

Aus dem Fachgebiet Tierernährung und Tiergesundheit des Fachbereiches
Ökologische Agrarwissenschaften der Universität Kassel

Quantifizierung der Fress- und Wiederkäuaktivitäten von Milchkühen

**Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktors der Agrarwissenschaften (Dr. agr.)**

vorgelegt von Dipl.-Biol. Uwe Richter
Witzenhausen im Juli 2010

Die vorliegende Arbeit wurde vom Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften der Universität Kassel als Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades „Doktor der Agrarwissenschaften“ angenommen.

Tag der mündlichen Prüfung: 22.12.2010

Erster Gutachter: Prof. Dr. Albert Sundrum

Zweiter Gutachter: Prof. Dr. Oliver Hensel

Mündliche Prüfer: Prof. Dr. Ute Knierim
Prof. Dr. Eva Schlecht

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Inhaltsverzeichnis | 3 |
| Abbildungsverzeichnis | 5 |
| Tabellenverzeichnis..... | 7 |
| Abkürzungsverzeichnis: | 10 |
| 1 Einleitung..... | 11 |
| 2 Stand des Wissens..... | 13 |
| 2.1 Voraussetzungen einer „wiederkäuergerechten“ Fütterung..... | 13 |
| 2.2 Systeme zur Bewertung der Strukturwirksamkeit von Futtermitteln..... | 14 |
| 2.3 Variationsursachen für die Fress- und Wiederkäuaktivität..... | 17 |
| 2.4 Messmethoden zur Erfassung von Fress- und Wiederkäuaktivitäten | 18 |
| 2.5 Auswertungsverfahren zur Differenzierung von Kaubewegungen..... | 22 |
| 3 Zielsetzung..... | 25 |
| 4 Material und Methoden..... | 26 |
| 4.1 Das Messsystem | 26 |
| 4.1.1 Sensor-Aktor Einheit..... | 26 |
| 4.1.2 Datenlogger | 28 |
| 4.1.3 Stromversorgung | 31 |
| 4.1.4 Das Halfter | 32 |
| 4.2 Die Auswertungssoftware | 34 |
| 4.2.1 Aufbau der Konfigurationsdatei..... | 34 |
| 4.2.2 Datenauswertung | 36 |
| 4.2.3 Ergebnis der Auswertungssoftware..... | 39 |
| 4.3 Versuchsdurchführung | 40 |
| 4.3.1 Versuchstiere | 40 |
| 4.3.2 Fütterung | 41 |
| 4.3.3 Datenerfassung | 43 |
| 5 Ergebnisse..... | 45 |
| 5.1 Ergebnisse der Auswertungssoftware | 45 |
| 5.1.1 Erfasste Messdateien | 45 |
| 5.1.2 Probleme der automatischen Auswertungssoftware..... | 45 |
| 5.1.3 Vergleich der Ergebnisse der Auswertungssoftware mit der optischen Kontrolle | 47 |

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-------|---|----|
| 5.2 | Charakteristika der Wiederkäuboli | 52 |
| 5.2.1 | Variation in den Charakteristika der Wiederkäuboli..... | 52 |
| 5.2.2 | Einflussfaktoren auf die Charakteristika der Wiederkäuboli | 55 |
| 5.3 | Boliparameter als Prädiktoren der gesamt Wiederkäudauer pro Tag | 64 |
| 5.4 | Charakteristika der Wiederkäuphasen..... | 65 |
| 5.4.1 | Variation in den Charakteristika der Wiederkäuphasen..... | 65 |
| 5.4.2 | Einflussfaktoren auf die Charakteristika der Wiederkäuboli | 68 |
| 5.5 | Wiederkäudauer pro Tag | 70 |
| 6 | Diskussion..... | 73 |
| 6.1 | Das Messsystem | 73 |
| 6.1.1 | Der Datenlogger | 73 |
| 6.1.2 | Das Halfter | 74 |
| 6.2 | Probleme der Auswertungssoftware | 75 |
| 6.3 | Charakteristika der Wiederkäuboli | 76 |
| 6.4 | Charakteristika der Wiederkäuphasen..... | 78 |
| 6.5 | Wiederkäudauer pro Tag | 79 |
| 6.6 | Schlussfolgerungen | 80 |
| 7 | Zusammenfassung..... | 81 |
| 8 | Summary | 83 |
| 9 | Literaturverzeichnis | 85 |
| 10 | Danksagung..... | 91 |
| 11 | Anhang..... | 92 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 2-1: Histogramm der Verteilung von Pausen ohne Kauaktivität in einer Fressphase (oben) und einer Wiederkäuphase (unten) (Matsui & Okubo, 1991)..... | 24 |
| Abbildung 4-1: Schematische Darstellung des Sensorsystems..... | 27 |
| Abbildung 4-2: Sensor CNY 70 des Messsystems..... | 27 |
| Abbildung 4-3.:Verhältnis Messwert zu Maulöffnung..... | 28 |
| Abbildung 4-4: Der Datenlogger..... | 29 |
| Abbildung 4-5: Beispiel einer Messdatei..... | 31 |
| Abbildung 4-6: Logdatei des Datenloggers..... | 31 |
| Abbildung 4-7: Das Messhalfter..... | 33 |
| Abbildung 4-8: Kuhkopf mit Messhalfter..... | 33 |
| Abbildung 4-9: Inhalt einer Ergebnisdatei „results_24h.dat“ (Beispiel)..... | 35 |
| Abbildung 4-10: Beispiel für die optischen Kontrollmöglichkeiten der Debug-Information des Auswertungsprogrammes. Dargestellt sind eine Messwertkurve (schwarz) und die durch die Auswertungssoftware ermittelte Clustergrenze (rot). Indexwert: Anzahl der Messwerte seit Start der Messung hier 3,9 Millionen..... | 36 |
| Abbildung 4-11: Beispiel einer Messwertkurve mit einer Fress- und einer Wiederkäuphase..... | 38 |
| Abbildung 4-12: Definition eines Kauschlags..... | 39 |
| Abbildung 5-1: Beispiel für eine Wiederkäuphase mit veränderten Maximalwerten..... | 46 |
| Abbildung 5-2: Beispiel für eine Wiederkäu- und eine Fressphase ohne Pause zwischen den beiden Verhaltensweisen..... | 47 |
| Abbildung 5-3: Histogramm der Länge der Wiederkäuphasen in Minuten der Ergebnisse des Auswertungsprogramms und der Sichtkontrolle..... | 50 |
| Abbildung 5-4: Histogramm der Länge der Fressphasen in Minuten der Ergebnisse des Auswertungsprogramms und der Sichtkontrolle..... | 51 |
| Abbildung 5-5: Streudiagramm, Linie der linearen Regression und Regressionskoeffizient der Länge des Bolus in Sekunden zur Anzahl der Kauschläge pro Bolus über alle Tiere..... | 57 |
| Abbildung 5-6: Streudiagramm, Linie der linearen Regression und Regressionskoeffizient der Länge des Bolus in Sekunden zur Anzahl der Kauschläge pro Bolus der Einzeltiere..... | 58 |
| Abbildung 5-7: Streudiagramm, Linie der linearen Regression und Regressionskoeffizient über alle Tiere der Frequenz der Kauschläge pro Bolus zur Anzahl der Kauschläge pro Bolus (links) und Länge des Bolus in Sekunden (rechts). | 59 |
| Abbildung 5-8: Streudiagramm, Linie der linearen Regression und Regressionskoeffizient der | |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Frequenz der Kauschläge pro Bolus zur Anzahl der Kauschläge der Einzeltiere. | 60 |
| Abbildung 5-9: Streudiagramm, Linie der linearen Regression und Regressionskoeffizient der Frequenz der Kauschläge pro Bolus zur Länge des Bolus der Einzeltiere. | 60 |
| Abbildung 5-10: Streudiagramm der Länge der Wiederkäuphase in Minuten zur Anzahl der Kauschläge pro Wiederkäuphase (links) und Anzahl der Boli in der Wiederkäuphase (rechts). | 68 |
| Abbildung 5-11: Streudiagramm der Anzahl der Kauschläge pro Wiederkäuphase und der Anzahl der Boli in der Wiederkäuphase (rechts). | 68 |
| Abbildung 6-1: Wiederkäuphase mit direkt folgender Fressphase. (aus Schleissner et al., 1999) | 75 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 2-1: Strukturwirksamkeit ausgewählter Futtermittel (nach Hoffmann, 1990)..... | 15 |
| Tabelle 2-2: Berechnung des Strukturwertes | 16 |
| Tabelle 2-3: Futter-, tier- und umweltbedingte Variationsursachen der Wiederkäuaktivität..... | 18 |
| Tabelle 4-1: Komponentenanteile in der Mischration, auf Basis TM..... | 41 |
| Tabelle 4-2: Durchschnittlicher Energie- und Nährstoffgehalt der Mischration | 41 |
| Tabelle 4-3: Komponentenanteile (%) im Ergänzer und im Kraftfutter | 42 |
| Tabelle 4-4: Mittlere Gehalte der Weender Rohnnhrstoffgehalte, der Gasbildung und des Energiegehaltes der verwendeten Kraftfuttermittel | 43 |
| Tabelle 4-5: Erfasste Parameter und Zeiträume der Erfassung..... | 43 |
| Tabelle 5-1: Verteilung der verwertbaren Messdateien auf die einzelnen Untersuchungstiere..... | 45 |
| Tabelle 5-2: Anzahl, Mittelwert, Standardabweichung und Standardfehler des Mittelwertes der Länge der Fressphasen und der Wiederkäuphasen der zwei Auswertungstypen Auswertungsprogramm und Sichtkontrolle | 48 |
| Tabelle 5-3: Vergleich von Mittelwert, Median, Minimum, Maximum, Standardabweichung und Varianz der Länge der Fressphasen in Minuten der Sichtkontrolle und des Auswertungsprogramms für die in beiden Datensätzen vorkommenden Einzeltieren..... | 48 |
| Tabelle 5-4: Vergleich von Mittelwert, Median, Minimum, Maximum, Standardabweichung und Varianz der Länge der Wiederkäuphasen in Minuten der Sichtkontrolle und des Auswertungsprogramms für die in beiden Datensätzen vorkommenden Einzeltieren. | 49 |
| Tabelle 5-5: Signifikanzen von Mann-Whitney-U- und Levene-Test zur Überprüfung auf Varianzunterschiede für die Parameter Länge der Fressphasen in Minuten und Länge der Wiederkäuphasen in Minuten des Auswertungsprogramms und der Sichtkontrolle. | 49 |
| Tabelle 5-6: Auswertbare Versuchstiere mit Laktationsnummer und Lebendmasse in Kg..... | 51 |
| Tabelle 5-7: Anzahl der erfassten Einzelboli und Streuung der Länge des Bolus in Sekunden der Einzeltiere im verwendeten Datensatz | 52 |
| Tabelle 5-8: Anzahl der erfassten Einzelboli und Streuung der Anzahl der Kauschläge pro Bolus der Einzeltiere im verwendeten Datensatz | 53 |
| Tabelle 5-9: Anzahl der erfassten Einzelboli und Streuung der Frequenz der Kauschläge pro Sekunde pro Bolus der Einzeltiere im verwendeten Datensatz | 53 |
| Tabelle 5-10: Streuung und Variation des Parameters Länge des Bolus in Sekunden für die Versuchstiere im Datensatz mit 500 Boli pro Einzeltier. | 54 |
| Tabelle 5-11: Streuung und Variation des Parameters Anzahl der Kauschläge pro Bolus für die | |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Versuchstiere im Datensatz mit 500 Boli pro Einzeltier. | 54 |
| Tabelle 5-12: Streuung und Variation des Parameters Frequenz der Kauschläge pro Sekunde pro Bolus für die Versuchstiere im Datensatz mit 500 Boli pro Einzeltier. | 55 |
| Tabelle 5-13: Interpretation des Wertes des Korrelationskoeffizienten „r“ (Bühl, 2008). | 56 |
| Tabelle 5-14: Bestimmtheitsmaße der Regressionsmodelle für die Charakteristika der Wiederkäuboli | 56 |
| Tabelle 5-15: Spearman-Rho Korrelationskoeffizient, Signifikanz (2-seitig) und zugrunde liegende N-Anzahl der Boliparameter und der Wiederkäudauer pro Tag der Einzeltiere. Signifikante Korrelationskoeffizienten sind hervorgehoben. | 65 |
| Tabelle 5-16: Streuung und Varianz des Parameters Länge der Wiederkäuphase in Minuten für die Versuchstiere im Datensatz mit 20 Einzelphasen pro Einzeltier, als auch inter- und intraindividuelle Variation. | 66 |
| Tabelle 5-17: Streuung und Varianz des Parameters Anzahl Boli in der Wiederkäuphase für die Versuchstiere im Datensatz mit 20 Einzelphasen pro Einzeltier, als auch inter- und intraindividuelle Variation. | 67 |
| Tabelle 5-18: Streuung und Varianz des Parameters Anzahl Kauschläge pro Wiederkäuphase für die Versuchstiere im Datensatz mit 20 Einzelphasen pro Einzeltier, als auch inter- und intraindividuelle Variation. | 67 |
| Tabelle 5-19: Spearman-Rho Korrelationskoeffizienten der Einzeltiere und aller Tiere für die Korrelationen der Charakteristika der Wiederkäuphasen. | 69 |
| Tabelle 5-20: Anzahl der erfassten ganzen Tage (9 – 9 Uhr) | 71 |
| Tabelle 5-21: Fress- und Wiederkäuaktivität pro Tag der Einzeltiere und deren Variation | 71 |
| Tabelle 5-22: Inter- und intraindividuelle Variation der Fress- und Wiederkäuaktivität pro Tag | 71 |
| Tabelle 5-23: Dauer in Stunden pro Tag der Fress- und Wiederkäuaktivität der Versuchstiere. | 72 |
| Tabelle 6-1: Variation und Variationskoeffizienten der Länge des Bolus in Sekunden und der Frequenz der Kauschläge von Hailu (2003) und den eigenen Werten | 77 |
| Tabelle 11-1: Ergebnisse der Vermessung der Köpfe von 28 Versuchstieren im Versuchsbetrieb..... | 92 |
| Tabelle 11-2: Spearman-Rho Korrelationskoeffizient, Signifikanz (2-seitig) und zugrunde liegende N-Anzahl der Boliparameter, der tierindividuellen Parameter, der Fütterungsparameter und der Milch- und Milchinhaltstoffparameter (signifikante Korrelation mit $p < 0,000$ sind hervorgehoben) | 93 |
| Tabelle 11-3: Regressionskoeffizienten der verschiedenen Einflussfaktoren der Regressionsmodelle der Boliparameter mit Standardfehler, T-Wert und Signifikanz. Signifikante Regressionskoeffizienten sind hervorgehoben. | 95 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|-----|
| Tabelle 11-4: Anzahl Teilungen, Abweichungsquadrate, Erklärungswert in % und Einflussfaktoren der Regressionsbaumanalyse des Wiederkäuphasenparameters Länge der Wiederkäuphase in Minuten ($R^2 = 0,93$)..... | 96 |
| Tabelle 11-5: Anzahl Teilungen, Abweichungsquadrate, Erklärungswert in % und Einflussfaktoren der Regressionsbaumanalyse des Boliparameter Anzahl Boli in der Wiederkäuphase ($R^2 = 0,92$). ... | 96 |
| Tabelle 11-6: Anzahl Teilungen, Abweichungsquadrate, Erklärungswert in % und Einflussfaktoren der Regressionsbaumanalyse des Boliparameter Anzahl Kauschläge in der Wiederkäuphase ($R^2=0,59$)..... | 96 |
| Tabelle 11-7: Anzahl Teilungen, Abweichungsquadrate, Erklärungswert in % und Einflussfaktoren der Regressionsbaumanalyse des Boliparameter Länge des Bolus in Sekunden..... | 97 |
| Tabelle 11-8: Anzahl Teilungen, Abweichungsquadrate, Erklärungswert in % und Einflussfaktoren der Regressionsbaumanalyse des Boliparameter Anzahl der Kauschläge pro Bolus. | 97 |
| Tabelle 11-9: Mittelwert, Median, Minimum, Maximum, Standardabweichung und Varianz der erfassten Futteraufnahmeparameter | 98 |
| Tabelle 11-10: Anzahl Teilungen, Abweichungsquadrate, Erklärungswert in % und Einflussfaktoren der Regressionsbaumanalyse des Boliparameter Frequenz der Kauschläge pro Sekunde pro Bolus. . | 99 |
| Tabelle 11-11: Anzahl Teilungen, Abweichungsquadrate, Erklärungswert in % und Einflussfaktoren der Regressionsbaumanalyse der Fressdauer pro Tag ($R^2=0,57$)..... | 99 |
| Tabelle 11-12: Anzahl Teilungen, Abweichungsquadrate, Erklärungswert in % und Einflussfaktoren der Regressionsbaumanalyse der Wiederkäudauer pro Tag ($R^2=0,41$)..... | 99 |
| Tabelle 11-13: Spearman-Rho Korrelationskoeffizient, Signifikanz (2-seitig) und zugrunde liegende N-Anzahl der Wiederkäuphasenparameter, der tierindividuellen Parameter, der Fütterungsparameter und der Milch- und Milchinhaltsstoffparameter (signifikante Korrelation mit $p < 0,01$ sind hervorgehoben)..... | 100 |
| Tabelle 11-14: Spearman-Rho Korrelationskoeffizient, Signifikanz (2-seitig) der Tages- Fress- und Wiederkäudauer, der tierindividuellen Parameter, der Fütterungsparameter und der Milch- und Milchinhaltsstoffparameter (signifikante Korrelation mit $p < 0,05$ sind hervorgehoben) | 102 |

Abkürzungsverzeichnis:

b = Beständigkeitskoeffizient

B = Regressionskoeffizient

Bit = Binary Digit

cm = Zentimeter

EMG = Elektromyogramm

g = Gram

HL = theoretische Häcksellänge

HZ = Hertz

kB = Kilobyte

kg = Kilogramm

LED = Light Emitting Diode (Leuchtdiode)

mAh = Milliamperestunde

MJ = Megajoule

ml = Milliliter

mm = Millimeter

MMC = Multi-Media-Card

ms = Millisekunden

n = Stichprobengröße

Ni-MH = Nickel-Metallhydrid

nm = Nanometer

p = Wahrscheinlichkeitswert

R² = Bestimmtheitsmaß

RAM = Random-Access Memory

RISC-Prozessor = Reduced Instruction Set Computer (Rechner mit reduziertem Befehlssatz)

RTC = Real Time Clock

SRAM = Static Random-Access Memory

Sek. = Sekunden

TM = Trockenmasse

Wh = Wattstunden

XF = Rohfasergehalt in g/kg TM

XS = Stärkegehalt in g/kg TM

XZ = Zuckergehalt in g/kg TM

1 Einleitung

Die milchviehaltenden Betriebe in Deutschland stehen unter einem enormen Kostendruck. Der BDM (Bundesverband Deutscher Milchviehalter e.V.) spricht von einer „extrem angespannten Liquiditätssituation der Milchviehalter“ (BDM, 2010). Die Rentabilität der Milcherzeugung wird am stärksten von der Höhe der jährlichen Milchleistung der Kühe beeinflusst (Weiß et al., 2005). Vor diesem Hintergrund wird eine weitere Steigerung der Milchleistung angestrebt. Eine erhöhte Milchleistung setzt neben züchterischen und umweltbedingten Verbesserungen, eine Optimierung der Nährstoffversorgung der Kühe voraus. Neben einer bedarfsgerechten Energie-, Protein-, und Mineralstoffversorgung steht die Futterstruktur dabei besonders im Fokus. Nur durch eine strukturreiche „wiederkäuergerechte“ Fütterung können die für hohe Leistungen erforderlichen hohen Kraftfuttermengen in der Ration kompensiert werden (Beauchemin et al., 2003). Kraftfutterreiche Rationen ohne ausreichenden Anteil von Rohfaser führen vermehrt zu Störungen der Pansenfunktion und haben negative Auswirkungen auf die Tiergesundheit (Stoffwechsel-, Klauen- und Eutererkrankungen) (Steinwider und Gruber, 2002). Strukturgehalt und Energiedichte der Ration müssen deshalb optimal aufeinander abgestimmt werden.

Für die Milchviehfütterung wurden in der Vergangenheit verschiedene Systeme zur Beurteilung der Futterstruktur entwickelt. Als Messgrößen zur Beurteilung der Strukturwirksamkeit von Futtermitteln wurden unter anderem die Speichelsekretion (Kaufmann und Orth, 1996), der Rohfasergehalt (Mertens, 1997) und Fress- und Wiederkäuaktivität (Hoffmann, 1990) herangezogen. Messungen zur Speichelsekretion sind mit großen methodischen Schwierigkeiten behaftet und daher nur bedingt zur Beschreibung der Futterstruktur geeignet (GFE, 2001). Aufgrund der großen Variation in der chemischen Zusammensetzung von Raufutter ist auch der Anteil von Rohfaser in der Futtermischung kein geeignetes Kriterium, um den Strukturwert von Futtermischungen hinreichend zu beurteilen (Van Soest et al., 1991; GFE, 2001). Die in Deutschland etablierten Futterbewertungssysteme „strukturwirksame Rohfaser“ (Hoffmann, 1990) und „Strukturwert“ (DeBrabander et al., 1999) beruhen auf Messungen zur Fress- und Wiederkäuaktivität. Aufgrund der vielen Einflussfaktoren auf die Fress- und Wiederkäuaktivität (DeBoever et al., 1990) und der großen tierindividuellen Variation (Dado & Allen, 1993) sind die bisherigen Bewertungssysteme „strukturwirksame Rohfaser“ (Hoffmann, 1990) und „Strukturwert“ (DeBrabander et al., 1999) in mit erheblichen Ungenauigkeiten behaftet. Um die Futterstruktur genauer an die Erfordernisse einer wiederkäuergerechten Rationsgestaltung bei hohen Milchleistungen anpassen zu können, sind weitere Untersuchungen unter besonderer Berücksichtigung der verschiedenen Einflussfaktoren erforderlich (GFE, 2001). Voraussetzung hierfür ist eine Messmethode, welche es ermöglicht, die

Einleitung

zahlreichen Einflussfaktoren auf Fress- und Wiederkäuaktivität quantitativ und qualitativ zu bewerten. Die bisherigen Methoden weisen jedoch erhebliche Ungenauigkeiten und Einschränkungen bezüglich der Anwendung und der Aussagefähigkeit auf. Auch wurden bislang die Interaktionen verschiedener Einflussgrößen nur unzureichend berücksichtigt.

Ziel dieser Arbeit ist die Etablierung einer neuen Messmethode, welche eine umfassende Erfassung und Beurteilung der Einflussfaktoren auf die Fress- und Wiederkäuaktivität ermöglicht.

2 Stand des Wissens

2.1 Voraussetzungen einer „wiederkäuergerechten“ Fütterung

Um eine optimale Pansenfunktion zu gewährleisten, ist neben einer ausgewogenen Versorgung der Rinder mit Energie und Nährstoffen auch ein hinreichender Strukturwert in der Ration erforderlich. Unter Struktur versteht man in diesem Zusammenhang die physikalischen Eigenschaften des Futtermittels wie Rohfasergehalt und Partikelgröße, welche für die Prozesse, die das Kauen und vor allem das Wiederkäuen auslösen, entscheidend sind (GFE, 2001). Die Bedeutung der Struktur in der Gesamtration wächst, wenn bei zunehmenden Leistungsanforderungen ansteigende Mengen von Kraftfutter verabreicht werden. Der Einsatz größerer Kraftfuttermengen mit den darin enthaltenen schnell abbaubaren Kohlenhydraten führt zu einer Störung der Pansenfunktion, die in einer reduzierten Futteraufnahme und in Verdauungs- sowie Stoffwechselstörungen münden kann (Gäbel, 1990).

Strukturiertes Futter stimuliert die Kaubewegungen während des Fressens und Wiederkäuens. Mit einem abnehmenden Anteil von Raufutter in der Ration sinkt die Kauaktivität pro kg Trockenmasse proportional auf bis zu 50 % der Kauaktivitäten bei einer raufutterhaltigen Ration (DeBoever et al., 1990). Kaubewegungen sind der bedeutendste Stimulus für die Speichelsekretion (Bailey und Balch, 1961; Sudweeks, 1977) und sind mit dieser positiv korreliert (Bailey, 1961; Cassida und Stokes, 1986; Beauchemin, 1991). Rinder, die hohe Kraftfuttermengen aufnehmen und infolgedessen nur eine geringe Wiederkäuaktivität zeigen, sezernieren nur 60 bis 70% der Speichelmengen, die Rinder nach Aufnahme von Rationen mit hohen Anteilen von Raufutter produzieren (Bailey, 1961). Der Speichel dient u.a. als Gleitmittel, um die Zerkleinerung und das Abschlucken zu erleichtern, und trägt zur Verflüssigung der Futterbestandteile für die Fermentationsprozesse im Pansen bei (Campbell et al., 1992). Schließlich wird die Pufferung der flüchtigen Fettsäuren maßgeblich durch die Inhaltsstoffe des Speichels unterstützt, da Speichel einen hohen Anteil von Natriumbikarbonat enthält. Er trägt damit zur Stabilisierung des pH-Wertes um die 6,5 und zu optimalen Bedingungen für die Aktivität der Mikroorganismen zum Abbau von Cellulose und zu einem günstigen Verhältnis der flüchtigen Fettsäuren bei (Bailey und Balch, 1961; Cassida und Stokes, 1986; Gäbel, 1990). Dauerhaftes Absinken des pH-Wertes unter 5,8 kann zu subklinischen Azidosen führen und schränkt das Wohlbefinden und die Leistung der Milchkuh erheblich ein (Maekawa et al., 2002). Durch die Zerkleinerung der Futterpartikel beim Fressen und vor allem beim Wiederkäuen wird der Abbau der Zellwandbestandteile durch die Mikroorganismen im Pansen wesentlich erleichtert (Wilson et al., 1989). Dies ist auf die verdaulichkeitsfördernde Vergrößerung der Partikeloberfläche zurückzuführen

(Von Engelhardt und Breves, 2000). Die Wahrscheinlichkeit für eine beschleunigte Passagerate der Digesta aus dem Pansen in den Blättermagen steigt mit abnehmender Partikelgröße (Chai et al., 1984). Passagerate und Verdauungskapazität des Pansens sind begrenzende Faktoren für die Futteraufnahme (Weston, 1982). Lindström und Redbo (2000) fanden in Untersuchung mit Milchkühen Hinweise darauf, dass die orale Beschäftigung mit Futter unabhängig von der Pansenfüllung ein verhaltensspezifisches Bedürfnis darstellt. Für eine negative Rückkopplung des Aktivitätsbedarfs wird ein hohes Maß an sensorischer Reizung des Mundraumes und des Schlundes durch strukturiertes Futter benötigt.

2.2 Systeme zur Bewertung der Strukturwirksamkeit von Futtermitteln

Kauaktivität und Wiederkäuaktivität sind bedeutende Faktoren zur Beurteilung der Strukturwirksamkeit von Futtermitteln (Hoffmann, 1990; DeBrabander et al., 1999; Maekawa et al., 2002). Aufgrund der sehr aufwendigen Methodik der Erfassung von Fress- und Wiederkäuaktivitäten kommen sie für eine routinemäßige Untersuchung auf Praxisbetrieben nicht infrage (Kreßel, 2008). Aus diesem Grund wurden in der Vergangenheit verschiedene Systeme zur Bewertung der Strukturwirksamkeit von Futtermitteln entwickelt, welche es ermöglichen anhand fest definierter Kennwerte diesbezügliche Aussagen zu treffen. Die in Deutschland etablierten Futterbewertungssysteme sind die „strukturwirksame Rohfaser“ (Hoffmann, 1990) und der „Strukturwert“ (DeBrabander et al., 1999). Bei der Entwicklung beider Systeme wurden umfangreiche Messungen zur Fress- und Wiederkäuaktivität bei verschiedenen Futtermitteln vorgenommen. Die Ergebnisse dieser Messungen zusammen mit den Ergebnissen weiterer physikalischer und chemischer Analysen der verschiedenen Futtermittel bildeten die Grundlage zur Formulierung der beiden Futterbewertungssysteme.

Die strukturwirksame Rohfaser

Das Futterbewertungssystem die „strukturwirksame Rohfaser“ wurde von Hoffmann und Piatkowski (1990) entwickelt. Seit den 70er Jahren des vergangenen Jahrhunderts führten diese Untersuchungen zum Fress- und Wiederkäuverhalten, zur Speichelbildung und zur Pansenfermentation bei der Fütterung unterschiedlicher Futtermittel durch. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen überführten sie zur Formulierung von Strukturfaktoren, welche für die Berechnung der „strukturwirksamen Rohfaser“ von Bedeutung sind (Hoffmann, 1990). Hoffmann und Piatkowski (1990) definierten ein strukturwirksames Futtermittel als trockenes und in Wasser weitgehend beständiges Futterpartikel von mindestens 8mm Länge. Ausgehend von dieser Basis kommen je nach Futtermitteltyp, Vegetationsstadium und Zerkleinerungsgrad unterschiedliche Strukturfaktoren zur Anwendung. Den Referenzwert liefert Heu mittlerer Qualität mit einem Strukturfaktor von 1. Die Schwankungsbreite

der Strukturfaktoren liegt von 0 (Krafftutterstoffe) bis 1,5 (Langstroh) mit einer Schrittweite von 0,25 (Tabelle 2-1). Die „strukturwirksame Rohfaser“ wird durch eine Formel ermittelt in der, der Rohfasergehalt des jeweiligen Futtermittels mit einem Strukturfaktor multipliziert wird und sie wird in der Einheit g/Kg Trockenmasse angegeben (Tabelle 2-1).

Tabelle 2-1: Strukturwirksamkeit ausgewählter Futtermittel (nach Hoffmann, 1990)

| Futtermittel | Rohfaser g/kg TM | Strukturfaktor | „strukturwirksame Rohfaser“ g/kg TM |
|---------------------------------------|---------------------|----------------|--|
| Grünfutter (Gras, Leguminosen) | | | |
| Lang | 280 | 1 | 280 |
| Gehäckselt | 280 | 0,75 | 210 |
| Silagen | | | |
| Grassilage | 240 | 0,75 | 180 |
| Maissilage | 210 | 1 | 210 |
| Heu | 280 | 1 | 280 |
| Stroh | 430 | 1,50 | 645 |
| Krafftutter (Getreide) | 40 | 0 | 0 |

Der Grundbedarf einer Milchkuh liegt laut Hoffmann (1990) bei 400g „strukturwirksame Rohfaser“ pro 100 Kg Lebendmasse pro Tier und Tag. Das führt dazu, dass bei steigender Futteraufnahme der notwendige Anteil „strukturwirksame Rohfaser“ in der Ration sinkt. Steingass und Zebelli (2008) stellten fest, dass es physiologisch nicht nachvollziehbar ist, dass eine steigende Futteraufnahme einen verminderten Bedarf an Futterstruktur nach sich zieht. Ein weiterer Kritikpunkt ist, dass die Untersuchungen von Piatkowski et al. (1977, 1990) überwiegend an trockenstehenden Milchkühen durchgeführt wurden. DeBoever et al. (1990) weisen in ihrer Literaturstudie zu den Einflussfaktoren auf die Fress- und Wiederkäuaktivitäten darauf hin, dass aufgrund der zahlreichen physiologischen Einflussfaktoren auf die Fress- und Wiederkäuaktivitäten die Untersuchungstiere den gleichen physiologischen Status haben sollten, wie die Tiere auf welche die ermittelten Daten angewendet werden sollen. Aus diesem Grund kann das Futterbewertungssystem von Hoffmann (1990) nur als Orientierungswert für laktierende Kühe gelten. Die Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GFE, 2001) kritisiert, dass sich dieses System nur auf Kaumessungen bezieht und die Fermentationsprozesse im Pansen nicht berücksichtigt.

Der Strukturwert

Das Futterbewertungssystem der „Strukturwert“ (DeBrabander et al., 1999) wurde anhand einer

Stand des Wissens

Vielzahl von Fütterungsversuchen mit Milchvieh (80 Versuche mit 95 Milchkühen in der zweiten Laktationsphase) entwickelt. Zur Erfassung des Struktureffektes wurde der kritische Grobfutteranteil in der Ration bestimmt. Ausgangspunkt war ein Krafftutteranteil von 40 % an der Trockenmasse. Durch Steigerung in 5 % Schritten wurde der Krafftutteranteil ermittelt, bei dem es zu einem Rückgang des Milchfettgehaltes, der Futteraufnahme und der Milchleistung kam. Diese Daten wurden dann mit Kauzeitmessungen in Relation gesetzt. Kennzeichen für einen Strukturmangel waren ein Rückgang des Milchfettgehaltes (um 0,6 %), der Futteraufnahme und oder der Milchleistung. Der Strukturwert ist eine dimensionslose Zahl. Zur Grundversorgung benötigt eine Kuh, der 1.-3. Laktation mit einer täglichen Milchleistung von 25 kg bei einem Milchfettgehalt von 4,4 % und 2-maliger Krafftuttervorlage, eine Ration mit dem Strukturwert 1. Im Gegensatz zur „strukturwirksamen Rohfaser“ wird in diesem System auch Krafftuttermitteln ein Strukturwert zugeordnet und es wird die reale Partikellänge des Futtermittels berücksichtigt. Die Berechnung des Strukturwertes erfolgt unter Verwendung der Häcksellänge, des Rohfaser-, Stärke- und Zuckergehalts des jeweiligen Futtermittels (Tabelle 2-2).

Tabelle 2-2: Berechnung des Strukturwertes

| Futtermittel | Berechnungsformel |
|---------------------|---|
| Grassilage | $SW = 0,0125 * XF - 0,2$ |
| Maissilage | $SW = (0,009 * XF - 0,01) * (1 + ((HL - 6) * 0,02))$ |
| Heu | $SW = (0,0125 * XF - 0,2) * 1,06$ |
| Stroh | $SW = 4,3$ |
| Krafftutter | $SW = 0,321 + 0,00098 * XF + 0,00025 * bXS - 0,00112 * (XZ + a * (XS - bXS))$ |

XF, XS, XZ = Rohfaser-, Stärke- und Zuckergehalt in g/kg TM

HL = theoretische Häcksellänge

b = Beständigkeitskoeffizient

Eine Ration mit dem Strukturwert 1 deckt den Tagesbedarf einer Kuh, der 1.-3. Laktation mit einer täglichen Milchleistung von 25 kg, bei einem Milchfettgehalt von 4,4 % und 2-maliger Krafftuttervorlage. Desweiteren werden Korrekturfaktoren je nach Milchleistung, Milchfettgehalt und der Art und Häufigkeit der Krafftutterabgabe angegeben (GFE, 2001). Bei der Bestimmung des „Strukturwertes“ von Mais- und Grassilage kam es zu hohen tierindividuellen Variationen in den Kaumessungen (DeBrabander et al., 1999). Deshalb wurde darauf verzichtet, den Strukturwert von Silagen auf Basis der Kaumessungen zu berechnen. Der Strukturwert von Mais- und Grassilage wurde anhand des Rohfasergehalts nach der Methode von Mertens (1997) berechnet. Es bleibt offen, inwieweit eine Berechnung des Strukturwertes aus dem Rohfasergehalt eine ausreichende Beschreibung der physikalischen Effekte gewährleisten kann (GFE, 2001). Meyer et al. (2001)

stellten in ihrer Untersuchung fest, dass beim gegenwärtigen Kenntnisstand die Anwendung des „Strukturwertes“ bei auf Grassilage basierenden Futtrationen nicht empfohlen werden kann. Steingass und Zebelli (2008) merken an das bei Kraftfuttermitteln mit hohen Fasergehalten (Pressschnitzel, Biertreber und Schlempen) die Bewertung mittels der Strukturwertformel problematisch ist. Um Sicherheit in die Rationsgestaltung bei hohen Milchleistungen zu bringen, sind weitere Untersuchungen unter besonderer Berücksichtigung der verschiedenen Einflussfaktoren erforderlich (GFE, 2001).

2.3 Variationsursachen für die Fress- und Wiederkäuaktivität

Kau- und Wiederkäuaktivitäten sind keine fest stehenden Größen, sondern werden von zahlreichen Faktoren beeinflusst (DeBoever et al., 1990). Die Vielzahl von chemischen, physikalischen, fütterungstechnischen und umweltbedingten Variationsursachen und deren komplexes Zusammenspiel sind ursächlich für extreme Spannweiten der Messdaten verschiedener Wiederkäuparameter in der Literatur. Beauchemin et al. (1989) ermittelten bezüglich der Wiederkäuzeit pro Tag bei Milchkühen eine Variation von 5 bis 9 Stunden. Nach Rosenberger et al. (1990) variiert die Anzahl der Wiederkäuperioden zwischen 4 und 24 pro Tag, die Dauer der Wiederkäuperioden zwischen 10 und 60 Minuten, die Kieferschläge pro Bissen zwischen 35 und 70 Kieferschlägen und die Zeit pro Bissen zwischen 45 und 60 Sekunden. Maßgebliche futter-, tier- und umweltbedingte Variationsursachen sind in Tabelle 1 aufgelistet. Die futterbedingten Einflussfaktoren stellen dabei die Gruppe der am besten erfassten Einflussfaktoren. Zahlreiche Autoren nutzen das Wiederkäuverhalten zur Beschreibung von Futtercharakteristika. Auffällig ist, dass es bei diesen Untersuchungen teils zu erheblich widersprüchlichen Ergebnissen kam. So wiesen zum Beispiel einige Autoren (Metz, 1975; Piatkowski et al, 1977; Luginbuhl et al., 1989; DeBoever et al., 1990; Campbell et al., 1992) eine eindeutige Korrelation zwischen der Grundfutteraufnahme und Wiederkäudauer pro Tag nach, wohingegen andere Autoren (Harb und Campling, 1985; Dado und Allen, 1994) diesen Zusammenhang nicht nachweisen konnten. Erklärt werden können diese widersprüchlichen Ergebnisse nur durch Wechselwirkungen der verschiedenen Variationsursachen der Fress- und Wiederkäuaktivität. Es gibt also keinen direkten Zusammenhang zwischen Futteraufnahme und Wiederkäuaktivität, sondern vielmehr haben tierindividuelle Einflussfaktoren, welche nicht im direkten Zusammenhang mit der Fütterung stehen einen entscheidenden Einfluss (Perez-Barberia und Gordon, 1998). Girard und Labonte (1993) schätzen die tierindividuellen Unterschiede beim Wiederkäuen sogar höher ein als die Unterschiede bei der Futteraufnahme. Dado und Allen (1994) sehen in den tierindividuellen Schwankungen die größte Variationsquelle für die verschiedenen Wiederkäuparameter. In der Literatur ist bislang noch keine Messmethode

beschrieben, mit der die verschiedenen Variationsursachen der Fress- und Wiederkäuaktivitäten umfassend und präzise quantifiziert wurden.

Tabelle 2-3: Futter-, tier- und umweltbedingte Variationsursachen der Wiederkäuaktivität

| Variationsursache | Einflussfaktor | Literaturquelle |
|-------------------|----------------------------|----------------------------|
| Futter | Partikelgröße | Chai et al., 1984 |
| | Kraftfutteranteil | DeBrabander et al., 1999 |
| | Rohproteingehalt | Taniguchi et al., 1984 |
| | Art des Futters | DeBrabander et al., 1999 |
| | Trockenmassegehalt | Van Soest et al., 1991 |
| | Gesamtfuttermenge | DeBoever et al., 1990 |
| Tier | Alter | Freer und Campling, 1965 |
| | Rasse | Welch und Smith, 1970 |
| | Pansenvolumen | Welch und Smith, 1970 |
| | Leistungshöhe | Coulon et al., 1987 |
| | Laktationsnummer | Dado und Allen, 1994 |
| | Laktationsphase | Nørgaard, 1958 |
| | Trächtigkeitsstadium | Campling, 1966 |
| Umwelt | Haltungssystem | Konrad und Fürschuss, 1999 |
| | Gruppengröße | Grant und Albright, 2001 |
| | Liegeflächenbeschaffenheit | Chaplin et al., 2000 |
| | Tier-Liegeboxen-Verhältnis | Hörning, 2003 |
| | Geregelter Kuhverkehr | Mellin et al., 2006 |

2.4 Messmethoden zur Erfassung von Fress- und Wiederkäuaktivitäten

Die in der Vergangenheit gebräuchlichsten Verfahren zur Erfassung von Fress- und Wiederkäuaktivitäten sind die Direkt- und die Videobeobachtung. Zur Erhöhung der Präzision und zur Gewährleistung der Wiederholbarkeit von Messungen wurden aber auch unterschiedliche elektronische Sensorsysteme zur Erfassung der Fress- und Wiederkäuaktivitäten entwickelt.

Direkt- und Videobeobachtung

Die in der Vergangenheit gebräuchlichsten Verfahren zur Erfassung von Fress- und Wiederkäuaktivitäten sind die Direkt- und die Videobeobachtung. Die Direktbeobachtung stellt keine technischen Ansprüche und ist somit nahezu überall durchführbar (Metz, 1975; Krause, 1998; Hailu,

2003; Couderc, 2006; Bristow, 2007). Durch die Verwendung von Aufzeichnungssoftware wie dem „Noldus Observer©“ oder „Etholog©“ ist es möglich, die exakten Zeitpunkte von Verhaltensparametern zu erfassen. Ein sogenanntes „Ethogramm“ lässt sich schnell und direkt nach der Datenerfassung ermitteln. Bei der Direktbeobachtung kann die Verhaltensbeeinflussung im Allgemeinen gering gehalten werden. Die Methodik kann jedoch bisher nicht abschließend hinsichtlich ihrer Wiederholbarkeit und ihres Messfehlers beurteilt werden, da es bisher keine Referenzverfahren gibt. Prinzipiell kann zwischen zwei Verfahrensweisen unterschieden werden. Erstens die kontinuierliche Beobachtung und zweitens das Scanning-Verfahren. Bei der kontinuierlichen Beobachtung wird ein Tier unterbrochen beobachtet und die Fress- oder Wiederkäuaktivitäten per Stoppuhr festgehalten und notiert. Beim Scanning-Verfahren erfolgen die Beobachtungen in fest determinierten Zeitabständen, z. B. alle 15 oder 5 Minuten. Vorteil gegenüber der kontinuierlichen Beobachtung besteht darin, dass mehrere Versuchstiere parallel beobachtet werden können. Das Scanning-Verfahren ist die gebräuchlichste Form der Direktbeobachtung von Fress- und Wiederkäuaktivitäten (Woodford und Murphy, 1988; Grant et al., 1990; Krause et al., 1998; Couderc et al., 2006; Maekawa et al. 2002). Eine Weiterentwicklung der Direktbeobachtung ist die Videobeobachtung (Lindström und Redbo, 2000). Diese ermöglicht aufgrund der zeitlich diskreten Aufnahme eine höhere Anzahl von Beobachtungen. Gleichzeitig birgt die Videobeobachtung, durch den fest eingestellten Kamerawinkel, die Gefahr, dass bei sich bewegenden Tieren nicht alle Verhaltensweisen eindeutig erfasst werden können. Dreht das Versuchstier zum Beispiel seinen Kopf weg von der Kamera, ist es schwierig Wiederkäuaktivitäten optisch zu erfassen (Rutter et al., 1997).

Pneumatische und hydraulische Druckaufnehmer

Die pneumatischen und hydraulischen Druckaufnehmer sind der in der Vergangenheit am häufigsten genutzten Sensortyp (Balch et al., 1958; Potthast, 1976; Deswysen und Ellis, 1990; Dado und Allen, 1993; DeBoever et al., 1993; Schleissner et al. 1999; DeCampanerea et al., 2002; Kaske et al., 2002). Bei diesem Sensortyp wird ein Druckaufnehmer (Plastikball oder Plastikschlauch gefüllt mit Wasser oder Luft) unter dem Maul der Tiere angebracht. Öffnet das Tier nun sein Maul, so wird ein Druck auf den Druckaufnehmer ausgeübt. Der dadurch entstehende Druck wird mittels Schläuchen zu einem Drucksensor geleitet und wird dort in elektrische Signale gewandelt, welche dann entweder auf einen Papierschreiber übertragen werden oder auf einen Datenlogger gespeichert werden. Dieses Sensorsystem hat sich als zuverlässig erwiesen weist aber einige entscheidende Nachteile auf. Erstens wird die vom Tier benötigte Kraft größer je weiter das Maul geöffnet wird, was in einer Verhaltensänderung des Tieres resultieren kann. Des Weiteren sind Drucksensoren zur Erfassung von Luftdruck- bzw. Wasserdruckunterschieden, welche den entstehenden Druck in elektrische Signale

umwandeln, bei der hier benötigten hohen Genauigkeit, recht kostenintensiv. Auch eigneten sich diese Drucksensoren in der Vergangenheit nicht zur Integration in ein Halfter, sodass diese Sensorsysteme auf die Anbindehaltung beschränkt waren. Durch die Fixierung auf Tiere in Anbindehaltung ist der Anwendungsbereich erheblich eingeschränkt. Aufgrund der noch nicht quantifizierten Einflussfaktoren der Haltung auf die Fress- und Wiederkäuaktivitäten kann derzeit nicht abgeschätzt werden, ob die Messergebnisse auf Milchkühe in anderen Haltungssystemen übertragen werden können.

Elektrische Schalter

Ein einfaches Sensorsystem, welches gänzlich ohne die Verwendung von Messwertumformern in Form von Drucksensoren auskommt, sind elektrische Schalter (Nagel et al., 1972; Deswysen und Ehrlein, 1981; Kennedy, 1985; Luginbuhl et al. 1987). Bei diesem System wird ein Schalter so mit dem Maul der Tiere verbunden, dass der Schalter durch die Kaubewegungen der Versuchstiere aktiviert wird. Luginbuhl et al. (1987) nutzten Krokodilklemmen als Schalter in ihrem System. Bei geschlossenem Maul waren die Krokodilklemmen geschlossen. Öffnete das Tier sein Maul, wurde durch ein unter dem Maul verlaufenden Plastikschlauch die Klemmen geöffnet und der Stromkreis unterbrochen. Zusätzlich zu den Schaltvorgängen wurden noch die Zeit zwischen den Schaltvorgängen und die Dauer der einzelnen Schaltvorgänge aufgezeichnet. Vorteil dieser Methode ist, dass durch die Verwendung einfachster elektrischer Komponenten eine hohe Reliabilität des Sensors gewährleistet ist. Demgegenüber steht der Nachteil, dass nur die Kauschläge nur quantitativ erfasst werden. Zusätzliche Informationen, wie zum Beispiel die Größe der Maulöffnung, können nicht erfasst werden. Dieses verhindert, dass das Signalmuster der erfassten Kauschläge vom Experimentator einfach beurteilt werden kann.

Elektrische Verformungssensoren

Eine weitere in der Literatur zu findende Methode zur Erfassung von Kauaktivitäten sind elektrische Druckaufnehmer. Hierbei fanden Dehnungsmessstreifen (Beauchemin et al., 1989), Piezo-Scheiben (Beauchemin und Yang, 2005) oder mit Karbongranulat gefüllte Schläuche (Penning, 1983; Mastui und Okobu, 1990) Verwendung. Diese drei Sensoren haben gemein das sich bei Verformung die elektrischen Eigenschaften der Sensoren ändern. Diese Änderungen können dann mit einfacher Erfassungstechnik aufgezeichnet werden. Die elektrischen Verformungssensoren wurden genauso wie die pneumatischen oder hydraulischen Druckaufnehmer in Halfter integriert so das durch die Kaubewegungen der Tiere aktiviert werden. Beauchemin et al. (1989) beschreiben ein Verfahren, bei dem ein Dehnungsmessstreifen unter dem Jochbein montiert wird. Nach Messwertumformung wird ein Spannungssignal an einen PC weitergeleitet, welcher in Intervallen von 2 Sekunden die

einkommenden Signale analysiert und in die Kategorien Fressen, Wiederkäuen und andere Aktivitäten einteilt. Die in der Messzeit gesammelten kategorisierten Daten werden dann mittels einer Auswertungssoftware verarbeitet und in Relation zum Versuchszeitraum gesetzt. Als Nachteil beschreiben Beauchemin et al. (1989) das Problem der Unterscheidbarkeit von Grooming-Aktivitäten gegenüber Fressaktivitäten. Wiederkäuaktivitäten konnten sicher auf Grundlage des spezifischen Signalmusters erfasst werden. Der Einsatz von Dehnungsmessstreifen ist jedoch hinsichtlich der Messsicherheit kritisch zu beurteilen. Dehnungsmessstreifen sind bezüglich der Messgenauigkeit und Messsicherheit in erheblichem Maße von den Umgebungsbedingungen abhängig. Weshalb die Autoren es als notwendig ansehen, dass eine Vorauswahl der Versuchstiere stattfinden sollte, um die Messgenauigkeit des Systems zu erhöhen. Die Übertragbarkeit der Messergebnisse auf die Praxis ist daher fraglich. Aufgrund der Größe der Apparatur zur Aufzeichnung der Messsignale kommt das von Beauchemin et al. (1989) etablierte Verfahren bislang nur in der Anbindehaltung zur Anwendung. Desweiteren verfügen diese Sensoren nur über beschränkte Verformungsmöglichkeiten, sodass die Bewegungsmöglichkeiten der Tiere eingeschränkt werden. Matsui und Okubo (1991) beschreiben ein Verfahren, welches bei freilaufenden Rindern einsetzbar ist. Das eigentliche Messsignal wird durch einen Silikonzylinder gefüllt mit einem speziellen Karbongranulat erzeugt. Dieser Zylinder ist ebenso wie bei den anderen vergleichbaren Sensorsystemen unter dem Jochbein montiert (Penning, 1983). Der Messwert besteht aus einer Widerstandsänderung, die durch eine Formveränderung des Silikonzylinders erzeugt wird. Die erfassten Widerstandsänderungen werden von einem Datenlogger gespeichert.

Akustische Sensoren:

Die akustischen Sensoren stellen die neueste Entwicklung der Messmethoden zur Erfassung von Kauschlägen dar. Dabei wird ein Mikrofon, z. B. an der Stirn (Laca und WallisDeVries, 2000) oder dem Hals (Lindgren, 2009), des Tieres nach innen zeigend. Laca et al. (1994, 2000) konnten als Erste zeigen, dass verschiedene Arten von Kauschlägen sich in den erzeugten Geräuschen deutlich unterscheiden. Ungar und Rutter (2006) haben bei einem Vergleich von akustisch erfassten Kauschlägen mit Kauschlägen, welche mit der Methode nach Penning (1983), erfasst wurden, festgestellt, dass die akustische Kauschlagerfassung einen fast zwanzigfach geringeren Fehler aufwies (22,1% gegen 1,3%). Das von Lindgren (2009) erprobte System, welches als VocalTag, Hi-Tag® oder RuminAct™ vermarktet wird, ist in ein Halsband integriert und erfasst spezifische Geräusche, welche durch die Regurationen der Boli und der Maulbewegungen während des Wiederkäuens erzeugt werden. Es ist somit auch nur in der Lage die Wiederkäuaktivität zu erfassen. Fressaktivitäten können nicht aufgezeichnet werden. Für die Auswertung werden die Geräusche in Intervallen von zwei Stunden zusammenfasst und an einen externen Rechner weitergeleitet. Die

korrekte Positionierung des Sensors stellt ein großes Problem dieses Systems dar (Lindgren, 2009).

Bewertung der bisherigen Messsysteme

Voraussetzung für eine umfassende Erfassung von Fress- und Wiederkäuaktivitäten ist die Entwicklung einer Messmethode, welche es ermöglicht mittels exakter wiederholbarer Messungen und unter Ausschluss von Störgrößen, die Fress- und Wiederkäuaktivität quantitativ zu erfassen. Für eine umfassende und praxisrelevante Messmethodik sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Das Messsystem soll kontinuierliche Messungen über mehrere Tage (mindestens 3, PENNING, 1983) ermöglichen.
- Das Messsystem sollte die Mobilität der Tiere nicht beeinträchtigen, um Messungen unter Laufstallbedingungen zu ermöglichen.
- Die Beeinflussung der Tiere durch das Messsystem muss so gering wie möglich gehalten werden.
- Es muss eine Differenzierung der einzelnen Kauschläge möglich sein, um eine Quantifizierung der Kauschläge zu ermöglichen.
- Es muss eine automatische Auswertung der Messergebnisse erfolgen, um eine subjektive Klassifizierung und Quantifizierung der Kauaktivität zu gewährleisten.

Die bisherigen Messmethoden sind dazu nur bedingt in der Lage. Die visuelle Beobachtung ermöglicht keine objektive Erfassung (Penning, 1983). Auch die bisher zum Einsatz gekommenen automatischen Messsysteme weisen erhebliche Schwächen auf. Entweder finden sie nur Anbindehaltung Verwendung (Hoffmann, 1990; DeBrabander et al., 1999; Beauchemin et al. 1989) oder sie verfügen nicht über den erforderlichen Speicher um detaillierte Messungen über mehrere Tage zu ermöglichen (Penning, 1983, Matsui et al., 1991; Schirmann et al., 2009). Des Weiteren existiert keine automatische Auswertungssoftware, welche eine objektive Auswertung der gewonnenen Messdaten ermöglicht. Somit ist ein Vergleich von Versuchsergebnissen, welche mit unterschiedlichen Mess- und Auswertungsverfahren gewonnen wurden, nicht möglich (Kononoff et al., 2002).

2.5 Auswertungsverfahren zur Differenzierung von Kaubewegungen

Neben der automatischen Messung von Kaubewegungen ist die automatische Auswertung der erfassten Messdaten eine wichtige Voraussetzung für eine objektive Erfassung von Fress- und Wiederkäuaktivitäten. Die größte technische Schwierigkeit bei der Auswertung von Kaubewegungen ist die automatische Differenzierung der einzelnen Kauschläge in Fressen, Wiederkäuen und nicht nahrungsrelevante Maulbewegungen. Viele Autoren begnügten sich daher damit die Kaubewegungen

automatisch aufzuzeichnen und sie dann manuell auszuwerten (Potthast, 1985; DeBrabander et al., 1999; Kaske et al., 2002). Gegenüber der Auswertungsmethodik bleibt kritisch anzumerken, dass durch das manuelle Auswertungsverfahren eine geringe Wiederholbarkeit der Ergebnisse mit hohem Messfehler zu erwarten ist. Ebenso sind diese Auswertungsverfahren äußerst zeit- und arbeitsintensiv. Einen anderen Weg gingen die Arbeitsgruppen um Beauchemin et al. (1989) und Dado und Allen (1993). Sie erfassten neben den Kaudaten zusätzlich die Futteraufnahme der Versuchstiere und klassifizierten alle Kauschläge, die während einer Mahlzeit erfasst wurden als Fresskauschläge. Als Nachteil beschreiben Beauchemin et al. (1989) das Problem der Unterscheidbarkeit von Grooming-Aktivitäten gegenüber Fressaktivitäten. Weshalb die Autoren es als notwendig ansehen, dass eine Vorauswahl der Versuchstiere stattfinden sollte, um die Messgenauigkeit des Systems zu erhöhen. Die Übertragbarkeit der Messergebnisse auf die Praxis ist daher fraglich. Ebenso birgt die Verwendung eines separat erfassten zweiten Messsystems immer die Gefahr, dass die Zeitachsen der beiden Erfassungsgeräte nicht exakt übereinstimmen und es somit zu Fehlklassifizierungen kommt (Ungar & Rutter, 2006). Um dieses Problem zu umgehen, versuchten verschiedene Autoren die Differenzierung von Fress- und Wiederkäuschlägen anhand der spezifischen Signalmuster der erfassten Messdaten durchzuführen. Dabei wurden verschiedene Wege verfolgt. Luginbuhl et al. (1987) unterschieden Fress- und Wiederkäuaktivitäten anhand der Frequenz der erfolgten Kauschläge. „Die Frequenz der Kauschläge ist in der Regel schneller während einer Fressphase als während einer Wiederkäuphase“ (Beauchemin, 1991). Da es aber in Abhängigkeit vom Versuchstier erhebliche Unterschiede in der Frequenz der Kieferschläge geben kann (Hailu, 2003), ist diese Auswertungsmethode für ein universelles Messsystem nicht geeignet. Matsui und Okubo (1991) wählten als zusätzliche Faktoren zur Klassifizierung von Kauschlägen, neben der Frequenz der Kauschläge, die Pausen zwischen den einzelnen Wiederkäuboli. Sie unterteilen die Messdaten in Abschnitte von einer Minute. Sind in dieser Minute eine oder zwei Pausen von 4-5 Sekunden, so wurde dieser Abschnitt als Wiederkauen klassifiziert. In Abbildung 2-1 kann man erkennen, dass zwar in Wiederkäuperioden diese Art von Pausen fast ausschließlich auftreten, es aber auch einen großen Anteil dieser Pausen in Fressphasen gibt. Es ist daher zusätzlich nötig mehrere Minutenabschnitte in Reihenfolge zu betrachten, um ausschließen zu können, dass diese Pausen nicht in einer Fressphase erfolgten. Dieses war aber automatisch mit der Apparatur von Matsui und Okubo nicht möglich, sodass die eigentliche Differenzierung von Fress- und Wiederkäuschlägen manuell erfolgte. Somit ist auch bei diesem System die Wiederholbarkeit infrage gestellt. Ebenso ist die Wahl des Pausenkriteriums zu hinterfragen. Hailu (2003) beschreibt in seiner Arbeit Pausen zwischen zwei Wiederkäuboli von 3-21 Sekunden Länge, was auf eine hohe Variabilität dieses Faktors schließen lässt. Die bisher fortschrittlichste Auswertungssoftware ist das Programm Graze[®] (Rutter et al.,

1997). Die von Rutter und Mitarbeitern entwickelte Software wird von der Firma Ultra Sound Advice (United Kingdom) kommerziell vertrieben und weiterentwickelt. Die Software stellt die Kauschlagdaten als x-y-Plots grafisch dar und klassifiziert die Kauschläge nach ihrer Amplitude, ihrer Frequenz und den Pausen zwischen den Kauschlägen. Die Grenzwerte dieser drei Parameter werden vom Anwender in einer Lernphase durch Markierung und Klassifizierung verschiedener Abschnitte der Messwertkurve festgelegt.

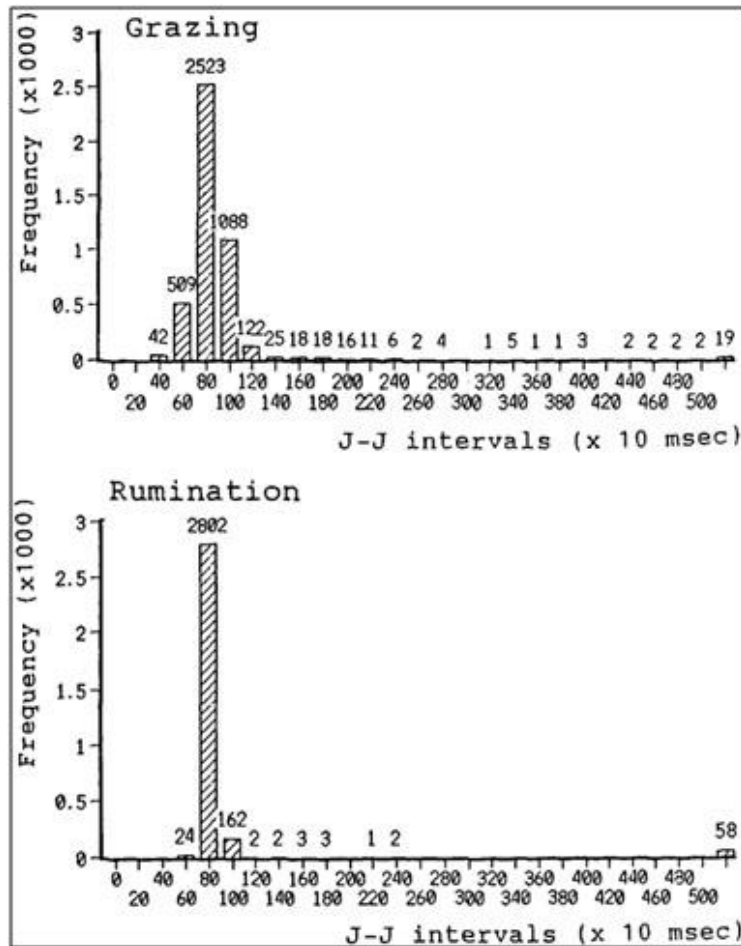


Abbildung 2-1: Histogramm der Verteilung von Pausen ohne Kauaktivität in einer Fressphase (oben) und einer Wiederkäuphase (unten) (Matsui & Okubo, 1991).

Folglich sind die Ergebnisse der Auswertung in hohem Maße vom Anwender abhängig. So beschreiben Unger und Rutter (2006) eine Fehlerrate von 22,1 % bei der Klassifizierung von Kauschlägen. Wie gezeigt wurde, gibt es keine Auswertungssoftware, welche in der Lage ist objektiv Kauschlagmessungen zu analysieren und in Fress- und Wiederkäukauschlägen zu differenzieren. Die hohe inter- und intraindividuelle Variabilität in der Fress- und Wiederkäuaktivität von Kühen verhindert die Festlegung fest definierter Grenzwerte. Erst durch eine ausreichende Quantifizierung und Qualifizierung dieser kann es gelingen eine universell einsetzbare Auswertungssoftware zu entwickeln.

3 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung und Erprobung einer neuen Messmethode zur Erfassung von Fress- und Wiederkäuaktivitäten. Desweiteren sollte überprüft werden, welche Parameter der Wiederkäuaktivität geeignet sind die tierindividuelle Variation der Wiederkäuaktivität zu erfassen und in ihrer Quantität und Qualität zu beurteilen.

Die Parameter der Wiederkäuaktivität wurden wie folgend definiert:

1. Charakteristika der Wiederkäuboli:
 - Dauer der Wiederkäuboli (in Sekunden)
 - Anzahl Kauschläge in den Wiederkäuboli
 - Frequenz der Kauschläge in den Wiederkäuboli (Kauschläge / Sekunde)
2. Charakteristika der Wiederkäuphasen:
 - Dauer der Wiederkäuphasen (in Minuten)
 - Anzahl Boli in der Wiederkäuphase
 - Anzahl Kauschläge in der Wiederkäuphase
3. Charakteristika der Wiederkäudauer pro Tag:
 - Wiederkäudauer pro Tag (in Stunden)

4 Material und Methoden

4.1 Das Messsystem

Für eine detaillierte und umfassende Erfassung der Fress- und Wiederkäuaktivität ergab sich folgendes Anforderungsprofil an das Messsystem:

- Das Messsystem soll kontinuierliche Messungen über mehrere Tage (mindestens 3, PENNING, 1983) ermöglichen.
- Das Messsystem muss die Mobilität der Tiere gewährleisten um Messungen in der am weitesten verbreiteten Haltungform, dem Laufstall zu erlauben.
- Die Beeinflussung der Tiere durch das Messsystem muss so gering wie möglich gehalten werden.
- Es muss eine Differenzierung der einzelnen Kauschläge möglich sein, um eine Quantifizierung der Kauschläge zu ermöglichen.
- Es muss eine automatische Auswertung der Messergebnisse erfolgen, um eine subjektive Klassifizierung und Quantifizierung der Kauaktivität zu gewährleisten.

Dieses Aufgabenprofil stellt 3 Kernaufgaben an die Entwicklung eines Messsystems zur Erfassung und qualitativen Bewertung der Kauaktivität bei Milchkühen:

1. Entwicklung eines Sensorsystems mit Datenlogger
2. Integration des Sensorsystems in ein Halfter
3. Erstellung einer Auswertungssoftware

4.1.1 Sensor-Aktor Einheit

Das Sensorsystem des Messsystems ist in eine metallene Röhre integriert. Es besteht aus dem optischen Sensor, einer Aktorscheibe, einen an der Aktorscheibe befestigten Seilzug und einer Spiralfeder (Abbildung 4-1).

Material und Methoden

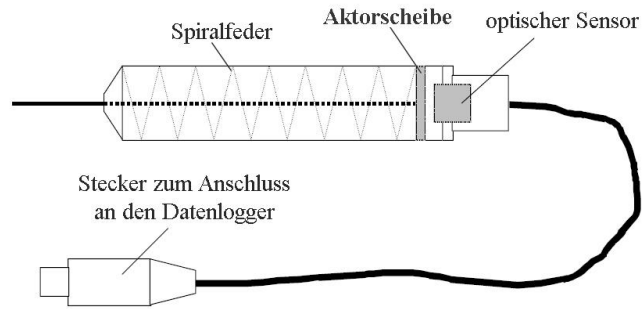


Abbildung 4-1: Schematische Darstellung des Sensorsystems

Am oberen Ende des Messwertaufnehmers befindet sich der Sensor. Der verwendete Sensor vom Typ CNY 70 ist ein sogenannter Optoreflexkoppler. Ein Optoreflexkoppler vereint in einem elektronischen Bauelement eine Sendediode und einem Foto-Transistor-Empfänger (Abbildung 4-2). Die Sendediode strahlt Licht mit einer Wellenlänge von 950 nm ab (Infrarot).

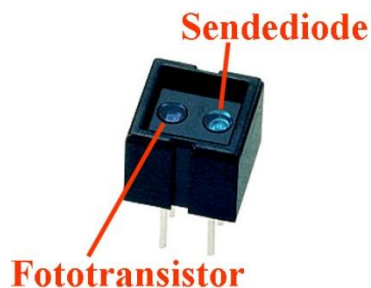


Abbildung 4-2: Sensor CNY 70 des Messsystems

Der Foto-Transistor misst die von der Aktorscheibe abgestrahlte Reflexion des von der Sendediode ausgestrahlten Lichts und wandelt diese Information in einen vom Abstand der Aktorscheibe abhängigen Stromimpuls um. Entfernt sich die Aktorscheibe vom Sensor, sinkt der Messstrom (Abbildung 4-3).

Die Aktorscheibe ist über einen Seilzug mit dem Maulgurt des Halfters verbunden. Öffnet das Versuchstier das Maul, entfernt sich die Aktorscheibe vom Sensor und der Messwert sinkt ab. Schließt sich das Maul wieder, wird die Aktorscheibe über eine in den Messwertaufnehmer integrierte Spiralfeder in Richtung Sensor gedrückt und der Messwert steigt wieder an (Abbildung 4-3).

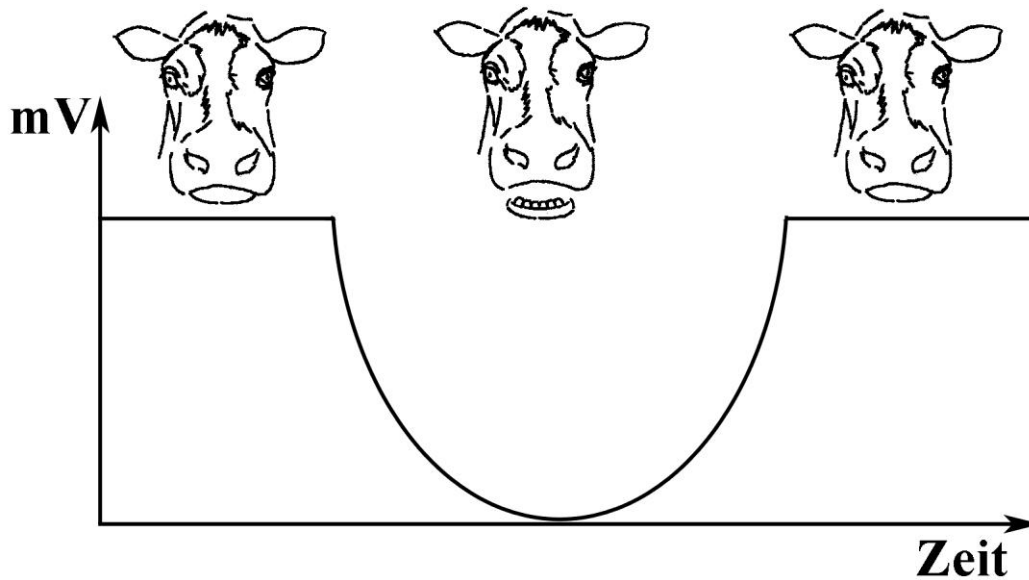


Abbildung 4-3.:Verhältnis Messwert zu Maulöffnung

4.1.2 Datenlogger

Der Datenlogger (Abbildung 4-4) befindet sich in einem Aluminiumspritzgussgehäuse mit den Abmessungen 80L x 55T x 25H mm mit Anschlüssen für die Fremdspannungsversorgung sowie aus dem Wegaufnahmesensor. An der Seite ist eine Öffnung mit verschiebbarem Deckel in der eine Leuchtdiode (LED) zur Statusanzeige, ein Bedientaster, ein Multi-Media-Card-Kartenschacht sowie eine serielle Steckverbindung (RS232-Schnittstelle) eingearbeitet sind. Die Fremdspannungsversorgung erfolgt über eine rechts fest mit dem Gehäuse verschraubte, verriegelbare Steckverbindung. Eine integrierte Schmelzsicherung schützt vor einem Kurzschluss durch vertauschen der Pole der Stromversorgung und vor Überspannung. Beim Absinken der Eingangsspannung wird ein Schutzmechanismus aktiv, der eine laufende Messung gezielt beendet.

Die fest mit dem Gehäuse verschraubte Steckverbindung dient zum Anschluss des optischen Sensors. Über diese werden die Spannungsversorgung des Sensors geführt sowie die analogen Messsignale erfasst. Die Spannungen sind kurzschlussfest. Die Messeingänge sind gegen transiente und permanente Überspannung und Verpolung geschützt.

Auf der Leiterplatte des Datenloggers befinden sich sämtliche elektronischen Bauelemente, mit Ausnahme der Steckverbindungen für die Stromversorgung sowie dem Anschluss des Sensors. Als Herzstück fungiert ein RISC-Prozessor. Weiterhin befinden sich noch eine Batterie-gepufferte Real-Time-Clock (RTC), ein statisches 128kB-RAM, ein Spannungsregler sowie ein serieller Schnittstellenbaustein auf der Leiterplatte. Die Bedienelemente sind auf einer Seite angeordnet, welche durch im Gehäuse vorhandenen Aussparungen erreichbar sind. Dazu gehört der mit einem Auswurfmechanismus ausgerüstete Multi-Media-Card-Kartenschacht, eine LED-Anzeige zur

Material und Methoden

Signalisierung des jeweiligen Betriebszustandes, ein Taster, welcher zum Starten bzw. Stoppen einer Messreihe benötigt wird sowie eine Mini-Steckverbindung, um einen PC zur Konfiguration des Datenloggers anschließen zu können. Sämtliche Konfigurationseinstellungen können mittels eines einfachen Terminalprogramms vorgenommen werden. Somit ist eine Plattformunabhängigkeit gewährleistet, da solche Terminal-Programme für alle Plattformen als Standard-Werkzeug zur Verfügung stehen.

Die RTC wird bei Spannungsausfall durch eine Lithium-Zelle versorgt. Der verwendete RTC-Baustein hat als Besonderheit einen 32-Bit-Zähler. Beim Anlegen der Versorgungsspannung an den Datenlogger wird der 32-Bit-Zählerstand vom Mikrocontroller gelesen und gespeichert. Vorher wird jedoch die Differenz in Sekunden zum vorhergehenden, gespeicherten Wert gebildet. Aus dieser Differenz und der zuletzt bekannten Uhrzeit / Datum werden die aktuelle Zeit und das aktuelle Datum gebildet.

Der Datenlogger soll erfasste Messdaten über einen längeren Zeitraum speichern und weiteren Datenverarbeitungsschritten zur Verfügung stellen. Der Datenlogger nutzt dazu eine gängige Multi-Media-Card (MMC). Die auf der MMC gespeicherten Daten werden mit der Karte aus dem Logger entnommen und der Weiterverarbeitung zugeführt.

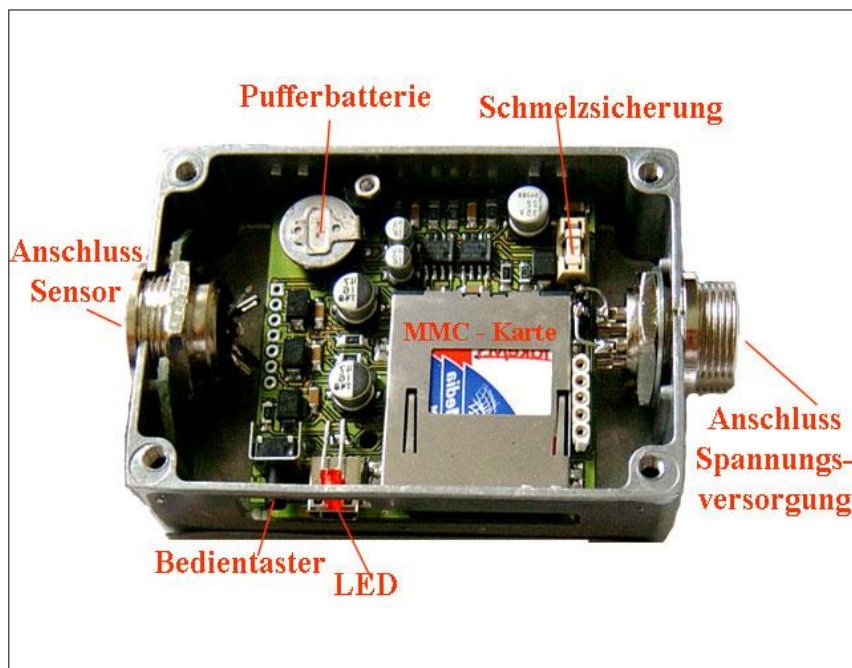


Abbildung 4-4: Der Datenlogger

Über eine serielle RS232-Schnittstelle kann der Logger an einen PC direkt angeschlossen werden um Systemzeit, Systemdatum, Abtastrate und andere Variablen einzustellen. Die Abtastrate bezeichnet die Häufigkeit, mit der jeweils ein Messwert vom Sensor erfasst wird. Die Zeitbasis beträgt 2 ms, welche mit einem zwischen 10 und 60000 einstellbaren Multiplikator die Abtastrate ergibt. Das

Material und Methoden

schnellste Messintervall ist somit 20 ms, das langsamste 120 Sek. Im Pufferspeicher werden die erfassten Messwerte zwischengespeichert, bevor diese dann in einem Vorgang auf die MMC geschrieben werden. Im Rhythmus von 10 Minuten werden die Daten aus dem Pufferspeicher auf die MMC kopiert.

Der in der Konfigurationsdatei vorgegebene Wert für den SRAMBUFFER gibt vor, wie viele Messwerte zwischengespeichert werden. Wird dieser Wert überschritten, so werden die bis dahin gespeicherten Messwerte im Pufferspeicher auf die MMC kopiert. Während des Kopierens läuft die Messwernerfassung im Hintergrund weiter.

Dieses Verfahren bietet zwei Vorteile:

- nicht so häufige Schreibvorgänge auf die MMC gleich lange MMC Lebensdauer
- hohe Datensicherheit

Aufzeichnung einer Messreihe starten

Ist nun die LED nach dem Anlegen der Versorgungsspannung erloschen, so befindet sich der Datenlogger im Ruhezustand. Aus diesem heraus kann eine Messung gestartet werden. Dazu wird kurz der Taster betätigt, die LED leuchtet kurz auf. Der Datenlogger prüft nun schon vorhandene Messwert-Dateien und legt eine weitere an, welche hinsichtlich der 3-stelligen Ziffer im Dateinamen zu unterscheiden sind. Gleichzeitig erfolgt in der LOG.TXT-Datei ein Eintrag, welcher den Start der Messung sowie den gewählten Dateinamen enthält. Die LED beginnt nun fortwährend zu blinken, wobei die Aus-Phasen wesentlich länger sind als die Leuchtdauer, was eine laufende Messung signalisiert. Eine einstellbare Anzahl von erfassten Messwerten wird zunächst im SRAM-Speicher abgelegt. Nach erreichter Anzahl wird der Inhalt des SRAMs an die Messdatendatei, z. B. MEAS_003.DAT, angefügt (Abbildung 4-5). Dabei flackert die LED. Dieser Vorgang wiederholt sich zyklisch.

```

STARTlogging DTLOG 1.1 180705 0001 14.06.05 07:23:16 124450 5.0V 0
:
:
1120
890
640
380
180
30
0
20
:
:
ENDlogging DTLOG 1.0 010705 0001 14.06.05 11:29:37 122628 5.0V 0
    
```

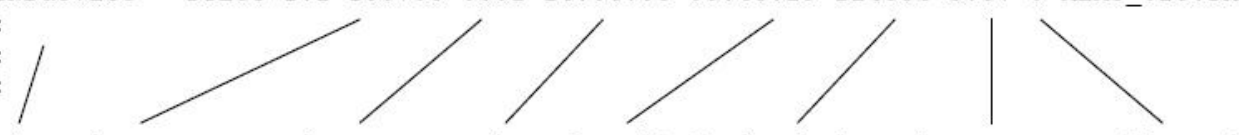
Abbildung 4-5: Beispiel einer Messdatei

Aufzeichnung einer Messreihe beenden

Soll eine laufende Messung beendet werden, so muss der Taster erneut betätigt werden. Damit nicht ein kurzes, unbeabsichtigtes Betätigen des Tasters die Messung abbricht, muss dieser ca. 3 Sekunden lang gedrückt und gehalten werden. Wenn die LED zu flackern beginnt, kann die Taste losgelassen werden. Die restlichen Daten im SRAM werden nun auf die MMC-Karte kopiert und der Messdatendatei, z. B. MEAS_003.DAT, angefügt. Die LED erlischt schließlich. Im Falle eines Systemfehlers, z. B. das zu weite Absinken der Versorgungsspannung oder knapp werdender Speicherplatz auf der MMC-Karte (<100.000 Bytes), wird die Messung automatisch beendet und es wird ein Eintrag in der LOG.TXT-Datei, aus dem auch der Grund bzw. die Fehlermeldung hervorgeht, erstellt (Abbildung 4-6).

```

POWERdevice DTLOG 1.1 180705 0001 14.06.05 06:50:31 124640 5.0V 0
STARTdevice DTLOG 1.1 180705 0001 14.06.05 06:50:41 124640 5.0V 0 MEAS_024.DAT
ERRORdevice DTLOG 1.1 180705 0001 14.06.05 06:51:43 124634 3.2V 13
POWERdevice DTLOG 1.1 180705 0001 14.06.05 06:53:27 124634 4.9V 0
STARTdevice DTLOG 1.1 180705 0001 14.06.05 06:53:37 124634 4.9V 0 MEAS_025.DAT
ENDdevice DTLOG 1.1 180705 0001 14.06.05 08:43:29 124334 5.0V 0 MEAS_025.DAT
:
:
:
    
```



The diagram below the log entries shows lines connecting the 'freie-Kbyte' and 'Bat-Spannung' columns across the rows. A diagonal line from the first row to the second indicates a decrease in free space. A diagonal line from the second row to the third indicates a decrease in battery voltage. A diagonal line from the third row to the fourth indicates an increase in free space. A diagonal line from the fourth row to the fifth indicates a decrease in battery voltage. A vertical line from the fifth row to the sixth indicates a change in battery voltage. A diagonal line from the sixth row to the seventh indicates an increase in free space.

| Item | Firmwareve | Seriennummer | Datum | Uhrzeit | freie-Kbyte | Bat-Spannung | Fehlercode |
|-------------|------------|--------------|--------|---------|-------------|--------------|----------------------------|
| POWERdevice | DTLOG | 1.1 | 180705 | 0001 | 14.06.05 | 06:50:31 | 124640 5.0V 0 |
| STARTdevice | DTLOG | 1.1 | 180705 | 0001 | 14.06.05 | 06:50:41 | 124640 5.0V 0 MEAS_024.DAT |
| ERRORdevice | DTLOG | 1.1 | 180705 | 0001 | 14.06.05 | 06:51:43 | 124634 3.2V 13 |
| POWERdevice | DTLOG | 1.1 | 180705 | 0001 | 14.06.05 | 06:53:27 | 124634 4.9V 0 |
| STARTdevice | DTLOG | 1.1 | 180705 | 0001 | 14.06.05 | 06:53:37 | 124634 4.9V 0 MEAS_025.DAT |
| ENDdevice | DTLOG | 1.1 | 180705 | 0001 | 14.06.05 | 08:43:29 | 124334 5.0V 0 MEAS_025.DAT |

Abbildung 4-6: Logdatei des Datenloggers

4.1.3 Stromversorgung

Der unter 3.1.2 beschriebene Datenlogger hat eine Stromaufnahme von 0,1 Watt pro Stunde. Bei einer Laufzeit von 7 Tagen errechnet sich somit ein Strombedarf von 16,8 Wh. Der verwendete Akkupack besteht aus zwei Strängen mit jeweils 4 in Reihe geschalteten Akkus der Firma Ansmann

Material und Methoden

(ANSMANN ENERGY GMBH, Assamstadt). Es handelt sich dabei um Ni-MH-Zellen der Größe AA (Mikro) mit einem Strom von 2600 mAh bei einer Spannung von 1,2 Volt. Für jeden Strang ergibt sich somit eine Leistung von 12,48 Wh. Die beiden Stränge sind über eine Parallelschaltung verbunden. Sollte einer der Akkustränge defekt sein, so kann der andere Strang diesen Ausfall über kurze Zeit kompensieren. Des Weiteren wurde eine parallele Verschaltung der beiden Akkustränge gewählt, da hier im Gegensatz zur Reihenschaltung im laufenden Betrieb erst der Strom und dann kurz vor der Komplettentladung die Spannung abfällt. Bei einer Reihenschaltung sinkt die Spannung kontinuierlich über die Laufdauer, während die Spannung relativ konstant bleibt. Die Parallelschaltung gewährleistet somit eine längere Laufzeit des Datenloggers, da dieser auf Spannungsabfall sensibler reagiert als auf einen Abfall des Eingangsstroms. Das Akkupack (bestehend aus 2 Akkusträngen) hat eine Ausgangsspannung von 4,8 Volt bei einem Strom von 5600 mAh, also eine Leistung von 24,96 Wh. Dieses entspricht einer Laufzeit des Datenloggers im Messbetrieb von 250 Stunden (10 Tage und 10 Stunden). Die beiden Stränge des Akkupacks sind mittels eines besonders stabilen Schrumpfschlauchs verbunden. Der Akkupack ist über eine Tamiya-Steckverbindung mit einem Stromkabel verbunden, welches den Strom in die Stromversorgungsbuchse des Datenloggers leitet.

4.1.4 Das Halfter

Das Halfter wurde speziell für das Messsystem entwickelt. Durch die Schwierigkeiten einer stabilen Anbringung von Datenlogger, Sensor und Akkupack an ein handelsübliches Halfter war es erforderlich, ein Halfter zu entwerfen, das folgende Faktoren berücksichtigt. Das Halfter muss eine stabile und geschützte Möglichkeit zur Anbringung der Elektronik und des Sensorsystems aufweisen, eine Möglichkeit zur Fixierung des Messwertaufnehmers bieten und jegliche Beeinflussung des Versuchstieres vermeiden. Das entwickelte Halfter besteht aus zwei übereinandergelegten Nylonbändern (Breite 5 cm), welche zu einem Schlauch vernäht wurden, so dass alle Komponenten der Messeinrichtung (Verkabelung, Akkupack und Messwertaufnehmer), mit Ausnahme des Datenloggers, innerhalb des Nylonschlauches platziert werden konnten (Abbildung 4-7, Abbildung 4-8). Der Akkupack befindet sich auf der rechten Seite des Halfters und ist über ein Kabel, welches durch die Halsschleife des Halfters geführt ist, mit dem Datenlogger verbunden. Der Messwertaufnehmer incl. Verkabelung und der Datenlogger befinden sich auf der linken Seite des Halfters. Durch diese Konstruktion ist eine gleichmäßige Verteilung des Gewichts der Messapparatur im Halfter gewährleistet.

Material und Methoden

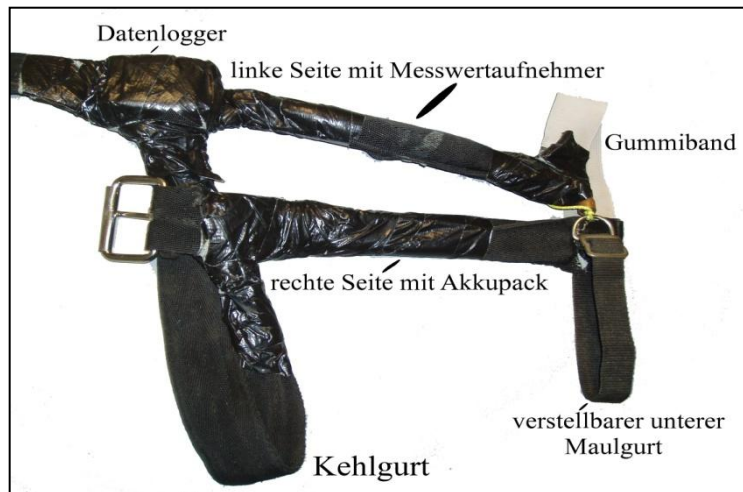


Abbildung 4-7: Das Messhalfter

Das Gewicht des Halfters beträgt ohne Messapparatur 290 Gramm und mit Messapparatur 770 Gramm. Der bei handelsüblichen Halftern feste Maulgurt wurde durch Gummibänder ersetzt, welche ein Verrutschen des Halfters verhindern sollen und an denen der Aktor über ein Zugsystem angeschlossen ist. Die Spiralfeder des Sensors hat eine Federrate von 2 Newton bei einer Länge von 80 mm. Dies gewährleistet eine störungsfreie Maulöffnung der Versuchstiere.



Abbildung 4-8: Kuhkopf mit Messhalfter

Um die optimale Passform des Halfters zu gewährleisten, wurden im Versuchsbetrieb die Köpfe von 28 Versuchstieren vermessen. Es wurden 5 verschiedene Parameter erfasst: Nackengurtlänge, Maulumfang, Kehlgurtlänge, Schädelhöhe und Schädelbreite. Wie in -Tabelle 8-1- zu sehen ist, wiesen die Köpfe der Versuchstiere große Unterschiede in ihren Dimensionen auf. Es wurden daher zwei Halftervarianten gefertigt, um eine für die Versuchstiere komfortable und für die Messung notwendige Passform zu gewährleisten. Die beiden Typen unterschieden sich nur in der Länge des Nackengurts. Der erste Typ war im Nackengurt von 105-115 cm, der zweite Typ von 110-120 cm verstell-

bar. Der Kehlgurt war bei beiden Varianten nicht verstellbar ausgeführt und hatte eine Länge von 70 cm. Der Maulgurt war ebenfalls bei beiden Halftertypen identisch, da er aufgrund der Verwendung elastischer Gewebebänder flexibel anpassbar war.

4.2 Die Auswertungssoftware

Die Auswertungssoftware ist eine Eigenentwicklung, welche in Zusammenarbeit mit Dr. Andreas Haja entstand. Die Programmiersprache der Software ist C++. Durch entsprechende Kompilierung (Übersetzung des Programmes in der Quellsprache (C++) in ein semantisch äquivalentes Programm in der Zielsprache des Betriebssystems) kann die Software entweder in den Betriebssystemen Windows oder Linux eingesetzt werden. Die Software besteht aus zwei Dateien. Zum einen aus dem Programm zur Auswertung der Dateien und zum anderen aus der Konfigurationsdatei, in der die Parameter der Auswertung festgelegt werden.

4.2.1 Aufbau der Konfigurationsdatei

Die Konfigurationsdatei ist eine Textdatei, welche vor jeder Messung vom Auswertungsprogramm eingelesen wird, um die einstellbaren Parameter der Auswertung einzulesen. Sie ist in zwei Bereiche eingeteilt, den allgemeinen Auswertungsparametern und den Auswertungsparametern der Unterscheidung von Fress- und Wiederkäuaktivitäten.

Die allgemeinen Parameter der Konfigurationsdatei:

Erster einstellbarer Parameter in der Konfigurationsdatei ist der Name der auszuwertenden Messdatei. Dieser Parameter dient der Flexibilität bei der Archivierung der Messwertdateien. Mittels der nächsten beiden Parameter können die Namen der beiden Ergebnisdateien der Auswertungssoftware bestimmt werden. Standardmäßig lauten die Namen „results_24h.dat“ und „results_complete.dat“. In der „results_24h.dat“ findet sich eine Zusammenstellung der Auswertungsergebnisse über jeden Tag der Messwertdatei (Abbildung 4-9). Diese Datei dient dazu, einen schnellen Überblick über die Ergebnisse der Auswertungssoftware zu erhalten. In der Datei „results_complete.dat“ findet sich das komplette Ergebnis der Auswertung (siehe 3.2.5 Ergebnis der Auswertungssoftware). Im vierten Parameter der Konfigurationsdatei wird bestimmt, ob Debugging-Informationen ausgeschrieben werden sollen. Dieses bedeutet, dass alle Zwischenergebnisse der Auswertung ausgeschrieben werden. Bei den Zwischenergebnissen handelt es sich um Dateien, mit deren Hilfe eine optische Überprüfung der Auswertung erfolgen kann (Abbildung 10). Beim Aktivieren dieses Parameters werden folgende Dateien erzeugt: „threshold.txt“, „pausen.txt“, „interpauses.txt“, „cluster.txt“, „cluster_statistics.txt“. Die „threshold.txt“ beinhaltet die Änderung der Messwerte auf den aktuellen Schwellenwert.

| Datumswechsel vom 11. auf den 12: | |
|--|--|
| + | Kurze Phasen mit Maulaktivität/24h: 11,6 Minuten |
| + | Phasen ohne Maulaktivität/24h: 745,2 Minuten |
| + | Wiederkäuphasen/24h: 602,7 Minuten |
| + | Fressphasen/24h: 84,0 Minuten |
| + | Anzahl Wiederkäuphasen/24h: 24 |
| + | Anzahl Fressphasen/24h: 7 |
| + | Kurze Phasen mit Maulaktivität/24h: 20 |
| + | Phasen ohne Maulaktivität/24h: 50 |
| + | Anzahl Boli/24h: 716 |
| + | Anzahl Fresskauschläge/24h: 4351 |
| + | Anzahl Wiederkäukauschläge/24h: 25757 |
| + | Durchschnitt Länge eines Bolus: 28.1 Sekunden |
| + | Durchschnitt Kauschläge pro Bolus: 26.7 |
| + | Durchschnitt Fresskauschläge pro Phase: 621.6 |

Abbildung 4-9: Inhalt einer Ergebnisdatei „results_24h.dat“ (Beispiel)

Schwellenwert steht in diesem Fall für den ermittelten Wert bei geschlossenem Maul. In der „pausen.txt“ sind alle von der Auswertungssoftware ermittelten Phasen ohne Maulaktivität gespeichert. Die „interpauses.txt“ beinhaltet alle Aktivitätsbereiche. In der Datei „cluster.txt“ finden sich die ermittelten Clustergrenzen und in der Datei „cluster_statistics.txt“ sind die Auswertungsparameter für jedes einzelne Cluster gespeichert. Diese Dateien lassen sich mittels Programmen zur Erstellung eines x-y-Plots (z. B. DPlot, Gnuplot, Origin oder Xmgrace) über die Messwertkurve legen, um somit die Berechnungen der Auswertungssoftware optisch kontrollieren zu können (Abbildung 4-10). Aufgrund dieser Methode haben die Debug-Dateien die gleiche Größe wie die Messwertdatei (ca. 12 Millionen Datenzeilen). Dies führt zur Verlangsamung der Auswertung. Die Auswertung ohne Ausschreiben der Debug-Dateien dauert ca. 2 Minuten pro Messwertdatei mit dem Ausschreiben der Debug-Dateien 10-15 Minuten pro Messwertdatei. Der nächste Parameter in der Konfigurationsdatei dient der Einstellung der Unterscheidungsschwelle für „willkürliche“ und „nicht willkürliche“ Pausen (siehe 3.2.3). Dieser Parameter ist standardmäßig auf 30 gesetzt (30 Messwerte = 1,5 Sekunden). Im sechsten Parameter wird bestimmt, ob sich die Auswertungskriterien auf die Bereiche mit Maulaktivität oder die Bereiche ohne Maulaktivität beziehen sollen (siehe 3.2.2). Im folgenden Schritt wird festgelegt, mit welcher Frequenz die einzulesenden Messwerte erfasst werden (Standard 0,5 = 20 Hz). Der vorletzte Parameter legt den Mindestabstand zwischen zwei eigenständigen Verhaltensclustern fest. Der vorgegebene Wert ist 1500, d. h. zwei Cluster müssen mindestens 1500 Messwerte also 75 Sekunden auseinanderliegen, um als getrennte Cluster betrachtet zu werden. Im letzten Parameter wird der Schwellenwert bestimmt. Dieser Wert wird

benötigt, um systembedingte Schwankungen des Messwertes abzufangen. Sollte zum Beispiel der Nullwert des Sensorsystems konstant auf einen Wert unterhalb des Systemnullwerts von 2500 gesunken sein, so kann mittels des Parameters Schwellenwert die Auswertungssoftware auf den veränderten Systemnullwert kalibriert werden. Dies kann der Fall sein, wenn das Untersuchungstier ein überdurchschnittlich breites oder langes Maul hat.

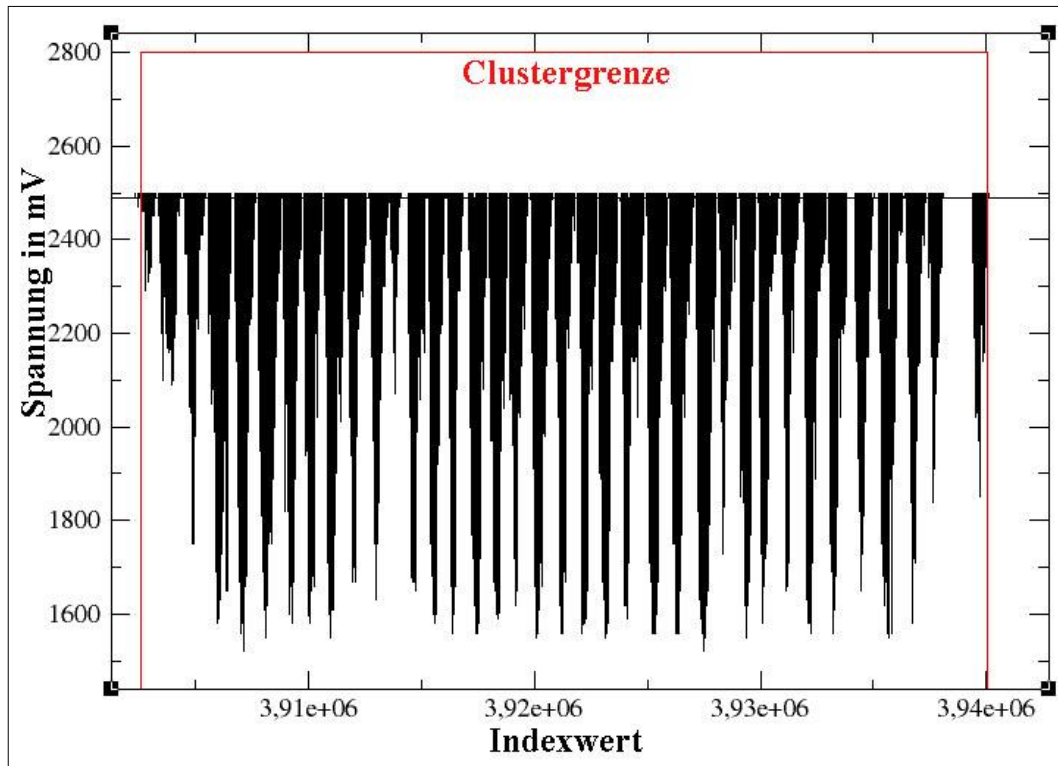


Abbildung 4-10: Beispiel für die optischen Kontrollmöglichkeiten der Debug-Information des Auswertungsprogrammes. Dargestellt sind eine Messwertkurve (schwarz) und die durch die Auswertungssoftware ermittelte Clustergrenze (rot). Indexwert: Anzahl der Messwerte seit Start der Messung hier 3,9 Millionen.

4.2.2 Datenauswertung

Nach dem Einlesen der Messdaten aus dem Datenlogger werden die Bereiche ohne Maulaktivität festgelegt. Das heißt, es werden Bereiche bestimmt, in denen die Messwertkurve nicht vom festgelegten Nullwert (Systemnullwert) abweicht. Dann werden die Bereiche in „willkürliche“ und „nicht willkürliche“ Pausen unterteilt. „Nicht willkürliche“ Pausen sind Pausen mit einer Länge von weniger als 1,5 Sekunden (30 Messwerte). Bei diesen Pausen handelt es sich um die Pausen zwischen den einzelnen Kauschlägen, wenn das Maul kurz geschlossen wird und somit der Messwert auf den Systemnullwert ansteigt. Die „willkürlichen“ Pausen sind somit alle Bereiche, auf denen der Messwert dem Systemnullwert entspricht, $\geq 1,5$ Sekunden (30 Messwerte). In die „willkürlichen“ Pausen sind jetzt nur die Pausen zwischen den Wiederkäuboli, längere Unterbrechungen ($>1,5$

Material und Methoden

Sekunden) in Fress- und Wiederkäuphasen und die Bereiche ohne Maulaktivität zwischen den Fress- und Wiederkäuphasen enthalten. Im nächsten Schritt werden dann die Phasen ohne Maulaktivität zwischen den Fress- und Wiederkäuclustern klassifiziert. Hierfür wurde eine Mindestlänge von 75 Sekunden (1500 Messwerten) festgelegt. Diese Mindestlänge hat sich bei der Erarbeitung der Auswertungsparameter als sinnvoll herausgestellt. Die Position und Länge dieser Bereiche ohne Maulaktivität wird gespeichert.

Als nächster Schritt folgt die Analyse der Messbereiche mit „nicht willkürlichen“ Pausen und Abweichungen vom festgelegten Nullwert. Bei diesen Abschnitten handelt es sich um Abschnitte, in denen Kauschläge erfasst wurden. Um die Maulaktivitäten Fressen und Wiederkäuen von anderen kürzeren Maulaktivitäten abzugrenzen, werden sie anhand der Länge der Maulaktivität unterteilt. Als Unterscheidungskriterium wurde dafür, nach Kolb et al. (1989), eine Mindestlänge des Bereichs von 3 Minuten (3600 Messwerten) festgelegt. Die Position und die Länge der kurzen Bereiche von Maulaktivität werden ebenfalls gespeichert. Nachdem alle Bereiche ohne Maulaktivität und die Bereiche kurzer Maulaktivität herausgefiltert werden, bleiben nur noch die Cluster der Verhaltensaktivitäten Fressen oder Wiederkäuen als nicht klassifiziert übrig.

4.2.2.1 Unterscheidungskriterien von Fress- und Wiederkäuclustern

Betrachtet man die Messwertkurven, welche beim Fressverhalten und Wiederkäuverhalten entstehen, so fallen optisch mehrere Unterschiede auf (Abbildung 4-11). Die Messwertkurve einer Wiederkäuphase weist einen regelmäßigen Wechsel von Bereichen mit Maulaktivität mit Bereichen ohne Maulaktivität auf. Hierbei spiegelt sich der Zyklus des Wiederkäuens vom Hochschlucken, Zerkleinern und Abschlucken der Boli (Bereiche mit Maulaktivität) und der Pause zwischen zwei Boli (Bereiche ohne Maulaktivität) wieder. In der Messwertkurve einer Fressphase findet sich dieser regelmäßige Wechsel von Maulaktivität und Nicht-Maulaktivität nicht. Sie sind gekennzeichnet durch lange Bereiche von Maulaktivität, auf denen unregelmäßig kurze Pausen folgen. Die Regelmäßigkeit der Abfolge und die Länge der Bereiche von Maulaktivität und der Bereiche ohne Maulaktivität während einer Wiederkäuphase bieten somit die größte Schärfe als Unterscheidungskriterium für eine Differenzierung zwischen Fress- und Wiederkäuaktivitäten. Es galt nun, die optisch einfach zu unterscheidenden Regelmäßigkeiten mathematisch zu erfassen. Auf dem ersten Blick erscheint die Häufigkeit von Pausen bzw. Boli gleicher Länge innerhalb einer Wiederkäuphase als gutes Unterscheidungskriterium. Wie oben beschrieben, erfasst das Programm die Länge von Bereichen mit und ohne Abweichungen vom Nullwert. Als Unterscheidungskriterium könnte man somit festlegen, dass ein Cluster, in dem sich eine bestimmte Anzahl von Pausen bzw. Boli einer bestimmten gleichen Dauer finden, ein Wiederkäucluster ist. Finden sich diese Pausen

bzw. Boli nicht, so handelt es sich um eine Fressphase. Bei der Definition der Regelmäßigkeit der Aktivitätsbereiche ergeben sich aber mehrere systembedingte Problemstellungen. Im Verlauf einer Wiederkäuphase gibt es sowohl ein Start- als auch ein Endbereich, indem die Abfolgen von Pausen und Wiederkäuboli noch nicht die gleiche Regelmäßigkeit wie im dazwischen liegenden Bereich aufweist (Abbildung 4-11). Die Dauer der Pausen zwischen den Boli und die Längen der Wiederkäuboli variieren im Start- und Endbereich beträchtlich. Ebenso gibt es in diesen beiden Bereichen große Variationen zwischen den einzelnen Versuchstieren. Aus diesem Grund musste eine Methode gefunden werden, die der Varianz der Dauer von Pausen und Boli im Start- und Endbereich Rechnung trägt.

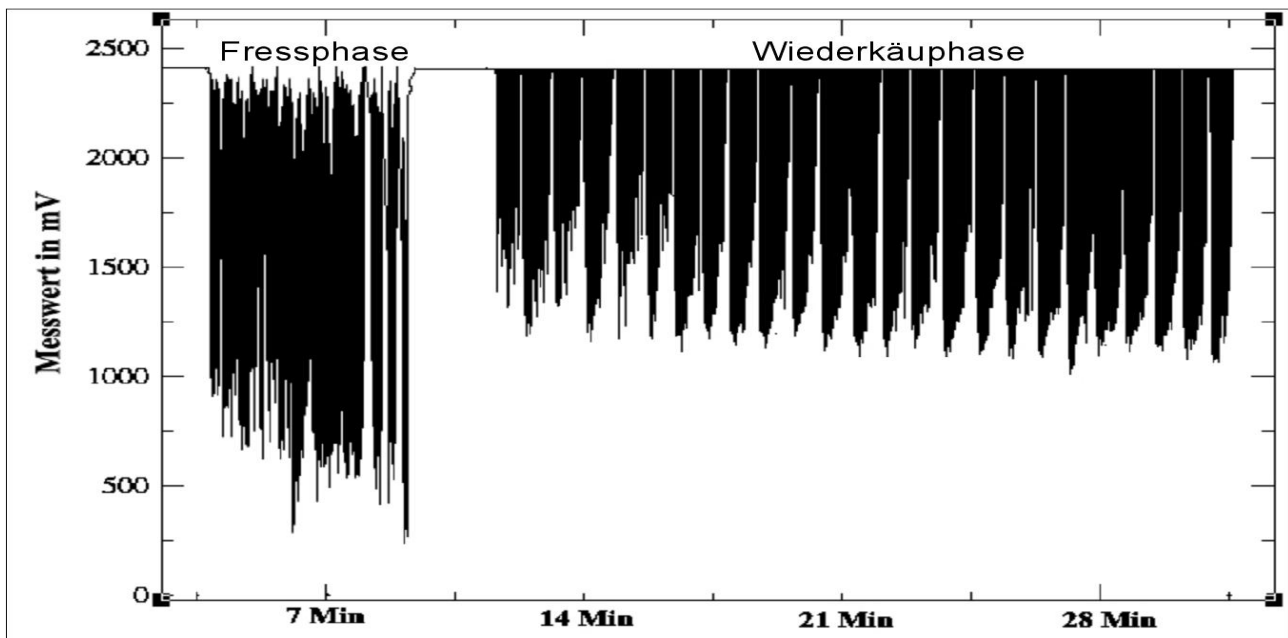


Abbildung 4-11: Beispiel einer Messwertkurve mit einer Fress- und einer Wiederkäuphase

Als geeignete Methode erwies sich hierbei die Bildung eines Histogramms der Aktivitätsbereiche mit Maulaktivität mit einer Länge von 10 Sekunden (200 Messwerten) bis 250 Sekunden (5000 Messwerten). Diese Längenbereiche entsprechen der in der Literatur beschriebenen Variation in der Länge der Wiederkäuboli. Die Schrittweite des Histogramms liegt dabei bei 200 Messwerten. Die im Histogramm gefundenen Häufigkeiten werden aufsummiert und die Summe wird durch die Anzahl der Messwerte des Clusters geteilt. Es ist nun zu erwarten, dass der Wert für ein Wiederkäucluster größer ist als der eines Fressclusters, da im Wiederkäucluster ungleich mehr Aktivitätsbereiche mit einer Länge im Bereiche des Histogramms zu erwarten sind als bei einem Fresscluster. Als Unterscheidungskriterium zwischen Fress- und Wiederkäuclustern wurde ein Wert von 0,0005 festgelegt. Das bedeutet, alle Werte, die unter diese Entscheidungsschwelle liegen, klassifizieren Fressaktivitäten und alle Werte über dieser Wiederkäuaktivitäten.

In den Fressaktivitätsclustern (s.o.) werden nun folgende Parameter bestimmt. Erstens die Dauer in Sekunden des Clusters und zweitens die Anzahl der Kauschläge in diesem Cluster. Ein Kauschlag wird definiert durch eine Reihe von aufeinanderfolgenden Messwerten, welche niedriger als der gesetzte Systemnullwert sind. Der Anfangspunkt eines Kauschlages ist der letzte Messwert, der dem Systemnullwert entspricht vor Beginn dieser Reihe. Der Endpunkt des Kauschlages ist dem entsprechend der erste Messwert nach der Reihe, der dem Systemnullwert entspricht (siehe Abbildung 4-12).

Die erfassten Parameter der Wiederkäucluster sind die Länge des Clusters, die Anzahl der Boli sowie deren Länge und die Anzahl der Kauschläge innerhalb eines Bolus. Die einzelnen Wiederkäuboli werden durch die Pausen (>1,5 Sekunden) zwischen ihnen markiert. Die Methodik ist dabei gleich der bei der Unterscheidung zwischen „willkürlichen“ und nicht „willkürlichen Pausen. In jedem einzelnen Bolus werden dann die Kauschläge analog zur Methode in den Fressclustern erfasst.

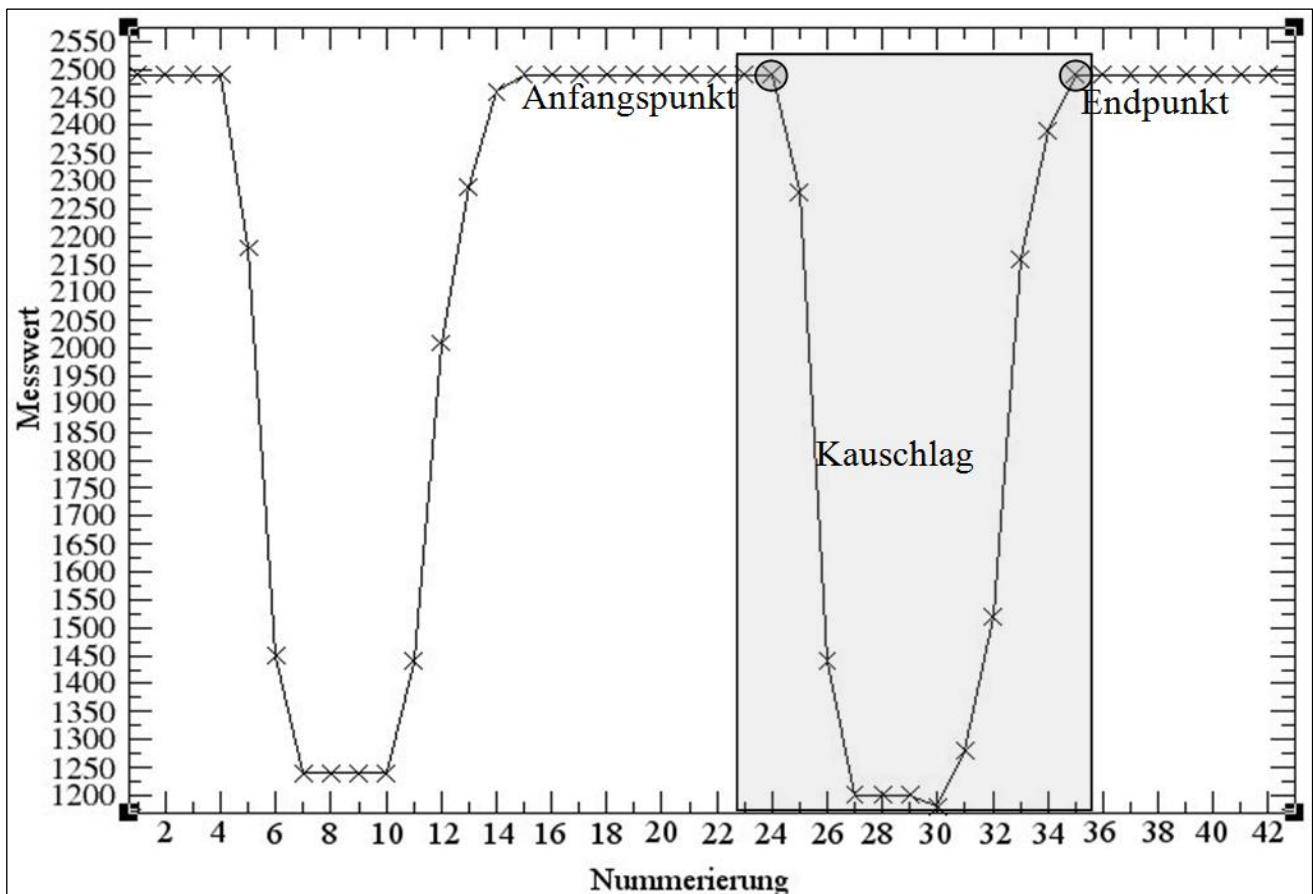


Abbildung 4-12: Definition eines Kauschlages

4.2.3 Ergebnis der Auswertungssoftware

Das Ergebnis der Berechnungen mittels der Auswertungssoftware ist die Datei „results_complete.dat“. Dabei handelt es sich um eine reine Textdatei. Die Auswertungssoftware legt

Material und Methoden

für alle zugeordneten Cluster chronologisch geordnet eine eigene Zeile an. Für jedes Verhaltensmuster wird in den Spalten (getrennt durch Semikolon oder Leerzeichen) eine Reihe von Variablen gespeichert. In der ersten Spalte wird festgehalten, um welche der fünf möglichen Verhaltensmuster es sich handelt. Die fünf Kategorien sind dabei folgende: Bereiche mit Maulaktivität kleiner als 3 Minuten, Bereiche ohne Maulaktivität länger als drei Minuten, Fressphasen, Wiederkäuphasen und einzelne Wiederkäuboli. In der zweiten Spalte werden die einzelnen Verhaltenskategorien getrennt voneinander nach dem Auftreten in der Messdatei durchnummeriert. Die Wiederkäuboli werden dabei den Nummern der Wiederkäuphase zugeordnet, in der sie aufgetreten sind. In der dritten Spalte werden die Wiederkäuboli nach ihrem Auftreten in der jeweiligen Wiederkäuphase durchnummeriert. Alle anderen Verhaltenskategorien erhalten hier den Wert 0. In der vierten Spalte wird den Wiederkäuphasen die Gesamtanzahl an Wiederkäuboli in der jeweiligen Phase zugeordnet. Alle anderen Kategorien weisen hier den Wert Null auf. In der fünften Spalte wird das Anfangsdatum der jeweiligen Phase festgehalten, gefolgt von der Anfangszeit in der sechsten Spalte. In der siebten Spalte steht das jeweilige Enddatum der Phase, gefolgt von der Endzeit in Spalte acht. In Spalte neun ist die Länge der Phase in Sekunden verzeichnet. Die Spalte 10 bis 13 beinhalten die Werte für Anfangsdatum, -zeit und Enddatum, -zeit für jeden einzelnen Bolus gefolgt von der Länge des Bolus in Sekunden. In Spalte 15 wird die Anzahl der Kauschläge in jeder Phase zugeordnet. In Spalte 16 findet sich die durchschnittliche Frequenz der Kauschläge in Kauschläge/Sekunde. Spalte 17 weist die durchschnittliche Anzahl der Kauschläge der Wiederkäuboli eine Wiederkäuphase auf. In Spalte 18 steht korrespondierend die durchschnittliche Länge in Sekunden aller Wiederkäuboli einer Wiederkäuphase. Abschließend steht in Zeile 19 die Gesamtanzahl der Kauschläge in der Messperiode bis zum jeweiligen Zeitpunkt der Phase.

Zur Vorbereitung der Auswertung wird jede Datei mit einem neuen Namen versehen, der Informationen zum Namen der Ursprungsmessdatei, dem Datum der Messung, der Nummer des Datenloggers, dem Betrieb und dem Versuchstier enthält. Die so veränderten Dateien werden daraufhin in das Statistikprogramm SPSS© Version 15 eingelesen und dort weiterverarbeitet.

4.3 Versuchsdurchführung

Die Versuche fanden im Landwirtschaftszentrum Haus Riswick, Kleve, im Rahmen eines Fütterungsversuches zum Einsatz von Bikarbonat in der Milchviehfütterung in der Zeit vom Anfang März 2006 bis Ende September 2006 statt.

4.3.1 Versuchstiere

52 hoch leistende Milchkühe wurden im Boxenlaustall „R2“ eingestallt. Gemolken wurde mit einem

Material und Methoden

automatischen Melksystem. Die Tiere waren in 2 Gruppen mit jeweils 26 Tieren aufgeteilt, welche als Kontroll- und Versuchsgruppen dienten. Es erfolgte eine Paarung von jeweils einem Tier der Versuchsgruppe mit einem Tier der Kontrollgruppe nach den Kriterien Laktationsnummer, Laktationstag, Milchmenge und Lebendmasse. Die mittleren Lebendmasse während des Versuchs betragen für die Kontrollgruppe 627 kg und für die Versuchsgruppe 638 kg. Im Mittel gaben die Tiere 36 Kg Milch pro Tag.

4.3.2 Fütterung

Im Versuchszeitraum wurde eine aufgewertete Mischration täglich frisch zur freien Aufnahme in Trögen mit individueller Erfassung der Futtermittelaufnahme vorgelegt. Die Grobfutterzusammensetzung in der Mischration setzte sich in etwa zu 70 % aus feuchter Grassilage und 30 % Maissilage auf Basis der TM zusammen (Tabelle 4-1).

Tabelle 4-1: Komponentenanteile in der Mischration, auf Basis TM

| Komponenten | Anteil, % |
|-------------------------------------|------------------|
| Grassilage | 55,7 |
| Maissilage | 24,7 |
| Protein- und Mineralergänzer | 18,9 |
| Futterkalk | 0,2 |
| Mineralfutter | 0,5 |

Tabelle 4-2: Durchschnittlicher Energie- und Nährstoffgehalt der Mischration

| | Einheit | Mischration |
|--------------------------|-----------------|--------------------|
| Trockenmasse | g/kg | 404 |
| Rohasche | g/kg TM | 90 |
| Rohprotein | g/kg TM | 163 |
| Rohfaser | g/kg TM | 186 |
| Stärke | g/kg TM | 147 |
| Zucker | g/kg TM | 34 |
| ADF_{org} | g/kg TM | 208 |
| NDF_{org} | g/kg TM | 393 |
| Strukturwert | | 1,9 |
| nXP | g/kg TM | 148 |
| RNB | g/kg TM | 2,5 |
| NEL | MJ/kg TM | 6,7 |
| Kalzium | g/kg TM | 5,4 |
| Phosphor | g/kg TM | 3,9 |
| Natrium | g/kg TM | 1,6 |
| Kalium | g/kg TM | 23,3 |
| Magnesium | g/kg TM | 1,7 |

Material und Methoden

Das Grobfutter wurde nach Bedarf mit einem Protein- und Mineralergänzer zu einer Mischration ergänzt, die die Vorgaben der DLG zur Versorgung von Kühen mit einer Leistung von etwa 24 kg Milch erfüllt (DLG-Info 1/2001 und 2/2001) (Tabelle 4-2). Leistungen oberhalb von 24 kg Milch bei Kühen und 21 kg Milch bei Färsen wurden durch leistungsabhängige Kraftfuttergaben im Melkautomaten unterstützt. Für das Milchleistungsfutter (Basiskraftfutter) galten folgende Vorgaben je kg Futter: min. 7,0 MJ NEL, 180 g nXP, 50 - 70 g Zucker und 300 - 350 g Stärke, davon etwa 30 g beständige Stärke.

Tabelle 4-3: Komponentenanteile (%) im Ergänzer und im Kraftfutter

| | Ergänzer | Basiskraftfutter |
|--|-----------------|-------------------------|
| Körnermais | 6,0 | 3,0 |
| Weizen | 39,0 | 10,0 |
| Triticale | 3,3 | 28,5 |
| Melasse | 3,0 | 4,0 |
| Trockenschnitzel | - | 9,0 |
| Weizenkleie | - | 8,0 |
| Sojaextraktionsschrot | 16,9 | - |
| Sojaextraktionsschrot, proteingeschützt | - | 11,7 |
| Rapsextraktionsschrot | 20,0 | 4,0 |
| Rapsexpeller | 9,0 | 8,0 |
| Weizenkleberfutter | - | 12,0 |
| Mineralfutter | 2,8 | 1,8 |
| Summe | 100 | 100 |

Das Natriumbikarbonat (Produkt Bicar Z der Firma Solvay) wurde ausschließlich über das Kraftfutter verabreicht. Dazu wurde für die Versuchsgruppe das Basiskraftfutter zusätzlich mit 80 g Natriumbikarbonat je kg ergänzt (Versuchskraftfutter). Die Nährstoffgehalte der verabreichten Kraftfutter sind in der Tabelle 4 dargestellt.

Für das Versuchskraftfutter wird ein höherer Rohaschegehalt als für das Basiskraftfutter ausgewiesen. Dies erklärt sich durch die Zugabe von 80 g Natriumbikarbonat je kg Basiskraftfutter. Die leistungsabhängigen Kraftfuttergaben erfolgten in beiden Gruppen nach den Vorgaben der DLG (Info 1/2001). Die Tiere der Kontrollgruppe erhielten ausschließlich Basiskraftfutter. Den Tieren der

Material und Methoden

Versuchsgruppe wurden 3,24 kg des Versuchskraftfutters während der gesamten Versuchsdauer zugeteilt, womit 240 g Natriumbikarbonat pro Tier und Tag gefüttert wurden. Kraftfutteranrechte, die über eine Menge von 3,24 kg hinausgingen, wurden wiederum über das Basiskraftfutter abgedeckt.

Tabelle 4-4: Mittlere Gehalte der Weender Rohnährstoffgehalte, der Gasbildung und des Energiegehaltes der verwendeten Kraftfuttermittel

| Anzahl Proben | | Basiskraftfutter | Versuchskraftfutter | Ergänzer |
|---------------|-----------------|------------------|---------------------|----------|
| | | 13 | 6 | 12 |
| TM | g/kg | 878 | 884 | 866 |
| Rohasche | g/kg TM | 59 | 101 | 60 |
| Rohprotein | g/kg TM | 217 | 206 | 265 |
| Rohfett | g/kg TM | 35 | 34 | 38 |
| Rohfaser | g/kg TM | 72 | 67 | 69 |
| Gasbildung | ml/200 mg TM | 59,7 | 55,3 | 57,8 |
| NEL | g/kg TM | 7,95 | 7,41 | 8,05 |

Alle Futteranalysen wurden durch die LUFÄ NRW, Münster durchgeführt. Zur Anwendung kamen die Methoden gemäß VDLUFA. Das Basiskraftfutter und das Versuchskraftfutter wurden zusätzlich einer Verdaulichkeitsmessung an je fünf Hammeln gemäß den Prüfvorschriften der GFE (1991) zur Messung der Verdaulichkeit beim Wiederkäuer unterzogen.

4.3.3 Datenerfassung

In der Tabelle 4-5 finden sich die erfassten Parameter des Versuchs mit den jeweiligen Zeiträumen. Die Futteraufnahme wurde über die Kraftfutterstation am Melkroboter und den 24 elektronischen Wiegetrögen für das Grundfutter erfasst. Die Milchmenge wurde vom automatischen Melksystem erfasst. Die 12 Messhalfter wurden jeweils an 6 gepaarten Tieren aus Versuchs- und Kontrollgruppe für den Zeitraum von sieben Tagen angebracht.

Tabelle 4-5: Erfasste Parameter und Zeiträume der Erfassung

| | |
|---------------------------|--------------------------------|
| Parameter | Zeitraum |
| Futteraufnahme | Täglich |
| Milchmenge | Täglich |
| Milchinhaltsstoffe | 14 Tägig |
| Lebendmasse | Alle 4 Wochen |
| Kauaktivität | Kontinuierlich über eine Woche |

Material und Methoden

Die Anbringung der Messhalfter erfolgte zwischen 8 und 9 Uhr direkt nach dem Befüllen und vor der Freigabe der Futtertröge. Am Abend des siebten Tages wurden die Messhalfter wieder entfernt. Am folgenden Tag wurden die Messhalfter nach dem Auslesen der Daten und eventuellen Änderungen oder Reparaturen an zwölf weiteren Tieren angebracht.

5 Ergebnisse

5.1 Ergebnisse der Auswertungssoftware

5.1.1 Erfasste Messdateien

Während der Erfassungsphase von April bis September 2006 konnten insgesamt 25 Messdateien ausgewertet werden. In Tabelle 5-1 ist die Verteilung der 25 Messdateien auf die Untersuchungstiere und die Anzahl der verwertbaren Messtage dargestellt.

Tabelle 5-1: Verteilung der verwertbaren Messdateien auf die einzelnen Untersuchungstiere

| Versuchstier | Anzahl Messdateien | Anzahl verwertbare Messtage |
|---------------------|-------------------------------|--|
| 25 | 1 | 6 |
| 30 | 1 | 1 |
| 38 | 2 | 8 |
| 69 | 2 | 1 |
| 72 | 3 | 8 |
| 137 | 1 | 1 |
| 138 | 1 | 5 |
| 145 | 1 | 2 |
| 170 | 1 | 6 |
| 177 | 2 | 1 |
| 213 | 1 | 4 |
| 214 | 1 | 5 |
| 222 | 3 | 3 |
| 963 | 1 | 6 |
| 964 | 4 | 16 |

5.1.2 Probleme der automatischen Auswertungssoftware

Parallel zur Auswertung mit der Auswertungssoftware wurde eine optische Kontrolle durchgeführt. Hierfür wurden die Messdateien in das Programm DPlot™ eingelesen. Die Software gleicht die Messwerte mit Angaben über die Uhrzeit in Millisekunden ab (Abbildung 4-11).

Ergebnisse

Bei der optischen Kontrolle wurde die Länge der einzelnen Verhaltensweisen erfasst und in den Wiederkäuphasen die Anzahl der Boli gezählt. Bei der optischen Durchsicht fielen zwei Faktoren auf, die Implausibilitäten bei der Auswertung mit der Auswertungssoftware erkennen ließen.

Erstens kam es bei den Messungen bei verschiedenen Tieren wiederholt zu variierenden Änderungen des Maximalwertes. Der Maximalwert entspricht dem Messwert bei geschlossenem Maul. Im optimalen Fall liegt dieser Messwert bei 2500. Durch Verrutschen des Halfters am Versuchstier kann der Maximalwert nach unten verschoben werden. Die Auswertungssoftware kann eine konstante Verringerung des Maximalwertes innerhalb einer Messdatei korrigieren, ist aber nicht in der Lage, häufigere Schwankungen zu kompensieren. Dies kann dazu führen, dass Phasen falsch als Fressen oder Wiederkäuen klassifiziert werden (Abbildung 5-1).

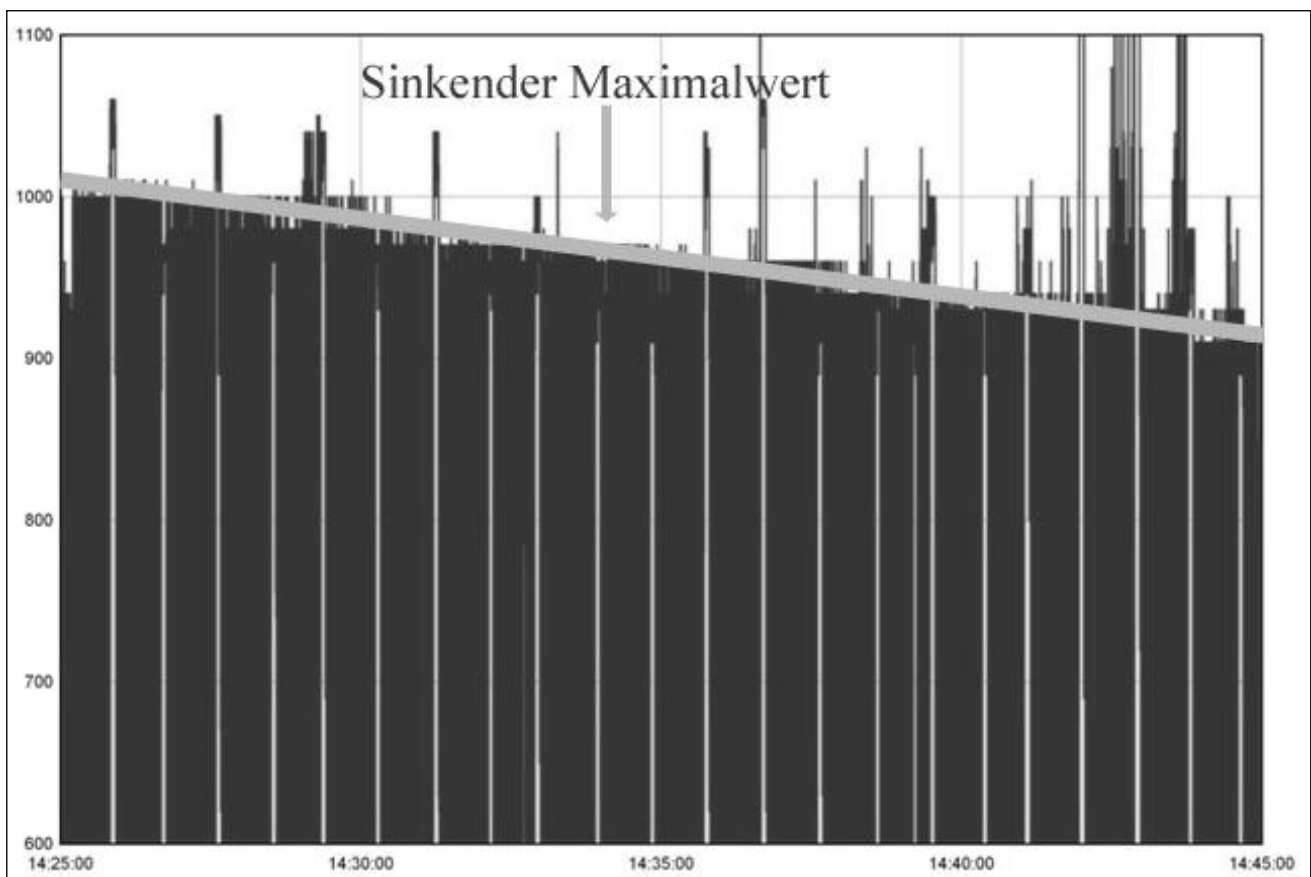


Abbildung 5-1: Beispiel für eine Wiederkäuphase mit veränderten Maximalwerten

Ein weiteres Problem, welches während der optischen Kontrolle auffiel, waren Wiederkäu- und Fressphasen, welche ohne erkennbare Pause direkt aufeinanderfolgten (Abbildung 5-2). In der Auswertungssoftware ist eine Pausenminimun von 180 Sekunden Voraussetzung für die Unterscheidung von zwei Verhaltensweisen. Durch die direkt aufeinanderfolgenden Verhaltensweisen kommt es zu einer falschen Klassifizierung der einzelnen Verhaltensweisen.

Ergebnisse

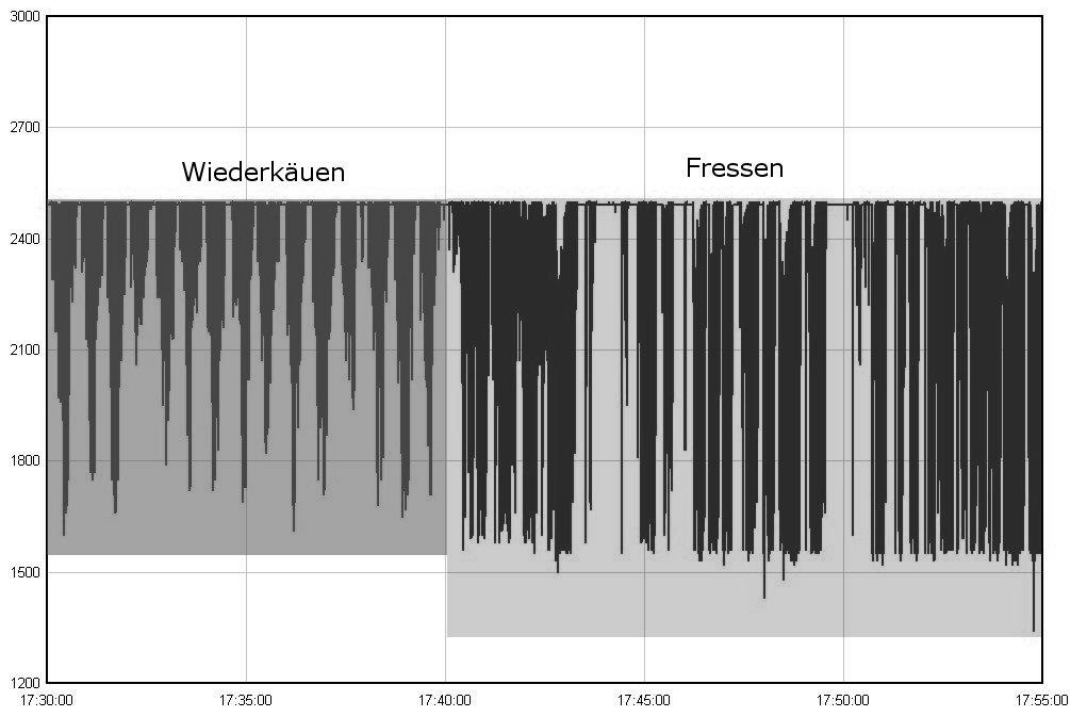


Abbildung 5-2: Beispiel für eine Wiederkäu- und eine Fressphase ohne Pause zwischen den beiden Verhaltensweisen

Aufgrund dieser Probleme bei der Auswertung der Messdateien mittels der Auswertungssoftware wurde ein Vergleich der Ergebnisse der Auswertungssoftware mit den Ergebnissen der optischen Kontrolle durchgeführt.

5.1.3 Vergleich der Ergebnisse der Auswertungssoftware mit der optischen Kontrolle

Zum Vergleich der Ergebnisse der Auswertungssoftware mit der Sichtkontrolle wurden für die beiden Parameter „Länge der Fressphasen in Minuten“ und „Länge der Wiederkäuphasen in Minuten“ ausgewählt. Für den Vergleich wurden insgesamt 939 erkannte Fressphasen der Auswertungssoftware 676 erfassten Fressphasen der Sichtkontrolle gegenüber gestellt (Tabelle 5-2). Der Mittelwert der Fressphasenlänge war für die Sichtkontrolle geringfügig niedriger als bei dem Auswertungsprogramm (26,72 gegenüber 26,98). Die Standardabweichung vom Mittelwert lag bei der Sichtkontrolle mit 26,59 deutlich niedriger als die der Auswertungssoftware (34,49). Ebenso lag der Standardfehler des Mittelwertes bei der Sichtkontrolle niedriger als bei der Auswertungssoftware (1,02 gegenüber 1,13). Für die Länge der Wiederkäuphasen sind der Mittelwert ($40,64 < 48,25$), die Standardabweichung ($17,51 < 30,57$) und der Standardfehler des Mittelwertes ($0,77 < 1,55$) der Sichtkontrolle ($n = 512$) deutlich niedriger als die des Auswertungsprogramms ($n = 387$). Zwischen der Länge der Fress- und Wiederkäuphasen (Tabelle 5-3) (Tabelle 5-4) bei Sichtkontrolle und im Auswertungsprogramm der in beiden Datensätzen vorkommenden Einzeltiere traten ebenfalls deutliche Unterschiede auf. Sowohl Varianz als auch Standardabweichung der Sichtkontrolle waren

Ergebnisse

bei allen Tieren geringer als bei den Ergebnissen des Auswertungsprogramms. Dies weist auf eine höhere Homogenität der Daten der Sichtkontrolle gegenüber den Daten des Auswertungsprogramms hin.

Tabelle 5-2: Anzahl, Mittelwert, Standardabweichung und Standardfehler des Mittelwertes der Länge der Fressphasen und der Wiederkäuphasen der zwei Auswertungstypen Auswertungsprogramm und Sichtkontrolle

| | Auswertungstyp | Anzahl | Mittelwert | Standardabweichung | Standardfehler des Mittelwertes |
|---|----------------------------|------------|-------------|--------------------|---------------------------------|
| Länge der Fressphasen in Minuten | Sichtkontrolle | 676 | 26,7 | 26,6 | 1,0 |
| | Auswertungsprogramm | 939 | 27,0 | 34,5 | 1,1 |
| Länge der Wiederkäuphasen in Minuten | Sichtkontrolle | 512 | 40,6 | 17,5 | 0,8 |
| | Auswertungsprogramm | 387 | 48,3 | 30,6 | 1,6 |

Tabelle 5-3: Vergleich von Mittelwert, Median, Minimum, Maximum, Standardabweichung und Varianz der Länge der Fressphasen in Minuten der Sichtkontrolle und des Auswertungsprogramms für die in beiden Datensätzen vorkommenden Einzeltieren.

| Tier | Auswertungstyp | Länge der Fressphasen in Minuten | | | | |
|-------------|----------------------------|---|----------------|----------------|--------------------------------------|----------------|
| | | Median | Minimum | Maximum | Standardabweichung vom Median | Varianz |
| 25 | Auswertungsprogramm | 19,0 | 2,9 | 241,5 | 53,8 | 2889,9 |
| | Sichtkontrolle | 36,2 | 3,9 | 136,5 | 31,5 | 990,7 |
| 38 | Auswertungsprogramm | 11,4 | 3,0 | 158,2 | 33,1 | 1092,7 |
| | Sichtkontrolle | 36,7 | 2,9 | 92,9 | 23,4 | 548,6 |
| 72 | Auswertungsprogramm | 10,1 | 3,1 | 208,4 | 34,9 | 1218,4 |
| | Sichtkontrolle | 18,0 | 3,2 | 208,4 | 40,4 | 1634,1 |
| 138 | Auswertungsprogramm | 24,1 | 3,0 | 235,7 | 52,8 | 2789,1 |
| | Sichtkontrolle | 19,0 | 3,0 | 139,0 | 31,5 | 994,4 |
| 170 | Auswertungsprogramm | 9,0 | 1,5 | 110,2 | 19,3 | 372,0 |
| | Sichtkontrolle | 10,0 | 3,1 | 94,9 | 16,9 | 287,1 |
| 214 | Auswertungsprogramm | 10,9 | 3,5 | 276,8 | 40,0 | 1601,0 |
| | Sichtkontrolle | 12,1 | 3,7 | 61,5 | 17,9 | 320,3 |
| 963 | Auswertungsprogramm | 20,8 | 3,1 | 260,7 | 44,8 | 2008,2 |
| | Sichtkontrolle | 21,4 | 3,1 | 260,7 | 40,9 | 1670,5 |
| 964 | Auswertungsprogramm | 19,3 | 0,9 | 72,7 | 15,0 | 223,7 |
| | Sichtkontrolle | 16,7 | 1,6 | 58,4 | 13,9 | 194,4 |

Ergebnisse

Tabelle 5-4: Vergleich von Mittelwert, Median, Minimum, Maximum, Standardabweichung und Varianz der Länge der Wiederkäuphasen in Minuten der Sichtkontrolle und des Auswertungsprogramms für die in beiden Datensätzen vorkommenden Einzeltieren.

| Tier | Auswertungstyp | Länge der Wiederkäuphasen in Minuten | | | | |
|------|---------------------|--------------------------------------|---------|---------|-------------------------------|---------|
| | | Median | Minimum | Maximum | Standardabweichung vom Median | Varianz |
| 25 | Auswertungsprogramm | 58,9 | 7,5 | 307,0 | 52,9 | 2797,7 |
| | Sichtkontrolle | 48,2 | 14,0 | 81,0 | 14,8 | 217,7 |
| 38 | Auswertungsprogramm | 51,4 | 4,4 | 133,3 | 25,0 | 626,4 |
| | Sichtkontrolle | 41,0 | 1,5 | 82,5 | 18,0 | 322,1 |
| 72 | Auswertungsprogramm | 43,2 | 3,9 | 101,5 | 22,8 | 519,0 |
| | Sichtkontrolle | 44,1 | 21,1 | 99,4 | 18,4 | 337,1 |
| 138 | Auswertungsprogramm | 54,6 | 7,6 | 176,2 | 37,7 | 1422,8 |
| | Sichtkontrolle | 34,5 | 7,6 | 95,6 | 15,8 | 250,5 |
| 170 | Auswertungsprogramm | 16,9 | 3,0 | 47,7 | 14,4 | 206,9 |
| | Sichtkontrolle | 26,9 | 9,8 | 47,7 | 12,7 | 162,2 |
| 214 | Auswertungsprogramm | 43,6 | 4,3 | 146,9 | 29,0 | 839,7 |
| | Sichtkontrolle | 40,0 | 10,5 | 70,7 | 16,1 | 260,1 |
| 963 | Auswertungsprogramm | 38,4 | 14,2 | 107,8 | 20,4 | 414,1 |
| | Sichtkontrolle | 36,6 | 9,8 | 75,0 | 13,5 | 181,8 |
| 964 | Auswertungsprogramm | 41,7 | 4,3 | 98,4 | 16,3 | 264,3 |
| | Sichtkontrolle | 36,1 | 0,9 | 98,4 | 15,4 | 237,8 |

Tabelle 5-5: Signifikanzen von Mann-Whitney-U- und Levene-Test zur Überprüfung auf Varianzunterschiede für die Parameter Länge der Fressphasen in Minuten und Länge der Wiederkäuphasen in Minuten des Auswertungsprogramms und der Sichtkontrolle.

| Parameter | Test auf unterschiedliche Varianz | Signifikanz |
|--------------------------------------|-----------------------------------|-------------|
| Länge der Fressphasen in Minuten | Mann-Whitney-U | ,001 |
| Länge der Wiederkäuphasen in Minuten | Levene-Test | ,000 |

Zur statistischen Überprüfung der Unterschiede der Varianzen zwischen den Stichproben der Sichtkontrolle und des Auswertungsprogramms wurde für den Parameter Länge der Fressphasen in Minuten aufgrund der nicht vorhandenen Normalverteilung (Abbildung 5-3) der nicht parametrische

Ergebnisse

Mann-Whitney-U-Test durchgeführt. Für den normal verteilten Parameter Länge der Wiederkäuphasen in Minuten (Abbildung 5-4) wurde der parametrische Levene-Test angewendet.

Beide Tests weisen einen signifikanten Unterschied in den Varianzen des Mittelwertes der Ergebnisse des Auswertungsprogramms und der Sichtkontrolle auf. (Tabelle 5-5).

Aufgrund der signifikanten Unterschiede zwischen Auswertungsprogramm und Sichtkontrolle und der zuvor beschriebenen Probleme bei der Auswertung mit der Auswertungssoftware wurden alle nachfolgenden Analysen mit den Datensätzen der Auswertung der Messdateien durch die Sichtkontrolle genutzt. Die Anzahl der auswertbaren Tiere reduzierte sich somit auf 9 (Tabelle 5-6).

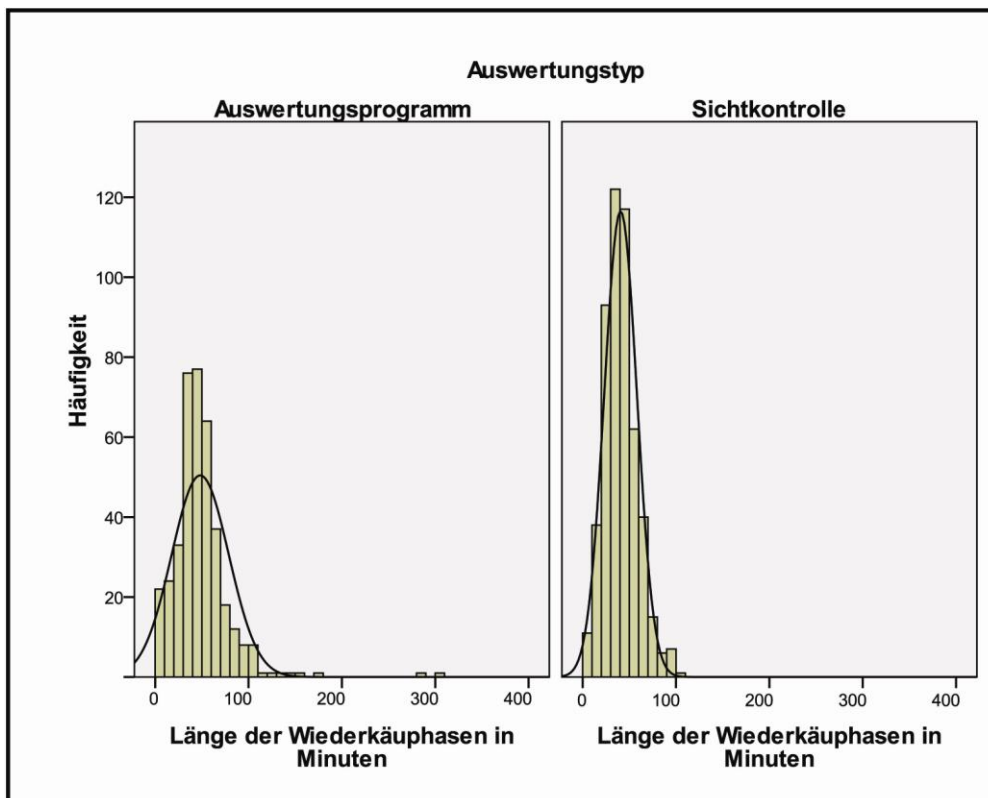


Abbildung 5-3: Histogramm der Länge der Wiederkäuphasen in Minuten der Ergebnisse des Auswertungsprogramms und der Sichtkontrolle

Ergebnisse

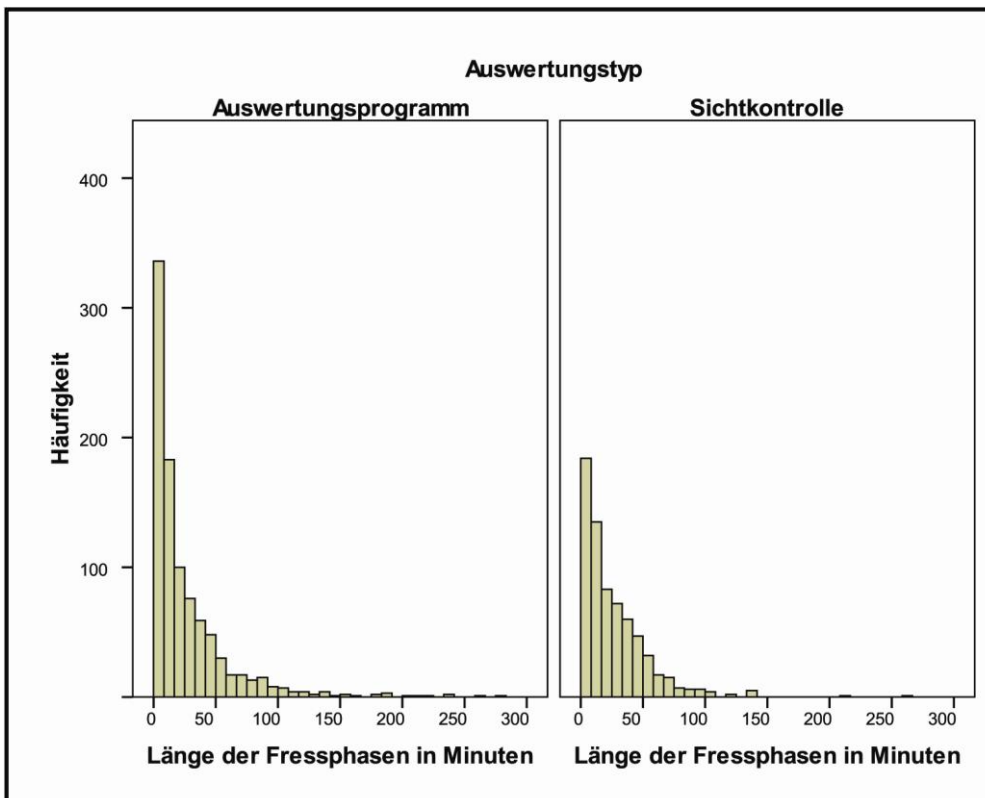


Abbildung 5-4: Histogramm der Länge der Fressphasen in Minuten der Ergebnisse des Auswertungsprogramms und der Sichtkontrolle

Tabelle 5-6: Auswertbare Versuchstiere mit Laktationsnummer und Lebendmasse in Kg

| Versuchstier | Laktationsnummer | Lebendmasse in kg |
|--------------|------------------|-------------------|
| 25 | 3 | 617 |
| 38 | 3 | 673 |
| 72 | 3 | 707 |
| 138 | 1 | 623 |
| 170 | 1 | 670 |
| 214 | 1 | 595 |
| 222 | 1 | 637 |
| 963 | 4 | 612 |
| 964 | 4 | 718 |

5.2 Charakteristika der Wiederkäuboli

5.2.1 Variation in den Charakteristika der Wiederkäuboli

Datenbasis für die Analysen der Parameter Länge des Bolus in Sekunden, Anzahl der Kauschläge pro Bolus und Frequenz Kauschläge pro Sekunde pro Bolus sind die vom Auswertungsprogramm erfassten Boli, welche den Wiederkäuphasen zugeordnet und durch die Sichtkontrolle bestätigt wurden. Aufgrund der unterschiedlichen Anzahl von auswertbaren Messdaten pro Einzeltier (Tabelle 5-1) kam es zu großen Unterschieden in der Anzahl der auswertbaren Boli (Tabelle 5-7, Tabelle 5-8 und Tabelle 5-9) pro Versuchstier (minimale Anzahl von n=242 bei Tier 170 und maximale Anzahl von n=4171 bei Tier 964). Um auf eine vergleichbare homogene Datengrundlage zu kommen, wurde per Zufallsgenerator (Methode nach Mersenne Twister, (Matsumoto & Nishimura, 1998)) für jedes Tier genau 500 Boli ausgewählt. Diese Zahl an Boli wurde gewählt, da sie eine größtmögliche Zahl der Versuchstiere mit einer möglichst großen Anzahl von Einzelboli verbindet.

In Tabelle 5-10, Tabelle 5-11 und sind die Streuung (Mittelwert, Median, Minimum, Maximum, Standardabweichung) und Variation (Varianz, mittelwertbasierter Varianzkoeffizient (Standardabweichung / Mittelwert * 100), medianbasierter Varianzkoeffizient (Standardabweichung / Median * 100) inter- und intraindividuelle Variation) der Daten für die Einzeltiere aufgelistet für die Parameter Länge des Bolus in Sekunden, Anzahl der Kauschläge pro Bolus und Frequenz der Kauschläge pro Sekunde pro Bolus.

Tabelle 5-7: Anzahl der erfassten Einzelboli und Streuung der Länge des Bolus in Sekunden der Einzeltiere im verwendeten Datensatz

| Versuchstier | Länge des Bolus in Sekunden | | | | |
|--------------|-----------------------------|--------|---------|---------|-------------------------------|
| | Anzahl | Median | Minimum | Maximum | Standardabweichung vom Median |
| 25 | 859 | 54,5 | 15,1 | 72,9 | 11,5 |
| 38 | 2388 | 53,1 | 15,1 | 74,7 | 12,6 |
| 72 | 1111 | 50,4 | 15,1 | 74,8 | 11,9 |
| 138 | 308 | 50,8 | 15,2 | 68,1 | 10,5 |
| 170 | 242 | 44,5 | 15,6 | 63,6 | 11,1 |
| 214 | 651 | 47,0 | 15,3 | 71,8 | 12,7 |
| 222 | 905 | 38,2 | 15,1 | 74,3 | 10,5 |
| 963 | 712 | 43,1 | 15,1 | 68,3 | 10,8 |
| 964 | 4171 | 36,1 | 15,1 | 74,7 | 12,5 |

Ergebnisse

Tabelle 5-8: Anzahl der erfassten Einzelboli und Streuung der Anzahl der Kauschläge pro Bolus der Einzeltiere im verwendeten Datensatz

| | Anzahl der Kauschläge pro Bolus | | | | |
|---------------------|--|---------------|----------------|----------------|--------------------------------------|
| Versuchstier | Anzahl | Median | Minimum | Maximum | Standardabweichung vom Median |
| 25 | 859 | 68 | 17 | 247 | 20 |
| 38 | 2388 | 60 | 12 | 306 | 26 |
| 72 | 1111 | 88 | 18 | 239 | 34 |
| 138 | 308 | 96 | 20 | 173 | 26 |
| 170 | 242 | 57 | 17 | 138 | 18 |
| 214 | 651 | 59 | 15 | 185 | 38 |
| 222 | 905 | 50 | 17 | 207 | 19 |
| 963 | 712 | 56 | 16 | 125 | 19 |
| 964 | 4171 | 33 | 9 | 159 | 15 |

Tabelle 5-9: Anzahl der erfassten Einzelboli und Streuung der Frequenz der Kauschläge pro Sekunde pro Bolus der Einzeltiere im verwendeten Datensatz

| | Frequenz der Kauschläge pro Sekunde pro Boli | | | | |
|---------------------|---|---------------|----------------|----------------|--------------------------------------|
| Versuchstier | Anzahl | Median | Minimum | Maximum | Standardabweichung vom Median |
| 25 | 859 | 1,2 | 1,0 | 4,1 | 0,3 |
| 38 | 2388 | 1,1 | 0,8 | 4,1 | 0,4 |
| 72 | 1111 | 1,9 | 0,9 | 4,2 | 0,4 |
| 138 | 308 | 1,9 | 1,2 | 3,0 | 0,3 |
| 170 | 242 | 1,3 | 1,0 | 2,3 | 0,2 |
| 214 | 651 | 1,2 | 1,0 | 3,6 | 0,6 |
| 222 | 905 | 1,3 | 1,0 | 4,5 | 0,3 |
| 963 | 712 | 1,3 | 0,9 | 2,8 | 0,3 |
| 964 | 4171 | 0,9 | 0,6 | 2,6 | 0,2 |

Ergebnisse

Tabelle 5-10: Streuung und Variation des Parameters Länge des Bolus in Sekunden für die Versuchstiere im Datensatz mit 500 Boli pro Einzeltier.

| N=500 | Länge des Bolus in Sekunden | | | | | | |
|-------------------------|-----------------------------|---------|---------|--------------------------------|---------|----------------------------------|-----------------------------|
| | Median | Minimum | Maximum | Standard-abweichung vom Median | Varianz | Varianz-koeffizient % Mittelwert | Varianz-koeffizient% Median |
| 25 | 54,1 | 15,1 | 72,9 | 11,5 | 132,8 | 22,6 | 21,3 |
| 38 | 52,8 | 15,2 | 74,3 | 12,3 | 150,8 | 24,3 | 23,3 |
| 72 | 51,0 | 15,1 | 74,8 | 11,8 | 139,1 | 24,3 | 23,1 |
| 214 | 46,7 | 15,3 | 69,2 | 12,5 | 156,1 | 28,1 | 26,8 |
| 222 | 38,4 | 15,2 | 73,4 | 10,6 | 112,3 | 28,5 | 27,6 |
| 963 | 43,2 | 15,1 | 68,3 | 10,8 | 115,6 | 27,0 | 24,9 |
| 964 | 36,5 | 15,1 | 71,6 | 12,6 | 159,8 | 34,2 | 34,6 |
| Interindividuell | 46,0 | 15,1 | 74,8 | 13,0 | 170,2 | 29,6 | 28,4 |
| Intraindividuell | 46,1 | 15,1 | 72,1 | 11,7 | 138,1 | 27,0 | 25,9 |

Tabelle 5-11: Streuung und Variation des Parameters Anzahl der Kauschläge pro Bolus für die Versuchstiere im Datensatz mit 500 Boli pro Einzeltier.

| N=500 | Anzahl der Kauschläge pro Bolus | | | | | | |
|-------------------------|---------------------------------|---------|---------|--------------------------------|---------|----------------------------------|-----------------------------|
| | Median | Minimum | Maximum | Standard-abweichung vom Median | Varianz | Varianz-koeffizient % Mittelwert | Varianz-koeffizient% Median |
| 25 | 67,0 | 17,0 | 247,0 | 21,0 | 440,0 | 31,2 | 31,3 |
| 38 | 61,0 | 12,0 | 140,0 | 24,0 | 592,0 | 37,3 | 39,9 |
| 72 | 91,0 | 18,0 | 239,0 | 34,0 | 1167,0 | 36,3 | 37,5 |
| 214 | 59,0 | 15,0 | 182,0 | 39,0 | 1510,0 | 56,0 | 65,9 |
| 222 | 50,0 | 17,0 | 162,0 | 19,0 | 370,0 | 38,2 | 38,5 |
| 963 | 56,0 | 16,0 | 125,0 | 19,0 | 358,0 | 33,7 | 33,8 |
| 964 | 33,0 | 9,0 | 119,0 | 14,0 | 208,0 | 40,7 | 43,7 |
| Interindividuell | 58,0 | 9,0 | 247,0 | 31,0 | 949,0 | 49,2 | 53,1 |
| Intraindividuell | 59,6 | 14,9 | 173,4 | 24,4 | 663,7 | 39,0 | 41,5 |

Ergebnisse

Tabelle 5-12: Streuung und Variation des Parameters Frequenz der Kauschläge pro Sekunde pro Bolus für die Versuchstiere im Datensatz mit 500 Boli pro Einzeltier.

| N=500 | Frequenz der Kauschläge pro Sekunde pro Bolus | | | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------|-----------------------------------|---------|---------------------------------|----------------------------|
| | Median | Minimum | Maximum | Standardabweichung vom Mittelwert | Varianz | Varianzkoeffizient % Mittelwert | Varianzkoeffizient% Median |
| 25 | 1,2 | 1,0 | 4,1 | 0,4 | 0,1 | 26,2 | 28,4 |
| 38 | 1,1 | 0,8 | 2,9 | 0,4 | 0,1 | 28,3 | 32,8 |
| 72 | 2,0 | 0,9 | 3,7 | 0,4 | 0,2 | 22,0 | 21,6 |
| 214 | 1,2 | 0,9 | 3,6 | 0,6 | 0,3 | 39,0 | 48,6 |
| 222 | 1,3 | 1,0 | 4,5 | 0,3 | 0,1 | 24,2 | 25,4 |
| 963 | 1,3 | 0,9 | 2,8 | 0,3 | 0,1 | 22,4 | 23,7 |
| 964 | 0,9 | 0,6 | 2,6 | 0,2 | 0,0 | 16,0 | 16,3 |
| Interindividuell | 1,2 | 0,6 | 4,5 | 0,5 | 0,2 | 33,3 | 37,4 |
| Intraindividuell | 1,3 | 0,9 | 3,5 | 0,4 | 0,1 | 25,8 | 28,1 |

Die Charakteristika der Wiederkäuboli wiesen eine große tierindividuelle Variation zwischen den Einzeltieren auf. Die Milchkühe kauten im Mittel 46 ± 12 Sekunden wieder und vollzogen in dieser Zeit 60 ± 25 Kauschläge bei einer mittleren Kauschlagfrequenz von $1,3 \pm 0,4$ Kauschlägen pro Sekunde. Für alle drei Parameter war die interindividuelle Variation größer als die intraindividuelle Variation. Die Dauer des Wiederkäubolus zeigte nur eine geringfügige Differenz zwischen interindividueller und intraindividueller Variation von 2,6%, wogegen die Anzahl der Kauschläge pro Bolus mit 10,2 % und die Frequenz der Kauschläge pro Bolus mit 8,5% eine größere Differenz aufwiesen. Die Anzahl der Kauschläge pro Bolus und die Frequenz der Kauschläge pro Bolus unterliegen einem größeren intraindividuellen und auch interindividuellen Einfluss als die Wiederkäudauer pro Bolus.

5.2.2 Einflussfaktoren auf die Charakteristika der Wiederkäuboli

5.2.2.1 Statistische Vorgehensweise

Es wurde die Korrelation der Charakteristika der Wiederkäuboli (Länge des Bolus in Sekunden, Anzahl der Kauschläge pro Bolus und der Frequenz der Kauschläge pro Sekunde und Bolus) mit den erfassten Einflussfaktoren berechnet (Tabelle 11-2). Wie bereits in 4.3.3 beschrieben wurden die Einflussfaktoren in unterschiedlichen Zeitabständen erfasst. Um den unterschiedlichen Messniveaus der in die Berechnung der Korrelation aufgenommenen Faktorenrechnung zu tragen, wurde der Spearman-Rho-Korrelationskoeffizient angewendet. Zur verbalen Beschreibung der Größe des Korrelationskoeffizienten wurde Abstufungen nach Achim Bühl (Bühl, 2008) verwendet (Tabelle

5-13).

Tabelle 5-13: Interpretation des Wertes des Korrelationskoeffizienten „r“ (Bühl, 2008).

| Wert des Korrelationskoeffizienten r | Interpretation |
|--------------------------------------|--------------------------|
| $0 < r \leq 0,2$ | Sehr geringe Korrelation |
| $0,2 < r \leq 0,5$ | Geringe Korrelation |
| $0,5 < r \leq 0,7$ | Mittlere Korrelation |
| $0,7 < r \leq 0,9$ | Hohe Korrelation |
| $0,9 < r \leq 1$ | Sehr hohe Korrelation |

Um wechselseitige Beziehungen der Einflussfaktoren untereinander besser darzustellen, wurde im nächsten Schritt eine multiple lineare Regression berechnet (Tabelle 11-3). Voraussetzung der multiplen linearen Regression ist, dass nur metrische Einflussfaktoren, die nicht untereinander korreliert sind, in die Berechnung einfließen. Folgende Einflussfaktoren wurden daher nicht in die Berechnung aufgenommen: Untersuchungstier (nominale Variable), Fett zu Protein Quotient (mit den Variablen Protein Prozent und Fett Prozent korreliert), Fettanteil in der Milch (steht in Abhängigkeit zum Proteinanteil) und Grundfutterfrischmasse (korreliert mit der Trockenmasse). In Tabelle 5-14 sind die Bestimmtheitsmaße der drei berechneten Regressionen dargestellt. Mit den in die Berechnung eingeflossenen Einflussfaktoren konnte nur ein geringer Teil der Variation der drei Parameter erklärt werden. Es scheint also wahrscheinlich das keiner, der als unabhängigen Variablen in die Berechnung eingegangene Einflussfaktoren einen linearen Einfluss auf die Charakteristika der Wiederkäuboli hat.

Tabelle 5-14: Bestimmtheitsmaße der Regressionsmodelle für die Charakteristika der Wiederkäuboli

| Abhängige Variable | Bestimmtheitsmaß (R ²) |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| Länge des Bolus in Sekunden | 0,18 |
| Kauschläge pro Bolus | 0,42 |
| Frequenz der Kauschläge pro Bolus | 0,36 |

Vielmehr hat man es mit vielfachen Wechselbeziehungen der Einflussfaktoren untereinander zu tun. Welche Einflussfaktor dabei aber mehr ins Gewicht fällt und welcher nicht kann mit der multiplen Regression nicht geklärt werden. Zur Erfassung der Gewichtung der Einflussfaktoren wurde als dritte statistische Methode eine Regressionsbaumanalyse berechnet. Die Regressionsbaumanalyse stellt eine Weiterentwicklung der multiplen Regression dar (Breimann, 1984). Im Unterschied zur multiplen linearen Regression ermöglicht die Regressionsbaumanalyse zum einen die Verwendung von metrisch und auch nominal skalierte Erklärungsvariablen (in diesem Fall die Variable Untersuchungstier), als auch eine Rangierung der Einflussfaktoren nach der Größe ihres Einflusses

Ergebnisse

auf den jeweiligen Boliparameter. Die Regressionsbaumanalyse unterteilt die unabhängigen Variablen sukzessive in Klassen. Die Klassen werden dabei so gewählt, dass die Abweichungsquadrate minimiert werden. Die Daten wurden solange in Klassen unterteilt, bis eine erneute Teilung keine Erhöhung des Bestimmtheitsmaßes um mindestens 0,01 ergab.

5.2.2.2 Wechselseitige Beeinflussungen der Charakteristika der Wiederkäuboli

Die Parameter Länge des Bolus in Sekunden und Anzahl Kauschläge pro Bolus wiesen eine hohe Korrelation ($r = 0,787$) auf (Tabelle 11-2). Die Berechnung der linearen Regression für die beiden Faktoren für die Werte aller Tiere ergab ein R^2 von 0,51 (Abbildung 5-5). Es besteht also ein direkter Zusammenhang zwischen der Anzahl der Kauschläge pro Bolus und der Wiederkäudauer pro Bolus. Dieser ist aber nicht linear, sodass es weitere Einflussfaktoren auf die Ausprägung der beiden Boliparameter geben muss.

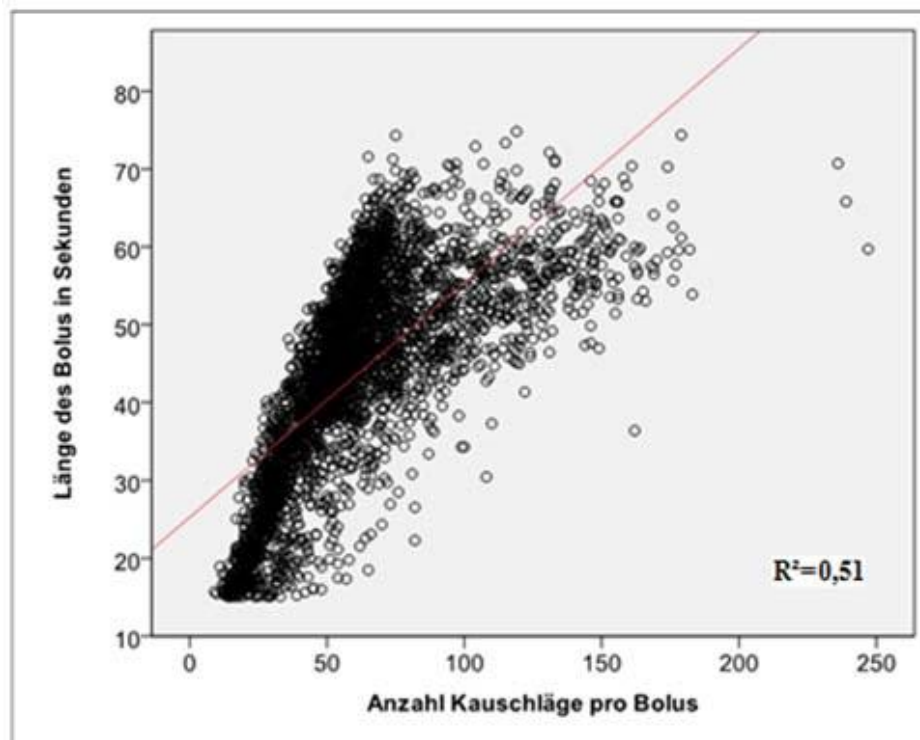


Abbildung 5-5: Streudiagramm, Linie der linearen Regression und Regressionskoeffizient der Länge des Bolus in Sekunden zur Anzahl der Kauschläge pro Bolus über alle Tiere

Die linearen Regressionen der Daten der Einzeltiere wiesen große Unterschiede im Bestimmtheitsmaß auf (Abbildung 5-6). Dies weist darauf hin, dass die Versuchstiere starke Unterschiede in der Frequenz der Kauschläge pro Sekunde zeigten. Das hohe Bestimmtheitsmaß des Tieres 964 ($R^2=0.85$) lässt darauf schließen, dass dieses Tier nur wenig Variation in der Frequenz der Kauschläge zeigte. Dies spiegelte sich auch im geringen tierindividuellen Variationskoeffizienten der Frequenz der Kauschläge pro Bolus von 16,1% (Tabelle 5-12) wieder. Das Tier 214 wies dagegen

Ergebnisse

eine hohe Variation in der Frequenz der Kauschläge pro Bolus auf (39,0 %) auf, was sich auch an der Punktwolke im Streudiagramm (Abbildung 5-6) ($R^2=0,49$) gut nachvollziehen lässt. Dies lässt den Schluss zu, dass bei einer Erhöhung des Fasergehalts in der Ration, das Tier 964 diesen eher durch eine verlängerte Wiederkäudauer pro Bolus kompensiert, während das Tier 214 voraussichtlich mit einer erhöhten Frequenz der Kauschläge pro Bolus reagieren würde.

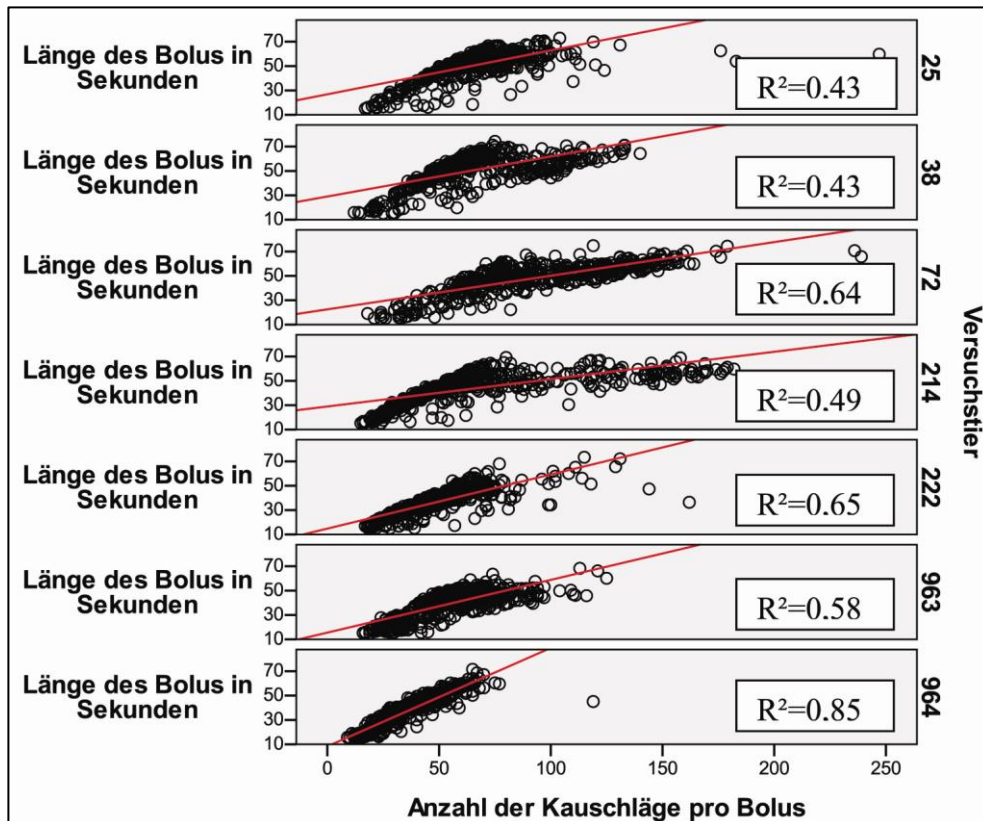


Abbildung 5-6: Streudiagramm, Linie der linearen Regression und Regressionskoeffizient der Länge des Bolus in Sekunden zur Anzahl der Kauschläge pro Bolus der Einzeltiere.

Die Frequenz der Kauschläge pro Bolus zeigte eine geringe Korrelation mit der Länge des Bolus in Sekunden ($r = 0,21$) und eine hohe Korrelation mit der Anzahl der Kauschläge pro Bolus ($r = 0,71$). Das gleiche Bild zeigte sich bei der Berechnung der linearen Regressionen (Abbildung 5-7). In den Streudiagrammen der Einzeltiere zeigte sich wieder eine starke tierindividuelle Variation (Abbildung 5-8 und Abbildung 5-9).

Ergebnisse

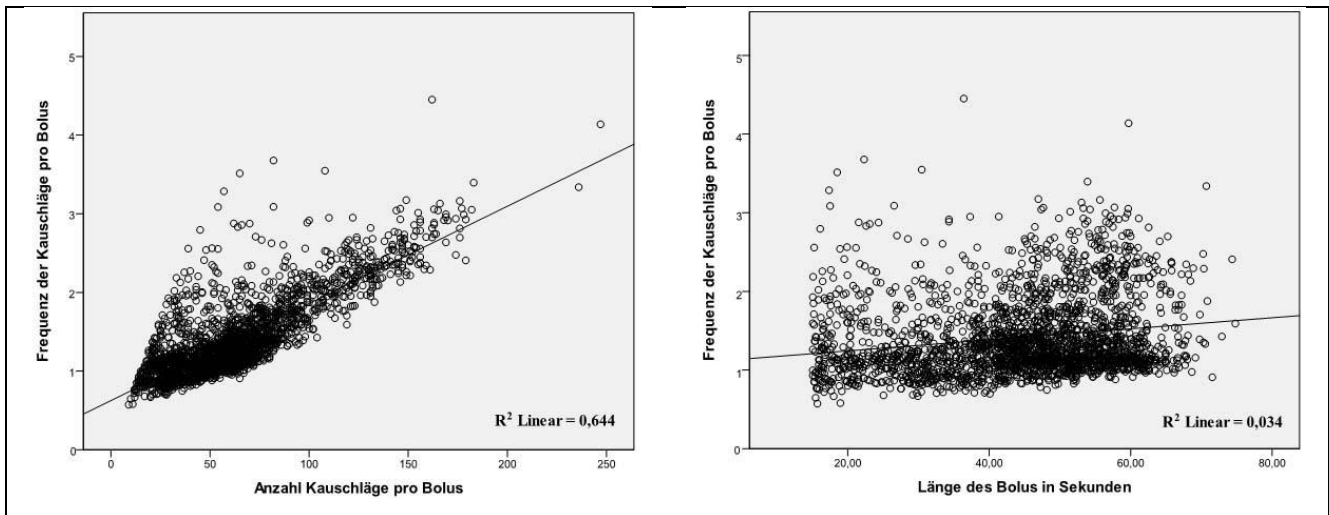


Abbildung 5-7: Streudiagramm, Linie der linearen Regression und Regressionskoeffizient über alle Tiere der Frequenz der Kauschläge pro Bolus zur Anzahl der Kauschläge pro Bolus (links) und Länge des Bolus in Sekunden (rechts).

Bezieht man diese Diagramme wieder auf die oben erwähnten Versuchstiere 214 und 964, so zeigten sich auch in der Frequenz der Kauschläge pro Bolus die unterschiedlichen Strategien der Tiere. Das geringe Bestimmtheitsmaß der Frequenz der Kauschläge pro Bolus zur Länge des Bolus in Sekunde des Tieres 964 ($R^2=0,04$) zeigt, dass dieses Tier auch bei längeren Boli eine nahezu konstante Frequenz der Kauschläge hat. Das Tier 214 weist hin des eine starke Beziehung der Frequenz der Kauschläge pro Bolus zu der Anzahl der Kauschläge auf ($R^2= 0,79$) bei gleichzeitiger Tendenz bei längeren Boli die Frequenz der Kauschläge pro Bolus zu erhöhen. Für eine Betrachtung der tierindividuellen Variation scheint die Variable Frequenz der Kauschläge pro Bolus alleine nur wenig geeignet, da sie mit einem hohen Bestimmtheitsmaß ($R^2=0,91$) von den beiden Variablen Länge des Bolus in Sekunden und Anzahl der Kauschläge pro Bolus determiniert wird. Berücksichtigt man weiterhin die gezeigten unterschiedlichen Variationsausprägungen von Tier 214 und 964, so scheint eine alleinige Beziehung auf die Frequenz der Kauschläge pro Bolus zur Beschreibung der Wiederkäuaktivität unterschiedlicher Tiere wenig geeignet. Es kann geschlossen werden, dass die Variation in den Wiederkäuboli intraindividuelle durch eine Erhöhung oder Erniedrigung der Anzahl der Kauschläge pro Boli und nicht durch eine Veränderung der Wiederkäudauer pro Boli hervorgerufen wird.

Ergebnisse

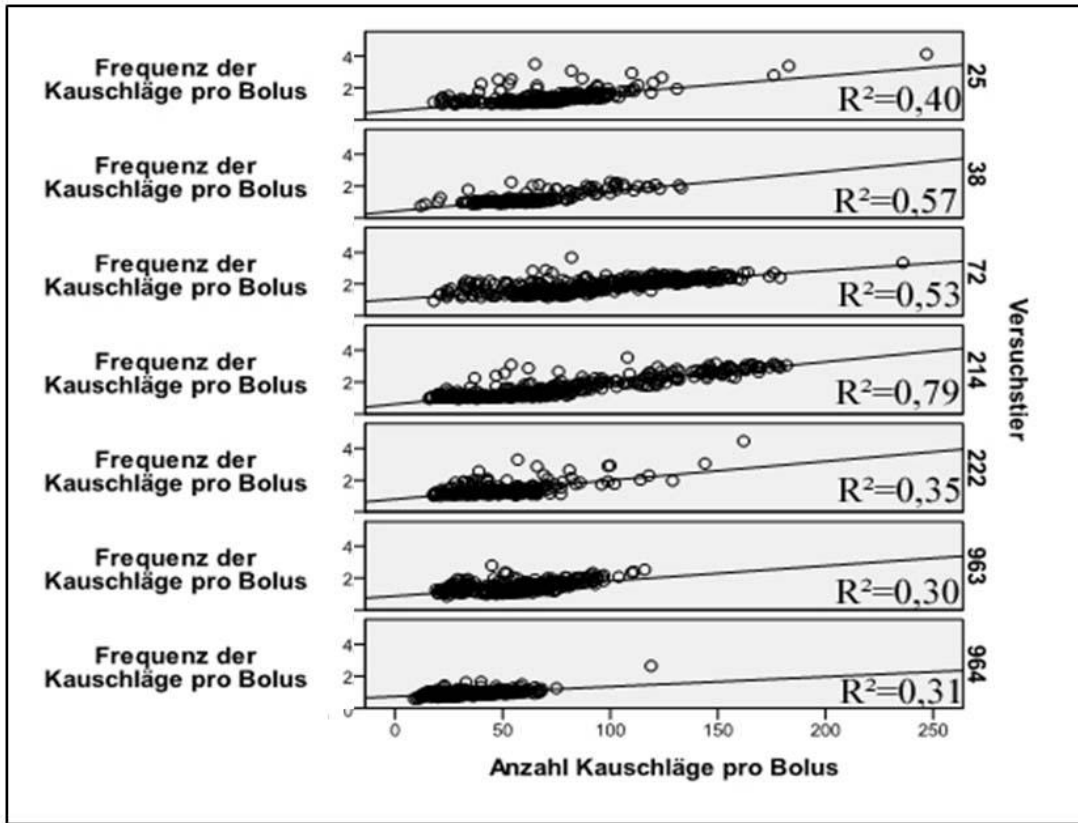


Abbildung 5-8: Streudiagramm, Linie der linearen Regression und Regressionskoeffizient der Frequenz der Kauschläge pro Bolus zur Anzahl der Kauschläge der Einzeltiere.

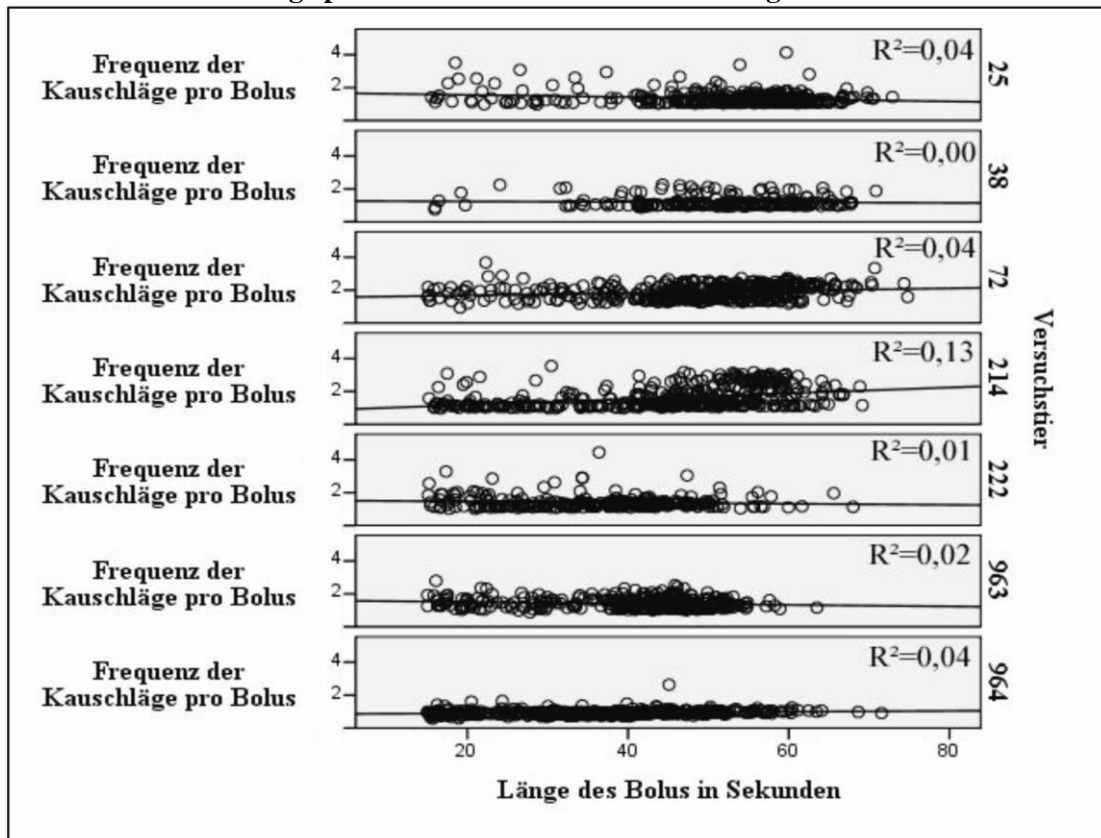


Abbildung 5-9: Streudiagramm, Linie der linearen Regression und Regressionskoeffizient der Frequenz der Kauschläge pro Bolus zur Länge des Bolus der Einzeltiere.

5.2.2.3 Tierindividuelle Einflussfaktoren auf die Charakteristika der Wiederkäuboli

Folgende tierindividuelle Einflussfaktoren wurden einbezogen: Versuchstier, Laktationsnummer, Laktationstag und Lebendmasse in Kg.

Versuchstier

Da es sich bei dem Einflussfaktor „Versuchstier“ um eine nominale Variable handelt, konnten keine linearen Regressionen berechnet werden. Die Korrelationskoeffizienten des Versuchstieres zu den Parametern Länge des Bolus in Sekunden (-0,44) und Anzahl Kauschläge pro Bolus (-0,44) sind mit Abstand die höchsten der erfassten Einflussfaktoren (Tabelle 11-2). Ebenso wies auch die Regressionsbaumanalyse für alle drei Parameter der Charakteristika der Wiederkäuboli das Versuchstier als die Variable mit dem größten Erklärungswert aus (Länge des Bolus in Sekunden 77,3 %, Anzahl Kauschläge pro Bolus 44,5 % und Frequenz der Kauschläge pro Bolus 37,1%).

Laktationsnummer

Die Laktationsnummer war negativ gering korreliert mit dem Parameter Frequenz der Kauschläge pro Bolus pro Sekunde (-0,250, $p < 0,000$) (Tabelle 11-2). In der Berechnung der linearen Regression (Tabelle 11-3) konnte ein höchst signifikanter Zusammenhang zwischen der Laktationsnummer und der Anzahl der Kauschläge pro Bolus und der Frequenz der Kauschläge pro Bolus nachgewiesen werden. In der Regressionsbaumanalyse konnte kein Erklärungswert der Laktationsnummer für die Charakteristika der Wiederkäuboli ermittelt werden (Tabelle 11-7, Tabelle 11-8, Tabelle 11-10).

Laktationstag

Der Laktationstag weist eine geringe Korrelation mit der Länge des Bolus in Sekunden (0,275, $p < 0,000$) auf (Tabelle 11-2). Die linearen Regressionsmodelle der drei Parameter der Charakteristika der Wiederkäuboli (Tabelle 11-3) dokumentieren jeweils einen höchst signifikanten ($p < 0,000$) Zusammenhang. In der Regressionsbaumanalyse wurde kein Erklärungswert des Laktationstages für die Charakteristika der Wiederkäuboli nachgewiesen (Tabelle 11-7, Tabelle 11-8, Tabelle 11-10).

Lebendmasse in Kilogramm

Die Lebendmassen der Versuchstiere wiesen eine geringe höchst signifikante Korrelation mit der Frequenz der Kauschläge pro Bolus auf (-0,238, Tabelle 11-2). Die linearen Regressionen der Lebendmasse mit den Charakteristika der Wiederkäuboli waren alle höchst signifikant (Tabelle 11-3). Ebenso wie bei den beiden vorhergehenden Variablen konnte die Lebendmasse keinen Erklärungswert für die Charakteristika der Wiederkäuboli in der Regressionsbaumanalyse liefern (Tabelle 11-7, Tabelle 11-8, Tabelle 11-10).

Zusammenfassung:

Von den tierindividuellen Einflussfaktoren ist das Versuchstier der einzige Faktor, der für sich betrachtet einen Erklärungswert für die Ausprägung der Charakteristika der Wiederkäuboli liefern kann. Die in 5.2.2.3 nachgewiesenen hohen tierindividuellen Variationen der Charakteristika der Wiederkäuboli bekräftigt dieses Ergebnis. Die drei erfassten tierindividuellen Parameter Laktationsnummer, Laktationstag und Lebendmasse in Kg zeigten zwar bei direktem Vergleich mit den Boliparametern in der Korrelations- und Regressionsanalyse einen Einfluss auf deren Ausprägung sind aber im Zusammenspiel aller Parameter nicht geeignet als Einzelfaktoren einen Erklärungswert zu liefern. Es nicht möglich alleine anhand der Laktationsnummer oder dem Laktationstag oder der Lebendmasse auf die zu erwartende Länge des Bolus, der Anzahl Kauschläge pro Bolus oder der Frequenz der Kauschläge pro Bolus zu schließen. Vielmehr ist Wechselwirkung dieser Parameter untereinander und auch mit weiteren tierindividuellen Parametern, die hier nicht erfasst wurden, wahrscheinlich. Es ist somit unabdingbar für die Erklärung der tierindividuellen Variation der Charakteristika der Wiederkäuboli weitere Untersuchungen mit großen physiologisch homogenen Versuchsgruppen durchzuführen.

5.2.2.4 Einflussfaktoren der Milchinhaltsstoffe auf die Charakteristika der Wiederkäuboli

Erfasst wurden die Milchmenge in Kilogramm, der Prozentanteil von Protein in der Milch, der Prozentanteil Eiweiß in der Milch, der Prozentanteil Laktose in der Milch, der Anteil Harnstoff in Teilen pro Tausend, die Zellzahl in Tausend und die energiekorrigierte Milch in Kilogramm.

Milchmenge (Kg) und energiekorrigierte Milchmenge (Kg)

Milchmenge und energiekorrigierte Milchmenge zeigen in der Korrelationsanalyse keinen Zusammenhang mit den Charakteristika der Wiederkäuboli (Tabelle 11-2). In der Berechnung der linearen Korrelationsmodelle wurde nur die energiekorrigierte Milchmenge einbezogen, da es einen direkten Zusammenhang der Variable zu der realen Milchmenge gibt (Tabelle 11-3). Für die Länge des Bolus in Sekunden konnte keine signifikante Beziehung gefunden werden ($p = 0,554$). Die Anzahl der Kauschläge in Sekunden weist eine signifikante Beziehung ($p = 0,014$) auf. Im Regressionsmodell für den Parameter Frequenz der Kauschläge pro Bolus ist ein höchst signifikanter Zusammenhang zu verzeichnen ($p < 0,000$). In der Regressionsbaumanalyse liefert die Milchmenge für die Länge des Bolus in Sekunden einen Erklärungswert von 5,75 % für die 2 anderen Boliparameter gibt es keinen Erklärungswert der Milchmenge oder der energiekorrigierten Milchmenge (Tabelle 11-7, Tabelle 11-8, Tabelle 11-10).

Fett- und Proteinanteile der Milch

Es konnten nur sehr geringe Korrelationen zwischen dem prozentualen Fett- und Proteingehalt der

Ergebnisse

Milch und den 3 Parametern der Wiederkäuaktivität ermittelt werden (Tabelle 11-2). Aufgrund der direkten Beziehung zwischen Fett- und Proteinanteil in der Milch wurde für die Regressionsanalysen nur der Proteinanteil der Milch in die Berechnungen einbezogen. Für alle drei Modelle der linearen Regression zeigte der Proteinanteil der Milch (Tabelle 11-3) eine höchst signifikante Beziehung. In der Regressionsbaumanalyse (Tabelle 11-7, Tabelle 11-8, Tabelle 11-10) zeigte der Fettanteil in der Milch keinen Erklärungswert für die Länge des Bolus in Sekunden. Die Anzahl der Kauschläge in Sekunden wird im Modell zu 19,69 % vom Fettanteil in der Milch und die Frequenz der Kauschläge pro Bolus zu 32,16 % erklärt.

Zusammenfassung:

Fett- und Proteinanteil in der Milch zeigten eine direkte Beeinflussung der Anzahl Kauschläge pro Bolus und der Frequenz der Kauschläge pro Bolus. Die Milchmenge wies, wenn auch einen relativ geringen, einen Einfluss auf die Länge des Bolus in Sekunden auf. Milchzucker, Harnstoff und die Zellzahl in der Milch zeigten keine direkte Beeinflussung der Boliparameter.

5.2.2.5 Einflussfaktoren der Futteraufnahme auf die Charakteristika der Wiederkäuboli

Erfasst wurden Grundfutteraufnahme (Frischmasse in kg pro Tag und Trockenmasse in kg pro Tag), Kraftfutteraufnahme (in kg) und Futteraufnahmedauer (in Minuten pro Tag). In Tabelle 11-9 ist die Variation der Futteraufnahmeparameter für die Einzeltiere dargestellt. Aufgrund wiederholter Störungen im Kraftfutterautomaten konnten für das Tier 222 keine und bei verschiedenen Einzeltieren an Einzeltagen keine Daten zur Kraftfutteraufnahme erfasst werden. Dies führt dazu, dass nur 2636 Einzelboli aller Tiere ausgewertet werden konnten.

Grundfutteraufnahme:

Für die Grundfutteraufnahme der Frisch- als auch der Trockenmasse konnten keine Zusammenhänge in der Korrelationsanalyse festgestellt werden (Tabelle 11-2).

Das multiple Regressionsmodell der abhängigen Variable Länge des Bolus in Sekunden wies einen signifikanten ($p = 0,045$) Einfluss der Trockenmasseaufnahme auf. Für die abhängige Variable Anzahl der Kauschläge pro Bolus offenbarte das Regressionsmodell einen höchst signifikanten Einfluss. Auch für das Modell der abhängigen Variable Frequenz der Kauschläge pro Bolus zeigt sich ein höchst signifikanter Einfluss der Trockenmasseaufnahme. In den drei Regressionsbaumanalysen (Tabelle 11-7, Tabelle 11-8, Tabelle 11-10) wies die Trockenmasseaufnahme einen hohen Erklärungswert für die Ausprägung des jeweiligen Parameters auf (Modell 1: 11,97%, Modell 2: 28,24% und Modell 3: 28,60%).

Kraftfutteraufnahme

Weder in der multiplen linearen Regressionsanalyse noch in der Berechnung der Korrelation zeigte sich ein bedeutender Einfluss der Kraftfutteraufnahme auf die Charakteristika der Wiederkäuboli.

In der Regressionsbaumanalyse (Tabelle 11-7, Tabelle 11-8, Tabelle 11-10) stellte die Kraftfutteraufnahme 4,99 % des Erklärungswertes für die Länge des Bolus in Sekunden und 2,19 % für die Frequenz der Kauschläge pro Bolus dar.

Futteraufnahmedauer pro Tag

Die Fressdauer pro Tag weist eine geringe Korrelation mit der Frequenz der Kauschläge pro Bolus auf (-0,225) (Tabelle 11-2). In der multiplen linearen Regression ist keine Beeinflussung der Wiederkäudauer durch die Fressdauer pro Tag nachweisbar (Tabelle 11-3). Ebenso liefert die Fressdauer pro Tag keinen Erklärungswert für einen der Parameter in der Regressionsbaumanalyse (Tabelle 11-7, Tabelle 11-8, Tabelle 11-10).

5.2.2.6 Zusammenfassung der Ergebnisse zu den Charakteristika der Wiederkäuboli

Die Charakteristika der Wiederkäuboli weisen eine hohe Abhängigkeit untereinander auf. Werden aber auch durch andere Parameter beeinflusst. Die tierindividuelle Variation ist dabei der größte Einflussfaktor für alle drei Parameter. Es zeigte sich, dass die Anzahl der Kauschläge pro Bolus der größten tierindividuellen Variation unterliegt (53,1 %). Dieser Parameter ist somit die Stellgröße, an der die Versuchstiere die Wiederkäuaktivität in den Boli variieren können. Die Frequenz der Kauschläge pro Bolus wird stark von der Anzahl der Kauschläge pro Bolus beeinflusst und nur im geringen Maße von der Länge des Bolus. Das geringe Bestimmtheitsmaß der multiplen Regression der Länge des Bolus deutet auf eine sehr geringe Beeinflussung durch alle erfassten Variablen hin. Die Länge des Bolus scheint somit fest determiniert zu sein und stellt somit keine Variationsmöglichkeit der Wiederkäuaktivität da. Es zeigten sich aber auch starke Unterschiede zwischen den Einzeltieren, sodass eine abschließende Aussage zu den Variationsmöglichkeiten in den Charakteristika der Wiederkäuboli noch nicht gemacht werden kann. Nach dem Versuchstier war die Trockenmasseaufnahme der Einflussfaktor mit dem zweitgrößten Erklärungswert. Da das Versuchstier aber einen so entscheidenden Einfluss auf die Charakteristika der Wiederkäuboli hat, sind Untersuchungen zur Beeinflussung der Boliparameter durch die Fütterung nur mit möglichst großen homogenen Versuchsgruppen möglich, um den Faktor Tier zu eliminieren. Dasselbe gilt für die Kraftfutteraufnahme, die Milchmenge und den Fett/Proteinanteil der Milch.

5.3 Boliparameter als Prädiktoren der gesamten Wiederkäudauer pro Tag

In Tabelle 5-15 sind die Spearman-Rho-Korrelationskoeffizienten der einzelnen Boliparameter und

Ergebnisse

die Wiederkäudauer pro Tag dargestellt. Die unterschiedlichen N-Anzahlen beruhen darauf, dass nicht für jeden Tag die gesamte Wiederkäudauer erfasst werden konnte (siehe 5.1.1). Es zeigten sich nur geringe Korrelationen der Wiederkäudauer mit der Boluslänge und der Anzahl der Kauschläge pro Bolus und eine sehr geringe Korrelation mit der Frequenz der Kauschläge pro Bolus der Daten aller Tiere.

Tabelle 5-15: Spearman-Rho Korrelationskoeffizient, Signifikanz (2-seitig) und zugrunde liegende N-Anzahl der Boliparameter und der Wiederkäudauer pro Tag der Einzeltiere. Signifikante Korrelationskoeffizienten sind hervorgehoben.

| Parameter | Versuchstier | Wiederkäudauer pro Tag | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------------------------|------------------------|-------|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|---------------|
| | | 25 | 38 | 72 | 214 | 222 | 963 | 964 | Alle |
| Länge des Bolus in Sekunden | Korrelationskoeffizient | ,025 | ,099 | ,144** | ,316** | . ^a | -,172** | ,158** | ,232** |
| | Sign. (2-seitig) | ,637 | ,141 | ,004 | ,000 | . | ,001 | ,002 | ,000 |
| | N | 351 | 223 | 392 | 383 | 264 | 359 | 389 | 2361 |
| Anzahl Kauschläge pro Bolus | Korrelationskoeffizient | ,175** | -,033 | ,136** | ,652** | . ^a | -,348** | ,205** | ,257** |
| | Sign. (2-seitig) | ,001 | ,622 | ,007 | ,000 | . | ,000 | ,000 | ,000 |
| | N | 351 | 223 | 392 | 383 | 264 | 359 | 389 | 2361 |
| Frequenz der Kauschläge pro Bolus | Korrelationskoeffizient | ,219** | -,099 | ,065 | ,680** | . ^a | -,309** | ,186** | ,146** |
| | Sign. (2-seitig) | ,000 | ,140 | ,197 | ,000 | . | ,000 | ,000 | ,000 |
| | N | 351 | 223 | 392 | 383 | 264 | 359 | 389 | 2361 |

Für die Daten der Einzeltiere ergab sich ein sehr inhomogenes Bild. Die Tiere 38 und 222 wiesen keine signifikanten Korrelationen auf, was an der niedrigen Anzahl auswertbarer Boli liegen mag. Versuchstiere 964, 963, 72 und 25 hatten für die Boliparameter und die Wiederkäudauer pro Tag nur geringe bis sehr geringe Korrelationen. Einzig das Tier 214 zeigte für die Parameter Anzahl der Kauschläge pro Bolus und Frequenz der Kauschläge pro Bolus mittlere Korrelationskoeffizienten ($r = 0,652$ bzw. $r = 0,680$). Aufgrund der zuvor gezeigten tierindividuellen Variation in den Boliparametern und deren breiter Streuung war dieses inhomogene Ergebnis zu erwarten. Dies bedeutet aber auch, dass anhand der Charakteristika der Wiederkäuboli keine Vorhersage der Wiederkäudauer pro Tag möglich ist.

5.4 Charakteristika der Wiederkäuphasen

5.4.1 Variation in den Charakteristika der Wiederkäuphasen

Als Variablen zur Charakterisierung der Wiederkäuparameter wurden die Länge der Wiederkäuphase in Minuten, die Anzahl der Boli pro Wiederkäuphase und die Anzahl der Kauschläge in der Wiederkäuphase gewählt. Aufgrund der in 5.1.1 dargelegten unterschiedlichen Datengrundlage wurden für jedes Versuchstier per Zufallsgenerator (Methode nach Mersenne Twister, (Matsumoto &

Ergebnisse

Nishimura, 1998)) genau 20 Wiederkäuphasen ausgewählt. In der Tabelle 5-16, der Tabelle 5-17 und der Tabelle 5-18 sind die Mittelwerte, Mediane, Minima, Maxima, Standardabweichungen, Varianzen und Varianzkoeffizienten der drei Parameter für die Einzeltiere, als auch inter- und intraindividuell dargestellt.

Tabelle 5-16: Streuung und Varianz des Parameters Länge der Wiederkäupphase in Minuten für die Versuchstiere im Datensatz mit 20 Einzelphasen pro Einzeltier, als auch inter- und intraindividuelle Variation.

| N=20 | Länge der Wiederkäupphase | | | | | | | |
|-------------------------|---------------------------|--------|---------|---------|--------------------|---------|------------------------------------|--------------------------------|
| Versuchstier | Mittelwert | Median | Minimum | Maximum | Standardabweichung | Varianz | Varianzkoeffizient % Mittelwert | Varianzkoeffizient % Median |
| 25 | 65,13 | 63,47 | 32,9 | 108,64 | 22,56 | 508,74 | 34,63 | 35,54 |
| 38 | 49,98 | 51,04 | 4,66 | 108,81 | 21,47 | 460,83 | 42,96 | 42,06 |
| 72 | 49,97 | 45,49 | 13,91 | 101,47 | 19,59 | 383,69 | 39,2 | 43,06 |
| 170 | 22,51 | 18,1 | 3,03 | 47,72 | 14,22 | 202,11 | 63,15 | 78,56 |
| 214 | 53,02 | 52,55 | 4,34 | 146,91 | 32,2 | 1037,14 | 60,75 | 61,29 |
| 222 | 42,02 | 33,62 | 6,21 | 97,73 | 24,15 | 583,26 | 57,48 | 71,83 |
| 963 | 42,71 | 38,65 | 20,77 | 107,75 | 18,34 | 336,45 | 42,95 | 47,46 |
| 964 | 37,14 | 32,74 | 3,05 | 78,51 | 16,96 | 287,76 | 45,67 | 51,82 |
| Interindividuell | 45,31 | 41,96 | 11,11 | 99,69 | 21,19 | 474,99 | 46,76 | 50,5 |
| Intraindividuell | 45,31 | 42,92 | 3,03 | 146,91 | 24,34 | 592,44 | 53,72 | 56,71 |

Die Charakteristika der Wiederkäupphase wiesen eine hohe tierindividuelle Variation auf. Eine Wiederkäupphase dauerte im Mittel $45,3 \pm 24$ Minuten. Eine Wiederkäupphase bestand im Mittel aus 43 ± 22 Einzelboli mit 3357 ± 2469 Kauschlägen. Der interindividuelle Varianzkoeffizient war mittelwertbasiert als auch medianbasiert bei allen drei Charakteristika der Wiederkäuboli niedriger als der intraindividuelle Variationskoeffizient. Sowohl der interindividuelle als auch der intraindividuelle Variationskoeffizient sind mit über 50 % bei allen drei Parametern sehr hoch.

Ergebnisse

Tabelle 5-17: Streuung und Varianz des Parameters Anzahl Boli in der Wiederkäupphase für die Versuchstiere im Datensatz mit 20 Einzelphasen pro Einzeltier, als auch inter- und intraindividuelle Variation.

| N=20 | | Anzahl Boli in der Wiederkäupphase | | | | | | |
|-------------------------|------------|------------------------------------|---------|---------|--------------------|---------|---------------------------------|-----------------------------|
| Versuchstier | Mittelwert | Median | Minimum | Maximum | Standardabweichung | Varianz | Varianzkoeffizient % Mittelwert | Varianzkoeffizient % Median |
| 25 | 59,35 | 59,50 | 31,00 | 99,00 | 19,69 | 387,50 | 33,17 | 33,08 |
| 38 | 45,40 | 46,00 | 2,00 | 99,00 | 21,03 | 442,46 | 46,33 | 45,73 |
| 72 | 43,40 | 39,00 | 12,00 | 88,00 | 17,06 | 290,88 | 39,30 | 43,73 |
| 170 | 21,90 | 18,50 | 2,00 | 59,00 | 15,12 | 228,73 | 69,06 | 81,75 |
| 214 | 46,85 | 48,50 | 3,00 | 121,00 | 26,43 | 698,77 | 56,42 | 54,50 |
| 222 | 44,55 | 38,00 | 5,00 | 101,00 | 25,85 | 668,26 | 58,03 | 68,03 |
| 963 | 42,80 | 38,50 | 20,00 | 102,00 | 17,26 | 297,96 | 40,33 | 44,83 |
| 964 | 40,65 | 35,50 | 1,00 | 84,00 | 19,19 | 368,13 | 47,20 | 54,05 |
| Interindividuell | 43,11 | 40,44 | 9,50 | 94,13 | 20,20 | 422,84 | 46,86 | 49,96 |
| Intraindividuell | 43,11 | 39,50 | 1,00 | 121,00 | 22,30 | 497,45 | 51,73 | 56,46 |

Tabelle 5-18: Streuung und Varianz des Parameters Anzahl Kauschläge pro Wiederkäupphase für die Versuchstiere im Datensatz mit 20 Einzelphasen pro Einzeltier, als auch inter- und intraindividuelle Variation.

| N=20 | | Anzahl Kauschläge pro Wiederkäupphase | | | | | | |
|-------------------------|------------|---------------------------------------|---------|----------|--------------------|-------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Versuchstier | Mittelwert | Median | Minimum | Maximum | Standardabweichung | Varianz | Varianzkoeffizient % Mittelwert | Varianzkoeffizient % Median |
| 25 | 4937,40 | 4528,00 | 2033,00 | 8906,00 | 2012,09 | 4048508,04 | 40,75 | 44,44 |
| 38 | 3506,05 | 3413,50 | 293,00 | 7956,00 | 1736,31 | 3014762,05 | 49,52 | 50,87 |
| 72 | 4517,00 | 4745,00 | 601,00 | 8418,00 | 1858,36 | 3453488,95 | 41,14 | 39,16 |
| 170 | 1639,60 | 1241,00 | 288,00 | 3200,00 | 1077,41 | 1160812,67 | 65,71 | 86,82 |
| 214 | 4558,30 | 3117,50 | 283,00 | 20173,00 | 4412,32 | 19468555,80 | 96,80 | 141,53 |
| 222 | 2856,30 | 2084,50 | 552,00 | 9059,00 | 2331,11 | 5434053,69 | 81,61 | 111,83 |
| 963 | 2947,80 | 2675,50 | 961,00 | 7529,00 | 1391,70 | 1936842,27 | 47,21 | 52,02 |
| 964 | 1889,60 | 1496,00 | 705,00 | 4209,00 | 1040,63 | 1082909,73 | 55,07 | 69,56 |
| Interindividuell | 3356,51 | 2912,63 | 714,50 | 8681,25 | 1982,49 | 4949991,65 | 59,06 | 68,07 |
| Intraindividuell | 3356,51 | 2836,00 | 283,00 | 20173,00 | 2468,66 | 6094265,03 | 73,55 | 87,05 |

5.4.2 Einflussfaktoren auf die Charakteristika der Wiederkäuboli

5.4.2.1 Wechselseitige Beeinflussungen der Charakteristika der Wiederkäuphasen

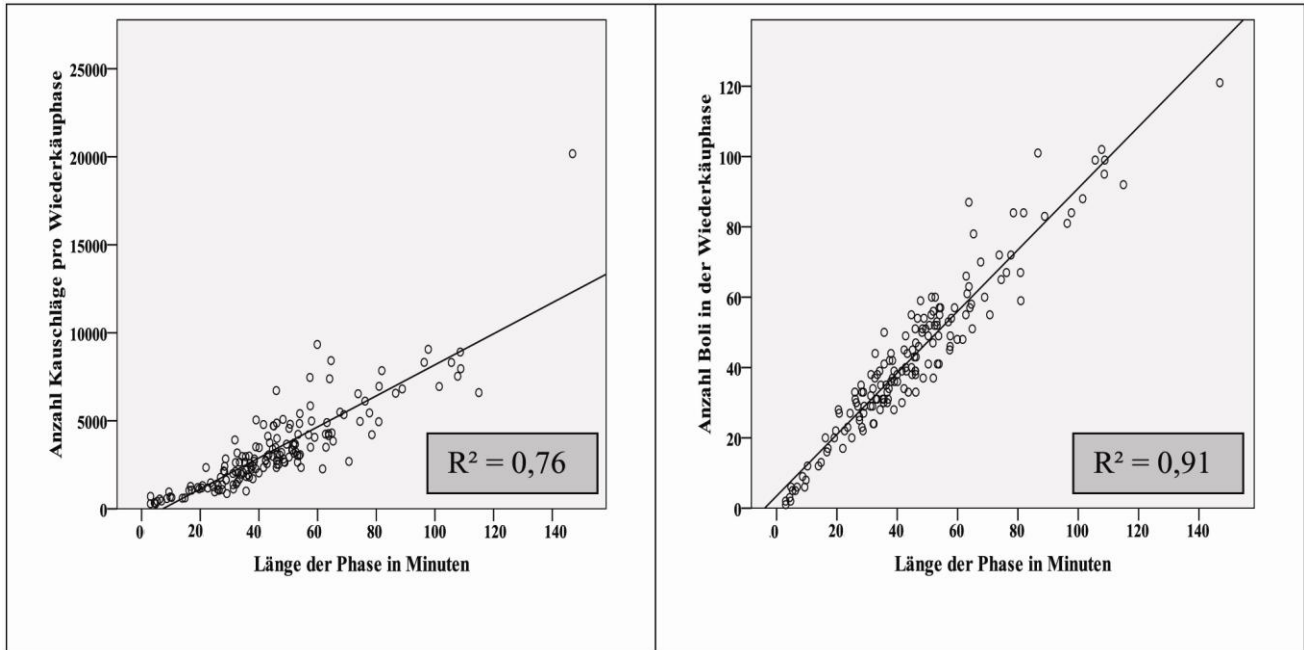


Abbildung 5-10: Streudiagramm der Länge der Wiederkäuphase in Minuten zur Anzahl der Kauschläge pro Wiederkäuphase (links) und Anzahl der Boli in der Wiederkäuphase (rechts).

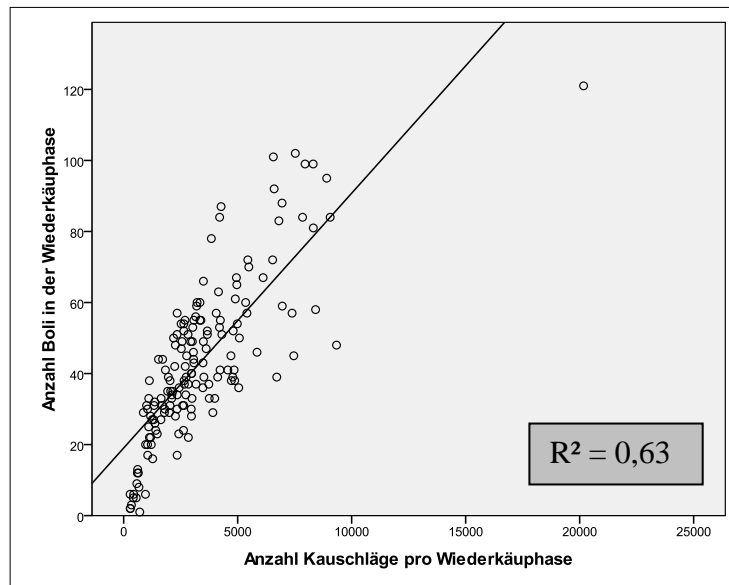


Abbildung 5-11: Streudiagramm der Anzahl der Kauschläge pro Wiederkäuphase und der Anzahl der Boli in der Wiederkäuphase (rechts).

Wie in Abbildung 5-10 zu sehen ist, besteht ein starker Zusammenhang zwischen der Länge der Wiederkäuphase in Minuten und der Anzahl der Boli in der Phase ($R^2=0,91$). Nicht so stark ist der Zusammenhang zwischen der Länge der Wiederkäuphase in Minuten und der Anzahl der Kauschläge pro Wiederkäuphase ($R^2 = 0,76$) und der Beziehung von Anzahl der Kauschläge pro Wiederkäuphase und Anzahl der Boli in der Wiederkäuphase ($R^2 = 0,63$, Abbildung 5-11).

Ergebnisse

Tabelle 5-19: Spearman-Rho Korrelationskoeffizienten der Einzeltiere und aller Tiere für die Korrelationen der Charakteristika der Wiederkäuphasen.

| Korrelationen | | | |
|--------------------------------------|---|---|--|
| Versuchstier | Länge der Wiederkäuphase / Anzahl Boli in der Wiederkäuphase | Länge der Wiederkäuphase / Anzahl Kauschläge in der Wiederkäuphase | Anzahl Boli in der Wiederkäuphase / Anzahl Kauschläge in der Wiederkäuphase |
| Spearman-Rho Korrelationskoeffizient | | | |
| 25 | ,950** | ,944** | ,884** |
| 38 | ,876** | ,773** | ,758** |
| 72 | ,886** | ,735** | ,726** |
| 170 | ,977** | ,965** | ,932** |
| 214 | ,865** | ,820** | ,727** |
| 222 | ,925** | ,904** | ,837** |
| 963 | ,875** | ,881** | ,851** |
| 964 | ,928** | ,821** | ,840** |
| Alle | ,941** | ,889** | ,812** |

Alle Tiere weisen hohe bis sehr hohe Korrelationen für die Charakteristika der Wiederkäuphasen auf (Tabelle 5-19). Es sind aber wieder eindeutige Unterschiede zwischen den Einzeltieren feststellbar. So weist das Versuchstier 170 sehr hohe Korrelationen mit allen Parametern auf, wohingegen die Tiere 963, 38, 72 und 214 nur hohe Korrelationen zeigen. Dennoch ist der Zusammenhang zwischen den Parametern so groß, dass eine Beeinflussung durch tierindividuelle Einflüsse, die Fütterungseinflüsse oder die Milchinhaltstoffe für die Ausprägung der Charakteristika der Wiederkäuphasen nur von geringer Natur sein können. In Tabelle 11-13 sind die Korrelationskoeffizienten aller Parameter dargestellt. Nur der Einflussfaktor Versuchstier zeigt eine geringe signifikante Korrelation mit der Länge der Wiederkäuphase ($r = -0,31$) und der Anzahl der Boli in der Wiederkäuphase ($r = -0,40$) alle anderen Einflussfaktoren zeigen nur sehr geringe bis gar keine Korrelationen. In der Regressionsbaumanalyse der Charakteristika der Wiederkäuphasen (Tabelle 11-4, Tabelle 11-5 und Tabelle 11-6) hatten nur die Parameter der Wiederkäuphasen einen Einfluss auf die Ausprägung der geprüften Charakteristika. Den größten Erklärungswert für die Länge der Wiederkäuphase in Minuten hatte die Anzahl Boli in der Wiederkäuphase (76,2 %), gefolgt von der Anzahl der Kauschläge in der Wiederkäuphase (23,3 %) und der Futteraufnahme Trockenmasse in Kg (0,55 %). Für die Ausprägung der Anzahl der Boli in der Wiederkäuphase und der Anzahl der Kauschläge in der Wiederkäuphase konnte nur die Länge der Wiederkäuphase in

Minuten als Einflussfaktor in der Regressionsbaumanalyse ermittelt werden.

5.4.2.2 Zusammenfassung der Ergebnisse zu den Charakteristika der Wiederkäuphasen

Die Charakteristika der Wiederkäuphasen weisen eine hohe inter- und intraindividuelle Variation und bei allen Versuchstieren eine hohe Korrelation der Charakteristika untereinander auf. In der Regressionsanalyse konnte keiner der geprüften Einflussfaktoren einen nennenswerten Erklärungswert liefern. Daraus lässt sich schließen, dass die Variation in den Charakteristika der Wiederkäuphasen nicht durch die genannten Einflussfaktoren hervorgerufen wird. Die gefundenen großen Variationen in der Länge der Wiederkäuphasen, Anzahl der Boli pro Phase und der Anzahl der Kauschläge pro Phase werden nicht von der Fütterung, dem Tier oder der Haltung (bei allen Versuchstieren gleich) hervorgerufen. Eine Beurteilung dieser Einflussfaktoren anhand der alleinigen Beobachtung einzelner Wiederkäuphasen ist somit nicht möglich.

5.5 Wiederkäudauer pro Tag

Aufgrund der in Kapitel 5.1 genannten Gründe ist die Datengrundlage für die Auswertung der Wiederkäudauer pro Tag sehr niedrig (Tabelle 5-20). Als Grundlage für den Tag wurde ein 24-Stunden-Rhythmus von 9 Uhr bis 9 Uhr am folgenden Tag gewählt. Diese Zeiten wurden gewählt, da um ca. 9 Uhr die Vorlage von Frischfutter im Versuchsbetrieb erfolgte. Um der in der Literatur beschriebenen Variation der Wiederkäudauer an verschiedenen Messtagen gerecht zu werden, wurde eine Mindestanzahl von drei Tagen pro Versuchstier festgesetzt. Diese wurden für die Versuchstiere 38 und 964 per Zufallsgenerator ausgewählt (Methode nach Mersenne Twister, (Matsumoto and Nishimura, 1998)). Die Tageswerte der Versuchstiere 72 und 963 wurden vollständig in die Berechnung übernommen.

Ergebnisse

Tabelle 5-20: Anzahl der erfassten ganzen Tage (9 – 9 Uhr)

| Versuchstier | Anzahl ganzer Tage (9 – 9 Uhr) |
|--------------|--------------------------------|
| 25 | 1 |
| 38 | 5 |
| 72 | 3 |
| 138 | 2 |
| 145 | 1 |
| 213 | 2 |
| 214 | 2 |
| 222 | 1 |
| 963 | 3 |
| 964 | 8 |
| Gesamt | 28 |

Tabelle 5-21: Fress- und Wiederkäuaktivität pro Tag der Einzeltiere und deren Variation

| Versuchstier | Verhaltensaktivität | Dauer in Stunden pro Tag | | | |
|--------------|---------------------|--------------------------|--------------------|---------|----------------------------|
| | | Mittelwert | Standardabweichung | Varianz | Variationskoeffizient in % |
| 38 | Fressaktivität | 6,6 | 0,3 | 0,1 | 4,9 |
| | Wiederkäuaktivität | 8,9 | 0,6 | 0,4 | 6,8 |
| 72 | Fressaktivität | 7,4 | 3,1 | 9,8 | 38,2 |
| | Wiederkäuaktivität | 9,7 | 0,8 | 0,6 | 8,3 |
| 963 | Fressaktivität | 8,8 | 3,1 | 9,8 | 29,9 |
| | Wiederkäuaktivität | 4,3 | 1,35 | 1,82 | 31,2 |
| 964 | Fressaktivität | 4,8 | 0,5 | 0,3 | 11,0 |
| | Wiederkäuaktivität | 9,2 | 0,1 | 0,0 | 1,3 |

Tabelle 5-22: Inter- und intraindividuelle Variation der Fress- und Wiederkäuaktivität pro Tag

| | Verhaltensaktivität | Dauer in Stunden pro Tag | | | |
|-------------------|---------------------|--------------------------|--------------------|---------|----------------------------|
| | | Mittelwert | Standardabweichung | Varianz | Variationskoeffizient in % |
| Inter-individuell | Fressaktivität | 7,6 | 2,9 | 8,2 | 37,9 |
| | Wiederkäuaktivität | 7,9 | 2,3 | 5,3 | 29,0 |
| Intra-individuell | Fressaktivität | 7,6 | 1,8 | 5,0 | 23,6 |
| | Wiederkäuaktivität | 7,9 | 0,7 | 0,7 | 9,0 |

Ergebnisse

Die Fress- und Wiederkäudauer pro Tag wiesen eine große tierindividuelle Variation auf. Bei beiden Verhaltensweisen ist die intraindividuelle Variation geringer als die interindividuelle Variation (Fressdauer: 37,9 zu 23,6 %; Wiederkäudauer: 29,0 zu 9%). Der geringe Wert des intraindividuellen Variationskoeffizienten der Wiederkäudauer pro Tag legt eine starke tierindividuelle Determinierung der Wiederkäuaktivität nahe. Aufgrund der geringen Datengrundlage konnten keine Korrelationen und Regressionen berechnet werden.

Tabelle 5-23: Dauer in Stunden pro Tag der Fress- und Wiederkäuaktivität der Versuchstiere.

| Versuchstier | Auswertungstag | Verhaltensaktivität | Dauer in Stunden |
|---------------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------|
| 38 | 1,00 | Fressaktivität | 6,96 |
| | | Wiederkäuaktivität | 7,99 |
| | 2,00 | Fressaktivität | 6,37 |
| | | Wiederkäuaktivität | 9,10 |
| | 3,00 | Fressaktivität | 6,45 |
| | | Wiederkäuaktivität | 8,90 |
| 72 | 1,00 | Fressaktivität | 5,56 |
| | | Wiederkäuaktivität | 10,09 |
| | 2,00 | Fressaktivität | 7,40 |
| | | Wiederkäuaktivität | 9,69 |
| | 3,00 | Fressaktivität | 11,66 |
| | | Wiederkäuaktivität | 8,59 |
| 963 | 1,00 | Fressaktivität | 8,51 |
| | | Wiederkäuaktivität | 5,67 |
| | 2,00 | Fressaktivität | 8,82 |
| | | Wiederkäuaktivität | 2,97 |
| | 3,00 | Fressaktivität | 14,08 |
| | | Wiederkäuaktivität | 4,34 |
| 964 | 1,00 | Fressaktivität | 4,46 |
| | | Wiederkäuaktivität | 9,08 |
| | 2,00 | Fressaktivität | 5,52 |
| | | Wiederkäuaktivität | 9,17 |
| | 3,00 | Fressaktivität | 4,80 |
| | | Wiederkäuaktivität | 9,32 |

6 Diskussion

6.1 Das Messsystem

Die Entwicklung des Messverfahrens ist eng mit den technischen Möglichkeiten und Beschränkungen sowie den Modifikationspotenzial verbunden. Deshalb werden zunächst methodische Aspekte im Zusammenhang mit den verwendeten Bauteilen erörtert.

6.1.1 Der Datenlogger

Zu Beginn der Versuchsphase auf dem Versuchsbetrieb kam es zu erheblichen Datenverlusten beim verwendeten Datenlogger. Die Datenverluste entstanden durch zunächst nicht erklärbare Spannungsspitzen innerhalb des Datenloggers. In den Vorversuchen auf anderen Betrieben und im Labor hatte sich der Datenlogger als zuverlässig erwiesen, sodass die Ursache für dieses Problem auf dem Versuchsbetrieb zu suchen war. Nach mehreren Modifikationen des Datenloggers war es möglich, die Uhrzeit des Systemausfalls zu ermitteln. Der Ausfall erfolgte bei allen Datenloggern nach dem Anlegen des Messhalters an die Versuchstiere während der ersten Futteraufnahmeperiode. Daraus folgte die Vermutung, dass das Problem mit den Futtertrögen im Zusammenhang stand. Die auf Haus Riswick installierten Futtertröge mit Einzeltierkennung stammten aus den 70er Jahren. Die Einzeltiererkennung erfolgte durch RFID-Technik Radio-frequency-identification: Ermöglicht die Identifizierung der Tiere mittels elektromagnetischer Wellen. Das im Versuchsbetrieb verwendete RFID-System besteht aus dem Transponder, das sind die sogenannten RFID-Tags am Tier, einer Antenne und dem Lesegerät, welche beide in den Futtertrog integriert sind. Die im Futtertrog montierte Antenne sendete ein heute nicht mehr übliches, besonders starkes niederfrequentes (<100 kHz) elektromagnetisches Feld. Der Datenlogger war jedoch durch seine Aluminiumspritzgussgehäuse nur gegen hochfrequente elektromagnetische Interferenzen geschützt. Um den Datenlogger auch gegen niederfrequente Felder zu schützen, wurde der Datenlogger zusätzlich in ein Abschirmfließ (Swiss Shield Evolution, Firma Swiss Shield®) gehüllt. Nach dieser Modifikation traten keine Störungen durch die Futtertröge mehr auf.

Die zuvor beschriebene Störung macht deutlich, dass ein grundlegendes Problem des Datenloggers in den fehlenden Möglichkeiten zur Funktionsüberprüfung während der laufenden Messung besteht. Die fehlende Funktionsprüfung führte dazu, dass Probleme (Reißen des Seilzugs am Sensor, Ausfall der Stromversorgung, etc.) während der Messung, erst nach Beendigung der Messung festgestellt werden konnten. Zwar traten die Probleme zum Ende des Versuchszeitraumes nicht mehr auf. Allerdings haben sie zu einem erheblichen Datenverlust beigetragen und könnten auch bei weiteren Versuchen

ein Problem darstellen. Ein Online-Messverfahren, welches die Daten während der Messung drahtlos überträgt, wie zum Beispiel beim Hi-Tag-System, wäre folglich eine große Verbesserung des Messsystems. Trotz der anfänglichen Probleme hat sich der Datenlogger als sehr robust und praxistauglich erwiesen.

6.1.2 Das Halfter

Die Anbringung des Datenloggers im Messhalfter bedarf einer grundlegenden Überarbeitung. Während der Versuche wurde der Datenlogger mittels Klebeband mit dem Messhalfter verbunden (Abbildung 4-8). Dieses reichte für die Versuchszwecke aus, ist aber für einen Einsatz des Messsystems in weiteren Versuchsanstellungen bzw. in der landwirtschaftlichen Praxis nicht empfehlenswert. Hier ist die Konstruktion einer robusten spritzwassergeschützten Ledertasche zu empfehlen. Mit solchen Ledertaschen sind bei verschiedenen anderen Messsystemen gute Erfahrungen gemacht worden (Matsui, 1994; Rutter, et al., 1997). Ein großes Problem bei der Auswertung der erfassten Messdaten bestand in der Verschiebung des Maximalwertes im Signalmuster. Der Maximalwert entspricht dem Messwert bei geschlossenem Maul. Die Verschiebung des Maximalwertes entsteht durch ein Verrutschen des Maulrings auf der Schnauze des Versuchstieres während der Messung. Verrutscht der Maulring in die caudale Richtung, verkleinert sich der Maximalwert, rutscht er nach cranial, vergrößert er sich. Die Auswertungssoftware kann eine konstante Verringerung des Maximalwertes innerhalb einer Messdatei korrigieren, ist aber nicht in der Lage, häufigere Schwankungen zu kompensieren. Dieses Problem tauchte während der Versuchsphase gehäuft auf. Ursächlich hierfür war die unterschiedliche Kopfform der Versuchstiere (Tabelle 11-1). Die Verschiebung des Maulringes stellte eine große Anforderung an die Passform des Messhalfters. Voraussichtlich kann durch eine individuelle Dimensionierung des Versuchshalfters für jedes Versuchstier dieses Problem reduziert werden. Es war auch nicht möglich, den Maulgurt am Tier so zu fixieren, dass ein Verrutschen nicht mehr möglich ist. Bei einer Tragezeit des Messhalfters von bis zu 10 Tagen kam es durch zu enge Fixierung des Maulgurts zu Hautverletzungen und Verhaltensbeeinträchtigungen. Dieses steht den Anforderungen an das Messhalfter entgegen, die Maulaktivitäten nicht zu beeinflussen. Im Verlaufe der Versuchsphase wurde der Maulgurt mehrfach überarbeitet und optimiert. Bei einzelnen Untersuchungstieren trat dieses Problem aber weiterhin auf. Durch die indirekte Messung der Maulöffnung über das mit dem Sensor verbundene Zugseilsystem am Maulring steht die Güte der Messung im direkten Zusammenhang mit der Position des Maulrings am Kopf des Versuchstieres. Daher scheint es geraten den Sensortyp grundlegend zu überdenken. Ein neuer Sensortyp, welcher nicht auf eine genaue Positionierung des Maulringes angewiesen ist, wäre hierbei vorzuziehen. Solch

ein Sensortyp wäre zum Beispiel ein Elektromyogramm-Sensor, wie ihn Balzer et al. (2009) verwendet haben. Dieser Sensor misst mittels auf der Haut aufgebrachter Elektroden die elektrische Muskelaktivität. Angebracht auf dem Kaumuskel, sollte er in der Lage sein, die Kauaktivität zu erfassen. Es ist zu erwarten, dass das mit dem EMG-Sensor erfasste Muster der Kauaktivität ein ähnliches Signalmuster aufweisen wird, wie das des momentan verwendeten Sensors. Dieser Sensor hätte den Vorteil, dass das Problem der abfallenden Messwertkurve nicht mehr auftreten würde.

Bei der Entwicklung der Auswertungssoftware wurde darauf geachtet, dass sie nicht alleine auf den verwendeten Sensor zugeschnitten ist, sondern, dass sie flexibel auf andere Sensortypen und deren Signalbild angepasst werden kann. Alle Parameter, welche das vom Sensor zu erwartende Signalbild beschreiben, sind editierbar und können somit an verschiedenste Sensoren angepasst werden.

6.2 Probleme der Auswertungssoftware

Ein Problem bei der Auswertung war das Fehlen von Phasen ohne Kauaktivität (Pausen), zwischen Fress- und Wiederkäuphasen. Das verwendete Pausenkriterium zur Trennung zweier Aktivitätsphasen (Phasen mit Kauaktivität) von mindestens 180 Sekunden richtet sich nach der Definition der Wiederkäuphase von Kolb et al. (1989). Andere Autoren setzten ein Pausenminimum von 7,5 Minuten fest (Dado und Allen, 1993). In der gesichteten Literatur gab es nur einen Hinweis darauf, dass Fress- und Wiederkäuphasen direkt aufeinanderfolgen könnten (Schleissner, Nørgaard, & Hansen, 1999).

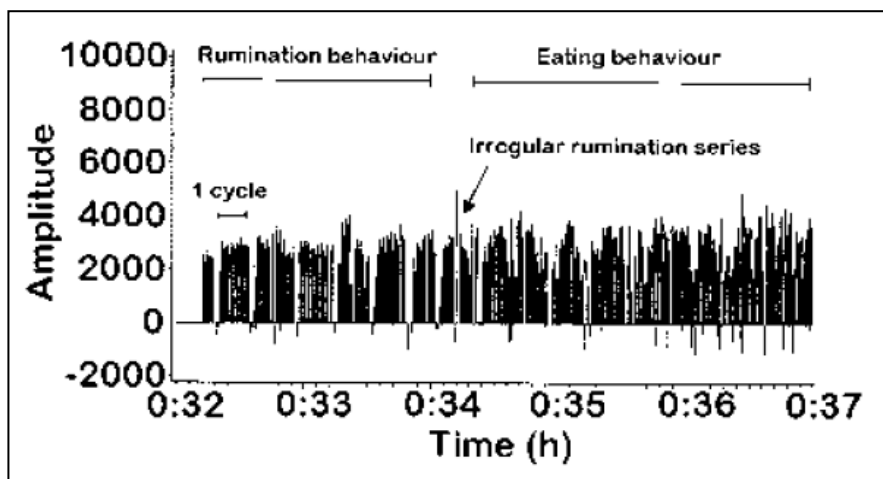


Abbildung 6-1: Wiederkäuphase mit direkt folgender Fressphase. (aus Schleissner et al., 1999)

Die ermittelten Werte von Schleissner et al. (1999) beziehen sich auf das Kauverhalten einer einzelnen Kuh. Aufgrund der Tatsache, dass es keine andere Quelle gab, welche ein direktes Aufeinanderfolgen von Fress- und Wiederkäuphasen beschrieb, wurde die Beobachtung von Schleissner et al. (1999) nicht bei der Entwicklung der Auswertungssoftware berücksichtigt. Mittels

der in dieser Arbeit verwendeten Hard- und Software ist das Problem der fehlenden Pausen nicht zu lösen. Es bedarf eines weiteren externen Sensors, welcher die Möglichkeit gibt, zwischen Fress- und Wiederkäukauschlägen zu unterscheiden. In vielen Untersuchungen wurde hierfür ein Signal, das vom Futtertrog ausgeht, hinzugezogen (DeBoever et al., 1993; Beauchemin et al., 1989; Dado und Allen, 1994; DeBrabander et al., 1999; Kononoff et al., 2002).

Durch den Abgleich der Daten der Kauschlagsensoren und der Daten des Futtertrogs können Fresskauschläge eindeutig identifiziert werden. Futtertröge sind auf Praxisbetrieben aufgrund des hohen Anschaffungspreises in der Regel nicht vorhanden, sodass eine Unterscheidung zwischen Fress- und Wiederkäuaktivitäten mittels des Abgleiches mit Futtertrogsdaten für die angedachten Anwendungsgebiete des Messsystems nicht infrage kommt. Eine Lösung, welche unabhängig von dem Betrieb auf dem die Messung stattfindet, stellt ein Neigungssensor da (Stobbs & Cowper, 1972). Ein Neigungssensor ist in der Lage, die Neigung des Kopfes zu erfassen. In nahezu allen Haltungssystemen befindet sich das Futter der Kühe in Bodennähe. Dieses bedeutet, dass die Tiere beim Fressen ihren Kopf senken. Im Unterschied dazu finden sämtliche Wiederkäukauschläge mit erhobenem Kopf statt. Somit sind Kauschläge, welche bei Neigung des Kopfes stattfinden, als Fresskauschläge einzustufen. Kauschläge, welche bei erhobenem Kopf erfolgen, können sowohl Fress- als auch Wiederkäu-Kauschläge sein. Denn auch beim Fressen verbleibt der Kopf nicht permanent in gesenkter Position, sondern der Kopf kann durchaus kurzzeitig nach oben gehoben werden (Stobbs & Cowper, 1972). Durch die Erfassung der zeitlichen Abfolge des Kopfsenkens können diese kurzen Phasen des Kopfhebens jedoch ermittelt werden. Mittels eines zeitlichen Abgleiches der Messdaten des Neigungssensors und des Kauschlagsensors kann mit hinreichender Genauigkeit eine Klassifizierung der erfassten Kauschläge in Fress- und Wiederkäu-Kauschläge erfolgen. Diese Funktion ist bisher nicht in der Auswertungssoftware vorgesehen, kann aber mit überschaubarem Aufwand integriert werden.

6.3 Charakteristika der Wiederkäuboli

In der verfügbaren Literatur hat sich nur eine Quelle detailliert mit den Charakteristika der Wiederkäuboli von Milchkühen befasst (Hailu, 2003). Obwohl eine Vielzahl automatischer Messsysteme (Beauchemin et al., 1989; Dado et al., 1993; Rutter et al., 1997; Rook et al., 1997; Luginbuhl et al., 1997) in der Lage sind, diese Parameter zu erfassen, verwundert es, dass den Charakteristika der Wiederkäuboli bisher so wenig Aufmerksamkeit geschenkt wurde. Der entscheidende Grund hierfür dürfte im Fehlen einer automatischen Auswertungseinheit begründet sein. Dieses macht es trotz automatischer Erfassung der Messdaten extrem zeit- und personalaufwendig die Charakteristika der Wiederkäuboli zu erfassen. Hailu (2003) hat mittels

Diskussion

visueller Beobachtung die Charakteristika der Wiederkäuboli erfasst. Die in dieser Arbeit ermittelte Variation der Charakteristika der Wiederkäuboli bewegt sich in ähnlichen Rahmen wie die von Hailu (2003) gefundene Variation (Tabelle 6-1). Zu der Anzahl der Kauschläge pro Bolus macht er allerdings keine Angaben. Die inter- und intraindividuelle Variation der Länge des Bolus in Sekunden und der Frequenz der Kauschläge pro Sekunde sind in der vorliegenden Arbeit deutlich höher als bei Hailu (2003) aufgeführt (Tabelle 6-1). Hierfür kann es mehrere Gründe geben. Zu einem hat Hailu (2003) pro Tier und Tag nur maximal 10 Boli und innerhalb eines Versuchs maximal 35 Einzelboli pro Tier erfasst. In den eigenen Untersuchungen wurden 500 Einzelboli pro Versuchstier ausgewertet. Ebenso hat er nur ausgewählte Boli in der Mitte der Wiederkäuphase erfasst. Demgegenüber wurden in den eigenen Untersuchungen per Zufallsgenerator 500 Einzelboli aus verschiedenen Wiederkäuphasen pro Einzeltier ausgewählt. Wie in 4.2.2.1 beschrieben, gibt es innerhalb einer Wiederkäuphase eine nicht näher erfasste Anzahl von Boli, welche zu Beginn bzw. zum Ende der Wiederkäuphase nicht die gleiche Regelmäßigkeit in den Charakteristika der Wiederkäuboli aufweisen wie die restlichen Boli jeder Wiederkäuphase.

Tabelle 6-1: Variation und Variationskoeffizienten der Länge des Bolus in Sekunden und der Frequenz der Kauschläge von Hailu (2003) und den eigenen Werten

| | | Hailu (2003) | Eigene Untersuchung |
|--|---|-------------------------|--------------------------------|
| Länge des Bolus in Sekunden | Variation | 45 ± 17 | 46 ± 12 |
| | Interindividueller Variationskoeffizient | 15,1 | 29,6 |
| | Intraindividueller Variationskoeffizient | 11,2 | 27 |
| Frequenz der Kauschläge pro Sekunde | Variation | 1,1 ± 0,2 | 1,3 ± 0,4 |
| | Interindividueller Variationskoeffizient | 6,9 | 33,3 |
| | Intraindividueller Variationskoeffizient | 3,2 | 25,8 |

Durch die Verwendung des Zufallsgenerators fließen diese unregelmäßigen Boli in die Auswertung mit ein und können somit die Variation erheblich erhöhen. Des Weiteren fand die Datenaufnahme bei Hailu (2003) während des Tages in einem Zeitraum von ca. 10 - 18 Uhr statt. Die in dieser Arbeit verwendeten Daten wurden während eines Zeitraumes von 24 Stunden (von 9.00 – 9.00 Uhr) erfasst. Zusätzlich unterscheidet sich der Versuch von Hailu (2003) noch grundlegend in der gefütterten

Diskussion

Ration von der eigenen Untersuchung. Hailu (2003) verwendete eine auf Grassilage basierende Ration mit einer restriktiven Fütterung in 4 von 5 der in sein Ergebnis eingeflossenen Versuchsphasen. In der hier vorliegenden Arbeit wurde eine *ad libitum* gefütterte TMR mit 70% Grassilage und 30 % Maissilage verwendet. Auch der Gehalt an Trockensubstanz unterscheidet sich zwischen den beiden Untersuchungen stark mit 30% bei Hailu (2003) und 35 % in dieser Untersuchung. Trotz dieser Unterschiede bleibt jedoch festzuhalten, dass in beiden Untersuchungen die intraindividuelle Variation geringer war als die interindividuelle Variation. Hailu (2003) stellt in seiner Untersuchung fest, dass aufgrund seiner Ergebnisse auszuschließen ist, dass die Dauer der Wiederkäuzyklen Einfluss auf die Frequenz der Kieferschläge hat. Dieses deckt sich mit den eigenen Ergebnissen, wonach die Frequenz der Kauschläge pro Bolus stark von der Anzahl der Kauschläge pro Bolus beeinflusst wird und nur im sehr geringen Maße von der Länge des Bolus. In seinen Untersuchungen wurden keine signifikanten Beziehungen zwischen der Länge des Bolus in Sekunden und den untersuchten Parametern (Rationszusammensetzung, Fütterungsregime und dem Laktationsstadium) festgestellt. Somit bleibt als beeinflussbare Größe der Wiederkäuaktivität für das Tier nur die Anzahl der Kauschläge pro Bolus bzw. die Frequenz der Kauschläge pro Sekunde. Für die Parameter Rationszusammensetzung, Fütterungsregime und dem Laktationsstadium konnte Hailu (2003) einen Einfluss auf die Frequenz der Kauschläge nachweisen. In der Beschränkung der Arbeit auf die Frequenz der Kieferschläge liegt eine klare Schwäche der Arbeit von Hailu (2003). Wie in dieser Arbeit gezeigt wurde, beeinflussten die erfassten Faktoren die Anzahl der Kauschläge pro Bolus. Diese Beeinflussung war erheblich größer als die Beeinflussung der Frequenz der Kauschläge. In der eigenen Untersuchung konnte kein Zusammenhang zwischen der Wiederkäudauer pro Tag und der Frequenz der Kauschläge festgestellt werden. Hailu (2003) weist dagegen in seiner Untersuchung einen Zusammenhang ($r = 0,72$; $p < 0,01$) nach. Er zieht daraus den Schluss, dass man anhand der Frequenz der Kauschläge einzelner Boli auf die Wiederkäudauer pro Tag und die Wiederkäuaktivität schließen könnte. Betrachtet man dieses Ergebnis jedoch genauer, so fällt auf, dass in seiner Arbeit diese Beziehung nur für die restriktive Fütterung gilt. Bei seinen Ergebnissen zur *ad libitum* Fütterung findet sich ein ähnliches Bild wie in der eigenen Untersuchung. Aus diesem Grund lässt sich folgern, dass bei *ad libitum* Fütterung der tierindividuelle Einfluss auf die Frequenz der Kauschläge größer ist als bei restriktiver Fütterung.

6.4 Charakteristika der Wiederkäuphasen

Die Charakteristika der Wiederkäuphasen weisen eine hohe inter- und intraindividuelle Variation auf. Diese Variation findet sich auch in zahlreichen Literaturquellen. Beauchemin (1991) zum Beispiel dokumentierte 10-20 Wiederkäuphasen pro Tag mit einer Dauer von einer Minute bis 2 Stunden. Die

gefundenen große Variationen in der Länge der Wiederkäuphasen, Anzahl der Boli pro Phase und der Anzahl der Kauschläge pro Phase werden nicht von der Fütterung, dem Tier oder der Haltung (bei allen Versuchstieren gleich) hervorgerufen (Welch, 1982). Die Wiederkäuaktivität unterliegt vielmehr einem circadianen Rhythmus (Welch, 1982) und steht in direkter Konkurrenz zur Fressaktivität. Die Fressaktivität hat dabei Priorität und dominiert die Wiederkäuaktivität (Metz, 1975). Ebenso werden die Wiederkäuphasen von verschiedenen Stressfaktoren beeinflusst (Herskin, 2004) (Bristow, 2007). Dieses bedeutet, dass Wiederkäuphasen von den Tieren willkürlich unterbrochen werden können und keiner irgendwie gearteten Determinierung unterliegen. Die Charakteristika der Wiederkäuphasen sind daher nicht geeignet, um als Parameter zur Beschreibung der Wiederkäuaktivität von Milchkühen herangezogen zu werden. Nur die Summe der Charakteristika der Wiederkäuphasen eines ganzen Tages zusammen spiegeln die physiologischen und psychologischen Bedürfnisse der Wiederkäuaktivität eines Tieres wieder (Metz, 1975). Anhand von Untersuchungen, welche nicht alle Wiederkäuphasen eines Tages erfassen, können keine Aussagen über die Wirkung von Einflussfaktoren auf die Wiederkäuaktivität getroffen werden. Beauchemin et al. (1983) zeigten in ihrer Untersuchung, dass visuelle Beobachtungen von Kauaktivitäten, welche während der Lichtphase des Tages erfolgen, nur einen sehr geringen Anteil der Wiederkäuaktivität erfassen. Visuelle Beobachtungen der Wiederkäuaktivität von Rindern, welche nicht über 24 Stunden ausgeführt werden, sind daher nicht zur Erfassung der Wiederkäuaktivität geeignet.

6.5 Wiederkäudauer pro Tag

Aufgrund der in 5.1 beschriebenen Problemen der Auswertungssoftware ist die Datengrundlage für Aussagen zu den Charakteristika der Wiederkäudauer pro Tag sehr gering. Gerade deshalb ist die gefundene tierindividuelle Variation aber besonders bemerkenswert. Eine tierindividuelle Variation von nur 9% beim Tier964 ist ein starkes Anzeichen dafür, dass die Wiederkäudauer pro Tag sehr stark zwischen den Einzeltieren variiert. Gerade unter dem Gesichtspunkt, dass in fast allen Untersuchungen zur Wiederkäuaktivität die Wiederkäudauer pro Tag als Parameter herangezogen wird, bei gleichzeitiger Einbeziehung nur weniger Versuchstiere, ist fraglich, wie stark die Ergebnisse dieser Arbeiten durch die tierindividuelle Variation beeinflusst werden. Es bedarf daher dringend neuer Untersuchungen, welche den tierindividuellen Einfluss auf die Wiederkäudauer pro Tag quantifizieren.

6.6 Schlussfolgerungen

In dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass das entwickelte Messsystem in der Lage ist, vielfältige Parameter der Wiederkäuaktivität zu erfassen. Die gefundenen hohen tierindividuellen Variationen der Charakteristika der Wiederkäuboli und der Wiederkäudauer pro Tag zeigen, dass dem tierindividuellen Faktor ein hoher Anteil an den Variationsursachen der Wiederkäuaktivität beigemessen werden kann. Es stellt sich daher die Frage, inwieweit die bisherigen, an einer kleinen Tierpopulation ermittelten Versuchsergebnisse auf die Situation in den Praxisbetrieben übertragen werden können. Die eigenen Ergebnisse geben Hinweise darauf, dass die bisherigen Strukturbewertungssysteme, wie strukturierte Rohfaser und Strukturwert überdacht werden sollten. Beide Bewertungssysteme beruhen auf Messungen der Fress- und Wiederkäuaktivität mit erheblichen methodischen Schwächen (siehe 2.4). Es sollte über eine neue Herangehensweise bei der Beurteilung der Wiederkäuergerechtigkeit von Futterrationen auf Praxisbetrieben nachgedacht werden. Die voranschreitende Verbreitung von Methoden des Precision Farming auch im Tierbereich zeigen den Weg für eine moderne Tierproduktion. Standardisierte Berechnungsformeln zur Strukturbewertung von Futtermitteln sollten um betriebsindividuelle Anpassungsoptionen unter Berücksichtigung von herdenspezifischen Wiederkäumustern ergänzt werden. Ähnlich der Vorgehensweise bei der Brunsterkennung mittels Pedometer (Lehrer et al., 1992), könnte ein Profil der Wiederkäuaktivität während der Fütterung einer wiederkäuergerechten Futterration erstellt und als Referenzgröße dienen. Bei Änderung der Ration, wie zum Beispiel dem Wechsel von Maissilage aus Silo A auf Silo B kann die Wiederkäuaktivität erneut gemessen und mit den Referenzgrößen verglichen werden. Das in dieser Arbeit entwickelte Messsystem ist für umfassende Messungen auf landwirtschaftlichen Betrieben noch nicht praxistauglich. Der eingesetzte Sensor ist durch die mangelnde Fixierung am Flotzmaul der Kühe eine eindeutige Schwachstelle des Systems. Ein neuer Sensor, welcher nicht am Flotzmaul befestigt werden müsste, wäre hier eine gute Lösung. Desweiteren erscheint die Integration eines zusätzlichen Neigungssensors für die 100%-Differenzierung zwischen Fress- und Wiederkäuaktivitäten sinnvoll, um die Klassifizierung schnell aufeinanderfolgender Verhaltensmuster zu adaptieren (siehe 6.2).

7 Zusammenfassung

Niedrige Milchpreise setzen die deutschen Milchbauern unter Kostendruck und veranlassen sie, die Laktationsleistung der Kühe zu erhöhen. Im Zusammenhang mit weiteren Milchleistungssteigerungen kommt einer wiederkäuergerechten Fütterung im Hinblick auf die Vermeidung gesundheitlicher Risiken eine besondere Bedeutung zu. Ziel des Forschungsvorhabens war es, eine Messmethode zur Bestimmung von Fress- und Wiederkäuaktivitäten zu entwickeln, welche die bisherigen methodischen Unzulänglichkeiten überwindet und ermöglicht den qualitativen und quantitativen Einfluss tierindividueller, fütterungsbedingter und leistungsbezogener Faktoren zu erfassen.

Hierzu wurde der Prototyp eines Messsystem entwickelt, das in einem Messhalfter integriert wurde. Das Messsystem beinhaltet einen Sensor zur Erfassung der Kaubewegungen, einen Datenlogger für die Speicherung der Messdaten, ein Akkupack zur Energieversorgung, und eine Auswertungssoftware für die automatische Analyse der erfassten Messdaten.

Zwecks Überprüfung des Prototypen unter Praxisbedingungen wurden im Rahmen eines Fütterungsversuches Messungen der Fress- und Wiederkäuaktivität durchgeführt.

Die Anwendung des Prototypen auf dem Versuchsbetrieb deckte die folgenden methodischen Unzulänglichkeiten auf:

- elektromagnetische Störfelder, hervorgerufen durch die auf den Versuchsbetrieb verwendeten Wiegetröge zur Erfassung der Futteraufnahme,
- Fehlmessungen aufgrund verrutschender Halfter, bedingt durch die große Variation in den Schädelmaßen der Versuchstiere,
- keine hinreichende Differenzierung der einzelnen Verhaltenstypen bei schnell aufeinanderfolgenden unterschiedlichen Verhaltensmustern.

Die aufgetretenen elektrischen Probleme konnten mittels einer verbesserten Abschirmung gegen elektromagnetische Felder behoben werden. Fehlmessungen aufgrund sich verschiebender Halfter konnten durch eine Änderung des Halfterdesigns verringert werden. Es war jedoch nicht möglich, diese Störgröße gänzlich zu beseitigen. Ebenso war es nicht möglich, die Differenzierung der einzelnen Verhaltenstypen bei schnell aufeinanderfolgenden unterschiedlichen Verhaltensmustern mittels einer Änderung im Auswertealgorithmus zu verbessern. Um diesen beiden Problemen Rechnung zu tragen, wurden die Ergebnisse der Auswertungssoftware mittels einer Sichtkontrolle der Messwertkurven validiert.

Zusammenfassung

Nach der Validierung verblieben für die statistische Auswertung folgende Messergebnisse:

- Anzahl auswertbarer Einzeltiere: **9**
- Anzahl auswertbarer Messtage: **73**
- Anzahl auswertbarer Wiederkäuphasen: **512**
- Anzahl auswertbarer Fressphasen: **676**
- Anzahl auswertbarer Einzelboli: **11.347**

In der statistischen Auswertung wurden Korrelation der Charakteristika der Wiederkäuboli: Länge des Bolus in Sekunden, Anzahl der Kauschläge pro Bolus und der Frequenz der Kauschläge pro Sekunde und Bolus, der Wiederkäuphasen: Länge der Wiederkäuphasen in Minuten, Anzahl Boli in der Wiederkäuphase und die Anzahl der Kauschläge in der Wiederkäuphase und der Wiederkäudauer pro Tag (in Minuten) mit den erfassten Einflussfaktoren: tierindividuelle Parameter, Milchparameter und Fütterungsparameter berechnet. Um wechselseitige Beziehungen der Einflussfaktoren untereinander besser darstellen zu können, wurde im nächsten Schritt eine multiple lineare Regression durchgeführt. Zur Erfassung der Gewichtung der Einflussfaktoren wurde als dritte statistische Methode eine Regressionsbaumanalyse berechnet.

Die Charakteristika der Wiederkäuboli wiesen eine große tierindividuelle Variation zwischen den Einzeltieren auf. Die Milchkühe kauten im Mittel 46 ± 12 Sekunden wieder und vollzogen in dieser Zeit 60 ± 25 Kauschläge bei einer mittleren Kauschlagfrequenz von $1,3 \pm 0,4$ Kauschlägen pro Sekunde. Die größte tierindividuelle Variation mit 53,1 % wies der Parameter Anzahl der Kauschläge pro Bolus auf. Die Frequenz der Kauschläge pro Bolus wurde in hohem Maße von der Anzahl der Kauschläge pro Bolus beeinflusst ($R^2 = 0,71$) und nur in geringem Maße von der Länge des Bolus ($R^2 = 0,21$). Das geringe Bestimmtheitsmaß der multiplen Regression der Länge des Bolus ($R^2 = 0,18$) deutet auf eine sehr geringe Beeinflussung durch alle erfassten Einflussfaktoren hin.

Ebenso wie die Charakteristika der Wiederkäuboli wiesen die Charakteristika der Wiederkäuphasen eine hohe inter- und intraindividuelle Variation ($>45\%$) und bei allen Versuchstieren eine hohe Korrelation der Charakteristika untereinander auf ($r = 0,74$ bis $r = 0,98$). In der Regressionsanalyse konnte keiner der geprüften Einflussfaktoren einen nennenswerten Erklärungswert liefern. Die Variationen in der Länge der Wiederkäuphasen, Anzahl der Boli pro Phase und der Anzahl der Kauschläge pro Phase wurden weder von der Fütterung, noch vom Tier oder der Milchleistung in nennenswerter Weise geprägt. Eine Beurteilung dieser Einflussfaktoren anhand der Beobachtung einzelner Wiederkäuphasen ist somit nicht möglich.

Die Fress- und Wiederkäudauer pro Tag wiesen eine große tierindividuelle Variation auf (37,9 % bzw. 29,0 %). Bei beiden Verhaltensweisen ist die intraindividuelle Variation geringer als die interindividuelle Variation (Fressdauer: 37,9 zu 23,6 %; Wiederkäudauer: 29,0 zu 9%). Der geringe Wert des intraindividuellen Variationskoeffizienten der Wiederkäudauer pro Tag legt eine starke tierindividuelle Determinierung der Wiederkäuaktivität nahe.

8 Summary

Falling milk prices put German dairy farmers under pressure to increase the lactation yield of their cows. This performance increase is associated with an increase in risk factors for the animal's health. These health problems are also endangering the farmer's economy by additional veterinary costs. An optimized feeding, with specific focus on the roughage value of the feeds, plays an important role in the prevention of these health risks. The aim of this project was to establish a new method for the determination of feeding and rumination activities, which overcomes the inaccuracies and limitations of previously developed methods. In addition, it was sought to define the qualitative and quantitative influence of different factors, such as the individual animal, feeding and performance.

Therefore, a prototype of the measurement system was developed and was integrated into a halter. The new system consists of a sensor to detect the movements of mastication, a data logger for storing data, a battery pack for supplying power and analysis software for automatic differentiation of the collected data. The system has been tested during a feeding study.

The application of the prototype revealed the following methodological shortcomings:

- Electromagnetic interference fields, caused by the used feeding troughs for recording of the feed intake
- Measurement errors due to problems in the fixation of the halter, which were due to the large variation in the skull measurements of the experimental animals
- Problems in the differentiation of the different behaviors types, caused by rapid changes in the chewing behavior.

Encountered electrical problems could be solved through improved shielding against electromagnetic fields. Measurement errors due to slippage of the halter were reduced by amending the holster design, although it was not possible to resolve the problem entirely. Similarly, it was not possible to improve the differentiation of the various types of behavior by means of a change in the evaluation algorithm. To take these two issues into account the results of the evaluation software were validated through a visual inspection of the measured data.

After the validation the following results were left for statistical analysis:

- Number of individual animals: 9
- Number of measuring days: 73
- Number of rumination phases: 512
- Number of feeding phases: 676
- Number of rumination boli: 11347

In the statistical analysis, correlations of the characteristics of the rumination boli: length of the bolus in seconds, number of chews per bolus and the frequency of chews in seconds per bolus, the

Summary

rumination phases: duration of the rumination phase in minutes, number of boluses in the rumination phase and the number of chews in the rumination phase and the rumination times per day (in minutes) with the acquired influence factors: individual animal parameters, parameters of the milk and feeding parameters have been calculated. To invest mutual relations of the factors influencing each other in the next step, a multiple linear regression was performed. The last step of the statistical analysis for the weighting of the factors was calculated by a regression tree analysis.

The characteristics of the rumination boli showed a large variation between individual animals. The cows chewed on average 46 ± 12 seconds per boli, and during this time 60 ± 25 chews took place with a mean chewing frequency 1.3 ± 0.4 chews per second. The largest individual animal variation of 53,1 % showed the number of chews per bolus. The frequency of chews was highly dependent on the number of chews per bolus ($R^2 = 0.71$), and only to a small extent on the length of the bolus ($R^2 = 0.21$). The low coefficient of determination of the multiple regression of the length of the bolus ($R^2 = 0.18$), suggests a very low impact through all recorded factors.

As is the case with the characteristics of the rumination boli, the rumination phases showed a high inter- and intra-individual variation (> 45 %) and in all animals a high correlation of the characteristics ($r = 0.74$ to $r = 0.98$). In the regression analysis, none of the tested factors provides a significant explanatory value. The variations in the length of the rumination phase, number of boluses per phase and the number of chews per phase weren't caused by the influence of the feeding, the animal or the milk yield factors. An assessment of these factors based on the observation of individual rumination phases is therefore not possible.

The feeding and rumination time per day showed a large animal individual variation (37.9% and 29.0%). In both behavior types the intraindividual variation was less than the interindividual variation (feeding time: 37.9 to 23.6%; rumination time: 29.0 to 9%). The low value of the intraindividual coefficient of variation of the rumination time per day suggests a strong determination by the individual animal.

9 Literaturverzeichnis

- Bailey, C. B. (1961). Saliva secretion and its relation to feeding in cattle. 3. The rate of secretion of mixed saliva in the cow during eating, with an estimate of the magnitude of the total daily secretion of mixed saliva. *Br. J. Nutr.* 15, 433-451.
- Bailey, C. B., and Balch, C. C. (1961). The composition and rate of secretion of parotid saliva in a small steer. *Br. J. Nutr.* 15, 371-382.
- Balzer, H. -U. (2009). A new generation of fertility monitoring in cattle herds. In *Precision livestock farming '09*. (S. 225-234). Wageningen : Wageningen Academic Publisher.
- BDM. (2. Februar 2010). <http://www.bdm-verband.or>. Von http://www.bdm-verband.org/html/dms/dateien/Pressemitteilungen_PDF/BDM_Presseinfo_Butterpreissenkung_nicht_ueberraschend_020210.pdf abgerufen
- Beauchemin, K. A., Yang, W., and Rode, L. (2003). Effects of Particle Size of Alfalfa-based dairy cow diets on chewing activity, ruminal fermentation, and milk production. *J. Dairy Sci.* 86, 630-643.
- Beauchemin, K. A., Zelin,, Genner, D., und Buchanan-Smith, J. G. (1989). An automatic system for quantification of eating and ruminating activities of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 72, 2746-2759.
- Beauchemin, K. (1991). Ingestion and mastication of feed by dairy cattle. *Veterinary Clinics of North America Food Animal Pract.* 7, 439-462.
- Breimann, L. F. (1984). *Classification and Regression Trees*. Belmont, Calif.: WadsworthInternational Group.
- Bristow, D. H. (2007). Cortisol levels and anxiety-related behaviors in cattle. *Physiology und Behavior* 90, 626-628.
- Brouk, M.B. (1993). Chewing activity and digestive responses of cows fed alfalfa forages. *J. Dairy Sci.* 76, 175-182.
- Bühl, A. (2008). *SPSS 16: Einführung in die moderne Datenanalyse.*, 269. 10. Auflage, Pearson Studium, München.
- Bungo, T., Nakano, Y., Okano, K., Hayashida, M., Kawagoe, H., Furusawa, H., Yasukochib, K., Matsuishib, T., Izumib, K., Shirmojoa,, Furusea, M. and Masudaa, Y. (1999). Direction of jaw movement in dairy cattle during the rumination period. *Applied Anim. Behav. Sci.* 64, 227-232.
- Campbell, C. P., Marschall, A., Mandell, I. B., and Wilton, J. W. (1992). Effects of source of dietary neutral detergent fiber on chewing behavior in beef cattle fed pelleted concentrates with or without supplemental roughage. *J. Anim. Sci.* , 70, 894-903.
- Campling, R. C. (1966). The intake of hay and silage by cows. *J. Br. Grassl. Soc.* 21, 41-48.
- Cassida, K., and Stokes, M. (1986). Eating and resting salivation in early lactation dairy cows. *J.*

Dairy Sci. 69, 1282-1292.

Chai, K., Kennedy, P. M., and Milligan, L. P. (1984). Reduction in particle size during rumination in cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 64, 339-340.

Chaplin, J., Tierney, G., Stockwell, C., Logue, D. N., and Kelly, M. (2000). An evaluation of mattresses and mats in two dairy units. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 66, 263-272.

Couderc, J. J. (2006). Silage Chop Length and Hay Supplementation on Milk Yield, Chewing Activity, and Ruminant Digestion by Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 89, 3599-3608.

Coulon, J. B., Doreau, M., Redmond, B., und Journet, M. (1987). Evolution des activites alimentaires des vaches laitieres en debut de lactation et liasion avec les quantites d aliments ingeres. *Reproduction, Nutrition et Development* 27, 67-75.

Dado, R. G., and Allen, M. (1993). Continuous computer acquisition of feed and water intakes, chewing, reticular motility, and ruminal pH of cattle. *J. Dairy Sci.* 76, 1589-1600.

Dado, R. G., and Allen, M. (1994). Variation in and Relationships Among Feeding, Chewing, and Drinking Variables for Lactating Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 77, 132-144.

DeBoever, J. L., De Smet, A., DeBrabander, D. L., and Boucque, C. V. (1993). Evaluation of Physical Structure. 1. Grass Silage. *J. Dairy Sci.* 76, 140-153.

De Boever, J., Andries, D. L., DeBrabander, D. L., Cottyn, B. G., and Buysse, F. G. (1990). Chewing activity of ruminants as a measure of physical structure – a review of factors affecting it. *Animal Feed Sci Tech.* 27, 281-291.

DeBrabander, D. L., DeBoever, J. L., Vanacker, J. M., Boucque, C. V., and Bottermann, M. (1999). Evaluation of physical structure in dairy cattle nutrition. In P. C. Gransworthy, and Wisemann, J. *Recent Advances in Animal Nutrition*, Nottingham Univ. Press, p. 111-145.

Deswysen, A., and Ehrlein, H. (1981). Silage intake and pseudo-rumination in sheep studied by radiography and jaw movement recordings. *Br. J. Nutr.* 46, 327-335.

Freer, M., and Campling, R. C. (1965). Factors affecting the voluntary intake of food by cows. *Br. J. Nutr.* 19, 195-207.

Gäbel, G. (1990). Pansenazidose: Interaktionen zwischen den Veränderungen im Lumen und in der Wand des Pansens. *Übers. Tierernährg.* 18, 1-38.

GFE. (2001). *Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtrinder*. Frankfurt a. M.: DLG-Verlag.

Girard, V., and Labonte, J. (1993). Dispositif d'enregistrement en continu du comportement alimentaire journalier et étude de la variabilité du comportement chez la vache laitière. *Anim Res.* 42, 49-56.

Grant, R. J., and Albright, J. L. (2001). Effect of animal grouping on feeding behavior and intake in

Literaturverzeichnis

- dairy cattle. *J. Dairy Sci* 84, 156-163.
- Grant, R., Colenbrander, V., and Albright, J. (1990). Effect of Particle Size of Forage and Rumen Cannulation upon Chewing Activity and Laterality in Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 73, 3158-3164.
- Hailu, Y. (2003). Dissertation: Untersuchungen zur Bedeutung der Frequenz der Kieferschläge während des Wiederkauens für die Einschätzung der Wiederkauaktivität von Milchkühen. Hannover: Tierärztliche Hochschule Hannover.
- Herskin, M. M. (2004). Effects of acute stressors on nociception, adrenocortical responses and behavior of dairy cows. *Physiology & Behavior* 83, 411-420.
- Hoffmann, M. (1990). *Tierfütterung* (2 Ausg.). Dt. Landwirtschaftsverlag Berlin.
- Hörning, B. (2003). Nutztierethologische Untersuchungen zur Liegeplatzqualität in Milchviehlaufstallsystemen unter besonderer Berücksichtigung eines epidemiologischen Ansatzes. Habil.-Schrift, Universität Kassel.
- Kaske, M., Beyerbach, M., Hailu, Y., Göbel, W., and Wagner, (2002). The assessment of the frequency of chews during rumination enables an estimation of rumination activity in hay-fed sheep. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 86, 83-89.
- Kaufmann, W., und Orth, A. (1966). Untersuchungen über Einflüsse des Futters und der Pansenfermentation auf die Speichelsekretion. *Z. Tierphysiol.* 21, 110-120.
- Kennedy, P. M. (1985). Effect of rumination on reduction of particle size of rumen digesta by cattle. *Aust. J. Agric. Res* 36, 819-828.
- Kolb, E., Gürtler, H., und Ketz, H. A. (1989). *Lehrbuch der Physiologie der Haustiere* (5 Ausg.). Gustav Fischer Verlag Stuttgart.
- Kononoff, P. K., Lehman, H. A., and Heinrichs, A. J. (2002). Technical Note - A Comparison of Methods Used to Measure Eating and Ruminating Activity in Confined Dairy Cattle. *J. Dairy Sci.* 85, 1801-1803.
- Kononoff, P., Heinrichs, A., and Lehmann, H. (2003). The Effect of Corn Silage Particelsize on Eating Behaviour, Chewing Activities and Rumen Fermentation in Lactating Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 86, 3343-3353.
- Konrad,, und Fürschuss, N. (1999). Einfluss der Liegeflächengestaltung auf das Verhalten von Milchkühen. *Tierhaltung und Tiergesundheit. 14. IGN-Tagung, 6. Freiland-Tagung* (S. 88-91). Wien: Freiland-Verband.
- Krause, M. B. (1998). Fibrolytic Enzyme Treatment of Barley Grain and Source of Forage in High-Grain Diets Fed to Growing cattle. *J. Dairy Sci.* 76, 2912-2920.
- Kreßel, U. (2008). Dissertation: Erstellung eines Konzepts für ein dynamisches Qualitätssicherungssystem für Milcherzeugerbetriebe im Kontrollbereich Stoffwechselgesundheit.

Literaturverzeichnis

München: Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München.

Laca, E., and WallisDeVries, M. F. (2000). Acoustic measurement of intake and grazing behaviour. *Grass Forage Sci.* 55, 97-104.

Laca, E., Ungar, E., and Demment, M. (1994). Mechanisms of handling time and intake rate of a large mammalian grazer. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 39, 3-19.

Lehrer, A.R., Lewis, G.S. and Aizinbud, E. (1992). Questrus detection in cattle: recent developments. *Anim. Reprod. Sci.* 28, 355-362.

Lindgren, E. (2009). *Examensarbeit: Validation of rumination measurement equipment and the role of rumination in dairy cow time budgets* (Bd. 285). Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Animal Nutrition and Management .

Lindström, T., und Redbo, I. (2000). Effect of feeding duration and rumen fill on behaviour in dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 70, 83-97.

Luginbuhl, J.-M., Pond, K., Russ, C., and Burns, J. (1987). A simple electronic device and computer interface system for monitoring chewing behaviour of stall-feed ruminants. *J. Dairy Sci.* 70, 1307-1312.

Maekawa, M., Beauchemin, K., and Christensen, D. (2002). Effect of Concentrate Level and Feeding Management on Chewing Activities, Saliva Production, and Ruminal pH of Lactating Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 85, 1165-1175.

Matsui, K. (1994). A new ambulatory data logger for a long-term determination of grazing and rumination behaviour on free-ranging cattle, sheep and goats. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 39, 123-130.

Matsui, K., and Okubo, T. (1991). A method for quantification of jaw movements suitable for use on free-ranging cattle. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 32, 107-116.

Matsumoto, M., and Nishimura, T. (1998). Mersenne twister: A 623-dimensionally equidistributed uniform pseudorandom number generator. *ACM Trans. on Modeling and Computer Simulations* .

Melin, M., Pettersson, G., Svennersten-Sjaunja, K., and H., W. (2006). The effects of restricted feed access and social rank on feeding behavior, ruminating and intake for cows managed in automated milking systems. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 107, 13-21.

Mertens, D. R. (1997). Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *J. Dairy Sci.* , 80, 1463-1481.

Metz, H. M. (1975). Time patterns of feeding and rumination in domestic animals. (H. Veenam, und B. V. Zonen, Hrsg.) Wageningen, Wageningen Academic Publisher.

Meyer, U., Gädeken, D., Spolders, M., und Flachowsky, G. (2001). Strukturbewertungssysteme in der Milchviehfütterung. *Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung: Tagungsunterlage; Beiträge der Veranstaltung vom 21. und 22.03.2001 in Fulda* (S. 31-33). Bonn:

VLK.

- Nagel,, Harms, K., Mahnke, E., und Piatkowski, B. (1972). Zur quantitativen Bestimmung der Kau- und Wiederkäuaktivität bei Milchkühen. *Arch. Tierern.* , 25, 21-26.
- Nørgaard, P. (1958). *Physical structure of feeds of dairy cows*, Diss. Frederigksberg, Denmark: Institute of Animal Science, Royal Vet. und Agric. University.
- Penning, P. (1983). A technique to record automatically some aspe of grazing and ruminating behaviour in sheep. *Grass For. Sci.* 39, 89-96.
- Piatkowski, B., Gürtler, H., und Voigt, J. (1990). Grundzüge der Wiederkäuer-Ernährung. In *Futteraufnahme beim Wiederkäuer* (S. 133-155). Gustav Fischer Verlag Jena.
- Piatkowski, B., Nagel,, und Bergner, E. (1977). Das Wiederkäuverhalten bei Kühen bei unterschiedlicher Trockensubstanzaufnahme und verschiedener physikalischer Form von Grasheu. *Arch. Tierern.* 27, 563-569.
- Potthast, V. (1985). Eine Methode zum Messen von Freß- und Wiederkauzeiten bei Milchkühen. *Zeitschrift für Tierphysiologie Tierernährung und Futtermittelkunde* 37, 94-99.
- Rook, A., and Huckle, C. (1997). Activity bout criteria for grazing dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 54, 89-86.
- Rosenberger, G., Dirksen, G., Gründer, H.-D., Grunert, E., Krause, D., und Stöber, M. (1990). *Die klinische Untersuchung des Rindes*. Berlin und Hamburg: Verlag Paul Parey.
- Rutter, S.M., Champion, R., und Penning, P. (1997). An automatic system to record foraging behaviour in free-ranging ruminants. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 54, 185-195.
- Schirmann, K. V. (2009). Technical note: Validation of a system for monitoring rumination in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92, 6052-6055.
- Schleisner, C., Nørgaard, P., and Hansen, H. (1999). Discriminant analysis of patterns of jaw movementduring rumination and eating in a cow. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A, Animal Science* 49, 251-259.
- Schneider, J. (2009). *Projekt zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit in der Milchviehhaltung*. Bitburg: Dienstleistungszentrum ländlicher Raum (DLR) Eifel. [http://www.dlr.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/2eca2af4a2290c7fc1256e8b005161c9/6F364CC63207BB0DC12575B500389355/\\$FILE/Projektbericht_2009.pdf](http://www.dlr.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/2eca2af4a2290c7fc1256e8b005161c9/6F364CC63207BB0DC12575B500389355/$FILE/Projektbericht_2009.pdf) .
- Spiekers, H. (2001). Neuer Strukturwert: Hohe Leistungen besser ausfüttern? *top agrar* (2).
- Steingass, H., und Zebelli, Q. (2008). Strukturbewertung von Rationen für die Milchkuh. In L. u. Raumberg-Gumpenstein (Hrsg.), 35. *Viehwirtschaftliche Fachtagung*. (19-25). Irdning A-8952: Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein.
- Steinwigger, A., und Gruber, L. (2002). Leistungsgrenzen der Milchkuh im Biolandbau sowie bei

Literaturverzeichnis

- konventioneller Haltung. *Seminar des genetischen Ausschusses der ZAR*, (13-35). Salzburg.
- Stobbs, T., and Cowper, L. (1972). Automatic measurement of the jaw movements of dairy cows during grazing and rumination. *Trop. Gras.* 6, 107-112.
- Sudweeks, E. M. (1977). Chewing time, rumen fermentation and their relationship in steers as affected by diet composition. *J. Anim. Sci.* 44, 694-699.
- Sundrum, A., Kulig, B., Rübeseam, K., Schröder, K., und Farke, A. (2002). Zur Bedeutung der Futterstruktur bei der Fütterung von Mastbullen. *Schriftenreihe der Rentenbank* 17, 161-195.
- Taniguchi, K., Yamatani, Y., and Otani, I. (1984). Effects of dietary protein content on chewing behaviour and digestibility in steers. *Jpn. J. Zootech. Sci.* 55, 772-779.
- Ulyatt, M. D. (1986). Contribution of chewing during eating and rumination to the clearance of digesta from the ruminoreticulum. In L. G. Milligan, *Control of Digestion and Metabolism in Ruminants*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, pp. 498-515.
- Ungar, E. D., and Rutter, M. (2006). Classifying cattle jaw movements: Comparing IGER Behaviour Recorder and acoustic techniques. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 98, 11-27.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., and Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fibre, non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci* 74, 3583-3597.
- Von Engelhardt, W., und Breves, G. (2000). *Physiologie der Haustiere*. Enke Verlag.
- Weiß, J., Pabst, W., Strack, K., und, G. (2005). *Tierproduktion* (13. Ausg.). Berlin und Hamburg: Paul Parey.
- Welch, J. G., and Smith, A. M. (1970). Forage quality and rumination time in cattle. *J. Dairy Sci.* 53, 797.
- Weston, R. H. (1982). Animal factors affecting feed intake. In J. B. Hacker (Ed.), *Nutritional limits to animal production from pastures. Proceedings of an international symposium held at St. Lucia, Queensland, Australia, August 24th - 28th 1981* Slough: C.A.B, p. 536.
- Wilson, J. R., Akin, D. E., McLeod, M. N., and Minson, D. J. (1989). Particle size reduction of the leaves of a tropical and a temperate grass by cattle. II. Relation of anatomical structure to the process of leaf breakdown through chewing and digestion. *Grass Forage Sci.* 44, 64-75.
- Woodford, S.T., and Murphy, M. (1988). Effect of forage Physical Form on Chewing Activity, Dry Matter Intake, and Rumen Function of Dairy Cows in Early Lactation. *J. Dairy Sci.* 71, 674-686.

10 Danksagung

An dieser Stelle sei all jenen gedankt, die die vorliegende Dissertationsarbeit ermöglicht und unterstützt haben:

- Herrn Professor Dr. A. Sundrum für seine arg strapazierte Geduld, die Betreuung der Arbeit und das Vertrauen, das er in mich gesetzt hat.
- Susanne Hartmann und ihrer Familie für Ihre Unterstützung und den leckeren Kuchen.
- Familie Wentrot für die unbezahlbare Unterstützung bei den Vorversuchen.
- Den Mitarbeitern des Landwirtschaftszentrums Haus Riswick für die sehr gute Zusammenarbeit bei der Durchführung der Versuche. Mein besonderer Dank gilt dabei Dr. Pries für die Möglichkeit den Versuch in Haus Riswick durchzuführen, sowie Hendrik van de Sand und Dr. Klaus Hünting für Ihre praktische Unterstützung bei der Versuchsdurchführung und der Zusammenführung der Versuchsdaten.
- Marco Haufe für die Umsetzung meiner Ideen in einen funktionierenden Datenlogger.
- Dr. Andreas Haja für die hervorragende Zusammenarbeit bei der Entwicklung der Auswertungssoftware.
- Herrn Prof. Dr. O. Hensel für seine Unterstützung und sein Vertrauen.
- Den Mitarbeitern der Fachgebiete Tierernährung und Tiergesundheit und Agrartechnik für die angenehme Atmosphäre während der Arbeit und auch außerhalb.
- Dem Hausmeisterteam des Fachbereichs 11 für die stete Unterstützung bei organisatorischen und praktischen Fragen.
- Allen meinen Freunden und meiner Familie

11 Anhang

Tabelle 11-1: Ergebnisse der Vermessung der Köpfe von 28 Versuchstieren im Versuchsbetrieb

| Versuchstier | Nackengurtlänge in cm | Maulumfang in cm | Kehlgurtlänge in cm | Schädellänge in cm | Schädelbreite in cm |
|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 1 | 107 | 53 | 52 | 59 | 32 |
| 2 | 119 | 54 | 59 | 61 | 34 |
| 3 | 109 | 49 | 56 | 54 | 32 |
| 4 | 111 | 49 | 55 | 68 | 29 |
| 5 | 111 | 49 | 51 | 53 | 34 |
| 6 | 107 | 49 | 61 | 56 | 31 |
| 7 | 119 | 49 | 59 | 60 | 36 |
| 8 | 113 | 49 | 56 | 49 | 32 |
| 9 | 111 | 51 | 56 | 51 | 31 |
| 10 | 108 | 47 | 68 | 48 | 36 |
| 11 | 114 | 52 | 54 | 51 | 30 |
| 12 | 110 | 49 | 65 | 56 | 34 |
| 13 | 110 | 45 | 61 | 53 | 31 |
| 14 | 107 | 49 | 57 | 51 | 36 |
| 15 | 114 | 52 | 60 | 52 | 32 |
| 16 | 106 | 50 | 52 | 50 | 31 |
| 17 | 109 | 49 | 53 | 48 | 30 |
| 18 | 109 | 49 | 50 | 55 | 34 |
| 19 | 115 | 49 | 62 | 52 | 34 |
| 20 | 109 | 52 | 52 | 56 | 32 |
| 21 | 111 | 51 | 56 | 50 | 33 |
| 22 | 112 | 49 | 56 | 56 | 33 |
| 23 | 108 | 47 | 53 | 55 | 31 |
| 24 | 110 | 52 | 51 | 51 | 32 |
| 25 | 110 | 49 | 55 | 57 | 31 |
| 26 | 107 | 49 | 57 | 54 | 33 |
| 27 | 114 | 49 | 58 | 50 | 34 |
| 28 | 115 | 52 | 55 | 56 | 33 |
| Mittelwert | 110,89 | 49,68 | 56,43 | 54 | 32,54 |
| Standard- abweichung | 3,44 | 1,91 | 4,32 | 4,42 | 1,84 |
| Minimum | 106 | 45 | 50 | 48 | 29 |
| Maximum | 119 | 54 | 68 | 68 | 36 |

Anhang

Tabelle 11-2: Spearman-Rho Korrelationskoeffizient, Signifikanz (2-seitig) und zugrunde liegende N-Anzahl der Boliparameter, der tierindividuellen Parameter, der Fütterungsparameter und der Milch- und Milchinhaltsstoffparameter (signifikante Korrelation mit $p < 0,000$ sind hervorgehoben)

| | Parameter | Spearman-Rho | Länge des Bolus in Sekunden | Anzahl Kauschläge pro Bolus | Frequenz der Kauschläge pro Sekunde pro Bolus |
|----------------------------|--|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|
| Boliparameter | Länge des Bolus in Sekunden | Korrelationskoeffizient | 1,000 | ,787 | ,206 |
| | | Sig. (2-seitig) | . | ,000 | ,000 |
| | | N | 3500 | 3500 | 3500 |
| | Anzahl Kauschläge pro Bolus | Korrelationskoeffizient | ,787 | 1,000 | ,714 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,000 | . | ,000 |
| | | N | 3500 | 3500 | 3500 |
| | Frequenz der Kau- schläge pro Sekunde pro Boli | Korrelationskoeffizient | ,206 | ,714 | 1,000 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,000 | ,000 | . |
| | | N | 3500 | 3500 | 3500 |
| Tierindividuelle Parameter | Versuchstier | Korrelationskoeffizient | -,444 | -,438 | -,282 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,000 | ,000 | ,000 |
| | | N | 3500 | 3500 | 3500 |
| | Laktationsnummer | Korrelationskoeffizient | -,069 | -,161 | -,250 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,000 | ,000 | ,000 |
| | | N | 3500 | 3500 | 3500 |
| | Laktationstag | Korrelationskoeffizient | ,275 | ,098 | -,146 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,000 | ,000 | ,000 |
| | | N | 3500 | 3500 | 3500 |
| | Lebendmasse in Kg | Korrelationskoeffizient | ,019 | -,100 | -,238 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,296 | ,000 | ,000 |
| | | N | 3000 | 3000 | 3000 |
| Fütterungsparameter | Grundfutteraufnahme (Frischmasse) in Kg pro Tag | Korrelationskoeffizient | ,121 | -,036* | -,220 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,000 | ,032 | ,000 |
| | | N | 3500 | 3500 | 3500 |
| | Grundfutteraufnahme (Trockenmasse) in Kg pro Tag | Korrelationskoeffizient | ,162 | -,035* | -,276 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,000 | ,041 | ,000 |
| | | N | 3500 | 3500 | 3500 |
| | Kraftfutteraufnahme in Kilogramm | Korrelationskoeffizient | -,135 | -,089 | -,047* |
| | | Sig. (2-seitig) | ,000 | ,000 | ,016 |
| | | N | 2636 | 2636 | 2636 |
| | | Korrelationskoeffizient | ,176 | ,002 | -,225 |

Anhang

| | Parameter | Spearman-Rho | Länge des Bolus in Sekunden | Anzahl Kauschläge pro Bolus | Frequenz der Kauschläge pro Sekunde pro Bolus |
|--------------------------------------|--|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|
| | Fressdauer pro Tag | Sig. (2-seitig) | ,000 | ,885 | ,000 |
| | | N | 3500 | 3500 | 3500 |
| Milch und Milchhaltsstoffe Parameter | Milchmenge in Kilo- gramm | Korrelationskoeffizient | ,066 | ,003 | -,125 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,000 | ,847 | ,000 |
| | | N | 3500 | 3500 | 3500 |
| | Fett Prozent in der Milch | Korrelationskoeffizient | ,048 | ,179 | ,298 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,005 | ,000 | ,000 |
| | | N | 3500 | 3500 | 3500 |
| | Protein Prozent in der Milch | Korrelationskoeffizient | ,142 | ,068 | -,069 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,000 | ,000 | ,000 |
| | | N | 3500 | 3500 | 3500 |
| | Fett zu Protein Quoti- ent | Korrelationskoeffizient | -,002 | ,182 | ,363 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,928 | ,000 | ,000 |
| | | N | 3500 | 3500 | 3500 |
| | Zellzahl in Tausend | Korrelationskoeffizient | -,113 | -,148 | -,064 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,000 | ,000 | ,000 |
| | | N | 3500 | 3500 | 3500 |
| | Harnstoff Teile pro Tausend | Korrelationskoeffizient | ,022 | ,054 | ,094 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,188 | ,001 | ,000 |
| | | N | 3500 | 3500 | 3500 |
| | Laktose Prozent in der Milch | Korrelationskoeffizient | -,019 | ,104 | ,182 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,259 | ,000 | ,000 |
| | | N | 3500 | 3500 | 3500 |
| | Energiekorrigierte Milchmenge in Kg | Korrelationskoeffizient | ,073 | ,052 | -,030 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,000 | ,002 | ,078 |
| | | N | 3500 | 3500 | 3500 |

Anhang

Tabelle 11-3: Regressionskoeffizienten der verschiedenen Einflussfaktoren der Regressionsmodelle der Boliparameter mit Standardfehler, T-Wert und Signifikanz. Signifikante Regressionskoeffizienten sind hervorgehoben.

| Modell | Einflussfaktoren | Regressionskoeffizient | Standardfehler | T | Signifikanz |
|---|--|------------------------|----------------|---------|-------------|
| Länge des Bolus in Sekunden | (Konstante) | 60,202 | 17,079 | 3,525 | 0,000 |
| | Kraftfutteraufnahme pro Tag | 0,253 | 0,078 | 3,236 | 0,001 |
| | Trockenmasseaufnahme | 0,458 | 0,228 | 2,010 | 0,045 |
| | Fressdauer pro Tag | 0,000 | 0,000 | 0,373 | 0,709 |
| | Laktationsnummer | -2,791 | 1,319 | -2,117 | 0,034 |
| | Protein (Prozent in der Milch) | 88,242 | 12,748 | 6,922 | 0,000 |
| | Zellzahl in Tausend | -0,101 | 0,016 | -6,524 | 0,000 |
| | Harnstoff (ppm) | -0,316 | 0,064 | -4,915 | 0,000 |
| | Energiekorrigierte Milch | -0,136 | 0,229 | -0,592 | 0,554 |
| | Lebendmasse in Kg | -0,284 | 0,031 | -9,113 | 0,000 |
| | Laktationstag | -0,109 | 0,027 | -4,000 | 0,000 |
| Anzahl Kauschläge pro Bolus | (Konstante) | -194,766 | 37,512 | -5,192 | 0,000 |
| | Kraftfutteraufnahme pro Tag | 1,929 | 0,172 | 11,245 | 0,000 |
| | Trockenmasseaufnahme | -2,563 | 0,501 | -5,115 | 0,000 |
| | Fressdauer pro Tag | 0,001 | 0,001 | 1,629 | 0,103 |
| | Laktationsnummer | 25,948 | 2,896 | 8,959 | 0,000 |
| | Protein (Prozent in der Milch) | 486,974 | 27,999 | 17,393 | 0,000 |
| | Zellzahl in Tausend | -0,342 | 0,034 | -10,036 | 0,000 |
| | Harnstoff (ppm) | -0,904 | 0,141 | -6,403 | 0,000 |
| | Energiekorrigierte Milch | -1,237 | 0,503 | -2,459 | 0,014 |
| | Lebendmasse in Kg | -1,368 | 0,069 | -19,952 | 0,000 |
| | Laktationstag | -1,004 | 0,060 | -16,775 | 0,000 |
| Frequenz der Kauschläge pro Sekunde pro Bolus | (Konstante) | -3,894 | 0,536 | -7,266 | 0,000 |
| | Kraftfutteraufnahme pro Tag | 0,033 | 0,002 | 13,457 | 0,000 |
| | Trockenmasseaufnahme (Grundfutter) pro Tag | -0,061 | 0,007 | -8,508 | 0,000 |
| | Fressdauer pro Tag | 0,000 | 0,000 | 1,486 | 0,137 |
| | Laktationsnummer | 0,583 | 0,041 | 14,091 | 0,000 |
| | Protein (Prozent in der Milch) | 8,213 | 0,400 | 20,531 | 0,000 |
| | Zellzahl in Tausend | -0,005 | 0,000 | -9,659 | 0,000 |
| | Harnstoff (ppm) | -0,013 | 0,002 | -6,318 | 0,000 |
| | Energiekorrigierte Milch | -0,026 | 0,007 | -3,554 | 0,000 |
| | Lebendmasse in Kg | -0,022 | 0,001 | -22,906 | 0,000 |
| | Laktationstag | -0,018 | 0,001 | -21,200 | 0,000 |

Anhang

Tabelle 11-4: Anzahl Teilungen, Abweichungsquadrate, Erklärungswert in % und Einflussfaktoren der Regressionsbaumanalyse des Wiederkäuphasenparameters Länge der Wiederkäuphase in Minuten ($R^2 = 0,93$).

| Einflussfaktor | Anzahl Teilungen | Abweichungsquadrate | Erklärungswert in % |
|--|-------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Anzahl Boli in der Wiederkäuphase | 7 | 66361,76 | 76,16 |
| Anzahl Kauschläge in der Wiederkäuphase | 3 | 20292,44 | 23,29 |
| Trockenmasseaufnahme | 1 | 476,96 | 0,55 |
| Summe | 11 | 87131,16 | 100 |

Tabelle 11-5: Anzahl Teilungen, Abweichungsquadrate, Erklärungswert in % und Einflussfaktoren der Regressionsbaumanalyse des Boliparameter Anzahl Boli in der Wiederkäuphase ($R^2 = 0,92$).

| Einflussfaktor | Anzahl Teilungen | Abweichungsquadrate | Erklärungswert in % |
|--|-------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Länge der Wiederkäuphase in Minuten | 8 | 72770,48 | 100 |
| Summe | 8 | 72770,48 | 100 |

Tabelle 11-6: Anzahl Teilungen, Abweichungsquadrate, Erklärungswert in % und Einflussfaktoren der Regressionsbaumanalyse des Boliparameter Anzahl Kauschläge in der Wiederkäuphase ($R^2=0,59$).

| Einflussfaktor | Anzahl Teilungen | Abweichungsquadrate | Erklärungswert in % |
|--|-------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Länge der Wiederkäuphase in Minuten | 3 | 571071030 | 100 |
| Summe | 3 | 571071030 | 100 |

Anhang

Tabelle 11-7: Anzahl Teilungen, Abweichungsquadrate, Erklärungswert in % und Einflussfaktoren der Regressionsbaumanalyse des Boliparameter Länge des Bolus in Sekunden.

| Einflussfaktor | Anzahl Teilungen | Abweichungs-quadrate | Erklärungswert in % |
|---------------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Versuchstier | 1 | 97335,71 | 77,29 |
| Trockenmasseaufnahme | 1 | 15074,93 | 11,97 |
| Milchmenge | 1 | 7237,14 | 5,75 |
| Kraftfuttermengeaufnahme | 1 | 6281,63 | 4,99 |
| Summe | 4 | 125929,41 | 100 |

Tabelle 11-8: Anzahl Teilungen, Abweichungsquadrate, Erklärungswert in % und Einflussfaktoren der Regressionsbaumanalyse des Boliparameter Anzahl der Kauschläge pro Bolus.

| Einflussfaktor | Anzahl Teilungen | Abweichungs-quadrate | Erklärungswert in % |
|--------------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Versuchstier | 1 | 613140,59 | 44,46 |
| Trockenmasseaufnahme | 3 | 389466,79 | 28,24 |
| Fettanteil der Milch | 1 | 271515,174 | 19,69 |
| Proteinanteil der Milch | 1 | 104949,85 | 7,61 |
| Summe | 6 | 1379072,39 | 100 |

Anhang

Tabelle 11-9: Mittelwert, Median, Minimum, Maximum, Standardabweichung und Varianz der erfassten Futteraufnahmeparameter

| Versuchstier | Mittelwert | Median | Minimum | Maximum | Standardabweichung | Varianz |
|---|------------|--------|---------|---------|--------------------|---------|
| Grundfutteraufnahme (Frischmasse) in Kg pro Tag | | | | | | |
| 25 | 54,43 | 55,10 | 40,15 | 61,10 | 7,47 | 55,81 |
| 38 | 35,73 | 36,55 | 31,65 | 39,45 | 2,39 | 5,73 |
| 72 | 34,52 | 34,15 | 32,90 | 40,55 | 2,04 | 4,15 |
| 214 | 22,43 | 21,80 | 20,75 | 25,45 | 1,72 | 2,97 |
| 222 | 21,30 | 22,10 | 20,20 | 22,10 | ,86 | ,73 |
| 963 | 42,78 | 45,55 | 36,30 | 45,80 | 4,17 | 17,42 |
| 964 | 44,11 | 44,40 | 39,30 | 51,35 | 3,63 | 13,21 |
| Grundfutteraufnahme (Trockenmasse) in Kg pro Tag | | | | | | |
| 25 | 17,17 | 17,08 | 12,61 | 19,55 | 2,48 | 6,16 |
| 38 | 13,53 | 13,89 | 11,96 | 15,02 | 1,11 | 1,24 |
| 72 | 13,67 | 13,69 | 13,13 | 16,02 | ,78 | ,61 |
| 214 | 11,14 | 10,90 | 10,08 | 12,70 | ,92 | ,84 |
| 222 | 10,08 | 10,32 | 9,62 | 10,32 | ,29 | ,08 |
| 963 | 13,47 | 14,30 | 11,40 | 14,58 | 1,36 | 1,86 |
| 964 | 16,56 | 16,74 | 13,860 | 19,71 | 1,45 | 2,10 |
| Kraftfutteraufnahme in Kg pro Tag | | | | | | |
| 25 | 4,11 | 4,30 | 3,30 | 4,40 | ,38 | ,15 |
| 38 | 8,59 | 8,10 | 5,20 | 12,70 | 2,30 | 5,29 |
| 72 | 6,53 | 6,40 | 5,50 | 7,40 | ,52 | ,27 |
| 214 | 8,33 | 8,80 | 4,40 | 11,40 | 2,40 | 5,78 |
| 222 | . | . | . | . | . | . |
| 963 | 7,82 | 9,00 | 3,90 | 9,20 | 2,09 | 4,39 |
| 964 | 9,07 | 10,70 | 4,50 | 11,40 | 2,53 | 6,40 |
| Fressdauer pro Tag in Minuten | | | | | | |
| 25 | 17394 | 18545 | 12730 | 18712 | 2242 | 5024369 |
| 38 | 13322 | 13204 | 11760 | 14457 | 865 | 747595 |
| 72 | 8634 | 8881 | 8117 | 10203 | 613 | 376159 |
| 214 | 7654 | 7717 | 7538 | 7717 | 75 | 5607 |
| 222 | 7471 | 7595 | 7295 | 7595 | 134 | 17990 |
| 963 | 13851 | 12640 | 12250 | 15838 | 1624 | 2636077 |
| 964 | 14172 | 13737 | 11578 | 17706 | 1594 | 2542076 |

Anhang

Tabelle 11-10: Anzahl Teilungen, Abweichungsquadrate, Erklärungswert in % und Einflussfaktoren der Regressionsbaumanalyse des Boliparameter Frequenz der Kauschläge pro Sekunde pro Bolus.

| Einflussfaktor | Anzahl Teilungen | Abweichungs-quadrate | Erklärungswert in % |
|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Versuchstier | 2 | 127,39 | 37,05 |
| Fettanteil der Milch | 1 | 110,56 | 32,16 |
| Trockenmasseaufnahme | 1 | 98,33 | 28,60 |
| Kraftfutterraufnahme | 1 | 7,54 | 2,19 |
| Summe | 5 | 343,81 | 100 |

Tabelle 11-11: Anzahl Teilungen, Abweichungsquadrate, Erklärungswert in % und Einflussfaktoren der Regressionsbaumanalyse der Fressdauer pro Tag ($R^2=0,57$).

| Einflussfaktor | Anzahl Teilungen | Abweichungs-quadrate | Erklärungswert in % |
|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Tages Wiederkäudauer | 1 | 51,80 | 100 |
| Summe | 1 | 51,80 | 100 |

Tabelle 11-12: Anzahl Teilungen, Abweichungsquadrate, Erklärungswert in % und Einflussfaktoren der Regressionsbaumanalyse der Wiederkäudauer pro Tag ($R^2=0,41$).

| Einflussfaktor | Anzahl Teilungen | Abweichungs-quadrate | Erklärungswert in % |
|-------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Laktose Prozent in der Milch | 1 | 29,94 | 100 |
| Summe | 1 | 29,94 | 100 |

Anhang

Tabelle 11-13: Spearman-Rho Korrelationskoeffizient, Signifikanz (2-seitig) und zugrunde liegende N-Anzahl der Wiederkäuphasenparameter, der tierindividuellen Parameter, der Fütterungsparameter und der Milch- und Milchinhaltsstoffparameter (signifikante Korrelation mit $p < 0,01$ sind hervorgehoben)

| | Parameter | Spearman-Rho | Länge der Wiederkäuphase in Minuten | Anzahl Boli in der Wiederkäuphase | Anzahl Kauschläge in der Wiederkäuphase | |
|--|---|---|-------------------------------------|-----------------------------------|---|-------------|
| Wiederkäuphase | Länge der Wiederkäuphase in Minuten | Korrelationskoeffizient | 1,000 | ,889 | ,941 | |
| | | Sig. (2-seitig) | . | ,000 | ,000 | |
| | | N | 160 | 160 | 160 | |
| | Anzahl Boli in der Wiederkäuphase | Korrelationskoeffizient | ,889 | 1,000 | ,812 | ,812 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,000 | . | ,000 | ,000 |
| | | N | 160 | 160 | 160 | 160 |
| | Anzahl Kauschläge in der Wiederkäuphase | Korrelationskoeffizient | ,941 | ,812 | 1,000 | 1,000 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,000 | ,000 | . | . |
| | | N | 160 | 160 | 160 | 160 |
| Tierindividuelle Parameter | Versuchstier | Korrelationskoeffizient | -,308** | -,395 | -,184 | |
| | | Sig. (2-seitig) | ,000 | ,000 | ,020 | |
| | | N | 160 | 160 | 160 | |
| | Laktationsnummer | Korrelationskoeffizient | ,094 | ,047 | ,136 | ,136 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,239 | ,554 | ,086 | ,086 |
| | | N | 160 | 160 | 160 | 160 |
| | Laktationstag | Korrelationskoeffizient | ,185 | ,164 | ,169 | ,169 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,019 | ,038 | ,033 | ,033 |
| | | N | 160 | 160 | 160 | 160 |
| | Lebendmasse in Kg | Korrelationskoeffizient | -,042 | -,048 | -,040 | -,040 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,622 | ,574 | ,642 | ,642 |
| | | N | 140 | 140 | 140 | 140 |
| | Fütterungsparameter | Grundfutteraufnahme (Frischmasse) in Kg pro Tag | Korrelationskoeffizient | -,021 | -,042 | ,009 |
| | | | Sig. (2-seitig) | ,790 | ,596 | ,910 |
| | | | N | 160 | 160 | 160 |
| Grundfutteraufnahme (Trockenmasse) in Kg pro Tag | | Korrelationskoeffizient | -,005 | -,026 | ,009 | ,009 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,946 | ,745 | ,915 | ,915 |
| | | N | 160 | 160 | 160 | 160 |
| Kraftfutteraufnahme in Kilogramm | | Korrelationskoeffizient | ,042 | ,017 | ,043 | ,043 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,595 | ,828 | ,587 | ,587 |
| | | N | 160 | 160 | 160 | 160 |
| Fressdauer pro Tag | | Korrelationskoeffizient | ,054 | ,015 | ,069 | ,069 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,496 | ,847 | ,385 | ,385 |
| | | N | 160 | 160 | 160 | 160 |

Anhang

| | Parameter | Spearman-Rho | Länge der Wiederkäuphase in Minuten | Anzahl Boli in der Wiederkäuphase | Anzahl Kauschläge in der Wiederkäuphase |
|--------------------------------------|--|-------------------------|---|--------------------------------------|--|
| Milch und Milchhaltsstoffe Parameter | Milchmenge in Kilo- gramm | Korrelationskoeffizient | ,201 | ,128 | ,198 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,011 | ,108 | ,012 |
| | | N | 160 | 160 | 160 |
| | Fett Prozent in der Milch | Korrelationskoeffizient | -,173 | -,076 | -,174 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,028 | ,340 | ,028 |
| | | N | 160 | 160 | 160 |
| | Protein Prozent in der Milch | Korrelationskoeffizient | ,041 | ,094 | -,039 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,604 | ,239 | ,626 |
| | | N | 160 | 160 | 160 |
| | Fett zu Protein Quoti- ent | Korrelationskoeffizient | -,205 | -,092 | -,184 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,009 | ,245 | ,020 |
| | | N | 160 | 160 | 160 |
| | Zellzahl in Tausend | Korrelationskoeffizient | -,002 | -,065 | ,087 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,979 | ,415 | ,272 |
| | | N | 160 | 160 | 160 |
| | Harnstoff Teile pro Tausend | Korrelationskoeffizient | -,146 | -,134 | -,204 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,066 | ,092 | ,010 |
| | | N | 160 | 160 | 160 |
| | Laktose Prozent in der Milch | Korrelationskoeffizient | ,050 | ,059 | ,002 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,532 | ,457 | ,977 |
| | | N | 160 | 160 | 160 |
| | Energiekorrigierte Milchmenge in Kg | Korrelationskoeffizient | ,096 | ,075 | ,090 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,227 | ,344 | ,260 |
| | | N | 160 | 160 | 160 |

Anhang

Tabelle 11-14: Spearman-Rho Korrelationskoeffizient, Signifikanz (2-seitig) der Tages- Fress- und Wiederkäudauer, der tierindividuellen Parameter, der Fütterungsparameter und der Milch- und Milchinhaltstoffsparameter (signifikante Korrelation mit $p < 0,05$ sind hervorgehoben)

| | Parameter | Spearman-Rho (n = 12) | Tages Fressdauer | Tages Wiederkäudauer |
|--------------------------------------|---|--------------------------|---------------------|-------------------------|
| | Tages Fressdauer | Korrelationskoeffizient | 1,000 | -,678 |
| | | Sig. (2-seitig) | | ,015 |
| | Tages Wiederkäudauer | Korrelationskoeffizient | -,678 | 1,000 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,015 | |
| Tierindividuelle Parameter | Versuchstier | Korrelationskoeffizient | -,302 | 0,22 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,340 | ,947 |
| | Laktationsnummer | Korrelationskoeffizient | -,097 | -,338 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,765 | ,283 |
| | Laktationstag | Korrelationskoeffizient | ,108 | -,540 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,738 | ,070 |
| | Lebendmasse in Kg | Korrelationskoeffizient | -,756 | ,756 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,004 | ,004 |
| Fütterungsparameter | Grundfutteraufnahme (Frischmasse) in Kg pro Tag | Korrelationskoeffizient | ,070 | -,357 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,829 | ,255 |
| | Grundfutteraufnahme (Trockenmasse) in Kg pro Tag | Korrelationskoeffizient | -,399 | ,294 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,199 | ,354 |
| | Kraftfutteraufnahme in Kilogramm | Korrelationskoeffizient | -,366 | -,165 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,243 | ,608 |
| Milch und Milchinhaltstoffsparameter | Milchmenge in Kilogramm | Korrelationskoeffizient | ,252 | -,469 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,430 | ,124 |
| | Energiekorrigierte Milchmenge in Kg | Korrelationskoeffizient | -,238 | ,410 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,457 | ,185 |
| | Fett Prozent in der Milch | Korrelationskoeffizient | ,302 | -,022 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,340 | ,947 |
| | Protein Prozent in der Milch | Korrelationskoeffizient | -,238 | ,410 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,457 | ,185 |
| | Fett zu Protein Quotient | Korrelationskoeffizient | ,389 | -,799 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,212 | ,002 |
| | Zellzahl in Tausend | Korrelationskoeffizient | ,389 | -,799 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,212 | ,002 |
| | Harnstoff Teile pro Tausend | Korrelationskoeffizient | -,130 | ,626 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,688 | ,029 |
| | Laktose Prozent in der Milch | Korrelationskoeffizient | -,603 | ,819 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,038 | ,001 |