegen mich kein strafrechtliches Ermittlungsverfahren schwebt.

Kiel, den 02.05.2005