

# **Sensorbasierte Analyse des Fress- und Wiederkauverhaltens von Kühen**

## **DISSERTATION**

**zur Erlangung des akademischen Grades**

**Doctor rerum agriculturarum**

**(Dr. rer. agr.)**

**eingereicht an der  
Lebenswissenschaftlichen Fakultät  
der Humboldt-Universität zu Berlin**

von  
Dipl.-Biol., M.Sc. Annabell Sonja Wobschall

Präsidentin  
der Humboldt-Universität zu Berlin  
Prof. Dr.-Ing. Dr. Sabine Kunst

Dekan  
der Lebenswissenschaftlichen Fakultät  
Prof. Dr. rer. nat. Bernhard Grimm

Gutachter:  
1. Prof. Dr. Dr. h.c. Otto Kaufmann  
2. Univ.-Prof. Dr. Thomas Amon

Tag der mündlichen Prüfung: 06.06.2017

für meinen Vater

## INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS .....	I
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	IV
ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	V
TABELLENVERZEICHNIS .....	IX
1. Einleitung .....	1
2. Analyse der Futteraufnahme und des Fressverhaltens.....	3
2.1 Stand des Wissens.....	3
2.1.1 Futteraufnahme und Fressverhalten von Rindern.....	3
2.1.2 Wiederkauen.....	6
2.1.3 Kau- und Wiederkauaktivität .....	8
2.1.4 Mahlzeitenkriterium.....	8
2.1.5 Bedeutung des Fress- und Wiederkauverhaltens .....	10
2.1.6 Regulation und Motivation der Futteraufnahme und des Wiederkauens.....	11
2.1.7 Einflüsse auf die Futteraufnahme und das Fress- und Wiederkauverhalten.....	13
2.1.8 Fazit.....	16
2.2 Ontogenese des Fressverhaltens bei Kühen.....	19
2.2.1 Tiere, Material und Methoden .....	20
2.2.2 Ergebnisse .....	26
2.2.3 Diskussion und Schlussfolgerungen .....	48
3. Langzeiterfassung des Fress- und Wiederkauverhaltens .....	55

3.1	Stand des Wissens und der Technik .....	55
3.1.1	Bildgebende Verfahren und Videoanalysetechnik.....	55
3.1.2	Pneumatische und hydraulische Druckaufnehmer.....	56
3.1.3	Elektrische Schalter und elektrische Verformungssensoren .....	58
3.1.4	Akustische Sensoren .....	59
3.1.5	RFID-basierte Systeme.....	61
3.1.6	Elektromyographie.....	62
3.1.7	3D-Beschleunigungssensoren .....	63
3.1.8	Automatisierte Analyse der Fress- und Wiederkauaktivitäten.....	64
3.1.9	Fazit .....	65
3.2	Langzeiterfassung des Fressverhaltens mit RFID-Erkennung .....	67
3.2.1	Tiere, Material und Methoden .....	67
3.2.2	Ergebnisse .....	72
3.2.3	Diskussion und Schlussfolgerungen .....	81
3.3	Analyse des Fress- und Wiederkauverhaltens mit EMG-Sensoren.....	85
3.3.1	Stand der Technik.....	86
3.3.2	Entwicklungsstand eigenes Sensorsystem .....	86
3.3.3	Positionierung des Sensors auf dem Kaumuskel.....	88
3.3.4	Einflüsse des Halfters und Validität der Messdaten .....	89
3.3.5	Schwierigkeiten der Oberflächen-Elektromyographiemessung.....	90
3.4	Detailanalyse von OEMG-Sensorsignalen .....	93
3.4.1	Tiere, Material und Methoden .....	94

3.4.2	Ergebnisse: Detailanalyse der Sensorsignale.....	97
3.4.3	Ergebnisse: Merkmale des Fress- und des Wiederkauverhaltens .....	105
3.4.4	Ergebnisse: Beziehungen von Merkmalen des Fress- und des Wiederkauverhaltens .....	115
3.4.5	Ergebnisse: Beziehungen zwischen Fressen, Wiederkauen, Liegen und Aktivität. ....	126
3.4.6	Diskussion und Schlussfolgerungen .....	132
4.	Zusammenfassung.....	141
5.	Summary.....	143
6.	Literatur.....	145
7.	Anhang.....	165
7.1	Versuchsberichte der LLG Iden.....	165
7.2	Daten zu den Versuchen .....	167
7.2.1	Ontogenese des Fressverhaltens von Kühen .....	167
7.2.2	Langzeiterfassung des Fressverhaltens mit RFID-Erkennung.....	177
7.2.3	Detailanalyse von OEMG-Sensorsignalen.....	183

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ad lib.	ad libitum
a.p.	ante partum
ca.	circa
Diff.	Differenz
EFS	Einzelfutterstrecke
EMG	Elektromyographie
et al.	und andere
Fressgeschw.	Fressgeschwindigkeit
g	Gramm
h	Stunde
kg	Kilogramm
LNR	Laktationsnummer
Lkt.	Laktation
min	Minute
MJ NEL	Megajoule Nettoenergie Laktation
MW	Mittelwert
N/n	Anzahl
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
OEMG	Oberflächenelektromyographie
o.g.	oben genannt
p.p.	post partum
s	Sekunde
SD	Standardabweichung
Sign.	Signifikanz
TMR	Totale Mischration
TM	Trockenmasse
vs.	versus
z.B.	zum Beispiel
%	Prozent

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

<b>Abbildung 1:</b> Steuerung der Futteraufnahme durch physiologische und physikalische Faktoren (aus Gruber et al. 2002).....	12
<b>Abbildung 2:</b> Fresszeit pro Tag (h) und Futteraufnahme pro Tag (kg TM) für Kühe der ersten Laktation und Kühe der fünften bis achten Laktation .....	27
<b>Abbildung 3:</b> Anzahl Besuche und Mahlzeiten pro Tag für Kühe der ersten Laktation und Kühe der fünften bis achten Laktation .....	27
<b>Abbildung 4:</b> Mittlere Mahlzeitendauer (min) und Anzahl Besuche pro Mahlzeit für Kühe der ersten Laktation und Kühe der fünften bis achten Laktation.....	28
<b>Abbildung 5:</b> Futteraufnahme pro Mahlzeit und mittlere Fressgeschwindigkeit für Kühe der ersten Laktation und Kühe der fünften bis achten Laktation.....	28
<b>Abbildung 6:</b> Energieaufnahme pro Tag (MJ NEL) und pro Mahlzeit (MJ NEL) für Kühe der ersten Laktation und Kühe der fünften bis achten Laktation.....	29
<b>Abbildung 7:</b> Tägliche Fresszeit (h) pro Tier für die Laktationen 1-3 .....	32
<b>Abbildung 8:</b> Tägliche Futteraufnahme (kg TM) pro Tier für die Laktationen 1-3 .....	33
<b>Abbildung 9:</b> Besuche am Wiegetrog pro Tag und Tier für die Laktationen 1-3 .....	34
<b>Abbildung 10:</b> Mahlzeiten pro Tag und Tier für die Laktationen 1-3 .....	35
<b>Abbildung 11:</b> Mittlere Mahlzeitendauer (min) pro Tier für die Laktationen 1-3 .....	36
<b>Abbildung 12:</b> Besuchsanzahl pro Mahlzeit und Tier für die Laktationen 1-3.	37
<b>Abbildung 13:</b> Futteraufnahme pro Mahlzeit (kg TM) pro Tag und Tier für die Laktationen 1-3 .....	38
<b>Abbildung 14:</b> Fressgeschwindigkeit (g TM min <sup>-1</sup> ) pro Tier für die Laktationen 1-3 .....	40

**Abbildung 15:** Tägliche Energieaufnahme (MJ NEL) pro Tier für die Laktationen 1-3 ..... 41

**Abbildung 16:** Energieaufnahme pro Mahlzeit (MJ NEL) pro Tier für die Laktationen 1-3..... 42

**Abbildung 17:** Fressplätze im Stall mit Tiererkennungseinheit (1) und Prozesscomputer (2) ..... 68

**Abbildung 18:** Gesamtbesuchsdauer für Gruppe I und II , 7 Tage a.P. bis 21 Tage p.P. .... 74

**Abbildung 19:** Anzahl an Mahlzeiten für beide Gruppen, 7 Tage a.P. bis 21 Tage p.P. .... 75

**Abbildung 20:** Mittlere Mahlzeitendauer für beide Gruppen, 7 Tage a.P. bis 21 Tage p.P. .... 76

**Abbildung 21:** Tiererkennungseinheit, Ausrichtung des Felds vom Fressgitter weg ..... 82

**Abbildung 22:** Schematische Darstellung des EMG-Sensorsystems (links) und der Datenübertragung via Funk (rechts)..... 87

**Abbildung 23:** Links-Darstellung des *M. masseter* am Rinderkopf (Zeichnung D. Starke, aus: Budras und Buda, 2007), rechts-Platzierung der OEMG-Elektrode auf dem Musculus masseter über ein Halfter ..... 89

**Abbildung 24:** Ein Wiederkauzyklus mit der Pause zu Beginn (Heraufwürgen eines Bolus) und der Pause zum Ende (Abschlucken des Bolus) ..... 98

**Abbildung 25:** Ausschnitt aus einer Wiederkauperiode mit mehreren Wiederkauzyklen ..... 99

**Abbildung 26:** Ausschnitt aus einer Wiederkauperiode mit wechselndem Muster (Intensität und Dauer)..... 99

**Abbildung 27:** Ausschnitt aus einer Fressesequenz über ca. 30 min ..... 101



---

<b>Abbildung 28:</b> Ausschnitt aus einer Fressesequenz (Abbildung 27), Zeitfenster ca. 3 min .....	101
<b>Abbildung 29:</b> Fressmuster einer Mahlzeit .....	102
<b>Abbildung 30:</b> OEMG-Signalmuster beim Trogwechsel über 4 min Dauer... ..	103
<b>Abbildung 31:</b> EMG-Signal beim Fressen, Fresszeit ermittelt über den Wiegetrog.....	104
<b>Abbildung 32:</b> Vergrößerung der Abbildung 34, Fresszeit ermittelt über den Wiegetrog.....	104
<b>Abbildung 33:</b> Wiederkauaktivität beim Verlassen des Wiegetrogs, Zeit ermittelt über den Wiegetrog.....	105
<b>Abbildung 34:</b> Relative Häufigkeitsverteilung der log - transformierten Pausen zwischen den einzelnen Wiederkauaktivitäten, inklusive Vergrößerung, Klassenbreite 0,25 log.....	106
<b>Abbildung 35:</b> Parametrische Regression der Anzahl Wiederkauzyklen und der Wiederkauzeit pro Tag .....	109
<b>Abbildung 36:</b> Relative Variation der Standardabweichung der Wiederkauzeit pro Tag (A) und der Wiederkauzyklen pro Tag (B) vom tierindividuellen Mittelwert .....	110
<b>Abbildung 37:</b> Nicht-parametrische Regression der täglichen Futteraufnahme (kg TM) in Abhängigkeit von der täglichen Fresszeit (h) .....	113
<b>Abbildung 38:</b> Nicht-parametrische Regression der Mahlzeitenanzahl pro Tag in Abhängigkeit von der täglichen Futteraufnahme (kg TM).....	114
<b>Abbildung 39:</b> Nicht-parametrische Regression der Futteraufnahme pro Mahlzeit (kg TM) in Abhängigkeit von der Mahlzeitenanzahl pro Tag .....	115
<b>Abbildung 40:</b> Nicht-parametrische Regression der täglichen Wiederkauzeit (h) in Abhängigkeit von der täglichen Futteraufnahme (kg TM).....	116

**Abbildung 41:** Nicht-parametrische Regression der täglichen Wiederkauzeit (h) in Abhängigkeit von der täglichen Fresszeit (h)..... 117

**Abbildung 42:** Regression der Wiederkauzeit in Abhängigkeit zur aufgenommenen Futtermenge vor der Wiederkauperiode (kg TM) ..... 120

**Abbildung 43:** Quotient aus aufgenommener Futtermenge (kg TM) und der Wiederkauzeit nach der Futteraufnahme (min)..... 121

**Abbildung 44:** Dichteverteilung des Quotienten aus aufgenommener Futtermenge (g TM) und der Wiederkauzeit nach der Futteraufnahme (min). 122

**Abbildung 45:** Regression der Wiederkauzeit nach vorhergehender Futteraufnahme (min) in Abhängigkeit zur gesamten Fresszeit vor der Wiederkauperiode (min) ..... 123

**Abbildung 46:** Regression der Anzahl der Wiederkauperioden pro Tag in Abhängigkeit Mahlzeitenanzahl pro Tag..... 124

**Abbildung 47:** Relative Häufigkeitsverteilung der log - transformierten Pausen zwischen den einzelnen Kauaktivitäten, Klassenbreite 0,25 log..... 126

**Abbildung 48:** Tageszeitlicher Verlauf der Aktivität (A), Liegezeit (B), Fressdauer (C) und Wiederkaudauer (D), grau markiert = Melkzeiten, blau markiert = Fütterungszeiten..... 127

**Abbildung 49:** Mindestanteil des Wiederkauens bezogen auf die Wiederkauzeit pro Tag ..... 130

## TABELLENVERZEICHNIS

<b>Tabelle 1:</b> Ergebnisse der statistischen Analyse für die Merkmale des Fressverhaltens (Wilcoxon (Mann-Whitney)-Test für ungepaarte Daten, Signifikanzlevel 0,05, Konfidenzlevel 0,95) .....	30
<b>Tabelle 2:</b> Ergebnisse der statistischen Analyse für die Merkmale des Fressverhaltens (nicht-parametrischer multipler Vergleich), Werte in einer Zeile mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, $p \leq 0,05$ .....	43
<b>Tabelle 3:</b> Durchschnittliche Energieaufnahme (MJ NEL) pro Tag und Tier für die Laktationen 1-3; blau unterlegt = Kühe, deren Energieaufnahme kontinuierlich steigt .....	45
<b>Tabelle 4:</b> Prozentuale Abweichungen der täglichen Fresszeit und der täglichen Trockenmasseaufnahme zwischen beiden Gruppen und zwischen den Laktationen.....	46
<b>Tabelle 5:</b> Prozentuale Abweichungen der täglichen Besuche und der täglichen Mahlzeiten zwischen beiden Gruppen und zwischen den Laktationen .....	46
<b>Tabelle 6:</b> Prozentuale Abweichungen der Besuche pro Mahlzeit und der Mahlzeitendauer zwischen beiden Gruppen und zwischen den Laktationen ...	46
<b>Tabelle 7:</b> Prozentuale Abweichungen der Futteraufnahme pro Mahlzeit und der Fressgeschwindigkeit zwischen beiden Gruppen und zwischen den Laktationen .....	46
<b>Tabelle 8:</b> Prozentuale Abweichungen der Energieaufnahme pro Tag und pro Mahlzeit zwischen beiden Gruppen und zwischen den Laktationen .....	47
<b>Tabelle 9:</b> Vergleich der Varianzen aller Merkmale des Fressverhaltens in den Laktationen 1-3 .....	47
<b>Tabelle 10:</b> Vergleich des Trends der Merkmale des Fressverhaltens in beiden Analysen .....	52

<b>Tabelle 11:</b> Mittelwerte und Varianz der Parameter des Fressverhaltens beider Gruppen, Werte in einer Überspalte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, $p \leq 0,05$ .....	77
<b>Tabelle 12:</b> Mittelwerte und Standardabweichungen der Merkmale des Fressverhaltens für die 5 Abschnitte, Gruppe I.....	79
<b>Tabelle 13:</b> Statistische Auswertung der Merkmale des Fressverhaltens (Steel-Dwass-Test, Signifikanzlevel 0,05), Gruppe I.....	79
<b>Tabelle 14:</b> Mittelwerte und Standardabweichungen der Merkmale des Fressverhaltens für die 5 Abschnitte, Gruppe II.....	79
<b>Tabelle 15:</b> Statistische Auswertung der Merkmale des Fressverhaltens (Steel-Dwass-Test, Signifikanzlevel 0,05), Gruppe II.....	80
<b>Tabelle 16:</b> Statistische Auswertung der Merkmale des Fressverhaltens, Vergleich der Abschnitte zwischen Gruppe I und Gruppe II .....	80
<b>Tabelle 17:</b> Merkmale des Wiederkauverhaltens: Anzahl und Dauer der Wiederkauzyklen pro Tag, Pausendauer I und II.....	107
<b>Tabelle 18:</b> Merkmale des Wiederkauverhaltens: Wiederkauzeit und Wiederkauperioden pro Tag und Dauer der Wiederkauperioden .....	108
<b>Tabelle 19:</b> Peakfrequenz beim Wiederkauen .....	111
<b>Tabelle 20:</b> Merkmale des Fressverhaltens: tägliche Fresszeit (h), Mahlzeiten pro Tag, tägliche Futteraufnahme (kg TM), Futteraufnahme pro Mahlzeit (kg TM) und Mahlzeitendauer (min).....	112
<b>Tabelle 21:</b> Anzahl der Mahlzeiten vor einer Wiederkauperiode und nachfolgende Anzahl an Wiederkauperioden .....	118
<b>Tabelle 22:</b> Futtermenge (kg TM) und Fresszeit (min) vor einer Wiederkauperiode und Dauer der nachfolgenden Wiederkauperiode (min)...	119
<b>Tabelle 23:</b> Pause zwischen Mahlzeit und Wiederkauperiode und zwischen Wiederkauperiode und Mahlzeit .....	125

<b>Tabelle 24:</b> Tägliche Fress- und Wiederkauzeit, sowie tägliche Aktivität und Liegezeit pro Tier .....	128
<b>Tabelle 25:</b> Wiederkauzeit gesamt (h), Wiederkauzeit im Stehen (h) und prozentualer Anteil der Wiederkauzeit im Stehen pro Tier und Tag .....	129
<b>Tabelle 26:</b> Charakteristische Merkmale des Fress- und Wiederkauverhaltens, zusammengefasst .....	131
<b>Tabelle 27:</b> Mittlere Fresszeit pro Tag (h) von allen Kühen für die Laktationen 1-3 .....	167
<b>Tabelle 28:</b> Mittlere Futteraufnahme pro Tag (kg TM) von allen Kühen für die Laktationen 1-3 .....	168
<b>Tabelle 29:</b> Mittlere Anzahl Besuche pro Tag am Wiegetrog von allen Kühen für die Laktationen 1-3 .....	169
<b>Tabelle 30:</b> Mittlere Anzahl Mahlzeiten pro Tag von allen Kühen für die Laktationen 1-3 .....	170
<b>Tabelle 31:</b> Mittlere Mahlzeitendauer pro Tag (min) von allen Kühen für die Laktationen 1-3 .....	171
<b>Tabelle 32:</b> Mittlere Anzahl Besuche pro Mahlzeit von allen Kühen für die Laktationen 1-3 .....	172
<b>Tabelle 33:</b> Mittlere Futteraufnahme pro Mahlzeit (kg TM) von allen Kühen für die Laktationen 1-3 .....	173
<b>Tabelle 34:</b> Mittlere Fressgeschwindigkeit (g TM min <sup>-1</sup> ) von allen Kühen für die Laktationen 1-3 .....	174
<b>Tabelle 35:</b> Mittlere Energieaufnahme pro Tag (MJ NEL) von allen Kühen für die Laktationen 1-3 .....	175
<b>Tabelle 36:</b> Mittlere Energieaufnahme pro Mahlzeit (MJ NEL) von allen Kühen für die Laktationen 1-3 .....	176
<b>Tabelle 37:</b> Ergebnisse der Blutproben der Versuchskühe, BHB (mmol l <sup>-1</sup> ) ..	177

<b>Tabelle 38:</b> Ergebnisse der Blutproben der Versuchskühe, Chol (mmol l <sup>-1</sup> )... 178	178
<b>Tabelle 39:</b> Ergebnisse der Blutproben der Versuchskühe, FFS (mmol l <sup>-1</sup> ) ... 179	179
<b>Tabelle 40:</b> Besuchsdauer pro Tag (h), Gruppe I und II..... 180	180
<b>Tabelle 41:</b> Anzahl Mahlzeiten pro Tag, Gruppe I und II..... 181	181
<b>Tabelle 42:</b> Mittlere Mahlzeitendauer pro Tag (min), Gruppe I und II..... 182	182
<b>Tabelle 43:</b> Anzahl und Dauer (s) der Wiederkauzyklen ..... 183	183
<b>Tabelle 44:</b> Dauer der Pausen I. (s) und II. Ordnung (h)..... 184	184
<b>Tabelle 45:</b> Tägliche Wiederkauzeit (h) und Dauer der Wiederkauperioden (min) ..... 185	185
<b>Tabelle 46:</b> Anzahl Wiederkauperioden und Anzahl Mahlzeiten pro Tag..... 186	186
<b>Tabelle 47:</b> Fresszeit pro Tag (h) und Futteraufnahme pro Tag (kg TM) ..... 187	187
<b>Tabelle 48:</b> Futteraufnahme pro Mahlzeit (kg TM) und Mahlzeitendauer (min) ..... 188	188
<b>Tabelle 49:</b> Pausen zwischen Fressen und Wiederkauen und zwischen Wiederkauen und Fressen..... 189	189
<b>Tabelle 50:</b> Anzahl Mahlzeiten vor Wiederkauen und Anzahl Wiederkauperioden nach Mahlzeit ..... 190	190

## 1. Einleitung

In der Nutztierhaltung spielen Hochleistungskühe eine entscheidende Rolle. Deren Gesunderhaltung durch frühzeitiges Erkennen von Auffälligkeiten insbesondere im Fress- und Wiederkauverhalten kommt eine hohe Bedeutung zu. Daher konzentrieren sich viele verschiedene Ansätze auf den Zusammenhang zwischen physiologischen Zuständen und den Verhaltensänderungen. Typische Verhaltensweisen der Kühe, wie die tierindividuelle Futteraufnahme und/oder die Wiederkautätigkeit, aber auch die Bewegungsaktivität des Tieres sind geeignete, objektiv überwachbare tierbezogene Indikatoren. Deren Erfassung und Bewertung erlauben eine Aussage über den Stand des Tierwohls und der Tiergesundheit. Viele Erkrankungen zeigen sich bereits Tage vor der Diagnose in einer deutlich verminderten Futteraufnahme und einer Reduktion des Wiederkauens. Beide Verhaltensweisen werden aber von einer Vielzahl von Faktoren und ihrem komplexen Zusammenspiel beeinflusst, sodass die Bewertung der Verhaltensänderungen eine große Herausforderung darstellt. Sensorsysteme, die in der Lage sind, das Fress- und Wiederkauverhalten tierindividuell mit ausreichender zeitlicher Auflösung über lange Zeitspannen zu erfassen, müssen im Datenmanagement sowohl die tierindividuellen Variationen berücksichtigen als auch die externen Einflüsse des Haltungs- und Fütterungsregimes mit einbeziehen. Nur so ist eine vernünftige Bewertung der Verhaltensweisen im Hinblick auf Problemlagen der Kühe überhaupt erst möglich.

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in zwei Themenbereiche. Im ersten Teil der Arbeit (Kapitel 2) werden Daten aus verschiedenen Fütterungsversuchen der Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLG Iden) über einen Zeitraum von sechs Jahren analysiert. Schwerpunkt dieses Kapitels ist die Untersuchung von generellen Verhaltensunterschieden im Fressverhalten zwischen jungen und alten Kühen und deren Entwicklung von der ersten bis zur dritten Laktation.

Der zweite Teil der Arbeit (Kapitel 3) befasst sich mit der Entwicklung und der wissenschaftlichen Validierung von Sensorsystemen zur Überwachung des

Fress- und des Wiederkauverhaltens von Milchkühen. Diese wurden im Rahmen von Forschungsprojekten mitentwickelt. Schwerpunkt dieses Kapitels ist es, neue und noch in der Entwicklung befindliche Sensorsysteme zu erproben und wissenschaftlich zu validieren.

Um die genannten Schwerpunkte zu analysieren, standen folgende übergeordnete Fragen im Mittelpunkt dieser Arbeit:

1. Ändern sich Merkmale des Fressverhaltens mit zunehmendem Alter und höherer Laktationszahl und wenn ja, wie entwickeln sie sich?
2. Wie sind sensorbasierte System zur Überwachung des Fress- und Wiederkauverhaltens zu bewerten?



## **2. Analyse der Futtermittelaufnahme und des Fressverhaltens**

Die ausreichende Versorgung eines Organismus mit Energie und Nährstoffen ist zwingend notwendig für Wachstum, Überleben und Fortpflanzung. Zur Aufrechterhaltung der Homöostase eines Tieres sind Verhalten und Physiologie eng aufeinander abgestimmt. Das Verhalten wird dabei im funktionalen Zusammenhang des Energiestoffwechsels auch durch mehrere intrinsische Variablen moduliert (Kappeler, 2006). Die ausreichende Energieaufnahme ist bei Milchkühen essentiell zum Erhalt ihrer Leistung und Gesundheit. Die Notwendigkeit der Überwachung dieser Verhaltensweisen in Milchviehbetrieben ergibt sich dabei aus der Diskrepanz zwischen Milchleistung und Futtermittelaufnahmevermögen zur Energiebedarfsdeckung einer Hochleistungskuh und den daraus folgenden Problemen. In der Vergangenheit hat sich eine Vielzahl von Untersuchungen mit dem Thema auseinandergesetzt.

### **2.1 Stand des Wissens**

Der derzeitige Stand des Wissens zur Futtermittelaufnahme und zum Fress- und Wiederkauverhalten bei Milchrindern wird im folgenden Abschnitt unter ethologischen und physiologischen Aspekten zusammengefasst dargestellt.

#### **2.1.1 Futtermittelaufnahme und Fressverhalten von Rindern**

In freier Natur nehmen Rinder in ständiger Vorwärtsbewegung Gräser auf. Dabei dient das Kauen bei der Futtermittelaufnahme nicht in erster Linie der Partikelzerkleinerung (Ulyatt et al., 1986), sondern der Formung eines abschluckfähigen Bolus. Dies setzt teilweise lösliche Bestandteile im Futter frei und ermöglicht über die mit dem Kauvorgang verbundene Desintegration des pflanzlichen Zellgewebes den Beginn des mikrobiellen Abbaus im Retikulum (Pond et al., 1984; Kolb, 1989; Beauchemin, 1991). Eine Kuh benötigt täglich ca. 2,5 % ihrer eigenen Körpermasse in Form von Trockenmasse (Sambraus, 1991). Der Energiebedarf hängt dabei von Größe, Gewicht, Leistung und den Umweltbedingungen ab. In Stallhaltung besteht das aufgenommene Futter aus Heu oder Silage, Kraftfutter oder einer totalen Mischration (TMR), wobei je nach Fütterungsregime die Kuh dauerhaften Zugang zum Futter hat oder restriktiv

gefüttert wird. Das Futter wird nach Geschmack und Verdaulichkeit selektiert. Dabei schiebt die Kuh mit ihrem Maul das Futter hin und her und schubst das aussortierte Futter mit ihrer Nase weg. Die TMR erschwert den Kühen das selektive Fressen. Dennoch versuchen sie durch Wühlen, unerwünschte Komponenten zu entfernen. Generell sortieren sie gegen lange Partikel und bevorzugen die kürzeren (Kononoff et al., 2003; Leonardi und Armentano, 2003; DeVries et al., 2008). Dies wird bei konzentratreicher Fütterung (mit hoch verdaulichen Konzentratkraftfutterkomponenten) noch verstärkt (DeVries et al., 2007). Laut Rutter (mündliche Auskunft, DairyCare-Workshop, Leeuwarden, 2016) ist das Sortierverhalten überwiegend frustrationsbasiert und ist nicht dem Spielverhalten zuzuordnen.

Ein zunehmendes Leistungsniveau von Milchkühen erhöht den Energiebedarf linear, wogegen die Futteraufnahme in geringerem Ausmaß ansteigt (Steingass et al., 2008). Die Futteraufnahme und die damit verbundene Aufnahme von Energie ist bei hochproduktiven Milchkühen der limitierende Faktor der Milchleistung, die durch den Nettoenergiegehalt der Ration und die Trockenmasseaufnahme bestimmt wird (Azizi, 2008). Die Aufnahmekapazität hängt von verschiedenen Faktoren, wie ihrer genetischen Veranlagung, der Anzahl der Laktationen, einer vorliegenden Trächtigkeit, ihrer Milchleistung, ihrer Größe sowie ihrem Alter ab (Zom et al., 2012). Die benötigte Energiemenge pro Tag (MJ NEL) ergibt sich aus dabei aus dem Erhaltungsbedarf und dem Leistungsbedarf. Im Mittel nehmen Hochleistungskühe 20 bis 25 kg Trockenmasse pro Tag auf (Dado und Allen, 1994; Tolkamp et al., 2000; Bowman et al., 2003; Azizi, 2008).

Die Futterstruktur spielt beim Wiederkäuer neben der bedarfsgerechten Energie- und Protein-, sowie Mineralstoffversorgung ebenfalls eine entscheidende Rolle. Um dem Energiebedarf von hochlaktierenden Kühen gerecht zu werden, enthalten die Rationen normalerweise hohe Krafftuttermengen und qualitativ hochwertiges Grünfutter (Beauchemin et al. 2003). Nur eine strukturreiche und wiederkäuergerechte Fütterung ermöglicht es, die hohen Krafftuttermengen in der Ration zu kompensieren. Rationen mit geringem Strukturgehalt können zu einer oder einer Anzahl von Stoffwechselstörungen führen (Beauchemin et al. 2003). Dies kann wiederum zu einer reduzierten Futteraufnahme führen und

Verdauungs- und Stoffwechselprobleme mit sich bringen (Gäbel, 1990). Daher müssen Strukturwert und Energiedichte der Ration sehr gut aufeinander abgestimmt werden, um Energiedefizite gerade in der Früh lactation zu verhindern und gleichzeitig die Pansenfunktion durch eine wiederkäuergerechte Rationsgestaltung zu stabilisieren.

Rinder teilen ihre Fresszeiten in Mahlzeiten ein, die von Nichtfressintervallen unterbrochen werden (Tolkamp et al., 1998). Die mittlere tägliche Aufnahmezeit ist das Ergebnis der durchschnittlichen Anzahl von Fressphasen pro Tag und deren durchschnittlicher Länge, die durch Hunger- und Sättigungsmechanismen gesteuert werden (Savory, 1979; Azizi, 2008). Das Kurzzeitfressverhalten kann also über Mahlzeitengröße, -frequenz, Fressrate und Verteilung der Aufnahme über den Tag beschrieben werden (Nielsen, 1999; Tolkamp et al., 2000). Dabei variieren die Fresszeiten pro Tag und die Anzahl Mahlzeiten pro Tag erheblich. Hochleistungskühe fressen zwischen vier und sechs Stunden am Tag in neun bis 14 Mahlzeiten (Dado und Allen, 1994; Tolkamp et al., 2000; Fregonesi und Leaver, 2002; Grant und Albright, 2001; Phillips und Rind, 2001; DeVries et al., 2003a; Kaufmann et al., 2007). Nach Kolb (1989) und Jile (2003) werden Futteraufnahme und Fressverhalten wie folgt zusammengefasst:

- Futteraufnahme: gesamte innerhalb von 24 Stunden aufgenommene Futtermenge (Frischmasse oder Trockenmasse, absolut oder relativ zur Körpermasse)
- Fressperiode/Mahlzeit: Zeitraum, in dem ohne Unterbrechung durch größere Kaupausen oder Wiederkauperioden Futter aufgenommen wird
- Fresszeit: Summe der Zeiträume aller Fressperioden innerhalb von 24 Stunden
- Futteraufnahmegeschwindigkeit: (kg/min, g/min)
- Kauintensität: Anzahl von Kaubewegungen beim Fressen pro Tag, pro Fressperiode, pro Bissen oder pro min; Anzahl von Bissen pro min oder pro Tag

### 2.1.2 Wiederkauen

Das Wiederkauen dient der Zerkleinerung des vorher fast ungekaut hinunter geschluckten Futters. Dabei erfolgen die ersten Kauschläge meist schneller als die folgenden Kauschläge (Sambraus, 1991). Die Kühe beginnen 30-60 Minuten nach Beendigung der Futteraufnahme mit dem Wiederkauen (Sambraus, 1991; Hillmann, 2008). Dieses erfolgt zu 80 % im Liegen (Sambraus, 1991; Phillips und Leaver, 1986; Cooper et al., 2007).

Das Wiederkauen ist bei Rindern eine essentielle Verhaltensweise, die auch das physische und psychische Wohlbefinden eines Tieres widerspiegelt. Schmerzen, Fieber und Stress hemmen die Wiederkauaktivität, sodass das Wiederkauen ein guter Indikator für die Gesundheit des Tieres ist (Kaske, 2000). Eine Verhinderung des Wiederkauens führt zu einer deutlichen Verminderung der Futteraufnahme (Welch, 1982). Primär dient das Wiederkauen zur Zerkleinerung faserreicher Pflanzenteile (Minson, 1990) und stimuliert die Speichelsekretion (Beauchemin 1991; Allen, 1997), was das Milieu und damit die Lebensbedingungen für die Mikroflora stabilisiert. Ein Wiederkauzyklus besteht aus der Rejektion von Panseninhalt, dem tatsächlichen Wiederkauen, dem Abschlucken des wiedergekaueten Bissens und der Pause bis zur folgenden Rejektion (Beauchemin, 1991). Dabei streckt das Tier den Kopf nach vorn und inspiriert tief. Über die mechanische Reizung von sensiblen Rezeptoren in der Mukosa der Haube (insbesondere im Bereich von Kardial und Haubenrinne) wird das Wiederkauen eingeleitet. Das Wiederkauzentrum in der Medulla oblongata steuert das Wiederkauen. Unmittelbar vor der zweiphasischen Haubenkontraktion wird der Bolus hochgewürgt. Die Haube kontrahiert sich, ein Bolus wird reflektorisch in die Cardia angesogen und mit einer antiperistaltischen Welle in die Maulhöhle befördert. Flüssige Anteile werden sofort wieder abgeschluckt (Jile, 2003). Ein Bolus wird für ca. 40-50 Sekunden mit 40-60 Kauschlägen wiedergekaut und dann wie bei der Futteraufnahme abgeschluckt. Es folgt eine kurze Atempause. Der wiedergekaute Bissen gelangt zurück in den Hauben-Pansen-See und vermischt sich mit dem dortigen Inhalt. Nach ca. 5 Sekunden wird der nächste Bolus rejiziert (Ulyatt et al. 1986, Kolb 1989).

Die tägliche Wiederkauzeit liegt zwischen einer (gemahlene Raufutter) bis elf Stunden (grobes Raufutter ad lib.) (Jile, 2003). Rosenberger et al. (1990)

ermittelten vier bis 24 Wiederkauperioden pro Tag mit einer Dauer von 10 bis 60 Minuten. Nach Beauchemin (1991) ist beim Rind mit 10-20 Wiederkauperioden im Verlaufe eines Tages zu rechnen, die sich bei Stallhaltung über die Tages- bzw. Nachtstunden verteilen. Sie können in ihrer Länge von einigen Minuten bis zu Stunden variieren und dauern im Mittel 40-50 Minuten. In Summe variiert die tägliche Wiederkauzeit zwischen 4-9 Stunden (Kolb, 1989). Die Anzahl der Boli pro Tag liegt zwischen 360 und 790 (Kolb, 1989). Die Dauer des Wiederkauens hängt dabei von der aufgenommenen Futtermenge und der Zusammensetzung der Ration ab, wobei ein hoher Strukturanteil das Wiederkauen fördert. Kauaktivität und Wiederkauaktivität sind daher bedeutende Faktoren zur Beurteilung der Strukturwirksamkeit von Futtermitteln (DeBrabander et al., 1999; Maekawa et al., 2002). Dabei variiert die Verdauungsdauer verschiedener Rationen je nach Anzahl der Kauschläge (Hafez und Bouissou, 1975). Nach DeBoever et al. (1990) steigt die Wiederkau-effizienz, wenn sich die Zeit zwischen zwei Boli verkürzt, bei einer höheren Kaurate, weniger Pseudo-Wiederkauen und bei effizienterem Hochwürgen von langen Partikeln. Pseudo-Wiederkauen wird dabei die Rejektion eines Bolus bezeichnet, ohne dass dieser anschließend gekaut wird. Dado und Allen (1994) nannten Maulgröße, Zahnfläche, Kiefermuskeln und Beweglichkeit des Kiefers als entscheidende Einflussfaktoren für die Kau-effizienz. Die Parameter des Wiederkauens werden wie folgt definiert (nach Kolb, 1989 und Jile, 2003):

- Wiederkauperiode: Zeitraum, der ohne Pause (>257,2 s) zum Wiederkauen verwendet wird
- Wiederkauzyklus: Zeitraum für Rejektion, Einspeichelung, Wiederkauen und Abschlucken des rejizierten Bissens
- Dauer der Pause: Zeitraum zwischen den Kaubewegungen zweier Wiederkauzyklen innerhalb einer Wiederkauperiode (s)
- Wiederkauzeit gesamt: Summe der Zeiträume aller Wiederkauperioden innerhalb von 24 Stunden
- Wiederkauzeit reine: Wiederkauzeit insgesamt abzüglich der Bissenpausenzeit innerhalb von 24 Stunden

- Wiederkauintensität: Anzahl der Wiederkaubewegungen pro gewählter Zeiteinheit

### **2.1.3 Kau- und Wiederkauaktivität**

Die Kau- und Wiederkauaktivität von Milchrindern nimmt, unter physiologischen Gesichtspunkten, mit insgesamt 700 bis 950 Minuten pro Tier und Tag einen überwiegenden Teil des Tages in Anspruch (Jeroch et al., 2008). Wiederkäuer zeigen einen minimalen Kaubedarf, d.h. es liegt ein gewisses Kaubedürfnis vor (Jeroch et al., 1999). Lindström und Redbo (2000) zeigten, dass lange Zeiten der Beschäftigung mit Futter durch Fressen und Wiederkauen das Auftreten von Stereotypen minderte. Des Weiteren zeigten sich die Verhaltensweisen, die mit der Futtersuche zusammenhängen, unabhängig vom Füllzustand des Rumens. Kühe haben demnach ein Bedürfnis, das Fress- und Wiederkauverhalten auszuüben. Die Kauaktivität ist durch das Futterniveau (Futter-Rohfasergehalt und -härte, Benetzbarkeit, Wassergehalt und Partikelgröße) bestimmt (Jeroch et al., 1999). Dabei scheint es eine untere Grenze in der Anzahl der Kauschläge zu geben. So sinkt die Kauschlagzahl auch bei ungenügender Struktur selten auf Werte unter 45.000 (Jeroch et al., 1999). Die Gesamtkaudauer pro Tag scheint aber bei 1000 Minuten limitiert zu sein (Mertens, 1997). Dado und Allen (1993) stellten fest, dass sich Kauraten beim Fressen mit durchschnittlich 61,6 Kauschlägen pro Minute und Wiederkauen mit durchschnittlich 62,9 Kauschlägen pro Minute kaum unterschieden. Diese Ergebnisse stehen im Gegensatz zu den Ergebnissen von Balch (1958) der Kauraten beim Rind für das Fressen mit 72-82 und für das Wiederkauen mit 58 Kauschlägen pro Minute fand. Luginbuhl et al. (1987) fanden Kauraten für das Fressen mit 16-69 und für das Wiederkauen mit 52 Kauschlägen pro Minute. Rosenberger et al. (1990) ermittelten eine Kaufrequenz beim Wiederkauen von von 42-62 Kieferschlägen pro Minute, beziehungsweise einer Anzahl an Kieferschlägen pro Bolus von 40-60. Balch (1958) fand heraus, dass sich die Kieferschläge mit der Art des Futters veränderten und beim Wiederkauen langsamer und gleichmäßiger waren.

### **2.1.4 Mahlzeitenkriterium**

Die kontinuierliche Überwachung und die weitergehende Differenzierung der Futteraufnahme und des Fressverhaltens wurden erst mit der Entwicklung

sensorgestützter Systeme möglich. Die Vielzahl der gewonnenen Daten erfordert eine einheitliche Nomenklatur und Klassifizierung.

Betrachtet man verschiedene Verhaltensweisen, so stellt man fest, dass diese in der Regel nicht in zufälligen Sequenzen auftreten, sondern oft zeitlich gehäuft. Das zeitlich gehäufte Auftreten wird als Einheit (engl. bout) gewertet. Wenn Tiere stark in ihrer Aktivität variieren, also innerhalb einer Aktivitätsphase ein und dieselbe Verhaltensweise sehr schnell aufeinanderfolgt, um dann wieder durch lange Pausen getrennt zu sein, erhält man verschiedene Intervallgrößen in deutlich unterschiedlichen Häufigkeiten (Naguib, 2006). Die Futteraufnahme findet bei vielen Tierarten in sogenannten Mahlzeiten statt (Slater, 1974). Die einzelnen Fressphasen werden von Pausen unterschiedlicher Dauer getrennt. Betrachtet man die Anzahl der einzelnen Pausen, erkennt man eine starke Häufung kurzer Pausen. Eine Mahlzeit setzt sich demnach aus einzelnen Fressphasen (bouts) zusammen, die durch kurze Pausen voneinander getrennt sind. Pausen zwischen den Mahlzeiten produzieren längere Intervalle zwischen den „bouts“ (Sibly et al., 1990). Zwischen den Pausen liegt ein zeitliches Kriterium (bout criterion intervall, Mahlzeitenkriterium), das die Pausen zwischen zwei bouts als Pausen innerhalb oder außerhalb einer Mahlzeit definiert (Fagen und Young, 1978; Sibly et al., 1990; Stamer, 1995). Dieses Kriterium kann anhand der Häufigkeitsverteilung bestimmt werden. Weitere Ansätze zur Bestimmung des Mahlzeitenkriteriums verwenden die Log Survivorship Analyse (Fagen und Young, 1978; Slater und Lester, 1982). Anerkannt ist die Methode der Mahlzeiteinteilung nach Tolkamp et al. (1998). Die halblogarithmische Darstellung aller Pausendauern zeigt eine bimodale Verteilung. Der Schnittpunkt beider Verteilungen bildet das Mahlzeitenkriterium. Es ist damit das längste Nichtfressintervall, das noch als Intervall innerhalb einer Mahlzeit gezählt wird und beträgt bei Kühen 7,5 min (Dado und Allen, 1993) bis zu 60 min (Olofsson, 2000). Tolkamp und Kyriazakis (1999) ermittelten in weiteren Untersuchungen an Kühen Pausendauern, deren Verteilung auch trimodale Ansätze als passend zeigten. Dabei definierten sie Pausen I. Ordnung zum Abschlucken des Futters, Pausen II. Ordnung z.B. zum Trinken oder zum Fressplatzwechsel und Pausen III. Ordnung, die die Futteraufnahme tatsächlich beenden. Die Variabilität der Ergebnisse zeigt, dass man das Mahlzeitenkriterium für jede Untersuchung separat ermitteln muss. Generell sollte eine Mahlzeit als biologische und

natürliche Einheit von Fressverhalten angesehen werden (Geary, 2005), d.h. eine Beachtung von Umweltfaktoren und individuellem Tierverhalten sollte immer mit einbezogen werden. Die Dauer der Aufnahme und das zeitliche Mahlzeitenprofil haben dabei entscheidenden Einfluss auf die aufgenommene Futtermenge (Grant und Albright, 2000).

Für das Wiederkauverhalten existiert in der Literatur bisher kein dem Mahlzeitenkriterium adäquates Kriterium, das sich mit der Einteilung in z.B. Phasen anhand der Pausen zwischen den einzelnen Wiederkauereignissen beschäftigt. Nach Kolb (1989) werden Wiederkauperioden als Zeiträume definiert, die ohne Pause (>257,2 s) zum Wiederkauen verwendet werden.

### **2.1.5 Bedeutung des Fress- und Wiederkauverhaltens**

Das Fressverhalten eines Tieres beeinflusst die Trockenmasseaufnahme und damit die Energieaufnahme maßgeblich (Botheras, 2007). Dabei wird das Fressverhalten durch Umwelt, Management, Gesundheit und soziale Interaktionen kontrolliert (Grant und Albright, 2001; DeVries et al., 2005). Zeigen sich Veränderungen im Fress- und Wiederkauverhalten, sind dies wichtige Indizien für Probleme beziehungsweise Gesundheitsstörungen (DeVries et al., 2009c). Bei einer Erkrankung zeigt sich das häufig in einem als „sickness behavior“ beschriebenen Verhalten. Es gilt als adaptive Antwort des Tieres, um die Krankheitsabwehr zu erhöhen und die Genesung zu erleichtern (Johnson, 2002). Das Krankheitsverhalten verursacht bei Tieren Veränderungen in ihrer Verhaltensmotivation, was sich unter anderem in sinkender Aktivität beim Erkunden, bei der Körperpflege, im Sexualverhalten und in schwachem Appetit äußert. Metabolische Probleme (Owens et al., 1998; Østergaard und Gröhn, 2000), Euterprobleme (Bareille et al., 2003), Erkrankungen des Bewegungsapparates (Gonzales et al. 2008) und reproduktive Probleme (Sheldon, 2004; Huzzey et al., 2007) zeigen sich meist immer in einer Verringerung der Trockenmasseaufnahme und/oder in Veränderungen im Fress- und Wiederkauverhalten. Dabei gelten rangniedere Tiere als anfälliger für Störungen, wenn bei hohem Konkurrenzdruck um Futter oder Wasser Aggressivität am Fressplatz zu hohem Stress und somit zu kürzeren Fresszeiten führt (Olofsson 1999, DeVries et al., 2004; Huzzey et al., 2006). Somit kann die



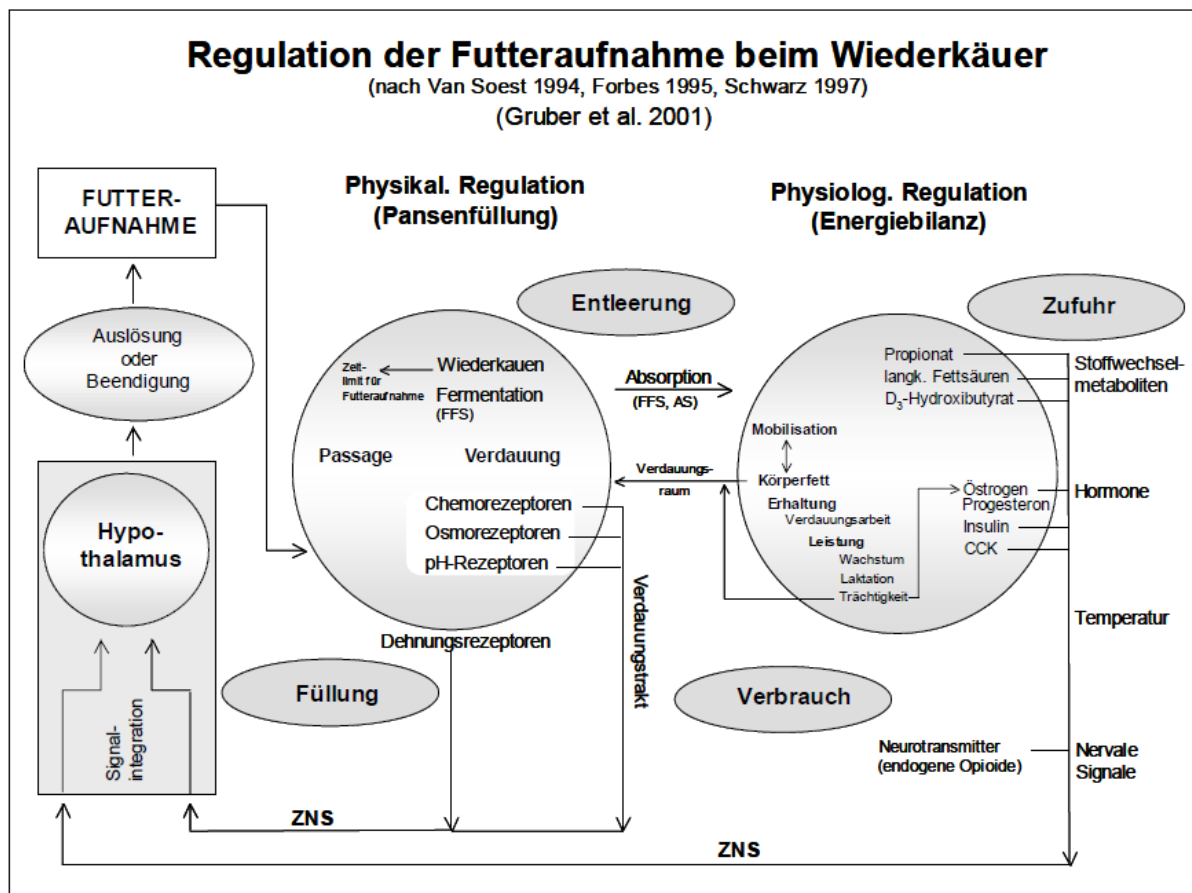
Überwachung des tierindividuellen Fress- und Wiederkauverhaltens sehr hilfreich sein (Beauchemin und Yang, 2005; De Vries et al., 2009). Des Weiteren liefert die Beobachtung dieser Verhaltensweisen wertvolle Informationen über die Anpassungsfähigkeit eines Tieres an die jeweiligen Haltungsbedingungen (Owens et al., 1998; DeVries et al., 2009c). Je früher Problemlagen erkannt werden und im Erkrankungsprozess eingegriffen wird, desto effizienter sind die Maßnahmen (González et al., 2008).

### **2.1.6 Regulation und Motivation der Futteraufnahme und des Wiederkauens**

Die Nahrungsaufnahme ist ein komplexer Ablauf, der nach Porzig et al. (1991) aus der Nahrungsmotivation, dem Appetenzverhalten und der Endhandlung besteht. Die Nahrungsmotivation und somit das Gefühl „Hunger“ entsteht bei den Tieren durch die Summe endogener Faktoren, die sehr vielfältig und eng miteinander verknüpft sind. Für die Initiation der Futteraufnahme spielt bei Wiederkäuern der Geschmack des Futters eine größere Rolle, weniger die aufgenommene Menge (Jeroch et al. 1999). Dazu kommen die physikalisch-mechanischen und physiologischen Kontrollmechanismen. Der Impuls der Futteraufnahme entsteht durch den Energieverbrauch des Organismus und dem Bedarf, die verbrauchten Nährstoffe wieder aufzufüllen. Dies stellt nach Dulphy et al. (1994) die langfristige Regulation der Futteraufnahme dar. Die Futteraufnahme wird dabei entscheidend vom Füllzustand des Rumens begrenzt, was wiederum von der mikrobiellen Aktivität und der „Futterpassage“ durch das Rumen abhängt. Dabei wird die mikrobielle Fermentation des Futters stark durch die Futterqualität und Verdaulichkeit geprägt. Untersuchungen zeigten, dass nicht nur die Verdaulichkeit, sondern auch der Zerkleinerungsgrad und die Futterstruktur eine große Rolle spielen (Gruber, 2002).

Es gibt verschiedene Theorien zur Regulation der Futteraufnahme. Initiation und Termination der Futteraufnahme stehen dabei im Fokus. Diskutiert wird die Füllung des Rumen und dessen Ausdehnung, der Abstand von Mahlzeit zu Mahlzeit, die Intensität der Fermentation und der entstehenden Produkte (flüchtige Fettsäuren; Azetat, Propionat, Butyrat und NH<sub>3</sub>) im Rumen und/oder die Osmolalität von Blut und Rumen (Taweel et al., 2004). Am wahrscheinlichsten ist dabei das Zusammenwirken vieler Faktoren (Mbanya et al., 1993; Van Soest,

1994; Forbes, 1995; Chilbroste, 1999). Die multifaktorielle Kontrolltheorie besagt, dass die Initiation und Termination einer Mahlzeit am wahrscheinlichsten durch eine Kombination an Signalen als durch ein einzelnes kontrolliert werden. Die folgende Abbildung 1 zeigt einen Überblick über die Steuerung der Futteraufnahme durch physiologische und physikalische Faktoren.



**Abbildung 1:** Steuerung der Futteraufnahme durch physiologische und physikalische Faktoren (aus Gruber et al. 2002)

Beim Wiederkauen dagegen handelt es sich um einen komplizierten Reflex, der durch endogene und exogene Faktoren beeinflusst wird (Jile, 2003). Durch die Stimulation der epithelialen Rezeptoren in der Mukosa von Haube und Pansen wird der Wiederkauvorgang eingeleitet. Die dort liegenden Rezeptoren reagieren auf die Berührung der Schleimhaut durch grobe Futterpartikel im Panseninhalt. Daher hängt die Wiederkauaktivität von der Menge und Zusammensetzung der Ration ab. So sinkt die Wiederkauaktivität bei kraftfutterreichen Rationen oder gemahlenem Raufutter drastisch. Nach erfolgten Stimuli projizieren die epithelialen Rezeptoren über vagale Fasern zum Wiederkauzentrum, das in

der Medulla oblongata liegt. So tritt nach Vagotomie oder Dezerebrierung kein Wiederkauen mehr auf (von Engelhardt und Breves, 2015).

### **2.1.7 Einflüsse auf die Futteraufnahme und das Fress- und Wiederkauverhalten**

Die Einflüsse auf die Futteraufnahme und das Fressverhalten bei Milchkühen sind vielfältig. Viele verschieden interne und externe Faktoren beeinflussen diese. Dazu gehören im Wesentlichen soziale Komponenten (z.B. Gruppengröße und Gruppenzusammensetzung), Haltungsbedingungen (z.B. Tier-Fressplatzverhältnis), das Fütterungsregime (Futterzusammensetzung, Fütterungszeiten, Restriktionen) und physiologische Einflussgrößen (Ernährungszustand, Laktationsstadium, Laktationszahl, Brunst, Abkalbung, Erkrankungen).

DeVries et al. (2005) kamen zu dem Ergebnis, dass die tägliche Fresszeit ansteigt, wenn sich die Frequenz der Futtergabe erhöht. Auch die Rationsgestaltung spielt laut Tolkamp (2000) eine große Rolle für das Fressverhalten. So verbringen Kühe bei proteinreicherer Fütterung etwas weniger Zeit mit dem Fressen als Kühe mit proteinärmerer Fütterung und Kühen, denen beide Fütterungsvarianten zur Verfügung standen. Der Laktationsabschnitt aber auch die Laktationszahl haben ebenfalls einen Einfluss auf Futteraufnahme und Fressverhalten. Azizi et al. (2009) fanden heraus, dass ab der zweiten bis vierten Laktationswoche die Anzahl der Fressplatzbesuche, die Besuchsdauer, die tägliche Gesamtfressdauer und die tägliche Trockenmasseaufnahme anstiegen. DeVries et al. (2003a) untersuchte das Fressverhalten vom Beginn bis zum Höhepunkt der Laktation. Er unterteilte den neunwöchigen Zeitraum in drei Abschnitte, in denen er die Kühe jeweils für acht Tage beobachtete. Die Gesamtzeit der täglichen Futteraufnahme stieg von Periode eins zu zwei, blieb aber zwischen zwei und drei stabil. Die Fressaktivität war in Periode eins und zwei unverändert, stieg aber im dritten Abschnitt um 40 % pro Kuh an. In Periode drei nahm auch die Menge des aufgenommenen Futters zu. Die Kühe reduzierten die Abschnitte innerhalb einer Mahlzeit, die sie nicht mit Fressen verbrachten. Insgesamt variiert das Fressverhalten der einzelnen Kühe stark.

Das Haltungssystem hat durch seine veränderten Umgebungsbedingungen einen Einfluss auf die Verhaltensweisen in ihrer Ausprägung und Verteilung. Dazu gehören z.B. künstliches Licht, weniger Platz und andere Einschränkungen (Botheras, 2007). Management am Futtertisch, Frequenz des Futterangebots und Tierdichte haben nach Botheras (2007) ebenso bedeutenden Einfluss auf das Fressverhalten in der Stallhaltung. Ähnlich wie auf der Weide verbringen die Tiere tagsüber und am frühen Abend die meiste Zeit auf dem Futtergang und frequentieren besonders nach dem Melken und bei Gabe von Frischfutter diesen Bereich (DeVries et al., 2003b). Dabei ist die Gabe von frischem Futter die stärkste Fressstimulanz, was das Futteraufnahme- und Liegeverhalten erheblich beeinflusst. Die Frequenz des Futterangebots wirkt sich dabei auf die Verteilung der Fresszeiten aus: steigt sie an und die Tiere haben alle gleichen Zugang zum Futter, so erhöht sich die Fresszeit zwar nur um 10 bis 14 min, aber die Fressphasen werden regelmäßiger über den Tag verteilt (DeVries et al., 2005).

In Gruppenhaltung variieren Fressverhalten und Fresszeit mit der sozialen Dominanz (Metz, 1983), wobei die Anzahl der Mahlzeiten negativ mit ihr korreliert. Dominante Tiere haben weniger aber längere Mahlzeiten, rangniedere Kühe fressen kürzer aber häufiger (Olofsson, 1999). Oft sind multipare Tiere dominanter und deshalb aggressiver am Futtertisch und verscheuchen ihre primiparen Herdengenossinnen (Huzzey et al., 2007). Bei einem Tier-Fressplatzverhältnis von mehr als 1,3 Tieren pro Fressplatz fressen weniger Tiere nach dem Melken und der Frischfuttergabe gleichzeitig (Batchelder 2000) und die Aggressionen vor allem gegen rangniedere Tiere steigen (Olofsson, 1999; DeVries et al., 2004; DeVries und von Keyserlingk, 2006; Huzzey et al., 2006).

Die Wiederkauaktivität wird von vielen verschiedenen Faktoren beeinflusst (DeBoever et al., 1990). Sie wird durch zahlreiche Faktoren des Futters, der Art und Weise der Futterdarbietung, des Tieres und der Umwelt bestimmt. Bei der Nutzung des Wiederkauverhaltens zur Beschreibung von Futtercharakteristika kam es zu widersprüchlichen Ergebnissen. Es konnten einerseits deutliche Korrelationen zwischen der Grundfutteraufnahme und Wiederkaudauer pro Tag nachgewiesen werden (Metz, 1975; Piatkowski et al., 1977; Luginbuhl et al., 1989; DeBoever et al., 1990; Campbell et al., 1992). Andererseits zeigten Harb

und Campling (1985) und Dado und Allen (1994) keinen Zusammenhang zwischen der Grundfutteraufnahme und Wiederkaudauer pro Tag. Erklärt werden können diese widersprüchlichen Ergebnisse nur durch Wechselwirkungen der verschiedenen Variationsursachen der Fress- und Wiederkäuaktivität (Richter 2010). Auch tierindividuelle Einflussfaktoren haben einen entscheidenden Einfluss auf Futteraufnahme und Wiederkauen. Nach Dado und Allen (1994) sind tierindividuelle Schwankungen die größte Variationsursache für die verschiedenen Wiederkauparameter. Beschrieben sind u.a. der Einfluss des Futters (DeBrabander et al. 1999; DeBoever et al. 1990), Umwelteinflüsse (Grant und Albright, 2001; Chaplin et al., 2000; Melin et al., 2006), sowie die tierindividuellen Einflüsse (Dado und Allen, 1994, Welch und Smith, 1970).

Einen entscheidenden Einfluss auf die Futteraufnahme und damit auf das Fress- und Wiederkauverhalten haben auch verschiedene Krankheiten. So zeigen sich Veränderungen im Fress- und Wiederkauverhalten bei akuter Mastitis (Wolter et al., 2000; Siivonen et al., 2011; Stangaferro et al., 2016b). DeVries et al. (2009c) fanden heraus, dass subklinisch azidotische Tiere weniger Zeit mit Wiederkauen verbrachten als gesunde. Akut azidotische Kühe wiesen eine höhere Fress- und Stehzeit mit sinkender Wiederkau- und Liegezeit auf. Patbandha et al. (2012) führten Versuche zur Metritis durch und zeigten, dass die präpartale Fresszeit und die Anzahl an Fressperioden bei kranken Tieren signifikant niedriger war. Auch das Wiederkauen zeigte beim Auftreten schwerer Metritis deutliche Veränderungen (Stangaferro et al., 2016c). Gleiches zeigte sich auch bei Ketose (Stangaferro et al., 2016a). An Ketose erkrankte Kühe hatten eine niedrigere Trockenmasseaufnahme, weniger Besuche am Futterautomaten und verbrachten dort auch weniger Zeit pro Besuch als gesunde Kühe (Goldhawk et al. 2009). Sowohl metritische als auch ketotische Tiere waren während der präpartalen Phasen gesunden Tieren sozial untergeordnet und verdrängten andere weniger häufig (Patbandha, et al., 2012; Goldhawk et al., 2009). Nach Proudfoot et al. (2009) fraßen Kühe mit Dystokie 48 Stunden a.p. weniger als Tiere mit Eutokie, konsumierten weniger Wasser vor und mehr Wasser nach der Kalbung und waren generell unruhiger. Huzzey et al. (2007) und Goldhawk et al. (2009) bewiesen, dass eine Reduktion der Fresszeiten und der Aufnahme von Futter und Wasser vor der Kalbung das Risiko infektiöser Krankheiten nach der Kalbung erhöhen. González et al. (2008) fanden heraus, dass sich das

Fressverhalten lahmer Kühe deutlich von dem gesunder Kühen unterscheidet. Erkrankte Kühe fraßen weniger häufig, dafür aber länger.

### 2.1.8 Fazit

Die Futteraufnahme und die damit verbundene Aufnahme von Energie ist bei hochproduktiven Milchkühen der limitierende Faktor der Milchleistung. Eine optimale Abstimmung zwischen Strukturwert und Energiedichte in der Ration verhindert Energiedefizite und stabilisiert gleichzeitig die Pansenfunktion durch eine wiederkäuergerechte Rationsgestaltung. Die kontinuierliche Überwachung und die weitergehende Differenzierung der Futteraufnahme und des Fress- und Wiederkauverhaltens mit sensorgestützten Systemen erfordert eine einheitliche Nomenklatur. Das Kurzzeitfressverhalten kann über Mahlzeitengröße und -frequenz, Fressrate und Verteilung der Aufnahme über den Tag beschrieben werden. Hochleistungskühe fressen zwischen vier und sechs Stunden am Tag in neun bis 14 Mahlzeiten. Das Wiederkauen beginnt 30-60 Minuten nach Beendigung der Futteraufnahme, meist im Liegen. Die tägliche Wiederkauzeit liegt zwischen ein und elf Stunden, aufgeteilt auf vier bis 24 Wiederkauperioden pro Tag. Wiederkäuer zeigen einen minimalen Kaubedarf, d.h. es liegt ein gewisses Kaubedürfnis vor. Die Futteraufnahme findet in Mahlzeiten statt. Das Mahlzeitenkriterium gilt als längstes Nichtfressintervall, das noch als Intervall innerhalb einer Mahlzeit gezählt wird und liegt zwischen 7,5 min und 60 min. Ein adäquates Wiederkaukriterium ist bisher nicht in der Literatur beschrieben.

Veränderungen im Fressverhalten können auf Probleme, bzw. Gesundheitsstörungen hinweisen, weshalb die Beobachtung des Fress- und Wiederkauverhaltens helfen kann, Problemlagen von Milchkühe frühzeitig zu erkennen. Während das Wiederkauen ein komplizierter Reflex ist, der durch endogene und exogene Faktoren beeinflusst und über die Medula oblongata kontrolliert wird, besagt die multifaktorielle Kontrolltheorie, dass die Futteraufnahme am wahrscheinlichsten durch eine Kombination aus verschiedenen Signalen kontrolliert wird. Das Fress- und Wiederkauverhalten wird von vielen verschiedenen Faktoren beeinflusst. So spielen im Wesentlichen soziale Komponenten, Haltungsbedingungen, das Fütterungsregime und physiologische Einflussgrößen eine große Rolle.

Der Erfassung und der Analyse des Fress- und des Wiederkauverhaltens kommt eine besondere Bedeutung zu, da beide Verhaltensweisen Informationen zur Tiergesundheit liefern. Dabei werden sowohl das Fress- als auch das Wiederkauverhalten von vielen verschiedenen internen und externen Faktoren beeinflusst. Der tierindividuelle Einfluss wird dabei als sehr groß eingeschätzt. Das folgende Kapitel 2.2 befasst sich mit der Analyse des Fressverhaltens von jungen und alten Kühen.





## 2.2 Ontogenese des Fressverhaltens bei Kühen

Die Futterraufnahme und das Fressverhalten von Kühen unterliegen großen tierindividuellen Schwankungen, werden aber auch beeinflusst von äußeren Faktoren, wie Haltung- und Fütterungsmanagement oder sozialen Interaktionen. Erstlaktierende Kühe nehmen weniger (Rau-)Futter auf als Kühe höherer Laktationszahlen, was sich im niedrigeren metabolischen Körpergewicht begründet (Schwarz und Kirchgessner, 1985). Das Futterraufnahmevermögen ist nach Jarrige (1986) am Laktationsanfang bei erstlaktierenden Kühen um bis 20 % geringer als bei höherlaktierenden Kühen. Typischerweise sind sie kleiner und besetzen einen niedrigeren Rang in der Herdenstruktur (Wierenga, 1990; Botheras, 2007). Dominante Tiere haben weniger aber längere Mahlzeiten, während untergeordnete Kühe kürzer aber häufiger fressen (Olofsson, 1999). Oft sind multipare Tiere dominanter und deshalb aggressiver am Futtertisch und verscheuchen ihre primiparen Herdengenossinnen (Huzzey et al., 2007). Daher gab es in der Vergangenheit die Empfehlung, primipare Kühe separat zu halten (Grant und Albright, 1995). Primipare Kühe zeigen, wenn sie von älteren Kühen getrennt gehalten werden eine erhöhte Futterraufnahme und Produktivität (Grant und Albright, 2001). Dies bestätigen auch andere Untersuchungen von Phillips und Rind (2001) und Bach et al. (2006).

Viele Herausforderungen sind verbunden mit der Umgruppierung von Jungkühen, insbesondere hinsichtlich des Fress- und Sozialverhaltens (Hasegawa et al. 1997, von Keyserlingk et al., 2011). Auch Boe und Faerevik (2003) beschreiben den sozialen Stress, der bei der Regruppierung der Tiere (Kälber, Färsen und Kühe) entsteht und zu einer Steigerung im Aggressionsverhalten führt. Alternative Gruppierungsstrategien zeigen mögliche wichtige unterschiedliche Reaktionen zwischen primiparen Kühen, die weiterer Studien bedürfen (Bach et al. 2006). Auch das Fütterungsregime wie die Futterzusammensetzung (Redbo und Nordblad 1997; Greter et al., 2008, 2011 und 2012, Miller-Cushon, 2015, Moody, 2007) und die Futtervorlage (DeVries und von Keyserlingk, 2009a und b; Greter et al., 2010a und b, 2012, 2013 und 2015) haben einen maßgeblichen Einfluss auf das Fressverhalten von erstlaktierenden Kühen. Da es signifikante Beziehungen zwischen der Lebensleistung Milch und der 305-Tageleistung Milch in der ersten Laktation, der

Anzahl Besamungen und der logarithmierten Zellzahl in der ersten Laktation der Tiere, sowie eine negative Beziehung zur Anzahl Behandlungen in der ersten Laktation gibt (Wangler et al., 2009), ist die gezielte Überwachung des Fressverhaltens von Jungkühen wichtig. Hier müssen Ansätze gefunden werden, um die erstlaktierenden Kühe gezielter unterstützen zu können und die Weichen für spätere Laktationen zu stellen.

Im Hinblick auf das Verhalten gibt es oft keine unabhängige optimale Lösung oder es gibt mehrere gleichwertige Lösungen eines Problems, die gelegentlich davon abhängen, was die anderen Mitglieder einer Population machen. Tiere, die unterschiedliche adaptive Mechanismen zur Lösung bestimmter Probleme einsetzen, verwenden unterschiedliche Strategien (Kappeler, 2006). Bei dem Begriff Strategie handelt es sich dabei um einen genetisch basierten, koordinierten Anpassungsmechanismus, der das betreffende Individuum in Bezug auf eine bestimmte Problemlösung festlegt (Gross, 1996). Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Untersuchung genereller Unterschiede im Fressverhalten von erstlaktierenden Kühen im Vergleich mit Kühen der fünften bis achten Laktation und die Analyse der Entwicklung des Fressverhaltens innerhalb der ersten drei Laktationen. Dabei stellen sich folgende Fragen, die in der Arbeit diskutiert werden:

1. Lassen sich unabhängig von Haltung und Fütterung generelle Unterschiede im Fressverhalten zwischen jungen und alten Kühen finden?
2. Welche Verhaltensweisen unterscheiden sich am deutlichsten?
3. Welche Verhaltensweisen unterliegen den größten Änderungen, bzw. welche Verhaltensweisen haben den größten Einfluss auf die Futteraufnahme im Vergleich von jungen Kühen und alten Kühen?
4. Wie entwickelt sich das tierindividuelle Fressverhalten von der ersten Laktation bis zur dritten Laktation?

### **2.2.1 Tiere, Material und Methoden**

Die für die Analyse verwendeten Kühe entstammten aus 12 Versuchen der Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau (LLG Iden), Zentrum für Tierhaltung und Technik in Sachsen-Anhalt, Iden im Zeitraum 01.01.2005 bis

31.12.2011. In Abhängigkeit des jeweiligen Fütterungsversuchs wurden Futterwerte, TM-Gehalte und Milchleistung, sowie Milchinhaltsstoffe in unterschiedlichen Abständen ermittelt. Der Überblick über die Versuche ist im Anhang (Kapitel 7.1) aufgeführt. Zur Untersuchung der oben genannten Fragen wurden zwei verschiedene Analyseansätze gewählt und durchgeführt. In der ersten Analyse wird das Fressverhalten von erstlaktierenden Kühen mit dem von Kühen der fünften bis achten Laktation verglichen. In der zweiten Analyse wird die Entwicklung des Fressverhaltens von Kühen untersucht, von denen Daten aus der ersten, zweiten und dritten Laktation in Folge vorlagen. Die unterschiedlichen Bedingungen beider Analysen sind separat aufgeführt.

### **Tiere**

Die Kühe wurden in einem Liegeboxenlaufstall mit einer Einzelfutterstrecke aus Wiegetrögen (LFL Bayern) zur Einzeltierfütterung gehalten. Das Tier-Fressplatz-Verhältnis betrug bei allen Versuchen 2:1. Die Futtevorlage erfolgte um 8:00 und um 13:00 Uhr und erlaubte eine ad libitum-Aufnahme, die Säuberung der Tröge erfolgte zwischen 7.00-8.00 Uhr. Die Kühe wurden dreimal pro Tag gemolken, um 4:00, 12:00 und 20:00 Uhr. Da in den verschiedenen Versuchsanstellungen unterschiedliche Rationen getestet wurden, variiert die Zusammensetzung der TMR, was in der Auswertung unter Berücksichtigung der Trockenmasse und des Energiegehalts der Ration berücksichtigt wurde.

### Analyse 1: Vergleich des Fressverhaltens junger und alter Kühe

Den Kühen wurde in allen Versuchen eine an die Leistung angepasste totale Mischration gefüttert, die den physiologischen Anforderungen der Kühe entsprach. Die Futterzusammensetzung variierte in den Versuchen. Der durchschnittliche Energiegehalt der TMR für die Kühe der ersten Laktation betrug 6,82 bis 7,45 MJ NEL/ kg TM mit einem Anteil an Trockenmasse von 38,10 bis 53,11 %. Der durchschnittliche Energiegehalt der TMR für die Kühe der fünften bis achten Laktation betrug 6,98 bis 7,45 MJ NEL/ kg TM mit einem Anteil an Trockenmasse von 39,98 bis 54,06 %. Die Tiere wurden dreimal pro Tag gemolken, um 4:00, 12:00 und 20:00 Uhr. Die tägliche Milchleistung aller Kühe der ersten Laktation lag im gesamten Versuchszeitraum bei 31,10 bis 63,55 kg mit einem Fettgehalt von 2,50 bis 5,20 % und einem Eiweißgehalt von 2,78 bis

3,78 %. Die tägliche Milchleistung aller Kühe der fünften bis achten Laktation lag im gesamten Versuchszeitraum bei 27,43 bis 49,65 kg mit einem Fettgehalt von 2,67 bis 4,78 % und einem Eiweißgehalt von 2,87 bis 3,70 %.

### Analyse 2: Ontogenese des Fressverhaltens von Milchkühen von der ersten bis zur dritten Laktation

Den Kühen wurde in allen Versuchen eine an die Leistung angepasste totale Mischration gefüttert, die den physiologischen Anforderungen der Kühe entsprach. Die Futterzusammensetzung variierte in den Versuchen. Der durchschnittliche Energiegehalt der TMR betrug in der ersten Laktation 6,98 bis 7,30 MJ NEL/ kg TM mit einem Anteil an Trockenmasse von 38,10 bis 52,93 %. Der durchschnittliche Energiegehalt der TMR betrug in der zweiten Laktation 6,82 bis 7,45 MJ NEL/ kg TM mit einem Anteil an Trockenmasse von 38,40 bis 52,91 %. Der durchschnittliche Energiegehalt der TMR betrug in der dritten Laktation 6,82 bis 7,40 MJ NEL/ kg TM mit einem Anteil an Trockenmasse von 41,90 bis 52,30 %. Die tägliche Milchleistung aller Kühe der ersten Laktation lag im gesamten Versuchszeitraum bei 28,60 bis 42,44 kg mit einem Fettgehalt von 2,81 bis 4,42 % und einem Eiweißgehalt von 2,78 bis 3,77 %. Die tägliche Milchleistung aller Kühe der zweiten Laktation lag im gesamten Versuchszeitraum bei 27,43 bis 49,65 kg mit einem Fettgehalt von 2,71 bis 5,20 % und einem Eiweißgehalt von 2,92 bis 3,60 %. Die tägliche Milchleistung aller Kühe der dritten Laktation lag im gesamten Versuchszeitraum bei 31,35 bis 63,13 kg mit einem Fettgehalt von 2,48 bis 4,56 % und einem Eiweißgehalt von 2,83 bis 3,57 %.

### **Datenerfassung**

Die Analyse des Futteraufnahmeverhaltens der Einzeltiere erfolgte über Einzelfressplätze (Wiegetröge) mit elektronischer Tiererkennung.

### **Funktionsweise der Wiegetröge**

Die Einzelfressplätze bestehen aus einem programmierbaren Sperrgitter, um tierindividuell eine Zugangskontrolle zu ermöglichen, sowie zwei Infrarotsensoren zur Aufzeichnung der Aufenthaltsdauer des Tieres am Fressplatz. Die

elektronische Tiererkennung erfolgt über einen Responder. Zur Überwachung des Futterraufnahmeverhaltens werden die Zeitpunkte des Besuchsbeginns (Kontakt am Futtertrog) und des Besuchsendes, sowie des Troggewichts zu Beginn und zum Ende des Besuchs aufgezeichnet. Anhand dieser Primärdaten werden die Besuchsdauer und darauf aufbauend die Besuchshäufigkeiten errechnet. Wenn dann die Kuh die Futterraufnahme an einem anderen Trog fortsetzt, wird dies als ein neuer Besuch registriert. Bei unruhigen oder rangniedereren, oft den Trog wechselnden Tieren, kann so eine größere Zahl von Besuchen auftreten. Dies wird über die Berechnung des Mahlzeitenkriteriums und über die darauf folgende Einteilung der Besuche in Mahlzeiten bereinigt.

### **Datenvorverarbeitung**

Zunächst wurde aus allen von den Wiegetrögen erfassten Daten der tierindividuellen Futterraufnahme eine MS Access Datenbank erstellt. Diese umfasste bei 611 Versuchskühen ein Datenvolumen von 4.8 Millionen Datensätzen. Die Rohdaten der Wiegetröge wurden über den jeweiligen Prozessrechner des einzelnen Wiegetrogs übermittelt an den Steuerungscomputer und dort als Textdatei gespeichert. Diese Textdateien wurden vor Ort vom Personal monatlich in einer Exceltabelle zusammengeführt und beinhalten folgende relevante Parameter:

- Datum
- Wiegetrognummer
- Tiernummer
- Besuchsanfang – Beginn der Futterraufnahme
- Besuchsende – Ende der Futterraufnahme
- Gewichtanfang – Gewicht des Wiegetrogs zu Beginn der Futterraufnahme
- Gewichtende – Gewicht des Wiegetrogs am Ende der Futterraufnahme

Diese Exceldateien wurden zunächst jahresweise zusammengefasst, danach erfolgte tierindividuell die Berechnung der Fresszeit je Besuch (min), der aufgenommenen Futtermenge je Besuch (kg) und die Berechnung der Pausen zwischen den einzelnen Besuchen (s). Besuche ohne Futterraufnahme oder mit

einer positiven Troggewichtsdifferenz (z.B. in seltenen Fällen durch gleichzeitiges Auffüllen der Tröge während des Fressvorgangs) wurden dabei entfernt und flossen nicht in die Analysen mit ein. Da viele Tiere in mehreren Versuchen verwendet wurden (mit unterschiedlicher Laktationszahl), wurde der Datenbank ebenfalls eine Stammdatentabelle hinzugefügt. Damit konnten Dopplungen der Tiernummern vermieden werden und die Tiere ihren jeweiligen Versuchen und Laktationszahlen zugeordnet werden. Die Berechnung des Mahlzeitenkriteriums nach Tolkamp et al. (1998) erfolgt für die jeweiligen Analysen separat.

Für beide Analysen wurde ein stabiler Laktationsabschnitt von insgesamt 14 Tagen gewählt. Die Auswahl der Dauer und des Zeitraums erfolgte, um einerseits eine im Hinblick auf die tierindividuelle Variation ausreichende Stichprobengröße zu gewährleisten und andererseits große physiologische Veränderungen wie zu Beginn der Laktation zu vermeiden, die das Futteraufnahmeverhalten zu stark beeinflussen könnten. Da die Futteraufnahme der Versuchskühe je nach Versuchsanstellung der LLG Iden in unterschiedlichen Laktationsabschnitten erfasst wurde, konnte das gewählte Zeitfenster der Analyse nicht für alle Kühe identisch sein.

### Analyse 1: Vergleich des Fressverhaltens junger und alter Kühe

Es wurden 87 Kühe der ersten Laktation und 50 Kühe der fünften bis achten Laktation ausgewählt. Der gewählte Analysezeitraum umfasste Kühe vom 85.-113. Laktationstag.

### Analyse 2: Ontogenese des Fressverhaltens von Milchkühen von der ersten bis zur dritten Laktation

Es wurden 21 Kühe ausgewählt, bei denen Futteraufnahme und Fressverhalten der Erstlaktation bis zur dritten Laktation erfasst wurden. Der gewählte Analysezeitraum umfasste Kühe vom 69.-131. Laktationstag.

## Auswertung und statistische Analyse

Nach der Datenvorverarbeitung erfolgte die eigentliche Datenauswertung und Datenanalyse. Da in den verschiedenen Fütterungsversuchen die Energiegehalte der Rationen variierten, wurde zur besseren Vergleichbarkeit zusätzlich die Energieaufnahme pro Tag und pro Mahlzeit ermittelt. Folgende Merkmale des Fressverhaltens wurden tierindividuell ermittelt:

- Fresszeit pro Tag (h)
- Futtermittelaufnahme pro Tag (kg TM)
- Anzahl Besuche pro Tag am Wiegetrog
- Anzahl Mahlzeiten pro Tag (ermittelt nach Tolkamp et al., 1998)
- Dauer der Mahlzeiten (min)
- Besuche pro Mahlzeit
- Futtermittelaufnahme pro Mahlzeit (kg TM)
- Fressgeschwindigkeit ( $\text{g TM min}^{-1}$ )
- Energieaufnahme pro Tag (MJ NEL)
- Energieaufnahme pro Mahlzeit (MJ NEL)

Die täglich erfassten bzw. errechneten Werte wurden dem entsprechenden Laktationstag jeder Kuh zugeordnet. Für die Datenvorverarbeitung und Datenanalyse wurden die Tabellenkalkulationsprogramme Microsoft Excel 2010 und Kyplot Version 2.0 beta 13 (Kyenslab Inc.), das Datenbankprogramm Microsoft Access 2015 und das Statistikprogramm R ([www.r-project.org](http://www.r-project.org)) verwendet. Die statistische Analyse wurde in folgenden Schritten vorgenommen:

1. Deskriptive Statistik: Mittelwert, Standardfehler, Standardabweichung, Varianz, Variationskoeffizient, Minimum, Maximum, Summe, N
2. Test auf Normalverteilung nach Shapiro-Wilks/Kolmogorov-Smirnov
3. Test auf signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen (Analyse 1):
  - a. nicht-parametrisch über den Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test mit Kontinuitätskorrektur (Signifikanzlevel 0,05, Konfidenzlevel 0,95)
  - b. parametrisch über den t-Test, modifiziert nach Welch

4. Test auf signifikante Unterschiede zwischen den Laktationen (Analyse 2):
  - a. nicht-parametrischer multipler Vergleich nach Steel-Dwass (nicht-parametrische Version des Tukey-Test (Signifikanzlevel 0,05)
  - b. parametrisch über eine einfache ANOVA (Signifikanzlevel 0,05)

Dabei wurden die Signifikanzschranken nach Lozàn und Kausch (2007) und Sachs (1999) wie folgt definiert:

- p-Wert  $\leq 0,001$ : hoch signifikant \*\*\*
- p-Wert  $\leq 0,01$ : signifikant \*\*
- p-Wert  $\leq 0,05$ : knapp signifikant \*
- p-Wert  $> 0,05$ : nicht signifikant

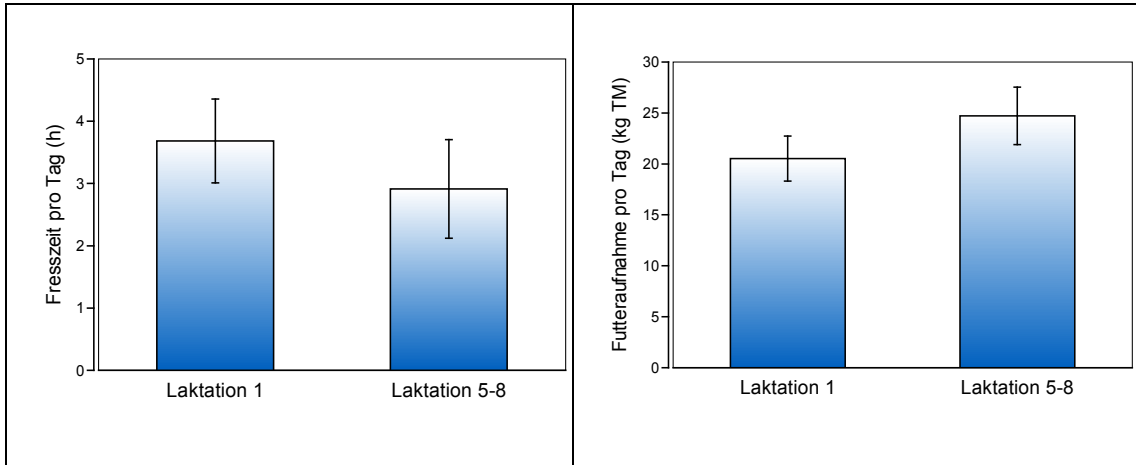
### 2.2.2 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse beider Analysen separat dargestellt.

#### Analyse 1: Vergleich des Fressverhaltens junger und alter Kühe

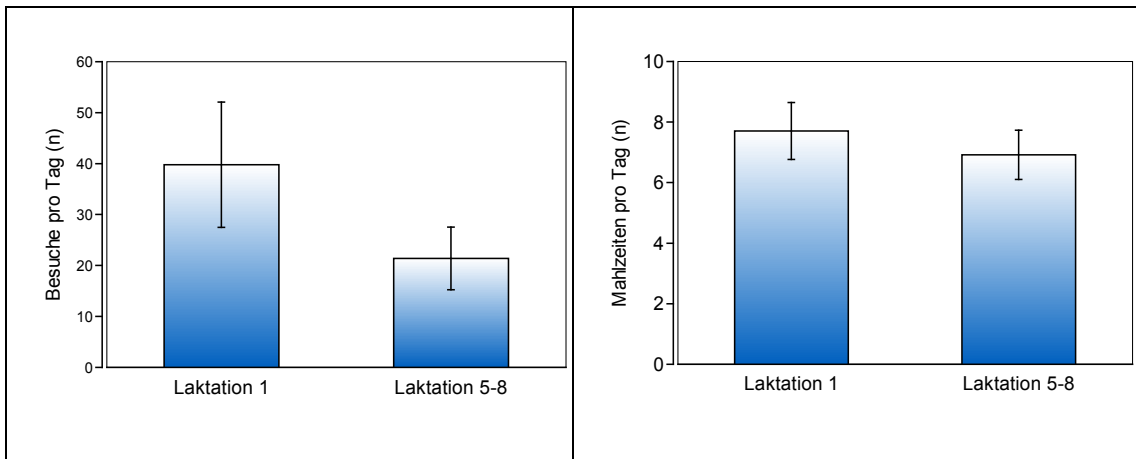
Das Mahlzeitenkriterium betrug für die Kühe der ersten Laktation 26,59 min und für die Kühe der fünften bis achten Laktation 20,71 min. Die folgende Abbildung 2 bis Abbildung 6 zeigen die Fresszeit pro Tag, die Futteraufnahme pro Tag, die Besuchs- und Mahlzeitenanzahl pro Tag, die Besuche pro Mahlzeit und die Mahlzeitendauer, die Futteraufnahme pro Mahlzeit und die Fressgeschwindigkeit, sowie die Energieaufnahme am Tag und pro Mahlzeit. Es sind die jeweiligen Gruppenmittelwerte und die Standardabweichungen der erstlaktierenden Kühe und der Kühe von der fünften bis zur achten Laktation im Vergleich dargestellt. In Abbildung 2 sind die Fresszeit und die Futteraufnahme pro Tag dargestellt.





**Abbildung 2:** Fresszeit pro Tag (h) und Futteraufnahme pro Tag (kg TM) für Kühe der ersten Laktation und Kühe der fünften bis achten Laktation

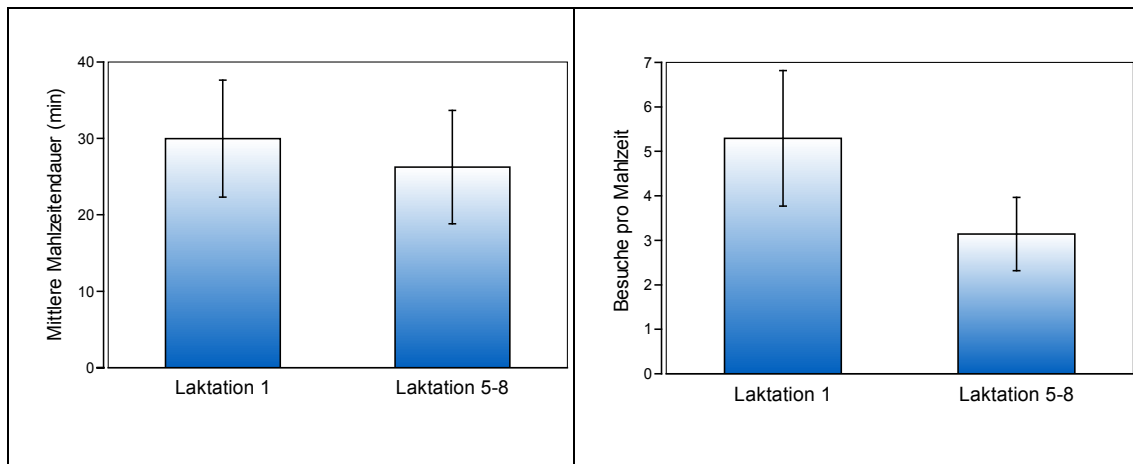
In Abbildung 2 zeigt sich, dass Kühe der ersten Laktation mit  $3,68 \pm 0,67$  Stunden pro Tag länger fressen als Kühe höherer Laktationszahl ( $2,91 \pm 0,79$  h), dabei aber weniger Futter aufnehmen ( $20,52 \pm 2,21$  kg TM vs.  $24,71 \pm 2,83$  kg TM). Prozentual betrachtet ist die Fresszeit der erstlaktierenden Kühe um 20,92 % länger, die Futteraufnahme dabei aber um 20,41 % geringer. Abbildung 3 zeigt die Anzahl Besuche und die Anzahl Mahlzeiten pro Tag.



**Abbildung 3:** Anzahl Besuche und Mahlzeiten pro Tag für Kühe der ersten Laktation und Kühe der fünften bis achten Laktation

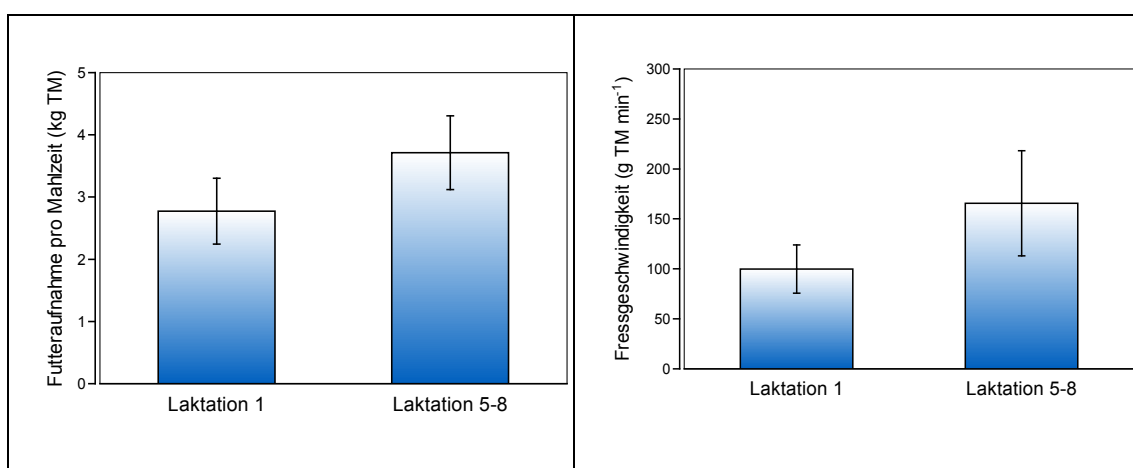
Abbildung 3 zeigt, dass Kühe der ersten Laktation sowohl eine höhere Besuchsanzahl pro Tag ( $39,79 \pm 12,30$  vs.  $21,37 \pm 6,13$ ), als auch eine höhere Mahlzeitenanzahl pro Tag ( $7,71 \pm 0,94$  vs.  $6,92 \pm 0,81$ ) aufweisen. Prozentual betrachtet ist die Anzahl an Besuchen pro Tag um 46,30 % und die Anzahl an Mahlzeiten pro Tag um 10,26 % höher bei erstlaktierenden Kühen. In Abbildung

4 ist die mittlere Mahlzeitendauer und die Anzahl Besuche pro Mahlzeit dargestellt.



**Abbildung 4:** Mittlere Mahlzeitendauer (min) und Anzahl Besuche pro Mahlzeit für Kühe der ersten Laktation und Kühe der fünften bis achten Laktation

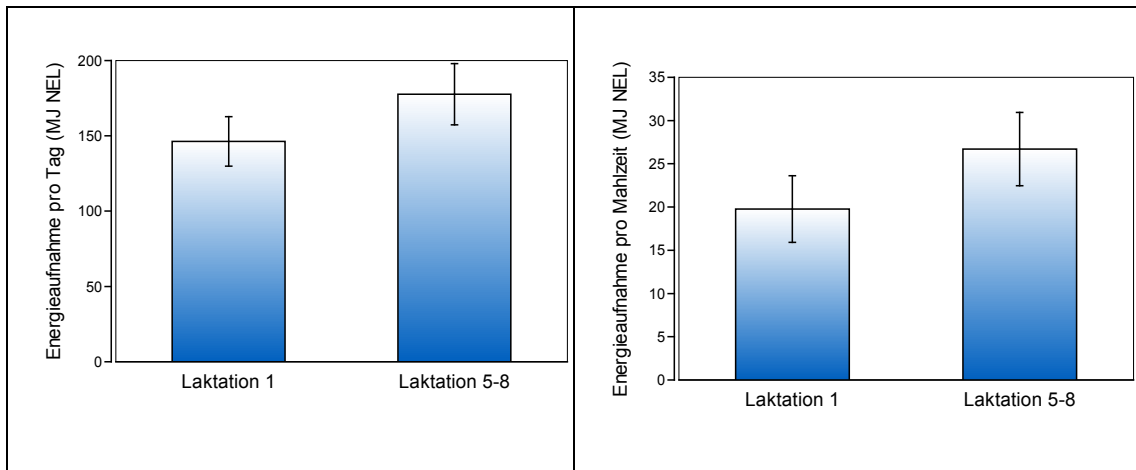
In Abbildung 4 sind die die Mahlzeitendauer und die Besuchsanzahl pro Mahlzeit dargestellt. Hier zeigt sich analog zur höheren Besuchsfrequenz pro Tag auch eine höhere Besuchsfrequenz pro Mahlzeit ( $5,29 \pm 1,52$  vs.  $3,14 \pm 0,82$ ) und eine längere Mahlzeitendauer ( $29,97 \pm 7,66$  min vs.  $26,23 \pm 7,43$  min) erstlaktierender Kühe. Kühe der ersten Laktation weisen im Mittel 10,26 % mehr Besuche pro Mahlzeit und 12,48 % längere Mahlzeitendauern auf. In Abbildung 5 ist die Futteraufnahme pro Mahlzeit und die Fressgeschwindigkeit abgebildet.



**Abbildung 5:** Futteraufnahme pro Mahlzeit und mittlere Fressgeschwindigkeit für Kühe der ersten Laktation und Kühe der fünften bis achten Laktation

Abbildung 5 zeigt die Futteraufnahme pro Mahlzeit (kg TM) und die Fressgeschwindigkeit (g TM min<sup>-1</sup>). Beide Merkmale zeigen, dass Kühe der

fünften bis achten Laktation sowohl mehr Futter pro Mahlzeit aufnehmen ( $3,71 \pm 0,59$  vs.  $2,77 \pm 0,53$  kg TM) als auch schneller fressen ( $0,17 \pm 0,05$  vs.  $0,10 \pm 0,02$  kg TM  $\text{min}^{-1}$ ). Kühe der fünften Laktation nehmen durchschnittlich 34,05 % mehr Futter pro Mahlzeit auf und fressen im Mittel 65,71 % schneller als Kühe der ersten Laktation. Abbildung 6 stellt die Energieaufnahme pro Tag und Mahlzeit dar.



**Abbildung 6:** Energieaufnahme pro Tag (MJ NEL) und pro Mahlzeit (MJ NEL) für Kühe der ersten Laktation und Kühe der fünften bis achten Laktation

Abbildung 6 zeigt die Energieaufnahme pro Tag und Mahlzeit (MJ NEL). In beiden Fällen ist zu erkennen, dass Kühe der fünften bis achten Laktation sowohl mehr Energie pro Tag ( $177,61 \pm 20,37$  vs.  $146,32 \pm 16,40$  MJ NEL) als auch pro Mahlzeit aufnahmen ( $26,70 \pm 4,25$  vs.  $19,76 \pm 3,85$  MJ NEL). Kühe der fünften Laktation nehmen durchschnittlich 21,39 % mehr Energie pro Tag und 35,12 % pro Mahlzeit auf. Tabelle 1 zeigt die Gruppenmittelwerte und Standardabweichungen für alle Merkmale und das Ergebnis der statistischen Analyse.

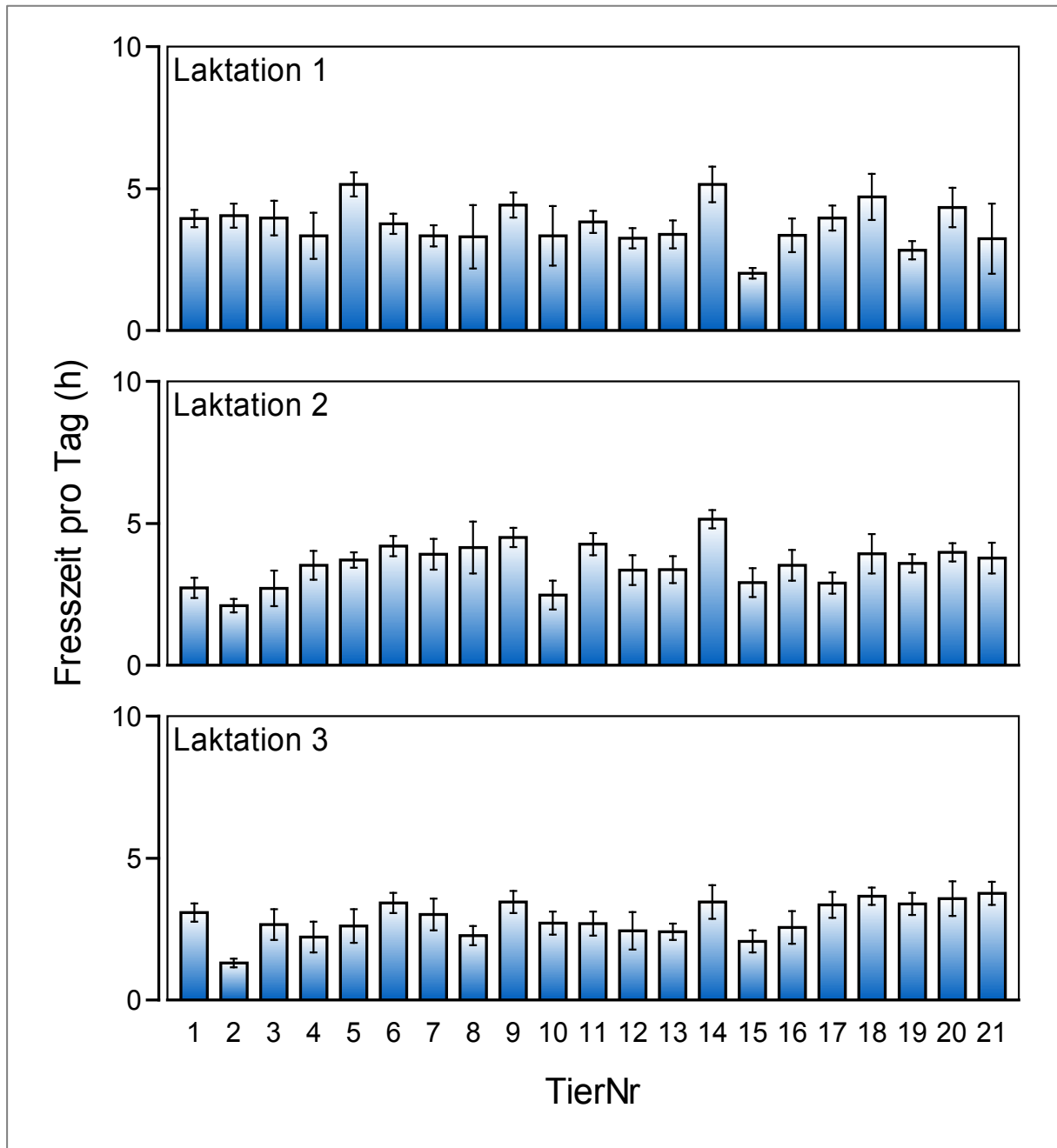
**Tabelle 1:** Ergebnisse der statistischen Analyse für die Merkmale des Fressverhaltens (Wilcoxon (Mann-Whitney)-Test für ungepaarte Daten, Signifikanzlevel 0,05, Konfidenzlevel 0,95)

	<b>Laktation 1</b>	<b>Laktation 5-8</b>	<b>Diff. %</b>	<b>Sign.</b>
<b>Fresszeit pro Tag (h)</b>	3,68 ± 0,67	2,91 ± 0,79	-20,92	***
<b>Futteraufnahme pro Tag (kg TM)</b>	20,52 ± 2,21	24,71 ± 2,83	+20,41	***
<b>Besuche pro Tag</b>	39,79 ± 12,30	21,37 ± 6,13	-46,30	***
<b>Mahlzeiten pro Tag</b>	7,71 ± 0,94	6,92 ± 0,81	-10,26	***
<b>Mahlzeitendauer (min)</b>	29,97 ± 7,66	26,23 ± 7,43	-12,48	**
<b>Besuche pro Mahlzeit</b>	5,29 ± 1,52	3,14 ± 0,82	-10,26	***
<b>Futteraufnahme pro Mahlzeit (kg TM)</b>	2,77 ± 0,53	3,71 ± 0,59	+34,05	***
<b>Fressgeschwindigkeit (g TM min<sup>-1</sup>)</b>	99,92 ± 24,11	165,58 ± 52,66	+65,71	***
<b>Energieaufnahme pro Tag (MJ NEL)</b>	146,32 ± 21,37	177,61 ± 20,37	+21,39	***
<b>Energieaufnahme pro Mahlzeit (MJ NEL)</b>	19,76 ± 3,85	26,70 ± 4,25	+35,12	***

Es ergaben sich signifikante Unterschiede in allen untersuchten Merkmalen zwischen Kühen der ersten Laktation und Kühen der fünften bis achten Laktation. Während die tägliche Futteraufnahme (und analog dazu die tägliche Energieaufnahme), sowie die Fressrate bei Kühen der fünften bis achten Laktation deutlich größer sind als bei Kühen der ersten Laktation, sind die tägliche Fresszeit, die Anzahl Besuche pro Tag und pro Mahlzeit, die Anzahl Mahlzeiten pro Tag und die Mahlzeitendauer deutlich niedriger im Vergleich zu den erstlaktierenden Kühen. Den größten Unterschied zwischen den beiden Gruppen zeigt die Fressgeschwindigkeit. Diese ist bei Kühen ab der fünften Laktation um fast 70 % höher. Um die Entwicklung der Verhaltensmerkmale in Abhängigkeit vom Alter zu untersuchen und mögliche tierindividuelle Unterschiede bzw. Verhaltensstrategien zu finden, wurde die Analyse 2 durchgeführt.

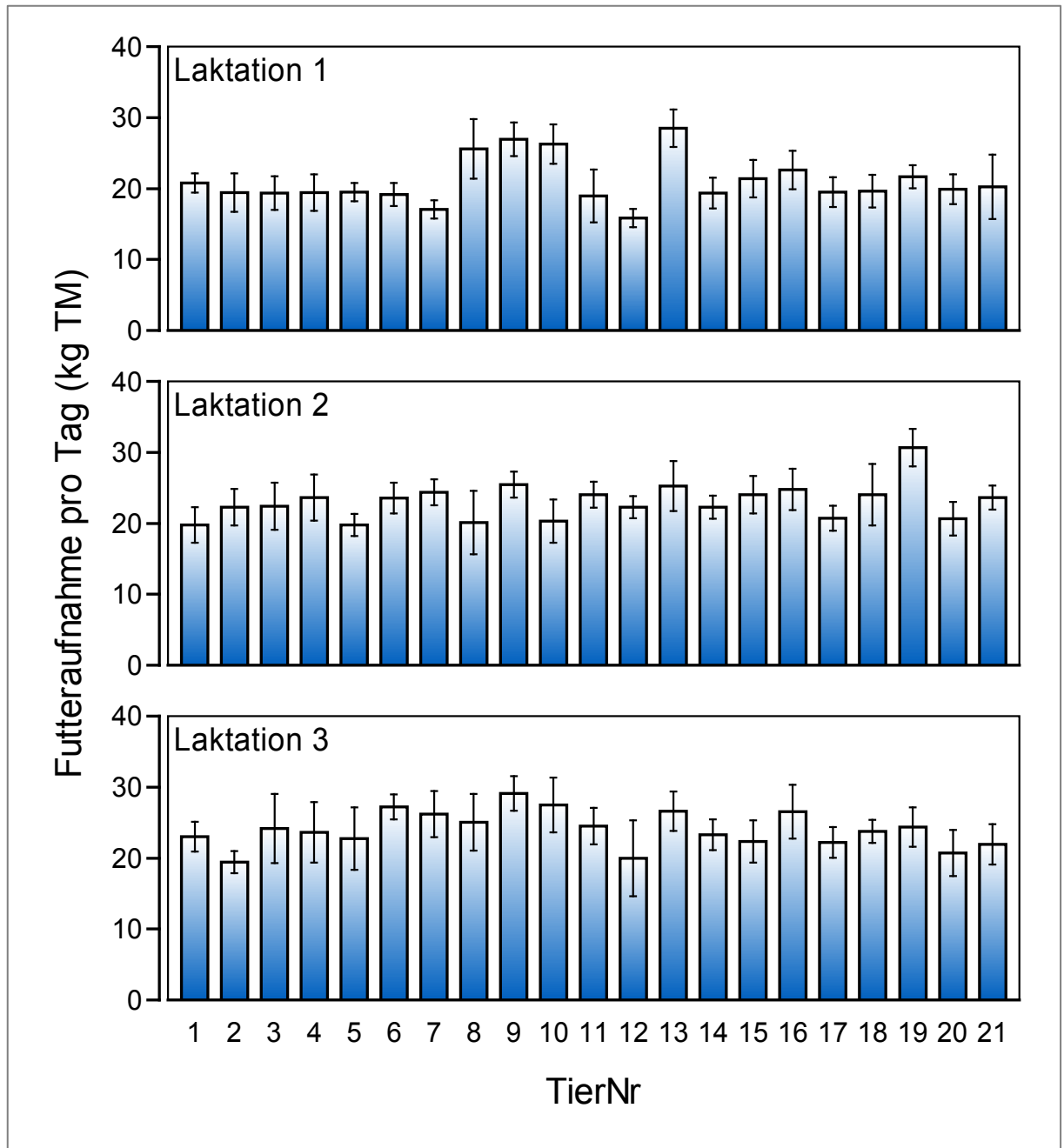
### Analyse 2: Ontogenese des Fressverhaltens von Milchkühen von der ersten bis zur dritten Laktation

Die durchgeführten Untersuchungen der Parameter des Fressverhaltens zeigten unterschiedliche Ergebnisse im Hinblick auf die inter- und intratierindividuelle Variabilität. Zunächst wurden alle oben genannten Merkmale gruppenweise auf signifikante Unterschiede zwischen den Laktationen getestet. Das Mahlzeitenkriterium betrug 23,47 min. Da das Ziel dieser Arbeit die tierindividuelle Analyse des Fressverhaltens war, folgt die Darstellung der einzelnen Parameter tierindividuell nach Laktation (Abbildung 7 bis Abbildung 14). Abbildung 7 zeigt die tägliche Fresszeit aller Tiere in den drei Laktationen. Die tierindividuellen Mittelwerte mit Standardabweichungen sind für alle Merkmale des Fressverhaltens im Anhang (7.2.1) aufgeführt.



**Abbildung 7:** Tägliche Fresszeit (h) pro Tier für die Laktationen 1-3

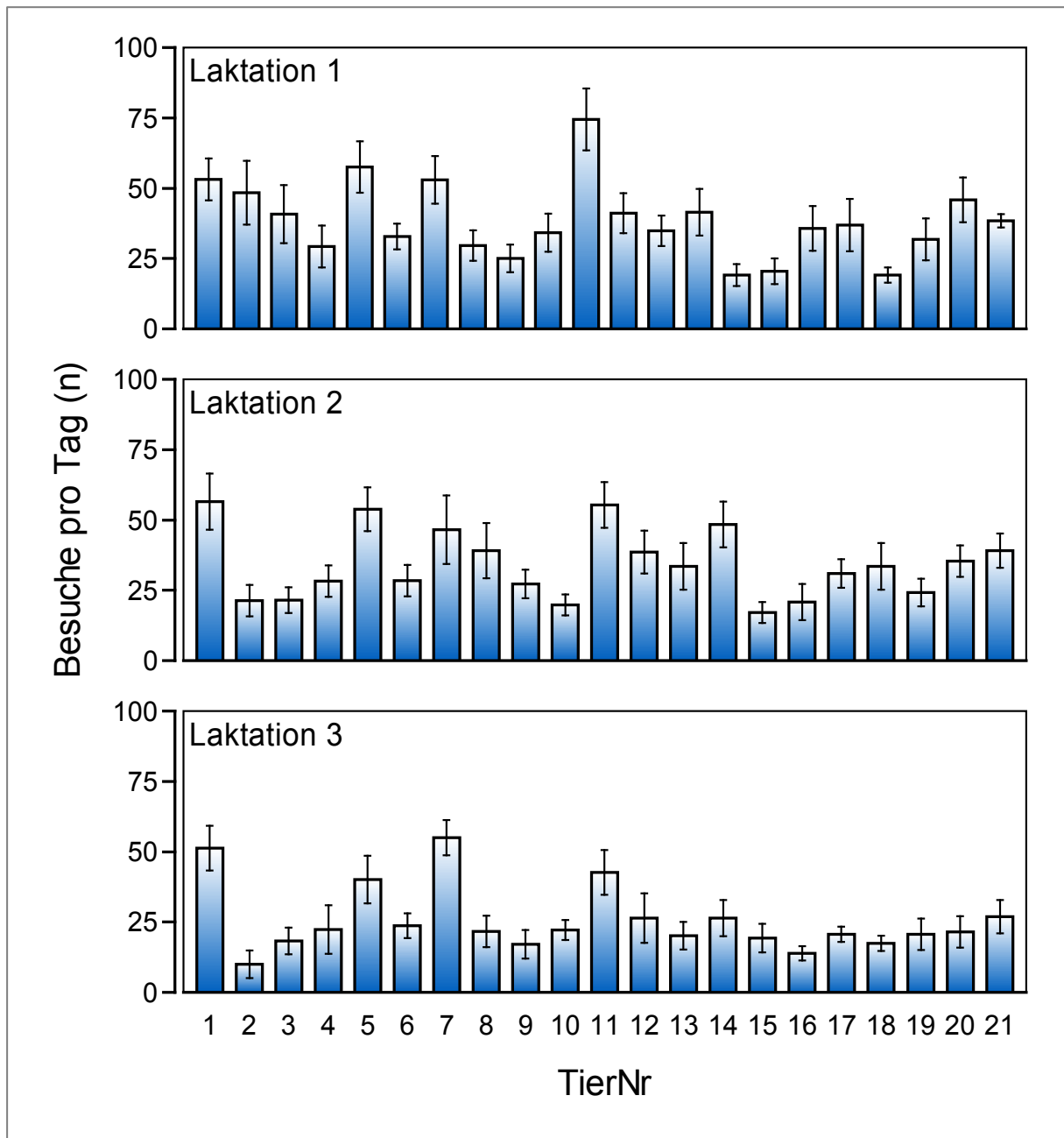
Die mittlere tägliche Fresszeit pro Tag betrug  $3,74 \pm 0,29$  h in der ersten Laktation,  $3,56 \pm 0,16$  h in der zweiten Laktation und  $2,86 \pm 0,13$  h in der dritten Laktation. Die tierindividuellen Werte schwankten zwischen  $2,01 \pm 0,19$  und  $5,15 \pm 0,63$  h in der ersten Laktation, zwischen  $2,10 \pm 0,24$  und  $5,15 \pm 0,32$  h in der zweiten Laktation und zwischen  $1,31 \pm 0,15$  und  $3,75 \pm 0,40$  h in der dritten Laktation. Klar erkennbar ist hier, dass insgesamt die Fresszeit von der ersten bis zur dritten Laktation bei fast allen Kühen abnimmt. Abbildung 8 zeigt die tägliche Futteraufnahme pro Tier.



**Abbildung 8:** Tägliche Futteraufnahme (kg TM) pro Tier für die Laktationen 1-3

Anders verhält es sich bei der mittleren täglichen Futteraufnahme. Diese betrug in der ersten Laktation  $21,02 \pm 0,90$  kg TM, in der zweiten Laktation  $23,06 \pm 0,88$  kg TM und in der dritten Laktation  $24,02 \pm 1,08$  kg TM. Die tierindividuellen Werte schwankten zwischen  $15,88 \pm 1,32$  und  $28,50 \pm 2,65$  kg TM in der ersten Laktation, zwischen  $19,76 \pm 2,53$  und  $24,78 \pm 2,92$  kg TM in der zweiten Laktation und zwischen  $19,47 \pm 1,57$  und  $29,10 \pm 2,42$  kg TM in der dritten Laktation. Insgesamt zeigt sich, dass bei fast allen Tieren die Futteraufnahme von der ersten bis zur dritten Laktation steigt. Weiterhin zeigten sich hier ebenfalls

tierindividuelle Unterschiede von Laktation zu Laktation. Abbildung 9 zeigt die Anzahl Besuche pro Tag am Wiegetrog.

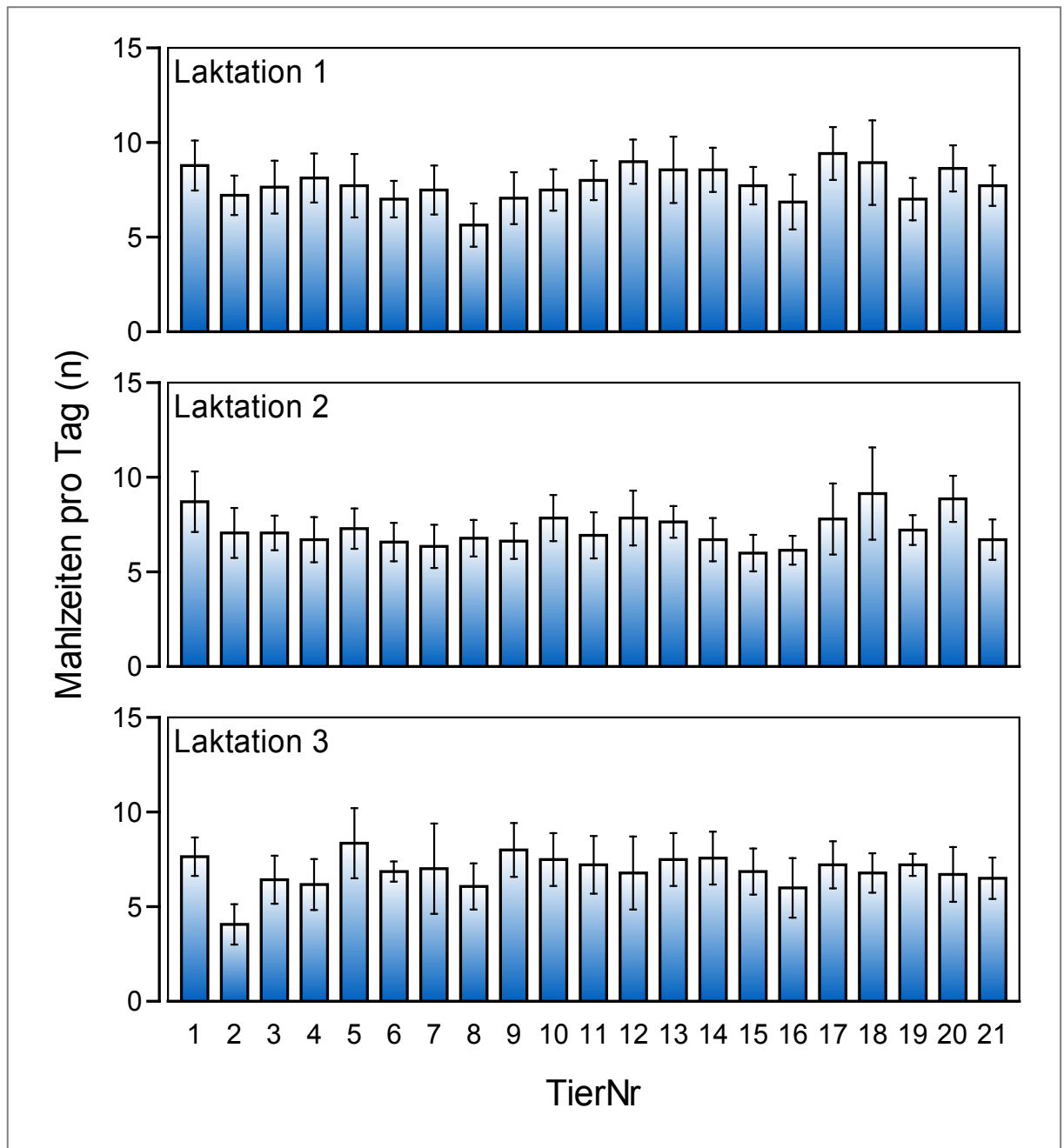


**Abbildung 9:** Besuche am Wiegetrog pro Tag und Tier für die Laktationen 1-3

Die mittlere Anzahl Besuche pro Tag betrug  $38,36 \pm 2,35$  in der ersten Laktation,  $34,28 \pm 2,21$  in der zweiten Laktation und  $25,61 \pm 1,89$  in der dritten Laktation. Die tierindividuellen Werte schwankten zwischen  $19,14 \pm 3,84$  und  $74,57 \pm 11,02$  Besuche in der ersten Laktation, zwischen  $17,07 \pm 3,71$  und  $56,57 \pm 10,01$  Besuche in der zweiten Laktation und zwischen  $10,00 \pm 4,96$  und  $51,36 \pm 7,91$  Besuche in der dritten Laktation. Insgesamt nimmt die Anzahl Besuche pro Tag



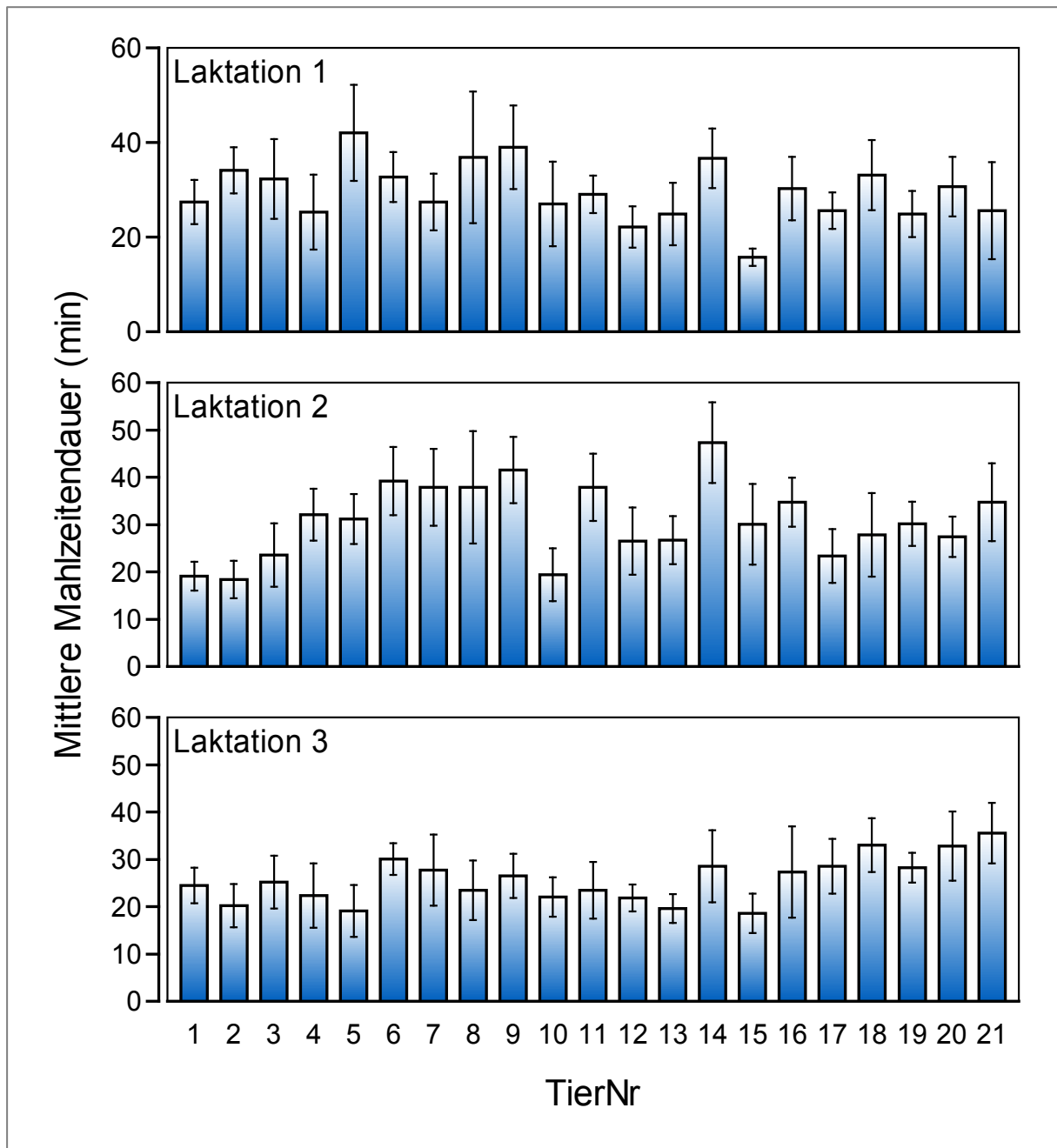
von der ersten bis zur dritten Laktation bei fast allen Kühen ab. Es gibt aber große tierindividuelle Unterschiede. Abbildung 10 zeigt die Mahlzeitenanzahl pro Tag.



**Abbildung 10:** Mahlzeiten pro Tag und Tier für die Laktationen 1-3

Die mittleren täglichen Anzahl an Mahlzeiten betrug in der ersten Laktation  $7,84 \pm 0,30$  Mahlzeiten, in der zweiten Laktation  $7,24 \pm 0,39$  Mahlzeiten und in der dritten Laktation  $6,88 \pm 0,41$  Mahlzeiten. Die tierindividuellen Werte schwankten zwischen  $5,64 \pm 1,15$  und  $9,43 \pm 1,40$  Mahlzeiten in der ersten Laktation, zwischen  $6,00 \pm 0,96$  und  $9,14 \pm 2,44$  Mahlzeiten in der zweiten Laktation und zwischen  $4,07 \pm 1,07$  und  $8,36 \pm 1,86$  Mahlzeiten in der dritten Laktation.

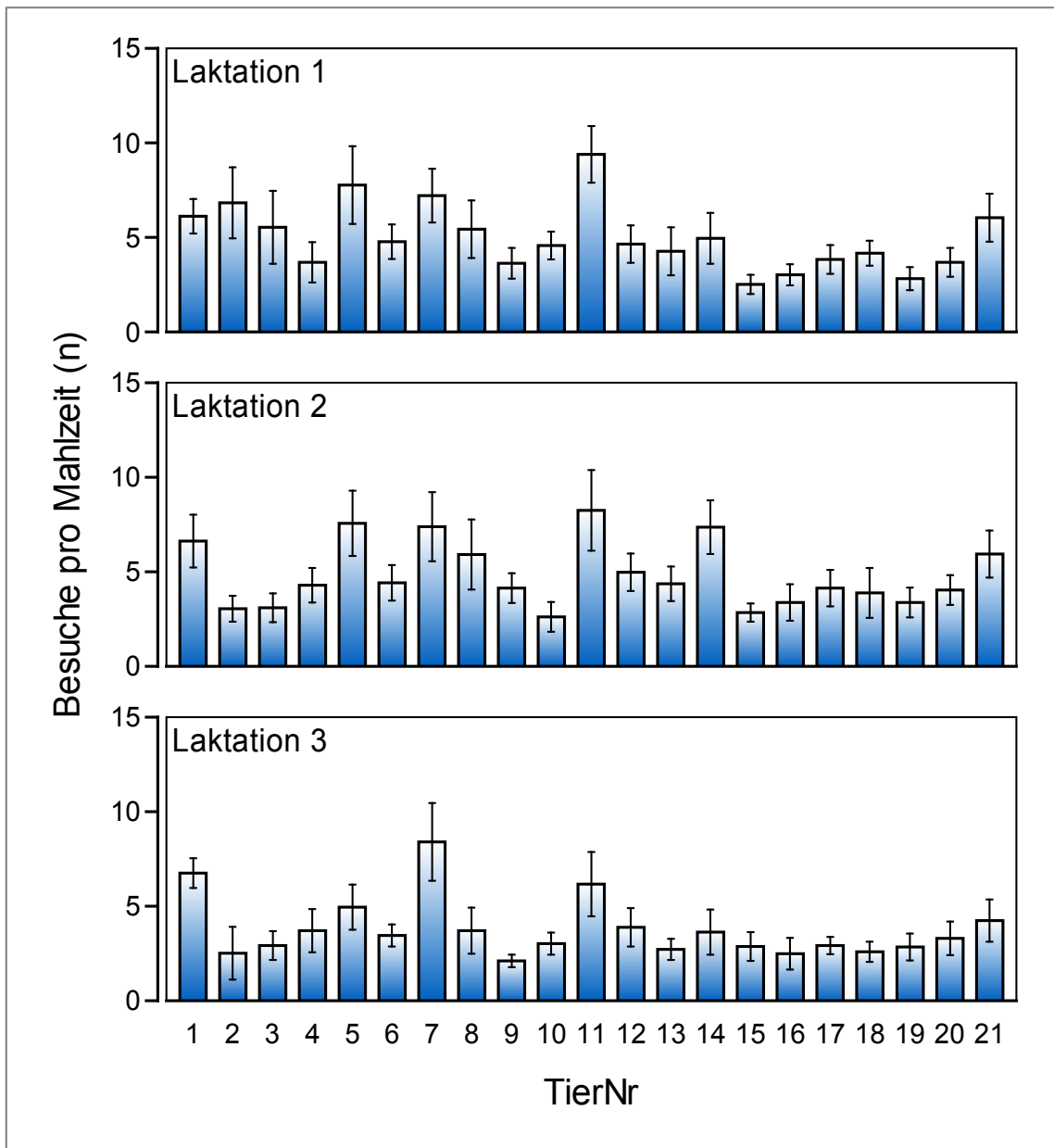
Insgesamt zeigt sich, dass bei fast allen Tieren die Anzahl an Mahlzeiten pro Tag abnimmt. Abbildung 11 zeigt die mittlere Mahlzeitendauer pro Tag und Tier.



**Abbildung 11:** Mittlere Mahlzeitendauer (min) pro Tier für die Laktationen 1-3

Die mittlere Mahlzeitendauer betrug  $29,67 \pm 2,73$  min in der ersten Laktation,  $30,82 \pm 2,05$  min in der zweiten Laktation und  $25,65 \pm 1,80$  min in der dritten Laktation. Die tierindividuellen Werte schwankten zwischen  $15,79 \pm 1,81$  und  $42,05 \pm 10,14$  min in der ersten Laktation, zwischen  $18,38 \pm 3,93$  min und  $47,33 \pm 8,52$  min in der zweiten Laktation und zwischen  $18,57 \pm 4,12$  und  $35,51 \pm 6,42$  min in der dritten Laktation. Insgesamt nimmt die Mahlzeitendauer von der

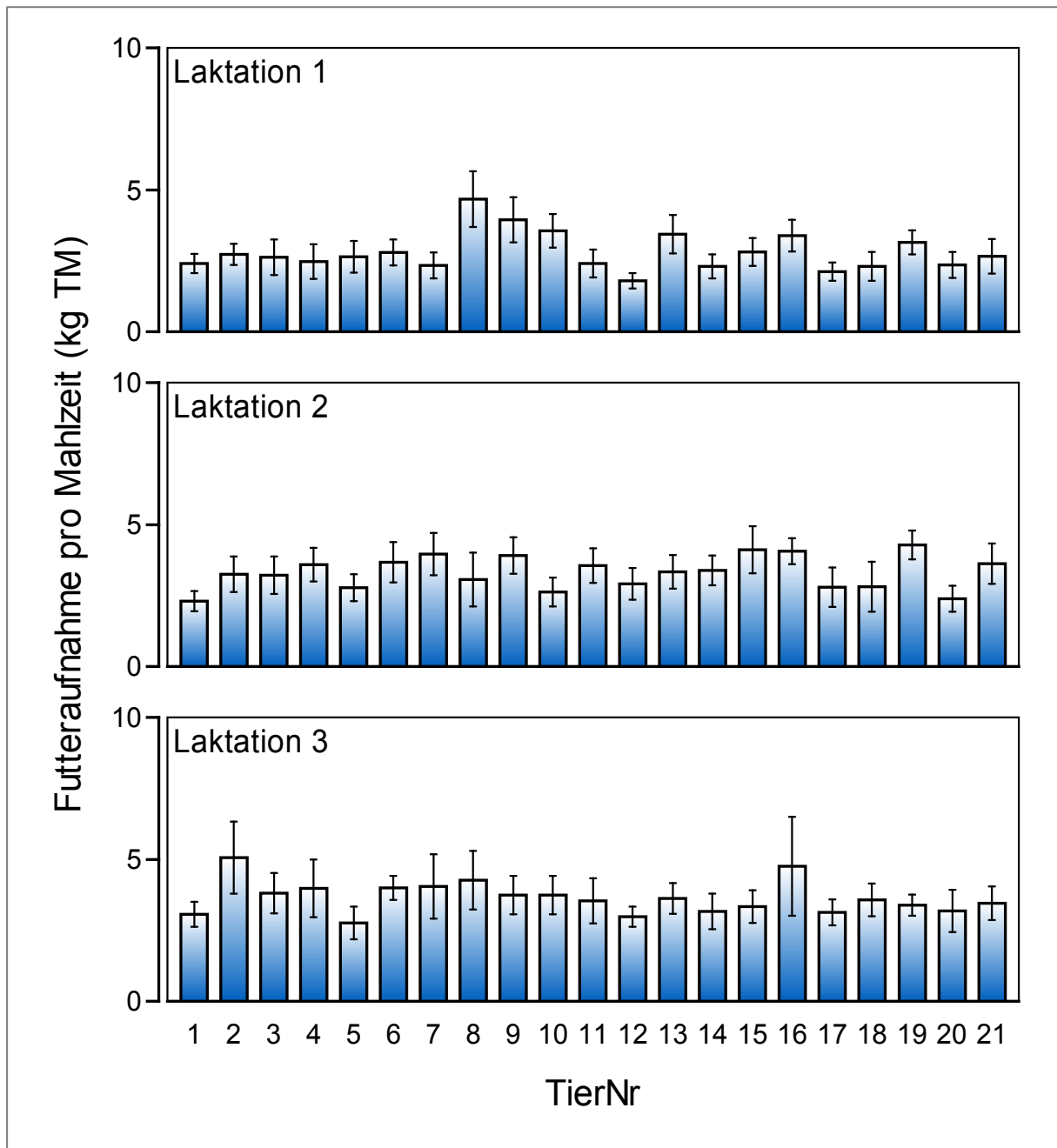
ersten bis zur dritten Laktation bei fast allen Kühen ab. In Abbildung 12 sind die Besuche pro Mahlzeit dargestellt.



**Abbildung 12:** Besuchsanzahl pro Mahlzeit und Tier für die Laktationen 1-3

Die Anzahl Besuche pro Mahlzeit variiert stark zwischen den einzelnen Tieren. In der ersten Laktation betrug die mittlere Besuchsanzahl pro Mahlzeit  $5 \pm 0,47$ , in der zweiten Laktation  $4,84 \pm 0,45$  und in der dritten Laktation  $3,77 \pm 0,43$ . Die tierindividuellen Werte schwankten zwischen  $2,51 \pm 0,52$  und  $9,40 \pm 1,49$  min in der ersten Laktation, zwischen  $2,85 \pm 0,49$  min und  $8,26 \pm 2,14$  min in der zweiten Laktation und zwischen  $2,10 \pm 0,34$  und  $6,75 \pm 0,79$  min in der dritten Laktation. Insgesamt nimmt die Anzahl an Besuchen pro Mahlzeit von der ersten bis zur

dritten Laktation bei fast allen Kühen ab. In Abbildung 13 ist die tierindividuelle Futteraufnahme pro Mahlzeit dargestellt.

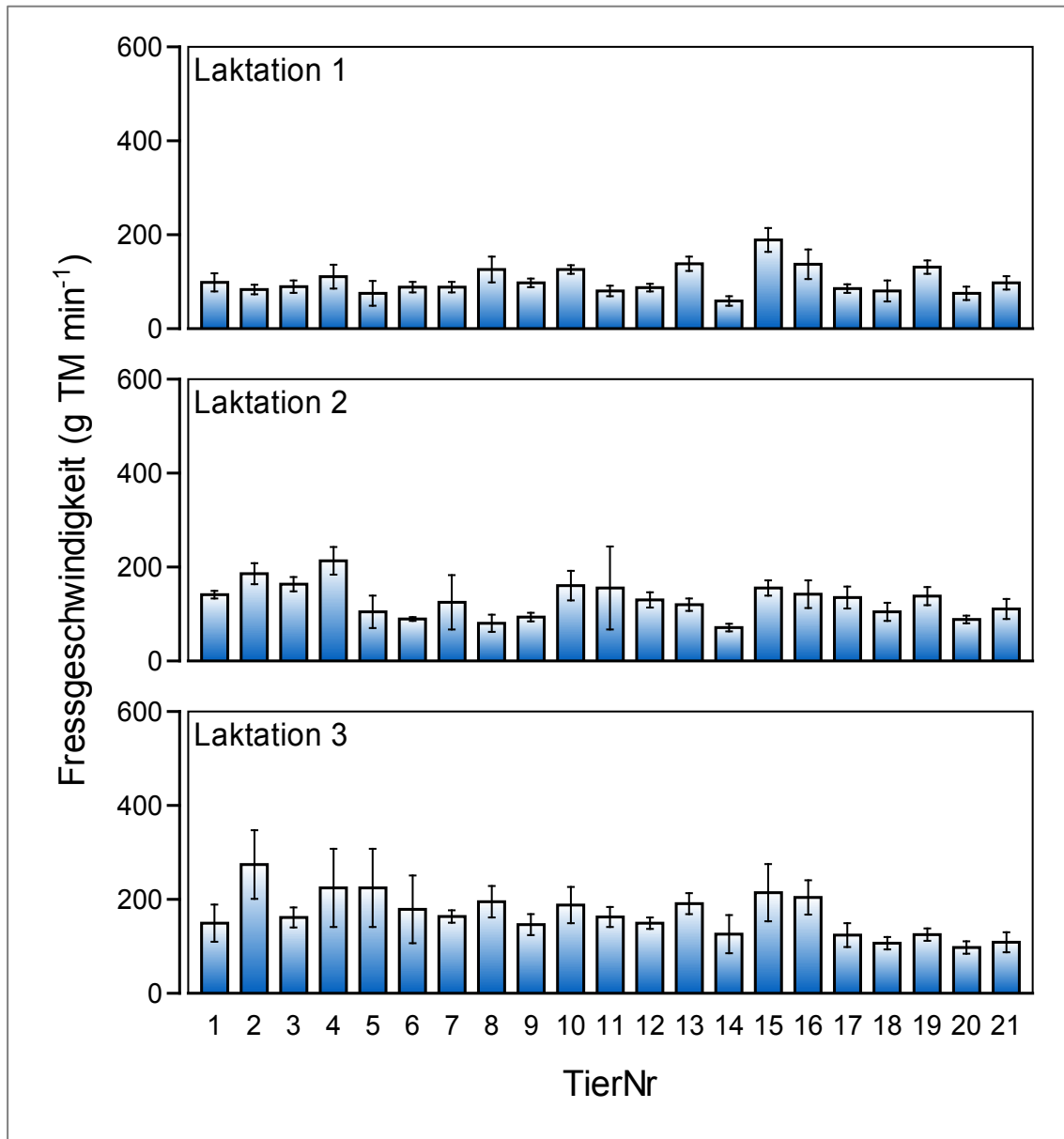


**Abbildung 13:** Futteraufnahme pro Mahlzeit (kg TM) pro Tag und Tier für die Laktationen 1-3

Die Futteraufnahme pro Mahlzeit betrug in der ersten Laktation  $2,80 \pm 0,16$  kg TM pro Mahlzeit, in der zweiten Laktation  $3,32 \pm 0,15$  kg TM pro Mahlzeit und in der dritten Laktation  $3,65 \pm 0,34$  kg TM pro Mahlzeit. Die tierindividuellen Werte schwankten zwischen  $1,79 \pm 0,27$  und  $4,67 \pm 0,98$  kg TM pro Mahlzeit in der ersten Laktation, zwischen  $2,31 \pm 0,36$  und  $4,29 \pm 0,51$  kg TM pro Mahlzeit in der

zweiten Laktation und zwischen  $2,98 \pm 0,36$  und  $5,07 \pm 1,28$  kg TM pro Mahlzeit in der dritten Laktation.

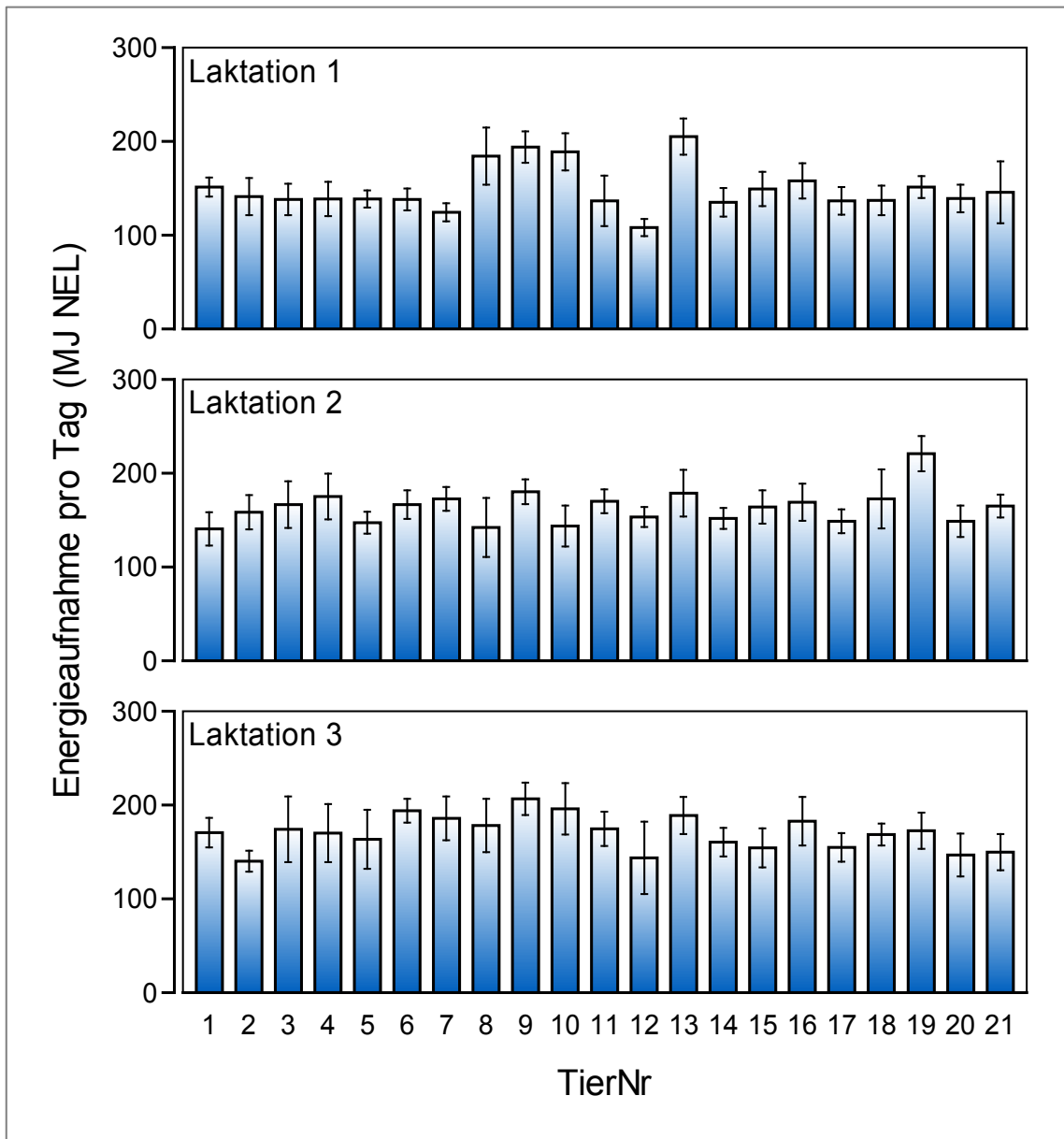
Insgesamt nimmt bei fast allen Tieren Futtermittelaufnahme pro Mahlzeit zu. Die tierindividuellen Unterschiede zeigen sich hier in der Kombination aus Mahlzeitendauer und aufgenommener Futtermenge pro Mahlzeit. Kühe mit niedrigerer Mahlzeitendauer haben dafür eine erhöhte Futtermittelaufnahme pro Mahlzeit und umgekehrt. Da die aufgenommene Futtermenge keine großen tierindividuellen Unterschiede zeigt, müssen sich diese in den der Futtermittelaufnahme zugehörigen Verhaltensweisen zeigen. Aufgrund der unterschiedlichen Energiegehalte der Ration kann auch hier die Betrachtung der Energieaufnahme pro Mahlzeit helfen. Abbildung 14 zeigt die Fressgeschwindigkeit der Tiere in den drei Laktationen.



**Abbildung 14:** Fressgeschwindigkeit (g TM min<sup>-1</sup>) pro Tier für die Laktationen 1-3

Anders verhält es sich bei der Fressgeschwindigkeit. Diese betrug in der ersten Laktation  $102,14 \pm 7,43$  g TM pro Minute, in der zweiten Laktation  $128,95 \pm 45,76$  g TM pro Minute und in der dritten Laktation  $180,00 \pm 68,04$  g TM pro Minute. Die tierindividuellen Werte schwankten zwischen  $58,67 \pm 9,78$  und  $188,52 \pm 25,48$  g TM pro Minute in der ersten Laktation, zwischen  $71,23 \pm 8,38$  und  $213,50 \pm 29,79$  g TM pro Minute in der zweiten Laktation und zwischen  $106,90 \pm 13,36$  und  $224,89 \pm 83,68$  g TM pro Minute in der dritten Laktation. Es zeigt sich, dass bei fast allen Kühen die Fressgeschwindigkeit steigt.

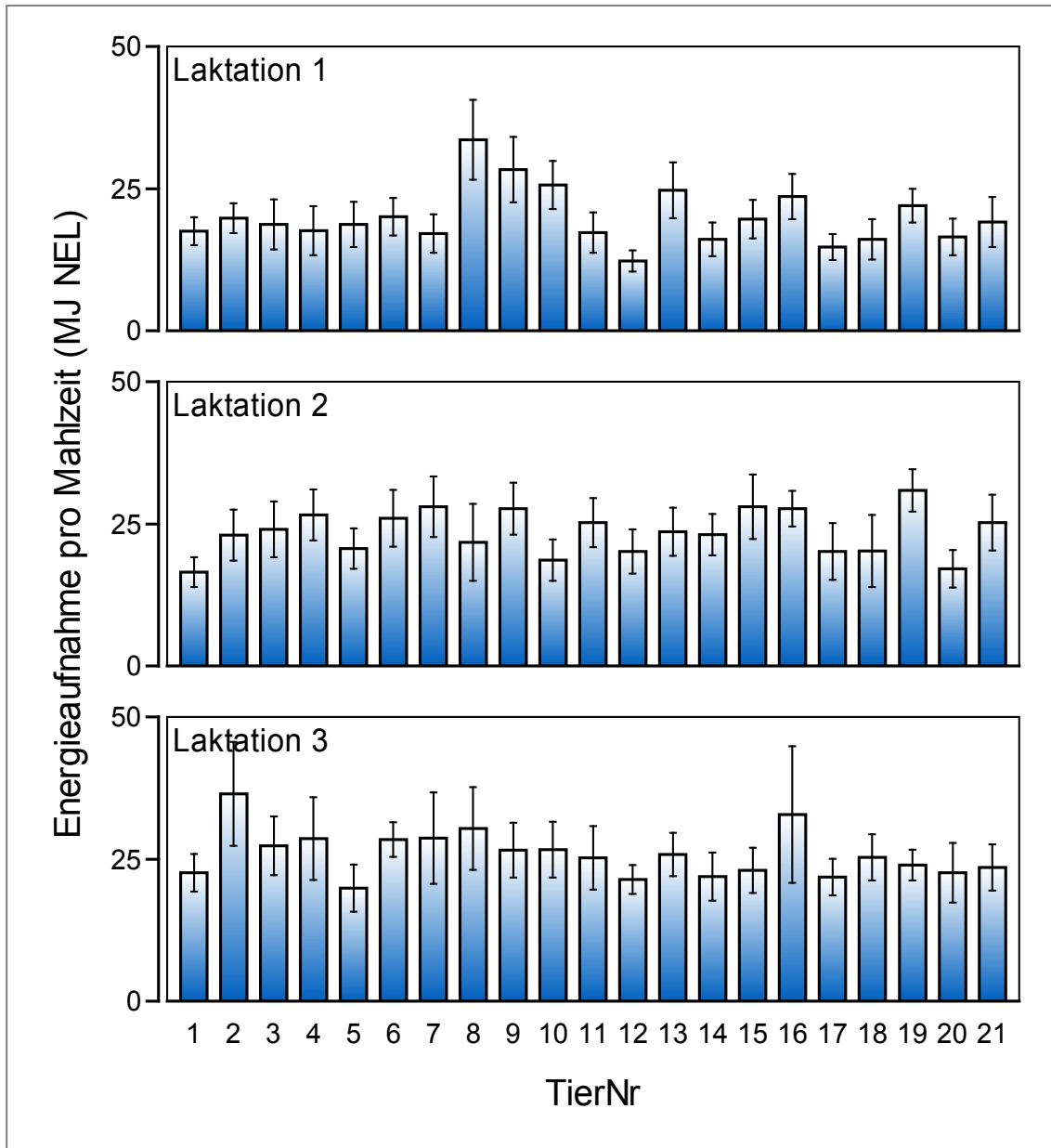
Da die Energiegehalte der Rationen unterschiedlich je nach Fütterungsversuch waren, wurde zusätzlich zur Trockenmasseaufnahme auch die Energieaufnahme pro Tag berechnet. Abbildung 15 zeigt die Energieaufnahme pro Tag und Tier in den drei Laktationen.



**Abbildung 15:** Tägliche Energieaufnahme (MJ NEL) pro Tier für die Laktationen 1-3

Die mittlere tägliche Energieaufnahme betrug in der ersten Laktation  $149,59 \pm 6,55$  MJ NEL, in der zweiten Laktation  $163,77 \pm 6,36$  MJ NEL und in der dritten Laktation  $170,39 \pm 7,78$  MJ NEL. Die tierindividuellen Werte schwankten zwischen  $108,30 \pm 8,99$  und  $205,75 \pm 15,66$  MJ NEL in der ersten Laktation, zwischen  $140,87 \pm 18,03$  und  $220,74 \pm 18,82$  MJ NEL in der zweiten Laktation und

zwischen  $140,16 \pm 11,30$  und  $206,59 \pm 17,16$  MJ NEL in der dritten Laktation. Bei fast allen Tieren steigt analog zur Futteraufnahme auch die Energieaufnahme von der ersten bis zur dritten Laktation. Des Weiteren sind auch hier tierindividuelle Unterschiede zu erkennen. Diese sind in der dritten Laktation kleiner als in der ersten Laktation. Abbildung 16 zeigt die tierindividuelle Energieaufnahme pro Mahlzeit.



**Abbildung 16:** Energieaufnahme pro Mahlzeit (MJ NEL) pro Tier für die Laktationen 1-3

Die Energieaufnahme pro Mahlzeit betrug in der ersten Laktation  $19,96 \pm 1,20$  MJ NEL pro Mahlzeit, in der zweiten Laktation  $23,55 \pm 1,04$  MJ NEL pro Mahlzeit und in der dritten Laktation  $25,88 \pm 2,37$  MJ NEL pro Mahlzeit. Die



tierindividuellen Werte schwankten zwischen  $12,24 \pm 1,84$  und  $33,61 \pm 7,06$  MJ NEL pro Mahlzeit in der ersten Laktation, zwischen  $16,47 \pm 2,59$  und  $28,03 \pm 5,69$  MJ NEL pro Mahlzeit in der zweiten Laktation und zwischen  $19,92 \pm 4,18$  und  $32,82 \pm 11,98$  MJ NEL pro Mahlzeit in der dritten Laktation. Auch bei der Energieaufnahme pro Mahlzeit zeigt sich ein Anstieg. Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse der statistischen Analyse.

**Tabelle 2:** Ergebnisse der statistischen Analyse für die Merkmale des Fressverhaltens (nicht-parametrischer multipler Vergleich), Werte in einer Zeile mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant,  $p \leq 0,05$

	<b>LNR 1</b>	<b>LNR 2</b>	<b>LNR 3</b>
<b>Fresszeit/Tag (h)</b>	$3,74 \pm 0,29^a$	$3,56 \pm 0,16^a$	$2,86 \pm 0,13^b$
<b>Futterraufnahme/Tag (kg TM)</b>	$21,02 \pm 0,90^a$	$23,06 \pm 0,88^b$	$24,02 \pm 1,08^b$
<b>Energieaufnahme/Tag (MJ NEL)</b>	$149,59 \pm 6,55^a$	$163,77 \pm 6,36^b$	$170,39 \pm 7,78^c$
<b>Besuche/Tag</b>	$38,36 \pm 2,35^a$	$34,28 \pm 2,21^a$	$25,61 \pm 1,93^b$
<b>Mahlzeiten/Tag</b>	$7,84 \pm 0,30^a$	$7,24 \pm 0,39^{ab}$	$6,88 \pm 0,41^b$
<b>Mahlzeitendauer (min)</b>	$29,67 \pm 2,73$	$30,82 \pm 2,05$	$25,65 \pm 1,80$
<b>Besuche/Mahlzeit</b>	$5,00 \pm 0,47^a$	$4,84 \pm 0,45^a$	$3,77 \pm 0,43^b$
<b>Futterraufnahme/Mahlzeit (kg TM)</b>	$2,80 \pm 0,16^a$	$3,32 \pm 0,15^b$	$3,65 \pm 0,34^b$
<b>Energieaufnahme/Mahlzeit (MJ NEL)</b>	$19,96 \pm 1,20^a$	$23,55 \pm 1,04^b$	$25,88 \pm 2,37^c$
<b>Fressgeschw. (g TM min<sup>-1</sup>)</b>	$102,14 \pm 7,43^a$	$128,95 \pm 19,06^b$	$167,54 \pm 24,22^c$

Signifikante Unterschiede im Gruppenvergleich zeigten sich hier stark im Vergleich der ersten mit der dritten Laktation, aber nur leicht zwischen der ersten und der zweiten Laktation (Futterraufnahme pro Tag und pro Mahlzeit, Energieaufnahme pro Tag und pro Mahlzeit, Fressrate,  $p$ -Wert  $\leq 0,05$ ). Zwischen der zweiten und der dritten Laktation zeigten sich schwach signifikante Unterschiede in der Anzahl Besuche pro Tag und pro Mahlzeit und der Fressrate und signifikante Unterschiede in der Fresszeit. Die größten Unterschiede

ergaben sich im Vergleich der ersten zur dritten Laktation. Hier wurden leicht signifikante Unterschiede in der Besuchsanzahl pro Mahlzeit und signifikante Unterschiede in der Fresszeit pro Tag, der Futteraufnahme pro Tag, der Besuchsanzahl pro Tag, der Futteraufnahme pro Mahlzeit, der Energieaufnahme pro Tag und pro Mahlzeit und ein stark signifikanter Unterschied in der Fressgeschwindigkeit ermittelt. Zur Untersuchung möglicher Verhaltensstrategien wurde ein Modell gebildet. Dazu wurden die Kühe anhand ihrer Energieaufnahme als entscheidendes Erfolgskriterium bewertet. Tabelle 3 zeigt die durchschnittliche Energieaufnahme pro Tag und Tier für jede Laktation.

*Modell: Einteilung der Kühe nach kontinuierlicher Steigerung der Energieaufnahme von Laktation 1 zu 3*

**Tabelle 3:** Durchschnittliche Energieaufnahme (MJ NEL) pro Tag und Tier für die Laktationen 1-3; blau unterlegt = Kühe, deren Energieaufnahme kontinuierlich steigt

TierNr	Energieaufnahme/ Tag (MJ NEL)	Energieaufnahme/ Tag (MJ NEL)	Energieaufnahme/ Tag (MJ NEL)
1	151,18	140,87	170,56
2	141,23	158,40	140,16
3	138,10	166,81	174,02
4	138,77	175,11	170,39
5	138,61	147,35	163,65
6	138,21	166,72	194,15
7	124,43	172,84	185,95
8	184,31	142,22	178,55
9	194,28	180,53	206,59
10	189,13	143,86	195,85
11	136,66	170,22	174,73
12	108,30	153,63	143,72
13	205,19	178,93	189,14
14	135,37	151,91	160,60
15	149,58	164,14	154,42
16	157,90	169,03	182,98
17	136,56	148,99	154,99
18	137,08	172,89	168,55
19	151,39	220,74	172,59
20	139,28	148,69	146,70
21	145,80	165,23	149,88
<b>Mittelwert</b>	<b>149,59</b>	<b>163,77</b>	<b>170,39</b>

Anhand der Tabelle 3 ist zu sehen, dass acht Kühe (blau unterlegt) von Laktation zu Laktation eine Steigerung in der täglichen Energieaufnahme zeigten. Diese Kühe bilden Gruppe I, während Kühe ohne kontinuierliche Steigerung die Gruppe II bilden. Von allen Merkmalen des Fressverhaltens wurden nun die prozentualen

## Analyse der Futteraufnahme und des Fressverhaltens

Differenzen von der ersten zur zweiten, der zweiten zur dritten und der ersten zur dritten Laktation gebildet. Diese Differenzen wurden für die beiden so eingeteilten Gruppen gemittelt und sind in Tabelle 4 bis Tabelle 8 dargestellt.

**Tabelle 4:** Prozentuale Abweichungen der täglichen Fresszeit und der täglichen Trockenmasseaufnahme zwischen beiden Gruppen und zwischen den Laktationen

Gruppe	Diff. Fresszeit/Tag %			Diff. TM-Aufnahme/Tag %		
	1-2	2-3	1-3	1-2	2-3	1-3
I	-5,18	-19,34	-25,37	17,46	8,32	27,08
II	-0,46	-17,67	-19,30	8,27	2,91	8,69

**Tabelle 5:** Prozentuale Abweichungen der täglichen Besuche und der täglichen Mahlzeiten zwischen beiden Gruppen und zwischen den Laktationen

Gruppe	Diff. Besuche/Tag %			Diff. Mahlzeiten/Tag %		
	1-2	1-2	1-2	1-2	2-3	1-3
I	-12,46	-21,82	-32,91	-12,15	3,40	-9,21
II	-4,81	-26,47	-30,49	-4,01	-8,59	-12,86

**Tabelle 6:** Prozentuale Abweichungen der Besuche pro Mahlzeit und der Mahlzeitendauer zwischen beiden Gruppen und zwischen den Laktationen

Gruppe	Diff. Besuche/Mahlzeit %			Diff. Mahlzeitendauer %		
	1-2	1-2	1-2	1-2	2-3	1-3
I	-0,54	-22,59	-24,74	8,81	-19,86	-15,43
II	-0,41	-19,63	-21,12	6,16	-7,83	-7,39

**Tabelle 7:** Prozentuale Abweichungen der Futteraufnahme pro Mahlzeit und der Fressgeschwindigkeit zwischen beiden Gruppen und zwischen den Laktationen

Gruppe	Diff. Futteraufnahme/Mahlzeit %			Diff. Fressgeschwindigkeit %		
	1-2	1-2	1-2	1-2	2-3	1-3
I	34,51	6,33	42,37	27,41	39,06	74,13
II	15,51	15,61	29,55	15,98	30,79	47,38

**Tabelle 8:** Prozentuale Abweichungen der Energieaufnahme pro Tag und pro Mahlzeit zwischen beiden Gruppen und zwischen den Laktationen

Gruppe	Diff. Energieaufn./Tag %			Diff. Energieaufn./Mahlzeit %		
	1-2	2-3	1-3	1-2	2-3	1-3
I	17,44	7,51	25,87	34,53	5,51	41,56
II	8,34	3,18	8,83	15,48	15,97	29,78

Kühe der Gruppe I zeigen eine stärkere Abnahme in der Fresszeit und demzufolge auch der Mahlzeitendauer und eine höhere Zunahme der Fressgeschwindigkeit und der Trockenmasseaufnahme. Die Veränderungen der Besuchsanzahl pro Tag verhalten sich bei beiden Gruppen ähnlich, die Veränderung der Mahlzeitenanzahl pro Tag ist wechselnd in Gruppe I und abnehmend in Gruppe II.

Betrachtet man die Varianz aller Parameter so zeigt sich, dass diese von der ersten bis zur dritten Laktation in den meisten Fällen deutlich abnimmt. Generell scheinen mit höherer Laktationszahl die tierindividuellen Unterschiede geringer zu werden. Tabelle 9 zeigt die Varianzen aller Verhaltensweisen in den die Laktationen.

**Tabelle 9:** Vergleich der Varianzen aller Merkmale des Fressverhaltens in den Laktationen 1-3

	LNR 1	LNR 2	LNR 3
<b>Fresszeit/Tag (h)</b>	0,56	0,54	0,40
<b>Futtermittelaufnahme/Tag (kg TM)</b>	10,57	6,45	6,44
<b>Besuche/Tag</b>	189,81	149,61	139,26
<b>Mahlzeiten/Tag</b>	0,82	0,76	0,79
<b>Mahlzeitendauer (min)</b>	37,86	61,44	23,08
<b>Besuche/Mahlzeit</b>	3,07	3,01	2,51
<b>Futtermittelaufnahme/Mahlzeit (kg TM)</b>	0,48	0,33	0,33
<b>Fressgeschwindigkeit (kg TM min<sup>-1</sup>)</b>	0,00	0,00	0,01
<b>Energieaufnahme/Tag (MJ NEL)</b>	582,75	325,60	331,12
<b>Energieaufnahme/Mahlzeit (MJ NEL)</b>	24,54	15,55	16,67

### **2.2.3 Diskussion und Schlussfolgerungen**

Ziel der ersten Analyse war es, generelle Unterschiede zwischen dem Fressverhalten von jungen und alten Kühen zu finden und zu untersuchen, wo sich die größten Unterschiede zeigen. Des Weiteren wurde untersucht, welche Verhaltensweisen den größten Änderungen unterliegen und sich damit auch am stärksten auf das Fressverhalten auswirken.

Grundsätzlich wurden in allen untersuchten Merkmalen stark signifikante Unterschiede ermittelt. Da sich die beiden Gruppen (Kühe erster Laktation und Kühe ab der fünften Laktation) aus unterschiedlichen Tieren in unterschiedlichen Versuchen zusammensetzen, d.h. die Versuchsbedingungen variierten, können sich signifikante Unterschiede nur dann zeigen, wenn sich diese Merkmale tatsächlich stark zwischen den beiden Gruppen unterscheiden. Das ist in dieser Untersuchung der Fall, denn auch der verwendete nicht-parametrische Test mit geringerer Trennschärfe (als ein parametrischer) zeigte in jedem Merkmal signifikante Unterschiede. Dazu kommt, dass in jeder Gruppe Kühe aus jedem Versuch vertreten waren. Die unterschiedlichen Einflüsse der Rationsgestaltung wirkten sich somit auf beide Gruppen aus. Zur besseren Vergleichbarkeit wurde auch die Energieaufnahme (insbesondere bei der zweiten Analyse) betrachtet, da diese den Trockenmassegehalt und den Energiegehalt einer Ration beinhaltet. Gruber et al (2004) zeigten, dass sich trotz unterschiedlicher Versuchsanstellungen und umfangreicher und heterogener Daten grundlegende Gesetzmäßigkeiten der Futteraufnahme zeigen können. Sie analysierten die Daten aus Fütterungsversuchen von zehn verschiedenen Forschungs- und Universitätsinstituten in Deutschland, Österreich und der Schweiz, um Modelle zur Vorhersage der Futteraufnahme zu erstellen. Dabei konnten Sie nachweisen, dass die Laktationszahl und vor allem das Laktationsstadium entscheidende Einflussfaktoren sind. In der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluss der Laktationszahl untersucht, wogegen das Laktationsstadium bewusst weitestgehend einheitlich gewählt wurde, um diesen Einfluss ausschließen zu können.

Die Fressgeschwindigkeit, mit der eine Kuh das Futter aufnimmt, hängt laut Balch et al. (1962) in erster Linie vom Wassergehalt, bzw. der physikalischen Struktur ab. Wasserreiche Futtermittel erfordern kürzere Kauzeiten und weniger

Kaubewegungen als wasserarme Komponenten oder Rationen. Die in diesen Versuchen gefütterten Rationen entsprachen in ihrer Zusammensetzung den Ansprüchen von Hochleistungskühen und ähnelten sich sowohl im Energiegehalt als auch in der Zusammensetzung. Daher ist der Einfluss des Futters an dieser Stelle nicht für die großen signifikanten Unterschiede verantwortlich.

Die vorliegenden Ergebnisse fügen sich gut in bestehende Literaturangaben ein. Die hier ermittelten Mahlzeitenkriterien sind vergleichbar mit denen anderer Autoren (Kapitel 2.1.4). Die tägliche Trockenmasseaufnahme (20 – 24 kg TM) und die tägliche Fresszeit (2,8 – 3,7 h) sind ebenfalls vergleichbar mit den Ergebnissen anderen Untersuchungen (Kapitel 2.1.4).

Die Ausprägung der Merkmale des Fressverhaltens variiert in Abhängigkeit vom Mahlzeitenkriterium, welches für jede Untersuchung separat ermittelt wurde. DeVries et al. (2003a) ermittelten eine Mahlzeitenanzahl von  $7.3 \pm 1.5$  pro Tag. Tolkamp et al. (2000) fanden in ihren Untersuchungen eine durchschnittliche Mahlzeitenanzahl von 6,1 pro Tag mit einer mittleren Dauer von 36,9 min. Kürzere Mahlzeitenkriterien, wie z.B. bei Dado und Allen (1994) führen zwar zu einer höheren Mahlzeitenanzahl pro Tag (11,9), verändern aber nicht die Gesamtfresszeit pro Tag (DeVries et al., 2003a). Die mittlere Mahlzeitendauer betrug dabei 25,9 min pro Mahlzeit. Insgesamt sind die Ergebnisse der eigenen Untersuchungen in den Merkmalen des Fressverhaltens (6,9 – 7,8 Mahlzeiten pro Tag mit einer mittleren Dauer von 25,7 – 30 min) vergleichbar mit denen anderer Autoren.

Die mittlere Trockenmasseaufnahme pro Mahlzeit lag in dieser Untersuchung zwischen 2,7 und 3,7 kg Trockenmasse. Ähnliche Ergebnisse finden sich auch bei Azizi et al. (2009).

Die in dieser Untersuchung ermittelten Fressgeschwindigkeiten lagen zwischen 100 und 170 g Trockenmasse pro Minute und sind damit höher als die von anderen Autoren ermittelten Fressgeschwindigkeiten. Azizi et al. (2009) ermittelten Fressgeschwindigkeiten von 66 bis 103 g Trockenmasse pro Minute. Dado und Allen (1994) fanden Fressgeschwindigkeiten zwischen 69,5 und 80 g Trockenmasse pro Minute und Bowman et al. (2003) fanden Fressgeschwindigkeiten von 59,4 bis 71,9 g pro Minute. Allerdings variiert nach

Balch et al. (1962) die Fressgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Futtermittel (17,24 -250 g TM pro Minute) und hängt von weiteren Faktoren ab (Dado and Allen, 1994; Forbes, 1995). Auch systembedingte Messungenauigkeiten können zu dieser großen Spannweite der Ergebnisse führen.

Die mittlere Besuchszahl lag zwischen 21,73 und 39,79 pro Tag und zwischen 3,14 und 5,29 pro Mahlzeit und ist vergleichbar mit den Ergebnissen von Dado und Allen (1994), Azizi (2008) und Tolkamp et al. (2000).

Es zeigten sich generelle Unterschiede zwischen dem Fressverhalten junger und alter Kühe unabhängig von den variierenden Versuchsdesigns. Alle untersuchten Parameter des Fressverhaltens unterschieden sich signifikant zwischen Jung- und Altkühen.

In Anlehnung an die Literatur bestätigt sich, dass primipare Kühe weniger Trockenmasse aufnehmen als multipare Kühe (Schwarz und Kirchgessner, 1985, Maekawa et al. 2002). Auch fressen sie langsamer als multipare Kühe (DeVries et al., 2007; DeVries et al., 2008). Dado und Allen (1994) fanden signifikante Unterschiede in der täglichen Trockenmasseaufnahme zwischen Kühen unterschiedlicher Laktationszahl. Bowman et al. fanden heraus, dass primipare Kühe eine höhere Fresszeit pro Tag zeigten, aber eine geringere Mahlzeitengröße und eine geringere Trockenmasseaufnahme. Ähnliches berichtet Azizi (2008), der zeigte, dass die tägliche Fresszeit von erstlaktierenden Kühen größer war bei gleichzeitig geringerer Trockenmasseaufnahme.

Die Futter- und damit Energieaufnahme kann über die Fressgeschwindigkeit oder die Fresszeit pro Tag erhöht werden. Da die Hochleistungskühe konsequent auf hohe Milchleistung gezüchtet wurden und ihr physiologischer Leistungshöhepunkt in der vierten Laktation liegt (Wangler, 2006), müssen Kühe mit steigender Laktationszahl ihre Energieaufnahme ebenfalls steigern, um nicht in ein Energiedefizit zu gelangen. Demnach muss zur Deckung des Energiebedarfs auch die Futteraufnahme steigen.

Der größte Unterschied ließ sich in der Fressgeschwindigkeit feststellen ( $99,92 \pm 24,11$  vs.  $165,58 \pm 52,66$  g TM min<sup>-1</sup>).



Auch die Besuchsfrequenz am Futtertrog unterschied sich stark zwischen beiden Gruppen ( $39,79 \pm 12,30$  vs.  $21,37 \pm 6,13$ ). Ältere Kühe nehmen mehr Futter pro Tag in einer kürzeren Fresszeit pro Tag auf, fressen schneller und gehen weniger oft zum Fressplatz und unterbrechen ihre Mahlzeiten seltener. Anhand der Ergebnisse der ersten Analyse weist die Fressgeschwindigkeit den größten Unterschied zwischen jungen und alten Kühen auf. Kühe höhere Laktationszahlen fressen bis zu 70 % schneller als erstlaktierende Kühe, während die Fresszeit reduziert wird. Die Reduktion der Fresszeit erfolgt aber nicht im selben Maße wie die Erhöhung der Fressgeschwindigkeit, sodass die Futteraufnahme trotzdem höher ist als bei Jungkühen. Die Maulgröße kann hierbei eine Rolle spielen, die bei ausgewachsenen Milchkühen eine größere Futteraufnahme pro Bissen ermöglicht. Betrachtet man die anderen Parameter des Fressverhaltens, so zeigt sich, dass erstlaktierende Kühe bis zu 50 % mehr Besuche pro Tag und bis zu 11 % mehr Besuche pro Mahlzeit aufweisen. Dies weist auf die Schwierigkeiten hin, die Jungkühe in der bestehenden Herdenstruktur zunächst haben. Sie werden häufiger vom Fressplatz verdrängt und müssen den Fressvorgang damit öfter unterbrechen. Oft sind multipare Tiere dominanter und deshalb aggressiver am Futtertisch und verscheuchen ihre primiparen Herdengenossinnen (Huzzey et al., 2007). Dadurch verlängern sich die Mahlzeitendauer und die Fresszeit, ohne dass dabei zwingend mehr Futter aufgenommen werden kann.

Die Betrachtung der tierindividuellen Entwicklung des Fressverhaltens erfolgte in der zweiten Analyse. Tabelle 10 zeigt die prozentualen Unterschiede/Veränderungen des Fressverhaltens in Abhängigkeit vom Alter.

**Tabelle 10:** Vergleich des Trends der Merkmale des Fressverhaltens in beiden Analysen

	<b>Analyse 1</b> <b>Lkt. 1 vs. Lkt. 5-8</b>	<b>Analyse 2</b> <b>Lkt. 1 vs. Lkt. 3</b>
<b>Fresszeit pro Tag (h)</b>	-20,92	-21,60
<b>Futteraufnahme pro Tag (kg TM)</b>	+20,41	+15,70
<b>Besuche pro Tag</b>	-46,30	-31,41
<b>Mahlzeiten pro Tag</b>	-10,26	-11,47
<b>Mahlzeitendauer (min)</b>	-12,48	-10,46
<b>Besuche pro Mahlzeit</b>	-10,26	-22,50
<b>Futteraufnahme pro Mahlzeit (kg TM)</b>	+34,05	+34,48
<b>Fressgeschwindigkeit (g TM min<sup>-1</sup>)</b>	+65,71	+60,96
<b>Energieaufnahme pro Tag (MJ NEL)</b>	+21,39	+9,47
<b>Energieaufnahme pro Mahlzeit (MJ NEL)</b>	+35,12	+26,99

Auch hier unterliegt die Fressgeschwindigkeit mit ca. 65 % Steigerung den größten Änderungen von Laktation eins zu Laktation drei. Der Vergleich der Unterschiede im Fressverhalten zwischen Kühen der ersten und ab der fünften Laktation (unterschiedliche Kühe miteinander verglichen) mit den Veränderungen im Fressverhalten von der ersten bis zur dritten Laktation (gleiche Kühe im Zeitverlauf verglichen) zeigt in fast allen Parametern ähnliche prozentuale Veränderungen. Dies ist auch in der Zu- oder Abnahme der Merkmale zu erkennen. Hier sind keine gegenläufigen Trends festzustellen.

Betrachtet man den Verlauf von Laktation eins zur Laktation drei, sieht man, dass signifikante Unterschiede sich fast ausschließlich im Vergleich der ersten mit der dritten Laktation, aber kaum zwischen der ersten und der zweiten Laktation zeigen. So scheinen im Verlauf die erste und die zweite Laktation recht ähnlich zu sein und erst ab der dritten Laktation sind deutliche Unterschiede zu erkennen. Dabei sind auch die tierindividuellen Unterschiede in der dritten Laktation geringer als in den ersten beiden Laktationen. Dies deckt sich mit den Untersuchungen von Azizi (2008). Dort zeigten sich in Merkmalen des

Fressverhaltens signifikante Unterschiede zwischen Kühen der ersten und Kühen ab der dritten Laktation, nicht aber zwischen Kühen der ersten und der zweiten Laktation.

Die Einteilung der Kühe nach ihrer täglichen Energieaufnahme ergab für Kühe, deren Energieaufnahme von Laktation eins bis drei kontinuierlich zugenommen hatte, eine stärkere Ausprägung der Verhaltensweisen im Vergleich zu den Kühen, deren Energieaufnahme von Laktation zu Laktation wechselte oder abnahm.

Die größten Veränderungen in den Verhaltensweisen zeigten sich auch hier in der Fressgeschwindigkeit und der täglichen Fresszeit. In der Entwicklung ist zu erkennen, dass es einen kontinuierlichen Veränderungsprozess von der ersten bis zur dritten Laktation gibt. Dies bestätigt sich auch durch die vergleichsweise geringen und meist nicht signifikanten Unterschiede der Parameter zwischen der ersten und der zweiten und der zweiten und der dritten Laktation.

Die dritte Laktation zeigt sich im Hinblick auf die tierindividuellen Varianzen am homogensten. Kühe, deren tägliche Energieaufnahme stetig ansteigt von Laktation zu Laktation haben eine stärkere Ausprägung aller Verhaltensweisen als Kühe, bei denen der Verlauf wechselhaft ist.

Insgesamt zeigten sich deutliche Unterschiede im Verhalten junger und alter Kühe und der Entwicklung der einzelnen Verhaltensweisen. Die Steigerung der Futterraufnahme mit wachsendem Energiebedarf aufgrund der höheren Milchleistung (Laktationszahl) wird über eine deutliche Erhöhung der Fressgeschwindigkeit erzielt. Dies manifestiert sich in den ersten drei Laktationen. Interessant wäre an dieser Stelle ein Vergleich des Fressverhaltens mit Kühen, die aufgrund von Erkrankungen oder der Leistung aus dem Bestand genommen wurden. Da es sich bei den in den Fütterungsversuchen verwendeten Kühen um stabile Tiere handelt, ist dies an dieser Stelle nicht möglich.



### **3. Langzeiterfassung des Fress- und Wiederkauverhaltens**

Fress- und Wiederkauverhalten sind als Indikatoren für die Tiergerechtheit eines Haltungssystems von zentraler Bedeutung, da das konsequente Ausleben art eigener Verhaltensweisen ein Zeichen für das Wohlbefinden der Tiere ist. Demnach ist die tierindividuelle Langzeiterfassung dieser Verhaltensweisen zur Erhöhung der Tiergerechtheit eines Haltungssystems wichtig. Die Bedürfnisse der Tiere können zeitnah erkannt und befriedigt werden. In der Literatur werden unabhängig von den meist in Landesversuchsanstalten eingesetzten Wiegetrogsystemen viele rein qualitative Methoden zur Erfassung des Futteraufnahmeverhaltens ohne die quantitative Erfassung der Futteraufnahme aufgeführt. Dazu zählen sowohl die Systeme, bei denen Kauschläge gezählt und ausgewertet werden, als auch die, die das Fressverhalten über verschiedene Parameter wie Anzahl der Besuche pro Tag, Besuchsdauer, Mahlzeitenanzahl pro Tag, Mahlzeitendauer und tägliche Fresszeit charakterisieren. Voraussetzungen für eine praxistaugliche Anwendung sind eine kontinuierliche Messung über längere Zeiträume, möglichst ohne eine Beeinträchtigung der Tiere. Die Messergebnisse müssen für die Gewährleistung einer objektiven Klassifizierung und Quantifizierung automatisiert ausgewertet werden.

#### **3.1 Stand des Wissens und der Technik**

Die nachfolgend vorgestellten Systeme basieren auf unterschiedlichen technischen Ansätzen. Die Funktionsprinzipien werden im Folgenden kurz erläutert.

##### **3.1.1 Bildgebende Verfahren und Videoanalysetechnik**

Die Analyse von Verhaltensweisen über bildgebende Verfahren und Videotechnik ist nach der Direktbeobachtung eine der ältesten Methoden der Verhaltensanalyse, die es ermöglicht, den Beobachtereinfluss und die Beeinträchtigung der Tiere auf ein Minimum zu reduzieren. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit, dauerhaft Zugriff auf die Daten zu haben, sodass eine Detailanalyse zu verschiedensten Aspekten möglich wird und auch eine nachträgliche Überprüfung der erfassten Verhaltensweisen jederzeit machbar ist. Aufgrund des fest eingestellten Kamerawinkels können aber nicht immer alle Verhaltensweisen eindeutig erfasst und auch nur bestimmte Aufenthaltsbereiche der Tiere beobachtet werden (Rutter, 1997). Die aufwendige Nachbearbeitungszeit der

Videoaufnahmen und die erforderlichen Speicherkapazitäten schließen langfristige Messungen ohne ereignissteuerbare Videosysteme und automatisierter Bildanalyse aus. Im Forschungsbereich gibt es aber bereits gut entwickelte Software, die für verschiedene Analysen teilautomatisierte Videoanalysen ermöglicht, z.T. unter Zuhilfenahme von Tiererkennungssystemen (TrackLab, Noldus Information Technology, Frondelius et al., 2014).

### **Erfassung der Futteraufnahme über Bildverarbeitungssysteme (Machine Vision)**

Shelley (2013) entwickelte ein Monitoringssystem, das einerseits quantifiziert, wieviel Futter an die einzelne Kuh verteilt wurde, als auch welche Menge tatsächlich aufgenommen wurde. Dazu wurde ein 3D-Bilderfassungssystem bestehend aus einer Kamera und einem Projektor implementiert, was die Volumenveränderungen im Futtertrog vor und nach der Fütterung erfasst. Limitierend bei dieser Anwendung ist der Lichteinfluss unter normalen Stallbedingungen, der sich unmittelbar auf die 3D-Erfassung auswirkt. Auch die notwendige Kabelinfrastruktur des Kamerasystems und die geringe Robustheit der Hardware sind für den Praxiseinsatz ungeeignet. Der Ansatz zeigt aber, dass die Bildverarbeitung große Fortschritte in der Entwicklung gemacht hat. Auch in anderen Bereichen des Tiermonitorings findet sie wieder zunehmend Anwendung (DeLaval body condition scoring BCS).

### **3.1.2 Pneumatische und hydraulische Druckaufnehmer**

Diese wurden in vergangenen Versuchen zur Erfassung des Fress- und Wiederkauverhaltens am häufigsten eingesetzt (Balch, 1958; Potthast, 1976; Deswysen und Ellis, 1990; Dado und Allen, 1993; DeBoever et al., 1993a und b; Schleisner et al. 1999; Tafaj et al. 1999; Kaske et al., 2002). Ein Druckaufnehmer in Form eines Schlauches oder Balles gefüllt mit Luft oder Wasser oder Öl wird am Tiermaul befestigt. Öffnet sich das Maul, ändert sich der Druck im Schlauch beziehungsweise Ball und wird über einen Drucksensor in ein elektrisches Signal umgewandelt, welches dann aufgezeichnet werden kann. Damit können einzelne Kauschläge genau erfasst werden. In der Vergangenheit konnten diese Systeme aufgrund der Größe und der erschwerten Anbringung nur in Anbindehaltung angewendet werden. Des Weiteren benötigte es eine gewisse Kraft bei der Maulöffnung durch den Druckaufnehmer am Maul, was das natürliche Verhalten des Tieres beeinträchtigen kann (Potthast, 1976; Dado und Allen, 1993; Schleisner et al., 1999; Kaske et al., 2002).

### **IGER Behaviour Recorder**

Der IGER Behaviour Recorder (IBR) wurde von Rutter et al. (1997) in Zusammenarbeit mit der Firma Ultra Sound Advice konzipiert und zusammen mit der Software „Graze“ vermarktet. Die Halfterkonstruktion besteht aus einem Nasenbandsensor. Dieser erfasst Druckveränderungen und liefert die Daten an einen am Hals befestigten batteriebetriebenen Datenrekorder. Die Laufzeit beträgt bei kontinuierlicher Aufzeichnung 50 Stunden. Das dazugehörige Softwareprogramm „Graze“ wurde im Jahr 2000 von Rutter erweitert, um die Amplituden anhand der Frequenz, der Intensität und des Musters der Kauschläge automatisch dem Fressen, Wiederkauen oder Ruhen zuordnen zu können. Allerdings kommt es hier zu gelegentlichen Fehlinterpretationen (Kononoff et al., 2002). Kononoff et al. (2002) verglichen den IBR mit Direktbeobachtungen. Dabei wurde über einen Zeitraum von 24 Stunden das Fressverhalten von Rindern in diskreten Zeitabständen von 5 Minuten erfasst. Es zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den ausgewerteten Messdaten des IGER Behavior Recorder und den Beobachtungsdaten. Die Länge der Fress- und Wiederkauphasen wurde beim Beobachtungsversuch überschätzt, da keine exakten Anfangs- und Endzeiten der Fress- und Wiederkauphasen ausmachbar waren. Ungar und Rutter (2006) differenzierten in einer vergleichenden Untersuchung mit dem IBR und einer akustischen Methode (s.u.) die Kieferbewegungen in Kauschläge und Bisse in einer 10minütigen Weideperiode bei 6 Kühen. Der IBR klassifizierte dabei 73 % der Kieferbewegungen als Bisse und 27 % als Kaubewegungen, wohingegen die akustische Erfassung zu einer Differenzierung von 6 % Bissen, 39 % Kaubewegungen und 52 % Kaubissen führte. Die Fehlerrate des IBR betrug dabei 22 % bei Kaubewegungen mit erhobenen Kopf. Ungar und Rutter (2006) kommen zu dem Ergebnis, dass die Kombination aus dem IBR und einer akustischen Methode weiterverfolgt werden sollte, um bestmögliche Ergebnisse zu liefern.

### **RumiWatch-System**

Die Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART) entwickelte in Zusammenarbeit mit der Firma MSR Electronics, der Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaft (ZHAW) und der Forschungsanstalt Agroscope Liebefeld-Posieux ALP einen neuen Kausensor. Der Kausensor, der mittlerweile unter dem Namen RumiWatch-System geführt wird und auf der EuroTier 2012 mit einer Goldmedaille

ausgezeichnet wurde, erfasst das Kauverhalten beim Fressen und Wiederkauen und das Trinkverhalten über einen flüssigkeitsgefüllten Druckschlauch mit Drucksensor im Nasenband einer Halfter. Der MSR-Logger registriert den Druck mit einer Frequenz von 10 Hz. Nydegger et al. (2011) validierten das System und erzielten anhand von 145 Messdateien mit einer Länge von je 5 min 100 % Übereinstimmung bei der Zuordnung der Kauaktivitäten (*Fressen, Wiederkauen, andere Aktivitäten*). Die weitere Entwicklung des RumiWatch-Systems erfolgte im Rahmen eines interdisziplinären Projekts von Agroscope Reckenholz-Tänikon ART und ITIN+HOCH in Zusammenarbeit mit der Vetsuisse Fakultät der Universitäten Bern und Zürich sowie dem Landwirtschaftlichen Bildungs- und Beratungszentrum Schluechthof Cham. Das Projekt wurde durch die Förderagentur für Innovation des Bundes (KTI) unterstützt. Zehner et al. (2012) validierten das weiterentwickelte System und ermittelten anhand von Direkt- und Videobeobachtungen eine Übereinstimmung bei der Quantifizierung der Kieferbewegungen mit einem Korrelationskoeffizienten ( $R^2$ ) von 0,79 für das Wiederkauen und 0,77 für das Fressen. Sie räumten allerdings ein, dass es noch weiterer Entwicklungsschritte bedarf, um außerhalb von Forschungszwecken eingesetzt zu werden. Ruuska et al. (2016) führten eine weitere Validierung durch und zeigten, dass das RumiWatch-System die Wiederkau- und Fresszeiten der Kühe mit großer Genauigkeit erfasste ( $R^2$  Fressen: 0,94 und für Wiederkauen: 0,93). Das RumiWatch-System ist auf einem hohen Entwicklungsstand und wird auch tierartübergreifend eingesetzt, so fanden bereits erste Untersuchungen an zum Fressverhalten bei Pferden statt (Werner et al., 2015).

### **3.1.3 Elektrische Schalter und elektrische Verformungssensoren**

Elektrische Schalter wurden ebenfalls in der Vergangenheit oft verwendet (Nagel et al., 1975; Deswysen und Ehrlein, 1981; Kennedy, 1985; Luginbuhl et al. 1987). Der mit dem Maul verbundene Schalter wird durch die Kaubewegungen der Versuchstiere aktiviert. Systeme mit elektrischen Verformungssensoren basieren meist auf Dehnungsmessstreifen (Beauchemin et al., 1989, Richter 2010), Piezo-Scheiben (Beauchemin und Yang, 2005) oder Schläuchen, die mit Karbogranulat gefüllt sind (Penning, 1983; Matsui und Okubo, 1991). Die Anbringung aller genannten Messmethoden erfordert ebenso wie bei den Druckaufnehmern eine Befestigung in Form eines Halfters, um die Maulbewegungen zu erfassen. Dies stellt in der Praxis ein



grundlegendes Problem dar. Aufgrund dessen wurden andere Systeme entwickelt, deren Anbringung praktikabler und langlebiger unter Stallbedingungen ist.

### **3.1.4 Akustische Sensoren**

Die ersten Untersuchungen zum Fressverhalten von Rindern über akustische Sensoren wurden von Delagarde et al. (1998) und Demment et al. (1992) durchgeführt. Akustische Sensoren nutzen ein oder mehrere Mikrofone am Kopf oder in Kopfnähe um Kaugeräusche zu erfassen. Durch die Spezifität der Geräusche bei unterschiedlichen Kauschlagarten kann gut zwischen ihnen unterschieden werden, was zu hohen Messgenauigkeiten führt (Laca et al., 1994; Laca und Wallis de Vries, 2000). Die akustischen Signale können nicht nur genutzt werden, um das Kauverhalten zu erfassen, sondern auch, um dieses zu differenzieren (Clapham et al., 2006). Ungar und Rutter (2006) kamen im Vergleich von Messungen des Fressverhaltens von Kühen mit dem Iger Behaviour Recorder und einem kabellosen Mikrofonsystem (Shure Incorporated, 5800 West Touhy Avenue, Niles, IL 60714–4608, USA) zu dem Schluss, dass die akustische Messung einen hohen Level an Genauigkeit in der Erfassung und Klassifizierung der Kieferbewegung bietet (98,7 %). Allerdings müssen weitere Entwicklungsschritte in der automatisierten Analyse erfolgen, da der bisherige Sequenzierungsprozess zu arbeitsintensiv und zu langsam ist. Wie bereits erwähnt, sehen Ungar und Rutter (2006) ein großes Potenzial in der Kombination des IBR und der akustischen Erfassung von Kieferbewegungen. Nach Aussage von Rutter (mündliche Auskunft, DairyCare-Workshop, Leeuwarden, 2016) stellt auch die praktische Messung an mehreren Kühen ein Problem dar, da nicht ausgeschlossen werden kann, dass das am Kopf angebrachte Mikrophon die Kaugeräusche anderer Kühe in unmittelbarer Umgebung mit erfasst und so zu Fehlern in der tierindividuellen Analyse führt. Derzeit werden akustische System für die Erkennung der Reurgitationsgeräusche beim Wiederkauen eingesetzt. Das verwendete Mikrophon wird hier direkt am Markierungshalsgurt befestigt.

### **RuminAct™**

Dieses System erfasst die Wiederkauaktivität anhand von akustischen Signalen, gibt die prozentuale Wiederkauaktivität in 2-h-Blöcken an und wertet die durchschnittliche Wiederkauzeit zwischen zwei Boli aus. Das im Halsband integrierte Mikrophon überträgt die Daten über ein Infrarotsignal an einen im Stall positionierten Empfänger. Die Daten

können bis zu 24 Stunden gespeichert werden. Die Auswertung der Wiederkauphasen erfolgt mit der Milcon HMTM Software. Laut Lindgren (2009) werden die Wiederkauzeiten mit 1,86 % unterbewertet. Mittlerweile wird es in Verbindung mit der Brunsterkennung über die Bewegungsaktivität als „Heatime HR“ von der Firma SCR vertrieben. Von der Melktechnik unabhängig zeichnet es die Wiederkaugeräusche und die Aktivität des Tieres auf. Der Sensor wird an der linken Halsseite auf Kieferhöhe befestigt. Ein Gewicht unterhalb des Halses soll das Verrutschen des Sensors verhindern, was nicht immer gelingt. Der Landwirt erhält tierindividuell die Gesamtwiederkaudauer, die Dauer der Wiederkauphasen und die Anzahl der Kauschläge pro Bolus der letzten 24 Stunden. Die Daten werden via Funk alle zwei Stunden an eine Basiseinheit gesendet und können dann über einen Touchscreen abgelesen und ausgewertet werden. Anhand eines festgelegten Schwellenbereichs von 450 – 500 min Wiederkaudauer wird die Kuh bei Abweichung als auffällig markiert. Alle Meldungen können per E-Mail oder SMS auf PC oder Handy empfangen werden, was eine kontinuierliche Tierüberwachung ermöglicht (Systembeschreibung nach Beringhoff 2014).

### **Lely Qwes-HR**

Schirmann et al. (2009) validierten das System „Hi-Tag“ (Firma SCR Engineers Ltd., Netanya, Israel) an Kühen, Burfeind et al. (2011) an Färsen und Kälbern. Das Funktionsprinzip ist das gleiche wie bei dem System RuminAct™. Die Validierung ergab bei 51 zweistündigen Messungen an 27 Holstein-Kühen eine hohe Korrelation zwischen Direktbeobachtung und Messdaten ( $R^2=0,87$ ). Messungen an 35 Holstein-Färsen ergaben einen Korrelationskoeffizient von 0,77. Bei Kälbern konnte das Saugverhalten nicht mit dem System erfasst werden.

Das System wird kommerziell von der Firma Lely unter dem Namen „Lely Qwes HR“ vertrieben. Es bietet den Vorteil, dass Tiererkennung, Aktivitätsmessung und Bestimmung der Wiederkauaktivität in einem Halsband gemeinsam integriert sind. Die Ausführung „Qwes-HR“ von Lely arbeitet autark oder zusammen mit einem Melkroboter. Die Datensätze jeder Kuh werden während des Melkvorganges über eine Infrarot-Antenne ausgelesen und an eine Basiseinheit übermittelt. Diese beinhaltet einen integrierten Touchscreen im Melkroboter und das Herdenmanagement-Programm T4C von Lely. Über die mobile Version (T4C in Herde) ist der Erhalt von Hinweismeldungen jederzeit über das Smartphone möglich (Systembeschreibung nach Beringhoff 2014).

Beide mikrofonbasierte Systeme (Heatime HR und Lely Qwes HR) konzentrieren sich lediglich auf die Bewegungsaktivität und das Wiederkauverhalten, das ebenso wichtige Fressverhalten wird nicht erfasst. Als nachteilig sind ebenfalls die schwer zu quantifizierenden Abweichungen der ermittelten Parameter, die durch das Verrutschen des Halsbandes zu Stande kommen. Gerade in der für das Wiederkauen typischen liegenden Position tritt das Verrutschen am stärksten auf.

### **3.1.5 RFID-basierte Systeme**

In der Landwirtschaft werden ubiquitär RFID-Systeme zur Identifikation von Tieren eingesetzt, um Prozesse tierindividuell zu steuern oder Daten vom Tier zu erfassen. Die RFID-Technik wurde über viele Jahre zur elektronischen Tiererkennung bei Kühen entwickelt (Erasmus und Jansen, 1999). Bereits in der Praxis verwendete RFID-Systeme finden sich auch bei den automatischen Wiegetrögen. Hier wird das Tor zum Einzelfressplatz wird geöffnet, gleichzeitig die Identifikationsnummer der Kuh, die Anfangszeit und das Gewicht (vor und nach der Futteraufnahme des Tieres) gespeichert. Wenn die Kuh die Futterstation wieder verlässt, werden wieder Zeitpunkt und Gewicht des nun noch verbliebenen Futters ermittelt. Diese Daten werden an einen Computer in der Nähe übertragen und durch eine Software ausgewertet (DeVries et al., 2003a; Huzzey et al., 2007; Tolkamp und Kyriazakis, 1999; Tolkamp et al., 2000). Diese Variante eignet sich für den Einsatz bei Kühen in Laufställen. Die Möglichkeit einer Datenerfassung/Datensammlung über einen langen Zeitraum und vielen Versuchstieren ist gegeben (Shabi et al., 2005). Problematisch ist nur die Unterscheidung zwischen einer wirklichen Unterbrechung des Fressens oder einer Rücknahme des Kopfes hinter das Fressgitter. Je nach Charakter des Tieres können durch unruhiges Verhalten mehr Fressplatzbesuche aufgezeichnet werden, als wirklich vorhanden (Kaufmann et al., 2007). Während es in der Vergangenheit verschiedene Probleme aufgrund der nicht ausgereiften Technik gab (Sowell et al., 1998, K.S. Schwartzkopf-Genswein et al., 1999, De Vries et al., 2003c, Bach et al., 2004), gibt es mittlerweile verschiedene weiterentwickelte Systeme (Calan Gates, GrowSafe Systems, Insentec), zum Teil auch für den Weideinsatz. Die GrowSafe Feed Bins erfassen die tierindividuelle Futteraufnahme sekundengenau. Des Weiteren bieten sie bereits automatisierte und differenzierte Analysen des Fressverhaltens an. Ein entscheidender Vorteil der RFID-basierten Wiegetröge ist die quantitative Erfassung der Futteraufnahme, für die es derzeit keine messtechnischen Alternativen gibt. Allerdings kam es bei der Nutzung von

Wiegetrögen auch zur verringerten Futteraufnahme, was auf den fehlenden visuellen Anreiz durch den Anblick des Futters und der fehlenden Konkurrenz durch die Einzelplatzfütterung zurückgeführt wird (Ferris et al., 2006). Ausserdem kann aufgrund der Größe der Tröge nicht immer ein optimales Tier-Fressplatzverhältnis erlangt werden, sodass nicht alle Kühe gleichzeitig fressen können (Ferris et al., 2006). Ruuska et al. (2014) diskutierten die Möglichkeit, dass Kühe aus anderen als den ihnen zugewiesenen Wiegetrögen fressen könnten und damit die Daten der tierindividuellen Futteraufnahme verfälschen (insbesondere in Fütterungsversuchen). Dies kann entweder über das geschlossene Tor zum Trog oder durch die Verdrängung einer anderen Kuh, der das Futter zugewiesen war, geschehen. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass das Futterklauen oft genug bei den Kühen auftrat, um Ergebnisse in Fütterungsversuchen zu beeinflussen. Hier müssen zusätzlich geeignete Absperrmechanismen implementiert werden, um dies zu verhindern.

Insgesamt eignen sich die Wiegetröge unter Berücksichtigung der kritischen Punkte gut für wissenschaftliche Zwecke zur qualitativen und quantitativen Erfassung des Fressverhalten und der Futteraufnahme auf Einzeltierebene. Die Kosten und der infrastrukturelle Aufwand sind in der Praxis aber meist zu groß, weshalb sie oft nur in Forschungseinrichtungen eingesetzt werden.

### **3.1.6 Elektromyographie**

Mittels eines Herzfrequenzmessgeräts für Schafe führte Nichols (1966) einen Versuch mit Elektroden am Masseter (*Musculus masseter*) bei Schafen durch, um die Kaumuskelaktivität der Fress- und Wiederkauphasen aufzuzeichnen. Zwischen den Edelstahl-Elektroden und der Hautoberfläche stellte ein Schwamm mit Elektrodengel eine kontinuierliche Verbindung zwischen Elektrode und Hautoberfläche her. Mittels Latexkleber wurde das Messsystem am Kopf des Schafes befestigt. Über eine Antenne wurden die erfassten Daten an einen Schreiber weitergeleitet. Kontinuierliche Messungen konnten bis zu fünf Tagen durchgeführt werden. Die Aufzeichnungen konnten nur manuell ausgewertet werden und nahmen hohe Nachbereitungszeiten in Anspruch. Das Wiederkaumuster bestanden aus Zyklen, die sich aus regelmäßigen Kauaktivitäten mit einer Dauer von 20 Sekunden und Pausen zwischen den Kauaktivitäten von 10 Sekunden Dauer zusammensetzten. Perioden, in denen keine Kauaktivität erfolgte, zeigten sich ohne Signalausschläge und das Grasens wies ein

unregelmäßiges Muster auf. Es erfolgte nach Abschluss des Versuchs keine Weiterentwicklung des Systems.

### **3.1.7 3D-Beschleunigungssensoren**

Beschleunigungssensoren erfassen die auf sie wirkenden Gravitations-, bzw. Beschleunigungskräfte in allen drei Raumrichtungen. Sie wurden in der Vergangenheit zur Erfassung der Aktivität eines Tieres eingesetzt, vor allem in der Brunsterkennung. Mittlerweile werden sie in vielen Systemen zur Erfassung der Fressaktivität genutzt.

#### **ETHOSYS®**

Scheibe et al. (1997) validierten das System. Dieses erfasst lückenlos und dauerhaft Aktivität und Fressverhalten an großen Herbivoren über Messhalsbänder. Ein Bewegungssensor mit nachgeschaltetem, einstellbarem Zeitfenster und ein Neigungsschalter in dem Halsband erfassen Bewegungen und die Stellung des Kopfes. Alle auf das Halsband übertragenen Bewegungen werden als Aktivität definiert. Ist der Kopf dabei gesenkt und bewegt sich zusätzlich in einem für die Nahrungsaufnahme charakteristischen Muster, wird dies als Fressen definiert. Die erfassten Daten werden in individuell festgelegten Intervallen im Halsband gespeichert. Über Funk werden im Empfangsbereich einer Feststation die gespeicherten Daten auf die Station übertragen (Systembeschreibung nach Berger 1999).

#### **Smarttag Neck**

Der „Smarttag Neck“ von Nedap misst die reine Fressaktivität der Tiere über einen am Halsband befestigten Beschleunigungssensor, der mit Hilfe eines integrierten Gewichts mittig an der Unterseite des Halses gehalten wird. Dieses System arbeitet entweder unabhängig von der Melktechnik oder über eine ISO-Identifikation in Verbindung mit einem Melkstand bzw. -roboter, Krafffutterautomaten oder einer Separation. Über eine Funkantenne werden alle zwei Stunden die Messwerte des Sensors jeder einzelnen Kuh übertragen und durch einen ID-Controller gesammelt und zur Prozess-Steuerung gesendet. Diese analysiert die tierindividuellen Daten und leitet die Ergebnisse an einen PC, Smartphone oder Tablet weiter. Das Herdenmanagement-Programm generiert automatisch Warnungen über verhaltensauffällige Kühe. Eine standardisierte Schnittstelle ermöglicht den Anschluss des Systems an alle gängigen Management-Programme. Smarttag Neck ist zusätzlich mit dem Smarttag Leg System kombinierbar, das mit Hilfe

eines Beschleunigungssensors in der Lage ist die Beinbewegungen der Tiere zu erfassen (Systembeschreibung nach Beringhoff 2014).

### **CowManager SensOor**

Der CowManager SensOor (Agis Automatisering BV) verspricht die lückenlose Überwachung der Kühe über ein in eine Ohrmarke integrierten Sensor, der sowohl die 3D-Beschleunigung als auch die Temperatur am Ohr erfasst und daraus Verhaltensparameter wie Aktivität, Fressen und Wiederkauen ableitet. Aus den genannten Parametern erfolgt dann die Bewertung des Fruchtbarkeitsstatus (Brunsterkennung) und des Gesundheitsstatus (verdächtig, krank, sehr krank). Die Datenübertragung erfolgt über Router und Koordinatoren an einen Computer. Die Daten können bis zu 48 Stunden nach dem letzten Kontakt gespeichert werden im Sensor. Die Rohdaten werden kontinuierlich erfasst und minütlich klassifiziert in vier Verhaltenskategorien, Wiederkauen, Fressen, Ruhen und Aktiv. Die Ausgabe erfolgt als prozentualer Anteil der Verhaltensweise pro Stunde oder pro Tag und kann webbasiert abgerufen werden. Die Validierung durch Bikker et al. (2014) ergab, dass die Ergebnisse gute Übereinstimmungen mit dem Wiederkau- und Ruheverhalten zeigten, wohingegen die Übereinstimmungen mit dem Fress- und Aktivitätsverhalten geringer ausfielen. Begründet wird dies mit einer größeren Komplexität und Ausprägung dieser Verhaltensweisen.

Weitere Systeme, die bereits erhältlich und neu am Markt vertreten sind, sind der **CowScout** von GEA, das **FeedPhone** von Medria und der **Silent Herdsmann** von Afimilk. Wissenschaftliche Validierungen dieser Systeme sind bis zum jetzigen Zeitpunkt nicht veröffentlicht worden.

### **3.1.8 Automatisierte Analyse der Fress- und Wiederkauaktivitäten**

Die entscheidende Voraussetzung für eine objektive Bewertung des Fress- und Wiederkauverhaltens ist die automatisierte Analyse der Kauaktivitäten. Dabei stellt die Differenzierung und richtige Zuordnung der gewonnenen Signalmuster in Fressen, Wiederkauen, Trinken und sonstige Maulaktivitäten, sowie Pausen die größte Schwierigkeit dar. Die manuelle Auswertung ist zeit- und arbeitsintensiv und ermöglicht eine weitaus geringere Wiederholbarkeit der Ergebnisse mit vergleichsweise hohem Messfehler. Problematisch ist die Trennung von reinen Kaubewegungen und Grooming-

Aktivitäten (Beauchemin et al., 1989). Die Zuordnung der Signalmuster zu den Verhaltensweisen kann z.B. anhand der Kauschlagfrequenz erfolgen (Luginbuhl et al., 1987) und mit zusätzlichen Klassifizierungsfaktoren, wie z.B. den Pausen zwischen den einzelnen Wiederkauzyklen, ergänzt werden (Matsui und Okubo, 1991). Das Wiederkauen in seiner Regelmässigkeit ist dabei noch leichter und genauer automatisiert zu erfassen, als das Fressverhalten. Das Fressverhalten ist durch ein unregelmässiges Muster in zeitlicher Abfolge und Intensität der Kaubewegung charakterisiert. An dieser Stelle erschweren die verschiedenen, dem Fressverhalten zugehörigen Verhaltensweisen wie Wühlen und Sortieren aber auch die unterschiedliche Kauintensität die automatische Zuordnung. Ein Messsystem sollte beide Verhaltensweisen erfassen und automatisiert analysieren können, um vernünftige tierindividuelle Aussagen z.B. über den Ernährungszustand machen zu können.

### **3.1.9 Fazit**

In der Vergangenheit wurden insbesondere für wissenschaftliche Anwendungen Systeme zur Erfassung der Fress- und Wiederkauaktivität entwickelt. Diese basieren auf unterschiedlichen technischen Ansätzen und konzentrieren sich meist auf die qualitative Erfassung des Fressverhaltens ODER des Wiederkauverhaltens, obwohl die Notwendigkeit der Erfassung beider Verhaltensweisen bekannt ist. Das RumiWatch-System ist bislang das einzige System, was Fressen UND Wiederkauen hinreichend genau erkennt. Eine quantitative Erfassung der Futteraufnahme ist bislang nur mit den automatischen Wiegetrögen möglich. In der Praxis haben sich viele Systeme etabliert, die das Fressverhalten qualitativ über die 3D-Beschleunigung erfassen. Eine Differenzierung des Fressverhaltens in einzelne Kauschläge ist dabei aber nicht möglich. Diese kann nur über akustische Methoden, elektrische Schalter und Verformungssensoren oder über die Elektromyographie erfolgen. Ob die alleinige Erfassung der Verhaltensmerkmale des Fressens und des Wiederkauens ausreicht, um alle notwendigen Informationen zu Tierwohl und Tiergesundheit zu erhalten, muss noch gezeigt werden. Entscheidend ist es an dieser Stelle, sich die Beziehungen zwischen Futteraufnahme, Fress- und Wiederkauverhalten in Form von Modellen nutzbar machen zu können. In den nachfolgenden Kapiteln 3.2 bis 3.4 werden zwei Sensorsysteme für die Erfassung des Fress- und des Fress- und Wiederkauverhaltens mit ihrer Entwicklung, der Anwendung im Rahmen von on-farm-Versuchen und die von ihnen erfassten Daten wissenschaftlich bewertet.





### **3.2 Langzeiterfassung des Fressverhaltens mit RFID-Erkennung**

Der folgende Versuch wurde im Rahmen des Drittmittelprojekts „KMUni - Experten-Kolleg für Applikationen des sensorgestützten Nutztiermonitorings“ (Laufzeit: 01.08.2008 – 30.06.2011, FKZ 03WWBE045A, gefördert durch: BMVBS, Projektträger Jülich) durchgeführt. Ziel des zugehörigen Transferprojekts „feedwatch“ war, das Fressverhalten von Milchkühen über eine RFID-Erkennung am Fressgitter zu erfassen und damit Zusammenhänge zwischen Fressverhalten und subklinischen Erkrankungen zu ermitteln. Dazu wurden in einem Praxisbetrieb 48 RFID-Monitoringsysteme zur Überwachung des Futteraufnahmeverhaltens von Milchrindern implementiert und getestet (Kaufmann und Wobschall, 2011). Untersucht wurden dabei folgende Fragestellungen:

1. Können mit Hilfe der RFID-Technik Kühe am Fressgitter erkannt werden und so tierindividuelle Fresszeiten über längere Zeiträume ermittelt werden?
2. Können mit Hilfe der RFID-Technik tierindividuelle Veränderungen im Fressverhalten erkannt werden?
3. Können mit Hilfe dieses Systems Unterschiede zwischen subklinisch auffälligen und subklinisch unauffälligen Kühen im Fressverhalten festgestellt werden?

#### **3.2.1 Tiere, Material und Methoden**

##### **Tiere**

Die Installation des technischen Systems und der nachfolgende Versuch wurden in einem Praxisbetrieb in Brandenburg durchgeführt. Der Tierbestand des Betriebs setzte sich zum Zeitpunkt der durchgeführten Versuche aus 355 Milchkühen und 317 Färsen für die Nachzucht zusammen.

Die Milchkühe wurden in vier Gruppen gehalten. Die Frischmelker (1.-8. Tag p.p.), Hauptmelker (8.-200. Tag p.p) und Altmelker (200.-308. Tag p.p.) wurden im Liegeboxenlaufstall und die Trockensteher (308. Tag p.p.-partum) im Tretmiststall gehalten. Die tragenden Färsen wurden ca. 60 Tage a.p. zu den Trockenstehern gruppiert. Gefüttert wurde zweimal täglich eine TMR. Gemolken wurde in zwei Fischgrätenmelkständen mit je 10 Plätzen zweimal am Tag. Die mittlere jährliche

Milchleistung betrug 9.500 kg bei 4,08 % Fett und 3,41 % Eiweiß, die Zellzahl lag im Durchschnitt bei 232.000 Zellen ml<sup>-1</sup> (2008/2009).

### Technisches System: RFID-Erkennung am Fressplatz

Als Tiererkennungseinheiten wurden RFID-basierte Systeme verwendet, die ursprünglich zum Erfassen von Kälbern an Tränkeeinrichtungen verwendet wurden. Das System bestand aus Tiererkennungseinheiten vom Typ Duräumat VC3 und VC4, einem Prozesscomputer und einem übergeordnete Computer, der mehrere Prozesscomputer verwaltet und der Software „Dairy Plan 5.0“ (Westfalia). Unterhalb der Fressgitter wurde pro Fressplatz eine Tiererkennungseinheit installiert, sodass die mit RFID-Transpondern versehenen Kühe in unmittelbarer Distanz zur Erkennungseinheit erfasst wurden. Die Daten aller Erkennungseinheiten eines Versuchsbereichs wurden an einen Prozesscomputer übertragen, der die Tiererkennungseinheiten mit Strom versorgte, die empfangenen Daten verarbeitete und die erzeugten Datensätze anschließend an einen PC weiterleitete. Der übergeordnete Computer empfing die Daten mehrerer Prozesscomputer und erstellte mit der zugehörigen Software „Dairy Plan 5.0“ eine Tabelle, die neben der Transpondernummer des Tieres und dem besuchten Fressplatz auch die Aufenthaltsdauer der Kuh am Fressplatz und die Endzeit dieses Besuchs erfasste. Abbildung 17 zeigt den Aufbau des Systems.



**Abbildung 17:** Fressplätze im Stall mit Tiererkennungseinheit (1) und Prozesscomputer (2)

## **Validierung des RFID-Systems**

Das System wurde von August 2009 bis April 2010 iterativ validiert und verbessert. Es wurden fünf Funktionsüberprüfungen des Systems mit unterschiedlichen Vorgehensweisen durchgeführt (Videokontrolle, Direktbeobachtungen, manuelle Kontrolle). Ziel der Validierung war zu überprüfen, ob alle Tierkontakte am Fressplatz von den Empfangseinheiten erkannt und zusammen mit den exakten Besuchsdauern und –zeiten aufgezeichnet wurden. Des Weiteren wurde getestet, ob es zu Interferenzen zwischen den einzelnen Erkennungsstellen kommt und bis zu welcher Distanz die Transponder der Kühe noch sicher erkannt werden.

## **Versuchsdurchführung**

Von Ende April bis Oktober 2010 wurden Daten von 44 Kühen ( $\geq 2$ . Laktation) der Rasse Deutsche Holstein in der Transitperiode erhoben. Der Versuchszeitraum ging vom 20. Tag a.p. bis zum 40. Tag p.p.. An drei definierten Zeitpunkten wurden pro Tier Blutproben entnommen als Grundlage zur Beurteilung der Stoffwechsellage des jeweiligen Versuchstiers. Alle auftretenden klinischen Erkrankungen wurden erfasst und dokumentiert. Das Tier-Fressplatz-Verhältnis betrug mindestens 1:1.

## **Stoffwechselanalyse**

Während des Versuchs wurden von den Versuchskühen zu drei verschiedenen Zeitpunkten (2 bis 1 Woche a.p., 3 Tage p.p. 4 Wochen p.p.) Blutproben entnommen. Das kleine Blutbild beinhaltete folgende Parameter: Leukozyten, Erythrozyten, Hämoglobin, Hämatokrit, MVC, MCH, MCHC, Thrombozyten. Des Weiteren wurden folgende biochemische Parameter bestimmt: Alkalische Leukozytenphosphatase (ALP), Aspartat-Amino-Transferase (AST),  $\beta$ -Hydroxybutyrat (BHB), Bilirubin, Calcium, Cholesterol, Creatinkinase (CK), Gamma-Glutamyl-Transpeptidase (GGT), Freie Fettsäuren (FFS), Glucose, Harnstoff, anorganisches Phosphat, Totales Protein (TP). Das untersuchte Parameterspektrum zielte darauf ab, den Gesundheitszustand der Versuchskühe zu erfassen und zu bewerten. Für die oben genannten Parameter wurden anhand von Literaturangaben Referenzbereiche definiert (Fürl, 2010). Mit diesen Referenzwerten wurde der subklinische Zustand der Versuchskühe bewertet und das Fressverhalten dieser Kühe im Hinblick auf mögliche Problemlagen, bzw. physiologische Veränderungen analysiert.

## Daten des RFID-basierten Monitoringsystems

Die Tiererkennungseinheiten wurden in jedem Stallbereich von einem PC gesteuert. Pro Tag entstand so ein Dairy Plan – Protokoll mit den zusammengefassten Daten aller Erkennungsstellen des jeweiligen Stallbereichs. Die Daten lagen im ASCII-Format vor und wurden zunächst in einer Datenbank (MS Access) zusammengefasst und für jedes Tier bearbeitet. In den Rohdaten waren nur die Besuchs-Endzeiten minutengenau ausgegeben, die Gesamtdauer des Besuchs dagegen sekundengenau. Bei der Berechnung der Besuchs-Anfangszeiten kam es so zu Überlappungen und es entstanden bei der Berechnung Pausen zwischen den einzelnen Besuchen negative Werte. Dies erforderte verschiedene Verarbeitungsschritte, um die Daten sinnvoll analysieren zu können:

1. Formatierung der Messdaten vom RFID-System und Erstellen einer Datenbank
2. Rückrechnen der Besuchs-Anfangszeiten
3. Berechnen der Pausen zwischen den einzelnen Besuchen am Fressgitter
4. Bereinigen der als negativ angezeigten Pausen
5. Ermittlung des Mahlzeitenkriteriums nach Tolkamp et al. (1998)
6. Einteilung der Besuche am Fressgitter in Mahlzeiten
7. Einteilung der Versuchskühe in zwei Gruppen

Um die Funktionalität des Systems zu testen, sollte anhand der Daten überprüft werden, ob das System in der Lage ist, Abweichungen vom Fressverhalten aufgrund von subklinischen Veränderungen zu erkennen. Dazu wurden anhand der Tierstammdaten und der Blutproben zwei Gruppen von Kühen gebildet.

- Gruppe I: unauffällig (Anzahl der Abweichungen in den Blutwerten BHB, FFS und Cholesterol vom Normbereich  $\leq 3$ ) = Kontrollgruppe
- Gruppe II: auffällig (Anzahl der Abweichungen in den Blutwerten BHB, FFS und Cholesterol vom Normbereich  $> 3$ ) = subklinisch auffällige Kühe

Mit diesen beiden Gruppen wurde die Betrachtung des vom System ermittelten Fressverhaltens durchgeführt und die Gruppen miteinander verglichen. Da die Gruppenbestückung im laufenden Versuch fließend erfolgte, konnten das Datum oder der Versuchstag nicht als Vergleichsreferenz für alle Tiere herangezogen werden.

Maßgeblich für die Auswertung und Darstellung der Fressparameter sind die hier die tatsächlichen Tage vor und nach der Abkalbung. Der Tag der Abkalbung gilt als Tag 0, alle Versuchstage vorher haben ein negatives Vorzeichen, alle Versuchstage nachher ein positives Vorzeichen. Damit ist ein Vergleich der Tiere und Gruppen untereinander möglich. Als Analysezeitraum wurde aufgrund der Zeitpunkte der Blutprobenentnahmen und der Kontinuität der Daten bei allen Kühen 1 Woche a.p. bis 3 Wochen p.p. gewählt.

### **Statistische Auswertung der Kontaktdaten am Fressgitter**

Für die Auswertung des Futteraufnahmeverhaltens der Kühe wurden folgende Parameter ausgewählt:

- Gesamtbesuchsdauer (h) pro Tag und Tier
- Anzahl Mahlzeiten pro Tag und Tier
- mittlere Mahlzeitendauer (min) pro Tag und Tier

Folgende statistische Auswertung wurde mit diesen Parametern je Gruppe vorgenommen:

- Mittelwert und Standardabweichung für Gruppe I und II über den gesamten Zeitverlauf
- Mittelwert und Standardabweichung für Gruppe I und II pro Tag
- t-Test zwischen beiden Gruppen über den gesamten Zeitverlauf
- t-Test ausgewählter Testtage zwischen beiden Gruppen
- t-Test ausgewählter Zeitabschnitte innerhalb der Gruppen

Dabei wurden folgende Testverfahren gewählt:

1. Test der Datensätze beider Gruppen auf Normalverteilung nach Shapiro-Wilks
2. Kolmogoroff-Smirnoff-Test ob beide Gruppen der gleichen Verteilung entspringen oder eine gleiche Verteilung aufweisen

Für die Zeitabschnitte wurde zusätzlich getestet, ob es Unterschiede innerhalb der Gruppe zwischen den einzelnen Zeitabschnitten gibt. Je nach Ergebnis von 1. und 2. wurde folgendes Testverfahren gewählt:

- parametrisch (einfache ANOVA ohne Gleichheit der Varianzen gefolgt vom paarweisen t-Test mit gepoolter Standardabweichung, p-Wert Abschätzung nach Bonferroni)
- nicht-parametrischer multipler Vergleich nach Steel-Dwass (nicht-parametrische Version des Tukey-Test (Signifikanzlevel 0,05))

Die Berechnung erfolgte über das Tabellenkalkulationsprogramm Kyplot 5.0. Folgende Signifikanzschranken wurden definiert (Lozàn und Kausch, 2007; Sachs, 1999):

- p-Wert  $\leq 0,001$ : hoch signifikant \*\*\*
- p-Wert  $\leq 0,01$ : signifikant \*\*
- p-Wert  $\leq 0,05$ : knapp signifikant \*
- p-Wert  $> 0,05$ : nicht signifikant

### 3.2.2 Ergebnisse

Zunächst folgen eine kurze Zusammenfassungen der Validierung des Monitoringsystems und der Stoffwechselanalyse, bevor die Ergebnisse der Datenanalyse dargestellt werden.

#### Validierung des Monitoringsystems

Die Validierung des Systems in der Testphase zeigte, dass das System grundsätzlich zur Tiererkennung am Fressplatz geeignet ist. Alle Tierkontakte am Fressgitter, die auf den Videos beobachtbar waren, wurden auch vom System erfasst und im Dairy Plan – Protokoll abgespeichert. Das System musste aufgrund diverser technischer Probleme mehrfach modifiziert werden. Nach jeder Modifikation erfolgte eine neue Funktionskontrolle. Es zeigte sich nach der letzten Funktionskontrolle, dass bei zunehmendem Abstand des Transponders der Kuh zur Erkennungseinheit die Erkennung deutlich abnimmt (Distanz 15 cm), bzw. gar keine Erkennung erfolgt (Distanz 30 cm). Bei unmittelbarem Kontakt, also einer Distanz von 0 cm wurden fast alle Transponder erkannt. Allerdings wichen die Erkennungszeiten zum Teil stark ab. Eine weitere Verbesserung der Erkennungsgenauigkeit des Systems war zu diesem Zeitpunkt nicht mehr möglich. Die technischen Grenzen waren an dieser Stelle erreicht. Dennoch wurde der Versuch durchgeführt mit dem Schwerpunkt der Validierung des Systems über die gewonnenen Versuchsdaten. Unter der Annahme, dass die Erkennungsgenauigkeit bei allen Kühen gleichermaßen fehlerbehaftet ist, wurde untersucht, ob trotz der

Unzulänglichkeiten eine Erfassung und Analyse des Fressverhaltens der Kühe möglich ist. Dazu wurden die gewonnenen Daten aus dem Versuch, wie in Kapitel 3.2.1 beschrieben, ausgewertet.

### **Stoffwechselfdaten, Analyse des subklinischen Zustandes**

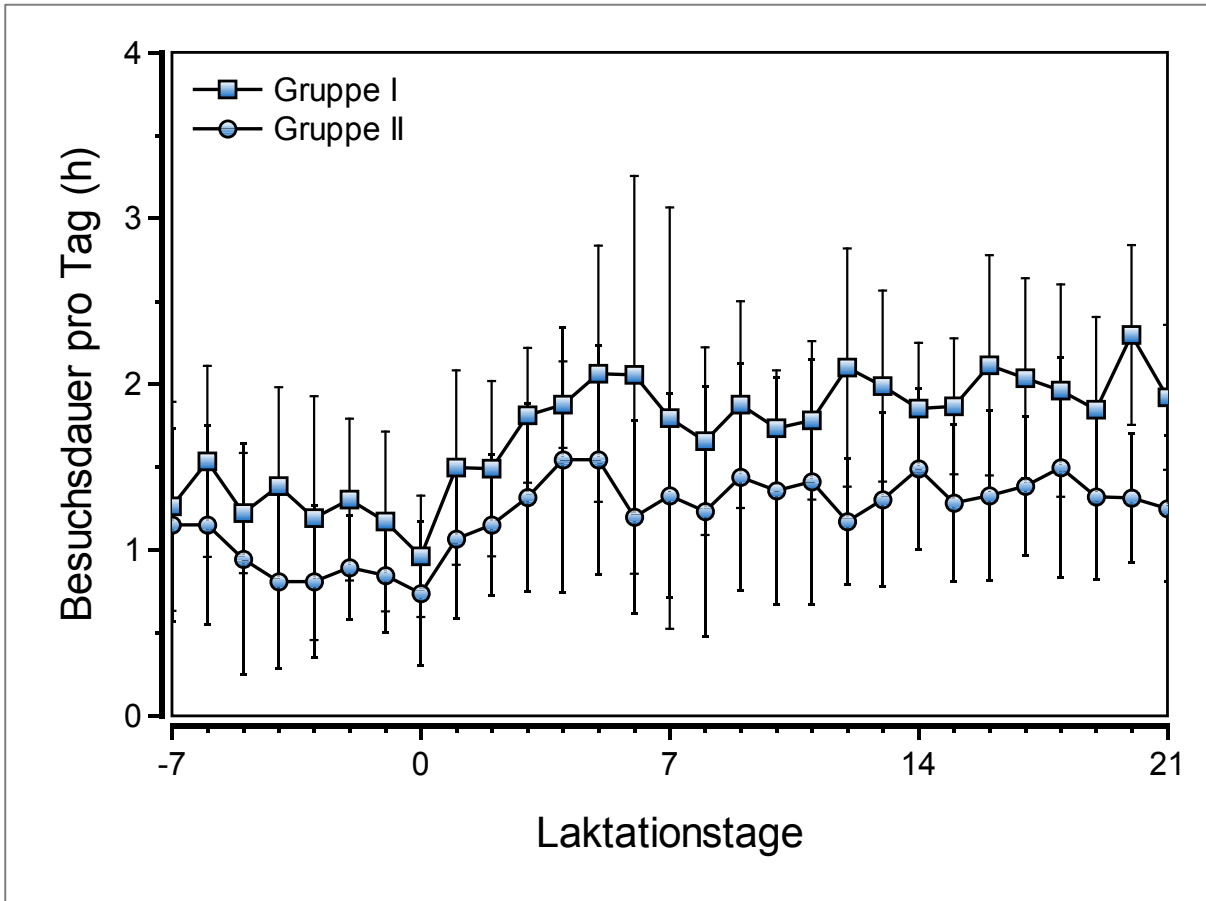
Um Risikotiere zu erkennen, wurden 1-2 Wochen ante partum bis 4 Wochen post partum die Kühe klinisch und labordiagnostisch kontrolliert. Für die weitere Auswertung relevant war die Einstufung der Versuchskühe anhand der Analysedaten (s. Anhang 7.2.2). Die Einstufung und Bewertung erfolgte nach Vorgabe durch die Tiermedizinische Fakultät der Universität Leipzig unter Leitung von Prof. Dr. Füll. Klinisch waren die Kühe bei Beginn der Untersuchung gesund. Der weitere Verlauf ist dem Abschlussbericht der Tiermedizinische Fakultät der Universität Leipzig zu entnehmen (Füll, 2010).

### **Fressverhalten der Kühe**

Von den insgesamt 44 für die Auswertung ausgewählten Kühen wurden alle erfassten Besuche am Fressgitter über den Versuchszeitraum ausgewertet. Die Datenauswertung der Fressparameter und der Tierstammdaten wies bei vereinzelt Tieren Lücken auf (Abkalbedatum nicht erfasst = keine Vergleichbarkeit zu anderen Kühen; keine Versuchstage vor oder nach der Abkalbung = Tier zu spät in den Versuch gruppiert oder zu früh entfernt (v.a. bei Erkrankungen)). Diese Kühe standen für den Gruppenvergleich nicht mehr zur Verfügung. Auch konnten nicht von allen Kühen zu allen drei Zeitpunkten Blutproben entnommen werden, sodass von 44 Versuchskühen 22 für die endgültige Gruppeneinteilung und Auswertung des Fressverhaltens verwendet werden konnten. 10 Kühe bildeten die Kontrollgruppe (Gruppe I), 12 Kühe zeigten subklinische Auffälligkeiten im Blutbild und bildeten die Gruppe II. Das Mahlzeitenkriterium, ermittelt nach Tolkamp et al. (1998), betrug für Gruppe I 28,95 min und für Gruppe II 28,10 min.

### **Zusammenfassung und Gegenüberstellung der ausgewählten Parameter**

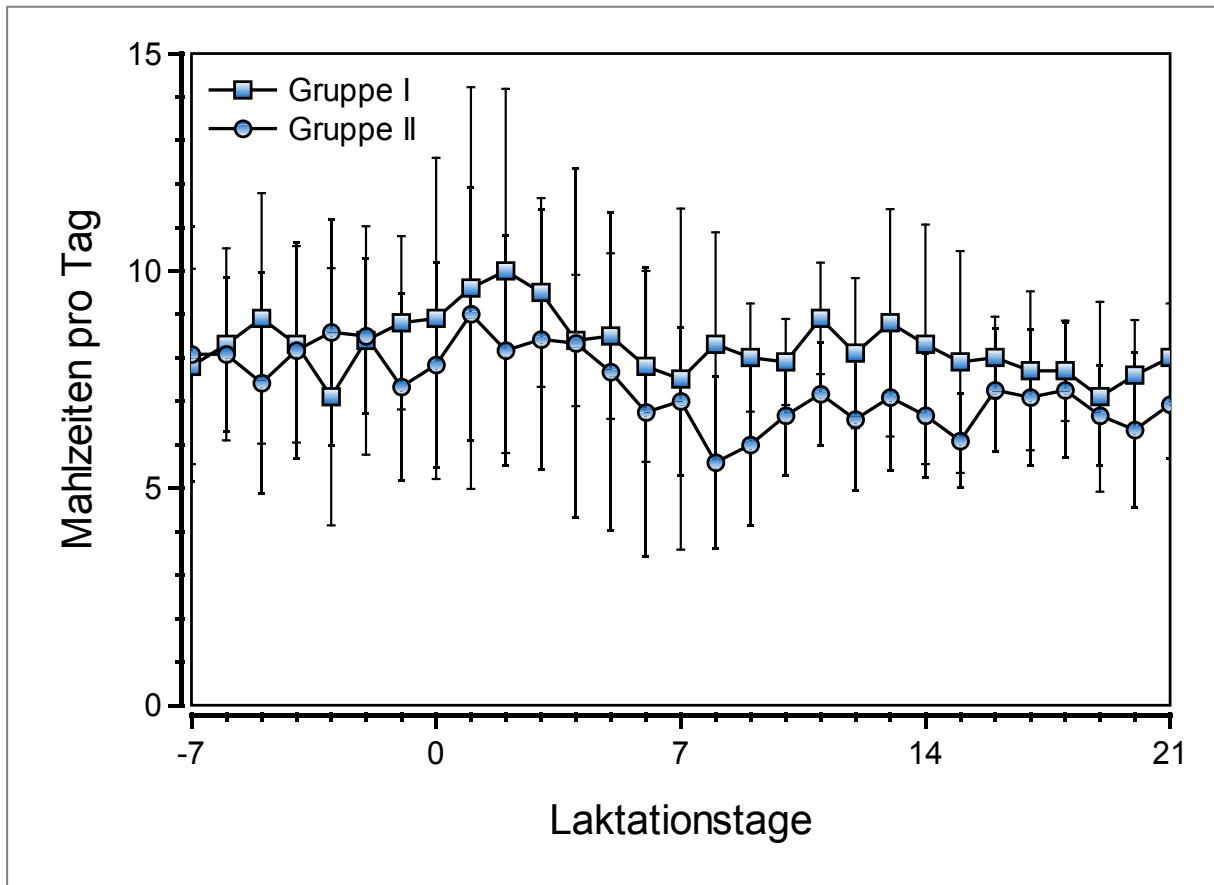
Folgende Abbildung 18 bis Abbildung 20 zeigen den Zeitverlauf der Parameter für beide Gruppen. Die Mittelwerte und Standardabweichungen sind im Anhang (7.2.2) aufgeführt.



**Abbildung 18:** Gesamtbesuchsdauer für Gruppe I und II , 7 Tage a.P. bis 21 Tage p.P.

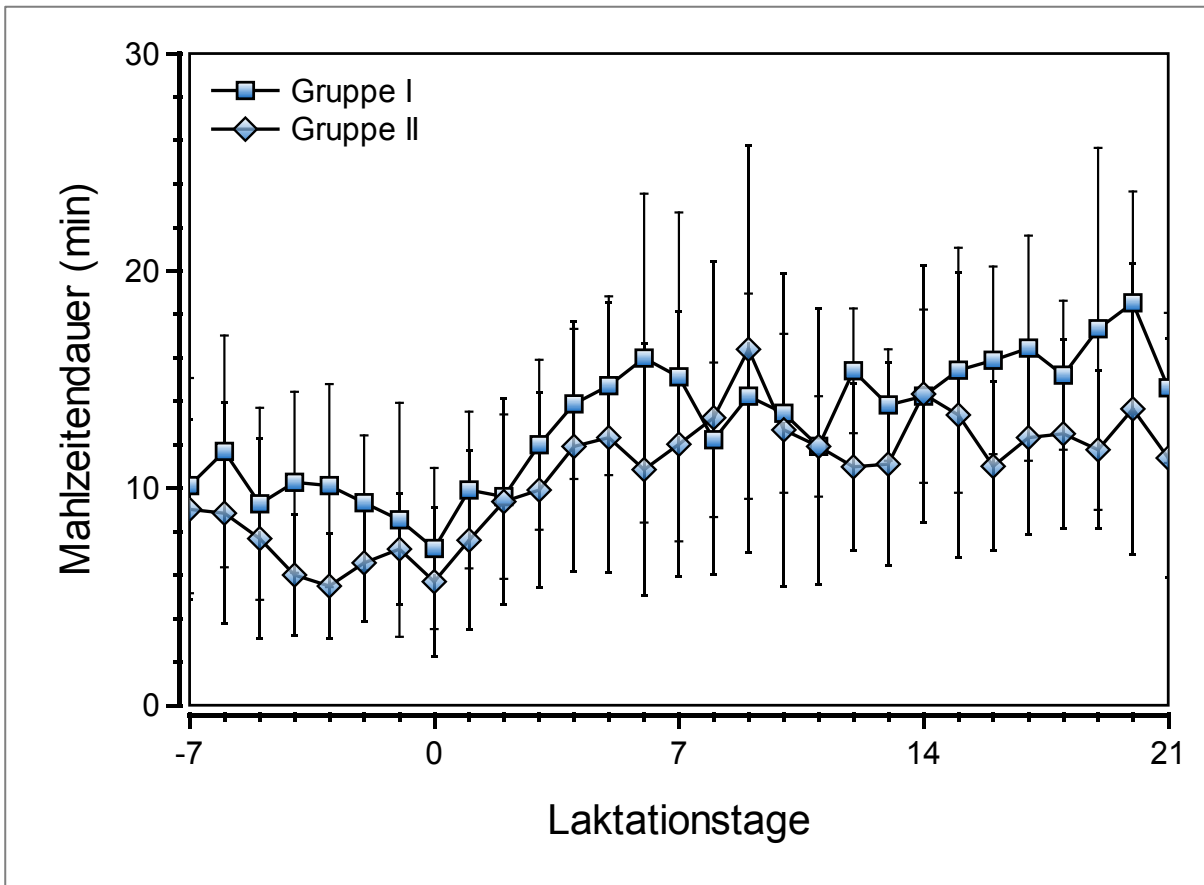
Abbildung 18 zeigt die tägliche Besuchsdauer am Fressplatz beider Gruppen über den Versuchszeitraum. Es zeigt sich ein erkennbarer Unterschied in den Verläufen zwischen beiden Gruppen. Die durchschnittliche Besuchsdauer pro Tag ist durchgängig höher bei der Kontrollgruppe als bei der subklinisch auffälligen Gruppe. Des Weiteren zeigen beide Gruppen am Tag der Abkalbung die niedrigste Besuchsdauer.





**Abbildung 19:** Anzahl an Mahlzeiten pro Tag für beide Gruppen, 7 Tage a.P. bis 21 Tage p.P.

Abbildung 19 zeigt die Anzahl an Mahlzeiten pro Tag für beide Gruppen über den Versuchszeitraum. Auch hier zeigt sich ein erkennbarer Unterschied in den Verläufen zwischen beiden Gruppen. Gruppe I zeigt bis auf wenige Ausnahmen eine größere Anzahl an Mahlzeiten pro Tag als Gruppe II. An den Tagen -7, -6, -4 und -2 zeigen sich keine Unterschiede, am Tag -3 ist der Verlauf umgekehrt. Der Tag der Abkalbung weist keinen erkennbaren Unterschied zu den anderen Versuchstagen auf.



**Abbildung 20:** Mittlere Mahlzeitendauer für beide Gruppen, 7 Tage a.P. bis 21 Tage p.P.

Abbildung 20 zeigt die mittlere Mahlzeitendauer pro Tag für beide Gruppen über den Versuchszeitraum. Wie bei der Gesamtbesuchsdauer und der Mahlzeitenanzahl zeigt sich auch hier ein erkennbarer Unterschied in den Verläufen zwischen beiden Gruppen. Die Kontrollgruppe zeigt bis auf wenige Ausnahmen eine höhere mittlere Mahlzeitenanzahl pro Tag als die subklinisch auffällige Gruppe. An den Tagen 11 und 14 zeigen sich keine Unterschiede, am Tag 8 und 9 ist der Verlauf umgekehrt. Der Abkalbetag weist hier ebenfalls einen Unterschied im Vergleich zu den anderen Versuchstagen auf. Hier ist die mittlere Mahlzeitendauer für beide Gruppen am niedrigsten.

### Korrelationen und Abhängigkeiten ausgewählter Parameter

Um statistisch gesicherte Aussagen über signifikante Unterschiede zwischen beiden Gruppen machen zu können, bedarf es einer anderen Herangehensweise als der klassische Vergleich zweier Stichproben. Der Zeitverlauf der Daten und die in diesem Zeitraum physiologischen Veränderungen im Tier von der Trockenstehzeit bis in die Laktation müssen bei der weiteren Auswertung berücksichtigt werden. Ein statistischer

Vergleich beider Gruppen über den gesamten Zeitverlauf z.B. über eine Korrelationsanalyse (lineares Modell mit wiederholten Messungen) ist aufgrund der systemisch bedingt kritischen Datenbasis nicht sinnvoll. Daher wurden zunächst beide Gruppen über den gesamten Zeitverlauf gegeneinander auf signifikante Unterschiede getestet. Des Weiteren wurden beide Gruppen an ausgewählten Tagen auf statistische Signifikanz geprüft. Die gewählten Testverfahren wurden in Kapitel 3.2.1 beschrieben. Als Testtage werden die Tage -7, 3, 0, 3, 7, 14, 21 ausgewählt.

Tabelle 11 zeigt die ermittelten Mittelwerte und Varianzen der Merkmale des Fressverhaltens beider Gruppen und die ermittelten signifikanten Unterschiede.

**Tabelle 11:** Mittelwerte und Varianz der Parameter des Fressverhaltens beider Gruppen, Werte in einer Spalte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant,  $p \leq 0,05$

Tag	Besuchsdauer pro Tag (h)		Mahlzeiten pro Tag (n)		Mahlzeitendauer (min)	
	I	II	I	II	I	II
<b>-7</b>	1,71 ±	1,22 ±	8,28 ±	7,33 ±	13,02 ±	10,58 ±
<b>21</b>	0,68 <sup>a</sup>	0,58 <sup>b</sup>	2,43 <sup>a</sup>	2,30 <sup>b</sup>	5,31 <sup>a</sup>	5,72 <sup>b</sup>
<b>-7</b>	1,26 ±	1,15 ±	7,80 ±	8,08 ±	10,11 ±	9,01 ±
	0,40	0,34	5,07	8,63	24,55	17,05
<b>-3</b>	1,19 ±	0,81 ±	7,10 ±	8,58 ±	10,12 ±	5,48 ±
	0,54	0,21	8,77	6,81	21,82 <sup>a</sup>	5,81 <sup>b</sup>
<b>0</b>	0,96 ±	0,74 ±	8,90 ±	7,83 ±	7,21 ±	5,70 ±
	0,13	0,19	13,66	5,61	13,70	11,72
<b>3</b>	1,81 ±	1,32 ±	9,50 ±	8,42 ±	11,98 ±	9,89 ±
	0,16 <sup>a</sup>	0,32 <sup>b</sup>	4,72	8,99	15,27	20,20
<b>7</b>	1,80 ±	1,33 ±	7,50 ±	7,00 ±	15,11 ±	12,01 ±
	1,62	0,38	15,39	2,91	57,18	37,16
<b>14</b>	1,85 ±	1,49 ±	8,30 ±	6,67 ±	14,22 ±	14,32 ±
	0,16	0,23	7,57	2,06	15,83	34,74
<b>21</b>	1,92 ±	1,25 ±	8,00 ±	6,92 ±	14,60 ±	11,39 ±
	0,10 <sup>a</sup>	0,19 <sup>b</sup>	1,56 <sup>a</sup>	1,54 <sup>b</sup>	11,90 <sup>a</sup>	30,13 <sup>b</sup>

Die Ergebnisse zeigen, dass bei der Betrachtung des gesamten Zeitraumes, sich beide Gruppen hoch signifikant unterscheiden. Da dies aber dem Zeitverlauf und den

dazugehörigen Veränderung im Laktationsverlauf nicht gerecht wird, ist die Untersuchung einzelner Tage auf Signifikanz sinnvoller. Dabei zeigt sich, dass statistisch nachweisbare Unterschiede nur sehr vereinzelt auftraten. Dies ist sicher in der großen Varianz der Daten zu begründen.

Da es innerhalb der Laktation gerade in der Transitphase zu großen physiologischen Veränderungen in der Kuh kommt, ist eine Veränderung der Verhaltensweisen in Anpassung an den veränderten Energiebedarf zu erwarten. Daher ist eine Zusammenfassung der Parameter über den gesamten Versuchszeitraum nicht sinnvoll. Um die Veränderungen statistisch bewerten zu können, wurden die folgenden fünf Zeitabschnitte gewählt und innerhalb der Gruppe und zwischen beiden Gruppen gegeneinander auf signifikante Unterschiede getestet:

- Abschnitt 1: -7 bis -2 (7– 2 Tage a.p.)
- Abschnitt 2: -1 bis 1 (1 Tag a.p. bis 1 Tag p.p.)
- Abschnitt 3: 2 bis 7 (2-7 Tage p.p.)
- Abschnitt 4: 8 bis 14 (8-14 Tage p.p.)
- Abschnitt 5: 15 bis 21 (15-21 Tage p.p.)

Die Auswahl der Abschnitte folgte im Hinblick auf die physiologischen Veränderungen und Laktationsabschnitte. So ist bereits 24 Stunden vor der Kalbung eine deutliche Veränderung im Fressverhalten der Kühe zu verzeichnen (Raya, 2011). Da die Daten einem zeitlichen Verlauf unterliegen, könnte an dieser Stelle für die statistische Analyse auch eine Kovarianzanalyse (ANCOVA) verwendet werden. Da dieser Test aber nur für normalverteilte Daten greift, werden die Zeitabschnitte innerhalb einer Gruppe mit dem Steel-Dwass-Test (nicht-parametrische Version des Tukey-Test, Signifikanzlevel 0,05) verglichen und die Zeitabschnitte zwischen den beiden Gruppen mit dem Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test.

**Tabelle 12:** Mittelwerte und Standardabweichungen der Merkmale des Fressverhaltens für die 5 Abschnitte, Gruppe I

<b>Abschnitt</b>	<b>Besuchsdauer pro Tag (h)</b>	<b>Mahlzeiten pro Tag (n)</b>	<b>Mahlzeitendauer (min)</b>
<b>1: -7 bis -2</b>	1,32 ± 0,56	8,13 ± 2,51	10,13 ± 4,38
<b>2: -1 bis 1</b>	1,21 ± 0,54	9,1 ± 3,50	8,55 ± 4,31
<b>3: 2 bis 7</b>	1,84 ± 0,82	8,62 ± 2,86	13,54 ± 5,58
<b>4: 8 bis 14</b>	1,86 ± 0,54	8,33 ± 1,95	13,61 ± 3,50
<b>5: 15 bis 21</b>	2,01 ± 0,55	7,62 ± 1,64	16,19 ± 5,22

**Tabelle 13:** Statistische Auswertung der Merkmale des Fressverhaltens (Steel-Dwass-Test, Signifikanzlevel 0,05), Gruppe I

<b>Abschnitt</b>	<b>Besuchsdauer pro Tag (h)</b>					<b>Mahlzeiten pro Tag (n)</b>					<b>Mahlzeitendauer (min)</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	
<b>1</b>			***	***	***									**	***	***
<b>2</b>			***	***	***									***	***	***
<b>3</b>																*
<b>4</b>																*

Innerhalb der Zeitabschnitte in Gruppe I finden sich signifikante Unterschiede in der Besuchsdauer pro Tag und in der mittleren Mahlzeitendauer. Keine signifikanten Unterschiede konnten in der Mahlzeitenanzahl pro Tag festgestellt werden.

**Tabelle 14:** Mittelwerte und Standardabweichungen der Merkmale des Fressverhaltens für die 5 Abschnitte, Gruppe II

<b>Abschnitt</b>	<b>Besuchsdauer pro Tag (h)</b>	<b>Mahlzeiten pro Tag (n)</b>	<b>Mahlzeitendauer (min)</b>
<b>1: -7 bis -2</b>	0,96 ± 0,54	8,14 ± 2,34	7,26 ± 3,87
<b>2: -1 bis 1</b>	0,88 ± 0,43	8,06 ± 2,53	6,82 ± 3,43
<b>3: 2 bis 7</b>	1,35 ± 0,62	7,54 ± 2,97	11,05 ± 5,47
<b>4: 8 bis 14</b>	1,34 ± 0,61	6,54 ± 1,64	12,94 ± 6,59
<b>5: 15 bis 21</b>	1,34 ± 0,48	6,80 ± 1,43	12,28 ± 5,03

**Tabelle 15:** Statistische Auswertung der Merkmale des Fressverhaltens (Steel-Dwass-Test, Signifikanzlevel 0,05), Gruppe II

Abschnitt	Besuchsdauer pro Tag (h)					Mahlzeiten pro Tag (n)					Mahlzeitendauer (min)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1			***	***	***				***	***			***	***	***
2			***	**	***				*	*			***	***	***
3															
4															

Innerhalb der Zeitabschnitte in Gruppe II finden sich signifikante Unterschiede in der Besuchsdauer pro Tag, in der Mahlzeitenanzahl pro Tag und in der mittleren Mahlzeitendauer. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass es innerhalb des Versuchszeitraums bei beiden Gruppen signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Zeitabschnitten gibt.

**Tabelle 16:** Statistische Auswertung der Merkmale des Fressverhaltens, Vergleich der Abschnitte zwischen Gruppe I und Gruppe II

Abschnitt	Besuchsdauer pro Tag (h)	Mahlzeiten pro Tag (n)	Mahlzeitendauer (min)
1: -7 bis -2	***		***
2: -1 bis 1	*		
3: 2 bis 7	***	**	*
4: 8 bis 14	***	***	*
5: 15 bis 21	***	**	***

Der Vergleich der Zeitabschnitte beider Gruppen miteinander ergab stark signifikante Unterschiede in der Gesamtbesuchsdauer in den Zeitabschnitten -7 bis -2, 2 bis 7, 8 bis 14 und 15 bis 21 und einen knapp signifikanten Unterschied im Zeitabschnitt -1 bis 1. Bei der Mahlzeitenanzahl pro Tag zeigten sich signifikante Unterschiede in den Zeitabschnitten 2 bis 7 und 15 bis 21 und ein stark signifikanter Unterschied im Zeitabschnitt 8 bis 14. Die mittlere Mahlzeitendauer unterscheidet sich zwischen beiden Gruppen knapp signifikant in den Zeitabschnitten 2 bis 7 und 8 bis 14 und stark signifikant in den Zeitabschnitten -7 bis -2 und 15 bis 21.

### 3.2.3 Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse des Versuchs sind aus zwei verschiedenen Perspektiven zu bewerten. Technisch über die Leistungsfähigkeit des entwickelten Systems und wissenschaftlich über die gewonnenen Ergebnisse. Das im Praxisbetrieb installierte System „feedwatch“ wurde im Rahmen des Projekts mit der vorhandenen Zeit und den dafür verfügbaren Mitteln erfolgreich etabliert, auch wenn es zu Versuchsbeginn noch nicht ausgereift und weit entfernt von einer praxistauglichen Anwendung war. Vor allem die Genauigkeit der Tiererkennung, die Langzeitstabilität unter Praxisbedingungen und der Aufwand für die Inbetriebnahme sind hier die kritischsten Diskussionspunkte. Auf wissenschaftlicher Ebene zeigten sich allerdings einige vielversprechende Ergebnisse, die im Hinblick auf die technischen Probleme aber mit Vorsicht betrachtet werden müssen.

Die Frage, ob mit Hilfe der RFID-Technik Kühe am Fressgitter erkannt werden und so tierindividuelle Fresszeiten über längere Zeiträume ermittelt werden können, kann hier nicht abschließend beantwortet werden. Grundsätzlich zeigte sich, dass eine Tiererkennung am Fressgitter über RFID möglich ist. Dabei traten verschiedene Probleme auf, die sich auch in den Daten widerspiegelten. Die Grundlage zur elektronischen Tiererkennung bildeten die passiven RFID-Transponder der Kühe (entsprechend den internationalen Standards ISO 11784 und ISO 11785) und das verwendete Erkennungssystem (s. Kapitel 3.2.1). Speziell beim dynamischen Lesen, also der Erfassung von sich bewegenden Tieren, und gleichzeitiger Ansammlung von Tieren auf engem Raum sowie vielen Erfassungsorten kommt es zu Problemen, da es keine geeigneten Antikollisionssysteme gibt. Dabei traten Probleme auf, wenn mehrere Transponder an mehreren eng beieinander liegenden Orten erkannt werden sollten. Bei zu geringem Abstand zwischen den Fressplätzen kam es so zu einer Überlagerung der Signale, sodass ein und dasselbe Tier an benachbarten Fressplätzen zeitgleich erfasst wurde und somit eine Mehrfacherkennung stattfand. Auch kam es aufgrund von Signalüberlagerungen zur Nichterkennung der Tiere am Fressgitter.

Ein weiteres Problem zeigte sich bei der Signalausrichtung (Abbildung 21). Die Tiererkennungseinheiten waren ursprünglich für den Einsatz an Kälbertränken vorgesehen. Sie erzeugen einerseits ein elektromagnetisches Wechselfeld, wodurch die Transponder aktiviert werden. Andererseits empfangen sie die von den Transpondern gesendeten Informationen und leiten diese an den Prozesscomputer weiter. Die RFID-Transponder bestehen aus einer Antenne und einem Speicherchip. Die Antenne ist zu

einer Spule aufgerollt und kann in einem bestimmten elektromagnetischen Wechselfeld elektrische Energie erzeugen. Diese Energie wird an den Chip weitergeleitet, der daraufhin die auf ihm hinterlegte Information senden kann. Die Ausrichtung des Felds war aufgrund der Geometrie von der Erkennungsstelle weggerichtet. Da die Tiererkennung nur unterhalb des Fressgitters montiert werden konnten, wurde dieses Problem noch verstärkt. So konnte die Tiererkennung nur dann sicher gewährleistet werden, wenn sich der Transponder direkt über, bzw. vor der Erkennungseinheit befand. Dies war nur der Fall, wenn sich die Kuh mit dem Maul im Futter befand. Da Kühe beim Fressen/Kauen auch den Kopf hochnehmen, verließ die Kuh somit den Erkennungsbereich und wurde nicht mehr am Fressplatz erfasst. Auch seitliche Kopfbewegungen, wie sie z.B. beim Wühlen und Sortieren auftreten konnten so nicht immer erfasst werden.



**Abbildung 21:** Tiererkennungseinheit, Ausrichtung des Felds vom Fressgitter weg gerichtet

Sobald sich der Transponder außerhalb der Reichweite der Erkennungseinheit bewegte, z.B. durch die Kopfbewegungen der Kühe (hoch/runter/seitlich weg), dokumentierte das Programm das Ende des Besuches am Fressgitter. Aufgrund der sehr geringen Reichweite und der nicht optimalen Feldausrichtung vom Fressgitter weg, kam es so zu sehr vielen erfassten Besuchen mit aber nur sehr kurzen Besuchsdauern. In Summe sollten diese zwar realistische Werte für einen Fressbesuch aufweisen. Die Ergebnisse konnten dies aber mit täglichen Fresszeiten von nur ein bis zwei Stunden und einer mittleren Mahlzeitendauer von nur 10 – 20 Minuten nicht hinreichend bestätigen. Im Vergleich mit der Literatur zeigen sich hier eine deutlich geringere Fresszeit und eine geringere Mahlzeitendauer. Wohingegen sich das Mahlzeitenkriterium mit 28,10 min bis



28,95 min und die daraus ermittelte Anzahl an Mahlzeiten von 6,3 bis 9,7 Mahlzeiten pro Tag gut in die Angaben der Literatur einfügen. Nach Grant und Albright (2001) beträgt die tägliche Fressdauer drei bis fünf Stunden pro Tag und wird in neun bis 14 Mahlzeiten aufgeteilt. Tolkamp et al. ermittelten 2002 eine Mahlzeitendauer von 31,3 bis 41,4 min bei durchschnittlich 6,6 Mahlzeiten pro Tag. Grant und Albright (1995) ermittelten eine durchschnittliche Mahlzeitenanzahl pro Tag von 9 und 14 für höhere Milchleistungen und 7 bis 9 für niedrigere Milchleistungen. Für das Mahlzeitenkriterium variieren die Angaben in der Literatur von 7 min bei Dado und Allen (1993), 10 min bei Harms et al. (2002), 13 min bei Morita et al. (1996), 20 min bei Metz (1975), 23,8 bis 28,0 min bei Tolkamp et al. (2002) und 60 min bei Olofsson (2000). Gewisse Aspekte des Tierverhaltens, wie zum Beispiel die Einteilung in Mahlzeiten, sowie die Verteilung der Fresszeiten über den Tag ließen sich demnach mit dem System erfassen. Dies lässt sich mit der Funktionalität des Systems begründen. Auch die nachgewiesenen und statistisch signifikanten Veränderungen im Laktationsverlauf fügen sich in bestehende Literaturangaben gut ein.

Damit könnte man die Frage ob dieses noch in der Entwicklung befindliche System in der Lage ist, tierindividuelle Veränderungen im Fressverhalten zu erkennen, grundsätzlich mit „Ja“ beantworten. Die Genauigkeit, mit der diese Veränderungen allerdings erkannt werden, kann im Hinblick auf die oben genannten Probleme aber nicht ausreichend beantwortet werden. Offen bleiben hier auch die dem Fressverhalten zugehörigen typischen Verhaltensweisen wie Wühlen, Kopfschütteln, Kopfheben, etc. Diese können aber grundsätzlich nicht mit einem System erkannt werden, welches nur die reine Anwesenheit am Futtertisch erfasst.

Die Frage, ob mit Hilfe dieses Systems Unterschiede zwischen subklinisch auffälligen und subklinisch unauffälligen Kühen im Fressverhalten festgestellt werden können, lässt sich anhand der vorliegenden Ergebnisse zwar auf ersten Blick positiv beantworten, hier sollten aber die genannten Unzulänglichkeiten des Systems, sowie die grundsätzliche Einteilung in subklinisch auffällige Kühe und nicht auffällige Kühe nicht vergessen werden. In Summe zeigten alle Versuchskühe im Rahmen der Untersuchungen mindestens eine Auffälligkeit in den Parametern BHB, FFS und Cholesterol. Die abweichenden Befunde verteilten sich in Bezug zu klinischen Störungen nicht streng in Bezug zu den Laborparametern. Es zeigte sich, dass es sowohl Kühe mit permanenten Abweichungen von den Laborwerten gab, die klinisch gesund waren, als auch Kühe mit permanenten Abweichungen von den Laborwerten, die die schwersten Krankheiten

hatten. So stellt sich hier die Frage, inwieweit die Einteilung anhand der Auffälligkeiten im Blutbild generell sinnvoll ist oder ob hier noch weitere Parameter mitberücksichtigt werden müssten (Fürl, 2010).

Die RFID-Technik bietet ein großes Potential im Bereich der Tiererkennung und hat sich seit dem durchgeführten Versuch 2010 stetig weiterentwickelt und verbessert. Zum damaligen Zeitpunkt zeigte sich jedoch, dass es noch sehr viel Entwicklungspotential bedurfte, um ein solches System in die Praxis zu überführen. Grundsätzlich ermöglicht sie die Tiererkennung am Fressgitter und damit eine qualitative Beschreibung des Fressverhaltens der Tiere. Der quantitativen Analyse des Fressverhaltens sind hier aber technische Grenzen gesetzt, da die Distanz der Kühe zur Erkennungseinheit eine entscheidende Rolle spielt und zu Datenverlusten in der Zeiterfassung am Fressgitter führt. Die Bewertung des Systems über den durchgeführten praktischen Versuch ist trotz statistischer Signifikanz mit Vorsicht zu betrachten, aufgrund der oben genannten Erkennungsverluste. Dabei ist zu beachten, dass die (Weiter)entwicklung der RFID-Technologie in den vergangenen Jahren rasch vorangeschritten ist und neuere, bessere Systeme solche Erkennungsprobleme nicht mehr aufweisen, bzw. nur noch im geringen Maße. Dennoch ist es ein infrastruktureller Aufwand, den Stall oder einzelne Stallbereiche mit entsprechender Tiererkennung zu versehen. Auch ist eine differenziertere Betrachtung des Fressverhaltens mit solchen Systemen nicht möglich. Einzeltierbasierte Monitoringsysteme eignen sich zur tierindividuellen Analyse des Fressverhaltens deutlich besser und sind von der Stallinfrastruktur unabhängig.

### **3.3 Analyse des Fress- und Wiederkauverhaltens mit OEMG-Sensoren**

Die Elektromyographie (EMG) ist eine elektrophysiologische Messmethode zur Erfassung myoelektrischer Signale. Dabei werden Aktionspotentiale der kontrahierenden Muskulatur aufgezeichnet und analysiert (Basmajian und DeLuca, 1985; Winter und Yack, 1987). Das EMG-Signal ist die elektrische Manifestation der neuromuskulären Aktivierung, die mit dem kontrahierenden Muskel verbunden ist (Gesch, 1998). Die Erfassung kann über verschiedene Elektrodentypen (Oberflächen-, Nadel- und Drahtelektroden) monopolar oder bipolar erfolgen. Zur Auswertung kann sofort das unverarbeitete Roh-EMG genutzt werden (Hegewald, 1999). Meist erfolgt jedoch eine Signalverarbeitung, wie z.B. die Gleichrichtung, Glättung, Mittelung und Normalisierung. Damit werden die Daten reduziert, die Reliabilität erhöht und die Messergebnisse skaliert. EMG-Messungen erlauben keine Differenzierung zwischen konzentrischer, isometrischer und exzentrischer Kontraktion der Muskulatur, es lassen sich mit Hilfe des EMG aber verschiedene Fragestellungen beantworten (z.B. in der neurologischen Diagnostik zur Untersuchung von Myopathien oder Neuropathien) und qualitative Aussagen zur Aktivität des untersuchten Muskels treffen. Da kein einfacher Zusammenhang zwischen der Kontraktionskraft des Muskels und der Stärke des EMG-Signals besteht (Knutson und Soderberg, 1995), ist eine quantitative Abschätzung des Muskelkraftniveaus direkt aus den EMG-Signalen nicht möglich. Dafür bedarf es zusätzlicher Verarbeitungsschritte (z.B. Normierung). Ermüdungen des Muskels beeinflussen das Frequenzspektrum des EMG-Signals und lassen sich durch Frequenzanalyse feststellen (Basmajian und DeLuca, 1985; Winter und Yack, 1987). Während sich mit Hilfe von konzentrischen Nadelelektroden die Potentialschwankungen einzelner motorischer Einheiten ableiten lassen oder sogar einzelne Muskelfasern mit Spezialnadeln erfasst werden können (Einzelfasermiografie), sind Messungen der Potentialänderungen auf der Haut mit Oberflächenelektroden wesentlich unpräziser, da diese das Summen-Aktionspotential eines ganzen Muskels oder sogar mehrerer Muskeln messen. Oberflächenelektroden erfassen auf Grund ihrer mechanischen Dimensionen elektrische Aktivität bis zu einigen Zentimetern und darüber hinaus, können aber nicht die Aktivität einzelner motorischer Einheiten abbilden. Das Oberflächenelektromyogramm (OEMG) bietet einen guten Überblick über die Gesamtaktivität eines Muskels (Ludin, 1981) und findet z.B. in der Sportphysiologie Verwendung zur Bestimmung des Beginns einer Muskelkontraktion.

### 3.3.1 Stand der Technik

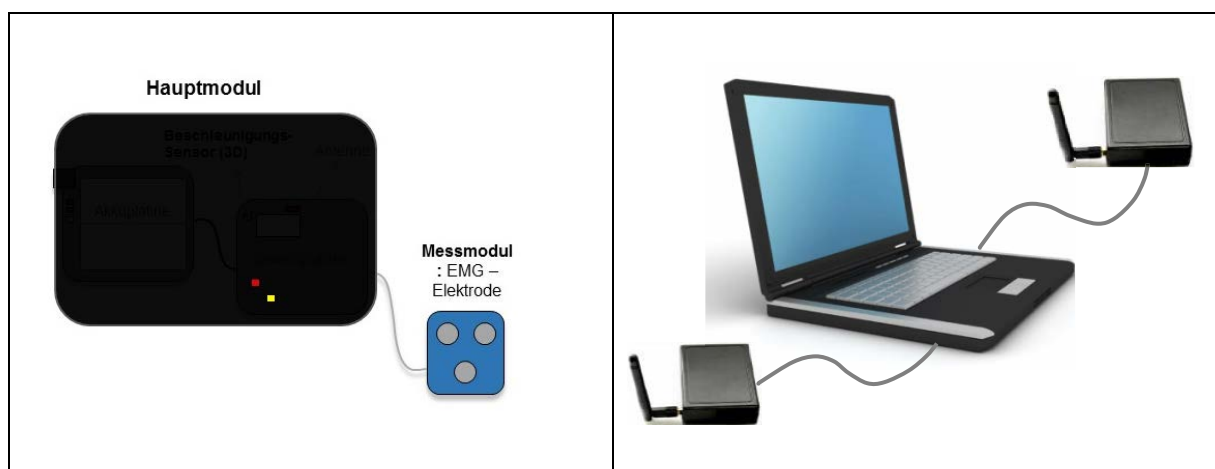
Die Verwendung von Oberflächenelektromyographie bei Nutztieren ist bislang nicht weit verbreitet. Nichols (1966) führte einen Versuch mit Elektroden am Masseter (*Musculus masseter*) bei Schafen durch, um die Muskelaktivität der Fress- und Wiederkauphasen aufzuzeichnen (Kapitel 3.1.6). Weitere Anwendungen in der (Nutz)tierhaltung finden sich im Rahmen chronobiologischer Untersuchungen mit Hilfe der smardwatch®. Dieses multiparametrische Messsystem dient der Überwachung der vegetativen Funktionen, muskulären Reaktionen, Temperaturregelvorgängen und des Bewegungsmusters auf tierindividueller Ebene. Dies wird über die kontinuierliche Erfassung von Haut- und Umgebungstemperatur, Hautpotenzial, Hautwiderstand, Muskelpotential (Elektromyogramm) und 3D-Bewegungsaktivität realisiert. Die Datenanalyse erfolgt unter chronobiologischen Aspekten. Das System wurde bislang auf Forschungsebene eingesetzt zur Untersuchung von Belastungszuständen und Verhaltensreaktionen (Kuhne et al., 2006 und 2007; Lindner, 2011), zur Untersuchung von Tierwohl und Tiergesundheit, sowie Reproduktion (Balzer et al., 2009 und 2011) und zur Untersuchung der Tiergerechtigkeit von Haltungssystemen (Kultus und Balzer, 2009). Unabhängig von chronobiologischen Untersuchungen, stellt die Nutzung der Oberflächenelektromyographie (OEMG) in ihrer ursprünglichen Funktion zur Analyse von Muskelaktivitäten in der Sportphysiologie, zur Erfassung der Kauaktivität einen sinnvollen Ansatz dar. Hier wird das Verhalten direkt an seinem Ursprung erfasst und bewertet. Im Rahmen des Forschungsprojekts KMUni (Kapitel 3.2) wurde mit einem Unternehmenspartner (BITSz engineering GmbH) ein gemeinsamer Forschungsansatz entwickelt, mit Hilfe von Oberflächenelektromyographie das Fressverhalten tierindividuell zu erfassen. Innerhalb dieses Forschungsprojekts wurde zusammen mit weiteren Partnern, ein neues Sensorsystem entwickelt, basierend auf der elektromyographischen Erfassung der Kaumuskelaktivität und der Signalanalyse (NutriCheck - Frühwarnsystem zur Beurteilung der Nährstoffversorgung in Milchviehbeständen mittels Erfassung und Auswertung der Fress- und Wiederkauaktivitäten, Laufzeit: 01.11.2010 – 31.05.2014, FKZ 2813800910). Die Projektbeschreibung, sowie die Ergebnisse des Projekts sind Abschlussbericht veröffentlicht (Kaufmann und Wobschall, 2014).

### 3.3.2 Entwicklungsstand eigenes Sensorsystem

Ausgehend von den ersten elektromyografischen Untersuchungen zur Kaumuskelaktivität des großen Kaumuskel (*Musculus masseter*) vom Rind (Weigel, W.

2010) wurde während des Projekts NutriCheck ein autarkes, nicht-invasives Sensorsystem entwickelt. Die Messplattform besteht aus zwei Oberflächenelektromyographiesensoren (OEMG-Sensoren), von denen nach Ermittlung der optimalen Messposition nur noch einen verwendet wurde. Im Hauptmodul, welches im Genick des Tieres platziert wird, befindet sich die Hauptplatine zur Signalverarbeitung und die Akkuplatine. Des Weiteren beinhaltet das System einen 3D-Beschleunigungssensor, dessen Daten im Rahmen dieser Untersuchungen aber nicht verwendet wurde. In verschiedenen Entwicklungsschritten wurde das System den Stallbedingungen angepasst, um ausreichend robust gegen mechanische Belastungen, Schmutz und Nässe zu sein. Die Datenerfassung erfolgt mit einer Frequenz von 10 Hz.

Die Anbringung des Sensorsystems an das Tier wurde über ein Halfter realisiert, welches für den dauerhaften Andruck der OEMG-Elektroden an der manuell angepassten, individuellen Messposition sorgte. Die Technikintegration erfolgte so weit wie möglich. Die kontinuierliche qualitativ gute Signalgewinnung wurde primär durch die Anbringung limitiert. Dazu wurden verschiedene Halftermodifikationen vorgenommen, die abschließend zu keinem zufriedenstellenden Ergebnis führten im Hinblick auf die Kontinuität der Signalgewinnung und die Qualität der gemessenen Daten. Materialermüdung, schwierige Positionierung der EMG-Elektrode auf dem Kaumuskel und der häufige Kontaktverlust zwischen Elektrode und Muskel waren die Hauptschwachstellen des Systems. Deshalb wurde bei den folgenden Untersuchungen die Datenauswahl besonder sorgfältig durchgeführt. Abbildung 22 zeigt das Sensorsystem und die Datenübertragung.



**Abbildung 22:** Schematische Darstellung des OEMG-Sensorsystems (links) und der Datenübertragung via Funk (rechts)

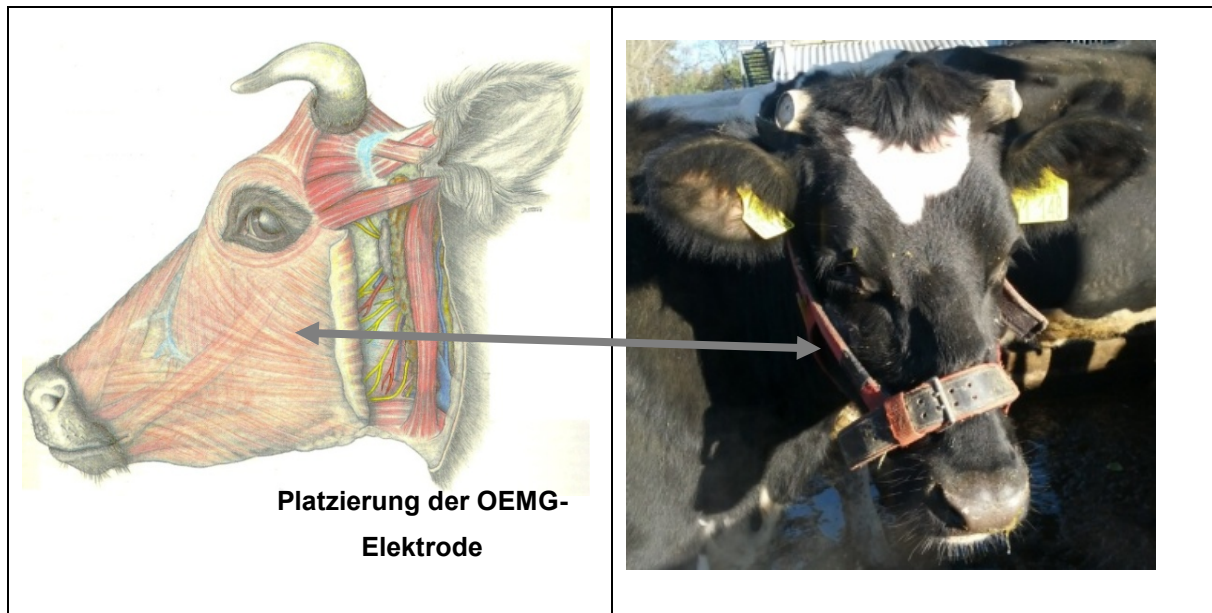
Die Datenübertragung erfolgte funkbasiert in Echtzeit. Die Live-Übertragung mit Möglichkeit der Datenpufferung der Rohdaten (bis zu 11 h) bei verringerter Funkleistung oder anderen Störfaktoren schloss Datenverluste aus. So wurde die automatische und kontinuierliche Messung ermöglicht. Die Funkübertragung war auf eine vollständig kabelgebundene Netzwerk-Infrastruktur angewiesen, was im Hinblick auf die Praktikabilität auch einige Probleme bereitete. Die Akkulaufzeit betrug bei guter Datenübertragung (gute Funkinfrastruktur ohne stallbedingte Störfaktoren) bis zu 3 Wochen. Dies ist bei der großen zu übertragenden Datenmenge als gut zu bewerten und bietet perspektivisch über eine Datenreduktion durch Vorfilterung und –bearbeitung der Daten noch längere Akkulaufzeiten. Die Funkreichweite betrug je nach Stallgegebenheiten bis zu 100 m.

Die Datenerfassung, -speicherung und –visualisierung wurde über entsprechende Softwaremodule ermöglicht. Bereits im Stall konnten so die Daten in Echtzeit betrachtet werden, was für die optimale Justierung und Kalibrierung des Sensorsystems am Tier zu Beginn der Messung und zur Kontrolle während der laufenden Messungen notwendig war.

Die Signalverarbeitung, Datenauswertung und Ereigniserkennung erfolgte in einem nachgelagerten Analysemodul des Programms LabVIEW und ermöglicht die Auswertung der Muskelaktivität über verschiedene Auswertelgorithmen, um die Rohdaten (OEMG-Signale) zu filtern und in aktive und inaktive Phasen einzuteilen. Des Weiteren differenziert die Software innerhalb der aktiven Phasen in Wiederkauen und Sonstiges. Manuell sind nachträgliche Klassifizierung weiterer Verhaltensweisen, wie das Fressen, aber auch die Korrektur der automatisch ermittelten Werte möglich.

### **3.3.3 Positionierung des Sensors auf dem Kaumuskel**

Der *Musculus masseter* ist einer der vier Kaumuskeln bei Säugetieren und sorgt für das Zermahlen der Nahrung, in dem er den eigentlichen Kieferschluss und die Seitwärts- und Längsbewegung des Unterkiefers erlaubt. Neben dem *Musculus temporalis* ist er der kräftigste Kaumuskel und durch seine Größe und Lage gut für die elektromyographische Erfassung der Muskelaktivität geeignet. Abbildung 23 zeigt die Position des *Musculus masseter* am Kopf und die Platzierung der Elektroden.



**Abbildung 23:** Links-Darstellung des *M. masseter* am Rinderkopf (Zeichnung D. Starke, aus: Budras und Buda, 2007), rechts-Platzierung der OEMG-Elektrode auf dem *M. masseter* über ein Halfter

### 3.3.4 Einflüsse des Halfters und Validität der Messdaten

Nach der eigentlichen Systementwicklung erfolgten entsprechende Versuche zu tierindividuellen Gegebenheiten (Kopfform, Anbringung, optimale Position am *Masseter*) und Stallbedingungen, sowie zur Validierung des Systems. Für die Analysesoftware wurde eine Auswahl mathematischer Modelle zur Analyse getroffen und anhand der gewonnenen Daten auf ihre Funktionstüchtigkeit getestet. Hier wurden gute Ergebnisse erzielt. Die Untersuchungen zu den tierindividuellen Variationen und prozessrelevanten Einflussgrößen fanden in verschiedenen Langzeitversuchen in der LLG Iden und der Lehr- und Versuchsanstalt für Tierzucht und Tierhaltung e.V. (LVAT Groß Kreuz) statt. Insgesamt wurden 15 Versuche in verschiedenen Betrieben durchgeführt. Dabei fanden Einzelversuche zur Validierung des Systems über Video- und Direktbeobachtung, sowie Langzeitversuche mit insgesamt 18 Sensorsystemen an 94 Kühen statt.

Eine Beeinträchtigung des Halfters auf die Futteraufnahme und damit auf das Fress- und Wiederkauverhalten konnte ausgeschlossen werden. Büchel (2013) untersuchte die Einflüsse des Halfters auf die Futteraufnahme. Die Untersuchung von 12 Versuchskühen mit Halfter und 12 Kontrolltieren ohne Halfter ergaben, dass sich die Futteraufnahme der Versuchskühe weder im Vergleich zu der Kontrollgruppe noch im Vergleich zur Futteraufnahme vor Anlegen des Halfters mit der Futteraufnahme bei anliegendem Halfter signifikant unterschied.

Des Weiteren wurde im Rahmen des Projekts (Kaufmann und Wobschall, 2014) zunächst eine Validierung der OEMG-Sensordaten mittels Direktbeobachtungen vorgenommen. Büchel (2013) führte eine weitere Validierung durch. Dabei wurden an zwei Tagen je sieben Kühe mit dem Sensorsystem ausgestattet und über einen Zeitraum von 7, bzw. 6,75 Stunden beobachtet und die Futteraufnahme und das Wiederkauen protokolliert. Die Ergebnisse zeigten eine Übereinstimmung der Sensordaten mit den Direktbeobachtungen von 87 %. Die Dauer der Futteraufnahme und des Wiederkauens wurden leicht unterbewertet. Abweichungen werden hier v.a. begründet mit inkorrekt positionierter OEMG-Elektrode, Kontaktverlust zwischen Sensor und Muskel, sowie geringen Fehlern der Beobachter.

In der Folgestudie (Büchel, 2013) wurde das OEMG-Sensorsystem mit zwei bereits am Markt vertretenen Systemen verglichen, dem Lely Qwes HR-Sensor und dem RumiWatch-System. In zwei Versuchsdesigns wurde von neun Kühen über sechs Tage die tägliche Wiederkaudauer bestimmt. Im ersten Versuchsdesign simultan über das OEMG-Sensorsystem und das Lely Qwes HR-System und im zweiten Versuchsdurchgang simultan mit dem RumiWatch-System und dem Lely Qwes HR-System. Ein Abgleich zwischen OEMG-Sensorsystem und dem RumiWatch-System konnte aufgrund der gleichen Anbringungsart (Halfter) nicht erfolgen. Im Ergebnis zeigte sich, dass die gemessene Wiederkauzeit zwischen dem Lely-System und dem OEMG-Sensorsystem, sowie dem RumiWatch-System sich signifikant unterschied. Im Vergleich zu den beiden Halftersystemen ermittelte der Halsbandsensor eine bis zu 2 h geringere Wiederkauzeit pro Tag. Die Ergebnisse des RumiWatch-Systems und des OEMG-Sensorsystems waren nahezu identisch und sind als genauer zu bewerten, da die Unterbewertung der Wiederkauzeit mittels des Lely-Systems bereits zuvor in der Literatur beschrieben wurde (Pahl et al., 2012).

### **3.3.5 Schwierigkeiten der Oberflächen-Elektromyographiemessung**

Die Schwierigkeiten der OEMG-Messung und damit dieses Sensorsystems ergeben sich aus der Signalkomplexität und der Empfindlichkeit des Signals für äußere Einflüsse. Das Signal-Rausch-Verhältnis ist dann optimal, wenn so wenig wie möglich beeinflussendes Gewebe zwischen Elektrode und Muskel liegt. Die Messungen erfolgten nach Voruntersuchungen, in denen der Einsatz von Elektrodengel und der Einsatz der Elektrode auf rasierter Haut getestet und ausgeschlossen wurden, konsequent auf dem Fell der Kühe. Die Signalmuster zeigten bei Rasur keine Verbesserung und der Einsatz



von Elektrodengel führte zum Kurzschluss der Messelektroden. Auch Bewegungsartefakte, z.B. durch Bewegung zwischen Elektroden und Muskeloberfläche oder das Hautpotential können sich auf das Singal auswirken und zu einem Auftreten oder einer Verstärkung des Rauschens führen. So lange ein vernünftiges Signal-Rausch-Verhältnis gewährleistet ist, spielt dies aber keine Rolle.

Das Überlagern von Muskeln kann ebenfalls einen negativen Einfluß auf die OEMG-Messung haben, daher sollte nach Basmajian und Del Luca (1985) die Elektrode auf halber Stelle zwischen dem Zentrum der Innervationszone und der Sehne liegen, damit die Signalüberlagerung minimiert wird. Diese Problematik trat zu Beginn an der zweiten Messstelle auf (Maulnähe) auf. Mit der Positionierung einer Elektrode nahezu mittig auf dem großen Kaumuskel konnte dieser Effekt vermieden werden.

Die Signalstabilität ergibt sich aus dem Einfluß auf die Signalamplitude infolge relativer Bewegungen der aktiven Fasern zur Abtastoberfläche der Elektrode. Die relative Bewegung der Abtastelektrode hinsichtlich der aktiven Fasern (wenn sich ein Muskel kürzt und die Elektrode auf der Haut stehen bleibt) kann allein schon die Eigenschaften des Signals verändern (Gesch, 1998). Daher ist der gleichbleibende Abstand zum Muskel am Ort der Elektrode wichtig. Dort zeigte sich der größte Schwachpunkt des Systems, die Anbringung und damit die Gewährleistung der kontinuierlichen Datenerfassung bei hoher Signalqualität. Die Halfter konnten die Anforderungen an die sichere, kontinuierliche und qualitativ hochwertige Datengewinnung ohne Beeinträchtigung der Tiere nicht ausreichend erfüllen. Die Anpassungen an die unterschiedlichen Kopfformen und -größen, sowie die exakte dauerhafte Positionierung des OEMG-Moduls konnten nicht gewährleistet werden. Ein Verrutschen der OEMG-Elektrode oder ein Kontaktverlust zwischen Elektrode und Muskel führte zu Datenverlusten und Signalqualitätseinbußen. Es kam teilweise zu Verletzungen der Versuchskühe bei zu straffer Anbringung und zu Halfter- und zu Sensorverlusten aufgrund von Materialermüdungen seitens des Halfters. Die Sensortechnik selbst erwies sich als äußerst robust gegenüber den Stallbedingungen.

Die Software ist für Forschungszwecke und geübte Anwender gut geeignet, muss im Hinblick auf mögliche Praxisanwendungen aber noch einfacher gestaltet werden. Zur Weiterentwicklung des Systems auf Analyseebene sind detaillierte tierindividuelle

Untersuchungen der Wiederkau- und Fressphasen notwendig, die im folgenden Kapitel 3.4 dargestellt sind.

Zusammenfassend betrachtet erweist sich das hier beschriebene und für die nachfolgenden Versuche eingesetzte OEMG-Sensorsystem mit dem beschriebenen Stand der Entwicklung als grundsätzlich gut geeignet für die Erfassung der Kaumuskelaktivität und der damit möglichen Analyse des Fress- und Wiederkauverhaltens. Die Schwierigkeiten dieses Systems ergeben sich aus der Signalkomplexität, die perspektivisch aber quantitativ und qualitativ mehr Analyse- und Bewertungsmöglichkeiten bietet als gängige Sensorsysteme und der dauerhaften nicht-invasiven Applikation des Sensors am Tier.

Aufgrund der oben genannten Schwierigkeiten der kontinuierlichen Signalgewinnung erfolgte die Auswahl der zu analysierenden Daten sorgfältig und nach strengen Kriterien.

### **3.4 Detailanalyse von OEMG-Sensorsignalen**

Die automatisierte Analyse und Differenzierung der Kauschläge stellt in der sensortechnischen Überwachung ein großes Problem dar. Klar definierte Grenzwerte können aufgrund der großen inter- und intraindividuellen Variabilität in der Fress- und Wiederkauaktivität von Kühen nicht festgelegt werden. Sensorsysteme, die in der Lage sind, das Fress- und Wiederkauverhalten tierindividuell mit ausreichender zeitlicher Auflösung über lange Zeitspannen zu erfassen, müssen im Datenmanagement sowohl die tierindividuellen Variationen berücksichtigen als auch die externen Einflüsse des Haltungs- und Fütterungsregimes mit einbeziehen. Die Bewertung der Veränderungen stellt dabei die größte Herausforderung dar, denn Fress- und Wiederkauaktivitäten werden von vielen verschiedenen Faktoren beeinflusst (DeBoever et al., 1990). Anhand der bisher eingesetzten Systeme, die in Kapitel 3.1 beschrieben wurden, konnten bislang meist nur entweder das Fress- oder das Wiederkauverhalten erfasst und analysiert werden. Schwierigkeiten zeigten sich bislang entweder in der simultanen Erfassung oder in der automatisierten Auswertung beider Verhaltensweisen. Das Zusammenspiel beider Verhaltensweisen ist aber entscheidend, um Aussagen über den Ernährungszustand, der Gesundheit und das Wohlbefinden des Tieres zu treffen. Gerade in den Beziehungen der Verhaltensweisen zueinander steckt das Potenzial, die sensorbasierte Überwachung und die automatisierte Analyse der Verhaltensweisen entscheidend zu verbessern. Zum einen könnte über die unmittelbare Beziehung zwischen Fressverhalten und Futteraufnahme, die aufwendige Erfassung auf quantitativer Ebene (z.B. über Wiegetröge) vermieden werden. Zum anderen könnte über eine enge Beziehung nur zwischen den Verhaltensweisen die Sensortechnik vereinfacht werden. Je nach technischer Ausrichtung des Systems könnte man entweder das Fress- ODER das Wiederkauverhalten erfassen.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war eine Detailanalyse von kontinuierlich erfassten OEMG-Signalen (Beschreibung des Sensorsystems, Kapitel 3.3) zur Bestimmung der Kaumuskelaktivität vorzunehmen und die Verhaltensweisen Fressen und Wiederkauen in Beziehung zueinander zu setzen. Dabei erfolgen zunächst eine qualitative Beschreibung der OEMG-Signale im Zusammenhang mit der Kaumuskelaktivität und eine Klassifizierung in Fress- und Wiederkauaktivitäten. Des Weiteren wird untersucht, ob bei der Analyse des Wiederkauverhaltens ebenfalls mathematische Modelle ähnlich dem Mahlzeitenkriterium (Tolkamp et al., 1998) sinnvoll genutzt werden können. Derzeit

finden sich in der Literatur dazu keine Angaben. Mit Hilfe von tierindividuellen Tagesprofilen werden die Zusammenhänge zwischen Futteraufnahme, Fress- und Wiederkauverhalten untersucht und bewertet. Des Weiteren wird der zeitliche Tagesverlauf der o.g. Verhaltensweisen mit dem Aktivitäts- und Ruheverhalten verglichen. Dafür wurden zusätzlich Pedometer eingesetzt, da diese das Aktivitäts- und Ruheverhalten der Kühe erfassen. Ziel war hier die Untersuchung des Wiederkauverhaltens im Verhältnis zu den Aktivitäts- und Ruhephasen der Kühe.

### 3.4.1 Tiere, Material und Methoden

#### Tiere

Die Untersuchungen wurden in der Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt, Zentrum für Tierhaltung und Technik, Iden durchgeführt. Der Versuch fand vom 05.06.- 30.06.2012 statt. Dabei wurden 17 Kühe der zweiten Laktation mit dem Sensorsystem ausgestattet. Versuchskühe waren gesunde und multipare Deutsche Holstein Friesian zwischen dem 45. und 105. Laktationstag. Der Liegeboxenlaufstall beinhaltet eine Einzelfutterstrecke (EFS) aus Wiegetrögen (LFL Bayern) zur Einzeltierfütterung. Das Tier-Fressplatz-Verhältnis betrug 2:1. Die Futtervorlage erfolgte um 8:00 und um 13:00 Uhr und erlaubte eine ad libitum-Aufnahme, die tägliche Säuberung der Tröge erfolgte zwischen 7.00-8.00 Uhr. Die eigenen Untersuchungen erfolgten innerhalb eines Versuches der LLG, in dem entweder Luzerneheu aus technischer Trocknung zur Verbesserung der Strukturwirksamkeit oder eine vergleichbare Menge an gehäckseltem Stroh und Sojaextraktionsschrot (SES) zu etwa gleichen Anteilen in der TMR zum Einsatz kamen.

Die TMR wies einen durchschnittlichen Energiegehalt von 7,09 MJ NEL/kg TS für das Luzerneheu und 7,13 MJ NEL/kg TS für Stroh plus SES auf. Der Rohfasergehalt lag innerhalb des Versuchszeitraums bei 15,45 % für Luzerneheu und 15,6 % für Stroh plus SES. Der Rohproteingehalt der Ration lag im Mittelwert bei 16,03 % für Luzerneheu und 16,0 % für Stroh plus SES. Die Tiere wurden dreimal pro Tag gemolken, um 4:00, 12:00 und 20:00 Uhr. Die Milchmenge und die Milch Inhaltsstoffe wurden wöchentlich ermittelt. Die tägliche Milchleistung aller Kühe lag im gesamten Versuchszeitraum bei  $44,9 \pm 0,4$  kg/Tag bei Luzerneheu und  $44 \pm 0,4$  kg/Tag für Stroh plus SES mit einem Fettgehalt von  $3,98 \pm 0,04$  % bei Luzerneheu und  $4,02 \pm 0,04$  % für Stroh plus SES. Der Eiweißgehalt betrug  $3,22 \pm 0,02$  % bei Luzerneheu und  $3,23 \pm 0,02$  % für Stroh plus SES.

Die Analyse des Futteraufnahmeverhaltens der Einzeltiere erfolgte über Einzelfressplätze mit elektronischer Tiererkennung.

### **Datenerfassung**

Die Erfassung der Wiederkauaktivität erfolgte elektromyografisch mit Hilfe des in Kapitel 3.3 in der Entwicklung befindlichen Systems (Kaufmann und Wobschall, 2014). Die Erfassung der tierindividuellen Futteraufnahme erfolgte über die automatischen Wiegetröge, sodass von allen Versuchskühen die täglichen Daten der Futteraufnahme vorlagen, was eine genaue Signalzuordnung des OEMG-Signals zum Fressen ermöglichte. Die Bestimmung des Liege- und Aktivitätsverhaltens erfolgte über ALT-Pedometer (IB Holz). Dabei werden die Aktivitäten in der Software vom Hersteller als „Steps“ ausgegeben. Konkret handelt es sich hier um Bewegungsimpulse, die Schritten gleichgesetzt werden. Letztlich ist es ein dimensionsloser Wert. Für die Auswertung war vor allem das Liegeverhalten entscheidend, welches über den Lagesensor des Pedometers erfasst wurde.

### **Datenanalyse**

Für die Auswertung der Daten wurden aus dem Versuch in Iden insgesamt 11 gesunde und multipare Kühe ausgewählt werden, bei denen lückenlose qualitativ hochwertige Daten vorlagen. Die Datenauswertung erfolgt mit der Software LabVIEW (National Instruments) und TurboLab V 5.0 (Sparrer & Bühler GbR).

Der Abgleich der OEMG-Sensordaten mit der Verhaltensweise Wiederkauen wurde während des Projekts validiert (Video- und Direktbeobachtung), sodass hier kein zusätzlicher Abgleich mit anderen Messsystemen mehr nötig war. Dies bestätigt auch die Untersuchung von Büchel (2013). Für die Analyse des Fressverhaltens wurden die automatischen Wiegetröge der LLG Iden verwendet, da hier die Validierung des eigenen Sensorsystems noch nicht ausreichend erfolgt war und die automatische Datenanalyse noch nicht die entsprechende Genauigkeit aufwies. Anhand der Wiegetrogdaten konnten die Daten zeitlich direkt mit den Sensordaten abgeglichen und in Bezug zur Futteraufnahme gesetzt werden.

In die Analyse flossen dabei nur Besuche am Wiegetrog ein, bei denen folgende Kriterien erfüllt wurden:

- Futterraufnahme (kg TM) > 0,05 kg
- Fresszeit > 30 s
- Fressgeschwindigkeit > 100 g TM min<sup>-1</sup> und < 600 g TM min<sup>-1</sup>

Zur Erhöhung der Datenbasis und der Stichprobe wurden für jedes Tier zwei bis drei Tage in Folge ausgewertet.

Folgende Merkmale des Wiederkauverhaltens wurden analysiert:

- Gesamtwiederkauzeit pro Tag (h)
- Anzahl der einzelnen Wiederkauzyklen pro Tag
- Dauer der einzelnen Wiederkauzyklen pro Tag
- Dauer der Abstände (Pause) zwischen den einzelnen Kauaktivitäten
- Wiederkauperioden pro Tag
- Anzahl/Frequenz der Signalausschläge (Peaks) pro Zyklus, (stichprobenartig ca. 25 % der Zyklen)
- Anzahl der Wiederkauperioden nach einer Mahlzeit
- Dauer der Wiederkauperioden nach einer Mahlzeit
- Pausen zwischen Ende einer Wiederkauperiode und Beginn der folgenden Mahlzeit

Folgende Merkmale des Fressverhaltens wurden analysiert:

- Gesamtfresszeit pro Tag (h)
- Futterraufnahme pro Tag (kg TM)
- Anzahl Mahlzeiten pro Tag
- mittlere Mahlzeitendauer pro Tag (min)
- mittlere aufgenommene Futtermenge pro Mahlzeit (kg TM)
- Fressgeschwindigkeit (g TM min<sup>-1</sup>)
- Anzahl Mahlzeiten vor der nachfolgenden Wiederkauperiode
- Aufgenommene Futtermenge vor der nachfolgenden Wiederkauperiode
- Pausen zwischen Ende einer Mahlzeit und Beginn der folgenden Wiederkauperiode

Folgende Parameter des Aktivitäts- und Ruheverhaltens wurden ausgewertet:

- Bewegungsimpulse pro Tag
- Bewegungsimpulse pro Tagesstunde (24 h)
- Gesamtliegezeit (Brust-und Bauchlage zusammen) pro Tag
- Liegezeit (Brust-und Bauchlage zusammen) pro Tagesstunde (24 h)

Die statistische Analyse wurde in folgenden Schritten vorgenommen:

1. Deskriptive Statistik: Mittelwert, Standardfehler, Standardabweichung, Varianz, Variationskoeffizient, Minimum, Maximum, Summe, N
2. Test auf Normalverteilung nach Shapiro-Wilks/Kolmogorov-Smirnov

Dabei wurden die Signifikanzschranken nach Lozàn und Kausch (2007) und Sachs (1999) wie folgt definiert:

- p-Wert  $\leq 0,001$ : hoch signifikant \*\*\*
- p-Wert  $\leq 0,01$ : signifikant \*\*
- p-Wert  $\leq 0,05$ : knapp signifikant \*
- p-Wert  $> 0,05$ : nicht signifikant

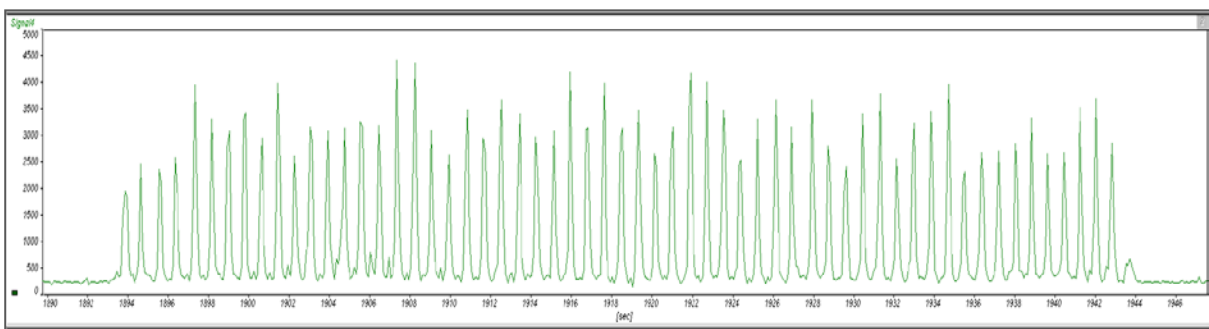
Die Berechnung der Korrelationen der einzelnen Merkmale erfolgte mit Hilfe des Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman ( $r$ ), da er wesentlich weniger von Ausreißern und Extremwerten beeinflusst wird als der Pearson Korrelationskoeffizienten (Saurwein und Hönekopp, 1992). Für die Regressionsanalyse wurde je nach Ergebnis des Verteilungstests ein parametrischer Ansatz gewählt (einfache Regressionsanalyse, Signifikanzlevel 0,05, Angabe von  $R^2$ ) oder ein nicht-parametrischer Ansatz (Theil-Sen-Methode, Signifikanzlevel 0,05, Angabe von Kendalls Tau).

### **3.4.2 Ergebnisse: Detailanalyse der Sensorsignale**

Im folgenden Abschnitt werden die EMG-Signalmuster für die Verhaltensweisen Wiederkauen und Fressen dargestellt und charakterisiert.

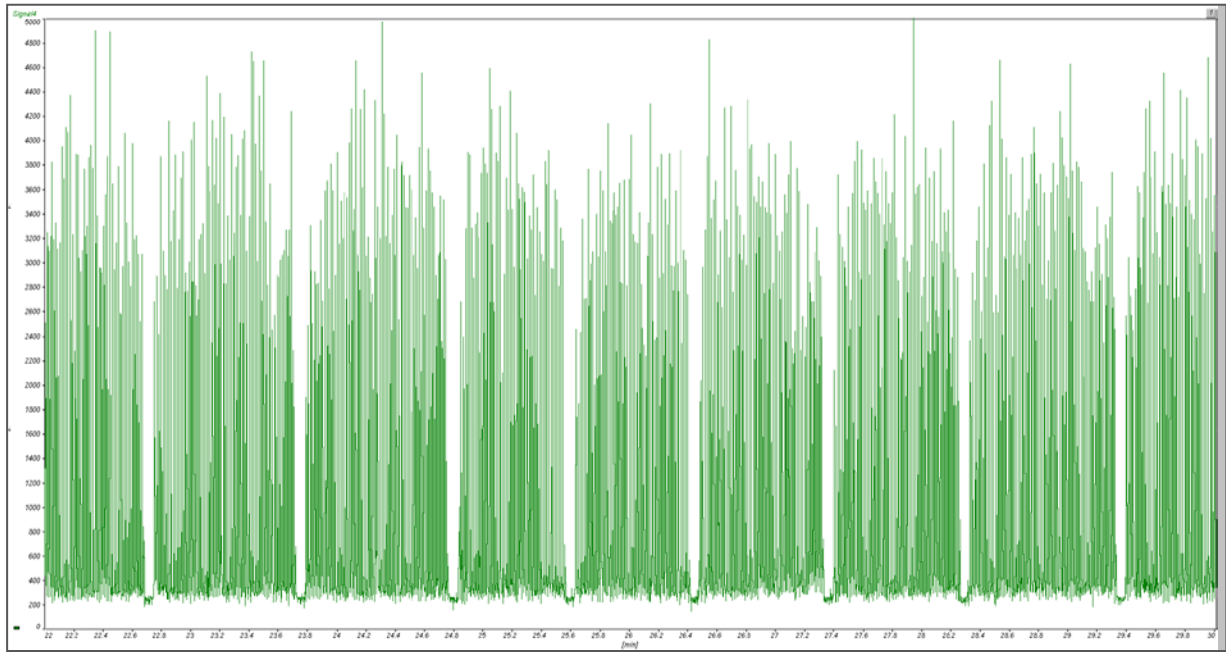
### Wiederkauen

Folgende Abbildung 24 bis Abbildung 25 zeigen beispielhaft typische EMG-Signalmuster beim Wiederkauen. Dieses ist charakterisiert durch wiederholt auftretende Wiederkauzyklen diskreter Dauer, die das Heraufwürgen eines Bolus, das Wiederkauen des Bolus und das Herabschlucken des Bolus und dem erneuten Heraufwürgen eines weiteren Bolus beinhalten. Dabei zeigt sich eine deutliche Regelmäßigkeit in der Dauer der einzelnen Zyklen und der dazwischenliegenden Pausen, die aber auch innerhalb eines Tieres und zwischen den Tieren variieren kann. Die Wiederkaumuster zeigen sich bei allen Tieren gleichermaßen. Die Darstellung der Wiederkaumuster erfolgt als Screenshot des Analyseprogramms TurboLab. Abbildung 24 zeigt einen einzelnen Zyklus mit der davor-und danach folgenden Pause. Abbildung 25 zeigt einen Ausschnitt aus einer Wiederkauperiode.



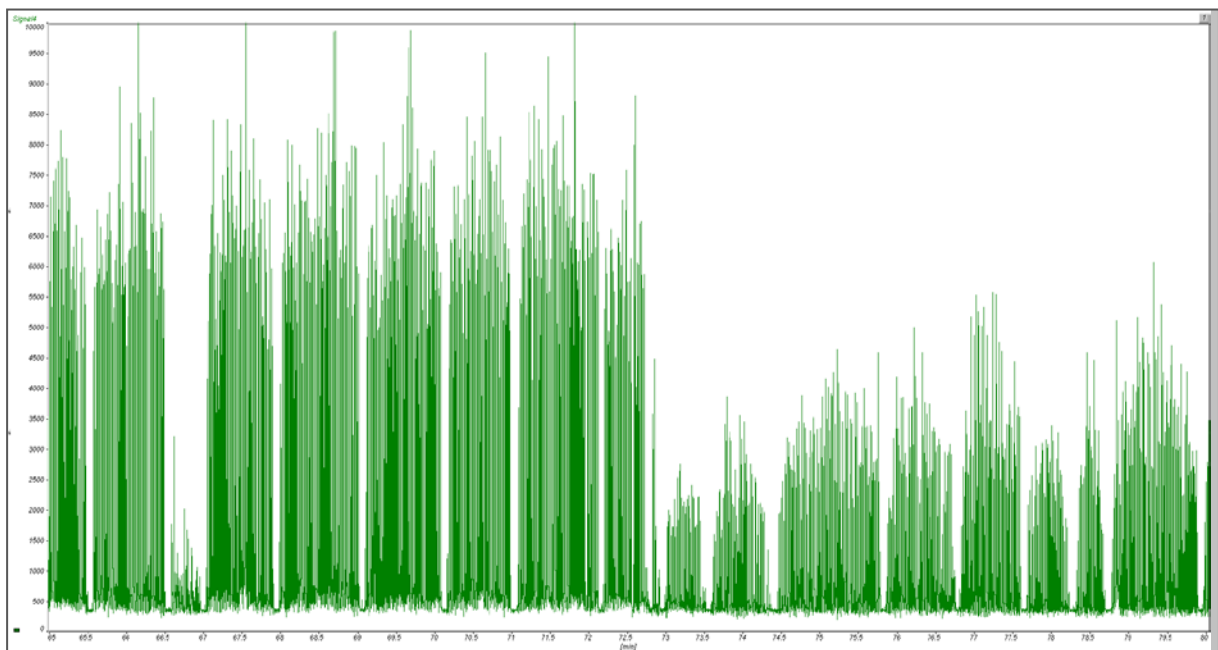
**Abbildung 24:** Ein Wiederkauzyklus mit der Pause zu Beginn (Heraufwürgen eines Bolus) und der Pause zum Ende (Abschlucken des Bolus)





**Abbildung 25:** Ausschnitt aus einer Wiederkauperiode mit mehreren Wiederkauzyklen

Wie die Abbildungen zeigen, weisen die Dauern der Wiederkauzyklen, sowie die dazwischenliegenden Pausen zum Heraufwürgen und Abschlucken diskrete Zeiteinheiten auf. Diese zeigen eine gewisse Varianz innerhalb eines Tieres als auch zwischen verschiedenen Tieren. Innerhalb eines Wiederkauzyklus erkennt man einzelne Singalausschläge (Peaks), die die Muskelaktivität wiedergeben. Abbildung 26 zeigt ein Wiederkaumuster mit wechselnden Signalintensitäten beim Wiederkauen.

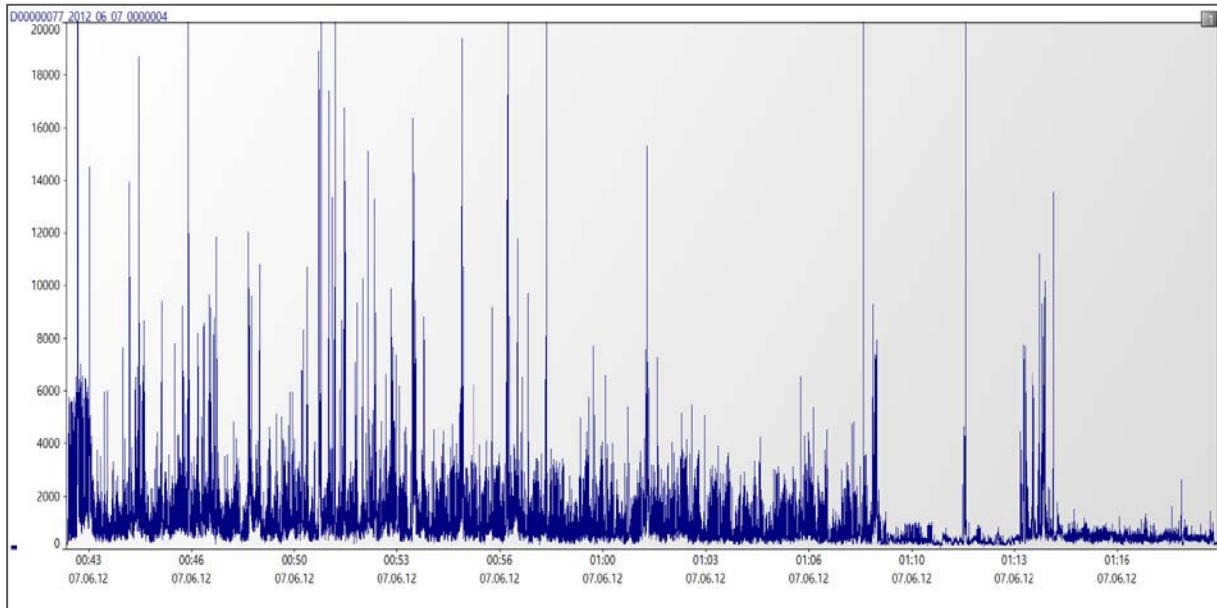


**Abbildung 26:** Ausschnitt aus einer Wiederkauperiode mit wechselndem Muster (Intensität und Dauer)

Es zeigt sich deutlich, dass die Intensität des OEMG-Signals dabei stark variieren kann, was auf verschiedene Einflüsse zurückzuführen ist, wie z.B. Anpressdruck der Elektroden auf der Haut, Veränderung der Leitfähigkeit durch Verschmutzung/Schweißbildung unter den Elektroden, Veränderung der Messposition durch Verrutschen des Halfters oder Veränderung der Kauintensität des Tieres.

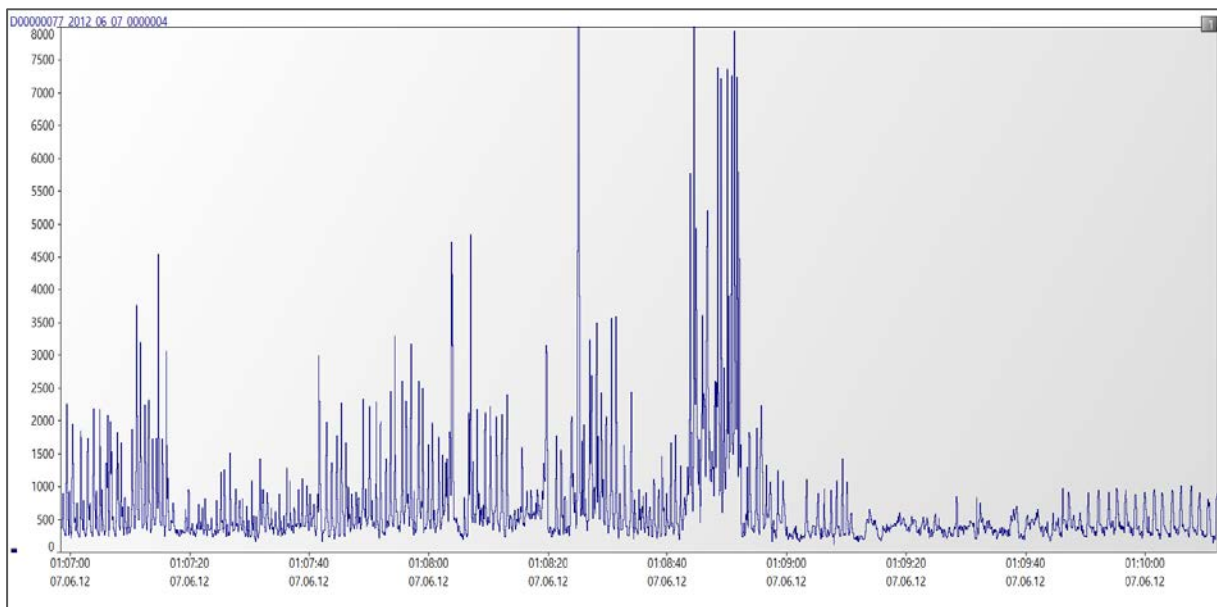
### **Detailanalyse des Fressverhaltens**

Das Fressmuster ist charakterisiert durch eine wesentlich größere Unregelmäßigkeit als das Wiederkaumuster. Pausen sind hier durch Fressplatzwechsel zu verzeichnen, die aber keiner Regelmäßigkeit folgen. Veränderungen in Signalintensität und –muster treten hier durch typische Verhaltensweisen wie das Wühlen, Sortieren und Schieben des Futters auf. Im Vergleich zu den Daten der Wiegetröge sind hier oft längere Fresszeiten zu erkennen, da die Kühe auch wenn sie den Trog bereits verlassen haben noch weiterkauen. Die Betrachtung des Fressverhaltens und die Beschreibung der zugehörigen Signalmuster unter Berücksichtigung der Wiegetrogdaten und der Verhaltensprotokolle ermöglichen im Sinne verschiedener Verhaltensweisen eine weitaus bessere Differenzierung als die reine Tiererfassung am Fressgitter. Gleichzeitig stellt diese Variabilität der Verhaltensweisen die größte Herausforderung für die Entwicklung von Algorithmen zur automatischen Analyse dar. Die Darstellung der Fressmuster erfolgt jeweils als Screenshot des Analyseprogramms TurboLab. Dabei ähneln sich die Muster bei allen betrachteten Kühen. Folgende Abbildung 27 und Abbildung 28 zeigen beispielhaft typische OEMG-Signalmuster beim Fressen, abgeglichen mit den Wiegetrogdaten.



**Abbildung 27:** Ausschnitt aus einer Fresssequenz über ca. 30 min

Diese Muster lassen sich weiter differenzieren in verschiedene Verhaltensweisen beim Fressen. Wie beim Wiederkauen sind in der Auflösung einzelne Kauaktivitäten erkennbar, allerdings ohne ein gleichmäßiges Muster in Signalintensität und zeitlichem Abstand (Abbildung 28).

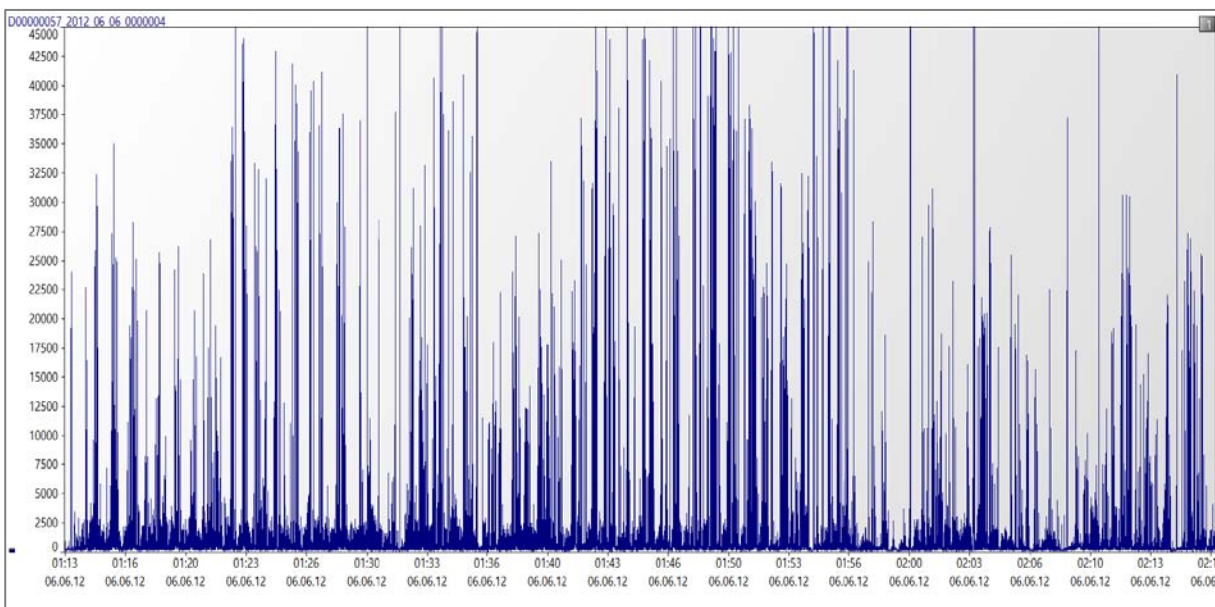


**Abbildung 28:** Ausschnitt aus einer Fresssequenz (Abbildung 27), Zeitfenster ca. 3 min

Die in Abbildung 28 zu erkennenden Veränderungen in Signalintensität und Zeitabständen sind typisch für das Fressmuster und treten bei allen Kühen auf. Direkte Beobachtung der Kühe beim Fressen zeigen unterschiedliche Kauintensitäten und

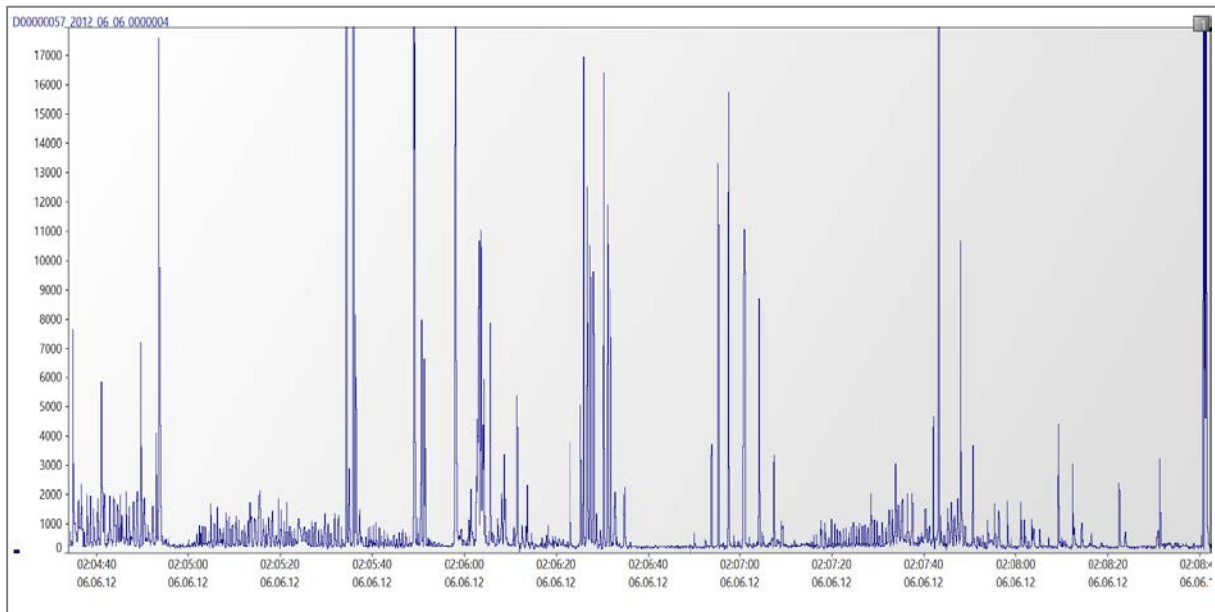
Maulaktivitäten, die sich auch im Signal zeigen. Dabei weisen direkte Kauaktivitäten beim Kauen eines Bissens größere Signalintensitäten auf als die anderen für das Fressen typische Verhaltensweisen. Die Untersuchung des Einflusses der Verhaltensweisen Wühlen, Schieben und Sortieren im Hinblick auf das Signalmuster ist Ziel weiterer Forschungsarbeiten, reduzieren sie doch die reine Fresszeit mit Futteraufnahme und beeinflussen damit die Schätzung der tatsächlichen Futteraufnahme.

Abbildung 29 zeigt eine Mahlzeit einer Kuh, ermittelt über die Tiererkennung am Wiegetrog. Diese Mahlzeit setzte sich in Summe aus neun einzelnen Besuchen an verschiedenen Trögen zusammen mit Pausen zwischen den einzelnen Besuchen von 11 s bis zu 4 min.



**Abbildung 29:** OEMG-Signalmuster einer Mahlzeit

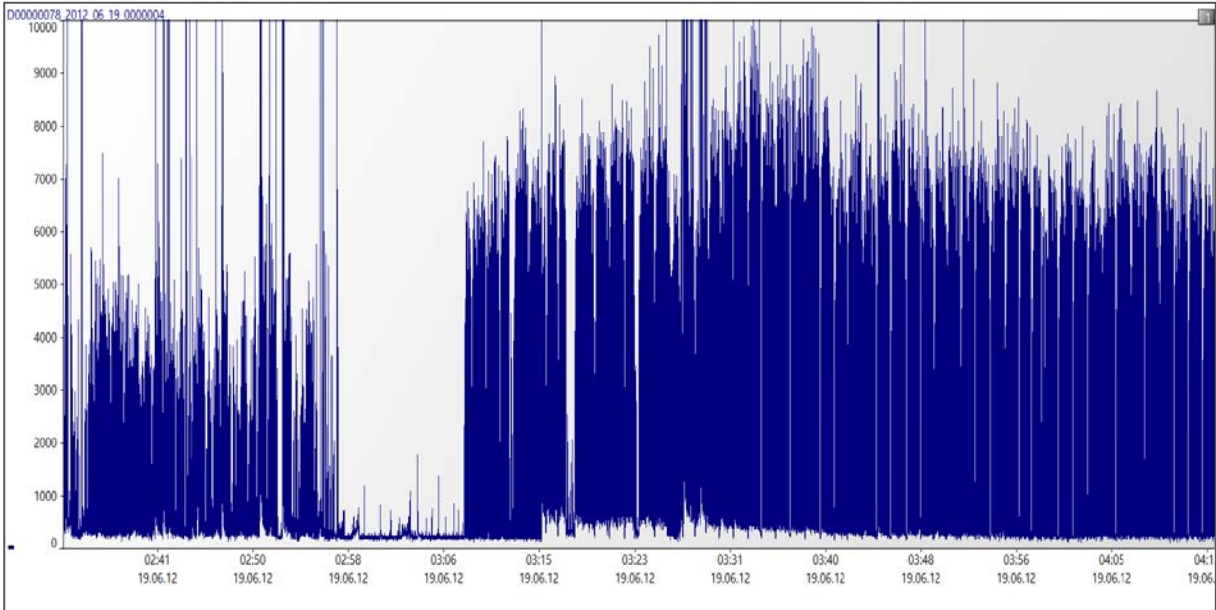
Auf ersten Blick lassen sich keine Pausen bei Platzwechsel oder Rückzug aus dem Trog im OEMG-Signal erkennen. Daher wurde für die folgende Abbildung 30 ein Ausschnitt der Mahlzeit gewählt, die laut Erfassung am Wiegetrog eine Pause von 4 min (02:04:37-02:08:37) beinhaltet. Sollte in diesem Zeitraum keine Kauaktivität stattfinden, sollte in diesem Zeitraum auch keine Aktivität im OEMG-Signal erkennbar sein.



**Abbildung 30:** OEMG-Signalmuster beim Trogwechsel über 4 min Dauer

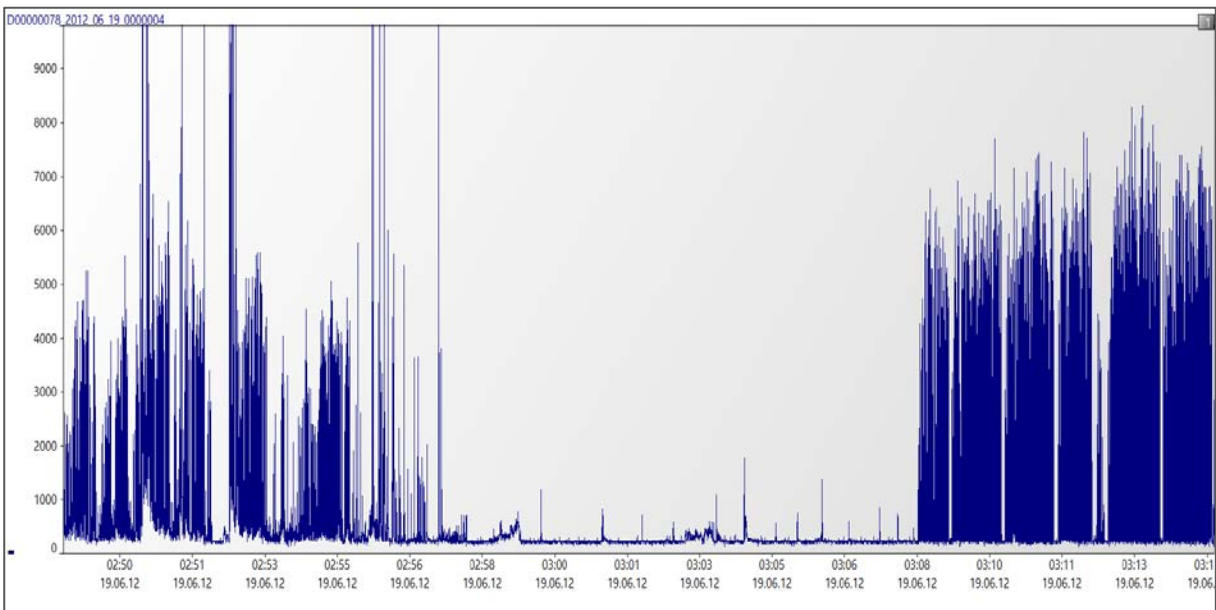
Die Abbildung 30 zeigt deutliche Maulaktivitäten trotz der laut Tiererkennung am Wiegetrog verzeichneten Fresspause. Das heißt, dass in diesem Zeitraum weiterhin Kauaktivität stattfand zum Kauen des aufgenommenen Bissens. Die reine Fresszeit wird daher anhand der Wiegetrogdaten in diesem Fall unterschätzt.

Dies ist allerdings nicht die einzige Ungenauigkeit, die bei der Erfassung der Fresszeit über RFID-basierte Systeme auftritt. So konnten während der Fresszeiten am Wiegetrog auch andere Verhaltensweisen wie das Wiederkauen oder einfach Nichtstun über die Erfassung der Maulaktivität erkannt werden. Abbildung 31 zeigt eine „Futteraufnahme“ über den Wiegetrog ermittelt. Innerhalb der Fresszeit von 01:35:30 h wurden 1,43 kg Trockenmasse aufgenommen, was einer Fressgeschwindigkeit von 14,73 g TM min<sup>-1</sup> entspricht.



**Abbildung 31:** OEMG-Signal beim Fressen, Fresszeit ermittelt über den Wiegetrog

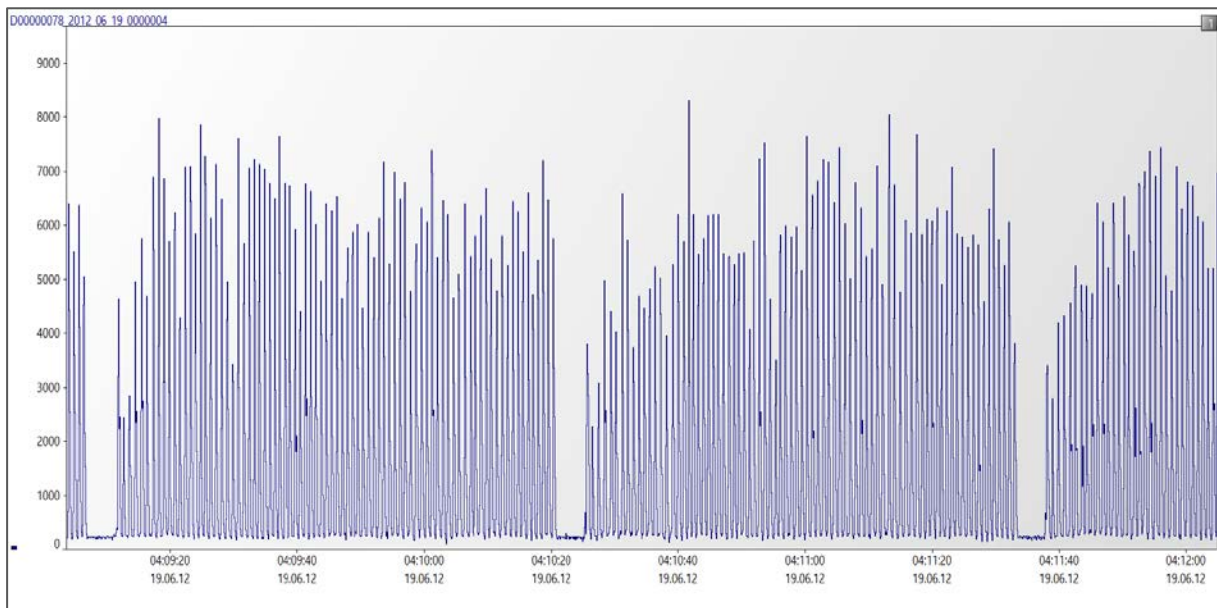
Die Abbildung 31 zeigt deutlich, dass während der erfassten Zeit im Wiegetrog die Kuh nach einer Fressphase mit dem Wiederkauen um 03:08:20 Uhr beginnt. In der Vergrößerung bestätigt sich dieses Verhalten (Abbildung 32). Nach einer Pause von ca. 9 min beginnt die Kuh nach der Futteraufnahme mit dem Wiederkauen. Die reine Fresszeit reduziert sich damit auf 00:32:58 min, was einer Fressgeschwindigkeit von 43,37 g TM min<sup>-1</sup> entspricht.



**Abbildung 32:** Vergrößerung der Abbildung 31, Fresszeit ermittelt über den Wiegetrog



Laut Erfassung am Wiegetrog hat die Kuh den Trog um 04:10:52 Uhr verlassen. Dies scheint sich nicht auf das Wiederkauen auszuwirken, wie Abbildung 33 zeigt. Trotzdem die Kuh den Wiegetrog verlassen hat, findet weiterhin unbeeinflusst das Wiederkauen (im Stehen oder Gehen) statt. Die Maulaktivität ist also unabhängig vom Aktivitätsverhalten der Kuh. Ähnliches zeigte sich bereits bei der Futteraufnahme. So ist in Abbildung 33 zu sehen, dass die Wiederkauaktivität unbeeinträchtigt vom Fressplatzwechsel ist.



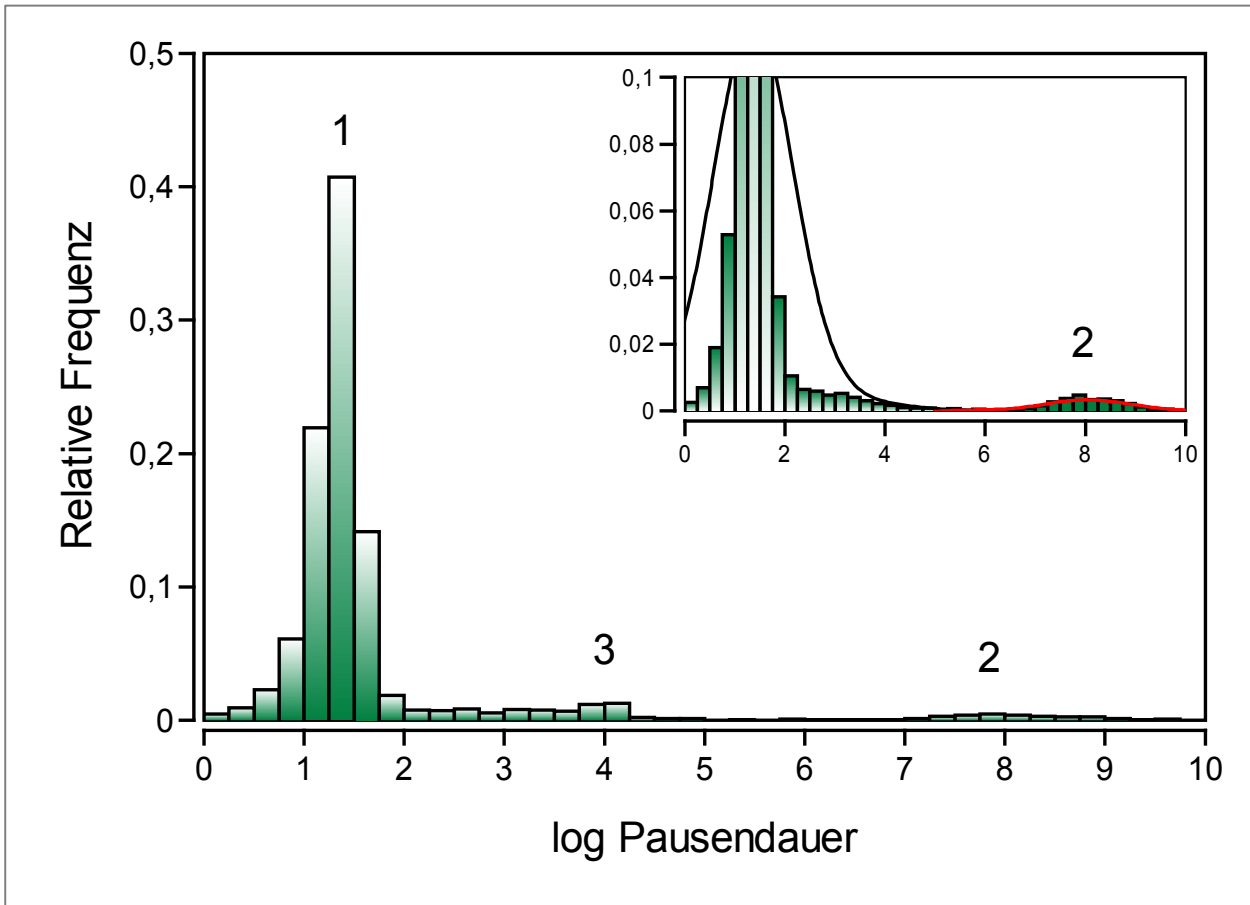
**Abbildung 33:** Wiederkauaktivität beim Verlassen des Wiegetrogs, Zeit ermittelt über den Wiegetrog

Nach der Detailanalyse der EMG-Signalmuster des Fress- und Wiederkauverhaltens folgt die Darstellung der untersuchten Beziehungen zwischen Fress- und Wiederkauverhalten.

### 3.4.3 Ergebnisse: Merkmale des Fress- und des Wiederkauverhaltens

Zunächst folgen die Ergebnisse der Analyse des Wiederkauverhaltens, ermittelt über die OEMG-Sensorsignale. Um festzustellen, ob die Möglichkeit besteht, anhand der Pausen ein Kriterium ähnlich dem Mahlzeitenkriterium für das Wiederkauen zu bilden, wurden von den 11 Kühen alle Pausen zwischen den Kauaktivitäten ausgewertet und die Anzahl und Dauer der Wiederkauzyklen bestimmt. Die relative Häufigkeit der Pausen wurden nach dem gleichen Ansatz wie für das Mahlzeitenkriterium nach Tolkamp et al. (1998) halblogarithmisch abgebildet (Abbildung 34). Dabei ergeben sich visuell betrachtet drei Verteilungen. Eine entspricht den kleinen kurzen Pausen zwischen den einzelnen Kauaktivitäten (Pausen I. Ordnung) innerhalb einer Wiederkauperiode, zwei entsprechen

den längeren Pausen zwischen einzelnen Wiederkauperioden (Pausen II. Ordnung). Die erste Verteilung ist dabei durch die viel größere Datenmenge (N = 300-500 pro Tag und Tier) so stark ausgeprägt, dass man die zweite und dritte Verteilung (N = 10-50 pro Tag und Tier) nur leicht erkennen kann.



**Abbildung 34:** Relative Häufigkeitsverteilung der log - transformierten Pausen zwischen den einzelnen Wiederkauaktivitäten, inklusive Vergrößerung, Klassenbreite 0,25

Der Schnittpunkt der Verteilungen 1 und 2 (Anpassung Local Polynomial Regression, Gaussian, Klassenbreite 0,25) ergibt eine Pausendauer von 257,2 s (4,29 min). Diese Dauer (Wiederkaukriterium) wurde für die nachfolgenden Auswertungen verwendet. Sie stellt den minimalsten zeitlichen Abstand dar, der eine Wiederkauperiode von der nächsten trennt. Unterhalb der Verteilung 1 kann auch eine weitere Verteilung (3) vermutet werden, die ggf. den längsten zeitlichen Abstand zwischen zwei Wiederkauzyklen darstellen könnte (optisch ermittelt: 11,02 s), dafür liegen aber zu wenige Daten vor, bzw. die Überlagerung durch die erste Verteilung macht eine genauere Betrachtung/Differenzierung unmöglich. Die Tabelle 17 bis Tabelle 18 zeigen die



Merkmale des Wiederkauverhaltens. Die tierindividuellen Werte sind im Anhang (7.2.3) aufgeführt.

**Tabelle 17:** Merkmale des Wiederkauverhaltens: Anzahl und Dauer der Wiederkauzyklen pro Tag, Pausendauer I und II

<b>Tier</b>	<b>N Wiederkauzyklen</b>	<b>D Wiederkauzyklen (s)</b>	<b>D Pausen I (s)</b>	<b>D Pausen II (min)</b>
<b>1</b>	389,33 ± 27,10	54,29 ± 23,89	4,94 ± 7,13	113,35 ± 73,38
<b>2</b>	643,33 ± 36,02	47,76 ± 5,50	6,44 ± 13,13	69,27 ± 41,62
<b>3</b>	562,67 ± 4,73	59,73 ± 6,91	4,99 ± 3,17	52,57 ± 31,08
<b>4</b>	520,67 ± 4,04	60,14 ± 8,27	5,70 ± 11,67	65,67 ± 40,24
<b>5</b>	458,67 ± 85,92	59,50 ± 16,78	4,23 ± 7,38	60,51 ± 56,32
<b>6</b>	519,67 ± 11,84	57,85 ± 6,81	4,70 ± 8,43	61,03 ± 40,87
<b>7</b>	507,33 ± 19,04	64,16 ± 9,97	4,12 ± 6,90	60,99 ± 42,18
<b>8</b>	559,33 ± 23,80	56,72 ± 5,73	4,71 ± 8,70	48,65 ± 31,95
<b>9</b>	506,00 ± 1,41	62,90 ± 7,65	4,53 ± 5,21	56,90 ± 37,96
<b>10</b>	560,00 ± 44,23	51,93 ± 5,27	4,42 ± 5,91	56,96 ± 37,96
<b>11</b>	470,67 ± 100,20	57,84 ± 6,82	5,00 ± 8,22	63,25 ± 50,60

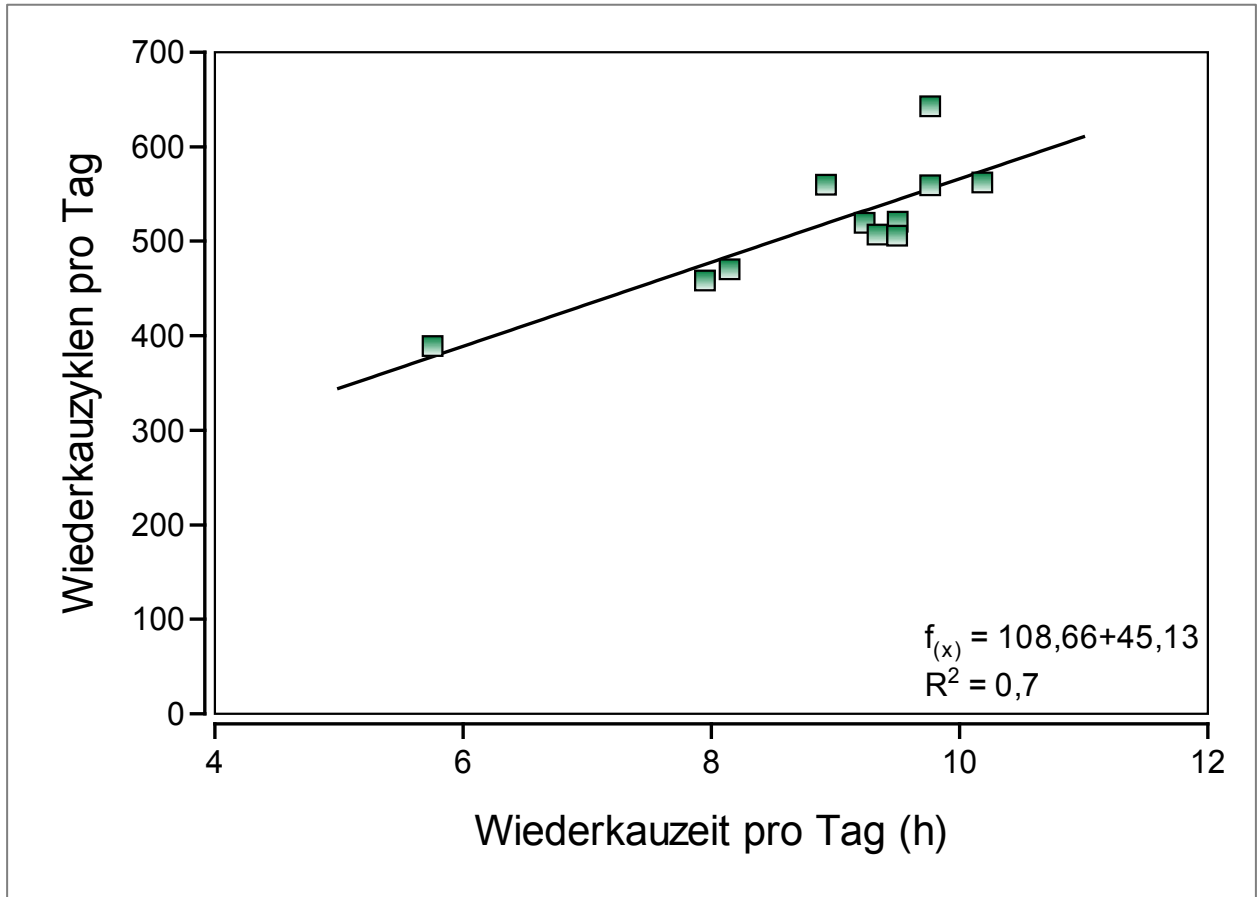
Pausendauer I = mittlere Pausendauer zwischen den Zyklen einer Periode, Pausendauer II = mittlere Pausendauer zwischen den Wiederkauphasen

Im Mittel ergeben sich pro Kuh und Tag  $518,34 \pm 75,38$  Wiederkauzyklen mit einer durchschnittlichen Dauer von  $57,31 \pm 5,34$  s und einem Abstand zwischen den einzelnen Kauaktivitäten von  $4,91 \pm 0,83$  s innerhalb einer Wiederkauperiode (Pausen I. Ordnung) und  $67,72 \pm 19,90$  min zwischen den Perioden (Pausen II. Ordnung).

**Tabelle 18:** Merkmale des Wiederkauverhaltens: Wiederkauzeit und Wiederkauperioden pro Tag und Dauer der Wiederkauperioden

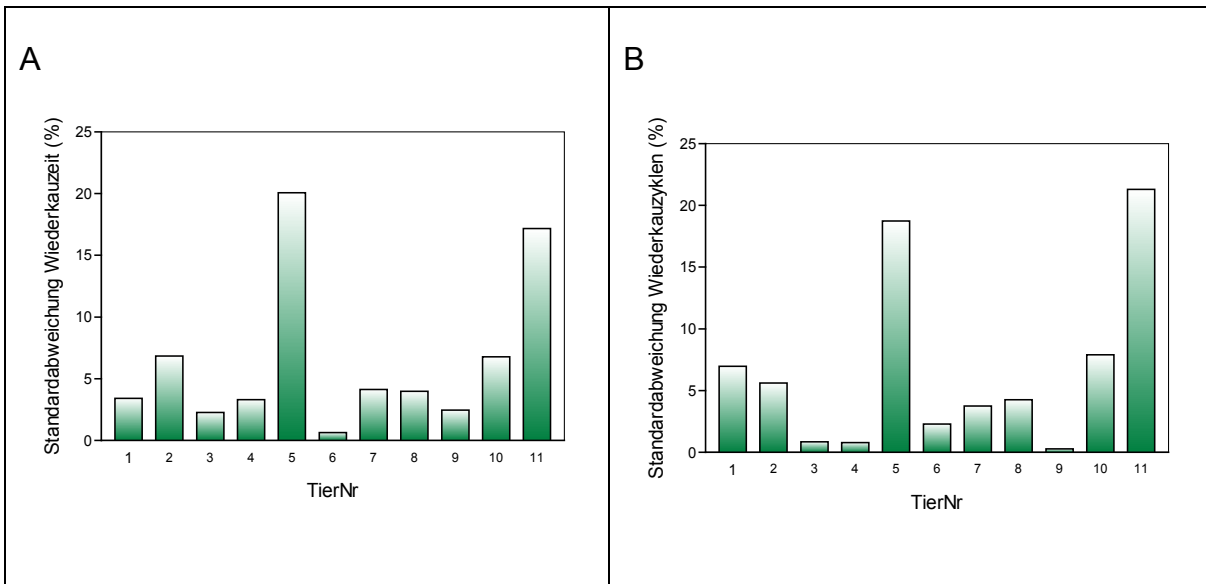
<b>Tier</b>	<b>Wiederkauzeit/Tag (h)</b>	<b>N Wiederkauperioden /Tag</b>	<b>D Wiederkauperioden (min)</b>
<b>1</b>	5,75 ± 0,29	11,67 ± 3,06	31,30 ± 7,19
<b>2</b>	9,76 ± 0,67	13,00 ± 1,00	45,05 ± 21,39
<b>3</b>	10,18 ± 0,23	16,33 ± 0,58	37,40 ± 21,17
<b>4</b>	9,50 ± 0,29	14,00 ± 1,00	40,70 ± 21,14
<b>5</b>	7,95 ± 1,59	16,00 ± 4,58	29,81 ± 17,27
<b>6</b>	9,23 ± 0,19	15,00 ± 2,00	37,69 ± 20,07
<b>7</b>	9,34 ± 0,39	14,67 ± 1,15	38,20 ± 17,51
<b>8</b>	9,76 ± 0,58	15,67 ± 0,58	36,68 ± 16,88
<b>9</b>	9,49 ± 0,23	17,00 ± 0,00	34,99 ± 16,43
<b>10</b>	8,92 ± 0,61	14,67 ± 2,08	36,51 ± 18,79
<b>11</b>	8,14 ± 1,40	15,33 ± 2,52	31,87 ± 14,77

Die gesamte Wiederkauzeit pro Tag beträgt im Mittel  $8,89 \pm 1,37$  h aufgeteilt auf  $14,78 \pm 2,30$  Perioden pro Tag mit einer durchschnittlichen Dauer von  $36,65 \pm 5,42$  min. Dabei korreliert die Anzahl der Zyklen pro Tag signifikant mit der Wiederkauzeit pro Tag. Abbildung 35 zeigt die Anzahl der Wiederkauzyklen pro Tag gegen die gesamte Wiederkauzeit pro Tag in Stunden.



**Abbildung 35:** Parametrische Regression der Anzahl Wiederkauzyklen und der Wiederkauzeit pro Tag

Es zeigt sich eine deutliche Korrelation zwischen der Anzahl Wiederkauzyklen pro Tag und der Wiederkauzeit pro Tag. Der Korrelationskoeffizient ( $R^2$ ) betrug 0,74. Dabei unterliegen sowohl Wiederkauzeit als auch die Anzahl der Wiederkauzyklen der tierindividuellen Variabilität. Die Tiere weisen z.T. eine große Varianz innerhalb der Parameter von Tag zu Tag auf. Dies wird in Abbildung 36 A und B deutlich. Dort ist die Standardabweichung in Prozent vom tierindividuellen Mittelwert der Wiederkauzeit pro Tag aufgetragen. Dabei zeigen drei Kühe eine sehr geringe Standardabweichung mit weniger als 3 % vom Mittelwert, weitere drei Kühe weniger als 5 % und drei weniger als 10 %. Zwei Kühe zeigen eine prozentuale Abweichung größer als 15 % vom tierindividuellen Mittelwert.



**Abbildung 36:** Relative Variation der Standardabweichung der Wiederkauzeit pro Tag (A) und der Wiederkauzyklen pro Tag (B) vom tierindividuellen Mittelwert

### Peakfrequenz zur Ermittlung der Wiederkauintensität

Wie in den vorhergehenden Ergebnissen gezeigt, eignet sich das OEMG-Signal zur Erfassung der Maulaktivität und damit zur Erfassung des Fress- und Wiederkauverhaltens anhand der Signalmuster. Eine wichtige Frage, die sich dabei stellt ist, ob die einzelnen Ausschläge des Signals (Peaks) einen einzelnen Kauschlag darstellen. Es gab einen Ansatz, dies über Video- und Direktbeobachtung zu ermitteln (Storm, 2012). Im Endergebnis ließen sich zwar realistische Frequenzen ermitteln aber die bildgebenden Verfahren ließen die exakte Zuordnung zwischen Signal und Video nicht eindeutig zu. Ein anderer Ansatz wird in dieser Arbeit verfolgt. So wurden hier die Peakfrequenzen während des Wiederkauens für alle Kühe ermittelt. Aufgrund der großen Datenmenge (bis zu 600 Wiederkauzyklen pro Kuh und Tag) wurden randomisiert 25 % aller Wiederkauzyklen je Kuh genutzt für die Bestimmung der Peakfrequenz. Folgende Tabelle 19 zeigt die Ergebnisse der Ermittlung der Peakfrequenz.

**Tabelle 19:** Peakfrequenz beim Wiederkauen

<b>Tier</b>	<b>Peakfrequenz (s<sup>-1</sup>)</b>
<b>1</b>	1,20 ± 0,08
<b>2</b>	1,30 ± 0,08
<b>3</b>	1,23 ± 0,05
<b>4</b>	1,36 ± 0,13
<b>5</b>	1,18 ± 0,07
<b>6</b>	1,45 ± 0,04
<b>7</b>	1,32 ± 0,08
<b>8</b>	1,28 ± 0,09
<b>9</b>	1,24 ± 0,03
<b>10</b>	1,35 ± 0,13
<b>11</b>	1,13 ± 0,05

Es ergibt sich eine mittlere Peakfrequenz von  $1,27 \pm 0,12 \text{ s}^{-1}$  beim Wiederkauen. Die Frequenzermittlung beim Fressen anhand der OEMG-Signale ist ohne eine weitere Differenzierung in echte Kauschläge zur Zerkleinerung des Futters an dieser Stelle nicht sinnvoll, da sich auch andere Maulaktivitäten während des Fressvorgangs im OEMG-Signal, die nicht unmittelbar dem Kauen und Zerkleinern von Futter zuzuordnen sind (Wühlen, Sortieren, Spielen).

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Analyse des Fressverhaltens, ermittelt über die Wiegetröge dargestellt. Die tierindividuellen Werte sind im Anhang (7.2.3) aufgeführt.

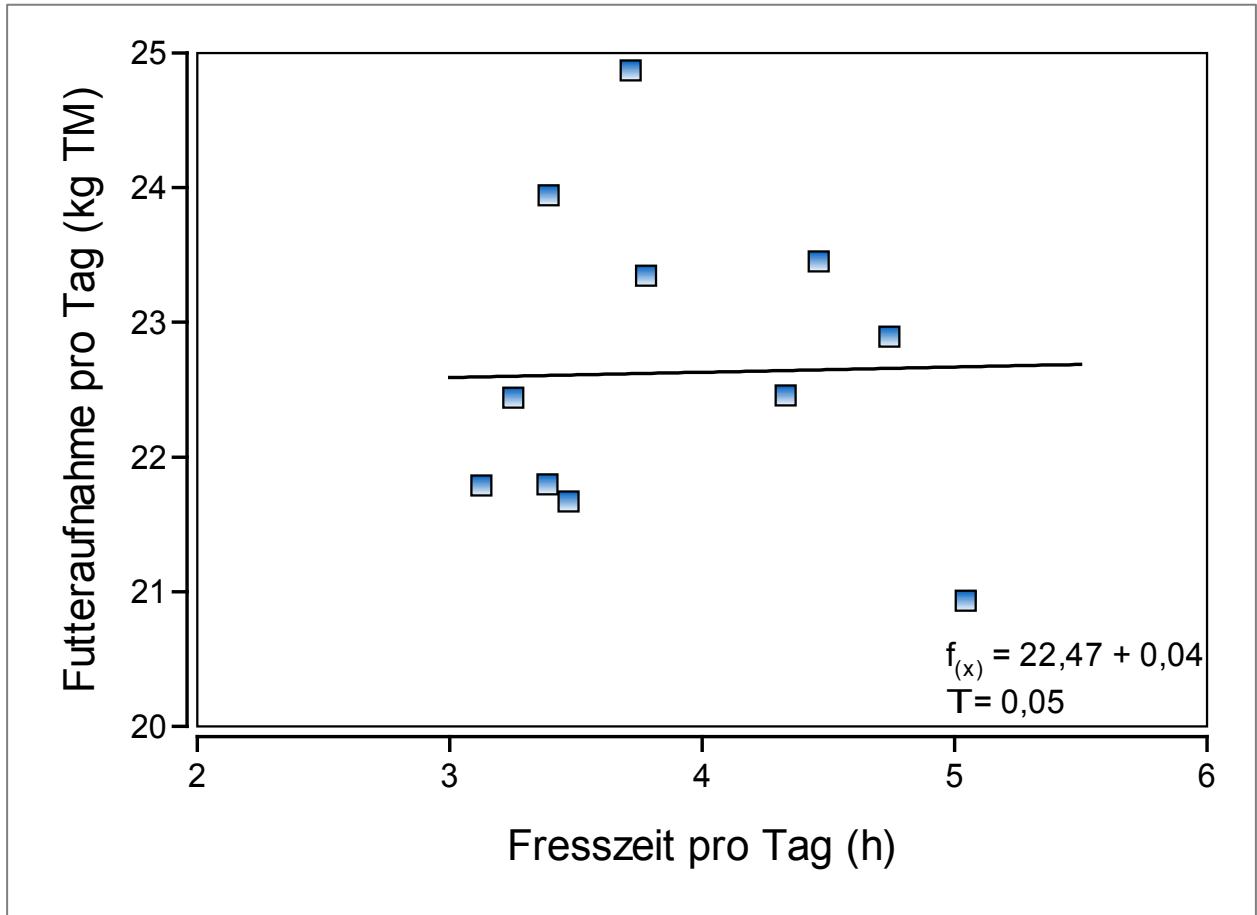
Das ermittelte Mahlzeitenkriterium betrug 20,82 min (ermittelt nach Tolkamp et al., 1998). Die Frequenzermittlung beim Fressen anhand der OEMG-Signale ist ohne eine weitere Differenzierung in echte Kauschläge zur Zerkleinerung des Futters an dieser Stelle nicht sinnvoll, finden sich doch im OEMG-Signal auch die anderen Maulaktivitäten während des Fressvorgangs, die nicht unmittelbar dem Kauen zuzuordnen sind. Die Ergebnisse der Merkmale des Fress- und Wiederkauverhaltens sind in Tabelle 20 zusammengefasst.

**Tabelle 20:** Merkmale des Fressverhaltens: tägliche Fresszeit (h), Mahlzeiten pro Tag, tägliche Futteraufnahme (kg TM), Futteraufnahme pro Mahlzeit (kg TM) und Mahlzeitendauer (min)

<b>Tier</b>	<b>Fresszeit/ Tag (h)</b>	<b>N Mahlzeiten/Tag</b>	<b>Futterauf- nahme/Tag (kg TM)</b>	<b>Futteraufnahme/ Mahlzeit (kg TM)</b>	<b>D Mahlzeiten (min)</b>
<b>1</b>	5,04 ± 0,66	8,67 ± 1,15	20,93 ± 1,41	2,69 ± 0,31	38,47 ± 1,44
<b>2</b>	4,33 ± 0,21	7,00 ± 1,00	22,46 ± 1,98	3,21 ± 2,00	37,12 ± 22,53
<b>3</b>	3,77 ± 0,14	9,00 ± 1,00	23,35 ± 2,46	2,59 ± 1,11	25,25 ± 11,95
<b>4</b>	3,39 ± 0,36	7,00 ± 1,73	23,95 ± 1,82	3,60 ± 2,09	30,46 ± 18,54
<b>5</b>	3,39 ± 0,11	11,00 ± 1,00	21,80 ± 2,46	2,03 ± 1,04	17,92 ± 9,17
<b>6</b>	3,47 ± 0,23	10,00 ± 2,00	21,67 ± 1,19	2,68 ± 1,10	23,96 ± 10,83
<b>7</b>	4,46 ± 0,16	9,00 ± 1,00	23,45 ± 0,30	2,61 ± 1,51	29,73 ± 16,51
<b>8</b>	3,72 ± 0,36	7,67 ± 0,58	24,87 ± 2,30	3,24 ± 1,57	29,08 ± 14,40
<b>9</b>	3,12 ± 0,08	8,00 ± 0,00	21,79 ± 0,32	2,59 ± 1,89	22,45 ± 15,48
<b>10</b>	3,25 ± 0,25	6,33 ± 1,53	22,44 ± 2,58	3,38 ± 2,32	29,34 ± 18,52
<b>11</b>	4,74 ± 0,30	7,67 ± 0,58	22,90 ± 1,04	2,99 ± 1,81	37,08 ± 20,42

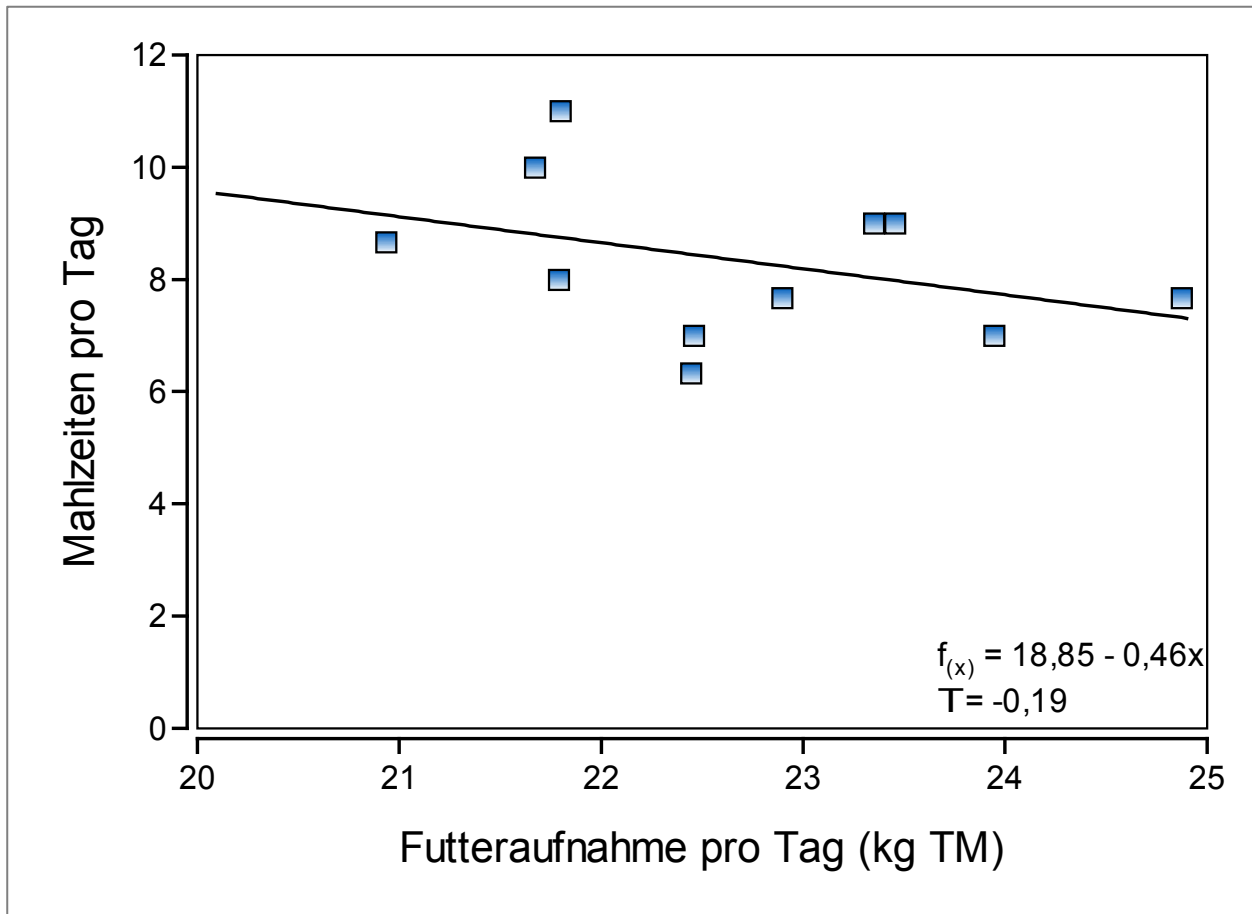
Die durchschnittliche Futteraufnahme pro Tag betrug  $22,69 \pm 1,15$  kg TM mit einer täglichen Fresszeit von  $3,90 \pm 0,68$  h. Diese verteilte sich auf durchschnittlich  $8,31 \pm 1,69$  Mahlzeiten pro Tag. Die durchschnittliche Mahlzeitendauer betrug  $29,53 \pm 7,95$  min bei einer durchschnittlichen Futteraufnahme von  $2,87 \pm 0,45$  kg.

Die folgenden Abbildungen zeigen die Zusammenhänge zwischen täglicher Futteraufnahme und Fresszeit (Abbildung 37), der täglichen Futteraufnahme und der Mahlzeitenanzahl (Abbildung 38), sowie der Futteraufnahme pro Mahlzeit und der Anzahl Mahlzeiten pro Tag (Abbildung 39).



**Abbildung 37:** Nicht-parametrische Regression der täglichen Futteraufnahme (kg TM) in Abhängigkeit von der täglichen Fresszeit (h)

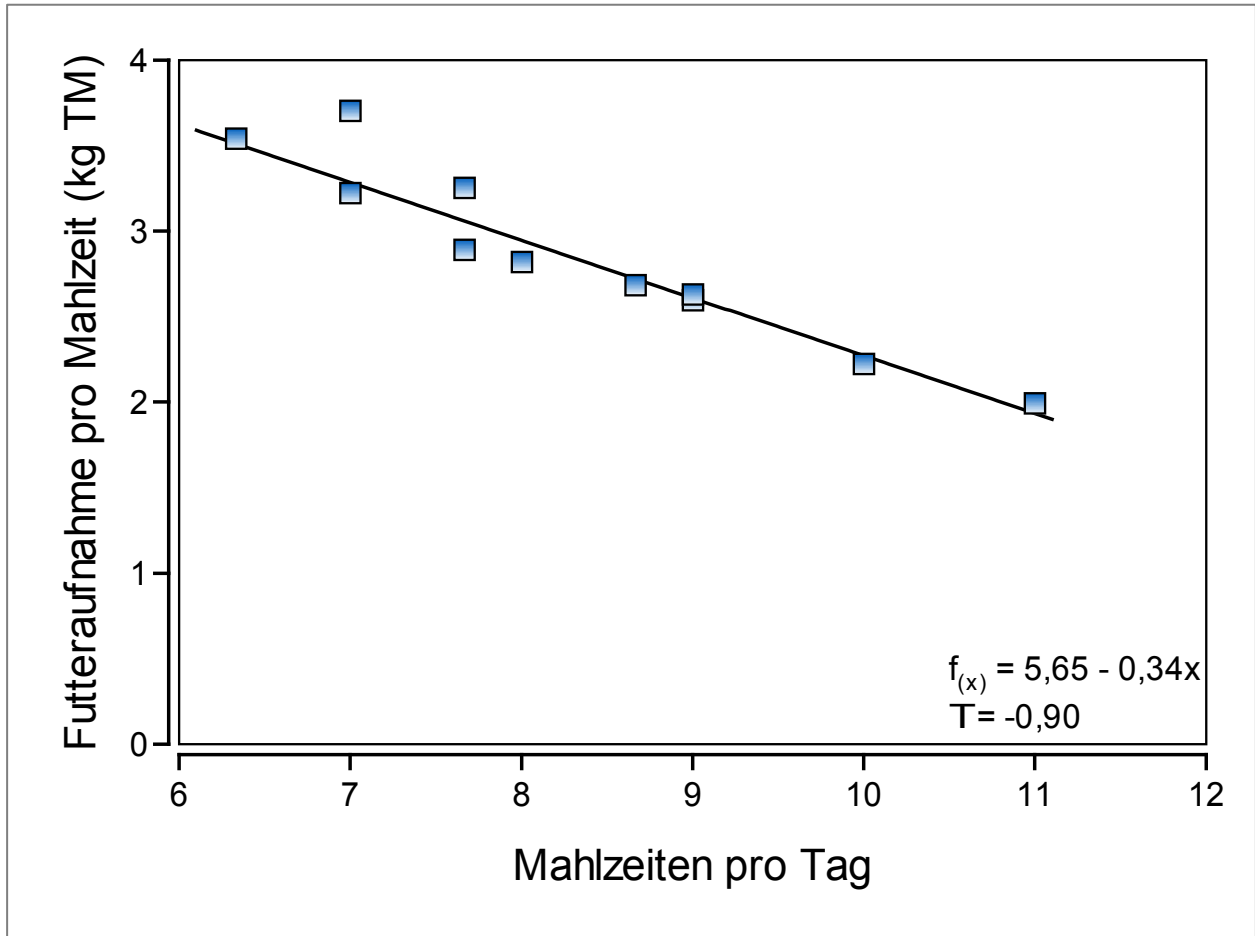
Die Abbildung 37 zeigt deutlich, dass es keinen Zusammenhang zwischen der Futteraufnahme pro Tag und der Fresszeit pro Tag gibt. Dies bestätigt auch die Korrelationsanalyse. Es konnte keine Korrelation zwischen diesen beiden Parametern gefunden werden konnte (Spearman's Rangkorrelationskoeffizient = 0,25).



**Abbildung 38:** Nicht-parametrische Regression der Mahlzeitenanzahl pro Tag in Abhängigkeit von der täglichen Futteraufnahme (kg TM)

Die Abbildung 38 zeigt, dass es keinen Zusammenhang zwischen der Futteraufnahme pro Tag und der Mahlzeitenanzahl pro Tag gibt. Dies bestätigt auch die Korrelationsanalyse. Es konnte keine Korrelation zwischen diesen beiden Parametern gefunden werden (Spearman's Rangkorrelationskoeffizient = -0,10).





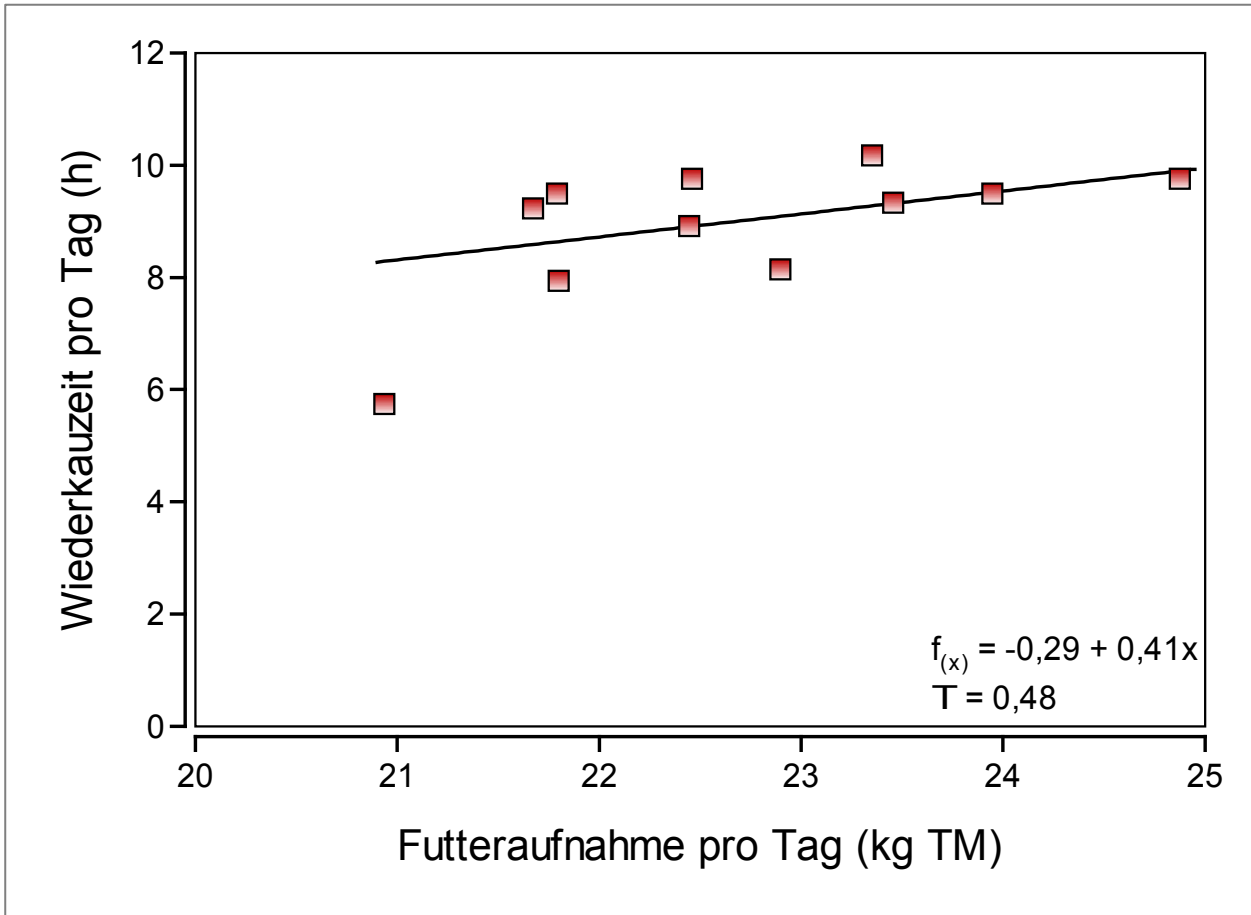
**Abbildung 39:** Nicht-parametrische Regression der Futteraufnahme pro Mahlzeit (kg TM) in Abhängigkeit von der Mahlzeitenanzahl pro Tag

Die Regressionsanalyse zeigt eine deutliche Korrelation zwischen der Anzahl Mahlzeiten pro Tag und der dabei aufgenommenen Futtermenge pro Mahlzeit. Der Spearman Rangkorrelationskoeffizient beträgt -0,87. Je größer die Mahlzeitenanzahl, desto geringer ist die Futteraufnahme pro Mahlzeit.

#### 3.4.4 Ergebnisse: Beziehungen von Merkmalen des Fress- und des Wiederkauverhaltens

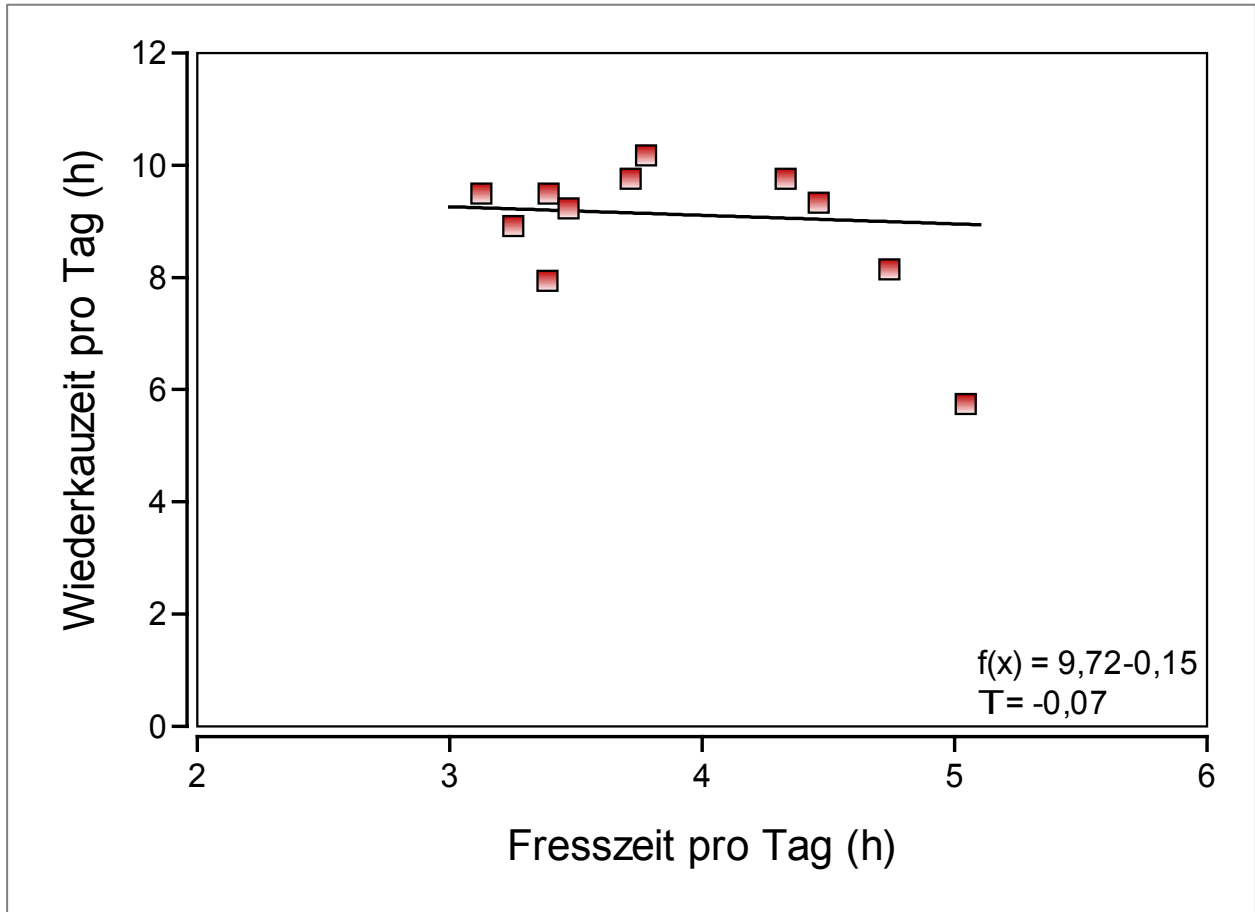
Bislang wurden die Merkmale des Wiederkauens und des Fressens dargestellt. Es folgen die Ergebnisse der Analyse der Beziehungen zwischen Fress- und Wiederkauverhalten.

Abbildung 40 zeigt die Ergebnisse der Regressionsanalyse der Futteraufnahme pro Tag in Abhängigkeit von der Wiederkauzeit pro Tag.



**Abbildung 40:** Nicht-parametrische Regression der täglichen Wiederkauzeit (h) in Abhängigkeit von der täglichen Futteraufnahme (kg TM)

Die Regressionsanalyse zeigt eine leichte Korrelation zwischen der aufgenommenen Futtermenge pro Tag und der Wiederkauzeit pro Tag. Der Spearman-Rangkorrelationskoeffizient beträgt 0,62. Abbildung 41 zeigt die tägliche Fresszeit in Abhängigkeit von der Wiederkauzeit pro Tag.



**Abbildung 41:** Nicht-parametrische Regression der täglichen Wiederkauzeit (h) in Abhängigkeit von der täglichen Fresszeit (h)

Die Regressionsanalyse zeigt keinen Zusammenhang zwischen der Wiederkauzeit und der Fresszeit pro Tag. Der Korrelationskoeffizient nach Spearman beträgt -0,23.

Ein wesentlicher Aspekt der Untersuchungen war es, unter Berücksichtigung der chronologischen Abfolge der einzelnen Kauaktivitäten, diese jeweils ins Verhältnis zueinander zu setzen. Daher wurden die Anzahl und Dauer der Mahlzeiten vor einer Wiederkauperiode, die Anzahl und Dauer der Wiederkauperioden nach einer Mahlzeit, die aufgenommene Futtermenge vor einer Wiederkauperiode, die Pausen zwischen Mahlzeiten und Wiederkauperioden und zwischen Wiederkauperioden und Mahlzeiten bestimmt. Des Weiteren wurde der Quotient aus aufgenommener Futtermenge (kg TM) vor einer Wiederkauperiode und der Dauer der nachfolgenden Wiederkauperiode gebildet und die Verteilung bestimmt. Die Ergebnisse sind in den Tabelle 21, Tabelle 22 und Tabelle 23 zusammengefasst. Tabelle 21 fasst die Anzahl Mahlzeiten vor den Wiederkauperioden und die nachfolgende Anzahl Wiederkauperioden, sowie den

Quotienten aus aufgenommener Futtermenge und nachfolgender Wiederkauzeit, zusammen.

**Tabelle 21:** Anzahl der Mahlzeiten vor einer Wiederkauperiode und nachfolgende Anzahl an Wiederkauperioden

<b>Ti er</b>	<b>N<sub>Mahlzeiten</sub> vor einer Wiederkauperiode</b>	<b>N<sub>Wiederkauperioden</sub> nach einer Mahlzeit</b>	<b>Futtermenge/ Wiederkauzeit (g TM/min)</b>
<b>1</b>	1,14 ± 0,48	1,59 ± 0,73	63,56
<b>2</b>	1,00 ± 0,00	1,90 ± 0,79	37,03
<b>3</b>	1,10 ± 0,30	1,85 ± 1,04	39,31
<b>4</b>	1,16 ± 0,50	2,11 ± 1,41	42,84
<b>5</b>	1,12 ± 0,33	1,84 ± 0,75	46,50
<b>6</b>	1,16 ± 0,37	1,68 ± 0,80	38,30
<b>7</b>	1,14 ± 0,47	1,76 ± 0,89	43,24
<b>8</b>	1,11 ± 0,32	2,45 ± 1,00	42,40
<b>9</b>	1,15 ± 0,38	2,33 ± 1,56	42,29
<b>10</b>	1,12 ± 0,33	2,59 ± 1,66	44,28
<b>11</b>	1,15 ± 0,37	2,14 ± 1,06	40,56

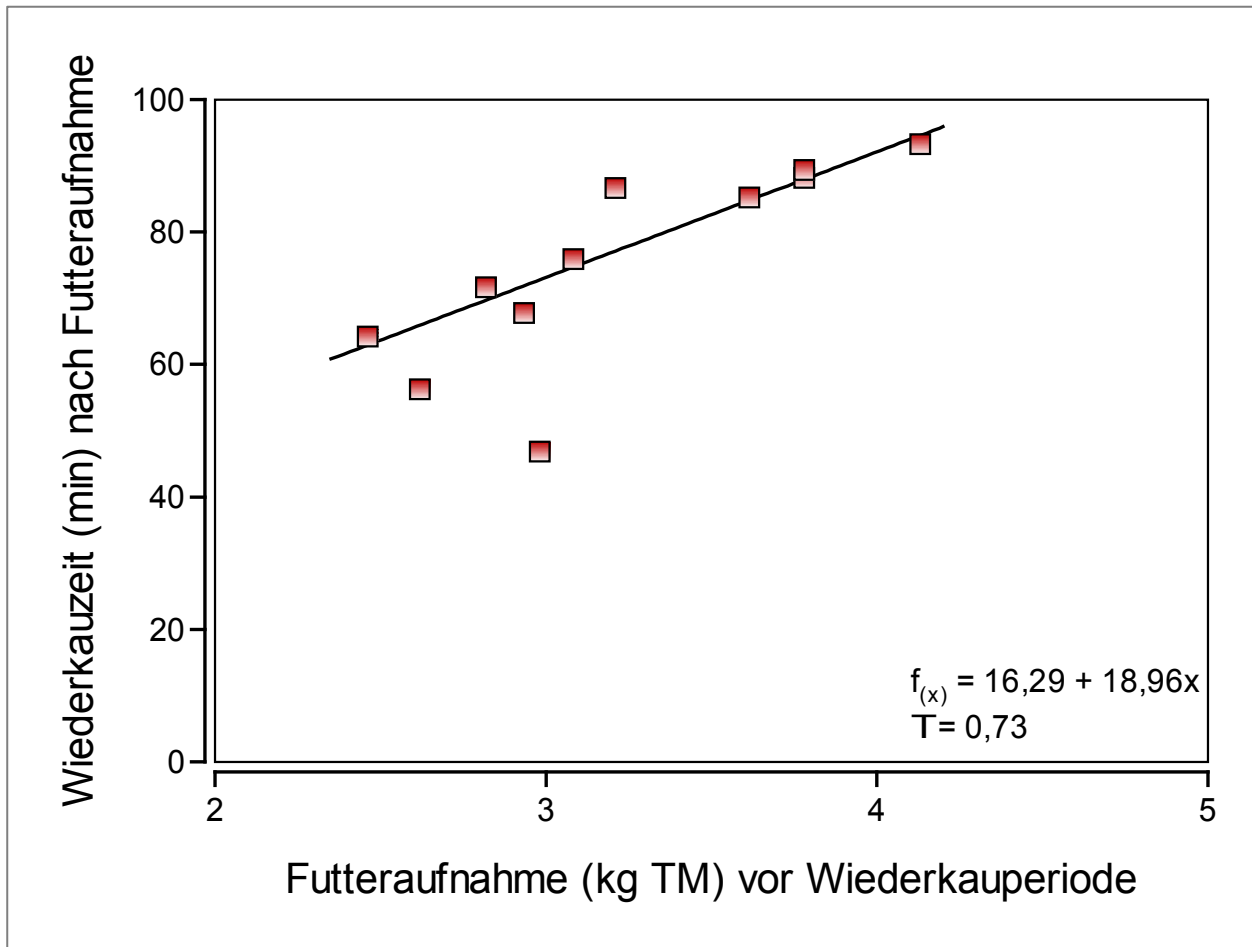
Die durchschnittliche Mahlzeitenanzahl vor der folgenden Wiederkauperiode betrug  $1,12 \pm 0,05$ , die durchschnittliche Anzahl Wiederkauperioden nach einer Mahlzeit ca. das doppelte mit  $2,02 \pm 0,33$ . Der Quotient aus aufgenommener Futtermenge und Wiederkauzeit betrug  $43,66 \pm 7,14 \text{ g TM min}^{-1}$ . Tabelle 22 zeigt die aufgenommene Futtermenge und die Fresszeit vor einer Wiederkauperiode und die Dauer der nachfolgende(n) Wiederkauperiode(n).

**Tabelle 22:** Futtermenge (kg TM) und Fresszeit (min) vor einer Wiederkauperiode und Dauer der nachfolgenden Wiederkauperiode (min)

<b>Tier</b>	<b>Futtermenge vor Wiederkauperiode (kg TM)</b>	<b>Fresszeit vor Wiederkauperiode (min)</b>	<b>D Wiederkauperiode nach Mahlzeit (min)</b>
<b>1</b>	2,98 ± 2,37	43,00 ± 33,48	46,90 ± 29,98
<b>2</b>	3,21 ± 2,03	37,33 ± 23,09	86,67 ± 40,61
<b>3</b>	2,82 ± 1,51	27,26 ± 15,53	71,68 ± 57,81
<b>4</b>	3,78 ± 2,32	32,14 ± 20,05	88,24 ± 67,63
<b>5</b>	2,62 ± 1,82	24,39 ± 15,49	56,29 ± 31,94
<b>6</b>	2,46 ± 1,06	23,73 ± 10,25	64,27 ± 26,58
<b>7</b>	2,93 ± 1,64	33,44 ± 18,26	67,81 ± 31,62
<b>8</b>	3,61 ± 1,54	32,67 ± 16,11	85,24 ± 42,21
<b>9</b>	3,78 ± 2,68	31,61 ± 21,60	89,39 ± 65,34
<b>10</b>	4,13 ± 3,12	33,86 ± 25,28	93,27 ± 63,49
<b>11</b>	3,08 ± 1,62	38,45 ± 17,63	75,98 ± 48,09

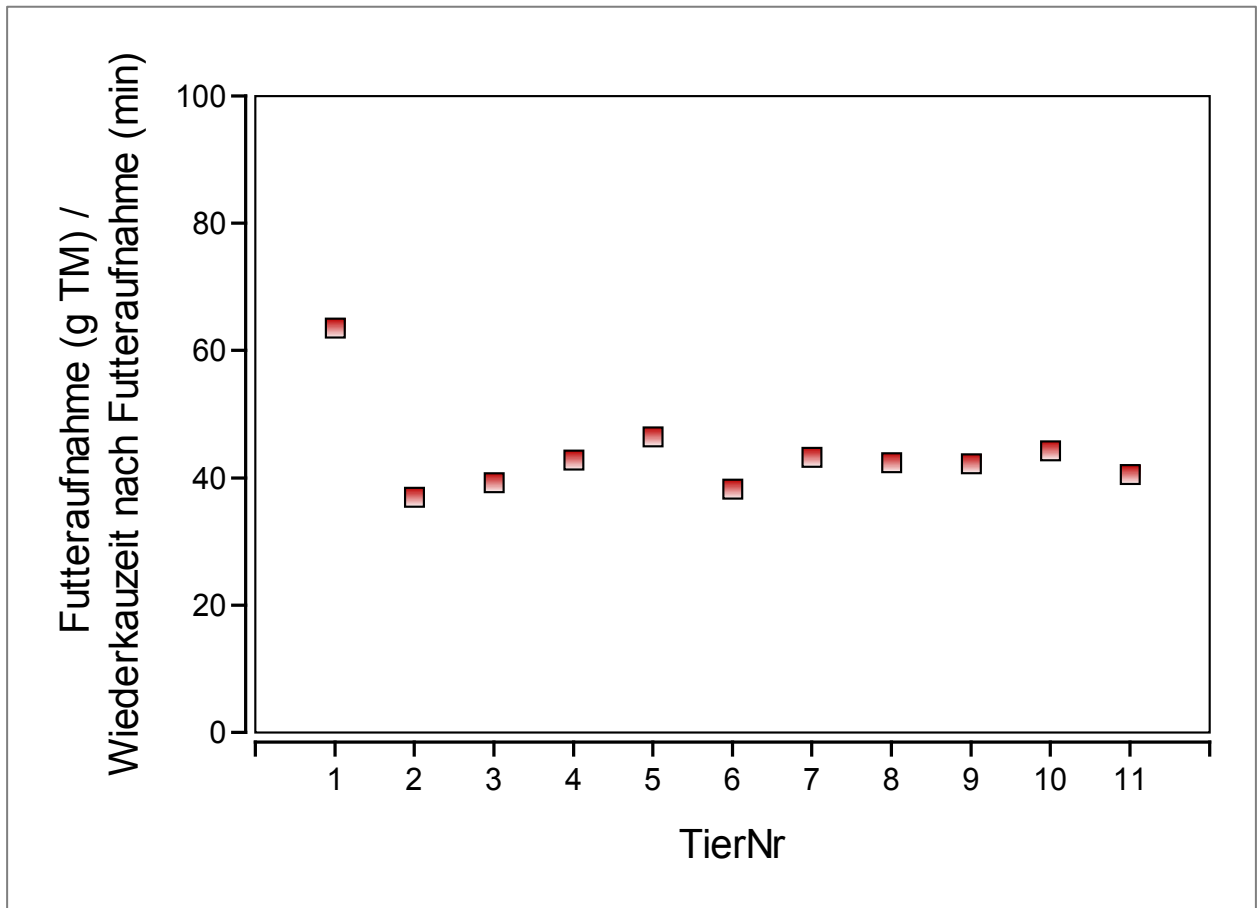
Die durchschnittliche Futteraufnahme vor den folgenden Wiederkauperioden betrug  $3,22 \pm 0,54$  kg mit einer Fresszeit von  $32,53 \pm 5,85$  min, die durchschnittliche Gesamtdauer der folgenden Wiederkauperioden nach einer Mahlzeit betrug  $75,07 \pm 15,09$  min.

Abbildung 42 zeigt die Regression der Wiederkauzeit in Abhängigkeit zur aufgenommenen Futtermenge vor der Wiederkauperiode (kg TM).



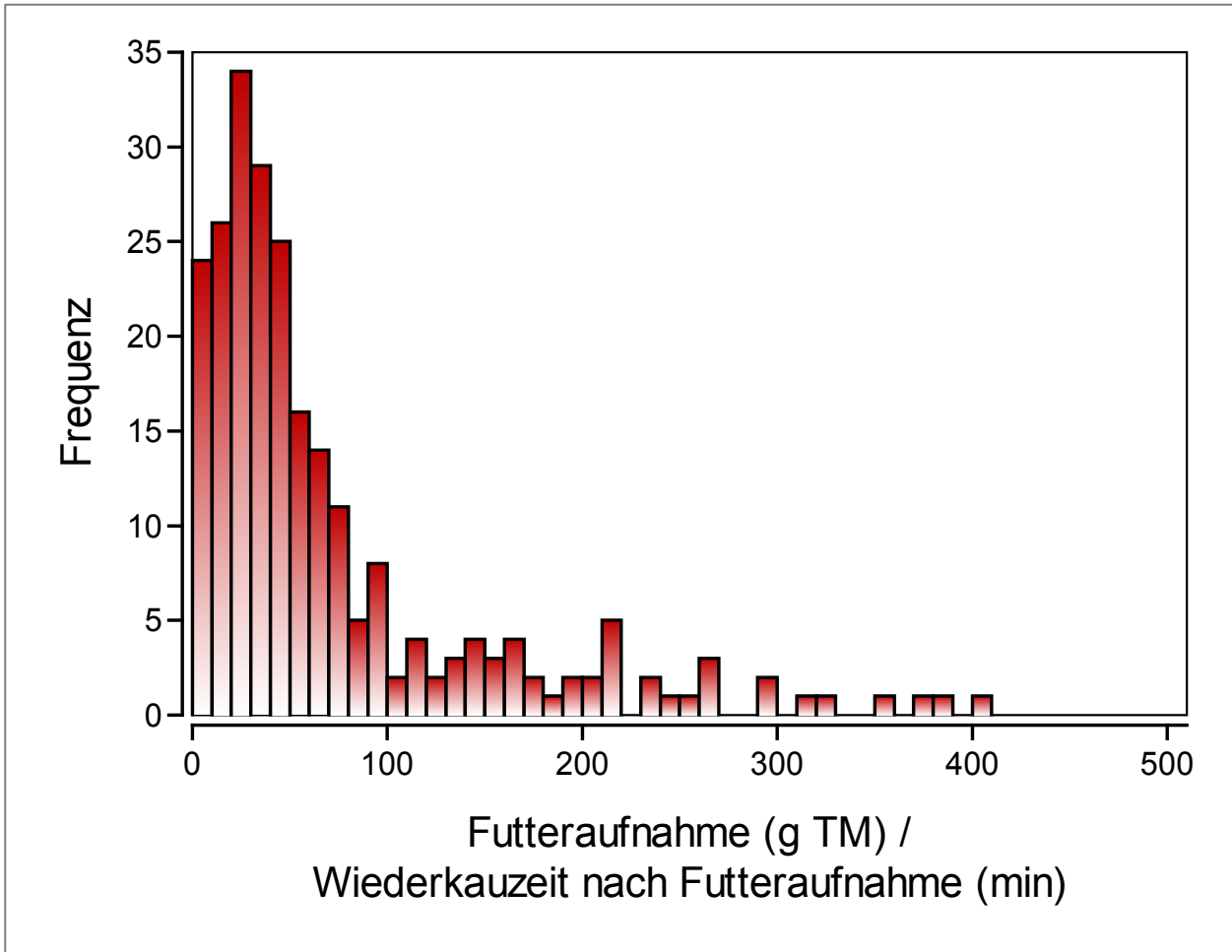
**Abbildung 42:** Regression der Wiederkauzeit (min) in Abhängigkeit zur aufgenommenen Futtermenge vor der Wiederkauperiode (kg TM)

Es zeigt sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Wiederkauzeit und der aufgenommenen Futtermenge vor der Wiederkauperiode anhand der Regressionsanalyse. Der Korrelationskoeffizient nach Spearman beträgt 0.88. Dieses Verhältnis wurde normiert, indem der Quotient aus aufgenommener Futtermenge und der Wiederkauzeit der folgenden Wiederkauperiode(n) bis zur nächsten Futteraufnahme gebildet wurde. Abbildung 43 zeigt die ermittelten Quotienten.



**Abbildung 43:** Quotient aus aufgenommener Futtermenge (kg TM) und der Wiederkauzeit nach der Futteraufnahme (min)

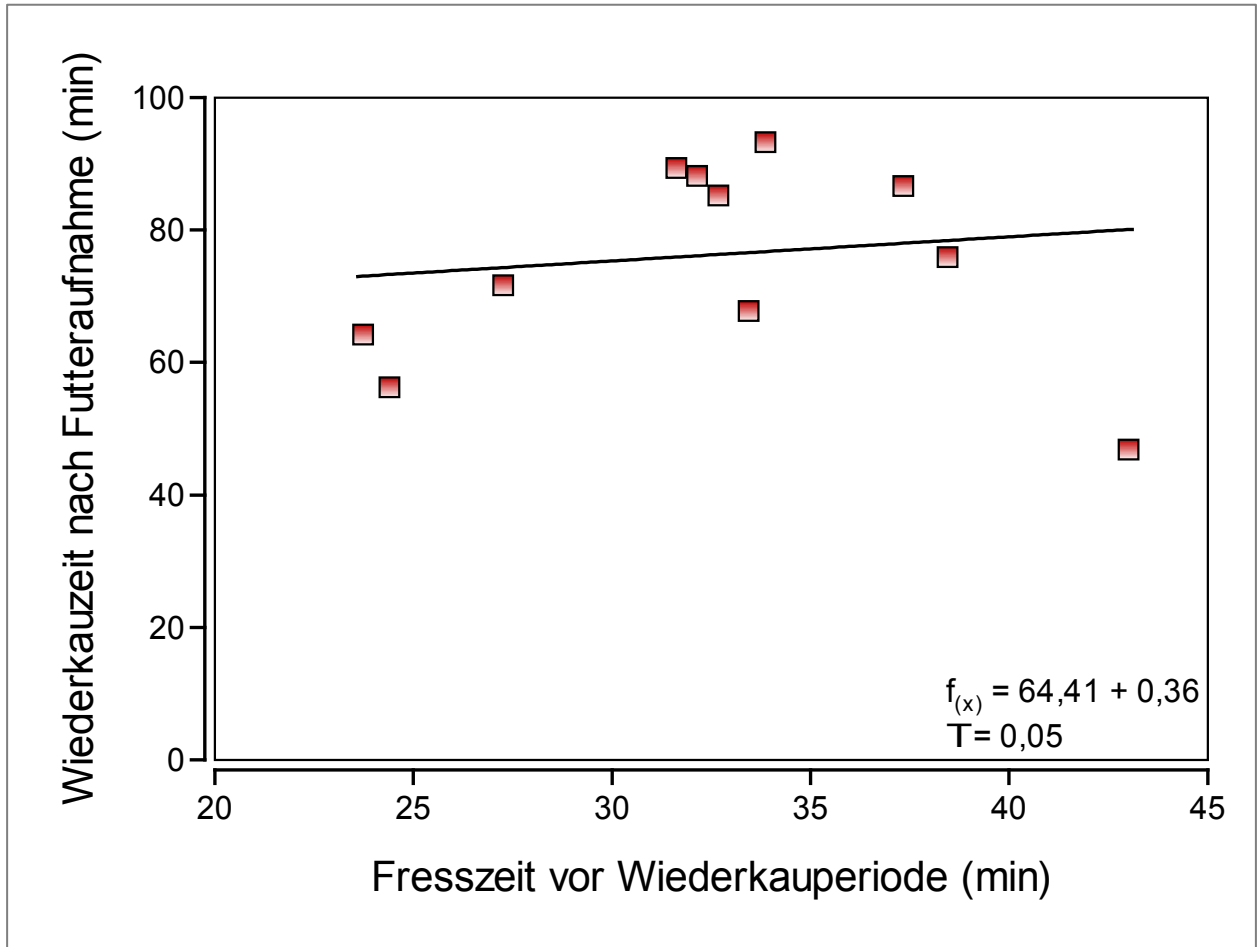
Es zeigt sich anhand der gebildeten Quotienten, dass alle Tiere pro Minute 30 bis 70 g TM wiederkauen. Das Wiederkauen eines Bolus dauert im Mittel ca. eine Minute. Abbildung 44 zeigt die Verteilung aller tierindividuell ermittelten Quotienten.



**Abbildung 44:** Dichteverteilung des Quotienten aus aufgenommener Futtermenge (g TM) und der Wiederkauzeit nach der Futteraufnahme (min)

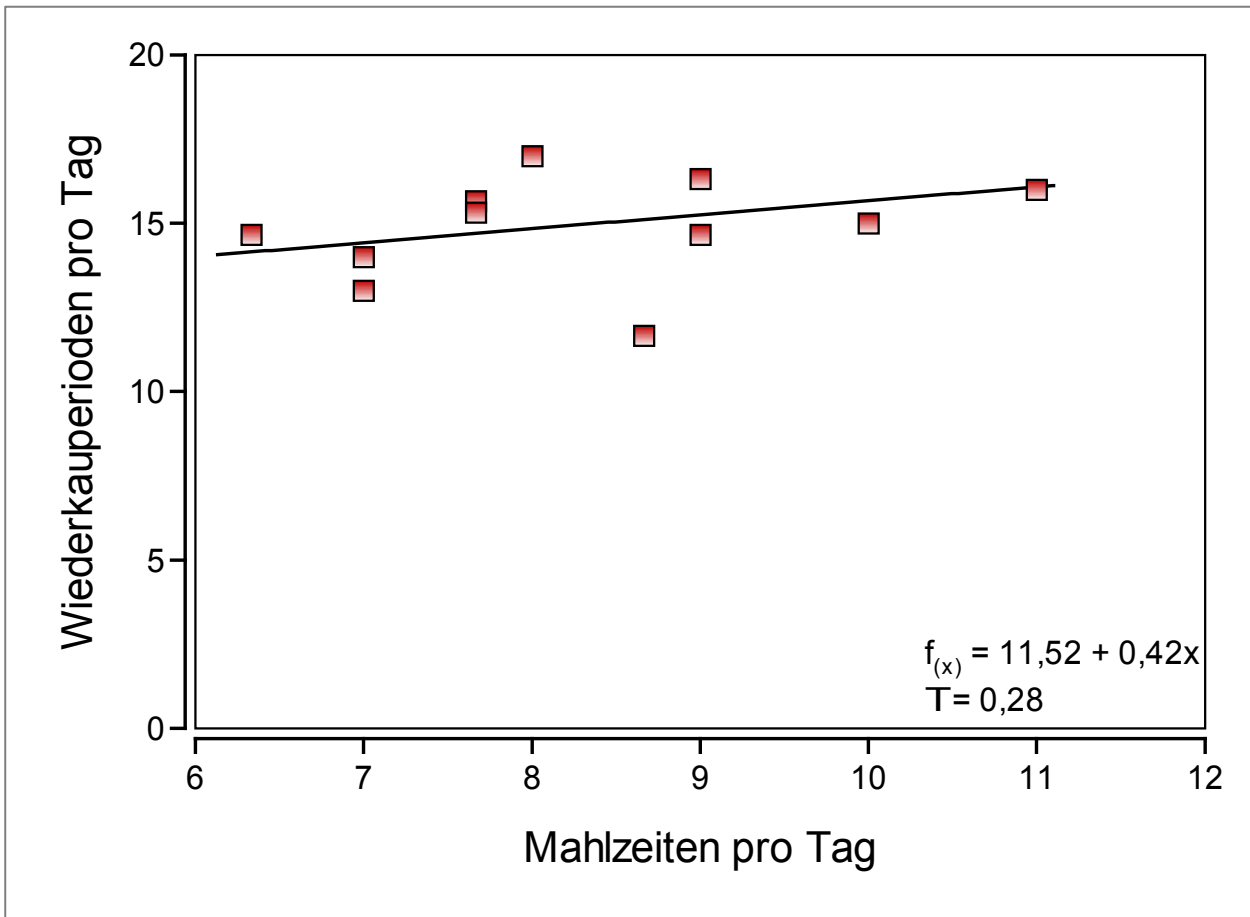
Betrachtet man die Verteilung der ermittelten Quotienten (Abbildung 44), ist eine starke Häufung für die aufgenommene Futtermenge im Verhältnis zur folgenden Wiederkauzeit gibt. D.h. dass die Kühe eine sehr regulierte Menge Futter (bis ca. 100 g TM) pro Minute wiederkauen. Abbildung 45 zeigt die Regression der Wiederkauzeit nach vorhergehender Futteraufnahme (min) in Abhängigkeit zur gesamten Fresszeit vor der Wiederkauperiode (min).





**Abbildung 45:** Regression der Wiederkauzeit nach vorhergehender Futteraufnahme (min) in Abhängigkeit zur gesamten Fresszeit vor der Wiederkauperiode (min)

Es zeigte sich kein Zusammenhang zwischen der Fresszeit und der Wiederkauzeit der nachfolgenden Wiederkauperiode. Der Spearman-Rangkorrelationskoeffizient beträgt 0,11. Abbildung 46 zeigt die Regression der Anzahl der Wiederkauperioden pro Tag in Abhängigkeit Mahlzeitenanzahl pro Tag.



**Abbildung 46:** Regression der Anzahl der Wiederkauperioden pro Tag in Abhängigkeit Mahlzeitenanzahl pro Tag

Es zeigte sich kein Zusammenhang zwischen der Anzahl der Wiederkauperioden und der Mahlzeitenanzahl pro Tag. Der Spearman-Rangkorrelationskoeffizient beträgt -0,36.

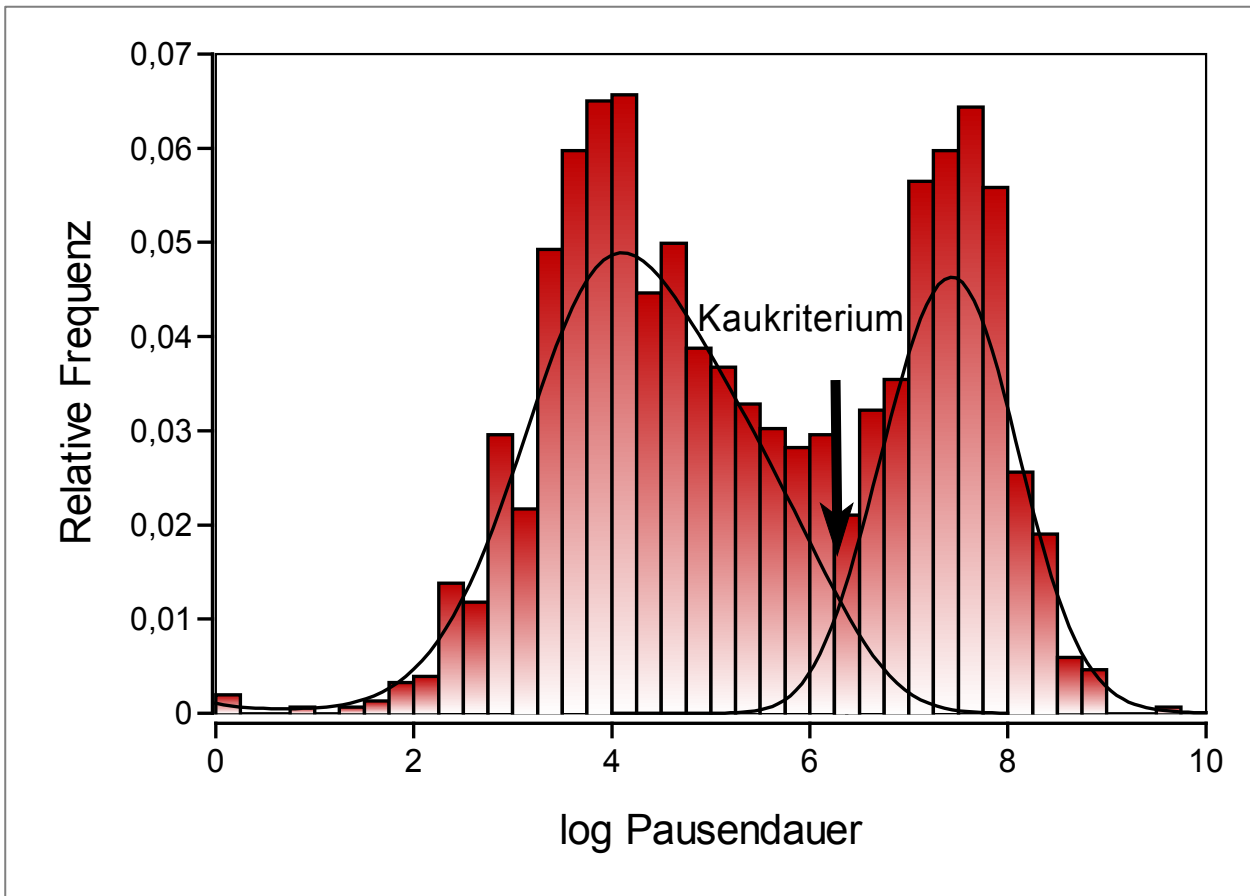
In Tabelle 23 sind die Pausen zwischen Mahlzeit und Wiederkauperiode und zwischen Wiederkauperiode und Mahlzeit dargestellt.

**Tabelle 23:** Pause zwischen Mahlzeit und Wiederkauperiode und zwischen Wiederkauperiode und Mahlzeit

<b>Tier</b>	<b>Pause Mahlzeit-Wiederkauperiode (min)</b>	<b>Pause Wiederkauperiode-Mahlzeit (min)</b>
<b>1</b>	34,84 ± 35,55	19,19 ± 34,32
<b>2</b>	33,12 ± 17,32	13,74 ± 15,32
<b>3</b>	26,40 ± 16,99	4,98 ± 10,26
<b>4</b>	29,42 ± 10,88	12,40 ± 16,61
<b>5</b>	27,84 ± 20,12	9,50 ± 13,35
<b>6</b>	28,19 ± 14,59	8,03 ± 9,50
<b>7</b>	18,98 ± 17,55	13,25 ± 18,99
<b>8</b>	25,58 ± 11,26	14,64 ± 15,28
<b>9</b>	26,00 ± 12,36	20,20 ± 22,46
<b>10</b>	29,49 ± 11,05	25,86 ± 24,20
<b>11</b>	16,44 ± 9,02	18,11 ± 18,45

Der Abstand zwischen Futteraufnahme und folgender Wiederkauperiode war mit  $26,94 \pm 5,41$  min hochsignifikant größer als der Abstand zwischen Wiederkauperiode und folgender Futteraufnahme von  $14,54 \pm 6,01$  min. Die tagesindividuelle Analyse zeigte, dass Mahlzeiten grundsätzlich von Wiederkauperioden getrennt werden. Es kommt zu keiner Wiederkauphase innerhalb einer Mahlzeit. Vor Beginn des Wiederkauens findet in der Regel nur eine Mahlzeit statt. In seltenen Fällen finden mehr als eine Mahlzeit vor dem Wiederkauen statt.

Betrachtet man den zeitlichen Ablauf der Fress- und Wiederkauaktivitäten und der dazwischenliegenden Pausen, zeigt sich, dass hier ebenfalls eine bimodale Verteilung auftritt (Abbildung 47). Dabei kann der Schnittpunkt der zwei Verteilungen als Kaukriterium definiert werden. Dieses beträgt 9,17 min. Weitere Untersuchungen müssen hier folgen.



**Abbildung 47:** Relative Häufigkeitsverteilung der log - transformierten Pausen zwischen den einzelnen Kauaktivitäten, Klassenbreite 0,25 log

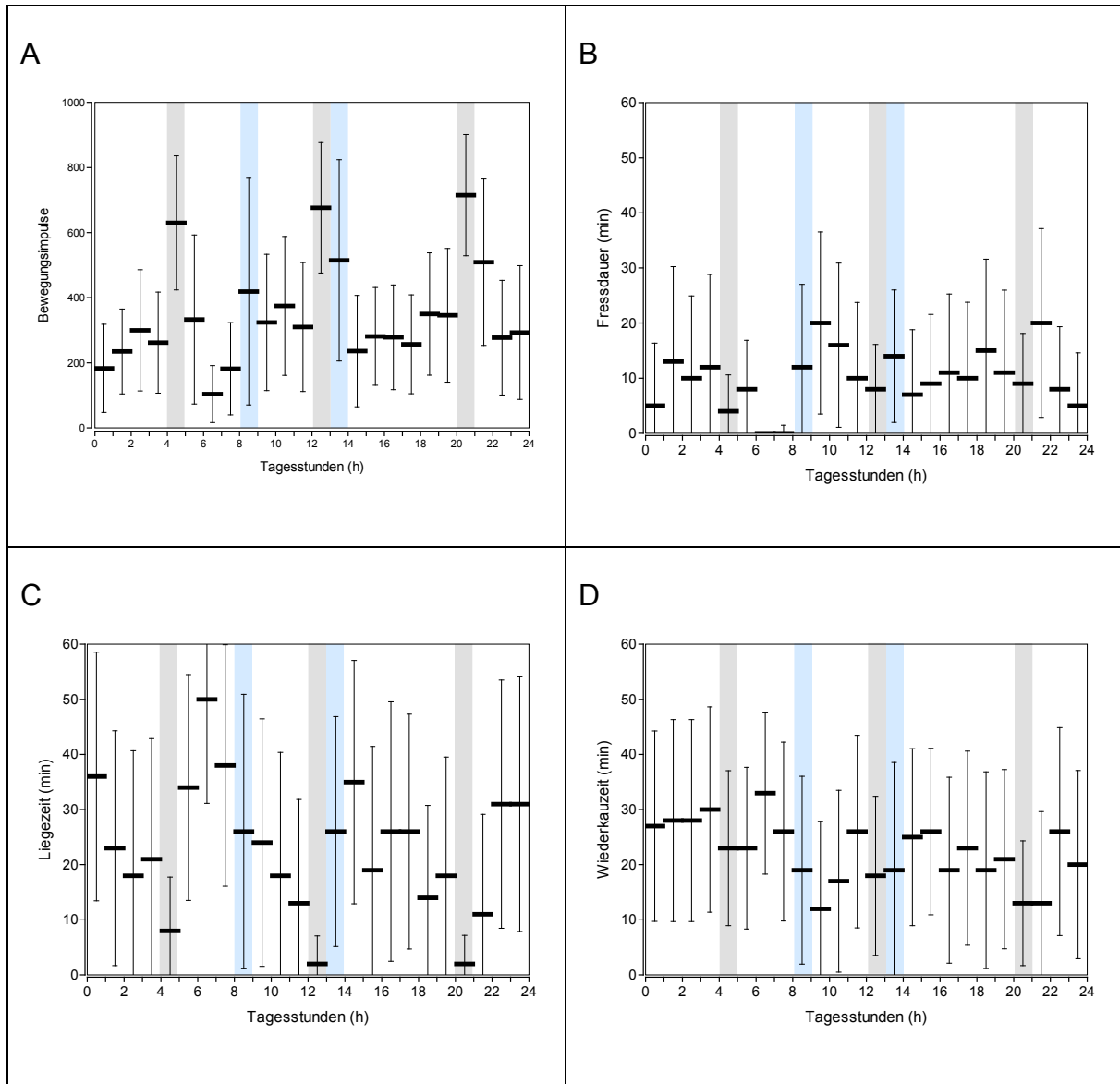
Nach der Analyse der Beziehungen zwischen Fress- und Wiederkauverhalten folgt nun die Darstellung der Ergebnisse der Analyse der Beziehungen zwischen Fressen, Wiederkauen, Liegen und Aktivität.

### 3.4.5 Ergebnisse: Beziehungen zwischen Fressen, Wiederkauen, Liegen und Aktivität

Im Folgenden werden das Fress- und Wiederkauverhalten im Zusammenhang mit dem Aktivitäts- und Ruheverhalten betrachtet. Dazu wurden Tagesprofile erstellt, in denen stündlich die Aktivität (abstraktes Maß: Bewegungsimpulse), die Fresszeit, die Liegezeit und die Wiederkauzeit ermittelt wurden. Die Futteraufnahme wurde in diesen Analysen nicht berücksichtigt, da hier keine kontinuierliche Datenerfassung erfolgte, sondern über die Wiegetröge eine ereignisgesteuerte Erfassung. Die Futteraufnahme berechnete sich hier aus der Differenz des Troggewichts zu Anfang und zu Ende eines Besuches, sodass hier eine eindeutige Zuordnung der Futteraufnahme zur Tagesstunde gerade bei stundenübergreifenden Futteraufnahmen nicht erfolgen konnte. Da die Kühe im

Wiegetrog nicht zwingend kontinuierlich fressen, wäre die Zuordnung der Futteraufnahme zu einer Tagesstunde fehlerbehaftet.

Folgende Abbildung 48 zeigt die einzelnen Verhaltensweisen in den jeweiligen Tagesstunden.



**Abbildung 48:** Tageszeitlicher Verlauf der Aktivität (A), Liegezeit (B), Fressdauer (C) und Wiederkaudauer (D), grau markiert = Melkzeiten, blau markiert = Fütterungszeiten

Die Abbildungen zeigen, dass Liege- und Aktivitätsverhalten (C, A) ihre jeweiligen Maxima und Minima wie zu erwarten gegensätzlich zeigen; jeweils in Abhängigkeit von Fütterungs- und Melkzeiten. Hauptaktivitätszeiten liegen hier unmittelbar während der Melkzeiten und nach der Futtermittelvorgabe, während sich die ruhigsten Phasen in der Nacht und in den frühen Morgenstunden zeigen. Fressdauer und Wiederkaudauer (B, D) zeigen

einen gleichmässigeren Verlauf, weisen aber ebenfalls Schwankungen auf. Alle Ergebnisse lassen eine große Streuung erkennen, was überwiegend auf die tierindividuelle Variation zurückzuführen ist. Zwischen 06:00 bis 08:00 Uhr sind fast keine Fressaktivitäten zu verzeichnen, die Maxima liegen hier zwischen 09:00 und 10:00 Uhr nach dem morgendlichen Füttern und zwischen 21:00 und 22:00 Uhr unmittelbar nach dem abendlichen Melken. Das Maximum der Liegezeit liegt zwischen 06:00 und 07:00 Uhr, die Minima treten konsequenterweise bei den Melkzeiten auf. Das Wiederkauen scheint über den gesamten Tag verteilt zu werden. Eine deutliche Erhöhung nach den Fütterungszeiten ist hier nicht zu erkennen.

Tabelle 24 zeigt die Mittelwerte von Fresszeit, Wiederkauzeit, Aktivität und Liegezeit aller Tiere.

**Tabelle 24:** Tägliche Fress- und Wiederkauzeit, sowie tägliche Aktivität und Liegezeit pro Tier

<b>Tier</b>	<b>Fresszeit (h)</b>	<b>Wiederkauzeit (h)</b>	<b>Liegezeit (h)</b>	<b>Bewegungsimpulse</b>
<b>1</b>	5,04 ± 0,66	5,75 ± 0,29	7,30 ± 0,85	6171,00 ± 593,46
<b>2</b>	4,33 ± 0,21	9,76 ± 0,67	11,13 ± 0,59	9433,00 ± 368,95
<b>3</b>	3,77 ± 0,14	10,18 ± 0,23	5,97 ± 0,75	10155,33 ± 673,03
<b>4</b>	3,39 ± 0,36	9,50 ± 0,29	9,40 ± 0,92	10057,33 ± 1074,55
<b>5</b>	3,39 ± 0,11	7,95 ± 1,59	7,30 ± 0,85	6171,00 ± 593,46
<b>6</b>	3,47 ± 0,23	9,23 ± 0,19	11,04 ± 1,06	9167,33 ± 869,75
<b>7</b>	4,46 ± 0,16	9,34 ± 0,39	9,22 ± 1,46	10910,33 ± 2234,18
<b>8</b>	3,72 ± 0,36	9,76 ± 0,58	10,14 ± 1,18	6769,33 ± 579,63
<b>9</b>	3,12 ± 0,08	9,49 ± 0,23	7,02 ± 4,58	5228,50 ± 1457,35
<b>10</b>	3,25 ± 0,25	8,92 ± 0,61	11,74 ± 0,94	7638,67 ± 287,40
<b>11</b>	4,74 ± 0,30	8,14 ± 1,40	9,87 ± 0,84	9514,00 ± 422,19

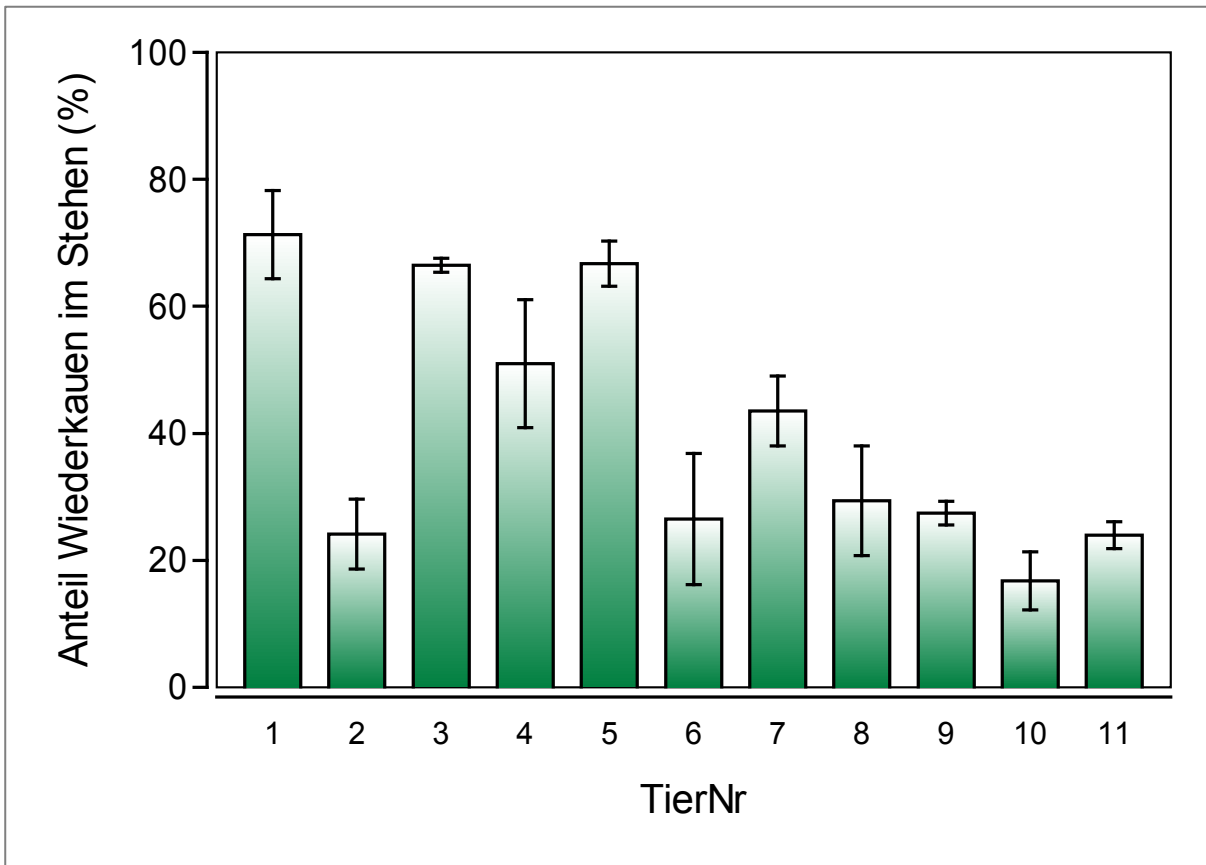
Im Gegensatz zur Literatur, die besagt, dass Kühe überwiegend im Liegen wiederkauen, zeigen die Aktivitätsverläufe in Abbildung 48, dass die Wiederkauzeit den gleichmässigesten Verlauf über den Tag aufweist. Dem gegenüber steht eine variierende Liegezeit. Auch in den Abschnitten, in denen die Dauer der Liegezeit am niedrigsten ist, wird relativ konstant wiedergekaut (blau markierte Fütterungszeiten), was zum einen darauf hinweist, dass nicht alle Kühe zu den Fütterungszeiten tatsächlich fressen und zum anderen darauf hinweist, dass auch Wiederkauzeiten während des Stehens stattfinden. Diesbezüglich wurden die Ergebnisse tiefergehend analysiert und die

Wiederkauzeiten außerhalb der Liegezeiten ermittelt. Da die Pedometer nur in 15 minütigen Intervallen die Liegezeit in Brust- und Bauchlage als Summation erfassen, konnte ein sekunden- oder minutengenauer Abgleich nicht erfolgen. Dargestellt wurde daher die positive Differenz zwischen der Wiederkaudauer pro Tag zur Liegezeit pro Tag. Diese Differenz entspricht der Zeit, die die Kuh mindestens im Stehen wiedergekaut hat. Tabelle 25 zeigt die Ergebnisse der Analyse.

**Tabelle 25:** Wiederkauzeit gesamt (h), Wiederkauzeit im Stehen (h) und prozentualer Anteil der Wiederkauzeit im Stehen pro Tier und Tag

<b>TierNr</b>	<b>Wiederkauzeit pro Tag (h)</b>	<b>Wiederkauzeit pro Tag im Stehen (h)</b>	<b>Wiederkauzeit pro Tag im Stehen (%)</b>
<b>1</b>	5,75 ± 0,29	4,11 ± 0,60	71,28 ± 6,96
<b>2</b>	9,88 ± 1,11	2,41 ± 0,73	24,10 ± 5,48
<b>3</b>	9,85 ± 0,54	6,55 ± 0,38	66,46 ± 1,12
<b>4</b>	9,50 ± 0,29	4,83 ± 0,86	50,97 ± 10,09
<b>5</b>	7,99 ± 1,39	5,36 ± 1,18	66,72 ± 3,59
<b>6</b>	9,23 ± 0,19	2,45 ± 0,97	26,48 ± 10,34
<b>7</b>	9,66 ± 0,6	4,23 ± 0,78	43,53 ± 5,48
<b>8</b>	9,76 ± 0,58	2,84 ± 0,72	29,37 ± 8,62
<b>9</b>	9,60 ± 0,01	2,63 ± 0,18	27,42 ± 1,85
<b>10</b>	8,64 ± 0,93	1,43 ± 0,31	16,80 ± 4,54
<b>11</b>	8,06 ± 1,33	1,93 ± 0,32	23,99 ± 2,08

Abbildung 49 zeigt die Wiederkauzeit pro Tag und Kuh außerhalb der Liegezeit.



**Abbildung 49:** Mindestanteil des Wiederkauens bezogen auf die Wiederkauzeit pro Tag

Die Abbildung 49 zeigt, dass alle Kühe mindestens 20 % der Wiederkauzeit pro Tag im Stehen verbringen. Des Weiteren ist zu erkennen, dass es hier tierindividuelle Unterschiede gibt. So verbringen vier der Versuchskühe mehr als 50 % ihrer täglichen Wiederkaudauer im Stehen, während nur drei der Kühe fast ausschließlich dabei liegen (Anteil kleiner als 25 %). Da es sich bei den Daten aufgrund der anderen Messintervalle zwischen Sensor und Pedometer nur um die Mindestanteile handelt, ist in der Realität von noch höheren Anteilen auszugehen.

### Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Ergebnisse der EMG-Signalanalyse im Hinblick auf das Fress- und Wiederkauverhaltens sind vielfältig und werden zunächst in der Tabelle 26 zusammengefasst dargestellt.



**Tabelle 26:** Charakteristische Merkmale des Fress- und Wiederkauverhaltens, zusammengefasst

<b>Parameter</b>	<b>MW + SD</b>
<b>Wiederkaukriterium (min)</b>	4,29
<b>Wiederkauzeit pro Tag (h)</b>	8,89 ± 1,37
<b>N Wiederkauperioden pro Tag</b>	14,87 ± 2,30
<b>N Wiederkauzyklen pro Tag</b>	518,34 ± 75,38
<b>Mittlere Dauer der Wiederkauzyklen (s)</b>	57,31 ± 5,34
<b>Mittlere Dauer der Wiederkauperioden (min)</b>	36,65 ± 5,42
<b>Peakfrequenz (s<sup>-1</sup>)</b>	1,27 ± 0,12
<b>Mahlzeitenkriterium (min)</b>	20,82
<b>Futteraufnahme pro Tag (kg TM)</b>	22,72 ± 1,89
<b>Fresszeit pro Tag (h)</b>	3,90 ± 0,68
<b>N Mahlzeiten pro Tag</b>	8,31 ± 1,69
<b>Mittlere Mahlzeitendauer (min)</b>	29,53 ± 7,95
<b>Futteraufnahme/Mahlzeit (kg TM)</b>	2,87 ± 0,45 kg
<b>Futteraufnahme vor Wiederkauperiode (kg TM)</b>	3,22 ± 0,54
<b>Wiederkauzeit nach Futteraufnahme (min)</b>	75,07 ± 15,09
<b>Fresszeit vor Wiederkauperiode (min)</b>	32,53 ± 5,85
<b>Futteraufnahme/Wiederkauzeit nach Futteraufnahme (g TM min<sup>-1</sup>)</b>	43,66 ± 7,14
<b>Pausen Fressen - Wiederkauen (min)</b>	26,94 ± 5,41
<b>Pausen Wiederkauen - Fressen (min)</b>	14,54 ± 6,01
<b>Kaukriterium (min)</b>	9,17
<b>Liegezeit pro Tag (h)</b>	9,10 ± 1,93
<b>Anteil Wiederkauen im Stehen pro Tag (%)</b>	40,65 ± 20,06

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Beim Wiederkauen ist anhand der Pauseneinteilung ein Kriterium ähnlich dem Mahlzeitenkriterium zu finden.
- Die Anzahl der Wiederkauzyklen korreliert signifikant mit der Wiederkauzeit.
- Innerhalb der Wiederkauzyklen wurden Maulaktivitäten mit einer mittleren Frequenz von  $1,27 \pm 0,12 \text{ s}^{-1}$  ermittelt.

- Die Anzahl Mahlzeiten pro Tag und der dabei aufgenommenen Futtermenge pro Mahlzeit korreliert miteinander.
- Die aufgenommenen Futtermenge pro Tag und der Wiederkauzeit pro Tag korreliert miteinander.
- Die Wiederkauzeit nach der vorhergehenden Futteraufnahme und der aufgenommenen Futtermenge vor der Wiederkauperiode korreliert miteinander.
- Mahlzeiten werden grundsätzlich von Wiederkauperioden getrennt.
- Nach meist einer Mahlzeit folgen im Mittel zwei Wiederkauperioden.
- Die Pausen zwischen Futteraufnahme und folgender Wiederkauperiode sind signifikant größer als die Pausen zwischen Wiederkauperiode und folgender Futteraufnahme.
- Die Tiere kauen pro Minute (und Bolus) 30 bis 70 g TM wieder.
- Die halblogarithmische Auftragung der Pausen zwischen allen Kauaktivitäten ergibt eine bimodale Verteilung, deren Schnittpunkt als Kaukriterium definiert werden kann.
- Das Wiederkauverhalten unterliegt großen tierindividuellen Schwankungen und findet je nach Tier auch bis zu 50% im Stehen statt.

### **3.4.6 Diskussion und Schlussfolgerungen**

Das in dieser Untersuchung verwendete Messsystem erwies sich für die Erfassung des Fress- und Wiederkauverhaltens als geeignet. Grundsätzliche Probleme der Oberflächenelektromyographiemessung wie die Signalstabilität traten während der Versuche auf, daher wurde als Analysekriterium das Vorliegen lückenloser Daten guter Signalqualität und über zwei bis drei Tage gewählt.

#### **Detailanalyse der Signalmuster**

Das über den EMG-Sensor gewonnene Wiederkaumuster ist charakterisiert durch wiederholt auftretende Zyklen diskreter Dauer, die das Heraufwürgen, das Wiederkauen und das Herabschlucken eines Bolus und dem erneuten Heraufwürgen eines weiteren Bolus beinhalten. Im Vergleich zum Fressen zeigt sich eine deutliche Regelmäßigkeit in der Dauer der einzelnen Zyklen und der dazwischenliegenden Pausen.

Die Wiederkaumuster zeigen sich bei allen Tieren gleichermaßen. Die Unterschiede in der Signalintensität variieren stark aufgrund verschiedener Einflüsse, wie z.B.

Anpressdruck der Elektroden auf der Haut, Veränderung der Leitfähigkeit durch Verschmutzung/Schweißbildung unter den Elektroden, Veränderung der Messposition durch Verrutschen des Halfters oder Kauintensität des Tieres. Dies spielt für die automatisierte und manuelle Analyse der Muster und der entsprechenden Zuordnung zu der Verhaltensweise keine Rolle, solange ein auswertbares Signal-Rausch-Verhältnis vorliegt. Die Wiederkau- und Fressmuster sind vergleichbar mit den OEMG-Messungen am Schaf durch Nichols et al. (1966). Diese fanden beim Schaf Wiederkauzyklen, die sich aus regelmäßigen Kauaktivitäten mit einer Dauer von 20 s und Pausen zwischen den Kauaktivitäten von 10 s Dauer zusammensetzten. Perioden, in denen keine Kauaktivität erfolgte, zeigten sich ohne Signalausschläge und das Grasens wies ähnlich den hier ermittelten Fressmustern ein unregelmäßiges Muster auf. Der von Penning (1983) entwickelte Nasenbandsensor zeigte ebenfalls Muster für das Fressen und Wiederkauen beim Schaf, die mit den vorliegenden Ergebnissen vergleichbar sind. So zeigte sich für das Fressen ein unregelmäßiges Muster an Kauschlägen, die durch unterschiedliche Pausendauern getrennt sind und beim Wiederkauen das typische harmonische Muster der einzelnen Wiederkauzyklen. Zum gleichen Schluss kommt man beim Vergleich der Signalmuster des IGER Behaviour Recorder von Rutter et al. (1997). Auch im Vergleich mit dem RumiWatch-System (Schneidegger 2008) zeigen sich ähnliche Signalmuster.

Das Fressmuster ist charakterisiert durch eine wesentlich größere Unregelmäßigkeit als das Wiederkaumuster. Dies zeigte sich auch im Vergleich zu anderen Sensorsystemen. Das Muster ist weniger harmonisch und regelmäßig als das Wiederkauen sowohl in der Kauintensität als auch in der zeitlichen Abfolge der Kauaktivitäten. Hier spielen weitere, dem Fressen zugehörige Verhaltensweisen wie das Wühlen und Sortieren, eine große Rolle und äußern sich dementsprechend im Muster. Diese zu identifizieren und von den eigentlichen Fressaktivitäten, also der tatsächlichen Futteraufnahme zu trennen, ist Ziel weiterer Forschungsarbeiten (Folgeprojekt: DairyLifespan, Laufzeit 01.03.2015 – 31.08.2017; FKZ 031B0005A, BMBF). Des Weiteren zeigte die Analyse, dass die Erfassung der Kauaktivitäten genauer ist als die in dieser Untersuchung verwendeten Wiegetröge, bei denen nur die Anwesenheit der Kuh am Futtertisch erfasst wird, was keine weitere Differenzierung der Verhaltensweisen ermöglicht. Allerdings ist anhand der EMG-Sensorsignale derzeit auch noch keine Differenzierung der Verhaltensweisen beim Fressen, wie z.B. das Wühlen, Sortieren und Spielen oder auch das Futterschmeißen möglich. Damit kann die reine Fresszeit derzeit nicht ermittelt werden. Pausen, also

inaktive Phasen können gut erkannt werden. Andere Maulaktivitäten, die nicht der Futteraufnahme und –zerkleinerung dienen, können nicht voneinander getrennt werden. Weitere Untersuchungen müssen sich genau auf diese Differenzierung konzentrieren, um mögliche Abhängigkeiten zwischen Fresszeit und Wiederkauverhalten besser erkennen zu können.

Im Abgleich mit den Daten der Wiegetröge stellte sich heraus, dass die Analyse der Maulaktivität über das EMG-Sensorsystem genauere Aussagen zum Fressverhalten erlaubt. So konnten Wiederkauaktivitäten am Wiegetrog erkannt werden, was über die Wiegetröge der Fresszeit zugeordnet wurde. Auch beim Trogwechsel wurden Kauaktivitäten erfasst, die anhand der Wiegetröge nicht erkannt werden können. Weiterentwicklungen dieser RFID-basierten Systeme stellen die GrowSafe Feed Bins dar, die laut Aussage des Herstellers die Futteraufnahme sekundengenau erfassen über die Wiegevorrichtung und auch eine ausgereifte Anwendersoftware bieten. Dennoch ist die Erfassung der Kauaktivität auf qualitativer Ebene wesentlich genauer, um Aussagen über das Fress- und Wiederkauverhalten liefern zu können.

### **Merkmale des Fress- und des Wiederkauverhaltens**

Über die ermittelten Pausen zwischen den einzelnen Wiederkauaktivitäten konnte mit dem Ansatz zur Bestimmung des Mahlzeitenkriteriums nach Tolkamp et al. (1998) ein adäquates Kriterium ermittelt werden. Dabei zeigt sich aufgrund der hohen Anzahl kurzer Pausen innerhalb der Zyklen und der dagegen sehr geringen Anzahl langer Pausen zwischen den Wiederkauperioden eine starke erste Verteilung mit zwei weiteren sehr schwach ausgeprägten Verteilungen. Die Schnittpunktbestimmung müsste hier in weiteren Untersuchungen genauer erfolgen. Dem Kriterium folgend werden Wiederkauperioden durch einen Mindestabstand von 4,29 min getrennt. Ein weiterer Schnittpunkt wird hier über eine weitere Verteilung vermutet, der den Mindestabstand von einer Wiederkauaktivität zur nächsten innerhalb einer Periode bestimmt und kleiner als 10 s beträgt. Dies könnte vergleichbar sein mit den Angaben nach Tolkamp und Kyriazakis (1999), der ebenfalls eine dritte Verteilung beim Fressen vermutete. Er definiert Pausen I. Ordnung zum Abschlucken des Futters, Pausen II. Ordnung z.B. zum Trinken oder Platzwechsel und Pausen III. Ordnung, die die Futteraufnahme tatsächlich beenden. Auf das Wiederkauen übertragen könnte man Pausen I. Ordnung zum Abschlucken und Hochwürgen des Bolus definieren, Pausen II. Ordnung als Pausen, die

z.B. durch kurze Störungen/Ablenkungen der Kuh entstehen und Pausen II. Ordnung, die die Wiederkauperiode beenden. Zu diskutieren wäre an dieser Stelle die physiologische Bedeutung des Kriteriums. Man sollte annehmen, dass beim Wiederkäuer Wiederkauperioden durch Fressperioden getrennt werden und einem ernährungsphysiologischen Zwang folgen. Nach einer definierten Menge Futter in einer entsprechenden Zeit aufgenommen, muss eine dazugehörige Wiederkauperiode folgen, um das aufgenommene Futter wiederzukauen und zu verdauen. Eine chronologische Betrachtung des Fress- und Wiederkauverhaltens sollte an dieser Stelle zeigen, ob die Einteilung der Fressperioden in Mahlzeiten und die Einteilung der Wiederzyklen in Wiederkauperioden anhand der Schnittpunktbestimmungen der Verteilungsfunktionen das tatsächliche Tierverhalten widerspiegelt.

Die tägliche Wiederkauzeit von  $8,89 \pm 1,37$  Stunden verteilte sich auf  $14,78 \pm 2,30$  Wiederkauperioden. Beauchemin et al. (1989) ermittelten bezüglich der Wiederkauzeit pro Tag bei Milchkühen eine Variation von 5 bis 9 Stunden. Nach Rosenberger et al. (1990) variiert die Anzahl der Wiederkauperioden zwischen 4 und 24 pro Tag und die Dauer der Wiederkauperioden zwischen 10 und 60 Minuten. Jile (2003) beschrieb eine Variation in der Wiederkauzeit von 1 Stunde pro Tag bei Gabe von gemahlenem Raufutter bis zu 11 Stunden pro Tag bei grobem Raufutter ad libitum. Nach Beauchemin (1991) ist beim Rind mit 10-20 Wiederkauperioden im Verlaufe eines Tages zu rechnen, die sich bei Stallhaltung über die Tages- bzw. Nachtstunden verteilen. Im Mittel dauerten die Wiederkauperioden  $36,65 \pm 5,42$  Minuten. Nach Beauchemin et al. (1989) können die Wiederkauperioden in ihrer Länge von einigen Minuten bis zu Stunden variieren und dauern im Mittel 40 - 50 Minuten. Die Anzahl der Wiederkauzyklen pro Tag liegt dabei zwischen 360 und 790. In dieser Arbeit wurden  $518,34 \pm 75,38$  Wiederkauzyklen mit einer durchschnittlichen Dauer von  $57,31 \pm 5,34$  Sekunden ermittelt. Jile (2003) fand eine Zyklusdauer von  $45 \pm 17$  s, Richter (2010) eine Zyklusdauer von  $46 \pm 12$  S. Die in dieser Arbeit ermittelten Zyklusdauern liegen etwas höher. Allerdings variiert die Zeit pro Bolus zwischen 45-60 s (Rosenberger et al., 1990), bzw. zwischen 45 - 50 s (Kolb, 1989). Die Regressionsanalyse ergab einen signifikanten linearen Zusammenhang zwischen der gesamten Wiederkauzeit pro Tag und den Wiederkauzyklen.

Die Ermittlung der Peakfrequenzen sollte Hinweise liefern, ob das OEMG-Signal in der Lage ist, die realen Kauschläge aufzuzeigen und ob ein Signalpeak einem Kauschlag

gleichzusetzen ist. Pro gekautem Bolus ergab sich hier mittlere Peakfrequenz von  $1,27 \pm 0,12 \text{ s}^{-1}$ . Das bedeutet im Umkehrschluss eine Zeiteinheit von 0,79 s pro Peak. Penning (1984) ermittelte für einen kompletten Kauschlag beim Schaf eine Zeit von 0,75 s. Dado und Allen (1993) ermittelten 0,97 s pro Kauschlag im Gegensatz zu Balch (1958) mit 0,73-0,83 s pro Kauschlag beim Fressen und 1,03 s pro Kauschlag beim Wiederkauen. Luginbuhl et al. (1987) fanden Kauraten für das Fressen mit 0,86-3,75 s pro Kauschlag und für das Wiederkauen mit 1,15 s pro Kauschlag. Jile (2003) ermittelte eine Frequenz von  $1,1 \pm 0,2$  Kauschlägen pro Sekunde beim Wiederkauen und Richter (2010) eine Frequenz von  $1,3 \pm 0,4$ . Letztlich zeigt sich eine große Spannweite der ermittelten Zeiteinheiten pro Kauschlag in der Literatur, was auf verschiedene Ursachen zurückzuführen ist. Nach Jeroch (1999) ist die Kauaktivität durch das Futtervolumen, insbesondere dem Futter-Rohfasergehalt und -härte, Benetzbarkeit, Wassergehalt und Partikelgröße determiniert und wird durch die Struktur beeinflusst. Pro Zyklus liegt beim gesunden Tier unter variablen Bedingungen die Zahl der Kauschläge recht konstant bei 50. Betrachtet man die in dieser Arbeit ermittelte durchschnittliche Zyklusdauer von ca. 57 Sekunden und dividiert sie mit der Peakfrequenz erhält man so einen Wert von ungefähr 45 Peaks. Somit scheint die ermittelten Peaks einem Kauschlag zu entsprechen. Das bestätigen auch die Ergebnisse von Braun et al. (2015) mit einer Kauschlagfrequenz von  $49 \pm 7$  pro Bolus.

Das ermittelte Mahlzeitenkriterium bei dieser Untersuchung betrug 20,82 min. Dies ist vergleichbar mit der Literatur (Kapitel 2.1.4.). So fanden Tolkamp et al. (1998), Tolkamp und Kyriazakis (1999), und Yeates et al. (2001) Mahlzeitenkriterien im Bereich von 26.4 bis 63.7 min. Yeates et al. (2001) kalkulierte ein Mahlzeitenkriterium von 29 min. Tolkamp et al. (2000) ermittelte ein Mahlzeitenkriterium von 24 bis 28 min und DeVries et al. ermittelten 27,7 min.

Die Analyse des Fressverhaltens ergab eine durchschnittliche Futteraufnahme pro Tag von  $22,72 \pm 1,89 \text{ kg TM}$ . Dies ist vergleichbar mit den Ergebnissen anderer Autoren (Kapitel 2.1.1). Die tägliche Fresszeit betrug  $3,90 \pm 0,68 \text{ h}$ . Diese verteilte sich auf durchschnittlich  $8,31 \pm 1,69$  Mahlzeiten pro Tag, Die durchschnittliche Mahlzeitendauer betrug  $29,53 \pm 7,95 \text{ min}$ . Dabei wurden durchschnittlichen  $2,87 \pm 0,45 \text{ kg TM}$  pro Mahlzeit aufgenommen. Diese Ergebnisse fügen sich in Angaben aus der Literatur in allen Merkmalen gut ein. DeVries et al. fanden im Durchschnitt eine (2003) tägliche Fresszeit von  $332,3 \pm 69,2 \text{ min}$ , aufgeteilt auf  $7,3 \pm 1,5$  Mahlzeiten bei einer durchschnittlichen

Mahlzeitendauer von  $47.1 \pm 13.0$  min. Tolkamp et al. (2000) untersuchten das Kurzzeitfressverhalten von Milchkühen in der Früh lactation und ermittelten eine tägliche Fresszeit von 225.1 min und eine durchschnittliche Mahlzeitenanzahl von 6.1 Mahlzeiten pro Tag. Die Dauer der Mahlzeiten betrug im Mittel 36.9 min. In weiteren Untersuchungen fanden Tolkamp et al. (2002) durchschnittliche Fresszeiten von 200 bis 277 min mit einer Mahlzeitendauer von 31,3 bis 41,4 min und 6,4 – 6,7 Mahlzeiten pro Tag. Dado und Allen (1994) fanden eine durchschnittliche Mahlzeitenanzahl von 11.9 mit einer durchschnittlichen Dauer von 25.9 min und einer täglichen Fresszeit von 294 min. Dabei verwendeten sie ein Mahlzeitenkriterium von 7.5 min. Dieses führte zu einer höheren Anzahl an Mahlzeiten pro Tag, aber nicht zu einer Veränderung in der täglichen Fresszeit (DeVries et al., 2003).

Zwischen der täglichen Futteraufnahme und der Fresszeit pro Tag konnte keine Korrelation gefunden werden. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt Azizi (2008). Er zeigte, dass zwischen der Gesamtfresszeit und der Trockenmasseaufnahme pro Tag praktisch keine Beziehung besteht. Eine mögliche Begründung dafür wäre, dass die Fresszeit über die Wiegetröge nur den Aufenthalt der Kuh im Trog bestätigt, nicht aber die tatsächliche Kauaktivität der Kuh erfasst.

Zwischen der Futteraufnahme pro Tag und der Mahlzeitenanzahl pro Tag konnte ebenfalls keine Korrelation nachgewiesen werden. Dies lässt sich auf die unterschiedlichen Verhaltensstrategien der Kühe zurückführen. Die Futteraufnahme kann auf zwei verschiedenen Wegen beeinflusst werden. Zum einen über die tägliche Fresszeit, die wiederum durch das Mahlzeitenprofil beeinflusst wird. Zum anderen durch die Fressgeschwindigkeit mit der das Futter aufgenommen wird.

Im Gegensatz dazu zeigte sich eine deutliche Korrelation zwischen der Mahlzeitenanzahl pro Tag und der dabei aufgenommenen Futtermenge pro Mahlzeit. Bei steigender Mahlzeitenanzahl sinkt die durchschnittliche Futteraufnahme pro Mahlzeit.

### **Beziehungen von Merkmalen des Fress- und des Wiederkauverhaltens**

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnte eine Korrelation zwischen der aufgenommenen Futtermenge pro Tag und der Wiederkauzeit pro Tag ermittelt werden. Die Wiederkauzeit und die vorhergehenden Futteraufnahme wiesen ebenfalls eine Korrelation auf. Hier finden sich bereits konträre Angaben in der Literatur. Verschiedene

Autoren (Metz, 1975; Piatkowski et al., 1977; Luginbuhl et al., 1989; DeBoever et al., 1990; Campbell et al., 1992; Hasegawa et al., 1997) wiesen eine eindeutige Korrelation zwischen der Grundfutteraufnahme und Wiederkäudauer pro Tag nach. Andere Autoren (Harb und Campling, 1985; Dado und Allen, 1994, Schirmann et al., 2012) konnten keinen Zusammenhang zwischen Futteraufnahme und Wiederkauzeit nachweisen. Die unterschiedlichen Angaben können einerseits auf verschiedene Versuchsdesigns zurückzuführen sein, andererseits auf die großen tierindividuellen Unterschiede sowohl in Futteraufnahme als auch in Wiederkäudauer. Auch Clement et al. (2014) kamen zu dem Ergebnis, dass die Variabilität der Wiederkauzeit präzise Schätzungen zur Futteraufnahme trotz gleicher Fütterung erschwert.

Keine Korrelationen konnten dagegen zwischen der Wiederkauzeit und der Fresszeit pro Tag, der Fresszeit und der Wiederkauzeit der nachfolgenden Wiederkauperiode, sowie der Anzahl der Wiederkauperioden und der Mahlzeitenanzahl pro Tag ermittelt werden. Da das Fressverhalten nicht allein aus der Futteraufnahme besteht, sondern verschiedene Verhaltensweisen wie das Wühlen und Sortieren beinhaltet, können tierindividuell sehr unterschiedliche Fresszeiten je nach Verhalten der Kühe auftreten. Dies zeigte sich auch darin, dass Fresszeit und Futteraufnahme pro Tag nicht miteinander korrelierten. Daher ist ein direkter Zusammenhang zwischen Fresszeit und Wiederkauzeit nicht zu erwarten. Auch Braun et al. (2015) fanden, dass das Fressverhalten einer größeren Variabilität unterliegt als das Wiederkauen. Sie kamen zu dem Schluss, dass die Merkmale des Fressverhaltens stärker von äußeren Faktoren beeinflusst werden als das Wiederkauen.

Die durchschnittliche Futteraufnahme vor den folgenden Wiederkauperioden betrug  $3,22 \pm 0,54$  kg, die durchschnittliche Gesamtdauer der folgenden Wiederkauperioden nach einer Mahlzeit betrug  $68,10 \pm 49,51$  min. Die durchschnittliche Anzahl der Wiederkauzyklen nach einer Mahlzeit betrug  $71,90 \pm 46,78$  und ergibt sich auch aus dem linearen Zusammenhang zur Wiederkauzeit. Der Quotient aus aufgenommener Futtermenge und nachfolgender Wiederkauzeit betrug im Mittel  $43,66 \pm 7,14$  g TM  $\text{min}^{-1}$  und zeigte eine Spannweite von 30 – 70 g TM pro Minute Wiederkauen.

Ein Zusammenhang zwischen der Mahlzeitenanzahl und der Anzahl Wiederkauperioden pro Tag konnte nicht gefunden werden. Im Mittel folgten nach  $1,13 \pm 0,06$  Mahlzeiten ca. die doppelte Anzahl an Wiederkauperioden ( $2,09 \pm 0,42$ ). Dabei war der Abstand



zwischen Beenden der Futteraufnahme und Beginn der folgenden Wiederkauperiode signifikant größer als der Abstand zwischen Beenden der Wiederkauperiode und der darauffolgenden Futteraufnahme. Es zeigte sich eine bimodale Verteilung der Pausen zwischen den einzelnen Kauaktivitäten mit einem Schnittpunkt bei 9,17 min. Die Bedeutung dieses Kriteriums sollte Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.

### **Beziehungen zwischen Fressen, Wiederkauen, Liegen und Aktivität**

In der Literatur wurde bislang vertreten, dass das Wiederkauen bevorzugt im Liegen stattfindet. In dieser Arbeit zeigte sich, dass dies nicht zwingend der Fall ist. Im Mittel verbrachten alle Kühe bis zu 20 % der Wiederkauzeit im Stehen. Auf tierindividuelle Ebene zeigte sich, dass einige Kühe mehr als die Hälfte der Wiederkauzeit im Stehen verbringen und auch zu den Fresszeiten das Wiederkauen bereits stattfindet. Das Wiederkauen als solches unterliegt tierindividuellen Faktoren und ist nicht zwingend mit dem Ruheverhalten gekoppelt. Im Gegensatz zu Schirmann et al. (2012) zeigten die vorliegenden Ergebnisse eine gleichmäßige Verteilung der Fress- und Wiederkauaktivität im Tagesverlauf.



## 4. Zusammenfassung

Ziel eines Organismus ist die Aufrechterhaltung einer ausgeglichenen Energiebilanz, die essentiell für das Wohlergehen und die Überlebensfähigkeit eines Tieres ist. Der Zusammenhang zwischen physiologischen Zuständen und dem Verhalten ergibt sich aus der Notwendigkeit der Anpassung eines Organismus an seinen Lebensraum. Typische Verhaltensweisen der Kühe, wie die tierindividuelle Futteraufnahme und die Wiederkautätigkeit, sind daher geeignete, objektiv zu überwachende tierbezogene Indikatoren. Die Vielzahl von Einflussfaktoren auf diese Verhaltensweisen erschwert die objektive Bewertung. Daher müssen sowohl detaillierte Untersuchungen zu den Einflussfaktoren als auch dem Zusammenspiel einzelner Verhaltensweisen erfolgen. Sensorsysteme zur objektiven Überwachung müssen das Fress- und Wiederkauverhalten tierindividuell mit ausreichender zeitlicher Auflösung über lange Zeitspannen erfassen und analysieren.

Ziel dieser Arbeit war die Beantwortung von zwei übergeordneten Fragen. Die erste Frage bezieht sich auf die Merkmale des Fressverhaltens und deren Veränderungen mit zunehmendem Alter und höherer Laktationszahl.

Es zeigte sich, dass sich das Fressverhalten von erstlaktierenden Kühen deutlich von dem älterer Kühe unterscheidet. Besonders große Unterschiede fanden sich hier in der Fressgeschwindigkeit, die bei älteren Kühen deutlich größer war. Auch die Fresszeit unterschied sich deutlich zwischen Jung- und Altkühen, allerdings nicht im gleichen Maß wie die Fressgeschwindigkeit. Zusammenfassend war in der Entwicklung des Fressverhaltens über die ersten drei Laktationen zu sehen, dass es sich um einen kontinuierlichen Prozess handelt und sich signifikante Unterschiede beim Vergleich erst zwischen der ersten und der dritten Laktation zeigen.

Die zweite Frage bezieht sich auf die wissenschaftliche Bewertung sensorbasierter Systeme zur Überwachung des Fress- und Wiederkauverhaltens. In dieser Arbeit wurden zwei Sensorsysteme mitentwickelt und zur Überwachung des tierindividuellen Fress- und Wiederkauverhaltens genutzt. Dabei zeigte sich, dass das RFID-basierte System eher ungeeignet war aufgrund des großen infrastrukturellen Aufwands und der unzureichenden Erfassung der Tiere am Fressgitter. Dennoch konnten vergleichbare Ergebnisse mit der Literatur bei der Charakterisierung des Fressverhaltens erzielt

werden. Auch konnten Unterschiede im Fressverhalten zwischen gesunden und auffälligen Kühen festgestellt werden.

Das elektromyographiebasierte Sensorsystem erwies sich als gut geeignet, um das tierindividuelle Wiederkauverhalten zu erfassen und zu analysieren. Anhand der Detailanalyse der Signale konnte ein Wiederkaukriterium, ähnlich dem Mahlzeitenkriterium, ermittelt werden. Des Weiteren zeigten sich die Vorteile im Abgleich mit den RFID-basierten Wiegetrögen. Letztere weisen in den Fresszeiten Ungenauigkeiten auf, da sie die tatsächliche Maulaktivität nicht erfassen können. Trotzdem sind sie wichtig, da die quantitative Erfassung der Futtermenge mit anderen Systemen derzeit nicht möglich ist und die gezeigten Zusammenhänge zwischen Fress- und Wiederkauverhalten zu stark variieren, um allgemeingültige Aussagen zur Menge des aufgenommenen Futters zu treffen. An dieser Stelle müssen weitere Forschungsvorhaben ansetzen.

## 5. Summary

The primary goal of any organism is to achieve and preserve an even energy balance, which is essential for the well-being and survivability of the animal. The correlation between physiological states and behavioral patterns results from the organism's need to adjust to its environment. Therefore, typical behaviors of dairy cows, such as the animal-specific feed intake and rumination characteristics, appear to provide suitable indicators that can be observed objectively for individual animals. The variety of influential factors affecting these behavioral patterns creates challenges for any objective assessment. Thus, detailed analyses must focus both on these influential factors and on the interplay of individual behavioral patterns. Sensor systems designed for objective monitoring must document and evaluate feeding and rumination patterns of individual animals over a sufficiently long period and with adequate temporal resolution.

The goal of this study was to address two superordinate questions. The first question refers to the characteristics of an animal's feeding behavior and its changes with increasing age and higher lactation number.

It appears that the feeding behavior of first-lactation cows significantly differs from that of older cows. Particularly noticeable differences were found for the feeding rate, which was much higher for older cows. The feeding times of young and old cows differed as well, but to a lesser extent. In summary, the evolution of the feeding behavior over the course of the first three lactations proved to be a continuous process with measurable differences between the first and the third lactation.

The second question addresses the scientific assessment of sensor-based systems for monitoring the feeding and rumination behavior. This study also saw the co-development of two sensor systems and their deployment to monitor the feeding and rumination patterns of individual cows. It turned out that the RFID-based system is a rather unfit choice due to its extensive infrastructure requirements and the insufficient registration of the animals at the feed fence. However, measured results are comparable to those found in previous studies of typical feeding behavior. In addition, differences in the behavioral patterns of healthy cows and of ailing cows were noted.

The electromyography-based sensor system appears to be quite suitable for documenting and evaluating animal-specific rumination patterns. Based on the detailed analysis of the signals, it was possible to determine a rumination variable, similar to the meals variable. This approach is also advantageous compared to the RFID-based weighing troughs in that the latter suffer from inaccuracies in the feeding times due to their inability to measure actual chewing activity. Nevertheless, these RFID-based systems play an important role as they currently provide the only option for quantitative measurements of feed intake. Furthermore, the noted correlations between feeding and rumination patterns vary too much to allow absolute statements on the amount of feed intake. Additional studies will have to explore these issues further.

## 6. Literatur

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

Azizi, O. (2008): Relationships between feeding behaviour and feed intake in dairy cows during early lactation. Dissertation. Humboldt-Universität zu Berlin.

Azizi, O.; Kaufmann, O.; Hasselmann, L. (2009): Relationship between feeding behaviour and feed intake of dairy cows depending on their parity and milk yield. *Livestock Science* 122: 156-161.

Bach, A., Iglesias, C., Devant, M., Ràfols, N. (2006): Performance and feeding behavior of primiparous cows loose housed alone or together with multiparous cows. *J. Dairy Sci.* 89: 337-342.

Balch, C.C., 1958. Observation on the act of eating in cattle. *Br. J. Nutr.* 12: 330-345.

Balch, C.C., Campling, R.C. (1962): Regulation of Voluntary Food Intake in Ruminants. *Nutr. Abstr. Rev.* 32, 669 - 685

Balzer, H.-U., Kultus, K., Köhler, S. (2009): A new generation of fertility monitoring in cattle herds, *JIAC 2009, Book of Abstracts*, Wageningen, Academic Publishers, ISBN 978-90-8686-114-9, p. 236.

Balzer, H.-U.; Köhler, S.; Kultus, K.; Schmidt, S.; Sparborth, D. und Linnebur, M. (2009): Sensorgestütztes Monitoring von Reproduktion, Tiergesundheit und Tierverhalten – Nutzung des neuartigen Messsystems Smardwatch zur Beurteilung der Gesundheit und des Wohlbefindens von Tieren. *Vet-MedReport. Organ für tierärztliche Fortbildungskongresse* 33: 4-5.

Bareille, N., Beaudreau, F., Billon, S., Robert, A., Faverdin, P. (2003): Effects of health disorders on feed intake and milk production in dairy cows. *Livestock Production Science* 83: 53–62.

Basmajian, J.A. Del Luca, C.J. (1985): *Muscles alive. Their functions revealed by electromyography.* Williams & Wilkins. Baltimore 1985.

Batchelder, T.L. (2000): The impact of head gates and overcrowding on production and behavior patterns of lactating dairy cows. – In: Dairy Housing and Equipment Systems: Managing and Planning for Profitability, Camp Hill, Pennsylvania, 325-330.

Beauchemin, K.A., Zelin, S., Genner, D., Buchanan-Smith, J.G. (1989): An automatic system for quantification of eating and ruminating activities of dairy cattle housed in Stalls. J. Dairy Sci. 72: 2746-2759.

Beauchemin, K.A. (1991): Ingestion and mastication of feed by dairy cattle. Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice 7: 439-463.

Beauchemin, K. A., Yang, W., 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. und Yang 2005, W.Z. (2005): Effects of physically fiber on intake, chewing activity, and ruminal acidosis for dietary cows fed diets based on corn silage. J. Dairy Sci. 88:2117-2129.

Berger, A. (1999): Chronobiologische Untersuchungen an Przewalskipferd (*Equus ferus przewalski*) und Rothirsch (*Cervus elaphus*) unter naturnahen Bedingungen und Möglichkeiten der chronobiologischen Belastungsdiagnostik. Dissertation. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.

Beringhoff, L. (2014): Kau-Sensoren melden die Brunst. Top-agrar 5/2014.

Bikker, J. P., van Laar, H., Rump, P., Doorenbos, J., van Meurs, K., Griffioen, G.M., Dijkstra, J. (2014): Technical Note: Evaluation of an ear-attached movement sensor to record cow feeding behavior and activity. J. Dairy Sci. 97: 2974-2979.

Bøe, K.E., Færevik, G. (2003): Grouping and social preferences in calves, heifers and cows. Appl. Anim. Behav. Sci. 80: 175-190.

Botheras, N.A. (2007): The feeding behavior of dairy cows considerations to improve cow welfare and productivity. Tri-State Dairy Nutrition Conference. 24.-25-04.2007.



- Bowman, G. R., Beauchemin, K.A., Shelford, J. A. (2003): Fibrolytic enzymes and parity effects on feeding behavior, salivation, and ruminal pH of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86:565-575.
- Braun, U., Zürcher, S., Hässig, M. (2016): Eating and rumination activity in 10 cows over 10 days. *Research in Veterinary Science* 101: 196-198.
- Budras, K.-D., Buda, S. (2007): Atlas der Anatomie des Rindes. Supplement Klinisch-funktionelle Anatomie. Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH & Co.KG.
- Büchel, S. (2013): Sensor-based control of chewing and rumination behavior of dairy cows. Dissertation. Universität Kassel.
- Burfeind, O., Schirmann, K., von Keyserlingk, M.A.G., Veira, D.M., Weary, D.M., Heuwieser, W. (2011): Technical note: Evaluation of a system for monitoring rumination in heifers and calves. *J. Dairy Sci.* 94: 426-430.
- Campbell, C.P., Marshall, S.A., Mandell, I.B., Wilton, J.W. (1992): Effects of source dietary neutral detergent fiber on Chewing behavior in beef cattle fed pelleted concentrates with or without supplemental roughage. *J. Anim. Sci.* 70: 894 – 903.
- 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.
- Chilibroste, P., (1999): Grazing time: The missing link. A study of the plant-animal interface by integration of experimental and modeling approaches. Ph.D. Diss., Wageningen agric. Univ., The Netherlands.
- Clapham, W.M., Abaye, O., Fedders, J.M., Yarber, E. (2006): Sound spectral analysis of grazing steers. *Proceedings.* 15:139-143.
- Clement, P., Guatteo, R., Delaby, L., Rouillè, B., Chanvallon, A., Philipot, J.M., Bareille, N. (2014): Short communication: Added value of rumination time for the prediction of dry matter intake in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 97: 6531-6535.
- Cooper, M.D., Arney, D.R., Phillips, C.J.C. (2007): Two- or four-hour lying deprivation on the behavior of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90:1149-1158.

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

Dado, R. G.; Allen, M. S. (1994): Variation in and Relationships among Feeding, Chewing, and Drinking Variables for Lactating Dairy Cows; *Journal of Dairy Science* Vol. 77: 132-144.

De Boever, J.L., Andries, J.I., De Brabander, D.L., Cottyn, B.G., Buysse, F.X. (1990): Chewing activity of ruminants as a measure of physical structure - a review of factors affecting it. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 27: 281-291.

De Brabander, D.L., De Boever, J.L., De Smet, A.M., Vanacker, J.M., Boucque, C.V., Bottermann, S.M. (1999): Evaluation of physical structure in dairy cattle nutrition. In *Recent Advances in Animal Nutrition* by P.C. Garnsworthy and J. Wiseman (Eds.). Nottingham Univ. Press. 111-145.

Delagarde, R., Caudal, J.P., Peyraud, J.L., (1998): Development of an automatic bitemeter for grazing cattle. *Ann. Zootech.* 48, 329-339.

Demment, M.W., Laca, E.A., Seligman, N.G., Ungar, E.D. (1992): Integrating sward structure and ingestive behavior to determine intake rate in cattle. Final Scientific Report for BARD. Project No. US-1329-87.

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

Deswysen, A.G., Ellis, W.C. (1990): Fragmentation and ruminal escape of particles as related to variations in voluntary intake, chewing behavior and extent of digestion of potentially digestible NDF in Heifers. *J. Anim. Sci.* 68: 3871-3879.

DeVries, T.J., von Keyserlingk, M.A.G., Weary, D.M., Beauchemin, K.A. (2003a): Measuring the feeding behavior of lactating dairy cows in early to peak lactation. *J. Dairy Sci.* 86:3354-3361.

DeVries, T.J., von Keyserlingk, M.A.G., Weary, D.M., Beauchemin, K.A. (2003b): Short Communication: Diurnal feeding pattern of lactating dairy cows, *J. Dairy Sci.* 86:4079-4082.

- DeVries, T.J., von Keyserlingk, M.A.G., Weary, D.M., Beauchemin, K.A. (2003c): Technical note: Validation of a system for monitoring feeding behavior of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86: 3571-3574.
- DeVries, T.J., von Keyserlingk, M.A.G., Weary, D.M. (2004): Effect of feeding space on the inter-cow distance, aggression, and feeding behavior of free-stall housed lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87:1432-1438.
- DeVries, T.J., von Keyserlingk, M.A.G., Beauchemin, K.A., 2005: Frequency of feed delivery affects the behavior of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88: 3553-3562.
- DeVries, T.J., von Keyserlingk, M.A.G. (2006): Feed stalls affect the social and feeding behavior of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89: 3522-3531
- DeVries, T.J., Beauchemin, K.A., von Keyserlingk, M.A.G. (2007): Dietary forage concentration affects the feed sorting behavior of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90: 5572–5579.
- DeVries, T.J., Dohme, F., Beauchemin, K.A. (2008): Repeated ruminal acidosis challenges in Lactating dairy cows at high and low risk for developing acidosis: feed sorting. *J. Dairy Sci.* 91: 3958-3967.
- DeVries, T.J., von Keyserlingk, M.A.G. (2009a): Short communication: Feeding method affects the feeding behavior of growing dairy heifers, *J. Dairy Sci.* 92:1161-1168.
- DeVries, T.J., von Keyserlingk, M.A.G. (2009b): Competition for feed affects the feeding behavior of growing dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 92: 3922-3929.
- DeVries, T.J., Beauchemin, K.A., Dohme, F., Schwartzkopf-Genswein, K.S. (2009c): Repeated ruminal acidosis challenges in lactating dairy cows at high and low risk for developing acidosis: Feeding, ruminating, and lying behavior, *J. Dairy Sci.* 92 :5067-5078.
- Dulphy, J.P., Demarquilly, C. (1994): The regulation and prediction of food intake in ruminants in relation to feed characteristics. *Livest. Prod. Sci.* 39: 1-12.
- Eradus, W.J., Jansen, M.B. (1999): Animal identification and monitoring. *Computers and Electronics in Agriculture* 24: 91-98.

Fagen, R.M., Young, D.Y. (1978): Temporal patterns of behavior: duration intervals, latencies, and sequences. In: Colgan PW (ed) Quantitative Ethology. John Wiley & sons, New York.

Ferris, C.P., Keady, T. W.J., Gordon, F.J., Kilpatrick, D.J. (2006): Comparison of a Calan gate and a conventional feed barrier system for dairy cows: feed intake and cow behaviour. Irish Journal of Agricultural and Food Research, 149-156.

Forbes, J. (1995): Voluntary food intake and diet selection in farm animals. CAB International, Wallingford, UK.

Fregonesi, J.A., Leaver, J.D. (2002): Influence of space allowance and milk yield level on behaviour, performance and health of dairy cows housed in strawyard and cubicle systems. Livestock Prod. Sci. 78: 245-257.

Frondelius, L., Pastell, M., Mononen, J. (2014): Validation of the TrackLab positioning system in a cow barn environment. Proceedings of Measuring Behavior 2014, Wageningen.

Fürll, M., Bargel, E. (2010): KMUni-Experten-Kolleg für Applikationen des sensorgestützten Nutztiermonitorings; Teil: Problemspezifische Stoffwechselkontrollen bei Kühen zur Frühdiagnostik von subklinischen Störungen. Schlussbericht.

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

Geary, N. (2005): A new way of looking at eating. Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol. 288: 1444-14446.

Gesch, G. (1998): Computergestützte Auswertung der Oberflächen-Elektromyogramme von acht verschiedenen Armmuskeln mit Hilfe ausgewählter Parameter, dargestellt am Beispiel einer Probandengruppe mit lateraler Epikondylopathie in Gegenüberstellung zu einer gesunden Kontrollgruppe. Tectum Verlag, Marburg.

Goldhawk, C., Chapinal, N., Veira, D.M., Weary, D.M., von Keyserlingk, M.A.G. (2009): Prepartum feeding behavior is an early indicator of subclinical ketosis. J. Dairy Sci. 92: 4971-4977.

- Gonzales, L. A., Tolkamp, B. J., Coffey, M. P., Ferret, A., Kyriazakis, I. (2008): Changes in feeding behavior as possible indicators for the automatic monitoring of health disorders in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 91:1017-1028.
- Grant, R.J., Albright, J.L. (1995): Feeding behavior and management factors during the transition period in dairy cattle. *J. Anim. Sci.* 73:2791-2803.
- Grant, R. J., Albright, J.L. (2000): Feeding behaviour. – In: Dmello, J. P. F (Hrsg.): *Farm animal metabolism and nutrition.*, CABI Publishing, Wallingford, Oxon, Großbritannien, 365-382.
- Grant, R.J., Albright, J.L. (2001): Effect of Animal Grouping on Feeding Behavior and Intake of Dairy Cattle, *J. Dairy Sci.* 84 (E. Suppl.): E156-E163. 156-163?
- Greter, A.M., DeVries, T.J., von Keyserlingk, M.A.G. (2008): Nutrient intake and feeding behavior of growing dairy heifers, *J. Dairy Sci.* 91: 2786-2795.
- Greter, A.M., Leslie, K.E., Mason, G.J., McBride, B.W., DeVries, T.J. (2010a): Effect of feed delivery method on the behavior and growth of dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 93: 1668-1676.
- Greter, A.M., Leslie, K.E., Mason, G.J., McBride, B.W., DeVries, T.J. (2010b): Feed delivery method affects the learning of feeding and competitive behavior in dairy heifers, *J. Dairy Sci.* 93: 3730-3737.
- Greter, A.M., Kitts, B.L., DeVries, T.J. (2011): Short communication: Limit feeding dairy heifers: Effect of feed bunk space and provision of a low-nutritive feedstuff. *J. Dairy Sci.* 94: 3124-3129.
- Greter, A.M., von Keyserlingk, M.A.G., DeVries, T.J. (2012): Ration composition affects short-term diurnal feeding patterns of dairy heifers. *Appl. Anim- Behav. Sci.* 140: 16-24.
- Greter, A.M., Westerveld, R.S., Duffield, T.F., McBride, B.W., Wldowski, T.M., DeVries, T.J. (2013): Short communication: Effect of frequency of feed delivery and bunk space on the feeding behavior of limit-fed dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 96: 1803-1810.

Greter, A.M., Miller-Cushon, E.K., McBride, B.W., Widowski, T.M., Duffield, T.F., DeVries, T.J. (2015): Short communication: Limit feeding affects behavior patterns and feeding motivation of dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 98: 1248-1254.

Gross, M. R. (1996): Alternative reproductive strategies and tactics: diversity within sexes. *Trends Ecol. Evol.* 11: 92-97.

Gruber, L., Schwarz, F.J., Fischer, B., Meyer, U., Chassot, A., Steingass, H., Spiekers, H., Jilg, T., Rätzer, H., Maierhofer, R., Guggenberger, T.: Ableitung von Futteraufnahme-Schätzformeln für Milchkühe aus einer Kooperation von Forschungsinstituten Deutschlands, Österreichs und der Schweiz (Zwischenergebnisse). *Forum Angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung. Tagungsunterlage, Fulda (BRD), 20.–21. März 2002, 49–53.*

Gruber, L. (2002): Regulation und Vorhersage der Futteraufnahme von Milchkühen. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, A-8952 Irdning. Institut für Viehwirtschaft.

Gruber, L., Schwarz, F.J., Erdin, D., Fischer, B., Spiekers, H., Steingass, H., Meyer, U., Chassot, A., Jilg, T., Obermaier, A., Guggenberger, T. (2004): Vorhersage der Futteraufnahme von Milchkühen – Kooperation von 10 Forschungs- und Universitätsinstituten Deutschlands, Österreichs und der Schweiz. Bericht 31. Viehwirtschaftliche Fachtagung der BAL Gumpenstein, 27.-28. April 2004, 21-39.

Hafez, E.S.E., Bouissou, M.F. (1975): The behavior of cattle. *Behaviour of Domestic Animals*, 3rd ed. Williams and Wilkins Co. Baltimore MD, 209

Harb, M.Y., Campling, R.C. (1985): Variation among pregnant, non-lactating dairy cows in eating and ruminating behaviour, digestibility and voluntary intake of hay. *Grass Forage Sci.* 40: 109-111.

Harms, J., Wendl, G., Schon, H. (2002): Influence of cow traffic on milking and animal behaviour in a robotic milking system. *Proc. First N. Amer. Conf. on Robotic Milking, Toronto, Canada, 114-118.*

Hasegawa, N., Nishiwaki, A., Sugawara, K., Ito, I. (1997): The effects of social exchange between two groups of lactating primiparous heifers on milk production, dominance order, behavior and adrenocortical response. *Appl. ANim. Behav. Sci.* 51: 15-27.

Hegewald, G., 1999: Ganganalytische Bestimmungen und Bewertung der Druckverteilung unterm Fuß und von Gelenkwirbelverläufen – eine Methode für die Diagnose und Therapie im medizinischen Alltag und für die Qualitätssicherung in der rehabilitationstechnischen Versorgung. Dissertation. Humboldt-Universität zu Berlin.

Hillmann, E. (2008): Womit verbringen Kühe im Laufstall ihre Zeit? 9. Jahrestagung – Futterkamp, 17./18.09.2008.

Huzzey, J.M., DeVries, T.J., Valois, P., von Keyserlingk, M.A.G. (2006): Stocking density and feed barrier design affect the feeding and social behavior of dairy cattle, *J. Dairy Sci.* 89:126-133.

Huzzey, J.M., Veira, D.M., Weary, D.M., von Keyserlingk, M.A.G. (2007): Prepartum behavior and dry matter intake identify dairy cows at risk for metritis, *J. Dairy Sci.* 90: 3220-3233.

Jarrige, R., Demarquilly, C., Dulphy, J.P., Hoden, A., Robelin, J., Beranger, C., Geay, Y., Journet, M., Malterre, C., Micol, D., Petit, M. (1986): The INRA "fill unit" system for predicting the voluntary intake of forage-based diets in ruminants. *J. Anim. Sci.* 63, 1737-1758.

Jeroch, H., Drochner, W., Simon, O., (1999): Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

Jile, Y.H. (2003): Untersuchungen zur Bedeutung der Frequenz der Kieferschläge während des Wiederkauens für die Einschätzung der Wiederkauaktivität von Milchkühen. Dissertation. Tierärztliche Hochschule Hannover.

Johnson, R. W. (2002): The concept of sickness behavior: a brief chronological account of four key discoveries. *Vet. Immunol. Immunopathol.* 87, 443–450

Kappeler, P. 2006: Verhaltensbiologie. Springer- Verlag Berlin Heidelberg.

Kaufmann, O., Azizi, O., Hasselmann, L. (2007): Untersuchungen zum Fressverhalten hochleistender Milchkühe in der Früh-laktation. *Züchtungskunde* 79, (3): 219- 230. ISSN 0044-5401. Eugen-Ulmer KG, Stuttgart.

Kaufmann, O., Wobschall, A. (2011): KMUni – Experten-Kolleg für Applikationen des sensorgestützten Nutztiermonitorings. Schlussbericht.

Kaufmann, O., Wobschall, A. (2014): NutriCheck – Frühwarnsystem zur Beurteilung der Nährstoffversorgung in Milchviehbeständen mittels Erfassung und Auswertung der Fress- und Wiederkäuaktivitäten. Schlussbericht.

Kaske, M. (2000): Motorik des Magen-Darm-Kanals. – In: Von Engelhardt, W. V.; Breves, G. (Hrsg.): *Physiologie der Haustiere*. Verlag Enke, Stuttgart.

Kaske, M., Beyerbach, M., Hailu, Y., Göbel, W., Wagner, S. (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.

Kennedy, P. M. (1985): Effect of rumination on reduction of particle size of rumen digesta by cattle. *Aust. J. Agric. Res* 36: 819-828.

Knutson, L. M., Soderberg, G.L. (1995): *Gait analysis theory and application*, Chapter 22. *EMG: Use and Interpretation*. Mosby-Year Book, Inc.

Kolb, E., (Hrsg.) (1989): *Die Physiologie der Verdauung und Resorption*. In: *Lehrbuch der Physiologie der Haustiere*. Teil 1. 5., überarb. Aufl. Gustav Fischer Verlag, Jena.

Kononoff, P. J.; Lehman, H. A.; 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.J., Heinrichs, A.J., Lehman, H.A. (2003): The effect of corn silage particle size on eating behavior, chewing activities, and rumen fermentation in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86:3343–3353.

Kuhne, F.; Struwe, R.; Kaminski, M.; Balzer, H.-U.; (2006): Zur Charakterisierung von Belastungszuständen bei Hunden mittels chronobiologischer Regulationsdiagnostik, *KTBL Schrift* 448, *Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung*: 31-40.



Kuhne, F.; Struwe, R.; Lindner, N.; Rudolph, C.; Balzer, H.-U. (2007): Charakterisierung individueller Verhaltensreaktionen von Hunden auf einen akustischen Reiz anhand physiologischer Parameter. *KTBL-Schrift* 461: 167-176.

Kuhne, F.; Struwe, R.; Lindner, N.; Rudolph, C.; Wuerbel, H.; Balzer, H.-U. (2007): Chronobiological evaluation of individual regulation types in dogs. *International Ethological Conference, Halifax, Nova Scotia, Canada. 15-23.08.2007. Conference Proceedings*: 172.

Kultus, K., Balzer, H.-U. (2009): Eine neue Methode zur Beurteilung der Tiergerechtheit von Haltungssystemen. 9. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, 22.-29.9.2009 Berlin, Tagungsband: 321-326.

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

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

Leonardi, C., Armentano, L.E. (2003): Effect of quantity, quality, and length of alfalfa hay on selective consumption by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86: 557–564.

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

Lindner, N. (2011): Verhaltensbeobachtungen und elektrophysiologische Untersuchungen an Hunden in Beanspruchungssituationen. *Dissertation. Freie Universität zu Berlin.*

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

Lozàn, J.L., Kausch, H. (1998): *Angewandte Statistik für Naturwissenschaftler, 2., überarbeitete Auflage; Pareys Studentexte* 74.

Ludin, H.P. (1981): *Praktische Elektromyographie. 2. Auflage.* Enke, Stuttgart.

Luginbuhl, J.-M.; Pond, K.R., Russ, J.C., Burns, J.C. (1987): A Simple electronic device and computer interface system for monitoring chewing behavior of stall-fed ruminant animals. *J. Dairy Sci.* 70: 1307-1312.

Luginbuhl, J.-M., Pond, K.R., Burns, J.C., Russ, J.C. (1989): Effects of ingestive mastication on particle dimensions and weight distribution of castal bermudagrass hay fed to steers at four levels. *J. ANim. Sci.* 67: 538-546.

Maekawa, M.; Beauchemin, K. A. et al. (2002): Chewing activity, saliva production, and ruminal pH of primiparous and multiparous lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85: 1176-1182.

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

Mbanya, J. N., Anil, M. H., Forbes, J. M. (1993): The voluntary intake of hay and silage by lactating cows in response to ruminal infusion of acetate or propionate, or both, with or without distension of the rumen by ballon. *Br. J. Nutr.* 69: 713-720.

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

Melin, M., Pettersson, G., Svennersten-Sjaunja, K., Wiktorsson, H. (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.

Metz, J. H. M. (1975): Time patterns of feeding and rumination in domestic cattle. Van de Land-bouwhogeschool te Wageningen, Wageningen, Niederlande, Dissertation.

Metz, J. H. M. (1983): Food competition in cattle. – In: Baxter, S. H.; M. R. Baxter, J.A.C. MacCormack, (Hrsg.): *Farm Animal Housing and Welfare*. Kluwer Academic Publishers Group, Dordrecht, Niederlande, 164.

Miller-Cushon, E.K., Vogel, J.P., DeVries, T.J. (2015): Short communication: Feed sorting of dairy heifers ist influenced by method of dietary transition. *J. Dairy Sci.* 98: 2687-2692.

Minson, D.J. (1990): *Forage in ruminant nutrition*. Academic press, San Diego, California.

- Moody, M.L., Zanton, G.I., Daubert, J.M., Heinrichs, A.J. (2007): Nutrient utilization of differing forage-to-concentrate ratios by growing Holstein heifers. *J. Dairy Sci.* 90: 5580-5586.
- Morita, S., Devir, S., Ketelaar-De Lauwere, C.C., Smits, A.C., Hogeveen, H., Metz, J.H.M. (1996): Effects of concentrate intake on subsequent roughage intake and eating behavior of cows in an automatic milking system. *J. Dairy Sci.* 79: 1572-1580.
- Nagel, S.; Harms, K.; Mahnke, E.; Piatkowski, B. (1975): Zur quantitativen Bestimmung der Kau- und Wiederkauaktivität bei Milchkühen. *Arch. Tierernährung* 25:21-26
- Naguib, M. 2006: Methoden der Verhaltensbiologie, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Nichols, G. de la M. (1966): Radio transmission of sheep's jaw movements. *N.Z. JI agric. Res.* 9: 468-473.
- Nielsen, B.L. (1999): On the interpretation of feeding behaviour measures and the use of feeding rate as an indicator of social constraint, *App. Anim. Beh. Sci.* 63: 79–91.
- Nydegger, F., Gygax, L., Egli, W. (2011): Automatic Measurement of Rumination and Feeding Activity using a Pressure Sensor. *Agrarforschung Switzerland.* 2:60-65.
- Olofsson, J. (1999): Competition for Total Mixed Diets Fed for Ad Libitum Intake Using One or Four Cows per Feeding Station, *J. Dairy Sci.* 82:69-79.
- Olofsson, J., Pettersson, G., Wiktorsson, H. (2000): Feeding behaviour in an automatic milking system. – In: Hogeveen, H., Meijering, A. (Hrsg.): *Robotic Milking. Proceedings of the International Symposium.* Wageningen Pres, Wageningen, Niederlande, 189.
- Owens, F.N., Secrist, D.S., Hill, W.J., Gill, D.R. (1998): Acidosis in cattle: a review. *J. Anim. Sci.* 76: 275-286
- Østergaard, S., Gröhn, Y.T. (2000): Concentrate feeding, dry-matter intake, and metabolic disorders in Danish dairy cows, *Liv. Prod. Sci.* 65:107-118.
- Pahl, C., Haeussermann, A., Mahlkow-Nerge, K., Grothmann, A., Hartung, E., 2012. Comparison of rumination activity records of pressure sensors and acoustic sensors. *International Conference of Agricultural Engineering 2012. Animal Production Technology.* Valencia, Spain.

Patbandha, T. K., Mohanty, T.K., Layek, S.S., Kumaresan, A., Behera, K. (2012): Application of pre-partum feeding and social behaviour in predicting risk of developing metritis in crossbred cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 139: 10-17.

Penning, P.D. (1983): A technique to record automatically some aspects of grazing and ruminating behaviour in sheep. *Grass Forage Sci.* 38: 89-96.

Penning, P.D., Steel, G.L., Johnson, R.H. (1984): Further development and use of an automatic recording system in sheep grazing studies. *Grass and Forage Science* 39: 345-351.

Phillips, C.J.C., Leaver, J.D. (1986): The effect of forage supplementation on the behaviour of grazing dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 16:233-247.

Phillips, C.J.C., Rind, M.I. (2001): The effects of frequency of feeding a total mixed ration on the production and behavior of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84:1979-1987.

Piatkowski, B., Nagel, S, Bergner, E. (1977): Das Wiederkäuverhalten bei Kühen bei unterschiedlicher Trockensubstanzaufnahme und verschiedener physikalischer Form von Grasheu. *Arch. Tierern.* 27: 563-569.

Porzig, E. und Sambras, H.H. (1991): Nahrungsaufnahmeverhalten landwirtschaftlicher Nutztiere. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.

Pond, K., Ellis, W., Akin, D. (1984): Ingestive mastication and fragmentation of forages. *J. Anim. Sci.* 58: 1567-1561.

Potthast, V. (1976): Eine Methode zum Messen von Fress- und Wiederkauzeiten bei Milchkühen. *Zeitschrift für Tierphysiologie Tierernährung und Futtermittelkunde* 37: 94-99.

Proudfoot, K. L, Huzzey, J.M., von Keyserlingk, M.A.G. (2009): The effect of dystocia on the dry matter intake and behavior of Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 92: 4937-4944.

Raya, S. (2011): Reaktionen von Milchkühen während der Transitperiode in Bezug auf Futter und Wasseraufnahme sowie Liegeverhalten und Bewegungsaktivität. Dissertation. Humboldt-Universität zu Berlin.

- Redbo, A., Nordblad, A. (1997): Stereotypies in heifers are affected by feeding regime, *Applied Animal Behaviour Science* 53: 193-202.
- Richter, U. (2010): Quantifizierung der Fress- und Wiederkäuaktivitäten von Milchkühen. Dissertation. Universität Kassel.
- Rosenberger, G., Dirksen, G., Gründer, H.-D., Grunert, E., Krause, D., Stöber, M. (1990): Die klinische Untersuchung des Rindes. Berlin und Hamburg: Verlag Paul Parey.
- Rutter, S. M.; Champion, R. A.; Penning, P. D. (1997): An automatic system to record foraging behavior in free-ranging ruminants. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 54: 185-195.
- Rutter (mündliche Auskunft, DairyCare-Workshop, Leeuwarden, 2016)
- Ruuska, S., Hämäläinen, W., Saivaranen, A., Juutinen, E., Tuomisto, L., Järvinen, M., Mononen, J. (2014): Can stealing cows distort the result of feeding trials? An experiment for quantification and prevention of stealing feed by dairy cows from roughage intake control feeders. *Applied Animal Behavior Science* 159: 1-8.
- Ruuska, S., Kajava, S., Mughal, M., Zehner, N., Mononen, J. (2016) : Validation of a pressure sensor-based system for measuring eating, rumination and drinking behaviour of dairy cattle. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 174: 19-23.
- Sachs, L. (1999): *Angewandte Statistik, Anwendung statistischer Methoden*, Elfte, überarbeitete und aktualisierte Auflage, Springer Verlag.
- Sambraus, H.H. (1991): *Nutztierkunde*. Eugen Ulmer Verlag Stuttgart.
- Saurwein, K.-H., Hönekopp, T. (1992): *SPSS/ PC 4.0 - Eine anwendungsorientierte Einführung zur professionellen Datenanalyse*. Bonn, Addison-Wesley GmbH.
- Savory, C. J. (1979): Feeding behaviour. – In: K. N. Boonnan, B. M. Freeman (Hrsg.): *Food Intake Regulation in Poultry*. Longman, Edinburgh, England. 277.
- Scheibe, K.M., Schleusner, T., Berger, A., Eichhorn, K., Langbein, J., Dal Zotto, L., Streich, W.J. (1997): ETHOSYS ® - new system for recording and analysis of behaviour of free-ranging domestic animals and wildlife. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 55: 195-211.

Schirmann, K., von Keyserlingk, M.A.G., Weary, D.M., Veira, D.M., Heuwieser, W. (2009): Technical note: Validation of a system for monitoring rumination in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92: 6052-6055.

Schleisner, C., Nørgaard, P., Hansen, H. (1999): Discriminant analysis of patterns of jaw movement during rumination and eating in a cow. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A, Animal Science* 49: 251-259.

Schwarz, F.J., Kirchgessner, M. (1985): Grundfutteraufnahme von Milchkühen in Abhängigkeit von Lebendgewicht, Zahl der Laktationen, Kraftfutterzufuhr und Grundfutterqualität. *Züchtungskunde.* 57: 267-277.

Schwartzkopf-Genswein, K.S., Huisma, C., McAllister, T.A. (1999): Validation of a radio frequency identification system for monitoring the feeding patterns of feedlot cattle. *Livestock Prod. Sci.* 60: 27-31.

Shabi, Z., Murphy, M.R., Moallem, U. (2005): Within-day feeding behavior of lactating dairy cows measured using a real-time control system. *J. Dairy Sci.* 88: 1848-1854.

Sheldon, I. M. (2004): The postpartum uterus. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 20: 569-591.

Shelley, A.N. (2013). Monitoring dairy cow feed intake using machine vision. Dissertation. University of Kentucky UKnowledge.

Sibly, R.M., Nott, H.M.R., Fletcher, D.J. (1990): Splitting behaviour into bouts. *Anim. Behav.* 39: 63-69.

Siivonen, J., Taponen, S., Hovinen, M., Pastell, M., Lensink, B.J., Pyörälä, S., Hänninen, L. (2011): Impact of acute clinical mastitis on cow behaviour. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 132: 101-106.

Slater, P.J.B. (1974): The temporal pattern of feeding in the zebra finch. *Anim. Behav.* 22: 506-515.

Slater, P.J.B., Lester, N.P. (1982): Minimising errors in splitting behaviour into bouts. *Behaviour.* Vol. 79, No. 2/4 (1982): 153-161.

- Sowell, B. F., Bowman, J.P.G., Branine, M.E., Hubbert, M.E. (1998): Radio frequency technology to measure feeding behavior and health of feedlot steers. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 59: 277-284.
- Stamer, E. (1995): Futteraufnahmeverhalten von Milchkühen – Analyse der Zeitstruktur und Nutzungsmöglichkeiten; Hochschulschrift, 1995 Kiel, Selbstverlag des Institutes für Tierzucht und Tierhaltung der Christian-Albrecht-Universität zu Kiel.
- Stangaferro, M.L., Wijma, R., Caixeta, L.S., Al-Abri, M.A., Giordano, J.O. (2016a): Use of rumination and activity monitoring for the identification of dairy cows with health disorders: Part I. Metabolic and digestive disorders. *J. Dairy Sci.* 99: 1-16. Article in press.
- Stangaferro, M.L., Wijma, R., Caixeta, L.S., Al-Abri, M.A., Giordano, J.O. (2016b): Use of rumination and activity monitoring for the identification of dairy cows with health disorders: Part II. Mastitis. *J. Dairy Sci.* 99: 1-11. Article in press.
- Stangaferro, M.L., Wijma, R., Caixeta, L.S., Al-Abri, M.A., Giordano, J.O. (2016c): Use of rumination and activity monitoring for the identification of dairy cows with health disorders: Part III. Metritis. *J. Dairy Sci.* 99: 1-12. Article in press.
- Steingass, H., Zebelli, Q., Drochner, W. (2008): Neue Aspekte der Strukturbewertung von Rationen für Milchkühe. Proceedings of the 17th Intern. Scientific Symposium on Nutrition of Domestic Animals; Symposium on Nutrition of Domestic Animals. "Zadravec-Erjavec Days", 81-90.
- Storm, S. (2012): Bewertung technischer Systeme zur Erfassung der Fress- und Wiederkäuaktivitäten anhand von Forschungsergebnisse und am Beispiel eines neuen EMG-Sensorsystems. Humboldt-Universität zu Berlin. Masterarbeit.
- Tafaj, M., Steingass, H., Susenbeth, A., Lang, G. U., Drochner, W. (1999): Einfluss der Partikellänge von Heu auf Verdauungsvorgänge bei Wiederkäuer bei Variation von Kraftfutter- und Fütterungsniveau. *Arch. Anim. Nutr.* 52: 167-184.
- Taweel, H.Z., Tas, B.M., Dijkstra, J., Tamminga, S. (2004): Intake regulation and grazing behavior of dairy cows under stocking condition. *J. Dairy Sci.* 87: 3417-3427.
- Tolkamp, B. J., Allcroft, D.J., Austin, E.J., Nielsen, B.L., Kyriazakis, I. (1998): Satiety splits feeding behaviour into bouts. *J. Theor. Biol.* 194: 235-250.

Tolkamp, B.J., Kyriazakis, I. (1999): To split behaviour into bouts, log-transform the intervals. *Anim. Behav.* 57: 807-817.

Tolkamp, B.J., Schweitzer, D.P.N., Kyriazakis, I. (2000): The biologically relevant unit for the analysis of short-term feeding behavior of dairy cows, *J. Dairy Sci.* 83: 2057-2068.

Tolkamp, B.J., Friggens, N.C., Emmans, G.C., Kyriazakis, I., Oldham, J.D. (2002): Meal patterns of dairy cows consuming mixed foods with a high or a low ratio of concentrate to grass silage. *Animal Sci.* 74: 369-382.

Ulyatt, M.J., Dellow, D.W., John, A., Reid, C.S.W., Waghorn, G.C. (1986): Contribution of chewing during eating and rumination to the clearance of digesta from the ruminoreticulum In: *Control of Digestion and Metabolism in Ruminants.* (Milligan, L.P., Grovum, W.L., Dobson A., Eds.) Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 498-515.

Ungar, E.D., 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. (1994): *Nutritional Ecology of the Ruminant.* Cornell University Press, Ithaca.

Von Engelhardt, W., Breves, G. (2015): *Physiologie der Haustiere.* Stuttgart: Enke, 2015.

Von Keyserlingk, M.A.G., Cunha, G.E., Fregonesi, J.A., Weary, D.M. (2011): Introducing heifers to freestall housing. *J. Dairy Sci.* 94: 1900-1907.

Wangler, A., Harms, J. (2006): *Forschungsbericht Lebensleistung, Nutzungsdauer und Gesundheit von Milchkühen.* Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern. Institut für Tierproduktion.

Wangler, A., Blum, E., Böttcher, I., Sanftleben, P. (2009): Lebensleistung und Nutzungsdauer von Milchkühen aus Sicht einer effizienten Milchproduktion. *Züchtungskunde* 81(5): 341-360.

Welch, J.G. (1982): Rumination, particle size and passage from the rumen. *J. Anim. Sci.* 54: 885- 894.

Welch, J.G., Smith, A.M. (1970): Forage quality and rumination time in cattle. *J. Dairy Sci.* 53: 797-800



- Weigel, W. (2010): Entwicklung eines sensorgestützten Systems zur Überwachung der Fressaktivität von Rindern. Diplomarbeit. Berufsakademie Sachsen. Staatl. Studienakademie Glauchau.
- Werner, J., Umstötter, C., Zehner, N., Niederhauser, J.J., Schick, M. (2015): Validation of a sensor-based automatic measurement system for monitoring chewing activity in horses. *Livestock Science*. Article in press.
- Wierenga, H.K. (1990): Social dominance in dairy cattle and the influence of housing and management. *Appl. Anim. Behav. Sci.*27: 201-229.
- Winter, D.A., Yack, H.J. (1987): EMG profiles during normal human walking: stride-tostride and inter-subject variability. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology* 67: 402-411.
- Wolter, W., Kloppert, B., Castaneda, H.V., Zschöck, M. (2000): Die Mastitis des Rindes – Ein Kursbuch, Staatliches Untersuchungsamt Hessen, Universidad de Guadalajara, Gießen.
- Yeates, M.P. Tolkamp, B.J., Allcroft, D.J., I. Kyriazakis (2001): The use of mixed distribution models to determine bout criteria for analysis of animal behavior. *J. Theor. Biol.* 213: 413-425.
- Zehner, N., Niederhauser, J.J., Nydegger, F., Grothmann, A., Keller, M., Hoch, M. (2012): Validation of a new health monitoring system (RumiWatch) for combined automatic measurement of rumination, feed intake, water intake and locomotion in dairy cows. Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Ettenhausen, Schweiz.
- Zom, R. L. G., Andre, G., Van Vuuren, A. M. (2012): Development of a model for the prediction of feed intake by dairy cows: 1. Prediction of feed intake; *Livestock Science* 143: 43-57.



## 7. Anhang

### 7.1 Versuchsberichte der LLG Iden

Die Daten für die Datenbasis des Kapitel 2.2 stammen aus Fütterungsversuchen der Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau in Sachsen-Anhalt (LLG Iden) über den Zeitraum vom 01.01.2005 – 31.12.2011. Der Versuch „Detailanalyse von EMG-Sensorsignalen“ aus Kapitel 3.4 wurde ebenfalls im Rahmen eines Fütterungsversuchs durchgeführt. Die Versuchsberichte wurden von der LLG veröffentlicht (<http://www.llg.sachsen-anhalt.de/themen/tierhaltung-und-tierzucht/milchrinder/untersuchungsergebnisse/>) und sind im Folgenden aufgeführt.

1. Engelhard, T., Meyer, A., Staufenberg, R., Kanitz, W. (2006): Vergleich des Einsatzes von Propylenglykol und Glycerin in Rationen für Hochleistungskühe. Forum angewandte Forschung 05./06.04.2006 Rind.
2. Engelhard, T., Meyer, A., Staufenberg, R. (2007): Versuch zum Vergleich von ein- und zweiphasiger Trockensteherfütterung. Forum angewandte Forschung 28./29.03.2007 Rind.
3. Engelhard, T., Kluth, H. (2008): Fütterung von Rationen mit hohen Anteilen an Pressschnitzelsilage. Forum angewandte Forschung 09./10.04.2008 Rind.
4. Engelhard, T., Helm, L., Kluth, H. (2007): Vergleich der Fütterungseigenschaften von Trockenschlempe und Rapsextraktionsschrot. Versuchsbericht 2007.
5. Engelhard, T., Helm, L., Riemann, E., Andert, G., Zarwel, H. (2009): Fütterung von Totalen Mischrationen mit unterschiedlichen Grob- und Krafftutteranteilen an Kühe mit hohem Milchleistungspotenzial, Versuch 1 und Versuch 2. Forum angewandte Forschung 01./02.04.2009 Rind
6. Engelhard, T., Helm, L., Riemann, E., Andert, G., Zarwel, H. (2009): Fütterung von Totalen Mischrationen mit unterschiedlichen Grob- und Krafftutteranteilen an Kühe mit hohem Milchleistungspotenzial, Versuch 1 und Versuch 2. Versuchsbericht 2009.
7. Engelhard, T., Meyer, A., Bulang, M. (2010): Vergleich der Fütterung von getrocknetem Körnermais und Feuchtkornmais als Bestandteile von Mischrationen für Milchkühe. Forum angewandte Forschung 24./25.03.2010.
8. Engelhard, T., Winter, S., Bulang, M. (2010): Luzerne punktet in Feld und Stall. Primus Rind November 2010. dlz agrarmagazin.

9. Engelhard, T., Meyer, A., Rodehutschord, M., Haese, E., Bulang, M. (2011): Reaktionen von Hochleistungskühen auf unterschiedliche Phosphorgehalte der Mischration. Forum angewandte Forschung 06./07.04.2011.
10. Engelhard, T., Helm, L., Riemann, E., Andert, G. (2011): Auswirkungen der Fütterung von Rationen mit reduziertem Proteingehalt an Kühe mit hohem Milchleistungspotenzial und Effekte der Zulage von geschütztem Methionin. Versuchsbericht 2011.
11. Engelhard, T., Helm, L., Riemann, E., Andert, G., Zarwel, H. (2012): Vergleich von Fütterungsstrategien mit Raps- und Sojaextraktionsschrot, Versuchsbericht 2012 .

## 7.2 Daten zu den Versuchen

### 7.2.1 Ontogenese des Fressverhaltens von Kühen

**Tabelle 27:** Mittlere Fresszeit pro Tag (h) von allen Kühen für die Laktationen 1-3

TierNr	Mittlere Fresszeit pro Tag (h)					
	LNR 1		LNR 2		LNR 3	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD
<b>1110</b>	3,94	0,30	2,73	0,36	3,07	0,33
<b>1146</b>	4,04	0,42	2,10	0,24	1,31	0,15
<b>1264</b>	3,96	0,60	2,71	0,63	2,65	0,55
<b>1286</b>	3,33	0,82	3,52	0,50	2,21	0,55
<b>1298</b>	5,15	0,43	3,71	0,27	2,60	0,59
<b>2061</b>	3,76	0,35	4,19	0,35	3,42	0,36
<b>2114</b>	3,33	0,37	3,91	0,54	3,01	0,56
<b>2116</b>	3,30	1,12	4,14	0,92	2,28	0,34
<b>2118</b>	4,43	0,44	4,51	0,34	3,45	0,39
<b>2119</b>	3,34	1,06	2,48	0,51	2,70	0,41
<b>2143</b>	3,83	0,39	4,26	0,39	2,70	0,43
<b>2149</b>	3,25	0,36	3,35	0,52	2,45	3,25
<b>2151</b>	3,40	0,50	3,37	0,48	2,40	3,40
<b>2170</b>	5,15	0,63	5,15	0,32	3,45	5,15
<b>2184</b>	2,01	0,19	2,91	0,50	2,07	2,01
<b>2194</b>	3,36	0,59	3,53	0,54	2,56	3,36
<b>3215</b>	3,96	0,44	2,89	0,38	3,35	3,96
<b>3216</b>	4,70	0,82	3,93	0,69	3,65	4,70
<b>3232</b>	2,83	0,33	3,59	0,33	3,39	2,83
<b>3251</b>	4,33	0,69	3,97	0,33	3,57	4,33
<b>3390</b>	3,24	1,23	3,77	0,54	3,75	3,24

Tabelle 28: Mittlere Futteraufnahme pro Tag (kg TM) von allen Kühen für die Laktationen 1-3

TierNr	Mittlere Futteraufnahme pro Tag (kg TM)					
	LNR 1		LNR 2		LNR 3	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD
<b>1110</b>	20,79	1,37	19,76	2,53	23,05	2,10
<b>1146</b>	19,43	2,72	22,31	2,57	19,47	1,57
<b>1264</b>	19,37	2,35	22,39	3,34	24,17	4,88
<b>1286</b>	19,46	2,57	23,66	3,26	23,67	4,28
<b>1298</b>	19,52	1,32	19,78	1,55	22,73	4,40
<b>2061</b>	19,20	1,59	23,55	2,15	27,23	1,79
<b>2114</b>	17,05	1,29	24,41	1,80	26,19	3,28
<b>2116</b>	25,60	4,21	20,09	4,46	25,04	3,99
<b>2118</b>	26,98	2,34	25,50	1,84	29,10	2,42
<b>2119</b>	26,27	2,75	20,32	3,07	27,47	3,87
<b>2143</b>	18,98	3,74	24,04	1,83	24,51	2,56
<b>2149</b>	15,88	1,32	22,27	1,58	19,96	2149
<b>2151</b>	28,50	2,65	25,27	3,54	26,64	2151
<b>2170</b>	19,39	2,15	22,27	1,62	23,27	2170
<b>2184</b>	21,43	2,65	24,07	2,62	22,38	2184
<b>2194</b>	22,62	2,69	24,78	2,92	26,52	2194
<b>3215</b>	19,54	2,11	20,69	1,77	22,20	3215
<b>3216</b>	19,61	2,29	24,01	4,36	23,81	3216
<b>3232</b>	21,66	1,65	30,66	2,61	24,38	3232
<b>3251</b>	19,93	2,12	20,65	2,35	20,72	3251
<b>3390</b>	20,25	4,55	23,67	1,71	21,98	3390

**Tabelle 29:** Mittlere Anzahl Besuche pro Tag am Wiegetrog von allen Kühen für die Laktationen 1-3

TierNr	Mittlere Anzahl Besuche pro Tag am Wiegetrog					
	LNR 1		LNR 2		LNR 3	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD
<b>1110</b>	53,21	7,52	56,57	10,01	51,36	7,91
<b>1146</b>	48,43	11,36	21,29	5,66	10,00	4,96
<b>1264</b>	40,79	10,36	21,57	4,57	18,29	4,70
<b>1286</b>	29,36	7,48	28,29	5,64	22,42	8,69
<b>1298</b>	57,57	9,15	53,93	7,85	40,21	8,52
<b>2061</b>	32,79	4,58	28,50	5,56	23,64	4,45
<b>2114</b>	53,07	8,46	46,57	12,22	55,00	6,28
<b>2116</b>	29,57	5,42	39,14	9,74	21,71	5,54
<b>2118</b>	25,14	4,99	27,21	5,15	17,07	5,12
<b>2119</b>	34,21	6,72	19,86	3,78	22,21	3,62
<b>2143</b>	74,57	11,02	55,29	8,20	42,71	8,04
<b>2149</b>	41,14	7,15	38,57	7,63	26,36	8,84
<b>2151</b>	34,86	5,50	33,50	8,37	20,21	4,98
<b>2170</b>	41,43	8,38	48,50	8,12	26,36	6,42
<b>2184</b>	19,14	3,84	17,07	3,71	19,36	5,08
<b>2194</b>	20,57	4,62	20,79	6,40	13,93	2,62
<b>3215</b>	35,79	7,99	31,07	5,15	20,64	2,65
<b>3216</b>	36,86	9,39	33,57	8,35	17,36	2,68
<b>3232</b>	19,21	2,75	24,21	4,87	20,64	5,54
<b>3251</b>	31,86	7,40	35,36	5,51	21,50	5,52
<b>3390</b>	45,93	7,88	39,07	6,13	26,93	5,95

Tabelle 30: Mittlere Anzahl Mahlzeiten pro Tag von allen Kühen für die Laktationen 1-3

TierNr	Mittlere Anzahl Mahlzeiten pro Tag					
	LNR 1		LNR 2		LNR 3	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD
<b>1110</b>	8,79	1,31	8,71	1,59	7,64	1,01
<b>1146</b>	7,21	1,05	7,07	1,33	4,07	1,07
<b>1264</b>	7,64	1,39	7,07	0,92	6,43	1,28
<b>1286</b>	8,14	1,29	6,71	1,20	6,17	1,34
<b>1298</b>	7,71	1,68	7,29	1,07	8,36	1,86
<b>2061</b>	7,00	0,96	6,57	1,02	6,86	0,53
<b>2114</b>	7,50	1,29	6,36	1,15	7,00	2,39
<b>2116</b>	5,64	1,15	6,79	0,97	6,07	1,21
<b>2118</b>	7,07	1,38	6,64	0,93	8,00	1,41
<b>2119</b>	7,50	1,09	7,86	1,23	7,50	1,40
<b>2143</b>	8,00	1,04	6,93	1,21	7,21	1,53
<b>2149</b>	9,00	1,18	7,86	1,46	6,79	1,93
<b>2151</b>	8,57	1,74	7,64	0,84	7,50	1,40
<b>2170</b>	8,57	1,16	6,71	1,14	7,57	1,40
<b>2184</b>	7,71	0,99	6,00	0,96	6,86	1,23
<b>2194</b>	6,86	1,46	6,14	0,77	6,00	1,57
<b>3215</b>	9,43	1,40	7,79	1,89	7,21	1,25
<b>3216</b>	8,93	2,23	9,14	2,44	6,79	1,05
<b>3232</b>	7,00	1,11	7,21	0,80	7,21	0,58
<b>3251</b>	8,64	1,22	8,86	1,23	6,71	1,44
<b>3390</b>	7,71	1,07	6,71	1,07	6,50	1,09



**Tabelle 31:** Mittlere Mahlzeitendauer pro Tag (min) von allen Kühen für die Laktationen 1-3

TierNr	Mittlere Mahlzeitendauer pro Tag (min)					
	LNR 1		LNR 2		LNR 3	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD
<b>1110</b>	27,44	4,72	19,13	3,02	24,47	3,77
<b>1146</b>	34,09	4,91	18,38	3,93	20,24	4,62
<b>1264</b>	32,35	8,39	23,56	6,66	25,18	5,63
<b>1286</b>	25,27	7,93	32,12	5,53	22,32	6,83
<b>1298</b>	42,05	10,14	31,22	5,28	19,13	5,49
<b>2061</b>	32,71	5,28	39,21	7,25	30,02	3,35
<b>2114</b>	27,45	5,94	37,94	8,09	27,73	7,57
<b>2116</b>	36,90	13,88	37,88	11,88	23,46	6,30
<b>2118</b>	39,03	8,79	41,57	6,99	26,52	4,66
<b>2119</b>	27,06	8,92	19,43	5,61	22,06	4,21
<b>2143</b>	29,06	3,96	37,93	7,08	23,49	5,97
<b>2149</b>	22,15	4,37	26,52	7,14	21,84	2,81
<b>2151</b>	24,86	6,60	26,77	5,11	19,57	3,03
<b>2170</b>	36,69	6,31	47,33	8,52	28,54	7,66
<b>2184</b>	15,79	1,81	30,05	8,52	18,57	4,12
<b>2194</b>	30,26	6,73	34,73	5,23	27,34	9,68
<b>3215</b>	25,61	3,84	23,32	5,68	28,54	5,80
<b>3216</b>	33,16	7,42	27,81	8,83	33,02	5,74
<b>3232</b>	24,85	4,86	30,20	4,70	28,24	3,12
<b>3251</b>	30,67	6,31	27,41	4,29	32,80	7,32
<b>3390</b>	25,56	10,25	34,72	8,26	35,51	6,42

Tabelle 32: Mittlere Anzahl Besuche pro Mahlzeit von allen Kühen für die Laktationen 1-3

TierNr	Mittlere Anzahl Besuche pro Mahlzeit					
	LNR 1		LNR 2		LNR 3	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD
1110	6,12	0,91	6,63	1,40	6,75	0,79
1146	6,84	1,87	3,05	0,69	2,52	1,40
1264	5,53	1,94	3,10	0,77	2,91	0,77
1286	3,68	1,07	4,29	0,91	3,70	1,14
1298	7,77	2,07	7,57	1,73	4,96	1,20
2061	4,77	0,92	4,41	0,94	3,45	0,59
2114	7,22	1,41	7,38	1,82	8,40	2,06
2116	5,43	1,53	5,91	1,85	3,71	1,21
2118	3,63	0,82	4,14	0,78	2,10	0,34
2119	4,58	0,73	2,62	0,80	3,02	0,59
2143	9,40	1,49	8,26	2,14	6,17	1,70
2149	4,65	1,00	4,99	0,99	3,89	1,02
2151	4,26	1,26	4,37	0,92	2,73	0,57
2170	4,95	1,35	7,36	1,43	3,62	1,19
2184	2,51	0,52	2,85	0,49	2,88	0,76
2194	3,03	0,56	3,38	0,97	2,49	0,83
3215	3,83	0,77	4,14	0,96	2,91	0,46
3216	4,17	0,65	3,88	1,32	2,60	0,53
3232	2,81	0,61	3,39	0,80	2,85	0,70
3251	3,69	0,77	4,05	0,78	3,29	0,90
3390	6,05	1,26	5,94	1,24	4,25	1,11

**Tabelle 33:** Mittlere Futteraufnahme pro Mahlzeit (kg TM) von allen Kühen für die Laktationen 1-3

TierNr	Mittlere Futteraufnahme pro Mahlzeit (kg TM)					
	LNR 1		LNR 2		LNR 3	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD
<b>1110</b>	2,41	0,33	2,31	0,36	3,06	0,44
<b>1146</b>	2,72	0,36	3,25	0,63	5,07	1,28
<b>1264</b>	2,63	0,62	3,23	0,66	3,80	0,72
<b>1286</b>	2,46	0,61	3,59	0,60	3,97	1,01
<b>1298</b>	2,64	0,56	2,77	0,48	2,77	0,58
<b>2061</b>	2,79	0,45	3,67	0,71	3,99	0,43
<b>2114</b>	2,34	0,46	3,96	0,75	4,05	1,13
<b>2116</b>	4,67	0,98	3,07	0,95	4,26	1,02
<b>2118</b>	3,94	0,80	3,92	0,65	3,74	0,68
<b>2119</b>	3,56	0,59	2,63	0,51	3,74	0,68
<b>2143</b>	2,40	0,49	3,56	0,61	3,54	0,79
<b>2149</b>	1,79	0,27	2,92	0,56	2,98	0,36
<b>2151</b>	3,44	0,68	3,34	0,59	3,63	0,54
<b>2170</b>	2,31	0,43	3,39	0,53	3,17	0,62
<b>2184</b>	2,82	0,48	4,11	0,83	3,33	0,57
<b>2194</b>	3,39	0,57	4,06	0,46	4,76	1,74
<b>3215</b>	2,11	0,33	2,80	0,69	3,13	0,46
<b>3216</b>	2,30	0,51	2,81	0,88	3,58	0,57
<b>3232</b>	3,15	0,42	4,29	0,51	3,39	0,38
<b>3251</b>	2,36	0,46	2,38	0,46	3,19	0,74
<b>3390</b>	2,66	0,61	3,62	0,70	3,45	0,60

**Tabelle 34:** Mittlere Fressgeschwindigkeit (g TM min<sup>-1</sup>) von allen Kühen für die Laktationen 1-3

TierNr	Mittlere Fressgeschwindigkeit (g TM min <sup>-1</sup> )					
	LNR 1		LNR 2		LNR 3	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD
<b>1110</b>	98,46	19,69	140,94	8,54	149,70	39,92
<b>1146</b>	83,69	9,85	185,81	22,12	274,74	73,59
<b>1264</b>	89,71	12,82	163,25	14,84	161,51	20,84
<b>1286</b>	111,05	25,63	213,50	29,79	224,89	83,68
<b>1298</b>	75,34	26,59	104,41	34,80	224,89	83,68
<b>2061</b>	88,32	11,52	89,08	4,45	179,26	72,56
<b>2114</b>	88,32	11,52	124,71	57,90	164,02	13,30
<b>2116</b>	125,55	27,90	80,17	17,82	195,55	34,01
<b>2118</b>	97,65	9,30	93,53	8,91	146,06	22,13
<b>2119</b>	125,55	9,30	160,34	31,18	188,14	38,48
<b>2143</b>	80,64	11,52	155,89	88,32	162,18	21,34
<b>2149</b>	87,63	7,62	129,89	16,76	149,48	12,12
<b>2151</b>	138,32	14,82	120,26	13,36	190,66	22,17
<b>2170</b>	58,67	9,78	71,23	8,38	126,29	40,74
<b>2184</b>	188,52	25,48	155,03	16,76	214,33	60,66
<b>2194</b>	137,62	31,76	142,46	29,33	204,51	36,09
<b>3215</b>	85,79	9,03	135,43	23,35	123,67	25,77
<b>3216</b>	79,87	22,19	104,26	18,96	106,90	13,36
<b>3232</b>	131,49	14,09	138,32	19,76	124,71	13,36
<b>3251</b>	75,30	14,12	88,32	7,68	97,99	13,36
<b>3390</b>	97,38	13,91	111,11	21,16	108,94	20,95

**Tabelle 35:** Mittlere Energieaufnahme pro Tag (MJ NEL) von allen Kühen für die Laktationen 1-3

TierNr	Mittlere Energieaufnahme pro Tag (MJ NEL)					
	LNR 1		LNR 2		LNR 3	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD
<b>1110</b>	151,18	9,95	140,87	18,03	170,56	15,55
<b>1146</b>	141,23	19,76	158,40	18,28	140,16	11,30
<b>1264</b>	138,10	16,72	166,81	24,88	174,02	35,11
<b>1286</b>	138,77	18,30	175,11	24,14	170,39	30,84
<b>1298</b>	138,61	9,38	147,35	11,52	163,65	31,67
<b>2061</b>	138,21	11,47	166,72	15,20	194,15	12,75
<b>2114</b>	124,43	9,42	172,84	12,77	185,95	23,26
<b>2116</b>	184,31	30,33	142,22	31,57	178,55	28,46
<b>2118</b>	194,28	16,84	180,53	13,06	206,59	17,16
<b>2119</b>	189,13	19,82	143,86	21,73	195,85	27,59
<b>2143</b>	136,66	26,93	170,22	12,93	174,73	18,23
<b>2149</b>	108,30	8,99	153,63	10,90	143,72	38,43
<b>2151</b>	205,19	19,06	178,93	25,04	189,14	19,61
<b>2170</b>	135,37	15,02	151,91	11,06	160,60	15,10
<b>2184</b>	149,58	18,49	164,14	17,86	154,42	20,59
<b>2194</b>	157,90	18,77	169,03	19,92	182,98	26,12
<b>3215</b>	136,56	14,77	148,99	12,74	154,99	15,18
<b>3216</b>	137,08	15,97	172,89	31,43	168,55	11,48
<b>3232</b>	151,39	11,52	220,74	18,82	172,59	19,43
<b>3251</b>	139,28	14,80	148,69	16,89	146,70	23,05
<b>3390</b>	145,80	32,79	165,23	11,97	149,88	19,37

**Tabelle 36:** Mittlere Energieaufnahme pro Mahlzeit (MJ NEL) von allen Kühen für die Laktationen 1-3

TierNr	Mittlere Energieaufnahme pro Mahlzeit (MJ NEL)					
	LNR 1		LNR 2		LNR 3	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD
1110	17,50	2,43	16,47	2,59	22,64	3,29
1146	19,79	2,65	23,06	4,46	36,49	9,18
1264	18,73	4,42	24,03	4,90	27,38	5,18
1286	17,57	4,35	26,60	4,45	28,62	7,31
1298	18,72	4,00	20,67	3,59	19,92	4,18
2061	20,07	3,26	26,02	5,01	28,48	3,07
2114	17,07	3,39	28,00	5,30	28,74	8,03
2116	33,61	7,06	21,73	6,75	30,40	7,30
2118	28,39	5,73	27,72	4,57	26,55	4,84
2119	25,65	4,25	18,64	3,63	26,65	4,88
2143	17,25	3,54	25,20	4,32	25,26	5,63
2149	12,24	1,84	20,15	3,87	21,44	2,56
2151	24,76	4,91	23,65	4,19	25,78	3,84
2170	16,11	3,00	23,15	3,60	21,90	4,27
2184	19,67	3,38	28,03	5,69	22,99	3,96
2194	23,64	3,95	27,72	3,11	32,82	11,98
3215	14,74	2,27	20,17	4,98	21,87	3,20
3216	16,10	3,60	20,20	6,31	25,35	4,07
3232	22,03	2,95	30,87	3,70	24,00	2,68
3251	16,48	3,22	17,14	3,32	22,58	5,27
3390	19,13	4,41	25,26	4,91	23,55	4,09

## 7.2.2 Langzeiterfassung des Fressverhaltens mit RFID-Erkennung

**Tabelle 37:** Ergebnisse der Blutproben der Versuchskühe, BHB (mmol l<sup>-1</sup>)

TierNr	Kalbung	BHB (mmol l <sup>-1</sup> )	BHB (mmol l <sup>-1</sup> )	BHB (mmol l <sup>-1</sup> )
		> 0,62 mmol/l	> 0,62 mmol/l	> 0,62 mmol/l
		2-1 Wo a.p.	3 d p.p.	4 Wo p.p.
<b>25</b>	22.5.(w)	0,59	0,79	tot
<b>26</b>	15.6.10 (w)	0,69	0,74	0,48
<b>27</b>	15.5.10 (w)	0,44	0,80	0,60
<b>78</b>	23.6. (m)	0,43	0,37	0,16
<b>88</b>	28.6.(m)	0,86	1,57	0,11
<b>145</b>	29.5.(m)	0,45	1,65	0,52
<b>203</b>	24.6.(ZW)	0,62	2,08	0,18
<b>207</b>	29.5.(m)	0,51	0,85	0,98
<b>210</b>	18.6.(w)	0,81	1,16	0,56
<b>212</b>	4.7.(Zw)	0,62	0,49	0,24
<b>234</b>	23.6.(w)	0,54	1,81	0,49
<b>245</b>	24.5.(w)	0,45	0,91	0,37
<b>251</b>	6.7.(m)	0,62	0,88	0,47
<b>286</b>	16.6.(w)	0,54	0,44	0,51
<b>287</b>	16.6.(m)	0,34	0,65	0,28
<b>296</b>	11.6.(m)	0,47	0,56	0,40
<b>324</b>	17.6.(m)	0,67	0,48	0,21
<b>370</b>	27.6.(w)	0,71	0,71	0,21
<b>372</b>	8.7.(m)	0,56	0,79	0,22
<b>387</b>	24.5.(w)	0,55	0,60	0,35
<b>419</b>	11.6.(m)	0,43	3,01	1,49
<b>463</b>	29.6.(w)	0,41		0,22

Tabelle 38: Ergebnisse der Blutproben der Versuchskühe, Chol (mmol l<sup>-1</sup>)

TierNr	Kalbung	CHOL (mmol l <sup>-1</sup> )	CHOL (mmol l <sup>-1</sup> )	CHOL (mmol l <sup>-1</sup> )
		< 2,0 mmol/l<	< 2,0 mmol/l	< 2,0 mmol/l
		2-1 Wo a.p.	3 d p.p.	4 Wo p.p.
<b>25</b>	22.5.(w)	1,66	1,74	tot
<b>26</b>	15.6.10 (w)	2,01	1,99	3,51
<b>27</b>	15.5.10 (w)	1,46	1,02	2,10
<b>78</b>	23.6. (m)	0,77	1,91	2,29
<b>88</b>	28.6.(m)	1,97	1,83	4,52
<b>145</b>	29.5.(m)	2,31	1,21	2,51
<b>203</b>	24.6.(ZW)	1,38	1,31	2,65
<b>207</b>	29.5.(m)	1,94	2,62	2,80
<b>210</b>	18.6.(w)	2,04	1,34	3,87
<b>212</b>	4.7.(Zw)	1,97	1,19	2,62
<b>234</b>	23.6.(w)	2,19	1,77	3,58
<b>245</b>	24.5.(w)	3,46	2,50	3,79
<b>251</b>	6.7.(m)	2,38	1,77	3,93
<b>286</b>	16.6.(w)	2,76	1,97	4,49
<b>287</b>	16.6.(m)	2,42	2,17	4,04
<b>296</b>	11.6.(m)	2,45	3,30	3,18
<b>324</b>	17.6.(m)	1,37	2,41	3,04
<b>370</b>	27.6.(w)	2,62	1,67	3,04
<b>372</b>	8.7.(m)	2,60	1,61	3,14
<b>387</b>	24.5.(w)	2,61	1,86	3,11
<b>419</b>	11.6.(m)	2,00	1,22	1,63
<b>463</b>	29.6.(w)	2,80		3,90



Tabelle 39: Ergebnisse der Blutproben der Versuchskühe, FFS (mmol l<sup>-1</sup>)

TierNr	Kalbung	FFS (mmol l <sup>-1</sup> )	FFS (mmol l <sup>-1</sup> )	FFS (mmol l <sup>-1</sup> )
		> 0,15 mmol/l	> 0,620 mmol/l	> 0,340 mmol/l
		2-1 Wo a.p.	3 d p.p.	4 Wo p.p.
<b>25</b>	22.5.(w)	0,17	1,10	tot
<b>26</b>	15.6.10 (w)	0,44	0,23	0,16
<b>27</b>	15.5.10 (w)	0,16	1,79	0,87
<b>78</b>	23.6. (m)	0,21	0,22	0,16
<b>88</b>	28.6.(m)	1,14	1,86	0,28
<b>145</b>	29.5.(m)	0,24	1,77	0,64
<b>203</b>	24.6.(ZW)	0,22	0,70	0,28
<b>207</b>	29.5.(m)	0,20	0,52	1,30
<b>210</b>	18.6.(w)	0,18	1,40	1,10
<b>212</b>	4.7.(Zw)	0,14	1,13	0,25
<b>234</b>	23.6.(w)	0,27	2,18	0,50
<b>245</b>	24.5.(w)	0,20	0,50	0,47
<b>251</b>	6.7.(m)	0,12	1,34	0,48
<b>286</b>	16.6.(w)	0,21	0,25	0,26
<b>287</b>	16.6.(m)	0,22	0,36	0,41
<b>296</b>	11.6.(m)	0,12	0,44	0,77
<b>324</b>	17.6.(m)	0,10	0,24	1,19
<b>370</b>	27.6.(w)	0,10	0,79	0,22
<b>372</b>	8.7.(m)	0,13	0,52	0,29
<b>387</b>	24.5.(w)	0,20	0,44	0,40
<b>419</b>	11.6.(m)	0,12	2,03	1,13
<b>463</b>	29.6.(w)	0,11		0,40

Tabelle 40: Besuchsdauer pro Tag (h), Gruppe I und II

LT	Besuchsdauer (h) Gruppe I		Besuchsdauer (h) Gruppe II	
	MW	SD	MW	D
-7	1,26	0,63	1,32	0,61
-6	1,53	0,58	1,21	0,69
-5	1,22	0,36	1,15	0,58
-4	1,39	0,59	1,15	0,60
-3	1,19	0,74	0,95	0,70
-2	1,30	0,49	0,81	0,52
-1	1,17	0,54	0,81	0,46
0	0,96	0,36	0,89	0,32
1	1,50	0,59	0,85	0,35
2	1,49	0,53	0,74	0,43
3	1,81	0,41	1,07	0,48
4	1,87	0,26	1,15	0,42
5	2,06	0,77	1,32	0,56
6	2,06	1,20	1,54	0,80
7	1,80	1,27	1,55	0,69
8	1,66	0,56	1,20	0,58
9	1,88	0,62	1,33	0,61
10	1,73	0,35	1,23	0,75
11	1,78	0,48	1,44	0,69
12	2,10	0,72	1,36	0,68
13	1,99	0,58	1,41	0,74
14	1,85	0,40	1,17	0,38
15	1,87	0,41	1,30	0,52
16	2,11	0,66	1,49	0,48
17	2,03	0,60	1,28	0,47
18	1,96	0,64	1,33	0,51
19	1,85	0,56	1,38	0,42
20	2,29	0,54	1,50	0,66
21	1,92	0,44	1,32	0,50

Tabelle 41: Anzahl Mahlzeiten pro Tag, Gruppe I und II

LT	Mahlzeiten pro Tag Gruppe I		Mahlzeiten pro Tag Gruppe II	
	MW	SD	MW	SD
-7	7,80	2,25	8,08	2,94
-6	8,30	2,21	8,08	1,78
-5	8,90	2,88	7,42	2,54
-4	8,30	2,26	8,17	2,48
-3	7,10	2,96	8,58	2,61
-2	8,40	2,63	8,50	1,78
-1	8,80	1,99	7,33	2,15
0	8,90	3,70	7,83	2,37
1	9,60	4,62	9,00	2,92
2	10,00	4,19	8,17	2,66
3	9,50	2,17	8,42	3,00
4	8,40	1,51	8,33	4,01
5	8,50	1,90	7,67	3,65
6	7,80	2,20	6,75	3,33
7	7,50	3,92	7,00	1,71
8	8,30	2,58	5,58	1,98
9	8,00	1,25	6,00	1,86
10	7,90	0,99	6,67	1,37
11	8,90	1,29	7,17	1,19
12	8,10	1,73	6,58	1,62
13	8,80	2,62	7,08	1,68
14	8,30	2,75	6,67	1,44
15	7,90	2,56	6,08	1,08
16	8,00	0,94	7,25	1,42
17	7,70	1,83	7,08	1,56
18	7,70	1,16	7,25	1,54
19	7,10	2,18	6,67	1,15
20	7,60	1,26	6,33	1,78
21	8,00	1,25	6,92	1,24

Tabelle 42: Mittlere Mahlzeitendauer pro Tag (min), Gruppe I und II

LT	Mahlzeitendauer / Tag Gruppe I (min)		Mahlzeitendauer / Tag Gruppe II (min)	
	MW	SD	MW	D
-7	9,09	4,72	9,61	3,92
-6	10,60	6,17	11,10	6,73
-5	10,11	4,95	9,01	4,13
-4	11,69	5,33	8,83	5,08
-3	9,26	4,41	7,68	4,61
-2	10,26	4,17	5,99	2,78
-1	10,12	4,67	5,48	2,41
0	9,33	3,10	6,55	2,71
1	8,54	5,39	7,18	2,57
2	7,21	3,70	5,69	3,42
3	9,91	3,61	7,60	4,11
4	9,60	3,78	9,37	4,72
5	11,98	3,91	9,89	4,49
6	13,86	3,47	11,90	5,75
7	14,71	4,12	12,31	6,19
8	15,98	7,57	10,84	5,83
9	15,11	7,56	12,01	6,10
10	12,21	3,56	13,23	7,23
11	14,23	4,72	16,38	9,36
12	13,44	3,66	12,68	7,21
13	11,92	2,32	11,91	6,35
14	15,38	2,86	10,98	3,83
15	13,83	2,58	11,09	4,69
16	14,22	3,98	14,32	5,89
17	15,42	5,63	13,35	6,56
18	15,87	4,32	10,99	3,88
19	16,43	5,17	12,32	4,45
20	15,20	3,44	12,49	4,35
21	17,33	8,32	11,77	3,63

### 7.2.3 Detailanalyse von OEMG-Sensorsignalen

Tabelle 43: Anzahl und Dauer (s) der Wiederkauszuklen

Tier	Datum	N Zyklen			Dauer Zyklen (s)			
		N	MW	SD	MW	SD	MW	SD
7508	06.06.	361,00	389,33	27,10	57,37	17,73	54,29	23,89
	07.06.	415,00			44,46	8,25		
	08.06.	392,00			60,36	37,06		
7514	12.06.	642,00	643,33	36,02	46,48	4,75	47,67	5,50
	13.06.	680,00			50,34	4,18		
	14.06.	608,00			46,32	6,59		
7516	19.06.	568,00	562,67	4,73	59,61	8,98	59,73	6,91
	20.06.	561,00			61,59	5,54		
	21.06.	559,00			57,89	5,66		
7532	28.06.	517,00	520,67	4,04	60,92	7,85	60,14	8,27
	29.06.	525,00			63,25	7,02		
	30.06.	520,00			56,09	8,75		
7536	06.06.	499,00	458,67	85,92	58,45	9,74	59,50	16,78
	07.06.	517,00			61,69	24,21		
	08.06.	360,00			57,15	6,37		
7543	06.06.	527,00	519,67	11,85	56,30	5,99	57,85	6,81
	07.06.	526,00			57,37	8,90		
	08.06.	506,00			60,19	5,17		
7554	06.06.	506,00	507,33	19,04	66,35	11,77	64,12	9,97
	07.06.	527,00			63,60	11,53		
	08.06.	489,00			62,54	6,19		
7555	28.06.	555,00	559,33	23,80	55,46	5,60	56,72	5,73
	29.06.	585,00			57,24	5,57		
	30.06.	538,00			57,37	6,16		
7559	05.06.	507,00	506,00	1,41	64,00	6,33	62,90	7,65
	06.06.	505,00			61,97	9,06		
7568	19.06.	610,00	560,00	44,23	51,55	5,02	51,93	5,27
	20.06.	526,00			51,90	4,32		
	21.06.	544,00			52,48	6,73		
94997	06.06.	531,00	470,67	100,20	55,05	6,16	57,84	6,82
	07.06.	526,00			58,41	6,81		
	08.06.	355,00			60,22	6,98		

Tabelle 44: Dauer der Pausen I. (s) und II. Ordnung (h)

Tier	Datum	Dauer Pausen kurz (s)				Pausen zw. Phasen (h)			
		MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
7508	06.06.	5,74	10,35	4,94	7,13	1,86	1,46	1,89	0,11
	07.06.	5,03	5,39			1,81	1,42		
	08.06.	4,13	4,66			2,01	1,21		
7514	12.06.	7,16	13,46	6,44	13,13	1,10	0,62	1,16	0,06
	13.06.	5,38	9,53			1,23	0,63		
	14.06.	6,88	15,83			1,14	0,85		
7516	19.06.	5,03	3,65	4,99	3,17	0,85	0,63	0,88	0,05
	20.06.	4,75	2,39			0,85	0,55		
	21.06.	5,20	3,33			0,94	0,44		
7532	28.06.	5,65	9,92	5,70	11,67	1,15	0,57	1,10	0,07
	29.06.	4,83	4,46			1,01	0,52		
	30.06.	6,64	16,94			1,13	0,93		
7536	06.06.	3,83	5,71	4,23	7,38	0,90	0,51	1,08	0,41
	07.06.	4,95	9,98			0,79	0,41		
	08.06.	3,77	4,25			1,56	1,70		
7543	06.06.	5,31	12,95	4,70	8,43	0,91	0,62	1,03	0,12
	07.06.	4,28	2,74			1,16	0,75		
	08.06.	4,52	6,02			1,01	0,72		
7554	06.06.	4,28	8,46	4,12	6,90	1,12	0,56	1,02	0,09
	07.06.	4,45	7,76			0,95	0,59		
	08.06.	3,61	2,51			1,00	0,96		
7555	28.06.	5,18	10,91	4,71	8,70	0,84	0,55	0,81	0,03
	29.06.	4,38	6,57			0,79	0,58		
	30.06.	4,66	8,47			0,80	0,58		
7559	05.06.	4,70	6,81	4,53	5,21	1,00	0,78	0,95	0,07
	06.06.	4,39	3,38			0,90	0,49		
7568	19.06.	3,95	3,20	4,42	5,91	0,90	0,52	0,96	0,14
	20.06.	4,82	9,00			1,11	1,09		
	21.06.	4,57	3,93			0,86	0,61		
94997	06.06.	4,92	4,96	5,00	8,22	1,20	0,78	1,09	0,23
	07.06.	5,24	11,92			0,82	0,50		
	08.06.	4,76	3,88			1,24	1,19		

**Tabelle 45:** Tägliche Wiederkaufzeit (h) und Dauer der Wiederkauperioden (min)

Tier	Datum	Wiederkaufzeit (h)			Dauer WK-Perioden (min)			
		Summe	MW	SD	MW	SD	MW	SD
<b>7508</b>	06.06.	6,04	5,75	0,29	24,28	20,64	31,30	7,19
	07.06.	5,74			38,64	16,76		
	08.06.	5,47			30,98	20,82		
<b>7514</b>	12.06.	9,64	9,76	0,67	41,31	18,42	45,05	21,39
	13.06.	10,48			52,42	21,43		
	14.06.	9,16			42,29	24,10		
<b>7516</b>	19.06.	10,35	10,18	0,23	38,80	24,56	37,40	21,17
	20.06.	10,28			36,28	18,03		
	21.06.	9,92			37,20	21,94		
<b>7532</b>	28.06.	9,43	9,50	0,29	43,51	25,32	40,70	21,14
	29.06.	9,82			39,27	18,37		
	30.06.	9,25			39,63	21,02		
<b>7536</b>	06.06.	8,54	7,95	1,59	30,16	20,29	29,81	17,27
	07.06.	9,16			27,47	13,17		
	08.06.	6,14			33,51	19,67		
<b>7543</b>	06.06.	9,01	9,23	0,19	32,37	14,79	37,69	20,07
	07.06.	9,35			42,82	25,48		
	08.06.	9,34			39,37	19,94		
<b>7554</b>	06.06.	9,32	9,34	0,39	39,94	24,47	38,20	17,51
	07.06.	9,73			41,71	11,27		
	08.06.	8,96			33,59	14,59		
<b>7555</b>	28.06.	9,31	9,76	0,58	37,49	19,17	36,68	16,88
	29.06.	10,42			37,56	14,38		
	30.06.	9,55			35,05	17,88		
<b>7559</b>	05.06.	9,66	9,49	0,23	36,21	17,73	34,99	16,43
	06.06.	9,33			34,98	15,33		
<b>7568</b>	19.06.	9,62	8,92	0,61	33,96	19,24	36,51	18,79
	20.06.	8,54			36,58	20,24		
	21.06.	8,61			39,76	17,53		
<b>94997</b>	06.06.	8,68	8,14	1,40	34,70	17,94	31,87	14,77
	07.06.	9,20			30,66	13,43		
	08.06.	6,56			30,27	13,10		

Tabelle 46: Anzahl Wiederkauperioden und Anzahl Mahlzeiten pro Tag

Tier	Datum	N Perioden			N Mahlzeiten		
		N	MW	SD		MW	SD
7508	06.06.	15,00	11,67	3,06	10,00	8,67	1,15
	07.06.	9,00			8,00		
	08.06.	11,00			8,00		
7514	12.06.	14,00	13,00	1,00	8,00	7,00	1,00
	13.06.	12,00			6,00		
	14.06.	13,00			7,00		
7516	19.06.	16,00	16,33	0,58	8,00	9,00	1,00
	20.06.	17,00			9,00		
	21.06.	16,00			10,00		
7532	28.06.	13,00	14,00	1,00	5,00	7,00	1,73
	29.06.	15,00			8,00		
	30.06.	14,00			8,00		
7536	06.06.	17,00	16,00	4,58	11,00	11,00	1,00
	07.06.	20,00			12,00		
	08.06.	11,00			10,00		
7543	06.06.	17,00	15,00	2,00	10,00	10,00	2,00
	07.06.	13,00			12,00		
	08.06.	15,00			8,00		
7554	06.06.	14,00	14,67	1,15	8,00	9,00	1,00
	07.06.	14,00			9,00		
	08.06.	16,00			10,00		
7555	28.06.	15,00	15,67	0,58	7,00	7,67	0,58
	29.06.	16,00			8,00		
	30.06.	16,00			8,00		
7559	05.06.	17,00	17,00	0,00	8,00	8,00	0,00
	06.06.	17,00			8,00		
7568	19.06.	17,00	14,67	2,08	6,00	6,33	1,53
	20.06.	14,00			5,00		
	21.06.	13,00			8,00		
94997	06.06.	15,00	15,33	2,52	7,00	7,67	0,58
	07.06.	18,00			8,00		
	08.06.	13,00			8,00		



Tabelle 47: Fresszeit pro Tag (h) und Futteraufnahme pro Tag (kg TM)

Tier	Datum	Fresszeit / Tag (h)			Futteraufnahme / Tag (kg TM)		
		Summe	MW	SD	Summe	MW	
7508	06.06.	5,59	5,04	0,66	20,93	1,41	
	07.06.	5,23					
	08.06.	4,31					
7514	12.06.	4,34	4,33	0,21	22,46	1,98	
	13.06.	4,12					
	14.06.	4,53					
7516	19.06.	3,62	3,77	0,14	23,35	2,46	
	20.06.	3,86					
	21.06.	3,85					
7532	28.06.	3,49	3,39	0,36	23,95	1,82	
	29.06.	3,69					
	30.06.	2,99					
7536	06.06.	3,28	3,39	0,11	21,80	2,46	
	07.06.	3,39					
	08.06.	3,49					
7543	06.06.	3,48	3,47	0,23	21,67	1,19	
	07.06.	3,69					
	08.06.	3,24					
7554	06.06.	4,62	4,46	0,16	23,45	0,30	
	07.06.	4,47					
	08.06.	4,29					
7555	28.06.	4,08	3,72	0,36	24,87	2,30	
	29.06.	3,35					
	30.06.	3,72					
7559	05.06.	3,18	3,12	0,08	21,79	0,32	
	06.06.	3,07					
7568	19.06.	3,15	3,25	0,25	22,44	2,58	
	20.06.	3,53					
	21.06.	3,07					
94997	06.06.	5,07	4,74	0,30	22,90	1,04	
	07.06.	4,47					
	08.06.	4,68					

Tabelle 48: Futteraufnahme pro Mahlzeit (kg TM) und Mahlzeitendauer (min)

Tier	Datum	Futteraufnahme / Mahlzeit				Mahlzeitendauer (min)			
		MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
7508	06.06.	5,33	4,22	6,10	0,70	36,81	30,40	38,47	1,44
	07.06.	6,28	4,25			39,24	24,98		
	08.06.	6,70	4,43			39,36	25,16		
7514	12.06.	6,94	3,28	7,29	4,55	32,54	12,89	37,12	22,53
	13.06.	7,76	4,60			41,21	22,03		
	14.06.	7,27	6,20			38,84	32,33		
7516	19.06.	5,82	2,39	5,89	2,53	27,13	14,89	25,25	11,95
	20.06.	6,24	3,03			25,73	11,63		
	21.06.	5,63	2,38			23,32	10,59		
7532	28.06.	10,83	6,43	8,23	4,78	41,92	26,35	30,46	18,54
	29.06.	7,39	5,21			27,28	18,40		
	30.06.	7,22	2,51			25,46	8,95		
7536	06.06.	3,95	2,95	4,65	2,37	17,87	13,09	17,92	9,17
	07.06.	4,36	2,94			16,94	11,84		
	08.06.	5,39	2,42			20,94	8,82		
7543	06.06.	4,626	2,74	6,09	2,50	20,87	11,55	23,96	10,83
	07.06.	4,294	2,25			18,46	10,19		
	08.06.	6,234	2,81			24,30	12,25		
7554	06.06.	6,79	3,99	5,96	3,45	34,64	20,75	29,73	16,51
	07.06.	5,97	3,29			29,77	16,50		
	08.06.	5,30	3,38			25,76	13,10		
7555	28.06.	8,04	2,61	7,42	3,59	34,94	10,73	29,08	14,40
	29.06.	6,50	5,25			25,12	20,73		
	30.06.	7,81	2,33			27,90	8,35		
7559	05.06.	5,61	4,37	5,94	4,32	21,91	13,26	22,45	15,48
	06.06.	7,30	6,26			23,00	18,36		
7568	19.06.	7,16	2,02	7,74	5,31	27,02	7,64	29,34	18,52
	20.06.	11,56	7,97			42,41	28,71		
	21.06.	5,60	4,51			22,32	14,65		
94997	06.06.	7,81	2,33	6,78	4,12	43,42	18,36	37,08	20,42
	07.06.	5,60	4,51			33,52	19,38		
	08.06.	6,30	4,50			35,10	24,22		

**Tabelle 49:** Pausen zwischen Fressen - Wiederkauen (min) und zwischen Wiederkauen - Fressen (min)

Tier	Datum	Pausen zwischen FA-WK (min)		Pausen zwischen WK-FA (min)	
		MW	SD	MW	SD
<b>7508</b>	06.06.	34,84	35,55	19,19	34,32
	07.06.				
	08.06.				
<b>7514</b>	12.06.	33,12	17,32	13,74	15,32
	13.06.				
	14.06.				
<b>7516</b>	19.06.	26,40	16,99	4,98	10,26
	20.06.				
	21.06.				
<b>7532</b>	28.06.	29,42	10,88	12,40	16,61
	29.06.				
	30.06.				
<b>7536</b>	06.06.	27,84	20,12	9,50	13,35
	07.06.				
	08.06.				
<b>7543</b>	06.06.	28,19	14,59	8,03	9,50
	07.06.				
	08.06.				
<b>7554</b>	06.06.	18,98	17,55	13,25	18,99
	07.06.				
	08.06.				
<b>7555</b>	28.06.	25,58	11,26	14,64	15,28
	29.06.				
	30.06.				
<b>7559</b>	05.06.	26,00	12,36	20,20	22,46
	06.06.				
<b>7568</b>	19.06.	16,57	8,80	18,93	18,37
	20.06.				
	21.06.				
<b>94997</b>	06.06.	16,44	9,02	18,11	18,45
	07.06.				
	08.06.				

Tabelle 50: Anzahl Mahlzeiten vor Wiederkauen und Anzahl Wiederkauperioden nach Mahlzeit

Tier	Datum	N Mahlzeiten vor WK		N Wk-Perioden nach FA	
		MW	SD	MW	SD
7508	06.06.	1,14	0,48	1,59	0,73
	07.06.				
	08.06.				
7514	12.06.	1,00	0,00	1,90	0,79
	13.06.				
	14.06.				
7516	19.06.	1,10	0,30	1,85	1,04
	20.06.				
	21.06.				
7532	28.06.	1,16	0,50	2,11	1,41
	29.06.				
	30.06.				
7536	06.06.	1,12	0,33	1,84	0,75
	07.06.				
	08.06.				
7543	06.06.	1,16	0,37	1,68	0,80
	07.06.				
	08.06.				
7554	06.06.	1,14	0,47	1,76	0,89
	07.06.				
	08.06.				
7555	28.06.	1,11	0,32	2,45	1,00
	29.06.				
	30.06.				
7559	05.06.	1,15	0,38	2,33	1,56
	06.06.				
7568	19.06.	1,12	0,33	2,59	1,66
	20.06.				
	21.06.				
94997	06.06.	1,15	0,37	2,14	1,06
	07.06.				
	08.06.				

---

## Danksagung

Danken möchte ich an dieser Stelle den Menschen, die mich bei der Anfertigung dieser Arbeit unterstützt haben.

Zuerst möchte ich Prof. Dr. Otto Kaufmann danken, für die Überlassung des interessanten Themas, die vielen fachlichen Anregungen und Denkanstöße und die gute Betreuung. Vor allem bin ich dankbar für sein Verständnis für alle Unwägbarkeiten des Lebens, die solch eine Arbeit verlängern und seine Geduld bis zur Fertigstellung dieser Arbeit.

Ich danke auch allen ehemaligen Kollegen/innen und Mitdoktoranden/innen des Fachgebiets Tierhaltungssysteme und Verfahrenstechnik. Ich bin von Euch immer unterstützt und aufgemuntert worden und unsere Kaffeerunden vermisse ich.

Dr. Wolfgang Waser danke ich für die Hilfe bei der Anwendung von R.

Allen Mitarbeitern der Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (Iden) sage ich an dieser Stelle besonderen Dank für die lange und gute Zusammenarbeit und die Datenbereitstellung. Besonderer Dank gilt Thomas Engelhard, Lorena Helm und Elke Riemann für ihre Unterstützung.

Dr. Mihaiela Rus möchte ich danken für ihre immerwährende Hilfsbereitschaft und die anregenden und aufbauenden fachlichen und nicht-fachlichen Gespräche.

Ich danke meinen Freunden für ihre Aufmunterungen und Telefonnotdienste, insbesondere Tanja Kuna-Waser und Cynthia Strathmann – wenn ich Euch nicht hätte!!

Besonderer Dank gilt meiner Familie. Meinem Mann, der alle meine Launen ertragen musste und mich die ganze Zeit unterstützt und auf seine Art motiviert hat, meiner Mutter für ihre immerwährende liebevolle Unterstützung in allen Lebenslagen und zuletzt meinem Vater, der mir immer ein Vorbild war und mir beigebracht hat, niemals aufzugeben.



---

## Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich,

Annabell Sonja Wobschall, an Eides statt, die vorliegende Dissertation selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt zu haben.

---

Datum

Unterschrift