

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik

Analyse der Futteraufnahme und Vormagenentwicklung beim Kalb aus
Prozessdaten einer multisensorischen Kälberaufzuchtanlage

Viktoria Antonia Ivonne Spreng

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Agrarwissenschaften

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. H. Bernhardt

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. (i.R.) Dr. H. Auernhammer
2. Univ.-Prof. Dr. K. J. Eder - schriftliche Beurteilung
(Justus-Liebig-Universität Gießen)
3. Univ.-Prof. Dr. Dr. h.c. J. Bauer

Die Dissertation wurde am 19.10.2010 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 19.01.2011 angenommen.

Alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung von Texten und Bildern, auch auszugsweise, ist ohne Zustimmung des Autors urheberrechtswidrig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigung, Übersetzung, Mikroverfilmung sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© 2011

Im Selbstverlag: Viktoria Spreng

Bezugsquelle: Technische Universität München
Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik
Am Staudengarten 2
85354 Freising

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand größtenteils während meiner Zeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik der Technischen Universität München in Weihenstephan.

Nach Abschluss dieser Dissertation möchte ich allen danken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Meinen besonderen Dank möchte ich Herrn Prof. Dr. H. Auernhammer für die Überlassung des Themas aussprechen. Er übernahm die Gesamtbetreuung, begleitete alle Phasen der Untersuchungen und dieser Arbeit und gab sehr wertvolle Hinweise zur wissenschaftlichen Abfassung.

Weiterhin bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr. K.J. Eder und Herrn Prof. Dr. J. Bauer für die Übernahme der Koreferate und bei Herrn Prof. Dr. H. Bernhardt für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Großer Dank gilt Herrn Dr. M. Rothmund und Herrn Prof. Dr. F.J. Schwarz für die Anregungen zur Versuchsplanung und –durchführung. Ebenso sei an dieser Stelle besonders allen Kolleginnen und Kollegen am Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik und der LfL gedankt. Die zahlreichen Diskussionen brachten viele Lösungsansätze für die unterschiedlichen Herausforderungen im Rahmen dieser Arbeit. Besonders bedanke ich mich auch für die Hilfe bei der Realisierung der Versuchseinrichtungen. Namentlich nennen möchte ich hierzu Herrn Dr. G. Fröhlich und Herrn M. Wildgruber mit den Mitarbeitern der Werkstatt, Herrn J. Dallinger und Herrn H. Wiefel für die elektrischen Installationen, Herrn M. Ehrl, Herrn F. Wendling und Herrn S. Böck für die Unterstützung bei elektronischen Themen, Herrn Dr. M. Bachmaier für die statistische Hilfestellung und Herrn M. Berchtold für die zeichnerischen Darstellungen.

Bei den Mitarbeitern der TUM-Versuchsstation Hirschau bedanke ich mich für die Unterstützung bei der Tierbetreuung.

Weiters danke ich Frau Dr. B. Roth (ETH Zürich), den Mitarbeitern des Lehrstuhls für Tieranatomie I der LMU München und den Mitarbeitern des Lehrstuhls für Innere Medizin und Chirurgie der Wiederkäuer der LMU München für deren methodische Anregungen.

Abschließend möchte ich meinen Eltern recht herzlich für alles danken, was sie mir ermöglicht haben, vor allem für die Unterstützung während meiner Zeit in Weihenstephan. Meinem Partner Markus danke ich besonders für den persönlichen und auch fachlichen Beistand. Ihre Motivation beeinflusste das Gelingen dieser Arbeit wesentlich.

Es ist nicht genug zu wissen - man muss auch anwenden.

Es ist nicht genug zu wollen - man muss auch tun.

(Johann Wolfgang von Goethe)

Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	IX
TABELLENVERZEICHNIS	XI
ABKÜRZUNGSÜBERSICHT	XIII
1 EINLEITUNG	1
2 PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG	3
3 STAND DES WISSENS	7
3.1 Das Magensystem beim Kalb	7
3.1.1 Fütterungsabhängige Pansenschleimhautentwicklung	9
3.1.1.1 Variabilität der Pansenzotten	9
3.1.1.2 Untersuchungsergebnisse zum alters- und ernährungsabhängigen Zottenwachstum	10
3.1.1.3 Pansenregionales Zottenwachstum	13
3.1.2 Wachstumsintensität des Vormagensystems	14
3.1.3 Vormagenmotorik	15
3.1.3.1 Verlauf der Pansenkontraktion	15
3.1.3.2 Funktion der Pansenmotorik	15
3.1.4 Beginn des Wiederkauens	16
3.2 Individuelle Kälberfütterung	17
3.2.1 Futtermittel in der Kälberaufzucht	17
3.2.1.1 Milchaustauscher	18
3.2.1.2 Kraftfutter	20
3.2.1.3 Heu	22
3.2.1.4 Trinkwasser	23
3.2.2 Technische Systeme zur Futteraufnahme- und Leistungserfassung	25
3.2.2.1 Tieridentifizierungssystem	26
3.2.2.2 Tränke-Versorgungstechnik	26
3.2.2.3 Körpertemperatur-Messsystem	29
3.2.2.4 Gewichts-Erfassungssystem	32
3.2.2.5 Kraftfutter-Abruftechnik	34
3.2.2.6 Trinkwasser-Versorgungstechnik	36
3.2.2.7 Grundfutter-Erfassungstechnik	37
3.2.2.8 Betriebsrechner	38
3.2.3 Tieraktivität	39
3.2.3.1 Direkte Aktivitätsmessung – Tierbewegung	39
3.2.3.2 Indirekte Aktivitätsmessung – Futterabruf- und -aufnahmeverhalten	40
3.2.3.2.1 Tränke	40

3.2.3.2.2	Kraftfutter	45
3.2.3.2.3	Raufutter	45
3.2.3.2.4	Trinkwasser.....	46
4	MATERIAL UND METHODIK	47
4.1	Versuchsaufbau	47
4.1.1	Versuchsstall	47
4.1.2	Versuchstechnik	48
4.1.2.1	Tieridentifikationssystem	49
4.1.2.2	Tränkestand mit Tränkeautomat, Fiebermesssystem und Teiltierwaage	50
4.1.2.3	Kraftfutterautomat	52
4.1.2.4	Trinkwassermesssystem	53
4.1.2.5	Grundfutterwiegetrog.....	53
4.1.2.6	Betriebscomputer und Software.....	55
4.1.2.7	Videotechnik	56
4.1.2.8	Klimadatenerfassung.....	56
4.1.3	Tiere.....	57
4.1.4	Fütterungsregime	57
4.1.4.1	Milchtränke	58
4.1.4.2	Kraftfutter.....	59
4.1.4.3	Heu.....	59
4.1.4.4	Trinkwasser	59
4.2	Datenerhebung und –management	60
4.2.1	Automatische Datenerfassung	60
4.2.1.1	Datenfluss.....	61
4.2.1.2	Automatisch erfasste Parameter.....	62
4.2.1.3	Datenaufbereitung.....	63
4.2.1.4	Auswertungsmethodik.....	63
4.2.2	Referenzmessungen	64
4.2.2.1	Bestimmung der Messgenauigkeit der Technik.....	65
4.2.2.2	Feststellen des Beginns der Pansenkontraktion	67
4.2.2.3	Schlachtungen von Tieren	68
4.2.3	Statistische Auswertung.....	71
5	ERGEBNISSE	73
5.1	Analyse der automatisch erfassten und generierten Daten.....	73
5.1.1	Analysierte Datenmenge	74
5.1.2	Messgenauigkeit der verwendeten Technik	74
5.1.3	Temperatur und relative Luftfeuchte im Tierbereich.....	78
5.1.4	Futtermessung.....	78

5.1.4.1	Entwicklung der Futteraufnahme und des Tiergewichts	79
5.1.4.2	Abhängigkeit der Aufnahmemengen von Alter und Tiergewicht	82
5.1.4.2.1	Einfache Korrelationen.....	82
5.1.4.2.2	Multiple Korrelationen	85
5.1.4.3	Futteraufnahme in Abhängigkeit vom Geschlecht.....	88
5.1.4.4	Einfluss des Klimas auf die Futteraufnahme	91
5.1.4.4.1	Futteraufnahme und absolute Tageswerte.....	92
5.1.4.4.2	Futteraufnahme und relative Differenzen zum Vortag	93
5.1.4.4.3	Futteraufnahme und relative Differenzen zu zwei vorausgegangenen Tagen	94
5.1.4.4.4	Futteraufnahme und relative Differenzen aus Sollkurven.....	95
5.1.4.5	Aktivität der Tiere und Auslastung der Fütterungstechnik.....	97
5.1.4.5.1	Altersabhängige Besuche an den Stationen	97
5.1.4.5.2	Verweildauer an den Stationen	100
5.1.4.5.3	Futteraufnahme je Besuch und je Zeiteinheit.....	105
5.1.4.5.4	Anzahl Tränkeabbrüche.....	106
5.1.5	Fazit	106
5.2	Pansenphysiologische Parameter und deren Beeinflussbarkeit	108
5.2.1	Beginn der Pansenaktivität.....	108
5.2.2	Analyse der Pansenzottenparameter	109
5.2.2.1	Einfluss des Alters auf die Pansenzottenausbildung	110
5.2.2.2	Abhängigkeiten der einzelnen Zottenparameter voneinander.....	111
5.2.2.3	Abhängigkeiten der einzelnen Regionen.....	112
5.2.2.4	Untersuchung der linken/rechten und oberen/unteren Pansenhälften hinsichtlich der Zottendichte.....	112
5.2.2.5	Gruppierung der Pansenregionen und Analyse der Zottenparameter	112
5.2.2.5.1	Analyse der Pansenparameter aller Tiere.....	113
5.2.2.5.2	Geschlechtsspezifische Analyse der Pansenparameter	115
5.2.2.6	Gewicht und Fläche des Reticulorumens und dessen Beziehung zur Zottendichte.....	116
5.2.3	Beziehung zwischen der Futteraufnahme und den Pansenparametern	116
5.2.4	Korrelationen zwischen der Futteraufnahme und den Schlachtparametern an verschiedenen Pansenregionen	117
5.2.5	Fazit	118
6	DISKUSSION	121
6.1	Technik	121
6.1.1	Funktion und Messgenauigkeit	121
6.1.1.1	Tränkeautomat mit Doppelkammernuckel	121
6.1.1.2	Teilkörperwaage	122
6.1.1.3	Kraftfutterautomat	124
6.1.1.4	Trinkwasserautomat.....	124
6.1.1.5	Wiegetrog.....	125

6.1.2	Stallklima	126
6.1.3	Futteraufnahme.....	127
6.1.3.1	Entwicklung der Aufnahmemengen.....	127
6.1.3.2	Einfluss des Alters auf die Aufnahmemenge.....	129
6.1.3.3	Einfluss der Aufnahmemenge auf die Lebendmasse.....	133
6.1.3.4	Einfluss des Geschlechts auf die Aufnahmemenge.....	134
6.1.3.5	Einfluss des Klimas auf die Aufnahmemenge	135
6.1.3.6	Aktivität und Besuchsverhalten an den Futterstationen	137
6.1.3.6.1	Tränkeautomat	137
6.1.3.6.2	Kraftfutterabrufstation.....	140
6.1.3.6.3	Trinkwasserautomat	142
6.1.3.6.4	Wiegetröge.....	143
6.1.3.6.5	Gesamtanzahl der Besuche	144
6.1.4	Fazit Technik.....	145
6.2	Pansen	149
6.2.1	Beginn der ruminalen Aktivität.....	149
6.2.2	Zottenparameter, Pansengewicht und -fläche.....	150
6.2.2.1	Maße und Abhängigkeiten	150
6.2.2.2	Gruppierungen und Geschlecht	154
6.2.2.3	Pansengewicht und -fläche	156
6.2.3	Fazit Pansen	156
6.3	Technik – Futteraufnahme – Pansen.....	158
6.3.1	Zottenparameter und Aufnahmemengen.....	158
6.3.2	Passage des Futters	160
6.3.3	Pansengewicht und -fläche.....	161
6.3.4	Fazit Technik – Futteraufnahme – Pansen.....	161
7	SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK	163
7.1	Technik	163
7.2	Pansen	165
7.3	Technik – Futteraufnahme – Pansen.....	166
8	ZUSAMMENFASSUNG	169
9	SUMMARY	173
10	LITERATURVERZEICHNIS	177
11	ANHANG	199

Abbildungsverzeichnis

1	Modell zur Systemvernetzung bei der Kälberaufzucht.	5
2	Mägen des Rindes von links und rechts (nach NICKEL et al. (1995) [178]).	7
3	Kälberstall der Versuchsstation Hirschau.	47
4	Versuchsabteil im Kälberstall der Versuchsstation Hirschau.	48
5	Fütterungs- und Monitoringtechnik im Kälberstall der Versuchsstation Hirschau.	49
6	Kalb am Grundfutterwiegetrog.	54
7	Grundfutterstand für Kälber mit Bemaßung.	54
8	Tränke- und Kraftfutterplan für Kälber in Abhängigkeit des Alters.	58
9	Datenübertragungswege der verschiedenen Systeme.	61
10	Mägen des Rindes (nach NICKEL et al. (1995) [178]) mit Probenentnahmestellen.	69
11	Probenentnahmestellen am ausgebreiteten Reticulorum.	70
12	Genauigkeit der Tierwaage im Tränkestand (39 Schlachttiere).	76
13	Tagesmittelwerte der relativen Luftfeuchte und Temperatur im Tierbereich.	78
14	Altersabhängige Entwicklung der mittleren Futteraufnahme aller 66 Kälber.	79
15	Verhältnisse GW/GTS und TW/GTS.	80
16	Multiple Korrelationen mit der Zielgröße Trinkwasseraufnahme (TW).	87
17	Altersabhängige geschlechtsspezifische Entwicklung der Futteraufnahme.	89
18	Altersabhängige mittlere Tränkeaufnahmemenge mit Tränkemenge-Sollkurve und Tränkeplankurve.	96
19	Altersabhängige Verteilung der gesamten Besuche.	99
20	Mittlere Anzahl und Streuung der Gesamtbesuche an den Futterautomaten.	100
21	Mittlere Verweildauer an den Heu-Wiegetrögen je Tag.	103
22	Mittlere Anzahl und Streuung der Verweildauer an den Heu-Wiegetrögen je Tag.	104
23	Regressionskurven der verschiedenen Zottenparameter.	109

Tabellenverzeichnis

1	Dokumentierte Reaktionsdauer der Pansenzottenveränderungen beim Kalb.	9
2	Pansenzottenentwicklung in Abhängigkeit des Alters und der Futterration.	11
3	Beginn des Wiederkauens beim Kalb.	16
4	Ergebnisse zur Bestimmung der Messgenauigkeit der verwendeten Technik.	74
5	Verzeichnis der Futterkomponenten mit dazugehöriger Abkürzung.	79
6	Korrelationskoeffizienten für die untersuchten Variablen.	82
7	Korrelationskoeffizienten zwischen der TW-Aufnahme und verschiedener Parameter in Abhängigkeit des Geschlechts.	83
8	Korrelationskoeffizienten zwischen den Futteraufnahmen, dem Alter und Gewicht in Abhängigkeit von verschiedenen Altersabschnitten.	84
9	Ergebnisse der einzelnen Korrelationen hinsichtlich TW-Aufnahme vor Beginn der abbauenden multiplen Regression.	86
10	Mittelwerte der GW- und GTS-Aufnahmen der männlichen und weiblichen Kälber während verschiedener Altersabschnitte.	90
11	F- und P-Werte mit Vertrauensintervallen (VI) einer Zwei-Wege ANOVA in Abhängigkeit vom Alter und Geschlecht.	91
12	Korrelationskoeffizienten zwischen Klima- und Futteraufnahmeparametern.	92
13	Korrelationskoeffizienten zwischen Klima- und Futteraufnahmeparametern im Altersverlauf.	93
14	Korrelationskoeffizienten zwischen der relativen Differenz der Aufnahmen zum Vortag und den relativen Abweichungen des Klimas zum Vortag.	94
15	Korrelationskoeffizienten zwischen Klima- und Futteraufnahmeparametern.	95
16	Durch Residuenbestimmung ermittelte Gleichungen der Soll-Aufnahmen.	96
17	Ausgewählte Tagesdaten der mittleren Anzahl an Besuchen ($\bar{x} \pm s$) je Kalb.	98
18	Ausgewählte Tagesdaten der Besuchdauer ($\bar{x} \pm s$) an einer Station.	100
19	Korrelationskoeffizienten zwischen der Besuchsdauer und dem Alter bzw. den Futteraufnahmen während verschiedener Altersabschnitte.	101
20	Korrelationskoeffizienten zwischen der täglichen Verweildauer, Besuchsdauer und Besuchsanzahl.	103
21	Korrelationskoeffizienten zwischen der täglichen Verweildauer und dem Alter bzw. den Futteraufnahmen während verschiedener Altersabschnitte.	104
22	Alter und Futteraufnahme bei Beginn der Pansenaktivität.	108
23	Korrelationskoeffizienten zwischen den Mittelwerten der Zottenparameter.	111
24	Gruppierung der Pansenregionen.	113
25	Korrelationskoeffizienten zwischen den geschätzten Futteraufnahmemengen und Schlachtparametern.	116
26	Korrelationskoeffizienten zwischen der geschätzten Futteraufnahme am Schlachttag und den Zottenparametern.	117

Abkürzungsübersicht

ad lib.	Ad libitum
AFS	Automatisches Fiebermesssystem
ATS	Automatisches Trinkwassermesssystem
BUS	Binary Unit System
CAN	Controller Area Network
CCD	Charge-coupled Device
GTS	Gesamt-Trockensubstanz
GW	Gesamt-Wasser
HDX	Half duplex system
HTS	Heu-Trockensubstanz
I.E.	Internationale Einheit
ISO	Internationale Organisation für Normung
KF-TS	Kraftfutter-Trockensubstanz
LT	Lebenstag
MAT-TS	Milchaustauscher-Trockensubstanz
MKR	Multiple Korrelation und Regression
MS	Maissilage
MT	Milchtränke
PC	Personal computer
PCI-CAN-Card	Peripheral Component Interconnect CAN-Card
r	Korrelationskoeffizient
R ²	Bestimmtheitsmaß
rF	relative Feuchte
RFID	Radio Frequency Identification
RS232	Standard für eine serielle Schnittstelle
s	Standardabweichung
T	Temperatur
TA	Tränkeautomat
TS	Trockensubstanz
TW	Trinkwasser
\bar{x}	Mittelwert

1 Einleitung

Die Ansätze für teilschlagspezifische Bewirtschaftung in der Pflanzenproduktion lassen sich auch in den Bereich der Tierhaltung transferieren, da die kleinräumige Standortheterogenität im Systemansatz mit dem individuellen Tierverhalten vergleichbar ist. Gegenüber der Außenwirtschaft finden sich in der Tierhaltung auch heute noch autarke „Insellösungen“ für die Überwachung, Steuerung und Regelung [209]. Zudem ist die verfügbare Zahl an Sensoren noch gering, und insbesondere besteht ein großes Defizit in der Erfassung und Bewertung von ethologischen Daten.

Der Gedanke des „Precision Livestock Farmings“ baut deshalb, vergleichbar mit dem „Precision Farming“, auf der Nutzung vernetzter Systeme mit neuen Ansätzen in der Informationstechnologie, Sensorik, Aktorik und der Automatisierung, bis hin zur Robotik auf. Dadurch soll zum einen eine einzeltierbezogene, artgerechte Nutztierhaltung angestrebt werden. Zum anderen soll die weitgehende Automatisierung von Arbeitsprozessen und Informationsverarbeitung zu einer ökonomischen und ökologischen Optimierung der Produktionsprozesse führen. Zudem werden entsprechend den neuen Anforderungen aus der Gesellschaft hinsichtlich Dokumentation und Rückverfolgbarkeit die vor- und nachgelagerten Bereiche in die Systemüberlegungen einbezogen. Dabei hat das BUS-System Innenwirtschaft, welches momentan von Stalltechnikanbietern, Landwirtschaftskammern und Forschungsinstitutionen propagiert und ständig weiterentwickelt wird, das Ziel, Daten zwischen den auf dem BUS gekoppelten Systemen, wie Prozessrechner und Managementprogrammen, auszutauschen.

Aus physiologischer, arbeitswirtschaftlicher und nicht zuletzt ökonomischer Motivation werden speziell in der Kälberaufzucht seit Ende der siebziger Jahre elektronisch gesteuerte Fütterungsautomaten eingesetzt. Die mittlerweile entstandenen integrierten Fütterungs- und Managementsysteme erfassen nicht nur die Leistungsentwicklung des Kalbes, sondern dienen auch dem Tierhalter zur Entscheidungsfindung. Durch die bestehende Systemvernetzung ist eine unmittelbare Einflussnahme auf die Fütterung möglich, was zu einer zusätzlichen Arbeitserleichterung und Mitteleinsparung führt [119]. Ein Ziel ist dabei eine frühzeitige Ausbildung der Pansenmotorik und die Maximierung des Pansenzottenwachstums, was durch Verfüttern von Strukturfutter und Getreide gewährleistet wird [26, 136]. Nur dadurch kann eine möglichst frühe Substitution des Milchaustauschers durch Kraft- und Grundfutter bei einem ausgebildeten Vormagensystem neben der Minimierung der Futterkosten zu höheren Leistungen und gesünderen Kälbern [33] führen.

2 Problemstellung und Zielsetzung

Die Aufzucht gesunder und gut entwickelter Kälber ist die Basis für eine leistungsorientierte und damit wirtschaftliche Milchviehhaltung und Rindermast. Deshalb können die in den Betrieben auftretenden Kälberverluste infolge von Erkrankungen der Atemwege und des Verdauungstraktes mit bis zu 15 % [100] nicht akzeptiert werden. Hinzu kommen Begleiterscheinungen dieser Erkrankungen, wie eine reduzierte Aktivität, verminderte Nahrungsaufnahme, Abmagerung und Austrocknung. Da damit das Wohlbefinden der Tiere beeinträchtigt ist, ergeben sich durch schlechtere Tageszunahmen und einer verzögerten Entwicklung weitere wirtschaftliche Einbußen für den Betrieb. Um Kälber, auch auf lange Sicht betrachtet, erfolgreich aufzuziehen, müssen somit neben der Haltung und Fütterung auch Vorsorgemöglichkeiten berücksichtigt werden [26, 206, 268]. Dies gilt unabhängig vom jeweiligen Aufzuchtverfahren auch für die Leistungskontrolle. Zudem wird mit steigenden Bestandsgrößen eine stärkere Automatisierung immer wichtiger. Dabei stellt die Einzeltieridentifizierung eine Schlüsseltechnologie dar [236]. Mit ihr kann neben einer elektronisch gesteuerten tierindividuellen Versorgung auch die Erfassung von Parametern der Futteraufnahme, des Tierverhaltens und der Tiergesundheit realisiert werden. Zusätzlich wird damit der Tierhalter bei seinen Überwachungsaufgaben unterstützt und über ungewöhnliche oder kritische Situationen frühestmöglich informiert.

Häufig wird jedoch der Landwirt durch die enorme Datenflut und die Komplexität der Information und Entscheidungen überlastet, weshalb das Datenmanagement hinsichtlich Praxiseinsatz und Effizienz verbessert werden muss [232]. Dabei müssen die Rahmenbedingungen, Futterversorgung und das Herdenmanagement so gesteuert werden, dass ein optimales Produktionsergebnis erreicht wird [26, 52, 220, 296].

Für die Kälberaufzucht haben sich in der Praxis mittlerweile computergesteuerte Tränkeautomaten als Standardtechnik zur automatischen Fütterung durchgesetzt [52]. Die FA. FÖRSTER-TECHNIK GMBH (D-Engen) als der marktführende Hersteller in Deutschland, verkauft nach eigenen Angaben jährlich bis zu 3000 Einheiten zur Fütterung von Kälbern und Ziegen (inklusive Kraftfutterautomaten) [304]. KUNZ (1999) [150] bietet einen Überblick über die am Markt erhältlichen Systeme. Daneben sind in jüngerer Zeit weitere Automaten zur individuellen Kraftfutterversorgung und zum individuellen Wasserabruf hinzugekommen. Deren Einsatz ist in der Praxis jedoch noch sehr stark begrenzt, weil dafür bisher keine wirklich gesicherten Ergebnisse über die damit erreichbaren neuen Möglichkeiten der Tierüberwachung und des damit verbundenen Nutzens vorliegen. Deswegen gilt es nun zu untersuchen, inwieweit durch die Zusammenführung aller möglichen Teilsysteme für die Kälberaufzucht und deren intelligente Vernetzung neue und/oder bessere Managementinformation gewonnen werden kann.

Für diese Aufgabe ist in einem ersten Schritt der Wissensstand anhand von Literaturangaben darzustellen, um die verschiedenen Teilbereiche der Kälberanatomie und -fütterung fundiert betrachten zu können.

Darauf aufbauend kann in einem zweiten Schritt ein Gesamtsystem „Kälberaufzuchtanlage“ geplant und verwirklicht werden. Darin sollen neben der heute gängigen Tränkeabruftechnik mit Milchaustauscher oder Vollmilch auch die individuelle Aufnahme von Grundfutter, Kraftfutter und Trinkwasser realisiert werden. Die damit erreichbaren Einzeltierleistungen sollen über das individuelle Tiergewicht, und der Gesundheitszustand der Tiere über Temperaturmessungen sichtbar gemacht werden. Alle sensorischen und aktorischen Daten sind dabei automatisch zu erfassen und über die Uhrzeit zusammen zu führen und zu speichern. Damit soll erstmals eine multisensorische Kälberaufzuchtanlage geschaffen und getestet werden.

In einem dritten Schritt soll mit dieser Anlage ein Exaktversuch zur Analyse der Futteraufnahme und Vormagenentwicklung durchgeführt werden.

Aufbauend auf den automatisch erfassten Daten des Exaktversuches und den parallel dazu durchgeführten Referenzmessungen, sind in einem vierten Schritt die Messgenauigkeit der Technik, die individuelle Futteraufnahmemenge und das Futteraufnahmeverhalten, wie auch die pansenphysiologischen Parameter zu analysieren und deren gegenseitige Abhängigkeiten zu ermitteln. Daraus ist dann abzuleiten, welche neuen Erkenntnisse für die Betriebsleitung aus der Erfassung der genannten Parameter beim einzelnen Kalb gewonnen werden können. Dies gilt sowohl für die Wasser- und Trockensubstanzaufnahme, wie auch für Kombinationen mit anderen einzeltierbezogenen Daten wie Tiergewicht oder Aktivität. Dabei muss auch nach dem Geschlecht und nach verschiedenen Altersabschnitten differenziert werden. Von besonderem Interesse ist zudem die Möglichkeit der Abschätzung des Potenzials dieses für die vorliegende Untersuchung konzipierten komplexen vernetzten Systems hinsichtlich der Vormagenentwicklung, also inwieweit die Zusammenführung der Daten der installierten Fütterungs- und Monitoringtechnik Hinweise auf die physiologische Entwicklung des einzelnen Kalbes zulässt (Abb. 1).

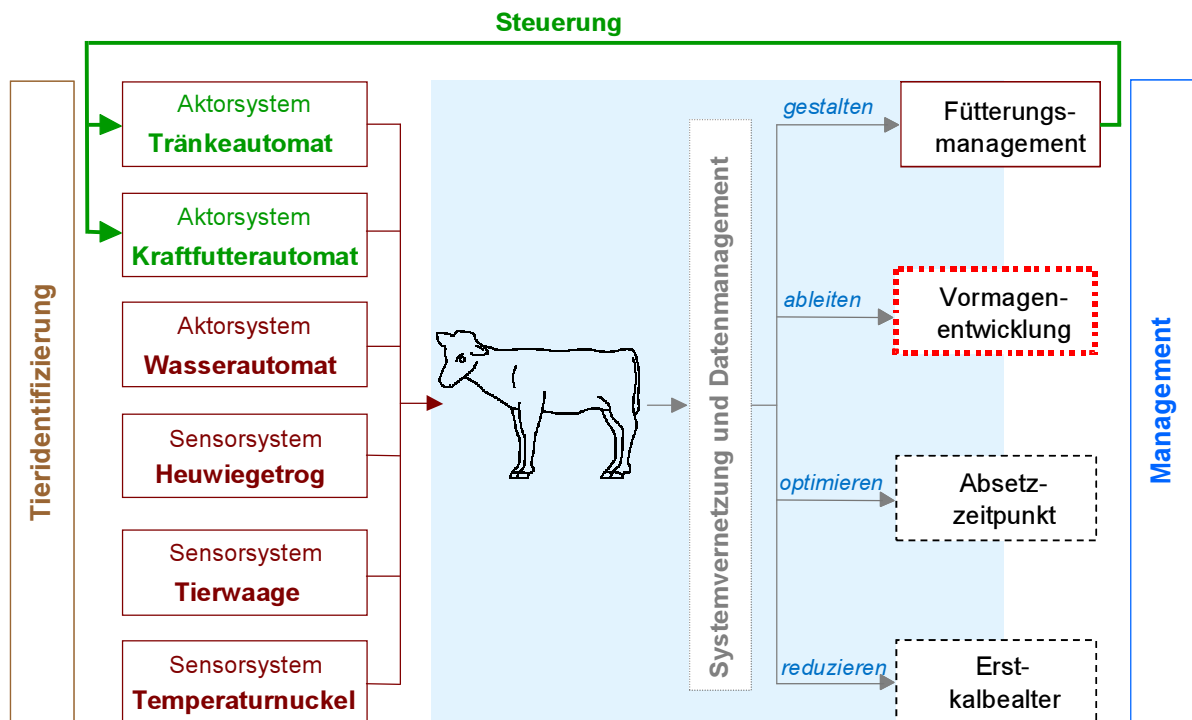


Abbildung 1: Modell zur Systemvernetzung bei der Kälberaufzucht.

Schließlich soll in einem fünften Schritt versucht werden, alle ermittelten Ergebnisse für ein verbessertes Management zu werten und einzuordnen. Dabei soll zwischen signalisierenden Anzeichen eines für die Futterumstellung ausgebildeten Vormagensystems und der Ableitung von verbesserten Steuerungsalgorithmen unterschieden werden. Zudem soll geklärt werden, welche weitere Vorgehensweise für noch ungelöste Fragen der vorliegenden Untersuchung erforderlich und sinnvoll ist und inwiefern eine Erweiterung der Versuchsanstellung einer verbesserten Prozesssteuerung dienlich sein kann.

3 Stand des Wissens

3.1 Das Magensystem beim Kalb

Da das Kalb zunächst auf flüssige Nahrung auf der Grundlage von Milch angewiesen ist, gleicht sein Magensystem nach der Geburt aus ernährungsphysiologischer Sicht dem eines Monogastriden. Erst mit zunehmendem Alter und Festfutteraufnahme verändert sich das Verdauungssystem bezüglich Fassungsvermögen, Funktion und Wechselbeziehung zwischen den einzelnen Organen und es entwickelt sich ein Wiederkäuer [234]. Der Verdauungstrakt besteht aus Schlundrinne, Labmagen, Vormagen, Anhangsdrüsen, Dünndarm und Dickdarm. Das vierhöhlige Magensystem des Wiederkäuers besteht aus dem dreiteiligen, von einer drüsenlosen Schleimhaut ausgekleideten Vormagen mit Pansen (Rumen), Haube (Netzmagen, Reticulum) und Psalter (Blättermagen, Omasum), sowie aus einer vierten Abteilung, dem mit drüsenhaltiger Schleimhaut versehenen Drüsen- oder Labmagen (Abomasum) [178] (siehe Abb. 2).

Der Pansen liegt auf der linken Körperseite, die Haube cranial (kopfseitig) und der Blättermagen rechts. Der Labmagen lagert auf der ventralen Bauchwand und schiebt sich nach links unter die Haube und den Pansen [178]. Die Vormägen haben die Funktion der mechanischen Zerkleinerung, der Durchmischung und der Vergärung der Nahrung durch Bakterien und Protozoen [162]. Beim neugeborenen Wiederkäuer sind sie noch sehr klein, erst mit Aufnahme von Raufutter beginnen sie sich zu vergrößern. Bei der Geburt ist der Labmagen mit einem Fassungsvermögen von ca. 2 l gegenüber dem des Pansen-Hauben-Komplexes mit ca. 0,75 l am größten ausgebildet [33].

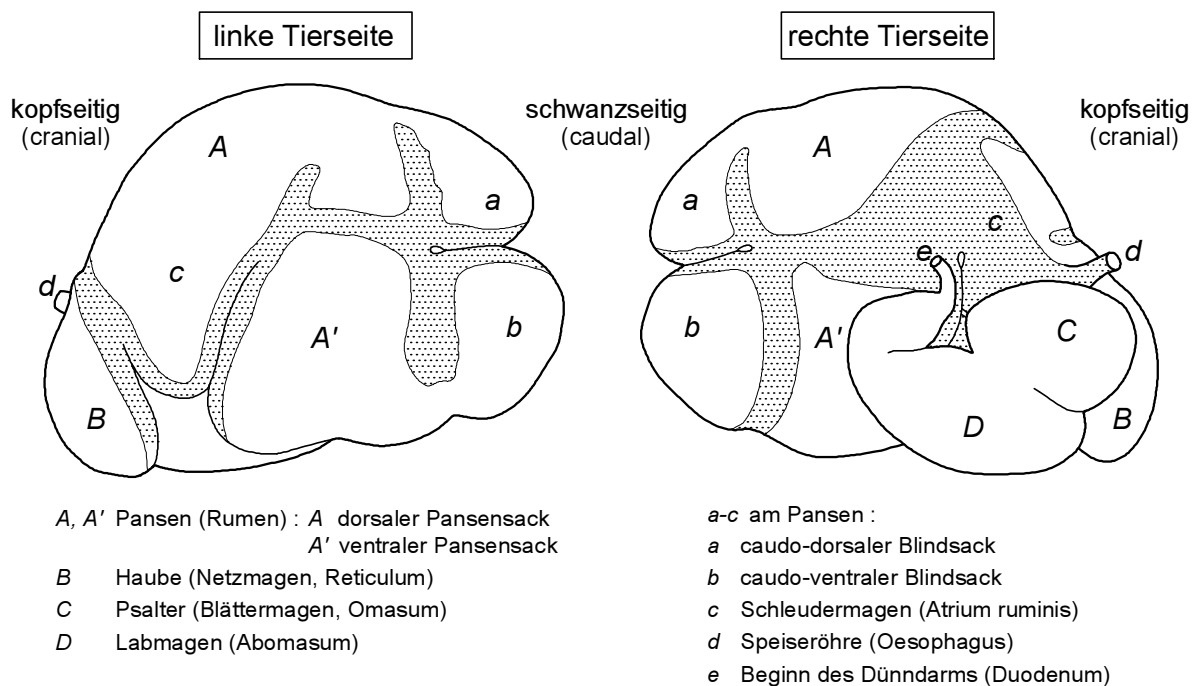


Abbildung 2: Mägen des Rindes von links und rechts (nach NICKEL et al. (1995) [178]).

Bei der anfänglichen Milchaufnahme wird die Milch durch den Schlundrinnenreflex unter Umgehung der Vormägen direkt in den Labmagen geleitet und dort aufbereitet. Greift der Reflex nicht und die Milch gelangt in die Vormägen, führt dies zu Fäulnisprozessen und Verdauungsstörungen, was sich in Form von Diarrhö äußert [175, 234]. Obwohl die Vormägen beim Saugkalb hinsichtlich ihrer Funktion, Größe und der Schleimhautdifferenzierungen noch unterentwickelt sind, finden in den Vormägen Gärungsprozesse, mikrobielle Besiedlung und metabolische Aktivitäten statt [83]. Im Alter von 8 Wochen haben Labmagen und auch Pansen-Haube ein Volumen von je ca. 6 Liter. Im weiteren Wachstumsverlauf entwickelt sich das Pansenvolumen gegenüber den anderen Volumina überproportional, so dass bei einem Alter von 12 Monaten sicher von einem Wiederkäuer ausgegangen werden kann.

Der Pansen als größter Vormagen hat die Form eines seitlich abgeflachten Sacks, der vom Zwerchfell bis zum Beckeneingang die linke Bauchhöhle vollständig ausfüllt. Der caudoventrale Blindsack füllt zum Teil auch noch die rechte Bauchhöhlenhälfte [85]. Im Pansen erfolgt der Aufschluss der Zellulose durch Mikroorganismen und die Resorption der Nährstoffe. Der Pansen ist durch von außen sichtbare Furchen in mehrere Teilkammern unterteilt. Im Bereich dieser Furchen liegen im Inneren erhabene Wülste, die Pansenpfeiler (Pilae) [290]. Die drüsenlose Schleimhaut bildet zur Oberflächenvergrößerung die Pansenzotten. Diese fehlen normalerweise im dorsalen Pansensack (Sitz der Gasblase), bei längerer Einwirkung stärkerer Konzentrationen von flüchtigen Fettsäuren auch am Pansenboden. Die längsten und zahlreichsten Pansenzotten/cm² finden sich im Schleudermagen [289]. Nach KIRCHGEBNER (1997) [136] ist eine frühestmögliche Ausbildung der Pansenzotten anzustreben, denn je größer die Oberfläche der einzelnen Pansenzotten ist, desto besser können Nährstoffe absorbiert werden.

Die Haube liegt als kugeliges, leicht abgeflachtes Organ zwischen dem Zwerchfell und dem cranialen Ende des ventralen Pansensacks. Die drüsenlose Schleimhaut der Haube weist ein netzförmiges Relief auf, da die Haubenleisten viele kleine wabenartige Kästchen bilden, in die kleine Futterpartikel eindringen und dort weiter zerkleinert werden [85]. Die Speiseröhre mündet zwischen Haube und Pansen in den Schleudermagen [178], welcher zusammen mit der Haube für die Einleitung der Rejektion grober Futterbestandteile zum Wiederkäuen sorgt. Die Nahrung wird zwischen Haube und Pansen hin und her bewegt, bis sie genügend zerkleinert und aufgeschlossen ist, um in den Psalter und dann in den Labmagen transportiert werden zu können [162]. Daher werden Pansen und Haube funktionell auch zum Ruminoreticulum bzw. Reticulorumen zusammengefasst.

Neben der Vergrößerung des Pfortadersystems und dem Wachstum der inneren Organe und Gewebe verändern sich auch die Magen- und Darmkontraktionen, welche in Dauer und Häufigkeit ansteigen und in der Entwicklungsphase von großer Bedeutung sind. Nach MORNET und ESPINASSE (1990) [175] übt die durch kurzkettige Fettsäuren ausgelöste Wiederkauaktivität einen starken Einfluss auf die Pansenkontraktion aus.

3.1.1 Fütterungsabhängige Pansenschleimhautentwicklung

Die Schleimhaut der Vormägen ist beim jungen Kalb noch weich. Sie bildet Pansenzotten (Papillae ruminis) zur Oberflächenvergrößerung und damit zur Verbesserung der Resorption der aus der Zerlegung von Kohlenhydraten (Zellulose, Stärke, Zucker) stammenden kurzkettigen Fettsäuren (Essig-, Propion-, Buttersäure) [57, 215, 263]. Dies ist vor allem für die Stabilisierung des pH-Wertes im Panseninhalt und für die Einschleusung von Energielieferanten in den Intermediärstoffwechsel von Bedeutung. Damit stellt die Pansenschleimhaut ein Stoffwechselorgan zwischen der Pansenfüllung und dem Blutstrom dar [58].

3.1.1.1 Variabilität der Pansenzotten

Die Größe, Form und Verteilung der Zotten variiert je nach Ernährungsweise, da sich damit auch die Zusammensetzung der bei der Gärung entstehenden Fettsäuren ändert. Beim jungen Kalb sind sie fadenförmig mit rundem bis ovalen Querschnitt, bei adulten Rindern sind sie meist zungenförmig. Unter kargen Ernährungsbedingungen nehmen Zottenanzahl, -länge und -dichte stark ab. Allerdings ist dieser Vorgang reversibel [290]. In Tabelle 1 sind die Ergebnisse einiger Autoren bezüglich der von unterschiedlichen Ernährungsweisen abhängigen Reaktionsdauer der Pansenzottenänderungen dargestellt.

Tabelle 1: Dokumentierte Reaktionsdauer der Pansenzottenveränderungen beim Kalb.

Autor	Reaktionsdauer
THOMPSON (1973) [265]	circa 3 Woche
KAUFMANN et al. (1980) [127]	10-14 Tage
WARNER (1991) [273]	wenige Wochen
DIRKSEN et al. (1984) [57]	4-6 Wochen

Danach kommen die Autoren zu weit auseinanderliegenden Ergebnissen. THOMPSON (1973) [265] berichtet von einem etwa dreiwöchigen Adaptionsprozess, doch KAUFMANN et al. (1980) [127] nehmen nur 10-14 Tage an. Auch WARNER (1991) [273] schreibt von einer schnellen Veränderung des Pansenepithels bei bestimmten Stimuli und von einer Anpassung der Pansenzotten an die Ration innerhalb weniger Wochen. Bei stark energiereicher Fütterung konnten DIRKSEN et al. (1984) [57] eine Vergrößerung der Pansenzotten und erhebliche Proliferationsprozesse an der Schleimhaut erkennen. Der Umbau der Zotten dauerte nach ihren Beobachtungen 4-6 Wochen.

Nach TAMATE et al. (1962) [262] sind die Pansenzotten bereits beim neugeborenen Kalb gut entwickelt, nehmen aber während der Tränkeperiode in Anzahl und Länge wieder ab. Auch ARIAS et al. (1980) [10] schreiben von einer Abnahme der Zottenlänge und -dichte während der ersten 45 Lebenstage. Erst im 2. Lebensmonat kommt es zu einem pansenregional unterschiedlichen Wachstum der Zotten. Nach [73, 83, 170] ist die Entwicklung der Pansenzotten weniger vom Alter und der physikalischen Futterstruktur, sondern von den

beim mikrobiellen Abbau anfallenden Fettsäuren abhängig. Hingegen konnten andere Autoren [72, 126] ermitteln, dass nach einer Infusion von Essigsäure die Pansenzotten erheblich schmaler und nach einer Infusion von Propion- und Buttersäure deutlich breiter wurden. Auch bei Tieren unter energiereicher Fütterung konnte ein deutliches Dicken- und Längenwachstum sowie eine starke Oberflächenvergrößerung festgestellt werden [57, 71, 241]. Nach KIRCHGEBNER (1997) [136] bringt eine gemischte Futtermischung von Kraftfutter und Heu die intensivste Stimulierung. Chemische Reize in Form von durch den Abbau von Kohlenhydraten frei gewordenen flüchtigen Fettsäuren bzw. Mikroorganismen sind dabei hauptsächlich für die Entwicklung der Pansenzotten verantwortlich. Stärke wird im Pansen zu Propion- und Buttersäure abgebaut, welche das Wachstum besonders anregen. Mechanische Reize durch Heu fördern die Eigenbewegungen der Vormägen und somit das Wachstum des Muskelgewebes [45, 253, 254, 255]. Durch die zusätzliche Aufnahme von Heu werden der Anteil des aufgenommenen KF und damit der Anteil der leicht löslichen Kohlenhydrate verringert. Die bei der Vergärung produzierten Nährstoffe und Gärungsprodukte werden ins Blut überführt oder dienen zum Aufbau von Bakterienmasse.

3.1.1.2 Untersuchungsergebnisse zum alters- und ernährungsabhängigen Zottenwachstum

Ergebnisse von Untersuchungen zum Zottenwachstum in Abhängigkeit des Alters und der Futtermischung sind in Tabelle 2 dargestellt. Durch die zunehmende Rau- und KF-Aufnahme wachsen die Zotten bis zum Alter von 12 Wochen nach [234] auf etwa 2,5 mm, wobei zwischen den langen Hauptzotten niedrige Nebenzotten stehen [162]. HOY et al. (2006) [100] beschreiben eine Verlängerung der Pansenzotten bei der Verfütterung von strukturierter Rohfaser, Getreide und Milch im Vergleich zu ausschließlicher Milchtränke nach 8 Wochen um den Faktor 3, nach 12 Wochen sogar um den Faktor 5. Kälber, die zusätzlich zu Milch Getreide oder Heu bzw. beides aufnehmen, zeigen ab der 4. Lebenswoche ein deutliches Wachstum der Zotten [275], wobei die Pansenzotten unter diesen Aufzuchtbedingungen nach 7 bis 8 Wochen ausgereift sind [274]. Nach den Ergebnissen von KAUFFOLD und PIATKOWSKI (1971) [125] ist der Kälberpansen dagegen erst nach zwei bis drei Monaten mit jenen von adulten Wiederkäuern vergleichbar. TAMATE et al. (1962) [262] stellten fest, dass Kälber unter 13 Wochen bei einer Fütterung mit Heu bzw. Gras plus Konzentrat das beste Zottenwachstum erreichen. Bei ausgewogener Ernährung hatten die 10 Wochen alten Kälber bei TRAUTWEIN et al. (2007) [266] je nach Pansenregion Zottenlängen von 4,1 bis 9,3 mm und eine Zottendichte von 62-83 Zotten/cm². Bei der Schlachtung am 63. LT konnten [133] eine mittlere Zottenlänge von 9,6 mm, eine mittlere Zottenbreite von 6,2 mm und eine Dichte von 86 Zotten/cm² messen. Viel kürzer waren die Zotten altersgleicher Tiere bei ŽITŇAN et al. (1998) [299]. Bei mit Sojabohnen gefütterten Kälbern konnten lediglich 1,96 mm, bei mit Heu gefütterten 2,37 mm gemessen werden. Die Zottenoberfläche betrug 286 bzw. 245 mm²/cm².

Tabelle 2: Pansenzottenentwicklung in Abhängigkeit des Alters und der Futterration.

Tieralter	Futter- komponenten	Zottenlänge [mm]	Zottenbreite [mm]	Autor
4 Wochen	Milch, KF, Heu	0,8		KIRCHGEBNER (1997) [136]
4 Wochen	MAT, KF	0,71-0,89	0,51-0,61	LESMEISTER und HEINRICHS (2004) [155]
4 Wochen	MAT, KF	0,65-0,86	0,43-0,53	LESMEISER und HEINRICHS (2005) [156]
4 Wochen	MAT, KF	0,81	0,55	LESMEISTER et al. (2004) [157]
4 Wochen	Milch, KF, Heu	2,5	0,79	TAMATE et al. (1962) [262]
5 Wochen	MAT, KF, Heu	1,7-4,4		KRISTENSEN et al. (2007) [145]
5 Wochen	MAT, KF	1,10	0,72	LESMEISTER et al. (2004) [157]
41 Tage	MAT, MS, KF	0,49-1,89	0,34-0,81	ŽITŇAN et al. (2005) [298]
45 Tage	MAT, Lucerne, MS	3,48		ARIAS et al. (1977) [9]
6 Wochen	MAT, KF	1,09-1,62	0,23-0,28	GREENWOOD et al. (1997) [76]
6 Wochen	MAT, KF	1,30	0,82	LESMEISTER et al. (2004) [157]
6 Wochen	MAT, Sojabohnen bzw. Heu	1,44-1,58		ŽITŇAN et al. (1998) [299]
6 Wochen	MAT, KF, Heu	1,07	0,43	ŽITŇAN et al. (1999) [300]
8 Wochen	MAT, KF	2,24-2,62	1,05-1,11	KEHOE et al. (2007) [128]
8 Wochen	Milch, KF, Heu	1,5		KIRCHGEBNER (1997) [136]
8 Wochen	Milch, KF, Heu	1,54		TAMATE et al. (1962) [262]
60 Tage	MAT, Lucerne, MS	4,51		ARIAS et al. (1977) [9]
9 Wochen		1,21-2,93	0,33-0,40	HILL et al. (2005) [94]
9 Wochen	Vollmilch, Heu, KF	9,6	6,2	KHAN et al. (2007) [133]
9 Wochen	MAT, Sojabohnen bzw. Heu	1,96-2,37		ŽITŇAN et al. (1998) [299]
9 Wochen	MAT, KF, Heu	1,45-1,87	0,58-0,71	ŽITŇAN et al. (1999) [300]
10 Wochen	Vollmilch, Heu, KF	14,5-19,5	7,0-11,1	KHAN et al. (2008) [132]
10 Wochen	MAT, Heu, KF, MS bzw. Trocken-TMR	4,1-9,3		TRAUTWEIN et al. (2007) [266]
12 Wochen	Milch, KF, Heu	2,5		KIRCHGEBNER (1997) [136]
12 Wochen	MAT, KF, MS bzw. Flakes	1,65-3,92		SANFTLEBEN et al. (2002) [218]
12 Wochen		2,5		SCHRAG und SINGER (1987) [234]
12 Wochen	Vollmilch, KF, Heu	4,2-7,4		STOBO et al. (1966) [254]
12 Wochen	Milch, KF, Heu	2,46		TAMATE et al. (1962) [262]
15 Wochen	MAT, KF, Heu	0,8-4,4		ROTH et al. (2009) [216]
20 Wochen	Heu, KF	6,6-8,4	1,26-1,3	NOCEK et al. (1984) [180]
Ausgewachsener Wiederkäuer		3,0-6,0	1,0-2,0	SCHNORR und VOLLMERHAUS (1967) [227]
Ausgewachsener Wiederkäuer		10		NICKEL et al. (1995) [178]

Im Vergleich zu den Ergebnissen von KHAN et al. (2007) [133] sind die durch KEHOE et al. (2007) [128] ermittelten Maße ebenfalls sehr gering. Letztere konnten in der 8. Lebenswoche Zottenlängen zwischen 2,24 und 2,62 mm und Zottenbreiten zwischen 1,05 und 1,11 mm messen. Bei der von [132] durchgeführten Untersuchung war bei 70 Tagen alten Kälbern bei der Verfütterung von Maisstärke die höchste Zottenlänge und –breite zu verzeichnen, bei Haferstärke die geringsten. Die Zotten waren dabei zwischen 14,5 und 19,5 mm lang und zwischen 7,0 und 11,1 mm breit. Bei Verfütterung von Flakes im Vergleich zu Kraftfutter und Maissilage stellten SANFTLEBEN et al. (2002) [218] fest, dass die alleinige Gabe eines Starterfutters über den Zeitraum von 6-7 Lebenswochen hinaus negative Auswirkungen auf die Entwicklung der Pansenschleimhaut hat. Sie konnten im Alter von 12 Wochen auf der linken Pansenseite je nach Region mittlere Zottenlängen von 1,65 mm (ventral) bzw. 3,33 mm (dorsal) messen und auf der rechten Seite von 3,65 mm (dorsal) bzw. 3,92 mm (ventral). Auch ROTH et al. (2009) [216] führten Untersuchungen an verschiedenen Regionen des Kälberpansens durch. Jedoch unterschieden sich die Zottenlängen von den nach 12 Wochen abgetränkten Kälbern größtenteils nicht nennenswert von jenen, bei denen in Abhängigkeit der KF-Aufnahme die Milchtränke reduziert wurde. So konnten ROTH et al. (2009) [216] bei den nach 12 Wochen entwöhnten Tieren im Bereich des caudo-dorsalen Blindsacks links bzw. rechts mittlere Zottenlängen von 3,6 bzw. 3,2 mm messen und im caudo-ventralen Blindsack 2,1 bzw. 2,2 mm. Im dorsalen Pansensack wurden mittlere Längen der linken bzw. rechten Seite von 4,4 mm bzw. 0,8 mm und ventral von 2,3 mm bzw. 2,2 mm erfasst. ŽITŇAN et al. (1999) [300] stellten jedoch fest, dass durch die zusätzliche Aufnahme von Tränke die Entwicklung der Pansenschleimhaut von Kälbern teilweise schon beeinflusst wird. Sie konnten mit ihren Untersuchungen nachweisen, dass mit 9 Wochen abgesetzte Kälber längere und breitere Zotten aufwiesen als später abgesetzte. Sollte zum Zeitpunkt des Absetzens, was bis zur 12 Lebenswoche erfolgen sollte, die Pansenausbildung noch nicht abgeschlossen sein, zeigt sich dies in verminderten Wachstumsraten und in einem Anstieg an Stress und Krankheitsanfälligkeit [50]. SCHNORR und VOLLMERHAUS (1967) [227] berichten bei ausgewachsenen Wiederkäuern von einer Zottenlänge von 3-6 mm bei einer Breite von 1-2 mm, bei NICKEL et al. (1995) [178] konnten bis zu 10 mm hohe Zotten gemessen werden.

Die Ergebnisse der Autoren verdeutlichen, dass die Zottenlänge und –breite stark von der Ernährung abhängen und keinesfalls pauschaliert werden können. Aus Tabelle 2 wird ersichtlich, dass mit zunehmendem Alter nicht allgemein von einem entsprechend kontinuierlichen Zottenwachstum gesprochen werden kann, sondern dass es dabei im Wesentlichen auf die Vergleichbarkeit der Methodik (Futterangebot, Entnahmeregion) ankommt. Es konnte keine Literatur zu Untersuchungen von Kälbern einer Gruppe und deren Pansenmerkmale bei unterschiedlichem Alter gefunden werden.

3.1.1.3 Pansenregionales Zottenwachstum

Am Boden des ventralen Pansensacks, der caudalen Blindsäcke und besonders im Schleudermagen sind die Zotten sehr dicht und lang [57, 97, 145, 178]. Die Freisetzung kurzkettiger Fettsäuren erfolgt dabei besonders im Schleudermagen, wo dicht stehende Zotten die rasche Resorption ermöglichen [96, 97]. Während die Seitenwände beider Pansensäcke allmähliche Übergangszonen darstellen (mit etwas dichterem Besatz auf der linken Seite), verringern sich Anzahl und Größe der Zotten prinzipiell nach der Ventral- und besonders der Dorsalwand [97]. Bei Kälbern mit zunehmender KF-Aufnahme stellten STOBO et al. (1966) [253] eine ansteigende Zottendichte und -länge speziell in den vorderen dorsalen und ventralen Pansensäcken fest. Dass die physikalische Form der Ration einen signifikanten Einfluss auf die Zottenausbildung hat, wiesen BEHARKA et al. (1998) [21] durch Versuche mit gemahlenem und ungemahlenem Futter nach. Gemahlene Futter bewirkte kürzere Zotten im dorsalen Pansensack und dorsalen Blindsack als bei Fütterung mit ungemahlenem Futter. Bei Untersuchungen von CHOUDHURY et al. (2003) [43] war der dorsale Pansensack mit kleinen, der ventrale Pansensack dagegen mit langen Zotten bedeckt. SANFTLEBEN et al. (2002) [218] fanden in obig geschilderter Untersuchung links ventral die mit Abstand kürzesten und rechts ventral die längsten Zotten. Die dorsal gemessenen Zottenlängen befanden sich wertmäßig im längeren Bereich. Auch nach [94, 260, 261] ist die Zottenlänge in den ventralen und cranialen Pansensäcken am größten. Obwohl die Zotten in diesen Bereichen stärker verhornt sind, wird eine intensive Resorption bei einer gleichzeitig voll wirksamen Schutzfunktion gegenüber größeren Futtermittelbestandteilen ermöglicht. Die gealterten Zellen an der Zottenspitze werden kontinuierlich abgestoßen, die Neubildung erfolgt ebenfalls kontinuierlich von der Zottenbasis [234]. Ein Teil der Dorsalwand des dorsalen Pansensacks ist zottenfrei, da in dieser Region eine Gasblase lagert, die durch die Bakterienaktivität entsteht. Die Pansenpfeiler sind ebenfalls meist zottenfrei und Pansendach und -boden besitzen nur wenige, kurze Zotten [290]. Von den Pfeilern weg werden die Zotten immer höher.

Die Zottendichte liegt nach SCHNORR und VOLLMERHAUS (1967) [227] bei adulten Rindern bei maximal 121 Zotten je cm² (10-121), meist zwischen 10 und 60. Demnach erhöht sich die Gesamtoberfläche des Pansens um das 21fache, im Mittel um das 7fache [26]. ŽITŇAN et al. (1999) [300] zeigten in ihren Untersuchungen, dass bei der Umstellung auf milchfreie Nahrung nicht unbedingt die Zottendichte ansteigt, sondern vielmehr die Papillenoberfläche, -länge und -breite. TRAUTWEIN et al. (2007) [266] zählten bei 10 Wochen alten Kälbern je nach Pansenregion 63 bis 82 Zotten/cm². Bei der Untersuchung von KHAN et al. (2008) [132] lag die Zottendichte der 10 Wochen alten Tiere bei 70-91 Zotten/cm², bei einer vorausgegangenen Untersuchung [133] mit 63 d alten Tieren bei 86 Zotten/cm². Im gleichen Altersabschnitt ermittelten [299] dagegen bei mit Sojabohnen gefütterten Kälbern 106 Zotten/cm², bei mit Heu gefütterten 136 Zotten/cm². Bereits drei Wochen früher untersuchte Tiere wiesen 180 bzw. 191 Zotten/cm² auf. Demnach nimmt mit zunehmendem Alter die

Zottendichte ab. CHOUDHURY et al. (2003) [43] stellten dagegen eine in Abhängigkeit des Alters ansteigende Dichte und zudem in allen von ihnen untersuchten Altersstufen im dorsalen Pansensack eine geringere Zottendichte fest als im ventralen. Letzteres führten sie auf die Raufutteraufnahme zurück. Sie zählten im Alter von 45-50 LT im dorsalen Pansensack mindestens 212 und im ventralen mindestens 324 Zotten/cm². Im Altersabschnitt von 70-75 LT waren es 260 im dorsalen und 349 Zotten/cm² im ventralen Pansensack.

3.1.2 Wachstumsintensität des Vormagensystems

Der Reticulorumen hat die größte Wachstumsrate der Verdauungsorgane. Die Entwicklung ist gemäß GODFREY (1961) [74] in der 17. Lebenswoche noch nicht abgeschlossen. Er gibt die größte Wachstumsrate des Reticulorumens zwischen der 2. und 6. Woche an. STEWART und WALSH (1967) [252] berichten von einer besonders großen Zunahme des Pansengewichts zwischen der 9. und 14. Lebenswoche. Das Volumen des Pansens erhöht sich mit zunehmendem Alter, wobei jenes des Abomasums konstant bleibt [74]. Andere Autoren dagegen schreiben von einer Dehnung der Pansenwand ab der 15. bis 20. LW [78, 91]. Während das Lebendgewicht in den etwa 15 ersten Lebenswochen ungefähr das 2- bis 4fache des Geburtsgewichts erreicht, steigt das Gewebsgewicht des Ruminoreticulums auf das 20- bis 25fache [73].

Dass die Volumen- und Gewichtsentwicklung des Reticulorumens und somit die Zunahme der Pansenschleimhaut und der -muskulatur in erster Linie durch die Aufnahme von Raufutter positiv beeinflusst wird, konnte bereits vielfach nachgewiesen werden [8, 74, 91, 262]. Im Gegensatz zur reinen Milchtränke entwickelte sich gemäß Untersuchungen von [262, 275] bei zusätzlicher KF- und Raufuttergabe das Leergewicht und das Fassungsvermögen des Vormagens im Vergleich zum Körpergewicht schneller. Damit konnte eine höhere Wachstumsrate erzielt werden. Allerdings fanden TAMATE et al. (1962) [262] keine Korrelation zwischen der Dehnung der Pansenwand und der Art der Fütterung. Auch SUÁREZ et al. (2007) [256] konnten bei Milchkälbern durch die Zufütterung von Raufutter zu Kraftfütterationen nicht das Wachstum beeinflussen. Durch die Aufnahme der Holzspäne-Einstreu konnte SMITH (1961) [245] eine Erhöhung der Speichelsekretion beobachten, die durch die Vermehrung der Flüssigkeit die Pansenwand sekundär dehnte und das Pansenvolumen vergrößerte.

Beim Vergleich von Versuchsgruppen mit unterschiedlicher Partikelgröße der Ration konnten GREENWOOD et al. (1997) [76] und BEHARKA et al. (1998) [21] keine Unterschiede bezüglich des Gewichts oder Volumens des Reticulorumens feststellen. Allerdings konnten KHAN et al. (2008) [132] eine stärkere Erhöhung des Gewichts des Reticulorumens von mit Mais und Weizen gefütterten Kälbern ermitteln als bei Verfütterung von Gerste und Hafer. Am 70. LT betrug das Reticulorumengewicht zwischen 1,21-1,53 kg. Die eine Woche

jüngeren Tiere der Untersuchung von [133] wiesen dagegen ein Pansengewicht von 1,89 kg und ein Haubengewicht von 0,29 kg auf.

3.1.3 Vormagenmotorik

Der mikrobielle Aufschluss der Nahrung, das Wiederkauen und der Weitertransport erfolgt durch verschiedene Muskelkontraktionen, der sogenannten Pansenmotorik. Die Pansenbewegungen beginnen eine halbe bis eineinhalb Stunden nach der Futteraufnahme [215] und sind in der linken Hungergrube zu fühlen [289]. Die Vormagenabteilungen kontrahieren sich in einem weitgehend regelmäßigen und periodisch koordinierten Rhythmus.

3.1.3.1 Verlauf der Pansenkontraktion

Beim Rind beginnt ein Kontraktionszyklus mit einer zweiphasigen Kontraktion der Haube, bei der das Volumen auf die Hälfte verkleinert wird, wodurch der Inhalt unter hohem Druck gesetzt wird. Nach der Kontraktion der Haube beginnt nach DIRKSEN (1964) [56] die Kontraktion des dorsalen Pansensackes am cranialen Hauptpfeiler. Entlang der Längspfeiler und dem Pansendach verläuft die Bewegung zu den caudalen Kranzpfeilern und dem caudalen Hauptpfeiler. Dabei wird der Futterbrei nach caudal und in den ventralen Pansensack gedrängt. Anschließend kontrahiert der ventrale Pansensack vom caudalen ventralen Kranzpfeiler ausgehend nach cranio-dorsal gerichtet. Der Haubeninhalt wird in den cranialen Pansensack (Schleudermagen) geleitet. Dessen Zusammenziehen führt einen Teil des Inhalts zurück in die Haube und einen anderen Teil in den dorsalen Pansensack, und von dort in den ventralen Pansensack. Durch Anheben des ventralen Pansensacks gelangen die Futterteile wieder in den Schleudermagen und den dorsalen Pansensack. In einigen Fällen kommt es zum sekundären Kontraktionszyklus, bei dem sich die Bewegungen im dorsalen und ventralen Pansensack wiederholen. Während der zweiten Kontraktion des dorsalen Pansensacks erfolgt der Ruktus. Dieser erfolgt reflexartig durch die Abgabe der sich im dorsalen Pansensack ansammelnden Gärungsgase etwa zweimal pro Minute [290]. Die Schichtung der Futtermassen von dorsal nach ventral mit Gas, Faserschicht und Flüssigkeit sowie feine Partikel ist Voraussetzung für eine optimale Funktion.

3.1.3.2 Funktion der Pansenmotorik

Durch die Pansenmotorik wird der Inhalt hin- und hergeschoben und der flüssige Anteil in strömender Bewegung gehalten. Nach [162] wird dabei dünnflüssiger Haubeninhalt nach hinten in den Pansen geschleudert. Der schwere und dickbreiige Teil fällt in den Schleudermagen und die Haube zurück. Die Kontraktion vor allem des ventralen Pansensacks bewirkt dann ein Pressen der flüssigen Nahrung durch das Geflecht der Faserschicht. Die Pansenmotorik der Vormägen sorgt somit neben der Durchmischung des

Inhalts auch für eine Sortierung kleiner Futterbestandteile mit hoher Dichte zum Abtransport in den Psalter. Fehlen bei ausschließlicher Weichfüttergabe die durch das Raufutter auf die Pansenwand im Bereich des Schleudermagens wirkenden taktilen Reize, wird die Pansenmotorik gestört [162]. Je nach Zerkleinerungsgrad werden Futtermassen zum Wiederkauen rejiziert oder in den Psalter weitertransportiert [215]. Der Wiederkauvorgang dient der weiteren Zerkleinerung des grobfaserigen Futters und der Regulation des pH-Wertes im Pansen. Somit ist die Rumination von entscheidender Bedeutung für den optimalen Ablauf der Vormagenverdauung [215]. Nach ROSENBERGER (1980) [215] lassen die Regelmäßigkeit und Intensität auf die motorische Aktivität der Vormägen und auf das Wohlbefinden des Tieres schließen, da bei Fieber und Schmerzzuständen die Pansenmotorik gehemmt wird [290].

3.1.4 Beginn des Wiederkauens

In der Literatur besteht Übereinstimmung darüber, dass das Wiederkauverhalten wesentlich von der Rationsgestaltung, speziell dem Gehalt an Rohfaser- und Zellwandbestandteilen, der physikalischen Form und der Höhe der Füttergabe abhängig ist [16, 192]. Bei ausreichend Raufutterzugang konnten SWANSON und HARRIS (1958) [259] bei 18 von 26 Kälbern ein Wiederkauen bereits in den ersten beiden Lebenswochen beobachteten, 25 kauten bis zum Ende der 4. Lebenswoche wieder (Tab. 3).

Tabelle 3: Beginn des Wiederkauens beim Kalb.

Autor	Alter des Tieres
SWANSON und HARRIS (1958) [259]	1-4 Wochen
SANFTLEBEN et al. (2002) [218]	19 Tage
SCHRAG et al. (1980) [233]	2-3 Wochen
WING (1961) [292]	2-3 Wochen

SANFTLEBEN et al. (2002) [218] berichten von regelmäßig wiederkäuenden Tieren ab dem 19. LT bei einer drei Tage zuvor beginnenden Aufnahme an KF, Maissilage und Heu. Auch SCHRAG et al. (1980) [233] und WING (1961) [292] berichten von ersten Wiederkaubeobachtungen bereits im Alter von 2 bis 3 Wochen. Die typischen zyklischen Hauben-Pansenkontraktionen stellen sich erst im Laufe der sechsten bis achten Lebenswoche ein [215].

Die tägliche Wiederkauzeit beträgt nach WING (1961) [292] und SWANSON und HARRIS (1958) [259] bei 6-8 Wochen alten Tieren etwa 5 Stunden, nach Untersuchungen von PIATKOWSKI et al. (1990) [191] im Mittel 7-8 Stunden je Tag. [191, 259] stellten fest, dass mit zunehmendem Alter weniger Zeit je Futter-kg für das Wiederkauen aufgebracht wird.

Neben den Futterparametern hat auch die Haltungform der Tiere einen Einfluss auf das Wiederkauverhalten. [14, 88, 189] beobachteten, dass in Gruppen aufgestallte Tiere früher

mit der Heu- und KF-Aufnahme begannen und mehr KF und Heu aufnahmen als einzeln gehaltene Tiere. Deswegen war bei in Gruppen gehaltenen Tieren eine frühere Wiederkautätigkeit festzustellen. Auch konnte ermittelt werden, dass Kälber in Außenhaltung mehr Einstreu-Stroh aufnahmen als jene in der Warmstallhaltung, was wiederum die Pansenfüllung erhöht und das Wiederkauen fördert.

Gemäß den zitierten Autoren sind der Beginn der Wiederkauaktivität und die Dauer der Wiederkauphasen stark von der Charakteristik und Menge der Ration abhängig, was die großen altersmäßigen Unterschiede belegen (Tab. 3). Die Abweichungen innerhalb einer Gruppe mit gleichem Futterangebot und gleicher Haltungsform weisen auf die Individualität hinsichtlich des Wiederkauverhaltens oder auch auf von den Autoren nicht näher erläuterte unterschiedliche Futteraufnahmemengen der Tiere hin.

3.2 Individuelle Kälberfütterung

3.2.1 Futtermittel in der Kälberaufzucht

Weibliche und männliche Kälber, die für die Nachzucht von Milchkühen oder die Rindermast genutzt werden sollen, werden bis zu einem Gewicht von 150 kg als Aufzuchtkälber bezeichnet [136]. Unabhängig von der Aufzuchtmethode sollen die Kälber zügig wachsen, ohne vorzeitig zu verfetten. Um nach vier Monaten ein Gewicht von etwa 130 kg zu erreichen, sind mittlere Tageszunahmen von 750 g ab Geburt erforderlich [136], wobei männliche Kälber bei gleicher Nährstoffaufnahme etwa 50 g mehr zunehmen als ihre weiblichen Artgenossen. Aus den Gesetzmäßigkeiten des Wachstums lässt sich ableiten, dass weniger intensiv aufgezogene Kälber während der späteren Jungrindermast bzw. -aufzucht besser zunehmen und eine günstigere Futtermittelverwertung aufweisen als zu stark getriebene Tiere (kompensatorisches Wachstum).

Unmittelbar nach der Geburt können nur sehr wenige Futtermittel in der Kälberfütterung eingesetzt werden. Dabei ist die vom Kalb unbedingt aufzunehmende Biestmilch auch hinsichtlich der Immunstärkung sicherlich das wichtigste [26]. Im neugeborenen Kalb sind die Aufnahme und Absorption von Nährstoffen vergleichbar mit jenen eines monogastriden Tieres [22]. Bei der Aufnahme von Milch oder Milchaustauscher greift der Schlundrinnenreflex und die Flüssigkeit wird, vorbei am Wiederkäuervormagen, direkt in den Labmagen geleitet. Die Verdauung und Absorption findet deshalb anfangs im Labmagen und im unteren Verdauungstrakt statt. Erst bei der Aufnahme von Raufutter wird die Pansenentwicklung stimuliert und das Kalb beginnt die Entwicklung zu einem Wiederkäuer. Der enge Zusammenhang zwischen der Leistung der Tiere und ihrer Ernährung ist allgemein bekannt. Das Futter liefert die notwendige Energie für das Tier und die Grundstoffe für die Neubildung von Gewebe [236].

3.2.1.1 Milchaustauscher

Nach der mindestens 3tägigen Biestmilchphase erhalten die Kälber als Tränke entweder Vollmilch, Milchaustauschertränke (MAT) oder aufgewertete Magermilch. Die Milchaustauschertränke sollte anfangs mit der Biestmilch vermischt eingesetzt werden, um das Kalb daran zu gewöhnen. Wertbestimmender Faktor für einen MAT ist die biologische Wertigkeit seines Proteins, welche wiederum durch den Anteil des Magermilchpulvers bestimmt wird [33]. Magermilchpulver ist hoch verdaulich und für das Kalb sehr bekömmlich, aber relativ teuer. Der Eiweißgehalt liegt bei ca. 35 %. Sogenannte Nullaustauscher, also ohne Magermilchprotein, enthalten dafür Molkeeiweiß oder pflanzliche Eiweiße. Der Milch wurden dann größtenteils Fett und Eiweiß entzogen, so dass ca. 13 % Eiweiß, Milchzucker und Mineralstoffe verbleiben. Molkepulver ist ebenfalls hoch verdaulich und gut verträglich [236], allerdings konnte eine geringere Verdaulichkeit der pflanzlichen Protein- und Kohlenhydratquellen bei Kälbern unter 5 Wochen festgestellt werden [151]. Eine weitere Eiweißkomponente des MAT kann Sojaproteinkonzentrat sein, bei dessen Herstellung das Öl und der leicht lösliche Zucker aus der Sojabohne heraus genommen werden. Der Eiweißgehalt liegt bei knapp 70 %. Sojaproteinkonzentrat kann für die Kälberaufzucht zwar gut verwendet werden, jedoch muss sich das Tier an dieses pflanzliche Protein langsam gewöhnen. Proteine pflanzlichen Ursprungs besitzen bei Kälbern die niedrigste scheinbare Verdaulichkeit. Diese liegt bei Molkepulver in der 5. Lebenswoche bei 90,0 %, bei Sojaproteinkonzentrat in der 2. Lebenswoche bei 56,6 % und 5 Wochen später bei 81,8 % [151]. Bei Verfütterung von MAT ohne Magermilchpulver ist die Qualität besonders sorgfältig zu beachten, da gegenüber MAT mit Magermilchpulver ein etwas geringeres Wachstum zu erwarten ist [238]. Besser dagegen wäre MAT mit 50 % Magermilchanteil oder Molkepulver, aber ohne pflanzliche Proteinträger [151]. Neben den Proteinträgern ist auch die Fettzusammensetzung im MAT von Bedeutung. Im MAT sind überwiegend Palmkern- und Kokosfette enthalten. Der Energiegehalt eines MAT sollte nach KIRCHGEBNER (1997) [136] bei etwa 18,5-21,5 MJ ME/kg TS liegen und wird durch den Fettgehalt beeinflusst. Für junge Kälber kommt es besonders auf die Bekömmlichkeit des MAT an. Ist die Qualität des Austauschers nicht in Ordnung, kann es zur Futtermittelverweigerung, zu Blähungen, aber auch zu Durchfällen kommen [236]. Die Qualität des MAT ist nach SCHWARZ und KIRCHGEBNER (1997) [238] wesentlich entscheidend für die Höhe des Zunahmenniveaus. Als Zusammensetzung eines MAT von guter Qualität empfehlen ULBRICH et al. (2004) [268] einen Rohaschegehalt von < 100 g/kg TS, einen Fettgehalt von 200-300 g/kg TS und >5 % Linolsäure. Die erhältlichen Milchaustauschfuttermittel müssen in ihrer Zusammensetzung füttermittelrechtlichen Vorschriften entsprechen. Die Aufzucht mit Milchaustauschfuttermittel ist aufgrund seiner einfachen Handhabung und Sicherheit das heute am weitesten verbreitete Aufzuchtverfahren [26].

Milchaustauschertränke muss klumpenfrei zubereitet werden. Dazu wird das Pulver mit heißem Wasser (45-50 °C nach ULBRICH et al. (2004) [268]) angerührt und anschließend mit warmem Wasser auf die gewünschte Konzentration verdünnt. Dabei müssen die ernährungsphysiologischen Ansprüche der Tiere genau beachtet werden. Wesentlicher Faktor ist die Vorlagetemperatur im Bereich zwischen 37 und 42 °C [151, 220, 268]. Geschieht das nicht, kann es zu einer Verklumpung der Fettbestandteile des Pulvers und damit zu Verdauungsproblemen bei den Kälbern kommen [151]. Als empfohlene MAT-Tagesmenge gelten 10-15 % der Körpermasse [268]. Für die Häufigkeit der Futterzuteilung hat sich eine vier- bis sechsmalige Vorlage als gut geeignet herausgestellt, wobei mit zunehmendem Alter die Häufigkeit auf dreimal pro Tag reduziert werden kann. Aufgenommen werden soll die Tränke über einen Nuckel oder Ähnliches. Dies soll die Dauer der einzelnen Saugvorgänge steigern und damit zum einen den Saugtrieb befriedigen, und zum anderen die Speichelbildung zur Verdauungsförderung unterstützen. Durch einen gestreckten Hals während des Trinkens wird der erforderliche Schlundrinnenreflex ausgelöst.

Um die Futterkosten zu senken und die Pansenentwicklung zu fördern, wird in der Kälberaufzucht eine frühzeitige Reduzierung der Milchtränke angestrebt. Dazu ist eine Zufütterung von festen Futterstoffen erforderlich. Die mikrobielle Rumenaktivität setzt umso früher ein, je früher die Kälber entwöhnt werden [5, 6]. RADEMACHER (2000) [206] stellte fest, dass die Festfutteraufnahme ausschließlich über die angebotene Tagesmilchmenge gesteuert werden kann. Kälber, denen große Mengen Vollmilch getränkt werden, beginnen meist erst spät und in geringem Maße mit der Aufnahme von Raufutter im Vergleich zu jenen, mit auf 8 l begrenzter Tränkemenge. Um die Aufnahme fester Nahrung zu fördern, muss bei eingeschränktem Trockenmassegehalt der Tränke die tägliche Menge und auch die Dauer der Tränkeperiode verkürzt werden. So wird das junge Kalb durch die verringerte Nährstoffzufuhr über die Tränke angeregt, das sich ergebende Nährstoffdefizit über die Aufnahme von Kraftfutter zu decken. Frühes Absetzen beschleunigt die freiwillige Aufnahme fester Nahrung beträchtlich [73]. Jedoch soll nach QUIGLEY et al. (2006) [205] die MAT-Menge weitgehend konstant bleiben, da es sonst zwar zu höheren Tiergewichten kommt, aber auch die Anzahl der Durchfalltage und die Krankheitsanfälligkeit der Tiere steigt. Sie fanden bei ihren Untersuchungen, dass mit variabler MAT-Konzentration die Kraftfutteraufnahme reduziert wurde und die Morbidität (gemessen als Anzahl der Tage mit Durchfall) um 53 % anstieg, was höhere Tierarztkosten verursachte. DAENICKE (1987) [49] untersuchte die Auswirkungen geringer MAT-Gaben in der Aufzuchtperiode. Einem Teil der Tiere wurde weniger Milch bei kürzerer Tränkephase angeboten (4 Wochen Tränke mit 4 l/d vs. 6 Wochen Tränke mit 6 l/d). Er stellte fest, dass die verhaltener und kürzer getränkten Kälber eine höhere KF-Aufnahme und eine etwa gleiche Heu- und Maissilageaufnahme verzeichneten. Die Zunahmen waren zwar während der Aufzuchtperiode etwas geringer, in der anschließenden Mastperiode dagegen erhöhten sie

sich, so dass derselbe Gesamtzuwachs mit geringeren Kosten pro Bulle und etwas kürzerer Mastdauer erreicht wurde.

Je fließender der Übergang vom reinen Milchkalb zum Wiederkäuer gestaltet werden kann, desto gleichmäßiger verläuft nach Auffassung einiger Autoren [52, 73, 136, 206, 238] die körperliche Entwicklung der Kälber. Dies kann beim Tränken über die Prozesssteuerung in Tränkeautomaten durch die Verwendung einer meist altersabhängigen Tränkevorgabe mit einer allmählichen Reduzierung der Tränkemenge als Übergangsfütterung in optimaler Form realisiert.

3.2.1.2 Kraftfutter

Bei der Kälberaufzucht sollte die Ernährung dahin ausgerichtet sein, über trockenes Futter wie Heu und Kraftfutter (KF), die Pansenentwicklung der Kälber anzuregen, damit sie sich baldmöglichst zu Wiederkäuern entwickeln [136]. Der Pansen entwickelt sich erst allmählich, wobei die zeitliche Entwicklung des Pansens in sehr engem Zusammenhang mit Art und Menge des verabreichten Futters steht. Am stärksten verläuft die Entwicklung zwischen der 4. und 8. Lebenswoche [100].

Als KF wird ein rohfaser- und strukturarmes, nährstoffkonzentriertes Gemisch aus Getreide, Mühlennachprodukten, pflanzlichen Eiweißträgern, Mineralstoffen, Vitaminen, Spurenelementen und Zusatzstoffen bezeichnet [234]. Durch die erhöhte Nährstoffzufuhr über die Vormägen soll die Milchaustauschertränke langsam ersetzt werden können [277]. Wegen der Umstellung von der fermentativen auf die mikrobielle Verdauung können die im Kraftfutter vorhandenen Eiweiße mehr und mehr verdaut werden [234]. Kraftfuttermischungen müssen hoch verdaulich sein und im Hinblick auf Vitamin- und Wirkstoffgehalt sowie den Gehalten an Protein und Energie den Anforderungen des jungen Kalbes gerecht werden. Es sollte ein Energiegehalt von 11,0-12,0 MJ ME/kg TS und Anteile von mindestens 18 % bei Rohprotein und maximal 10 % bei Rohfaser und Rohasche erreicht werden [236]. Eine Vitaminisierung mit mindestens 8000 I.E. Vitamin A und 1000 I.E. Vitamin D je kg ist nach KIRCHGEBNER (1997) [136] ausreichend. Das in Deutschland produzierte Kraftfutter entspricht hinsichtlich der Zusammensetzung meist den Empfehlungen des Ausschusses für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie und wird nach futtermittelrechtlichen Vorschriften als Ergänzungsfuttermittel für Aufzuchtkälber in verschiedenen Zusammensetzungen und Konzentrationen geführt [26, 33].

Nach [26, 206, 236] sollte industriell hergestelltes Ergänzungsfuttermittel mit einem Durchmesser von etwa 3 mm pelletiert sein, da diesen Pellets bessere Verzehreigenschaften nachgewiesen wurden und so die Nährstoffaufnahme über das KF erhöht werden kann. Dem widersprechen BACH et al. (2006) [15] und WARNER (1991) [273]. Sie konnten feststellen, dass pelletiertes KF im Gegensatz zu loseem KF vor allem

nach dem Abtränken zu einer geringeren KF-Aufnahme führt, was niedrigere tägliche Zunahmen um den Absetzzeitpunkt bzw. um das Alter von 2 Monaten bedingen kann. Sie analysierten, dass wohl die Kombination von geringerer Futterraufnahme und gleichem Endgewicht eine bessere Futtermittelverwertung der Kälber mit pelletiertem (85 % < 4 cm) KF impliziert als bei jenen mit feinem (70 % < 1 cm) KF.

Für die Kälberfütterung eignet sich vor allem KF mit hohen Energiegehalten, da die aus dem Verdauungsprozess entstehenden flüchtigen Fettsäuren die Ausbildung des Pansens und das Zottenwachstum beschleunigen [199]. Dabei darf die Nährstoffzufuhr an junge Kälber über das Kraftfutter nach SCHRAG und SINGER (1987) [234] nicht überbewertet werden, da sie erst bei richtig funktionsfähigen Vormägen voll zur Geltung kommt, also erst wenn das KF fermentativ durch die Pansenflora abgebaut werden kann.

KF soll vom ersten Lebenstag an dem Tier zur freien Aufnahme zur Verfügung stehen und frisch angeboten werden. So steigt der Verzehr bis zur 10. Woche auf etwa 1,0 kg täglich und bis zur 13. Woche auf 1,5 kg [136].

Bei den herkömmlichen Tränkeverfahren wird mit einem bestimmten Alter entwöhnt, da die individuelle KF-Aufnahme nicht erfasst wird [55]. Das altersabhängige Abtränken wird aber den tatsächlichen Verhältnissen nicht gerecht, da die KF-Aufnahme bei Kälbern gleichen Alters extrem variiert [148]. Mehrere Autoren definierten den Beginn des Abtränkens und den optimalen Absetzzeitpunkt. Demnach soll bei einer KF-Aufnahme von 0,75 kg mit der Tränkereduzierung begonnen werden, wobei der Kraftfuttermittelverzehr mindestens 1 % des Körpergewichts betragen soll. Bei WEBSTER (1989) [280] und BOTHMER und BUDDÉ (1992) [26] kann bei einer täglichen KF-Aufnahme von 800-1000 g die Milch abgesetzt werden. Letzteres soll nach etwa der 4. Lebenswoche der Fall sein. Nach SCHWARZ und KIRCHGEBNER (1985) [238] sollte das Tier zum Absetzzeitpunkt etwa 1,2 kg eines energiereichen Ergänzungsfutters zur Kälberaufzucht mit rund 18 % Rohprotein verzehren. Sie empfehlen, je nach den gewünschten Tageszunahmen die tägliche Kraftfüttergabe auf 2,2-2,5 kg zu begrenzen. Ab 2 kg ist eine Steigerung der KF-Gabe nicht mehr sinnvoll, da die physikalische Regulation der Futterraufnahme bei Wiederkäuern sehr stark ausgeprägt ist [111] und der Vormagenkomplex das Volumen für aufnehmbares Futter limitiert. Die bestmögliche Steuergröße für den optimalen Entwöhn- oder Absetzzeitpunkt ist der KF-Verzehr jedoch nach PIRKELMANN und FREIBERGER (2001) [199] nicht, da dies zu einem verzögerten Beginn der Futterraufnahme führt. Eine weitaus zuverlässigere Steuergröße stellt das Tiergewicht dar, in dem alle für das Wachstum bedeutsamen Einflussfaktoren erfasst werden.

Von einem großen Einfluss der KF-Aufnahme auf den Gesundheitszustand von mit 5 Wochen abgetränkten Kälbern berichten STOBO et al. (1966) [253]. Bei ihren Untersuchungen wurden geringe KF-Aufnahmen von entsprechend steigenden freiwilligen

Heu-Aufnahmen begleitet, was sich in einer 41 % höheren Füllmenge des Reticulorumens im Vergleich zu höherer KF-Aufnahme zeigte.

3.2.1.3 Heu

In der Kälberaufzucht in Deutschland ist Strukturfutter laut TIERSCHUTZ-NUTZTIERHALTUNGSVERORDNUNG (2001) [272] ab dem achten Lebenstag vorgeschrieben. Die eingesetzten Grundfuttermittel Heu und Gras- oder Maissilage sollten von höchster Qualität und sensorisch einwandfrei sein [26]. Um die Qualität zu erhalten, sollten sie täglich frisch vorgelegt werden. Wie wichtig die Strukturwirksamkeit in Wiederkäuerrationen ist und dass sie neben den Fermentationsprozessen in den Vormägen die Futteraufnahme und postruminale Vorgänge beeinflusst, beschreiben HOFFMANN und STEINHÖFEL (2007) [95]. Sie ergibt sich aus der Futtermittelstruktur ihrer Einzelkomponenten und deren Anteil an der Ration. Durch ungenügende Strukturwirksamkeit kommt es beim Wiederkäuer zur Verkürzung der Wiederkauzeit. Dies verringert die Intensität der Pansenfermentation und verlängert die Passagerate des Futters durch den Verdauungstrakt. Dadurch kann die Futteraufnahme um 10 – 20 % sinken. Bei eingeschränkter Wiederkauaktivität vermindert sich die Speichelsekretion und es kommt zur Senkung der Pufferkapazität im Pansen und zum Absinken des pH-Wertes. Dadurch verändert sich das Essigsäure:Propionsäure-Verhältnis, was sich auf die Energie- und Stickstoffverwertung auswirkt. Bei mangelnder Strukturwirksamkeit muss daher nach [95] mit einer um 5 bis 10 % verringerten Energie- und Nährstoffverwertung gerechnet werden. COVERDALE et al. (2004) [45] konnten feststellen, dass sowohl die Form der Ration, als auch die Zugabe von Rohfaser mit einer gleichmäßigen Partikelgröße die Festfutteraufnahme und somit das Wachstum von Kälbern positiv beeinflussten. Dies führte durch höhere TS-Aufnahmen zu schwereren Kälbern bei einer verbesserten Futtereffizienz.

In der Kälberaufzucht gilt die Empfehlung, Kälbern in den ersten Lebenswochen neben Milch und KF auch Heu anzubieten. Dabei wird dem Heu neben einer positiven Wirkung auf die Entwicklung der Vormägen die Einleitung der Fermentation durch Mikroorganismen und eine stabilisierende Wirkung auf die Kotkonsistenz nachgesagt [86, 234]. Angeblich verringert die Heuaufnahme die KF-Aufnahme und damit den Anteil leicht löslicher Kohlenhydrate. Zwar konnten negative Auswirkungen zusätzlicher Heugaben auf die täglichen Zunahmen nicht bestätigt werden, jedoch werden vielfach auf Empfehlungen der BOVINE ALLIANCE ON MANAGEMENT AND NUTRITION (BAMN) (1997) [25] Kälber ohne Heu gefüttert. Das Fazit dieser amerikanischen Empfehlung lautet, dass Heu Kraftfutter verdrängt, was zu einem Energiedefizit führen kann. Nach BAMN (1997) [25] und PIRKELMANN und FREIBERGER (2001) [199] soll Heu erst nach dem Abtränken eingesetzt werden, wenn das Kalb annähernd den Status eines Wiederkäuers erreicht hat, was etwa in der 8. bis 10. Woche der Fall ist. Da aber SCHMOLDT (1991) [226] von einem angeborenem Bedürfnis nach Grobfuttermitteln bei Kälbern schreibt, sollte dennoch Heu zugefüttert

werden. Nach KIRCHGEBNER (1997) [136] ist hierfür nur der erste, also der qualitativ hochwertigste blattreiche Schnitt vorzusehen. SCHRAG und SINGER (1987) [234] berichten von einer verbesserten Ausnutzung des KF, wenn in der Reihenfolge der Verabreichung zunächst Heu und anschließend Kraftfutter vorgelegt werden. Denn die erwünschten Gärungsvorgänge können durch das KF erst unterstützt werden, wenn zuvor ausreichend Heu aufgenommen wurde. Gemäß den Autoren ist dies ungefähr ab der 3. Lebenswoche der Fall, wenn das Kalb täglich 70-80 g Heu aufnimmt. Die Heuaufnahme steigt mit zunehmendem Alter weiter an, so dass ein Kalb nach [136] bis zur 10. Lebenswoche etwa 500 g täglich frisst. Diese Menge, so schreiben SCHWARZ und KIRCHGEBNER (1985) [238], soll nicht überschritten werden, da sonst das Tier zu wenig KF aufnimmt.

Falls Heu in ausreichender Qualität nicht zur Verfügung steht, empfiehlt BRÄNDLE (2007) [27] das Verfüttern von hygienisch einwandfreier Silage. Dann muss jedoch verstärkt die Kotkonsistenz beobachtet werden, um fütterungsbedingten Durchfällen entgegen zu wirken. Beim Vergleich von Heu- und Silageaufnahme ergaben Untersuchungen von DAENICKE (1987) [49], dass Kälber im Mittel nur um 4,6 % weniger Trockenmasse an Anwelkgrassilage aufnahmen als Kälber mit ausschließlicher Heuaufnahme. Der Verzehr an Nettoenergie und Rohprotein waren etwa gleich. Ebenso in etwa gleich verlief die Pansenentwicklung, wobei die Tiere der Grassilagegruppe im Mittel bis zum 112. Lebenstag 5,1 % (= 36 g je Tier und Tag) mehr zunahmen.

3.2.1.4 Trinkwasser

Nur ein intakter Wasserhaushalt kann Nährstoffumsetzung, Nährstofftransport, Verdauung, Resorption, Entgiftung und Ausscheidung sowie die gesamte organische Entwicklung des Kalbes aufrecht erhalten. Es unterstützt das Kauen und Abschlucken der Nahrung und fungiert deshalb als Lösungs- und auch als Transportmittel gelöster Nährstoffe, Hormone und Enzyme sowie als Reaktionspartner bei wichtigen Stoffwechselprozessen. Des Weiteren dient Wasser dem Wärmetransfer im Körper und der Regulation der Körpertemperatur [203].

KALAYCI (2007) [121] beschreibt den messbaren Nutzen einer bedarfsgerechten Wasserversorgung in Form eines hohen Festfuttermittelfressens, einer raschen Pansenentwicklung und eines frühen Absetzzeitpunktes von der Milchtränke ohne Wachstumsknick. Die wichtigste Wasserquelle ist für Rinder das Trinkwasser, das über Tränkevorrichtung aufgenommen wird. Das Wasser soll von den Kälbern schluckweise in den Pansen getrunken werden, weshalb es aus einem Eimer oder Becken angeboten werden sollte [207]. KIRCHGEBNER (1997) [136] empfiehlt in den ersten Wochen temperiertes Wasser. Weiterhin ist für die Gesamtwasseraufnahme eines Tieres der Feuchtegehalt im Futter zu beachten. Flüssigkeiten wie Milch oder MAT-Tränke, die mit Nährstoffen und Salzen gesättigt sind, fungieren nach KALAYCI (2007) [121] als Nährstoffträger und können den Durst nicht stillen. Wird die Wasserversorgung beim Kalb vernachlässigt und der

Flüssigkeitsverlust nicht ersetzt, so kann es zur Austrocknung des Tieres kommen, verbunden mit negativen Folgen für den Gesundheitszustand und die Abwehr von Infektionen [26, 207].

Der Körper eines neugeborenen Kalbes besteht zu 75 bis 80 % aus Wasser [26]. Durch das wachstumsbedingte Ausdehnen und Teilen von Zellen haben Kälber einen ständigen natürlichen Wassermangel [121]. Daher ist jeder Wasserverlust, insbesondere bei Durchfall, umgehend zu ersetzen.

Ein Kalb benötigt täglich etwa 10 % seines Körpergewichts an Wasser und kann über die Milchtränke nur in den ersten Lebensstagen genug Flüssigkeit aufnehmen [26, 207]. Nach Ablauf der 2. Lebenswoche muss dem Tier zusätzlich frisches Wasser zur uneingeschränkten Aufnahme zur Verfügung stehen [272]. ULBRICH et al. (2004) [268] beschreiben den Flüssigkeitsanspruch eines Kalbes im ersten Lebensmonat mit 8 bis 10 l, wobei bei hohen Umgebungstemperaturen der Bedarf noch ansteigen kann. Dies bestätigen auch PIATKOWSKI et al. (1990) [191]. Nach KLINDTWORTH et al. (2006) [139] sollen Kälber ab der 4. LW mindestens 2-4 l Wasser zusätzlich über entsprechende Tränken aufnehmen. Bis zum dritten Monat steigt der Wasserverbrauch auf 5-15 l/Tier und Tag, beim erwachsenen Rind gilt der Anspruch von 4-6 l/kg TS [268]. JEROCH et al. (1999) [110] definieren die vom Rind benötigte Wassermenge zur Aufnahme und Verdauung von 1 kg TS aus Grund- oder KF auf 3 bis 3,5 l Wasser, KIRCHGEBNER (1997) [136] schreibt von 5 l/kg TS.

Da Wiederkäuer den Großteil ihrer täglichen Wasserration um den Zeitpunkt der Futtervorlage aufnehmen [153], ist das sicherste Anzeichen eines Wassermangels der Rückgang der Futteraufnahme. Dies ist vor allem bei wachsenden Kälbern der Fall, die sich bereits in der Abtränkphase befinden, da zu dieser Zeit der Verdauungstrakt umstrukturiert wird. Die Größe des durch die Milchaufnahme und -verdauung dominanten Labmagens nimmt mit zunehmender Kraft- und Raufutteraufnahme ab, und die Vormägen (Pansen, Netzmagen und Blättermagen) nehmen an Volumen und Schleimhautoberfläche zu. Zur vermehrten Verdauung fester Futterbestandteile wird das Wasser unabdingbar. Nach RADEMACHER (2003) [207] fördert die Aufnahme von frischem Wasser die Vormangeentwicklung der Kälber und ist außerdem für ein ausgeglichenes Vormagenmilieu erforderlich. Bei einer unzureichenden Wasserversorgung sind Kälber nicht in der Lage, adäquate Mengen an Trockensubstanz aufzunehmen [203, 207, 234, 268] und somit eine entsprechende Leistung zu erzielen [129]. Im Gegensatz zu ULBRICH et al. (2004) [268] stellten KERTZ et al. (1984) [129] in ihren Untersuchungen fest, dass die Jahreszeit und somit die Umgebungstemperatur nur einen geringen Einfluss auf die Wasser- und KF-Aufnahme hat. Gemäß ihnen verläuft die Wasseraufnahme nahezu parallel mit der KF-Aufnahme. So kamen sie zu dem Ergebnis, dass Kälber mit *ad libitum* Wasseraufnahme im ersten Lebensmonat neben MAT 45 % mehr KF aufnahmen und 60 % mehr Zunahmen aufwiesen als Kälber ohne zusätzliches Wasserangebot zur gleichen Menge MAT und *ad*

libitum KF. KALAYCI (2007) [121] berichtet von einer Untersuchung aus England mit der Erkenntnis, dass jeder zusätzlich aufgenommene Liter Wasser die KF-Aufnahme um 82 g/d und die täglichen Zunahmen um 56 g/d erhöhte. Auch KIRCHGEBNER et al. (1983) [137] konnten diese Tendenz bestätigen. Sie boten in Versuchen mit Milchkühen einer Gruppe Wasser *ad libitum* an, der anderen Gruppe lediglich 80 % der *ad libitum* aufgenommenen Wassermenge. Als Ergebnis konnten sie eine signifikant geringere Gesamt-TS-Aufnahme und eine (um 8 %) signifikant geringere Milchleistung bei der rationierten Gruppe feststellen. Dies ist nach Meinung der Autoren auf das Bestreben des Organismus zurückzuführen, eine ausgeglichene Wasserbilanz aufrechtzuerhalten. Dabei wird das verringerte Wasserangebot durch eine reduzierte Wasserabgabe (Kot, Milch, Respiration, Körperreserven) und durch eine Einschränkung in der Futter-TS-Aufnahme zu kompensieren versucht. Als Erklärung weisen PAQUAY et al. (1970) [183] auf den engen Zusammenhang zwischen der Stoffwechselfähigkeit und der TS-Aufnahme hin. Bei Milchkühen kann es bereits am zweiten Tag nach einer Trinkwasserrestriktion zu nachweisbaren Auswirkungen auf die TS-Aufnahme und Milchleistung kommen, wie LITTLE et al. (1976, 1978) [160, 161] erforschten. Jedoch geben KIRCHGEBNER et al. (1983) [137] zu bedenken, dass Messergebnisse über die Höhe des Wasserverbrauchs bei verschiedenen Autoren je nach Versuchsbedingungen erhebliche Schwankungen aufweisen, da der Wasserverbrauch von verschiedenen Faktoren (TS-Gehalt der Ration, Rationskomponenten, Rasse, Klima usw.) abhängig ist.

Dass Wasser nicht die Wachstumsintensität bei Kälbern beeinflusst, sondern vielmehr nicht-nutritives orales Verhalten reduziert, stellten GOTTARDO et al. (2002) [75] fest, indem sie der Versuchsgruppe im Gegensatz zur Kontrollgruppe Wasser anboten. Außerdem konnten sie durch das Trinkwasserangebot einen positiven Effekt auf chronische Stressindikatoren belegen. Als nicht von der Wasseraufnahme abhängig stellte sich ferner die Kotkonsistenz und Tiersauberkeit, als auch die Vormagenentwicklung heraus. FRIEDLI (2005) [69] stellt dagegen fest, dass Kälber, die jederzeit Wasser aufnehmen können, weniger Durchfall haben. Erkranken sie dennoch daran, müssen sie viel Wasser aufnehmen, um massive Stoffwechsellentgleisungen durch Flüssigkeits- und Elektrolytverluste zu vermeiden. Dass aus der Trinkwasseraufnahme frühzeitig Informationen über den Gesundheitszustand der Kälber gewonnen werden können, berichten SCHWAB (2007) [236] und RADEMACHER (2003) [207]. Da außerdem beobachtet werden konnte, dass Kälber mit schwerer Pansenübersäuerung häufig große Mengen Wasser trinken, gilt die aufgenommene Wassermenge als Indikator für ein ausgeglichenes Vormagenmilieu.

3.2.2 Technische Systeme zur Futteraufnahme- und Leistungserfassung

In der Kälberaufzucht ist die Automatisierung der Fütterung und des Monitorings bereits weit entwickelt. Die elektronisch gesteuerten Systeme ermöglichen eine artgerechte, tierindividuelle Versorgung und geben Auskunft über die Futteraufnahme und – damit

indirekt – über das Tierverhalten bei gleichzeitiger Arbeitszeiteinsparung und Arbeitserleichterung. Damit ist auch in größeren Herden eine volle Ausschöpfung des genetischen Leistungspotentials der Einzeltiere möglich, ohne auf eine tiergerechte Herdenhaltung verzichten zu müssen [232]. Die automatisch erzeugten Daten stehen dem Tierhalter sowohl für Managemententscheidungen und die Dokumentation von Produktions- und Verfahrensabläufen zur Verfügung, als auch zur Steuerung der Fütterung und damit zur Optimierung der Kälberaufzucht [119, 285].

3.2.2.1 Tieridentifizierungssystem

Schlüsseltechnologie für die Anwendung einzeltierbezogener Prozesstechnik ist die Tieridentifizierung. Diese hat die Aufgabe, die einem Tier zur Identifikation zugewiesene Nummer an allen gewünschten Stellen sicher und kontaktlos zu erfassen und einem Rechner zur Verfügung zu stellen [119, 228]. Das Identifikationssystem muss dort platziert sein, wo tierspezifische Daten automatisiert erfasst werden oder Steuerungsaktivitäten erfolgen sollen. Es besteht aus der Ausleseeinheit (Antenne) und dem Antwortsender (Transponder), wobei die Ausleseeinheit in der Regel stationär eingebaut ist und der Antwortsender sich am oder im Tier befindet. Als Transponder können Boli (nur bei Wiederkäuern im Netzmagen), Injektate oder Ringantennen am Ohr oder Halsband verwendet werden, wobei die Identifizierungssicherheit abhängig ist von der Lesedistanz, der Lesegeschwindigkeit, der Transponderlage und -größe [140, 143].

Heute werden vor allem nach den internationalen Normen ISO 11784 (Radio-frequency identification of animals – Code structure) und ISO 11785 (Radio-frequency identification of animals – Technical concept) standardisierte passive RFID-Transponder (Radio Frequency Identification) im Niederfrequenzbereich (< 135 kHz) verwendet [119, 283, 188, 195]. Diese arbeiten wartungsfrei und batterieelos nach dem Induktionsprinzip. Dabei werden sie im elektromagnetischen Feld der Antenne mit Energie versorgt, so dass sie ein definiertes Signal an die Antenne zurück schicken können. Dieses Signal liefert den individuell zugeordneten Identifikationscode und überträgt die empfangene Nummer an einen übergeordneten Computer, der die Transpondernummer einem Tier zuordnet und die entsprechende Aktivität veranlasst [236].

3.2.2.2 Tränke-Versorgungstechnik

Ursprünglich übernahmen Tränkeautomaten (TA) lediglich die Tränkezubereitung und Tränkedosierung. Moderne, im Precision Livestock Farming verwendete Tränkeautomaten wurden mittlerweile durch weitere Monitoringtechnologien zur automatischen Erfassung der Körpertemperatur und des Tiergewichts ergänzt.

Bereits in den 60er Jahren des letzten Jahrhunderts wurden erste Tränkeautomaten in der Kälberaufzucht eingesetzt, welche jedoch wieder vom Markt verschwanden [224]. Mittlerweile haben prozessrechnergesteuerte TA zur tierindividuellen Fütterung die früher

gängigen Vorratsautomaten nahezu vollständig verdrängt [225, 52]. Neben den überwiegend vertriebenen dezentralen Stand Alone-Geräten mit geräteeigenem Prozesscomputer werden auch System-Automaten installiert, welche von einem zentralen Prozesscomputer gesteuert werden [119]. Die Systeme bieten die Möglichkeit, innerhalb einer Gruppe unterschiedliche Tränkekonzentrationen anzubieten und liefern gleichzeitig wichtige Zusatzinformationen, wie z.B. die Trinkgeschwindigkeit und die Anzahl abgebrochener Stationsbesuche einzelner Kälber [37]. In Gruppenhaltung ermöglichen sie eine physiologisch angepasste Ernährung (tier- und bedarfsgerecht) und die Ausschöpfung der Leistungsreserven, reduzieren den Luxuskonsum, führen zu zeitiger Gewöhnung an Raufutter sowie einem schrittweisen Abtränken. Darüber hinaus bringen sie arbeitswirtschaftliche Vorteile [100, 38].

In der Kälberaufzucht werden unterschiedliche Typen von Warmtränkeautomaten eingesetzt. Zum Einsatz kommt entweder Frischmilch, Milchaustauscher oder eine Kombination aus beiden (Kombiautomat) [195]. Die Funktionsweise von TAen wird von mehreren Autoren beschrieben [148, 293]. Betritt ein Kalb die Tränkestation, wird es über die Tieridentifikation erkannt. Hat es Anrecht auf eine Milchmahlzeit, wird die im Fütterungsprogramm festgelegte Milchmenge (meist 0,5-Liter-Portionen) angerührt. Zur Erwärmung des Wassers für die Zubereitung der Pulvertränke auf 42 °C wird ein Boiler, zum Aufwärmen der Volltränke ein Wärmetauscher verwendet. Bei MAT-Automaten der FA. FÖRSTER-TECHNIK GMBH (D-Engen) wird das Milchpulver über ein Stirnradgetriebe aus dem Pulvertrichter ausgetragen und mit dem erwärmten Wasser im Mixbehälter zur fertigen Tränke angerührt [146]. Die tränketemperaturgesteuerte Heizungsregelung hält immer eine exakte Temperatur zum Anmischen der Tränke ein [119], um ein optimales Auflösen des Tränkepulvers zu gewährleisten. Außerdem sorgt diese nach einer Tränkepause dafür, dass die erste Portion mit höherer Temperatur angerührt wird. Die Tränketemperatur wird am TA eingestellt und ist abhängig von der Länge der Saugschläuche. Die Anmischtemperatur liegt meistens zwischen 40 °C und 42 °C, so dass die Tränke am Nuckel eine Temperatur von ca. 39 °C aufweist [3]. Beim Vollmilchautomaten kann die erwärmte Vollmilch direkt in den Mixbecher portioniert werden. Über eine Schlauchleitung fließt die Milch zum Tränkestand bzw. zum Nuckel, wo das Kalb sie aufnehmen kann. Dieser ist in 60-70 cm Höhe und ggf. versenkbar angeordnet. Nicht verzehrte Tränke wird mit Hilfe der Restmengenelektrode zurückgebucht, um die abgerufene Tränkemenge und den noch bestehenden Anspruch nicht zu verfälschen [109]. Die maximal abrufbare Menge je Stationsbesuch wird ebenfalls begrenzt, damit sich die Tiere nicht übersaufen können. Die jeweils von den Tieren abgerufene Milchmenge ist dabei überprüfbar (Verzehrskontrolle). Durch die im Programm des Rechners vorgegebene Tränkekurve wird der MAT-Aufwand je Kalb und Aufzuchtperiode bestimmt. Bei den Fütterungsprogrammen wird zwischen Fest- und Gleitzeitprogrammen unterschieden. Beim Festzeitprogramm werden feste Intervalle mit gruppenweise fixierten Startzeiten eingestellt (Intervallfütterung). Beim Gleitzeitprogramm existiert keine zeitliche Festlegung des

Tränkeabrufs. Das Gleitzeitprogramm gibt die Tränke tierindividuell erst nach Erreichen einer vorher festgelegten Mindestansparmenge frei [32]. Zusätzlich ist ein Übertrag von 10 % des Tagestränkeanspruches auf den nächsten Tag möglich.

Zum Zubehör für die Automaten gehört neben der Anlernhilfe, mit der die Milch zur Stimulierung in das Maul des Kalbes gespritzt werden kann, ein Zusatzdosierer, automatische Spülprogramme zum druckluftunterstützten Spülen aller Milch führenden Teile und eine automatische Nuckeldesinfektion [154]. Das Automatische Kalibriersystem (AKS) sorgt mithilfe der Mixerwaage, dass die eindosierten Mengen bzw. die Konsistenz und Inhaltsstoffe der Tränke gleich bleiben [119]. Dazu werden die elektronischen Signale der Wägezelle der Mixerwaage vom Prozessrechner in Gewichtsangaben umgerechnet. Die einzelnen Futterkomponenten können somit einzeln automatisch in definierten Zeitabständen überprüft werden, wobei auch während der Tränkezubereitung in Abhängigkeit von der Anzahl zubereiteter Portionen Funktionskontrollen durchgeführt werden. Eine ganz wesentliche Komponente für die Steuerung und Überwachung der Automaten ist folglich die den Fütterungsablauf überwachende Mikroelektronik [61, 198].

Wichtige Parameter können über die Funktionstaste „Alarmer“ eingesehen werden. Zu einer Alarmmeldung am TA kommt es, sobald ein definierter Schwellenwert unter- bzw. überschritten wird. Bricht ein Tier den Trinkvorgang ab, erscheint die Meldung Tränkeabbruch. Ebenso verhält es sich bei den Meldungen über die Sauggeschwindigkeit, der Tränkemenge oder bei Technikerweiterung mit der Körpertemperatur und dem Tiergewicht. Diese Daten können auch den Programmen Kalb Manager[®] und WinInstitut[®] entnommen werden. Die Alarmmeldung ermöglicht dem Landwirt eine präzisere Bestandskontrolle am TA oder Rechner. Auf diese Weise lassen reduziert abgerufene Tränkenmengen, häufige Tränkeabbrüche oder weniger Besuche an der Abrufstation auf einen veränderten Gesundheitszustand des Kalbes schließen. Dadurch kann das Einzeltier gezielt beobachtet und eventuell frühzeitig tierärztlich untersucht und behandelt werden.

Neben dem eigentlichen Automaten ist ferner ein Tränkestand erforderlich. Dieser hat eine Breite von 35-40 cm und eine Höhe von 80-100 cm. Im vorderen Bereich ist eine Empfangsantenne angebracht. Seitliche Begrenzungswände verhindern ein Abdrängen und Besaugen des Kalbes während des Trinkens [100]. Um das Kalb auch nach hinten zu schützen, kann ein Tränkestand mit einer Wippe nach WENDL et al. (1998) [286] eingesetzt werden [267, 235]. Dabei verfügt der Tränkestand über eine gebogene, waagrecht pendelnd gelagerte Wippe. Durch eine Feder wird diese im ungenutzten Zustand offen gehalten. Beim Betreten des Stands wird die Pendelwand manuell zur Seite gedrückt und verschließt ihn nach hinten [32, 235, 279, 278]. Das Kalb kann dadurch ungestört seine Milch aufnehmen. Danach verlässt das Kalb den Tränkestand je nach Bauart rückwärts oder seitlich.

Ein TA kann bei einem Leistungsvermögen von insgesamt 70 bis 80 Aufzucht-kälbern mit bis zu vier Saugstellen ausgestattet sein [267]. Zur besseren Übersichtlichkeit und auch, um

Wegdrängen jüngerer Tiere durch ältere zu verhindern, sollte die Gruppengröße 20 bis 25 Kälber je Tränkestand nicht überschreiten. Durch den Entzug des Saugers verlässt das Kalb den Tränkestand eher, und es können mehr Kälber am Automat eingeplant werden [26].

Nach PIRKELMANN (1994) [195] sollen Kälber möglichst früh an den Automaten gebracht werden, um eine bessere Ausnutzung der Vorteile der Automatentränke zu erreichen und um die Tiere möglichst früh anlernen zu können, bevor sie sich auf eine andere Tränketechnik ausrichten. Es ist durchaus möglich, Kälber bereits im Alter von zwei bis fünf Tagen an den Automaten anzulernen [37]. PIRKELMANN et al. (1993) [200] berichten, dass die Tiere den TA ohne Probleme bereits nach den ersten Lebenstagen annehmen. Jedoch sollte der Altersunterschied innerhalb der Gruppe nicht zu groß sein, um das Anlernen zu erleichtern und einen gesicherten Abruf zu gewährleisten. So empfehlen die Autoren in [200] eine Altersbegrenzung auf 3 Wochen für eine Gruppe mit jungen Kälbern.

3.2.2.3 Körpertemperatur-Messsystem

Das Rind ist ein homoithermes Lebewesen, welches die Fähigkeit besitzt, eine relativ konstante Körperkerntemperatur aufrecht zu erhalten. Zwar kann dieses Temperaturniveau durch Bewegungs- und Stoffwechselaktivität nur in engen Grenzen schwanken, jedoch kann es durch äußere Faktoren überlagert werden. Die Temperatur weist dabei von innen nach außen ein Gefälle auf, wobei die Varianz der Temperaturen nach außen hin zunimmt [111]. Als Zentrum der Wärmebildung werden die Eingeweide und das Gehirn dargestellt [144], wo die höchsten Temperaturen im Organismus festzustellen sind. Je nach Alter, Geschlecht und Rasse werden beim Rind Rektaltemperaturen zwischen 38,5 und 38,8 °C angegeben [166], beim neugeborenen Kalb mit 39,5 bis 40 °C geringfügig höher. ROSENBERGER (1990) [215] beschreibt beim Kalb Normaltemperaturen zwischen 38,5 und 39,5 °C, beim Jungrind zwischen 38,0 und 39,5 °C und bei erwachsenen Tieren zwischen 38,0 bis 39,0 °C. Diese Unterschiede sind bedingt durch eine höhere Stoffwechselintensität der jüngeren Tiere. ROSENBERGER (1990) [215] konnte ermitteln, dass die Abendtemperatur im Durchschnitt um 0,3 bis 0,5 K höher ist als die Morgentemperatur. LYHS (1971) [166] kommt zum Ergebnis, dass die Rektaltemperatur Schwankungen der Körperkerntemperatur zwar zeitlich verschoben wiedergibt, aber die beste Möglichkeit darstellt, um mit vertretbarem Aufwand die Körperinnentemperatur zu messen.

Von großer Bedeutung für die Gesundheitskontrolle und gegebenenfalls zur Früherkennung von Erkrankungen, welche eine Erhöhung der Körpertemperatur bewirken, ist die Dokumentation des Anstiegs der Körpertemperatur bzw. des ersten Temperaturpeaks bereits dann, wenn das Tier noch keine offensichtlichen Krankheitssymptome zeigt [212]. In der landwirtschaftlichen Praxis wird die Körpertemperatur eines Tieres meist erst bei Krankheitsanzeichen manuell mit herkömmlichen elektronischen Messgeräten oder Thermometern gemessen. Um eine kontinuierliche Erfassung zu gewährleisten, müssen automatische Temperaturmesssysteme eingesetzt werden. Die Rektalregion ist jedoch mit

den meisten automatischen Systemen schlecht zugänglich. Auch die Messung der Hauttemperatur ist aufgrund der Adaption an die Umgebungstemperatur ungeeignet. Deswegen konnten sich Techniken zur berührungslosen Infrarot-Messung oder subcutanen Temperaturmessung unter dem Dreiecksknorpel am Ohransatz (Scutulum) mittels Mikrochips nicht etablieren [212].

Die Mikrochips hatten bei Untersuchungen von KAMANN et al. (1999) [123] eine Länge von 32 mm, einen Durchmesser von 3,85 mm und ein Gewicht von 0,8 g. Sie wählten das Scutulum als Applikationsort für den Temperaturtransponder, da sich dieser Ort bezüglich Tierverträglichkeit, Wanderungen, Lesesicherheit und Entnahme im Schlachthof als geeignet herausgestellt hat [142, 123]. Der Messbereich des Transponders lag zwischen 10 und 60 °C bei einer Messgenauigkeit von 0,01 °C. Versuche im Wasserbad zeigten, dass zwischen der Wassertemperatur und der vom Transponder gemessenen Temperatur lediglich Abweichungen von 0,1 K auftraten. Die Messungen der Scutulumtemperatur zeigten während des gesamten Versuchszeitraumes im Mittel um 1,1 K niedrigere Temperaturen als die rektal erhobenen Kontrollwerte ($r = 0,82$), wobei Temperaturmaxima und -minima der Rektaltemperatur in gleicher Weise wiedergegeben wurden. Die Temperaturdifferenz kann darauf zurückzuführen sein, dass die Körperkerntemperatur bei landwirtschaftlichen Nutztieren häufig (um bis zu 1 K) von der Temperatur der Körperschale abweicht [244]. Der zu Anfang des Versuches deutlich erkennbare Temperaturunterschied wurde mit zunehmendem Alter der Tiere geringer, da durch die fortschreitende Bedeckung des Ohres mit Körperbehaarung das Injektat besser vor äußeren Einflüssen geschützt wird. Nach Ergebnissen von AUERNHAMMER (1995) [12] und BREHME (1998) [29] zählt der Messort Ohrgrund zur günstigsten Stelle für eine kontinuierliche Temperaturerfassung.

Als problematisch ist bei der kontinuierlichen Temperaturerfassung die erhöhte Wärmebildung nach der Futteraufnahme zu betrachten. Nach [136] ist die Fermentationswärme in den Vormägen mit 6 % bis 7 % der Bruttoenergie des Futters quantifiziert. Um den Fettsäureüberschuss abzutransportieren, wird die Durchblutung gesteigert und Wärme aus dem Körperkern in die Körperperipherie transportiert [112]. Die Wärmebildung kann nach KOLB (1980) [144] um bis zu 60 % ansteigen und über mehrere Stunden andauern. MATHIAS und WENIGER (1990) [168] konnten dagegen bei laktierenden Kühen schon nach 1-2 Stunden den Maximalwert der Wärmeproduktion messen, jedoch war der Wert auch noch 5,5 Stunden nach der Fütterung erhöht. Um 19 % erhöhte sich bei SUSENBETH et al. (1992) [257] die Wärmeproduktion bei Rindern in den ersten drei Stunden nach der Fütterung von Stroh.

Eine Methode zur diskontinuierlichen berührungslosen Temperaturüberwachung von Kälbern am Tränkeautomaten wurde 2002 vorgestellt [270]. Die Körpertemperatur des Kalbes wird dabei beim Saugvorgang am Tränkeautomaten mit Hilfe eines Infrarotsensors, der über dem Nuckel angebracht ist, erfasst. Die festgestellte Temperatur am Flotzmaul

wird an einen Rechner weitergeleitet. Dort werden die Differenzen der Oberflächentemperaturen zwischen dem Tränkebesuch und einem aus vorangegangenen Besuchen an der Tränkeabrufstation gebildeten Temperaturmittelwert ausgewertet. Überschreitet die Differenz einen vorgegebenen Grenzwert, wird das Tier in eine Überwachungsliste eingetragen und so dem Landwirt automatisch angezeigt. Allerdings zeigten Untersuchungen von OLTMANN (1997) [181] beim Kalb eine zu starke Abhängigkeit der gemessenen Temperatur am Flotzmaul von der Umgebungstemperatur und dem unterschiedlichen Tränkeverhalten der Kälber [122].

Eine weitere Messmethode zur Körpertemperaturerfassung bei Kälbern wird in einem Patent von 1997 [297] aufgezeigt. Dabei ist der Temperatursensor an der Tränkestation installiert. Dieser möglichst nässeunempfindliche Sensor misst während des Tränkevorgangs die Temperatur und den Zustand des Nasenspiegels. Das System wird ebenfalls von der Umgebungstemperatur beeinflusst und erhebt nicht den Anspruch, die exakte Körperkerntemperatur zu erfassen. Vielmehr geht es darum, den Zustand des Nasenspiegels zu überwachen, der bei gesunden Tieren feucht und kühl, bei kranken Kälbern trocken und warm ist. Über Versuche zu diesem Verfahren in der Praxis ist nichts bekannt.

Ähnlich wie die Fiebermessung bei Kleinkindern mit speziellen Ohrthermometern funktioniert die Erfassung der Körpertemperatur bei [44]. Am Ohr des Tieres wird ein Klipp befestigt und der daran gesicherte Temperatursensor wird in den Gehörgang eingeführt. In ihm befindet sich neben dem eigentlichen Sensor zur Körpertemperaturerfassung ein Fühler, der die Umgebungstemperatur misst und beide Werte abgleicht. Daneben ist eine Energiequelle enthalten. Weicht die Temperatur des Tieres von der programmierten Idealtemperatur und von den Ergebnissen vorausgegangener Messungen ab, meldet das Gerät je nach Grad der Abweichung Alarm. Bei geringen Temperaturschwankungen erfolgt dies visuell über ein kleines Lämpchen, bei einer Körpertemperatur von mehr als 40 °C ertönt ein akustisches Signal. Über den Praxiseinsatz liegen keine Informationen vor.

Bei Aufzucht-kälbern haben sich diese genannten Sensoren bislang nicht durchgesetzt. Stattdessen wird heute die Körpertemperatur über einen im Saugnuckel integrierten Temperatursensor erfasst [92, 93, 199], welcher die Temperatur des Kalbes auf der während des Saugakts gut durchbluteten Zungenoberfläche misst. Der Nuckel der FA. FÖRSTER-TECHNIK GMBH (D-Engen) besteht aus zwei getrennten, übereinander liegenden Kammern. In der oberen Kammer fließt die Tränke, während die untere Kammer als Einschub für die Mess- und Heizsensorik dient [52]. Die Mikroheizung des Automatischen Fiebermesssystems (AFS) sorgt für eine kurze Ansprechzeit des Sensors [119, 93]. Der Sensor ist durch eine am Temperaturfühler angebrachte Isolierschicht gegenüber der Tränketemperatur im Nuckel geschützt. Über die gleichzeitige Messung der Tränketemperatur am Saugnuckel können Störeinflüsse durch die Tränke ausgeschaltet werden. Bei Tieren, bei denen ein überhöhter Temperaturwert gemessen wird, erfolgt eine

Alarmausgabe am Tränkeautomaten und am PC. Nach DEINIGER (2002) [52] weicht mit dieser Nuckelkonstruktion nach einer Messdauer von 60 Sekunden die gemessene Zungentemperatur bei 92,6 % der Kälber um weniger als 0,5 K von der Rektaltemperatur ab und nach HILDENBRAND et al. (2001) [93] nach 120 Sekunden bei 96 % der Kälber. Die rektal gemessene Kontrolltemperatur wurde dabei im Mittel um 0,3 K, vereinzelt um bis zu 0,5 K überschritten. Problematisch wird diese Temperaturermittlung bei geschwächten oder ständig hustenden Kälbern, die nicht kontinuierlich saugen. Dies kann nach KÄCK (2004a) [118] dazu führen, dass die maximale Zungentemperatur nicht mehr erreicht und bei einzelnen Kälbern die Alarmschwelle nicht überschritten wird. Als „falsch negatives“ Ergebnis wird jenes Tier fälschlicherweise nicht als „erkrankt“ erkannt. Werden aber zu den Daten der Temperaturmessung die Daten der Sauggeschwindigkeit berücksichtigt, kann gegebenenfalls ein Nachlassen der Saugintensität des erkrankten Tieres festgestellt werden, was wiederum in Kombination miteinander einen Alarm auslösen kann. Wird kein gültiger Wert gemessen, wird am TA kein Messergebnis angezeigt und der PC speichert einen Wert von 0,0 °C.

Nach HILDENBRAND et al. (2001) [93] ist die wichtigste Voraussetzung für den Einsatz dieser Sensorik eine gute Akzeptanz des ungewohnt hart gummierten und spitz geformten Nuckels. Dieser ist an einem flexiblen Bügel befestigt, der zum Schutz der Sensorik durch einen Schieber versperrt werden kann, um nicht zur Saugtrieb befriedigung verwendet zu werden.

3.2.2.4 Gewichts-Erfassungssystem

Die automatische kontinuierliche Erfassung des Tiergewichts kann als weitere Monitoringkomponente in der Prozesssteuerung der Kälberaufzucht angesehen werden. Eine automatisierte Tierwiegeung liefert Daten zur Beurteilung und Dokumentation des Tiergewichts und ermöglicht eine laufende Kontrolle der Zunahmen mit dem Ziel der Leistungs- und Prozesskontrolle [119]. Außerdem wird auch eine systemintegrierte Steuerung der tierindividuellen Fütterung ermöglicht (Tränkemenge, -dauer, -konzentration) und somit auch eine kostenoptimierte Anpassung des Tränkeangebotes an den Bedarf [119, 193, 202]. Mittlerweile werden für TAen Tierwaagen als Zusatzausstattungen oder als integrierte Lösungen angeboten. Bei Letzteren können diese über eine Schnittstelle an den Tränkeautomat gekoppelt werden. Eingebaut am Boden des Tränkestands kann so eine automatische Wiegeung der Tiere bei jedem Tränkebesuch erfolgen [119].

Bei der automatisierten Erfassung des Lebendgewichts können zwei Systeme unterschieden werden, die Voll- und die Teilwaage. Während bei der Vollwaage die gesamte Körpermasse des Tieres auf der Wiegeplattform ermittelt wird, wird bei der Teilwaage nur die auf den Vorderbeinen lastende Tiermasse erfasst. Vorderfusswaagen sind bauartbedingt kostengünstiger zu erstellen als Vollwaagen, und bei anwachsender Mistmatratze besteht außerdem eine geringere Gefahr von Kraftnebenschlüssen über die Wiegeplattform [147].

PIRKELMANN und FREIBERGER (2001) [199] verglichen in ihren Untersuchungen die Wiegeergebnisse von Teil- und Vollwaage. Sie kamen zu dem Schluss, dass mit zunehmendem Gewicht die Teilwaage immer ungenauer wurde. So ermittelten sie bei einer Lebendmasse von 100 kg (Kontrollgewicht) mit der Vollwaage eine Abweichung von 5,5 %, bei Wiegung mit der Teilwaage von 15,7 %. Gemäß den Autoren wird zwar der Einsatz der einfacher zu handhabenden Teilwaage durch nachgewiesene Korrelationen von Teil- zu Vollgewicht [199, 251] ermöglicht, jedoch weist die systematische Abweichung mit zunehmendem Tiergewicht darauf hin, dass der angewandte Umrechnungsschlüssel eines dem Tierwachstum angepassten Korrekturfaktors bedarf.

Anlagen zur automatischen Gewichtserfassung bestehen neben der Waage aus den Komponenten Identifikationssystem und Rechner mit Auswerteprogramm. Der relevante Gewichtsbereich von 50 bis 800 kg bei Rindern, sollte nach STANZEL und EMBERGER (1987) [251] bei einer Vollwaage mit einer Auflösung von 0,5 bis 1 kg und einem Fehler bis 2 kg gemessen werden, bei einer Genauigkeit der Wägezellen von besser als 0,5 %. Verschmutzungen der Wiegeplattform haben keine negativen Auswirkungen auf das Ergebnis der Wiegung, da nach jedem Kalb neu tariert wird. Jedoch stört das Verhalten der Tiere den Wiegevorgang, da sie sich bewegen, fressen, koten oder von Artgenossen gestört werden [202]. Um dabei zu plausiblen Gewichten zu kommen, muss nach STANZEL und EMBERGER (1987) [251] das Rechnerprogramm die Daten selektieren, sodass nur Gewichtswerte übernommen werden, die innerhalb eines Referenzbandes von 10 % um das individuelle Vortagesgewicht liegen. Da während des Tierbesuchs bis zu 150 Messwerte pro Minute ermittelt werden, müssen diese anschließend zum Mittelwert pro Besuch verrechnet und gespeichert werden. Alle gespeicherten Besuchsmittelwerte ergeben den Tagesmittelwert, der als Referenzwert für den folgenden Tag dient [196]. Mit dieser Methode können gemäß den Autoren zufriedenstellende Aussagen vom vorderen Teilgewicht über das Vollgewicht gemacht werden.

Neben dem Verhalten der Tiere während der Wiegung können auch aufgrund der Unterschiede in der Magen-Darmfüllung während eines Tages größere Gewichtsschwankungen auftreten. Auch wechseln im Verlauf eines Tages Perioden der Futteraufnahme und des Gewichtsanstiegs mit Ruhe- und Wiederkauperioden, in denen das Gewicht infolge von Veratmung und Ausscheidung abnimmt. Da mit einer höheren Futter- und Wasseraufnahme die absoluten Gewichtsschwankungen ansteigen, weisen Kälber somit die geringsten, Hochleistungskühe die höchsten Tagesschwankungen auf [101]. Gewichtsschwankungen mehrerer Tage zur gleichen Tageszeit können durch Änderung der Futterration oder Fütterungszeit, Temperaturveränderungen, Aufregung der Tiere und andere Faktoren hervorgerufen werden [62]. Die Gewichtsschwankungen von Tag zu Tag werden vor allem durch die Trinkwasseraufnahme und nur geringfügig durch die TS-Aufnahme beeinflusst [102]. Da die Tageszeit einen entscheidenden Einfluss auf das Tiergewicht hat, sollte das Gewicht immer zur gleichen Tageszeit erfasst werden. [62].

ENGELHARDT (1990) [62] weist darauf hin, dass es vorteilhaft ist, Kälber morgens zu wiegen, denn die niedrigen Tiergewichte variieren weniger von Tag zu Tag. Außerdem ist für einen zuverlässigen Besuchsmittelwert die Anzahl der verfügbaren Messwerte entscheidend. Diese hängt wiederum von der Aufenthaltsdauer der Tiere auf der Waage ab. Bei sehr kurzen Besuchen befindet sich das Tier ständig in Bewegung, so dass das tatsächliche Gewicht nicht festgestellt werden kann. ENGELHARDT (1990) [62] konnte in ihren Untersuchungen eine gute Übereinstimmung zwischen den geschätzten und tatsächlichen Zunahmen ermitteln, jedoch für eine tierindividuelle Versorgung (z.B. Tränkezuteilung) ist die Vollwiegung einer Teilwiegung vorzuziehen, da sie Abweichungen von im Einzelfall bis zu 50 % bei 3-maliger Wiegung feststellte. Zudem konnte ENGELHARDT (1990) [62] feststellen, dass das Tiergewicht als ein sehr träger Parameter zur Kontrolle von akuten Krankheiten nicht geeignet ist. Abgesehen von der in Relation zum Krankheitsbeginn zeitlichen Verzögerung der Gewichtsreduzierung, wirken sich auch wechselnde Besuchshäufigkeiten auf den Tagesmittelwert aus. Eine Gewichtsabnahme von Tag zu Tag kann daher zufällig oder wirklich durch tatsächliche Gewichtsabnahme bedingt sein. Damit lassen sich durch die Kontrolle des Gewichtsverlaufs eher weniger auffällige Krankheiten oder Fütterungsfehler aufdecken.

3.2.2.5 Kraftfutter-Abbruftechnik

Bei der Milchviehhaltung haben sich im Laufstall rechnergesteuerte KF-Abbrufautomaten für die individuelle Kraftfuttermittelverteilung etabliert [236]. Diese Systeme bestehen neben der Elektronik mit dem Identifizierungssystem aus einer Futterschale, einem Dosiersystem und einem Fressstand. Gesteuert werden sie entweder von einem stationären PC oder einem autarken Prozessrechner. Das Futter wird gemäß dem Fütterungsprogramm in physiologisch optimalen Portionen und entsprechend einer einstellbaren Fressgeschwindigkeit über den Tag verteilt zugeteilt. Außer der Begrenzung auf eine Mindest- und eine Höchstmenge kann auch ein Übertrag einer Tagesrestmenge auf den Folgetag programmiert werden.

Auch in der Kälberhaltung sind neben den elektronisch gesteuerten Tränkeautomaten systemintegrierte Kälber-Kraftfutterautomaten erhältlich [119], die nach dem gleichen Prinzip arbeiten. Wie in der Milchviehhaltung ermöglichen sie über die Fütterungsfunktion hinaus eine genaue Erfassung der Verzehrsmenge [199]. Dazu werden mechanische oder optische Sensoren benötigt, um die bei jungen Kälbern geringen Mengen genau erfassen zu können [33]. Die Kraftfuttermittelverzehrdaten können wiederum für die automatische Steuerung der Menge und Dauer des Tränkeangebotes herangezogen werden [55]. Die Dosierung des KF erfolgt massen- oder volumenabhängig [295]. Die Massendosierung ist ein absätziges Verfahren, bei dem über ein Förderorgan das zu dosierende Gut in einen Wiegebehälter gefördert wird. Ist das Sollgewicht erreicht, wird die Zuführung beendet und der Behälter in die Futterschale entleert. Je größer die Portion und je gleichmäßiger der Gutfluss, desto höher ist nach SCHOLTYSIK (1980) [229] die Dosiergenauigkeit. Bei Volumendosierung sind

verschiedene Varianten (Zellenrad-, Schneckendosierer) möglich. Bei Zellenraddosierern wird das Gut vom Silo zu einem aus mehreren Kammern (Zellen) bestehenden Zellenrad gefördert. Bei jedem Dosiervorgang werden eine oder mehrere Zellen in die darunterliegende Futterschale entleert. Die Genauigkeit wird dabei vor allem von der Futterstruktur beeinflusst. Die Schneckendosierung erfolgt durch eine vom Vorratsbehälter zur Futterschale installierte Förderschnecke, die vor dem Auswurf in die Futterschale vollkommen ummantelt ist. Während der Dosierzeit wird ein bestimmter Massenstrom an Gut in die Schale befördert. Hier ist nach SCHOLTYSIK (1981) [230] die Dosiergenauigkeit in erster Linie vom Schneckendurchmesser und der Gangzahl abhängig. Je kleiner der Durchmesser und je höher die Gangzahl, desto höher ist auch die Dosiergenauigkeit. Bei Systemen mit Volumendosierung muss in regelmäßigen Abständen, mindestens aber bei jeder neuen Futtercharge, die Dosierung automatisch oder manuell kalibriert werden. Nach ARTMANN (1982) [11] werden aus Kostengründen fast ausschließlich Volumendosierer eingesetzt, obwohl durch mangelnde Wartung, Änderung der Materialfeuchte und -struktur erhebliche systematische Fehlern auftreten können. Bei nahezu einem Drittel von untersuchten KF-Automaten lag die relative Abweichung des Ist- vom Soll-Gewicht im Bereich von $\pm 5\%$, was nach PIRKELMANN (1986) [194] in einem deutlichen Zusammenhang zur Auswurfmenge steht, wobei mit zunehmender Auswurfmenge der Variationskoeffizient der Abweichung deutlich geringer wird. Jedoch sollte nach HEYDE et al. (1965) [90] bei der Ausdosierung von KF eine Abweichung von $\pm 5\%$ nicht über- bzw. unterschritten werden, um den Raub von Futter durch ältere Tiere zu unterbinden.

Betrifft ein Kalb die KF-Station der FA. FÖRSTER-TECHNIK GMBH (D-Engen), wird es identifiziert und der Futteranspruch geprüft [35]. Analog zur Verabreichung anhand von Tränkeplänen ermöglicht ein KF-Automat die tierindividuelle KF-Versorgung der Kälber anhand eines KF-Plans. Hat das Tier Futteranrecht, fördert die bei diesem System motorisch betriebene Futterschnecke das Kraftfutter zeitgesteuert aus dem Vorratsbehälter zur Futterschale. Zur Verzehrskontrolle eignen sich mechanische oder elektronische Systeme [55]. In der Futterschale des Kraftfutterautomaten befindet sich zur Kontrolle eine Pendelklappe mit Kontaktschalter. Durch das vorgeschobene Futter wird die Klappe angehoben und unterbricht einen Schaltkontakt, was eine eindosierte Menge bzw. gefüllte Futterschale bedeutet. Hat das Tier die vorgelegte Portion gefressen, fällt die Pendelklappe wieder nach unten und der Kontakt wird wieder hergestellt. Die Futterschale wird als restlos leer erkannt. Erst wenn dieser Kontakt hergestellt ist, also die Futterschale leer ist, wird die nächste Portion ausdosiert. Auf dem Markt sind auch rein elektronische Lösungen zu finden, wie etwa ein Lichtsensor am Boden der Futterschale. Ist dieser mit KF bedeckt, führt dies zu einem Schaltvorgang [149]. Die eindosierten Futtermengen können durch Einstellung der Förderschnecke und der Futterklappe variiert werden. Es sind Vorschubmengen von 10 g bis 50 g möglich. Somit wird Futterraub durch Verdrängen rangniedrigerer Kälber durch Ranghöhere verhindert. Nach JILG (2005) [114] ließen sich

sonst je verdrängter Vorgang 30-40 g KF stehen. Da die KF-Automaten mit den TAen vernetzt sind, kann zu jedem Tier individuell die abgerufene Kraftfuttermenge im Programm Kalb Manager[®] angezeigt werden. Daneben können auch gesundheitlich relevante Verhaltensweisen überwacht und Alarme gemeldet werden, da der KF-Verzehr einen sehr viel sensibleren Parameter für den Gesundheitszustand des Einzeltiers darstellt als der Tränkeabruf [34].

3.2.2.6 Trinkwasser-Versorgungstechnik

Die Messung und Dosierung von Wassermengen wird häufig volumetrisch oder nach Zeit vorgenommen. Bei kleineren Flüssigkeitsmengen werden oft Durchflussmeter, die nach dem Prinzip rotierender Turbinen, Zahnräder oder Flügelräder arbeiten, eingesetzt. Das durchfließende Wasser treibt ein Flügelrad an, wobei die Wassermenge proportional zur (Umdrehungs-)Geschwindigkeit ist. Dabei muss die Querschnittsfläche der Messkammer immer voll sein. Das Ablesen erfolgt über ein Rollenzählwerk. Um Nach- oder Rücklaufen von Wasser zu vermeiden, muss auf einen konstanten Wasserdruck geachtet werden. Beim Durchflusszähler taumelt eine sich drehende Scheibe in der Messkammer. Nach einer Umdrehung hat die Scheibe das Volumen der Messkammer. Gemäß FRÖHLICH et al. (2005) [70] können auch gravimetrische Verfahren in Form von Wiegetrögen eingesetzt werden.

Im Bereich der Kälberhaltung müssen bereits sehr geringe Wassermengen zuverlässig erfasst und dokumentiert werden, da nach KÄCK (2004) [119] die Trinkwasseraufnahme Rückschlüsse auf den Gesundheitszustand des Tieres erlaubt und der Leistungskontrolle dient. Für eine ausreichende und zuverlässige Versorgung der Kälber mit Trinkwasser hat sich die Installation des Trinksystems im Fressbereich bzw. in der Nähe es KF-Trogs bewährt [268]. Günstig ist nach KLINDT WORTH et al. (2006) [139] eine an die Tiergröße adaptierbare Anbringhöhe der Tränke. Beachtet werden sollte dabei auch die Möglichkeit, den für Saugtrinker arttypischen Kopfneigungswinkel von ca. 60 ° bei einer Eintauchtiefe des Flotzmauls von ca. 3-4 cm einhalten zu können, wobei die während des Trinkens benötigte Wasseroberfläche bei etwa 600 cm² liegt [124].

Das auf dem Markt erhältliche System zur automatischen Trinkwasserregistrierung bei Kälbern (ATS, FA. FÖRSTER-TECHNIK GMBH (D-Engen)) besteht aus einem Tränkestand mit Einzeltiererkennung, einem Tränkebecken, einer Messsensorik und einer Steuerung. Wird ein Tier an der Antenne erkannt, strömt Wasser durch ein Magnetventil in ein Edelstahlrohr, das als 500 ml-Messzylinder fungiert, und weiter von unten in das leere Tränkebecken. Ein in der Wasserzuleitung integrierter Druckminderer sorgt für einen gleich bleibenden Wasserdruck von 2 bar. Das Edelstahlrohr ist mit dem Tränkebecken nach dem Prinzip der „kommunizierenden Röhren“ verbunden, so dass eine Leermeldung nicht im Tränkebecken selbst, sondern über einen Schwimmerschalter am Edelstahlrohr erfasst werden kann. Bei einem weiteren Impuls der Antenne wird der Füllstand des Tränkebeckens über den Schwimmerschalter abgefragt. Bei einer Leermeldung wird die definierte

Wasserportion zwischen 50 und 500 ml eindosiert. Die Dosierung der Wassermenge erfolgt dabei nach Zeit. Die Anzahl dosierter Portionen wird erfasst und aufgezeichnet. Um Restmengen im Tränkebecken zu vermindern, wird bei Anwesenheit eines Kalbes die Folgeportion nach einer Verzögerungszeit von ca. 4 Sekunden dosiert [141]. Die Daten des Besuchs an der Trinkwasserstation werden zusammen mit der abgerufenen Wassermenge in einer Datenbank abgelegt und können somit tierindividuell kontrolliert werden.

3.2.2.7 Grundfutter-Erfassungstechnik

In der Praxis wird die Verzehrskontrolle für Raufutter meist visuell oder durch Rückwiegen der im Trog verbliebenen Menge bestimmt. IPEMA und ROSSING (1987) [105] verwendeten für ihre Versuche eine vollautomatische Grundfutter-Fütterungsanlage mit Tiererkennung. Hat ein Tier Anrecht, schließt sich ein Tor und das Tier kann ungestört fressen. Dabei wird das Futter über eine Futterhängebahn in den Trog der jeweiligen Kuh eindosiert. Das nicht gefressene Futter wird vom Trog auf ein Band geleert und anschließend gewogen. Die Messgenauigkeit des Systems beträgt 200 g. JUNGE und KALM (1987) [117] und KLEPPER et al. (1989) [138] installierten in Milchviehställen spezielle Futtertröge, mit Hilfe derer sie die Grundfutteraufnahme ermitteln konnten. Der Zutritt zum Fressen wurde durch ein elektronisch gesteuertes Tor kontrolliert. Das Gewicht der Tröge wurde vor und nach jedem Fressvorgang auf zwei elektronische Kraftaufnehmer geleitet und die Gewichtsunterschiede der Tröge bei den einzelnen Besuchen eines Tieres über den Tag aufsummiert und als Verzehrsmenge ausgewiesen. BÜSCHER und HÜTTER (2001) [36] befestigten für ihre Untersuchungen eine Trogschale am Fressgitter, die auf drei Wiegestäben stand und den Inhalt auf 10 g genau erfassen konnte. Um Information über die aufgenommene Futtermenge und das Tierverhalten (Besuchshäufigkeit, -dauer) zu bekommen, musste allerdings eine Videoaufzeichnungstechnik installiert werden. Durch Rückwiegen der Futtermenge konnte die Aufnahme mit ausreichend hoher Genauigkeit erfasst werden. Für ein derartiges Messverfahren ist nach BÜSCHER und HÜTTER (2001) [36] ein Fressplatz-Tier-Verhältnis von 1:10 erforderlich.

Nach BULANG (2002) [33] werden an eine für die Kälberfütterung ausgerichtete Technik hinsichtlich Wiegegenauigkeit, Auflösung, Belastbarkeit, Funktionssicherheit und Bedienbarkeit hohe Anforderungen gestellt. Dabei müssen die Tiererkennung, die Trogschale sowie das Grundgerüst des Wiegetrog-Systems eine hohe Funktionssicherheit bieten und äußeren Einflüssen wie Wasser, Schmutz und Gärsäuren standhalten. Die Technik muss dabei nach BULANG (2002) [33] zudem einfach zu installieren, leicht zu reinigen und platzsparend ausgeführt sein.

Für die exakte Erfassung der Futteraufnahme des Einzeltieres wurden von WENDL et al. (2001) [287] rechnergesteuerte Fütterungseinrichtungen entwickelt, welche die individuelle Futteraufnahme über die Verwiegung des Fressstrogs in Kombination mit einer elektronischen Tiererkennung registrieren. Die Tiererkennung erfolgt mit Hilfe einer Stab-

oder Rahmenantenne, durch die das elektronisch gekennzeichnete Tier seinen Kopf bewegen muss, wenn es an das Futter gelangen will. Die Befüllung der Tröge kann manuell oder mit einem Futtermischwagen erfolgen. Die drehbare Lagerung der Tröge erleichtert nach FRÖHLICH et al. (2005) [70] und WENDL (2005) [283] das aus hygienischen Gründen täglich erforderliche Entleeren.

Tritt ein Tier in den Erkennungsbereich der Rahmenantenne, wird das Troggewicht vor dem Besuch ermittelt. Für die Milchviehfütterung können die Wiegetröge durch ein Drehtor versperrt werden, so dass nur bestimmten Tieren einer Gruppe oder einem Tier mit Futteranspruch Zutritt gewährt wird [70]. Tritt ein Tier mit Transponder in den Erkennungsbereich der Antenne, wird vom Prozessrechner der Futteranspruch geprüft. Bei Anrecht wird das Troggewicht vor dem Besuch ermittelt und das Drehtor freigegeben. Das Tier kann dann mit dem Hals das Tor niederdrücken und Futter aufnehmen. Beim Anheben des Kopfes aus dem Trog, fällt das Tor mittels Schwerkraft zu und verriegelt die Futterstelle bis zur nächsten Tiererkennung. Gleichzeitig wird das Troggewicht erfasst, die Gewichtsdaten in einem Prozessrechner aufbereitet und die Gewichtsdiﬀerenz mit den Tierdaten und Zeitangaben zu den Besuchen abgespeichert. Der Prozessrechner erfüllt alle Steuerungs- und Datenerfassungsaufgaben und arbeitet als autarkes Subsystem, so dass er auch ohne angeschlossenen PC die Fütterungs- und Besuchsdaten erfassen und über einige Tage hinweg speichern kann. Dadurch wird nach WENDL et al. (2001) [287] beim Einsatz mehrerer Stationen eine hohe Ausfallsicherheit des Gesamtsystems erreicht. Die Datensätze werden zyklisch auf einen PC übertragen. Die Windows basierte PC-Software „TIM“ dient zur Einstellung der Systeme sowie zur Langzeitspeicherung [70] und kommuniziert mit den an einem BUS angeschlossenen Prozessrechnern. Außerdem kann mit Hilfe der Applikation das Fressverhalten der Tiere überwacht und die Futterdaten teilweise grafisch vorausgewertet werden. Die erfassten Daten werden in einer Access-Datenbank abgelegt und könnten zur weiteren Auswertung exportiert werden.

3.2.2.8 Betriebsrechner

Die Steuerung der meisten Fütterungs- und Überwachungssysteme erfolgt am dezentralen Prozessrechner, in dem auch die Daten der Aufnahmen und des Verhaltens gespeichert sind. Um diese Information für betriebsinterne oder –externe Zwecke weiter verwenden zu können, werden sie nach KÄCK (2004) [119] per BUS-System an den Betriebs-PC übertragen. Als steuernde Einheit kann aber auch der vorhandene Betriebs-PC direkt oder eine Kombination aus beiden eingesetzt werden [59]. Neben dem günstigen Anschaffungspreis gehört zu den Vorteilen der PC-Lösung die Mehrfachnutzung für andere Büroarbeiten und die zentrale Steuerungsmöglichkeit. Nachteilig ist jedoch der nötige Dauerbetrieb bei diesen Anlagen, was unter Umständen zu Störungen führen kann. Prozessrechnerlösungen weisen dagegen meist einen geringeren Hardwareaufwand auf und, da sie für den Dauerbetrieb ausgelegt sind, haben sie einen geringeren Stromverbrauch für

die erforderliche Datenspeicherung. In den vergangenen Jahren etablierten sich nach [59] immer mehr Fütterungssysteme, die sowohl eine autonome Prozessrechnereinheit als auch einen zentralen PC für Herdenmanagement und Gesamtsteuerung enthalten. Dadurch werden zwar die Betriebssicherheit und der Bedienungskomfort erhöht, aber zur herstellerunabhängigen Erweiterung der Anlage müssen die Prozessrechner über eine genormte Schnittstelle verfügen. Um diese sogenannten „Insellösungen“ miteinander zu verbinden, wird heute mehr und mehr eine Verbundlösung zwischen Prozessrechner und Betriebscomputer verwirklicht [284]. Die bidirektionale Übertragung von Prozessdaten von und zum PC ermöglicht eine Kontrolle der derart erhobenen Daten direkt vor Ort im Stall [118]. DEININGER und KÄCK (1998) [53] betonen dabei die bessere Übersichtlichkeit und weitere Vorteile durch zusätzliche Funktionen dieses dualen Bediensystems. Als Nachweis und zur Dokumentation können diese mit weiterer in der Tierproduktion anfallender Information (Zusatzfutter-, Arzneimitteleinsatz) in der Datenbank tierindividuell ergänzt werden. Um die automatisch erfassten Datenmengen bewältigen zu können, sind Herdenmanagement-Programme notwendig. Zur Unterstützung der Tierbetreuung stellen sie die Verbindung zur Prozesstechnik her, dienen der Datenerfassung, speichern die erfassten Werte, werten sie gegebenenfalls aus und erzeugen Alarm- und Steuerwerte [236]. Sie müssen dem Tierhalter alle wichtigen Informationen für die Prozessüberwachung und -führung zur Verfügung stellen.

3.2.3 Tieraktivität

Aktivität (von lat. *activus* = tätig, wirksam) bezeichnet im Allgemeinen ein aktives Verhalten [302], einen Betätigungs- oder Bewegungsdrang [303] bzw. eine Tätigkeit, also ein Handeln oder ein Tätigsein [301]. Anderweitig wird Aktivität als ein Sammelbegriff für eine oder mehrere Aufgaben innerhalb eines Tätigkeitsfeldes definiert [306], wobei Aktivitäten „logisch zusammengehörende, meist geordnete Folgen von Arbeitshandlungen und Tätigkeiten innerhalb von Prozessen“ [305] darstellen.

3.2.3.1 Direkte Aktivitätsmessung – Tierbewegung

Die elektronische Aktivitätsmessung bei Rindern dient der Tierüberwachung und ist meist in ein Gesamtkonzept der Herdenüberwachung eingebunden. Dabei werden die Aktivitätsdaten vom entsprechenden EDV Herdenmanagementprogramm zusätzlich zu anderen Daten (Futter-, Temperatur-, Gewichtsdaten) erfasst und ausgewertet.

Am Rind werden, abgesehen von der Methode der Bildanalyse, die Aktivitätssensoren entweder am Hals oder am Bein (Pedometer) angebracht. Es wird die Bewegung der Tiere (Aktivität, Liegedauer und Liegepositionen) mittels elektrischer Impulse aufgezeichnet und entweder über eine zentrale Antenne oder beim Durchschreiten eines Antennenfeldes im Stall ausgelesen [242]. Beim Überschreiten vorgegebener Grenzwerte werden Alarmmeldungen ausgegeben. Seit 1977 wird der Einsatz von Pedometern zur Vorhersage

hormonbedingter Aktivitätsveränderungen bei Kühen beschrieben [134]. Seitdem wird das Potential dieser Technik intensiv untersucht [30, 64, 68, 210, 240]. Auch für die Erforschung der Aktivität im Humanbereich werden Pedometer verwendet [99, 169]. Bei Kälbern kann mit Hilfe der Pedometer deren Aktivität, aber auch Deaktivität festgestellt werden [81, 89, 264]. BREER und BÜSCHER (2006) [28] konnten in ihrer Untersuchung feststellen, dass die Kälber in den frühen Morgenstunden und am Abend besonders aktiv waren, nachmittags und nachts eher ruhten, wobei das nachmittägliche Aktivitätsniveau gegenüber der Nacht deutlich erhöht war. Damit konnten sie das von [187] beschriebene Kamel-Modell zum Tagesverlauf der Tieraktivität bestätigen. Sie erklärten das Ergebnis mit einer offensichtlichen Abhängigkeit der Aktivität vom Lichttag und den Stallarbeitszeiten. Außerdem zeigten die Daten einen tierindividuellen Anstieg der Aktivität mit zunehmendem Alter, jedoch keine Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur. AURICH und WEBER (1993) [13] zeigten das synchrone Verhalten der Kälber bei allen Tätigkeiten wie Spielen, Fressen und Ruhen auf.

3.2.3.2 Indirekte Aktivitätsmessung – Futterabruf- und -aufnahmeverhalten

Neben der Bewegungsmessung mit Hilfe von Pedometern können auch anhand an der durch die Fütterungstechnik erfassten Daten wie Anzahl der Besuche, Fressgeschwindigkeit und Verweildauer im Stand indirekt Aussagen über die Aktivität der Tiere getroffen werden. In Kombination der Tieraktivität mit der Tierbeobachtung kann nach [242] eine sich anbahnende Krankheit erkannt werden. Jedoch erfolgt bisher keine Alarmmeldung aufgrund einer Deaktivität.

3.2.3.2.1 Tränke

Die Vergleichbarkeit von Untersuchungsergebnissen bezüglich einzelner Tränkeparameter ist nach SCHICK (1995) [220] durch die Nutzung unterschiedlicher Tränkesysteme bei verschiedenen Autoren nicht immer gegeben. Im Gegensatz zum Saugakt an der Kuh, bei dem das Kalb Milch erhält, kann das Tier beim Besuch am Tränkeautomaten ohne Milchanrecht nichts abrufen. Dies erschwert den Vergleich der am Muttertier (natürlich) erhobenen Daten mit denen aus mutterloser (künstlicher) Aufzucht.

Anzahl und Dauer der Besuche

Dass das Saugverhalten von Kälbern bei künstlicher Aufzucht anders ist als bei Anwesenheit des Muttertiers, konnten verschiedene Autoren beobachten. DAY et al. (1987) [51] beschreiben das Verhalten von Kälbern bei natürlicher Aufzucht mit täglich 5-9 Saugakten während der ersten paar Wochen, in den folgenden Monaten sinkt die Häufigkeit auf 3-5 mal am Tag. Lediglich 2-3 Saugvorgänge täglich werden dagegen bei Mutterkuhherden bei Stallhaltung registriert, bei Weidehaltung 4-5, wobei der einzelne Saugakt im Durchschnitt 8-16 min dauert [220]. Zwar kann sich das Kalb am Automaten

weitgehend satt trinken, das Saugbedürfnis wird aber in der Regel nicht befriedigt [87]. Da die Befriedigung mittels arttypischer Bewegungsabläufe an Ersatzobjekten erfolgt, wie zum Beispiel Saugen und Lecken an Fell, Ohren oder Nabel von Artgenossen in der Gruppe, kann es zu entsprechenden Auffälligkeiten in der Gruppe kommen. MÜLLER und SCHLICHTING (1988) [176] schreiben von einer signifikanten Reduzierung des Saugtriebs durch eine *ad libitum*-Strohvorlage. Nach Untersuchungen von JASPER und WEARY (2002) [106] sollten Kälber eine *ad libitum* Milchtränke erhalten, da dies ein mehr natürliches Saugverhalten erlaubt, was die Motivation für gegenseitiges Besaugen trotz Gruppenhaltung zu reduzieren scheint. DE PASSILLÉ und RUSHEN (2006) [185] beobachteten Kälber zwischen der zweiten und neunten Lebenswoche. Das Saugverhalten der Tiere änderte sich während dieses Zeitraums nicht. Die Saugrate wurde weder von der Milchverfügbarkeit, noch von der Fressmotivation beeinflusst. Sie konnten beobachten, dass häufiges Stoßen und vermehrter Nuckelwechsel eine geringe Milchflussrate anzeigen. GRIMM und AHMED (1987) [77] konnten nachweisen, dass sich bei Verringerung des Schlauchdurchmessers die Belegzeiten am Automaten reduzierten. Zwar dauert dadurch ein Besuch mit Tränkeanspruch länger als die von PIRKELMANN (1986) [193] als angemessen erachteten 5-10 min, aber anschließend wurden weniger Besuche ohne Tränkeanspruch verzeichnet, da die Kälber wegen der höheren Anstrengung ein größeres Ruhebedürfnis hatten. Die Anzahl der täglichen Besuche am TA reduzierten sich durch die Verringerung des Schlauchdurchmessers bzw. den erhöhten Saugwiderstand von 33 auf 15, jedoch stieg die tägliche Besuchsdauer von 41 min auf 63 min. Der Aufenthalt ohne Milchanspruch reduzierte sich von 21 auf 11 min. Dass Kälber bei Besuchen ohne Anspruch den Tränkestand wieder schnell verlassen, konnte auch SCHLICHTING (1985a) [223] bestätigen. KIRCHER (1997) [135] stellte fest, dass die Anzahl der Stationsbesuche ohne Tränkeanspruch über jenen mit Anspruch lag, wobei in der Belegung der Station die Aufenthaltszeiten mit Tränkeanspruch überwogen. Um die Belegzeiten und vor allem die Leerzeiten am TA zu verringern, begrenzte PIRKELMANN (1986) [193] die Saugerverfügbarkeit. War der Tränkeanspruch aufgebraucht, stand der Sauger dem Kalb noch einige Zeit zur Verfügung, um das angeborene Saugbedürfnis weitgehend zu befriedigen, dann wurde er zurückgezogen oder abgedeckt.

Bei der Fütterung mit einem TA ist ein Zusammenhang zwischen dem Tialter und der Anzahl der täglichen Besuche bzw. der Saugdauer zu erkennen. Die tägliche Scheinsaugdauer nimmt nach SAMBRAUS (1984) [219] zwischen der achten und zehnten Lebenswoche ab, da die Festfutteraufnahme steigt. Nach PIRKELMANN (1994) [195] liegt die Anzahl täglicher Tränkebesuche bei jungen Kälbern zwischen 6-10 und nimmt mit steigendem Alter ab. Nach SCHLICHTING (1985a) [223] nimmt mit zunehmendem Alter auch die Besuchszeit ab, die Anzahl der Besuche ohne Tränkeanspruch dagegen zu. Einen Anstieg der Gesamtanzahl der Besuche können auch LINDEMANN et al. (1993) [159] verzeichnen. Durch das reduzierte Tränkeangebot gegen Ende der Milchphase verringern

sich zwar die Belegzeiten, jedoch nehmen die Besuche ohne Tränkeanspruch anteilmäßig zu [223]. Von ähnlichen Ergebnissen berichten LINDEMANN et al. (1993) [159], nämlich dass die tägliche Gesamtsaugzeit 24 min betrug und ab der 6. Lebenswoche ein Anstieg der täglichen Automatenbesuche beobachtet werden konnte. SCHLEYER und KAMINSKY (1996) [221] berichten ebenfalls von einer Abnahme der täglichen Saugzeit von 32 min im ersten auf 23 min im dritten Lebensmonat. Wird aber die Zeit des Leersaugens berücksichtigt, so ist ihrer Aussage nach ein Anstieg mit zunehmendem Alter feststellbar. Durch eine Verlängerung der Saugdauer oder ein erhöhtes Milchanrecht wird auch die Belegung des TA verlängert und umgekehrt. JENSEN (2006) [108] beobachtete, dass beim Abtränken durch Reduzieren der Anzahl der Milchportionen zwar mehrere unbelohnte Besuche am TA verzeichnet wurden, aber zum Aufnehmen der Milch weniger Zeit beansprucht wurde. Unbelohnte Besuche sind nicht erwünscht, da sie das Füttern der Kälber stören und den Automaten für Kälber mit Anrecht blockieren [109]. Basierend auf seinen Ergebnissen empfiehlt JENSEN (2006) [108], bei TA-Fütterung ein großes Milchanrecht anzubieten, da dadurch die Kälber mehr gesättigt sind und die totale TA-Belegung geringer wird. Bei *ad libitum* Tränke am TA im Alter vom 4.-41. LT konnten HAFEZ und LINEWEAVER (1968) [79] eine tägliche Saugdauer von 16-28 min bei Hereford-Kälbern und 22-42 min bei Holstein-Kälbern messen. Insgesamt wurden dabei 1-55 Saugperioden mit einer Dauer von durchschnittlich 0,31-7,37 Minuten beobachtet. WEBSTER und SAVILLE (1982) [281] beobachteten bei 8 Wochen alten Kälbern innerhalb 24 Stunden *ad libitum* Milchaufnahme 8,1 Saugakte bei einer durchschnittlichen Dauer von 7,1 min. AHMED (1987) [2] registrierte bei limitierter Milchgabe eine Verweildauer je Besuch mit Anrecht von durchschnittlich 4,9 min und pro Besuch ohne Anrecht von 1,6 min. Bei bis zu vier Wochen alten Kälbern stellte FERRANTE et al. [66] eine Saugdauer von 11,0-38,0 min je Tag fest, bei weniger als 3 min Mahlzeitdauer. Die Kälber in Untersuchungen von RIESE et al. (1977) [213] saugten 1-6 mal täglich bis zu 25 min lang, sodass sich jedes Tier im Schnitt 27 min am Tag im Tränkestand aufhielt. Bei AURICH und WEBER (1993) [13] lag die Besuchsfrequenz bei 33,1, wobei davon 22,8 ohne Tränkeanspruch waren. Im Mittel dauerte ein Saugakt 5,8 min, insgesamt 40,9 min/d (davon 20,2 min/d mit Tränkeanspruch). Unabhängig von der Saugdauer konnten SVENSSON und JENSEN (2007) [258] feststellen, dass die Anzahl unbefriedigter Besuche bei kranken Tieren signifikant reduziert war. LINDEMANN et al. (1993) [159] notierten die Anzahl an Besuchen am TA in Abhängigkeit vom Alter und unterschieden zwischen abgebrochenen Versuchen und welchen mit Anspruch. Sie berichten von im Mittel 8 Besuchen in der 3. Lebenswoche, wovon 1,5 abgebrochen wurden und die Tiere im Mittel bei 5 Anspruch hatten. In der 6. Lebenswoche waren es nur 7 Besuche bei 0,5 abgebrochenen und 4 mit Anrecht. Ab der 9. Woche stieg die Besuchsfrequenz auf 9, wovon das Tier im Schnitt bei 4 Anrecht auf Milch hatte und kein Besuch abgebrochen wurde.

PIRKELMANN (1986) [193] stellte bei 4 Tränkezeiten/d eine mittlere Verweildauer im Tränkestand von 41,5 min bei im Mittel 7,5 Besuchen fest. Wurde das Fütterungsprogramm verändert, so dass die Kälber den Abrufrythmus nach der angesparten Futtermenge selbst bestimmen konnten (Gleitzeitprogramm), kam es zu einer höheren Besuchsfrequenz und längeren Verweildauern. Bei ebenfalls 4-maligem Milchanrecht suchten Kälber in Untersuchungen von DE PASSILLÉ et al. (2004) [186] den TA über 17 mal am Tag auf und verbrachten gesamt 50 min/d am TA, die meiste Zeit davon saugend. Die Anzahl „unerfüllter“ Besuche und die Tatsache, dass junge Kälber (die noch nicht viel KF konsumierten) den TA viel öfter besuchten als ältere Tiere, lässt vermuten, dass die Kälber hungrig waren. Als die abrufbare Milchmenge anstieg, sank die Anzahl der „unerfüllten“ Besuche. Welchen großen Einfluss das Nuckel:Kalb-Verhältnis auf das Tierverhalten ausübt, beschreiben KEYSERLINGK et al. (2004) [130]. Sie verglichen fünf Gruppen mit je drei Kälbern, wobei das Verhältnis von Nuckel:Kalb täglich von 1:3 bis 4:3 variierte. Mit sinkender Nuckelanzahl von 4 auf 1 sank auch die Gesamtzeit am Nuckel von 40,2 min/d auf 32,7 min/d und die Milchaufnahme von 14,0 l/d auf 11,4 l/d. Zusätzlich konnten sie mit sinkender Nuckelanzahl eine erhöhte Interaktion zwischen den Kälbern feststellen. Eine weitere Veränderung hinsichtlich des Tränkeverhaltens beschreibt UDE (2007) [267] durch den Einbau einer waagerechten Wippe nach WENDL et al. (1998) [286]. Die Kälber blieben nach der Milchaufnahme noch 3,3 min im Tränkestand, gegenüber 2,1 min bei offenem Tränkestand.

Tagesrhythmik

Der Besuchsrhythmus am TA ist stark abhängig von der Vorgabe der Tränkezeiten durch das Fütterungsprogramm. Dieses wirkt sich auch auf die Anzahl der Besuche und die Belegzeiten des Tränkestandes aus. PIRKELMANN et al. (1985) [202] beobachteten beim Festzeitprogramm eine Konzentration der Besuchszeiten vorwiegend am Tag, während nachts die Aktivitäten zurückgingen und in den frühen Morgenstunden nahezu völlige Stallruhe herrschte. Beim Einsatz des Gleitzeitprogramms, bei dem die Tiere den Abrufrythmus durch die angesparte Futtermenge weitgehend selbst bestimmen können, beobachteten sie auch während der Nachtstunden eine relativ hohe Besuchsfrequenz an der Tränkestation. Einen ähnlichen Aktivitätsverlauf stellten auch BREER und BÜSCHER (2006) [28] fest und belegten das von [187] beschriebene Modell zum Tagesverlauf der Tieraktivität. HAFEZ und LINEWEAVER (1968) [79] dagegen konnten keinen Tagesrhythmus feststellen. Sie führten dies auf die Dauerbeleuchtung im Stall während der Beobachtungsphase zurück. Nach ZEEB und MACK (1970) [294] sind Kälber vor allem um 6, 11, 16 und 22 Uhr aktiv. Ähnliche Zeitangaben veröffentlichten RIESE et al. (1977) [213] mit Intervallangaben zwischen 6 und 8, 12 bis 13 und 15 bis 18 Uhr. AURICH und WEBER (1993) [13] beobachteten vor allem zwischen 5 und 6 Uhr, zwischen 10 und 16 Uhr und zwischen 18 und 22 Uhr eine hohe Besuchsfrequenz am Automaten. Somit fand am Vormittag und nachts nahezu keine Aktivität statt. Eine Änderung des Saugwiderstands

bewirkte keine Veränderung des tageszeitlichen Saugrhythmus. Diese Erkenntnis konnte bereits AHMED (1987) [2] publizieren. Er unterteilte die Aktivität zudem in Besuche ohne Tränke und Besuche mit Tränke. Unabhängig vom Schlauchdurchmesser zeigte der Kurvenverlauf der Besuchsaktivität ohne Tränke zwei ausgeprägte Maxima, eines zwischen 6 und 8 Uhr und das zweite zwischen 14 und 17 Uhr. Im Gegensatz dazu ließ die Besuchsfrequenz mit Tränke keine Abhängigkeit von der Tageszeit erkennen.

Sauggeschwindigkeit

Die Milchmenge, die ein Kalb je Zeiteinheit aufnimmt, wird als Sauggeschwindigkeit bezeichnet. Sie ist abhängig von der Saugmotivation, welche nach DE PASSILLÉ (2001) [184] hoch sein muss, da das Überleben von jungen Säugetieren vom Saugerfolg abhängt. In der Literatur wird die Saugmotivation in erster Linie in Abhängigkeit der Milchaufnahme betrachtet [115, 158, 163, 167, 219], da der Milchgeschmack das Saugen auslöst und die Saugaktivität die Tränkeaufnahme begünstigt [158]. PIRKELMANN et al. (1985) [202] stellten fest, dass das natürliche Saugbedürfnis mit zunehmendem Alter abnimmt und die Trinkgeschwindigkeit ansteigt, wobei diese stark vom Querschnitt der Saugleitung abhängt. Bei Untersuchungen von UDE (2007) [267] konnten Unterschiede zwischen der Altersgruppe vom 25.-51. LT mit einer mittleren Sauggeschwindigkeit von 0,64 l/min und vom 76.-84. LT mit 0,61 l/min gemessen werden. Bereits 1981 erfasste PIRKELMANN (1981) [197] in Abhängigkeit des Milchleitungsquerschnitts Sauggeschwindigkeiten von 0,75 l/min (bei 5 mm) bis 2,0 l/min (bei 8 mm). Bei Erhöhung des Saugwiderstandes auf das Zweieinhalbfache ermittelten AURICH und WEBER (1993)[13] einen Wert von 0,22 l/min im Gegensatz zu 0,83 l/min bei normalem Saugwiderstand. DE PASSILLÉ und RUSHEN (2006) [185] weisen darauf hin, dass Stoßen und häufiger Nuckelwechsel Anzeichen für eine zu geringe Milchflussrate sind. Allerdings geben HALEY et al. (1998) [82] zu bedenken, dass eine Erhöhung der Durchflussrate am Nuckel auch nicht-nutritives Saugen fördert. Damit die Tiere durch eine größere Anstrengung ihren Saugtrieb stärker abbauen, empfehlen PIRKELMANN et al. (1985) [202], nach der Eingewöhnungsphase die lichte Weite des Saugschlauchs bis auf 3-4 mm zu verengen. Um die beim Saugen entstehende Erregungsphase nach der Milchaufnahme schneller abklingen zu lassen, sollte ihrer Meinung nach nach einer gewissen Saugzeit der Nuckel weggezogen oder zumindest verdeckt werden.

MEISINGER (1998) [172] ermittelte eine altersabhängige Sauggeschwindigkeit zwischen 0,41 und 0,77 l/min. Nach LINDEMANN et al. (1993) [159] steigt die mittlere Sauggeschwindigkeit von 0,65 l/min am 15. LT bis zum 50. LT auf 0,95 l/min kontinuierlich an und sinkt anschließend bis zum 70. LT bei erhöhter Beifutteraufnahme beständig auf 0,75 l/min. Wird die MAT-Tränke *ad libitum* angeboten, so steigt nach UDE (2007) [267] die Aufnahmegeschwindigkeit auf 0,96 l/min, bei Frischmilch sogar auf 1,06 l/min. Die Mehrzahl der Autoren bemerkt allerdings, dass das Saugverhalten individuell

sehr verschieden ist und damit auch die von ihnen registrierten Verhaltensweisen bei der Tränkeaufnahme stark variieren.

3.2.3.2.2 Kraftfutter

Mit zunehmendem Alter bzw. reduzierter Milchmenge nimmt die KF-Aufnahme zu [88, 175, 267]. UDE (2007) [267] konnte bei Kälbern im Alter von 25 bis 51 d zunächst einen Verzehr von im Mittel 60 g/d messen, welcher sich auf 600 g/d steigerte. Für die Aufnahme benötigt ein Tier im Durchschnitt 213 s. Im Bereich vom 52.-75. LT stieg die Aufnahme auf durchschnittlich 2100 g pro Tier und Tag bei einer Dauer von 165 s (12,7 g/s) an. Gegen Ende der Tränkeperiode (76.-84. LT) nahm ein Kalb während 130 s täglich im Schnitt 2300 g KF (17,7 g/s) auf. MORNET und ESPINASSE (1990) [175] berichten von mittleren Besuchsdauern am KF-Stand bei 4-wöchigen Kälbern von 20 bis 25 min, welche sich bis zum Alter von 8 Wochen auf 90 min erhöht. Dabei nimmt die Geschwindigkeit der Futteraufnahme von 6 g/min auf 19 g/min zu. Auch beim KF gilt, dass die Anzahl an Besuchen je Tier und Tag von der programmierten Höchstmenge und den Zeitintervallen abhängt. Dies bedingt, dass die in der Literatur genannten Besuchsfrequenzen mit Angaben zwischen 5 und 25 sehr stark streuen [146, 295]. Weiterhin ist das Aufnahmeverhalten bezüglich KF auch vom Haltungssystem abhängig. So nehmen in Gruppen gehaltene Tiere früher und öfter Kraftfutter auf als Tiere in Einzelhaltung [14, 276]. UDE (2007) [267] untersuchte den Anteil an Kälbern, die in den 20 min nach der Milchaufnahme den KF-Stand besuchten. Unterteilt in Altersabschnitte ermittelte sie, dass 65,5 % der jüngeren Kälber (25.-51. LT), 89,6 % der Tiere im Alter vom 52.-75. LT und 93,0 % der Tiere während der Abtränkphase (76.-84. LT) kurz nach der Tränke auch KF aufnehmen. Von einem besonders hohen Anstieg der KF-Aufnahme berichten HEPOLA et al. (2006) [88] nach dem Abtränken der Tiere. Dies erhöhte auch die mit der jeweiligen Aufnahme einhergehenden Zeitanteile. Vor dem Abtränken verbrachten die Tiere 2,9 % der Zeit mit der KF-Aufnahme und 5,7 % mit Heufressen. Nach dem Abtränken verwendeten die Kälber entsprechend 8,8 % bzw. 11,2 %.

3.2.3.2.3 Raufutter

Auch bezüglich Raufutteraufnahme beginnen in Gruppen gehaltenen Kälber früher als jene in Einzelhaltung und nehmen im Vergleich mehr Heu auf [88]. PHILLIPS (2004) [189] konnte feststellen, dass sich bei Gruppenhaltung die KF-Aufnahme bei einem Angebot von Gras reduzierte. Bei Tieren in Einzelhaltung konnte durch eine Heuzugabe die Fresszeit an Einstreu verringert werden. Durch Verfütterung von Heu nach der Milchaufnahme war es HALEY et al. (1998) [82] möglich, nicht-nutritives Saugen signifikant zu vermindern. Auch bei den Untersuchungen von PHILLIPS (2004) [189] reduzierte Gras die Menge an Verhaltenselementen, welche unter bestimmten Umständen Probleme bereiten (orale Stereotypien wie Eimer lecken, Suchverhalten wie brüllen und schnüffeln und

Beschwichtigungsverhalten wie gegenseitiges Putzen). Die Aufnahme von Gras steigerte das Befriedungsverhalten (Selbstputzen, Schwanzwedeln, Scheuern). Wird die Tränke den Tieren zeitrationiert angeboten, so führt dies nach SCHLICHTING (1985a) [223] zu einer Steigerung des Heuverbrauchs, der auch mit zunehmendem Alter ansteigt. Nach UDE (2007) [267] liegt die Dauer der Raufutteraufnahme bei Kälbern im Alter von 25-51 LT bei 242 s, fällt zwischen 52 und 75 LT auf 210 s und nimmt bis zum 84. LT im Mittel auf 275 s zu. Während der 20 min nach der Tränkeaufnahme konnten 77,6 % der jungen Tiere bei der Raufutteraufnahme beobachtet werden und bis zu 86,6 % der Tiere zwischen dem 52.-75. LT. Im anschließenden Altersabschnitt bis zum 84. LT stieg dieser Anteil auf 93,0 %.

3.2.3.2.4 Trinkwasser

Nach SCHLICHTING (1989) [222] nimmt ein Kalb täglich etwa 10 % seines Körpergewichtes an Wasser auf. KLINDTWORTH et al. (2006) [139] konnten in ihrer Untersuchung deutliche tierindividuelle Unterschiede feststellen, aber erfahrungsgemäß stieg der Wasserverbrauch mit zunehmendem Alter und erhöhter Umgebungstemperatur [26]. Damit erhöhen sich auch die Anzahl der Besuche und die abgerufene Wassermenge je Besuch, wobei die Steigerung der Gesamtwassermenge in erster Linie auf die erhöhte Besuchsfrequenz zurückzuführen ist [139]. Die Autoren konnten mit zunehmendem Alter eine ausgeprägtere Tagesrhythmik feststellen. Vor allem morgens von 5 bis 8 Uhr und nachmittags von 15 bis 18 Uhr konnte eine erhöhte Frequentierung der Trinkwasserstation beobachtet werden. Demgegenüber berichten KEYSERLINGK et al. (2006) [131] von einer abweichenden Trinkaktivität. Sie beobachteten einen Aufnahmeanstieg zwischen 6 bis 11 Uhr, der gegen Mittag abfällt, dann konstant bis 17 Uhr wieder steigt, gegen 19 Uhr stark abfällt, um wieder zu steigen. Nach ihrer Untersuchung sind die Tiere also auch nachts sehr aktiv. Nach CARDOT et al. (2008) [41] werden die freiwillige Trinkwasseraufnahme und das Trinkverhalten von Rindern in erster Linie von der Futterration, der -aufnahme und dem Klima beeinflusst. Sie konnten bestätigen, dass die Tiere die höchste Trinkaktivität während der Tageslichtstunden aufwiesen und dass die Trinkaktivität mit den Fütterungszeiten korrelierte.

DADO und ALLEN (1994) [47] geben Korrelationskoeffizienten von -0,77 zwischen der Anzahl an Trinkperioden und der Höhe der Trinkwasseraufnahme an. Dabei geben ANDERSSON et al. (1984) [7] zu bedenken, dass es mit steigender Durchflussrate des Wassers von 2 l/min auf 12 l/min zu einer 25 %igen Reduktion der Trinkfrequenz (40 vs. 30 Trinkperioden/d) und einer ansteigenden Trinkwasseraufnahme kommt.

4 Material und Methodik

Um die technischen und informatorischen Anforderungen sowie das Potenzial komplex vernetzter Systeme in der Tierhaltung abschätzen zu können, wurde auf der Versuchsstation Hirschau der Technischen Universität München eine geeignete Versuchsanlage installiert und damit in der Zeit vom 20.01.2006 bis 08.11.2006 mehrere Versuchsreihen in der Kälberaufzucht durchgeführt.

4.1 Versuchsaufbau

Zeitlich teilweise überlappend mit den insgesamt 15 Wochen dauernden Vorversuchen zur Überprüfung und Verbesserung der installierten Technik, fand der Hauptversuch im Zeitraum vom 20.03.2006 bis 08.11.2006 statt. Im Rahmen dieses 33,5-wöchigen Hauptversuchsprogramms wurden Zusammenhänge zwischen den Aufnahmemengen von Kälbern und verschiedener Parameter geprüft. Im Vordergrund der Untersuchung standen die am Einzeltier erhobenen Daten der Futteraufnahme, des Tierverhaltens und der Vormagenentwicklung.

4.1.1 Versuchsstall

Der Kälberstall des Versuchsgutes Hirschau wurde 1980 als eine von drei nebeneinander liegenden Einheiten in Vollholzbauweise errichtet. Die Einzelgebäude sind im Abstand von 12 m in NNO-SSW-Richtung ausgerichtet und mit Durchfahrt von Norden erschlossen. Der Versuchsstall bildet die östlichste Einheit. Darin befindet sich ein Büro für die Datenaufzeichnung im Rechner, eine Milchammer, ein Lagerraum und der durch ein Tor davon abgetrennte Stallbereich (Abb. 3).

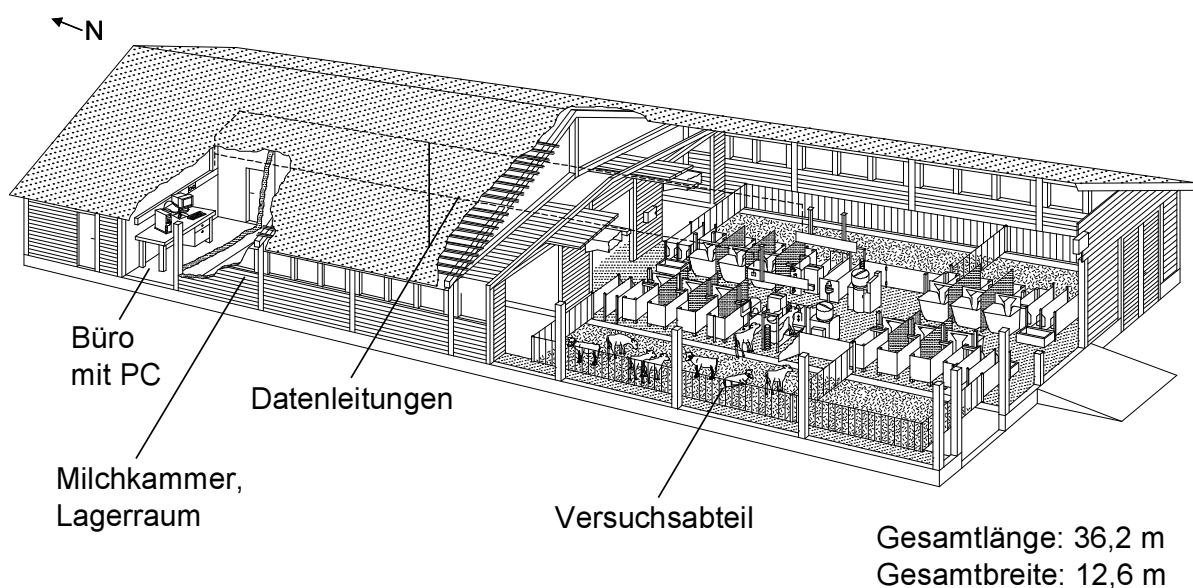


Abbildung 3: Kälberstall der Versuchsstation Hirschau.

Dieser gliedert sich in zwei durch Trennwände abgegrenzte Bereiche. Ein Futtergang in der Mitte mit 1,5 m Breite (Abstand zwischen den gegenüberliegenden Wiegetrögen) trennt die Abteile in zwei Seiten auf. Alle Tierbereiche werden von einem ca. 50 cm breiten Bediengang umgeben. Jedes Stallabteil ist in einen mit Stroh eingestreuten Liegebereich (36,5 m²) und einen erhöhten, planbefestigten Fütterungsbereich (22,6 m²) gegliedert.

Bei den für die vorliegende Untersuchung umgebauten südlichen Abteilen wurde die Versuchstechnik entlang des Futtergangs gespiegelt angeordnet (Abb. 4). Auf jeder Seite befinden sich vier konventionelle Fressstände als Behandlungsstände, die es ermöglichen, die Kälber kurzfristig zu fixieren.

Die Lüftung erfolgte in erster Linie mittels Querlüftung in West-Ost-Richtung. Hierfür wurden an den Wänden klarsichtige Kunststoff-Doppelsteckplatten angebracht, welche automatisch mittels Thermoregulator oder manuell gesteuert werden können. Dadurch konnte das Stallklima bei Bedarf sehr nahe an das Außenklima herangeführt werden. Zusätzlich sind beidseits des Futtergangs Ventilatoren installiert, um bei Bedarf die warme Abluft nach außen zu befördern.

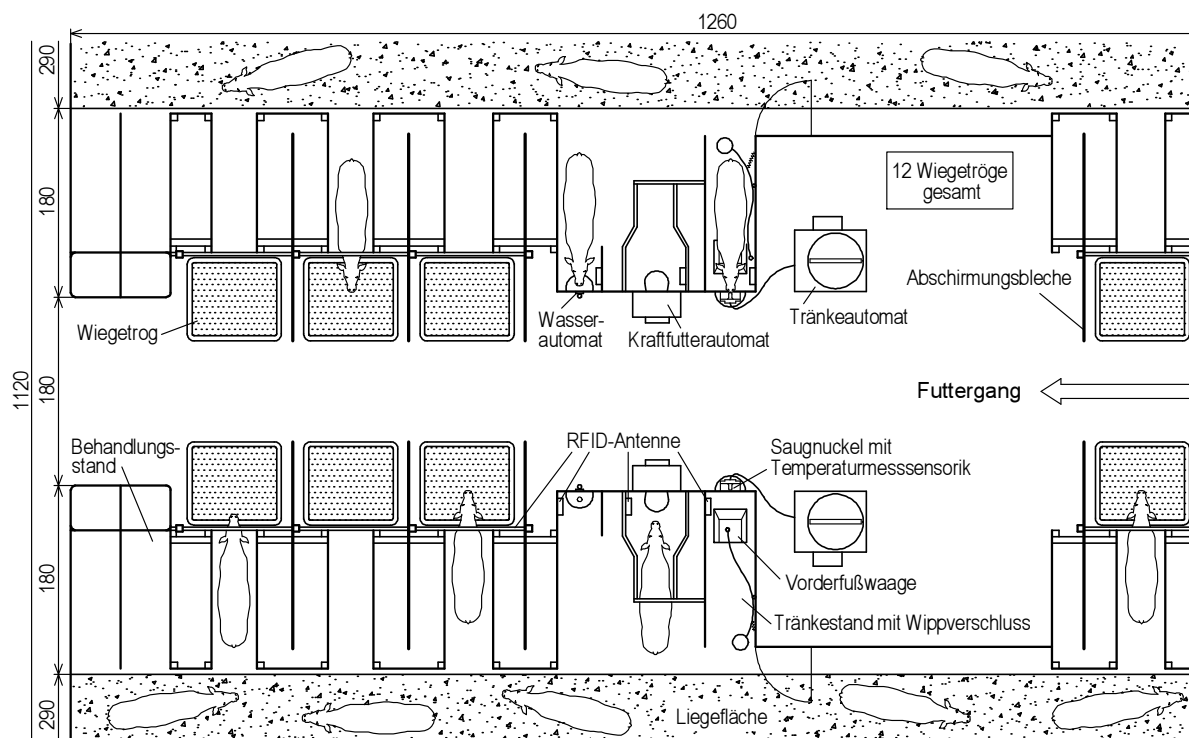


Abbildung 4: Versuchsabteil im Kälberstall der Versuchsstation Hirschau.

4.1.2 Versuchstechnik

In jedem der beiden Abteile wurde folgende Versuchstechnik identisch installiert:

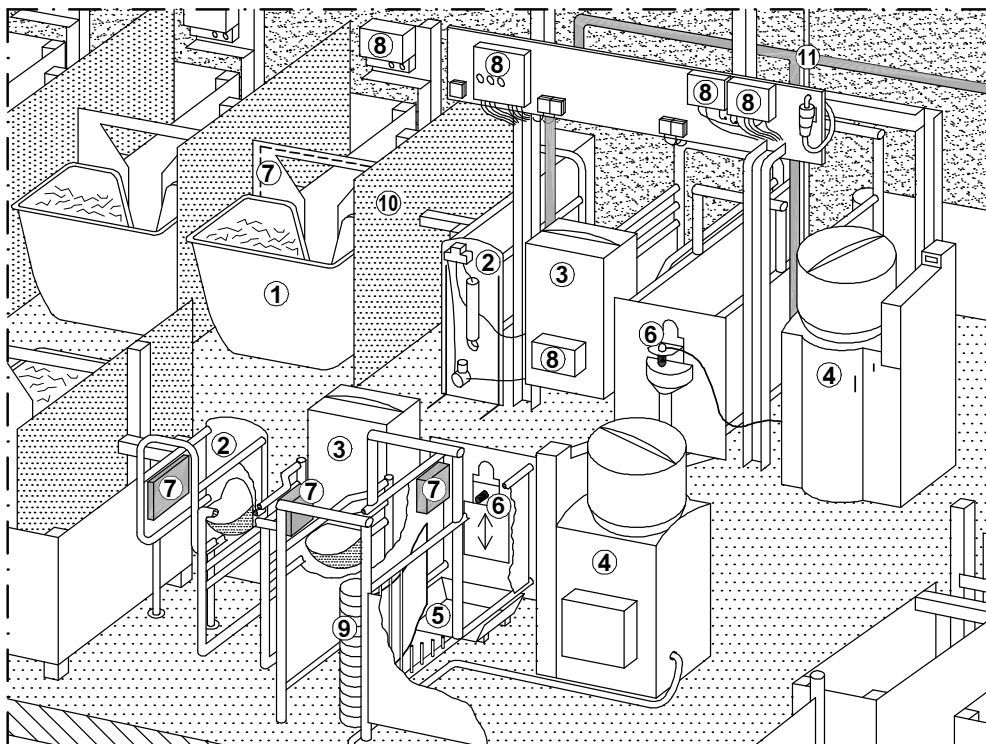
- ein Milchtränkeautomat mit im Saugnuckel integrierten Fiebermesssystem, Vorderfußwaage und Wippverschluss an der Rückseite,
- ein Kraftfutterautomat,

- ein Trinkwasserautomat und
- sechs Wiegetröge zur Erfassung der aufgenommenen Grundfuttermenge.

Übergreifend wurde ein Tieridentifikationssystem eingerichtet (Abb. 5).

4.1.2.1 Tieridentifikationssystem

Die Kennzeichnung der Kälber mit RFID-Transpondern (TIRIS ISO-HDX) am linken Ohr ermöglichte eine tierindividuelle Zuordnung sowohl der jeweilig abgerufenen Futtermenge, als auch die Dokumentation aller relevanten Prozessparameter. Dazu war an jeder Station (Tränke, KF, Wasser, Grundfutter) eine hinsichtlich der Lesereichweite geeignete Antenne erforderlich. Das Signal der Antenne wurde durch einen Mikroprozessor verarbeitet und via CAN BUS zum Prozesscomputer weitergeleitet. Am PC wurde die Transpondernummer und eine ihr zuvor zugeordnete Tiernummer mit der jeweiligen Information des Besuchs als Datensatz angezeigt.



- | | |
|--|-----------------------------------|
| (1) Grundfutter-Wiegetrog | (7) Tiererkennungssystem |
| (2) Automatisches Trinkwassermesssystem
(Wasserautomat) | (8) Prozessrechner / Steuerung |
| (3) Kraftfutterautomat | (9) Kälberwippe |
| (4) Tränkeautomat | (10) Abschirmblech |
| (5) Vorderfußwaage | (11) Wasser- und Druckluftleitung |
| (6) Automatisches Temperaturmesssystem
(Temperaturmuckel) mit Absperrschieber | |

Abbildung 5: Fütterungs- und Monitoringtechnik im Kälberstall der Versuchsstation Hirschau.

4.1.2.2 Tränkestand mit Tränkeautomat, Fiebermesssystem und Teiltierwaage

Neben dem Tränkeautomat wurde der Tränkestand angeordnet. In ihm konnte das Kalb über einen Nuckel die Milch aufnehmen, während gleichzeitig mittels eines automatischen Temperaturmesssystems die Zungentemperatur gemessen wurde. Außerdem war im Tränkestand im Bereich der Vorderbeine eine Teilwaage installiert. Um Verdrängen während des Trinkens zu unterbinden, wurde zusätzlich eine Kälberwippe [286] eingebaut. Diese lange, geschwungene Metallkonstruktion schloss sich beim Betreten des Stands. Da die Wippe mit einer Feder versehen war, konnte sie sich nur durch den Druck des Tieres nach vorne öffnen. Beim Rückwärtsgehen bzw. Verlassen des Stands öffnete sie sich nach hinten, so dass das Tier ohne Behinderung den Tränkestand verlassen konnte.

Tränkeautomat

Für die Untersuchungen wurde ein Stand Alone Tränkeautomat SA 2000 (TAP6-SA3-38-E2/400) der FA. FÖRSTER TECHNIK GMBH (D-Engen) zur Verfütterung von MAT-Tränke (siehe Kapitel 3.2.2.2) eingesetzt. Dieser verfügte über einen integrierten Prozessrechner und stand mit dem Zentralrechner im Büro des Kälberstalls in Verbindung. Das Programm des Tränkeautomaten wurde so eingestellt, dass alle Tiere jeweils am siebten Lebenstag eingestallt wurden. Ältere Tiere mussten auf der Kurve des Tränke- bzw. Kraftfutterplans nach rechts verschoben werden. Die Einstellung dieser sogenannten Korrekturtage ist jederzeit möglich und kann beliebig geändert werden. Dadurch wurde ein individuelles Abtränken und Absetzen von der Milch ermöglicht.

Für den Versuch wurde der Automat mit einem sogenannten Gleitzeitprogramm betrieben. Dadurch erhielten die Kälber stets eine frische, körperwarmer Tränke in kleinen Mengen zubereitet, wobei sie eine Mindestmenge von 2,5 l ansparen mussten, um ein erneutes Tränkerecht zu erhalten. Um ein Übersaufen bzw. -fressen durch zu hohe Ansparmengen zu vermeiden, wurden die Abrufmengen auf maximal 3 l/Besuch begrenzt. Beim Abruf der Maximalmenge, wurde der Anspruch für 2 Stunden gesperrt. Wenn ein Kalb bis zum Tageswechsel nicht die gesamte Tränkemenge abgerufen hatte bzw. abrufen konnte, verblieb eine Menge, die auf den nächsten Tag übertragen werden konnte (maximal 10 % der Tagesmenge). Dadurch war der Wert bei Tageswechsel nicht null, sondern entsprach der übertragenen Menge. Die Tränkemenge, die über dem Restmengenübertrag lag, wurde nicht auf den nächsten Tag übertragen und verfiel.

Betrat ein Kalb den Tränkestand und hatte es Tränkeanspruch, wurden 500 ml Heißwasser mit einer Anmischtemperatur von 41 °C in den Mixbecher gefüllt. Danach wurde MAT-Pulver (80-120 g/l Tränke) dazu dosiert. Nach dem Anmischen konnte das Tier umgehend die angerührte Portion über die 0,95 m (linke Stallseite) bzw. 2,32 m (rechts) lange Saugleitung mit einem Durchmesser vom 8 mm in den Nuckel saugen. Bei neu anzulernenden Kälbern diente die manuell bedienbare Tränkepumpe als Hilfe zum einfacheren Anlernen. Hatte das Tier seine abrufbare Menge aufgenommen oder hatte es

den Trinkvorgang vorzeitig beendet, wurde bei dem TA der Sauger nach unten weggeklappt und die Tränkvorrichtung durch einen Schieber von unten verschlossen. Dadurch sollten die Tiere den Tränkestand ohne lange zusätzliche Verweildauer nach dem Trinken verlassen. Das Reinigungsprogramm des TAen wurde so eingestellt, dass die Milch führenden Leitungen und der Nuckel drei Mal täglich mit Druckluft und Wasser gereinigt wurden. Zusätzlich wurden dabei die Leitungen mit einer Laugenlösung gespült.

Der Automat verfügt über eine Autokalibrierung. Vor Inbetriebnahme wurde die Mixerwaage kalibriert und der Tara-Toleranzbereich auf ± 3 g festgelegt. Dabei wurden die elektronischen Signale der Wägezelle der Mixerwaage vom Prozessrechner in Gewichtsangaben umgerechnet, wobei der Umrechnungsfaktor (= Eichwertfaktor) bei einer Belastung von 500 g auf dem Becher ermittelt wurde. Vor jeder Wiegung des Heißwassers oder des MAT-Pulvers kalibrierte sich die Waage automatisch. Wurde der Wert der ausdosierten Menge über- oder unterschritten, arbeitete der Automat zwar weiter, aber es erschien eine Fehlermeldung. Zum Beheben dieser Ungenauigkeit musste die Mixerwaage manuell kalibriert werden. Da die Kalibrierung automatisch in Bezug auf den Verbrauch von Wasser oder MAT erfolgen sollte, betrug der Standardwert für einen Kalibrierstart 100 l Wasser oder 20 kg MAT, mit einer Kalibriertoleranz von ± 15 %. Das System kalibrierte sich dann je nach Einstellung anhand von zwei bis vier Portionen und errechnete den Kalibrierwert aus dem Durchschnittswert. Zusätzlich wurde nach 50 Portionen automatisch eine Portionsprüfung vorgenommen.

Zur erleichterten Tierüberwachung gibt das System Alarmmeldungen aus, falls der eingestellte Grenzwert der Parameter Sauggeschwindigkeit, Anzahl an Abbrüchen oder Abrufmengen unter- bzw. überschritten wird. Dabei wird bezüglich der Sauggeschwindigkeit der aktuelle Tageswert in Relation zum Mittelwert der letzten drei Tage gesetzt. Lag der so ermittelte Wert unter 70 %, wurde eine Alarmmeldung am TA und am PC ersichtlich. Als Tränkeabbruch galt, wenn ein Tier den Tränkestand verließ, obwohl noch Milch im Mixbecher vorhanden war bzw. wenn das Tier länger als zwei Minuten zum Verzehr der Portion benötigte. Der Standardwert für Abbrüche lag bei null. Ein Alarm wurde diesbezüglich gemeldet, sofern das Tier seine Portion drei Mal nicht vollständig verzehrte, obwohl es im Tränkestand war. Rief ein Kalb weniger als 80 % der täglichen Milchmenge ab, wurde ebenfalls ein Alarm angezeigt. Um die Kälber besser managen zu können, wurde in der Software zusätzlich zu der Anzahl an Tagen, die das Tier bereits am Automaten getränkt wurde, auch die Anzahl der Tage bis zum Planende, also bis zum Absetzen von der Milch angegeben. Dieser Wert konnte individuell verändert werden, so dass dem Tier ein Milchezschlag verabreicht werden konnte.

Fiebermesssystem

Um zu Versuchszwecken regelmäßig die Körpertemperatur der Tiere ermitteln zu können, wurde anstatt eines konventionellen Lochnuckels ein speziell von der FA. FÖRSTER-

TECHNIK GMBH (D-Engen) entwickelter Doppelkammernuckel mit integriertem automatischem Fiebermesssystem (siehe Kapitel 3.2.2.3) verwendet. In der oberen Nuckelkammer floss die Milch, in der unteren war eine Heiz- und Temperaturmesssensorik. Der dafür benötigte Sensor befand sich auf der Unterseite des Nuckels. Über die Messung der Zungentemperatur während des Trinkens wurde auf die Körpertemperatur der Kälber geschlossen. Um eine rasche und genaue Erfassung zu ermöglichen, wurde der Nuckel auf den „Sollwert Standby“ von 41 °C erwärmt, damit die langwierige Phase des Anwärmens auf normale Körpertemperatur entfällt und die Messung umgehend begonnen werden konnte. Sobald ein Kalb mit Tränkeanrecht den Stand betrat, schaltete sich die Heizung aus. Anschließend begann der Messvorgang und endete erfolgreich, falls das Tier lange genug gesaugt hatte, um einen stabilen Temperaturwert zu erreichen. Der Temperaturwert wurde abgespeichert und parallel dazu direkt am Display des Tränkeautomaten angezeigt. Es erfolgte eine Fieber-Alarmmeldung, falls das Tier den eingegebenen Schwellenwert von 39,5 °C überschritt. Konnte keine erfolgreiche Messung durchgeführt werden bzw. war das Tier nicht lange genug am Nuckel, wurde die Temperatur 0,0 °C angezeigt.

Teiltierwaage

Eine am Boden im Tränkestand befestigte Halbwaage (Vorderfußwaage) der FA. DELAVAL (D-Glinde) erfasste das Tiergewicht automatisch während der Zeit im Tränkestand (siehe Kapitel 3.2.2.4). Es wurden bis zu 255 Wiegungen während des Tränkvorgangs je Besuch durchgeführt, so dass in der Datenbank ein Durchschnittswert gespeichert werden konnte. Das so ermittelte Teilgewicht wurde von der Wägezelle über eine Datenleitung an den Prozessrechner des TA weitergeleitet, mit einem firmeninternen Kalibrierfaktor auf das Ganzkörpergewicht hochgerechnet und ebenfalls gesichert und angezeigt.

Nach der Installation der Teilwaage mussten bereits während der Vorversuche diverse Modifikationen im Tränkestand vorgenommen werden, da die Tiere sich beim Betreten der Waage oft im Zwischenklauenspalt verletzten. Dazu wurden an den drei die Waage umgebenden Wänden Ableitbleche montiert, so dass die Tiere nicht mehr auf die Waagschalenkante treten konnten.

4.1.2.3 Kraftfutterautomat

Für die vorliegenden Untersuchungen wurde ein KF-Automat der FA. FÖRSTER-TECHNIK GMBH (D-Engen) (KF A3-MA2) verwendet (siehe Kapitel 3.2.2.5). Da der Kraftfutterautomat mit dem TA gekoppelt war, konnten die Tiere durch das einmalige automatische Einlesen der Transponder am Tränkestand für den Tränke- und Kraftfutterautomaten freigeschaltet werden. Die am Kraftfutterautomaten abrufbare Menge an pelletiertem Kraftfutter wurde der zugeteilten Milchmenge und dem Alter des Tieres planmäßig angepasst. Um zu verhindern, dass auch ältere Kälber ihre tägliche KF-Gabe in sehr geringen Portionen abrufen, wurde die Mindestansparmenge auf 10 % der Tagesmenge

festgelegt. Damit die Tiere auch keine ernährungsphysiologisch ungünstig zu bewertenden Mengen aufnehmen konnten, wurde die maximal abrufbare Menge auf 50 % der Tagesration begrenzt. Maximal 10 % der täglich angebotenen KF-Menge konnten auf den nächsten Tag übertragen werden. Die über diesem Betrag liegende Menge wurde nicht übertragen und verfiel. Die abgerufene Kraftfuttermenge und die Anzahl an Besuchen (mit und ohne Anrecht auf KF) wurden in der Datenbank gespeichert. Auch beim KF-Abruf wurde ein Alarmschwellenwert vorgegeben. Bei einem Abruf von unter 70 % wurde für den entsprechenden Tag ein Tagesalarm ausgegeben.

4.1.2.4 Trinkwassermesssystem

Einen wichtigen Teil der Versuchsanstellung zur tierbezogenen Datenerfassung stellte die Aufzeichnung der Trinkwasseraufnahme dar. Dazu wurde im Fütterungsbereich jedes Abteils das Automatische Trinkwassermesssystem (ATS) der FA. FÖRSTER-TECHNIK GMBH (D-Engen) (siehe Kapitel 3.2.2.6) installiert. Da die Wasseraufnahme während des Versuchs nicht begrenzt war, konnten die Tiere *ad libitum* Trinkwasser abrufen. Kommt ein Kalb in die Lesereichweite der Antenne und die Trogschale ist leer, wird von unten Wasser in die Schale eingefüllt. Als Trinkwasser wurde das Leitungswasser des Versuchsbetriebes verwendet, welches nicht vorgewärmt war. Hatte das Tier das gesamte Wasser aufgenommen, wurde nach 40 ms Einschaltverzögerung abermals eine definierte Menge (altersabhängig 50 bzw. 100 ml) eingelassen. Die Einschaltverzögerung sollte Restmengen verhindern helfen. Ein Wiederauffüllen des Beckens geschah so lange, bis sich das Tier außer Antennenreichweite begab, die maximale Menge von 5 l je Besuch erreicht war oder eine Restmenge in der Trinkschale verblieb. Diese Restmenge wurde nicht erfasst. Das Tier konnte pro Besuch maximal fünf Liter Wasser aufnehmen, anschließend erfolgte eine zeitliche Sperre. Die anfallenden Daten wurden in die Datenbank übertragen und konnten somit tierindividuell kontrolliert werden.

4.1.2.5 Grundfutterwiegetrog

Um die vom einzelnen Tier aufgenommene Heumenge erfassen zu können, wurden in Zusammenarbeit mit der BAYERISCHEN LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL, Freising-Weihenstephan) für die Bullenmast verwendete Grundfutterwiegetröge (siehe Kapitel 3.2.2.7) mit entsprechend feinfühligem Sensorik ausgestattet und für Kälber umkonstruiert (Abb. 6). Damit ein Kalb die Futterschale erreichen konnte, mussten die verriegelbaren Zugangstore entfernt werden. So war eine individuelle restriktive Fütterung nicht mehr möglich. Außerdem wurde der Krippendurchgang auf 400 mm verringert und die Zugangsbreite der Krippe auf 190 mm verengt, um zu verhindern, dass kleine Kälber durch den Rahmen in den Trog springen (Abb. 7). Die Nutzlast und das Troggewicht wurden verringert, um den Einbau empfindlicherer Wägezellen (je zwei Wägezellen des Typs

Z6C3/50 kg) zu ermöglichen. Es wurde eine Bruttolast von 100 kg bei einer Genauigkeit von 33 g und einer Auflösung von 10 g erreicht.

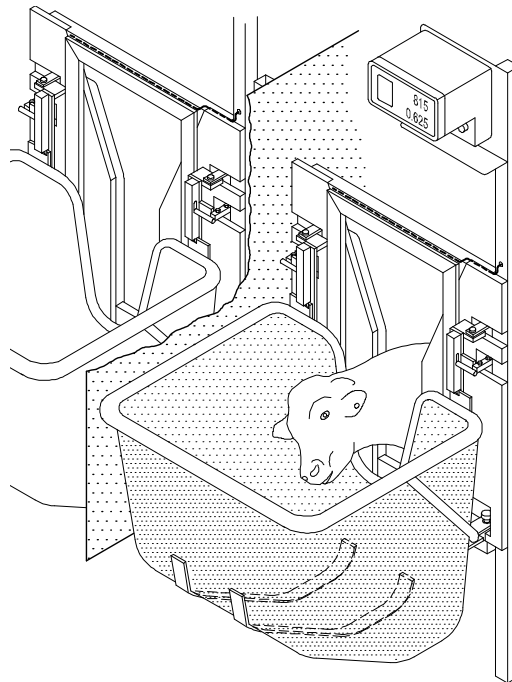


Abbildung 6: Kalb am Grundfutterwiegetrog.

Im Gegensatz zu den bei der Bullenhaltung eingesetzten Stabantennen wurden in den vorliegenden Untersuchungen empfindliche Rahmenantennen für die Tieridentifikation verwendet, um die Anwesenheit der Tiere während des gesamten Aufenthalts am Futtertrog (Zugang, Fressen, Abgang) zu erfassen.

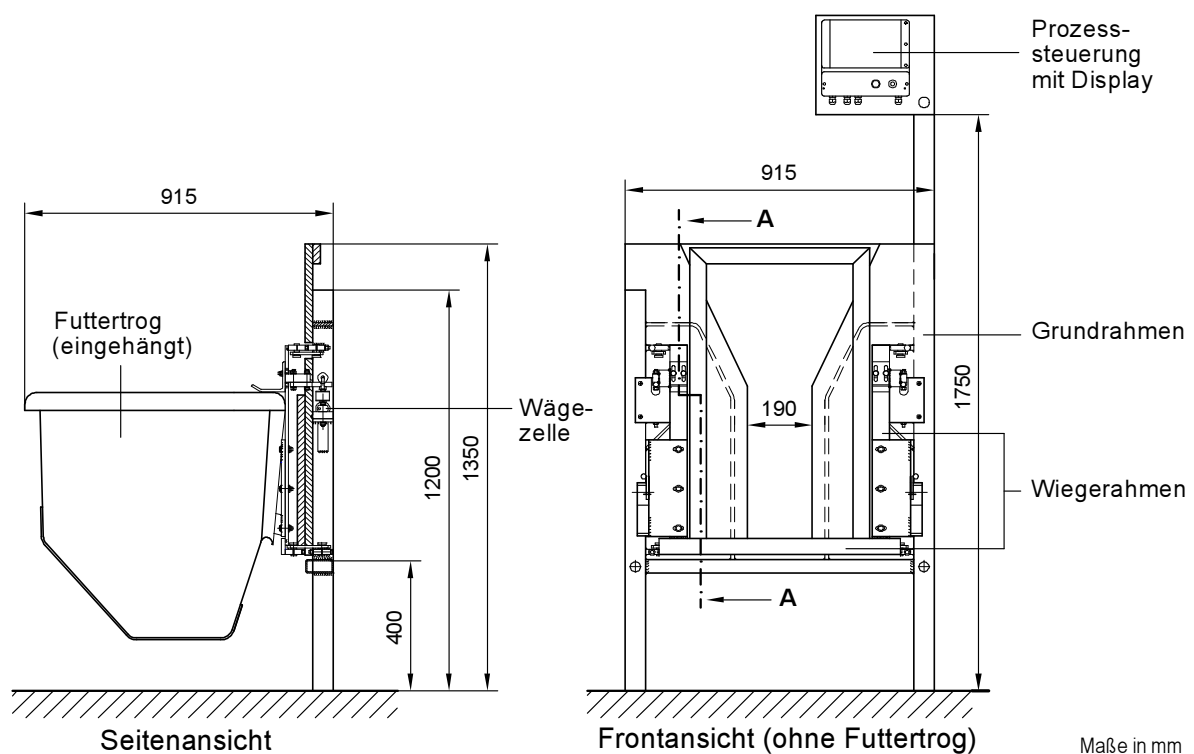


Abbildung 7: Grundfutterstand für Kälber mit Bemaßung.

Des Weiteren wurden Abschirmungsbleche zwischen den Trögen montiert, um Fehlerfassungen von Tieren im Nachbartrog zu verhindern (siehe Abb. 4 und 5). Abgesehen von den Änderungen am Trog wurde auch der Antrittsbereich verlängert und verengt, so dass die Tiere ausschließlich einzeln an den Trog gelangten. Zudem wurde der Softwareparameter Haltezeit zur Besuchserfassung an die bauseitigen Veränderungen angepasst. Eine Haltezeit von 20 Sekunden bedeutet, dass sich der Transponder eines Tieres auch kurze Zeit außerhalb des lesbaren Antennenbereichs aufhalten kann, z.B. durch Schnüffeln am Boden vor dem Trog oder Fressen am Trogboden, ohne dass ein Besuch beendet bzw. beim Kopfhoben wieder ein neuer Besuch registriert wird. Damit konnte eine verfälschte Besuchshäufigkeit weitgehend vermieden werden.

Im Stall wurden insgesamt 12 Grundfutterwiegetröge eingebaut. Da aber aufgrund der geringen Tieranzahl die Abteile abgeteilt wurden (siehe Abb. 3), konnten während des Versuchs auf jeder Stallseite drei Einheiten von den Kälbern besucht werden. Anhand der Wiegetröge wurden die Mengen an aufgenommenem Grundfutter mittels Differenzmessung erfasst. Wenn ein Tier durch Betreten des Standes in die Reichweite der Antenne kam, wurde das Gewicht des Futtevvorratbehälters durch die Wägezellen erfasst, ebenso, wenn das Tier den Stand wieder verließ. Aus der Differenz der beiden Maßgewichte wurde die tierindividuell aufgenommene Heumenge ermittelt.

Die einzelnen Transponder mussten für die Erfassung separat eingelesen werden, da die Wiegetröge zwar direkt mit dem Zentralrechner, nicht jedoch mit dem TA verbunden waren. Jede der Wiegestationen verfügte über einen eigenen Prozessrechner, was bei technischen Schwierigkeiten einen Ausfall aller Wiegetröge verhinderte. Außerdem war es dadurch möglich, dass die Daten jeder Station am jeweiligen Prozessrechner einige Tage lang zwischengespeichert werden konnten. Jede Veränderung in Kombination mit den Tiererkennungsdaten sowie der Zeitangabe wurde als Datensatz am Zentralrechner gespeichert.

4.1.2.6 Betriebscomputer und Software

Als Datenaufzeichnungsgerät diente ein AMD Athlon(tm) XP 2500+ PC (1,84 GHz) mit dem System „Microsoft Windows XP Professional[®]“, Version 2002, welcher im Büro des Kälberstalls untergebracht war.

Die über den Tränkeautomaten erhaltenen Daten der Tränke- und KF-Verabreichung sowie das Tiergewicht wurden vom Prozessrechner TA übermittelt und durch die Software „Kalbmanager“ (Version 7.05, © 1996 FÖRSTER-TECHNIK GMBH, D-Engen) erfasst. Diese Daten, die Tiertemperatur und die Wasseraufnahme, welche über einen zweiten Prozessrechner erfolgte, wurden zusammen mit dem Datum und der Uhrzeit für jedes Tier an die „WIN_Institut“-Anwendung (VO2.15, CADR:15, FÖRSTER-TECHNIK GMBH, D-Engen) weiter geleitet und in einer Access-Datenbank gespeichert.

Die Daten der Wiegetröge wurden mit der Software „TIM“ (Version 2.6, Database Version 3.1, © 2005 LANDTECHNIK WEIHENSTEPHAN, D-Freising) aufgezeichnet und ebenfalls in einer Access-Datenbank abgelegt.

4.1.2.7 Videotechnik

Um das Verhalten der Tiere während des Tages zu beobachten, wurden 2 digitale CCD Kameras (Panasonic, Typ WV-BP550 und WV-BP510, schwarz-weiß) in den Abteilecken montiert. Die Kameras wurden an einen 4-Quadranten Multiplexer (Dedicated Micros, Typ 4 Plex) angeschlossen, welcher die Daten aufzeichnete, und die Bilder an einem analogen Videorekorder (Panasonic, Typ NV-FS88 HQ) visuell ausgewertet. Der Multiplexer ermöglichte die gleichzeitige Aufzeichnung und auch Wiedergabe von bis zu 8 Kameras. Im Videobild wurde für jeden Kanal bzw. jede Kamera auch Datum und Uhrzeit bei der Aufnahme eingeblendet, die zur späteren Auswertung nötig waren. Dadurch konnte auch die Richtigkeit der Zuordnung der Besuche an den Stationen und vor allem auch abnormale (völlig überhöhte oder negative) Werte bei der Heuaufnahme überprüft werden.

Die Aufnahmezeit war von 6:00 bis 19:00 Uhr eingestellt, da zum Aufzeichnen von auswertbaren Bildern Tageslicht oder zumindest Stalllicht benötigt wurde.

4.1.2.8 Klimadatenerfassung

Zur Dokumentation des Raumklimas wurden HYGROLOG HW3-Datenlogger der FA. ROTRONIC AG (CH-Bassersdorf) in beiden Stallabteilen in ca. 150 cm Höhe über der Liegefläche im Tierbereich installiert. Damit konnte alle 5 Minuten ein Wert für die Luftfeuchte und Temperatur gespeichert werden, um den Witterungseinfluss bei der Datenanalyse mit einbeziehen zu können. Das Messsystem des HYGROLOG war so konzipiert, dass der Logger nur alle "Intervallzeiten" für ein paar Sekunden aktiv war, und auch Feuchte und Temperatur gemessen wurde. Zwischen den Messzeiten war der Logger im Sleepmodus und konnte so keine Veränderungen der Messwerte registrieren. Alle Einstellungen des Loggers waren somit intervallzeitsynchron. Die Sensoren maßen Werte von 0 bis 100 % relativer Feuchte (rF) und Temperaturen von -10 bis 50 °C. Die Genauigkeit bei 23 °C liegt laut Hersteller bei $\pm 1,5$ % bei rF bzw. $\pm 0,3$ K bei der Temperaturerfassung, die Reproduzierbarkeit bei $< 0,5$ % bei rF bzw. $< 0,1$ K. Die Energieversorgung erfolgte über 3 Batterien (1,5 V Alkaline). Der Datenspeicher konnte bis zu 5400 Messwertpaare (Datum, Zeit, Temperatur, Feuchte) aufnehmen. Das Gerät wurde mit einem Adapter-Kabel über eine RS232-Schnittstelle am Betriebsrechner im Stallbüro ausgelesen und die Daten dort abgespeichert.

Damit keine Datenlücken entstanden, wurden die Datenlogger spätestens alle 14 Tage ausgelesen. Zur Auswertung wurde von den täglich 259 bis 288 dokumentierten Messungen für die rF und Temperatur der Tagesmittelwert errechnet.

4.1.3 Tiere

Für die Untersuchungen wurden ausschließlich Kälber aus der Nachzucht der Versuchsstation verwendet. Während der Vorversuche waren insgesamt 17 Tiere aufgestellt. In den Hauptversuch kamen jeweils 33 weibliche und 33 männliche Nachzuchtkälber. Die Kreuzungstiere, überwiegend German Holstein Frisian x German Red Holstein Frisian, waren beim Einstellen $8,1 \pm 1,3$ d alt. Das Einstallalter variierte vom 7. bis 17. Lebenstag (LT). Die Kälber wurden in Abhängigkeit ihres Alters auf die beiden Stallabteile verteilt, welche nacheinander mit bis zu 20 Tieren aufgefüllt wurden (Abb. A1). Die zeitlich gestreute Geburtenhäufigkeit bedingte zum einen den langen Untersuchungszeitraum von 33 Wochen und zum anderen eine ungleichmäßige Tieranzahl in den Stallabteilen. Zudem wurden im Laufe des Versuches 6 weibliche und 33 männliche Tiere verschiedenen Alters für anatomische Untersuchungen vorzeitig geschlachtet. Das Ausstallalter variierte dadurch zwischen dem 44. und dem 106. LT, wobei in die Auswertung die Daten bis einschließlich zum 98. LT bzw. 105. LT eingingen. Aus den Stammdaten der Tiere mit den Daten der Ein- und Ausstallung im Anhang in Tabelle A1 und den Abbildung A1 und A2 geht hervor, dass einerseits 22 weibliche Tiere mindestens bis zum 99. LT im Versuch waren, während andererseits nur 2 männliche Tiere eine vergleichbar lange Versuchszeit erbrachten.

Während des Versuchs verendete ein Kalb (Nr. 582) kurz nach dessen Einstellung aufgrund eines Unfalls. Die Daten dieses Tieres gingen nicht in die Auswertung mit ein. Das Kalb 818 wurde vom 19.-23.05.2006 aus der Gruppe genommen, da es am Nabelbruch operiert wurde. Am 19.05.2006 erkrankte das erste Kalb an Kokzidien. Daraufhin wurde die gesamte Gruppe prophylaktisch mit Sulfonadimidin[®] (5 Tage lang je 5 g oral) versorgt. Veterinärmedizinische Eingriffe und Erstbehandlungen wurden durch den Betriebstierarzt durchgeführt, die Weiterbehandlung übernahm meist das Betriebspersonal. Es waren folgende Medikamente im Einsatz: Baytril[®], Gentamycin[®], Lincospectin[®], Penicillin[®], Nufloor[®], Metacam[®], Bisolvon[®], Draxxin[®] und Buscopan[®]. Am 26.05.2006 und 30.08.2006 wurden alle weiblichen Tiere enthornt und am 10.10.2006 geimpft.

4.1.4 Fütterungsregime

Die Kälber wurden nach einer einwöchigen Kolostral- und Milchaustauschergewöhnungsphase in die Versuchsgruppe eingestallt. Als Futtermittel für die Versuchstiere kamen Milchaustauscher (MAT), Kraftfutter (KF) und Heu zum Einsatz. MAT und KF wurden rationiert angeboten, Wasser und Heu wurden *ad libitum* zur Verfügung gestellt. Es wurde ein für alle Tiere identischer Tränke- und Kraftfutterplan im PC hinterlegt, welcher in Absprache mit dem Betriebsleiter und Prof. Schwarz (Fachgebiet Tierernährung, TUM) erstellt wurde.

4.1.4.1 Milchtränke

Die Milchtränke wurde mit Hilfe des Tränkeautomaten verabreicht. Als Milchaustauscher kam das Produkt „Bullilac Prostart[®]“ (21 % Rohprotein, 18 % Rohfett, 18 % Magermilchpulver) der INNTALER MISCHFUTTER GMBH & CO. KG (D-Landshut) zum Einsatz (weitere Inhaltsstoffe siehe Tab. A2). Für weitere Berechnungen wurde ein TS-Gehalt von 94 % unterstellt.

Nach dem Einstellen bis zum 14. LT erhielt jedes Tier bis zu 6 l MAT-Tränke am Tag. Bis zum 21. LT wurde die täglich abrufbare Tränkemenge kontinuierlich auf 8 l erhöht (Abb. 8). Es folgte eine dreiwöchige Phase mit maximal 8 l/d. Ab dem 42. LT wurde schrittweise bis zum 56. LT auf 6 l/d und schließlich bis zum 70. LT auf maximal 2,5 l/d abgetränkt. Nach dem 70. LT konnten die Tiere laut Tränkeplan keine MAT-Tränke mehr abrufen (siehe Tab. A3). Die Konzentration der Tränke wurde von anfangs 90 g MAT/l Wasser bis zum 18. LT kontinuierlich auf 120 g/l erhöht und dann bis zum 70. LT beibehalten. In der zu Grunde liegenden Untersuchung wurden die Tiere somit nach Plan insgesamt 63 d mit MAT-Tränke versorgt, wobei jedes Tier in diesem Zeitraum (8.-70. LT) maximal 415 l Tränke und 46 kg MAT-TS aufnehmen konnte.

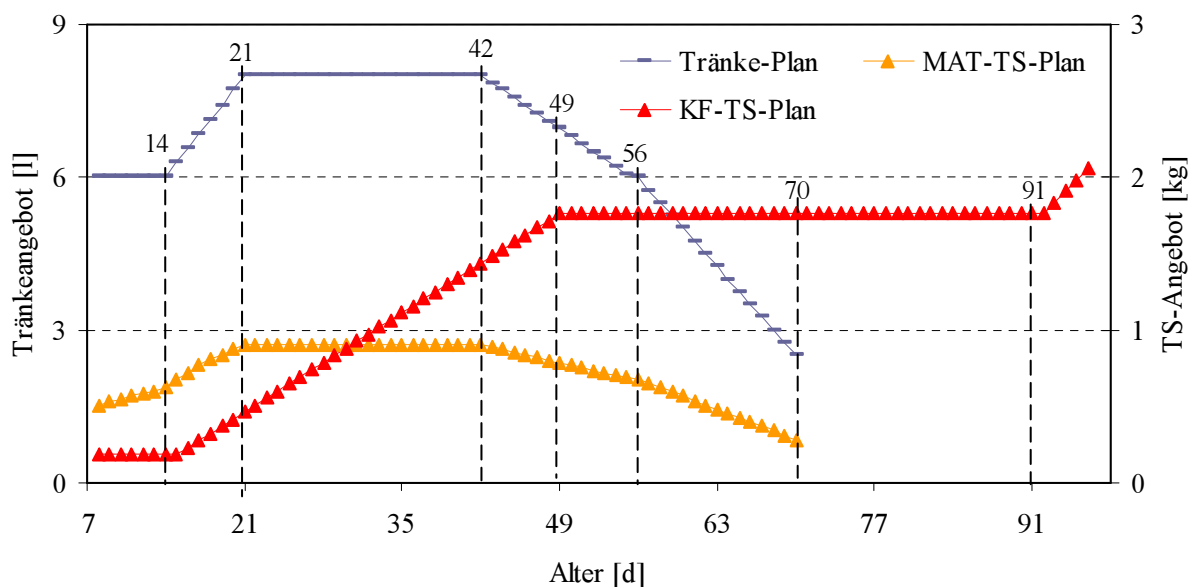


Abbildung 8: Tränke- und Kraftfutterplan für Kälber in Abhängigkeit des Alters.

Beim Einstellen in die Gruppe erfolgte gegebenenfalls eine Korrektur, um das Kalb entsprechend seinem Alter in den Tränkeplan einzugliedern. Die gesamte Tränkemenge pro Tag wurde nach dem vorgegebenen Gleitzeitprogramm gleichmäßig über den Tag verteilt, wobei am Automaten neben der Maximalmenge je Tag auch eine Mindestansparmenge und ein Restmengenübertrag auf den nächsten Tag eingegeben werden konnte. Die Mindestansparmenge wurde in Abhängigkeit des Alters bzw. der Tagesmenge vorgegeben (Tab. A3). Die auf den nächsten Tag übertragbare Tränkemenge belief sich auf 10 % der Tagesration. Dies ermöglichte es, die Tiere mit physiologisch verträglichen Tränkemengen zu versorgen, ohne fixe Fütterungszeiten festlegen zu müssen.

Eine Alarmmeldung für das jeweilige Tier erschien, falls am aktuellen Tag die abgerufene Tränkemenge unter 80 % lag, die Sauggeschwindigkeit unter 70 % fiel oder die Anzahl an Tränkeabbrüche auf mindestens 3 stieg.

4.1.4.2 Kraftfutter

Als Kraftfutter wurde das Produkt „KS 182 PELL[®]“ der RAIFFEISEN KRAFTFUTTERWERKE SÜD GMBH (D-Würzburg) verfüttert. Es handelte sich hierbei um ein Ergänzungsfuttermittel für Aufzuchtkälber (Kälberaufzuchtfutter A) mit einem Rohproteinanteil von 18 % und 2,8 % Rohfett (weitere Inhaltsstoffe siehe Tab. A4). In die Auswertungen ging ein Anteil von 88 % TS ein.

Das KF wurde den Tieren über einen KF-Abrufautomaten angeboten. Der am PC hinterlegte KF-Plan sah vor, dass die Tiere bis zum 14. LT pelletiertes Kraftfutter bis zu einer Menge von 0,18 kg Trockensubstanz (TS) am Tag aufnehmen konnten (siehe Abb. 8). Bis zum 49. Tag stieg die täglich abrufbare KF-Menge auf 1,76 kg TS an und wurde bis zum 91. LT beibehalten (Tab. A5). Zur weiteren Erfassung der aufgenommenen Wasser-, Kraft- und Grundfuttermenge blieben die Kälber noch bis zu fünf Wochen im System. Um die wachsenden Tiere mit ausreichend Energie zu versorgen, wurde die maximal abrufbare KF-Menge anschließend bis zum 98. LT kontinuierlich auf 2,20 kg TS erhöht und dann bis zum Ausstallen (max. 105. LT) konstant gehalten. Somit konnte ein Kalb im Zeitraum vom 8.-98. LT max. 123,0 kg KF-TS aufnehmen. Ebenso wie beim Tränkeplan wurde manuell ein Korrekturtag eingetragen, wenn ein jüngeres oder älteres Tier angemeldet wurde. Die Besuchs- und Verhaltensdaten wurden am PC registriert. Um Raub von Kraftfutter möglichst zu unterbinden, wurden die ausdosierten Mengen an das Alter bzw. an die laut Plan abrufbare Tagesmenge adaptiert. Die ausdosierte Kraftfuttermenge pro Besuch stieg im Versuchsverlauf an und betrug maximal 50 % der Tagesmenge. Bedingt durch einen veränderten KF-Verzehr erschien für das jeweilige Tier eine Alarmmeldung, wenn die KF-Tagesration nur zu 70 % abgeholt wurde.

4.1.4.3 Heu

Grundfutter stand für die vorliegende Untersuchung als in Großballen gepresstes Heu des Versuchsbetriebs zur Verfügung. Zur Berechnung der Aufnahmemengen wurde ein Gehalt von 86 % TS [136] verwendet. Das Heu wurde den Kälbern in insgesamt sechs Wiegetrögen (in jedem Stallabteil drei Tröge) *ad libitum* angeboten, wobei die Aufnahmemenge jedes Besuchs erfasst wurde.

4.1.4.4 Trinkwasser

Die Trinkwasserversorgung erfolgte in den Gruppenbuchten ausschließlich über das ATS. Hier konnten die Tiere ab dem Einstallen zu jeder Zeit *ad libitum* frisches, sauberes Wasser aufnehmen. Um Restmengen und somit auch Wasserraub möglichst gering zu halten, wurde

beim Trinkwasserautomaten die je Besuch bzw. Erkennung ausdosierte Menge dem Alter des Tieres angepasst (50 bzw. 100 ml je Besuch). Die Aufnahmemengen wurden tierindividuell erfasst und in der Access-Datenbank abgelegt.

4.2 Datenerhebung und –management

Die Vorversuche dienten der Erprobung der verschiedenen Fütterungs- und Monitoringkomponenten hinsichtlich Praxiseinsatz, Annahme durch die Tiere, Funktionssicherheit und Genauigkeit der Datenerfassung. Sie gliederten sich in drei sich zeitlich überschneidende Perioden mit unterschiedlicher Tieranzahl. Die weiblichen und männlichen Tiere der betriebseigenen Nachzucht waren dabei in die beiden Versuchsabteile eingestallt. Die erste Vorversuchsperiode dauerte vom 20.01.-20.02.06 mit fünf Tieren im linken Stallabteil, die zweite vom 20.01.-16.03.06 mit ebenfalls fünf Kälbern auf der rechten Seite und die dritte vom 20.02.-08.05.06 mit sieben Tieren wiederum auf der linken Seite. Somit wurden die Systeme mit insgesamt 17 Tieren über 15 Wochen hinweg erprobt, wobei während der letzten Periode im gegenüberliegenden Abteil bereits parallel der Hauptversuch begann.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden die Daten der Fütterungs- und Monitoringtechnik automatisch erfasst, wohingegen Referenzmessungen manuell erhoben wurden. Bei Letzteren handelt es sich sowohl um Daten zur Bestimmung der Messgenauigkeit der Technik, als auch um am Tier erhobene Daten.

4.2.1 Automatische Datenerfassung

Die Dauer der Datenaufzeichnung bzw. des Hauptversuchszeitraumes lag bei 234 Tagen. Automatisch erfasst und am PC abgespeichert wurde die Information der jeweils beiden Tränkeautomaten mit den Fiebermesssystemen und den Vorderfußwaagen, des KF-Automaten, des Wasserautomaten und der insgesamt sechs während des Versuchs verwendeten Wiegetröge. Die registrierten Daten der verschiedenen Technologien wurden zusammen mit dem Datum, der Uhrzeit, der Tiernummer und der Sendernummer automatisch auf einen separaten PC übertragen und um 00:00 Uhr gesichert. Die an den Wiegetrögen erhobene Information wurde mit den Zuordnungsdaten täglich um 03:00 Uhr gesichert. Des Weiteren wurden die Luftfeuchtigkeit und die Raumtemperatur im Tierbereich automatisch erhoben und die Logger alle zwei Wochen manuell am PC ausgelesen und die Daten gespeichert.

Am 26.03.2006 wurde die Uhr des Tränkeautomaten der Sommerzeitrechnung des PCs angepasst und am 30.10.2006 der Winterzeitrechnung.

4.2.1.1 Datenfluss

Die zuvor beschriebenen Systeme sind über verschieden Datenleitungen mit einem PC verbunden (Abb. 9). Der PC ist die Hauptkontrolleinheit und das Informationszentrum des ganzen Systems. Das Herz des Systems ist eine Datenbank¹, in der die verschiedenen individuellen Kälberparameter gespeichert werden.

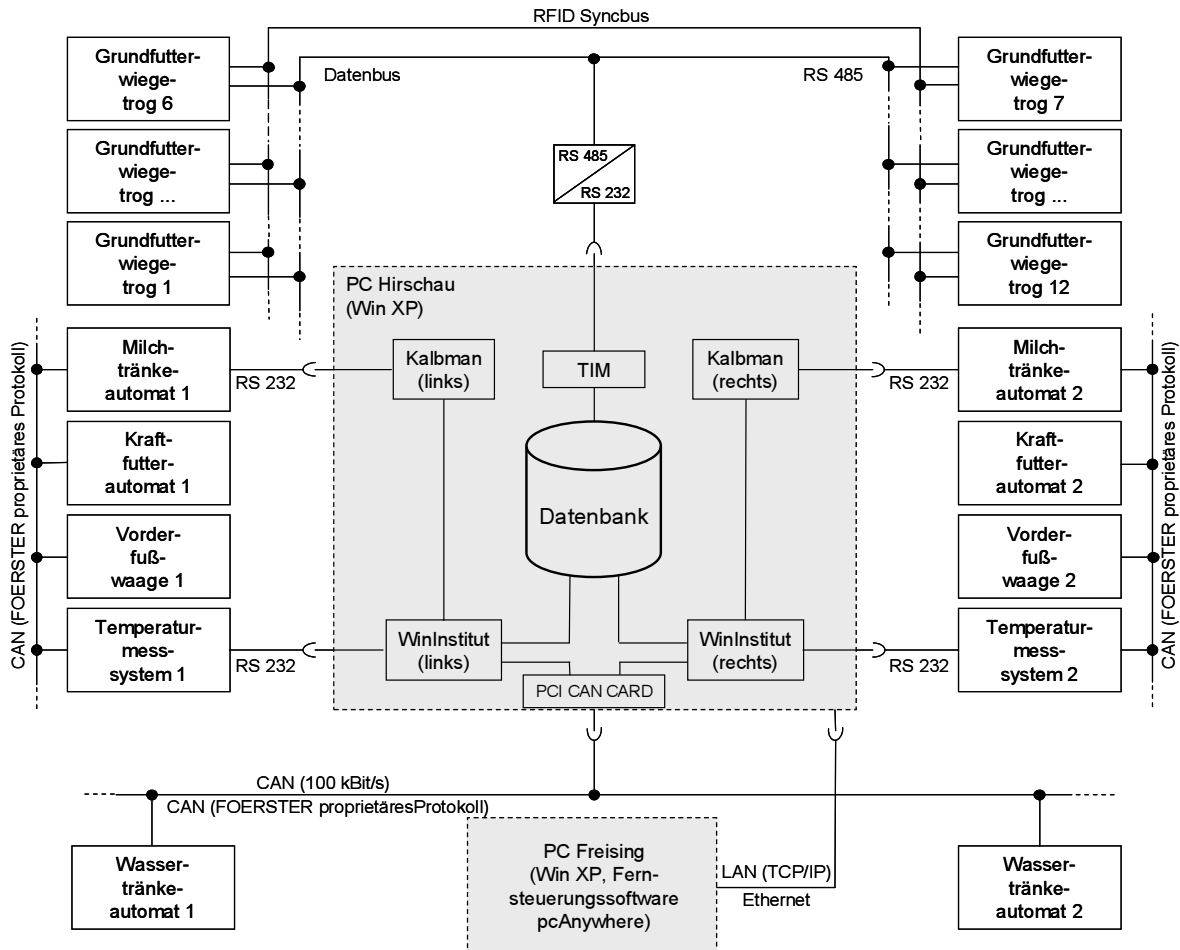


Abbildung 9: Datenübertragungswege der verschiedenen Systeme.

Sechs Programme werden zum Datenaustausch mit den verschiedenen Untersystemen, der Interaktion mit dem Benutzer und zur Weiterleitung der Informationen an die Datenbank benutzt. Die zwölf Grundfutterwiegetröge (sechs Stück in jedem Abteil) sind über RS485 Schnittstellen verbunden, welche nach RS232 konvertieren, die mit dem PC verbunden wird [250]. Die Verbindungsanwendung „TIM“ versorgt die Datenbank mit den individuellen Tierdaten der Heuaufnahme. Der Tränke- sowie der Kraftfutterautomat und die Vorderfußwaage sind untereinander über ein Controller Area Network Binary Unit System (CAN-BUS) verbunden, welches ein proprietäres Protokoll der FA. FÖRSTER-TECHNIK

¹ Aus Kapazitätsgründen wurden die während der Untersuchungen automatisch erfassten Daten anstelle der geplanten „Gesamt-Datenbank“ in einem Tabellenkalkulationsprogramm (Excel) zusammengeführt und algorithmisch verarbeitet.

GMBH nutzt. Zusätzlich ist der Tränkeautomat über eine RS232-Schnittstelle mit dem PC verbunden. In der „Kalbman“-Anwendung laufen alle Informationen und Daten des Tränke- und Kraftfutterautomaten sowie der Vorderfusswaage zusammen und werden an die „WIN_Institut“-Anwendung weitergeleitet. Eine weitere serielle Schnittstelle wird für die Verbindung des AFS mit dem PC und dort mit der Software „WIN_Institut“ verwendet. Auch hierbei werden alle Informationen der Datenbank zugeführt. Zum Datenaustausch des ATS mit dem PC wird ein CAN-BUS benötigt und eine Peripheral Component Interconnect CAN-Card (PCI-CAN-Card) als Schnittstelle. Die „WIN_Institut“-Anwendung agiert als Bedienerchnittstelle zur Kontrolle und Informationsweiterleitung zur Datenbank. Da sich die Versuchsstation 12 km von Freising entfernt befindet, wurde eine Software zur Fernsteuerung und Kontrolle via Internet installiert (pcAnywhere, FA. SYMANTEC, USA-California).

Für jede Aktion an einer bestimmten Station werden die verfügbaren Informationen, wie aufgenommene Milch-, Kraftfutter- und Heumenge, Zungentemperatur und Körpergewicht aufgezeichnet. Ebenso werden der Beginn und das Ende eines jeden Besuchs festgestellt. Dies bildet zusammen mit der Transpondernummer einen Datensatz, welcher in einer MS Access-Datenbank abgelegt wird. Damit ist eine lückenlose Dokumentation aller Prozesse gewährleistet.

Die Daten der Klimadatenlogger wurden mit der Software HW3 und einem Adapter-Kabel über eine RS232-Schnittstelle am Zentralrechner ausgelesen. Die Daten werden im Format „.ini“ exportiert und dann in einer Excel-Arbeitsmappe als Dateien abgelegt.

4.2.1.2 Automatisch erfasste Parameter

Die einzelnen erfassten und als Grundlage für die Auswertung verwendeten Messgrößen sind in Tabelle A6 in Abhängigkeit der jeweiligen Software zusammen gestellt.

Eine wichtige Voraussetzung für eine statistische Auswertung ist die genaue Beschreibung der Parameter, die am jeweiligen Stand erfasst wurden.

Die Aufnahmemenge ist die tatsächlich zubereitete bzw. abgegebene Menge pro Besuch. Sie entspricht aber nicht zwingend der real aufgenommenen Menge. Die Verweildauer an der jeweiligen Futterstation gibt die Dauer des Aufenthalts im Stand an. Die Erfassung begann, sobald das Tier Antennenkontakt hatte und endete, wenn kein Antennensignal mehr empfangen wurde. Die aktuelle Sauggeschwindigkeit wurde mit dem Mittelwert der letzten drei Tage (= 100 %) verglichen. Somit wurde die Saug-/Trinkgeschwindigkeit und die Aufnahme je Besuchszeit rechnerisch ermittelt aus den Aufnahmemengen und der Besuchsdauer. Allerdings muss bei den berechneten Geschwindigkeiten beachtet werden, dass die Tiere nicht immer zügig Futter aufnehmen oder auch pausieren, was die Aufnahme je Zeiteinheit numerisch verringert, obwohl sich die reale Aufnahmegeschwindigkeit nicht verändert. Ein Abbruch entstand, wenn ein Kalb den Stand verlassen hat, ohne dass der

Mixerbecher leer war oder wenn das Kalb nach zwei Minuten seine Portion nicht getrunken hatte. Wenn ein Kalb die Station innerhalb von zehn Sekunden betritt, nachdem ein anderes Kalb seinen Besuch abgebrochen hat, wird Raub registriert.

Anhand dieser automatisch erfassten Parameter konnten zusätzliche Messgrößen berechnet werden (Tab. A7), welche ein Vergleichen der Tiere untereinander möglich machen. Wie bereits in Kapitel 4.2.1.1 erläutert, wurden alle Daten der verschiedenen Messgrößen in Access-Datenbanken („Kalbman“, „WIN_Institut“, „TIM“) abgespeichert und anschließend für die Auswertung aufbereitet.

4.2.1.3 Datenaufbereitung

Sowohl der Tag des Einstellens als auch der letzte Tag eines Tieres im Versuch wurde von der Auswertung ausgeschlossen, da die Kälber zu unterschiedlichen Tageszeiten ein- und ausgestallt wurden und so der jeweilige Tag nicht maximal betrachtet werden konnte.

Erfasste Daten, bei denen die Technik Störungen aufwies oder die Wasser- oder Futteraufnahme der Tiere unfreiwillig eingeschränkt war gingen nicht in die Auswertung ein. Beispiele hierfür zeigt Tabelle A8. Ebenfalls bei der Auswertung nicht berücksichtigte Daten waren unvollständige Datensätze, d.h., dass ein Tier beim Kommen oder Gehen nicht von der Antenne erfasst wurde. Diese Datensätze waren in der Datenbank des Kalbmanagers mit + oder – gekennzeichnet, was bedeutet, dass diese Datenbereinigung nicht für die Wiegetröge gültig war. Aber auch hier gab es Fehlmessungen. Wurde ein Tier trotz der Abschirmungsbleche an zwei nebeneinander liegenden Wiegetrögen erkannt, wurde derjenige der zeitgleichen Besuche ohne registrierte Aufnahmemenge bei der Auswertung nicht berücksichtigt. Bereinigt wurden außerdem ernährungsphysiologisch nicht mögliche Aufnahmemengen an Heu (> 3 kg TS).

Fälschlicherweise wurden in der WIN_Institut-Software über das maximale Anrecht weit hinaus gehende oder aber negative Aufnahmen dokumentiert. So wurde z.B. 17 l Tränke oder 4 kg KF von einem Kalb aufgenommen. Dies war dann der Fall, wenn das Tier über Mitternacht einen Teil der Menge abrief und dies aufgrund der Tagwende falsch verrechnet wurde. Deswegen mussten alle Mitternachtsbesuche händisch korrigiert werden.

Die Wiegedaten wurden nicht bereinigt. Hier ist zu beachten, dass das Tiergewicht nur während der Tränkezeit aufgrund der mehrfachen täglichen Wiegungen beachtet werden sollte.

4.2.1.4 Auswertungsmethodik

Ziel dieser Auswertung ist es festzustellen, ob eine Abschätzung der Vormagenentwicklung über die Beobachtung der Veränderung der Futteraufnahme und von Verhaltensparametern generell möglich ist und welche Parameter sich dafür besonders eignen. Die erhobenen Daten sollen mit Werten aus der Literatur verglichen werden. Von besonderer Bedeutung

sind dabei einerseits die Aufnahmemengen und das dabei erfasste Tierverhalten hinsichtlich der Tieraktivität bzw. der Auslastung der Fütterungstechnik. Auch der Einfluss des Klimas soll untersucht werden. Andererseits sollen die ermittelten Daten der Pansenentwicklung Publikationswerten gegenübergestellt werden, um die Entwicklung der Kälber, die Beziehung der Zottenparameter untereinander und die Beeinflussung durch die Futteraufnahme herauszustellen.

Die Auswertung der erhaltenen Daten wurde mit Hilfe der Computerprogramme MS[®] Access 2003, MS[®] Excel 2003 sowie SAS[®] (SAS 9.1 TS 1M3, Windows-Version 5.1.2600) durchgeführt. Die Daten der Klimadatenlogger wurden im Format „.ini“ exportiert und in einer Excel-Arbeitsmappe abgelegt. Zur Auswertung wurde von den täglich 259 bis 288 dokumentierten Messungen für die rF und Temperatur der Tagesmittelwert errechnet.

Die Daten der Fütterungs- und Monitoringsysteme wurden, sortiert nach Datum und Uhrzeit, in einer Access-Datenbank gespeichert und konnten mit Abfragen z.B. nach Tiernummern geordnet werden. Diese Daten wurden in eine Excel-Tabelle überführt, in der auch die Berechnung weiterer Messgrößen stattfand und in die manuell die ermittelten Referenzdaten eingegeben wurden. Diese Tabelle war Grundlage für die Erstellung von weiteren Tabellen und Diagrammen. Alle Daten wurden in Abhängigkeit vom Alter, aber auch in Gruppen und geschlechtsbezogen ausgewertet.

Eine vergleichbare Basis für die Bewertung der Messgrößen wurde geschaffen, indem in die Auswertung Daten vom frühestens 8. LT (bei einer Stichprobenanzahl von mindestens 17 Tieren) bis spätestens zum 98. LT (Werte von 24 Tieren) eingingen. Die Erfassung der Werte am Tränkeautomaten war zwar an die Tränkeperiode gekoppelt und somit am 70. LT abgeschlossen, aber teilweise wurde die Tiertemperatur und die Lebendmasse weiter erfasst und in die Auswertung mit einbezogen.

Bei der Analyse wurden die absoluten Tageswerte der einzelnen Kälber als auch die Mittelwerte aller Kälber untereinander und mit dem Versuchplan (KF- und Tränkeaufnahme) verglichen. Ein Ausschnitt der Tagesdaten eines Kalbes befindet sich in Tabelle A9. Dabei wurden die Aufnahmen an Milchaustauscher, Kraftfutter und Heu als Trockensubstanzaufnahme zusammengefasst und TS-Gehalte von 88 % bei Kraftfutter, 94 % bei Milchaustauscher und 86 % bei Heu zu Grunde gelegt. Die abgerufenen Mengen an Milchtränke und Trinkwasser bilden zusammen mit den Wassergehalten der Aufnahmen von Milchaustauscher, Kraftfutter und Heu die Wasseraufnahme.

4.2.2 Referenzmessungen

Um die Aussagekraft der automatisch generierten Tierdaten richtig einordnen zu können, wurden während der vorliegenden Untersuchung Referenzdaten zur Bestimmung der Messgenauigkeit der Technik (Kapitel 5.1.2) und zur Feststellung der

Vormagenentwicklung (Beginn der Pansenkontraktion, diverse Pansenzottenparameter) erhoben (Tab. A10).

4.2.2.1 Bestimmung der Messgenauigkeit der Technik

Zur Bestimmung der Genauigkeit der zeitgesteuert abgegebenen Futtermengen und der erhobenen Messwerte wurden die einzelnen Futter- und Monitoringsysteme stichprobenartig getestet (siehe unten) und regelmäßig (ca. alle 14 Tage) über den ganzen Versuchszeitraum hinweg kalibriert. Kalibrieren bedeutet in diesem Fall, dem Programm vorzugeben, wie viel Wasser, MAT, KF und Spülmittel während einer bestimmten Zeit gefördert wird.

Tränkeautomat

Neben der automatischen Kalibrierung nach Verbrauch (bei Wasser nach 100 l, bei MAT-Pulver nach 20 kg) oder 50 Portionen, wurden am TA stichprobenartig manuelle Kontrollwiegungen der ausdosierten Mengen an Wasser (n = 105) und MAT-Pulver (n = 51) vorgenommen. Vor jeder Wiegung wurde dazu die Mixerwaage tariert. Nach der Trierung wurde eine Taraabweichung innerhalb des Toleranzbereiches ($\pm 15\%$) zugelassen. Die tatsächlich ausdosierten Mengen sollten bei Wasser 500 ml und bei MAT-Pulver 100 g betragen. Die am Automaten angezeigten Werte wurden manuell dokumentiert, die Differenz zum Sollwert automatisch erfasst und die Genauigkeit der Dosierung berechnet. Wenn der ermittelte Wert nach der erneuten Kalibrierung abermals vom eingegebenen Sollwert ab, musste der Kalibriervorgang solange wiederholt werden, bis die ausdosierte Menge dem Sollwert entsprach.

Kraftfutterautomat

Im Gegensatz zum Tränkeautomaten wird am KF-Automaten die abgegebene Menge nicht regelmäßig automatisch kalibriert. Dies erfolgte 36 Mal manuell im Zeitabstand von ca. 14 Tagen. Dazu musste die Futterschale gesäubert, an der KF-Station die Kalibriertaste gedrückt und gewartet werden, bis die Dosierung automatisch abschaltete. Die ausdosierte Menge, die dem Einstellwert der letzten Kalibrierung entsprechen sollte, wurde anschließend vollständig aus der KF-Schale entnommen und gewogen. Die Differenz zum Sollwert wurde für die weitere Berechnung verwendet. Nach der Eingabe des neuen Sollwertes, also der ausgewogenen Menge, musste der Vorgang so oft wiederholt werden, bis die ausdosierte der vorgegebenen Menge entsprach.

Trinkwassermesssystem

Das automatische Trinkwassermesssystem konnte ebenfalls nicht automatisch kalibriert werden. Deswegen wurde während des Versuchsdurchgangs mindestens alle zwei Wochen die ausdosierte Menge bestimmt (n = 76) und die Abweichung zum Sollwert (100 ml) dokumentiert, um die Genauigkeit der Dosierung ermitteln zu können. Dazu musste die

Zuführung zum Steigrohr, welches als Wasserspeicher dient, entfernt und die je Antennenimpuls ausdosierte Wassermenge in einem Messbecher aufgefangen werden. Dieser Istwert wurde mit dem Sollwert verglichen. Bei einer zu hohen Abweichung vom Sollwert wurde das Gerät entsprechend kalibriert, d.h. die Öffnungsdauer des Magnetventils, welche bei einem konstanten Wasserdruck unmittelbar die ausdosierte Menge bestimmt, wurde neu vorgegeben. Damit die nicht erfassbaren Wasserverluste möglichst gering gehalten werden konnten, wurde die ausdosierte Wassermenge auf 100 ml und die Einschaltverzögerung bis zur nächsten Ausdosierung auf 40 ms eingestellt. Bei einem Besuch konnte ein Kalb eine Höchstmenge von 5 l abrufen.

Wiegetrog

Die Genauigkeit der Gewichtserfassung wurde in der Trogmitte und an den Trogecken bei einer 10 kg-Last überprüft. Zur Bestimmung der Messgenauigkeit der sechs im Hauptversuch eingesetzten Wiegetröge, welche mit Heu gefüllt waren, wurden zudem regelmäßig undefinierte Heumengen ($n = 90$) entnommen und die am Wiegetrogprozessor angezeigte Mengendifferenz notiert. Anschließend wurde diese Heumenge auf einer Dezimalwaage gewogen und mitprotokolliert, um daraus die Genauigkeit des am Wiegetrog erfassten Gewichts zu berechnen. Um sicherzustellen, dass die Erkennung korrekt funktionierte, wurden Videoaufzeichnungen hinsichtlich Besuchsanzugs- und -endzeit ausgewertet und zur Magnetfeldabschirmung Bleche zwischen den Wiegetrögen montiert. Dadurch konnten Fehlbelegungen weitgehend ausgeschlossen werden.

Waage

Zur Überprüfung der Genauigkeit der im Tränkestand montierten Halbwaage wurden alle eingestellten Tiere wöchentlich (in der Regel am Mittwoch) zwischen 8 und 10 Uhr auf einer mobilen Tierwaage (FA. ASM SAUTNER GMBH, A-Gmunden, bis 300 kg) gewogen (insgesamt 659 Wiegungen). Das hierbei erfasste Gewicht wurde mit dem auf der Grundlage von bis zu 255 Einzelmessungen basierenden Vorderfuß-Tagesgewicht verglichen. Um die Werte der mobilen Digitalwaage als Referenz verwenden zu können, wurde diese vor Versuchsbeginn mit verschiedener Be- und Entlastung bis zu einem Gewicht von 168,0 kg getestet.

Temperaturmesssystem

Die Genauigkeitskontrolle des AFS erfolgte stichprobenartig ($n = 89$) parallel zur automatischen Aufzeichnung der Zungentemperatur während des Tränkevorgangs durch die Erfassung der rektalen Temperatur als Referenzwert. Die Kälber waren dadurch fixiert und wurden durch die Messung nicht beeinflusst. Zur Referenzwertbestimmung wurde ein wasserfestes Digital-Thermometer mit Signalton (Thermoval[®] rapid) der FA. HARTMANN (D-Heidenheim) verwendet. Dabei handelte es sich um ein Maximum-Thermometer mit einem Messbereich von 32 bis 43,9 °C und einer Messgenauigkeit von $\pm 0,1$ K für den

gesamten Messbereich bei einer Umgebungstemperatur von 10 bis 45 °C und 15-95 % Luftfeuchte (Herstellerangaben). Der Signalton für eine gültige Messung setzte ein, sobald ein Temperaturanstieg von kleiner als 0,03 K in 4 Sekunden verzeichnet wurde.

Zudem wurden die Messwerte dieses digitalen Thermometers im Labor mit jenen des Temperaturmessgeräts Kelvimat[®], Typ 3303 (FA. BURSTER, D-Gernsbach), im Messbereich von 32-44 °C verglichen.

Datenbearbeitung

Die automatisch erfassten Daten wurden in Abhängigkeit der jeweiligen Referenzmessung aufbereitet. Die manuell in Erfassungsbögen eingetragenen Werte wurden in MS[®] Excel 2003-Tabellen übertragen und entsprechend aufbereitet.

4.2.2.2 Feststellen des Beginns der Pansenkontraktion

Um Hinweise auf die Vormagenentwicklung des Kalbs zu bekommen, wurden im Rahmen der regelmäßigen medizinisch-diagnostischen Untersuchungen zudem die Pansenmotorik und Darmperistaltik (durch auskultieren) untersucht und die Pansengegend hinsichtlich einer Schichtung abgetastet (palpieren)².

Beim Auskultieren der durch die Pansenkontraktion hervorgerufenen Geräusche wird das Phonendoskop in der Mitte der linken Hungergrube und dann etwa in gleicher Höhe auch über der rippengestützten Bauchwand angesetzt. Dabei muss vor allem auf Art und Frequenz der Pansengeräusche geachtet werden. Diese sind beim gesunden Rind wegen des Durchmischens der Raufutterbestandteile, die an der zottigen Pansenwand entlang streichen, als periodisch wiederkehrendes (1-2/min), brausend anschwellendes und wieder abklingendes „Knisterrauschen“ zu vernehmen. Der noch unentwickelte Pansen von Milchkälbern wird ebenfalls mittels Schwingauskultation abgehört. Dabei muss der Untersucher die linke Bauchwand in Schwingungen versetzen und im ventralen und dorsalen Bereich des Pansens auskultieren.

Zur Palpation der Pansenschichtung wird die flache Hand in der linken Flanke aufgelegt und die Konsistenz des Inhaltes durch Eindrücken mit den Fingerspitzen geprüft. Der Pansen sollte sich durch das enthaltene Raufutter in der Mitte mäßig weich bis knetbar-teigig (Futterbrei) und ventral fluktuierend (flüssiger Inhalt) anfühlen. Bei jungen Kälbern wird der Pansen von lateral nach ventral her auf Vorhandensein von festem Inhalt palpiert [215].

In einem Datenblatt wurden die Ergebnisse mit dem zugehörigen Datum notiert und konnten anschließend aufs Tieralter bezogen ausgewertet werden. Sofern an drei

² Die Autorin erwarb sich die Kenntnis hierzu während des Kurses „Innere Medizin Kalb“ an der KLINIK FÜR WIEDERKÄUER, LEHRSTUHL FÜR INNERE MEDIZIN UND CHIRURGIE DER WIEDERKÄUER DER LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT MÜNCHEN.

aufeinanderfolgenden Tagen die Geräusche der Pansenmotorik vernommen werden konnten, galt der erste Tag als Beginn der Pansenkontraktion.

4.2.2.3 Schlachtungen von Tieren

Während des Versuchs wurden 6 weibliche und 33 männliche Tiere im Alter zwischen 49 und 105 bzw. 44 und 102 d geschlachtet (Tab. A11). Die Schlachtungen fanden am 28.06.2006 (n = 10), 09.08.2006 (n = 5), 19.09.2006 (n = 8), 11.10.2006 (n = 7) und am 08.11.2006 (n = 9) im Schlachthof der BAYERISCHEN LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT in D-Poing-Grub statt. Die Tiere wurden dem jeweiligen Schlachttermin bereits beim Einstellen zufällig zugeordnet, um Daten über den gesamten Versuchszeitraum und gleichmäßig über das Alter verteilt zu erhalten (Abb. A3). Die Kälber der ersten Schlachtung wurden einen Tag vor dem Schlachttermin zum Ausnüchtern nach Grub befördert. Die anderen 29 Kälber wurden am Morgen des Schlachttages transportiert. Um diesem Unterschied bei der Auswertung gerecht zu werden, wurde bei allen Schlachttieren das Alter und Gewicht des letzten vollen Tages im Versuch zum Vergleich herangezogen.

Die Tiere wurden am Schlachthof vom Transportfahrzeug abgeladen und zur Beruhigung in der Gruppe gelassen, bevor sie nacheinander mit einem Bolzenschuss betäubt und geschlachtet wurden. Dabei wurde das Lebengewicht am Haken zum Vergleich mit dem Gewicht des letzten vollen Tages im Versuch notiert.

Probenahme

Während des Schlachtvorgangs wurde der Verdauungstrakt entnommen und die Vormägen in Anlehnung an ähnliche Untersuchungen an der ETH ZÜRICH [216] untersucht. Dazu wurden Pansen und Haube vom restlichen Verdauungssystem abgetrennt und der noch mit Futter gefüllte Pansen aufgeschnitten. Die Schnittführung ging von der Speiseröhre beginnend, entlang der Schlundrinne bis zum Magenausgang, entlang der Mittellinie des Netzmagens über den dorsalen Pansensack bis zum Ende des dorsalen Blindsacks. Der Bereich des ventralen Blindsacks blieb dabei intakt. Der zweite Schnitt begann beim Übergang vom ventralen Blindsack zum ventralen Pansensack und führte mittig durch den Netzmagen. Anschließend wurde der schmetterlingsförmige Pansen mit Haube (Reticulorumen) entleert, mit kaltem Wasser gespült, getrocknet und gewogen.

Um die Anzahl und Abmessungen der Pansenzotten als weiteres Kriterium neben dem Reticulorumengewicht für die Vormagenentwicklung ermitteln zu können, wurden Gewebeproben entnommen (Abb. A4). Dazu wurden mit einer 5-Loch-Schablone aus acht definierten Pansenregionen (Abb. 10) je fünf 1 cm² große Proben ausgestanzt (Abb. 11).

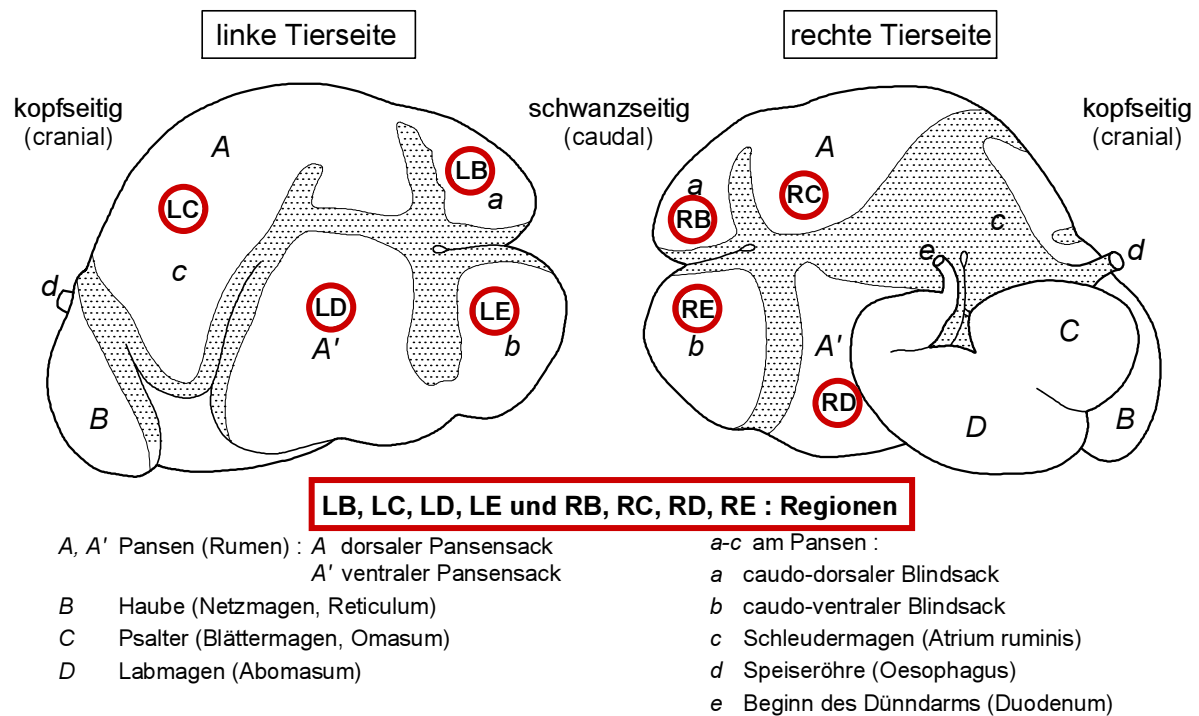


Abbildung 10: Mägen des Rindes (nach NICKEL et al. (1995) [178]) mit Probenentnahmestellen.

Im Unterschied zu der oben genannten Untersuchung wurde bei den vorliegenden Probenahmen in der Mitte des dorsalen Pansensacks (Region „A“) kein Material entnommen, weshalb die Bezeichnungen alphabetisch mit B beginnen. Es wurden Proben im Bereich des caudo-dorsalen Blindsacks (B), des dorsalen (C) und ventralen Pansensacks (D) und des caudo-ventralen Blindsacks (E) entnommen. Entsprechend der Lage der Region wurde sie (vom Tier aus gesehen) der rechten (R) bzw. linken (L) Körperhälfte zugeordnet. Die Gewebeproben wurden in beschrifteten (Tiernummer, Region) Falcontubes mit 5 % Formaldehydlösung (CH₂O) gegeben und vor der weiteren Untersuchung mindestens drei Monate gelagert, damit eine unterschiedliche Gewebebeeinflussung durch das CH₂O ausgeschlossen werden konnte.

Nach der Probenentnahme wurden die Reticulorumen einzeln glattflächig am Boden liegend mit einer Digitalkamera (CASIO® EX-Z50, China) bei einer Auflösung von 1600 x 1200 x 24 BPP aus einem definierten Abstand senkrecht von oben fotografiert (Abb. 11 und A6).

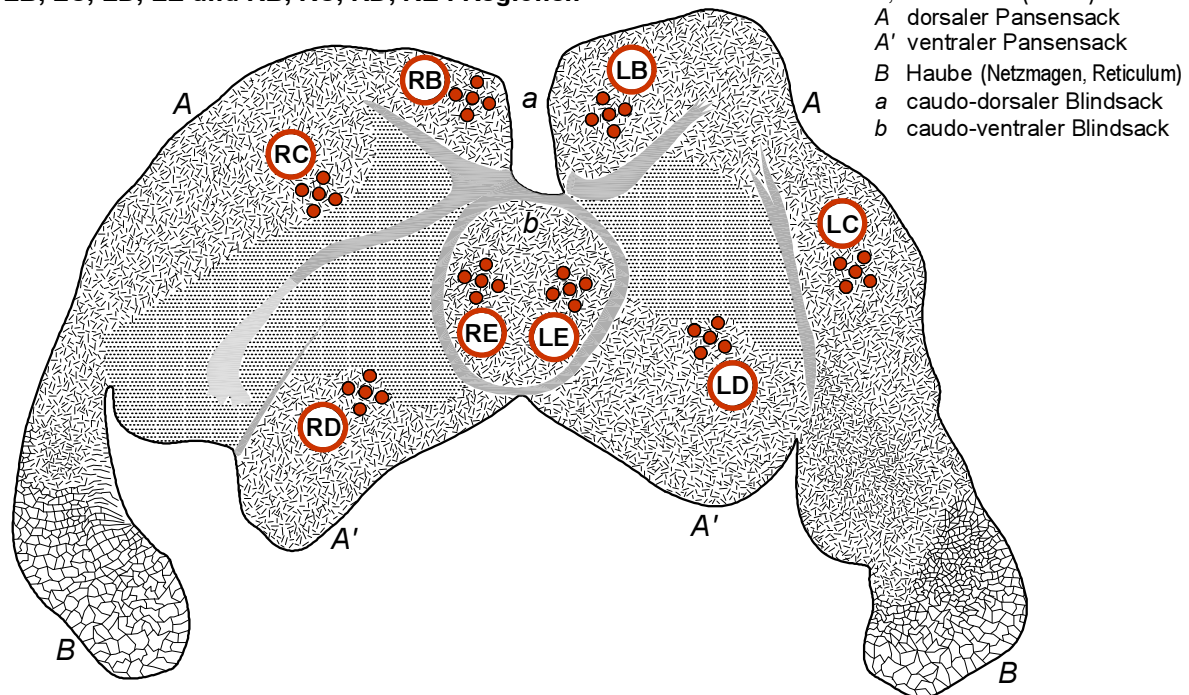
LB, LC, LD, LE und RB, RC, RD, RE : Regionen


Abbildung 11: Probenentnahmestellen am ausgebreiteten Reticulorumen.

Auswertung der Schlachtparameter

Die Auswertung der Schlachtparameter Zottendichte, -länge, -breite und -oberfläche geschah nach Absprache mit Mitarbeitern des LEHRSTUHL FÜR TIERANATOMIE I der LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT MÜNCHEN.

Zur Bestimmung der Zottendichte wurden die 1560 Gewebeprobe (39 Tiere, je 8 Regionen, je 5 Proben) unter einem Luftabzug aus dem Falcontubes entnommen und zunächst auf einer Korkunterlage eben aufgespannt. Auf die gespannte Pansenprobe wurde eine 0,75 cm²-Schablone gelegt, mit einer Digitalkamera (CASIO[®] EX-Z50, China) bei einer Auflösung von 2048 x 1536 x 24 BPP fotografiert (Abb. A5) und anschließend wieder in Formalin eingelegt. Die Zottenanzahl/cm² konnte mit Unterstützung einer Software (Image Tool, Version 3.0, ©1995-2002, THE UNIVERSITY OF TEXAS HEALTH SCIENCE CENTER in San Antonio) bestimmt werden. Die Daten wurden zur weiteren Auswertung in eine MS[®] Excel 2003-Tabelle eingetragen.

Um die Zottenlänge, -breite und -fläche bestimmen zu können, wurden die Proben mit Hilfe eines Skalpells und Rasierklingen in möglichst dünne Scheiben (max. 0,5 mm) geschnitten. Derart aufbereitet wurden sie an einem inversen Mikroskop (ZEISS, Axiovert 25, D-Jena) zwischen zwei Objektträger gespannt und mit einer aufgesetzten Digitalkamera (CANON[®] PC1049, Japan) bei 25facher Vergrößerung und einer Auflösung von 1600 x 1200 x 24 BPP fotografiert. Unter Verwendung obiger Software wurden die Zottenlänge und -breite über die Anzahl der Bildpixel erfasst (Abb. A7). Die Zottenlänge wurde durch die Pixelanzahl vom Zottengrund bis zur Zottenspitze definiert, die Zottenbreite wurde an der breitesten

Stelle gemessen. Als Referenz hierzu diente ein Mikrometer (2 mm langer Maßstab in 200 Teile geteilt) der FA. LEITZ GMBH (D-Wetzlar). Zur Bestimmung der Zottenfläche wurde jede vollständig fotografierte Zotte eines Gesichtsfeldes vermessen. Je Region wurden mindestens 50 Zotten derart ausgewertet. Die Daten dieser insgesamt ca. 15600 vermessenen Zotten wurden in einer MS[®] Excel 2003-Tabelle mit Datum, Tiernummer, Region, Fotonummer und Pixelanzahl des Referenzmaßstabs als Zottenlänge, -breite und -oberfläche in Pixel und umgerechnet in mm dokumentiert. Außerdem wurde die Gesamtoberfläche einer Zotte, hochgerechnet die Zotten und die Zottenoberfläche je cm² Pansengrundfläche berechnet. Daraus wurden die Mittelwerte der Zottenparameter für jede Region ermittelt.

Die am Schlachthof aufgenommenen Bilder des Reticulorumens wurden ebenfalls am Bildschirm mit obiger Image Tool-Software ausgewertet. Die Fläche von Pansen und Haube wurde analysiert und zur weiteren Auswertung in eine MS[®] Excel 2003-Tabelle eingetragen.

Die Daten der Schlachtparameter wurden in Abhängigkeit vom Alter ausgewertet. Zudem wurde auch die Abhängigkeit der einzelnen Parameter voneinander, als auch die Beziehung der einzelnen Regionen bestimmt. In einem weiteren Schritt wurden die Pansenregionen gruppiert ausgewertet. Um einen Einfluss des Geschlechts nachweisen zu können, mussten die Daten der weiblichen und der männlichen Kälber getrennt untersucht werden.

4.2.3 Statistische Auswertung

Die Auswertung³ der erhaltenen Daten wurde mit Hilfe der Computerprogramme MS[®] Access 2003, MS[®] Excel 2003 sowie SAS[®] (SAS 9.1 TS 1M3, Windows-Version 5.1.2600) durchgeführt.

Für die deskriptive Statistik wurden der arithmetische Mittelwert \bar{x} und die Standardabweichung s der Stichprobe sowie die Spannweite (Min., Max.) verwendet. Generell wird für \bar{x} und s die gleiche Einheit explizit angegeben. Des Weiteren wurden für die Beurteilung linearer Abhängigkeiten Korrelationsanalysen durchgeführt. Hierbei fanden keine Prüfungen auf Normalverteilung oder Residuentests statt. Art und Stärke der Korrelation wurden durch den Pearson'schen Korrelationskoeffizient r charakterisiert. Die Korrelationen wurden mit einem Signifikanzniveau von 0,01 % ($P = 0,0001$) berechnet, um möglichst genaue Unterschiede herausarbeiten und vergleichen zu können. Diese Methode ist abweichend von den Vergleichsuntersuchungen.

³ Fachlich begleitet und durch Hilfeleistung unterstützt wurde die statistische Auswertung von dem am Lehrstuhl etablierten Statistiker, Herrn Dr. habil. M. Bachmaier [248].

Um die Bedeutung der Trinkwasser-Aufnahme anhand der erhobenen Daten näher zu analysieren, wurden multiple Korrelations- und Regressionsanalysen verwendet. Der Einfluss des Alters und des Geschlechts auf verschiedene Futterparameter konnte durch F- und P-Werte einer Zwei-Wege ANOVA und Vertrauensintervalle für deren mittlere Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Tieren ermittelt werden.

Zur Bestimmung von auf das Alter korrigierten Soll-Aufnahmekurven wurden Regressionen benutzt und die realen Aufnahmemengen hinsichtlich des Gesundheitsstatus verglichen.

Bezüglich der Auswertung der Pansendaten wurden die Mittelwerte der einzelnen Parameter für die jeweilige Region gebildet und die Daten in Abhängigkeit der Pansenregion ausgewertet. Dazu wurden 90 %-Vertrauensintervalle für die Mittelwertsdifferenz bestimmt, um auf Unterschiede bzw. Äquivalenz schließen zu können. Da die Daten der Schlachtparameter mit den jeweiligen Aufnahmen vergleichbar sein mussten, wurde für den letzten vollständigen Tag des Tieres in der Versuchsgruppe ein Schätzwert der Aufnahmemenge gebildet. Dieser wurde anhand einer linearen Regression als Trendwert der Aufnahmemengen der letzten 10 Tage ermittelt.

Die einzelnen Berechnungen und Analyseverfahren werden im jeweiligen Ergebniskapitel näher erläutert.

5 Ergebnisse

Die im vorliegenden Versuch verwendeten gegenüberliegenden Kälberbuchten sind bezüglich Größe, Einrichtung, Bodenbeschaffenheit und Klimaeinfluss als identisch anzusehen. Somit kann ein unterschiedlicher Einfluss auf die Tiere aufgrund verschiedener Haltungsbedingungen ausgeschlossen werden. Da die Kälber der betriebseigenen Nachzucht eingestallt wurden, war zum einen eine ungleiche Anzahl an Rotbunten, Schwarzbunten und sonstigen Kreuzungstieren im Versuch. Zum anderen variierte wegen der unterschiedlichen Geburtenverteilung sowohl die Besatzdichte, als auch die Anzahl männlicher und weiblicher Kälber in den nacheinander aufgefüllten Stallabteilen. Bedingt durch den Altersunterschied der Kälber in der Gruppe lernten die jungen Tiere von den älteren rasch, die ihnen zur Verfügung stehenden Futter- und Wasseraufnahmemöglichkeiten zu nutzen. Allerdings blieben Verdrängungen an den Futterstationen nicht aus, welche aber quantitativ nicht erfasst werden konnten.

Während des Untersuchungszeitraums traten vereinzelt Technikprobleme und damit einhergehend Datenverluste auf (Kapitel 4.2.1.3). So kam es am 21.06.2006 aus unbekanntem Gründen zu einem Stromausfall im gesamten Stallgebäude, an insgesamt 5 weiteren Tagen im Juni zum Ansprechen des Fehlerstromschutzschalters (Überlast) und an 5 Tagen im Juli stundenweise zu PC-Ausfällen (defekter Lüfter). Als nachteilig stellte sich beim Wasserautomaten heraus, dass dieser keinen eigenen Prozessrechner besitzt, wodurch zum Betrieb ein aktiver PC benötigt wurde und zudem dessen Software nach einem Stromausfall neu gestartet werden musste. Das bedeutet, dass bei einer PC-Abschaltung oder einem Softwareabsturz alle Futter- und Monitoringsysteme aktiv blieben, der Wasserautomat dagegen nicht, was gerade bei hohen Stalltemperaturen im Sommer zu massiver Dehydrierung der Tiere führen kann. Demnach konnten bei einer unbemerkten PC-Abschaltung die Wasserdaten aller Kälber dieses Tages für die Auswertung nicht berücksichtigt werden.

Bevor Darstellungen über den Zusammenhang zwischen den verschiedenen Aufnahmen, den gemessenen Verhaltensparametern und der Pansenentwicklung der Tiere gezeigt werden, soll ein Überblick über die Genauigkeit der Technik und über das im Tierbereich dokumentierte Klima gegeben werden.

5.1 Analyse der automatisch erfassten und generierten Daten

Während des Vorversuches konnten bereits technische Probleme sowohl bei der Aufstallung, als auch bei der Datenaufzeichnung beseitigt werden, so dass die verwendete Hard- und Software während der 234 Versuchstage zuverlässig und nahezu störungsfrei funktionierte. Abgesehen von wenigen Systemstörungen wurden detaillierte Daten in sehr guter Qualität gewonnen.

5.1.1 Analyisierte Datenmenge

Bei der vorliegenden Auswertung der Daten der Fütterungstechnik werden die Aufnahmen an Milchaustauscher, Kraftfutter und Heu insgesamt als Trockensubstanzaufnahme (TS) zusammengefasst. Die abgerufenen Mengen an Milchtränke und Trinkwasser bilden zusammen mit den Wassergehalten der Aufnahmen von Milchaustauscher, Kraftfutter und Heu die Gesamtwasseraufnahme (GW).

Bei den Daten der männlichen Tiere gingen von den 2210 Tagesaufnahmewerten 96,5 % der TS-Daten und 95,9 % der Wasserdaten in die Auswertung ein. Bei den weiblichen Probanden (2640 TS-Tageswerte) lag der Anteil analysierbarer TS-Daten bei 95,7 % und bei den Wasserdaten bei 95,5 %. TS-Aufnahmedaten, die den physiologisch möglichen Wert erkennbar übertrafen, wurden als Ausreißer klassifiziert (1,8 % der Tagesdaten der männlichen Tiere und 1,4 % der weiblichen) und bei der Auswertung nicht berücksichtigt.

5.1.2 Messgenauigkeit der verwendeten Technik

Während des ganzen Versuchszeitraums wurde kontinuierlich die Messgenauigkeit der Technik bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 dargestellt. Die Genauigkeit der Systeme wird durch den Mittelwert der Differenz zum Referenzwert, der Standardabweichung s und der Spannweite der Einzelwerte (Min., Max.) beschrieben [248].

Tabelle 4: Ergebnisse zur Bestimmung der Messgenauigkeit der verwendeten Technik.

Messgröße	Absoluter Wert der Messgröße					
	MAT-Pulver [kg]	MAT-Wasser [l]	Kraftfutter [kg]	Heu [kg]	TW [l]	Tiergewicht [kg]
n	51	105	36	90	76	659
Referenz	0,100	0,500	0,190	0,020 - 0,900	0,100	38,0 - 128,2
\bar{x}	0,004	-0,001	0,001	0,001	0,000	-0,769
s	0,017	0,007	0,009	0,006	0,012	2,468
Min.	-0,044	-0,017	-0,018	-0,015	-0,060	-10,4
Max.	0,084	0,035	0,021	0,010	0,020	11,4
Abweichung [%]						
\bar{x}	0,4	-0,3	0,4	2,3	-0,1	-0,9
s	17,5	1,4	5,1	10,3	12,0	3,8

Um ein korrektes Mischverhältnis der Tränke sicherzustellen, wurde insgesamt 51 mal das MAT-Pulver und 105 mal das dazu ausdosierte Wasser gewogen. Der dabei errechnete Mittelwert der Differenz zum Referenzwert (100 g bzw. 500 g) betrug beim MAT-Pulver 0,4 g \pm 17,5 g und beim Wasser -1,2 ml \pm 6,8 ml. Prozentual bedeutet dies Abweichungen von 0,4 % \pm 17,5 % bzw. -0,3 % \pm 1,4 %. Im Mittel wurden somit 0,4 % zuviel MAT-

Pulver mit 0,3 % zu wenig Wasser je Portion angemischt. Die Konzentration der Tränke war somit zur Zeit der Kalibrierkontrolle geringfügig zu hoch. Die hohe Standardabweichung von 17,5 % ist nur bedingt auf starke Abweichungen bei der MAT-Ausdosierung zurück zu führen, sondern viel mehr auf den geringen voreingestellten Referenzwert von 100 g. Bei der Messgenauigkeit der Wasserdosierung muss auf einen konstanten Wasserdruck geachtet werden, welcher bei hofeigener Wasserversorgung durchaus schwanken kann.

Wie beim MAT-Pulver erfolgt auch beim KF die Dosierung nach Zeit. Deshalb ist bei einem Futterwechsel aufgrund einer eventuell veränderten Stoffeigenschaft eine erneute Kalibrierung erforderlich. Die Messgenauigkeit des KF-Automaten wurde insgesamt 36 mal geprüft. Der Mittelwert der Abweichung vom zuletzt abgespeicherten Wert (190 g) betrug dabei 0,6 g bzw. 0,4 % bei einer Standardabweichung von 9,2 g bzw. 5,1 %, wobei die Werte maximale Abweichung von -18 g bis 21 g aufwiesen.

Bei den sechs in den vorliegenden Versuch integrierten Wiegetrögen wurden im Belastungsbereich zwischen 20 g und 900 g ein Mittelwert der Differenz zum Sollwert von 1,4 g und eine Standardabweichung von 5,9 g gemessen. Bei einer Last von 10 kg ergaben die Messungen in der Trogmitte Abweichungen von $8,3 \text{ g} \pm 9,5 \text{ g}$. Die hohe prozentuale Abweichung von $2,3 \% \pm 10,3 \%$ ergibt sich aus den geringen Aufnahmemengen. Da die Kälber gewichtsmäßig wenig Heu aufnahmen, wirkten sich die Genauigkeit der Wägezellen und die Messauflösung stark auf den Messfehler aus. Außerdem zeigten Beobachtungen, dass das Verhalten des einzelnen Kalbes bei den ermittelten Heumengen einen großen Einfluss hat, da das Tier während des Fressens zum einen den Kopf stark bewegt und an die Wiegetrogwand drückt, was zu einer ungleichmäßigen Belastung führt, und zum anderen Bröckelverluste auftreten können.

Verluste können auch bei der Trinkwasseraufnahme durch den Zungenschlag entstehen, so dass die abgerufene Menge nicht zwingend der aufgenommenen Menge entspricht. Der am Wasserautomat dokumentierte Mittelwert der Differenzen zum Sollwert (100 ml) lag bei 76 Messungen bei -0,07 ml mit einer Standardabweichung von 11,9 ml. Zum Zeitpunkt der Kontrollmessungen wurden also den Kälbern 0,07 % zu wenig Wasser je Portion ausdosiert, wobei die einzelnen Abgaben auch wegen der geringen Messgröße von 100 ml stark variierten (Standardabweichung von 12,0 %).

Verhältnismäßig fehlerhaft scheinen die mithilfe der Vorderfußwaage erhobenen Daten im Vergleich zu den Referenzdaten einer mobilen Ganztierwaage. Die 659 am TA erhobenen Werte (im Bereich von 38,0 kg bis 128,2 kg), welche sich aus bis zu 255 Wiegungen je Besuch zusammensetzten, lagen im Mittel um $0,77 \text{ kg} \pm 2,47 \text{ kg}$ unter jenen der Kontrollwiegungen (um maximal 10,4 kg zu wenig bis 11,4 kg zu viel). Bei den am TA angezeigten Tiergewichten wurden die Kälber also im Mittel um 0,9 % zu leicht dargestellt (Abb. A8). Der Pearson'sche Korrelationskoeffizient zwischen Vorderfuss- und

Kontrollwaage beträgt dabei $r = 0,991$, das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression der Differenz über den zeitlichen Verlauf ist aber mit $R^2 = 0,095$ sehr gering. Die sieben Ausreißer, bei denen das am TA dokumentierte Gewicht über +5 kg von dem mit der Kontrollwaage erfassten Gewicht abwich, lagen am TA im Gewichtsbereich 52,2 kg bis 99,5 kg. Die 22 stark negativen Abweichungen über -5 kg (Vergleichsmessungen 550 bis 660) lagen im Bereich von 77,8 kg bis 119,0 kg.

Aus Abbildung 12 wird ersichtlich, dass auch bei den 39 Schlachttieren mit zunehmendem Gewicht die Differenz zwischen den wöchentlich erhobenen Werten der Ganzkörperwaage (Kontrolle) und den diesen Tageswerten entsprechenden Daten der Vorderfußwaage größer wurde. Im Mittel zeigte demnach die Vorderfußwaage um 1,4 kg zu geringe Werte an ($s = 2,6$ kg). Der Pearson'sche Korrelationskoeffizient zwischen Vorderfuß- und Kontrollwaage ist $r = 0,993$, das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression der Differenz von TA-Kontrolle beträgt $R^2 = 0,260$.

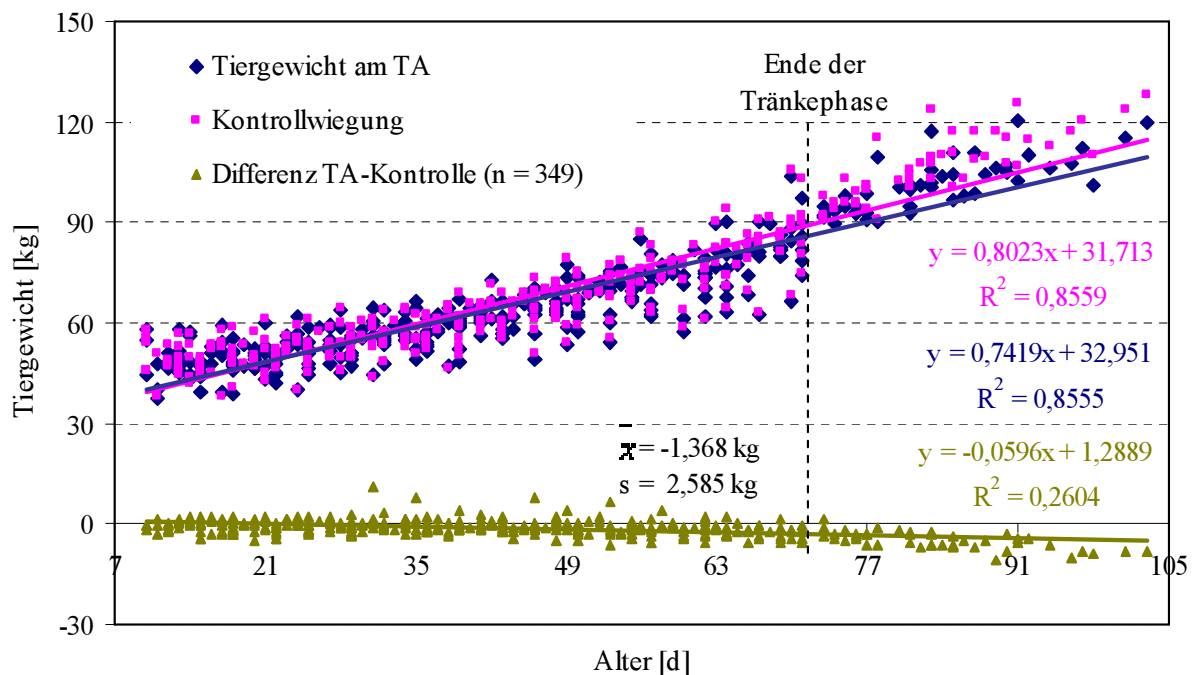


Abbildung 12: Genauigkeit der Tierwaage im Tränkestand (39 Schlachttiere).

Die erhöhten Abweichungen der Ist- von den Sollwerten können auf die kürzere Verweildauer der Tiere im Tränkestand bzw. auf der Waage mit zunehmendem Alter zurück geführt werden, da die Kälber ab dem 71. LT von der MAT-Tränke abgesetzt waren. Danach suchten sie den Stand nur noch kurzzeitig aus Gewohnheit oder zum Raub von Milch auf. Entsprechend der kürzeren Aufenthaltsdauer auf der Waage konnten auch weniger Wiegunen je Besuch durchgeführt werden, bei zudem sehr unruhigem Verhalten der Tiere. Diesen Einfluss belegen die in Abhängigkeit des Tränkeanspruchs ausgewerteten Daten der Schlachttiere. Denn während der Tränkeperiode lag der Mittelwert der Differenz (im Gewichtsbereich von 38,0 kg bis 105,8 kg) bei 1,0 kg bei einer Standardabweichung von 3,7 kg ($r = 0,985$), nach dem 70. LT erhöhte sich die Abweichung vom Sollwert auf 6,7

kg mit einer Standardabweichung von 12,8 kg ($r = 0,977$), wobei die Kälber bei der Kontrolle zwischen 74,8 kg und 128,2 kg wogen.

Bei der Überprüfung der Messgenauigkeit der mobilen Waage, welche während der Kalibrierungen der Teilkörperwaage als Kontrollwaage verwendet wurde, ergab sich ein Mittelwert der Abweichung vom Soll (Waage - Referenz) von $0,17 \text{ kg} \pm 0,17 \text{ kg}$. Dabei konnte mit zunehmender Belastung eine größere positive Abweichung beobachtet werden, was bedeutet, dass mit zunehmendem Gewicht die Waage einen zu hohen Wert erfasste.

Die Ergebnisse bestätigen eine sorgsam den Versuch begleitende Kalibrierung der Messtechnik. Somit können die ermittelten Messwerte trotz der geringfügigen Genauigkeitsabweichungen als tatsächlich vom Tier abgerufene bzw. dem Tier zuzuordnende Daten verwendet werden. Allerdings wurden die bei den Kalibrierungen festgestellten Abweichungen nicht nachträglich in das Datenmaterial eingearbeitet, es erfolgte diesbezüglich also kein Post Processing.

Das AFS soll helfen, den sehr wichtigen Gesundheitsfaktor „individuelle Körpertemperatur“ zu lösen, indem es diesen tierspezifisch bei jedem Tränkevorgang aufzeichnet. Zur Bewertung der Messgenauigkeit der automatischen Temperaturerfassung wurden 89 Messwerte herangezogen. Voraussetzung für einen zuverlässigen Wert war eine durchgehende Saugdauer von mindestens 180 Sekunden [92]. Es ist davon auszugehen, dass die Tränkemenge bzw. die Tränkeaufnahmezeit einen Einfluss auf die Genauigkeit des Messsystems haben, denn je länger das Kalb aufgrund einer hohen Menge bzw. langen Saugdauer im Stand fixiert ist, desto genauer kann das System die Temperatur erfassen. Denn vor allem bei jüngeren, oftmals schwächeren Kälbern ist die Saugdauer durch eine hohe Tränkemenge lange. Dann jedoch besteht die Gefahr des wiederholten Tränkeabbruchs wegen Erschöpfung. Allerdings konnte die Zuverlässigkeit der Messung nicht ermittelt werden, da nur automatisch erfasste Daten in die Auswertung einfließen. Im Mittel lag die Differenz zur rektalen Temperatur (AFM - rektal) bei $-0,01 \text{ K}$. Die empirische Standardabweichung zeigt mit $0,37 \text{ K}$ eine sehr große Streuung. Der Korrelationskoeffizient zwischen der rektalen Temperatur und der Kontrolltemperatur ergibt sich zu $r = 0,339$ (Abb. A9). Die größten Differenzen zwischen dem vom AFS ermittelten Messwert und dem rektalen Kontrollwert lagen bei $-1,1 \text{ K}$ bzw. $0,70 \text{ K}$ (Abb. A10), wobei sich mit zunehmender Zungentemperatur das Verhältnis ins Negative verschob, also ein zu geringer Wert angezeigt wurde. In 9 Fällen oder $10,1 \%$ gab es eine absolute Übereinstimmung beider Werte, $26,9 \%$ der Daten wichen um $0,1 \text{ K}$ ab und $17,9 \%$ um $0,2 \text{ K}$ ab.

Zur Ermittlung der Messgenauigkeit des digitalen Kontrollthermometers wurde dieses im Labor mit den Werten eines Temperaturmessgeräts im Messbereich von 32 °C bis 44 °C verglichen. Dabei ergab sich eine mittlere Differenz zum Messgerät von $0,02 \text{ K}$ mit einer Standardabweichung von $0,04 \text{ K}$. Allerdings muss dabei die vom Hersteller angegebene

Messgenauigkeit von $\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ des Systems zur rektalen Messung und von $\pm 0,02 \text{ }^\circ\text{C}$ des Laborgerätes berücksichtigt werden.

5.1.3 Temperatur und relative Luftfeuchte im Tierbereich

Die zur Dokumentation des Raumklimas verwendeten HYGROLOG HW3-Datenlogger erhoben alle 5 Minuten einen Wert für die relative Luftfeuchte (rF) und für die Temperatur im Tierbereich. Unterschiede zwischen den Stallabteilen bezüglich Temperatur waren praktisch nicht vorhanden.

Die Tagesmittelwerte der täglich bis zu 288 Messungen der rF betragen während des Versuchszeitraums zwischen $40,6 \% \pm 0,099$ und $98,9 \% \pm 0,027$ (Abb. 13). Die minimalen Tageswerte lagen zwischen $15,1 \%$ und $88,9 \%$ und die maximalen Tageswerte zwischen $53,0 \%$ und 100% . Die Tagesmittelwerte der Temperatur lagen während des Versuchszeitraums zwischen $11,6 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,2 \text{ K}$ und $26,8 \text{ }^\circ\text{C} \pm 4,7 \text{ K}$. Die minimalen Tageswerte wurden zwischen $9,8 \text{ }^\circ\text{C}$ und $21,1 \text{ }^\circ\text{C}$ und die maximalen Tageswerte zwischen $12,0 \text{ }^\circ\text{C}$ und $47,2 \text{ }^\circ\text{C}$ gemessen. Im Mittel über den gesamten Versuchszeitraum lag die rF bei $69,9 \% \pm 0,126$ und die Temperatur bei $18,4 \text{ }^\circ\text{C} \pm 3,3 \text{ K}$.

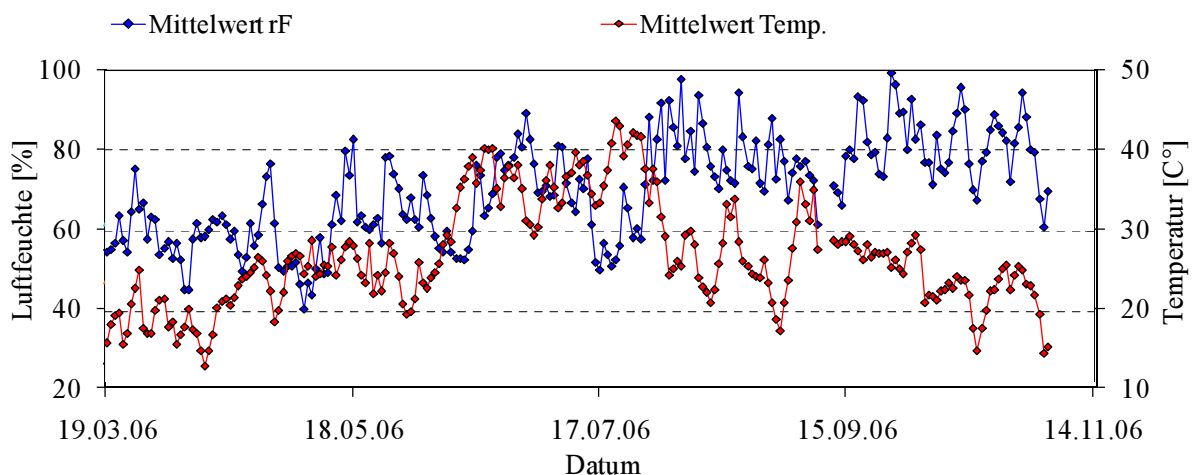


Abbildung 13: Tagesmittelwerte der relativen Luftfeuchte und Temperatur im Tierbereich.

Im Anhang (Abb. A11 bis A13) sind die Tagesklimata vom 14.03.2006, 19.07.2006 und 02.10.2006 im Vergleich dargestellt. Auffällig ist der bereits erwähnte Temperaturpeak, welcher auf die Position der Datenlogger zurückzuführen ist. Da der Kälberstall in Nord-Süd-Richtung steht, schien die intensive Abendsonne im Frühjahr und Sommer auf den Messfühler. Da jedoch nur die Tagesmittelwerte in die Analysen eingehen, beeinflussen derartige Peaks die Auswertung nur unwesentlich.

5.1.4 Futteraufnahme

Um die Terminologie zu vereinfachen, seien die in Tabelle 5 genannten Abkürzungen ins Gedächtnis zurück gerufen.

Tabelle 5: Verzeichnis der Futterkomponenten mit dazugehöriger Abkürzung.

Komponente	Abkürzung
Gesamt-Wasser	GW
Trinkwasser	TW
Milchtränke	MT
Gesamt-Trockensubstanz	GTS
Milchaustauscher-Trockensubstanz	MAT-TS
Kraftfutter-Trockensubstanz	KF-TS
Heu-Trockensubstanz	HTS

Dabei wurden die TS-Anteile der MAT-, KF- und Heu-Aufnahmen zur GTS aufsummiert. Die aufgenommenen Mengen an MT und TW werden zusammen mit den Wasseranteilen des MAT-Pulvers, des KF und Heus als GW-Aufnahme bezeichnet.

5.1.4.1 Entwicklung der Futteraufnahme und des Tiergewichts

Während der 63 Tage am Tränkeautomat wurden jedem Tier 415 l MT bzw. 46 kg MAT-TS angeboten. Im Mittel nahmen sie jedoch nur 367,6 l bzw. 40,7 kg (88,5 %) auf. Abbildung 14 zeigt die Entwicklung der täglichen mittleren Aufnahmen aller Tiere in Abhängigkeit des Alters, wobei auch vereinzelt Null-Aufnahmen in den Mittelwert eingingen [247, 248]. Tabelle A12 gibt dazu die jeweiligen Streuungen für ausgewählte Lebensalterstage.

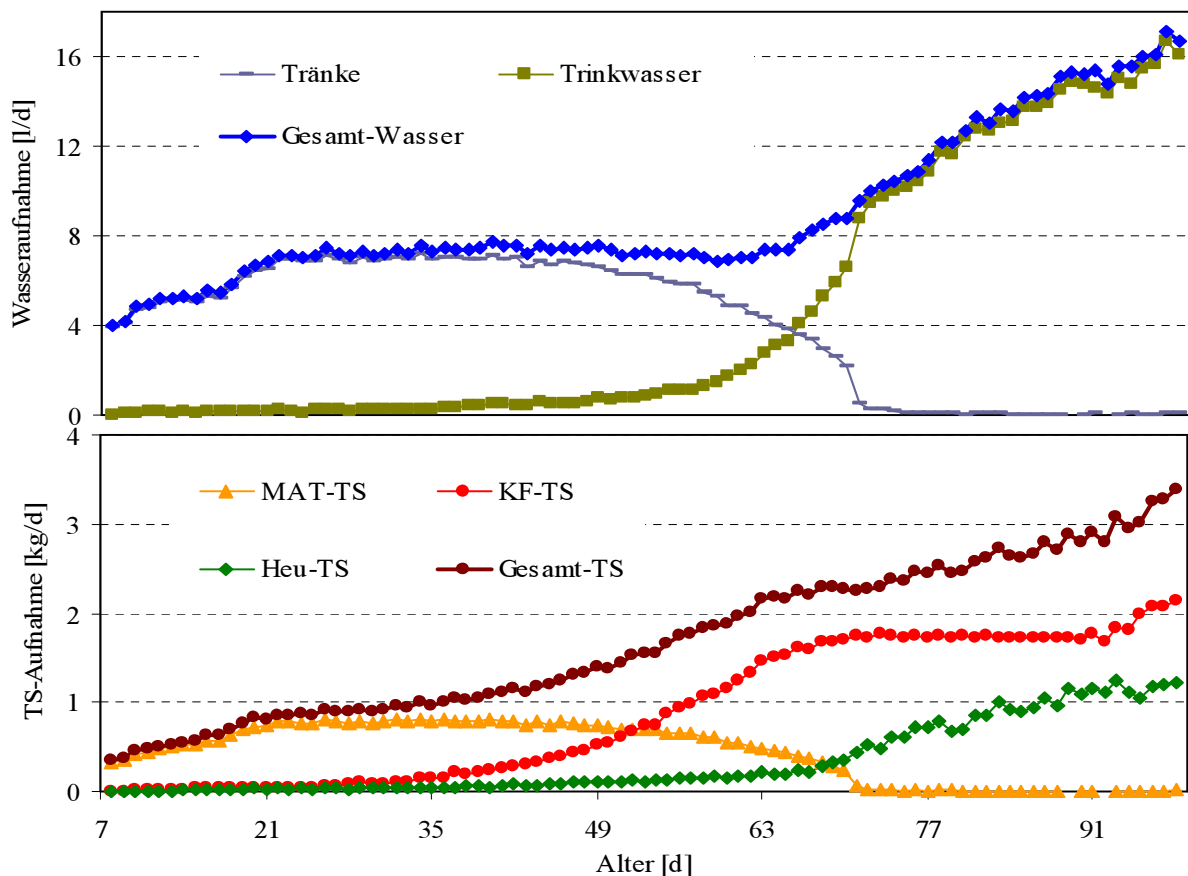


Abbildung 14: Altersabhängige Entwicklung der mittleren Futteraufnahme aller 66 Kälber.

Erwartungsgemäß stieg die absolute TW-Aufnahme mit zunehmendem Alter an, jedoch war vom 49.-63. LT eine Stagnation des Anstiegs bzw. eine rückläufige Aufnahme zu verzeichnen (7,6 l/d \pm 1,5 l/d am 49. LT, 6,9 l/d \pm 1,6 l/d am 59. LT, 7,9 l/d \pm 2,1 l/d am 66. LT). Ab dem 71. LT erhielten die Kälber, abgesehen von kleinen Mengen durch Raub, keine MT mehr. Dies erklärt den abrupten Anstieg des TW von 6,6 l/d \pm 2,9 l/d auf 8,8 l/d \pm 3,0 l/d.

Während des Abtränkens begannen die Tiere zunehmend mit der Aufnahme von Heu. Ab dem 47. LT nahmen sie mehr als 0,1 kg/d auf (von 0,0 kg/d bis max. 0,6 kg/d). Da auch die KF-Aufnahme stetig anstieg, konnte eine mittlere GTS-Aufnahme von über 1 kg/d ab dem 36. LT (0,6 kg/d bis max. 1,8 kg/d) und von über 2 kg/d ab dem 62. LT (0,7 kg/d bis 2,9 kg/d) verzeichnet werden. Als die TW-Aufnahme wegen des Abtränkens leicht rückläufig war, nahmen die Kälber auch weniger GTS auf. Die zweite Stagnation in der GTS-Kurve vom 63. bis 74. LT kann mit dem Erreichen der abrufbaren KF-Menge von 1,76 kg TS/d begründet werden. Bis dahin holten die Tiere die ihnen zur Verfügung stehende Menge im Mittel nicht ab. Die Schwankungen der Werte mit zunehmendem Alter sind neben der mit steigendem Alter verstärkten Variabilität der Kälber in der Futtermengeaufnahme auch bedingt durch die variierende Anzahl an Tieren, welche durch die Schlachtungen verringert wurde (Abb. A2).

Um die in Abbildung 14 erläuterten Futtermengeaufnahmen im Altersverlauf zusammen zu führen und darstellen zu können, werden in Abbildung 15 die Verhältnisse GW/GTS und TW/GTS dargestellt.

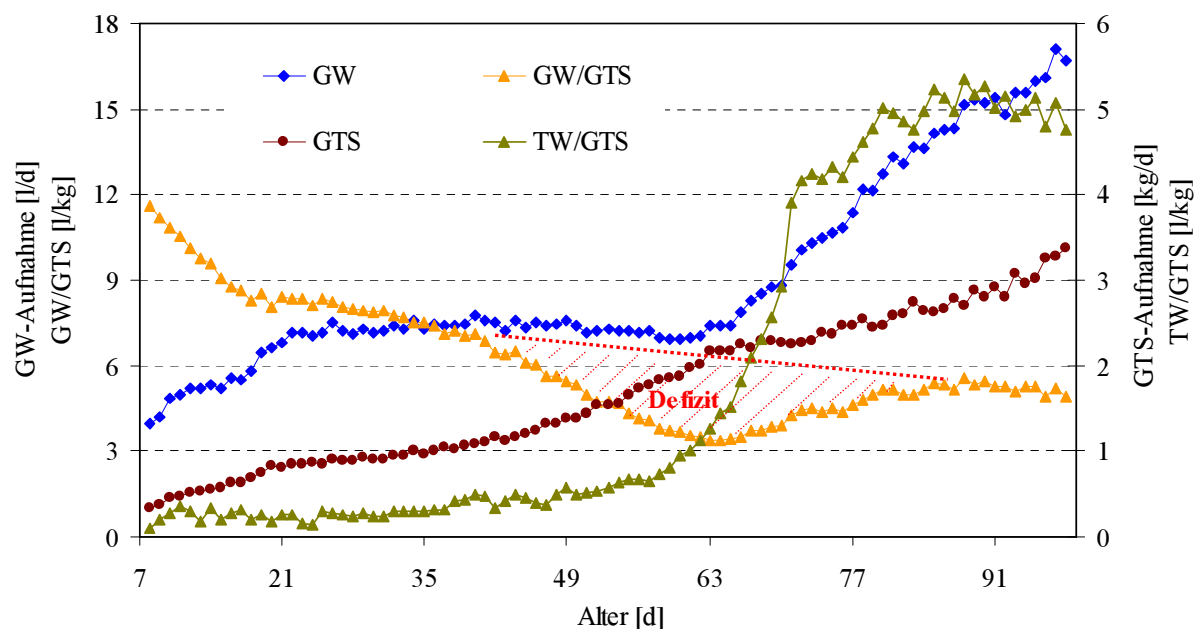


Abbildung 15: Verhältnisse GW/GTS und TW/GTS.

Stark geprägt durch die hohe Aufnahme an MT und die geringe TS-Aufnahme nach dem Einstellen (Wert am 8. LT von 11,6 l/kg TS), fällt mit reduzierter MT- und kontinuierlich

zunehmender TS-Aufnahme die GW/TS-Kurve ab (am 64. LT 3,4 l/kg TS), bevor sie wieder leicht ansteigt. Durch die während der Abtränkphase zurückgehende Milchmenge und das Ausbleiben einer dadurch eigentlich verstärkt einzutretenden Trinkwasseraufnahme entsteht ein Defizit, bei dem die GW-Aufnahme um bis zu 3 l/kg von der Tendenz abweicht. Sobald die begrenzte KF-Menge aufgenommen wird, verbleibt die Kurve wegen der dann zunehmenden TW- und Heuaufnahme nahezu auf einem Plateau (am 79. LT 5,0 l/kg TS). Der Anteil der Tränke bzw. des TW am Verlauf dieses Verhältnisses kann durch die TW/GTS-Kurve beschrieben werden. Hierbei wird deutlich, dass die nach dem Abtränken überproportional zunehmende TW-Aufnahme einen zügigen Anstieg der Kurve ergibt. Der diskontinuierliche Kurvenverlauf nach dem Abtränken beruht in erster Linie auf der täglich schwankenden GTS-, und dabei vor allem auf der von einem auf den anderen Tag sehr stark abweichenden Heu-Aufnahme, was bei der Darstellung der Verhältnisse durch den ebenfalls unbeständigen TW-Verlauf verstärkt wird. Bei näherer Betrachtung der Einzeltierdaten in diesem Altersbereich kann beobachtet werden, dass bei den Tieren mit hoher Heuaufnahme meist auch die TW-Aufnahme überproportional sinkt, was in der Verhältniskurve einen Peak verursacht. Als Ursache hierfür kann das tierindividuelle Futteraufnahmeverhalten genannt werden, und vor allem, dass mit zunehmendem Alter mehr Futter aufgenommen wird. Dadurch werden auch die Abweichungen zur Aufnahme des vorherigen Tages größer, was zu Schwankungen im Zeitverlauf führt. Außerdem reduzierte sich im Altersverlauf die Anzahl der Tiere durch die laufenden Schlachtungen der überwiegend männlichen Kälber, sodass sich die Stichprobenanzahl zum letzten Altersabschnitt hin minimierte. So wurde am 72. LT ein Tier geschlachtet, worauf am Folgetag ein Rückgang der Heuaufnahme, aber eine Zunahme der TW-Aufnahme verzeichnet wurde. Dies bedingt dann wiederum ein höheres Verhältnis von TW/GTS, was zu einem Peak in der Kurve führt. Am 80., 85., 88. und 90. LT war dies ebenfalls der Fall, dass im Mittel weniger Heu und mehr TW aufgenommen wurde und sich dadurch bei der Verrechnung ein Kurvenpeak ergab. Zu diesen Altersangaben wurden zwar am Vortag keine Tiere aus der Gruppe entnommen, jedoch am Folgetag mindestens eines. Auch am 74. LT wurden zwei Kälber geschlachtet, was auf den Peak am 73. LT hindeutet. Dies lässt den Schluss zu, dass entweder Tiere entnommen wurden, die besonders viel Heu aufnahmen, was nach deren Schlachtung einen Rückgang der Aufnahme erklären würde. Wohl wahrscheinlicher ist, dass diese den Stand blockierten, wodurch nach dem Schlachten die Aufnahme der übrigen Tiere in diesem Altersbereich steigen konnte. Denn die am 74. LT geschlachteten Kälber belegten die Wiegetröge 72,4 min/d und 53,6 min/d, das mit 81 LT geschlachtete 121,0 min/d, mit 86 LT 97,8 min/d, mit 89 LT 182,7 min/d und das mit 91 LT geschlachtete Tier täglich 97,5 min.

Mit zunehmendem Futtermittelverzehr stiegen auch das automatisch am TA ermittelte durchschnittliche Körpergewicht und die daraus ermittelten täglichen Zunahmen. Da das einzeltierbezogene Tiergewicht von Tag zu Tag sehr stark schwankte (Kapitel 5.1.2), ergaben sich zum Großteil sehr ungenaue Zunahmedaten mit Werten von -8,2 bis 8,4 kg/d

(Abb. A14). Über die Tränkephase hinweg konnten Zunahmen von im Mittel $0,575 \text{ kg/d} \pm 1,562 \text{ kg/d}$ verzeichnet werden, während der ganzen Versuchsphase im Schnitt $0,626 \text{ kg/d} \pm 1,719 \text{ kg/d}$. Vor allem nach dem Abtränken verhalten sich die Werte sehr ungleichmäßig bei zudem sehr hohen Standardabweichungen. Dies ist bedingt durch die geringe und vor allem aufgrund des fehlenden Tränkeanspruchs kurze Aufenthaltsdauer auf der Tierwaage im Tränkestand. Um diesen Messfehler zu umgehen, wurden deshalb für die Gewichtsentwicklung die Daten der wöchentlichen Kontrollwiegungen an einer mobilen Waage herangezogen. Deshalb verlief die Entwicklung der Lebendmasse sehr kontinuierlich und stieg von $47,8 \text{ kg} \pm 3,2 \text{ kg}$ am 10. LT auf $81,8 \text{ kg} \pm 8,3 \text{ kg}$ am 70. LT. Bis zum 96. LT erhöhte sich der Wert auf im Mittel $108,1 \text{ kg} \pm 10,4 \text{ kg}$ (Abb. A15).

5.1.4.2 Abhängigkeit der Aufnahmemengen von Alter und Tiergewicht

Um die Beziehung zwischen den Futteraufnahmemengen und dem Alter bzw. Tiergewicht näher definieren zu können, wurden verschiedene Auswertungen durchgeführt.

5.1.4.2.1 Einfache Korrelationen

Ob und wie die verschiedenen Futterparameter voneinander und vom Alter bzw. Tiergewicht abhängen, zeigen die Pearson'schen Korrelationskoeffizienten in Tabelle 6. In diese Auswertung gingen je Parameter zwischen 4173 und maximal 4930 Werte im Altersbereich vom 8.-105. LT ein. Dabei kann der hohe gegenseitige Einfluss aller Variablen mit $P < 0,0001$ statistisch eindeutig belegt werden. Besonders hervorzuhebende Werte sind fett markiert. Sofern ein gegenseitiger Einfluss statistisch nicht eindeutig belegt werden kann ($P > 0,0001$), wird der Wert des Korrelationskoeffizienten rot markiert.

Tabelle 6: Korrelationskoeffizienten für die untersuchten Variablen.

Variable	Korrelationskoeffizient r von							
	Alter	MT	TW	MAT-TS	KF-TS	HTS	GTS	GW
MT	-0,675							
TW	0,802	-0,805						
MAT-TS	-0,702	0,996	-0,818					
KF-TS	0,903	-0,735	0,785	-0,753				
HTS	0,717	-0,680	0,792	-0,697	0,666			
GTS	0,896	-0,602	0,783	-0,637	0,939	0,822		
GW	0,685	-0,421	0,906	-0,497	0,631	0,684	0,709	
Gewicht	0,907	-0,738	0,837	-0,718	0,871	0,719	0,869	0,701

$P < 0,0001$, $P > 0,0001$

Bedingt durch den Tränkeplan ergibt sich zwischen Alter und MT eine negative Korrelation mit $r = -0,675$ und wegen der variablen MAT-TS-Konzentration ein Wert von $r = -0,702$. Stark altersabhängig ist neben der TW-Aufnahme ($r = 0,802$) und der KF-TS-Aufnahme ($r =$

0,903) das Tiergewicht ($r = 0,907$), wobei dieses ebenso wie die KF-TS-Aufnahme eine hohe Korrelation mit der GTS-Aufnahme zeigt ($r = 0,869$ bzw. $r = 0,871$). Ein Korrelationskoeffizient von $r = 0,837$ verdeutlicht den Anstieg der Wasseraufnahme mit zunehmendem Gewicht und von $r = 0,802$ mit zunehmendem Alter.

Wie stark die TW-Aufnahme mit dem Alter korreliert, wird beim Vergleich der Koeffizienten während verschiedener Altersabschnitte deutlich (Tab. 7).

Tabelle 7: Korrelationskoeffizienten zwischen der TW-Aufnahme und verschiedener Parameter in Abhängigkeit des Geschlechts.

Parameter		Korrelationskoeffizient r im Altersabschnitt [LT]				
		gesamt 8.-105.	I 8.-20.	II 21.-41.	III 42.-70.	IV 71.-96.
TW/Alter	gesamt	0,802	0,061	0,202	0,673	0,460
	männlich	0,753	0,020	0,182	0,682	0,540
	weiblich	0,822	0,135	0,223	0,665	0,433
TW/KF-TS	gesamt	0,785	0,036	0,284	0,674	0,184
	männlich	0,735	-0,013	0,318	0,643	0,090
	weiblich	0,816	0,089	0,251	0,711	0,211
TW/Tiergewicht	gesamt	0,837	0,102	0,224	0,669	0,594
	männlich	0,821	0,029	0,154	0,694	0,545
	weiblich	0,864	0,106	0,298	0,724	0,638

$P < 0,0001$, $P > 0,0001$

Zu Beginn der Tränkephase (8.-20. LT, Phase I) kann zwischen Alter und TW-Aufnahme ein $r = 0,061$ ermittelt werden. Während der folgenden Abschnitte erhöht sich der Wert auf $r = 0,202$ (21.-41. LT, Phase II) und $r = 0,673$ (42.-70. LT, Phase III). Nach der Tränkephase bis hin zum Ausstallen verringert sich der altersbedingte Zusammenhang mit der Trinkwasseraufnahme auf $r = 0,460$ (71.-96. LT, Phase IV). Eine ähnliche Tendenz zeigt sich hinsichtlich der Beziehung von TW- und KF-TS-Aufnahme, als auch zwischen TW-Aufnahme und Tiergewicht. Abgesehen von den hohen Korrelationswerten während der gesamten Aufzucht, weist der Abschnitt des Abtränkens (III) die engsten Beziehungen zwischen TW und dem jeweiligen Parameter auf. Dabei muss bedacht werden, dass die Tiere das Maximum des KF-Plans (0,176 kg TS) bei einem unterschiedlichen Alter erreichten.

Ebenso verhält es sich bei der geschlechtsbezogenen Auswertung. Die Korrelationen der männlichen Kälber errechnen sich während der gesamten Aufzuchtdauer insgesamt niedriger als jene der weiblichen Tiere. Dies deutet auf stärkere tierindividuelle Unterschiede hinsichtlich Wachstum und Futteraufnahme der männlichen Tiere bzw. auf eine tendenziell homogenere Entwicklung der weiblichen Kälber hin. Auffallend sind die hohen Werte des Korrelationskoeffizienten zwischen TW und Alter im III. ($r = 0,682$) und IV. ($r = 0,540$) Altersabschnitt. Dabei nahmen also die männlichen Tiere proportional zum Alter viel TW auf, was sich mit den Werten der Korrelationskoeffizienten zwischen TW

und Tiergewicht deckt ($r = 0,694$ bzw. $r = 0,545$). Demzufolge stieg mit zunehmendem Alter das Tiergewicht und die Kälber tranken mehr TW, vor allem während der Abtränkperiode.

Die weiblichen Kälber weisen bezüglich TW-Aufnahme die höheren Korrelationskoeffizienten während der gesamten Aufzucht auf. Vor allem während des Abtränkens nahmen sie mit steigender TW-Aufnahme verhältnismäßig mehr an Gewicht zu ($r = 0,724$) und riefen mehr KF ab ($r = 0,711$). Auch nach dem Abtränken waren sie hierbei den männlichen Tieren überlegen. Mit zunehmender KF-Aufnahme und steigendem Gewicht nahmen die weiblichen Kälber mehr TW auf als die männlichen. Eine Ursache hierfür kann in der Auswertung liegen, da aufgrund der Schlachtungen die Anzahl männlicher Kälber im letzten Altersabschnitt geringer war als die der weiblichen.

Um die niedrigen und statistisch nicht absicherbaren Werte der Korrelationskoeffizienten während der Phasen I und II zu erklären, werden in einer weiteren Auswertung diese Altersabschnitte differenziert betrachtet (Tab. 8). Dabei wird von einer Analyse der ersten beiden Wochen nach der Geburt wegen des Eingewöhnens und noch unzureichender und vor allem sehr stark schwankender Futteraufnahme abgesehen.

Tabelle 8: Korrelationskoeffizienten zwischen den Futteraufnahmen, dem Alter und Gewicht in Abhängigkeit von verschiedenen Altersabschnitten.

Parameter	Korrelationskoeffizient r im Altersabschnitt [LT]							
	gesamt	I	II	a		III	IV	
				8.-105.	8.-20.			21.-41.
Alter/	MT	-0,675	0,528	0,054	0,532	0,004	-0,850	-0,251
	TW	0,802	0,061	0,202	0,052	0,196	0,673	0,460
	KF-TS	0,903	0,237	0,388	0,165	0,287	0,781	0,197
	HTS	0,717	0,167	0,140	0,102	0,122	0,442	0,430
	Gewicht	0,907	0,127	0,508	0,326	0,356	0,672	0,632
MT/	TW	-0,805	0,079	0,121	0,067	0,139	-0,667	-0,185
	KF-TS	-0,735	0,239	0,157	0,192	0,158	-0,651	-0,023
	HTS	-0,680	0,118	0,046	0,070	0,066	-0,423	-0,200
	Gewicht	-0,738	0,128	0,139	0,218	0,141	-0,529	-0,113
TW/	KF-TS	0,785	0,036	0,284	0,053	0,306	0,674	0,184
	HTS	0,792	0,013	0,058	0,031	0,039	0,415	0,292
	Gewicht	0,837	0,102	0,224	0,148	0,205	0,669	0,594
KF-TS/	HTS	0,666	0,139	0,109	0,142	0,069	0,354	0,114
	Gewicht	0,871	0,200	0,442	0,290	0,407	0,731	0,211
HTS/	Gewicht	0,719	0,034	0,143	0,085	0,120	0,336	0,396

$P < 0,0001$, $P > 0,0001$

Bis zum Beginn des Abtränkens beinhaltet Phase a den Zeitraum vom 14.-28. LT und Phase b vom 29.-41. LT. Die Phase während des Abtränkens entspricht obiger Phase III (42.-70. LT) und im Anschluss daran Phase IV (71.-96. LT). Beim Vergleich der beiden unterschiedlichen Alterseinteilungen hinsichtlich der Beziehung zwischen TW und Alter,

KF-TS bzw. Gewicht ergeben sich keine nennenswerten Unterschiede. Auch bei den weiteren untersuchten Parametern ergibt die Auswertung nach a und b (abgesehen von einzelnen Korrelationskoeffizienten) keine bedeutsam höheren Werte als bei I und II. Allerdings kann im Zeitraum vom 14.-28. LT (Phase a) eine tendenziell engere Beziehung zwischen den einzelnen Parametern und dem Gewicht festgestellt werden, als im Zeitraum vom 8.-20. LT (Phase I), jedoch bei weitem nicht jene hohen Korrelationswerte wie im Zeitraum vom 21.-41. LT (Phase II). Demnach hat das Lebendgewicht in Phase a eine höhere bzw. stabilere Bedeutung hinsichtlich der Beziehung zu den Fütterungsparametern als während der ersten drei Lebenswochen (Phase I). Dies kann in der Praxis durch die zum Teil negativen Zunahmen während der ersten Woche am TA erklärt werden, nachdem die Kälber auf MAT umgestellt wurden.

5.1.4.2.2 Multiple Korrelationen

Um die Bedeutung der TW-Aufnahme anhand der erhobenen Daten in einem allumfassenden Vergleich aller Variablen zu analysieren, wurden multiple Korrelationen durchgeführt. Dabei wurde mit der abbauenden multiplen Korrelation und Regression (MKR) gearbeitet, um einen Gesamtüberblick über alle Einflussgrößen zu erhalten. Beim Abbau wird ersichtlich, wie hoch der Beitrag der „ausgeschiedenen Variable“ zum Gesamtbestimmtheitsmaß ist. Idealerweise wird unterstellt, dass es keine oder nur geringe „Interkorrelationen“ zwischen den Variablen gibt, was in der Regel aber so nicht zutreffend ist. Es wird jene Variable zuerst ausgeschieden, welche entweder tatsächlich nur einen geringen Einfluss auf das Gesamtbestimmtheitsmaß hat oder welche über hohe Interkorrelationen durch andere Variablen schon abgedeckt ist.

Bei den systematisch aufeinander folgenden Analysen wurde gegenüber der Zielgröße TW-Aufnahme abbauend zuerst mit allen originären 16 Variablen und allen 2930 Datensätzen (inkl. Fehlstellen und Null-Werten) gerechnet. Hierbei muss beachtet werden, dass nicht belegte Zellen nicht automatisch mit Null gleichgesetzt werden dürfen. Diese Eigenheit des Auswertesystem führte demnach zu falschen Ergebnissen. Deshalb wurden im Anschluss daran alle unvollständigen Datensätze (ohne Messwerte) ausgeschieden. Wirkliche Null-Aufnahmen wurden belassen, denn wenn ein Kalb kein Futter aufnimmt, ist der dafür richtige Wert tatsächlich Null. Da aber bei diesem Ansatz die Residuen nicht normalverteilt sind und somit eine lineare Korrelation nicht zulässig ist, sind die Ergebnisse nur bedingt brauchbar. Deshalb wurde die Auswertung mit einer transformierten Zielgröße, allen TS-Einflussgrößen und ausschließlich positiven Werten durchgeführt. Allerdings werden dabei die Null-Werte als wahre Null-Aufnahmen nicht berücksichtigt, was zum Verwerfen auch dieses Ansatzes führte. Um eine Normalverteilung $\{N(0/1)\}$ der Residuen zu erhalten und damit den linearen Modellansatz zu rechtfertigen, wurde schließlich die Zielgröße einer eingrenzenden Transformation unterzogen („Fitting“). Hierfür wurden alle TS-Einflussgrößen und alle Datensätze (inklusive Null-Werte) berücksichtigt. Letztlich wurde

die Analyse ohne die Daten des Kalbes Nr. 838 durchgeführt, da es sich um ein oft krankes Kalb handelt, welches statistisch als „Ausreißer“ zu kennzeichnen ist.

Bei der Einzelanalyse der Einflussgrößen ergaben sich die Abhängigkeiten von der TW-Aufnahme nach Tabelle 9. Darin sind die Einzelkorrelationen als R^2 , die Testgrößen der Residuen und das Absolutglied der Regression enthalten, wobei bei Zulässigkeit eines linearen Ansatzes gilt: R^2 soll so hoch wie möglich sein, $\text{Schiefe}_{\text{Res}}$ und $\text{Exzess}_{\text{Res}}$ sollen je $< \pm 2$ und das Absolutglied ≥ 0 sein.

Tabelle 9: Ergebnisse der einzelnen Korrelationen hinsichtlich TW-Aufnahme vor Beginn der abbauenden multiplen Regression.

Einflussgröße	Einzelkorrelation	Testgrößen der Residuen		Absolutglied
	R^2	$\text{Schiefe}_{\text{Res}}$	$\text{Exzess}_{\text{Res}}$	der Regression
Geschlecht	0,001	2,89	14,64	0,525
Alter	0,211	2,40	13,27	-0,450
MT	0,019	2,73	13,53	1,085
Temperatur	0,014	2,84	14,36	13,064
Gewicht	0,226	2,26	12,62	-2,058
MAT-TS	0,120	2,77	13,81	0,936
KF-TS	0,363	1,94	11,32	0,133
HTS	0,063	2,77	14,29	0,353
GTS	0,303	2,17	12,46	-0,554
GW	0,246	2,24	11,71	-1,544

Den Regeln folgend kann interpretiert werden, dass die Zielgröße TW-Aufnahme zu 36,3 % durch die KF-TS-Aufnahme erklärt werden kann. Dieser Zusammenhang ist trotz Überhöhung im Exzess linear abhängig mit der kleinen Einschränkung, dass bei keiner KF-TS-Aufnahme immer noch 0,133 l TW aufgenommen werden (müsste eigentlich 0,0 sein). Das Tiergewicht hingegen ist trotz hohem R^2 nicht linear abhängig. Gleiches gilt für alle anderen Einflussgrößen, obwohl dieses Ergebnis durch fehlende Messwerte und durch Null-Messwerte beeinträchtigt sein könnte.

Während der weiterführenden Analysen wurden von den 16 Einflussgrößen schrittweise nacheinander nicht verrechenbare Parameter bzw. jene mit dem kleinsten Beitrag zur multiplen Korrelation eliminiert, wodurch die Gewichte der jeweiligen Größen erkennbar wurden. In Tabelle A13 sind die analysierten Abschnitte dargestellt, wobei (in den Spalten von unten nach oben gelesen) der absolute Zuwachs des multiplen Korrelationskoeffizienten dargestellt ist. Der grau hinterlegte Block erreicht jeweils eine signifikante Korrelation auf dem 5 %-Niveau. Diese Ergebnisse sind in Abbildung 16 grafisch dargestellt. Über die gesamte Tränkezeit betrachtet (8.-70. LT) fällt der hohe Korrelationsbeitrag von KF-TS ($r = 0,523$) zur TW-Aufnahme auf, welcher durch das Alter ($r_{\text{Zuwachs}} = 0,020$), das Gewicht ($r_{\text{Zuwachs}} = 0,001$) und die Temperatur ($r_{\text{Zuwachs}} = -0,0006$) nur geringfügig erhöht wird. Der

negative Korrelationszuwachs bedeutet, dass der Einfluss der Temperatur auf die TW-Aufnahme in diesem Zeitraum ausschließlich auf der Veränderung der multiplen Korrelation bei den restlichen Variablen beruht. Da also die Temperatur einen signifikanten Einfluss hat, muss die niedrigere multiple Korrelation akzeptiert werden. Der multiple Ansatz erreicht dadurch insgesamt einen Korrelationswert von $r = 0,544$ bzw. $R^2 = 29,6\%$. Die zusätzlichen Variablen erbringen nur noch infinitesimal kleine oder sogar negative Beiträge (Heu-TS, Geschlecht), da sie durch die Interkorrelationen mit den vier signifikanten Variablen durch den errechneten multiplen Ansatz schon abgedeckt sind.

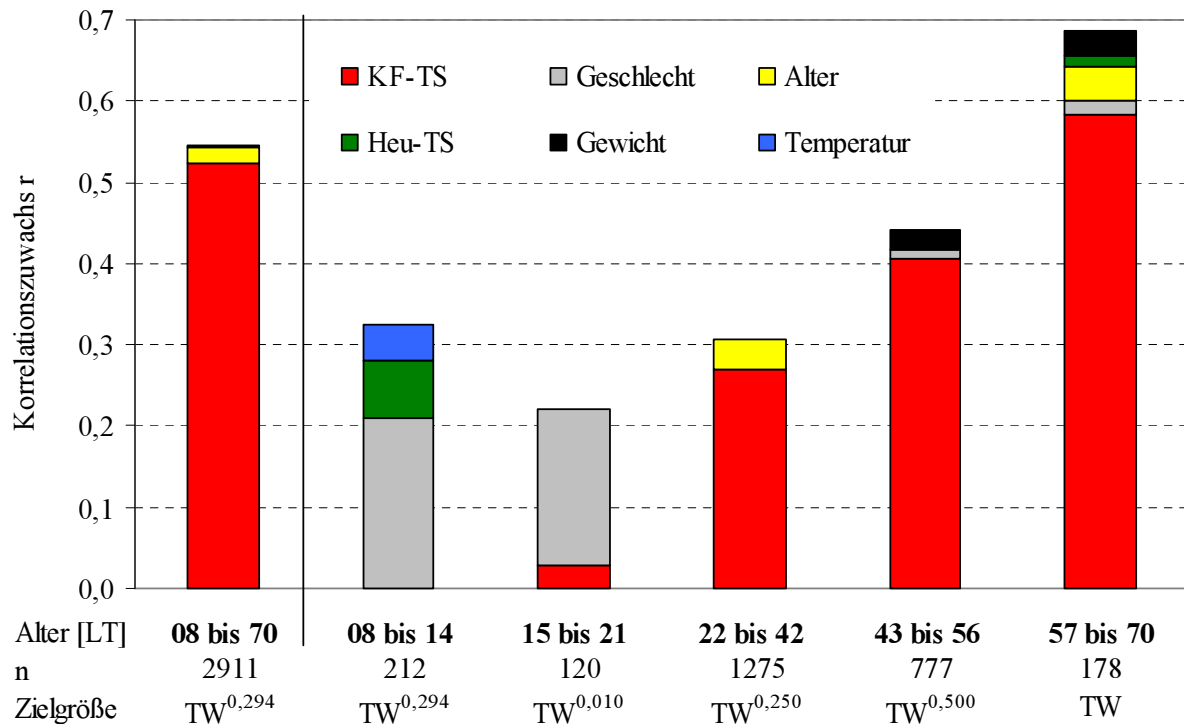


Abbildung 16: Multiple Korrelationen mit der Zielgröße Trinkwasseraufnahme (TW).

Da anzunehmen ist, dass aufgrund des unterschiedlichen Zeitpunktes des Beginns der Wiederkauaktivität eine zusätzliche zeitliche Komponente in den Daten integriert ist, wurden die Abschnitte in Anpassung an die Tränkekurve (Abb. 8) spezifisch analysiert. Danach zeigt sich, dass während der Anlernphase an den Tränkeautomaten (8.-14. LT, 6 l Tränke/d) vor allem das Geschlecht eine signifikante Einflussgröße auf die TW-Aufnahme darstellt ($r = 0,211$). Die Korrelationsbeiträge der signifikanten Größen Heu-TS ($r_{\text{Zuwachs}} = 0,069$) und Körpertemperatur ($r_{\text{Zuwachs}} = 0,046$) verbessern diesen Ansatz auf einen Korrelationswert von $r = 0,325$ bzw. $R^2 = 10,6\%$. Während der Phase mit einer Tränkemengensteigerung von 6 auf 8 l/d (15.-21. LT) konnten zwei signifikante Einflussgrößen auf die TW-Aufnahme analysiert werden, nämlich neben dem Geschlecht ($r = 0,193$) auch die KF-TS-Aufnahme ($r_{\text{Zuwachs}} = 0,029$), was zu einem Gesamtkorrelationswert von $r = 0,222$ führt ($R^2 = 4,9\%$). Ein höherer Einfluss der KF-TS-Aufnahme auf die TW-Aufnahme wurde im Altersabschnitt vom 22.-42. LT (8 l Tränke/d) mit $r = 0,269$ ermittelt. Außerdem ist während dieser Zeit die TW-Aufnahme signifikant

vom Alter abhängig ($r_{\text{Zuwachs}} = 0,038$). Hierbei konnte insgesamt ein Korrelationswert von $r = 0,306$ ($R^2 = 9,3\%$) dokumentiert werden. Bei kontinuierlich abnehmendem Milchangebot (43.-56. LT), verhaltener TW-Aufnahme und vor allem stetig ansteigender KF-Aufnahme lieferte ebenfalls KF-TS mit $r = 0,406$ den höchsten Beitrag zum Gesamtkorrelationswert der drei in diesem Abschnitt signifikanten Einflussgrößen, neben dem Geschlecht ($r_{\text{Zuwachs}} = 0,011$) und dem Tiergewicht ($r_{\text{Zuwachs}} = 0,024$) ($R^2 = 19,5\%$). Während der letzten Phase des Abtränkens (57.-70. LT) stieg die TW-Aufnahme rapide an (Kapitel 5.1.4.1), sodass sich die Anzahl der auf die TW-Aufnahme signifikanten Einflussgrößen auf fünf erhöhte. Hierbei hatte abermals die KF-TS-Aufnahme den höchsten Korrelationswert ($r = 0,583$), obwohl das Maximum des KF-Angebots erreicht wurde. Ebenfalls als signifikant geprüft werden konnten das Tieralter ($r_{\text{Zuwachs}} = 0,040$), das Tiergewicht ($r_{\text{Zuwachs}} = 0,030$) und die Heu-TS-Aufnahme ($r_{\text{Zuwachs}} = 0,015$). Auch das Geschlecht beeinflusste die TW-Aufnahme in diesem Altersabschnitt signifikant mit $r_{\text{Zuwachs}} = 0,019$. Insgesamt konnte dabei ein Gesamtkorrelationskoeffizient der signifikanten Einflussgrößen von $r = 0,687$ ermittelt werden ($R^2 = 47,2\%$).

Die Ergebnisse zeigen, dass ausgehend von den Daten der gesamten Tränkezeit, die erreichten multiplen Korrelationswerte der ersten beiden Zeitabschnitte zunehmend geringer werden, da die Kälber wegen des hohen Milchangebots und der geringen TS-Aufnahme noch sehr wenig TW aufnehmen. Erst mit zunehmender KF-Aufnahme und vor allem in der letzten Phase des Abtränkens werden die Werte bei linearen Verhältnissen sogar sehr hoch. Allerdings ändern sich die beteiligten signifikanten Einflussgrößen im Zeitverlauf. Im Jugendalter der Kälber (8.-21. LT) dominiert das Geschlecht. Danach hat das Alter, aber vor allem die KF-TS-Aufnahme einen sehr hohen Einfluss auf die TW-Aufnahme. Dies spiegelt sich auch, jedoch in abgeschwächter Form, in den Daten der Gesamt-Tränkezeit wider. Denn mit zunehmendem Alter kommt es aufgrund des wachstumsbedingten Energiebedarfs zu einer steigenden TS-Aufnahme, einer dadurch erhöhten TW-Aufnahme und schließlich zu einer Zunahme der Lebendmasse.

Der in vielen Phasen signifikante Einfluss des Geschlechts auf die TW-Aufnahme und auch die teils hohen Werte der Standardabweichung in Tabelle A12 deuten auf hohe individuelle bzw. geschlechtsspezifische Unterschiede hin, welche mithilfe der Abbildungen A16 bis A19 grafisch verdeutlicht werden. Da es sich bei diesen Abbildungen um die Aufnahmemengen zweier männlicher (565, 581) und zweier weiblicher Tiere (820, 841) handelt, welche zu unterschiedlichen Zeiten aufgestellt waren (je mindestens 14 Wochen im Zeitraum vom 04.04.06 bis 08.11.06), gilt es die Abhängigkeit der Aufnahmen vom Geschlecht und den Einfluss des Klimas zu klären.

5.1.4.3 Futteraufnahme in Abhängigkeit vom Geschlecht

Bedingt durch das Weglassen fehlerhafter Daten und die durch die Schlachtungen unterschiedliche Anzahl an Tieren vor allem im letzten Untersuchungsabschnitt, variierte

die Tieranzahl bei den männlichen Kälbern von drei bis 33, bei den weiblichen von neun bis 33 (Abb. A2).

Werden alle verbliebenen Messdaten über das Alter betrachtet (Abb. 17), dann wird ersichtlich, dass die Kurven der TW- und TS-Aufnahmen bei beiden Geschlechtern jeweils ähnlich verlaufen. Allerdings lag während des Untersuchungszeitraums sowohl die GW- als auch die GTS-Kurve der männlichen Tiere nahezu ausschließlich über jenen der weiblichen [249].

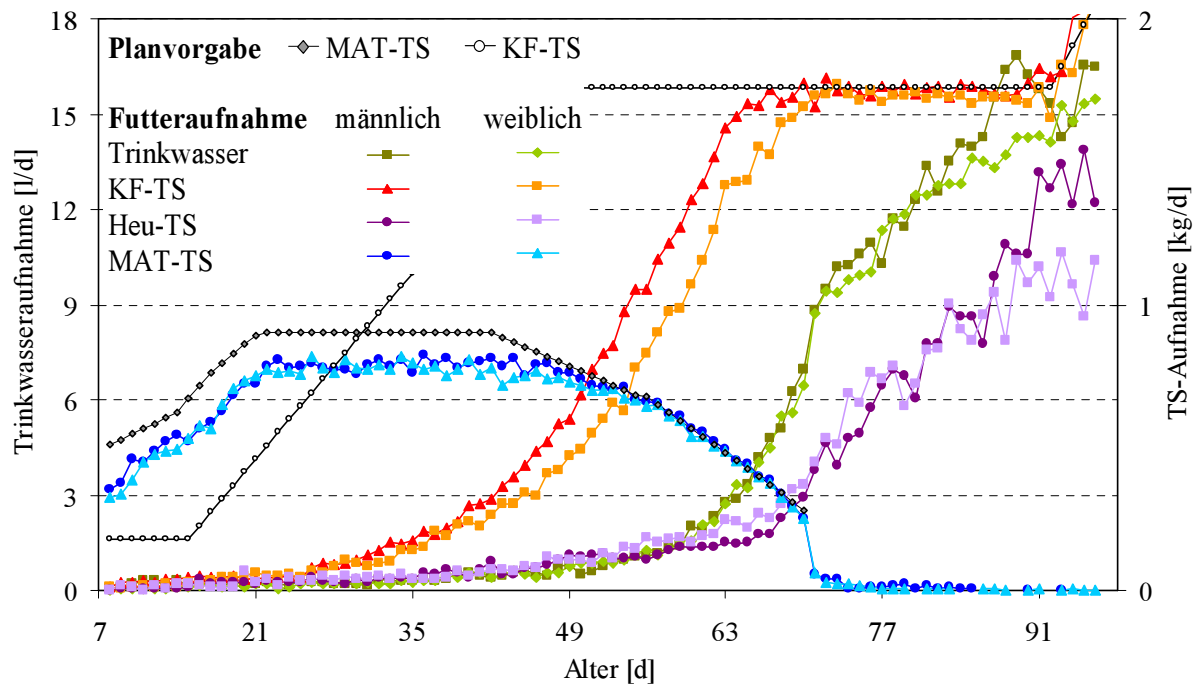


Abbildung 17: Altersabhängige geschlechtsspezifische Entwicklung der Futteraufnahme.

Beide Geschlechter nahmen die ihnen laut Tränkeplan angebotene Milchmenge bis zum Abtränken nicht vollständig auf. Während des Abtränkens fielen beide Wasseraufnahmekurven ab dem 50. LT zunächst ab, blieben dann auf etwa gleichem Niveau und stiegen ab dem 66. LT an, da das reduzierte Milchangebot durch eine TW-Aufnahme ausgeglichen wurde. Eine mittlere absolute GW-Aufnahme von über 8 l/d an mindestens drei aufeinander folgenden Tagen erreichten beide Geschlechter ab dem 67. LT. Eine mittlere Aufnahme von über 1,0 kg TS/d an mindestens drei aufeinanderfolgenden Tagen erreichten die männlichen Tiere ab dem 36. LT, die weiblichen ab dem 39. LT, von über 2,0 kg TS/d ab dem 59. LT bzw. ab dem 63. LT.

Vertiefend zeigt Tabelle 10 die Mittelwerte und Standardabweichungen der GW- und GTS-Aufnahmen beider Geschlechter. Im gesamten Untersuchungszeitraum nahmen die männlichen Tiere im Mittel um 0,38 l/d bzw. 4,4 % mehr GW und 0,08 kg/d bzw. 5,0 % mehr GTS auf als die weiblichen. Die größten Unterschiede in der Wasseraufnahme beider Geschlechter konnten im Abschnitt I (8.-20. LT) (männliche Tiere nahmen im Mittel um 0,3 l/d bzw. 5,2 % mehr GW auf) und im letzten Abschnitt (71.-96. LT) (um 0,83 l/d bzw. 6,4

% höhere GW-Aufnahme der männlichen Tiere) verzeichnet werden. Außerdem tranken die männlichen Tiere um 5,2 % (0,24 l/d) mehr TW, konsumierten 5,9 % (0,02 kg/d) mehr HTS und 6,7 % (0,06 kg/d) mehr KF-TS als die weiblichen Kälber.

Tabelle 10: Mittelwerte der GW- und GTS-Aufnahmen der männlichen und weiblichen Kälber während verschiedener Altersabschnitte.

Parameter		Absolute mittlere Aufnahmemenge im Altersabschnitt [LT]				
		gesamt 8.-96.	I 8.-20.	II 21.-41.	III 42.-70.	IV 71.-96.
GW-Aufnahme [l/d]	männl.	9,07 ± 2,03	5,44 ± 0,96	7,35 ± 1,30	7,61 ± 1,45	13,90 ± 3,80
	weibl.	8,69 ± 2,25	5,17 ± 1,01	7,26 ± 1,30	7,37 ± 1,70	13,07 ± 4,24
GTS-Aufnahme [kg/d]	männl.	1,69 ± 2,30	0,58 ± 0,11	0,95 ± 0,22	1,79 ± 0,37	2,74 ± 0,37
	weibl.	1,61 ± 0,37	0,57 ± 0,13	0,94 ± 0,23	1,66 ± 0,42	2,64 ± 0,54

Der Wert der minimalen GW-Aufnahme eines Tieres lag ab dem 71. LT bei den männlichen Kälbern bei 4,4 l/d (85. LT), der Maximalwert bei 31,1 l/d (90. LT). Die vergleichbaren Werte der weiblichen Tiere lagen bei 3,5 l/d (84. LT) und 31,7 l/d (78. LT). Wesentliche Unterschiede in der GTS-Aufnahme konnten im Abschnitt III (42.-70. LT) (männliche Tiere nahmen im Durchschnitt um 0,1 kg/d bzw. 8,6 % mehr GTS auf) und im vierten Zeitabschnitt (im Mittel 0,2 kg/d bzw. 5,8 % höhere GTS-Aufnahme männlicher Tiere) festgestellt werden. Hier lag der Wert der minimalen täglichen GTS-Aufnahme bei einem männlichen Tier bei 1,6 kg/d (86. LT) und jener der weiblichen Tiere bei 0,8 kg/d (84. LT). Die maximalen Aufnahmen betragen 4,4 kg/d (91. LT) bzw. 5,4 kg/d (90. LT). Sowohl bei der GW- als auch der GTS-Aufnahme gleichen sich die Kurven im zweiten Zeitabschnitt (21.-41. LT) sehr stark an.

Während des gesamten Versuchszeitraums waren die männlichen Tiere im Mittel um 5,57 kg (8,4 %) schwerer als die weiblichen (Abb. A15). Die Gewichtsdivergenz vergrößerte sich mit zunehmendem Alter. Ab dem 92. LT war das Verhältnis umgekehrt, was durch die ständig sinkende Anzahl an Werten bei den männlichen Kälbern und die ebenfalls mit dem Alter zunehmende Messungenauigkeit der Vorderfußwaage zu erklären ist.

Beim Vergleich der Korrelationskoeffizienten der TW-Aufnahme mit dem Alter, der KF-Aufnahme und dem Tiergewicht verschiedener Altersabschnitte (Tab. 7) fällt auf, dass, auf den gesamten Versuchszeitraum bezogen, die Koeffizienten der weiblichen Kälber höher sind als jene der männlichen Tiere. Abgesehen von den Werten zwischen TW und Alter in den Phasen III (42.-70. LT) und IV (71.-96. LT) besteht in den übrigen Altersabschnitten bei den weiblichen Kälbern stets eine höhere Korrelation.

Die Daten zeigen teils eine große Bandbreite der GW- und GTS-Aufnahme gleichaltriger Tiere. Tabelle 11 präsentiert eine Zwei-Wege ANOVA mit den Faktoren Alter und Geschlecht für alle sieben Variablen. Es gibt 88 Freiheitsgrade für den Faktor Alter und einen für den Faktor Geschlecht. Die Anzahl der Freiheitsgrade im Nenner beträgt in etwa

5000 für jede Variable. Der hohe Einfluss des Alters auf alle sieben Variablen kann klar bewiesen werden ($P < 0,0001$). Auch der Einfluss des Geschlechts kann für alle Variablen mit Ausnahme von HTS ($P = 0,4084$) und TW ($P = 0,0212$) statistisch eindeutig belegt werden ($P < 0,0001$). Der Einfluss des Geschlechts auf die TW-Aufnahme wurde statistisch unter dem gewöhnlichen Signifikanzniveau von $\alpha = 5\%$ bewiesen ($P = 0,020$).

Tabelle 11: F- und P-Werte mit Vertrauensintervallen (VI) einer Zwei-Wege ANOVA in Abhängigkeit vom Alter und Geschlecht.

Komponente		Futteraufnahmemenge von						
		GTS [kg d ⁻¹]	GW [l d ⁻¹]	MT [l d ⁻¹]	TW [l d ⁻¹]	MAT-TS [kg d ⁻¹]	KF-TS [kg d ⁻¹]	HTS [kg d ⁻¹]
Alter	F	227	72	464	311	553	436	110
	P	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Geschlecht	F	39	21	25	5,3	19	64	0,7
	P	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,0212	< 0,0001	< 0,0001	0,4084
VI	UL	0,045	0,171	0,077	0,020	0,007	0,044	-0,018
	OL	0,086	0,430	0,176	0,248	0,017	0,072	0,007

Um den Einfluss des Geschlechts auf die sieben Variablen detaillierter darzustellen, wurden zusätzlich altersabhängige Vertrauensintervalle für die mittleren Differenzen dieser Variablen zwischen männlichen und weiblichen Tieren berechnet. Das Vertrauensintervall [UL = 0,045; OL = 0,086] für GTS bedeutet, dass, mit einem Konfidenzniveau von 95 %, die von den männlichen Tieren aufgenommene GTS mindestens 0,045 kg/d und maximal 0,086 kg/d höher ist als die GTS-Aufnahme der weiblichen Kälber. Mit Ausnahme der HTS-Aufnahme gelten solche Differenzen analog für alle anderen Variablen. Die altersabhängigen Mittelwerte der männlichen Tiere konnten immer als höher geprüft werden als jene der weiblichen, mit Ausnahme der HTS, bei der keine Unterschiede bewiesen werden konnten.

Wegen der laufenden Schlachtungen variierte die Anzahl der männlichen und weiblichen Tiere in der Gruppe. Da vor allem männliche Kälber geschlachtet wurden, konnte bei einigen der folgenden Analysen der Geschlechtsunterschied nicht beachtet und deshalb die Tiergruppe ausschließlich als Ganzes bewertet werden.

5.1.4.4 Einfluss des Klimas auf die Futteraufnahme

Die im Tierbereich aufgezeichneten Daten der relativen Luftfeuchte und der Temperatur wurden zur Auswertung des Klimaeinflusses auf die Futteraufnahme herangezogen. Zur grafischen Veranschaulichung dieser Zusammenhänge werden in den Abbildungen A20 bis A23 exemplarisch Klima- und Temperaturkurven gemeinsam mit den Aufnahmemengen der bereits in Abbildungen A16 bis A19 dargestellten Tiere gezeigt.

5.1.4.4.1 Futteraufnahme und absolute Tageswerte

Anhand der Pearson'schen Korrelationskoeffizienten (Tab. 12) kann gezeigt werden, dass bei den absoluten Daten zwischen den mittleren täglichen Aufnahmen aller Tageswerte aller Tiere und dem jeweiligen täglichen Maximalwert der rF ($r = 0,165$ bei TW, $r = 0,232$ bei GTS und $r = 0,182$ bei GW), als auch zwischen den Aufnahmen und dem Mittelwert der Tagestemperatur ($r = 0,159$ bei TW, $r = 0,091$ bei GTS und $r = 0,203$ bei GW) die engsten Beziehungen bestehen. Mit Ausnahme der minimalen rF-Daten können alle Werte mit $P < 0,0001$ statistisch gesichert geprüft werden.

Tabelle 12: Korrelationskoeffizienten zwischen Klima- und Futteraufnahmeparametern (Vortag).

Klimaparameter	Korrelationskoeffizient r der Aufnahmemenge von		
	TW	GTS	GW
Alle 66 Tiere			
\bar{x} (Feuchte)	0,080	0,169	0,086
Max(Feuchte)	0,165	0,232	0,182
\bar{x} (T)	0,159	0,091	0,203
Max(T)	0,145	0,084	0,176
33 weibliche Tiere			
\bar{x} (Feuchte)	0,129	0,194	0,123
Max(Feuchte)	0,261	0,313	0,254
\bar{x} (T)	0,314	0,270	0,336
Max(T)	0,278	0,252	0,289
33 männliche Tiere			
\bar{x} (Feuchte)	0,102	0,202	0,102
Max(Feuchte)	0,102	0,171	0,135
\bar{x} (T)	-0,106	-0,186	-0,035
Max(T)	-0,755	-0,170	-0,020

$P < 0,0001$, $P > 0,0001$

Aufgeteilt in die vier zuvor definierten Altersabschnitte zeigt Tabelle 13, dass sich die Werte der Korrelationskoeffizienten der absoluten Aufnahmen mit dem Klima zur Phase II (21.-41. LT) zunächst verringern (bei GW und maximaler rF von $r = 0,154$ auf $r = 0,121$), bevor sich während der Abtränkphase (42.-70. LT) zur rF eine engere Beziehung einstellt ($r = 0,218$ mit GTS und $r = 0,186$ mit GW). Die mittlere Temperatur gewinnt in Phase III eine zunehmende Bedeutung hinsichtlich der GW-Aufnahme (in Phase II von $r = 0,064$ zu $r = 0,300$), wohingegen für die GTS-Aufnahme ein $r = -0,023$ berechnet werden kann. Während dieser Phase wird zwar die MAT-TS-Menge kontinuierlich reduziert, die Tiere nehmen aber überdurchschnittlich viel KF-TS auf, was zu einer starken Erhöhung der GTS-Menge führt. Da für diese Berechnung die absoluten Mengen verwendet wurden, steigen im letzten Altersabschnitt aufgrund der hohen Aufnahmen die Korrelationskoeffizienten sowohl in

Verbindung mit der maximalen rF ($r = 0,124$ bei GTS und $r = 0,147$ bei GW) als auch mit der mittleren Temperatur ($r = 0,155$ bei GTS und $r = 0,405$ bei GW) stark an.

Tabelle 13: Korrelationskoeffizienten zwischen Klima- und Futteraufnahmeparametern (Vortag) im Altersverlauf.

Klima- parameter	Korrelationskoeffizient r im Altersabschnitt [LT]							
	8.-20. (I)		21.-41. (II)		42.-70. (III)		71.-96. (IV)	
	GTS	GW	GTS	GW	GTS	GW	GTS	GW
\bar{x} (Feuchte)	0,127	0,135	0,102	0,097	0,202	0,051	0,007	-0,042
Max(Feuchte)	0,142	0,154	0,124	0,121	0,218	0,186	0,124	0,147
\bar{x} (T)	0,068	0,075	0,012	0,064	-0,023	0,300	0,155	0,405
Max(T)	0,037	0,053	0,001	0,049	-0,076	0,236	0,198	0,310

$P < 0,0001$, $P > 0,0001$

Um auch bezüglich der Abhängigkeit der absoluten Aufnahmen vom Klima einen eventuellen Geschlechterunterschied herauszuarbeiten, wurden die jeweiligen Pearson'schen Korrelationskoeffizienten über den ganzen Versuch hinweg miteinander verglichen (Tab. 12). Dabei zeigt sich, dass die Korrelationswerte der Aufnahmen der weiblichen Tiere mit den Klimadaten zum Großteil wesentlich höher sind als jene der männlichen, dass also die absoluten Aufnahmemengen der weiblichen Tiere scheinbar wesentlich stärker vom Wetter abhängen. Auch hier ist zu erkennen, dass die maximale rF und der gemittelte Temperaturwert einen Einfluss auf die Aufnahmeparameter, vor allem auf die GW-Aufnahme ($r = 0,254$ und $r = 0,336$) haben.

5.1.4.4.2 Futteraufnahme und relative Differenzen zum Vortag

Da Tiere mit zunehmendem Alter mehr Wasser und Futter aufnehmen und sich der Versuch über Perioden mit verschiedenen Witterungseinflüssen erstreckte, werden im Folgenden die relativen Differenzen der Aufnahmen zum Vortag mit den relativen Abweichungen des Klimas zum Vortag in Bezug gesetzt (Tab. 14). Damit soll erreicht werden, dass der Einfluss des Klimas über das Alter verteilt und zugleich der Einfluss des Alters ausgeschaltet wird. Bei dieser Analyse zeigt sich, dass das Alter mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = -0,272$ dennoch einen Einfluss auf die TW-Differenz hat, dass sich also mit zunehmendem Alter und damit steigender TW-Menge die relativen Abweichungen in der TW-Aufnahme von Tag zu Tag verringern. Im Umkehrschluss sind die relativen Abweichungen zum Vortag bei jungen Tieren bzw. geringen Tagesaufnahmemenge weitaus höher. Dass der Wert der GW-Differenz-Aufnahme relativ eng zusammen hängt mit der TW-Differenz ($r = 0,376$) und der Differenz der GTS-Aufnahme ($r = 0,735$), beruht ebenfalls auf dem Einfluss der altersbedingten Aufnahmen. Je mehr GTS aufgenommen wurde (im Vergleich zum Vortag), desto mehr wurde im Verhältnis GW abgerufen. Dies hängt aber auch damit zusammen, dass im GW-Wert die Wasseranteile aller Futtermittel enthalten sind. Ebenfalls mit $P < 0,0001$ statistisch gesichert ermittelt werden konnte ein $r = 0,119$ zwischen der relativen Tagesdifferenz der TW-

Aufnahme und der Abweichung des Temperaturmittelwerts. Je höher demnach der Temperaturunterschied zwischen zwei Tagen ist, desto mehr TW wird aufgenommen.

Tabelle 14: Korrelationskoeffizienten zwischen der relativen Differenz der Aufnahmen zum Vortag und den relativen Abweichungen des Klimas zum Vortag.

Parameter der relativen Differenz (Vortag)	Alter	Korrelationskoeffizient r der relativen Differenz zum Vortag bei		
		TW	GTS	GW
TW	-0,272			
GTS	0,031	0,065		
GW	0,035	0,376	0,735	
\bar{x} rF		-0,083	0,051	0,020
Max rF		-0,057	0,031	0,038
\bar{x} T		0,119	-0,063	0,033
Max T		0,081	-0,026	0,035

P < 0,0001, P > 0,0001

Mit diesen Ergebnissen kann gezeigt werden, dass die TW-Aufnahmeschwankungen von Tag zu Tag geringer werden, die Tiere also die Menge kontinuierlich erhöhen und dass diese auch temperaturabhängig sind.

5.1.4.4.3 Futteraufnahme und relative Differenzen zu zwei vorausgegangenen Tagen

Um Ausreißer auszugleichen und einen altersbedingten Einfluss weitgehend auszuschließen, wurde für jede Futterkomponente eine Sollkurve anhand der Aufnahmen der vorausgegangenen Tage bestimmt. Die Soll-Aufnahme für MT- bzw. MAT-TS ist durch den Tränkeplan vorgegeben. Als Soll-Aufnahme an TW wurden 10 % der Lebendmasse abzüglich der Soll-Tränkemenge veranschlagt. Beim Tiergewicht wurde der Mittelwert der beiden vorausgegangenen Tage als Sollwert bestimmt, ebenso wie beim Soll der KF-TS und Heu-TS, wobei das KF teilweise rationiert angeboten wurde. Das GTS-Soll wurde anhand der einzelnen TS-Komponenten berechnet, das GW-Soll aus dem MT- und TW-Soll zuzüglich der Wasseranteile der Soll-Frischmasseanteile von MAT, KF und Heu. Auch bei den Klimawerten wurde zum Vergleich der Mittelwert der letzten beiden Tage heran gezogen. Die Differenz von Ist- und Sollwert wurde ermittelt und die relative Abweichung vom Sollwert berechnet $((\text{Differenz}/\text{Soll}) \times 100)$. Die Ergebnisse dieser Analyse, bei der somit die relative Differenz zwischen der Aufnahme am heutigen Tag (Istwert) mit dem Mittelwert der beiden vorherigen Tage (Sollwert) verglichen wurde, sind als Korrelationskoeffizienten in Tabelle 15 dargestellt. Dabei ergibt sich zwischen dem Alter und der relativen Differenz der TW-Aufnahme ein $r = 0,402$. Ein ähnlicher Wert ($r = 0,407$) kann auch bezüglich Alter und GTS-Aufnahme beschrieben werden. Beide Korrelationskoeffizienten wurden mit $P < 0,0001$ statistisch korrekt geprüft. Hinsichtlich des Klimas kann allerdings lediglich die GW-Differenz mit dem Temperaturmittelwert als signifikant bewertet werden ($r = 0,061$).

Tabelle 15: Korrelationskoeffizienten zwischen Klima- und Futteraufnahmeparametern (Istwert/Sollwert).

Parameter der relativen Abweichung (Ist/Soll)	Alter	Korrelationskoeffizient r der relativen Abweichung vom Ist- zum Sollwert bei		
		TW	GTS	GW
TW	0,402			
GTS	0,407	0,124		
GW	-0,013	0,698	0,210	
\bar{x} (Feuchte)		0,009	-0,005	-0,003
\bar{x} (T)		0,050	-0,004	0,061

$P < 0,0001$, $P > 0,0001$

Mit dieser Analyse kann somit ein geringer Einfluss des Temperaturtagesmittelwertes auf die relative Abweichung der GW-Aufnahme von der definierten Sollkurve bewiesen werden. Je mehr die Temperatur im Vergleich der Mittelwerte der beiden vorangegangenen Tage ansteigt, desto mehr weicht auch die GW-Aufnahme ab bzw. wird mehr GW aufgenommen. Dies wird vor allem von der TW-Aufnahme beeinflusst ($r = 0,050$). Die Aufnahme von GTS wird, was allerdings zu erwarten war, mit zunehmender Umgebungstemperatur tendenziell verringert. Außerdem wird bei zunehmender Feuchte ebenfalls mehr TW und weniger GTS, aber auch weniger GW abgerufen. Letzteres ist wohl auf den GTS-Wert zurück zu führen, da GW, welches auch aus den Wasseranteilen der Futtermittel besteht, an die Aufnahme aller, und damit indirekt auch der GTS-Futtermittel gekoppelt ist.

5.1.4.4 Futteraufnahme und relative Differenzen aus Sollkurven

Um den Einfluss des Alters bei der Auswertung des Futteraufnahmeverhaltens der Tiere noch weiter eliminieren zu können, wurde die Berechnung der Differenz der täglichen Aufnahme zu Sollkurven für jede Futterkomponente durchgeführt. Die Sollkurven der Aufnahmen wurden mithilfe der Residuenbestimmung (Differenz zwischen der Regressionsgeraden und den Messwerten) in Abhängigkeit der mittleren Aufnahmen ermittelt (Abb. A24 bis A29 und Tab. 16).

Zur Ermittlung der Genauigkeit der Sollkurven wurde folgende Formel verwendet:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_{Soll_i} - y_{Ist_i})^2}{\sum (y_{Ist_i} - \bar{y}_{Ist})^2}$$

Tabelle 16: Durch Residuenbestimmung ermittelte Gleichungen der Soll-Aufnahmen.

Futterkomponente	Gleichung	R ²
MT	$y = -0,004x^2 + 0,292x + 1,944$	0,616
TW		0,861
8.-42. LT	$y = x/100$	0,049
43.-60. LT	$y = 0,004x^2 - 0,295x + 6,422$	0,106
61.-70. LT	$y = (x-40)4/90000$	0,119
71.-105. LT	$y = 8/30*(x-70) + 9$	0,247
MAT-TS	$y = -0,0005x^2 + 0,038x + 0,108$	0,655
KF-TS		0,885
8.-92. LT	$y = 1,8/(1 + 5000*e^{-0,16x}) + 0,02$	0,871
93.-105. LT	$y = 0,047x - 2,457$	0,313
HTS	$y = 100,0229x - 2,1703$	0,658
GW	$y = 0,00005x^3 - 0,006x^2 + 0,280x + 2,800$	0,591
GTS	$y = 0,0001x^2 + 0,018x + 0,282$	0,811

Bei der MT ist zwar durch den Tränkeplan eine Maximalkurve vorgegeben (Abb. 18), eine Parabel beschreibt den mittleren Aufnahmeverlauf aber genauer, weil die Tiere nicht immer die vorgegebene Menge aufnehmen. Da die Sollkurven aus den vorliegenden Ist-Aufnahmemengen gebildet wurden, sind sie speziell für diese Untersuchung bzw. mit dem vorliegenden rationierten Tränke- und KF-Plan anzuwenden. Bei einer *ad libitum*-Tränke wären die Aufnahmen wohl abschnittsweise weitaus höher, was eine dann angepasste Sollkurve erforderlich machen würde. Die Sollkurve wird zwar aus den Ist-Werten definiert, da sie aber nicht die Kurve der täglichen Mittelwerte darstellt, soll im Folgenden der Terminus „Soll“ gelten.

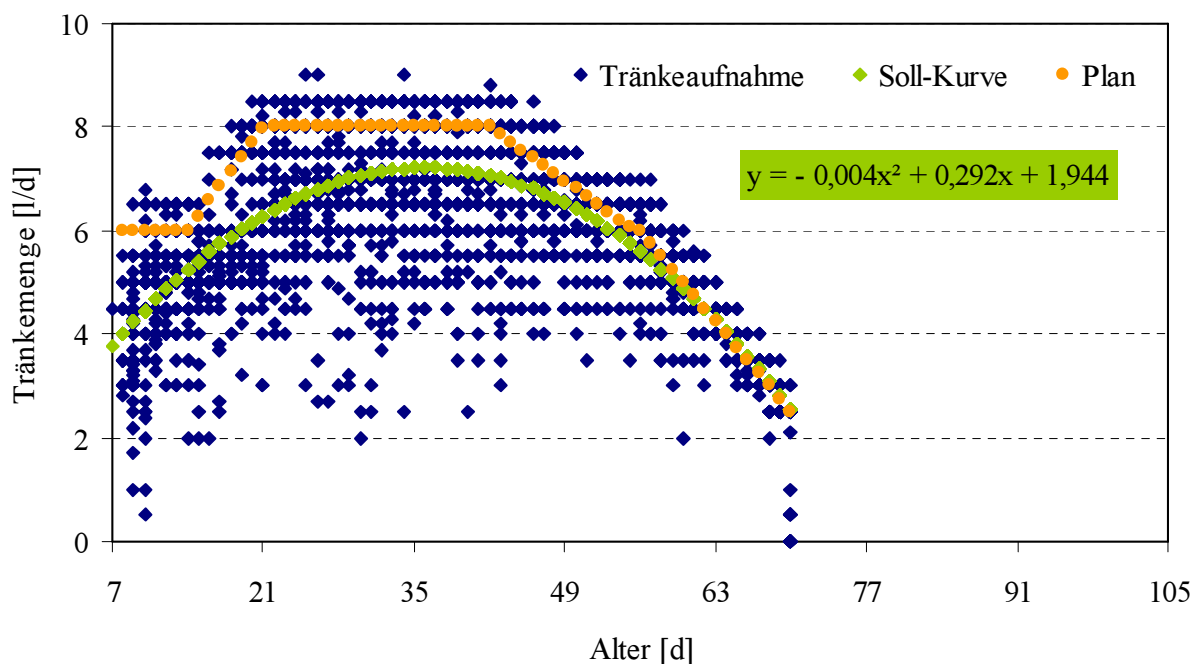


Abbildung 18: Altersabhängige mittlere Tränkeaufnahmemenge mit Tränkemenge-Sollkurve und Tränkeplankurve.

Als Sollkurve der MT-Aufnahme wurde deshalb die quadratische Funktion mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,616$ auf das Alter gefittet. Ebenso wurde bei der MAT-TS-Sollkurve und der GTS-Kurve ($R^2 = 0,811$) vorgegangen. Bei der TW-Aufnahme mussten in Abhängigkeit des Alters abschnittsweise Gleichungen dem Verlauf der Werte angepasst werden. Zur Bestimmung der Sollkurve von HTS wurde eine logarithmische Funktion gewählt ($R^2 = 0,658$). Die Soll-Aufnahmen von GW wurden durch eine kubische Funktion mit dem Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,591$ definiert. Durch den so ermittelten Differenzwert von Ist- zu Soll-Aufnahme ergibt sich das tierindividuelle Aufnahmeverhalten hinsichtlich Futtermenge. Die ermittelten Korrelationen sind in Tabelle A14 dargestellt. Dadurch, dass die Kurven den altersabhängigen Aufnahmen angepasst sind, wurde ein relativ geringer Einfluss des Alters auf die Abweichung von der Sollkurve festgestellt. Lediglich zur KF-TS-Aufnahme ist mit einem $r = -0,115$ eine Beziehung zum Alter statistisch signifikant prüfbar, weil die Kälber mit zunehmendem Alter die rationierte Maximalmenge aufnahmen und sich der Wert der Differenz somit verringert. Die hohen Korrelationswerte der GW-Differenz zu MT, MAT-TS und TW beruhen darauf, dass sich GW unter anderem aus den Mengen an MT und TW zusammensetzt, und MAT-TS von der MT-Aufnahme abhängt.

Bezüglich der Beziehung der absoluten Klimawerte zu den Abweichungen der Aufnahmemengen vom Sollwert konnte festgestellt werden, dass mit zunehmender rF die Tiere mehr vom Soll abwichen, also weniger MT aufnahmen ($r = 0,202$ bei MT). Ebenso verhält es sich auch beim absoluten maximalen Wert der Tagestemperatur mit der MAT-TS ($r = 0,247$), dass also mit ansteigender Temperatur die Tiere weniger MAT-TS über die MT aufnahmen. Auch diese Werte konnten mit $P < 0,0001$ statistisch eindeutig geprüft werden.

5.1.4.5 Aktivität der Tiere und Auslastung der Fütterungstechnik

Um einen Eindruck von der Aktivität der Tiere bzgl. Futteraufnahme und Auslastung der Technik zu bekommen, wurden die Anzahl der Besuche und die Verweildauer je Tag und je Besuch mit Futterabruf (MT, KF, Heu) in Abhängigkeit vom Alter ermittelt. Zur Verdeutlichung der Zusammenhänge wurden dafür die Pearson'schen Korrelationskoeffizienten berechnet.

5.1.4.5.1 Altersabhängige Besuche an den Stationen

Die über alle Tiere gemittelte Anzahl der täglichen Besuche an den Futterstationen ist für ausgewählte Tage in Tabelle 17 und für die Anlern- und die Abgewöhnphase in Tab. A15 dargestellt. Beim TA und KF-Automaten wird zusätzlich unterschieden, ob die Tiere Futter aufnahmen oder nicht. Demnach wurde der TA am 10. LT im Mittel insgesamt 8 mal (4 mal mit und 4 mal ohne Tränkeaufnahme) aufgesucht. Im Laufe der Aufzucht stieg sowohl die Anzahl an Besuchen mit Tränkeabruf, als auch ohne Abruf (Abb. A30 bis A32). Die tränkelosen Besuche stiegen kurz vor dem Absetzen von der Tränke sogar auf 17 ± 9 am 62. LT an. Dies liegt daran, dass die Tagesmenge auf 2,5 l begrenzt war, die Tiere aber

(aufgrund von Hunger oder Gewohnheit) mehr abrufen wollten. Deshalb nahmen gleich nach der Milchentwöhnung die erfolglosen Besuche überdimensional auf max. 75 Besuche am 72. LT zu.

Tabelle 17: Ausgewählte Tagesdaten der mittleren Anzahl an Besuchen ($\bar{x} \pm s$) je Kalb.

Alter [LT]	Anzahl Tiere	Mittlere Anzahl Besuche					
		mit MT	ohne MT	mit KF	ohne KF	TW	Heu
10	62	4 ± 3	4 ± 4	8 ± 16	1 ± 3	4 ± 9	3 ± 8
21	66	4 ± 4	8 ± 7	19 ± 18	0 ± 1	6 ± 9	7 ± 9
36	66	5 ± 2	8 ± 7	19 ± 13	0 ± 0	8 ± 8	12 ± 26
49	64	7 ± 5	11 ± 7	24 ± 16	0 ± 1	9 ± 8	14 ± 20
62	58	9 ± 3	17 ± 9	26 ± 13	7 ± 10	19 ± 15	14 ± 11
74	43	0 ± 3	9 ± 7	10 ± 3	71 ± 37	36 ± 21	25 ± 14
93	29	0 ± 1	3 ± 3	9 ± 3	72 ± 41	48 ± 29	35 ± 21

Beim KF-Automat pendelte sich die Besuchsanzahl nach dem 20. LT auf etwa 20 ein. Die Besuche ohne KF-Aufnahme traten erst mit dem Abtränken auf und nahmen dann stetig zu. Nach dem Abtränken wurden 37 Extremfälle registriert, bei denen die Kälber (überwiegend die Tiere mit den Nummern 574, 823 und 826) über 150 mal den KF-Automaten am Tag aufsuchten, davon aber höchstens 10 mal KF ausdosiert bekamen (Abb. A33 bis A35).

Bezüglich der Besuchsfrequenz am ATS verhielten sich die Tiere zu Versuchsbeginn mit bis zu 125 Besuchen am 9. LT sehr interessiert, jedoch ohne TW aufzunehmen. Dies ist mit dem Erkundungsverhalten in der neuen Umgebung zu erklären. Die Tiere wurden dadurch des Öfteren am ATS erkannt, ohne dass sie die Absicht einer Wasseraufnahme zeigten. Aber bereits am 10. LT bzw. am dritten Tag in der Gruppe, gingen die Besuche auf 4 zurück. Erst während der reduzierten Milchphase und vor allem nach dem Abtränken stieg die Anzahl an Besuchen am Wasserautomaten stark an (Abb. A36). Der Korrelationskoeffizient zwischen den TW-Besuchen und dem Alter beträgt $r = 0,636$. Ähnlich verhält sich die Besuchsfrequenz an den Wiegetrögen. Etwa zur Mitte der Tränkephase besuchten die Kälber die Heufutterplätze öfter (12 ± 26 am 36. LT). Generell stieg mit zunehmendem Alter auch die Anzahl an Besuchen zur Heuaufnahme (Abb. A37), wobei schon während der Tränkezeit einige Ausreißer mit bis zu 244 Besuchen am 53. LT verzeichnet wurden. Die Anzahl der Besuche mit Futteraufnahme ist bei den untersuchten Futterstationen mit $r = 0,436$ bei den Heu-Wiegetrögen vom Alter abhängig.

Um die Beziehungen zwischen den Futterparametern während einzelner Altersabschnitte näher betrachten zu können, wurden die Daten in den unter 5.1.4.2.1 beschriebenen Phasen analysiert (Tab. A16). Beim Vergleich der Phasen I/II mit a/b kann festgestellt werden, dass hinsichtlich der Besuche am TA die höchsten Korrelationen überwiegend beim jungen Kalb (Phase I) herausgearbeitet werden konnten. Mit zunehmender Anzahl an erfolglosen

Tränkebesuchen erhöht sich während dieser Phase die KF-TS-Aufnahme ($r = 0,405$). Der höchste Korrelationskoeffizient ($r = 0,829$) konnte unter Berücksichtigung der Daten vom 8.-105. LT zwischen den erfolglosen Besuchen am KF-Automaten (ohne Abruf) und der TW-Menge berechnet werden. Dies ist auf die enge Beziehung zwischen der Anzahl an erfolglosen Besuchen am KF-Automaten und der während der Abtränkphase (III) zunehmenden TW-Menge zurück zu führen ($r = 0,829$). Bei der Betrachtung der Korrelationskoeffizienten der Besuche am KF-, TW-Automat und an den Heuwiegetrögen, eingeteilt in die Altersabschnitte I und II bzw. a und b, wird deutlich, dass auch hier die Phasen I und II überwiegend höhere Werte aufweisen und somit aussagefähiger für die Interpretation sind als a und b. Generell gilt jedoch, dass die Gesamtanzahl der Besuche an den Futterautomaten auf die Aktivität der Tiere hindeutet (Abb. 19).

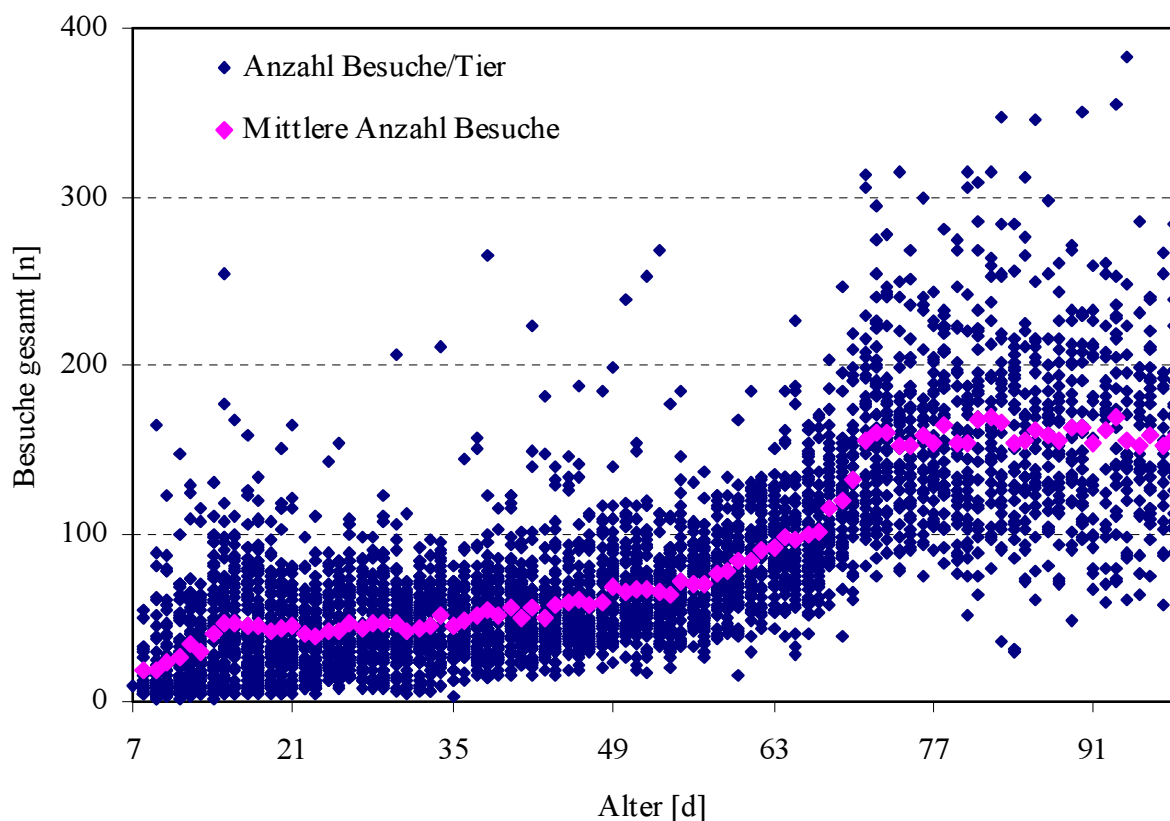


Abbildung 19: Altersabhängige Verteilung der gesamten Besuche.

Demnach nahm die Aktivität während der Tränkephase kontinuierlich zu, wobei vom 14.-16. LT ein geringer Peak der Kurve deutlich wird. Dies ist überwiegend auf die stark erhöhte Anzahl von Besuchen des Tieres 846 zurück zu führen, das an diesen Tagen 130, 255 bzw. 167 mal die Stationen aufsuchte (davon 84, 112 bzw. 152 Besuche an den Wiegetrögen und 0, 131 bzw. 5 am KF-Automat). Erst nach dem Abtränken streute die Besuchsanzahl der Tiere sehr stark (Abb.20), hervorgerufen durch die erfolglosen KF- und TW-Besuche.

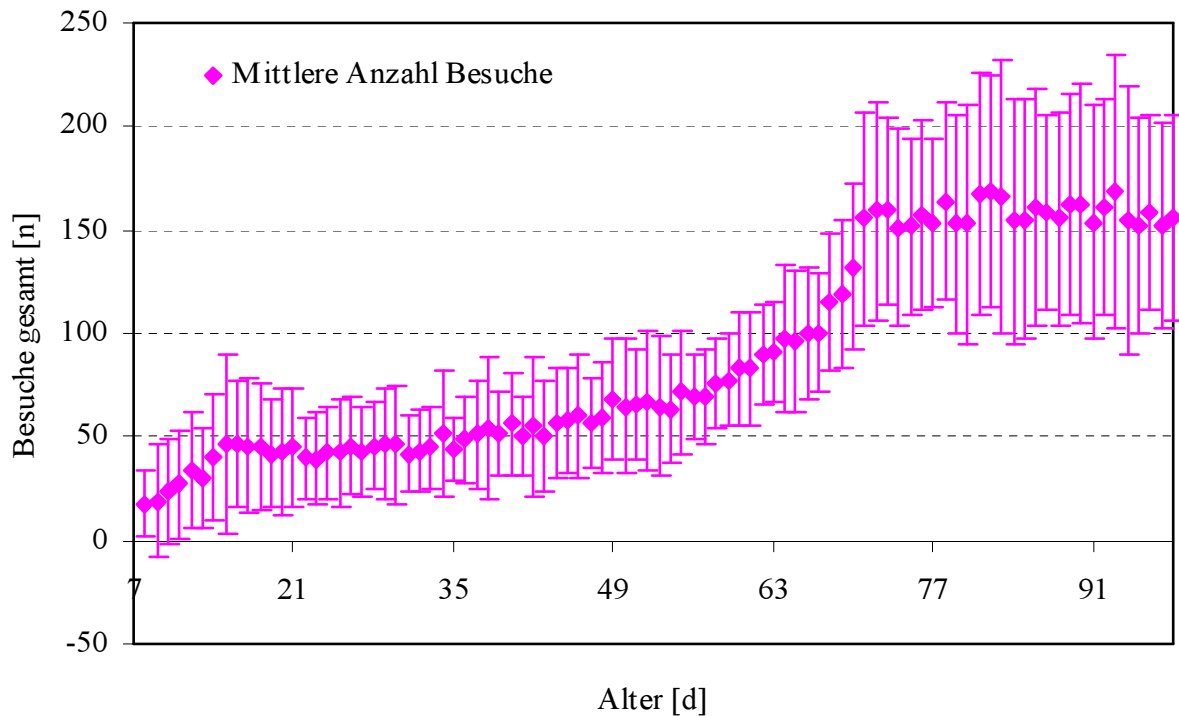


Abbildung 20: Mittlere Anzahl und Streuung der Gesamtbesuche an den Futterautomaten.

5.1.4.5.2 Verweildauer an den Stationen

Die Verweildauer am Automat wurde erfasst, indem die Uhrzeit beim Erkennen des Tieres in der Station und beim Verlassen registriert wurde. Daraus konnte die Verweildauer je Besuch bzw. je Tag ermittelt werden (Tab. 18). Allerdings standen die erforderlichen Daten des ATS nicht zur Verfügung, so dass sich die Auswertung auf die Besuchsdauern am Tränke-, am KF-Automat und den Wiegetrögen beschränken muss.

Tabelle 18: Ausgewählte Tagesdaten der Besuchsdauer ($\bar{x} \pm s$) an einer Station.

Alter [LT]	Anzahl Tiere	Mittlere Besuchsdauer je Tier und Tag am		
		MT-Automat [s]	KF-Automat [s]	Heu-Trog [s]
10	62	214 ± 173	23 ± 20	185 ± 187
21	66	275 ± 210	26 ± 17	201 ± 109
36	66	193 ± 154	32 ± 14	251 ± 188
49	64	100 ± 49	35 ± 17	271 ± 191
62	58	95 ± 68	63 ± 46	108 ± 137
74	43		245 ± 80	288 ± 137
93	29		231 ± 80	312 ± 189

Aus Tabelle 18 und den Abbildungen A38 bis A40 wird ersichtlich, dass mit zunehmendem Alter die Dauer und die Streuung je Besuch am Tränkeautomaten abnimmt, da die Tränkeportionen reduziert werden. Entsprechend sind die höchsten

Korrelationskoeffizienten während der Phase I (8.-20. LT) zu dokumentieren (Tab. 19). In diesem Altersabschnitt ernähren sich die Kälber überwiegend von MT (Korrelationskoeffizient zwischen Besuchsdauer am TA und Alter $r = 0,178$ und MT-Menge $r = 0,200$). Außerdem nimmt mit steigender Besuchsdauer am TA auch die aufgenommene KF-TS-Menge zu ($r = 0,320$).

Tabelle 19: Korrelationskoeffizienten zwischen der Besuchsdauer und dem Alter bzw. den Futteraufnahmen während verschiedener Altersabschnitte.

Parameter der Besuchsdauer	Korrelationskoeffizient r im Altersabschnitt [LT]						
	gesamt 8.-105.	I 8.-20.	II 21.-41.	a 14.-28.	b 29.-41.	III 42.-70.	IV 71.-96.
TA/ Alter	-0,418	0,178	-0,140	-0,283	-0,036	-0,012	-0,312
MT	0,116	0,200	0,187	-0,068	0,216	0,025	0,752
TW	-0,190	0,061	0,026	0,012	0,083	0,017	-0,445
KF-TS	-0,281	0,320	0,059	0,139	0,113	-0,010	-0,034
HTS	-0,204	-0,002	-0,019	-0,060	0,006	0,028	-0,339
KF/ Alter	0,749	0,014	0,192	-0,042	0,086	0,549	-0,043
MT	-0,802	-0,001	-0,040	-0,028	-0,074	-0,568	-0,091
TW	0,845	-0,049	0,044	0,015	0,005	0,643	0,257
KF-TS	0,748	0,378	0,272	0,354	0,214	0,528	0,023
HTS	0,661	-0,004	0,016	0,010	-0,027	0,313	-0,105
Heu/ Alter	0,145	0,136	0,048	0,022	0,011	0,071	0,038
MT	-0,095	0,103	-0,007	0,036	-0,018	-0,118	-0,043
TW	0,039	0,073	-0,031	0,056	-0,059	-0,067	-0,152
KF-TS	0,099	0,077	0,034	0,005	0,023	-0,047	-0,006
HTS	0,074	0,062	0,042	0,064	0,015	0,058	-0,012

$P < 0,0001$, $P > 0,0001$

Auffällig ist, dass die Kälber während Phase a (14.-28. LT), also während die MAT-Menge von 6 auf 8 l/d erhöht wird und dann auf 8 l/d verbleibt, mit zunehmendem Alter die Besuchsdauer am TA tendenziell verringern ($r = -0,283$). Dies ist wohl dadurch zu erklären, dass die Tiere mittlerweile an den TA und den MAT gewöhnt sind, durch das Wachstum der Appetit angeregt wird und dadurch die Tränke nun zügig aufnehmen.

Phase IV beschreibt die Zusammenhänge nach dem eigentlichen Abtränken, also wenn die Tiere bereits abgesetzt sein sollten. Der ermittelte Korrelationskoeffizient von $r = 0,752$ zwischen der Besuchsdauer am TA und der aufgenommenen Milchmenge resultiert aus Besuchen mit Milchraub. Hierbei wird deutlich, dass die Kälber dieses Altersabschnitts mit zunehmender MT-Menge länger am TA verbleiben, obwohl sie definitiv kein Milchanrecht mehr haben.

Bei der Bewertung der Intensität der Beziehungen zwischen der Dauer eines Besuchs am KF-Automat und den Futterkomponenten, fällt das Augenmerk vor allem auf die hohen Korrelationswerte während der gesamten Aufzucht (8.-105. LT). So nimmt mit

zunehmender Besuchsdauer am KF-Automat auch die aufgenommene TW-Menge zu ($r = 0,845$), was auf die erhöhte KF-Menge mit zunehmendem Alter und den dadurch bedingten erhöhten TW-Bedarf bei reduzierter MT-Menge zurück zu führen ist. Aufgeteilt auf die verschiedenen Altersphasen zeigt sich vor allem während der anfänglichen KF-TS-Aufnahme (Phase I) eine engere positive Beziehung zur Besuchsdauer in der KF-Station ($r = 0,378$) und während Phase III (Abtränkphase). Da während dieser Phase die aufgenommene KF-Menge stark ansteigt, verlängert sich dadurch die gesamte Besuchsdauer ($r = 0,528$), und außerdem nimmt die TW-Menge zu ($r = 0,643$). Die Auswertung der tier- und tagesindividuellen Daten am Heuwiegetrog mit Futteraufnahme ergibt, dass die Dauer jedes Besuchs am Heuwiegetrog während der Tränkephase ebenfalls tendenziell zunimmt (Tab. 18). Lediglich zu Beginn des Abtränkens, also während der anfänglichen Reduzierung des Milchangebots, nehmen die Kälber das Heu in kürzeren Perioden auf ($108 \text{ s} \pm 137 \text{ s}$). Dies kann auf den anfänglichen Flüssigkeitsmangel zurückgeführt werden (Abb. 14). Nach dem Abtränken dauern die Phasen im Mittel konstant über 200 s.

Auch bei dieser Auswertung zeigt sich, dass durch die Unterteilung in die Phasen I und II überwiegend höhere Korrelationswerte erreicht werden können als unterteilt in a und b.

Neben der mittleren Dauer eines Besuchs wurde zudem die mittlere tägliche Aufenthaltsdauer an der jeweiligen Station ausgewertet. Wie lange sich die Tiere im jeweiligen Futterstand am Tag aufhielten, zeigen die Abbildungen A41 bis A43. Zu Beginn der Tränkeperiode verbringt das einzelne Tier im Mittel mehr Tageszeit im Tränkestand, da es das Trinken am Automat erst lernen muss. Mit zunehmendem Alter und somit auch mit phasenweise abnehmender abrufbarer Milchmenge verringert sich die tägliche Aufenthaltszeit am Tränkeautomat. Aber auch abgetränkte Tiere besetzen den Tränkeautomaten bis zu über eine Stunde am Tag, obwohl sie kein Anrecht auf MT mehr besitzen. Beim KF-Automat ist dies, abgesehen von der Zeit des Erlernens zu Beginn der Aufzucht, umgekehrt. Die Kurve der Verweilzeit am KF-Automat je Tag entspricht in etwa der Kurve des KF-Angebots. Tabelle 20 verdeutlicht, dass die tägliche Verweildauer bei Tränke und KF in erster Linie von der mittleren Besuchsdauer abhängt ($r = 0,720$ und $r = 0,845$).

Bei der Heuaufnahme ist klar ersichtlich, dass die Tiere mit zunehmendem Alter täglich länger am Heutrog stehen (Abb. 21). Dies hängt weniger von der Dauer des jeweiligen Besuchs ab, sondern vielmehr von der stark erhöhten Anzahl an Besuchen nach der Tränkephase. Wie in den Abbildungen A39 und A40 erkennbar, sind vor allem die täglichen Verweilzeiten am KF- und Heu-Trog mit Koeffizienten von $r = 0,744$ und $r = 0,621$, und auch die Besuchsdauer im KF-Stand ($r = 0,749$) altersabhängig. Eine Korrelation von $r = 0,706$ konnte zwischen der täglichen Verweildauer am Wiegetrog und der Anzahl an Besuchen ermittelt werden.

Tabelle 20: Korrelationskoeffizienten zwischen der täglichen Verweildauer, Besuchsdauer und Besuchszahl.

Parameter	Korrelationskoeffizient r der								
	Alter	Verweildauer/d			Besuchsdauer			Besuchszahl	
		TA	KF	Heu	TA	KF	Heu	TA	KF
Tägl. Verweildauer									
TA	-0,346								
KF	0,744	-0,226							
Heu	0,621	-0,229	0,468						
Besuchsdauer									
TA	-0,418	0,720	-0,046	-0,144					
KF	0,749	-0,356	0,845	0,531	-0,150				
Heu	0,145	0,019	0,073	0,205	-0,044	0,052			
Besuchszahl									
TA	-0,069	0,293	-0,246	-0,190	-0,376	-0,357	0,026		
KF	-0,086	0,251	0,053	-0,184	0,132	-0,380	0,022	0,173	
Heu	0,436	-0,171	0,315	0,706	-0,109	0,373	-0,228	-0,098	-0,088

P < 0,0001, P > 0,0001

Die gesamte mittlere Verweildauer je Tag an den Wiegetrögen aller Tiere (Abb. 21) nimmt während der Tränkephase ebenfalls tendenziell zu, wobei die Streuung nach dem Abtränken der Tiere stark ansteigt (Abb. 22). Ab dem 34. LT dauern die täglichen Verweilzeiten im Mittel über 2000 s (bei im Mittel 11,7 Besuchen/d) und nach dem Abtränken über 4000 s (bei über 20 Besuchen/d).

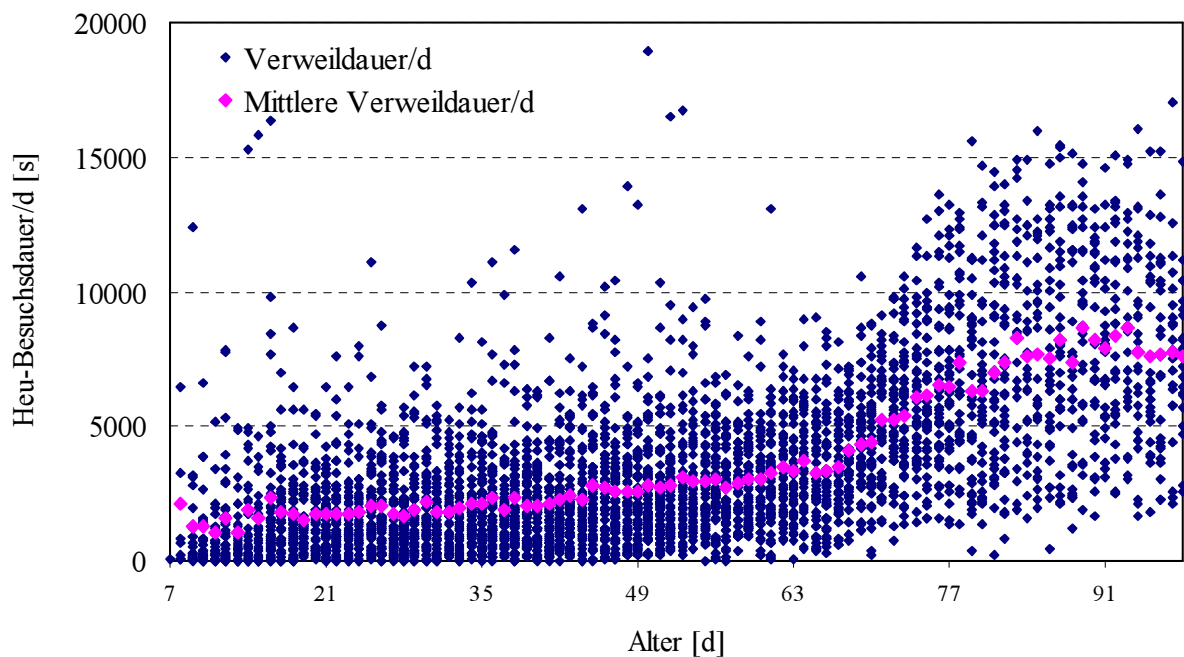


Abbildung 21: Mittlere Verweildauer an den Heu-Wiegetrögen je Tag.

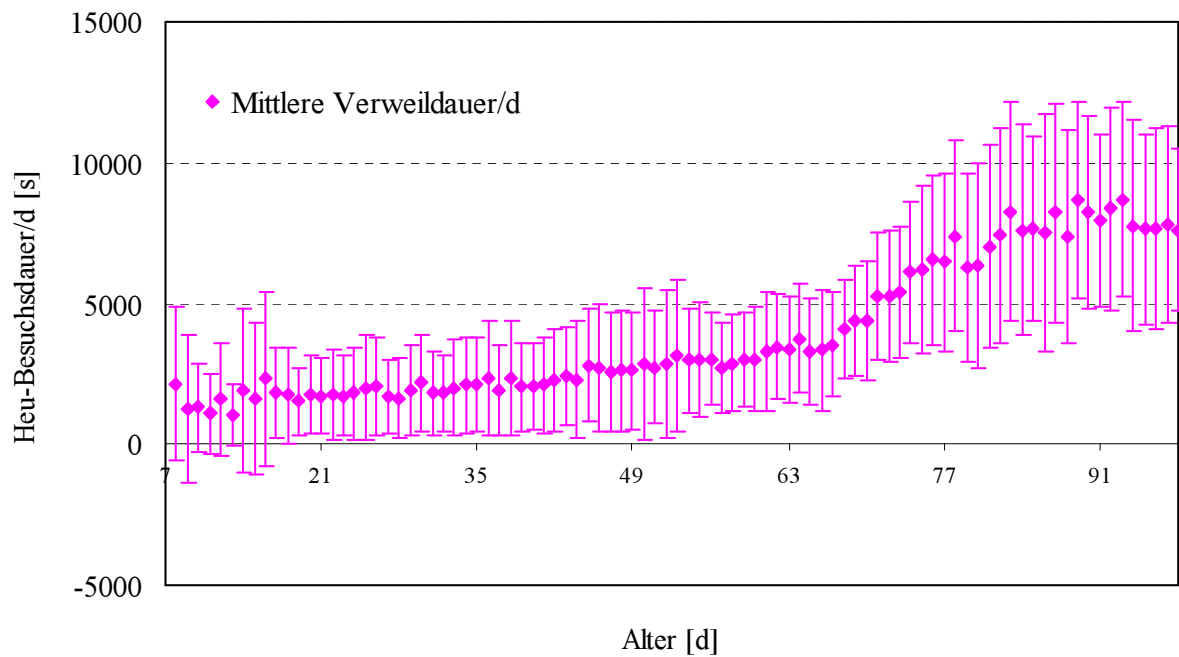


Abbildung 22: Mittlere Anzahl und Streuung der Verweildauer an den Heu-Wiegetrögen je Tag.

Um auch bei der täglichen Verweildauer der Tiere an der jeweiligen Station eine Aussagefähigkeit hinsichtlich der Einteilung des Alters prüfen zu können, wurden die Korrelationskoeffizienten mit den Futterraufnahmemengen zu den im Kapitel 5.1.4.2.1 beschriebenen Altersabschnitten berechnet (Tab. 21).

Tabelle 21: Korrelationskoeffizienten zwischen der täglichen Verweildauer und dem Alter bzw. den Futterraufnahmen während verschiedener Altersabschnitte.

Parameter der Verweildauer/d	Korrelationskoeffizient r im Altersabschnitt [LT]						
	gesamt 8.-105.	I 8.-20.	II 21.-41.	a 14.-28.	b 29.-41.	III 42.-70.	IV 71.-96.
TA/ Alter	-0,346	0,162	-0,094	-0,045	-0,057	0,032	-0,335
MT	0,381	0,277	0,160	0,129	0,155	0,050	0,289
TW	-0,368	0,031	-0,024	-0,019	0,009	-0,048	-0,229
KF-TS	-0,292	0,308	0,080	0,185	0,113	0,025	-0,031
HTS	-0,323	-0,018	-0,004	-0,042	0,010	0,006	-0,177
KF/ Alter	0,744	0,157	0,155	-0,181	0,177	0,608	-0,118
MT	-0,727	0,074	0,101	-0,041	0,085	-0,571	-0,063
TW	0,747	0,020	0,097	0,050	0,094	0,544	0,190
KF-TS	0,784	0,480	0,434	0,348	0,473	0,622	0,077
HTS	0,564	0,010	0,002	-0,015	-0,045	0,205	-0,191
Heu/ Alter	0,621	0,086	0,077	-0,010	0,035	0,221	0,268
MT	-0,561	-0,037	-0,008	-0,052	-0,014	-0,210	-0,140
TW	0,601	0,020	0,040	0,050	-0,014	0,090	0,060
KF-TS	0,557	0,391	0,051	-0,011	0,048	0,122	0,046
HTS	0,810	0,431	0,506	0,386	0,589	0,633	0,767

$P < 0,0001$, $P > 0,0001$

Während Phase I nimmt die tägliche Verweildauer am TA mit zunehmendem Alter ($r = 0,162$) bzw. steigendem MT-Angebot ($r = 0,277$) tendenziell zu. Auch bei der täglichen Verweildauer können die meisten hohen Korrelationskoeffizienten durch die Besuchsdauern am KF-Automat ermittelt werden, sowohl über den gesamten Untersuchungszeitraum betrachtet als auch während Phase III (Abtränkphase). Zu Beginn der Tränkeperiode ist der Korrelationskoeffizient bezüglich der KF-TS-Aufnahme höher ($r = 0,480$) im Vergleich zum Zeitraum ab der zweiten Lebenswoche ($r = 0,348$). Die anfangs sehr zögerliche Heuaufnahme nimmt mit zunehmendem Alter ebenfalls zu, so dass sich die Beziehung zwischen der täglichen Besuchsdauer an den Wiegetrögen und der Heu-TS-Aufnahme vor allem in der milchfreien Phase IV verstärkt ($r = 0,767$). Abgesehen von den Korrelationswerten zwischen der täglichen Verweildauer am Wiegetrog und der Heu-Aufnahme, verdeutlicht auch diese Auswertung, dass die Altersphasen I und II tendenziell höhere Werte liefern als a und b.

Am 74. LT verblieb ein Tier im Mittel über 4 min je Besuch im KF-Stand. Somit ist die KF-Station an dem Tag im Schnitt über 40 min mit einem Tier belegt. Mit im Durchschnitt 35 Besuchen je Tier an einem Wiegetrog am 93. LT und einer Besuchsdauer von im Mittel 312 s, entspricht dies einer täglichen Belegung von 182 min je Tier.

5.1.4.5.3 Futteraufnahme je Besuch und je Zeiteinheit

Um Hinweise auf die Effizienz der Besuche mit Abruf zu bekommen, wurde in einem weiteren Schritt die mittlere Futteraufnahme je Besuch (Abb. A44 bis A46) und je Verweilzeit (Abb. A47 bis A49) berechnet. Bei den rationiert angebotenen Komponenten MT und KF verlaufen die Grafen entsprechend der maximal abrufbaren Mengen, wobei extreme Ausreißer (Abruf von 7,0 l MT bei einem Besuch bzw. Aufnahmegeschwindigkeit von 98 ml/s am 34. LT) als Messfehler bzw. Systemfehler bewertet werden können. Anders wurde die am Tränkeautomat angezeigte Sauggeschwindigkeit ermittelt (Abb. A50). Hierbei wird der Mittelwert der letzten drei Tage verwendet. Dadurch ergibt sich eine konzentrierte, homogenere Punktwolke.

Vor allem zum Ende der Tränkephase hin nahmen nur vereinzelt Tiere mehr KF in einer definierten Zeit auf (am 60. LT $0,7 \text{ g/s} \pm 1,2 \text{ g/s}$), als etwa nach dem Abtränken (am 76. LT $1,0 \text{ g/s} \pm 1,4 \text{ g/s}$, am 82. LT $0,8 \text{ g/s} \pm 0,3 \text{ g/s}$), was mit der stark verlängerten Aufenthaltsdauer im KF-Stand nach dem Abtränken einhergeht. Da sich aber die Anzahl an Besuchen nach dem Abtränken verringerte, stieg dadurch die je Besuch aufgenommene KF-Menge (am 82. LT $(201 \pm 35) \text{ g/Besuch}$). An den Wiegetrögen stieg mit zunehmendem Alter sowohl die mittlere Aufnahmemenge je Besuch, als auch die Aufnahmegeschwindigkeit. Der überwiegende Teil der Kälber nahm in der Zeit nach dem Abtränken am 76. LT im Mittel $0,13 \text{ g Heu /s} \pm 0,1 \text{ g/s}$ ($7,8 \text{ g/min} \pm 6 \text{ g/min}$) und am 82. LT $0,14 \text{ g/s} \pm 0,1 \text{ g/s}$ ($8,4 \text{ g/min} \pm 7 \text{ g/min}$) zu sich, bei einer Aufnahme von $(31,4 \pm 18,5) \text{ g/Besuch}$ am 76. LT und $(29,0 \pm 17,1) \text{ g/Besuch}$ am 82. LT.

5.1.4.5.4 Anzahl Tränkeabbrüche

Einen weiteren Anhaltspunkt über das Fressverhalten der Kälber liefert die Anzahl der Abbrüche während eines Trinkvorgangs am Tränkeautomat an einem Tag. Gemäß den erhobenen Daten (Abb. A51) brachen die Tiere die Tränkeaufnahme bis zu 11 mal (am 33. LT) am Tag ab.

5.1.5 Fazit

Die verwendete Hard- und Software funktionierte während des Versuches zuverlässig und nahezu störungsfrei. Abgesehen von wenigen Systemstörungen konnten detaillierte Daten in sehr guter Qualität (Messgenauigkeit > 93 %) gewonnen werden.

Erwartungsgemäß kann ein hoher Einfluss des Alters auf alle Futtervariablen eindeutig aufgezeigt werden. Das Verhältnis der Aufnahmen an GW und GTS verdeutlicht dabei den Problembereich der Kälberfütterung während der Abtränkphase. Denn, da trotz der sinkenden MT-Menge zu wenig Wasser aufgenommen wird, fällt die Verhältnis-Kurve stark ab, was erst durch den verzögert eintretenden Anstieg im TW-Verbrauch wieder langsam ausgeglichen wird. Während dieser Phase müssen die Kälber animiert werden, verstärkt Wasser aufzunehmen, um das Aufnahme- und damit auch Verhältnis-Defizit auszugleichen. Dies wäre direkt möglich, indem das Futter angefeuchtet oder zusätzlich wasserreiches Futter angeboten wird, was aber zu Problemen der Futtermittelhygiene, der -dosierung und nicht zuletzt der Ernährungsphysiologie führen kann. Der indirekte Weg wäre, die TS-Aufnahme stärker zu begrenzen und das kompensatorische Wachstum [42, 49] auszuschöpfen. Allerdings könnte dann auch die TW-Aufnahme sinken ($r = 0,674$ bei KF-TS).

Der Einfluss der stark schwankenden Heuaufnahme wird nach dem Absetzen von der Milch an einem diskontinuierlichen Kurvenverlauf sichtbar. Vor allem in diesem Altersabschnitt nahmen wenige Kälber überdurchschnittlich viel Heu und zugleich wenig TW auf. Dies führte zu einem Sinken des Korrelationskoeffizienten von $r = 0,415$ während der Abtränkzeit hin zu $r = 0,292$ in der genannten Phase bzw. in der Folge auch zu geringen Verhältniswerten. Die dabei entstehenden Peaks werden zudem von der Gruppenzusammensetzung beeinflusst. Durch die Schlachtung von zufällig aus der Gruppe entnommenen Kälbern, welche, wie sich erst bei der Auswertung heraus stellte, die Automaten durch auffällig lange Aufenthalte blockierten, konnte nach deren Abgang die Besuchsdauer und damit Aufnahme der anderen Tiere in der Gruppe wieder steigen. Um diese negative Beeinflussung der Aufnahme möglichst zu unterbinden, wäre es ratsam, an jeder Futterstation eine Zugangserkennung zu installieren. Damit sollen ausschließlich Tiere mit Futteranrecht die Station besuchen können. Oder, wie es beim TA bereits teilweise geregelt ist, dass das Kalb nach abgeschlossener maximaler Aufnahme oder nach einer definierten Dauer ohne Aufnahme (obwohl sich das Tier noch in der Station befindet) zum Verlassen der Station bewegt wird. Hierzu könnte der Futtertrog versperrt oder eine

automatisch sich nach vorne schließende (und gleichzeitig nach hinten öffnende) Wippe montiert werden.

Die Bedeutung der TW-Aufnahme für die verschiedenen Futtermittelaufnahmen wurde während definierter Altersabschnitte anhand von abbauenden multiplen Korrelationen bewertet. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die beteiligten signifikanten Größen mit dem höchsten Einfluss auf die TW-Aufnahme im Altersverlauf hinsichtlich Intensität, aber auch Einflussnahme ändern, nämlich vom Geschlecht und der Heu-TS bzw. KF-TS, hin zur KF-TS und dem Alter bzw. Geschlecht. Da dies nur teilweise die Ergebnisse der Daten der gesamten Tränkezeit widerspiegelt bzw. die Unterschiede während der verschiedenen Tränkephasen sehr hoch sind, kann eine über die gesamte Tränkedauer generalisierende Gesamtkorrelation nicht zielführend sein, um tierindividuelle Daten abzuleiten. Je nach Phase sollten unterschiedliche signifikante Einflussgrößen für die Überwachung und Signalisierung von Abweichungen herangezogen werden. Außerdem kann aufgezeigt werden, dass über korrelative Ansätze die Überwachungsproblematik nicht zufriedenstellend gelöst werden kann, da als höchster R^2 -Wert 47,2 % (im letzten Abschnitt) ermittelt werden konnte. Weil der Wert also unter 50 % liegt, kann damit die Steuerung sogar eher zufällig beeinflusst werden. Dennoch sind die erhaltenen Ergebnisse für einen ersten Ansatz durchaus ausreichend, denn sie verdeutlichen die unterschiedliche Wertung der Sensoren zu unterschiedlichen Zeitpunkten in der Kälberaufzucht.

Der statistisch abgesicherte Einfluss des Geschlechts auf die Mehrzahl der Futterparameter wird daran deutlich, dass während des Untersuchungszeitraums sowohl die GW- als auch die GTS-Kurve der männlichen Tiere nahezu ausschließlich über jenen der weiblichen lag. Auch waren die männlichen Tiere (bei höherem Ausgangsgewicht) schwerer als die weiblichen, wobei sich die Gewichtsdivergenz mit zunehmendem Alter vergrößerte. Demzufolge müssen bei der Entwicklung von Steuerungsalgorithmen nicht nur die Altersabschnitte, sondern auch das Geschlecht berücksichtigt werden. Denn bei der Analyse der absoluten Aufnahmemengen bezüglich Klimaabhängigkeit zeigte sich, dass die abgerufenen Mengen der weiblichen Tiere stärker vom Wetter abhängen als jene der männlichen. Dabei konnte der Einfluss der maximalen rF und des gemittelten Temperaturwerts auf die Aufnahmeparameter nachgewiesen werden. Ebenfalls statistisch abgesichert werden konnte die Aussage, dass mit zunehmendem Temperaturunterschied zwischen zwei Tagen die Kälber mehr TW aufnahmen.

Mit dem Alter nimmt auch die Anzahl der Besuche an den Stationen zu (mit Ausnahme des TA), wobei vor allem nach dem Abtränken die tierindividuellen Werte stark streuen. Dabei steigt im Verlauf der Aufzucht die Verweildauer am KF-Automat je Besuch an. Bei der Heuaufnahme ist klar ersichtlich, dass die Tiere mit zunehmendem Alter länger am Heutrog stehen. Dies hängt weniger von der Dauer des jeweiligen Besuchs ab, sondern vielmehr von der stark erhöhten Anzahl an Besuchen nach der Tränkephase. Hier steigt mit zunehmendem Alter sowohl die mittlere Aufnahme je Besuch als auch die Aufnahmegeschwindigkeit. Um

die Dauer der Besuche, vor allem jener mit keiner Aufnahme zu minimieren, sollten an das Kälberverhalten adaptierte Austreibesysteme für die verschiedenen Stationen entwickelt werden. Dies würde zu einer effizienteren Auslastung der Technik führen.

5.2 Pansenphysiologische Parameter und deren Beeinflussbarkeit

Einen zweiten Schwerpunkt bildeten Untersuchungen zur Klärung der Intensität des Zusammenhangs zwischen der Futteraufnahme und der Pansenaktivität bzw. des Zottenwachstums mit Hilfe der in dieser Form erstmals multisensorisch erfassten Prozessdaten.

5.2.1 Beginn der Pansenaktivität

Durch das tägliche Abhören und Abtasten der Pansengegend konnte der Beginn der Pansenaktivität zuverlässig ermittelt werden. Demnach zeigte sich die erste Ruminatio bei einem durchschnittlichen Alter von $27 \text{ d} \pm 6 \text{ d}$, wobei das jüngste Tier 15 d und das älteste 39 d alt war (Tab. 22).

Tabelle 22: Alter und Futteraufnahme bei Beginn der Pansenaktivität.

Parameter	Absolute Daten zu Beginn der Pansenaktivität						
	Alter [d]	Tiergewicht [kg]	MT [l/d]	TW [l/d]	MAT-TS [kg/d]	KF-TS [kg/d]	Heu-TS [kg/d]
66 Tiere							
\bar{x}	27	52,25	6,98	0,35	0,79	0,07	0,05
s	6	4,79	0,94	0,46	0,11	0,08	0,07
Min.	15	39,76	3,41	0,00	0,39	0,00	0,00
Max.	39	63,90	8,30	2,03	0,94	0,43	0,34
33 weibliche							
\bar{x}	29	51,41	7,13	0,29	0,81	0,08	0,06
s	6	4,29	0,67	0,46	0,08	0,08	0,08
33 männliche							
\bar{x}	25	52,86	6,84	0,40	0,77	0,07	0,04
s	6	5,30	1,13	0,46	0,13	0,07	0,05

Die weiblichen Kälber begannen im Mittel 4 Tage später mit dem Wiederkauen als die männlichen (29 LT gegenüber 25 LT bei gleicher Streuung). Beim erstmaligen Feststellen der Pansenkontraktion wogen die Tiere im Durchschnitt 52,3 kg. Die durchschnittlichen Aufnahmemengen am Schlachttag wurden als linearer Trendwert aus den Mittelwerten der vergangenen 10 d berechnet. Bedingt durch das geringe Alter, nahmen die Tiere im Mittel $7,0 \text{ l} \pm 0,9 \text{ l}$ Tränke und $0,35 \text{ l} \pm 0,46 \text{ l}$ Trinkwasser zu sich. Die KF- und HTS-Aufnahme war mit $0,07 \text{ kg} \pm 0,08 \text{ kg}$ und $0,05 \text{ kg} \pm 0,07 \text{ kg}$ noch sehr gering. Grafisch sind die Werte in Abbildung A52 dargestellt. Zwischen dem Alter beim Feststellen der ersten Pansentätigkeit und den Futteraufnahmen konnten keine signifikanten Korrelationen festgestellt werden (Tab. A17).

5.2.2 Analyse der Pansenzottenparameter

Um zu klären, ob anhand der Futter- und Wasseraufnahme (Kap. 3.1.1 und Kap. 3.1.2) auf die Ausbildung der Pansenzotten geschlossen werden kann, wurden insgesamt 33 männliche und 6 weibliche Kälber geschlachtet und deren Pansen wie unter Kapitel 4.2.2.3 beschrieben analysiert. Die Mittelwerte der Zottendichte je cm^2 Pansenschleimhaut, der Zottenlänge, der Zottenbreite, der durch das Mikroskop sichtbaren Zottenoberfläche und der spezifischen Schleimhautoberfläche der acht untersuchten Pansenregionen sind in Abbildung A53 dargestellt. Um die Tendenz im Altersverlauf anschaulicher heraus zu stellen, zeigt Abbildung 23 die Regressionskurven mit dem Bestimmtheitsmaß der Zottenparameter.

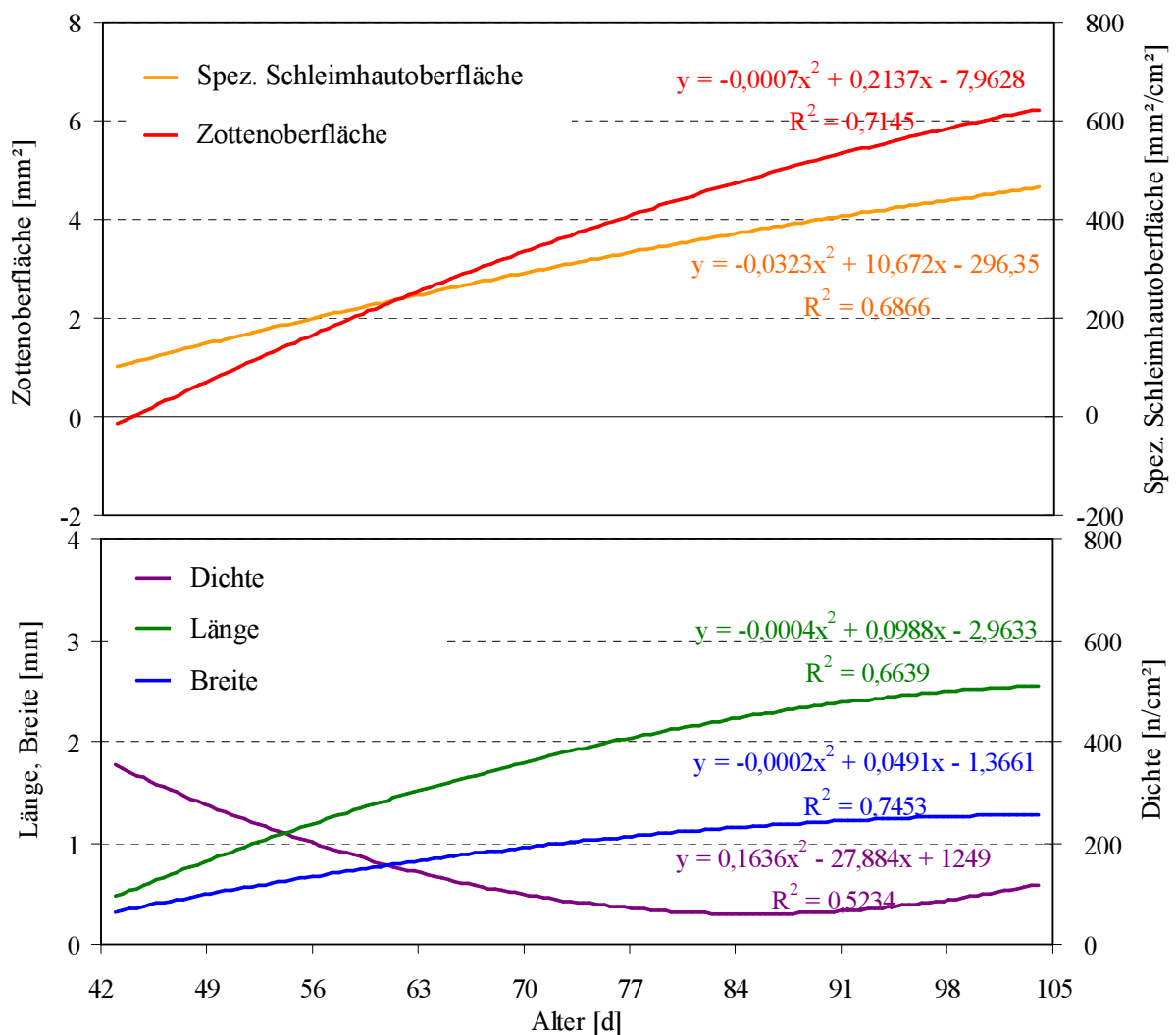


Abbildung 23: Regressionskurven der verschiedenen Zottenparameter.

Die Zottenlänge, -breite und die Oberflächenwerte nehmen mit dem Alter kontinuierlich zu, im Gegensatz zur Zottendichte, welche stetig abnimmt und gegen Versuchsende wieder leicht ansteigt. Dieser Anstieg ist zum einen auf die geringe Zottendichte vom Kalb Nr. 557 im Alter von 85 LT zurück zu führen. Zum anderen war die Anzahl an Schlachtdaten im Alter von über 100 d sehr gering, was zu einer Überbewertung der Daten des weiblichen Tieres Nr. 817 führte. Dieses älteste Schlachtkalb (Schlachtalter 104 LT) wies im Gegensatz

zu den zuvor geschlachteten beiden Kälbern eine leicht erhöhte Zottendichte auf. Die Überbewertung dieser extremen Werte der Zottendichte wird durch die im Vergleich mit den Daten der anderen Regressionskurven größte Streuung bzw. die geringste Übereinstimmung mit der Regressionsgeraden ($R^2 = 0,523$) widerspiegelt. Die Tendenz der anderen Parameter kann dagegen anhand der abgebildeten Kurven gut dargestellt werden (R^2 von 66,4 bis 74,5 %).

5.2.2.1 Einfluss des Alters auf die Pansenzottenausbildung

Die in Abbildung A53 augenscheinlich erkennbare Abhängigkeit der Zottenparameter vom Alter wurde mit Hilfe der Pearson'schen Korrelationskoeffizienten bewertet. Die statistische Analyse ergibt Korrelationskoeffizienten zwischen dem Alter und der Zottenlänge von $r = 0,795$ (Tab. A18), der Zottenbreite von $r = 0,837$ und der Zottenoberfläche von $r = 0,839$. Allein die Zottendichte nahm mit steigendem Alter ab ($r = -0,566$). Vor allem junge Tiere weisen an den untersuchten Pansenregionen mit bis zu 700 Zotten/cm² Pansenschleimhaut eine weitaus höhere Zottendichte auf als die Kälber nach dem Abtränken. Eine Ausnahme bilden die Daten des Kalbes 838, das aufgrund einer Sehnenverkürzung anfänglich nur zögerlich zum Futter ging und über die Aufzucht hinweg wegen häufiger Gesundheitsprobleme sehr verhalten Futter aufnahm. Jedoch wurden auch große tierindividuelle Unterschiede hinsichtlich der verschiedenen Zottenparameter bei Tieren gleichen Alters und Geschlechts festgestellt (Tab. A19, Abb. A54 und A55). In Abhängigkeit des Alters bei der ersten dokumentierten Ruminationsauswertung, ergibt sich bei Tieren mit derselben Wiederkaudauer größtenteils ebenfalls eine sehr unterschiedliche Zottenanzahl. Dies beruht auf dem ungleichen Zeitpunkt des Wiederkaubeginns und der stark unterschiedlichen Futteraufnahmemenge im Altersverlauf bis hin zum Schlachttag. Um möglichst vergleichbare Tierdaten auswerten zu können, wurden Kälber gleichen Geschlechts, gleichen Alters bei der ersten Ruminationsauswertung und mit dem gleichen Schlachtag (somit gleiche Wiederkaudauer) verglichen (Abb. A56 bis Abb. A58). Zwar sind die Zottendichten der einzelnen Regionen hierbei jeweils sehr ähnlich, jedoch nimmt die absolute Zottenanzahl mit zunehmender Wiederkaudauer ab. Dabei ist die Zottendichte jeder Region mehr von der Wiederkaudauer als vom Alter abhängig (Tab. A20). Auf die anderen Zottenparameter hat die Wiederkaudauer dagegen nur einen sehr geringfügigen Einfluss.

Beim Vergleich aller geschlachteten Kälber wurde die höchste Zottendichte mit 48,7 % (bei 19 der 39 Tiere) in der Region RC und zu 15,4 % in der Region LC ermittelt (Abb. A59). Je älter die Tiere waren, desto ähnlicher war die Zottendichte der einzelnen Regionen eines Kalbes. Dagegen war die Zottenlänge bei den jungen Tieren im Mittel über die acht Regionen (bei Tier 562 0,44 mm am 43. LT) sehr gering und stieg mit zunehmendem Alter an (bei Tier 817 3,13 mm am 104. LT). Die kürzesten Zotten wurden zu 64,1 % (bei 25 der 39 Tiere) in der Region RC gemessen, die längsten zu 30,8 % bei LB (Abb. A60). Auch

stieg mit zunehmendem Alter die Variation der Zottenlänge zwischen den acht Regionen. Hinsichtlich der Zottenbreite kann ein ähnlicher Verlauf in Bezug zum Alter festgestellt werden (Abb. A61). Bei insgesamt 14 Tieren (35,9 %) waren die Zotten der Region RD die breitesten, bei 7 Tieren (17,9 %) jene der Region LE. Das Verhältnis der am Bildschirm gemessenen Zottenoberfläche der einzelnen Regionen gleicht weitgehend jenem der Regionen der Zottenlänge (Abb. A62). 53,8 % der Tiere weisen die geringste Zottenoberfläche in der Region RC auf, die höchste bei LB und LC. Die durch die Zottendichte und die doppelte Zottenoberfläche berechnete Zottenoberfläche/cm² Schleimhaut nimmt in Abhängigkeit der zuvor erläuterten Zottenparameter im Laufe des Alters ebenfalls zu (im Mittel der acht Regionen des Tieres 562 am 43. LT 124 mm² Zottenoberfläche/cm² Schleimhaut und beim Kalb 817 am 104. LT 610 mm²/cm²), wobei sich die einzelnen Regionen ebenfalls zunehmend mehr unterscheiden (Abb. A63). Die geringste Oberfläche konnte bei 24 Tieren in der Region RC analysiert werden, die höchste bei 9 Tieren (23,1 %) in der Region LB.

5.2.2.2 Abhängigkeiten der einzelnen Zottenparameter voneinander

Um herauszufinden, wie stark die Abhängigkeiten der einzelnen Zottenparameter ausgeprägt sind, wurden die Pearson'schen Korrelationskoeffizienten von den Mittelwerten der absoluten Daten aller Regionen berechnet (Tab. 23).

Tabelle 23: Korrelationskoeffizienten zwischen den Mittelwerten der Zottenparameter.

Parameter	Korrelationskoeffizient r von			
	Zottendichte	Zottenlänge	Zottenbreite	Oberfläche/Zotte
Zottenlänge	-0,704			
Zottenbreite	-0,705	0,873		
Oberfläche/Zotte	-0,639	0,983	0,949	
Oberfläche/cm²	-0,592	0,952	0,896	0,978

P < 0,0001

Es konnten dabei alle Beziehungen als statistisch signifikant geprüft werden. Bereits erwähnt wurde die augenscheinliche Abhängigkeit der Zottenoberfläche von der Zottenlänge, welche mit $r = 0,983$ belegt werden kann. Zwischen Zottenbreite und -länge konnte ein Zusammenhang von $r = 0,873$ ermittelt werden. Die ebenfalls bereits erwähnten optisch auffälligen Beziehungen zwischen der Zottendichte und der -länge bzw. -breite wurden mit Korrelationskoeffizienten von $r = -0,704$ bzw. $-0,705$ bestätigt. Da sich die Zottenoberfläche/(cm² Schleimhaut) aus der doppelten Zottenoberfläche zusammensetzt, ergibt sich hieraus ein Koeffizient von $r = 0,978$.

Aufgeschlüsselt auf die acht untersuchten Pansenregionen konnten die in Tabelle A21 dargestellten Korrelationswerte analysiert werden. Am stärksten altersabhängig ist die Zottenbreite, vor allem in den Regionen RB und RD mit Korrelationswerten von $r = 0,885$ und $r = 0,821$ im Vergleich zu LC mit $r = 0,599$. Der Einfluss der Zottenlänge auf die -oberfläche kann am höchsten in den Regionen RC mit $r = 0,983$ und LC mit $r = 0,951$

bestätigt werden. Beim Vergleich der Regionen der linken und der rechten Seite fällt auf, dass, abgesehen von wenigen Ausnahmen, die beiden höchsten Korrelationswerte eines Parameters immer auf der rechten Pansenseite liegen.

5.2.2.3 Abhängigkeiten der einzelnen Regionen

Hinsichtlich der Zottendichte haben die Regionen RE und LE eines Tieres mit $r = 0,993$, RB und LB mit $r = 0,986$, aber auch LB und LD mit $r = 0,987$ einen hohen Einfluss aufeinander und sind damit nahezu identisch (Tab. A22). Eine etwas geringere Übereinstimmung konnte bezüglich der Zottenlänge zwischen RB und RE ($r = 0,917$), zwischen RB und RD ($r = 0,905$) und zwischen LB und LD ($r = 0,879$) ermittelt werden. Die höchsten Korrelationswerte im Hinblick auf die Zottenbreite wurden mit $r = 0,919$ zwischen RB und RD und mit $r = 0,918$ zwischen RB und RE bzw. LB und LD berechnet. Die Ähnlichkeiten der Regionen bezüglich der Zottenoberfläche waren am höchsten zwischen RB und RE ($r = 0,929$), zwischen RB und LB ($r = 0,906$) und zwischen RB und RD ($r = 0,901$). Da der Zottenparameter Zottenoberfläche je Schleimhautgrundfläche durch Berechnung bestimmt wurde, sind, wie oben bereits beschrieben, Abhängigkeiten von anderen Parametern unabdingbar. Unter Einbeziehung der Häufigkeit und Korrelationsstärke der sich ähnlichsten Regionen bezüglich der einzeln vermessenen Parameter Zottenlänge, -breite und -oberfläche kann festgestellt werden, dass die Regionenpaare LB/LD, RB/RD und RB/RE auffällig oft und hoch miteinander korrelieren. Exemplarisch sind in den Abbildungen A64 bis A66 diese Zottenparameter verschiedener Kälber in Abhängigkeit des Alters dargestellt. Diese Ähnlichkeiten lassen vermuten, dass es Unterschiede zwischen der rechten und linken bzw. der oberen und unteren Pansenhälfte gibt.

5.2.2.4 Untersuchung der linken/rechten und oberen/unteren Pansenhälften hinsichtlich der Zottendichte

Um einen ersten Eindruck von der Verteilung der Zottendichte am Pansen zu erhalten, wurde der Pansen neben der Einteilung in linke und rechte Seite auch in eine obere (Regionen B und C) und eine untere (Regionen D und E) Hälfte geteilt. Aus Abbildung A67 ist ersichtlich, dass sich bei fast allen Tieren auf der rechten Pansenseite mehr Zotten befinden als auf der linken. Lediglich bei zwei sehr jungen männlichen und einem weiblichen Kalb kurz nach dem Abtränken, welches ab der Geburt sehr schwächlich und oft krank war, ist die Zottendichte auf der linken Pansenseite um bis zu 67 Zotten/cm² höher. Beim Vergleich der oberen und unteren Pansenhälfte wird ersichtlich, dass die Zottenanzahl der oberen Seite meist geringfügig überwiegt (Abb. A68).

5.2.2.5 Gruppierung der Pansenregionen und Analyse der Zottenparameter

Um diesen ersten Eindruck näher untersuchen zu können, wurden die Pansenregionen verschiedenen Gruppen zugeordnet (oben/unten, links/rechts), analysiert, und jeweils der

Mittelwert der Summenpaare miteinander bzw. untereinander verglichen (Tab. A23). Die zur näheren Untersuchung angewandten Vorgehensweisen sind mit der jeweiligen Bezeichnung in Tabelle 24 dargestellt.

Tabelle 24: Gruppierung der Pansenregionen.

Bezeichnung		1. Term	-	2. Term
oben-unten	1	(RC + RD)	-	(RB + RE)
	2	(LC + LD)	-	(LB + LE)
	3	(RC + LC + RD + LD)	-	(RB + LB + RE + LE)
	4	(RB + RC)	-	(RD + RE)
	5	(LB + LC)	-	(LD + LE)
	6	(RB + LB + RC + LC)	-	(RD + LD + RE + LE)
links-rechts	7	(LB + LE)	-	(RB + RE)
	8	(LC + LD)	-	(RC + RD)
	9	(LB + LC + LD + LE)	-	(RB + RC + RD + RE)

Da die Zottendichte der einzelnen Tiere in den verschiedenen Regionen zum Teil sehr stark differiert, wurde speziell hierbei mit den logarithmischen Werten gerechnet. Deswegen werden die Ergebnisse der Differenzwertanalyse in Tabelle A24 im Gegensatz zu den Absolutwerten der anderen Parameter bei der Zottendichte zusätzlich in Prozent angegeben. Dabei gibt die Länge des 90 %igen Vertrauensintervalls (VI) Auskunft über die Genauigkeit der Aussage, die Entfernung zu Null über die Größe des Unterschieds zwischen den Termen, und die Äquivalenz (zum 10 %-Niveau) beschreibt den maximalen Unterschied.

5.2.2.5.1 Analyse der Pansenparameter aller Tiere

Bei oben-unten (1) ist die Zottendichte des ersten Terms (RC + RD) um bis zu 34,9 % höher als in (RB + RE) (maximal beweisbare Äquivalenz = 0,11), d.h. im oberen Pansenteil sind zwischen 1,1 % und 34,9 % mehr Zotten als im unteren Pansenteil. Dabei beträgt die Differenz in der Anzahl bis zu 33,8 % (VI = 0,11). Weitere Unterschiede sind nachweisbar bei (3), (4) und (6) (Abb. A69). Somit können hinsichtlich der Zottendichte Unterschiede auf der vom Tier aus gesehen rechten Pansenseite zwischen oben und unten nachgewiesen werden (bei (4) um bis zu 47,5 % mehr Zotten im oberen Pansengebiet). Bezogen auf den gesamten Pansen ist bei (3) der erste Term um bis zu 61,9 % größer als der zweite Term, da die Dichte sehr unterschiedlich ist (VI = 0,17). Dies führt allerdings wiederum zu einer geringen Genauigkeit. Sowohl bei (3) als auch bei (6) sind Unterschiede zwischen der oberen und unteren Pansenseite nachweisbar, wobei hinsichtlich links-rechts bei keinem der drei Ansätze ein Unterschied zwischen der oberen und unteren Pansenhälfte festgestellt werden kann. Jedoch bei (9) sind um bis zu 31,1 % mehr Zotten auf der rechten Seite, was zu einer VI-Länge von 0,1 bzw. 32,2 % führt.

Hinsichtlich der Zottenlänge bestehen Unterschiede zwischen oben und unten bei den Ansätzen (1), (3) und (5). Insbesondere bei (1) sind die Zotten der rechten Seite unten um

mindestens 0,26 mm (17,3 %) und maximal 0,53 mm (35,3 %) länger als oben. Auch die Zotten der linken Seite (5) sind unten länger als oben (mind. 0,02 mm und max. 0,29 mm bzw. mind. 1,0 % und max. 14,0 %). Zudem kann bei Betrachtung der gesamten Pansenfläche (3) festgestellt werden, dass zwischen der oberen und unteren Seite Längenunterschiede von bis zu 0,38 mm ermittelt werden konnten. Das bedeutet, dass die Zotten auf der unteren Hälfte um mindestens 0,23 mm (6,6 %) und maximal 0,61 mm (17,5 %) länger sind. Unterschiede bestehen auch in der Zottenlänge zwischen der linken und rechten Seite. Bei (8) sind die Zotten links um mindestens 0,34 mm (22,6 %) und maximal 0,6 mm (39,9 %) länger als rechts. Noch größere Unterschiede (VI-Länge = 0,26 mm) konnten bei (9) nachgewiesen werden (links um mind. 0,42 mm und max. 0,71 mm länger bzw. 12,3 % und 20,9 %).

Die Bestimmung der Zottenbreite zeigt klare Unterschiede zwischen der oberen und unteren Pansenhälfte bei (4), (5) und (6). Dabei sind auf der rechten Pansenhälfte (4) die unteren Zotten um mindestens 0,05 mm (5,4 %) und maximal 0,13 mm (14,2 %) breiter als die oberen. Auf der linken Pansenseite sind die Papillen unten ebenfalls breiter als oben, bei (5) um mind. 0,04 mm (4,3 %) und max. 0,12 mm (12,9 %). Bezogen auf den ganzen Pansen (6) sind dann natürlich auch die unteren Zotten breiter (mind. 0,12 mm bzw. 6,5 % und max. 0,23 mm bzw. 12,4 %). Dagegen konnten zwischen der linken und der rechten Pansenhälfte hinsichtlich der Zottenbreite keine Unterschiede nachgewiesen werden.

Auch bei der am Bildschirm vermessenen Zottenoberfläche konnten Unterschiede zwischen oben/unten und links/rechts bewiesen werden. Dabei ist die sichtbare Oberfläche je Zotte auf der rechten Pansenseite (1) unten um mindestens 0,4 mm² (13,3 %) und maximal 1,17 mm² (38,9 %) größer als oben. Außerdem konnte mit dem Ansatz (4) rechts auf der unteren Hälfte eine um mindestens 0,16 mm² (5,1 %) und maximal 0,8 mm² (25,3 %) größere Zottenoberfläche bewiesen werden. Die Zotten sind sich hier aber ähnlicher als bei (1) (VI = 0,63). Wiederum auf die ganze Pansenfläche bezogen weisen (wie bei (1)) die unteren Zotten eine größere Oberfläche auf als die oberen (3), wobei allerdings die Zotten sehr unterschiedlich sind (VI-Länge = 1,12). Dies ist auf die unterschiedliche Zottendichte zurück zu führen. Ebenfalls konnten Unterschiede hinsichtlich linker und rechter Seite bei (8) und (9) erfasst werden. Bei (8) ist die Zottenoberfläche auf der linken Seite um mindestens 0,42 und maximal 1,17 mm² (13,9 bzw. 38,9 %) größer als auf der rechten Pansenseite. Dies gilt auch für die gesamte Pansenfläche (mind. 0,61 mm² (8,9 %), max. 1,45 mm² (21,3 %)).

Diese Unterschiede bezüglich der Zottenoberfläche wirken sich auch auf die spezifische Schleimhautoberfläche, also die Oberfläche je cm² Pansengrundfläche aus. Deswegen können dieselben regionalen Unterschiede nachgewiesen werden. Dabei ist die Gesamtoberfläche auf der rechten Pansenseite unten um mind. 16,5 mm²/cm² (6,1 %) und max. 67,5 mm²/cm² (25,0 %) größer (1) als oben. Bei der Analyse des gesamten Pansens konnte bewiesen werden, dass die spezifische Schleimhautoberfläche unten um mindestens 12,5 mm²/cm² und bis zu 79,3 mm²/cm² größer ist. Außerdem weist die linke Pansenhälfte

im oberen Teil um mind. $30,1 \text{ mm}^2/\text{cm}^2$ (max. $88,8 \text{ mm}^2/\text{cm}^2$) mehr Gesamtoberfläche auf als der obere Teil der rechten Hälfte. Daher konnte im Ganzen nachgewiesen werden, dass die linke Pansenhälfte mehr Absorptionsfläche hat als die rechte Seite und die Unterschiede sehr groß sind.

5.2.2.5.2 Geschlechtsspezifische Analyse der Pansenparameter

Als Weiterführung der Differenzwertanalyse muss überprüft werden, wie sich die einzelnen Parameter der Pansenregionen in Abhängigkeit des Geschlechts unterscheiden. Dabei gilt es zu beachten, dass insgesamt 33 männliche und 6 weibliche Kälber geschlachtet und deren Pansenparameter überprüft wurden.

Hinsichtlich der Zottendichte konnte bei den weiblichen Tieren kein Unterschied zwischen der oberen/unteren und linken/rechten Pansenseite nachgewiesen werden (Abb. A70). Zwar deutet dies auf eine große Ähnlichkeit hin, jedoch sind aufgrund der geringen Tieranzahl die Unterschiede nicht signifikant. Bei den 33 männlichen Tieren konnte dagegen bei (1), (2), (3), (4) und (6) eine Ungleichheit zwischen oben und unten ermittelt werden (Abb. A71), wobei die Anzahl der Zotten im ersten Term immer größer war. Da zwischen der linken und rechten Pansenhälfte Unterschiede bei (8) und (9) analysiert wurden, sind diese Ergebnisse ähnlich jenen der Auswertung aller 66 Tiere. Denn hier waren ebenfalls die Regionen des zweiten Terms zahlenmäßig überlegen.

Auch im Hinblick auf die Zottenlänge unterscheiden sich die Analysen der männlichen und weiblichen Kälber. Unterschiede in der Zottenlänge oben/unten konnten bei den männlichen Tieren bei (1), (3), (4) und (5) festgestellt werden, ähnlich den Ergebnissen aller Tiere. Zudem waren beim Vergleich zwischen links und rechts bei (8) und (9) die Zotten der gleichen Regionen länger. Die weiblichen Tiere wiesen lediglich bei (3) in der unteren Pansenregion die längeren Zotten auf. Bei Berücksichtigung aller acht Regionen (9) waren die Papillen auf der linken Pansenseite längere als auf der rechten.

Bezüglich der Zottenbreite konnten bei den männlichen Tieren bei (4), (5) und (6) Unterschiede ermittelt werden, die durch breitere Zotten auf der unteren Pansenseite zustande kamen. Zwar konnten bei den weiblichen Kälbern keine Unterschiede zwischen oben und unten analysiert werden, jedoch zwischen links und rechts. Dabei waren die Zotten der rechten Pansenseite breiter.

Unterschiede zwischen oben und unten hinsichtlich der Zottenoberfläche wurden bei (1), (3) und (4) nachgewiesen. Es überwogen ebenfalls dieselben Regionen wie bei der allgemeinen Analyse. Auch waren die Unterschiede bei (8) und (9) gleich verteilt. Es konnte also ausschließlich zwischen links/rechts ein Unterschied ermittelt werden (9), bei dem die Zottenoberfläche der rechten Pansenseite eindeutig der linken unterlegen war.

Hinsichtlich der berechneten spezifischen Schleimhautoberfläche konnten bei den männlichen Tieren die gleichen Unterschiede erkannt werden wie bei der Zottenoberfläche.

Dagegen wurde bei den weiblichen Tieren bei (2) ein Unterschied zwischen oben und unten nachgewiesen (unten mehr Gesamtoberfläche als oben) und bei (7) zwischen links und rechts (rechts mehr Gesamtoberfläche).

5.2.2.6 Gewicht und Fläche des Reticulorumens und dessen Beziehung zur Zottendichte

Zusätzlich zu den Zottenparametern wurden bei der Schlachtung der Tiere neben dem Lebendgewicht auch das Gewicht von Pansen und Haube und deren gemeinsame Fläche erfasst. Die Daten der einzelnen Tiere sind in Tabelle A25 zusammen gefasst. Demnach nehmen mit zunehmendem Alter sowohl das Gewicht als auch die Fläche des Pansen-Haube-Komplexes (Reticulorumen) tendenziell zu. Dabei werden Korrelationskoeffizienten von $r = 0,946$ zwischen Alter und Gewicht des Reticulorumens und $r = 0,938$ zwischen Alter und Fläche erreicht (Tab. A26). Bei Gewicht und Fläche wurde ein Zusammenhang von $r = 0,961$ berechnet. Hinsichtlich der Beziehung zwischen diesen Pansenparametern und der Zottendichte konnten nur wenige statistisch eindeutig gesicherte Korrelationen ermittelt werden. Der Einfluss auf das Gewicht von Pansen und Haube ist dabei dominanter (mehrere signifikante Korrelationen). Denn je höher die Zottendichte, desto geringer ist das Gewicht des Komplexes. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass junge Tiere mit einem geringen Pansengewicht viele Zotten aufweisen. Die höchsten Korrelationswerte erreichten dabei die Regionen RB und RE ($r = -0,632$ und $r = -0,630$).

5.2.3 Beziehung zwischen der Futteraufnahme und den Pansenparametern

Um die verschiedenen Schlachtparameter mit den Futteraufnahmen in Beziehung setzen zu können und um tagesindividuelle Schwankungen auszugleichen, wurde die Futteraufnahme des letzten Tages vor dem Schlachttermin aus dem Trend der Aufnahmemengen der vergangenen zehn Tage geschätzt. Die so ermittelten bzw. geschätzten Aufnahmemengen sind in Tabelle A27 dargestellt. Zwischen den Futtermengen ergeben sich die in Tabelle 25 dargestellten Korrelationskoeffizienten.

Tabelle 25: Korrelationskoeffizienten zwischen den geschätzten Futteraufnahmemengen und Schlachtparametern.

Parameter der geschätzten Futteraufnahmemenge	Korrelationskoeffizient r von den geschätzten Mengen an					dem	
	MT	TW	MAT-TS	KF-TS	Heu-TS	Schlachtgewicht	Gewicht P+H
TW	-0,806						
MAT-TS	1,000	-0,806					
KF-TS	-0,837	0,676	-0,834				
Heu-TS	-0,669	0,720	-0,669	0,574			
Schlachtgewicht	-0,822	0,885	-0,822	0,759	0,803		
Gewicht (Pansen+Haube)	-0,878	0,870	-0,877	0,793	0,813	0,955	
Fläche (Pansen+Haube)	-0,837	0,833	-0,835	0,781	0,806	0,914	0,961

P < 0,0001

Demnach bestehen erwartungsgemäß enge Zusammenhänge zwischen der Tränke- bzw. Trinkwassermenge und dem Gewicht bzw. der Fläche des Pansen-Haube-Komplexes ($r > 0,83$). Dass dessen Ausbildung vom Alter bzw. Gewicht des Tieres abhängt, verdeutlichen Korrelationskoeffizienten von $r > 0,91$. Inwiefern jedoch die Schlachtparameter vom Geschlecht abhängen, zeigt Tabelle A28. Dabei ergaben die Korrelationen zwischen den geschätzten Aufnahmen und der Pansenfläche bzw. des Pansengewichts bei den sechs weiblichen Kälbern nahezu immer Werte von $r > 0,90$, welche allerdings nicht signifikant bestätigt werden konnten. Die als signifikant geprüften Koeffizienten der 33 männlichen Tiere lagen bei $r > 0,73$.

5.2.4 Korrelationen zwischen der Futteraufnahme und den Schlachtparametern an verschiedenen Pansenregionen

Um diese Ergebnisse im Detail analysieren zu können, wurden die Pansenparameter aller 39 geschlachteten Tiere in Relation zur Futteraufnahme am letzten Tag (geschätzt aus dem Trend der Aufnahmemengen der vergangenen zehn Tage) gesetzt. Dabei ist bezüglich der Unterschiede zwischen den Geschlechtern festzustellen, dass bei den weiblichen Tieren vor allem bei der Trinkwasseraufnahme höhere (allerdings aufgrund der Stichprobenanzahl nicht statistisch abgesicherte) Korrelationswerte berechnet werden konnten (Tab. A29). Daneben erscheint beim Vergleich der Korrelationen der verschiedenen Zottenparameter und der Aufnahmemenge die Zottenbreite als sicherster Indikator mit den meisten signifikanten und auch überwiegend höchsten Werten (Tab. A30). Denn hier zeigt sich der hohe Einfluss der KF-Aufnahme auf die Zottenparameter, vor allem auf die Dichte (maximales $r = -0,769$) und Zottenbreite (maximales $r = 0,801$). Welche Region dabei mit der geschätzten Aufnahmemenge des letzten Tages am höchsten korreliert, ist in Tabelle 26 dargestellt.

Tabelle 26: Korrelationskoeffizienten zwischen der geschätzten Futteraufnahme am Schlachttag und den Zottenparametern.

Zottenparameter	Höchster Korrelationskoeffizient r				des SG
	der geschätzten Futteraufnahmemenge von MT	TW	KF-TS	Heu-TS	
Dichte	0,596 RE	-0,536 RB	-0,769 RE	-0,420 RB	-0,628 RB
Länge	-0,793 RB	0,794 LD	0,746 LD	0,644 RD	0,824 RD
Breite	-0,864 RB	0,841 RB	0,801 RB	0,736 RB	0,912 RB
Oberfläche/Zotte	-0,825 RB	0,838 RD	0,727 LD	0,691 RB	0,877 RD
Oberfläche/cm²	-0,807 RB	0,757 LD	0,727 LD	0,635 RD	0,815 RD

P < 0,0001, P > 0,0001

Zwar weisen die Koeffizienten zwischen den Zottenparametern und dem Schlachtgewicht überwiegend die höchsten Werte auf, jedoch ist dessen Ermittlung aufgrund der Messungenauigkeit der Halbtierwaage im höheren Gewichtsbereich teilweise als schwierig zu betrachten. Zudem sind die Daten der MT für eine Ableitung der Pansenausbildung nach der Abtränkphase nicht mehr zu verwenden. So bieten die zuverlässigsten Ergebnisse die Aufnahmen von TW, KF- und Heu-TS. Dabei konnte bezüglich der Trinkwasseraufnahme die höchste Korrelation mit der Zottenbreite für die Region RB mit $r = 0,841$ ermittelt werden. Da auch bei den anderen Aufnahmemengen mit der Zottenbreite die höchsten Korrelationen berechnet werden konnte, stellt sie damit, und dabei speziell an der Region RB, einen guten Indikator für die Vormagenabschätzung anhand der geschätzten Futteraufnahme des letzten Tages dar.

5.2.5 Fazit

Die erste Rumination konnte bei einem durchschnittlichen Alter von $27 \text{ d} \pm 6 \text{ d}$ festgestellt werden. Dabei begannen die weiblichen Kälber im Mittel um vier Tage später mit dem Wiederkauen als die männlichen.

In Abhängigkeit des Alters veränderte sich die Pansenschleimhaut der Kälber. Dabei wiesen junge Tiere eine weitaus höhere Zottendichte auf als Kälber nach dem Abtränken, und zwar überwiegend in den Regionen RC und LC. Aufgrund der Analysen und Korrelationskoeffizienten kann aber gefolgert werden, dass die Ausstülpung der Pansenschleimhaut mehr von der Anzahl der Wiederkautage als vom Alter abhängt.

Die Zottenlänge ist dagegen bei jungen Tieren relativ gering und steigt mit zunehmendem Alter an. Die kürzesten Zotten wurden ebenfalls in der Region RC gemessen, die längsten in der Region LB. Auch steigt mit zunehmendem Alter die Variation der Zottenlänge zwischen den acht Regionen.

Hinsichtlich der Zottenbreite kann ein ähnlicher altersmäßiger Verlauf festgestellt werden, wobei die Ausbildung der Breite am stärksten von allen Zottenparametern vom Alter abhängig ist, vor allem in den Regionen RB und RD. Zwar waren insgesamt die breitesten Zotten in den Regionen RD und LE aufzufinden, allerdings korreliert die Breite der Zotten stark mit deren Länge.

Die vor allem durch die Zottenlänge definierte Zottenoberfläche war entsprechend überwiegend in der Region RC am geringsten, am höchsten bei LB und LC. Ebenso die spezifische Zottenoberfläche, welche in Abhängigkeit der zuvor erläuterten Zottenparameter im Laufe des Alters zunimmt, wobei sich die einzelnen Regionen ebenfalls zunehmend mehr unterscheiden.

Aus diesem Grund ist für die Analyse der Zottenparameter, mit Ausnahme der Zottendichte, eine Unterteilung des Pansens in die verschiedenen Pansenregionen erst mit zunehmendem

Alter sinnvoll. Denn vor allem nach der Tränkeperiode wurden deutliche Unterschiede zwischen den Regionen bemerkbar.

Beim Vergleich der Regionen der linken und der rechten Seite fällt auf, dass sich bei fast allen Tieren auf der (vom Tier aus gesehen) rechten Pansenseite mehr Zotten befinden als auf der linken. Außerdem konnten dabei meist oben geringfügig mehr Zotten nachgewiesen werden als unten.

Bezüglich der anderen Zottenparameter kann festgestellt werden, dass zwar die Zotten der linken und der unteren Pansenhälfte länger und die unteren Zotten auch breiter sind. Allerdings ist die spezifische Schleimhautoberfläche aufgrund der Abhängigkeiten der einzelnen Zottenparameter auf der rechten Pansenseite im unteren und auf der linken im oberen Teil größer. Generell überwiegt aber die Absorptionsfläche der linken Pansenseite.

Bei den männlichen Kälbern war die Zottendichte ebenfalls oben bzw. rechts größer und die Zotten unten bzw. links länger und unten breiter. Auch hinsichtlich der Gesamtadsorptionsfläche wurde die untere bzw. linke Pansenhälfte als dominant analysiert. Bei den weiblichen Kälbern konnten hingegen wegen der geringen Tieranzahl keine wesentlichen Unterschiede festgestellt werden.

Die umfassende Analyse aller Zotten- und Futteraufnahmeparameter miteinander zeigt den hohen Einfluss der TW- und KF-Aufnahme auf die Zottenbreite in der Region RB. Deshalb kann die Zottenbreite speziell an der Region RB als guter Indikator für die Vormagenentwicklung anhand der geschätzten Futteraufnahme des letzten Tages identifiziert werden.

6 Diskussion

Die weitgehende Automatisierung von Arbeitsprozessen und Informationsverarbeitung soll zu einer ökonomischen und ökologischen Optimierung der Produktionsprozesse führen. Dabei bergen die tierindividuelle Lebendmasse- und Körpertemperaturerfassung während der Tränkeaufnahme und die kontinuierliche Registrierung der Wasser- und der Raufutteraufnahme ein großes Informationspotenzial, auch aus ernährungsphysiologischer Sicht. Denn mit erweiterter Technik und multisensorischer Informationsverarbeitung lassen sich Kälber individuell und ernährungsphysiologisch optimiert versorgen und die Pansenentwicklung fördern. Inwieweit diese Möglichkeiten mit Hilfe der in der vorliegenden Untersuchung verwendeten Technik realisiert werden können, gilt es im Vergleich mit anderen wissenschaftlichen Arbeiten zu bewerten.

6.1 Technik

Da die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung auf den von der Technik generierten Daten basieren, muss sowohl der Leistungsumfang der Technik als auch die Aussagefähigkeit der erfassten Daten diskutiert werden.

6.1.1 Funktion und Messgenauigkeit

Beim Einstellen der ersten Tiere ergaben sich im Vorversuch Probleme bei der Annahme der Technik und der Standsicherheit der Kälber während der Stationsbesuche. Insbesondere wurden die Tiere während eines Besuches am TA nicht dauerhaft erkannt, da bei jeder zu tiefen bzw. zu hohen Kopfbewegung der Besuch ab- bzw. angemeldet wurde. Ursprünglich war dies auf eine zu tief angebrachte Antenne im seitlichen Kopfbereich zurück zu führen. Das Problem konnte schnell behoben werden, indem der Tränkestand samt Antenne um ca. 10 cm höher gestellt wurde. Zusätzlich konnten andauernde Gerätealarme wegen eines mangelhaften Reinigungswasserablaufs durch die Erhöhung des TA selbst um ebenfalls ca. 10 cm beseitigt werden. Nach diesen Änderungen konnte der Hauptversuch ohne weitere technische Probleme durchgeführt werden.

6.1.1.1 Tränkeautomat mit Doppelkammernuckel

Dabei wurde die reale Aufnahmemenge an Milchtränke jedes Tieres durch die im Tränkeautomaten integrierte Mixerwaage zuverlässig erfasst und dokumentiert. Auch war damit aufgrund der regelmäßigen Kalibrierungen ein korrektes Mischverhältnis der Tränke sicher gestellt. Zwar deutet die ermittelte Überdosierung von 0,4 % MAT-Pulver mit 0,3 % zu wenig Wasser je Portion auf eine zum Zeitpunkt der Kalibrierkontrolle geringfügig erhöhte Konzentration der Tränke hin, über den gesamten Versuchszeitraum betrachtet ergibt sich aber dennoch eine sehr hohe Dosiergenauigkeit.

Der Doppelkammernuckel besteht im Gegensatz zum konventionellen Sauger aus einem sehr harten und nahezu unelastischen Gummi mit einer für die Tiere ungewohnten harten Nuckelspitze. Deshalb war die Erstakzeptanz bei den Tieren sehr gering und konnte so diese von HILDENBRAND et al. (2001) [93] geforderte Voraussetzung für den Einsatz dieser Sensorik nicht erfüllen. Insofern war eine intensive Anlernphase für jedes Tier nötig. Zudem war die Nutzungsdauer des Tränkenuckels ungewöhnlich kurz. Nachdem der Sensor der rechten Stallseite nach vier Monaten Einsatz mehrfach eine Zungentemperatur von 43,1 °C maß, wurde bei der Kontrolle des Saugers ein Riss in der Gummimembran festgestellt, was zu einem Austausch des Nuckels führte. Der Sauger der linken Stallseite erreichte hingegen eine Lebensdauer von sechs Monaten. Die Messgenauigkeit war mit einer Abweichung von -0,01 K vom rektal gemessenen Kontrollwert im Mittel sehr hoch, wodurch das Ergebnis von DEININGER (2002) [52] bestätigt werden konnte. Jedoch wurde mit zunehmender Zungentemperatur (wohl wegen der sinkenden Saugkraft des kranken Kalbes) ein zu geringer Wert angezeigt. Dies bedeutet, dass gerade bei den entscheidenden hohen Temperaturen die Zuverlässigkeit des AFMs abnimmt. Denn eine erhöhte Körpertemperatur kann eine beginnende Tiererkrankung kennzeichnen und sollte einen Alarm auslösen. Dieses Problem deckt sich mit den Aussagen von KÄCK (2004a) [118]. Eine Erklärung dafür ist, dass ein erkranktes Tier meist durch Husten oder aufgrund von Schwäche die durchgehende Saugdauer am Nuckel verkürzt oder unterbricht, was die Wahrscheinlichkeit eines zuverlässigen AFM-Wertes nach HILDENBRAND (2000) [92] verringert. Ein Lösungsansatz für dieses falsch negative Ergebnis ist die Kombination der Temperaturwerte mit Daten des Tierverhaltens, z.B. der Sauggeschwindigkeit, welche einen zuverlässigen Alarm auslösen kann.

6.1.1.2 Teilkörperwaage

Bereits im Vorversuch mussten nach der Installation der Teilkörperwaage diverse Modifikationen im Tränkestand vorgenommen werden, da sich die Tiere beim Betreten der Waage oft im Zwischenklauenspalt verletzten. Dazu wurden an den drei die Waage umgebenden Wänden Ableitbleche montiert, damit die Kälber nicht mehr auf die Waagschalenkante treten konnten. Zudem war die Feder der Wippe anfangs sehr streng, so dass die Kälber viel Kraft benötigten, die Wippe zu öffnen und zum Sauger zu gelangen. Diese Tiere mussten regelrecht in den Tränkestand geschoben werden. Auch mussten dabei gegebenenfalls die Vorderbeine auf die Waagschale gehoben werden. Weil die Teilwaage einige Zentimeter vom Boden erhöht installiert war, mieden einzelne Tiere das Betreten der Waage, wodurch sie den Sauger nicht erreichen konnten.

Um ein repräsentatives mittleres Tagesgewicht zu erhalten, sind nach ENGELHARDT (1990) [62] mehrere Besuche über den Tag verteilt mit unterschiedlicher Füllung des Verdauungstraktes erforderlich. Das Tiergewicht wird bei jedem Besuch registriert und die Besuchsmittelwerte zu einem Tagesmittelwert zusammen gefasst. Außerdem ist für einen

zuverlässigen Besuchsmittelwert die Anzahl der verfügbaren Messwerte entscheidend, welche von der Aufenthaltsdauer der Kälber auf der Waage abhängen. Denn bei kurzen Besuchen befindet sich das Tier ständig in Bewegung und das tatsächliche Gewicht kann nicht festgestellt werden. Daneben beeinflussen auch Fressen, Koten und Störungen von Artgenossen den Messwert [202]. Ein weiterer Faktor für ein verfälschtes Tiergewicht beruht auf der Angewohnheit mancher Tiere, die Waage nur mit einem Vorderbein zu betreten. Hingegen hat eine Verschmutzung der Wiegeplattform keine negativen Auswirkungen auf das Ergebnis der Wiegung, da nach jedem Tier neu tariert wird. In der vorliegenden Untersuchung wurde bei der Kontrolle der Referenzwaage ein Mittelwert der relativen Abweichung vom Soll (Waage - Referenz) von -0,9 % ermittelt. Allerdings konnte mit zunehmender Belastung eine größere positive Abweichung beobachtet werden, was bedeutet, dass mit zunehmendem Gewicht die Kontrollwaage einen zu hohen Wert erfasst. Dies ist auf die kürzere Verweildauer der Tiere im Tränkestand bzw. auf der Teilwaage mit zunehmendem Alter zurück zu führen, da die Kälber bereits ab dem 71. LT keinen Milchanspruch mehr hatten und den Stand ab diesem Alter nur noch kurzzeitig und mit unruhigem Verhalten aufsuchten. Außerdem konnte beim Kalibrieren der Kontrollwaage eine mit zunehmender Belastung erhöhte positive Abweichung vom Sollwert festgestellt werden. Hieraus kann abgeleitet werden, dass die berechnete Messungenauigkeit der Vorderfußwaage im hohen Gewichtsbereich eventuell auf die gemessene und darauf basierend berechnete Messungenauigkeit der Kontrollwaage zurückzuführen ist. Damit verringert sich der Messfehler der Vorderfußwaage. Das gewichtsbezogene Anpassen der Futterrationen (Tränke- und Kraftfutter) ist somit im niedrigeren Gewichtsbereich (bis ca. 70 kg) durchführbar. Zudem ist nach ENGELHARDT (1990) [62] die Messgenauigkeit auch von der zeitlichen Verteilung der Besuche während des Tages und der Anzahl der Besuche abhängig. In ihrer Arbeit kommt sie zwar auf eine gute Übereinstimmung zwischen geschätzten und tatsächlichen Zunahmen. Für eine gewichtsgesteuerte tierindividuelle Versorgung ist aber die Voll- einer Teilwiegung wegen Abweichungen um bis zu 50 % bei dreimaliger Wiegung vorzuziehen. Zu diesem Schluss kommen auch PIRKELMANN und FREIBERGER (2001) [199], da mit zunehmendem Alter wegen des stetigen Muskelwachstums im hinteren Tierbereich die Messungenauigkeit einer Teilwaage zunimmt. Sie berichten von einer Abweichung der Teilwiegung von 15,7 % im Vergleich mit einer 100 kg-Vollwiegung. IPEMA und PLUIJGERS (1987) [104] stellen fest, dass die ermittelten täglichen Zunahmen oder Verluste zwar für eine gewichtsangepasste Fütterung verwendet werden können, für eine aussagekräftige Information über die tägliche Tiergewichtänderung sollten besser die Werte eines längeren Zeitraums gemittelt und verglichen werden.

6.1.1.3 Kraftfutterautomat

Auch der KF-Automat musste während des Vorversuchs den Ansprüchen der Kälber angepasst werden. Die durch die Firma FÖRSTER-TECHNIK GMBH vorgegebene Montagehöhe der Futterschale reichte nicht aus, um eine möglichst korrekte Futteraufnahme erfassen zu können. Darum wurde der KF-Automat mitsamt Futterschale angehoben. Dies steigerte allerdings gerade bei den älteren Tieren das Verlangen, sich durch Betreten der Futterschale und Aufstoßen der KF-Abdeckung im Vorratsbehälter zu bedienen. Durch eine Höhenbegrenzung des KF-Standes und eine Verschießvorrichtung an der Vorratsabdeckung konnte dieses Verhalten unterbunden werden. Um Raub von ausdosierten Kraftfuttermengen möglichst zu verhindern, wurden die ausdosierten Mengen an das Alter bzw. an die laut Plan abrufbare Tagesmenge adaptiert. Die ausdosierte Kraftfuttermenge pro Besuch stieg im Versuchsverlauf an und betrug maximal 50 % der Tagesmenge. So wurden bei zwei Tieren 990 g KF-TS auf einmal zugeteilt. Bei geringen Sollmengen ist zwar nach BECK (1989) [19] die systematische Abweichung der Ausdosiergenauigkeit erhöht, jedoch kann nicht sicher gestellt werden, dass die Tiere die abgerufene Menge auch zu sich nehmen, was die Fehlerwahrscheinlichkeit bei der Messung der wahren Aufnahmemenge älterer Tiere erhöht.

Die ermittelte Messgenauigkeit am KF-Automaten ist mit einer durchschnittlichen Abweichung von 0,4 % vom Sollwert (190 g) zwar sehr hoch und damit viel besser als die von HEYDE et al. (1965) [90] geforderten ± 5 %, dennoch sollte eine gewichtsdozierte Kraftfuttermenge der zeitgesteuerten vorgezogen werden. Nach SCHOLTYSIK (1981) [230] wird die Dosiergenauigkeit im Wesentlichen vom Schneckendurchmesser und der Gangzahl beeinflusst, weshalb ein geringer Durchmesser und eine hohe Gangzahl verwendet werden sollte. Außerdem ist eine Reduzierung der maximalen Ausdosiermenge auf 200 g zum Erreichen einer hohen Dosiergenauigkeit und zum Vermeiden von Futterraub anzustreben.

6.1.1.4 Trinkwasserautomat

Der Stand am ATS dient dazu, dass die Tiere in Ruhe Wasser aufnehmen können, ohne durch Ranghöhere vertrieben zu werden. Allerdings war die Standlänge für die älteren Kälber zu kurz, so dass sie mit den Hinterbeinen in der ca. 30 cm tieferen Einstreu standen. Deshalb wurde bereits während des Vorversuchs die gesamte Fütterungstechnik weiter in den Futtergang versetzt, damit für alle Tiere aller Altersstufen ein sicherer Stand während der Wasser- bzw. Futteraufnahme gewährleistet werden konnte. Als nachteilig stellte sich beim Wasserautomaten heraus, dass dieser keinen eigenen Prozessrechner besitzt, folglich zum Betrieb einen aktiven PC benötigte und zudem dessen Software nach einem Stromausfall neu gestartet werden musste. Das bedeutet, dass bei einer PC-Abschaltung oder einem Softwareabsturz alle Futter- und Monitoringsysteme aktiv bleiben, der Wasserautomat dagegen nicht, was gerade bei hohen Stalltemperaturen im Sommer zu massiver Dehydrierung der Tiere führen kann. Glücklicherweise war dies während der

vorliegenden Untersuchung kein Problem, da der Ausfall bzw. das Abschalten des Wasserautomaten vom Stallpersonal rechtzeitig erkannt und behoben wurde.

Durch stetiges Kalibrieren des ATS wurde die Dosiergenauigkeit während des Versuchs sichergestellt. Die ermittelten 0,07 % zu wenig ausdosiertes Wasser je Portion belegen eine sehr genaue Dosierung zum Zeitpunkt der Kontrollmessungen. Jedoch konnten Restmengen im Tränkebecken oder Wasserverluste in Form von Plätschern durch die Tiere während der Wasseraufnahme nicht aufgezeichnet werden. Deshalb entspricht auch hier die abgerufene Menge nicht zwingend der aufgenommenen Menge. Um die Restmengen und somit Wegtrinken möglichst gering zu halten, wurde zum einen bereits im Vorversuch die Einschaltverzögerung, also die Zeitdauer, bis die nächste Portion Trinkwasser in die Schale eingelassen wird, von 20 auf 40 ms erhöht. Zum anderen wurde auch beim ATS die je Besuch bzw. Erkennung ausdosierte Menge regelmäßig während des Versuchs dem Alter der Tiere angepasst.

6.1.1.5 Wiegetrog

Zu Beginn des Vorversuchs wurden an den drei nebeneinander montierten Wiegetrögen zur Registrierung der Heuaufnahme Mehrfachkennungen eines Tieres während eines Besuches festgestellt. Dies lag an der hohen Transponderlesereichweite bzw. sehr guten Transponderlesbarkeit. Deshalb wurden die Wiegetröge durch Abschirmungsbleche voneinander getrennt. Daraufhin mieden auch im Hauptversuch wenige, aber vor allem die männlichen Tiere das Betreten des für sie scheinbar langen, dunklen Futterstands. Diese Tiere mussten während der ersten Tage in der Gruppe zur Gewöhnung in den Futterstand geschoben werden.

Trotzdem bestand beim Einsatz der Wiegetröge weiterhin die Gefahr fehlerhafter Aufnahmedaten, da das System zwar mit 10 g eine sehr hohe Auflösung aufweist, bei einer Messgenauigkeit von 33 g (nach Herstellerangaben) aber vor allem die geringen Heuaufnahmemengen junger Kälber verfälscht werden können. Die während der vorliegenden Untersuchung durchgeführten Ermittlungen zur Messgenauigkeit ergaben im Gewichtsbereich von 20 g bis 900 g relative Abweichungen von 2,3 %. Somit können sich die geringen Heuaufnahmemengen in Verbindung mit der Messauflösung und der Messgenauigkeit der Wägezellen auf einen erhöhten Messfehler auswirken. Zu berücksichtigen sind außerdem die Streuverluste an Heu, bedingt durch die typischen Tierbewegungen während des Fressens. Diese Verluste sind bei jüngeren Tieren höher als bei älteren, da zum einen die Heuaufnahmemenge bei jüngeren Kälbern niedriger ist und zum anderen durch Beobachtungen festgestellt wurde, dass die kleineren Tiere während der Aufnahme des langfasrigen Heus zum Kauen einen Schritt von der Trogschale entfernt nach hinten treten. Ältere Kälber hingegen drücken den Kopf bei der Futteraufnahme stark an die Wiegetrogwand, was zu einer ungleichmäßigen Belastung und damit ebenfalls zu einem ungenauen Futteraufnahmewert führen kann.

Das bei der Auswertung der Videoaufzeichnungen festgestellte Fressen von Stroh vor allem direkt nach dem Einstreuen, konnte nicht quantitativ erfasst werden.

6.1.2 Stallklima

Die Auswertungen der alle 5 min erhobenen Klimawerte im Versuchsstall ergaben bei der Temperatur Tagesmittelwerte von 11,6 °C und 26,8 °C. Dabei reicht die Spannweite der Einzelwerte von 9,8 °C bis 47,2 °C bei intensiver Sonneneinstrahlung. Während der Versuchsdauer lag die Temperatur im Tierbereich bei im Mittel 18,4 °C. Hierfür gibt [179] die für Kälber optimale Umgebungstemperatur zwischen 12 °C und max. 25 °C an. Zwar beschreibt SCHLICHTING (1989) [222] Umgebungstemperaturen von 16 °C bei eingestreuter Haltung als völlig ausreichend, aber auch kältere Temperaturen seien durchaus vertretbar. Auch gemäß der TIERSCHUTZNUTZTIERHALTUNGSVERORDNUNG (2006) [272] sollte die Lufttemperatur im Liegebereich 25 °C nicht überschreiten und während der ersten zehn Lebenstage sollte ein Wert von 10 °C nicht unterschritten werden. In der darauf folgenden Zeit sollte sie nicht unter 5 °C absinken. Außerdem liegt nach der Baunorm DIN 18910 [231] die für Kälber optimale Lufttemperatur zwischen 10 °C und 20 °C [208], womit auch im Vergleich mit den genannten Literaturangaben bestätigt werden kann, dass die Tiere während des vorliegenden Versuchs weitgehend optimalen Klimabedingungen im Stall ausgesetzt waren. Dies ist von Bedeutung, da das Einhalten der empfohlenen Temperatur, der sogenannten neutralen Temperaturzone, dazu führt, dass die Energiebedarfsnormen ihre volle Gültigkeit haben [268]. Unterhalb muss zur Aufrechterhaltung der gleichen Leistung mehr umsetzbare Energie mit dem Futter aufgenommen werden. Wichtig ist dabei, dass eine zu starke Temperaturdifferenz während eines Tages vermieden wird. Dies konnte im vorliegenden Versuch allerdings nicht ganz verhindert werden. Denn die größte Temperaturschwankung während eines Tages lag bei 32,6 K (14,6 bis 47,2 °C, im Mittel 23,7 °C ± 6,4) am 19.07.2006, da die Abendsonne auf das Klimamessgerät schien. Die rF lag bei Tageswerten zwischen 40,6 % im Sommer an trockenen und 98,9 % an verregneten Tagen, wobei vereinzelt Minimalwerte um 15 % gemessen werden konnten. Das Mittel der rF über den gesamten Versuchszeitraum betrug 69,9 %. Damit waren die Werte im vorgegebenen optimalen Bereich zwischen 60 % und 80 % [179, 272]. Die größten Schwankungen während eines Tages waren bzgl. rF am 31.08.2006 mit 77,2 % (21,7 bis 99,0 %, im Mittel 77,2 % ± 18,2) zu verzeichnen.

Trotz der zum Teil sehr großen Klimaschwankungen während eines Tages, lagen die Tagesmittelwerte der Temperatur und relativen Luftfeuchte weitgehend im optimalen Bereich. Denn der zur Steuerung des Stallklimas eingesetzte Klimacomputer öffnete zwar die Seitenwände in Abhängigkeit der Stalllufttemperatur, jedoch konnte bei nahezu vollkommener Windstille im Sommer das Klima passiv nicht immer optimal geregelt werden. Um diese Schwankungen in weiterführenden Versuchen zu minimieren, sollte der Tierbereich bei Bedarf beheizt bzw. belüftet werden. Denn mit steigender

Umgebungstemperatur geht nach Ergebnissen unterschiedlicher Untersuchungen die Futteraufnahme zurück [120, 177, 246], wobei der Rückgang abhängig ist vom Ernährungsniveau und der Rationszusammensetzung [111]. So sind rohfaserreiche Rationen davon stärker betroffen, weil durch die Fermentation von Rohfaser mehr Essigsäure freigesetzt wird, was mit einer erhöhten Wärmeproduktion gekoppelt ist [246].

6.1.3 Futteraufnahme

Die Futteraufnahme beschreibt den Verzehr an Futterrockensubstanz (MAT, KF, Heu) bzw. Flüssigkeit (MT, TW) je Tier und Tag. Sie wird nach ULBRICH et al. (2004) [268] von Regulationsmechanismen der Tiere und vom Fütterungsregime beeinflusst. Das Futteraufnahmevermögen hängt im Wesentlichen von der Tierart, dem Alter, dem Leistungsniveau, der Körpermasse, der Körpergröße und dem Gesundheitszustand ab. BARTON und BROOM (1985) [17] schreiben, dass bei Kälbern eine höhere Futteraufnahme erzielt werden kann, wenn sie während des Fressens andere Kälber sehen und hören können, was in der vorliegenden Untersuchung durch die Gruppenhaltung und die größtenteils einsehbar gestalteten Futterstände möglich war.

6.1.3.1 Entwicklung der Aufnahmemengen

Da bei allen bekannten Publikationen Unterschiede hinsichtlich der Haltung und des Fütterungsregimes bestehen, können die Aufnahmemengen gleichaltriger Kälber nicht direkt verglichen werden.

Zwar sind die Aufnahmemengen während der ersten acht Lebenswochen, welche von HEPOLA et al. (2006) [88] veröffentlicht wurden, mit jenen der vorliegenden Untersuchung direkt vergleichbar, jedoch ist in den eigenen Versuchen die Wachstumseffizienz (tägliche Zunahme je kg TS-Aufnahme) viel höher (0,79 vs. 0,48). Dieses Verhältnis ändert sich aber zwischen der 9. und 12. Woche auf 0,46 vs. 0,42, da die Kälber nach dem Abtränken verstärkt KF und Heu aufnehmen. Denn je weniger Milch verfügbar ist, desto früher beginnt nach BÜSCHER und BIESINGER (1997) [35] die Pansenentwicklung und Futteraufnahme wegen des Hunger- und Energiebedürfnisses, und desto größer ist das Einsparungspotenzial an MAT. Dies bestätigen Untersuchungen von KRISTENSEN et al. (2007) [145]. Bei einem Milchangebot von 3,1 l/d nahmen die Kälber bereits in der 4. Lebenswoche 1 kg/d und in der 5. Lebenswoche 1,2 kg/d an KF auf, beim Angebot von 8,3 l/d dagegen nur 0,2 kg/d bzw. 0,3 kg/d. Auch bei Untersuchungen von ALERT et al. (N.N.) [4] nahmen die Kälber nach etwa der 4. Woche 1 kg Kälberstarten pro Tier und Tag an drei aufeinanderfolgenden Tagen auf. Die Tiere der vorliegenden Arbeit erreichten diesen Wert (0,88 kg KF-TS) erst am 55. LT, wobei keine Hinweise zum Tränkeregime bei ALERT et al. (N.N.) [4] vorliegen. Diese beobachteten Effekte der Milchdarbietung auf die KF-Aufnahme decken sich mit vorangegangenen Analysen [31, 106, 131]. Untersuchungen von BIESINGER (1996) [23] zeigen ebenfalls, dass bei einer täglichen Tränkemenge von 8 l erst in der siebten

Lebenswoche mindestens 1 kg KF aufgenommen wird, bei 6 l/d wird die 1 kg-Grenze bereits in der fünften Woche erreicht. Allerdings soll gemäß KIRCHGEBNER (1997) [136] der Verzehr erst in der 10. Woche auf etwa 1,0 kg täglich und in der 13. Woche auf 1,5 kg ansteigen. Hier ist jedoch von Frischmassewerten auszugehen.

In der vorliegenden Untersuchung lagen die Aufnahmen zu vergleichbaren Alterszeitpunkten bei im Mittel 1,74 kg bzw. 1,83 kg KF-TS (2,0 bzw. 2,1 kg Frischmasse), wobei die angebotene Menge rationiert war. Daher ist davon auszugehen, dass bei einer *ad libitum*-Aufnahme die Werte weit höher wären. Die angegebenen Aufnahmemengen entsprechen genau der Empfehlung von ALERT et al. (N.N.) [4], dass Kälber im Alter von 10 Wochen maximal 2 kg KF aufnehmen sollen. Ab dieser Menge sei eine Steigerung der KF-Gabe nicht mehr sinnvoll, da die physikalische Regulation der Futteraufnahme bei Wiederkäuern sehr stark ausgeprägt ist [111] und der Vormagenkomplex das Volumen für aufnehmbares Futter limitiert. Nach SCHWARZ und KIRCHGEBNER (1985) [238] sollte die tägliche Kraftfuttergabe grundsätzlich auf 2,2-2,5 kg begrenzt werden. Zwar soll KF gemäß KIRCHGEBNER (1997) [136] vom ersten Tag an dem Tier zur freien Aufnahme zur Verfügung stehen und frisch angeboten werden. Allerdings herrscht hierbei eine Diskrepanz zwischen der Funktion von KF und Rohfaser hinsichtlich der Pansenentwicklung und der besten Abtränkmethode [36, 54, 55]. Dabei betonen diese und weitere Autoren [23, 149, 199] die Bedeutung der Registrierung der individuellen Aufnahmemengen aufgrund der Unterschiedlichkeit gleichaltriger Kälber. Auch WILLIAMS und FROST (1992) [291] und BÜSCHER und KÄCK (1995) [38] gehen davon aus, dass alle bekannten Untersuchungen darin übereinstimmen, dass bei gleichaltrigen Tieren eine hohe Bandbreite an KF- und Raufutteraufnahme besteht. Allerdings publizierten SCHWARZ und KIRCHGEBNER (1985) [238], dass die tägliche Heumenge auf 0,5 kg rationiert sein sollte, damit die Kälber ausreichend KF aufnehmen. Denn nach KIRCHGEBNER (1997) [136] steigt die Heuaufnahme mit zunehmendem Alter an. Die Kälber der vorliegenden Untersuchung nahmen im Mittel mindestens 500 g Heu-Frischmasse (0,581 kg HTS) im Alter von 74 LT auf (0,622 kg), also kurze Zeit nach dem Absetzen von der MT. Diesbezüglich erforschten FIEMS et al. (2005) [67], dass Frühabsetzen von Milch zu einer signifikant reduzierten Heuaufnahme führt. Auch das bei der Auswertung der Videoaufzeichnungen festgestellte Fressen von Stroh vor allem direkt nach dem Einstreuen, welches nicht quantitativ erfasst werden konnte, kann die tatsächliche Heuaufnahme zusätzlich reduzieren. Im Anhang werden ferner die Ergebnisse von zwei weiteren Untersuchungen [1, 88] in einer Gegenüberstellung mit den jeweiligen Daten des gegenwärtigen Versuchs gezeigt (Tab. A31, Tab. A32).

Somit kann beim Vergleich mit ähnlichen Forschungen und Rahmenbedingungen festgestellt werden, dass die Daten der vorliegenden Untersuchung hinsichtlich der Aufnahmen an MT, KF, Heu, TW und der LM im Durchschnitt liegen. Dieses Ergebnis steht aber im Widerspruch zu der Aussage von HALACHMI et al. (2005) [80], wonach die individuelle Kälberfütterung mittels computergesteuerter Automaten das Potenzial für

höhere tägliche Zunahmen und eine verbesserte Tiergesundheit biete. Auch IPEMA und ROSSING (1987) [105] betonen den Nutzen technischer Maßnahmen zur Steigerung und Erfassung der individuellen Futteraufnahme. Dieser wird ihrer Meinung nach vor allem durch das Preisverhältnis zwischen Grundfutter und Kraftfutter bedingt sein. Zudem sei mit einer erheblichen Arbeitseinsparung bzw. -erleichterung zu rechnen.

6.1.3.2 Einfluss des Alters auf die Aufnahmemenge

Auf das Alter bezogen konnte dokumentiert werden, dass die Tiere während der ersten Versuchswochen ihren Energiebedarf nahezu ausschließlich über die Milchaufnahme deckten, da die Aufnahme an Trockensubstanz weit unter dem durch den Kraftfutter- und Milchtränkeplan vorgegebenen TS-Maximalwert lag. In der dreiwöchigen Tränkephase von bis zu 8 l MT täglich nahm die TS-Aufnahme (KF, Heu) der Tiere, begründbar durch den wachstumsbedingten erhöhten Energiebedarf, konstant zu. Eine Tränkeperiode von 70 Tagen, wie sie hier vorlag, entspricht nach BUNLANG (2002) [33] dem deutschen Durchschnitt. Eine zehnwöchige Tränkezeit liegt zwischen der Frühentwöhnung, die bei sieben Wochen Tränkephase angesetzt ist, und der normalen Tränkeperiode, für die zwölf Wochen veranschlagt werden. Durch die verkürzte Tränkezeit wird das Kalb aufgrund der verringerten Nährstoffzufuhr und dem sich daraus ergebende Nährstoffdefizit gezwungen, seinen Energiemangel über die Aufnahme von Kraftfutter zu decken [136]. Allerdings sind Kälber gemäß KIRCHGEBNER (1997) [136] während der Aufzucht bezüglich der Energieaufnahme meist geringfügig übertversorgt. Denn die gegenwärtig beobachtete Steigerung der TS-Aufnahme wird durch den Abtränkvorgang verstärkt. Dies beobachteten auch HEPOLA et al. (2006) [88] bei ihren Untersuchungen, wobei die Aufnahmen an Heu und KF vor allem nach dem Abtränken stark anstiegen. Doch trotz der verringerten Milchmenge wurde in der vorliegenden Untersuchung der Wasserbedarf in Form von Trinkwasser nur zögerlich ausgeglichen, was in der leicht rückgängigen Wasserkurve während des Abtränkens sichtbar wird (Abb. 14). Dies ist mit Problemen der Trinkwasserannahme bei verringertem Milchangebot zu begründen. Sowohl der Geschmack als auch die Darbietungsform des Trinkwassers scheinen die Wasseraufnahme der Tiere zu beeinflussen. Dabei spiegelt sich die verminderte TW-Aufnahme in einem Absinken der GW/TS-Kurve und dem dabei entstehenden Defizit in der Tendenz wider (Abb. 15). Hierin liegt die Problematik des Abtränkvorgangs, der aufgrund der individuellen TW- und TS-Aufnahmen auch einzeltierbezogen erfolgen muss. Denn erst als die Kälber ab dem 71. LT keine MT mehr erhielten, abgesehen von kleinen Mengen durch Raub, stieg die TW-Aufnahme abrupt an. Deshalb gilt es zu erforschen, wie Kälber zur verstärkten TW-Aufnahme angeregt werden können. Denn das Füttern von befeuchtetem Futter kann durch Verklumpen zu einer variablen und somit ungenauen Dosierung führen, aber auch zum schnellen Futterverderb mit negativen Auswirkungen auf die Tiergesundheit.

Abgesehen von den hohen Korrelationswerten während der gesamten Aufzucht, weist der Abschnitt des Abtränkens (III) die engsten Beziehungen zwischen TW und den untersuchten Parametern auf. Allerdings zeigen sich auch während des Abtränkens unterschiedliche Intensitäten der Zusammenhänge (Abb. 16). Erst mit zunehmendem Alter und damit auch steigender KF-Aufnahme werden die TW-Korrelationskoeffizienten bis hin zum letzten Abschnitt der Tränkephase sehr hoch. Dabei ändern sich aber auch die beteiligten signifikanten Einflussflussgrößen. Denn bis zum Ende der dritten Lebenswoche hatte das Geschlecht den höchsten Einfluss auf die TW-Aufnahme, danach jedoch die KF-Aufnahme. Obwohl aufgrund der hohen Unterschiede in den untersuchten Tränkephasen künftig für die Ableitung von tierindividuellen Daten eine Gesamtkorrelation über die gesamte Tränkedauer hinweg ausgeschlossen werden muss, zeigen diese Ergebnisse die altersabhängige Beziehung der KF- auf die TW-Aufnahme. Allerdings ist die Aussagefähigkeit noch nicht ausreichend, da über die korrelativen Ansätze Bestimmtheitsmaßwerte von unter 50 % analysiert werden konnten, womit eine zufällige Steuerung nicht ausgeschlossen werden kann.

Nach der Tränkephase bis hin zum Ausstallen verringerte sich der altersbedingte Zusammenhang mit der Trinkwasseraufnahme. Eine ähnliche Tendenz zeigt sich hinsichtlich der Beziehung von TW- und KF-TS-Aufnahme, als auch zwischen TW-Aufnahme und Tiergewicht. Zudem zeigt sich in der Phase nach dem Abtränken ein sehr unregelmäßiger Kurvenverlauf, welcher einerseits von täglich stark schwankenden Heu- und TW-Aufnahmen geprägt war. Ursächlich hierfür scheint nach einem Tag mit hoher Heu- und hoher TW-Aufnahme eine am nächsten Tag bei beiden Futtermitteln verminderte Aufnahme. Sowohl die individuellen Aufnahmemengen, als auch in Verbindung damit die mit zunehmendem Alter steigenden absoluten Tagesunterschiede führten zu jenem diskontinuierlichen Kurvenverlauf. Andererseits hat auch die Gruppenzusammensetzung einen Einfluss auf das Fressverhalten der Tiere [107, 113]. Denn wenn Tiere, welche im Vergleich zu den anderen Kälbern besonders viel Futter aufnehmen oder aber den Stand blockieren, z.B. durch Schlachten aus der Gruppe entfernt werden, führt dies tags drauf zu einer Abweichung im Kurvenverlauf.

Über den gesamten Versuchszeitraum der gegenwärtigen Untersuchung hinweg lagen die Korrelationskoeffizienten zwischen der GTS- und der TW-Aufnahme bei $r = 0,783$ bzw. bei GW bei $r = 0,906$. Ebenfalls hohe Korrelation zwischen Wasser- und TS-Aufnahme bei Untersuchungen von [20, 47, 98] deuten nach LUKAS et al. (2008) [165] darauf hin, die Wasseraufnahme als einen indirekten Weg der TS-Aufnahme zu verwenden. Die Autoren sehen eine automatische Trinkwasseraufnahmeregistrierung als Möglichkeit, einfach, günstig, zeitsparend und möglichst fehlerfrei Fütterungsdaten zu erheben. Allerdings sind die Ergebnisse bezüglich der Beziehung zwischen individueller TS- und Wasseraufnahme zum Teil widersprüchlich. Bei Feldversuchen beobachtete BEEDE (2005) [20], dass die individuelle Wasseraufnahme von Kühen um 15-20 % von Prognosen abwich, welche

aufgrund von Gleichungen, zitiert durch die NRC (2001) [177], erstellt wurden, die die TS-Aufnahme als eine der vorausgesagten Variablen beinhalteten. MEYER et al. (2004) [173] berichten ebenfalls von niedrigen Korrelationskoeffizienten zwischen TS- und Wasseraufnahme von $r = 0,107$. Dagegen erreichten HOLTER und URBAN (1992) [98] einen Determinationskoeffizienten von 0,69 (vergleichbar mit $r = 0,83$), wobei DADO und ALLEN (1994) [47] mit $r = 0,96$ eine noch engere Beziehung zwischen TS- und Wasseraufnahme einzelner Tiere feststellen konnten [165]. Ferner weist KÄCK (2004) [119] auf die Wichtigkeit der TW-Aufzeichnung hin, da es seiner Meinung nach nicht nur für das Gesundheitsmonitoring von Bedeutung ist, sondern auch als Kontrollvariable zur Milchverabreichung. Zudem berichten KERTZ et al. (1984) [129] von einem engen Zusammenhang zwischen der TW-Aufnahme, der KF-Aufnahme und den täglichen Zunahmen, wohingegen GOTTARDO et al. (2002) [75] erläutern, dass die TW-Aufnahme das Kälberwachstum nicht beeinflusse. Jedoch einen großen Einfluss auf die TS-Aufnahme kann dagegen nach RADEMACHER (2000) [206] das Lecken an Salzlecksteinen haben. Dies stimuliere sichtbar die Aufnahme von Wasser und somit indirekt auch die Festfütterraufnahme. Dagegen untersuchten KEYSERLINGK et al. (2006) [131] die KF-Aufnahme bei unterschiedlichem Wasserangebot. Dabei hatte eine Kälbergruppe 24 h Zugang zu einer *ad libitum*-Tränke, eine weitere zwei mal 2 h Zugang zur *ad libitum*-Tränke ohne zusätzliches Wasser aus einem Nuckel und eine dritte Gruppe mit zwei mal 2 h Zugang zur *ad libitum*-Tränke mit zusätzlichem Wasser aus einem Nuckel. Alle Kälber hatten zudem Zugang zu Wasserschalen. Die Autoren konnten beobachten, dass die Gruppe ohne Nuckelwasser während des Versuchs 0,14 kg KF/d aufnahm, jene mit Nuckelwasser lediglich 0,09 kg KF-TS/d, dafür aber mehr Milch. Den Verfassern zufolge benötigt ein Kalb für eine erhöhte KF-Aufnahme nicht zwingend mehr TW. Dies bestätigt die sinkende Kurve von GW/GTS in der vorliegenden Untersuchung. Allerdings führt gemäß QUIGLEY (2001) [204] eine TW-Verweigerung zu einer verzögerten TS-Aufnahme, einer langsameren Pansenentwicklung, erhöhtem Stress und wahrscheinlich auch zu einem erhöhten Krankheitsrisiko. Auch eine Untersuchung von RUIS-HEUTNICK und VAN REENEN (2000) [217] zeigt, dass bei Verfügbarkeit von Wasser die Aufnahmen gesteigert werden, da MAT alleine nicht ausreicht, den Wasserbedarf der Kälber zu decken.

Dabei erscheint auffällig, dass die Kälber trotz der Präferenz für Milch, über die Tränkephase hinweg betrachtet nur 88,5 % der angebotenen Menge abriefen. Ähnliches ergab eine Untersuchung von MOREL und SCHICK (2002) [174] mit Mastkälbern, welche am TA nur 91 % der gesamt angebotenen Milchmenge aufnahmen. Bei Eimerfütterung erhöhte sich die Aufnahme auf 95 %. Dieser Einfluss kann durch die verstärkte Beaufsichtigung der Kälber während der Fütterung am Eimer bedingt sein, da ein Kalb, das seine Ration noch nicht vollständig aufgenommen hat, zur Aufnahme der Milch stimuliert wird. Dies ist allerdings bei der Kälberfütterung am TA nicht der Fall. Außerdem können nach MOREL und SCHICK (2002) [174] auch geschlossene Wände am Tränkestand den Verzehr negativ

beeinflussen. BOGNER et al. (1985) [24] führen an, dass generell 5 bis 10 % der Kälber nicht für einen TA geeignet seien. Zusätzlich untersuchten JASPER und WEARY (2002) [106], wie sich die *ad libitum* Milchaufnahme im Vergleich zur rationierten Milchmenge (10 % der Lebendmasse) auf die Futteraufnahme und die Gewichtsentwicklung auswirkt. Sie stellten fest, dass die *ad libitum* gefütterten Tiere zwar 89 % mehr Milch aufnahmen als die rationiert gefütterten Kälber, aber sie fraßen nur 16 % der KF- und 17 % der Heumenge der Vergleichstiere. Entsprechend den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung, bei der MT und KF rationiert, aber Heu und TW *ad libitum* angeboten wurden, stieg auch bei JASPER und WEARY (2002) [106] nach dem Abtränken die KF- und Heu-Aufnahme rasant an. Vor dem Abtränken hatten deren Versuchstiere 63 % höhere Zunahmen, ca. eine Woche nach dem Abtränken (49. LT) erreichten beide Gruppen die gleichen Zunahmen. Deshalb kommen sie zum Schluss, dass die *ad libitum* Tränke die täglichen Zunahmen ohne nachteiligen Effekt auf die Festfutteraufnahme nach dem Abtränken steigert. Nicht dokumentiert haben die Autoren allerdings den Einfluss der rationierten Milchmenge auf die anderen Futtervariablen. Denn bei der vorliegenden Untersuchung war die negative Korrelation von $r = -0,675$ zwischen Alter und MT durch die Rationierung der MT mit steigendem Alter bedingt. Auch die Korrelation zwischen der KF-Aufnahme und dem Alter ($r = 0,903$) wird vom rationierten Angebot, nämlich von KF beeinflusst. Frei von einer Limitierung hingegen sind die altersbedingte TW- ($r = 0,802$) und Heuaufnahme ($r = 0,685$).

Bei der Wahl der Abtränkmethode darf nach DEININGER (2002) [52] die Entwicklung des Einzeltieres nicht nachhaltig negativ beeinträchtigt werden, zumal die Steuerung des Abtränkvorganges umso genauer erfolgen kann, je höher die Korrelation zwischen dem Steuerungsparameter und der Tierentwicklung ist. In der vorliegenden Untersuchung beträgt der Korrelationskoeffizient während des Abtränkzeitraumes zwischen dem Tiergewicht und dem Alter $r = 0,672$, der TW-Aufnahme $r = 0,669$ und der KF-Aufnahme $r = 0,731$. Demnach wäre die KF-abhängige Entwöhnung der nach dem Alter oder TW-Aufnahme gesteuerten geringfügig vorzuziehen. FIEMS et al. (2005) [67] schreiben dazu, dass bei einer KF-Aufnahme von 0,5 kg TS/d mit dem Abtränken begonnen werden kann, was bei vorliegender Untersuchung (allerdings bei einem Rückgang der MT-Menge ab dem 43. LT) am 49. LT erreicht wurde, wobei generell über die Portionsgröße und -häufigkeit abgetränkt wird [103]. Dabei ist bekannt, dass die Abtränkmethode in großem Maße die Leistung nach dem Abtränken beeinflusst [133]. Deshalb ist zu beachten, dass zum Zeitpunkt des Absetzens von der Tränke ausreichend viel KF aufgenommen wird, da sonst ein Wachstumsrückgang unvermeidbar wäre [136]. Nach SCHMOLDT (1991) [226] kann ein Kalb unabhängig vom Alter problemlos dann entwöhnt werden, wenn es 1 kg hochwertiges KF pro Tag aufnimmt, was in der vorliegenden Untersuchung mit im Mittel 58 LT der Fall gewesen wäre. Denn auch nach KEHOE (2007) [128] hat das Alter zum Absetzzeitpunkt bis zur 8. Lebenswoche keinen Einfluss auf das Wachstum. Da die Kälber in der gegenwärtigen Untersuchung aber im Alter von 10 Wochen bei einer mittleren Aufnahme von 1,71 kg/KF-

TS am 70. LT von der Tränke abgesetzt wurden, müsste sich demnach der um zwei Wochen verzögerte Absetzzeitpunkt negativ auf die Zunahmen auswirken. Dies kann allerdings nicht bestätigt werden, da zum einen die Tiergewichte auch nach dem Abtränken stetig anstiegen (Abb. A15) und zudem über die gesamte Versuchsdauer ein Korrelationskoeffizient zwischen den Einzeltierwerten der Gesamt-TS-Aufnahme und dem Lebendgewicht von $r = 0,869$ ermittelt werden konnte.

6.1.3.3 Einfluss der Aufnahmemenge auf die Lebendmasse

Hierbei spielt vor allem die Futterraufnahme eine entscheidende Rolle, denn mit rückläufiger Tränkemenge und steigendem Verzehr stieg auch das am TA erfasste mittlere Tiergewicht und die daraus errechneten täglichen Zunahmen. Demnach konnten während der Tränkephase mittlere Tageszunahmen von 0,575 kg/d verzeichnet werden. Allerdings schwankten die Daten im letzten Tränkeabschnitt von Tag zu Tag sehr stark und die Datenerhebung war aufgrund der geringen Tränkemenge bzw. Tränkezeit und somit geringen Wiegezeit teilweise ungenau. Nach der Tränkephase, also als die Kälber von der Milch abgesetzt waren, wurden am TA nur noch sehr ungenaue Daten mit zudem sehr hohen Standardabweichungen erfasst. Deshalb wurden für die Auswertung der Gewichtsentwicklung keine Tagesdaten, sondern die Daten der wöchentlichen Kontrollwiegungen an einer mobilen Waage herangezogen. Dabei stieg während des Versuchs das durchschnittliche automatisch ermittelte Körpergewicht von 47,8 kg am 10. LT auf 81,8 kg am 70. LT. Bis zum 96. LT erhöhte sich der Wert auf im Mittel 108,1 kg (Abb. A15). Dies führte zu einem Alterseinfluss auf die Gewichtsentwicklung mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,907$. Diese Abhängigkeiten führen auch zu engen Korrelationswerten zwischen der TW-Aufnahme und dem Gewicht ($r = 0,837$). Einen sehr ähnlichen Korrelationskoeffizienten zwischen der Wasseraufnahme und dem Lebendgewicht konnten DADO und ALLEN (1994) [47] bei Milchkühen ermitteln ($r = 0,86$).

Bei Kälbern können allerdings geringe Wachstumsdepressionen im Laufe der Aufzucht zu einem späteren Zeitpunkt kompensiert werden. Dieser Effekt wird in der Literatur als kompensatorisches Wachstum bezeichnet [42, 49]. Bei Untersuchungen von DAENICKE (1987) [49] fraßen die Tiere bei geringeren MAT-Mengen (4 l/d für 4 Wochen) mehr KF, aber gleich viel Heu und Maissilage wie bei 6 l/d für 6 Wochen, und sie hatten geringere tägliche Zunahmen während der Aufzucht. Während der Mastperiode reagierten diese Tiere mit höheren Zunahmen, sodass das gleiche totale Gewicht beider Gruppen mit weniger Kosten und einer etwas kürzeren Mast erreicht wurde. Mit insgesamt 73 l mehr MT für jedes Kalb während der Aufzucht und *ad libitum* angebotener Maissilage, erreichten Kälber bei BÜSCHER und HÜTTER (2001) [36] im Vergleich zur vorliegenden Untersuchung zwar mit einer um 68 g niedrigeren GTS-Aufnahme (221 vs. 289 g/d) eine um 36 g höhere tägliche Zunahme (482 vs. 446 g/d) während der ersten 56 LT, aber bei einer nahezu um 500 g höheren GTS-Menge (1089 vs. 590 g/d) eine um 15 g geringere tägliche Zunahme

(533 vs. 548 g/d) während der ersten 70 LT. Ähnliche Aufnahmemengen und Zunahmen werden von [1, 146, 211, 271] beschrieben. Dabei gäbe es Möglichkeiten, die täglichen Zunahmen zu erhöhen, wie z.B. der Einsatz von mehr Rohprotein in der Ration [237] oder von pansengeschütztem Methionin [65, 238]. Allerdings sind auch nach SCHWARZ und KIRCHGEBNER (1985) [238] vor allem die Dauer der Tränkeperiode, die Qualität des MAT und die Verzehrsgeschwindigkeit an Kälberaufzuchtfutter entscheidend für die Höhe des Zunahmenniveaus. Dabei konnte vorliegend über die gesamte Versuchsdauer ein Korrelationskoeffizient zwischen den Einzeltierwerten der Gesamt-TS-Aufnahme und dem Lebendgewicht von $r = 0,869$ errechnet werden. Um die Daten mit Ergebnissen von LÖHNERT (1996) [164] im Alter vom 21.-77. LT vergleichen zu können, wurde für diesen Abschnitt ein Korrelationskoeffizient von $r = 0,814$ berechnet. Erstaunlich ist, dass er von einem gleich hohen Zusammenhang dieser beiden Parameter ($r = 0,81$) berichtet. Dies bestätigt umso mehr, dass die vorliegend erhobenen Daten im Vergleich mit Aussagen aus der Literatur im Mittel liegen.

Da das Lebendgewicht einer der bedeutendsten Faktoren für die Schätzung der Futteraufnahme ist [111], sind das Lebendgewicht oder daraus ableitbare Parameter in fast allen bekannten Modellen zur Schätzung der Futteraufnahme berücksichtigt. Allerdings kann nach MEINHOLD und WALTER (1980) [171] vom Körpergewicht nicht exakt auf die Grundfutteraufnahmekapazität geschlossen werden, da dies eine enge Korrelation zwischen Lebendgewicht und Pansenvolumen voraussetzen würde [39, 46, 214]. Denn ein hohes Futteraufnahmevermögen bedingt ein großes Pansenvolumen, wobei die Größe des Pansens einen bestimmenden und begrenzenden Faktor für die Höhe der Futteraufnahme darstellt [190].

6.1.3.4 Einfluss des Geschlechts auf die Aufnahmemenge

Durch die vorliegende Auswertung der Daten der Fütterungstechnik Milchtränke-, Kraftfutter-, Trinkwasserautomat und Wiegetröge sind in der Tendenz ähnliche Verläufe der Wasser- und Trockensubstanzaufnahmekurven weiblicher und männlicher Tiere in Abhängigkeit des Alters erkennbar. Jedoch sind phasenweise deutliche Unterschiede in der jeweiligen Aufnahme festzustellen (Tab. 10), zumal die Auswertungen einen teils hohen Einfluss des Geschlechts auf die Futtervariablen belegen (Tab. 11). Dabei konnten die altersabhängigen Mittelwerte der männlichen Tiere immer als höher geprüft werden als jene der weiblichen, mit Ausnahme der HTS, bei der keine Unterschiede bewiesen werden konnten. Auch FIEMS et al. (2005) [67] konnten in ihren Untersuchungen ähnliche Tendenzen erkennen. Ihre männlichen Versuchskälber hatten ebenfalls eine tendenziell höhere Futteraufnahme und Wachstumsrate als die weiblichen. Allerdings waren in der vorliegenden Untersuchung über den gesamten Versuchsverlauf hinweg die Korrelationskoeffizienten der männlichen Kälber überwiegend niedriger als jene der weiblichen Tiere. Dies deutet auf stärkere tierindividuelle Unterschiede hinsichtlich

Wachstum und Futteraufnahme der männlichen Tiere bzw. auf eine tendenziell homogenere Entwicklung der weiblichen Kälber hin. Besonders im III. und IV. Altersabschnitt nahmen die männlichen Tiere proportional zum Alter viel TW auf. Allerdings variierte die Tieranzahl, bedingt durch das Weglassen fehlerhafter Daten und die durch die Schlachtungen unterschiedliche Anzahl an Tieren vor allem im letzten Untersuchungsabschnitt. Dies erklärt zum Teil den diskontinuierlichen Anstieg der TW- und Heu-Aufnahme, wobei die weiblichen Tiere im Mittel weniger Heu aufnahmen (Abb. 17). Denn durch das Ausstallen eines Kalbes, das einen Futtertrog durch lange Aufenthalte ohne Aufnahme blockierte, kann tags drauf die mittlere Aufnahme der anderen Tiere stark erhöht sein. Allerdings kann die Kurve auch sinken, falls ein Kalb aus der Gruppe genommen wurde, welches besonders viel Heu aufnahm. Außerdem wurde in diesem Alter vor allem bei den weiblichen Tieren beobachtet, dass eine erhöhte Heu- mit einer verringerten TW-Aufnahme einherging. Dies spiegeln auch die sehr geringen Korrelationskoeffizienten im Alter vom 77.-105. LT mit $r = 0,156$ bei den weiblichen und $r = 0,350$ bei den männlichen Kälbern wider.

Zusätzlich zur Tendenz der Futteraufnahme waren während des gesamten Versuchszeitraums die männlichen Tiere im Mittel auch um 5,57 kg (8,4 %) schwerer als die weiblichen (Abb. A15). Dabei vergrößerte sich die Gewichts Differenz mit zunehmendem Alter, wobei zu Versuchsende das Verhältnis umgekehrt war, da nur noch sehr wenige männliche Tiere im Versuch waren und zudem die Messungenauigkeit der Vorderfußwaage stieg. Werden die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung mit max. 8 l MT am Tag (max. 120 g MAT/l bei 70 d Tränkezeit), bei der die männlichen Kälber am 57. bzw. 65. LT Werte von 72,4 kg ($n = 29$) bzw. 79,2 kg ($n = 25$) erreichten, mit Werten von HALACHMI et al. (2005) [80] verglichen, so ähneln sich diese. Vor allem, da die Gewichts Differenz mit zunehmendem Alter geringer wird. Denn HALACHMI et al. (2005) [80] erzielten in ihren Untersuchungen bei 154 männlichen Holstein-Friesian Kälbern, welche maximal 6 l MT/d erhielten mit einer Konzentration von 125 g MAT/l, und mit 57 bzw. 65 LT abgesetzt wurden, mittlere Gewichtswerte von 76 bzw. 82 kg. Allerdings konnte nur unzureichend verwendbare Literatur bezüglich der unterschiedlichen Futteraufnahmen von weiblichen und männlichen Kälbern gefunden werden. Zudem werden geschlechtsspezifische Fütterungsempfehlungen in der Literatur erst für eine Lebendmasse über 150 kg erteilt, wobei dann jedoch zwischen Färsen und Mastbullen differenziert wird.

6.1.3.5 Einfluss des Klimas auf die Aufnahmemenge

Neben diesen Abhängigkeiten ist der Stallklimaverlauf und dessen Einfluss auf die Futteraufnahme zu berücksichtigen. Denn nach DAENICKE (1985) [48] sind die Aufnahmen abhängig vom Stallsystem und von der Haltungsform. Da sich jedoch die Untersuchung von März bis November 2006 erstreckte und betriebseigenes Tiermaterial der Versuchsstation verwendet wurde, waren die Kälber an Tagen mit extremen Temperaturen unterschiedlich

alt, was zu entsprechenden Maximalwerten bei der Wasseraufnahme in den verschiedenen Zeitabschnitten führt. Deshalb kann nicht von einem eindeutigen mittleren Aufnahmepeak gesprochen werden. Zwar kann anhand der Pearson'schen Korrelationskoeffizienten gezeigt werden, dass bei den absoluten Daten zwischen den mittleren täglichen Aufnahmen der Tageswerte aller Tiere und dem jeweiligen täglichen Maximalwert der rF bzw. dem Mittelwert der Tagestemperatur die engsten, überwiegend positiven Beziehungen bestehen. Allerdings sind diese Werte numerisch gering (Tab. A12). Zudem waren die Tiere durch das Stallsystem weitgehend vom äußeren Klima beeinflusst, was nach DAENICKE (1985) [48] zu einer erhöhten Aufnahme führt. Er beschreibt in seiner Publikation, dass Kälber im ungedämmten Stall insgesamt 3,2 % mehr KF und 7,8 % mehr Heu aufnahmen als in einem gedämmten, vom äußeren Klima unbeeinflussten Stall. Dadurch waren auch die Zunahmen der Tiere seiner Untersuchung im ungedämmten Stall wesentlich höher.

Bei der geschlechtsspezifischen Auswertung der vorliegenden Klimadaten zeigt sich, dass sie mit den Aufnahmewerten der weiblichen Tiere zum Großteil wesentlich höher korrelieren als jene der männlichen, dass also die absoluten Aufnahmemengen der weiblichen Tiere scheinbar wesentlich stärker vom Wetter abhängen. Diese Unterschiede könnten auch auf die unterschiedliche Anzahl an männlichen und weiblichen Tieren im Versuch zurückzuführen sein. Allerdings liegt zur geschlechtsspezifischen Empfindlichkeit bezüglich der Witterung keine Publikation vor.

Zusätzlich kann aber mit den Analysen der vorliegenden Arbeit ein geringer Einfluss des Temperatur-Tagesmittelwertes auf die relative Abweichung der GW-Aufnahme statistisch signifikant bewiesen werden. Das bedeutet eine zunehmende GW-Aufnahme bei steigender Temperatur. Außerdem konnte ermittelt werden, dass mit zunehmender rF bzw. höherer maximaler Temperatur die Tiere mehr vom Soll abwichen und demgemäß weniger MT aufnahmen. Grundsätzlich geht nach Ergebnissen mehrerer Untersuchungen die Futteraufnahme mit steigender Umgebungstemperatur zurück [120, 177, 246], was in der vorliegenden Untersuchung nur vereinzelt festgestellt werden konnte. Der von den Autoren beschriebene Rückgang ist abhängig vom Ernährungsniveau und der Rationszusammensetzung. Danach sind rohfaserreiche Rationen davon stärker betroffen, weil durch die Fermentation von Rohfaser mehr Essigsäure freigesetzt wird, was mit einer erhöhten Wärmeproduktion gekoppelt ist [246]. Nach MEYER et al. (2004) [173] steigt für jedes zunehmende °C in der Umgebungstemperatur die Wasseraufnahme bei Rindern am Tag um 1,52 kg, selbst wenn die Umgebungstemperatur 24 °C nicht übersteigt. Dagegen berichten WEST et al. (2003) [288] von einem Rückgang um 0,8 kg TS für jedes steigende °C. Auch CASTLE (1972) [40] bestätigt die These der Abhängigkeit der Futteraufnahme von der Witterung. Allerdings geht es bei seiner Untersuchung nicht um die Temperatur, sondern um die relative Luftfeuchte. Er stellte fest, dass Regen und hohe Luftfeuchte die freiwillige Wasseraufnahme bei Weiderindern reduzierte. Dies spiegelt die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung teils wider. Denn der Korrelationskoeffizient zwischen der TW-

Aufnahme und der mittleren relativen Feuchte ist sehr gering ($r = 0,080$). BEATTY et al. (2006) [18] dagegen berichten von einer ansteigenden Wasseraufnahme und zurückgehenden Futteraufnahme bei Rindern während Perioden mit steigender Feuchtigkeit und Umgebungstemperatur. Insbesondere bei Studien mit einer totalen Mischration konnten negative Korrelationen zwischen relativer Feuchte und freier Wasseraufnahme beobachtet werden [173].

6.1.3.6 Aktivität und Besuchsverhalten an den Futterstationen

Der Vergleich von Untersuchungsergebnissen verschiedener Fütterungs- und Verhaltensparameter gestaltet sich wegen der spezifischen Verwendung unterschiedlicher Fütterungssysteme und -regime der jeweiligen Autoren sehr schwierig. SCHICK (1995) [220] verdeutlicht dieses Problem anhand der Analyse des Saugverhaltens von Kälbern am Muttertier vs. TA. Denn an der Kuh erhält das Kalb bei jedem Saugakt Milch, wohingegen beim TA-Besuch ohne Milchanrecht nichts abgerufen werden kann. Ursächlich für die Messung der Aktivität ist nach BREER und BÜSCHER (2006) [28] das Potenzial zur frühen Detektion von Erkrankungen, da kranke Tiere in der Regel eine verminderte Aktivität aufweisen. Die im vorliegenden Versuch verwendete Technik bietet hierzu gute Voraussetzungen, da viele der von DEININGER (2002) [52] beschriebenen, sich im Krankheitsfall teilweise ändernden Parameter des Tränkeverhaltens, wie die Anzahl und jeweilige Dauer der Stationsbesuche und die Tränkaufnahme damit erfasst werden können. Damit können die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung als Grundlage für weiterführende Arbeiten verwendet werden, um den Zusammenhang der Aktivität und der Tiergesundheit näher zu beleuchten. Generell konnte vorliegend ein Anstieg der Aktivität mit zunehmendem Alter festgestellt werden, wobei weder die Besuchszeit noch -häufigkeit vorgegeben waren. Deshalb ist davon auszugehen, dass sie vom tierindividuellen Verhalten abhängen. Auch BREER und BÜSCHER (2006) [28] stellten einen individuellen Anstieg der Aktivität mit steigendem Alter fest, als sie die mittels Pedometern erhobenen Daten analysierten.

6.1.3.6.1 Tränkeautomat

In der vorliegenden Untersuchung erhöhte sich im Laufe der Aufzucht sowohl die Anzahl an Besuchen am TA mit Tränkeabruf, als auch ohne Abruf. Nach dem Einstellen wurde der Tränkeautomat im Mittel 8 Mal täglich aufgesucht (Tab. 17), wobei bei der Hälfte der Besuche MT aufgenommen wurde. Die Anzahl an Besuchen ohne Tränkeanspruch stieg bereits kurz vor dem Abtränken am 69. LT auf 19 ± 10 an, da die Tränkemenge rationiert war, die Kälber aber mehr abrufen wollten. Über den ganzen Tränkezeitraum betrachtet und unabhängig von der angebotenen Milchmenge, hielt sich ein Kalb mit Tränkeabruf im Mittel 2,9 min je Besuch im Tränkestand auf und besuchte diesen 5,6 mal am Tag erfolgreich bzw. 9,8 mal ohne Tränkeaufnahme. Insgesamt belegte ein Tier den Stand zur

Tränkeaufnahme im Schnitt 12,3 min/d. Wesentlich höher hingegen sind die Ergebnisse von AURICH und WEBER (1993) [13]. Bei ihnen lag die Besuchsfrequenz bei 10,3 erfolgreichen und 22,8 Besuchen ohne Tränkeanspruch, was die Belegdauer des Standes je Tier stark erhöht. Ebenfalls im Vergleich zu den vorliegenden Ergebnissen weit höher sind die von DE PASSILLÉ et al. (2004) [186] dokumentierten 17 Besuche am Tag bei 4-maligem Milchanrecht und einer Gesamtaufenthaltszeit im Tränkestand von 50 min/d, davon meist saugend. Auch die Ergebnisse von PIRKELMANN (1986) [193], bei dem die Kälber im Schnitt zwar nur 7,5 mal den TA aufsuchten, aber im Mittel 41,5 min im Tränkestand verweilten, sind zumindest hinsichtlich der Belegdauer im Verhältnis zu den gegenwärtigen Daten stark erhöht. Und als er die Tränkezuteilung auf Basis des Gleitzeitprogramms durchführte, kam es neben einer noch höheren Besuchsfrequenz auch zu einer noch längeren Verweildauer. In der vorliegenden Untersuchung wurde der TA vor dem Abtränken (8.-42. LT) von einem Kalb im Mittel 4,3 (0-54) mal täglich mit Milchabruf und 7,9 (0-51) mal ohne Abruf besucht. Im Zeitraum vom 22.-49. LT ergeben sich Werte von 5,5 bzw. 8,2. Dies kann mit Ergebnissen von JENSEN (2006) [108] bei 4-maligem Milchanrecht direkt verglichen werden. Denn er notierte vor dem Abtränken (22.-49. LT) im Schnitt 5 erfolgreiche und 15-35 nicht belohnte Besuche am TA. Daraus kann abgeleitet werden, dass die Kälber der vorliegenden Untersuchung den TA geringfügig öfter zur MT-Aufnahme aufsuchen, dafür aber deutlich weniger Besuche ohne Abruf durchführen, den Stand also effizienter belegten.

Der Einfluss des Alters auf die Aktivität am TA wird in der vorliegenden Untersuchung über den gesamten Versuchsabschnitt mit $r = -0,101$ (zwischen Alter und Gesamtbesuchen) angegeben. Dabei können die höchsten positiven Werte im ersten Tränkeabschnitt ($r = 0,292$) und während des Abtränkens ($r = 0,458$) verzeichnet werden. Diese Ergebnisse können von PIRKELMANN (1994) [195] bedingt bestätigt werden, da er ebenfalls einen Zusammenhang zwischen dem Alter und der Besuchsanzahl erkennen konnte. Allerdings suchten seine jungen Kälber den TA 6-10 mal täglich auf und mit zunehmendem Alter seltener. Einen Anstieg der Gesamtanzahl der Tränkebesuche hingegen konnten LINDEMANN et al. (1993) [159] verzeichnen. Während der Phase des Abtränkens notierte JENSEN (2006) [108] im Mittel 3 erfolgreiche und 21-25 nicht belohnte Besuche, in der angeführten Arbeit sind es 7,2 (0-41) bzw. 12,2 (0-75) Besuche je Tier am Tag. Die Abweichungen in der Anzahl können mit der unterschiedlichen Belegungsdichte und dem abweichenden Fütterungsregime [267] erklärt werden. Zwar beobachtete JENSEN (2006) [108], dass durch das Reduzieren der Anzahl der Milchportionen mehrere unbelohnte Besuche am TA verzeichnet wurden, aber gleichzeitig verringerte sich die Besuchsdauer. Dies kann sowohl in der vorliegenden Arbeit ($r = 0,121$ zwischen Alter und Anzahl Besuche ohne Abruf), als auch bei KIRCHER (1997) [135], LINDEMANN et al. (1993) [159] und SCHLICHTING (1985a) [223] beobachtet werden, nämlich dass die Anzahl von Besuchen ohne Tränkeanspruch überwog. Dafür waren diese sehr kurz, sodass die Aufenthaltszeiten

mit Tränkeanspruch hinsichtlich der Stationsbelegung dominierten. Basierend auf seinen Ergebnissen empfiehlt JENSEN (2006) [108], ein großes Milchanrecht anzubieten, da dadurch die Kälber mehr gesättigt sind und die totale TA-Belegung geringer wird. Dagegen ändert sich nach Beobachtungen von DE PASSILLÉ und RUSHEN (2006) [185] das Saugverhalten bzw. die Saugrate von Kälbern während der Aufzucht nicht, weder in Abhängigkeit der Milchverfügbarkeit noch der Fressmotivation.

In der vorliegenden Untersuchung nahm besonders nach dem Abtränken die Anzahl erfolgloser Besuche stark zu (max. 75 Besuche am 72. LT) und flachte nach einiger Zeit wieder ab. Dies kann durch die Gewohnheit und den Appetit der abgesetzten Kälber auf Milch erklärt werden. Allerdings hat nach JENSEN (2004) [107] die Anzahl an Tieren in der Gruppe und damit einhergehend die Häufigkeit des Störens während des Saugvorgangs einen großen Einfluss auf die Anzahl der Stationsbesuche. Er stellte fest, dass sich in großen Tiergruppen (mit 24 Kälbern) bei weniger und dafür größeren Milchportionen die Nötigungen und Streitigkeiten um Zutritt zum TA verringerten. Da sich während der vorliegenden Untersuchung maximal 20 Kälber gleichzeitig in einem Stallabteil befanden, wurde deshalb eine Wippe am Tränkestand montiert, damit die Tiere weitgehend ungestört ihre Tränkeportionen aufnehmen konnten. Allerdings kann sich dadurch die Verweildauer im Tränkestand verlängern [267]. Diese nimmt aber mit zunehmendem Alter tendenziell ab, was die Resultate der vorliegenden Untersuchung zeigen ($r = -0,418$). Anfangs müssen die Kälber das Trinken erst lernen, was einen langen Aufenthalt erfordert, und mit der Zeit werden die Tränkeportionen kontinuierlich reduziert [135, 223]. SCHLEYER und KAMINSKY (1996) [221] berichten ebenfalls von einer Abnahme der täglichen Saugzeit im Altersverlauf, aber auch von einer Zunahme des Leersaugens. Entsprechend sind die höchsten Korrelationskoeffizienten während Phase I (8.-20. LT) (Korrelationskoeffizient zwischen Besuchsdauer am TA und Alter $r = 0,178$) bzw. Phase a (14.-28. LT) ($r = -0,283$) zu dokumentieren. Am 9. LT verweilte ein Kalb im Mittel 3,1 min/Besuch mit Tränkeabruf in der Station. AHMED (1987) [2] registrierte einen Wert von durchschnittlich 4,9 min. Bei bis zu vier Wochen alten Kälbern stellten FERRANTE et al. (1991) [66] eine Saugdauer von 11,0-38,0 min je Tag fest, bei weniger als 3 min Mahlzeitdauer. Im Vergleich dazu betragen die entsprechenden Werte der Kälber der vorliegenden Untersuchung am 28. LT 14,3 min/d (4,8-37,9 min/d) bei 3,5 min/Besuch mit Tränkeabruf. Dagegen ergab eine Analyse von RIESE et al. (1977) [213] 1-6 Besuche je Tag mit bis zu 25 min Dauer, was einem Aufenthalt von sogar 27 min/d im Stand entspricht. Auch bei AURICH und WEBER (1993) [13] dauerte ein Saugakt 5,8 min und die Saugdauer insgesamt 20,2 min/d. So zeigen die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung hinsichtlich der Standbelegung im Vergleich mit Aussagen aus der Literatur, dass die gegenwärtigen Kälber bei gleichem Alter ihre Tränkeportion meist viel zügiger aufnahmen. Dies führt in der Konsequenz zu einer geringeren täglichen Belegungsdauer des Tränkestandes und somit wiederum zu einer effizienteren Auslastung der Technik. Allerdings muss beim Vergleich mit der Literatur beachtet werden, dass

oftmals keine Angaben z.B. zur Portionsgröße vorhanden sind, was natürlich, ebenso wie die Besuchszahl, einen entscheidenden Einfluss auf die Besuchsdauer hat.

Auch die aufsummierte tägliche Besuchsdauer am TA nimmt während der Untersuchung tendenziell ab ($r = -0,346$), was neben der ebenfalls altersabhängigen Anzahl an Besuchen hauptsächlich durch die Besuchsdauer ($r = -0,418$) bedingt ist. Statistisch abzusichern sind altersabhängige, numerisch erhöhte Besuchsdauern ausschließlich in Phase I ($r = 0,162$). Dies unterstützt die Aussage von SAMBRAUS (1984) [219], dass auch die Scheinsaugdauer mit zunehmendem Alter abnimmt, da die Festfutteraufnahme steigt. Um dies zu unterbinden, war der vorliegend verwendete Nuckel mit einem Schieber zum Schutz des Temperatursensors ausgestattet [267]. Dadurch war kein Leersaugen am Nuckel möglich. Außerdem war im Tränkestand kein adäquates Ersatzobjekt zum Saugen, sodass davon ausgegangen werden kann, dass das Interesse am Tränkestand insgesamt geringer war und die Tiere ihn deshalb nach der Tränkeaufnahme schneller verlassen haben. Damit sich die Belegzeiten am Automaten noch weiter reduzieren, empfehlen GRIMM und AHMED (1987) [77] eine Verringerung des Schlauchdurchmessers. Denn durch den erhöhten Saugwiderstand sank in ihren Untersuchungen die Anzahl der täglichen Besuche am TA eines Tieres von 33 auf 15, wobei sich die tägliche Besuchsdauer von 41 auf 63 min erhöhte. Allerdings reduzierte sich auch der Aufenthalt ohne Milchanspruch von 21 auf 11 min. Zudem besetzten bereits von der Milch abgesetzte Tiere den TA bis zu über einer Stunde am Tag, obwohl sie kein Anrecht auf MT mehr besaßen. Die Kälber halten sich wohl aus Gewohnheit im Stand auf, und weil sie hoffen, etwas ausdosiert zu bekommen. Immerhin besteht die Möglichkeit des Tränkeraubes, falls ein Tier vorzeitig den Stand verlässt und sich noch MT in der Anmischeinheit befindet. Dies war auch bei vorliegender Untersuchung der Fall, was der während der abgetränkten Phase IV ermittelte Korrelationskoeffizient von $r = 0,752$ zwischen der Besuchsdauer am TA und der aufgenommenen Milchmenge belegt. Dabei wird deutlich, dass die Kälber dieses Altersabschnitts mit zunehmender MT-Menge länger am TA verbleiben und dort spielen, obwohl sie laut Tränkeplan kein Milchanrecht mehr haben. Diese Tiere blockieren damit die Futterstation und unterbinden indirekt die Futteraufnahme jüngerer Kälber bzw. beeinflussen diese negativ. Dieses Ergebnis verdeutlicht auch eine Publikation von JILG (2005) [113]. Nach dem Ausstallen der ältesten Kälber einer Gruppe stieg dort die Futteraufnahme der jungen Tiere um bis zu 50 % an. Deshalb sollte auf eine altersmäßig homogene Gruppe geachtet werden.

6.1.3.6.2 Kraftfutterabrufstation

Die Software der KF-Abrufstation ermöglicht neben der Registrierung der täglichen Futteraufnahme eine detaillierte Dokumentation des individuellen Fressverhaltens (Besuchshäufigkeit, Besuchsdauer, tägliche Verweildauer), wobei auch hier die Anzahl der Besuche je Tier und Tag von der programmierten Höchstmenge und den Zeitintervallen

abhängig ist. Deshalb war die Besuchsanzahl anfangs teilweise stark erhöht und nahm im weiteren Versuchsverlauf wieder ab, bevor sie während des Abtränkens und vor allem nach dem Absetzen von Milch deutlich anstieg. Dies bestätigt die Ergebnisse von UDE (2007) [267] und JENSEN (2006) [108]. Bei JENSEN (2006) [108] besuchten die Kälber im Zeitraum vor dem Abtränken den KF-Stand im Mittel 10-16, während des Abtränkens 27-32 Mal/d und nach dem Abtränken notierte er im Mittel 38 Besuche/d. Allerdings bestand in der vorliegenden Untersuchung der überwiegende Teil an Besuchen während der Zeit nach dem Abtränken aus Vorgängen ohne KF-Anspruch (maximal 250 von 259 Besuchen/d eines Tieres ohne Anrecht). Jedoch ist eine Vergleichbarkeit mit Literaturangaben hinsichtlich dieses Parameters sehr schwierig, da die Autoren verschiedene Fütterungsstrategien verwenden oder die Methoden nicht eindeutig beschrieben sind. Weiterhin ist das Aufnahmeverhalten vom Haltungssystem abhängig. So nehmen in Gruppen gehaltene Tiere früher und öfter Kraftfutter auf als Tiere in Einzelhaltung [14, 276]. Dabei variieren die Angaben je nach Autor zwischen 5 und 25 Besuchen am KF-Automaten eines Kalbes am Tag [146, 295], in der vorliegenden Arbeit sind es über den ganzen Versuchsverlauf betrachtet im Mittel 34 (0-259) Besuche je Tier am Tag. Hierzu führten WENDL et al. (2001) [287] Untersuchungen zur KF-Aufnahme am Automaten bei Schafen durch. Die Lämmer nahmen im Mittel 21 (15-35) Mal pro Tag KF auf. Allerdings weisen sie, wie auch in der vorliegenden Untersuchung festgestellt werden konnte, auf die großen tierindividuellen Unterschiede bei der Anzahl der Besuche am Futterstand und die sehr unterschiedliche Futteraufnahmemenge der einzelnen Schafe pro Besuch hin.

Auch die tägliche Verweildauer im KF-Stand ist stark altersabhängig ($r = 0,744$), ebenso wie die Dauer je Besuch ($r = 0,749$), welche besonders beeinflusst wird von der Besuchshäufigkeit ($r = -0,380$). Demnach steigt mit zunehmendem Alter und zunehmend höherem KF-Angebot die Besuchsdauer, da die Kälber mehr KF aufnehmen und die Anzahl an Besuchen mit KF-Abruf zurück geht. Am 28. LT lag die mittlere Besuchsdauer mit Abruf bei 0,5 (0,1-1,7) min, am 56. LT bei 0,7 (0,3-2,0) min. MORNET und ESPINASSE (1990) [175] dagegen berichten von mittleren Besuchsdauern am KF-Stand bei 4-wöchigen Kälbern von 20 bis 25 min, im Alter von 8 Wochen von 90 min. Diese hohen Unterschiede zwischen den Ergebnissen lassen verschiedene Aufzeichnungs- oder Analysemethoden vermuten. Denn numerisch etwas näher kommt die vorliegend ausgewertete tägliche Verweildauer im KF-Stand, welche am 28. LT im Mittel 7,5 (0,1-35) min bzw. am 56. LT 16,3 (4,9-33,9) min betrug. Allerdings war es beim KF-Stand möglich, dass ältere oder ranghohe Kälber jüngere oder rangniedrigere verdrängen, da der Stand nach hinten offen war. Neben der Tieranzahl in der Gruppe [107] wird die tägliche Verweildauer auch von der mittleren Besuchsdauer bestimmt (in Tab. 20 $r = 0,845$). Dabei hat die KF-TS-Aufnahme, welche durch den KF-Plan rationiert vorgegeben ist, über den ganzen Versuchszeitraum hinweg ($r = 0,784$), aber vor allem während Phase I ($r = 0,480$) und III ($r = 0,622$) einen großen Einfluss auf die tägliche Verweilzeit im KF-Stand und die Dauer je Besuch ($r =$

0,748, $r = 0,378$ bzw. $r = 0,528$). Außerdem steigt mit zunehmender Besuchsdauer der Trinkwasserbedarf ($r = 0,845$), da sich altersbedingt der KF-Abruf erhöht und planbedingt die MT-Menge reduziert wird. HEPOLA et al. (2006) [88] berichten in diesem Zusammenhang ebenfalls von dem sich ändernden Verhalten der Tiere hinsichtlich der KF-Aufnahme nach dem Abtränken. Danach verbrachten die Kälber vor dem Abtränken deutlich weniger Zeit mit der KF-Aufnahme (2,9 % vs. 8,8 %).

Werden die Daten weiter analysiert, kann die Auslastung der Technik ermittelt werden. Demzufolge verblieb ein Tier am 74. LT im Mittel über 37 min im Stand. Bei einer KF-Stationverfügbarkeit von ca. 23,5 h/d (Reinigung und Wartung/Befüllen ausgeschlossen) und unter Berücksichtigung von jeweils 1 min Tierwechsel, könnten somit max. 37 Tiere dieses Alters damit versorgt werden. Um mehr Tiere mit einer Station versorgen zu können, sollte die Aufenthaltszeit ohne Aufnahme reduziert werden. Dies kann dadurch erfolgen, dass den Kälbern ein alternativer Aufenthaltsraum zum Ausüben des Erkundungsverhaltens angeboten wird [267]. Allerdings ist zu bedenken, dass die Tiere einen unterschiedlichen Tag- und Nachtrhythmus haben [2, 13, 28, 213, 294].

6.1.3.6.3 Trinkwasserautomat

Die Erkenntnis von SCHLICHTING (1989) [222], dass ein Kalb täglich etwa 10 % seines Körpergewichtes an TW aufnimmt, kann in vorliegender Untersuchung mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,837$ zwischen der Lebendmasse und der TW-Aufnahme bestätigt werden. Allerdings ist ein nennenswerter Zusammenhang erst ab der dritten Lebenswoche zu erkennen, vor allem aber während der Abtränkzeit. Entsprechend war zu Versuchsbeginn die tägliche Anzahl an Besuchen am TW-Automat sehr gering, steigerte sich aber mit zunehmendem Alter ($r = 0,636$), vor allem während und nach der Abtränkphase. Des Weiteren konnte eine hohe positive Abhängigkeit zwischen der Besuchszahl am ATS und der TW-Menge ($r = 0,733$) ermittelt werden. Dieser Wert widerspricht den Ergebnissen von DADO und ALLEN (1994) [47], die mit einem Korrelationskoeffizienten von $-0,77$ eine gegensätzliche Tendenz aufzeigen, dass sich also mit zunehmender TW-Aufnahme die Anzahl an Besuchen verringert. Ein Interpretationsansatz dafür wäre, dass sich die Versuchsanstellung von DADO und ALLEN (1994) [47] und der vorliegenden Untersuchung hinsichtlich der Durchflussrate des Wassers unterscheiden. Denn mit steigender Durchflussrate kommt es nach ANDERSSON et al. (1984) [7] zu einer Reduktion der Besuchsfrequenz und zu einer ansteigenden TW-Aufnahme. Da in der vorliegenden Untersuchung Kälber unterschiedlichen Alters mit einem ATS versorgt wurden, war die Durchfluss- bzw. Füllmenge mit max. 100 ml/Füllung sehr gering eingestellt, damit die nicht erfassbaren Mengen an Raub bei Trinkabbrüchen möglichst gering blieben. In der Vergleichsliteratur konnten hierzu keine Angaben gefunden werden. Aber auch zwischen der Besuchszahl am TW-Automat und der KF-Menge ($r = 0,636$) und Heumenge ($r = 0,558$) wurden hohe Koeffizienten berechnet. Da die Kälber mit

zunehmendem Alter mehr KF über den hinterlegten Futterplan angeboten bekamen und alters- bzw. wachstumsbedingt mehr Heu verzehrt wurde, erhöhte sich demgemäß die TW-Menge bei reduziertem MT-Angebot. Wie bei KLINDTWORTH et al. (2006) [139] konnten auch in der vorliegenden Untersuchung deutliche tierindividuelle Unterschiede festgestellt werden. Sie notierten ebenfalls eine sich mit dem Alter erhöhende Besuchsfrequenz, wobei sie die Steigerung der Gesamtwassermenge in erster Linie auf die erhöhte Besuchsfrequenz zurückführten. CARDOT et al. (2008) [41] bekräftigen hingegen die Vermutung, dass die freiwillige TW-Aufnahme und das Trinkverhalten von Kälbern hauptsächlich von der Futterration, der Futteraufnahmemenge und auch dem Klima beeinflusst wird. Denn die Tiere ihrer Untersuchung wiesen vor allem während der Fütterungszeiten eine sehr hohe Trinkaktivität auf. Auch berichten CARDOT et al. (2008) [41] von Variationen in der TW-Aufnahme, die insbesondere auf Variationen in der aufgenommenen Wassermenge während eines Besuchs beruhen.

Da in der vorliegenden Untersuchung beim Besuch des TW-Automaten zwar die Zeit des TW-Abrufs dokumentiert wurde, nicht aber die Zeit des Verlassens der Station, kann keine Verweildauer am Automaten ermittelt werden. Dies schließt auch eine Auswertung hinsichtlich der Stationsauslastung aus.

6.1.3.6.4 Wiegetröge

Dass das Angebot von Heu bzw. Gras einen Einfluss auf die KF-Aufnahme bei in Gruppen gehaltenen Kälbern hat, konnte PHILLIPS (2004) [189] feststellen. Zudem konnten er und auch HALEY et al. (1998) [82] beobachten, dass Gras das Befriedigungsverhalten steigerte und das Auftreten von problembehafteten Verhaltenselementen reduzierte. Außerdem führt nach SCHLICHTING (1985a) [223] eine zeitrationiert angebotene Tränke zu einem Anstieg der Heuaufnahme, welche überdies mit zunehmendem Alter ansteigt. In der vorliegenden Untersuchung konnte neben der ebenfalls altersabhängig ansteigenden Heuaufnahmemenge auch eine mit zunehmendem Alter erhöhte Besuchsfrequenz an den Wiegetrögen dokumentiert werden ($r = 0,436$). Zu Versuchsbeginn scheuten die Tiere den langen und für sie dunkel erscheinenden Futterstand vor dem Wiegetrog. Außerdem war es wohl schwierig, das weitgehend unbekannte Heu aus der Entfernung und zudem vom nach unten versetzten Aufenthaltsbereich aus zu erkennen. Deshalb mussten nach dem Einstellen vereinzelt Tiere in den Stand geschoben werden. Dies wirkte sich teilweise auch auf die Besuchsfrequenz der anderen Gruppenmitglieder aus, die das Verhalten nachahmten oder den Stand beim Erkunden betreten.

Die Besuchsdauer nahm ebenfalls mit dem Alter tendenziell zu ($r = 0,145$). Während der Tränkephase konnte eine Aufenthaltszeit eines Kalbes im Heustand von im Schnitt 234 s (8.-41. LT) ermittelt werden, wohingegen in der Abtränkphase sich die mittleren Besuchsdauern zwar phasenweise verkürzten, über den ganzen Zeitraum betrachtet aber tendenziell anstiegen (42.-70. LT 285 s) (Tab. 18). Durch die Reduzierung der MT-Menge

und die noch geringe TW-Aufnahme konnten oder wollten einige Kälber nicht mehr Raufutter zu sich nehmen. Erst nach dem Gewöhnen an das TW stieg die Heuaufnahme wieder an, wenn auch sehr verhalten, sodass ein Besuch nach dem Absetzen von der MT (71.-96. LT) im Mittel 288 s dauerte. Demgegenüber konnte UDE (2007) [267] einen teilweise gegensätzlichen Verlauf ermitteln. Während seiner Untersuchung lag die Dauer der Raufutteraufnahme bei Kälbern im Alter vom 25.-51. LT bei 242 s, fiel auf 210 s zwischen dem 52. und 75. LT ab und steigerte sich bis zum 84. LT im Mittel auf 275 s. Im Vergleich zur vorliegenden Untersuchung in den genannten Altersabschnitten, jedoch bei unterschiedlichem Fütterungsregime, liegen die Ergebnisse 253 s, 292 s bzw. 286 s im Mittel. Eindeutig zu erkennen ist die geringere Besuchsdauer bei UDE (2007) [267] während der Abtränkphase, welche aber nicht mit dem Altersabschnitt der vorliegenden Untersuchung übereinstimmt. Bei HEPOLA et al. (2006) [88] besuchten die Kälber im Vergleich mit dem Zeitanteil vor dem Abtränken (5,7 %) überwiegend nach dem Abtränken sehr lange die Futterstation zur Heuaufnahme (11,2 % Zeitanteil), was die Ergebnisse von UDE (2007) [267] und der vorliegenden Untersuchung bestätigt.

Ebenso wie die Besuchsdauer nahm auch die mittlere tägliche Verweildauer eines Kalbes an einem Wiegetrog mit dem Alter zu ($r = 0,621$). Dies ist überwiegend auf die erhöhte Besuchsfrequenz zurück zu führen ($r = 0,706$), vor allem gegen Ende und nach der Abtränkphase, wobei die Streuung der täglichen Verweildauer stark ansteigt. Denn in diesem Alter steigt zwar sowohl die Aufnahmemenge, aber auch die individuelle Aufnahmegeschwindigkeit.

Am 93. LT besuchte ein Tier im Mittel 35 mal einen Wiegetrog zur Heuaufnahme und verblieb dort im Schnitt 312 s/Besuch. Damit kann eine Belegung von 182 min je Tier zur Heuaufnahme berechnet werden. Abzüglich einer Reinigungs- und Auffüllzeit von 5 min/d könnten somit 7 Kälber dieses Alters an einem Wiegetrog mit Heu versorgt werden, sofern die Tiere auch nachts gleichmäßig aktiv wären. Da bei der eigenen Nachzucht eines Betriebes meist Tiere unterschiedlichen Alters in einem Abteil aufgestellt sind, können laut BÜSCHER und HÜTTER (2001) [36] im Mittel 10 Tiere an einem Wiegetrog mit Raufutter versorgt werden. Nach den Ergebnissen der eigenen Untersuchungen ist beim Einstellen von Tieren im Alter von 8 bis 96 LT sogar ein Tier:Freßplatz-Verhältnis von 18:1 ausreichend.

6.1.3.6.5 Gesamtanzahl der Besuche

Die Gesamtanzahl der Besuche deutet als Indikator für die Aktivität auf die Vitalität eines Tieres hin [28, 52]. Jedoch sind die summierten Besuche stark altersabhängig ($r = 0,745$) und nehmen mit Ausnahme der Besuche am TA, welche durch die reduzierte MT-Menge aufgrund des Tränkeplans rückläufig sind, am KF-Automat und TW-Automat in der Tendenz zu. Die starke Streuung der Gesamtbesuchsanzahl nach dem Abtränken ist auf die vielen Besuche am KF- und TW-Automat ohne Futter-/Wasserabruf zurück zu führen. Problembehaftet ist auch die Erfassung der Besuchsfrequenz, da ein kurzzeitiges Verlassen

des Kopfes aus dem Erkennungsfeld und wieder Anheben laut Software einen neuen Besuch bedeuten kann, obwohl das Tier den Futterstand nicht verlassen hat. Beispielsweise kam es am 14.06.2006 bei dem Kalb 556 zu über 129 erfassten Besuchen am ATS. Von diesen 129 Besuchen wurde 80 mal Wasser ausdosiert. Bei genauer Betrachtung der zeitlichen Abstände zwischen den jeweiligen Besuchen ist erkennbar, dass in einigen Fällen nur 30 Sekunden zwischen den einzelnen Besuchen liegen. Beim Auswerten wurde versucht, alle kurzfristigen Erkennungslücken zu detektieren, so dass die Besuchsanzahl an der jeweiligen Station möglichst realistisch abgebildet werden kann.

6.1.4 Fazit Technik

Die in der vorliegenden Untersuchung eingesetzte Technik funktionierte sehr zuverlässig, so dass die Kälber individuell versorgt, die einzelnen Futtermittel mit hoher Dosiergenauigkeit zugeteilt und die Daten detailliert aufgezeichnet wurden. Daher konnte zwar die Aussage von DEININGER (2002) [52] über eine hohe mittlere Messgenauigkeit des AFMs bestätigt werden, jedoch nahm dessen Zuverlässigkeit bei steigenden Temperaturen ab [92, 118]. Um die Sicherheit des Systems als Detektor dennoch gewährleisten zu können, sollten die Temperaturwerte mit Daten des Tierverhaltens kombiniert werden. Dies könnte in der Folge ein verlässliches Warnsignal für eine eintretende Erkrankung für den Tierhalter erzeugen. Auch besteht ein erweiterter Forschungsbedarf hinsichtlich der eingesetzten Wiegetechnik, da aufgrund des vorliegend analysierten Tierverhaltens bzw. der mit zunehmendem Tieralter steigenden Messungenauigkeit eine gewichtsbezogene Anpassung der Futterration lediglich bis zur ca. sechsten Lebenswoche sinnvoll erscheint, was die Ergebnisse von PIRKELMANN und FREIBERGER (2001) [199] bestätigen. Denn mit zunehmendem Alter bzw. verringerter Tränkemenge konnte beobachtet werden, dass die Besuche kürzer und zudem die Tiere im Stand unruhiger wurden, was zu verfälschten Wiegedaten führen kann [62, 202]. Schließlich gilt es hinsichtlich der Abtränkmethode zu bedenken, dass die Steuerung des Abtränkens umso genauer erfolgen kann, je höher die Korrelation zwischen dem Steuerungsparameter und der Tierentwicklung ist [52]. Deshalb würde sich in der vorliegenden Untersuchung anstatt des Alters auch die TW-Aufnahme, aber vor allem die KF-Aufnahme eignen, was nach SCHMOLDT (1991) [226] und FIEMS et al. (2005) [67] generell zu bevorzugen sei. Allerdings ist der Einfluss der Abtränkmethode auf die Leistung nach dem Abtränken noch nicht geklärt [128, 133].

Die Tiere der vorliegenden Untersuchung nahmen ähnliche Mengen auf wie jene bei HEPOLA et al. (2006) [88]. Weitere Vergleiche zeigen, dass die vorliegenden Daten hinsichtlich der verschiedenen Parameter im Mittel liegen [1, 80, 88, 136, 146, 164, 211, 271]. Außerdem entsprechen die KF-Aufnahmemengen den Empfehlung von ALERT et al. (N.N.) [4] und JEB (2000) [111]. Da aber vorliegend die KF-Menge rationiert war, ist davon auszugehen, dass bei einer freien Verfügbarkeit von KF die Aufnahmemengen höher wären [23, 31, 145], was in einer weiterführenden Untersuchung zu prüfen ist. Dies hat vermutlich

auch Auswirkungen auf die Intensität des Zusammenhangs zwischen MT- und KF-Aufnahme [35, 106, 131]. Zudem sollen die durch eine individuelle Kälberfütterung von HALACHMI et al. (2005) [80] und IPEMA und ROSSING (1987) [105] herausgestellten höheren täglichen Zunahmen und die verbesserte Tiergesundheit erforscht werden.

Die vorliegend festgestellten Beziehungen zwischen den Korrelationsparametern TW-Aufnahme/Alter, TW-/KF-TS-Aufnahme und TW-Aufnahme/Tiergewicht verringern sich mit zunehmendem Alter, wobei KF in Abhängigkeit des Alters rationiert angeboten wurde. Jedoch konnte zur TW-Aufnahme bei heranwachsenden Rindern keine vergleichbare Literatur gefunden werden, ausschließlich zum Vergleich mit der GW-Aufnahme oder aber bei ausgewachsenen Rindern [20, 47, 98, 165, 173]. Dabei liegt der vorliegend ermittelte Korrelationskoeffizienten zwischen der GTS- und GW-Aufnahme von $r = 0,906$ enger als bei Untersuchungen von MEYER et al. (2004) [173] ($r = 0,107$) und HOLTER und URBAN (1992) [98] ($r = 0,83$), jedoch weiter als bei DADO und ALLEN (1994) [47] mit $r = 0,96$. Deshalb muss die vielfach herausgestellte Bedeutung der TW-Aufnahme und -aufzeichnung [119, 139, 141, 204, 217] weiterhin intensiv betrachtet werden, zumal GOTTARDO et al. (2002) [75] und KEYSERLINGK et al. (2006) [131] einen Einfluss der TW-Aufnahme auf die Kälberentwicklung in Frage stellen. In der Folge gilt es dann zu erforschen, ob und wie Kälber zur TW-Aufnahme motiviert werden können, denn vorliegend wurden in Abhängigkeit des Alters verschiedene beteiligte Einflussgrößen auf die TW-Aufnahme ermittelt (Geschlecht, KF-Aufnahme). Dies bedeutet allerdings auch, dass eine Korrelation über die gesamte Tränkedauer hinweg für die Ableitung der einzeltierbezogenen Daten nicht sinnvoll ist. Zwar muss die Aussagefähigkeit der gegenwärtigen Analysen in weiterführenden Untersuchungen näher beleuchtet werden, da über die korrelativen Ansätze zufällige Steuerungen nicht ausgeschlossen werden können. Aber gleichzeitig wird durch die Ergebnisse die ungleiche Stellung der geprüften Sensoren während der verschiedenen Altersabschnitte deutlich.

Die präsentierten Ergebnisse zeigen einen Einfluss des Geschlechts auf die Parameter, wobei die altersabhängigen Mittelwerte der männlichen Tiere meist höher waren als jene der weiblichen, was durch die Literatur bestätigt werden kann [67]. Allerdings deutet die geringe Intensität der Korrelationskoeffizienten der männlichen Kälber auf höhere tierindividuelle Unterschiede bzw. auf eine tendenziell homogenere Entwicklung der weiblichen Kälber hin. Dies kann aber auch bedingt sein durch das Weglassen fehlerhafter Daten und die vor allem im letzten Untersuchungsabschnitt unterschiedliche Anzahl an männlichen und weiblichen Tieren im Versuch. Jedoch konnte bezüglich der Unterschiede der Geschlechter in der Futteraufnahme keine vergleichbare Literatur gefunden werden, was weiterführende Untersuchungen erfordert, um die vorliegenden Ergebnisse einordnen zu können.

Die während des Versuchszeitraumes analysierten überwiegend positiven Beziehungen zwischen den mittleren täglichen Aufnahmemengen und den Klimadaten können beim

Vergleich mit Literaturangaben [18, 40] bestätigt werden. Dabei waren die absoluten Aufnahmemengen der weiblichen Tiere stärker vom Wetter abhängig als jene der männlichen. Bei steigender Temperatur nahmen die Kälber der vorliegenden Untersuchung prozentual mehr GW auf, was MEYER et al. (2004) [173] ebenfalls feststellen konnten. Bei zunehmender rF bzw. höherer maximaler Temperatur wichen die Kälber teilweise von der Sollaufnahme ab, was mit Untersuchungen übereinstimmt, dass die Futteraufnahme mit steigender Umgebungstemperatur zurück geht [18, 120, 177, 246].

Die Ergebnisse bezüglich der Anzahl an Besuchen und der Verweildauer im Tränkestand sind im Vergleich mit Literaturangaben numerisch im Mittel bzw. hinsichtlich der Effizienz der Standauslastung sogar als optimal einzustufen [13, 108, 186, 193]. Zwar kann der vorliegend analysierte Zusammenhang zwischen dem Alter und der Besuchszahl bestätigt werden [159, 195], jedoch treffen die Autoren im Hinblick auf die Tendenz verschiedene Aussagen. Indes eindeutig bestätigt werden können die Zunahme und die Überzahl von Besuchen ohne Tränkeabruf [135, 159, 223]. Zu Versuchsbeginn hielten sich die Kälber zur Tränkeaufnahme im Vergleich mit Angaben aus der Literatur [2, 13, 193] kürzer an der Station auf. Ältere Tiere dagegen verblieben während eines Besuches länger im Stand als bei FERRANTE et al. (1991) [66]. Aufsummiert über den ganzen Tag blockierten sie die Abrufstation im Mittel allerdings nicht so lange wie die Kälber der Vergleichsuntersuchungen [13, 66, 193, 213], was auf die Anzahl der Besuche am Tag zurück zu führen ist. Allerdings besteht bezüglich des Tierverhaltens generell das Problem, dass die Angaben aus der Literatur wegen zum Teil unvollständiger Methodikangaben nur bedingt vergleichbar sind [220, 267], weshalb die Aussagen mit weiterführenden Arbeiten der vorliegenden Untersuchung näher betrachtet werden müssen. Zudem können neben der Gruppengröße [107] und der Gruppenhomogenität [114] auch technische Modifikationen im Fressbereich (Wippe, Schlauchdurchmessers, versperbarer Nuckel) [77, 267] einen großen Einfluss auf das Tierverhalten haben.

Die erhobenen Werte der Besuchszahl am KF-Automaten können in der Tendenz durch Angaben aus der Literatur bestätigt werden [267, 108], wenngleich auch abweichende numerische Angaben gefunden werden konnten [146, 295]. Auch die in Abhängigkeit des Wachstums, des Alters bzw. des Tränke- und KF-Plans zunehmende KF-Aufnahme kann belegt werden [88], wobei sich zwar die Anzahl an Besuchen verringert, diese jedoch länger dauern. Einhergehend mit der Zunahme der mittleren Besuchsdauer steigt auch die tägliche Verweildauer in der Station. Hierzu kann aber keine vergleichbare Literatur benannt werden, da eine aussagefähige Gegenüberstellung mit anderen Untersuchungen [14, 146, 276, 295], welchen abweichende Methoden oder Auswerteverfahren zu Grunde liegen, nicht möglich ist. Zudem muss bei der Analyse der Besuchparameter am KF-Automaten beachtet werden, dass das Futter altersabhängig rationiert zugeteilt wurde und dass die KF-Aufnahme stark von der MAT-Aufnahme abhängt. Um diese Einschränkung und

Abhängigkeit ausschließen zu können, muss im Zuge eines Folgeversuches ohne KF-Limitierung auch die Dokumentation der Besuche erfolgen.

Die Anzahl an Besuchen am Wasserautomat stieg mit dem Alter an, ebenso die insgesamt aufgenommene TW-Menge, was die Angaben aus der Literatur bestätigen [139, 222]. Die in der vorliegenden Untersuchung erhobenen Daten der Besuchszahl in Abhängigkeit der aufgenommenen TW-Menge widersprechen hingegen den Literaturwerten [47], wobei nicht eindeutige Klarheit über die Vergleichbarkeit herrscht. Denn die Besuchsfrequenz ist mitunter von in der Literatur nicht näher erläuterten technischen Gegebenheiten abhängig, wie z.B. der Durchflussrate des Wassers [7]. Auch zwischen der Besuchszahl am TW-Automat und der KF- bzw. Heumenge wurden hohe Korrelationskoeffizienten ermittelt, da die Kälber auf Basis des KF-Plans Futter angeboten bekamen, welches sie mit zunehmendem Alter bzw. Wachstum in größerer Menge aufnahmen und mit Heu ergänzten. Hierfür benötigten sie zum Einspeichern und zur Verdauung neben der kontinuierlich reduzierten MT-Menge mehr TW. Die dabei entstehenden, zum Teil erheblichen tierindividuellen Unterschiede, welche aufgrund der neuen TW-Registrierung automatisch, zuverlässig und einzeltierbezogen erfasst werden konnten, wurden ferner von KLINDTWORTH et al. (2006) [139] in ihrer Untersuchung bestätigt. Allerdings sind sich die Autoren nicht einig, warum es zu einer erhöhten TW-Aufnahme kommt. KLINDTWORTH et al. (2006) [139] führen den Anstieg auf die erhöhte Besuchsfrequenz zurück, in der vorliegenden Arbeit und bei CARDOT et al. (2008) [41] werden jedoch die Futterration, die Aufnahmemengen und das Klima dafür herangezogen. Um diese Unterschiede und Kausalitäten detailliert zu- und einordnen zu können, müssen Untersuchungen mit variierenden Futterrationen und unterschiedlicher Tieranzahl in der Gruppe durchgeführt werden.

Die Aufnahme von Heu beeinflusst zum einen den Abruf der anderen Futterkomponenten und zum anderen auch das nicht-nutritive Verhalten [82, 189], weshalb der tierindividuellen Heu-Aufzeichnung eine besondere Bedeutung zukommt. Dabei stieg die Besuchsfrequenz an den Heu-Wiegetrögen mit zunehmendem Alter nahezu kontinuierlich an, wohingegen die Besuchsdauer während der Aufzucht phasenweise leicht rückläufig war. Dies ist auf die Reduzierung der MT-Menge und die zeitgleich verhaltene Aufnahme von TW zurück zu führen, weshalb eine stetige Steigerung der TW-Aufnahme angestrebt werden muss. Die vorliegend präsentierten Besuchsdauern können zwar von [267] numerisch teilweise bestätigt werden, bezüglich der Tendenz wurden allerdings stark abweichende Ergebnisse publiziert [88, 267]. Denn auch hierbei haben das Fütterungsregime und die technische Umsetzung der Tiererkennung einen wesentlichen Einfluss. Ferner wird die während der Aufzucht zunehmende tägliche mittlere Verweildauer eines Kalbes bei der Heuaufnahme vor allem durch die ebenfalls steigende Besuchsfrequenz bestimmt. Demnach können gemäß den vorliegenden Ergebnissen an einem Wiegetrog etwa sieben gleichaltrige, bereits von der MT abgesetzte Kälber mit Heu *ad libitum* versorgt werden. Nach BÜSCHER und

HÜTTER (2001) [36] ist beim Aufstallen der eigenen Nachzucht ein Tier:Freßplatz-Verhältnis von im Mittel 10:1 ausreichend, nach den Ergebnissen der eigenen Untersuchungen sogar von max. 18:1 im Alter von 8 bis 96 LT (bei im Durchschnitt 79 min/Besuch).

6.2 Pansen

6.2.1 Beginn der ruminalen Aktivität

Um den Beginn der ruminalen Aktivität feststellen zu können [289], wurden die Kälber morgens nach der Tränkeaufnahme untersucht. Damit wurde sichergestellt, dass zwischen der Futteraufnahme und der Untersuchung ausreichend Zeit blieb, um die Rumination zu starten. Denn nach ROSENBERGER (1990) [215] beginnen die Pansenbewegungen eine halbe Stunde nach der Futteraufnahme. Allerdings ist die Wiederkauaktivität sowohl von der Futtercharakteristik als auch von der Rationsgestaltung abhängig [16, 191, 192, 259, 292]. Dies kann zu erheblichen altersmäßigen Unterschieden führen, was die Streuung der Ergebnisse bestätigt, denn die Kälber waren bei der ersten festgestellten Rumination zwischen 15 d und 39 d alt ($27 \text{ d} \pm 6 \text{ d}$). Die Abweichungen deuten zusätzlich auf die Individualität der Tiere, unterschiedliche Motivation für die Futteraufnahme und entsprechender Mengen [16, 192] oder auf krankheitsbedingte Störungen hin. Da auch die Kälber in Untersuchungen von SWANSON und HARRIS (1958) [259] ausreichend Zugang zu Raufutter hatten, konnte bei ihnen vereinzelt bereits in der ersten Lebenswoche eine Wiederkautätigkeit beobachtet werden. Andere Untersuchungen [218, 233, 292] stellten ebenfalls ein meist jüngeres Alter als bei der vorliegenden Arbeit fest, was wohl auf die anfängliche Meidung der Heuwiegetröge zurück geführt werden kann. Dagegen schreibt KUNZ (2009) [152] vom intensiven Wiederkauen erst in der 10. Lebenswoche, falls die Tiere mit 8 oder 12 Wochen abgesetzt wurden. Und nach BAMN (1997) [25] wird die Fütterung von Heu frühestens empfohlen, wenn das Tier schon den Status eines Wiederkäuers erreicht hat (ca. 8. bis 10. Woche). Demgegenüber geben SCHRAG und SINGER (1987) [234] an, dass Kälber ab der 3. Lebenswoche ruminieren, wenn sie täglich 70-80 g Heu aufnehmen. Dies hängt natürlich vom Fütterungsregime ab. Obwohl bei der vorliegenden Untersuchung die durchschnittlichen Aufnahmemengen aus den Mittelwerten der vergangenen 10 d berechnet wurden, um Ausreißer auszugleichen, nahmen die im Alter vom 20.-23. LT erstmalig ruminierenden Tiere ($n = 14$) neben MT, KF und TW auch im Mittel 83 g Heu/d zu sich. Somit können die Angaben von SCHRAG und SINGER (1987) [234] numerisch bestätigt werden. Wohl aufgrund der bereits angeführten Individualität der Tiere, konnten keine signifikanten Korrelationen zwischen dem Alter und der Futteraufnahmemenge zu Beginn der Pansenaktivität herausgearbeitet werden. Ebenso finden sich in der Literatur keine Angaben über das vorliegend festgestellte unterschiedliche Alter von männlichen und weiblichen Kälbern beim erstmaligen Wiederkauen.

6.2.2 Zottenparameter, Pansengewicht und -fläche

Um den Einfluss der Rationsgestaltung auf die Ausbildung der Vormagenabteilungen bei jungen Wiederkäuern einschätzen zu können, werden nach [262, 274] unter anderem die Anzahl der Pansenzotten je Flächeneinheit, die Zottenlänge, -breite und die Vormagenleermasse zur Analyse herangezogen.

6.2.2.1 Maße und Abhängigkeiten

Das von zahlreichen Autoren [9, 43, 132, 133, 157, 234, 253, 262, 266, 299] beschriebene altersabhängige Wachstum der Zottenparameter Dichte, Länge, Breite und Oberfläche kann durch die in der vorliegenden Arbeit ermittelten hohen Korrelationskoeffizienten ($r = -0,566$, $r = 0,795$, $r = 0,837$ bzw. $r = 0,839$) bestätigt werden. Dabei nehmen die verschiedenen Maße mit dem Alter zu, die Zottendichte jedoch ab.

Vor allem junge Kälber weisen an den untersuchten Pansenregionen eine weitaus höhere Zottendichte auf als die Tiere nach dem Abtränken, vorwiegend in den Regionen RC und LC. Dies könnte neben der Anzahl der Wiederkautage auch krankheitsbedingte Gründe haben, da insbesondere junge Tiere oft erkrankten. Am stärksten vom Alter abhängig sind die Regionen RB und RE ($r = -0,583$ bzw. $-0,586$). Kälber, die am 42. LT seziiert wurden, hatten bei Untersuchungen von ŽITŇAN et al. (1998) [299] lediglich 180 bzw. 191 Zotten/cm², in vorliegender Arbeit wurden dagegen im Mittel 595 Zotten/cm² gezählt. Bei 63 d alten Tieren ermittelten KHAN et al. (2007) [133] 86 Zotten/cm², was im Vergleich zu vorliegenden Daten die Individualität der Zottenausprägung verdeutlicht. Denn vorliegend lagen die Mittelwerte der Dichte von drei 62 bzw. 63 d alten Tieren bei 90-117 Zotten/cm². Die großen Unterschiede zu den Daten von KHAN et al. (2007) [133] können durch nutritive und genetische Faktoren erklärt werden [16, 192, 262, 274]. Vergleichbar sind die vorliegenden Ergebnisse mit Werten von ŽITŇAN et al. (1998) [299], die bei mit Sojabohnen gefütterten Kälbern 106 Zotten/cm² und bei mit Heu gefütterten sogar 136 Zotten/cm² notierten. Auch TRAUTWEIN et al. (2007) [266] fanden je nach Pansenregion 63-82 Zotten/cm² bei 70 d alten Kälbern, in der vorliegenden Untersuchung waren es am 69. LT bei einem überwiegend gesunden Tier 78-101 (im Mittel 89) Zotten/cm², bei einem überwiegend kranken Tier am 71. LT zwischen 113-400 (im Mittel 308) Zotten/cm². Im gleichen Altersbereich ergaben Zählungen von KHAN et al. (2008) [132] nur 70-91 Zotten/cm². Diese Analysen bestätigen die ermittelte Abnahme der Zottendichte mit zunehmendem Alter. CHOUDHURY et al. (2003) [43] stellten jedoch eine mit dem Alter ansteigende Dichte fest, und zudem in allen Altersstufen eine geringere Zottendichte im dorsalen (Sitz der Gasblase) als im ventralen Pansensack. Dies widerspricht der vorliegenden Untersuchung sowohl in der numerischen Tendenz der Ergebnisse als auch den lokal ermittelten Werten. Denn an den Regionen RC und LC, die sich im Bereich des dorsalen Pansensacks befinden, wurden überwiegend die höchsten Zottendichten festgestellt. Auch bei HILL et al. (2005) [94] war die Zottendichte am 63. LT im dorsalen

Bereich höher als im ventralen (58 vs. 32 Zotten/cm²). Im Alter vom 45.-50. LT zählten CHOUDHURY et al. (2003) [43] mindestens 212 Zotten/cm² im dorsalen Pansensack und im ventralen mindestens 324 Zotten/cm², im Vergleich mit der vorliegenden Arbeit sind es 401 bzw. 322 Zotten/cm². Und im Altersabschnitt vom 70.-75. LT wird von 260 im dorsalen und 349 Zotten/cm² im ventralen Pansensack berichtet [43], vorliegend jedoch lediglich noch 136 bzw. 120 Zotten/cm². Ihre Ergebnisse führten CHOUDHURY et al. (2003) [43] auf die zunehmende Raufutteraufnahme zurück, wobei HOY et al. (2006) [100] sogar von einer geringen Stimulierung der Pansenschleimhaut durch Heu schreiben. Ferner berichten [97, 289] von einem regional unterschiedlichen Zottenverteilungsmuster. Außerdem bestätigen sie die Aussage der vorliegenden Untersuchung, dass im Schleudermagen (RC, LC) die Zotten am dichtesten stehen [57, 97, 145, 178]. Diese Zone wird ergänzt durch einen ähnlich dichten Zottenbesatz am Boden der Blindsäcke, also in den Regionen RB/LB und RE/LE. Die Regionen RE und LE eines Tieres haben mit $r = 0,993$ einen hohen Einfluss aufeinander und sind damit nahezu identisch, ebenso wie RB und LB mit $r = 0,986$. Außerdem weisen HOFMANN und SCHNORR (1982) [97] darauf hin, dass die linke Seite einen etwas dichteren Besatz aufweist und sich die Zottenanzahl prinzipiell nach ventral und besonders nach dorsal verringert, was den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung widerspricht. Denn nach HOFMANN und SCHNORR (1982) [97] geht die Reduktion der Zotten im dorsalen und ventral-cranialen (unten-kopfseitig) Bereich einher mit der Verdauung von rohfaserreicherem Raufutter und reflektiert auch die Schichtung des Futters. Die teilweise festgestellte Gegensätzlichkeit zu den vorliegenden Ergebnissen kann demnach mit einer im Vergleich zu den genannten Untersuchungen geringeren Raufutteraufnahme mitsamt den damit verminderten chemischen Prozessen begründet werden. Dies bekräftigen auch STOBO et al. (1966) [253] indem sie publizierten, dass die Zottendichte in den vorderen dorsalen und ventralen Pansensäcken mit zunehmender KF-Aufnahme steigt. Folglich ist die Entwicklung der Pansenzotten nicht in erster Linie vom Alter und von der physikalischen Futterstruktur abhängig, sondern vor allem von den beim mikrobiellen Abbau anfallenden Fettsäuren [73, 83, 100, 170], was den vergleichbar niedrigen Korrelationskoeffizienten erklärt.

Stärker altersabhängig ist dagegen die Zottenlänge ($r = 0,795$), vor allem an den Regionen RD und LD mit $r = 0,777$ und $r = 0,773$. Auch [262, 299] schreiben von einer mit dem Alter zunehmenden Zottenlänge, jedoch steigt dabei die Variation der Zottenlänge an. Prozentual am kürzesten sind die vorliegenden Zotten bei RC, wo sie zudem am dichtesten stehen (Korrelationskoeffizient zwischen der Zottendichte und -länge beträgt $r = -0,704$). Dies bestätigen zwar HILL et al. (2005) [94], widerspricht aber der These von [97, 162], dass die dicht papillierten Pansenregionen von langen Zotten geprägt seien, weil die kleinen Zotten überdeckt werden. Bei der Analyse der ausgestanzten Proben wurde dies berücksichtigt, indem vertikale Schnitte angefertigt und alle darauf ersichtlichen Zotten vermessen wurden. [97, 162] geben außerdem an, dass die längsten Zotten am Pansendach (Schleudermagen) zu

finden seien, was ebenfalls nicht den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung entspricht. Im Vergleich mit absoluten Werten konnten GREENWOOD et al. (1997) [76] bei Kälbern mit 6 Wochen bei einer Fütterung mit ausschließlich Milch und KF um bis zu 1 mm längere Zotten verzeichnen (1,09-1,62 mm vs. vorliegend 0,35-0,61 mm). Auch bei der strukturlosen Ration von LESMEISTER et al. (2004) [157] waren die Zotten im Mittel 1,30 mm lang und damit viel länger als die Zotten der vorliegenden Untersuchung. Dagegen waren die Werte bei der Vorlage von Heu zusätzlich zur MT und zum KF bei ŽITŇAN et al. (1998) [299] mit 1,07 mm den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit wesentlich ähnlicher. In diesem Zusammenhang betonen ROTH et al. (2009) [216] und HOY et al. (2006) [100], dass das Wachstum der Pansenzotten hauptsächlich durch die aus dem bakteriellen Abbau von Kohlenhydraten frei gewordenen flüchtigen Fettsäuren (Propion- und Buttersäure) angeregt wird, Heu dagegen das Dickenwachstum der Pansenwand fördert. Im Alter von 8 Wochen dokumentierten TAMATE et al. (1962) [262] und KIRCHGEBNER (1997) [136] im Bereich von RB und LB Zottenlängen von im Mittel 1,54 mm (max. 6,2 mm) und vier Wochen später von im Mittel 2,46 mm (max. 6,8 mm). Im gleichen Altersabschnitt erreichten die Kälber der dargestellten Untersuchung an LB Längenmaße von 1,07 mm (max. 1,41 mm) bzw. 2,64 mm (max. 3,0 mm). Somit können [262, 136] die vorliegenden Tendenzen zwar bestätigen, jedoch führen individuelle und nutritive Unterschiede zu Maßabweichungen. Denn bei am 63. LT geschlachteten Kälbern mit einem ähnlichen Fütterungsregime wie in der vorliegenden Arbeit, aber mit Vollmilch, konnten KHAN et al. (2007) [133] eine Zottenlänge von 9,6 mm messen, vorliegend sind es im Mittel aus den Daten von drei Kälbern dagegen lediglich 1,5 mm (je nach Region 0,8 bis 2,8 mm). Allerdings gestaltet sich der numerische Vergleich mit den vorliegenden Ergebnissen auch hier schwierig, da in der Literatur nur selten genaue Angaben über die Region der Probennahme zu finden sind. Dagegen schildern HILL et al. (2005) [94] zwar die ungefähren Entnahmeregionen, aber das Fütterungsregime wird unzureichend dargestellt. Dabei konnten sie ventral wesentlich längere Zotten (2,73 mm) identifizieren als dorsal (1,21 mm). Verglichen mit den Regionen vorliegender Untersuchung entspricht das z.B. auf der rechten Seite ventral RD (0,61 mm) und dorsal RC (0,39 mm), was der Tendenz der Zottenlänge entspricht. Auch [260, 261] gaben an, dass die Zotten im ventralen und cranialen Pansensack länger sind. Zudem können im Vergleich mit der Publikation von ROTH et al. (2009) [216] die vorliegenden Ergebnisse größtenteils sowohl in der Tendenz als auch numerisch bestätigt werden. Allerdings waren die Kälber bei ROTH et al. (2009) [216] zum Schlachtzeitpunkt 15 Wochen alt. Da die Tiere der vorliegenden Untersuchung über den ganzen Versuchszeitraum hinweg geschlachtet wurden, um Vergleichswerte mit der Literatur zu erhalten, minimiert sich die Anzahl für ein bestimmtes Alter, was zu großen individuellen Unterschieden führen kann. So können für die Auswertung im Alter von 15 Wochen die Daten von lediglich einem Kalb herangezogen werden.

Mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,837$ ist die Zottenbreite der am meisten vom Alter abhängige Papillenparameter, vor allem in den Regionen RB und RD ($r = 0,885$ und $r = 0,821$), wobei sich diese beiden Regionen sehr ähnlich sind ($r = 0,919$). Bei dem von GREENWOOD et al. (1997) [76] leider ungenau beschriebenen Fütterungsregime ohne Heu lagen die Werte, welche an 6 Wochen alten Kälbern erhoben wurden, mit einer Zottenbreite von 0,23-0,28 mm annähernd im Bereich der vorliegend notierten Daten (0,28-0,36 mm). Ähnliche Werte wiesen die Zotten bei ŽITŇAN et al. (1999) [300] auf, in deren Versuch MAT, KF und Heu verfüttert wurde. Hierbei wurde eine Breite von im Schnitt 0,43 mm analysiert. LESMEISTER et al. (2004) [157] dagegen präsentierten ohne Raufutterzulage weit höhere Werte (0,82 mm) für das gleiche Alter. Und sie geben zu bedenken, dass der Grad der Variabilität für die Zottenbreite sehr hoch zu sein scheint. Dies bestätigen weitere Vergleiche mit der Literatur. Denn KEHOE et al. (2007) [128] beschreiben die von mit MAT und KF gefütterten Kälbern in der achten Lebenswoche entnommenen Zotten als 1,05-1,11 mm breit (vorliegend 0,54-0,84 mm). Bei Kälbern, die am 63. LT geschlachtet wurden, konnten KHAN et al. (2007) [133] bei Verfütterung von Vollmilch, KF und Heu sogar eine mittlere Zottenbreite von 6,2 mm messen, in der vorliegenden Arbeit lag der Wert dagegen bei 0,99 mm. Damit eher vergleichbar sind die von ŽITŇAN et al. (1999) [300] und HILL et al. (2005) [94] erhobenen Daten. Sie stellten eine Zottenbreite von 0,58-0,71 mm bzw. 0,33-0,40 mm fest. Letztere definierten zudem die Regionen, von welchen sie die Zotten entnahmen, was einen direkten Vergleich mit den vorliegenden Ergebnissen ermöglicht. Demnach konnten sie die breitesten Papillen in der ventralen Region messen (0,40 mm). Dies trifft auch auf die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zu, da hier überwiegend an den Regionen RD (ventral) und LE (ventral) die breitesten Zotten ermittelt wurden.

Die Oberfläche einer Zotte wurde ebenfalls durch Messen bestimmt, weil eine Berechnung über die Länge und Breite aufgrund der Papillenform nur ungenaue Werte ergäbe. Im Wesentlichen wird der Wert der Oberfläche von der Zottenlänge bestimmt, weshalb die Zotten an RC ($r = 0,983$) und LC ($r = 0,951$) meist die geringste, an LB die höchste Oberfläche aufwiesen. Dies stimmt mit den Ergebnissen von ROTH et al. (2009) [216] überein. Wird zudem die Anzahl der Zotten je cm^2 miteinbezogen, können Aussagen über die Schleimhautoberfläche/ cm^2 Grundfläche getroffen werden. Bei der Berechnung dominierte allerdings die Zottenoberfläche ($r = 0,978$). Die Resorptionsfläche erreichte im Mittel der acht Regionen eines Kalbes Werte von $124 \text{ mm}^2/\text{cm}^2$ am 43. LT bis $610 \text{ mm}^2/\text{cm}^2$ am 104. LT, wobei die einzelnen Regionen mit zunehmendem Alter eine größere Streuung aufwiesen. So wurde in Untersuchungen von ŽITŇAN et al. (1998) [299] bei 6 Wochen alten Kälbern, die mit MAT und Heu gefüttert wurden, eine Oberfläche von $198 \text{ mm}^2/\text{cm}^2$ ermittelt, bei Fütterung mit MAT und Sojabohnen $217 \text{ mm}^2/\text{cm}^2$. Bei drei Wochen älteren Tieren erhöhten sich die Werte auf $245 \text{ mm}^2/\text{cm}^2$ und $286 \text{ mm}^2/\text{cm}^2$. Im Vergleich dazu wiesen die Tiere der vorliegenden Arbeit mit 6 Wochen im Mittel über die 8 Regionen eine Schleimhautoberfläche von $124 \text{ mm}^2/\text{cm}^2$ auf und mit 9 Wochen $307 \text{ mm}^2/\text{cm}^2$. Somit liegen

die vorliegenden Daten bei der Gegenüberstellung mit verschiedenen Fütterungsregimen im jungen Alter unter den Angaben der Vergleichsliteratur und mit zunehmendem Alter im erhöhten Bereich. Zur Erklärung geben ŽITŇAN et al. (1998) [299] an, dass aus ihren Untersuchungen gefolgert werden könne, dass größere Mengen an nicht-strukturierten Kohlehydraten die Absorptionsoberfläche des Pansenepithels bei Kälbern erhöhen, denn, obwohl die Zotten in der Anzahl weniger waren, konnte durch die zunehmende Länge eine größere Oberfläche erreicht werden. Dies bestätigen auch die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit, da unter Einbeziehung der Zottendichte überwiegend an den dorsalen Regionen RC und LC die geringste Oberfläche zu verzeichnen war. Die Schleimhautoberfläche bei 9 Wochen alten Kälbern untersuchten HILL et al. (2005) [94]. Sie ermittelten dorsal eine Oberfläche von 87 mm²/cm² und ventral 99 mm²/cm². Verglichen mit den vorliegenden Resultaten (165 mm²/cm² bei RC, 248 mm²/cm² bei RD) liegen diese Literaturwerte weit darunter, was wiederum mit Unterschieden in der Fütterung begründet werden kann. Da aber die Angaben hierfür bei HILL et al. (2005) [94] unzureichend dargestellt sind, ist diesbezüglich eine fundierte Diskussion nicht möglich. Allerdings konnten ENZINGER und HARTFIEL (1998) [63] bei anderen Wiederkäuern feststellen, dass der Schleudermagen bei Rehen, Damwild, Schafen und Ziegen eine besonders große Absorptionsfläche aufweist, während in den beiden Pansensäcken (entspricht RC und RD) die Oberfläche pro cm² am geringsten ist. Dies kann als zusätzliche Bestätigung der in der vorliegenden Arbeit erhaltenen Ergebnisse betrachtet werden, wobei darauf hinzuweisen ist, dass deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Pansenregionen vor allem erst nach der Tränkephase festgestellt werden konnten.

6.2.2.2 Gruppierungen und Geschlecht

Da bei der Auswertung der Pansenparameter hoch miteinander korrelierende Regionenpaare (LB/LD, RB/RD und RB/RE) ermittelt werden konnten, wurden die Regionen gruppiert und überprüft, inwiefern sich der rechte und linke bzw. der obere (B und C) und untere (D und E) Pansenteil unterscheiden.

Dabei konnten auf der rechten Pansenseite bei fast allen Tieren mehr Zotten gezählt werden als auf der linken, statistisch ist jedoch kein Unterschied nachweisbar. Die Gewichtung der rechten Seite ist vor allem auf die große Zottenanzahl an der Region RC zurück zu führen. Zudem konnten rechts oben mehr Papillen als unten nachgewiesen werden. Bezogen auf den gesamten Pansen sind ebenfalls Unterschiede in der Zottenanzahl zwischen der oberen und unteren Pansenseite nachweisbar. Auffallend sind die hohen Korrelationskoeffizienten gleicher Regionen auf beiden Seiten. So beträgt der Koeffizient zwischen RE und LE $r = 0,993$ und zwischen RB und LB $r = 0,986$. Dies stellten auch LESMEISTER et al. (2004) [157] fest, was darauf hindeutet, dass Proben von einer Seite repräsentativ für diese Stelle auf der anderen Seite sind. Deshalb bedeuten die Gleichheiten zwischen LB und RB, dass Proben aus einer dieser Regionen repräsentativ für die caudale Pansenentwicklung hinsichtlich

Zottendichte sind, also für weiterführende Arbeiten nur noch eine Region analysiert werden muss.

Die Zotten der unteren Hälfte sind in vorliegender Untersuchung länger als oben und zudem sind sie links länger als rechts, wobei teilweise eindeutige Unterschiede festgestellt werden konnten, nicht jedoch bei (LC + LE) - (RB + RE). Denn es konnten ausschließlich zwischen verschiedenen Regionen der jeweils beiden Pansenhälften hohe Korrelationskoeffizienten notiert werden (zwischen RB und RE $r = 0,917$, zwischen RB und RD $r = 0,905$), wovon auch LESMEISTER et al. (2004) [157] berichten. Sie publizierten, dass die Zottenlänge die einzige Variable sei, bei der es nötig ist, Proben von der rechten und linken Seite zu nehmen. Dies kann nur bedingt bestätigt werden, da auch bei der Zottenbreite vorliegend keine Region einer Hälfte durch den Wert der anderen ersetzt werden kann. Zwar sind die Zotten unten meist breiter als oben, jedoch konnte kein Unterschied zwischen der linken und rechten Pansenhälfte nachgewiesen werden.

Da die Papillen am Pansenboden länger und auch meist breiter sind, ist auch die Gesamtoberfläche der Schleimhaut zumindest auf der rechten Pansenseite unten größer als oben. Des Weiteren weist die linke Pansenhälfte im oberen Teil ebenfalls mehr Gesamtoberfläche auf als der obere Teil der rechten Hälfte. Auf den ganzen Pansen bezogen konnte links eine wesentlich größere Absorptionsfläche nachgewiesen werden als rechts. Mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,906$ kann auch hier von den Oberflächendaten an der Region B auf der rechten Seite sehr gut auf jene der linken Seite geschlossen werden.

Bei den insgesamt 45 durchgeführten Tests (5 Parameter mit je 9 Gruppierungen) wären bei einem 10 %-Niveau rechnerisch insgesamt 4,5 Unterschiede zu erwarten gewesen. Vorliegend konnten allerdings 21 nachgewiesen werden, was das Vorhandensein von klaren Ungleichheiten zwischen links/rechts und oben/unten bestätigt. Allerdings konnten die Unterschiede nicht bei einem Ansatz, den gleichen Termen und den 5 Parametern gleichzeitig ermittelt werden, so dass die Formulierung eines pauschalen Unterschieds nicht möglich ist.

Um die Auswertung näher spezifizieren zu können, wurden die Daten der 33 männlichen und der 6 weiblichen Tiere getrennt analysiert. Anders als bei der gesamten Auswertung, kann hier bei den weiblichen Tieren weder zwischen der oberen/unteren noch der linken/rechten Pansenhälfte ein Unterschied dokumentiert werden. Diese angedeutete Ähnlichkeit kann mit der sehr geringen Anzahl an geschlachteten weiblichen Tieren begründet werden. Bei den männlichen Kälbern konnten dagegen zum Teil Ungleichheiten zwischen oben und unten bewiesen werden, wobei die Anzahl der Zotten oben erhöht war. Hinsichtlich der Zottenlänge der weiblichen Kälber wies die linke Pansenseite bei Berücksichtigung aller acht Pansenregionen längere Zotten auf als die rechte. Keine Unterschiede zwischen oben und unten konnten bei den weiblichen Kälbern in Bezug auf

die Papillenbreite belegt werden, jedoch waren die Zotten links breiter als rechts. Ausschlaggebend für die Absorptionsrate ist aber die Schleimhautoberfläche, welche auf der linken Pansenseite viel größer war als rechts. Wiederum wegen der geringen Anzahl an weiblichen bzw. großen Tieranzahl männlicher Kälber, stimmen die Unterschiede der allgemeinen Auswertung eher mit jener der männlichen überein.

6.2.2.3 Pansengewicht und -fläche

Da die Vormagenleermasse als wesentliches Kriterium zur Abschätzung des Einflusses der Rationsgestaltung auf die Ausbildung der Vormagenabteilungen bei jungen Wiederkäuern herangezogen wird [16, 192, 262, 274], wurden auch hierfür entsprechende Analysen durchgeführt. Dabei konnte mit zunehmendem Alter ein steigendes Reticulorumengewicht ($r = 0,946$) und eine größere Fläche des Pansen-Haube-Komplexes ($r = 0,938$) verzeichnet werden, denn der Reticulorum hat die größte Wachstumsrate der Verdauungsorgane [73, 74]. Die gegenseitige Beeinflussung von Gewicht und Fläche wurde mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,961$ belegt, wohingegen KHAN et al. (2008) [132] die Steigerung des Rumenvolumens unabhängig von der Entwicklung des Pansenepithels angeben. Die Auswertung ergab außerdem, dass sich die Zottendichte mit steigendem Reticulorumengewicht verringert ($r = -0,632$ bei RB), was auf die zuvor bereits diskutierte negative Abhängigkeit zwischen Alter und Zottenbesatz zurück zu führen ist.

Im Vergleich mit Literaturangaben [16, 74, 192, 262, 274] befinden sich die vorliegenden Ergebnisse zwar teils numerisch im Mittel [132], allerdings gibt es je nach Fütterungsregime erhebliche Abweichungen bei Tieren gleichen Alters. So geben GREENWOOD et al. (1997) [76] bei 6-wöchigen Kälbern ein Reticulorumengewicht von 0,99-0,93 kg an, bei den Tieren der vorliegenden Untersuchung wurden dagegen nur 0,34 kg ermittelt. Und bei 70 d alten Kälbern beschreiben KHAN et al. (2008) [132] das Reticulorumengewicht mit 1,21-1,53 kg, vorliegend konnten indes Werte von 0,93 kg bis ebenfalls 1,53 kg erhoben werden. Bei um eine Woche jüngeren Tieren geben KHAN et al. (2007) [133] sogar 2,18 kg an, wobei dieser Wert nicht einmal bei Untersuchungen von GOTTARDO et al. (2002) [75] bei 23 Wochen alten Tieren (1,997-2,073 kg) erreicht werden kann. Denn auch hier wirken nutritive Faktoren auf die Ausbildung des Pansengewichts und der -fläche ein [8, 74, 91, 262].

6.2.3 Fazit Pansen

Da die Wiederkauaktivität von vielen nutritiven Faktoren [16, 191, 192, 259, 292] und auch der Individualität der Kälber abhängt, kann das Alter beim Beginn erheblich variieren, was durch die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung bestätigt wird. Denn im Vergleich mit Daten mehrerer Autoren [218, 233, 259, 292] sind die Tiere der hier beschriebenen Untersuchung beim Feststellen der ersten Ruminationsalter. Lediglich SCHRAG und SINGER (1987) [234] berichten von ähnlichen Aufnahmemengen bei gleichem Alter zum Zeitpunkt des Wiederkaubeginns. Allerdings konnten aufgrund der tierspezifischen Unterschiede

vorliegend keine signifikanten Korrelationen zwischen dem Alter und der Futteraufnahmemenge zu Beginn der Pansenaktivität herausgearbeitet werden.

Die im Altersverlauf abnehmende Zottendichte [132, 266, 299] und die dorsal höheren Werte [57, 94, 97, 145, 178, 289] sind weniger auf die niedrige Heuaufnahme, sondern vielmehr auf die hohe KF-Aufnahme und die mit dem Abbau einhergehenden Fettsäuren zurück zu führen [73, 83, 100, 170, 253].

Und auch die durch die KF-Aufnahme bzw. vom Alter [262, 299] abhängige Ausbildung der Zottenlänge ist pansenregional sehr unterschiedlich ausgeprägt [216]. Vor allem im cranialen und dorsalen Bereich sind die Papillen sehr kurz [94]. Dabei befinden sich die vorliegend gemessenen Zotten im Vergleich mit Literaturangaben im Mittel [136, 216, 262, 299]. Bei der Gegenüberstellung der Ergebnisse bereiten jedoch sowohl unterschiedliche Fütterungsregime als auch unzureichende Erläuterungen zum Entnahmeort oder der Fütterungsweise in den aufgezeigten Publikationen [76, 94, 100, 133, 136, 157, 216, 260, 261, 262, 299] Probleme.

Die Zottenbreite ist von allen Zottenparametern am stärksten vom Alter abhängig, was ebenfalls durch die zunehmende KF-Aufnahme bedingt sein kann. Aber neben der Abhängigkeit von nutritiven Faktoren wird die Papillenbreite auch stark von der individuellen Variabilität beeinflusst [157]. Denn verglichen mit Untersuchungen bei ähnlichem Fütterungsregime, liegen die analysierten Daten zwar numerisch im Schnitt [76, 94, 300], bezogen auf die Regionen können aber Unterschiede belegt werden [94].

Die Zottenoberfläche wird zwar maßgeblich durch die Zottenlänge bestimmt [216], bezogen auf die Schleimhautoberfläche je cm² Grundfläche variieren aber die Angaben in der Literatur je nach Futtevorlage sehr stark [94, 299]. So konnten sowohl übereinstimmende Literaturangaben [216] als auch in Abhängigkeit des Alters weit niedrigere [94] oder höhere Werte [299] analysiert werden, was auf die unterschiedliche KF-Aufnahme zurück zu führen ist [299]. Denn beim Vergleich wird deutlich ersichtlich, dass erst nach der Tränkeperiode, also bei verstärkt zunehmender KF-Aufnahme, offensichtliche Unterschiede zwischen den einzelnen Regionen am Pansen aufgezeigt werden können.

Beim Vergleich der verschiedenen Pansenregionen miteinander (oben/unten, links/rechts) kann festgestellt werden, dass die Zottenanzahl an den Regionen B und E der rechten Seite repräsentativ für die jeweilige linke Seite ist [157]. Ebenso ist dies bei B bei der Schleimhautoberfläche der Fall. Neben diesen Gleichheiten können auch klare Ungleichheiten statistischen nachgewiesen werden, wenngleich der Nachweis eines pauschalen Unterschieds nicht möglich war.

Die geschlechtsbezogene Auswertung muss wegen der geringen Anzahl an weiblichen Kälbern unter Vorbehalt betrachtet werden. Dies ist auch der Grund, weshalb die Ergebnisse der männlichen Tiere überwiegend mit jenen der Gesamtauswertung (alle 39 geschlachtete Tiere) übereinstimmen.

Das Gewicht von Pansen und Haube korreliert ebenso wie deren Fläche hoch positiv mit dem Alter und auch gegenseitig. Verglichen mit Werten aus der Literatur, finden sich zwar übereinstimmende Angaben [132], allerdings auch hohe Abweichungen [76], welche durch die unterschiedliche Fütterung und damit die verschiedene Pansenausbildung bedingt sind [8, 74, 91, 262].

6.3 Technik – Futteraufnahme – Pansen

Um zu prüfen, ob anhand der mit Hilfe der Technik erhobenen detaillierten Fütterungsdaten auf die Pansenentwicklung geschlossen werden kann, musste eine möglichst genaue Vergleichbarkeit hergestellt werden. Die Erfassung der Futteraufnahme der Tiere am Schlachttag war nicht möglich, da die Kälber früh morgens ausgestallt und zum Schlachthof transportiert wurden. Deshalb sollten die Daten des Vortages verwendet werden, was aber aufgrund großer Aufnahmeschwankungen an zwei aufeinanderfolgenden Tagen zu verzerrten Berechnungen geführt hätte. Um diese tagesindividuellen Unterschiede auszugleichen, wurde die Futteraufnahme des letzten Tages vor dem Schlachtermin geschätzt, indem der jeweilige Schätzwert aus dem Trend der Aufnahmemengen der vorausgegangenen zehn Tage gebildet wurde. Wegen des ermittelten niedrigen Zusammenhangs zwischen dem Stallklima und der Futteraufnahme ($r_{\max} = 0,203$ zwischen Temperatur und GW) wurde der Einfluss des Klimas bei der Bildung des Trendwertes nicht berücksichtigt. Allerdings wäre die Dokumentation des Gesundheitszustandes erforderlich, denn mehrere Untersuchungen verweisen auf einen negativen Effekt verschiedener Gesundheitsprobleme auf die TS-Aufnahmen [165].

6.3.1 Zottenparameter und Aufnahmemengen

Wie die Diskussion und die Vergleiche mit Angaben aus der Literatur zeigen, wurden bei den Zottenparametern zum Teil große individuelle Unterschiede bei Tieren gleichen Alters und Geschlechts festgestellt (Kap. 6.2.2.1). Überwiegend wurden die meisten, kürzesten und flächenmäßig geringsten Papillen in den dorsalen Regionen RC und LC dokumentiert. Die Dichte, Länge und Breite der Pansenzotten werden zwar in den verschiedenen Pansenregionen von der aufgenommenen Nahrung beeinflusst [21], durch ihre Abhängigkeit voneinander kann dies aber zu einem gewissen Ausgleich der Oberflächenvergrößerung der Pansenschleimhaut führen [57, 71, 241]. Denn die Beziehungen zwischen den verschiedenen Zottenparametern und den Aufnahmemengen sind, abgesehen von der Zottendichte, sehr hoch und können alle statistisch signifikant bestätigt werden. Generell wurde anhand der altersabhängigen Korrelationskoeffizienten nachgewiesen, dass sich mit zunehmendem Alter die Zottendichte in der Region RB verringert, dass die Länge bei RD zunimmt, ebenso die Breite bei RB und Oberfläche bei LB. Somit wird das Zottenwachstum auf der rechten Pansenseite wesentlich vom Alter und damit auch von der Futter- bzw. hauptsächlich der KF-Aufnahme beeinflusst [94, 157, 299]. Die Zottenbreite weist dabei die

höchsten Werte auf, vor allem in der Region RB. Denn es zeigte sich, dass aufgrund der engen Beziehung zwischen der regionalen Zottenbreite und der TW-Aufnahme ($r = 0,841$), der KF-TS-Aufnahme ($r = 0,801$) und auch der HTS-Aufnahme ($r = 0,736$) die Papillenbreite bei RB abgeleitet werden kann. Hierbei muss natürlich die gegenseitige Beeinflussung und Abhängigkeit der einzelnen Futterkomponenten und -aufnahmen berücksichtigt werden. Besonders hoch ist der Korrelationskoeffizient zwischen der Zottenbreite an der Region RB und dem Schlachtgewicht ($r = 0,912$), wohingegen mehrere Autoren [57, 216, 300] einen engen Zusammenhang zwischen der KF-Aufnahme, dem Schlachtgewicht bzw. den täglichen Zunahmen und der Zottenlänge dokumentierten. Die Zottenbreite bei RB ist zudem eng korreliert mit der Zottenlänge dieser Region ($r = 0,822$) und deswegen auch mit der Zottenoberfläche ($r = 0,929$). Außerdem korreliert die Zottenbreite an RB mit der Zottenbreite an RD ($r = 0,919$) und RE ($r = 0,918$) und der Papilllänge an RE ($r = 0,840$), was auf eine enge Beziehung der Zottenoberflächen der Regionen RB und RE hindeutet ($r = 0,929$). Die Beziehung zum Schlachtgewicht spiegelt sich in der Korrelation mit dem Pansengewicht ($r = 0,931$) und der -fläche ($r = 0,879$) wider. Damit kann über die Lebendmasse und die geschätzte Futteraufnahme des letzten Tages die Zottenbreite an der Region RB abgeleitet werden, welche allerdings stark vom Alter abhängt ($r = 0,885$). Aufgrund der hohen Korrelationskoeffizienten können demzufolge auch Aussagen über die Region RD und RE getroffen werden. Die TW-Aufnahme scheint der bedeutendste Indikator zu sein, obwohl diese wegen des MT-Plans mit der MT-Aufnahme ($r = -0,805$) korreliert. Außerdem ist die KF-TS-Aufnahme über das Alter hinweg wesentlich länger vom KF-Plan abhängig, was die Intensität dieser Korrelation zusätzlich beeinflusst. Nach KIRCHGEBNER (1997) [136] sind in erster Linie chemische Reize in Form von durch den Abbau von Kohlenhydraten frei gewordenen flüchtigen Fettsäuren für die Entwicklung der Pansenzotten verantwortlich. Dies bestätigen weitere Autoren [57, 71, 241], indem sie ebenfalls angeben, dass bei energiereicher Fütterung ein deutlicher Dicken- und Längenzuwachs verzeichnet werden kann. Auf den engen Zusammenhang zwischen der TW-Aufnahme, der KF-Aufnahme und den täglichen Zunahmen weisen auch KERTZ et al. (1984) [129] hin, wohingegen GOTTARDO et al. (2002) [75] publizieren, dass die TW-Aufnahme das Kälberwachstum nicht beeinflusst. Durch das Anbieten von TW wird ihres Erachtens die aufgenommene MT-Menge reduziert, und zudem führe es bei eingestreuter Haltung zu einer besseren Pansenschleimhautentwicklung, was vorliegend zwar bestätigt werden kann, die Kausalität aber bezweifelt wird. Die wichtige Bedeutung der TW-Aufnahme bestätigen auch HOY et al. (2006) [100], indem sie publizieren, dass für die Entwicklung des Pansens, der Zotten und der Aktivität neben der Futterstruktur und der Nährstoffzusammensetzung des vorgelegten Futters auch frei verfügbare Flüssigkeit erforderlich sei. Eine für die optimale Ausbildung des Kälberverdauungssystems erforderliche Futterstruktur wird bei der vorliegenden Untersuchung durch die *ad libitum* Vorlage von Heu gewährleistet. Zwar ist die HTS-Aufnahme von einer Rationierung nicht direkt betroffen, sie wird aber ebenfalls durch den

KF-Plan ($r = 0,666$) beeinflusst und weist außerdem den geringsten Koeffizienten der drei Futterparameter auf. Die bei der Verdauung von Heu ausgeführten mechanischen Reize fördern zwar die Eigenbewegungen der Vormägen und damit das Wachstum des Muskelgewebes [45, 253, 254, 255], mit dem vorliegend analysierten Korrelationskoeffizienten $r_{\max} = 0,736$ aber nur bedingt das Breitenwachstum der Zotten [100, 216].

6.3.2 Passage des Futters

Ob die hohen regionspezifischen Zusammenhänge mit der Verdauung bzw. der Passage des Futters zu tun haben, kann anhand der Literatur erläutert werden. LÖFFLER und GÄBEL (2008) [162] schreiben diesbezüglich, dass bei der Pansenmotorik dünnflüssiger Haubeninhalt nach hinten in den Pansen geschleudert wird und der schwere und dickbreiige Teil in den Schleudermagen und die Haube zurück fällt. Durch die Kontraktion vor allem des ventralen Pansensacks wird dabei die flüssige Nahrung durch das Geflecht der Faserschicht gepresst. Anhand der Beschreibung von DIRKSEN (1964) [56] passiert der abgeschluckte Futterbrei den dorsalen Pansensack (C), wird entlang dem Pansendach zum caudalen Bereich (B) transportiert, wobei er nach caudal in den ventralen Pansensack (D, E) gedrängt wird. Anschließend gelangt der Futterbrei durch die Kontraktion des ventralen Pansensacks nach cranio-dorsal in den Schleudermagen. Dessen Zusammenziehen führt einen Teil des Inhalts zurück in die Haube und einen anderen Teil in den dorsalen Pansensack und von dort in den ventralen Pansensack. Dabei ist die Schichtung der Futtermassen eine wichtige Voraussetzung für eine optimale Funktion, nämlich von dorsal nach ventral Gas, Faserschicht und Flüssigkeit mit feinen Partikeln. Da sich im dorsalen Bereich (C) überwiegend Gas befindet, erklärt dies die vielen kurzen Zotten mit geringer Oberfläche. Hier muss nahezu nichts resorbiert werden, somit wird auch keine große Oberfläche benötigt. Die Resorption scheint bei der Pansenbewegung im caudalen Bereich aktiv zu sein [56, 215, 263], da in der Region um LB überwiegend die größte Schleimhautoberfläche gemessen werden konnte. Außerdem konnten an RB die höchsten Korrelationswerte zwischen der Zottenbreite und den Futterkomponenten ermittelt werden. Eine weitere bedeutende Resorptionszone muss sich im ventralen Pansensack (D) befinden, da dort der größte Zusammenhang zwischen dem Alter und der Zottenlänge festgestellt wurde. Denn mit zunehmendem Alter nahmen die Kälber mehr KF und Heu zu sich, was das Wachstum des Reticulorumens erklärt [136, 262]. Keine Erklärung kann jedoch gefunden werden, warum vor allem die Zotten auf der rechten Seite (RB, RD) hinsichtlich der Breite stark mit dem Alter korrelieren. SANFTLEBEN et al. (2002) [218] schreiben zwar, dass vor allem die Zotten der rechten Seite stark wachsen, allerdings sei die Zottenlänge ein maßgeblicher Wachstumsindikator, was auch andere Autoren so publizieren [56, 216, 300]. Außerdem kann nicht pauschal von einem kontinuierlichen Zottenwachstum mit

zunehmendem Alter gesprochen werden, da dabei die versuchsindividuelle Methodik berücksichtigt werden muss [21].

6.3.3 Pansengewicht und -fläche

Erwartungsgemäß konnten auch hohe Werte der Korrelationskoeffizienten zwischen den Futteraufnahme- und Pansenparametern Gewicht und Fläche verzeichnet werden, welche, mit Ausnahme von MT und MAT-TS (nahmen nach Plan mit dem Alter ab), alle positiv waren. Denn gemäß mehrerer Autoren [136, 253, 262, 275] bringt eine gemischte Futtermischung mit Kraftfutter und Heu die intensivste Stimulierung. Besonders hoch ist allerdings die Beziehung zwischen TW und dem Reticulorumengewicht ($r = 0,870$) bzw. der Reticulorumenfläche ($r = 0,833$), wobei das Alter ($r = 0,915$ bzw. $r = 0,946$) ebenfalls einen sehr großen Einfluss hat. Auch Untersuchungen von [45, 182, 255] ergaben eine positive Beziehung zwischen der TS-Aufnahme und der Masse der Verdauungsorgane bzw. dem Fassungsvermögen des Pansen-Haube-Komplexes. Diese enge Korrelation bedingt nach ROHR (1977) [214] den Zusammenhang von Lebendgewicht und Futteraufnahme, denn die Größe des Pansenvolumens stellt einen bestimmenden und begrenzenden Faktor für die Höhe der Futteraufnahme dar [190].

Bezogen auf das Geschlecht können zur Beziehung zwischen den Pansenparametern und den Futteraufnahmen bei den geschlachteten weiblichen Kälbern aufgrund der geringen Tieranzahl ($n = 6$) keine signifikant bestätigten Aussagen getroffen werden. Bei den männlichen Tieren ($n = 33$) dagegen konnten mit Ausnahme von MT und MAT-TS hohe positive Korrelationskoeffizienten statistisch signifikant geprüft werden ($r = 0,851$ zwischen der TW-Aufnahme und dem Reticulorumengewicht).

6.3.4 Fazit Technik – Futteraufnahme – Pansen

Bei der Analyse der Pansen- und Fütterungsdaten zeigte sich, dass das Zottenwachstum auf der rechten Pansenseite hauptsächlich vom Alter und der Futter- bzw. im Wesentlichen von der KF- und TW-Aufnahme abhängt. Dies kann durch Publikationen mehrerer Autoren unterlegt werden [94, 157, 299]. Dabei lässt die enge Beziehung zwischen der Zottenbreite an RB und der TW- und KF-Aufnahme den Schluss zu, anhand der Futteraufnahme die Pansenentwicklung an dieser Region zu bestimmen. Dabei muss allerdings die gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Futterkomponenten und -aufnahmen, auch hervorgerufen durch die Fütterungspläne für MT und KF, berücksichtigt werden. Vorliegend konnte außerdem ein hoher Korrelationskoeffizient zwischen der Zottenbreite an der Region RB und dem Schlachtgewicht bewiesen werden, wohingegen mehrere Autoren die Länge der Zotten als maßgeblichen Parameter für einen funktionsfähigen Pansen anführen [57, 216, 300]. Dies wird mit einem engen Zusammenhang zwischen der Papillenzahl und der KF-Aufnahme, dem Schlachtgewicht bzw. den täglichen Zunahmen begründet. Da in der präsentierten Untersuchung die Zottenbreite bei RB zudem mit der Zottenlänge und daraus folgend mit

der Zottenoberfläche hoch korreliert, kann dieses Argument übertragen werden, d.h. dass auch die Zottenbreite als Indikator für die Pansenausbildung verwendet werden kann. Warum allerdings vor allem mit der rechten Pansenseite sehr viele Korrelationskoeffizienten zwischen den Futtermengen und den Zottenparametern an den jeweiligen Regionen sehr hoch statistisch geprüft werden können, konnte auch nicht mit Hilfe der Publikation von SANFTLEBEN et al. (2002) [218] erklärt werden. Denn sie stellten zwar auch auf der rechten Pansenseite ein verstärktes Zottenwachstum fest, allerdings vor allem bei der Länge der Zotten [56, 216, 300]. Um dieses Ergebnis zu erklären, sind weiterführende Untersuchungen, eventuell mit verschiedenen Futterrationen und -strukturen erforderlich.

Bei der Betrachtung des gesamten Pansens mit allen Zottenparametern an den verschiedenen Regionen, können hohe Koeffizienten zwischen der Zottenbreite an RB und an RD bzw. RE, wie auch der Papillenlänge an RE ermittelt werden, was den engen Bezug der Regionen RB und RE verdeutlicht. Schließlich ist es möglich, über die Lebendmasse und die mittels Trend geschätzte Futteraufnahme des letzten Tages die Zottenbreite an der Region RB zu identifizieren und darüber hinaus Aussagen über die Region RD und RE zu treffen. Hierzu sind weiterführende Arbeiten erforderlich, um geeignete Algorithmen aufzustellen.

Der Einfluss des Futters auf die unterschiedliche Ausbildung der Pansenregionen kann mit Hilfe der Futterschichtung erklärt werden [56]. Denn im Bereich der Faserschicht und der bereits fein zerkleinerten und weitestgehend zersetzten Nahrungsteile einschließlich der Mikroorganismen, muss die Resorption sehr hoch sein. Dies deutet auf eine große Schleimhautoberfläche bzw. lange und breite Zotten hin [136, 262]. Da vorliegend die längsten Zotten und auch die größte Schleimhautoberfläche im Bereich von LB ermittelt wurden, muss es sich bei dieser Region um den Hauptresorptionsort des Reticulorumens handeln.

7 Schlussfolgerungen und Ausblick

Mit Hilfe des vorliegend analysierten Managementsystems in der Kälberaufzucht soll eine bestmögliche individuelle Tierversorgung und damit Tierentwicklung erreicht werden. Dabei soll es eine Filtrierung der Aussagen möglich machen, den Tierbetreuer umfassend über die wichtigen Ereignisse zu informieren und ihn so beim Herdenmanagement zu unterstützen. Inwiefern dies mit der Technik und den Daten der vorliegenden, in fünf Arbeitsschritte unterteilten Untersuchung realisiert werden kann, welche Ergebnisse aus der Literatur dabei bestätigt werden können, welche abweichen und vor allem, welche neuen Erkenntnisse und Forderungen ermittelt werden konnten, wird im letzten Schritt zusammenfassend dargestellt.

7.1 Technik

Die vorliegend verwendeten Fütterungs- und Monitoringsysteme lieferten äußerst zuverlässig sehr präzise Daten, was eine detaillierte tierindividuelle Auswertung ermöglichte. Dabei konnten viele Ergebnisse, welche anhand der durch die Technik akquirierten Daten analysiert wurden, das bereits bestehende Wissen bestätigen. Dies betrifft sowohl die Messgenauigkeit der Technik, wie etwa das Automatische Fiebermesssystem [52, 92, 118] oder die Teilkörperwaage [62, 199, 202], als auch die altersabhängige Futteraufnahme der Kälber hinsichtlich Menge [1, 4, 80, 88, 111, 136, 146, 164, 211, 271] und Verhalten [13, 108, 135, 139, 159, 186, 193, 222, 223, 267] bzw. deren Beziehung zueinander [159, 195]. Zwar wurden die Kälber in vorliegender Untersuchung in Abhängigkeit des Alters von der Milchtränke entwöhnt, gemäß den ermittelten Ergebnissen und Angaben aus der Literatur [67, 226] wäre aber das Abtränken entsprechend der KF-Aufnahme effizienter, um Energiedefizite während der Aufzucht zu vermeiden. Außerdem konnte neben dem positiven Einfluss des Klimas auf die Futteraufnahmen [18, 40, 120, 173, 177, 246] zusätzlich jener des Geschlechts [67] bestätigt werden, nämlich dass die männlichen Tiere meist höhere Mengen verzehren.

Allerdings wurden auch von der Literatur abweichende eigene Ergebnisse dokumentiert, da zum einen die vorliegende Technikaufstellung in dieser Kombination und Ausstattung erstmals überhaupt eingesetzt wurde und deshalb zum Teil abweichende Voraussetzungen bei Vergleichsuntersuchungen [14, 146, 276, 295] bedingt. Zum anderen wurden Tränke und KF, den ernährungsphysiologischen Empfehlungen folgend, rationiert angeboten, wobei die KF-Aufnahme stark von der MAT-Aufnahme abhängt. So ist davon auszugehen, dass ohne die Rationierung höhere Aufnahmemengen erreicht werden könnten [23, 31, 145], was die Korrelationskoeffizienten sowohl zwischen den Aufnahmen untereinander als auch zwischen dem Verhalten und den jeweiligen Aufnahmen beeinflussen und in der Folge möglicherweise den Literaturwerten [2, 13, 47, 66, 98, 173, 193, 213] annähern würde. Jedoch wurde im Unterschied zu vielen Publikationen bei vorliegender Untersuchung ein

sehr hohes Signifikanzniveau (0,01 %) gewählt, um sehr detaillierte Ergebnisse zu erhalten. Ferner besteht Uneinigkeit zwischen den eigenen Ergebnissen und der wegen der sehr wenig untersuchten TW-Aufnahme selten publizierten Literatur, nämlich welcher Parameter zu einer erhöhten TW-Aufnahme bei Kälbern führt: Eine erhöhte Besuchsfrequenz am Automaten [139] oder aber die Futterration mit den jeweiligen Aufnahmemengen unter Einbezug des Klimas, was auch die Auswertung der vorliegenden Daten ergab [41]. Hinsichtlich der Heuaufnahme wird dazu in der Literatur zwar von einem Tier:Fressplatz-Verhältnis von 10:1 [36] berichtet, da aber die eigenen Ergebnisse zeigen, dass die tägliche Verweildauer eines Tieres am Wiegetrog in erster Linie durch dessen Besuchsfrequenz bestimmt wird, können folglich an einem Trog maximal sieben bereits abgetränkte, oder bis zu 18 Kälber im Alter von 8 bis 96 LT *ad libitum* mit Heu versorgt werden.

Als wesentliche neue Erkenntnis im technischen Bereich der Kälberfütterung gilt die Eignung der untersuchten TW-Aufnahme als Parameter zur Steuerung des Abtränkvorgangs. Gleichzeitig konnte nachgewiesen werden, dass den Sensoren der Fütterungs- und Monitoringtechnik im Verlauf der Kälberaufzucht je nach Tieralter ein unterschiedlicher Grad an Bedeutung zukommt. Denn in Abhängigkeit des Alters variieren die beteiligten Einflussgrößen auf die TW-Aufnahme. Dies bedeutet, dass eine über die gesamte Tränkeperiode hinweg erzeugte Korrelation eines Parameters für die Ableitung von einzeltierbezogenen Daten nicht zielführend sein kann. Auch wird ein Unterschied hinsichtlich der geschlechtsbezogenen Ausprägung der Intensität der Einflussgrößen vermutet, zumal sich die Futteraufnahmen der weiblichen und männlichen Kälber während des Altersverlaufs generell unterscheiden. Weiters konnte ermittelt werden, dass die Aufnahmen der weiblichen Tiere stärker von der Witterung abhängen als die der männlichen. Hierzu wird jedoch in der Literatur im Kälberalter nicht zwischen den Geschlechtern unterschieden.

Zusammen mit der Feststellung, dass ein tierindividuelles oder zumindest geschlechtsbezogenes Fütterungsregime erforderlich ist, muss bei der Kälberfütterung der Einfluss des Klimas berücksichtigt werden. Dabei gilt es zu beachten, dass die TW-Aufnahme vor allem während des Abtränkvorgangs eine wesentliche Rolle spielt und zugleich einen großen Einfluss auf die Heuaufnahme hat. Die Heumenge wiederum beeinflusst nicht nur den Abruf der anderen Futterparameter, sondern vermehrt auch das nicht-nutritive Verhalten, was z.B. zu Fremdsaugen bei Artgenossen führen kann. Aus diesem Grund sind die erstmals verwendeten Heuwiegetröge für die Kälberaufzucht in Verbindung mit der Datenaufzeichnung unabdingbar für eine tierindividuelle Dokumentation, wobei jedoch über zusätzliche Sensorik exaktere Besuchsdaten generiert werden sollten.

Infolgedessen sind weiterführende Untersuchungen mit unterschiedlichen Fütterungsregimen erforderlich, um die Aussagefähigkeit dieser neuen, mit Hilfe der einzigartigen Technikanordnung über korrelative Ansätze erforschten Ergebnisse weiter zu

vertiefen. Ein wesentlicher Gesichtspunkt sollte dabei auch der Gesundheitszustand der Kälber sein, um eventuelle Ausreißer hinsichtlich der Aufnahmen und Aktivität charakterisieren zu können [28, 52, 165]. Die zusätzliche Erfassung der Aktivitätsdaten mittels eines Indoor-Ortungssystems macht dabei eine Verifizierung der mit Hilfe der Fütterungstechnik erfassten Daten möglich, indem die Tiere möglichst präzise lokalisiert und anschließend ihre Bewegungen analysiert werden können. In Kombination mit Pedometern wäre so eine ständige automatische Dokumentation des Tierverhaltens möglich [28], um unter Verwendung dieser zusätzlichen Sensoren noch exaktere Aussagen zur Prozesssteuerung machen zu können.

7.2 Pansen

Zwischen den Futteraufnahmemengen und dem Beginn des Wiederkauens konnten vorliegend zwar keine statistisch absicherbaren Korrelationskoeffizienten geprüft werden, jedoch wurde in der Literatur bei Tieren mit dem selben Alter zum Zeitpunkt des Wiederkaubeginns von ähnlichen Aufnahmemengen berichtet [234]. Auch fügen sich die Versuchsergebnisse hinsichtlich der Werte der Zottenparameter größtenteils in die vorhandene Literatur ein. Denn sowohl die sich mit dem Alter verringernde Zottendichte als auch der im Pansen regional unterschiedliche Zottenbesatz können in der Tendenz bestätigt werden [57, 94, 97, 132, 145, 178, 266, 289, 299]. Ähnliches gilt für die Zottenlänge, nämlich dass sich deren Wachstum alters- und ernährungsbedingt verändert [262, 299] und zudem je nach Pansenregion variiert [216]. Dabei bestätigen die vorliegend ermittelten Ergebnisse die Literaturangaben hinsichtlich der Maße und Region der Zottenlänge [94, 136, 216, 262, 299] und Zottenbreite [76, 94, 300]. Auch der vorliegend ermittelte enge Zusammenhang zwischen Zottenlänge und Zottenoberfläche belegt bereits vorhandenes Wissen [216], wobei dem Fütterungsregime eine wichtige Rolle bei der Ausprägung dieses Parameters zukommt [299]. Dieser Einfluss wirkt sich ferner auf die Ergebnisse des Vergleichs der verschiedenen Pansenregionen aus, da dadurch große tierindividuelle Unterschiede bedingt werden. Allerdings können vorliegende Analysen hinsichtlich der Zottenanzahl bestätigen, dass die Regionen um B und E auf der einen Pansenseite repräsentativ für die jeweiligen Regionen auf der anderen Seite sind [157].

Aufgrund des sich zum Teil von der Literatur unterscheidenden Fütterungsmanagements, der unterschiedlichen Zottenentnahmeregionen oder aber der individuellen Faktoren weichen einige eigene Ergebnisse von den Werten der Vergleichspublikationen ab [76, 94, 100, 133, 136, 157, 216, 260, 261, 262, 299]. So wird der im Unterschied zur Literatur [218, 233, 259, 292] späte Wiederkaubeginn der vorliegend untersuchten Kälber auf die Individualität und auf die unterschiedlichen Futteraufnahmemengen zurück geführt [16, 191, 192, 259, 292]. Auch weichen die eigenen Daten der Schleimhautoberfläche je cm² Grundfläche und das Gewicht von Pansen und Haube numerisch sowohl nach oben als auch nach unten von den Literaturwerten ab [76, 94, 299], was ebenfalls durch nutritive Faktoren

bedingt sein muss [299], da deutliche Unterschiede zwischen den Pansenregionen erst mit steigender KF-Aufnahme verzeichnet werden können [8, 74, 91, 262].

Bisher nicht mit diesem hohen Signifikanzniveau untersucht wurde die Abhängigkeit der verschiedenen Zottenparameter in Bezug zum Alter. Dabei konnte vorliegend die Zottenbreite als am stärksten vom Alter abhängig identifiziert werden. Und auch hier trägt der nutritive Einfluss bzw. die Produktion von Fettsäuren wesentlich zum Zottenwachstum bei. Als weitere neue Erkenntnis ist die nahezu symmetrische Ausbildung der Schleimhautoberfläche des Pansenepithels zu nennen. So ist die Oberfläche um die Regionen B (caudo-dorsaler Blindsack) der rechten Seite weitgehend charakteristisch für jene der linken Pansenhälfte.

Dies bedeutet für künftige Untersuchungen, dass für die Region B nicht mehr beide Pansenhälften einzeln analysiert werden müssen, sondern dass die Analyse zur Oberfläche der Region einer Pansenseite für repräsentative Ergebnisse ausreicht. Gleiches gilt auch für die Zottenanzahl um B und E, wobei das Resorptionsvermögen der Zotten nicht allein durch die Anzahl der Zotten, sondern vielmehr durch die Fläche resorptionsfähigen Epithels bestimmt wird.

Weiterführende Arbeiten sind vor allem im Hinblick auf die geschlechtsbezogene Auswertung erforderlich. Da vorliegend nur wenige weibliche Tiere geschlachtet und deren Pansenparameter untersucht werden konnten, bedarf es weiterer Analysen mit höherer Probandenanzahl, um statistisch absicherbare Ergebnisse hinsichtlich der verschiedenen Zusammenhänge erhalten zu können.

7.3 Technik – Futteraufnahme – Pansen

Manche Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung können bezüglich des Zusammenhangs zwischen den Fütterungs- und Pansendaten die Resultate der Literatur bestätigen. Denn der hohe Einfluss des Alters, der KF- und der TW-Aufnahme auf das Zottenwachstum der rechten Pansenseite wurde bereits von mehreren Autoren publiziert [94, 157, 299].

Zwar wurde veröffentlicht, dass alleinig von der Zottenlänge auf die Ausbildung eines funktionsfähigen Pansens geschlossen werden könne [57, 216, 300], jedoch wurde vorliegend nachgewiesen, dass die Zottenbreite an der Region RB (caudo-dorsaler Blindsack rechts) hoch mit dem Schlachtgewicht korreliert und damit als Parameter für einen funktionsfähigen Pansen gelten kann. Allerdings konnte nicht abschließend geklärt werden, warum die Zotten auf der rechten Pansenseite höher mit den Futteraufnahmen korrelieren bzw. warum deren Wachstum stärker von den Aufnahmemengen abhängt. Denn rechts konnten zwar die breitesten (Region RD), aber auch die kürzesten Zotten (Region RC) ermittelt werden. Dagegen wurden auf der linken Pansenseite die längsten Zotten (Region LB) und vor allem die größte Schleimhautoberfläche (Regionen LB, LC und LE)

dokumentiert, weshalb vorliegend die Region LB als Hauptresorptionsort des Reticulorumens identifiziert wurde.

Obwohl der Einfluss der TW-Aufnahme auf das Zottenwachstum in der Literatur belegt wurde, konnte keine Publikation ermittelt werden, nach der von der Futteraufnahme auf die Pansenentwicklung geschlossen werden kann. Dies gilt im Speziellen für die Region RB, da hierbei zudem eine enge Beziehung zwischen der TW- und der KF-Aufnahme besteht, wobei Letztere durch die Vorgabe eines KF-Plans zeitweise rationiert angeboten wurde. Aufgrund der engen Zusammenhänge können sogar zusätzlich Aussagen über die Region RD und RE getroffen werden.

Um jedoch allgemeingültig von der Lebendmasse und der mittels Trendwertbestimmung geschätzten Futteraufnahme am Schlachttag auf die Zottenbreite in der Region RB und damit auf die Pansenentwicklung schließen zu können, sind die Ergebnisse mit rationierter KF-Vorlage nicht geeignet. Deshalb ist es erforderlich, in weiterführenden Arbeiten vergleichbare Untersuchungen mit *ad libitum*-Aufnahmen oder zumindest späterer Rationierung durchzuführen. Dabei erscheint es sinnvoll, verschiedene Rationen mit unterschiedlichen Strukturen einzusetzen, um die Auswirkungen auf das Pansenepithel weiter zu analysieren. Damit der Einsatz der Technik auch dem praktischen Aufzuchtbetrieb gerecht wird, sollte die Ration zudem energiereiches Grundfutter wie Maissilage enthalten.

Außerdem sind in einem weiteren Schritt die partiell noch nicht eindeutig erklärbare Kausalität der Zusammenhänge und der Einfluss der Rasse [239] unter Verwendung einer geeigneten Software näher zu beleuchten. Hierzu eröffnet das sogenannte „Data Mining“ neue Möglichkeiten, um mit Hilfe von neuronalen Netzen und den in der Praxis häufiger verwendeten Entscheidungsbäumen zu einem belastbaren Algorithmus für die Zusammenhänge zu kommen [282]. Damit könnte erklärt werden, inwieweit die Pansenentwicklung, die Futteraufnahmeparameter und, bei geeigneter Datengrundlage, die Gesundheit mit Hilfe der TW-Aufnahme abschätzbar sind. Denn auf Grundlage der Futteraufnahmemengen und des Tierverhaltens, speziell der Besuchszahl, Aufnahmegeschwindigkeiten und Tierortung, können Rückschlüsse auf die Tiergesundheit gezogen werden, um eine Krankheitsfrüherkennung gewährleisten zu können [28, 60, 116, 242]. Dies führt dann zwar bereits zu einer Teilentlastung des Tierhalters, der für seine Managementaufgaben auf sehr zuverlässige, zeitnah und intelligent aufbereitete Informationen zurück greifen kann [118]. Jedoch soll in einem nächsten Schritt der Tierbetreuer durch die Hinterlegung der Steuerungsalgorithmen nicht nur informiert werden, sondern auch Handlungsempfehlungen erhalten. Daher lässt eine Erweiterung der Systeme zur automatischen Dokumentation eine zunehmend verbesserte Prozesssteuerung erwarten, sodass sich auf Basis der miteinander vernetzten Fütterungs- und Monitoringsysteme letztendlich die Fütterungstechnik autonom steuern wird, um das Betriebsmanagement in der Kälberhaltung nahezu vollkommen zu entlasten.

8 Zusammenfassung

In der Kälberaufzucht gilt der computergesteuerte Tränkeautomat als Standardtechnik für die automatische Fütterung. In jüngerer Zeit wird auch Technik zur einzeltierbezogenen Kraftfuttermittellieferung angeboten. Völlig neu dagegen sind Automaten zum individuellen Wasserabruf und Wiegetröge für Grundfutter mit präziser Massenermittlung. Entsprechend der Verfügbarkeit dieser Technologien wurden dazu bisher nur vereinzelt Ergebnisse über die damit erreichbaren neuen Möglichkeiten der Tierüberwachung und des möglichen Nutzens erarbeitet. Deshalb wurde in vorliegender Arbeit der Versuch unternommen, alle verfügbaren Teilsysteme zusammen zu führen und damit eine individuelle Fütterung zu realisieren. Über eine intelligente Vernetzung sollte sichergestellt werden, dass alle Prozessdaten der Sensoren und Aktoren in den Teilsystemen zuverlässig erfasst und gespeichert werden. Aus den Daten sollten danach vielfältige Zusammenhänge zwischen den am Einzeltier erhobenen Futteraufnahmemengen, dem Tierverhalten und der Vormagenentwicklung abgeleitet und für neue und/oder verbesserte Managementinformation aufbereitet werden.

Für dieses Vorhaben wurde auf der Versuchsstation Hirschau der Technischen Universität München eine multisensorische Versuchsanlage für die Kälberaufzucht aufgebaut. Die Versuchstechnik mit beidseitig des Futtergangs identischen Teilsystemen bestand je aus einem Milchtränkeautomat mit einem im Saugnuckel integrierten Fiebermesssystem und einer Vorderfußwaage, einem Kraftfutterautomat, einem Trinkwasserautomat und drei aktiven Wiegetrögen zur Erfassung der aufgenommenen Grundfuttermenge. Übergreifend wurde ein Tieridentifikationssystem installiert. Die Anlage wurde in einem Vorversuch mit 17 Kälbern über 15 Wochen getestet und dabei an mehreren Details abgeändert und verbessert. Das Tiermaterial für den über 33-wöchigen Hauptversuch bestand aus 33 weiblichen und 33 männlichen Kreuzungskälbern der betriebseigenen Nachzucht (überwiegend German Holstein Frisian x German Red Holstein Frisian). Beim Einstellen waren die Kälber $8,1 \pm 1,3$ d alt. Das Ausstallalter variierte zwischen dem 44. und 106. Lebenstag, da im Laufe des Versuches 6 weibliche und 33 männliche Tiere verschiedenen Alters für anatomische Untersuchungen geschlachtet wurden. Als Futtermittel wurden Milchaustauscher bzw. Milchtränke und Kraftfutter rationiert, Heu und Trinkwasser dagegen *ad libitum* angeboten. Alle Tiere wurden nach einer Tränke- und Kraftfutterkurve gefüttert. Die Daten der Fütterungs- und Monitoringtechnik wurden automatisch erfasst, wohingegen jene der Referenzmessungen zur Bestimmung der Messgenauigkeit der Technik und des Pansenwachstums manuell erhoben wurden.

Das installierte multisensorische Kälberaufzuchtssystem erbrachte über die gesamte Versuchsdauer die Aufzeichnung tierindividueller Daten mit hoher Auflösung und sehr hoher Präzision. Die aus der Untersuchung gewonnenen Werte wurden über Korrelations- und Differenzanalysen ausgewertet.

Die Futteraufnahmemengen stiegen mit Ausnahme der durch den Tränkeplan begrenzten Milchtränke in Abhängigkeit des Alters nahezu kontinuierlich an. Einschränkend wirkte dabei die auf maximal 1,76 kg/Tier begrenzte Kraftfuttermenge ab dem 49. Lebenstag und die Abtränkphase zwischen dem 42. und 70. Lebenstag. Dies und die im Laufe des Versuchs verringerte Tieranzahl hatten Einfluss auf den Zusammenhang zwischen dem Alter und den Aufnahmemengen, der nach dem Abtränken numerisch niedriger wurde. Allerdings unterschieden sich die Futteraufnahmen mit Ausnahme von Heu zwischen den Geschlechtern. Generell war die Verzehrsmenge bei den männlichen Kälbern höher, weshalb sich auch die Gewichts Differenz mit zunehmendem Alter vergrößerte. Anhand der vernetzten Technologien bzw. des Wasserabrufautomaten konnte gezeigt werden, dass sich in Abhängigkeit des Alters die Einflussgrößen auf die Trinkwasseraufnahme ändern. Zudem steigt bei erhöhter Umgebungstemperatur die Aufnahme von Gesamtwasser generell an, wobei die absoluten Aufnahmemengen der weiblichen Kälber stärker vom Klima abhängig waren. Mit dem Alter erhöhte sich außerdem bei allen Abrufstationen mit Ausnahme des Tränkestandes die Besuchsanzahl kontinuierlich.

Das Alter zu Beginn der Wiederkautätigkeit ist von vielen nutritiven und nicht-nutritiven Faktoren abhängig und war deshalb zwischen den Tieren sehr unterschiedlich. Insofern konnten keine signifikanten Korrelationen zwischen dem Alter und der Futteraufnahmemenge zu Beginn der Pansenaktivität ermittelt werden. Die Pansenentwicklung wurde anhand von Referenzmessungen am Pansenepithel von 33 männlichen und 6 weiblichen Kälbern und deren Reticulorumenfläche und Reticulorumengewicht bestimmt. Dazu wurden an 8 Regionen Gewebeproben entnommen und hinsichtlich Zottendichte, Zottenlänge, Zottenbreite und Zottenoberfläche untersucht. Die Analysen ergaben für zunehmendes Lebensalter eine Verringerung der mittleren Zottendichte bei gleichzeitiger Zunahme der Zottenlänge, Zottenbreite und damit auch der Zottenoberfläche. Die meisten, kürzesten und flächenmäßig geringsten Papillen wurden überwiegend in den dorsalen Regionen nachgewiesen, die längsten und flächenmäßig größten in der Region des linken caudo-dorsalen Blindsackes. Mit Hilfe der Korrelations- und Differenzanalysen konnte gezeigt werden, dass für bestimmte Parameter eine Region einer Pansenseite repräsentativ ist für die entsprechende Region der anderen Pansenseite. Allerdings konnte eine geschlechtsbezogene Auswertung aufgrund der geringen Anzahl an weiblichen Schlachtkälbern nicht statistisch abgesichert werden.

Insgesamt kann eine Abhängigkeit der Pansenentwicklung vom Alter und der Futteraufnahme nachgewiesen werden, wobei sich die untersuchten Pansenregionen hinsichtlich der Zottenparameter unterscheiden. Das Zottenwachstum auf der rechten Pansenseite, speziell die Papillenbreite am caudo-dorsalen Blindsack, korreliert dabei hoch positiv mit der Kraftfutter- und Trinkwasseraufnahme. Damit kann über die Futteraufnahme und die Lebendmasse die Pansenentwicklung in dieser Region bestimmt werden, wobei die

gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Futterkomponenten und die Futteraufnahmemengen berücksichtigt werden müssen.

Aufgrund der ermittelten Ergebnisse müssen künftig die Tränke- und Kraftfutterpläne tierindividuell oder zumindest geschlechtsspezifisch an die Futteraufnahme und somit die Pansenentwicklung des Kalbes adaptiert werden. Dadurch ließe sich das Management in der Kälberaufzucht in einem ersten Schritt sehr stark verbessern. Für die weitere Optimierung sind modifizierte Folgeversuche erforderlich, in welchen das individuelle Tierverhalten mittels zusätzlicher Sensoren noch detaillierter und zudem auch der Gesundheitsstatus erfasst werden. Die Datenanalyse ist weiter zu entwickeln, um noch stärker belastbare Algorithmen zu generieren. Dann kann durch die Steuerung und Interaktion der vernetzten Subsysteme in der Kälberhaltung eine zusätzliche Entlastung des Managements bei deutlich verbesserter Betriebsführung, bis hin zu autonom agierenden Fütterungs- und Monitoringsystemen realisiert werden.

9 Summary

Computer controlled milk feeding robots are standard equipment in calf rearing since a long time. In recent years, also equipment for animal-individual concentrate feeding is offered. Lately upcoming technologies are animal-individual water dispensers and weighting troughs for roughage with high precision mass measurement. Due to the novelty and moreover the difficult availability of this technology, only a few results of the associated possibilities in the area of animal monitoring and related benefits have been published so far. This work attempts to bring all available technologies together to realize an all embracing, animal-individual feeding system. By intelligent interconnection of all subsystems, a dependable data acquisition and storage of reasonable process data from all sensors and actuators should be ensured. The presumed manifold interrelation of animal-individual parameters feed intake, behaviour and rumen development should be derived from the collected data and used to develop new and/or improved management information and support strategies.

For this project, a multi-sensor test facility for calf rearing was designed and setup at the experimental station Hirschau of the Technische Universitaet Muenchen. The full-featured calf barn is divided in two mirrored partitions, each fitted with a milk feeding robot, an automatic tongue temperature measurement system, an electronic animal weighing machine, a concentrate feeding robot, a drinking water robot and three electronic roughage weighing troughs. A comprehensive animal identification system was also installed. The test facility was optimised within a preliminary trial period of 15 weeks with 17 calves to ensure correct functionality of the technical equipment. The animals for the 33-week main trial period were farm internally bred and consisted of 33 female and 33 male hybrid calves (mainly German Holstein Frisian x German Red Holstein Frisian). The calves aged 8.1 ± 1.3 days when entering the trial. The removal age varied between the 44th and the 106th day *post natalis*. The difference stems from the fact, that six female and 33 male calves have been slaughtered for anatomic examinations at different ages. The calves were fed with milk replacer or rather milk, pelletized concentrate, hay and water. The amounts of milk and concentrate were offered according to a well-defined feeding scheme. Hay and water were offered *ad libitum*. The data of the feeding and monitoring systems have been acquired automatically, whereas the reference measurements for the determination of the systems measuring accuracy and the rumen growth were captured manually.

Over the whole trial period, the installed multi-sensor calf rearing system captured highly resolved data for each individual calf in outstanding quality. The measurements were evaluated by means of correlation and differential analyses.

The amounts of feed intake were rising nearly continuously in dependency of age. One exception was the milk intake, as it was limited due to the feeding scheme. Other narrowing factors were the concentrate feed, which was limited to a maximum of 1.76 kg/animal since 49th day of life and the milk withdrawal phase between the 42nd and the 70th day of life.

These and the reduced number of animals over the trial period had influence on the relationship between age and intake values, which became numerically lower after the milk withdrawal phase. However, considerable differences of feed intake were encountered between the genders with the sole exception of hay intake. The intake quantity of male calves was generally higher, leading to an increasing difference in weight when growing older. By means of the networked technology and the drinking water robot respectively, it could be shown, that the influencing factors on drinking water intake change when growing older. Furthermore, the overall water intake generally rises for elevated ambient temperatures, whereas the absolute intake amounts of females had a higher dependency on the climate than males. The number of visitations on all stations except the milk feeding robot also continuously rose with growing age.

The age of the beginning of ruminant activity is dependent of various nutritive and non-nutritive factors and widely varied between the different animals. Insofar, it was not possible to verify significant correlations between age and feed intake at the beginning of ruminant activity. Rumen development was determined by reference measurements at the rumen epithelium of six female and 33 male calves and their reticulorumen area and reticulorumen weight. Tissue samples at eight specific regions were taken and examined due to the mucosa villi parameters density, length, width and surface area. During the animals grow older, the analyses identify a reduction of mean mucosa villi density at a concurrent increase of mucosa villi length, width and hence surface area. The most, shortest and concerning the surface area the smallest papillae were found in the dorsal regions, the longest and concerning the surface area the largest ones in the region of the left caudo-dorsal blind bag. For specific parameters, via correlation and differential analysis could be shown, that one region of a specific rumen side is representative for the corresponding region of the other rumen side. However, due to the small number of female calves, a gender specific evaluation was not able to deliver sustainable results from a statistical point of view.

All in all, evidence of a dependency of rumen development against age and feed intake was proven, whereas the examined rumen regions showed differences regarding mucosa villi parameters. The mucosa villi growth on the right hand side of the rumen, especially the papillae width at the caudo-dorsal blind bag correlates highly positive with the concentrate and drinking water intake. Therefore, the feed intake and animal weight are applicable for a qualified estimation of the rumen development in this area. A mutual influence of the singular feed components and amounts need to be considered.

The results of this work identify a clear need to adapt the drinking and concentrate feeding schemes in an animal-individual or at least gender specific way to the feed intake and hence the rumen development of calves. This allows to greatly improve the management within calve rearing in a first step. Modified successive trials are necessary for further optimization. These should monitor the animal-individual behaviour increasingly detailed

by using extra sensors and additionally the health status. Also, the data analysis has potential for further development in order to obtain even more established algorithms. In the medium term, the interaction of networked subsystems in calf rearing will surely allow a better control and further reduction of workload for the farm management. In the long term, autonomously operating feeding and monitoring systems with only minor human interaction are achievable.

10 Literaturverzeichnis

- [1] ABE, M., T. MIYAJIMA, T. HARA, Y. WADA, M. FUNABA und T. IRIKI (1999): Factors Affecting Water Balance and Fecal Moisture Content in Suckling Calves Given Dry Feed. *J. Dairy Science*, 82, S. 1960-1967.
- [2] AHMED, A. K. (1987): Zum Verhalten von Saugkälbern an Kühen und am Tränkeautomaten. *Dissertation*: Universität Stuttgart-Hohenheim.
- [3] AID INFODIENST VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT E.V. (Hrsg.) (2004): Aufstallungsformen für Kälber. 1289/2004, ISBN 3-8308-0217-X.
- [4] ALERT, H.-J., RIEHL, G. und K. WACKER (N.N.): Fütterung. http://www.smul.sachsen.de/lfl/publikationen/download/73_4.pdf (23.09.2009)
- [5] ANDERSON, K. L., T. G. NAGARAJA und J. L. MORRILL (1987): Ruminale metabolische Entwicklung bei Kälbern, die konventionell oder früh entwöhnt wurden. *J. Dairy Science*, 70, S. 1000-1005.
- [6] ANDERSON, K. L., T. G. NAGARAJA, J. L. MORRILL, T. B. AVERY, S. J. GALITZER und J. E. BOYER (1987): Ruminale mikrobielle Entwicklung bei konventionell oder früh entwöhnten Kälbern. *J. Animal Science*, 64, S. 1215-1226.
- [7] ANDERSSON, M., J. SCHAAR und H. WIKTORSSON (1984): Effects of drinking water flow rates and social rank on performance drinking behaviour of tied-up dairy cows. *Livestock Production Science*, 11, S. 599-610.
- [8] APELT, W. (1965): Der Einfluß der Ernährung auf die Entwicklung der Verdauungsorgane und auf die quantitativen Schlachtergebnisse von männlichen Kälbern. *Kühh-Arch.*, 79, S. 239-296.
- [9] ARIAS, J. L., R. CABRERA und A. VALENCIA (1978): Observation on the histological development of the bovine rumen papillae - Morphological changes due to age. *Zbl. Vet. Med. C. Anat. Histol. Embryol.*, 7, S. 140-151.
- [10] ARIAS, J. L., E. VIAL und R. CABRERA (1980): Observations on the histogenesis of bovine ruminal papillae. *American J. Veterinary Research*, 41, S. 174-178.
- [11] ARTMANN, R. (1982): Verfahren zur programmierten Fütterung von Kraftfutter - Programmierte Fütterung und Herdenüberwachung in der Milchviehhaltung. *Landbauforschung Völkenrode*, Sonderheft, 62, S. 104-119.
- [12] AUERNHAMMER, R. (1995): Untersuchungen über die Eignung verschiedener Körperstellen zur automatischen Messung der Körpertemperatur beim Rind. *Dissertation*: Ludwig-Maximilians-Universität München.
- [13] AURICH, K. und R. WEBER (1993): Einfluß eines erhöhten Saugwiderstandes auf das Saugverhalten einer Kälbergruppe. In: *Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung 1993*, KTBL-Schrift 361, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt, S. 154-166, ISBN 3-7843-19009-2.
- [14] BABU, L. K., PANDEY, H. N. und A. SAHOO (2004): Effect of individual versus group rearing on ethological and physiological responses of crossbred calves. *Applied Animal Behav. Science*, 87, S. 177-191.
- [15] BACH, A., A. GIMENEZ, J. L. JUARISTI und J. AHEDO (2006): Effects of physical form of a starter for dairy replacement calves on feed intake and performance. *J. Dairy Science*, 90, S. 3028-3033.

- [16] BALCH, C. C. (1971): Proposal to use time spent chewing as an index of the extent to which diets for ruminants possess the physical property of fibrousness characteristic of roughages. *British J. Nutrition*, 26, S. 383-392.
- [17] BARTON, M. A. und D. M. BROOM (1985): Social factors affecting the performance of teat fed calves. *Animal Production*, 40, S. 525.
- [18] BEATTY, D. T., A. BARNES, E. TAYLOR, D. PETHICK, M. MCCARTHY und S. K. MALONEY (2006): Physiological responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle to prolonged, continuous heat and humidity, *J. Animal Science*, 84, S. 972-985.
- [19] BECK, J. (1989): Dosiergenauigkeit vollautomatischer Flüssigfütterungsanlagen. *Dissertation: Christian-Albrechts-Universität Kiel, MEG-Schrift* 165.
- [20] BEEDE, D. K. (2005): The most essential nutrient: Water. 7th *Western Dairy Management Conference*. Proceedings, Reno, Nevada, S. 13-31. www.msu.edu/~beede/Water_MostEssentialNutrient_Beede_Mar20051.pdf (30.09.2009)
- [21] BEHARKA, A. A., T. G. NAGARAJA, J. L. MORRILL, G. A. KENNEDY und R. D. KLEMM (1998): Effects of form of the diet on anatomical, microbial, and fermentative development of the rumen of neonatal calves. *J. Dairy Science*, 81, S. 1946-1955.
- [22] BENSCHOP, D.-L. J. (2003): The effect of dietary roughage and processed corn on growth and rumen development of young dairy calves. *Masterthesis*, University of Guelph (Canada).
- [23] BIESINGER, W. (1996): Verfahrenstechnische Untersuchungen zur computergesteuerten Kraftfütterung bei Aufzuchtälbern. *Diplomarbeit: Institut für Agrartechnik, Universität Hohenheim*.
- [24] BOGNER H., R. FERST, P. MATZKE und H. ALPS (1985): Erfahrungen über den Einsatz von Tränkedosierautomaten in der Kälbermast im Vergleich zur Eimertränke im Hinblick auf produktionstechnische Leistungen sowie das Auftreten von Läsionen im Labmagen. *Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch*, 62, S. 631-638.
- [25] BOVINE ALLIANCE ON MANAGEMENT AND NUTRITION (BAMN) (1997): *A guide to dairy calf feeding and management. Optimizing rumen development and effective weaning*. American Association on Bovine Practitioners (AABP), American Dairy Science Association (ADSA), American Feed Industry Association (AFIA), United States Department of Agriculture (USDA). <http://www.aphis.usda.gov/vs/ceah/ncahs/nahms/dairy/#bamn> (20.12.2008)
- [26] BOTHMER, G. V. und H. BUDDE (1992): Kälberaufzucht für Milch und Mast. Verlagsunion Agrar München, 3. Auflage, ISBN 3-7690-0502-3.
- [27] BRÄNDLE, S. (2007): Starthilfe für den Pansen. *dlz agrarmagazin*, 7, S. 86-88.
- [28] BREER, D. UND W. BÜSCHER (2006): Aktivitätsmessung bei Kälbern. *Landtechnik*, 61, S. 274-275.
- [29] BREHMEN, U. (1998): Gewinnung von Tierkenndaten durch sensorbestückte Injektate, Pedometer und Datenlogger bei Rindern. *KTBL-Arbeitspapier* 258, Elektronische Tieridentifizierung, S. 59-69.
- [30] BREHME, U. und R. BRUNSCH (2002): Measurement of animal data and their importance for herd management on dairy cow farms. 8th *International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture, Kusadasi (Türkei), Proceedings*,

- Department of Agricultural Machinery of the Faculty of Agriculture of Ege, University of Izmir, Türkei, S. 378-384.
- [31] BROWN, E. G., M. J. VANDEHAAR, K. M. DANIELS, J. S. LIESMAN, L. T. CHAPIN, D. H. KEISLER und M. S. WEBER NIELSEN (2005): Effect of increasing energy and protein intake on body growth and carcass composition of heifer calves. *J. Dairy Science*, 88, S. 585-594.
- [32] BRUMMER, S. (2004): Untersuchungen zur Reduzierung des gegenseitigen Besaugens bei Kälbern in Gruppenhaltung mit Tränkeabrufautomaten. *Dissertation*: Technische Universität München, Freising-Weihenstephan.
- [33] BULANG, M. (2002): Fortentwicklung und Bewertung einer Wiegetrog-Technik zur individuellen Frühentwöhnung von Aufzuchtkälbern. *Diplomarbeit*: Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- [34] BÜSCHER, W. (1997): Wirtschaftlichkeit rechnergestützter Kälber-Tränkeautomaten. *Milchpraxis*, 35, S. 122-125.
- [35] BÜSCHER, W. und U. BIESINGER (1997): Abrufstationen für Kraftfutter in der Kälberhaltung. In: INSTITUT FÜR LANDWIRTSCHAFTLICHE VERFAHRENSTECHNIK DER CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT ZU KIEL (Hrsg.): *Bau und Technik in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. Beiträge zur 3. Internationalen Tagung vom 11. und 12. März 1997 in Kiel*, S. 24-27.
- [36] BÜSCHER, W. und A. HÜTTER (2001): Entwicklung einer Rauhfutter-Abrufstation zur Frühentwöhnung von Kälbern. In: *Bau, Technik und Umwelt 2001 in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. 5. Internationale Tagung am 6. und 7. März 2001 an der Universität Stuttgart-Hohenheim*, Institut für Agrartechnik, S. 278-283, ISBN 3-9805559-5-X.
- [37] BÜSCHER, W., T. JUNGBLUTH und M. KERN (1993): Untersuchungen zum Anlernverhalten von Jungkälbern an prozessorientierte Tränkeautomaten. In: INSTITUT FÜR LANDTECHNIK DER LUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN (Hrsg.), *Bau und Technik in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. Beiträge zur 1. Internationalen Tagung vom 16. und 17. März 1993 in Gießen*, S. 45-53.
- [38] BÜSCHER, W. und M. KÄCK (1995): Prozessrechnergesteuerte Tränkeautomaten zur Kälberfütterung - Arbeits- und Managementhilfe. *Zeitschrift für Agrarinformatik*, 3(5), S. 113-116.
- [39] CAMPLING, R. C. und C. C. BALCH (1961): Factors affecting the voluntary intake of food by cows. *Brit. J. Nutr.*, 15, S. 523-530.
- [40] CASTLE, M. E. (1972): A study of the intake of drinking water by dairy cows at grass. *Grass Forage Science*, 27, S. 207-210.
- [41] CARDOT, V., Y. LE ROUX und S. JURJANZ (2008): Drinking behavior of lactating dairy cows and prediction of their water intake. *J. Dairy Science*, 91, S. 2257-2264.
- [42] CHOI Y.J., I. K. HAN, J. H. WOO, H. J. LEE, K. JANG, K. H. MYUNG und Y. S. KIM (1997): Compensatory Growth in Dairy Heifers: The Effect of a Compensatory Growth Pattern on Growth Rate and Lactation Performance. *J. Dairy Science*, 80, S. 519-524.
- [43] CHOUDHURY, K. B. DEV., S. BORTHAKUR, K. SARMA und A. BARUAH (2003): Quantitative estimation of certain macroparameters in forestomach of crossbred bull calf. *Indian J. Animal Science*, 73, S. 1332-1333.

- [44] CLAYCOMB, B., S. CLARK, T. EBBEN und W. NASSER (1999): Electronic body temperature monitoring device. Internationales Patent No. WO 00/52662.
- [45] COVERDALE, J. A., H. D. TYLER, J. D. QUIGLEY III und J. A. BRUMM (2004): Effect of various levels of forage and form of diet on rumen development and growth in calves. *J. Dairy Science*, 87, S. 2554-2562.
- [46] CRASEMANN, E. (1962): Die Verzehrsleistung des Wiederkäuers und ihre Beeinflussung. *Mitt. f. Tierhaltg.*, 78, S. 3-8.
- [47] DADO, R. G. und M. S. ALLEN (1994): Variation in and relationships among feeding, chewing, and drinking variables for lactating dairy cows. *J. Dairy Science*, 77, S. 132-144.
- [48] DAENICKE, R. (1985): Ergebnisse aus der Aufzucht von Kälbern in ungedämmten Ställen - b) Futteraufnahme, Gewichtsentwicklung, Tiergesundheit. *Landbauforschung Völkenrode*, 75, S. 43-57.
- [49] DAENICKE, R. (1987): Weniger Tränke bei Zukaufkälbern. *Der Tierzüchter*, 38, S. 388-389.
- [50] DAVIS, C. L. und J. K. DRACKLEY (1998): The development, nutrition, and management of the young calf. *Iowa State Univ. Press*, Ames.
- [51] DAY, M. L., K. IMAKAWA, A. C. CLUTTER, P. L. WOLFE, D. D. ZALESKY, M. K. NIELSEN und J. E. KINDER (1987): Suckling behavior of calves with dams varying in milk production. *J. Animal Science*, 65, S. 1207-1212.
- [52] DEININGER, A. (2002): Prozesssteuerung und Informationsmanagement in der Kälberhaltung - Stand des Wissens und Entwicklungsmöglichkeiten. *Habilitationsschrift*, Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI 408, Kassel-Witzenhausen.
- [53] DEININGER, A. und M. KÄCK (1998): Integriertes Fütterungs- und Managementsystem für Kälber. In: J. SPILKE, R. DOLUSCHITZ und A. LOEPER (Hrsg.), *Referate der 19. GIL-Jahrestagung in Halle (Saale), Bd. 11 von Berichte der Gesellschaft für Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft*, Gesellschaft für Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft (GIL), S. 26-29.
- [54] DEININGER A. und M. KÄCK (1999): Investigations on suckler calf rearing with different concentrate feeding techniques. In: INSTITUT FÜR LANDTECHNIK DER TU MÜNCHEN (Hrsg.), *Tagung: Bau, Technik und Umwelt 1999 in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. 4. Internationale Tagung am 11. und 12. März 1999 an der Technischen Universität München in Freising-Weihenstephan*, S. 237-242, ISBN 3-9805559-5-X.
- [55] DEININGER, A. und M. KÄCK (1999): Untersuchungen zum kraftfuttergesteuerten Abtränken bei Saugkälbern. *Agrartechnische Forschung*, 5, S. 125-134.
- [56] DIRKSEN, G. (1964): Die Motorik der Vormägen des Wiederkäuers. *Zeitschrift für Tierphysiologie, Tierernährung, Futtermittelkunde*, 19, S. 13-24.
- [57] DIRKSEN, G., H. G. LIEBICH, G. BROSI, H. HAGEMEISTER und E. MAYER (1984): Morphologie der Pansenschleimhaut und Fettsäureresorption beim Rind - bedeutende Faktoren für Gesundheit und Leistung. *Zentralblatt Vet. Med. A*, 31, S. 414-430.

- [58] DIRKSEN, G. U., H. G. LIEBICH und E. MAYER (1985): Adaptive changes of the ruminal mucosa and their functional and clinical significance. *The Bovine Practitioner*, 20, S. 116-120.
- [59] DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTSGESELLSCHAFT E. V. (Hrsg.) (1999): Prozeßsteuerung in der Milchviehhaltung. Frankfurt, Merkblatt 312.
- [60] EBERHARDT, T. (2002): Untersuchungen zum Trinkverhalten gesunder und kranker Kälber an Tränkeautomaten. *Dissertation: Ludwigs-Maximilians-Universität München*.
- [61] ECKL, J. (1992): Erfahrungen mit dem computergesteuerten Tränkeautomaten „Stand alone“. *Milchpraxis*, 4, S. 168-171.
- [62] ENGELHARDT, K. (1990): Experimentelle Untersuchungen zur automatisierten Tiergewichtserfassung bei Milchkühen, Mastbullen und Aufzuchtkälbern. *Dissertation: Technische Universität München, Freising-Weihenstephan*.
- [63] VON ENZINGER, W. und W. HARTFIEL (1998): Auswirkungen gesteigerter Energie- und Proteingehalte des Futters auf Fermentationsprodukte, Faune und Schleimhaut des Pansens von Wildwiederkäuern (Damhirsch/Reh) im Vergleich zu Hauswiederkäuern (Schaf/Ziege). *J. Jagdwiss.* 44, S. 201-220.
- [64] ERADUS, W. J., W. ROSSING, P. H. HOGWERF und E. BENDERS (1992): Signal processing of activity data for oestrus detection in dairy cattle. PUDOC SCIENTIFIC PUBLISHERS (Hrsg.): Proceedings of the International Symposium on Prospects for Automatic Milking. EAAP Publication, Wageningen, Holland, No. 65, S. 360-369.
- [65] ETTLE T., F. J. SCHWARZ und M. KIRCHGEBNER (1999): Einfluß von pansengeschütztem Methionin bei unterschiedlicher Rohproteinzufuhr auf Futteraufnahme und Wachstum von Aufzuchtkälbern. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.*, 8, S. 43.
- [66] FERRANTE, V., E. CANALI, M. VERGA und C. CARENZI (1991): Effects of computerized milk feeder on behaviour and welfare of calves. In: J. H. M. METZ und C. M. GROENENSTEIN (Hrsg.): New trends in veal calf production. *Proceedings of the International Symposium on Veal Calf Production*, Pudoc, Wageningen, S. 76-80.
- [67] FIEMS L., J. DE BOEVER, S. DE CAMPENEERE, J. VANACKER und D. DE BRABANDER (2005): Effect of daily concentrate intake at weaning on performance on Belgian Blue double muscled rearing calves. *Arch. Anim. Nutr.*, 59, S. 397-404.
- [68] FIRK, R. (2002): Methods and traits for automatic oestrus detection in dairy cows. *Dissertation: Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*.
- [69] FRIEDLI, K. (2005): Kälber mit Zugang zu Wasser sind gesünder und nehmen schneller zu. *BVET-Magazin*, 5, S. 14.
- [70] FRÖHLICH, G., S. BÖCK, G. RÖDEL, F. WENDLING und G. WENDL (2005): Automatische Fütterungsanlagen für Versuchs- und Prüfbetriebe. *Landtechnik*, 60, S. 102-103.
- [71] GÄBEL, G., H. MARTENS, M. SÜNDERMANN und P. GALFI (1987): The effect of diet, intraruminal pH and osmolality on sodium, chloride and magnesium absorption from the temporarily isolated and washed reticulo-rumen of sheep. *Q. J. Exp. Physiol.*, 72, S. 501-511.

- [72] GÄLFI, P., G. GÄBEL und H. MARTENS (1993): Influences of extracellular matrix components of the growth and differentiation of ruminal epithelial cells in primary culture. *Res. Vet. Sci.*, 54, S. 102–109.
- [73] GIESECKE, D. (1967): Die funktionelle Vormagenentwicklung des Wiederkäuers. *Tierärztliche Umschau*, 22, S. 398-403.
- [74] GODFREY, N. W. (1961): The functional development of the calf. I. Growth of the stomach of the calf. *J. Agric. Science*, 57, S. 173-183.
- [75] GOTTARDO, F., S. MATTIELLO, G. COZZI, E. CANALI, E. SCANZIANI, L. RAVAROTTO, V. FERRANTE, M. VERGA und I. ANDRIGHETTO (2002): The provision of drinking water to veal calves for welfare purposes. *J. Animal Science*, 80, S. 2362-2372.
- [76] GREENWOOD, R. H., J. L. MORRILL, E. C. TITGEMEYER und G. A. KENNEDY (1997): A new method of measuring diet abrasion and its effect on the development of the forestomach. *J. Dairy Science*, 80, S. 2534-2541.
- [77] GRIMM, H. und A. K. AHMED (1987): Zum Verhalten von Saugkälbern am Tränkeautomaten. *Landtechnik*, 4, S. 151-152.
- [78] GROTH, W. (1971): Der Einfluß der Nahrung auf den Bau der Vormägen des Kalbes. *Die blauen Hefte für den Tierarzt* (Hoechst), 4, S. 296-304.
- [79] HAFEZ, E. S. E. und J. A. LINEWEAVER (1968): Suckling behaviour in natural and artificially fed neonate calves. *Zeitschrift für Tierpsychologie*, 25, S. 187-198.
- [80] HALACHMI, I., Y. AHARONI und A. BROSH (2005): Computer-controlled milk feeding of calves; the effect of precise milk allocation. In: *Precision Livestock Farming '05*, S. 227-234.
- [81] HALAY, D. B., D. W. BAILEY und J. M. STOOKEY (2005): The effects of weaning beef calves in two stages on their behavior and growth rate. *J. Animal Science*, 83, S. 205-2214.
- [82] HALAY D. B., J. RUSHEN, I. J. H. DUNCAN, T. M. WIDOWSKI und A. M. DE PASSILLÉ (1998): Effects of resistance to milk flow and the provision of hay on nonnutritive sucking by dairy calves. *J. Dairy Science*, 81, S. 2165-2172.
- [83] HÄNLEIN, G. und B. BAUMGARDT (1966): Die morphologischen und physiologischen Veränderungen des Kälbermagens bei der Frühentwöhnung. *Zeitschrift für Tierphysiologie*, 21, S. 327-337.
- [84] HARSCH, E. (2002): Vergleich der Rektaltemperatur zur automatisch gemessenen Zungentemperatur bei Kälbern am Tränkeautomat. *Diplomarbeit*: Fachbereich Agrarwirtschaft, Fachhochschule Nürtingen.
- [85] HAUSER, H. und S. LINDT (1970): Vormagen der Wiederkäuer. In: J. DOBBERSTEIN und G. PALLASKE (Hrsg.): *Handbuch der speziellen pathologischen Anatomie der Haustiere. Digestionsapparat, I. Teil*. Verlag Paul Parey Berlin, S. 356-361.
- [86] HEITING, N. (NN): Aktuelle Entwicklungen in der Kälberaufzucht unter Berücksichtigung der Gesundheit. www.riswick.de/pdf/entw_kaelberaufzucht.pdf (23.12.2008)
- [87] HENNING, M., M. C. SCHLICHTING und D. SMIDT (1987): Auffällige Verhaltensweisen bei landwirtschaftlichen Nutztieren und deren Bedeutung für die *Tierhaltung*. *Landbauforschung Völkenrode*, 37, S. 25-34.

- [88] HEPOLA H., L. HÄNNINEN, P. PURSIAINEN, V.-M. TUURE, L. SYRJÄLÄ-QVIST, M. PYYKKÖNEN UND H. SALONIEMI (2006): Feed intake and oral behaviour of dairy calves housed individually or in groups in warm or cold buildings. *Livestock Science*, 105, S. 94-104.
- [89] HERNÁNDEZ, C., A. ORIHUELA, S. FRÖBERG UND L. M. LIDFORS (2006): Effect of restricted suckling on physiological and behavioural stress parameters in dual-purpose cattle in the tropics. *Livestock Science*, 99, S. 21-27.
- [90] HEYDE, H. et al. (1965): Landmaschinenlehre. VEB Verlag Technik, Berlin (DDR).
- [91] HILBER, U. (1972): Vergleichende anatomische Untersuchungen der Mägen von Milchaustauscher-Mastkälbern mit und ohne Stroheinstreu und von frühentwöhnten Kälbern. *Dissertation*: Technische Universität München.
- [92] HILDENBRAND, M. (2000): Untersuchungen zur automatischen Körpertemperaturmessung bei Kälbern am Tränkeautomaten. *Diplomarbeit*: Fachbereich Agrarwirtschaft, Fachhochschule Nürtingen.
- [93] HILDENBRAND, M., M. KÄCK UND T. RICHTER (2001): Automatische Erfassung der Körpertemperatur bei Kälbern während der Tränkeaufnahme - Stand der Produktentwicklung. In: *Tagung: Bau, Technik und Umwelt 2001 in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. 5. Internationale Tagung am 6. und 7. März 2001 an der Universität Stuttgart-Hohenheim*, Institut für Agrartechnik, S. 290-295, ISBN 3-9805559-5-X.
- [94] HILL, S. R., B. A. HOPKINS, S. DAVIDSON, S. M. BOLT, D. E. DIAZ, C. BROWNIE, T. BROWN, G. B. HUNTINGTON UND L. W. WHITLOW (2005): Technical note: Technique for dissection and analysis of rumen in young calves. *J. Dairy Science*, 88, S. 324-326.
- [95] HOFFMANN, M. UND O. STEINHÖFEL (2007): Füttern mit Struktur. Wiederkäuergerechte Rationen als ein entscheidender Erfolgsfaktor. *Neue Landwirtschaft*, Wirtschaftseigenes Futter, 4, S. 39-43.
- [96] HOFMANN, R. (1969): Zur Topographie und Morphologie des Wiederkäuermagens im Hinblick auf sein Funktion. Verlag Paul Parey Berlin.
- [97] HOFMANN, R. R. UND B. SCHNORR (1982): Die funktionelle Morphologie des Wiederkäuer-Magens. Enke Verlag Stuttgart.
- [98] HOLTER, J. B. UND W. E. URBAN Jr. (1992): Water partitioning and intake prediction in dry and lactating Holstein cows. *J. Dairy Science*, 75, S. 1472-1479.
- [99] HOUGHTON, A. R., M. HARRISON, A. J. COWLEY UND J. R. HAMPTON (2002): Assessing exercise capacity, quality of life and hemodynamics in heart failure: do the test tell us the same thing? *The European J. Heart Failure*, 4, S. 289-295.
- [100] HOY, S., M. GAULY UND J. KRIETER (2006): Nutztierhaltung und -hygiene. Grundwissen Bachelor. UTB 2801, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, ISBN-10: 3-8252-2801-0.
- [101] HUTH, F. W. (1972): Zur Frage der Gewichtsentwicklung beim Rind. *Der Tierzüchter*, 24, S. 519-521.
- [102] HUTH, F.-W., W. V. SCHUTZBAR, D. BARTSCH UND Z. PASIERBSKI (1988): Ursachen und Wirkung der Gewichtsvariation beim Rind. *Landbauforschung Völkenrode*, Sonderheft 96, S. 156-162.

- [103] HUUSKONEN A. und H. KHALILI (2008): Computer-controlled milk replacer feeding strategies for group-reared dairy calves. *Livestock Sci.*, 113, S 302-306.
- [104] IPEMA, A. H. und H. G. PLUIJGERS (1987): Automatic weighing of dairy cows. *3rd Symposium "automation in dairying"*, Wageningen, S. 110-115.
- [105] IPEMA, A. H. und W. ROSSING (1987): Automated individual feeding of dairy cattle. *3rd symposium "automation in dairying"*, Wageningen, S. 41-51.
- [106] JASPER, J. und D. M. WEARY (2002): Effects of *ad libitum* milk intake on dairy calves. *J. Dairy Science*, 85, S. 3054-3058.
- [107] JENSEN, M. B. (2004): Computer-controlled milk feeding of dairy calves: The effects of number of calves per feeder and number of milk portions on use of feeder and social behaviour. *J. Dairy Science*, 87, S. 3428-3438.
- [108] JENSEN, M. B. (2006): Computer-controlled milk feeding of group-housed calves: The effect of milk allowance and weaning type. *J. Dairy Science*, 89, S. 201-206.
- [109] JENSEN, M. B. und L. HOLM (2003): The effect of milk flow rate and milk allowance on feeding related behaviour in dairy calves fed by computer controlled milk feeders. *Applied Animal Behaviour Science*, 82, S. 87-100.
- [110] JEROCH, H., W. DROCHNER und O. SIMON (1999): Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- [111] JEB, H.-J. (2000): Überprüfung der Pulsfrequenz, Tränkemenge, Hauttemperatur, Pansentemperatur und –kontraktion auf ihren Nutzen für wissenschaftliche Managementsysteme beim Rind. *Berichte aus der Agrarwissenschaft*, Shaker Verlag, Aachen.
- [112] JEB, H.-J. und H.-J. LAUE (1997): Untersuchungen zur Futteraufnahme bei Rindern mit Hilfe der Infrarotkamera. *Landbauforschung Völkenrode*. 3. Trenthorster Kolloquium, 5. und 6. Dezember, Sonderheft 177.
- [113] JILG, TH. (2005): Auf homogene Gruppen achten. *dlz agrarmagazin*, 56, S. 111.
- [114] JILG, TH. (2005): Kraftfutter per Automat oder Füttern am Trog? *dlz agrarmagazin primus Rind*, 10, S. 12-17.
- [115] JUNG J. und L. LIDFORS (2001): Effects of amount of milk, milk flow and access to a rubber teat on cross-sucking and non-nutritive sucking in dairy calves. *Applied Animal Behaviour Science*, 72, S. 201-213.
- [116] JUNGBLUTH, Th. und E. HARTUNG (2004): Gesellschaftliche Interessen im Konflikt: Tierschutz und/oder Umweltschutz – Lösungswege mit Precision Livestock Farming. Landwirtschaftlicher Hochschultag 2004, *Landinfo*, 3, S. 25-28.
- [117] JUNGE, W. und E. KALM (1987): Messung der Grundfutteraufnahme unter Laufstallbedingungen. Braunschweig, *VDI/MEG Kolloquium Landtechnik*, S. 78-83.
- [118] KÄCK, M. (2004a): Alles im Griff. Kälberaufzucht elektronisch gesteuert. *Precision Agriculture*, S. 52-55.
- [119] KÄCK, M. (2004b): Optimierte Kälberaufzucht elektronisch gesteuert. Düsseldorf, *VDI-Berichte* 1865.
- [120] KAISER, D. und J. H. WENIGER (1993): In vivo und in vitro Untersuchungen zur Nährstoffverdaulichkeit und Wärmeproduktion beim Wiederkäuer unter Wärmebelastung und bei unterschiedlichem Nährstoffangebot. 1. Mitteilung: In vivo

- Untersuchungen – Problemstellung, Versuchsanstellung, Futter- und Energieaufnahme. *Archiv für Tierzucht*, 36, S. 607-619.
- [121] KALAYCI, U. (2007): Ausreichend Wasser – auch im Winter. *dlz agrarmagazin*, 2, S. 116-117.
- [122] KAMANN, B. (2000): Erfassung der Temperatur unter dem Scutulum mittels Temperaturtransponder und Vergleich mit der Rektaltemperatur bei Kälbern. *Dissertation: Tierärztliche Hochschule Hannover*.
- [123] KAMANN, B., K. KLINDTWORTH, W.-D. KRAETZL, H. SCHÖN, G. WENDL und J. HARTUNG (1999): Automatische Gesundheitsüberwachung mit Hilfe von injizierbaren Temperaturtranspondern in der Kälberaufzucht. In: INSTITUT FÜR LANDTECHNIK DER TU MÜNCHEN (Hrsg.), *Tagung: Bau, Technik und Umwelt 1999 in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. 4. Internationale Tagung am 11. und 12. März 1999 an der Technischen Universität München in Freising-Weihenstephan*, S. 49-254, ISBN 3-9805559-5-X.
- [124] KARRER, M., R. NITSCHKE und P. MATTERN (2000): Tränken für Rinder. *ALB-Arbeitsblatt* 02.18.01, ALB Bayern e.V.
- [125] KAUFFOLD, P. und B. PIATKOWSKI (1971): Zur Morphologie der Pansenmukosa junger Wiederkäuer bei unterschiedlicher Fütterung. *Arch. Tierernährung*, 21, S. 171-179.
- [126] KAUFFOLD P., J. VOIGT und G. HERRENDÖRFER (1977): Untersuchungen über den Einfluß von Ernährungsfaktoren auf die Pansenschleimhaut. 3. Mitt.: Schleimhautzustände nach Infusion von Propion-, Essig- und Buttersäure. *Arch. Anim Nutr.*, 27, S. 201-211.
- [127] KAUFMANN, W., H. HAGEMEISTER und G. DIRKSEN (1980): Adaption to changes in dietary composition, level and frequency of feeding. In: *Digestive Physiology and Metabolism in Ruminants*. MTP Press LTD.
- [128] KEHOE, S. I., C. D. DECHOW und A. J. HEINRICHS (2007): Effects of weaning age and milk feeding frequency on dairy calf growth, health and rumen parameters. *Livestock Science*, 110, S. 267-272.
- [129] KERTZ, A. F., L. F. REUTZEL und J. H. MAHONEY (1984): *Ad libitum* water intake by neonatal calves and its relationship to calf starter intake, weight gain, feces store, and season. *J. Dairy Science*, 67, S. 2964-2969.
- [130] VON KEYSERLINGK, M. A. G., L. BRUSIUS und D. M. WEARY (2004): Competition for teats and feeding behavior by group-housed dairy calves. *J. Dairy Science*, 87, S. 4190-4194.
- [131] VON KEYSERLINGK, M. A. G., F. WOLF, M. HÖTZEL und D. M. WEARY (2006): Effects of continuous versus periodic milk availability on behavior and performance of dairy calves. *J. Dairy Science*, 89, S. 2126-2131.
- [132] KHAN, M. A., H. J. LEE, W. S. LEE, H. S. KIM, S. B. KIM, S. B. PARK, K. S. BAEK, J. K. HA und Y. J. CHOI (2008): Starch source evaluation in calf starter: II. Ruminal parameters, rumen development, nutrient digestibilities, and nitrogen utilization in Holstein calves. *J. Dairy Science*, 91, S. 1140-1149.
- [133] KHAN, M. A., H. J. LEE, W. S. LEE, H. S. KIM, K. S. KI, T. Y. HUR, G. H. SUH, S. J. KNAG und Y. J. CHOI (2007): Structural growth, rumen development, and metabolic and immune responses of Holstein male calves fed milk through step-down and conventional methods. *J. Dairy Science*, 90, S. 3376-3387.

- [134] KIDDY, C. A. (1977): Variation in physical activity as an indicator of estrus in dairy cows. *J. Dairy Science*, 60, S. 235.
- [135] KIRCHER, A. (1997): Zum Einfluss der Erkrankung von Aufzuchtkälbern auf ihr Verhalten bei der Aufnahme von Milchaustauschertränke, Kraftfutter und Wasser. *Diplomarbeit*: Institut für Agrartechnik, Universität Stuttgart-Hohenheim.
- [136] KIRCHGEBNER, M. (1997): Tierernährung. Leitfaden für Studium, Beratung und Praxis. 10. neubearbeitete Auflage, Verlags Union Agrar München, ISBN 3-7690-0549-X.
- [137] KIRCHGEBNER, M., F. J. Schwarz und P. Zinner (1983): Zum Einfluss einer restiktiven Wasserzufuhr auf Futteraufnahme und Leistung bei Milchkühen. *Züchtungskunde*, 55, S. 40-47.
- [138] KLEPPER, R., G. KRAGENINGS und H. KRÄUSLICH (1989): Grundfutteraufnahme automatisch messen. *Der Tierzüchter*, 41, S. 528-529.
- [139] KLINDTWORTH, M., M. KÄCK und M. NELLE (2006): Tränkwasserversorgung in der Kälberaufzucht - Anforderungen, Messverfahren, Nutzen. Düsseldorf, *VDI-Berichte* Nr. 1935. S. 107-116.
- [140] KLINDTWORTH, M., K. KLINDTWORTH, G. WENDL und H. PIRKELMANN (2002): Einsatz verschiedener Transpondervarianten bei Rindern (IDEA-Projekt). Ergebnisse aus Felduntersuchungen. *Landtechnik*, 57, S. 230-231.
- [141] KLINDTWORTH, M., M. NELLE und M. KÄCK (2005): Individuelle Tränkwasserregistrierung bei Aufzuchtkälbern. *Landtechnik*, 60, S. 284-285.
- [142] KLINDTWORTH, M. und G. WENDL (1997): Die elektronische Kennzeichnung von Rindern mit Injektaten. Ein Vergleich verschiedener Injektionsorte unter Berücksichtigung verfahrenstechnischer Aspekte. In: INSTITUT FÜR LANDWIRTSCHAFTLICHE VERFAHRENSTECHNIK DER CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT ZU KIEL (Hrsg.): *Bau und Technik in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. Beiträge zur 3. Internationalen Tagung vom 11. und 12. März 1997 in Kiel*, S. 307-315.
- [143] KLINDTWORTH, M., G. WENDL, K. KLINDTWORTH und W. REIMANN (2001): Sichere Kennzeichnung von Rindern. Erste Ergebnisse zum Einsatz verschiedener Transpondervarianten im IDEA-Projekt. *Landtechnik*, 56, S. 104-105.
- [144] KOLB, E. (1980): Lehrbuch der Physiologie der Haustiere. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 2. Auflage.
- [145] KRISTENSEN, N. B., J. SEHESTED, S. K. JENSEN und M. VESTERGAARD (2006): Effect of milk allowance on concentrate intake, rumen environment, and ruminal development in milk-fed Holstein calves. *J. Dairy Science*, 90, S. 4346-4355.
- [146] KUNG, J, S. DEMARCO, L. N. SIEBENSON, E. JOYNER, G. F. W. HAENLEIN und R. M. MIRRIS (1997): An evaluation of two management systems for rearing calves fed milk replacer. *J. Dairy Science*, 80, S. 2529-2533.
- [147] KUNZ, H.-J. (1995): Kälbertage der Landwirtschaftskammer (Teil 2): Neue Tränke- und Fütterungstechnik. *Bauernblatt Schleswig-Holstein und Hamburg*, 49/145 (10), S. 66-68.
- [148] KUNZ, H.-J. (1996a): Kälberhaltung aktuell: Neuer Kälbertränkeautomat von der Firma Holm & Laue. *Bauernblatt Schleswig-Holstein und Hamburg*, 50/146 (44), S. 30-31.

- [149] KUNZ, H.-J. (1996b): Stand der Entwicklung: Kraftfutterautomaten für Kälber. *Bauernblatt Schleswig-Holstein und Hamburg*, 50/146 (19), S. 40-42.
- [150] KUNZ, H.-J. (1999): Kälberaufzucht. Fütterung und Haltung. *Betriebswirtschaftliche Mitteilungen*, Nr. 526/527. Landwirtschaftskammer Schleswig Holstein, Abteilung Betriebsführung und Beratung. Jan./Feb. 1999.
- [151] KUNZ, H.-J. (2003): Die Kälbertränke: Beurteilungskriterien für Milchaustauscher. Was der Tierarzt wissen sollte. *Nutztierpraxis aktuell*, 6.
- [152] KUNZ, H.-J. (2009): Neuer Tränkeplan für Kälber. *top agrar*, 7, S. R18-R19.
- [153] LANGHANS, W., R. ROSSI und E. SCHARRER (1995): Relationship between feed and waterintake in ruminants. In: ENGELHARDT, W. V., S. LEONHARD-MAREK, G. BREVES und D. GIESECKE: Proceedings of the Eighth International Symposium on Ruminant Physiology. Enke Verlag Stuttgart.
- [154] LAUE, H.-J. (1999): Kälberaufzucht: Lösungen zur optimalen Versorgung des Kalbes. In: FACHHOCHSCHULE WEIHENSTEPHAN, ABTEILUNG TRIESDORF (Hrsg.), *Blickpunkt Triesdorf*, S. 14-16.
- [155] LESMEISTER, K. E. und A. J. HEINRICHS (2004): Effects of corn processing on growth characteristics, rumen development, and parameters in neonatal dairy calves. *J. Dairy Science*, 87, S. 3439-3450.
- [156] LESMEISTER, K. E. und A. J. HEINRICHS (2005): Effects of adding extra molasses to a texturized calf starter on rumen development, growth characteristics, and blood parameters in neonatal dairy calves. *J. Dairy Science*, 88, S. 411-418.
- [157] LESMEISTER, K. E., P. R. TOZER und A. J. HEINRICHS (2004): Development and analysis of a rumen tissue sampling procedure. *J. Dairy Science*, 87, S. 1336-1344.
- [158] LIDFORS, L. (1993): Cross-sucking in group-housed dairy calves before and after weaning off milk. *Applied Animal Behaviour Science*, 38, S. 15-24.
- [159] LINDEMANN, E., M. KROCKER und J. KOTENBEUTEL (1993): Kälberaufzucht an Tränkeautomaten in einem großen Milchviehbetrieb. In: INSTITUT FÜR LANDTECHNIK DER JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN (Hrsg.), *Bau und Technik in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. Beiträge zur 1. Internationalen Tagung vom 16. und 17. März 1993 in Gießen*, S. 67-73.
- [160] LITTLE, W., B. F. SANSOM, R. MANSTON und W. M. ALLEN (1976): Effects of restricting the water intake of dairy cows upon their milk yield, body weight and blood composition. *Animal Production*, 22, S. 329-339.
- [161] LITTLE, W., B. F. SANSOM, R. MANSTON und W. M. ALLEN (1978): The effects of reducing the water intake of lactating dairy cows by 40 % for 3 weeks. *Animal Production*, 27, S. 79-87.
- [162] LÖFFLER, K. und G. GÄBEL (2008): Anatomie und Physiologie der Haustiere. UTB Stuttgart; 11. Auflage. ISBN-10: 3825200132.
- [163] LOHBERG J. und L. LIDFORS (2001): Effect of milkflow rate and presence on a floating nipple on abnormal sucking between dairy calves. *Applied Animal Behaviour Science*, 72, S. 189-199.
- [164] LÖHNERT, H.-J., G. FLACHOWSKY und H. WALTHER (1996): Einflussfaktoren auf die Höhe der Futteraufnahme beim Kalb. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.*, 5, S. 103.

- [165] LUKAS, J.M, J. K. RENEAU und J. G. LINN (2008): Water intake and dry matter intake changes as a feeding management tool and indicator of health and estrus status in dairy cows. *J. Dairy Science*, 91, S. 3385-3394.
- [166] LYHS, L. (1971): Der Wärmehaushalt landwirtschaftlicher Nutztiere. Fischer Verlag, Jena, S. 13-36.
- [167] MARGERISON, J. K., T. R. PRESTON, N. BERRY und C. J. C. PHILLIPS (2003): Cross-sucking and other oral behaviours in calves, and their relation to cow suckling and food provision. *Applied Animal Behaviour Science*, 80, S. 277-286.
- [168] MATHIAS, J. und J. H. WENIGER (1990): Untersuchungen zum Energieumsatz von laktierenden Kühen unter Wärmebelastung. V. Zum Einfluß von Messzeitpunkt und Messhäufigkeit zur Bestimmung der täglichen Wärmeproduktion beim laktierenden Rind. *Züchtungskunde*, 62, S. 129-140.
- [169] MCDERMOTT, M. M., F. HOFF, L. FERRUCCI, W. H. PEARCE, J. M. GURALNIK, L. TIAN, K. LIU, J. R. SCHNEIDER, L. SHARMA, J. TAN und M. H. CRIQUI (2007): Lower extremity ischemia, calf skeletal muscle characteristics, and funktional impairment in peripheral arterial disease. *JAGS*, 55, S. 400-406.
- [170] MCGILLIARD, D., N. L. JACOBSON und J. D. SUTTON (1965): Physiological development of the ruminant stomach. In: R. W. DOUGHERTY, R. S. ALLEN, W. BURROUGHS, N. L. JACOBSON und A. D. MCGILLIARD (Hrsg.): *Physiology of digestion*. Butterworths, UK.
- [171] MEINHOLD, K. und K. WALTER (1980): Die Beziehung zwischen Lebendgewicht und Grünfuttermittelaufnahmevermögen der Milchkühe und ihr Einfluß auf die Futterkosten – eine kritische ökonomische Analyse. *Züchtungskunde*, 52, S. 77-89.
- [172] MEISINGER, I. (1998): Veränderungen im Saugverhalten von Kälbern am Tränkeautomaten bei Erkrankung. *Diplomarbeit*: Institut für Agrartechnik, Universität Stuttgart-Hohenheim.
- [173] MEYER, U., M. EVERINGHOFF, D. GADEKEN und G. FLACHOWSKY (2004): Investigations on the water intake of lactating dairy cows. *Livestock Production Science*, 90, S. 117-121.
- [174] MOREL, I. und M. SCHICK (2002): Tränkeautomaten oder Eimertränke für die Kälbermast? *Agrarforschung*, 9, S. 106-111.
- [175] MORNET, P. und J. ESPINASSE (1990): Das Kalb. Anatomie, Physiologie, Aufzucht, Ernährung, Produktion, Pathologie. Schober Verlags-GmbH, Hengersberg.
- [176] MÜLLER, CH. und M. SCHLICHTING (1988): Ethologische und physiologische Reaktionen von Mastkälbern unter verschiedenen Bedingungen der Gruppenhaltung. *KTBL-Schrift* 336, S. 285-295.
- [177] NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2001): Nutrient requirements of dairy cattle. 7th ed. *Natl. Acad. Press*, Washington, DC.
- [178] NICKEL, R., A. SCHUMMER und E. SEIFERLE (1995): Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band 2, Eingeweide. K.-H. HABERMEHL, B. VOLLMERHAUS und H. WILKENS (Hrsg.), Blackwell Wissenschafts-Verlag Berlin Wien, 7. Auflage, S. 158-180.
- [179] N.N. (2005): Sonne, Sommer und kein Hitzschlag. *Dlz agrarmagazin*, 7, S. 78-81.

- [180] NOCEK, J. E., C. W. HEALD und C. E. POLAN (1984): Influence of ration physical form and nitrogen availability on ruminal morphology of growing bull calves. *J. Dairy Science*, 67, S. 334-343.
- [181] OLTMANN, H. C. (1997): Berührungslose Körpertemperaturmessung am Kalb mit einem Infrarot-Thermometer. *Diplomarbeit*: Universität Stuttgart-Hohenheim.
- [182] PAPSTEIN, H.-J. (1988): Untersuchungen zur Futteraufnahme von Milchkühen der Rasse Deutsches Fleckvieh und Red-Holstein-Friesian-Kreuzungen. *Züchtungskunde*, 49, S. 120-137.
- [183] PAQUAY, R., R. DE BAERE und A. LOUSSE (1970): Statistical research on the fate of water in the adult cow. I. Dry cows. *J. Agric. Science, Camb.*, 74, S. 423-432.
- [184] DE PASSILLÉ, A. M. (2001): Sucking motivation and related problems in calves. *Applied Animal Behaviour Science*, 72 (3), S. 75-187.
- [185] DE PASSILLÉ, A. M. and J. RUSHEN (2006): Calves' behaviour during nursing is affected by feeding motivation and milk availability. *Applied Animal Behaviour Science*, 101, S. 264-275.
- [186] DE PASSILLÉ, A. M., J. RUSHEN und D. WEARY (2004): Designing good environments and management for calves. In Proceedings of the 2004 Western Canadian Dairy Seminar, University of Alberta, Edmonton, *Advances in dairy technology*, 16, S. 75-89.
- [187] PEDERSON, S. und K. SÄLLVIK (2002): Climatization of animal houses, heat and moisture production at animal and house levels. 4th report of working group. *International Commission of Agricultural Engineering*, Section II.
- [188] PESCHKE W., GOETZ K.-U. und P. RAHBAUER (2000): Innerbetriebliches Datenmanagement am Beispiel eines geschlossenen Nutzersystems der Schweinezucht. In: U. BIRKNER, H. AMON, G. OHMAYER und L. REINER (Hrsg.): *Referate der 21 GIL-Jahrestagung in Freising-Weihenstephan 2000*. Berichte der Gesellschaft für Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft, Band 13, S. 145-148.
- [189] PHILLIPS, C. J. C. (2004): The effects of forage provision and group size on the behavior of calves. *J. Dairy Science*, 87, S. 1380-1388.
- [190] PIATKOWSKI, B. (1968): Regulation der Futteraufnahme beim Wiederkäuer. *Fortschrittsber. Landw., Dt. Akad. Landw. Wiss.*, Berlin, 6(9), S. 1-39.
- [191] PIATKOWSKI, B., H. GÜRTLER und J. VOIGT (1990): Grundzüge der Wiederkäuer-Ernährung. Gustav Fischer Verlag Jena.
- [192] PIATKOWSKI, B. und S. NAGEL (1975): Ergebnisse über die Kau- und Wiederkauaktivität von Kühen bei Rationen mit Getreidestroh verschiedener physikalischer Form und chemischer Behandlung mit Natronlauge. *Arch. Tierernährung*, 25, S. 575-582.
- [193] PIRKELMANN, H. (1986a): Prozeßsteuerung in der Milchviehhaltung (5. Teil). Tränkedosierautomaten für die Kälberhaltung. *Der Tierzüchter*, 38, S. 76-79.
- [194] PIRKELMANN, H. (1986b): Techniken zur leistungsgerechten Rinderfütterung. *Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch 1986*, Sonderheft, S. 449-460.
- [195] PIRKELMANN, H. (1994): Selbst trinkt das Kalb. Tränkeautomaten effektiv nutzen. *dlz agrarmagazin*, 9, S. 70-74.

- [196] PIRKELMANN, H. (Hrsg.) (1992): Tiergerechte Kälberhaltung mit rechnergestützten Tränkeverfahren. KTBL-Schrift 352. KTBL, Darmstadt.
- [197] PIRKELMANN, H. (1981): Tränkedosierautomaten für die Kälberhaltung. *Landtechnik*, 36, S. 368-372.
- [198] PIRKELMANN, H. (1995): Wenn Kollege Computer die Kälber füttert. Individuelle Wachstumspotentiale effektiv ausschöpfen. *Der Tierzüchter*, 47, S. 22-25.
- [199] PIRKELMANN, H. und F. FREIBERGER (2001): Tiergewicht und Kraftfutterverzehr als Steuergrößen für die automatisierte Tränke von Kälbern. In: *Tagung: Bau, Technik und Umwelt 2001 in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. 5. Internationale Tagung am 6. und 7. März 2001 an der Universität Stuttgart-Hohenheim*, Institut für Agrartechnik, S. 284-289, ISBN 3-9805559-5-X.
- [200] PIRKELMANN, H., E. FRIEDAG und S. HÖRMANSDORFER (1993): Vergleich der Einzelhaltung von Saugkälbern zur Gruppenhaltung mit Frühentwöhnung an den Tränkeautomaten. In: INSTITUT FÜR LANDTECHNIK DER JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN (Hrsg.), *Bau und Technik in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. Beiträge zur 1. Internationalen Tagung vom 16. und 17. März 1993 in Gießen*, S. 55-65.
- [201] PIRKELMANN, H. und E. FRIEDAG (1994): Rechnergesteuerte Kälbertränkeautomaten früh einsetzen. *Landtechnik*, 1, S. 41-43.
- [202] PIRKELMANN, H., H. STANZEL und F. WENDLING (1985): Automatisierte Versorgung und Kontrolle von Aufzucht- und Mastkälbern. *Grundlagen der Landtechnik*, 35 (3), S. 89-95.
- [203] PORZIG, E. und H. H. SAMBRAUS (Hrsg.) (1991): Nahrungsaufnahmeverhalten landwirtschaftlicher Nutztiere. Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin GmbH.
- [204] QUIGLEY, J. (2001): Methods of feeding Water. Calf Notes #77. <http://www.calfnotes.com/pdf/CN077.pdf>. (23.09.2009).
- [205] QUIGLEY, J. D., T. A. WOLFE und T. H. ELSASSER (2006): Effects of additional milk replacer feeding on calf health, growth, and selected blood metabolites in calves. *J. Dairy Science*, 89, S. 207-216.
- [206] RADEMACHER, G. (2000): Kälberkrankheiten. Ursachen und Früherkennung. Neue Wege für Vorbeugung und Behandlung. Verlags Union Agrar München, ISBN 3-405-15839-7.
- [207] RADEMACHER, G. (2003): Klinische Untersuchung des Rindes und Differenzialdiagnose praxisrelevanter Leitsymptome. *Tierärztliche Umschau*, 58, S. 283-294.
- [208] RATH, D., D. GÄDEKEN, D. HESSE und M. C. SCHLICHTING (1994): Die Wirkung erhöhter Temperaturen auf die Nutztierhaltung. *Landbauforschung Völkenrode*, 148, S. 341-375.
- [209] RATSCHOW, J.-P. und R. ARTMANN (2003): Stand der Entwicklung eines BUS-Systems für die Innenwirtschaft. In: *Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung*. Vechta, Germany. 25-27 März 2003, S. 212-216.
- [210] REDDEN, K.D., A. D. KENNEDY, J. R. INGALLS und T. L. GILSON (1993): Detection of estrus by radiotelemetric monitoring of vaginal and ear skin temperature and pedometer measurements of activity. *J. Dairy Science*, 76, S. 713-721.

- [211] RICHARD, A. L., L. D. MULLER und A. J. HEINRICHS (1988): Ad libitum or twice daily feeding of acidified milk replacer to calves housed individually in warm and cold environments. *J. Dairy Science*, 71, S. 2193-2202.
- [212] RICHTER, T. und B. DOBLER (1999): Automatische Messung der Zungentemperatur bei Kälbern zur Gesundheitsüberwachung und Krankheitsfrüherkennung. In: INSTITUT FÜR LANDTECHNIK DER TU MÜNCHEN (Hrsg.), *Tagung: Bau, Technik und Umwelt 1999 in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. 4. Internationale Tagung am 11. und 12. März 1999 an der Technischen Universität München in Freising-Weihenstephan*, S. 243-248, ISBN 3-9805559-5-X.
- [213] RIESE, G., G. KLEE und H. H. SAMBRAUS (1977): Das Verhalten von Kälbern in verschiedenen Haltungsformen. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift*, 84, S. 388-394.
- [214] ROHR, K. (1977): Die Verzehrsleistung des Wiederkäuers in Abhängigkeit von verschiedenen Einflußfaktoren. *Übersicht Tierernährung*, 5, S. 75-102.
- [215] ROSENBERGER, G. (1990): Die klinische Untersuchung des Rindes. G. DIRKSEN, H.D. GRÜNDER und M. STÖBER (Hrsg.), 3. Auflage, Verlag Paul Paray Berlin, ISBN 3-489-56516-9.
- [216] Roth B. A., N. M. Keil, L. Gygax und E. Hillmann (2009): Influence of weaning method on health status and rumen development in dairy calves. *J. Dairy Science*, 92, S. 645-656.
- [217] RUIS-HEUTINCK, L. und K. VAN REENEN (2000): Water intake by veal calves can be very high. *Praktijkonderzoek Rundvee*, Schapen en Paarden, 13, S. 28-30.
- [218] SANFTLEBEN, P., R. RISSE und A. BILSKA (2002): Einfluss der Versorgung mit einem Kälberstaterfutter auf Leistung, Futteraufnahme und Pansenentwicklung von Tränkkälbern. *Neue Landwirtschaft*, 1, S. 56-59.
- [219] SAMBRAUS, H. H. (1984): Gegenseitiges Besaugen von Kälbern bei künstlicher Aufzucht. *Berliner und Münchner Tierärztliche Wochenschrift*, 97, S. 119-123.
- [220] SCHICK, M. (1995): Arbeitswirtschaftliche Einordnung zeitgemässer Haltungssysteme für Mastkälber. *Dissertation: Schriftenreihe der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik* 39, CH-Tänikon TG, ISBN 3-9520182-6-0.
- [221] SCHLEYER, TH. und J. KAMINSKY (1996): Untersuchungen zum Einfluß des Kälberaufzuchtverfahrens auf die Onthogenese des Sozialverhaltens heranwachsender Rinder. In: Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung. Darmstadt, *KTBL-Schrift* 376, S. 11-19.
- [222] SCHLICHTING, M. (1989): Anforderungen eines Kalbes an seine Umwelt. *Landtechnik*, 44, S. 66-67.
- [223] SCHLICHTING, M.C. (1985a): Der Einsatz des Milchaustauscherautomaten in der Gruppenhaltung von Kälbern unter ethologischen und produktionstechnischen Gesichtspunkten. *Landbauforschung Völkenrode*, Sonderheft 75, S. 20-35.
- [224] SCHLICHTING, M. C. (1984): Tränkeautomaten in der Kälberhaltung. Ein Beitrag zur tiergerechten Haltung. *Der Tierzüchter*, 36, S. 528-531.
- [225] SCHLICHTING, M. C. (1985b): Tränkeverfahren in der Kälberhaltung rationalisieren. *Landtechnik*, 40, S. 226-234.
- [226] SCHMOLDT, P. (1991): Kälber- und Jungrinderaufzucht. Gustav Fischer Verlag, Jena.

- [227] SCHNORR, B. und B. VOLLMERHAUS (1967): Die Feinstruktur des Pansenepithels von Ziege und Rind (Zweite Mitteilung zur funktionellen Morphologie der Vormägen der Hauswiederkäuer). *Zentralblatt der Veterinärmedizin*, 14, S. 789-818.
- [228] SCHÖN, H. (Hrsg.) (1993): Elektronik und Computer in der Landwirtschaft: Rechnergestützte Verfahren für eine betriebsmittelsparende und umweltverträgliche Produktion. Ulmer Verlag Stuttgart, S. 212-220, ISBN 3-8001-4206-6.
- [229] SCHOLTYSIK, B. J. (1980): Einfluss des zugeführten Massenstroms auf das Dosierergebnis bei Kraftfutter-Dosierwaagen. *Grundlagen Landtechnik*, 30, S. 61-66.
- [230] SCHOLTYSIK, B. J. (1981): Einfluss der geometrischen Parameter auf die Dosiergenauigkeit von Schneckendosierern für Kraftfuttermittel. *Grundlagen Landtechnik*, 31, S. 9-15.
- [231] SCHÖN, H. (Hrsg.) (1998): Die Landwirtschaft Band 3. Landtechnik, Bauwesen, BLV Verlagsgesellschaft mbH, München.
- [232] SCHÖN, H., G. WENDL, M. KLINDTWORTH und J. HARMS (2001): Precision Livestock Farming - Konzeption, Stand der Forschung, Zukunftsperspektiven. In: *Tagung: Bau, Technik und Umwelt 2001 in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. 5. Internationale Tagung am 6. und 7. März 2001 an der Universität Stuttgart-Hohenheim*, Institut für Agrartechnik, S. 1-9, ISBN 3-9805559-5-X.
- [233] SCHRAG, L., H. ENZ, H. MESSINGER, F. WOLF und J. TAXACHER (1980): Gesunde Kälber - Gesunde Rinder. Die wichtigsten Krankheiten in Aufzucht und Mast. Erkennung, Vorbeuge, Behandlung. Verlag L. Schober Hengersberg, ISBN 3-88620-100-7.
- [234] SCHRAG, L. und H. SINGER (1987): Das Buch vom Kalb. Die wichtigsten Krankheiten in den ersten Lebenswochen – Vorbeuge und Behandlung unter Einbeziehung der Physiologie von Geburt, Ernährung und Atmung. Schober Verlags-GmbH Hengersberg, ISBN 3-88620-145-7.
- [235] SCHUCH, S., G. WENDL und H. SCHÖN (1999): Untersuchungen zur Verringerung des gegenseitigen Besaugens bei der Kälberaufzucht mit Tränkeautomaten. In: INSTITUT FÜR LANDTECHNIK DER TU MÜNCHEN (Hrsg.), *Tagung: Bau, Technik und Umwelt 1999 in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. 4. Internationale Tagung am 11. und 12. März 1999 an der Technischen Universität München in Freising-Weihenstephan*, S. 225-230, ISBN 3-9805559-5-X.
- [236] SCHWAB, W. et al. (2007): Die Landwirtschaft. Tierische Erzeugung. 12. Auflage, BLV Buchverlag GmbH & Co. KG, München, ISBN 978-3-8354-0051-7.
- [237] SCHWARZ, F.J., U. HEINDL und M. KIRCHGEBNER (1997): Gewichtsentwicklung und Nährstoffaufnahme von Aufzuchtälbern bei unterschiedlicher Rohproteinzufuhr und Auswirkungen auf den Rohproteinbedarf. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.*, 6, S. 79.
- [238] SCHWARZ, F. J. und M. KIRCHGEBNER (1985): Futteraufnahme und Gewichtsentwicklung in der Aufzucht männlicher Kälber ("Fresser") zur Bullenmast bei unterschiedlicher Proteinversorgung über Vollmilch, Milchaustauscher oder Kraftfutter. *Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch*, BLV Verlagsgesellschaft MbH München, 62, S. 667-684.
- [239] SCHWARZ, F. J. und M. KIRCHGEBNER (1987): Zum Einfluss unterschiedlicher Kraftfuttermengen auf Gewichtsentwicklung und Futteraufnahme in der Anfangsmast von Fleckviehbullen. *Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch*, 6, S. 737-745.

- [240] SENGER, P. L. (1994): The estrus detection problem: New concepts, technologies, and possibilities. *J. Dairy Science*, 77, S. 2745-2753.
- [241] SHEN Z, H. M. SEYFERT, B. LÖHRKE, F. SCHNEIDER, R. ŽITŇAN, A. CHUDY, S. KUHLA, H. M. HAMMON, J. W. BLUM, H. MARTENS, H. HAGEMEISTER und J. VOIGT (2004): An energy-rich diet causes rumen papillae proliferation associated with more IGF type 1 receptors and increased plasma IGF-1 concentrations in young goats. *J. Nutrition*, 134, S. 11-17.
- [242] Siegel, A. (N.N.): Aktivitätsmessung bei Rindern. Bildungs- und Wissenschaftszentrum Aulendorf, Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung und Grünlandwirtschaft LVVG. http://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/show/1195974_11/LVVG4_%20Aktivit%C3%A4tsmessung.pdf (22.12.2008)
- [243] SIEVERS, A. K. (2005): Entwicklung einer intraruminalen Datenmesseinheit als Managementhilfe in der Milchviehhaltung. *Dissertation*: Institut für Tierhaltung und Stoffwechselfysiologie, Christians-Albrechts-Universität Kiel.
- [244] SIMON, E. (1997): Wärmehaushalt und Temperaturregelung. In: R. SCHMIDT und G. THEWS (Hrsg.): *Physiologie des Menschen*. 27. Auflage, Springer Verlag Berlin, S. 649-670.
- [245] SMITH, R. H. (1961): The development and function of the rumen in milk-fed calves. II. Effect of wood shavings in the diet. *J. Agric. Sci.*, 56, S. 105-110.
- [246] VAN SOEST, P.-J. (1973): The uniformity and nutritive availability of cellulose. *Federation Proc.*, 32, S. 1804-1808.
- [247] SPRENG, V. und H. AUERNHAMMER (2008): Improved precision calf rearing by the use of networked feeding and monitoring systems. In: *Livestock Environment VIII, Proceedings of the Eighth International Symposium*, Proc. International Conference of Agricultural Engineering, XXXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola and ASABE Iles VIII , 31. August - 04. September 2008, Iguassu Falls City, Brasilien, S. 473-482.
- [248] SPRENG, V., M. EHRL, M. BACHMAIER und H. AUERNHAMMER (2007): Data acquisition in Precision Livestock Farming for improved calf rearing. *Agricultural Engineering Research*, 13, S. 141-150.
- [249] SPRENG, V., M. EHRL, B. A. ROTH, H. AUERNHAMMER und M. ROTHMUND (2007): Interpretation von Kälberaufzuchtdate – erste Ergebnisse und Überlegungen für ein verbessertes Management. In *Tagungsband 15. Arbeitswissenschaftliches Seminar*, VDI-MEG-Arbeitskreis Arbeitswissenschaften im Landbau, 05.-06. März 2007, Wien, Österreich, S. 480-487, CD.
- [250] SPRENG, V., M. ROTHMUND und H. AUERNHAMMER (2006): Data networking in Precision Livestock Farming for improved calf rearing. In *Proc. CIGR XVI World Congress: Agricultural Engineering for a Better World*, 03.-07. September 2006, Bonn, Deutschland, Book of Abstracts, S. 501-502, ISBN: 3-18-091958-2, ISSN: 0083-5560.
- [251] STANZEL, H. und K. EMBERGER (1987): Automatische Gewichtserfassung in der Tierhaltung. Braunschweig, *VDI/MEG Kolloquium Landtechnik*, 5, S. 140-153.
- [252] STEWART, A. M. und P. WALSH (1967): Studies on rumen development on the beef calf. I. Anatomical changes in the rumen of the calf. *First Rhodesian Science Congress*; Mimiograph pp 8 (zitiert nach R. R. Hofmann, 1982).

- [253] STOBO, I. J. F., J. H. B. ROY und H. J. GASTON (1966a): Rumen development in the calf. 1. The effect of diets containing different proportions of concentrates to hay on rumen development. *British J. Nutrition*, 20, S. 171-188.
- [254] STOBO, I. J. F., J. H. B. ROY und H. J. GASTON (1966b): Rumen development in the calf. 2. The effect of diets containing different proportions of concentrates to hay on digestive efficiency. *British J. Nutrition*, 20, S. 188-215.
- [255] SUÁREZ, B. J., C. G. VAN REENEN, W. J. J. GERRITS, N. STOCKHOFE, A. M. VAN VUUREN und J. DIJKSTRA (2006): Effects of supplementing concentrates differing in carbohydrate composition in veal calf diets: II. Rumen development. *J. Dairy Science*, 89, S. 4376-4386.
- [256] SUÁREZ, B. J., C. G. VAN REENEN, N. STOCKHOFE, J. DIJKSTRA und W. J. J. GERRITS (2007): Effect of roughage source and roughage to concentrate ratio on animal performance and rumen development in veal calves. *J. Dairy Science*, 90, S. 2390-2403.
- [257] SUSENBETH, A., R. MAYER und G. U. LANG (1992): The effect of reducing particle size of wheat straw on feed intake, digestibility and energy requirement for chewing in cattle. Institut of Animal Nutrition, Universität Kiel.
- [258] SVENSSON, C. und M. B. JENSEN (2007): Short communication: Identification of diseased calves by use of data from automatic milk feeders. *J. Dairy Science*, 90, S. 994-997.
- [259] SWANSON, E. W. und J. D. HARRIS, JR. (1958): Development of rumination in the young calf. *J. Dairy Science*, 41, S. 1768-1776.
- [260] TAMATE, H. und T. KIKUCHI (1971): Presence of the extensive fold like structures on the luminal surface of the rumen epithelium. *Jpn. Zootech. Sci.*, 42, S. 296.
- [261] TAMATE, H., T. KIKUCHI, A. ONODERA und T. NAGATANI (1971): Scanning electron microscopic observation on the surface structure of the bovine rumen mucosa. *Arch. Histol. Japonicum*, 33, S. 273-282.
- [262] TAMATE, H., A. D. MCGILLIARD, N. L. JACOBSON und R. GETTY (1962): Effect of various dietaries on the anatomical development of the stomach in the calf. *J. Dairy Science*, 45, S. 408-420.
- [263] TAMATE, H., A. D. MCGILLIARD, N. L. JACOBSON und R. GETTY (1964): Effect of various dietaries on the anatomical development of the stomach in the calf. *Thohuko J. Agric. Res.*, 14, S. 171.
- [264] TODD, C. G., D. R. MCKNIGHT, S. T. MILLMAN, T. F. DUFFIELD und K. E. LESLIE (2007): The efficacy of meloxicam (Metacam®) as an adjunct therapy in the treatment of neonatal calf diarrhea complex. In: H. S. HANSEN (Hrsg.): *Proceedings from the conference Calf Management*, Steinkjer, Norway, 20-22 June 2007, Nord-Trøndelag University College. S. 65-71, ISBN 978-82-7456-519-7.
- [265] TOMPSON, F. (1973): The effect of frequency of feeding on the flow composition on duodenal digesta in sheep given straw-based diets. *British J. Nutrition*, 30, S. 87-94.
- [266] TRAUTWEIN, J., J. KÖNNEL, G. DUSEL, B. HLAWITSCHKA und K. LANDFRIED (2007): Einsatz einer Trocken-TMR in der Kälberaufzucht. VERBAND DER LANDWIRTSCHAFTSKAMMERN - REFERAT FUTTER UND FÜTTERUNG – BONN (Hrsg.): *Proceedings "Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung"*, 28./29.03.2007 in Fulda, S. 39-42.

- [267] UDE, G. (2007): Untersuchungen zur Reduzierung des gegenseitigen Besaugens von Kälbern in Gruppenhaltung durch Änderungen im Fressbereich und der Tränkeverfahren. *Dissertation*: Justus-Liebig-Universität Gießen, MEG-Schrift 463.
- [268] ULBRICH, M., M. HOFFMANN und W. DROCHNER (2004): Fütterung und Tiergesundheit. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, ISBN 3-8252-8284-8.
- [269] UMSTÄTTER, CH. (2002): Tier-Technik-Beziehung bei der automatischen Milchgewinnung. *Dissertation*: Humboldt-Universität Berlin.
- [270] URBAN, H. (2002): Verfahren und Vorrichtung zum automatischen Kontrollieren des Gesundheitszustandes von landwirtschaftlichen Nutztieren, insbesondere Kälber. Deutsches Patent No. DE 10238920A1.
- [271] VEEN, W.A.G., J. VELING und P. J. VAN DER AAR (1989): Growth of rearing calves in relation to lysine contents of milk replacer and calf starter and feeding frequency of milk replacer. *Arch. Animal Nutrition*, 39, S. 515-525.
- [272] VERORDNUNG ZUM SCHUTZ LANDWIRTSCHAFTLICHER NUTZTIERE UND ANDERER ZUR ERZEUGUNG TIERISCHER PRODUKTE GEHALTENER TIERE BEI IHRER HALTUNG (Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung – TierSchNutzV) vom 25.10.2001 (BGBL. 1 S. 2750).
- [273] WARNER, R. G. (1991): Nutritional factors affecting the development of a functional ruminant – A historical perspective. In: *Proceedings of the Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers*, Cornell University, Ithaca, New York, S. 1-12.
- [274] WARNER, R. G. und W. P. FLATT (1965): Anatomical development of the ruminal stomach in physiology of digestion in the ruminant. R. W. DOUGHERTY (Hrsg.), Butterworth, London, S. 24-38.
- [275] WARNER, R. G., W. P. FLATT und J. K. LOOSLI (1956): Ruminant nutrition: Dietary factors influencing the development of the ruminant stomach. *J. Agr. Food Chem.*, 4, S. 788-792.
- [276] WARNICK, V. D., ARAVE, C. W. und C. H. MICKELSEN (1977): Effects of group, individual, and isolated rearing of calves on weight gain and behavior. *J. Dairy Science*, 60, S. 947-953.
- [277] WEARY, D. M. (2001): Calf management: Improving calf welfare and production. *Advances in Dairy Technology*, 13, S. 107-118.
- [278] WEBER, R. (1998): Verschließbarer Tränkestand für Kälber – deutlich weniger Besaugen von Artgenossen. *FAT-Bericht* Nr. 527, CH-Tänikon.
- [279] WEBER, R. (1999): Der Einfluss eines verschließbaren Tränkestandes auf das Besaugen von Artgenossen bei Kälbern in Gruppenhaltung. In: INSTITUT FÜR LANDTECHNIK DER TU MÜNCHEN (Hrsg.), *Tagung: Bau, Technik und Umwelt 1999 in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. 4. Internationale Tagung am 11. und 12. März 1999 an der Technischen Universität München in Freising-Weihenstephan*, S. 231-236, ISBN 3-9805559-5-X.
- [280] WEBSTER, A. J. F. (1989): New techniques in calf production. In: C. J. C. PHILLIPS (Hrsg.): *New techniques in cattle production*. London.
- [281] WEBSTER, A. J. F. und C. SAVILLE (1982): The effect of rearing systems on the development of behaviour in calves. In: J. P. SIGNORET (Hrsg.): *Welfare and Husbandry of Calves. Current Topics in Veterinary Medicine and Animal Science*, Martinus Nijhoff, The Hague, 19, S. 168-177.

- [282] WEIGERT, G. (2006): Data Mining und Wissensentdeckung im Precision Farming – Entwicklung von ökonomisch optimierten Entscheidungsregeln zur kleinräumigen Stickstoff-Ausbringung. *Dissertation*: Technische Universität München, Freising-Weihenstephan.
- [283] WENDL, G. (2005): Technik in der Tierhaltung. In: *Jahrbuch Agrartechnik*. H.-H. HARMS und F. MEIER (Hrsg.), S. 169-175.
- [284] WENDL, G. und H. PIRKELMANN (1993): Fütterung und Management in der Milchviehhaltung im Laufstall. In: H. PIRKELMANN (Hrsg.): *Milchviehhaltung unter verstärktem Kostendruck - neue Techniken und Bauweisen*, Landtechnik Weihenstephan, *Landtechnik-Schrift* Nr. 3, S. 109-128.
- [285] WENDL, G., H. SCHÖN und M. KLINDTWORTH (2001): Elektronikeinsatz zur Umsetzung und Dokumentation der guten fachlichen Praxis in der Tierhaltung. Darmstadt, *KTBL-Schrift* 400, S. 52-60.
- [286] WENDL, G., S. SCHUCH, B. CALLIAN und F. WENDLING (1998): Besaugen verhüten. Ein verschließbarer Tränkestand für Kälbertränkeautomaten zur Verringerung des gegenseitigen Besaugens. *Landtechnik*, 53, S. 264-265.
- [287] WENDL, G., F. WENDLING, S. BÖCK, G. FRÖHLICH und G. RÖDEL (2001): Rechnergesteuerte Wiegetröge zur automatischen Erfassung der Futteraufnahme für Rinder, Schweine und Schafe. In: *Tagung: Bau, Technik und Umwelt 2001 in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. 5. Internationale Tagung am 6. und 7. März 2001 an der Universität Stuttgart-Hohenheim*, Institut für Agrartechnik, S. 50-55, ISBN 3-9805559-5-X.
- [288] WEST, J. W., B. G. MULLINIX und J. K. BERNHARD (2003): Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. *J. Dairy Science*, 67, S. 2336-2343.
- [289] WIESNER, E. und R. RIBBECK (Hrsg.) (1991): Wörterbuch der Veterinärmedizin, L-Z. Gustav Fischer Verlag Jena, 3. Auflage, S. 1097-1098.
- [290] WIKIPEDIA. <http://wapedia.mobi/de/Pansen> (23.09.2009)
- [291] WILLIAMS, P. E. V. und A. I. FROST (1992): Feeding the young ruminant. In: *Neonatal survival and growth*. Edinburgh, UK, *British Society of Animal Production*, 15, S. 109-118.
- [292] WING, J. M. (1961): Preference of calves for a concentrate feed with and without artificial flavors. *J. Dairy Science*, 44, S. 725-727.
- [293] ZÄH, M. (2001): Unter der Lupe: Kälbertränkeautomat Urban U40. Schlechte Zeiten für Milchräuber. *profi*, 13, S. 58-60.
- [294] ZEEB, K. und M. MACK (1970): Überlegungen und Beobachtungen zum Gruppenverhalten von Kälbern. *Mitteilungen für Tierhaltung*, 128, S. 9.
- [295] ZENGER, X. (1990): Methodische Ansätze zur computergestützten Überwachung der Milchleistung in der Milchviehhaltung. *Dissertation*: Technische Universität München, Freising-Weihenstephan, MEG-Schrift 189.
- [296] ZERBE, F. (1998): Einsatz von Tränkeautomaten in der Gruppenhaltung von Aufzuchtälbern unter besonderer Berücksichtigung des Saug- und Futteraufnahmeverhaltens. *Dissertation*: Tierärztliche Hochschule Hannover.
- [297] ZERBE, F. und J. ULVERICH (1997): Temperaturmessung an der Saugstelle. Deutsches Patent No. DE 19714641A1.

-
- [298] ŽITŇAN, R., S. KUHLA, P. SANFTLEBEN, A. BILSKA, F. SCHNEIDER, M. ZUPCANOVA und J. VOIGT (2005): Diet induced ruminal papillae development in neonatal calves not correlating with rumen butyrate. *Vet. Med. – Czech*, 50, S. 472-479.
- [299] ŽITŇAN, R., J. VOIGT, U. SCHÖNHUSEN, J. WEGNER, M. KOKARDOVÁ, H. HAGEMEISTER, M. LEVKUT, S. KUHLA und A. SOMMER (1998): Influence of dietary concentrate to forage ratio on the development of rumen mucosa in calves. *Arch. Anim. Nutr.*, 51, S. 279-291.
- [300] ŽITŇAN, R., J. VOIGT, J. WEGNER, G. BREVES, B. SCHRÖDER, C. WINCKLER, M. LEVKUT, M. KOKARDOVÁ, U. SCHÖNHUSEN, S. KUHLA, H. HAGEMEISTER und A. SOMMER (1999): Morphological and functional development of the rumen in the calf: influence of the time of weaning. 1. Morphological development of rumen mucosa. *Arch. Anim. Nutr.*, 52, S. 351-362.
- [301] de.wikipedia.org (23.09.2009)
- [302] www.brockhaus.de (23.09.2009)
- [303] www.duden.de (23.09.2009)
- [304] www.foerster-technik.de (23.09.2009)
- [305] www.olev.de (26.05.2009)
- [306] www.profilpass-online.de (26.05.2009)

11 Anhang

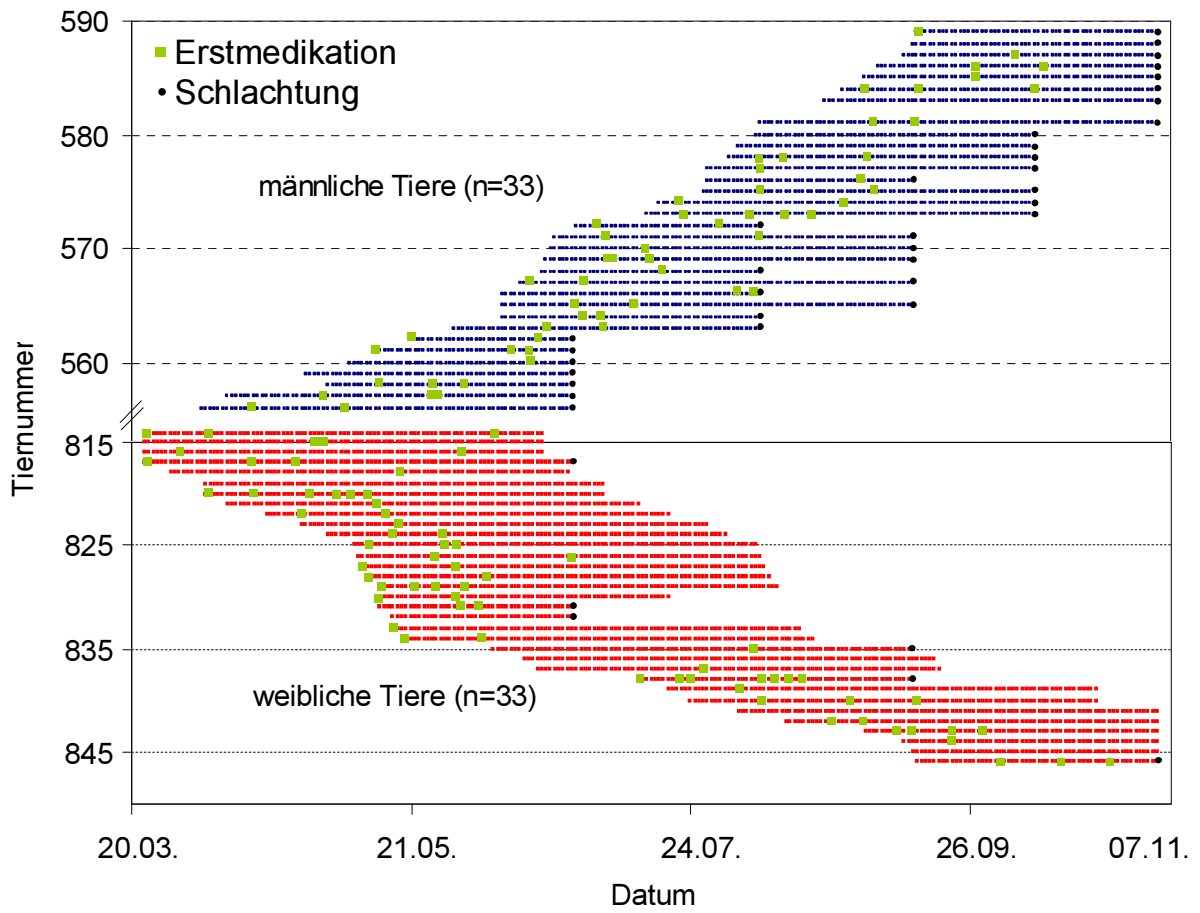


Abbildung A1: Im Versuch befindliche männliche und weibliche Tiere mit Kennzeichnung der Erstmedikamention und Schlachtung.

Tabelle A1: Daten der 66 Versuchstiere.

Tiernr.	Rasse	Einstalldatum	Ausstalldatum	Erste	Letzte	Ausstallalter
				Wiegung [kg]	Wiegung [kg]	[LT]
556	sonstKr	03.04.2006	27.06.2006	49,2	103,0	93
557	SB	09.04.2006	27.06.2006	51,8	102,2	86
558	sonstKr	02.05.2006	27.06.2006	41,4	63,2	73
559	SB	27.04.2006	27.06.2006	46,2	75,8	68
560	RB	07.05.2006	27.06.2006	50,8	73,0	59
561	SB	14.05.2006	27.06.2006	52,0	63,6	52
562	RB	22.05.2006	27.06.2006	35,4	46,6	44
563	RB	31.05.2006	09.08.2006	41,6	87,4	78
564	RB	11.06.2006	09.08.2006	47,8	79,6	67
565	RB	11.06.2006	13.09.2006	47,6	123,4	102
566	RB	11.06.2006	09.08.2006	37,2	69,8	67
567	SB	15.06.2006	13.09.2006	44,6	117,2	97
568	RB	20.06.2006	09.08.2006	51,8	79,6	58
569	sonstKr	21.06.2006	13.09.2006	43,2	125,8	92
570	RB	22.06.2006	13.09.2006	48,8	116,8	91
571	sonstKr	23.06.2006	13.09.2006	54,9	117,2	89
572	sonstKr	28.06.2006	09.08.2006	46,0	66,8	51
573	sonstKr	14.07.2006	11.10.2006	51,4	120,0	97
574	RB	17.07.2006	11.10.2006	53,2	114,6	95
575	sonstKr	27.07.2006	11.10.2006	55,0	109,2	84
576	SB	28.07.2006	13.09.2006	55,8	78,8	55
577	sonstKr	28.07.2006	11.10.2006	45,2	102,4	83
578	SB	02.08.2006	11.10.2006	43,4	93,8	78
579	sonstKr	04.08.2006	11.10.2006	46,4	96,0	76
580	sonstKr	08.08.2006	11.10.2006	41,6	90,2	72
581	RB	09.08.2006	08.11.2006	35,6	127,0	99
583	sonstKr	24.08.2006	08.11.2006	51,4	123,8	84
584	sonstKr	28.08.2006	08.11.2006	48,8	108,8	81
585	sonstKr	02.09.2006	08.11.2006	46,6	91,2	74
586	SB	05.09.2006	08.11.2006	42,0	74,8	72
587	SB	11.09.2006	08.11.2006	48,0	77,2	66
588	SB	13.09.2006	08.11.2006	49,4	90,4	64
589	sonstKr	14.09.2006	08.11.2006	42,8	70,0	63
814	SB	20.03.2006	20.06.2006	44,5	89,6	102
815	sonstKr	21.03.2006	20.06.2006	48,0	109,6	100
816	sonstKr	21.03.2006	20.06.2006	44,2	93,8	98
817	sonstKr	21.03.2006	27.06.2006	48,0	110,4	105
818	SB	27.03.2006	26.06.2006	45,8	111,0	98
819	sonstKr	04.04.2006	04.07.2006	45,2	93,0	99
820	RB	04.04.2006	04.07.2006	40,4	99,4	99
821	sonstKr	09.04.2006	12.07.2006	42,8	112,6	101
822	SB	18.04.2006	19.07.2006	46,8	106,2	102
823	SB	26.04.2006	28.07.2006	47,8	111,2	100
824	RB	02.05.2006	01.08.2006	47,2	119,4	100

825	RB	08.05.2006	08.08.2006	35,8	98,0	100
826	SB	09.05.2006	09.08.2006	52,4	121,4	100
827	RB	10.05.2006	10.08.2006	41,4	104,0	100
828	SB	11.05.2006	11.08.2006	48,0	125,6	100
829	RB	14.05.2006	13.08.2006	43,2	118,8	100
830	SB	14.05.2006	19.07.2006	45,8	87,8	74
831	RB	14.05.2006	27.06.2006	46,0	66,9	52
832	RB	17.05.2006	27.06.2006	40,4	55,5	49
833	RB	17.05.2006	18.08.2006	38,6	126,6	100
834	SB	20.05.2006	21.08.2006	51,0	136,2	101
835	SB	09.06.2006	13.09.2006	45,6	128,2	104
836	RB	16.06.2006	18.09.2006	47,2	115,2	101
837	RB	19.06.2006	19.09.2006	37,6	96,2	100
838	RB	12.07.2006	13.09.2006	48,0	68,2	71
839	RB	19.07.2006	25.10.2006	39,6	119,2	106
840	SB	24.07.2006	25.10.2006	48,0	112,6	102
841	sonstKr	04.08.2006	08.11.2006	43,2	108,6	103
842	SB	15.08.2006	08.11.2006	39,2	96,8	93
843	SB	02.09.2006	08.11.2006	40,0	79,8	77
844	SB	11.09.2006	08.11.2006	52,2	91,2	67
845	RB	13.09.2006	08.11.2006	47,8	70,4	64
846	sonstKr	14.09.2006	08.11.2006	41,0	61,2	63

5.. Männlich SB Holstein (Scharzbunte)
8.. Weiblich RB Red Holstein (Rotbunte)
sonstKr sonstige Kreuzung

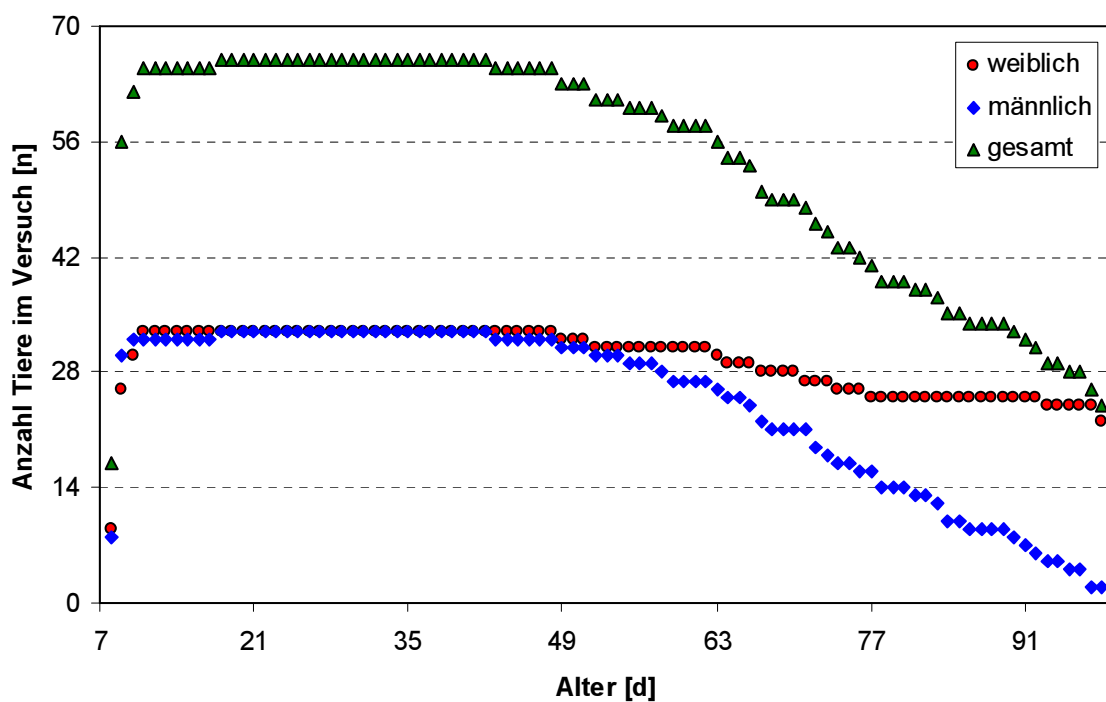


Abbildung A2: Anzahl Tiere im Versuch.

Tabelle A2: Zusammensetzung, Rohnährstoffe und Zusatzstoffe des MAT Bulliac Prostart® (nach Herstellerangaben).

Komponenten [in % der Futtermischung]		Zusatzstoffe [je kg Mischfutter]			
Molkenpulver teilentz.	20	Vitamin A	50.000 IE	Vitamin B ₂	5 mg
Magermilchpulver	18	Vitamin D ₃	5.000 IE	Vitamin B ₆	3 mg
Molkenpulver teilentz.	18	Eisen	175 mg	Vitamin K ₃	2 mg
Pflanzenöl	16	Vitamin C	100 mg	Jod	1 mg
Sojaproteinkonzentrat	12	Vitamin E	50 mg	Kobalt	1 mg
Weizenquellmehl	7	Zink	50 mg	Selen	0,3 mg
Reisprotein	3	Mangan	40 mg	Biotin	200 mcg
Traubenzucker	2	Pantothensäure	15 mg	Betain	200 mcg
Rohnährstoffe [in % der TS]		Kupfer	7 mg	Nikotinsäure	25 mcg
		Vitamin B ₁	6 mg	Vitamin B ₁₂	20 mcg
Rohprotein	21,0	<i>Bacillus licheniformis</i> DSM 5749/			
Rohfett	18,0	<i>Bacillus subtilis</i> DSM 5750			
Rohasche	8,5	i.V. 1:1 - Bioplus 2 B (E 1700)		1,28 x 10 ⁹ KBE	
Rohfaser	0,5				
Lysin	2,0				
Calcium	1,0				
Phosphor	0,7				

Tabelle A3: Tränkeplan und Daten zur Mengenbegrenzung.

Alter [d]	Tränkemenge [l]		Mengenbegrenzung [l]	
	von	auf	Min.	Max.
8 - 14	6,0	6,0	2,5	3,0
15 - 21	6,0	8,0	1,5	2,0
22 - 42	8,0	8,0	2,0	3,0
43 - 56	8,0	6,0	1,0	1,5
57 - 70	6,0	2,5	0,5	1,0

Tabelle A4: Zusammensetzung, Rohnährstoffe und Zusatzstoffe des KF KS 182 PELL® (nach Herstellerangaben).

Komponenten [in % der Futtermischung]		Rohnährstoffe [in % der TS]		Zusatzstoffe [je kg Mischfutter]	
Weizenkleie	20,0	Rohprotein	18,0	Vitamin A	30.000 IE
Weizen	20,0	Rohfett	2,6	Vitamin D ₃	4.000 IE
Maiskleberfutter	12,3	Rohasche	7,2	Vitamin E	20 mg
Gerste	12,0	Rohfaser	7,5	Kupfer	17 mg
Rapsextraktionsschrot	10,0	Natrium	0,3	Vitamin B ₁	10 mg
Rübenmelasseschnitzel	5,5	Calcium	0,95	Propionsäure	
Sojaextraktionsschrot dampferhitzt	4,4	Phosphor	0,6		
Rübenmelasse	4,0				
Getreideschlempe getrocknet	4,0				
Leinkuchen	3,3				
Hafer	2,0				
Calciumcarbonat	1,9				
Natriumchlorid	0,6				

Tabelle A5: KF-Plan.

Alter [d]	KF-Menge [kg TS]	
	von	auf
8 - 14	0,18	0,18
15 - 49	0,18	1,76
50 - 91	1,76	1,76
92 - 98	1,76	2,20

Tabelle A6: Automatisch erfasste Messgrößen der Software.

Messgröße	Erläuterung	Einheit
Kalbmanager/WIN_Institut (nach FÖRSTER-TECHNIK GMBH)		
Datum	Datum Eintrag des Datensatzes	tt.mm.jjjj
Zeit	Uhrzeit Beginn Eintrag des Datensatzes	hh:mm:ss
Kennung Tränke	Zuordnung der Daten t: zum Tränkeautomat k: zum KF-Automat w: zum Wasserautomat	
Kennung Kommen/Gehen	Vollständigkeit des Datensatzes x : vollständig + = Kalb wurde nicht abgemeldet - = Kalb wurde nicht angemeldet	
Tier Nr.	Nummer des Tieres	

VerweildauerImStand	Verweildauer des Tieres in der Station	s
TränkeAbrufAktuell	Abgerufene Tränkemenge heute	l
Wasser_ml	Abgerufene Wassermenge heute	ml
SaugGeschwindigkeitZeit	Zeit für Berechnung der Sauggeschwindigkeit	s
SaugGeschwindigkeitLiter	Menge für Berechnung der Sauggeschwindigkeit	ml
AbbruchHeuteOhneZusatz	Anzahl der abgebrochenen Tränkebesuche heute (kumuliert)	
BesuchHeuteMitTränke	Anzahl der Besuche mit Tränkeanspruch heute (kumuliert)	
BesuchHeuteOhneTränke	Anzahl der Besuche ohne Tränkeanspruch heute (kumuliert)	
SummerRaubHeute	Anzahl der Besuche, bei denen Tränke geraubt wurde (kumuliert)	
TiergewichtAktuell	Über die Waage ermitteltes tatsächliches Tiergewicht	kg
TiergewichtBerechnet	Mittelwert der Tagswerte und der vorangegangenen Tage	kg
Konzentration	Konzentration der MAT-Tränke	g/l
Netzausfälle	Anzahl der Netzausfälle	
AnzahlGewicht	Anzahl der Messungen zur Ermittlung des Tiergewichtes beim aktuellen Besuch	
KraftfutterabrufKf	Abruf Kraftfutter KF heute (bis zum aktuellen Besuch)	g
KraftfutterabrufRelKf	Abruf Kraftfutter KF beim aktuellen Besuch	g
BesuchMitKf	Anzahl der Besuche, bei denen KF verabreicht wurde	
BesuchOhneKf	Anzahl der Besuche, bei denen kein KF verabreicht wurde	
Leerlaufzähler	Anzahl der Meldungen „Leerlauf Welle“	
TierTemperatur	gemessene Tiertemperatur	°C
TIM		
Ti_Bw_Adresse	Wiegetrog-Nummer	
Ti_Bw_Besuchszähler	Anzahl Besuche am Wiegetrog	
Ti_Bw_Nummer	Nummer des Tieres	
Ti_Bw_Datum	Datum Eintrag des Datensatzes	
Ti_Bw_ZeitAnfang	Zeit Besuchanfang	
Ti_Bw_ZeitEnde	Zeit Besuchende	
Ti_Bw_VerzehrFutter	Verzehr je Besuch	g
Ti_Bw_TroggewichtAnfang	Troggewicht bei Besuchanfang	
Ti_Bw_TroggewichtEnde	Troggewicht bei Besuchende	
Ti_Tg_VerzehrFutter	Heuverzehr je Tag	g/d
Rotronic HW3		
Zähler	Anzahl Messungen heute	
Datum	Datum Eintrag des Datensatzes	
Zeit	Uhrzeit der Messung	
Temperatur	gemessener Temperaturwert	°C
Feuchte	gemessener Feuchtwert	%

Tabelle A7: Rechnerisch ermittelte Messgrößen.

Berechnete Messgröße	Erläuterung	Einheit
Alter		d
TS-Aufnahmemenge	MAT, KF, Heu, Gesamt-TS	kg
Wasser-Aufnahmemenge	Tränke, Wasser, MAT-, KF-, Heu-Wasser	l
Energieaufnahme		MJ ME
Anzahl Besuche	Tränke gesamt, KF gesamt, Wasser, Heu, Besuche gesamt	
Sauggeschwindigkeit		l/min
Verweildauer (Tränke, KF)	je Besuch gesamt, je Besuch mit Anrecht, je Tag	min, min/d
Aufnahmemenge (Tränke, KF)	je Besuchszeit mit Anrecht, je Verweilzeit	l/min, kg/min
Besuchsdauer Heu	je Besuch, je Tag	min, min/d
Aufnahme Heu	je Besuchszeit	kg/min
Tägliche Zunahme		kg/d
Klima (Temperatur, Feuchte)	Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Maximum, Anzahl Messungen	°C, %

Tabelle A8: Dokumentation der während des Versuches festgestellten Technikprobleme.

Datum	Ereignis	Ursache	bereinigte Daten
27.03.2006	Tiere mit 43,1 °C Temperatur	Saugnuckel ist beschädigt	Temperaturdaten des jeweiligen Tages
06.04.2006	keine registrierten Besuche	Stromausfall im Kälberstall	alle Daten des jeweiligen Tages
18.04.2006	ATS rechts keine Meldung	keine CAN-Adresse gefunden	Futter- und Wasserdaten des jeweiligen Tags und des Folgetages
04.05.2006	keine Ausdosierung von KF rechts	Verbindungsfehler des KF-Automaten	Futter- und Wasserdaten des jeweiligen Tages
30.06.2006	keine Ausdosierung von KF rechts	Antennenkabel durchgebissen	Futter- und Wasserdaten des jeweiligen Tages
19.07.2006	PC abgeschaltet	defekter PC-Lüfter	alle Daten des jeweiligen Tages
01.08.2006	keine registrierten Besuche	gelockerte USB-Verbindung	Futter- und Wasserdaten des jeweiligen Tages
24.08.2006	keine Ausdosierung von KF rechts	Futterklappe verunreinigt	Futter- und Wasserdaten des jeweiligen Tages
25.09.2006	keine Wasseraufnahme rechts	ATS verkotet	Futter- und Wasserdaten des jeweiligen Tages

Tabelle A9: Ausgewählte Tageswerte des Kalbes 563.

Alter [d]	Aufnahmemenge					Messgröße	
	Tränke [l]	Trinkwasser [l]	MAT-TS [kg]	KF-TS [kg]	Heu-TS [kg]	Temperatur [°C]	Tiergewicht [kg]
9	5,5	0,00	0,48	0,00	0,00	39,2	
10	5,0	0,00	0,45	0,00	0,00	39,0	
11	5,5	0,00	0,51	0,01	0,00	39,3	47,3
12	3,0	0,00	0,29	0,01	0,00	39,0	44,5
13	4,0	0,00	0,39	0,10	0,02	39,2	45,8
14	5,5	0,00	0,56	0,00	0,00	39,0	45,7
15	5,0	0,00	0,52	0,00	0,00	39,2	44,1
16	5,0	0,00	0,54	0,00	0,00	39,3	46,3
17	5,0	0,10	0,55	0,00	0,00	39,0	45,1
18	5,0	0,10	0,56	0,00	0,00	39,2	44,7
19	5,3	0,00	0,60	0,02	0,02	39,1	44,6
20	5,5	0,20	0,62	0,03	0,04	39,1	45,0

Alter [d]	Abbruch	Anzahl Besuche					
	Tränke	mit Tränke	ohne Tränke	mit KF	ohne KF	Trinkwasser	Heu
9	0	2	3	19	0	2	3
10	2	11	1	0	0	1	0
11	0	2	2	28	0	0	0
12	4	11	1	14	0	2	5
13	0	2	10	32	2	0	
14	4	9	0	0	0	7	4
15	0	2	13	11	0	4	6
16	0	2	21	11	0	10	0
17	0	2	27	23	0	9	0
18	0	2	16	10	0	2	3
19	0	2	28	33	0	5	6
20	1	4	26	42	0	10	20

Tabelle A10: Referenzparameter zur Ermittlung der Messgenauigkeit der Technik und der Vormagenentwicklung.

	Referenzparameter	
- Messgenauigkeit der Technik	Menge von	TA Wasser MAT KF Trinkwasser Heu Gewicht Rektale Temperatur
- Vormagenentwicklung		Pansenzottenlänge Pansenzottenbreite Pansenzottendichte Pansenzottenoberfläche Pansenzottenoberfläche/cm ² Pansengrundfläche Pansenfläche Pansengewicht

Tabelle A11: Schlachtdaten mit Tierinformation.

Schlachtdatum	Tiernr.	Geburtsdatum	Ausstalldatum	Ausstallalter [LT]
28.06.2006	556	26.03.2006	27.06.2006	93
	557	02.04.2006	27.06.2006	86
	558	15.04.2006	27.06.2006	73
	559	20.04.2006	27.06.2006	68
	560	29.04.2006	27.06.2006	59
	561	06.05.2006	27.06.2006	52
	562	14.05.2006	27.06.2006	44
	817	14.03.2006	27.06.2006	105
	831	06.05.2006	27.06.2006	52
	832	09.05.2006	27.06.2006	49
09.08.2006	563	23.05.2006	09.08.2006	78
	564	03.06.2006	09.08.2006	67
	566	03.06.2006	09.08.2006	67
	568	12.06.2006	09.08.2006	58
	572	19.06.2006	09.08.2006	51
13.09.2006	565	03.06.2006	13.09.2006	102
	567	08.06.2006	13.09.2006	97
	569	13.06.2006	13.09.2006	92
	570	14.06.2006	13.09.2006	91
	571	16.06.2006	13.09.2006	89
	576	20.07.2006	13.09.2006	55
	835	01.06.2006	13.09.2006	104
	838	04.07.2006	13.09.2006	71
11.10.2006	573	06.07.2006	11.10.2006	97
	574	08.07.2006	11.10.2006	95
	575	19.07.2006	11.10.2006	84
	577	20.07.2006	11.10.2006	83
	578	25.07.2006	11.10.2006	78
	579	27.07.2006	11.10.2006	76
	580	31.07.2006	11.10.2006	72
	08.11.2006	581	01.08.2006	08.11.2006
583		16.08.2006	08.11.2006	84
584		19.08.2006	08.11.2006	81
585		26.08.2006	08.11.2006	74
586		28.08.2006	08.11.2006	72
587		03.09.2006	08.11.2006	66
588		05.09.2006	08.11.2006	64
589		06.09.2006	08.11.2006	63
846		06.09.2006	08.11.2006	63

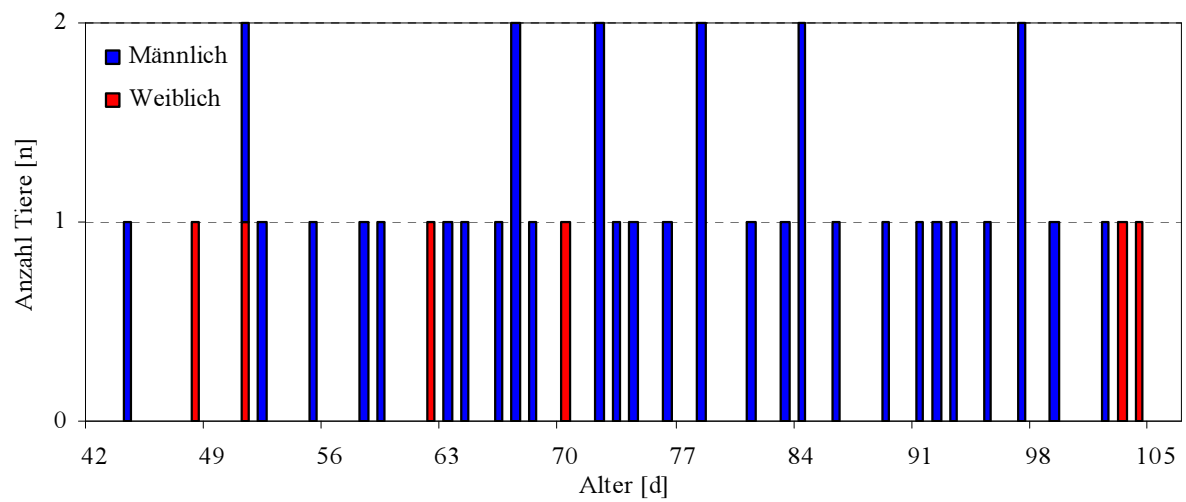


Abbildung A3: Altersmäßige Verteilung der Schlachttiere.



Abbildung A4: Probennahme am Schlachthof.



Abbildung A5: Ausstanzprobe des Pansengewebes mit Maßstab.



Abbildung A6: Ausgebreiteter Pansen-Haube-Komplex mit Ausstanzungen.

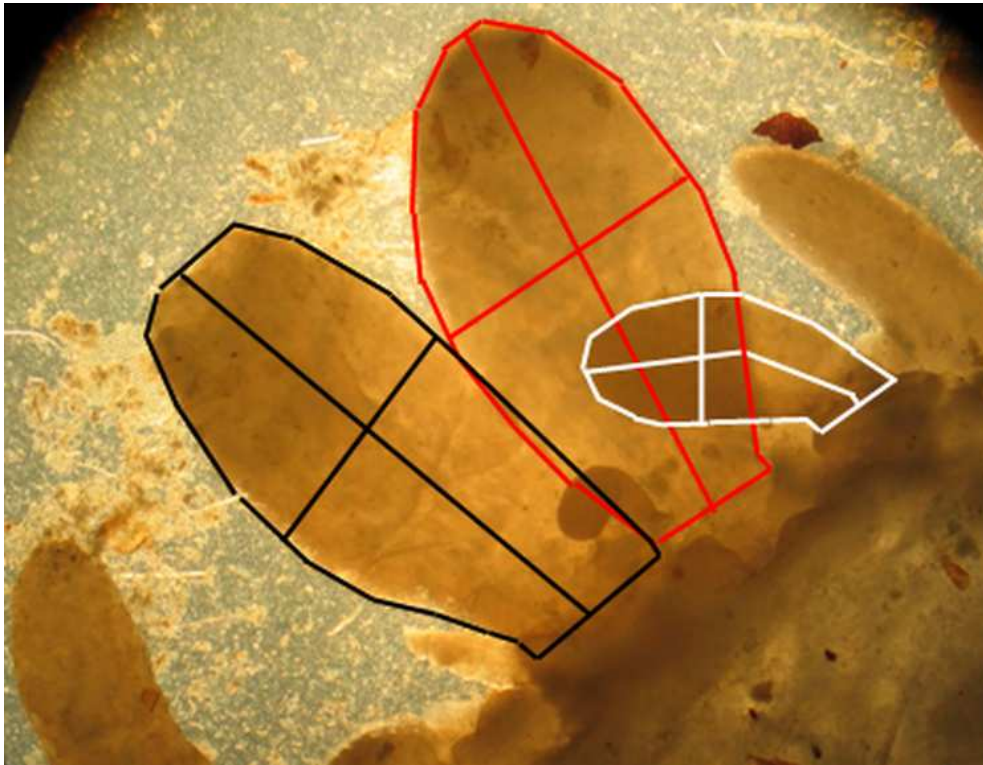


Abbildung A7: Vermessen der Pansenzotten am Bildschirm.

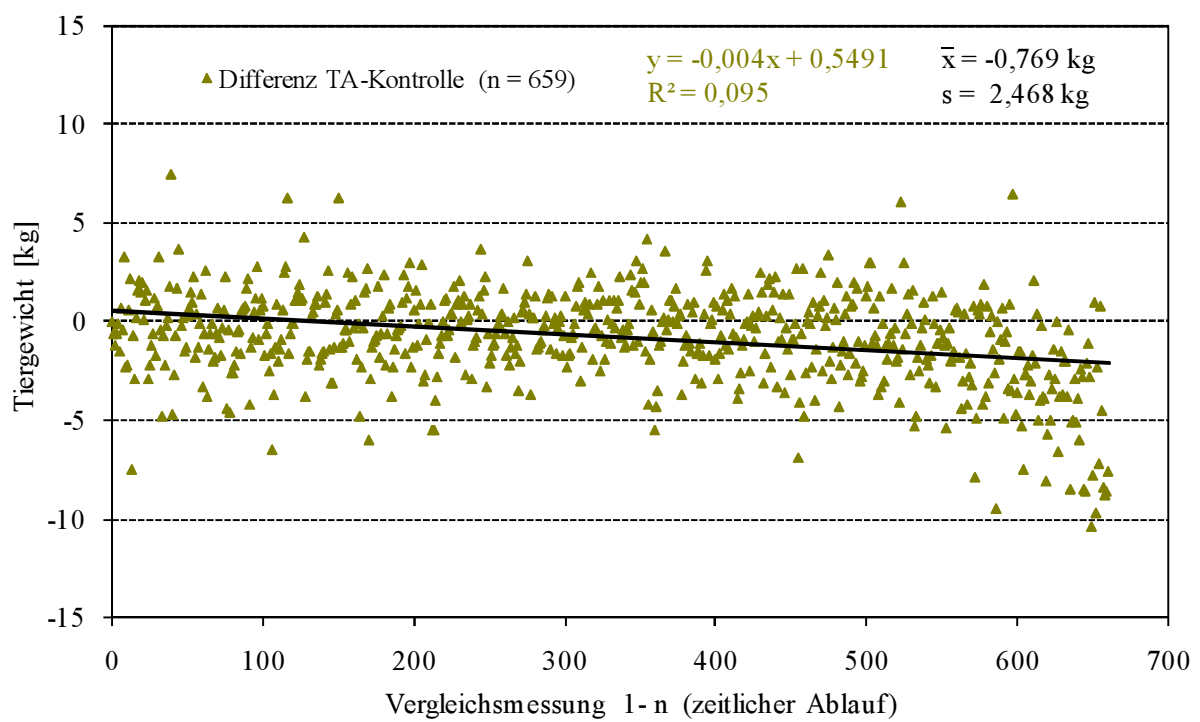


Abbildung A8: Genauigkeit der Tierwaage im Tränkestand (alle Messungen aller Tiere).

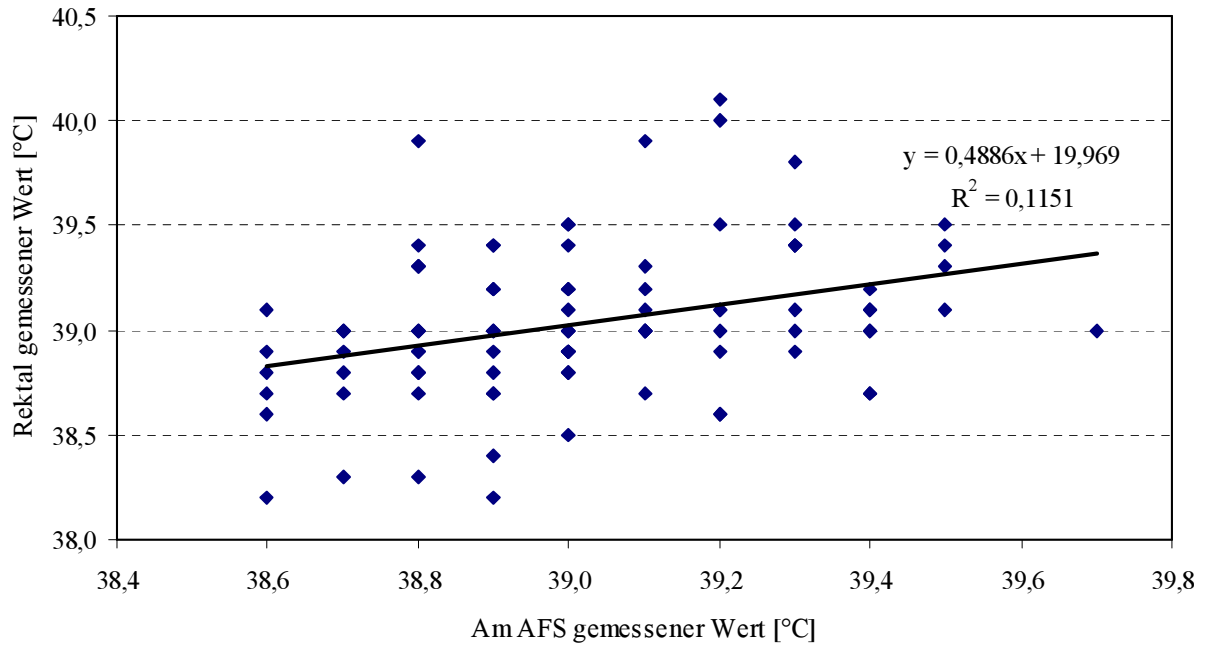


Abbildung A9: Zusammenhang zwischen der rektal und der am AFS gemessenen Temperatur.

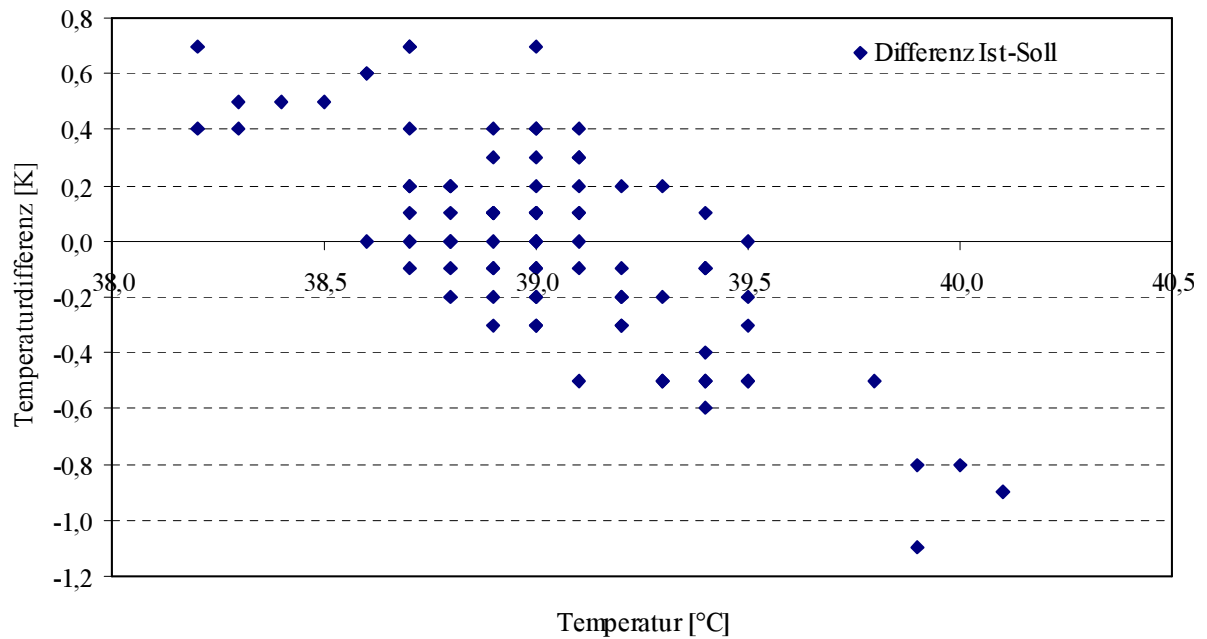


Abbildung A10: Differenz der am AFS gemessenen Temperatur zur Kontrolltemperatur.

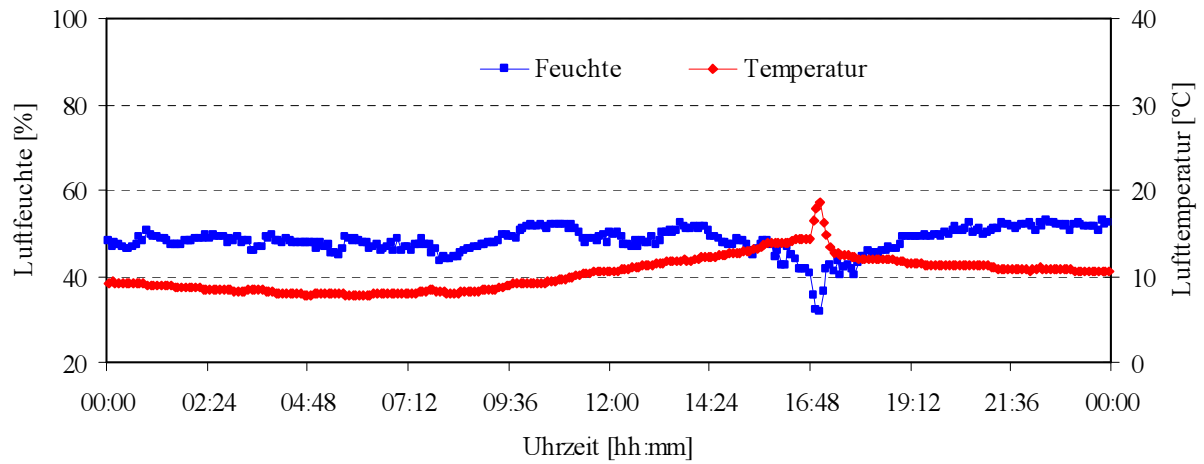


Abbildung A11: Tagesklima vom 14.03.2006.

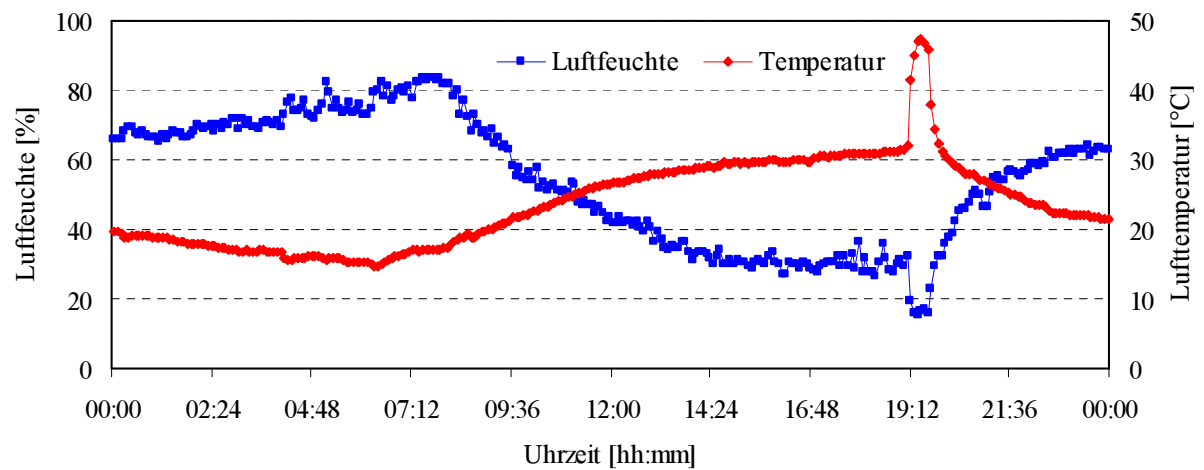


Abbildung A12: Tagesklima vom 19.07.2006.

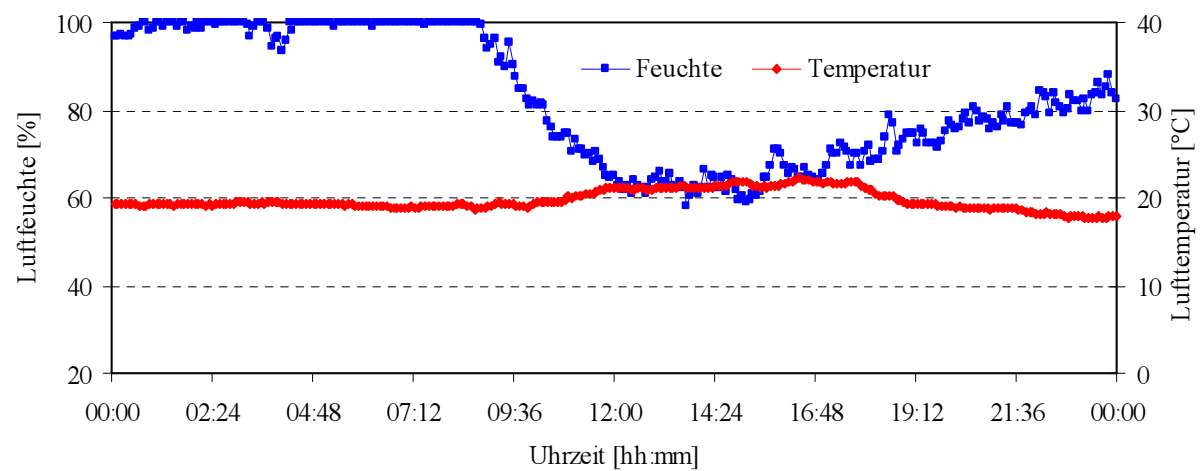


Abbildung A13: Tagesklima vom 02.10.2006.

Tabelle A12: Ausgewählte tägliche Mittelwerte und Standardabweichung ($\bar{x} \pm s$) von Wasser- und TS-Aufnahmen in Abhängigkeit vom Alter.

Alter [LT]	GW [l d ⁻¹]	TW [l d ⁻¹]	MT [l d ⁻¹]	GTS [kg d ⁻¹]	MAT-TS [kg d ⁻¹]	KF-TS [kg d ⁻¹]	HTS [kg d ⁻¹]
10	4,87 ± 1,38	0,12 ± 0,30	4,71 ± 1,27	0,45 ± 0,13	0,42 ± 0,11	0,02 ± 0,04	0,01 ± 0,02
21	6,83 ± 1,54	0,21 ± 0,42	6,54 ± 1,39	0,81 ± 0,21	0,74 ± 0,16	0,05 ± 0,08	0,03 ± 0,06
36	7,46 ± 1,35	0,33 ± 0,43	7,08 ± 1,21	1,01 ± 0,23	0,80 ± 0,14	0,16 ± 0,16	0,05 ± 0,05
49	7,61 ± 1,50	0,79 ± 1,01	6,64 ± 0,85	1,39 ± 0,47	0,75 ± 0,10	0,53 ± 0,41	0,12 ± 0,11
62	7,04 ± 1,67	2,25 ± 1,55	4,55 ± 0,41	2,01 ± 0,48	0,51 ± 0,05	1,34 ± 0,45	0,17 ± 0,13
74	10,46 ± 3,01	9,97 ± 2,95	0,14 ± 0,33	2,39 ± 0,38	0,01 ± 0,04	1,74 ± 0,10	0,62 ± 0,36
93	15,56 ± 3,90	15,07 ± 3,87	0,03 ± 0,12	3,07 ± 0,53	0,00 ± 0,01	1,83 ± 0,11	1,24 ± 0,54

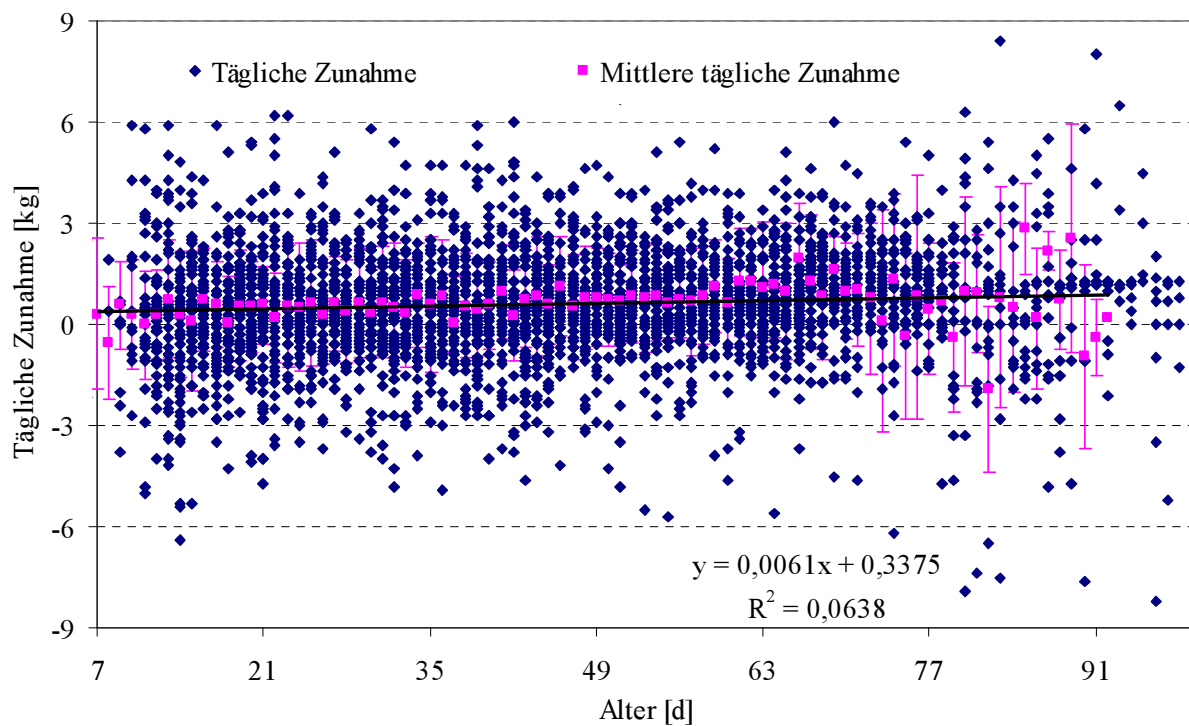


Abbildung A14: Altersabhängige mittlere Zunahmen aller 66 Kälber.

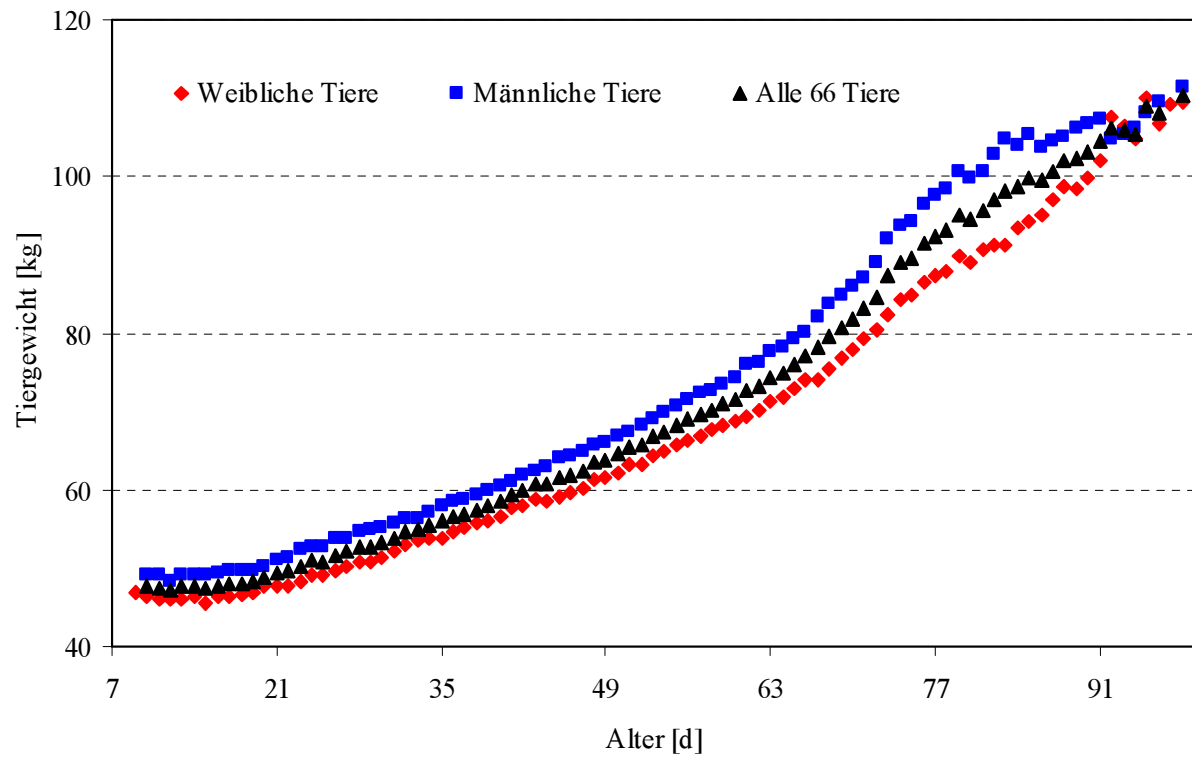


Abbildung A15: Mittelwerte der Tiergewichte aller 66 Kälber.

Tabelle A13: Multiple Korrelationen mit der Zielgröße TW (Residuen $N(0,1)$; $p \leq 0,05$).

Abbauschritt	Multiple Korrelationen im Altersabschnitt					
	Gesamt-Tränkezeit		LT 8 bis 14		LT 15 bis 21	
	n = 2911		n = 212		n = 421	
	Zielgröße = TW ^{0,294}		Zielgröße = TW ^{0,294}		Zielgröße = TW ^{0,010}	
Variable	Korr.- Zuwachs	Variable	Korr.- Zuwachs	Variable	Korr.- Zuwachs	
1	Geschlecht	0,543	Gewicht	0,354	Heu-TS	0,240
2	Heu-TS	0,546	Alter	0,353	Temperatur	0,238
3	MAT-TS	0,547	MAT-TS	0,354	Alter	0,239
4	Temperatur	0,544	KF-TS	0,346	Gewicht	0,237
5	Gewicht	0,545	Temperatur	0,325	MAT-TS	0,232
6	Alter	0,543	Heu-TS	0,280	KF-TS	0,222
7	KF-TS	0,523	Geschlecht	0,211	Geschlecht	0,193

Abbauschritt	Multiple Korrelationen im Altersabschnitt					
	LT 22 bis 42		LT 43 bis 56		LT 57 bis 70	
	n = 1275		n = 777		n = 178	
	Zielgröße = TW ^{0,250}		Zielgröße = TW ^{0,500}		Zielgröße = TW	
Variable	Korr.- Zuwachs	Variable	Korr.- Zuwachs	Variable	Korr.- Zuwachs	
1	Heu-TS	0,310	Alter	0,441	MAT-TS	0,685
2	Gewicht	0,312	Heu-TS	0,546	Temperatur	0,691
3	Temperatur	0,314	MAT-TS	0,440	Geschlecht	0,687
4	Geschlecht	0,312	Temperatur	0,443	Heu-TS	0,668
5	MAT-TS	0,311	Gewicht	0,442	Gewicht	0,653
6	Alter	0,306	Geschlecht	0,418	Alter	0,623
7	KF-TS	0,268	KF-TS	0,406	KF-TS	0,583

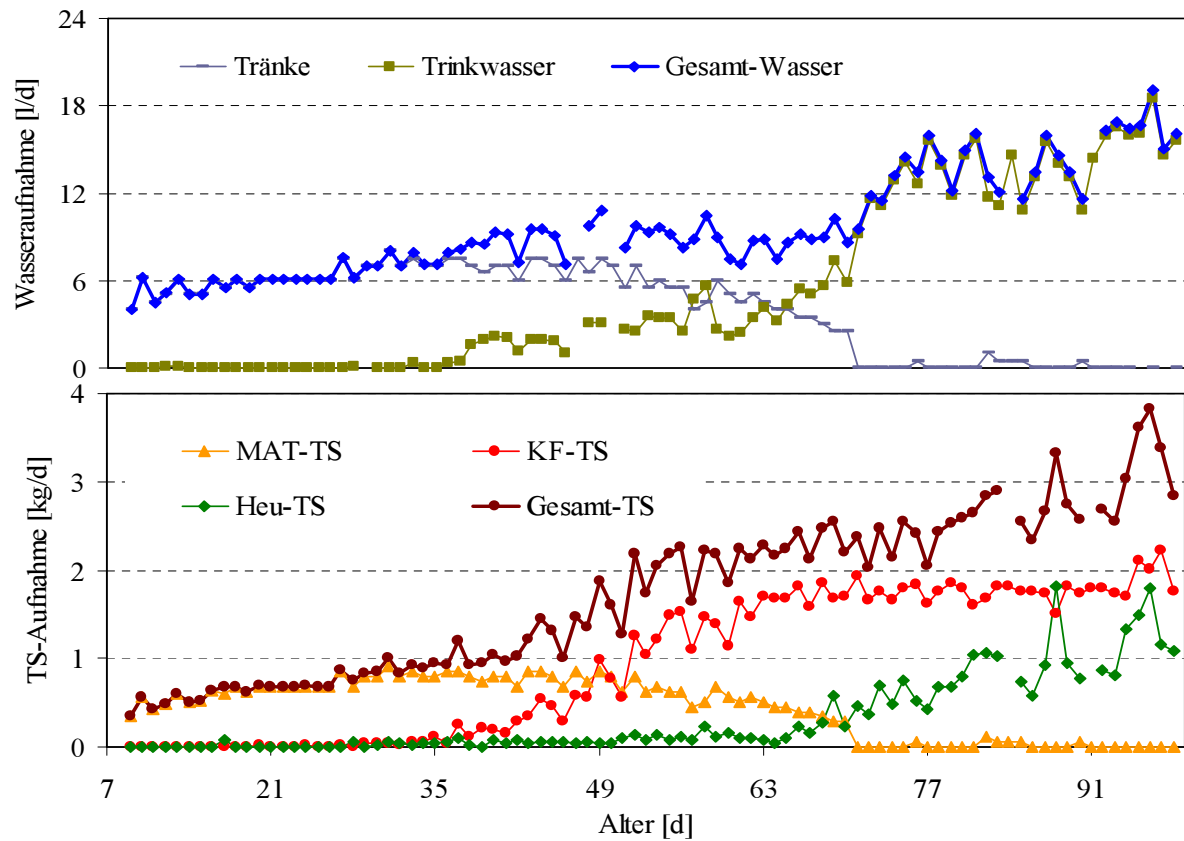


Abbildung A16: Mittlere Aufnahmemengen vom männlichen Kalb 565.

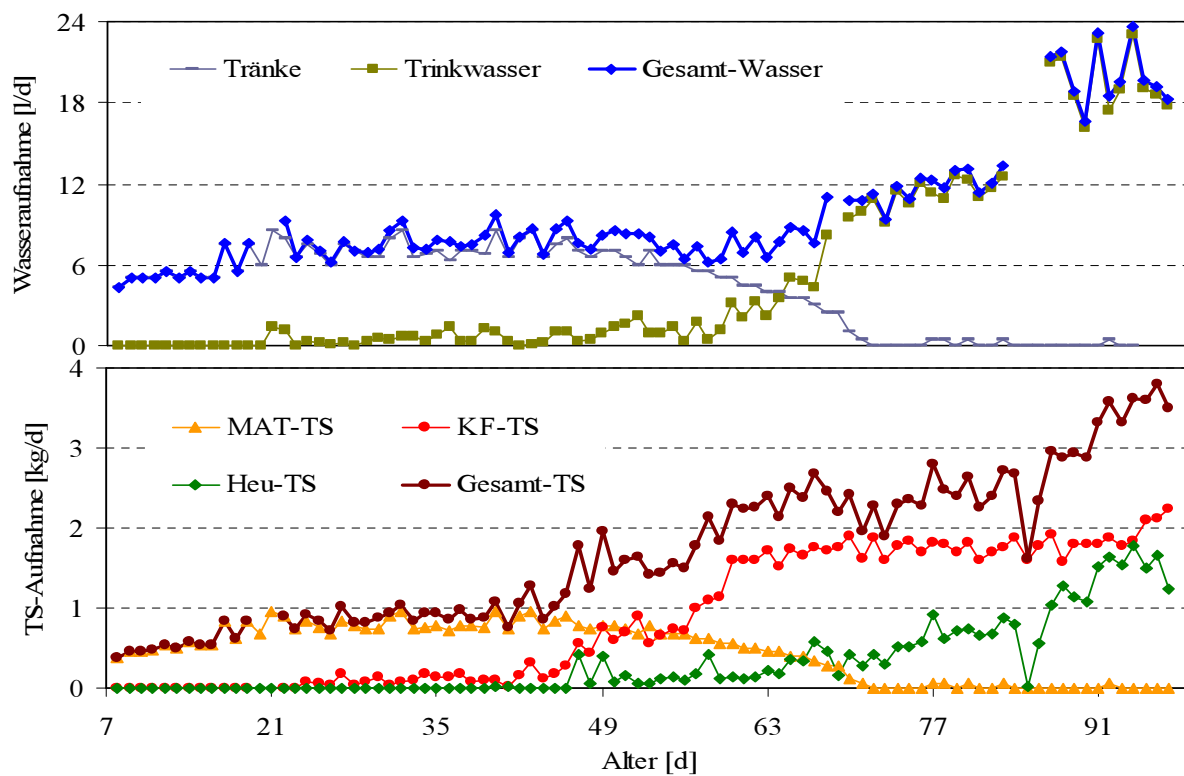


Abbildung A17: Mittlere Aufnahmemengen vom männlichen Kalb 581.

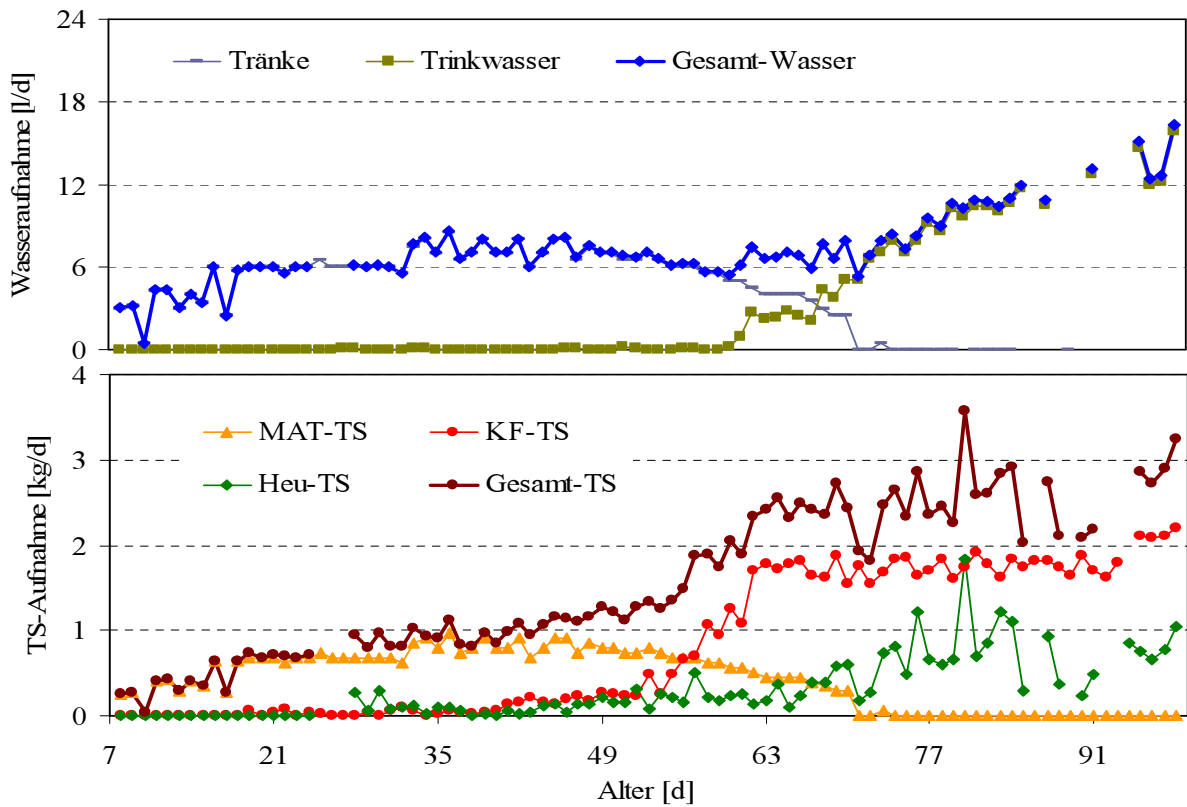


Abbildung A18: Mittlere Aufnahmemengen vom weiblichen Kalb 820.

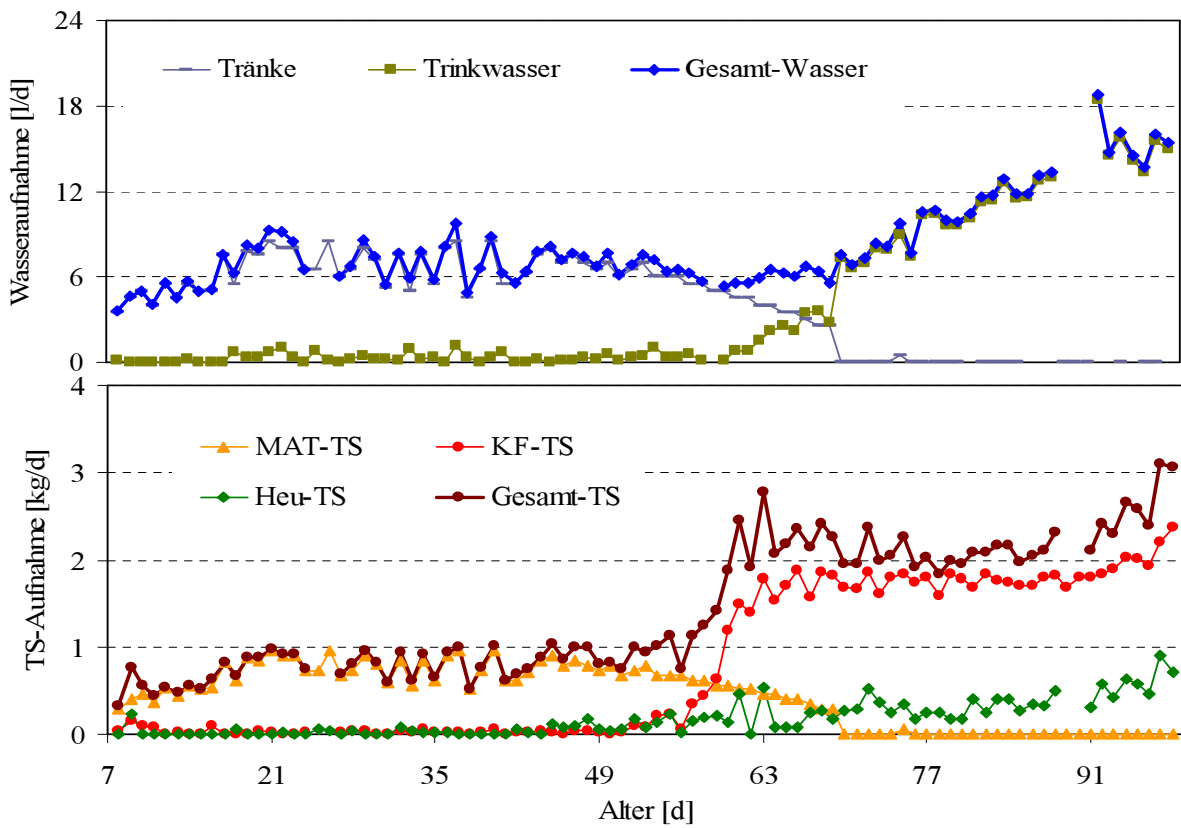


Abbildung A19: Mittlere Aufnahmemengen vom weiblichen Kalb 841.

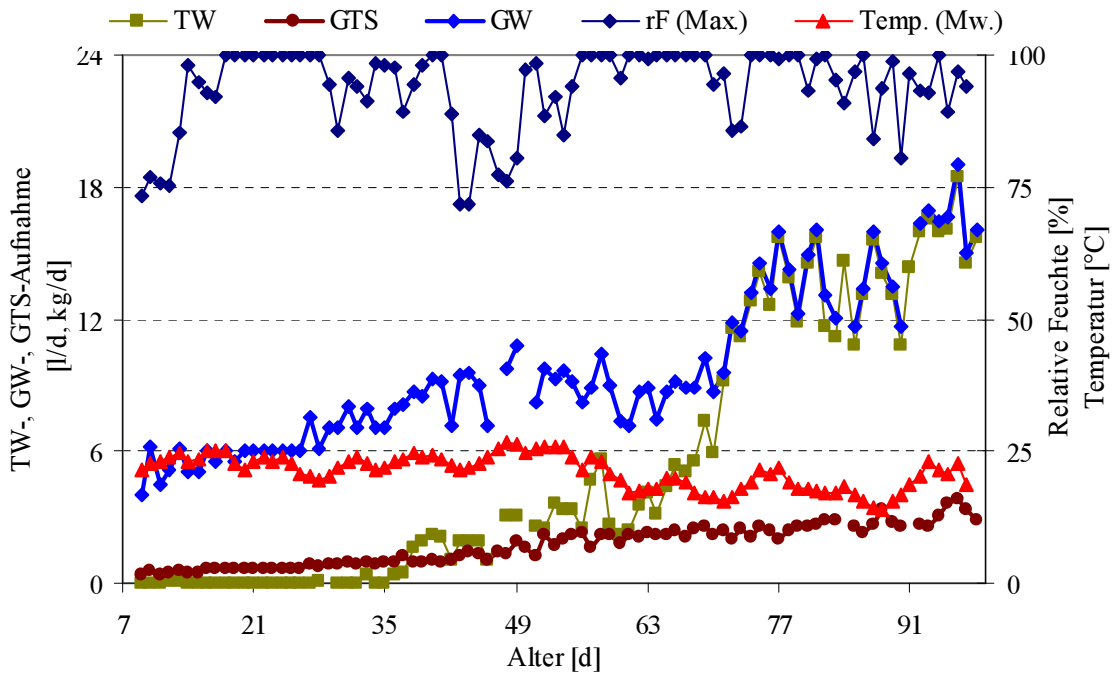


Abbildung A20: Klimadaten in Verbindung mit den mittleren Aufnahmemengen vom männlichen Kalb 565.

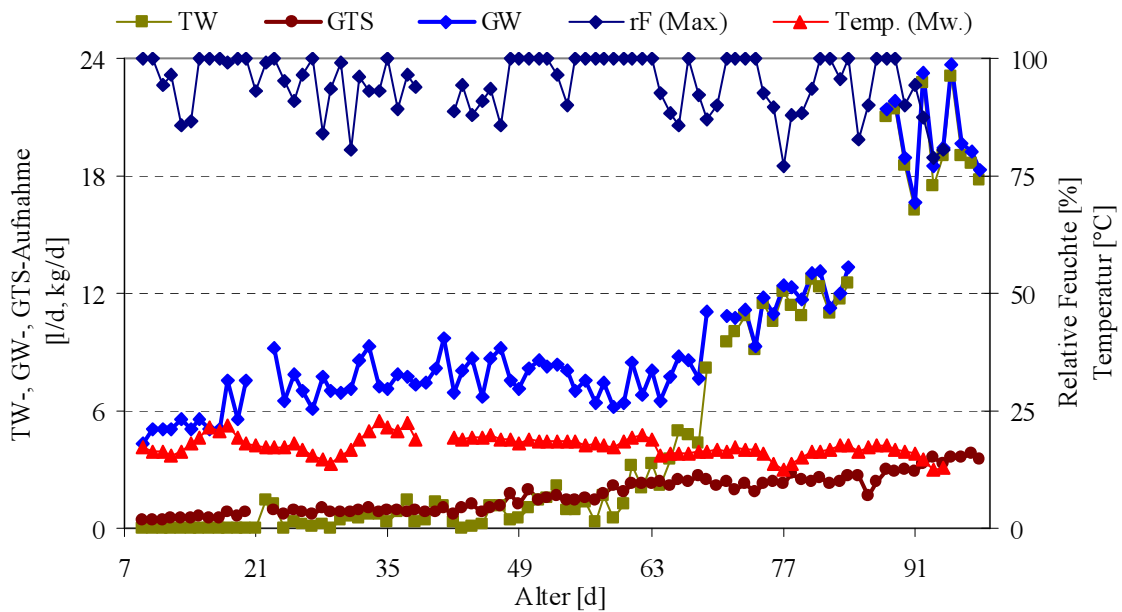


Abbildung A21: Klimadaten in Verbindung mit den mittleren Aufnahmemengen vom männlichen Kalb 581.

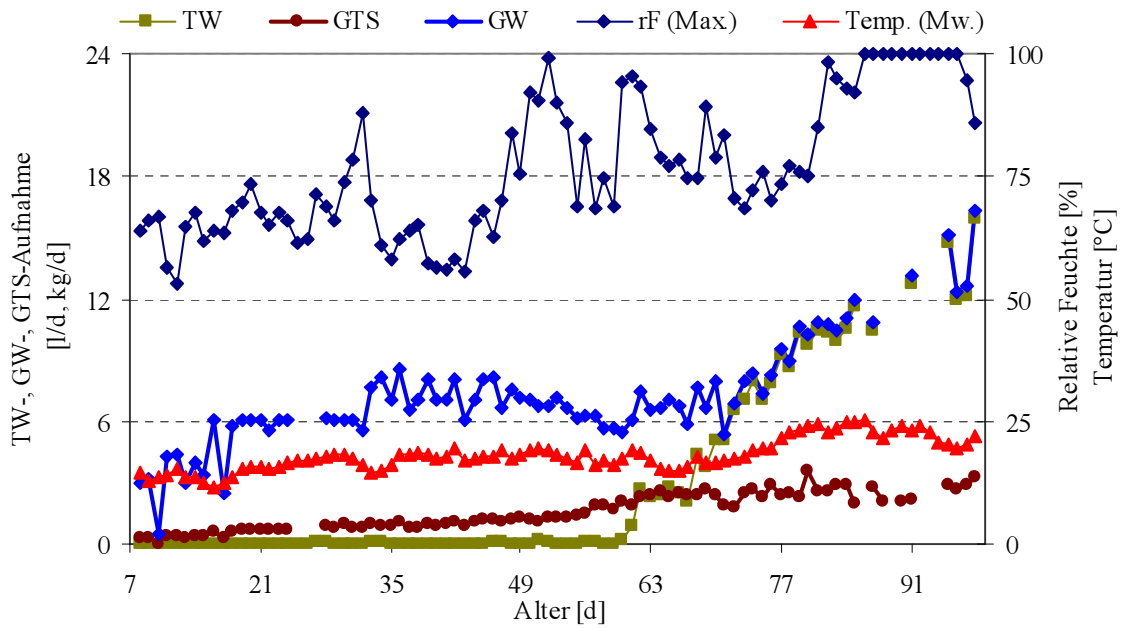


Abbildung A22: Klimadaten in Verbindung mit den mittleren Aufnahmemengen vom weiblichen Kalb 820.

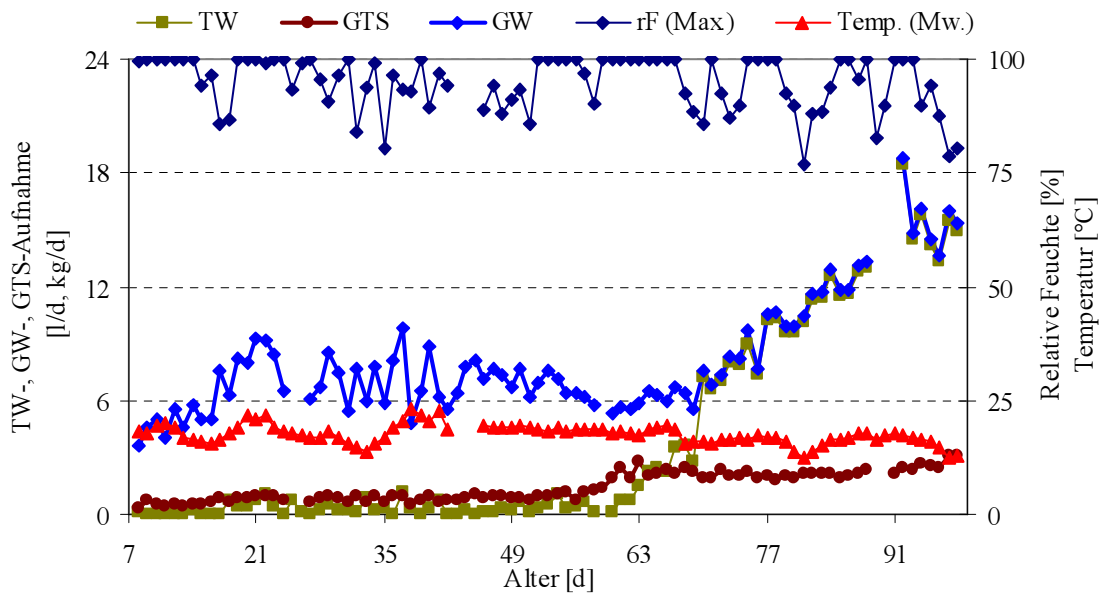


Abbildung A23: Klimadaten in Verbindung mit den mittleren Aufnahmemengen vom weiblichen Kalb 841.

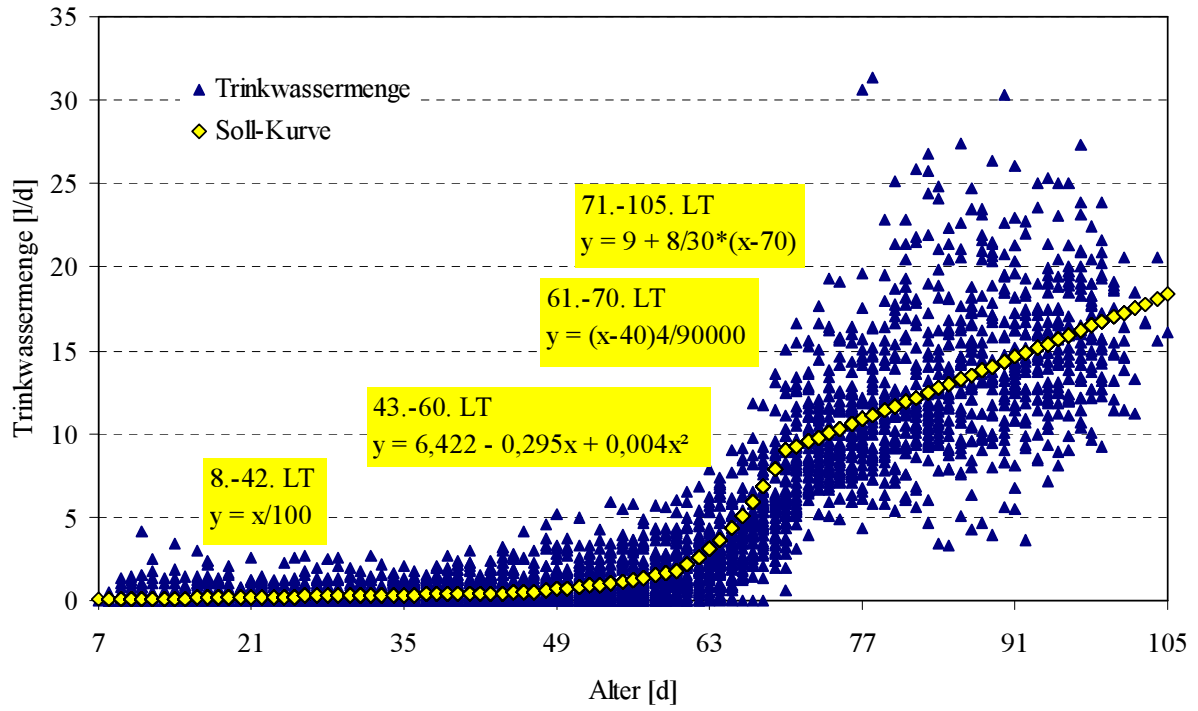


Abbildung A24: Altersabhängige TW-Aufnahme mit Trinkwassermenge-Sollkurve.

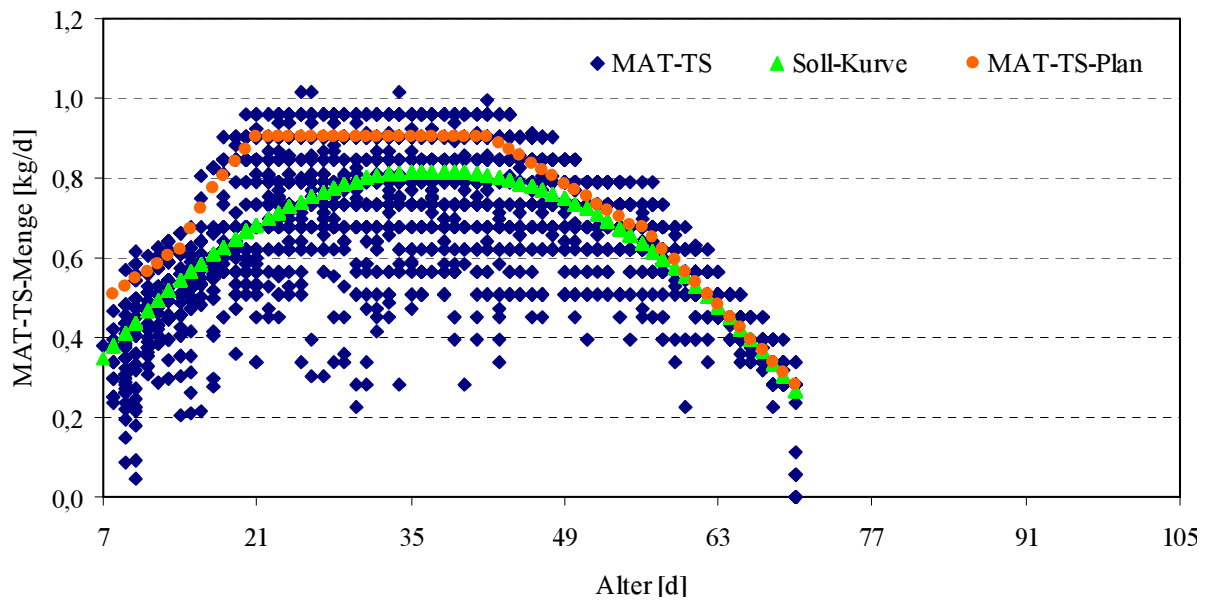


Abbildung A25: Altersabhängige TW-Aufnahme, MAT-TS-Plan und MAT-TS-Sollkurve.

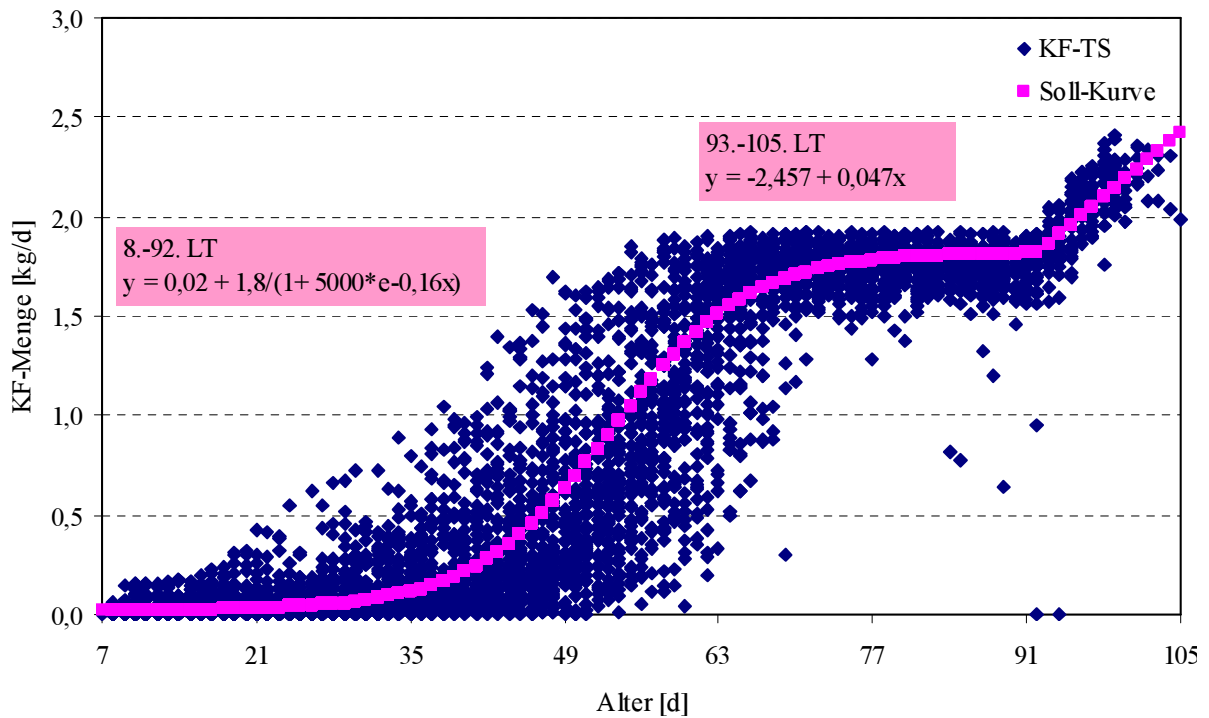


Abbildung A26: Altersabhängige KF-TS-Aufnahme mit Kraftfuttermenge-Sollkurve.

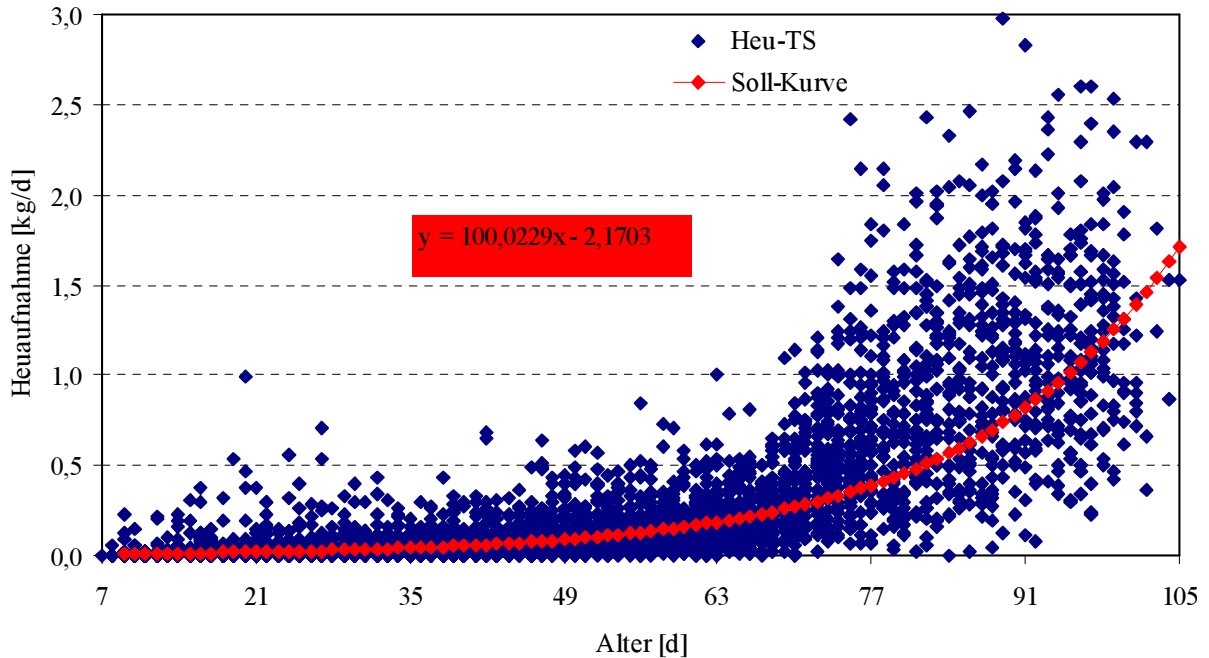


Abbildung A27: Altersabhängige Heu-Aufnahme mit Heu-TS-Menge-Sollkurve.

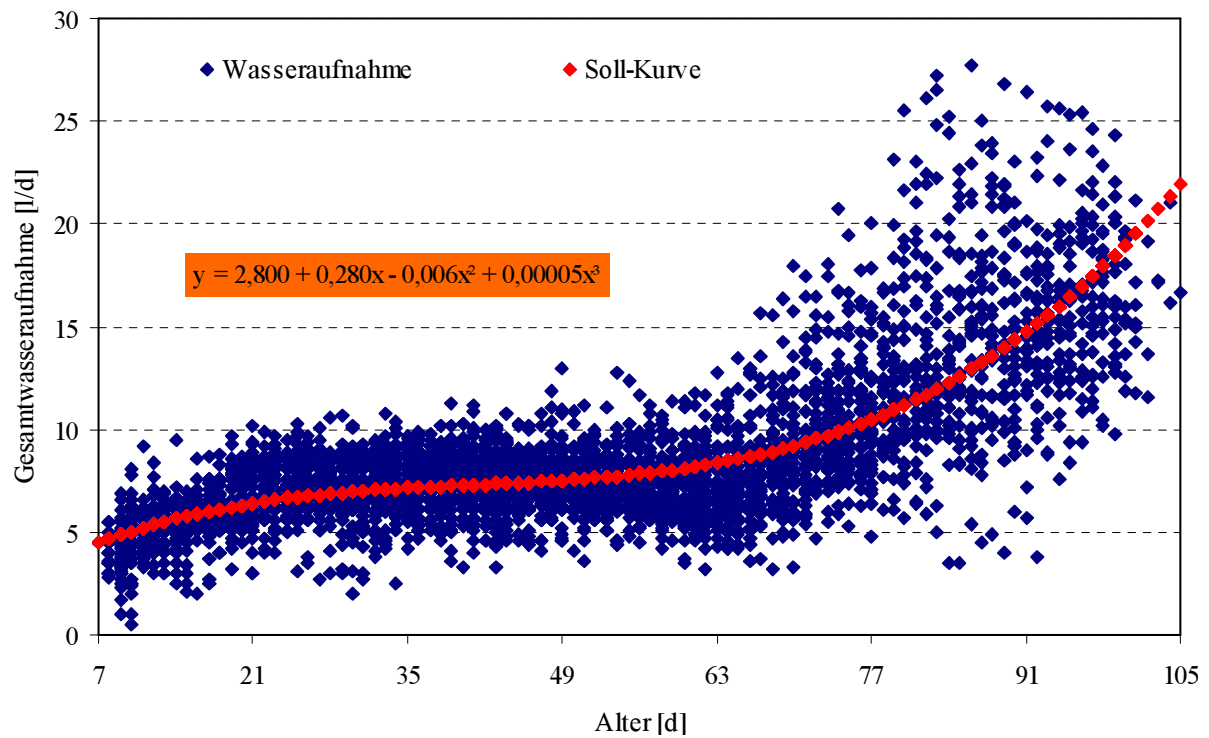


Abbildung A28: Altersabhängige Gesamtwassermenge -Aufnahme mit GW -Sollkurve.

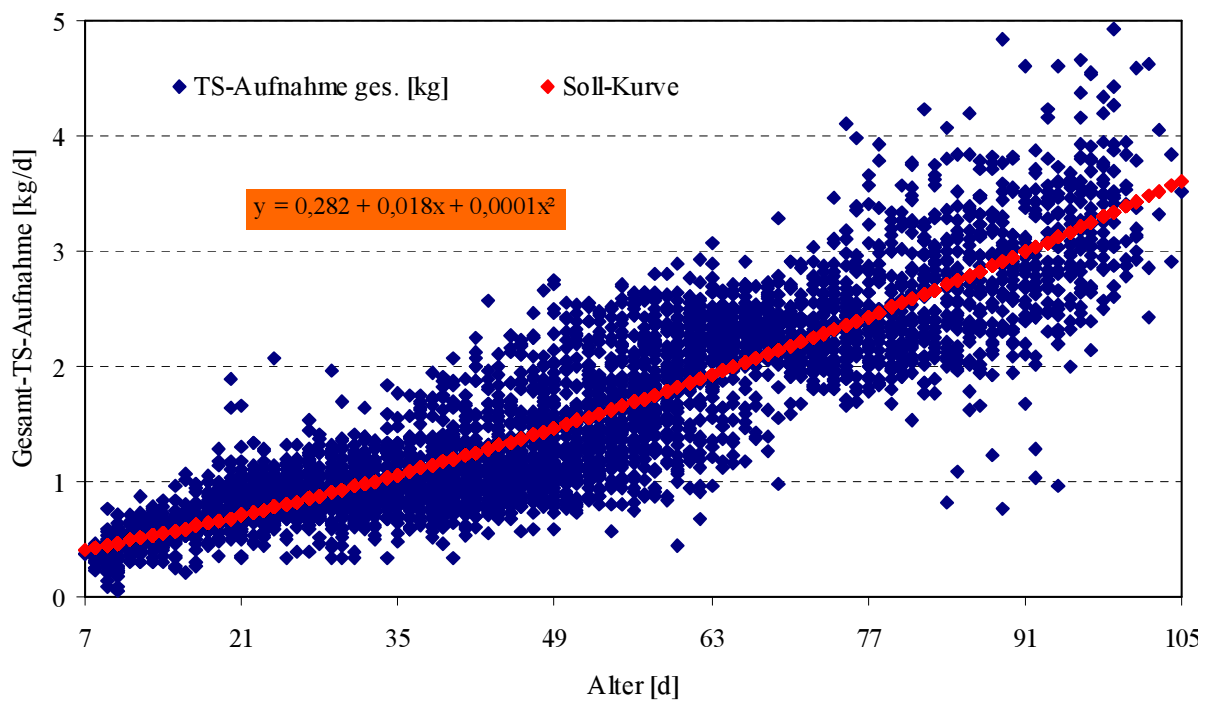


Abbildung A29: Altersabhängige Gesamt-TS-Aufnahme mit GTS-Sollkurve.

Tabelle A14: Korrelationskoeffizienten zwischen den Differenzwerten der Ist-Aufnahme zum Sollwert und den Klimadaten.

Parameter	Korrelationskoeffizient r der Differenzwerte von							
	Alter	MT	TW	MAT-TS	KF-TS	HTS	GTS	GW
MT	0,000							
TW	-0,027	0,041						
MAT-TS	0,000	0,987	0,023					
KF-TS	-0,115	0,052	0,153	0,063				
HTS	0,097	-0,003	0,138	0,001	0,027			
GTS	0,000	0,396	0,151	0,419	0,675	0,573		
GW	0,000	0,636	0,885	0,635	0,216	0,189	0,271	
\bar{x} (Feuchte)	-0,157	0,139	0,090	-0,034	0,097	0,061	-0,009	0,107
Max(Feuchte)	-0,177	0,202	0,100	0,065	0,102	0,075	0,035	0,134
\bar{x} (T)	-0,023	0,105	0,033	0,247	0,021	0,019	0,057	0,036
Max(T)	-0,026	0,099	0,007	0,210	-0,007	-0,004	0,089	0,021

P < 0,0001, P > 0,0001

Tabelle A15: Tagesdaten der mittleren Anzahl an Besuchen ($\bar{x} \pm s$) je Kalb während der Anlern- und Abgewöhnphase.

Alter [LT]	Anzahl Tiere	Mittlere Anzahl Besuche					
		mit MT	ohne MT	mit KF	ohne KF	TW	Heu
8	17	4 ± 3	2 ± 2	5 ± 7	0 ± 0	2 ± 3	6 ± 15
9	56	4 ± 3	3 ± 3	6 ± 14	0 ± 2	2 ± 5	4 ± 21
10	62	4 ± 3	4 ± 4	8 ± 16	1 ± 3	4 ± 9	3 ± 8
11	65	3 ± 3	5 ± 6	10 ± 15	2 ± 7	4 ± 8	2 ± 4
12	65	3 ± 2	7 ± 6	14 ± 20	0 ± 2	5 ± 8	4 ± 9
13	65	3 ± 2	7 ± 6	13 ± 16	0 ± 2	4 ± 7	3 ± 5
14	65	3 ± 2	9 ± 9	18 ± 22	0 ± 1	5 ± 9	5 ± 12
64	54	8 ± 2	16 ± 8	24 ± 14	14 ± 17	20 ± 17	14 ± 15
65	54	8 ± 3	16 ± 8	21 ± 13	17 ± 16	22 ± 24	13 ± 8
66	53	7 ± 2	16 ± 8	21 ± 15	20 ± 18	23 ± 17	13 ± 10
67	50	6 ± 2	17 ± 8	20 ± 14	23 ± 20	25 ± 16	12 ± 6
68	49	6 ± 3	18 ± 11	18 ± 15	30 ± 22	26 ± 16	17 ± 8
69	49	6 ± 5	19 ± 10	16 ± 12	35 ± 26	26 ± 15	16 ± 9
70	49	4 ± 4	22 ± 13	16 ± 16	43 ± 26	29 ± 17	18 ± 11

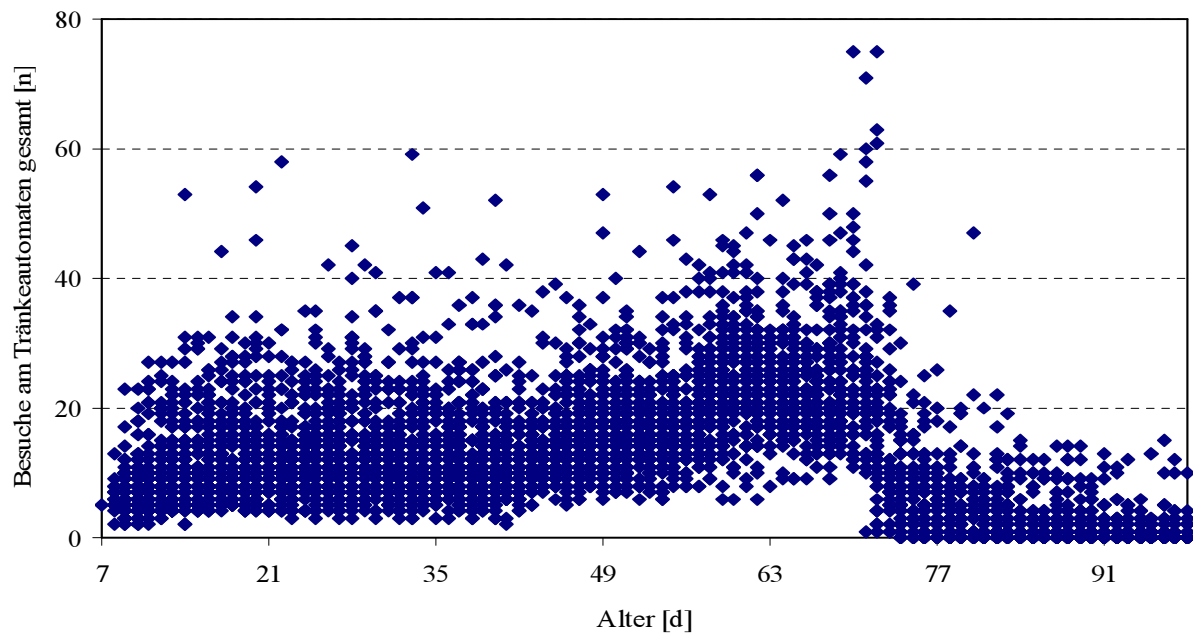


Abbildung A30: Altersabhängige Verteilung der Besuche am Tränkeautomaten.

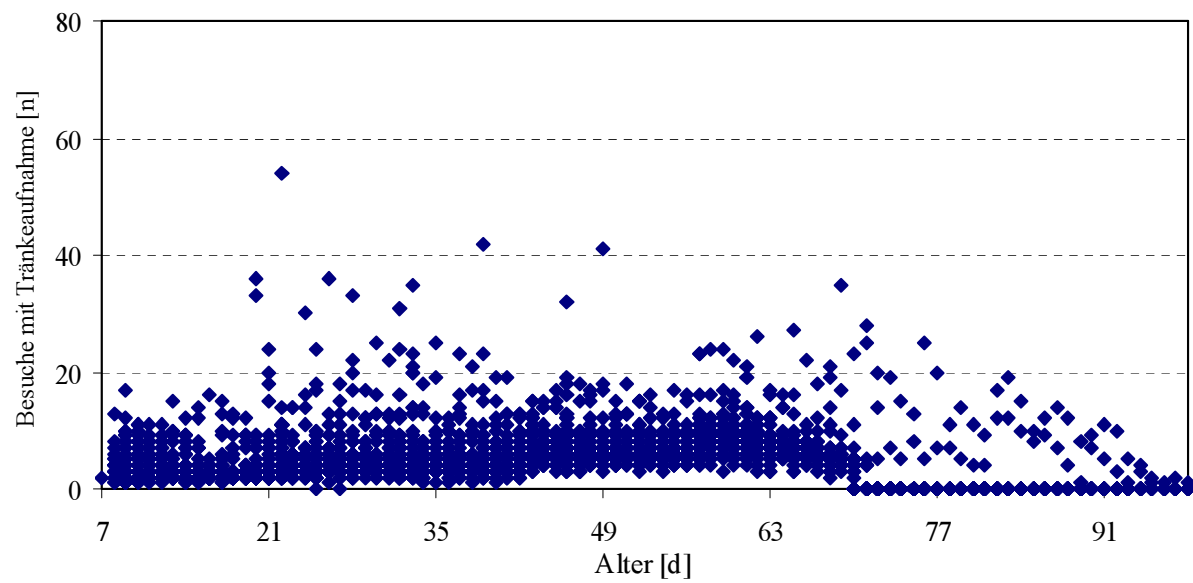


Abbildung A31: Altersabhängige Verteilung der Besuche mit Tränkeaufnahme.

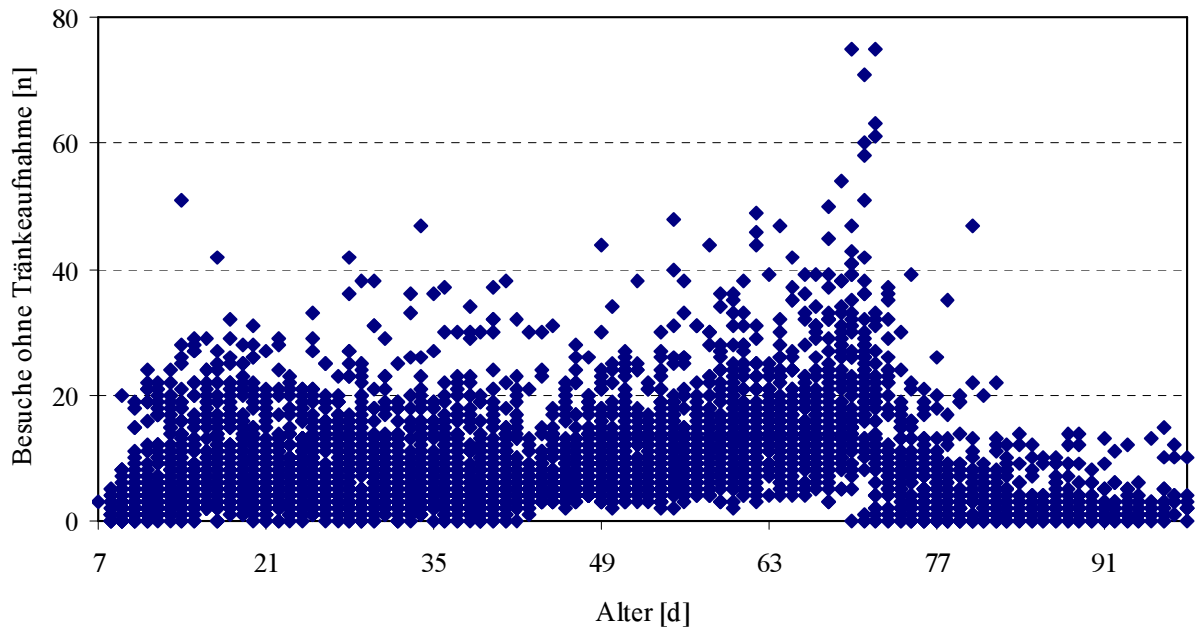


Abbildung A32: Altersabhängige Verteilung der Besuche ohne Tränkeaufnahme.

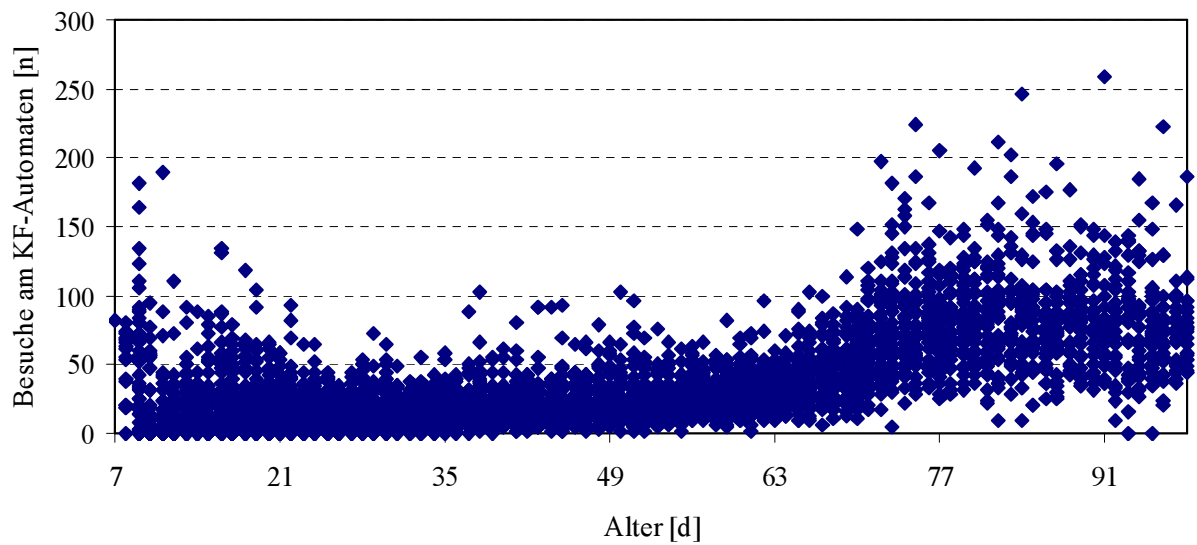


Abbildung A33: Altersabhängige Verteilung der Besuche am Kraftfutterautomaten.

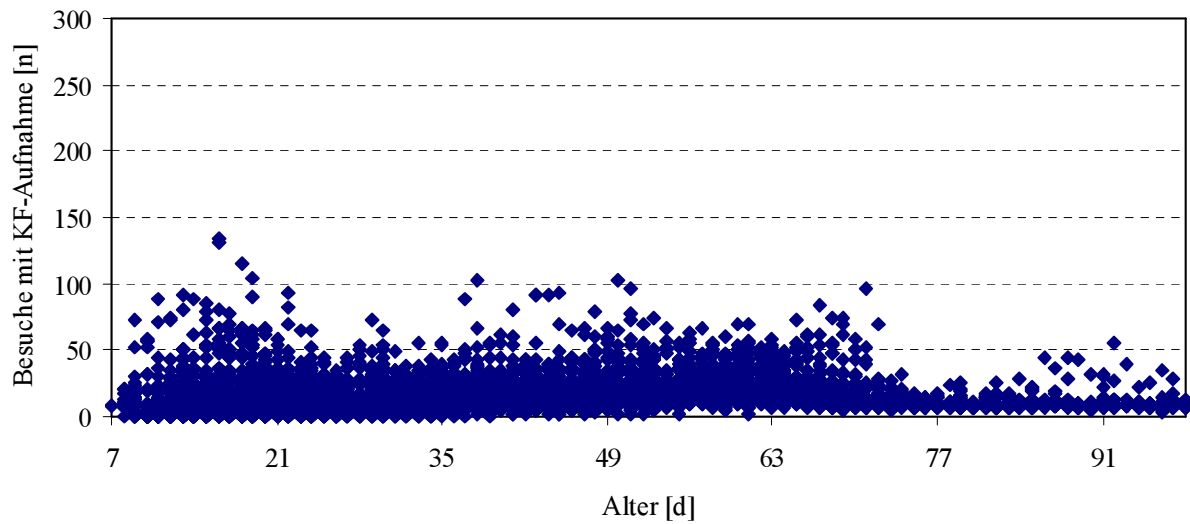


Abbildung A34: Altersabhängige Verteilung der Besuche mit Kraftfutteraufnahme.

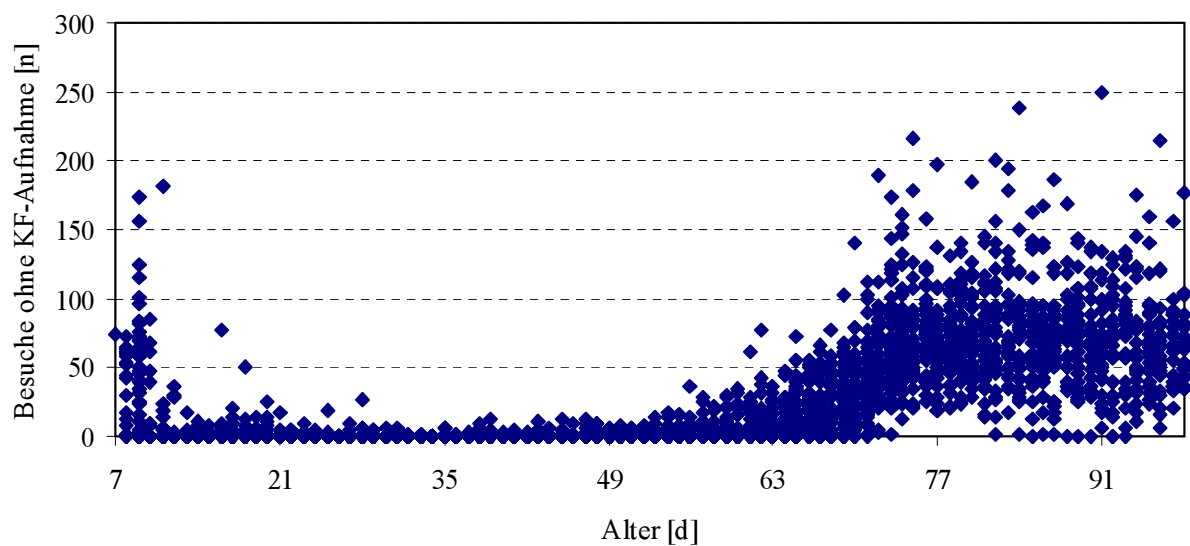


Abbildung A35: Altersabhängige Verteilung der Besuche ohne Kraftfutteraufnahme.

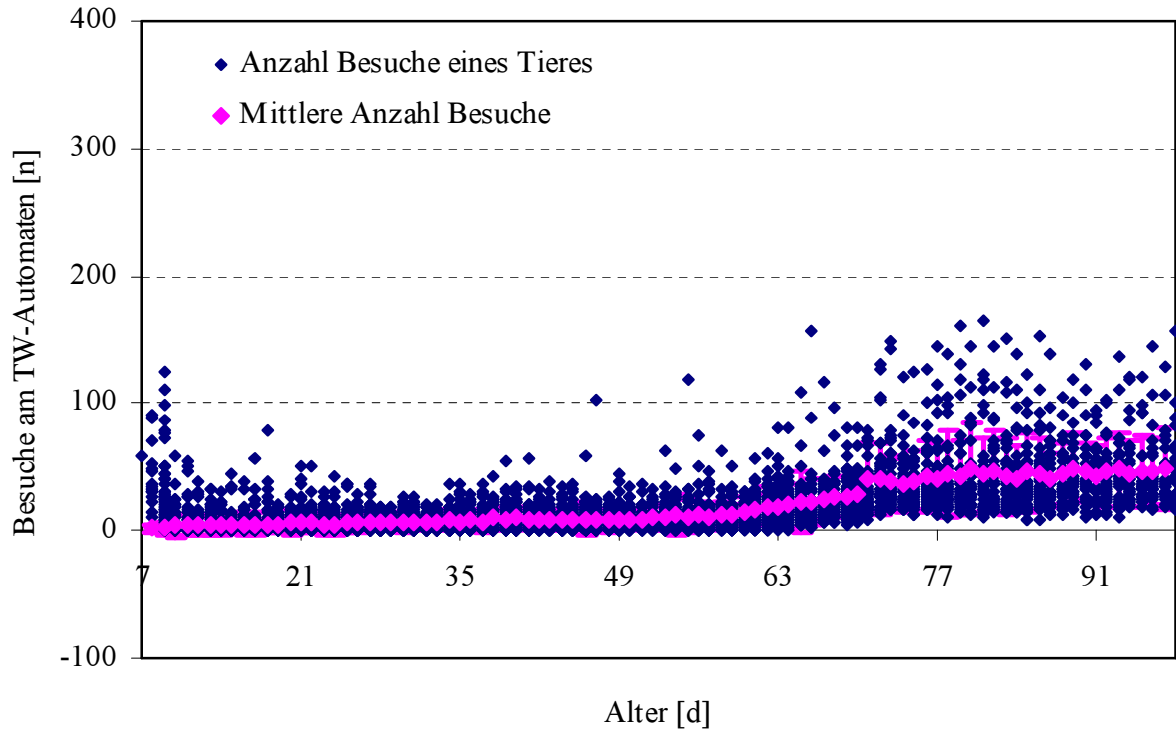


Abbildung A36: Altersabhängige Verteilung der Besuche am TW-Automaten.

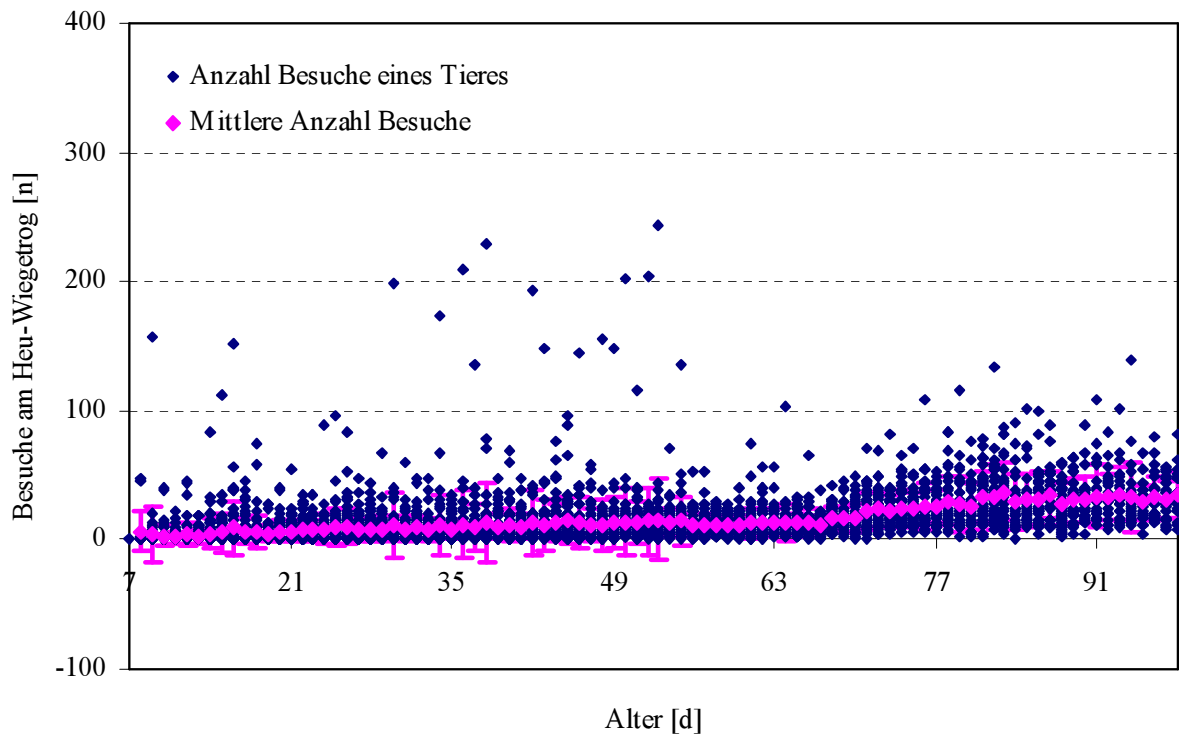


Abbildung A37: Altersabhängige Verteilung der Besuche am Heu-Wiegetrog.

Tabelle A16: Korrelationskoeffizienten zwischen der Anzahl an Besuchen an den Automaten und verschiedenen Altersabschnitten.

Parameter der Anzahl an Besuchen		Korrelationskoeffizient r im Altersabschnitt [LT]						
		gesamt 8.-105.	I 8.-20.	II 21.-41.	a 14.-28.	b 29.-41.	III 42.-70.	IV 71.-96.
Tränkeautomat mit Abruf/ ohne Abruf/ gesamt/ KF-Automat mit Abruf/ ohne Abruf/ gesamt/ TW-Automat/ Heu-Wiegetrog/	Alter	-0,069	-0,071	0,029	0,210	-0,010	0,052	-0,025
	MT	0,317	-0,131	-0,199	0,022	-0,246	0,060	0,120
	TW	-0,332	-0,026	-0,063	-0,018	-0,081	-0,109	0,015
	KF-TS	-0,097	-0,073	0,009	0,013	0,001	0,068	0,011
	HTS	-0,267	-0,030	-0,001	0,003	0,003	-0,034	0,027
	Alter	0,121	0,323	-0,026	-0,040	-0,034	0,462	-0,481
	MT	0,063	0,381	0,447	0,255	0,460	-0,305	0,349
	TW	-0,017	0,113	0,156	0,091	0,181	0,422	-0,233
	KF-TS	0,218	0,405	0,228	0,265	0,260	0,444	0,018
	HTS	-0,061	0,070	0,028	0,002	0,051	0,290	-0,280
	Alter	-0,101	0,292	-0,008	0,073	-0,037	0,458	-0,531
	MT	0,196	0,326	0,305	0,251	0,308	-0,268	0,390
	TW	-0,317	0,102	0,110	0,076	0,130	0,358	-0,240
	KF-TS	-0,012	0,373	0,217	0,255	0,247	0,448	-0,009
	HTS	-0,312	0,057	0,026	0,003	0,050	0,262	-0,281
Alter	-0,086	0,227	0,106	-0,102	0,119	-0,006	-0,043	
MT	0,218	0,209	0,147	0,036	0,126	0,027	0,073	
TW	-0,236	0,131	0,083	0,091	0,065	-0,093	-0,215	
KF-TS	-0,075	0,364	0,295	0,256	0,313	0,043	-0,213	
HTS	-0,209	0,044	0,008	-0,013	-0,013	-0,112	-0,165	
Alter	0,703	0,001	-0,032	-0,073	0,003	0,572	0,014	
MT	-0,776	0,041	0,050	-0,019	0,087	-0,585	-0,047	
TW	0,829	-0,028	0,018	-0,030	0,059	0,687	0,233	
KF-TS	0,715	0,427	0,270	0,351	0,280	0,582	0,070	
HTS	0,718	0,088	0,114	0,095	0,097	0,396	0,174	
Alter	0,678	0,218	0,102	-0,110	0,118	0,479	0,001	
MT	-0,661	0,212	0,150	0,038	0,131	-0,474	-0,037	
TW	0,738	0,122	0,084	0,085	0,069	0,510	0,207	
KF-TS	0,697	0,440	0,319	0,317	0,331	0,525	0,089	
HTS	0,635	0,090	0,020	0,006	-0,006	0,247	0,149	
Alter	0,636	0,088	0,159	0,048	0,157	0,421	0,082	
MT	-0,589	0,101	0,014	0,065	-0,017	-0,402	-0,059	
TW	0,733	0,732	0,555	0,657	0,541	0,500	0,362	
KF-TS	0,636	0,191	0,148	0,115	0,133	0,433	0,069	
HTS	0,558	0,038	0,021	0,019	-0,002	0,200	0,037	
Alter	0,436	0,087	0,078	0,085	0,041	0,026	0,185	
MT	-0,308	0,016	-0,011	0,006	-0,015	0,001	-0,106	
TW	0,438	0,038	0,040	0,079	-0,008	0,022	0,162	
KF-TS	0,396	0,035	0,046	0,021	0,032	0,058	0,032	
HTS	0,586	0,396	0,360	0,343	0,404	0,330	0,679	

Besuche gesamt/	Alter	0,745	0,267	0,152	-0,008	0,134	0,538	0,019
	MT	-0,649	0,246	0,152	0,101	0,123	-0,471	-0,020
	TW	0,778	0,304	0,278	0,288	0,242	0,564	0,349
	KF-TS	0,760	0,437	0,305	0,313	0,301	0,583	0,119
	HTS	0,702	0,220	0,229	0,156	0,260	0,432	0,299

P < 0,0001, P > 0,0001

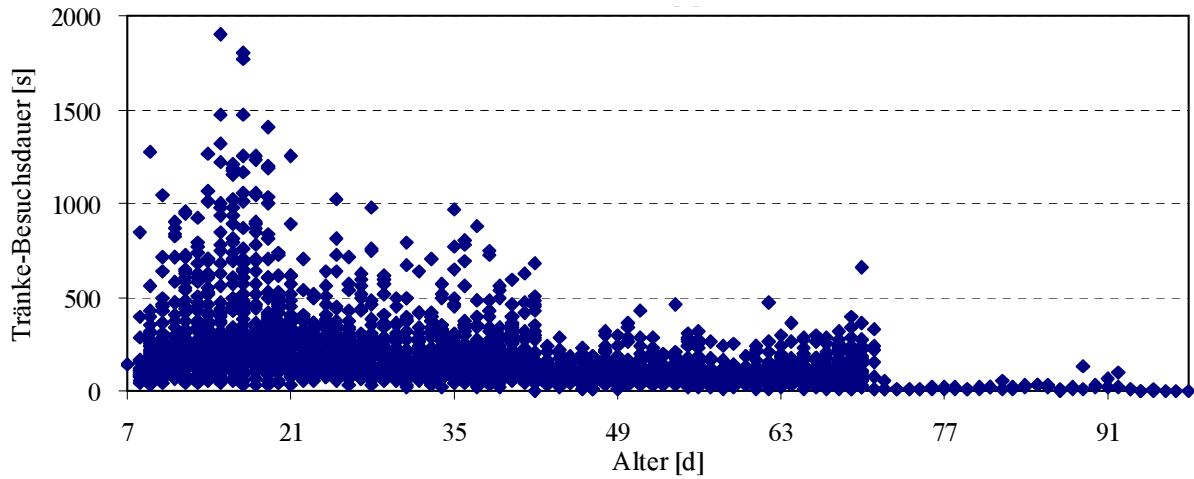


Abbildung A38: Altersabhängige Dauer der Besuche mit Tränkeabruf.

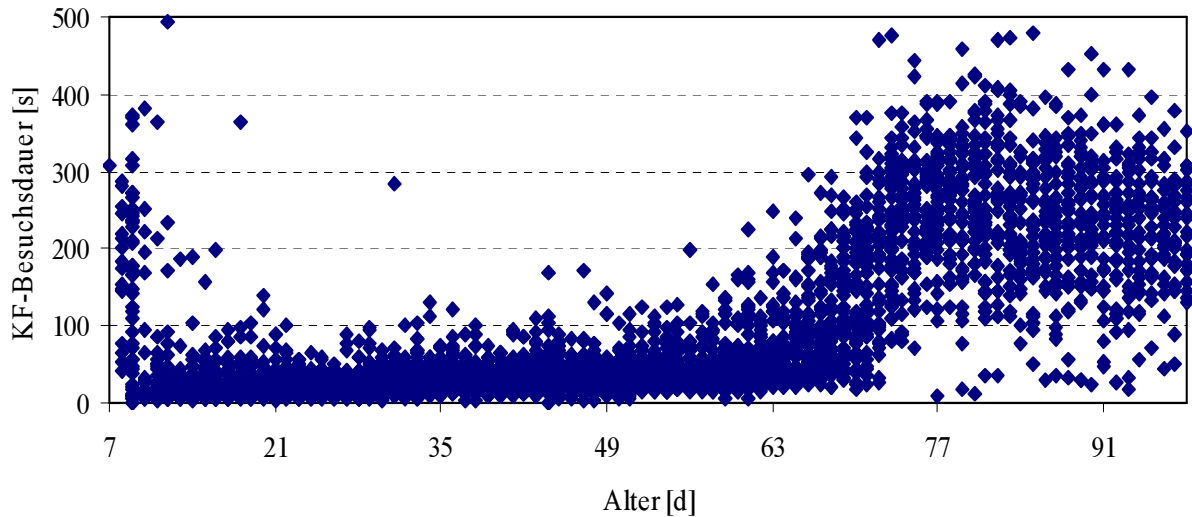


Abbildung A39: Altersabhängige Dauer der Besuche mit KF-Abruf.

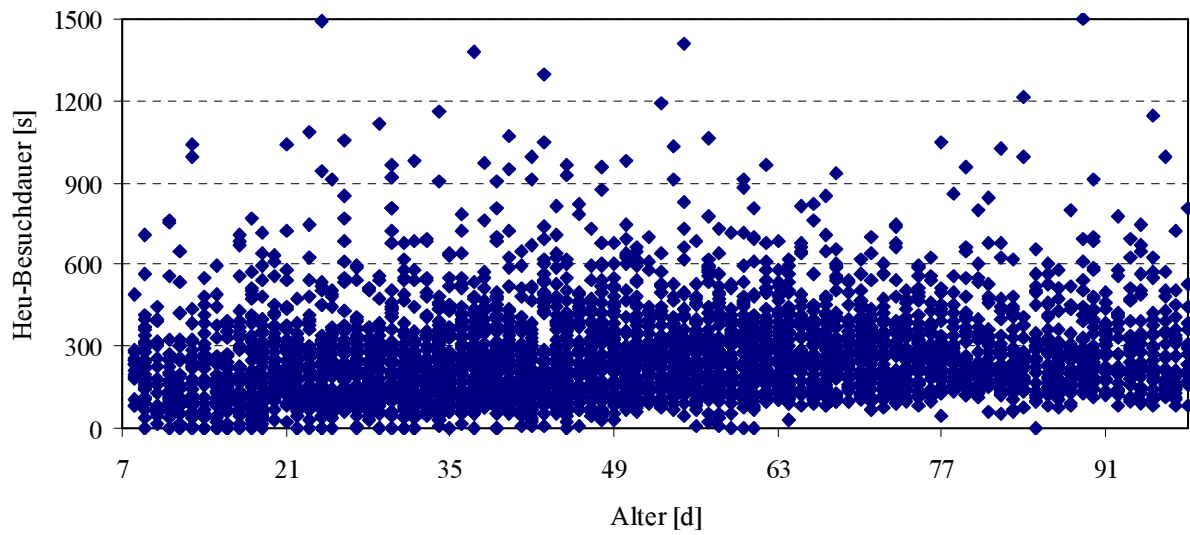


Abbildung A40: Altersabhängige Dauer der Besuche am Heu-Wiegetrog.

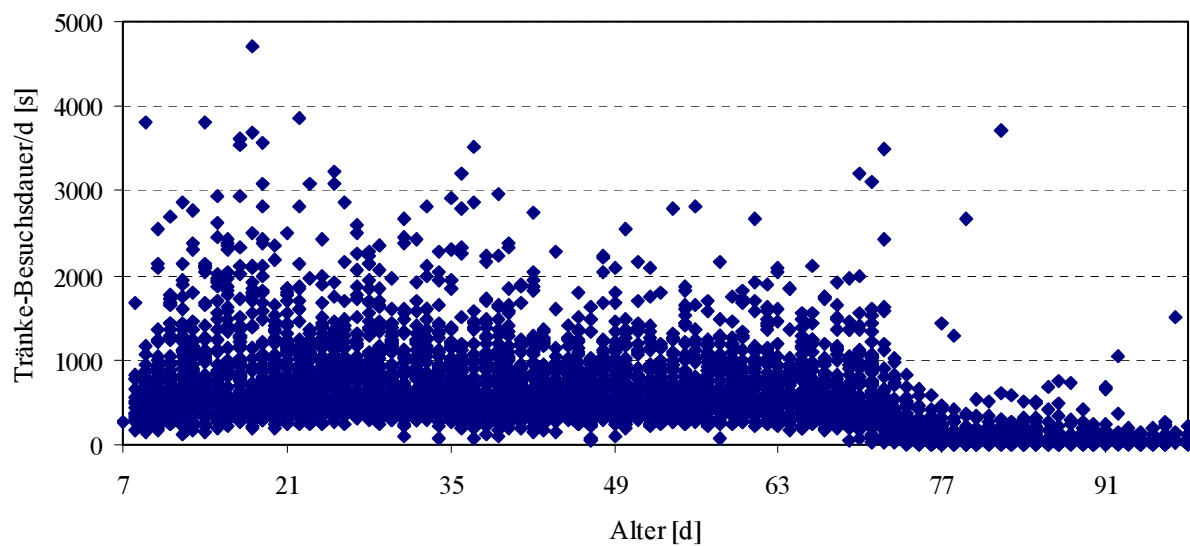


Abbildung A41: Altersabhängige tägliche Verweildauer am TA mit Tränkeabruf.

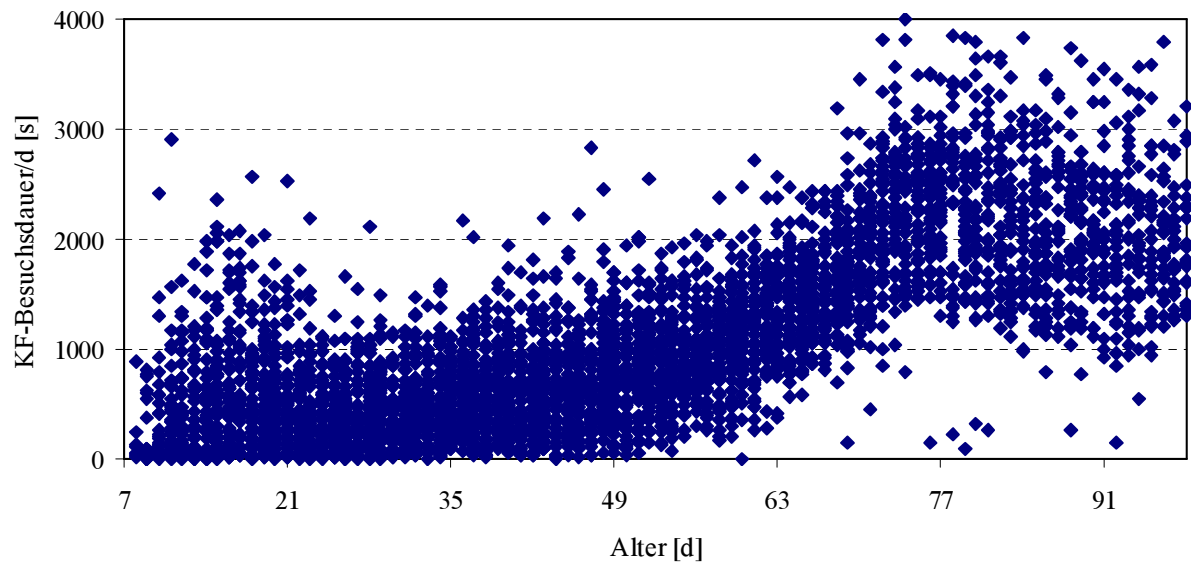


Abbildung A42: Altersabhängige tägliche Verweildauer am KF-Automaten mit KF-Abwurf.

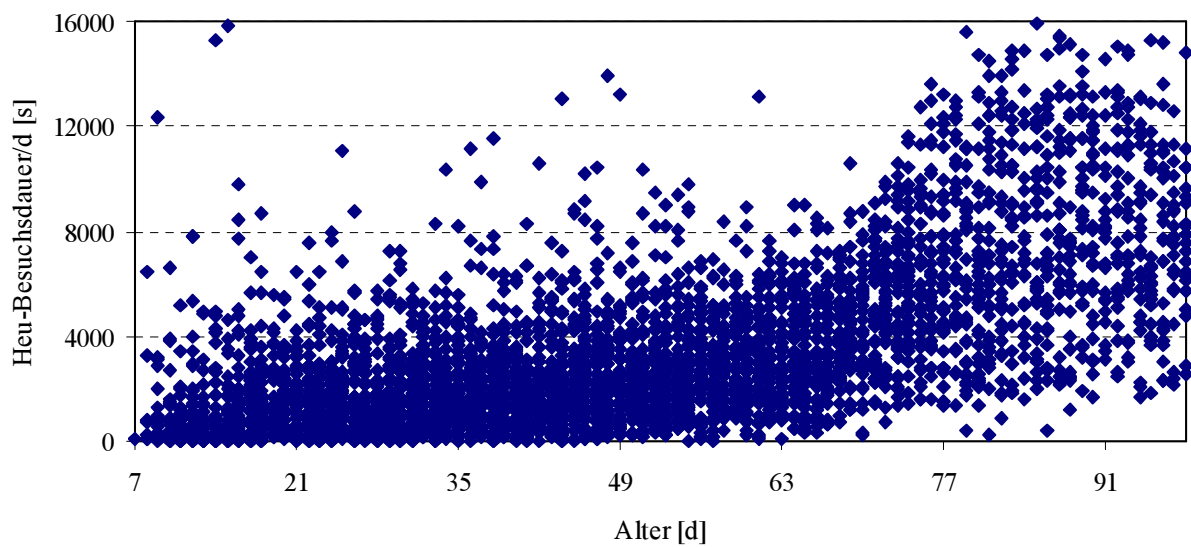


Abbildung A43: Altersabhängige tägliche Verweildauer am Wiegetrog.

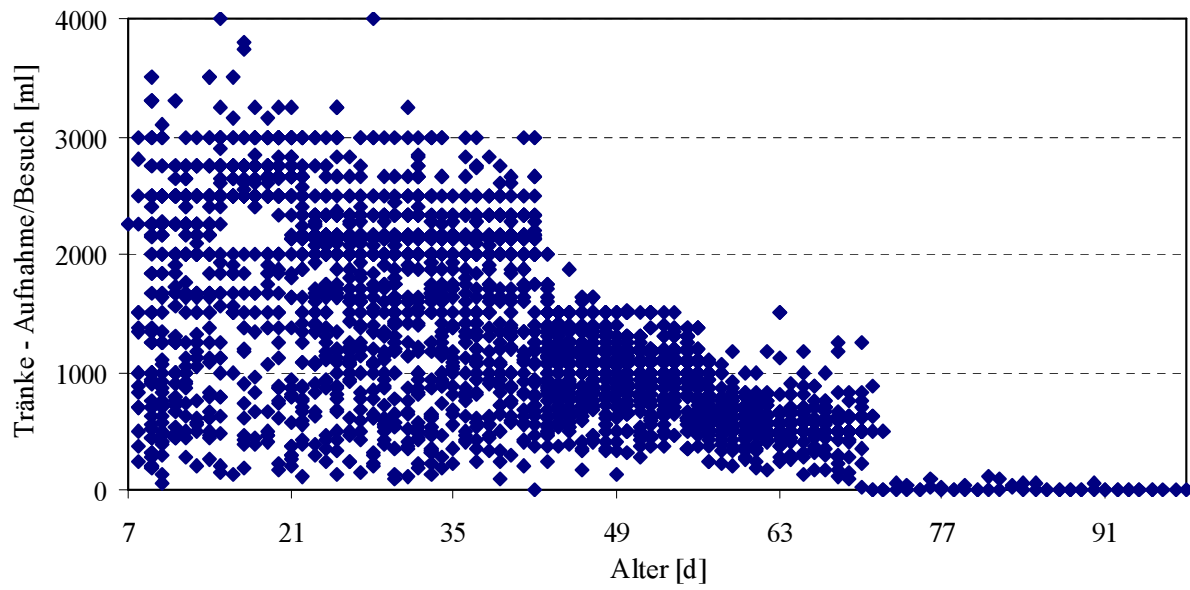


Abbildung A44: Altersabhängige Tränkeaufnahme je Besuch.

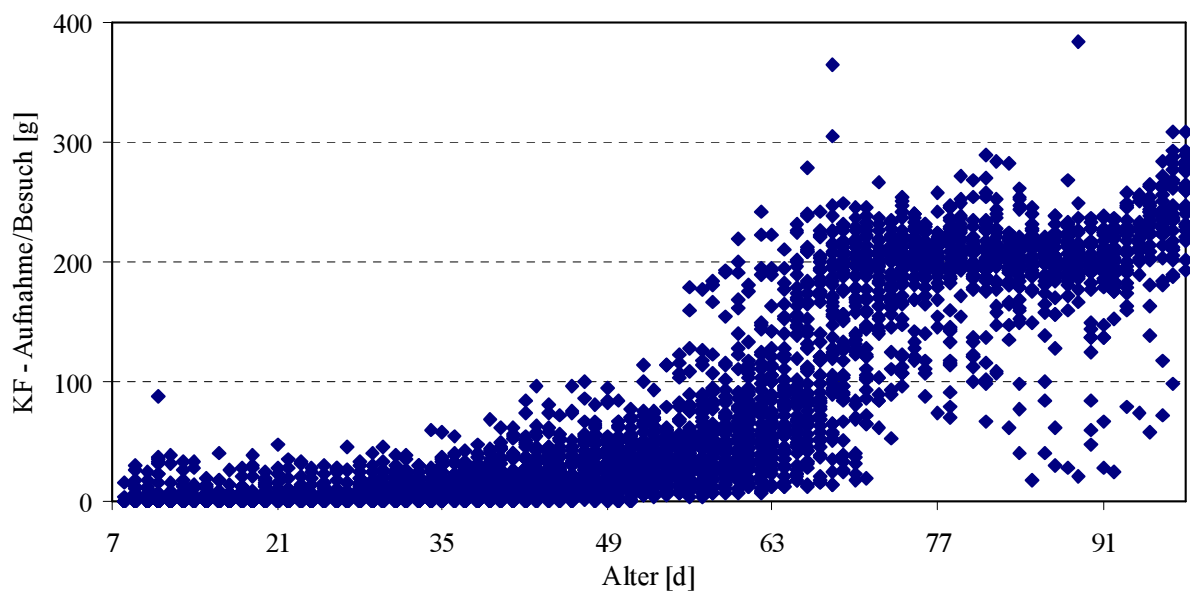


Abbildung A45: Altersabhängige KF-Aufnahme je Besuch.

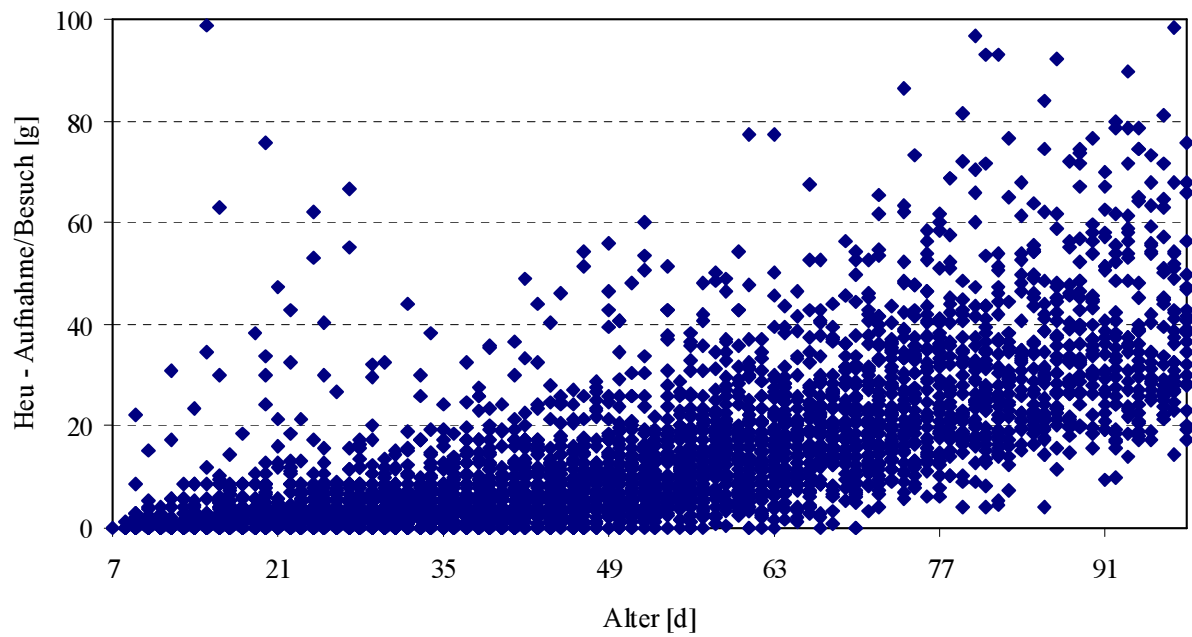


Abbildung A46: Altersabhängige Heu-Aufnahme je Besuch.

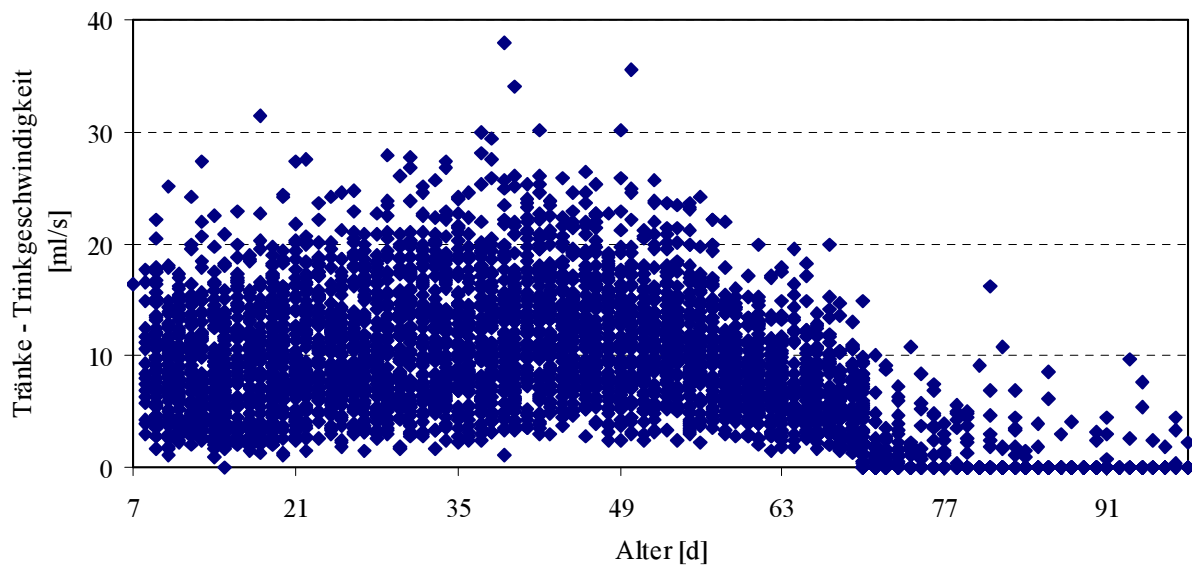


Abbildung A47: Altersabhängige Aufnahmegeschwindigkeit von Tränke.

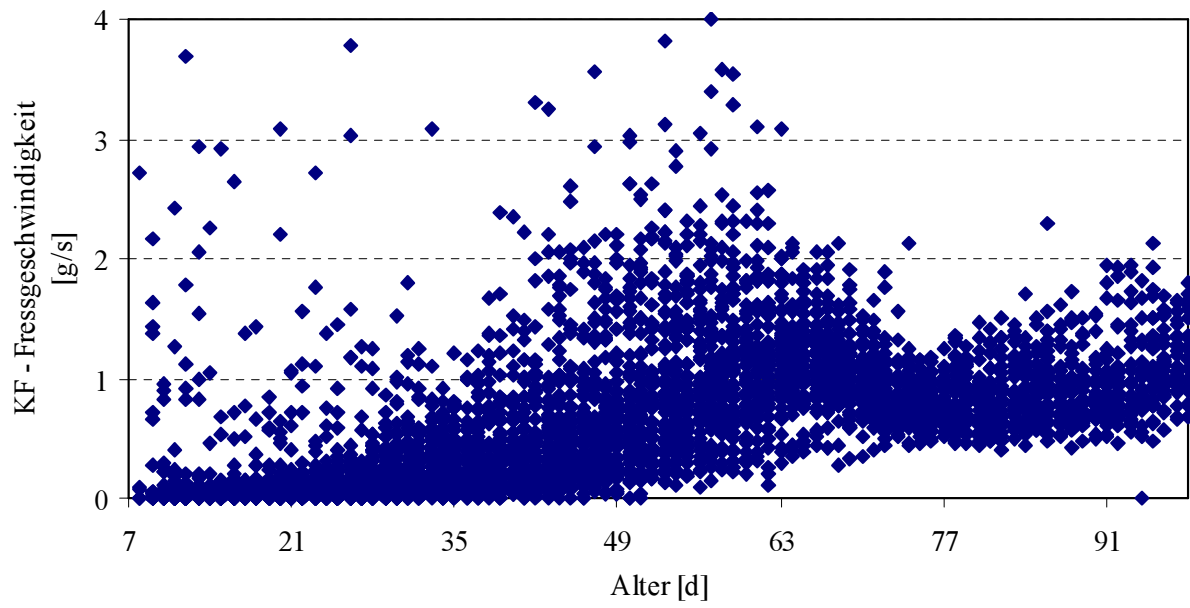


Abbildung A48: Altersabhängige Aufnahmegeschwindigkeit von Kraftfutter.

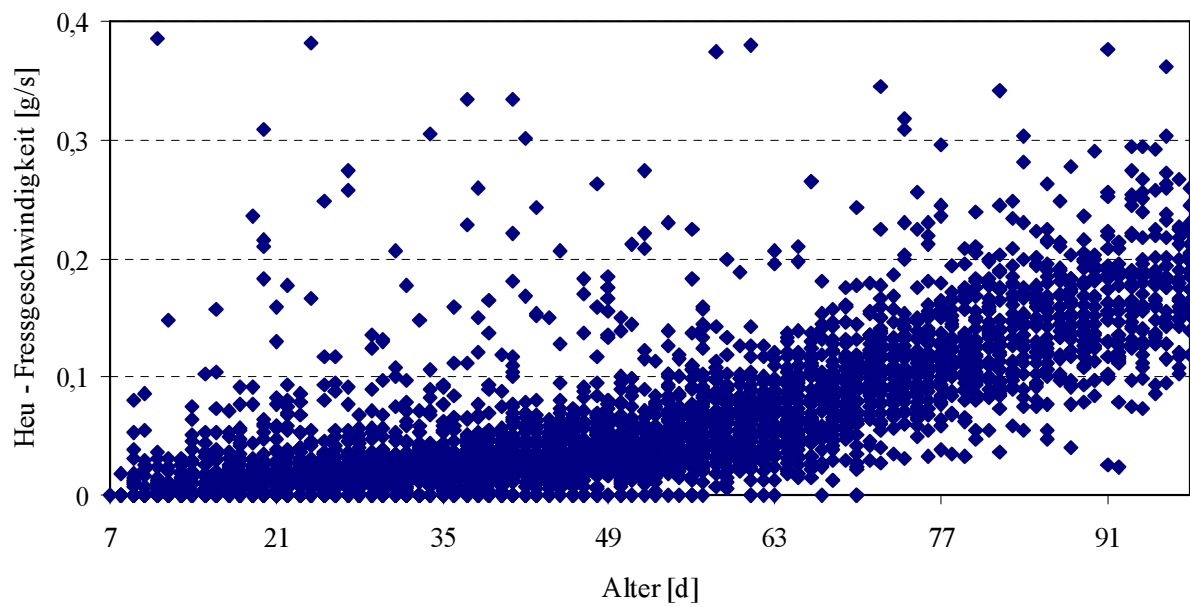


Abbildung A49: Altersabhängige Aufnahmegeschwindigkeit von Heu.

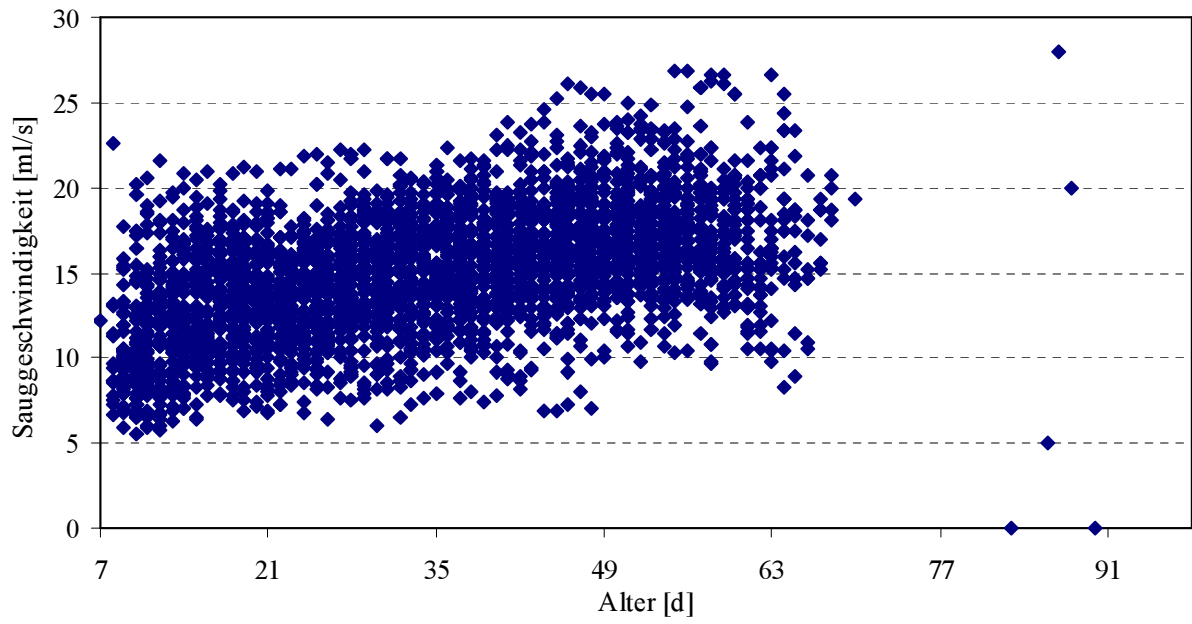


Abbildung A50: Am TA ermittelte Sauggeschwindigkeit der Tränke.

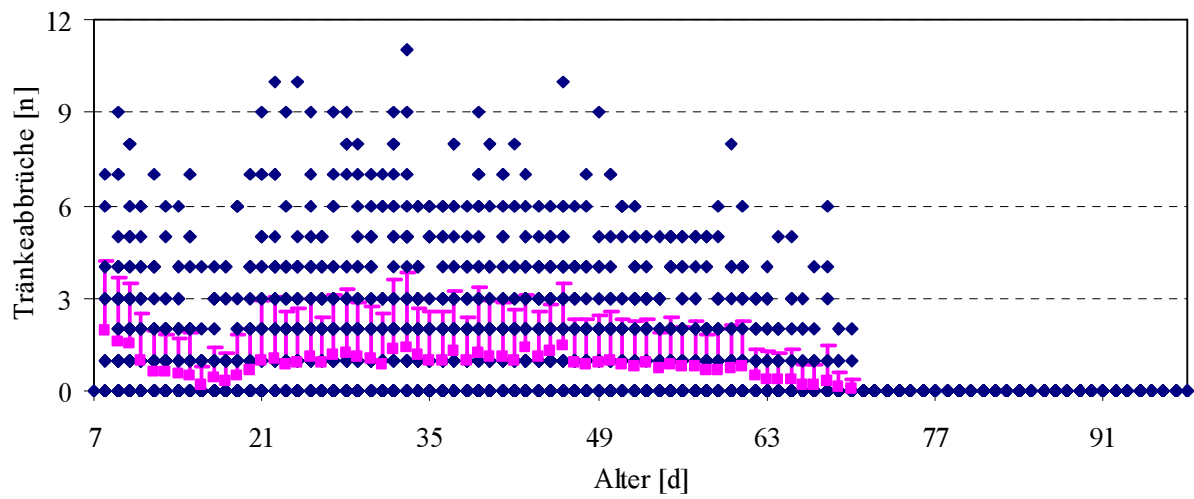


Abbildung A51: Anzahl der Tränkeabbrüche.

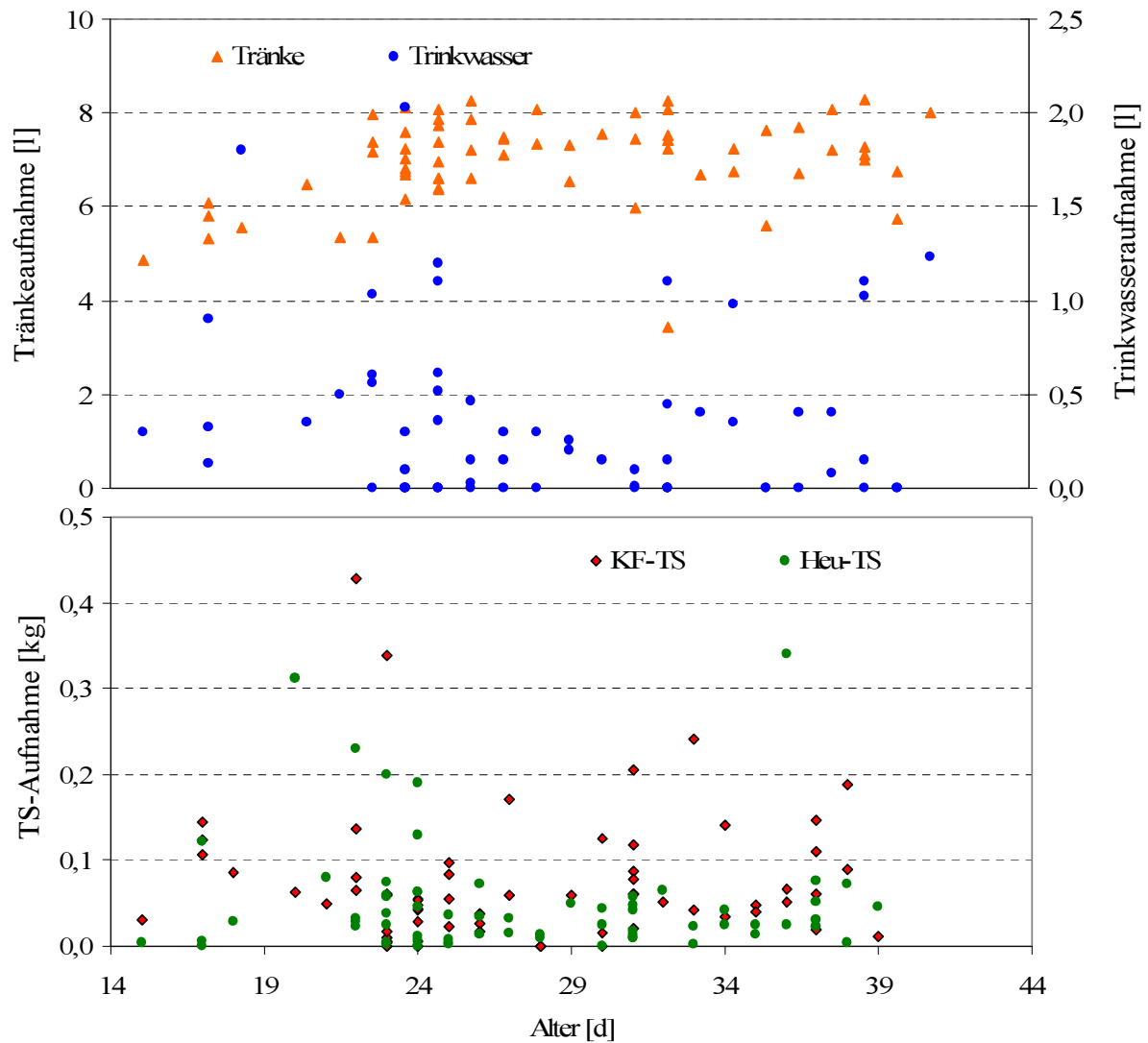


Abbildung A52: Futteraufnahmemenge bei Beginn der Pansenaktivität.

Tabelle A17: Korrelationskoeffizienten zwischen Alter und Futteraufnahmen bei Beginn der Ruminieren.

Parameter	Tiergewicht	MT	TW	MAT-TS	KF-TS	Heu-TS
Alter	0,324	0,287	-0,104	0,273	0,004	-0,069
P > 0,0001						

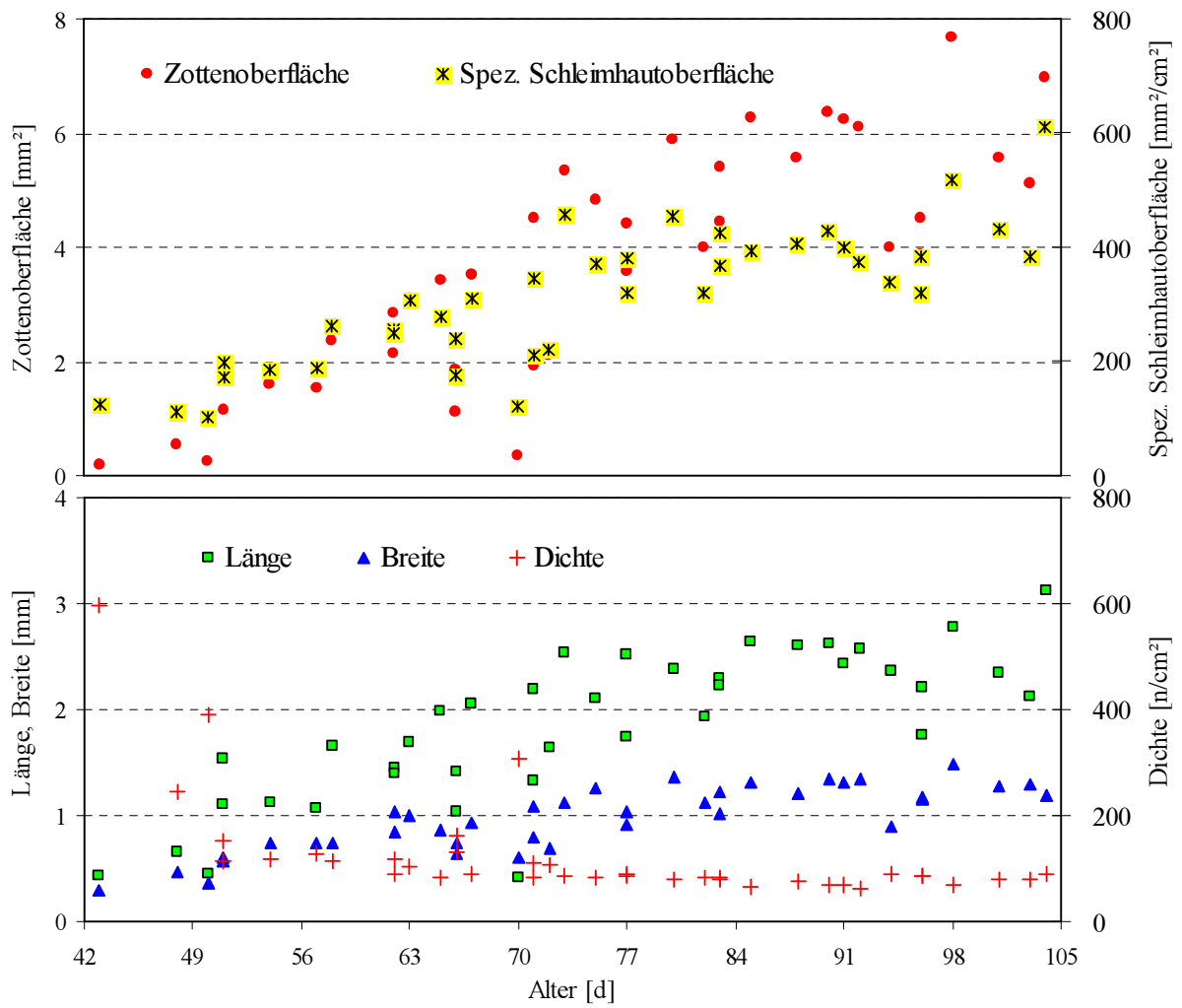


Abbildung A53: Mittelwerte der Zottenparameter in Abhängigkeit vom Schlachalter.

Tabelle A18: Korrelationskoeffizienten zwischen dem Alter und den Zottenparametern.

Parameter	Dichte	Länge	Breite	Oberfläche	Oberfläche/cm ²
Alter	-0,566	0,795	0,837	0,839	0,825

Tabelle A19: Mittelwerte der verschiedenen Zottenparameter.

TierNr.	Schlacht- alter [d]	Alter bei 1. Rumination [d]	Mittelwerte der Zottenparameter				
			Dichte [n/m ²]	Länge [mm]	Breite [mm]	Oberfläche [mm ²]	Spez. Oberfläche [mm ² /cm ²]
562	43	31	595	0,44	0,30	0,21	124
832	48	24	246	0,65	0,46	0,53	113
572	50	31	389	0,44	0,36	0,26	102
561	51	35	152	1,10	0,57	1,16	172
831	51	31	112	1,53	0,61	1,79	200
576	54	23	118	1,11	0,73	1,61	184
568	57	27	127	1,07	0,74	1,53	189
560	58	15	113	1,65	0,74	2,38	261
589	62	17	90	1,45	1,03	2,86	255
846	62	25	117	1,40	0,84	2,15	251
588	63	18	102	1,69	0,99	3,10	307
587	65	30	82	1,98	0,87	3,43	279
564	66	23	132	1,42	0,75	1,87	240
566	66	23	162	1,03	0,65	1,13	177
559	67	25	89	2,05	0,93	3,52	310
838	70	38	308	0,42	0,60	0,37	121
580	71	24	82	2,19	1,09	4,50	347
586	71	21	111	1,32	0,80	1,91	210
558	72	31	109	1,63	0,69	2,10	220
585	73	17	86	2,53	1,11	5,34	458
579	75	24	81	2,11	1,25	4,82	371
563	77	30	87	2,51	0,91	4,42	381
578	77	39	91	1,74	1,04	3,57	320
584	80	22	79	2,38	1,36	5,88	454
577	82	23	83	1,94	1,12	3,99	318
575	83	20	80	2,29	1,01	4,45	368
583	83	25	84	2,22	1,23	5,40	427
557	85	35	66	2,64	1,31	6,28	394
571	88	24	77	2,60	1,21	5,57	408
570	90	26	70	2,62	1,35	6,37	428
569	91	27	68	2,43	1,31	6,24	399
556	92	30	63	2,57	1,34	6,12	375
574	94	23	89	2,35	0,89	3,99	340
567	96	32	85	1,76	1,16	3,88	321
573	96	22	88	2,20	1,17	4,51	385
581	98	24	69	2,78	1,48	7,67	519
565	101	23	80	2,34	1,27	5,57	433
835	103	24	80	2,12	1,29	5,13	384
817	104	34	89	3,13	1,19	6,97	610

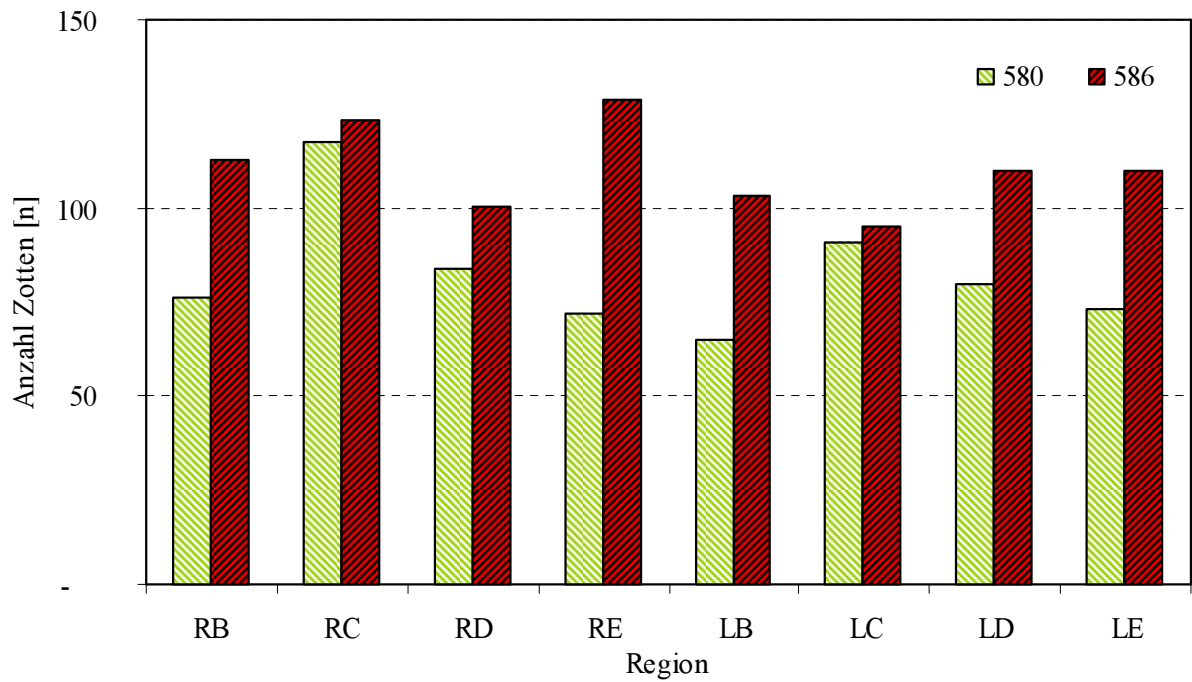


Abbildung A54: Zottenanzahl je Region der 72 d alten männlichen Kälber 580 und 586.

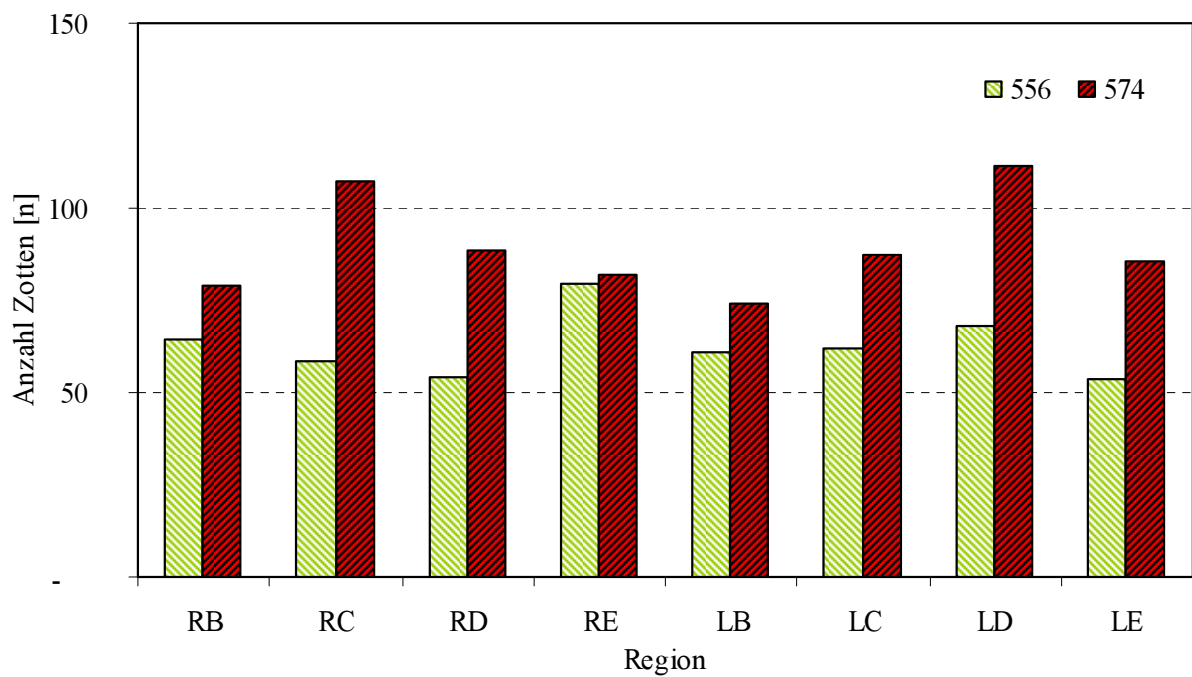


Abbildung A55: Zottenanzahl je Region der männlichen Kälber 556 (94 d) und 574 (95 d).

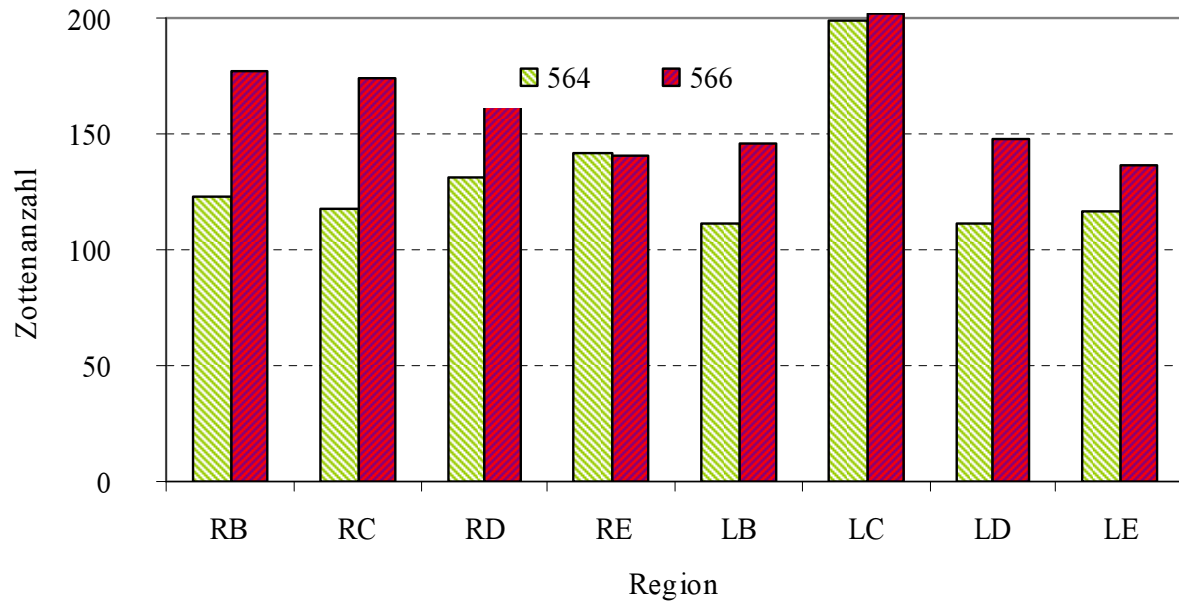


Abbildung A56: Zottenanzahl je Region bei 44 d Wiederkaudauer (erste Rumination mit 23 d, Schlachten mit 67 d).

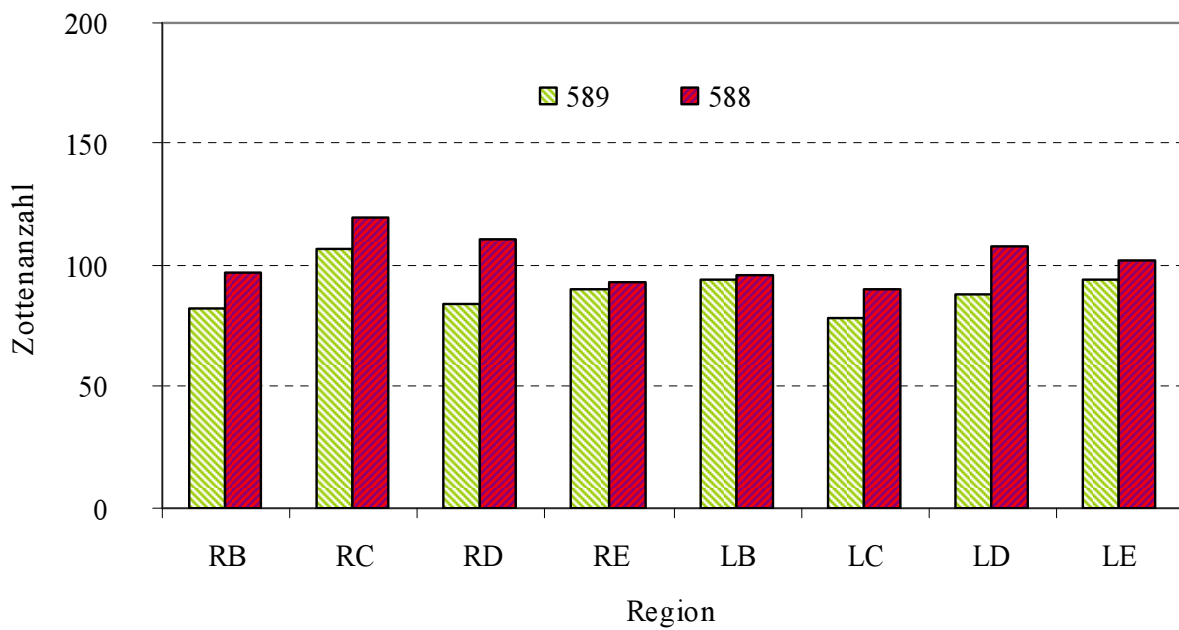


Abbildung A57: Zottenanzahl je Region bei 46 d Wiederkaudauer (erste Rumination mit 17/18 d, Schlachten mit 63/64 d).

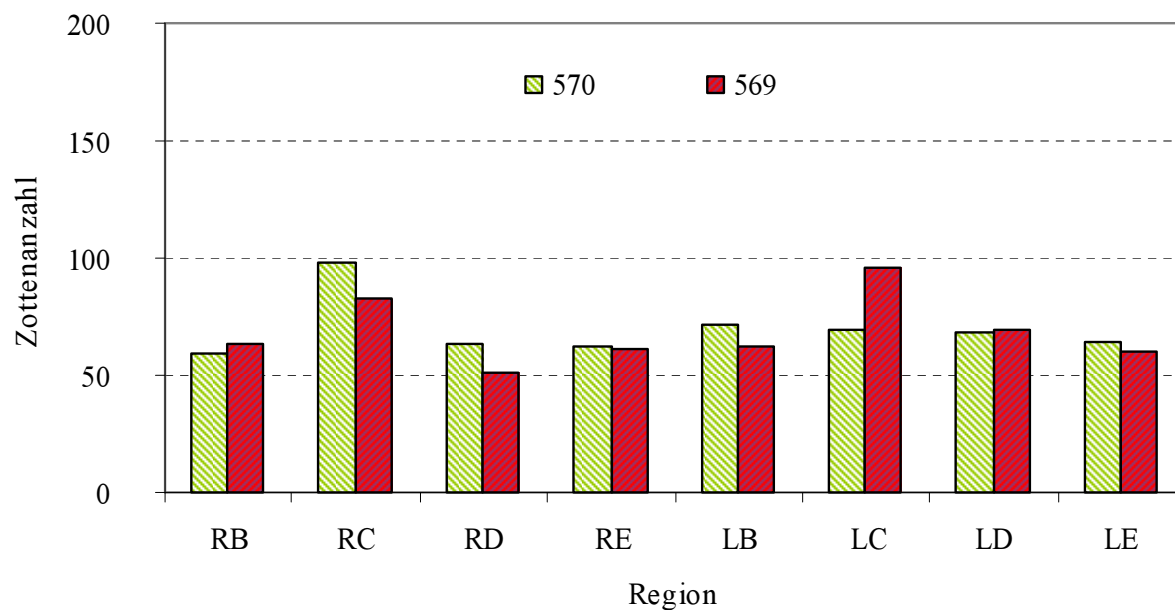


Abbildung A58: Zottenanzahl je Region bei 65 d Wiederkaudauer (erste Ruminat mit 26/27 d, Schlachten mit 91/92 d).

Tabelle A20: Korrelationskoeffizienten zwischen den verschiedenen Pansenregionen und dem Alter bzw. der Wiederkaudauer.

Zottenparameter	Korrelationsparameter	Korrelationskoeffizient r der Pansenregion							
		RB	RC	RD	RE	LB	LC	LD	LE
Dichte	Alter	-0,582	-0,556	-0,558	-0,582	-0,519	-0,541	-0,495	-0,559
	Wiederkaudauer	-0,662	-0,622	-0,586	-0,639	-0,596	-0,577	-0,563	-0,617
	Differenz	0,080	0,066	0,028	0,057	0,077	0,036	0,068	0,058
Länge	Alter	0,751	0,542	0,777	0,728	0,689	0,558	0,773	0,736
	Wiederkaudauer	0,753	0,491	0,786	0,734	0,693	0,577	0,746	0,720
	Differenz	-0,002	0,050	-0,009	-0,006	-0,004	-0,019	0,027	0,016
Breite	Alter	0,885	0,743	0,821	0,792	0,762	0,599	0,777	0,779
	Wiederkaudauer	0,903	0,761	0,843	0,815	0,783	0,600	0,796	0,782
	Differenz	-0,017	-0,018	-0,022	-0,024	-0,020	-0,001	-0,019	-0,004
Oberfläche	Alter	0,826	0,567	0,824	0,768	0,725	0,523	0,782	0,764
	Wiederkaudauer	0,821	0,513	0,821	0,773	0,728	0,528	0,764	0,742
	Differenz	0,005	0,054	0,003	-0,005	-0,003	-0,005	0,017	0,023

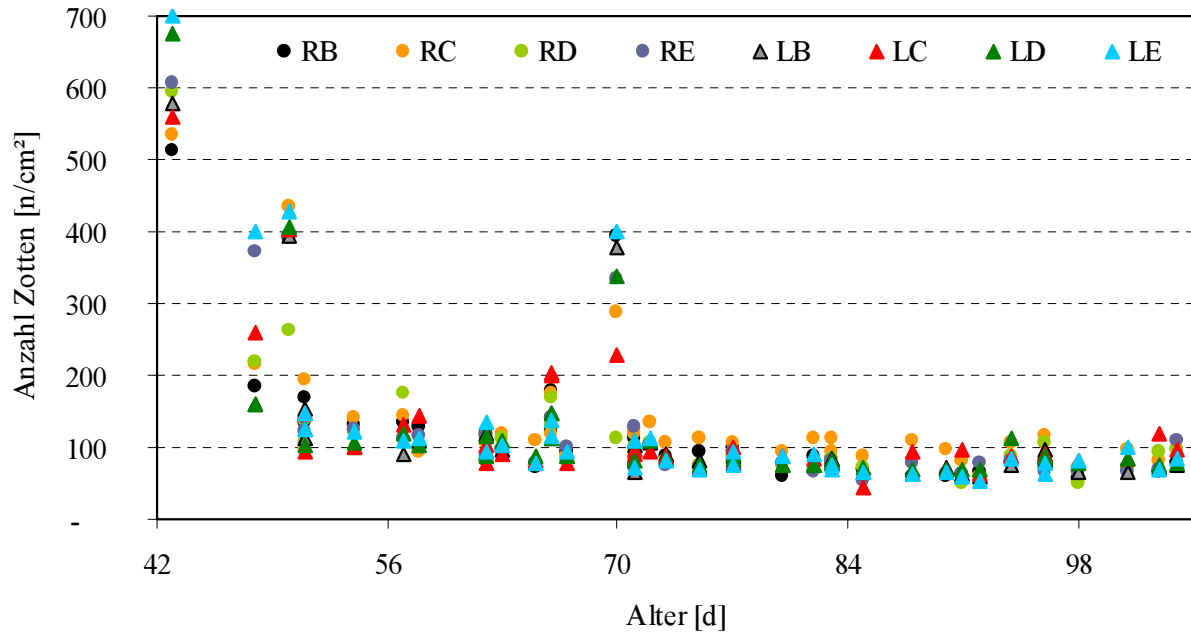


Abbildung A59: Zottendichte der 39 Schlachtkälber an den verschiedenen Pansenregionen.

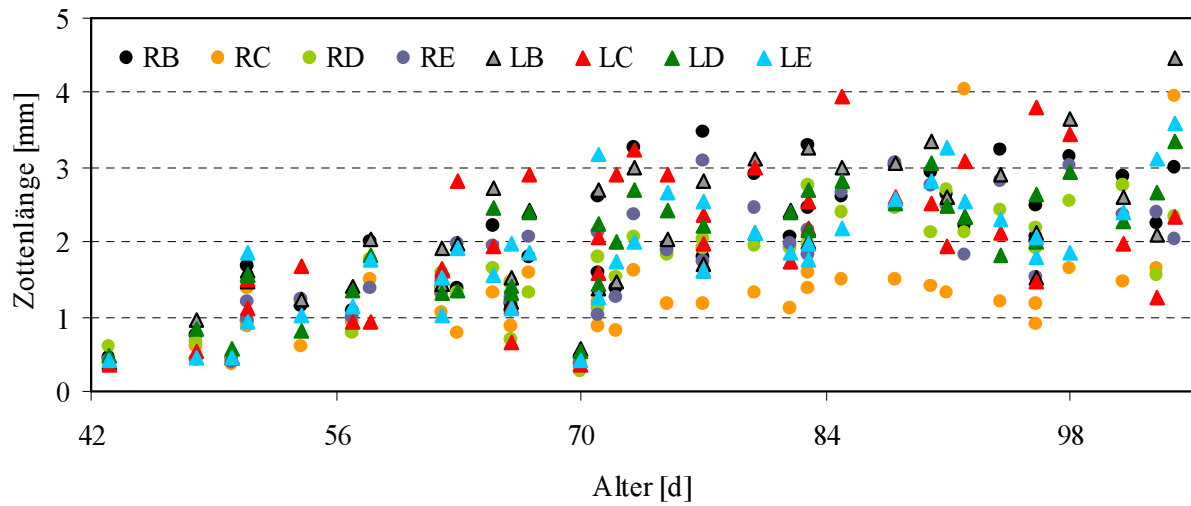


Abbildung A60: Zottenlänge der 39 Schlachtkälber an den verschiedenen Pansenregionen.

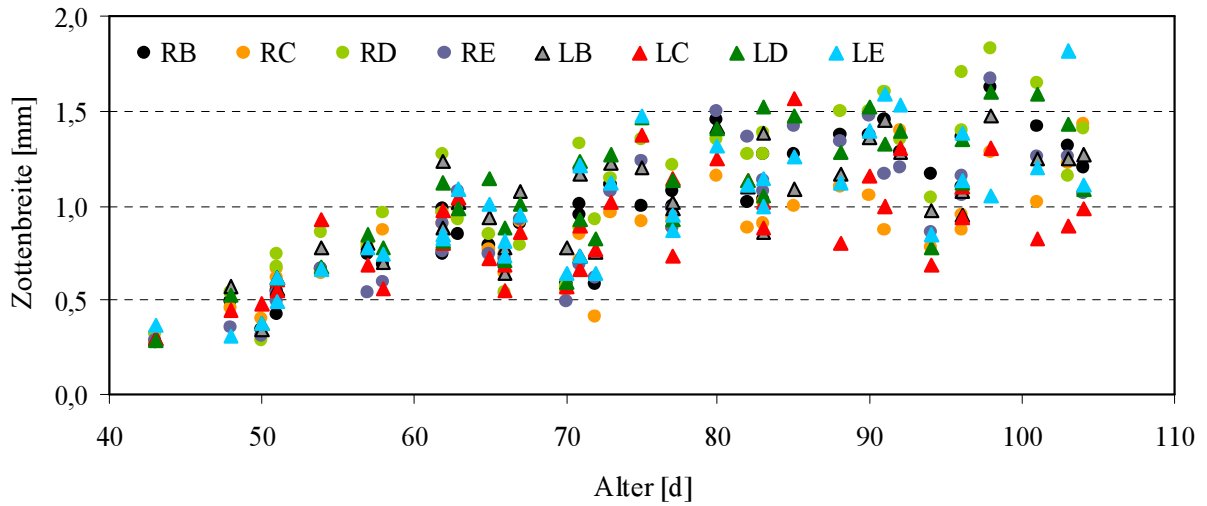


Abbildung A61: Zottenbreite der 39 Schlachtkälber an den verschiedenen Pansenregionen.

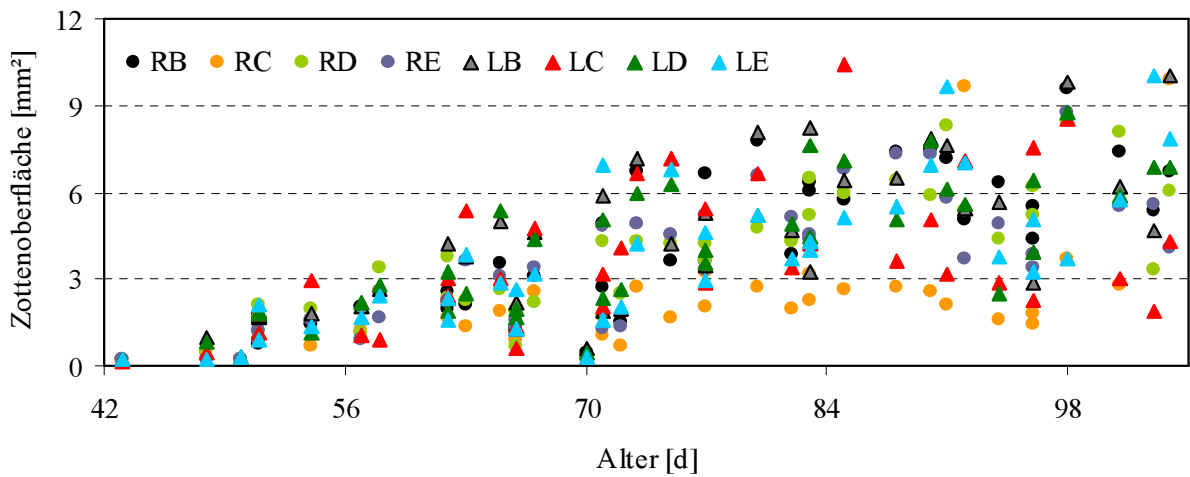


Abbildung A62: Einfache Zottenoberfläche der 39 Schlachtkälber an den verschiedenen Pansenregionen.

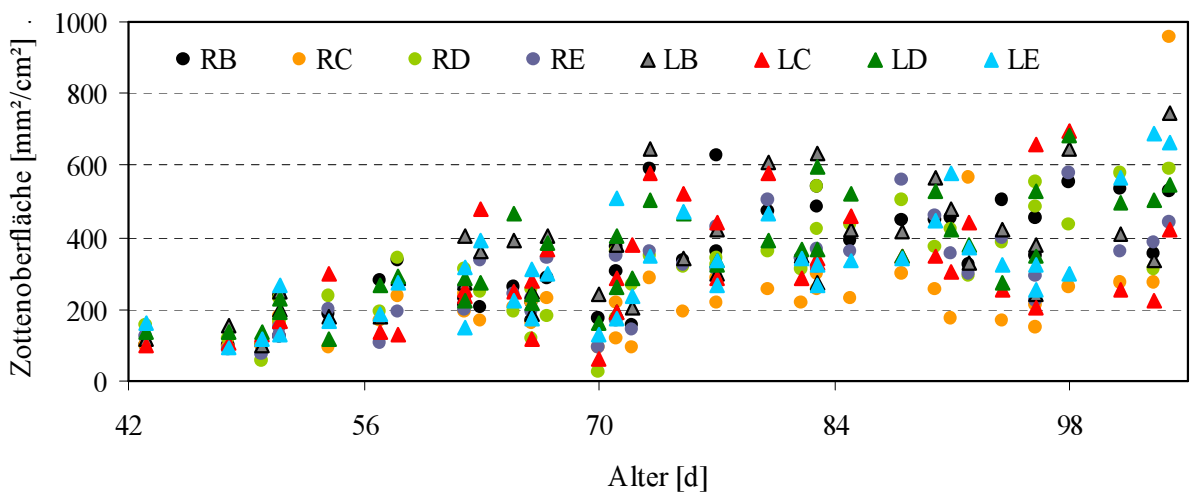


Abbildung A63: Berechnete Zottenoberfläche je cm² Pansenschleimhaut der 39 Schlachtkälber an den verschiedenen Pansenregionen.

Tabelle A21: Korrelationskoeffizienten zwischen den einzelnen Zottenparametern je Region.

Region	Parameter	Korrelationskoeffizient r von				
		Alter	Zottendichte	Zottenlänge	Zottenbreite	Oberfläche/Zotte
RB	Zottendichte	-0,583				
	Zottenlänge	0,751	-0,696			
	Zottenbreite	0,885	-0,705	0,822		
	Oberfläche/Zotte	0,826	-0,639	0,945	0,929	
	Oberfläche/cm ²	0,757	-0,592	0,952	0,823	0,933
RC	Zottendichte	-0,556				
	Zottenlänge	0,542	-0,498			
	Zottenbreite	0,743	-0,693	0,768		
	Oberfläche/Zotte	0,567	-0,435	0,983	0,796	
	Oberfläche/cm ²	0,521	-0,358	0,922	0,739	0,944
RD	Zottendichte	-0,561				
	Zottenlänge	0,777	-0,588			
	Zottenbreite	0,821	-0,636	0,873		
	Oberfläche/Zotte	0,824	-0,557	0,948	0,949	
	Oberfläche/cm ²	0,774	-0,445	0,905	0,860	0,898
RE	Zottendichte	-0,586				
	Zottenlänge	0,728	-0,704			
	Zottenbreite	0,792	-0,683	0,844		
	Oberfläche/Zotte	0,768	-0,620	0,943	0,943	
	Oberfläche/cm ²	0,732	-0,582	0,939	0,883	0,948
LB	Zottendichte	-0,521				
	Zottenlänge	0,689	-0,641			
	Zottenbreite	0,762	-0,655	0,808		
	Oberfläche/Zotte	0,725	-0,562	0,962	0,893	
	Oberfläche/cm ²	0,633	-0,482	0,928	0,838	0,956
LC	Zottendichte	-0,543				
	Zottenlänge	0,558	-0,664			
	Zottenbreite	0,599	-0,660	0,820		
	Oberfläche/Zotte	0,523	-0,574	0,951	0,909	
	Oberfläche/cm ²	0,513	-0,517	0,916	0,810	0,920
LD	Zottendichte	-0,497				
	Zottenlänge	0,773	-0,648			
	Zottenbreite	0,777	-0,644	0,840		
	Oberfläche/Zotte	0,782	-0,567	0,946	0,935	
	Oberfläche/cm ²	0,764	-0,514	0,926	0,896	0,978
LE	Zottendichte	-0,563				
	Zottenlänge	0,736	-0,668			
	Zottenbreite	0,779	-0,640	0,818		
	Oberfläche/Zotte	0,764	-0,564	0,938	0,923	
	Oberfläche/cm ²	0,703	-0,481	0,913	0,822	0,935

P < 0,0001

Tabelle A22: Höchste Korrelationskoeffizienten zwischen den einzelnen Pansenregionen der verschiedenen Zottenparameter.

Parameter	Regionen		r
Zottendichte	RE	LE	0,9929
	RB	LB	0,9864
	LB	LD	0,9865
Zottenlänge	RB	RE	0,9170
	RB	RD	0,9046
	LB	LD	0,8798
Zottenbreite	RB	RD	0,9194
	RB	RE	0,9176
	LB	LD	0,9179
Oberfläche/Zotte	RB	RE	0,9293
	RB	LB	0,9059
	RB	RD	0,9011
Oberfläche/cm²	RB	RE	0,8122
	RE	LB	0,7964
	LB	LD	0,7887

P < 0,0001

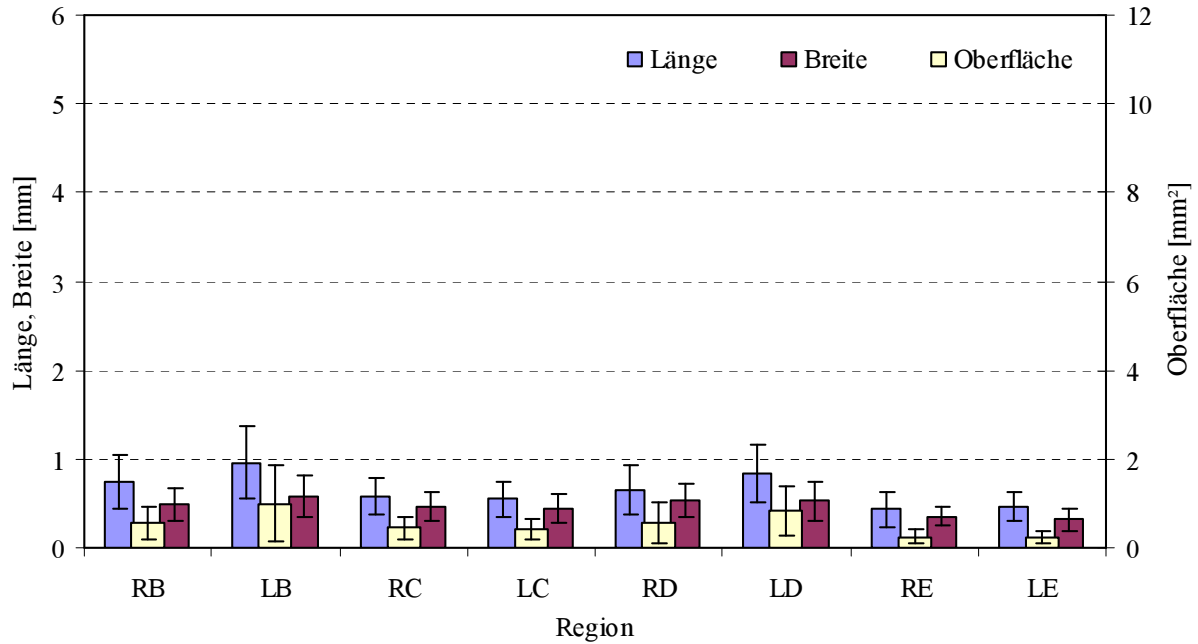


Abbildung A64: Zottenmaße des 50 d alten weiblichen Kalbes 832 an den einzelnen Pansenregionen.

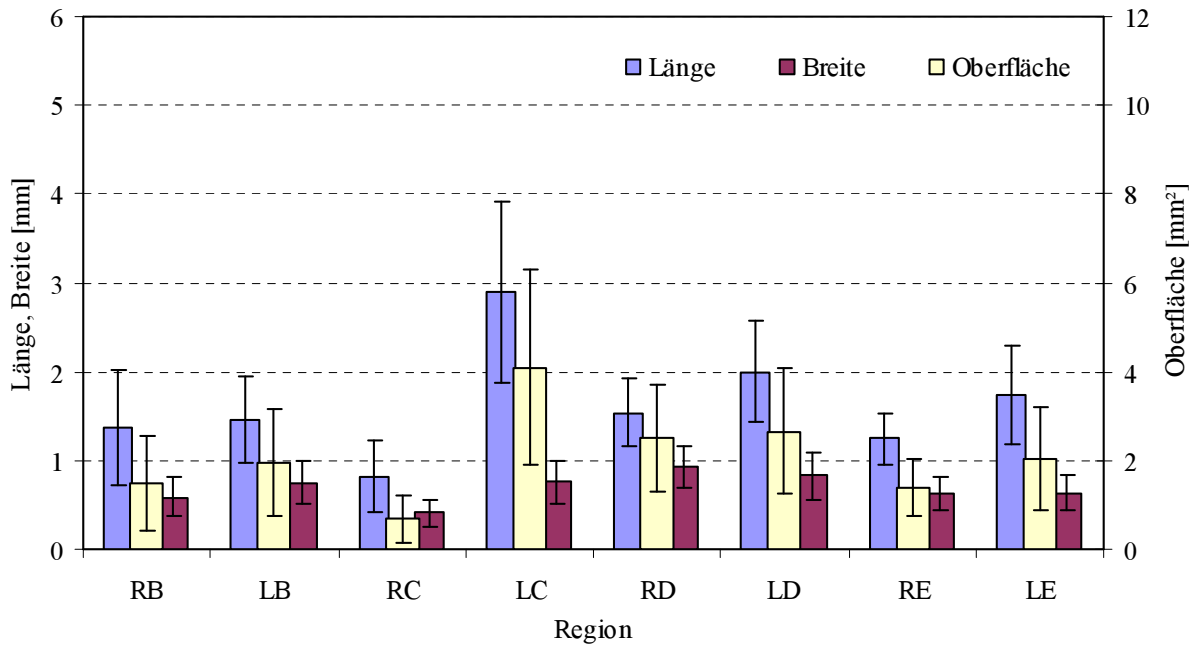


Abbildung A65: Zottenmaße des 74 d alten männlichen Kalbes 558 an den einzelnen Pansenregionen.

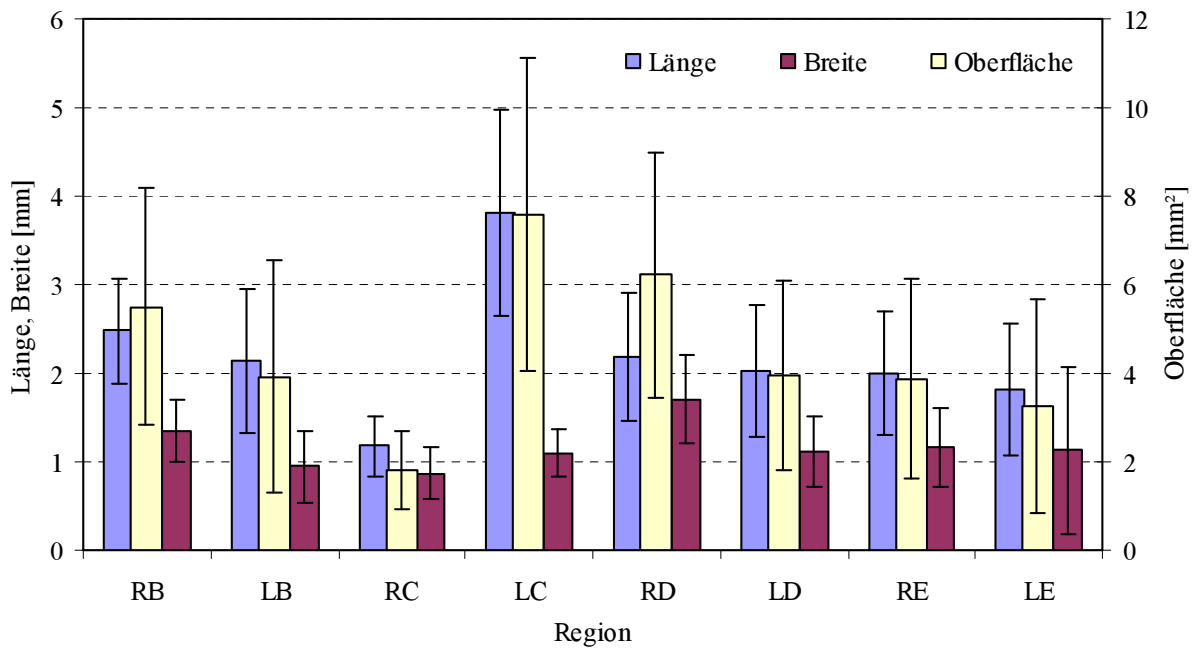


Abbildung A66: Zottenmaße des 97 d alten männlichen Kalbes 573 an den einzelnen Pansenregionen.

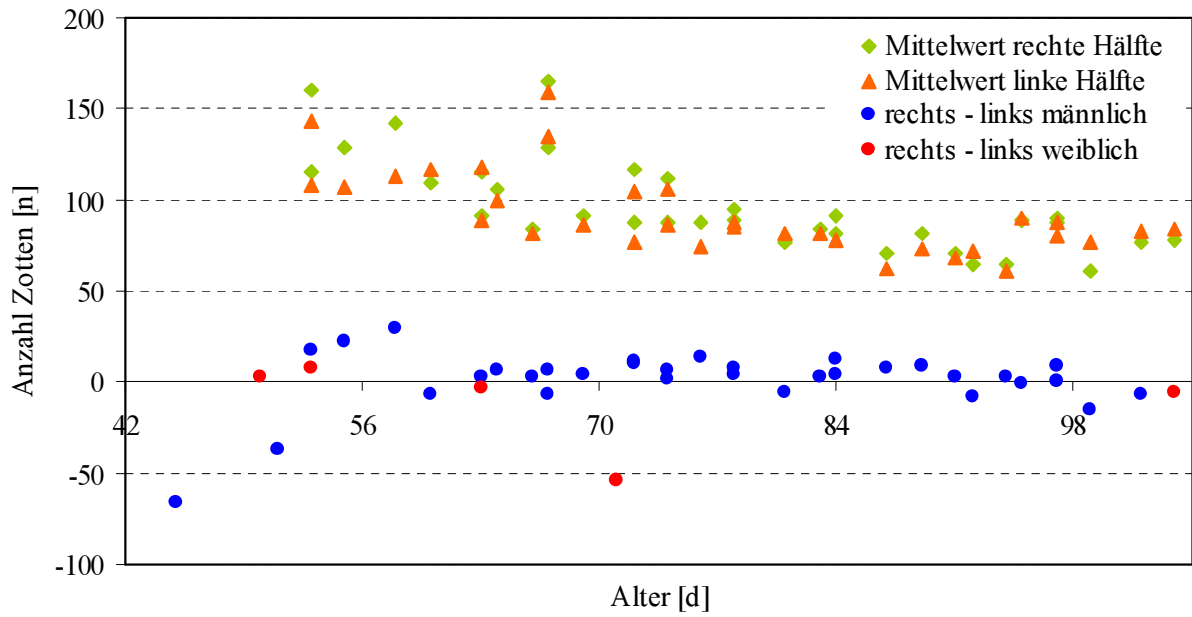


Abbildung A67: Mittlere Zottenanzahl der rechten (R) und linken (L) Pansenhälfte und deren Differenz.

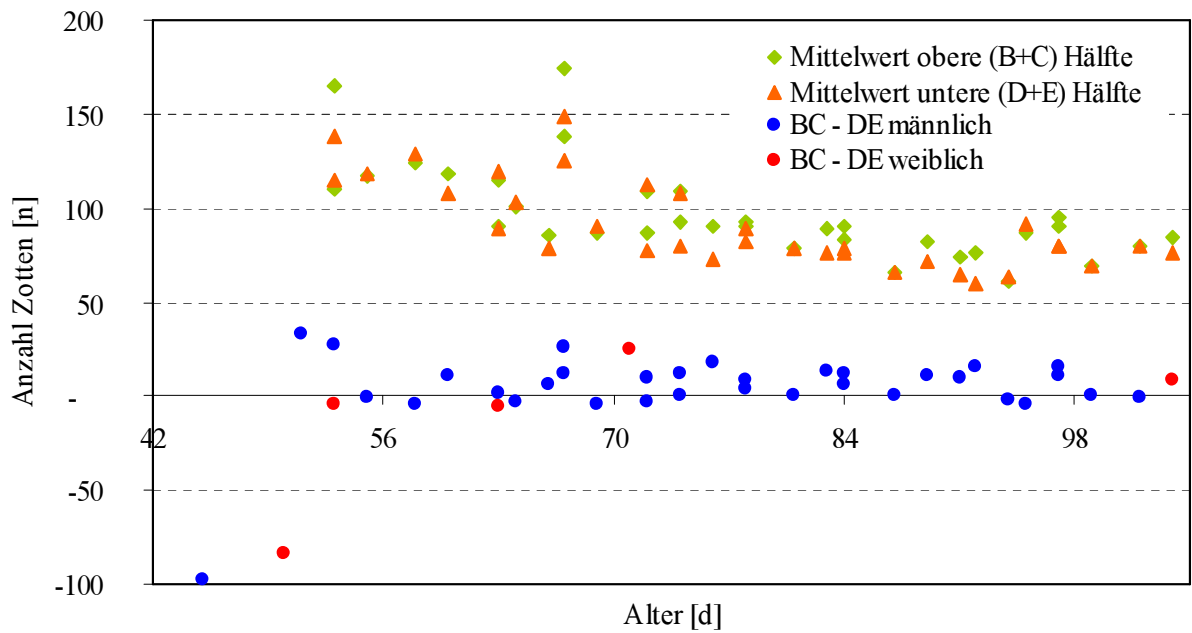


Abbildung A68: Mittlere Zottenanzahl der oberen (B+C) und unteren (D+E) Pansenhälfte und deren Differenz.

Tabelle A23: Grafische Darstellung der Gruppierung der Pansenregionen.










Bezeichnung	1. Term - 2. Term
Oben-unten 1	$(RC + RD) - (RB + RE)$ 
Oben-unten 2	$(LC + LD) - (LB + LE)$ 
Oben-unten 3	$(RC + LC + RD + LD) - (RB + LB + RE + LE)$ 
Oben-unten 4	$(RB + RC) - (RD + RE)$ 
Oben-unten 5	$(LB + LC) - (LD + LE)$ 
Oben-unten 6	$(RB + LB + RC + LC) - (RD + LD + RE + LE)$ 
Links-rechts 7	$(LB + LE) - (RB + RE)$ 
Links-rechts 8	$(LC + LD) - (RC + RD)$ 
Links-rechts 9	$(LB + LC + LD + LE) - (RB + RC + RD + RE)$ 

Tabelle A24: Unterschiede zwischen den Gruppierungen der Pansenregionen.

	oben-unten						links-rechts		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Dichte (log-Wert)									
VI-Länge	0,11	0,80	0,17	0,90	0,75	0,11	0,05	0,08	0,11
Entfernung zu 0	0,01	-	0,01	0,05	-	0,03	-	-	-
[%]	1,11	2,35	1,16	14,41	11,51	7,40	10,11	22,27	31,09
Äquivalenz	0,11	0,07	0,17	0,14	0,04	0,14	0,04	0,08	0,10
[%]	34,90	20,62	61,93	47,49	7,40	47,49	3,57	1,16	1,16
Länge [mm]									
VI-Länge	0,26	0,24	0,38	0,21	0,27	0,31	0,20	0,26	0,29
Entfernung zu 0	0,25	-	0,23	-	0,02	-	-	0,34	0,42
Äquivalenz	0,53	0,14	0,61	0,17	0,29	0,23	0,20	0,60	0,71
Breite [mm]									
VI-Länge	0,06	0,07	0,09	0,08	0,07	0,11	0,05	0,07	0,11
Entfernung zu 0	-	-	-	0,05	0,04	0,12	-	-	-
Äquivalenz	0,05	0,05	0,05	0,13	0,12	0,23	0,06	0,05	0,07
Oberfläche/Zotte [mm²]									
VI-Länge	0,77	0,77	1,12	0,63	0,81	1,02	0,59	0,75	0,84
Entfernung zu 0	0,40	-	0,44	0,16	-	-	-	0,42	0,61
Äquivalenz	1,17	0,60	1,56	0,80	0,42	0,98	0,53	1,17	1,45
Oberfläche [mm²/cm²]									
VI-Länge	51,33	48,50	66,62	42,99	56,42	71,74	40,92	58,72	69,80
Entfernung zu 0	16,53	-	12,50	-	-	-	-	30,13	45,69
Äquivalenz	67,85	28,27	79,31	40,01	29,83	56,01	40,80	88,85	115,49
1 (RC + RD) - (RB + RE)				7 (LB + LE) - (RB + RE)					
2 (LC + LD) - (LB + LE)				8 (LC + LD) - (RC + RD)					
3 (RC + LC + RD + LD) - (RB + LB + RE + LE)				9 (LB + LC + LD + LE) - (RB + RC + RD + RE)					
4 (RB + RC) - (RD + RE)									
5 (LB + LC) - (LD + LE)									
6 (RB + LB + RC + LC) - (RD + LD + RE + LE)									

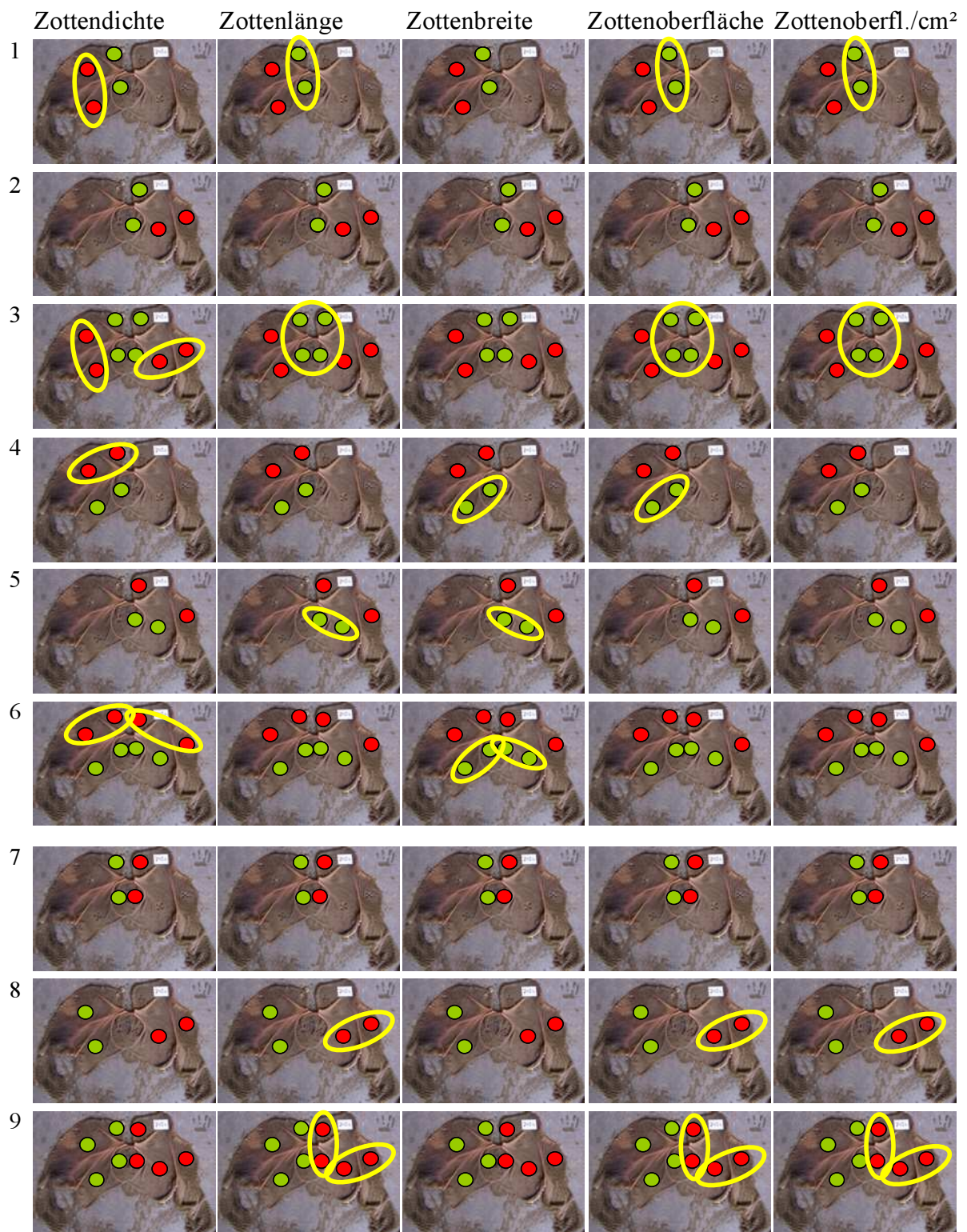


Abbildung A69: Nachweisbare Unterschiede zwischen den gruppierten Pansenregionen bezüglich der einzelnen Zottenparameter aller 39 Schlachttiere.

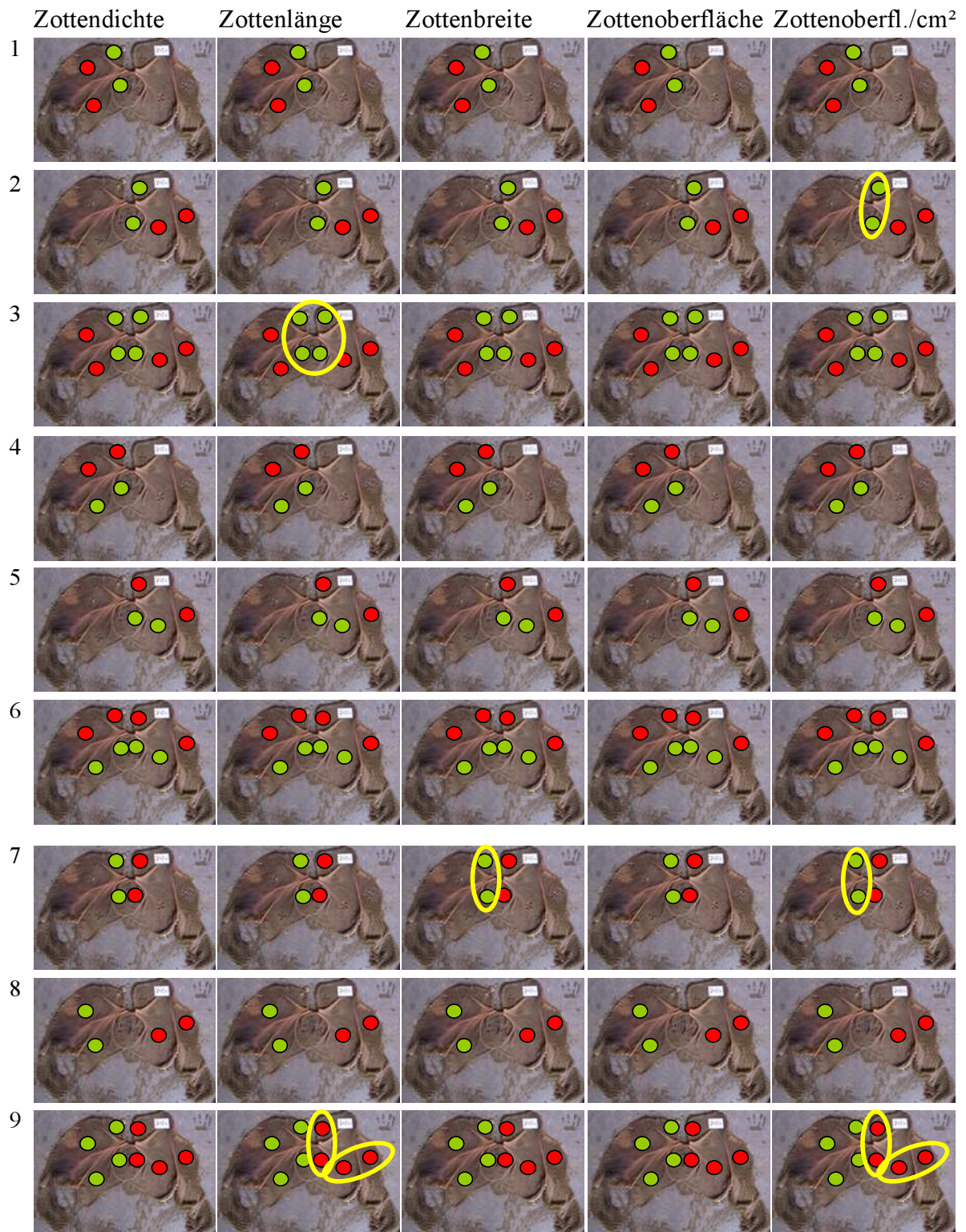


Abbildung A70: Nachweisbare Unterschiede zwischen den gruppierten Pansenregionen bezüglich der einzelnen Zottenparameter der 6 weiblichen Schlachtkälber.

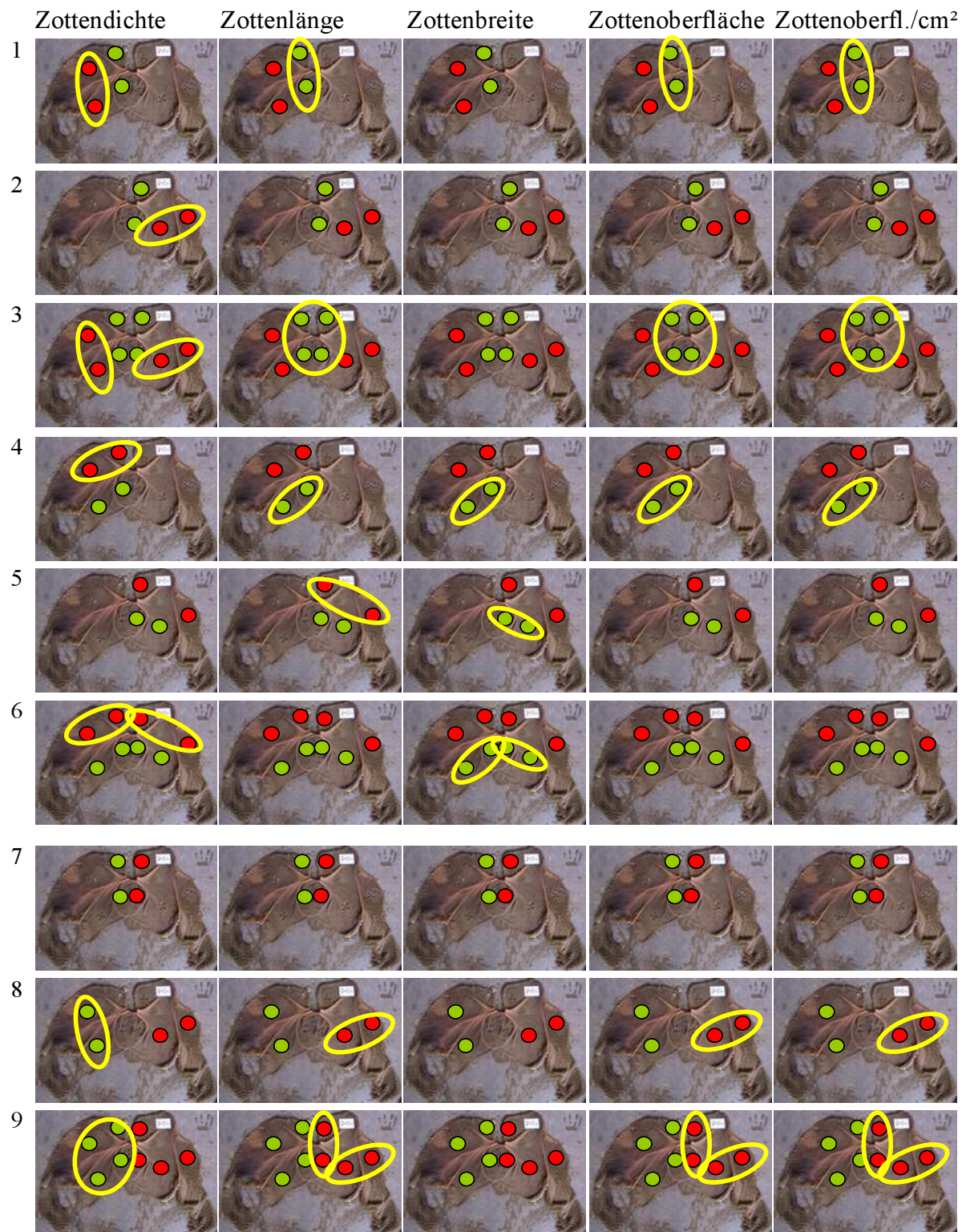


Abbildung A71: Nachweisbare Unterschiede zwischen den gruppierten Pansenregionen bezüglich der einzelnen Zottenparameter der 33 männlichen Schlachtkälber.

Tabelle A25: Schlachtdaten der 39 Schlachtkälber.

TierNr.	Alter [d]	Schlachtgewicht [kg]	Gewicht P+H ¹ [kg]	Fläche P+H ¹ [cm ²]
562	43	49,0	0,340	680
832	48	58,0	0,520	873
572	50	66,8	0,470	637
561	51	70,0	0,690	1145
831	51	77,0	0,940	1236
576	54	78,8	0,810	992
568	57	79,6	1,125	1666
560	58	79,0	1,020	1339
589	62	70,0	1,145	1283
846	62	61,2	0,830	1152
588	63	90,4	0,985	1239
587	65	77,2	1,405	1437
564	66	79,6	1,065	1506
566	66	69,8	0,805	1178
559	67	81,0	1,120	1474
838	70	68,2	1,150	1728
580	71	90,2	1,530	1654
586	71	74,8	0,935	1304
558	72	70,0	1,050	1352
585	73	91,2	1,555	1596
579	75	96,0	1,445	1702
563	77	87,4	1,735	1933
578	77	93,8	1,580	1554
584	80	108,8	1,960	2114
577	82	102,4	1,860	2257
575	83	109,2	1,810	1773
583	83	123,8	2,140	2256
557	85	110,0	1,900	2363
571	88	117,2	2,130	2128
570	90	116,8	2,260	2143
569	91	125,8	2,190	2156
556	92	110,0	2,200	2596
574	94	114,6	2,340	2527
567	96	117,2	2,150	2225
573	96	120,0	2,330	2454
581	98	127,0	2,500	2849
565	101	123,4	2,410	2459
835	103	128,2	2,300	2669
817	104	120,0	2,070	2469

¹P+H: Pansen und Haube

Tabelle A26: Korrelationskoeffizienten zwischen verschiedenen Schlacht- und Zottenparametern.

Parameter	Alter	Lebend-SG	Gewicht P+H ¹	Fläche P+H ¹
Lebend-Schlachtgewicht	0,915			
Gewicht Pansen+Haube	0,946	0,955		
Fläche Pansen+Haube	0,938	0,914	0,961	
Zottendichte RB	-0,582	-0,629	-0,632	-0,581
Zottendichte RC	-0,556	-0,574	-0,596	-0,581
Zottendichte RD	-0,558	-0,564	-0,589	-0,564
Zottendichte RE	-0,586	-0,626	-0,630	-0,590
Zottendichte LB	-0,519	-0,571	-0,566	-0,531
Zottendichte LC	-0,541	-0,562	-0,588	-0,559
Zottendichte LD	-0,495	-0,539	-0,535	-0,505
Zottendichte LE	-0,559	-0,606	-0,600	-0,562

P < 0,0001, P > 0,0001 ¹P+H: Pansen und Haube

Tabelle A27: Geschätzte Futteraufnahmemenge am Schlachttag.

TierNr.	Alter [d]	Geschätzte Futteraufnahmemenge					SG [kg]
		MT [l/d]	TW [l/d]	MAT-TS [kg/d]	KF-TS [kg/d]	Heu-TS [kg/d]	
562	43	7,205	0,100	0,813	0,026	0,033	49,0
832	48	6,409	0,386	0,723	0,195	0,000	58,0
572	50	6,555	0,000	0,702	0,292	0,049	66,8
561	51	6,718	0,595	0,758	0,415	0,139	70,0
831	51	6,582	4,297	0,742	1,135	0,005	77,0
576	54	6,093	1,534	0,687	0,889	0,103	78,8
568	57	5,982	0,606	0,675	1,183	0,142	79,6
560	58	5,891	1,814	0,664	1,015	0,262	79,0
589	62	4,564	1,381	0,515	1,662	0,086	70,0
846	62	4,800	0,318	0,541	0,855	0,135	61,2
588	63	4,464	6,771	0,503	1,763	0,216	90,4
587	65	4,120	0,269	0,465	1,490	0,045	77,2
564	66	3,591	3,030	0,405	1,843	0,105	79,6
566	66	3,518	1,117	0,397	1,454	0,098	69,8
559	67	3,073	4,917	0,347	1,728	0,159	81,0
838	70	2,509	0,765	0,283	1,280	0,101	68,2
580	71	1,427	5,299	0,161	1,809	0,333	90,2
586	71	1,518	4,150	0,171	1,752	0,333	74,8
558	72	2,509	6,341	0,283	1,792	0,094	70,0
585	73	0,000	10,130	0,000	1,761	0,529	91,2
579	75	0,000	10,014	0,000	1,742	0,730	96,0
563	77	0,000	8,772	0,000	1,766	0,159	87,4
578	77	0,000	10,175	0,000	1,736	0,141	93,8
584	80	0,000	9,169	0,000	1,773	1,156	108,8
577	82	0,000	15,878	0,000	1,774	1,283	102,4
575	83	0,000	9,067	0,000	1,756	0,464	109,2
583	83	0,000	9,608	0,000	1,784	0,333	123,8
557	85	0,000	17,103	0,000	1,703	0,467	110,0
571	88	0,000	14,860	0,000	1,785	1,400	117,2
570	90	0,000	26,789	0,000	1,703	0,610	116,8
569	91	0,000	21,065	0,000	1,736	1,414	125,8

556	92	0,000	16,776	0,000	1,797	1,122	110,0
574	94	0,000	10,142	0,000	1,778	2,274	114,6
567	96	0,000	15,994	0,000	2,027	1,723	117,2
573	96	0,000	12,286	0,000	1,929	1,137	120,0
581	98	0,000	19,009	0,000	2,160	1,608	127,0
565	101	0,000	17,211	0,000	2,265	1,881	123,4
835	103	0,000	17,622	0,000	2,262	1,752	128,2
817	104	0,000	18,280	0,000	2,217	0,764	120,0

Tabelle A28: Geschlechtsspezifische Korrelationskoeffizienten zwischen geschätzten Futteraufnahmeparametern und Schlachtdaten.

	Korrelationskoeffizient der geschätzten Futteraufnahmemenge von					SG
	MT	TW	MAT-TS	KF-TS	Heu-TS	
Männliche Kälber (n = 33)						
Gewicht (Pansen+Haube)	-0,864	0,851	-0,863	0,744	0,794	0,953
Fläche (Pansen+Haube)	-0,817	0,814	-0,815	0,729	0,793	0,911
Weibliche Kälber (n = 6)						
Gewicht (Pansen+Haube)	-0,932	0,950	-0,932	0,975	0,904	0,977
Fläche (Pansen+Haube)	-0,962	0,912	-0,962	0,971	0,874	0,945

P < 0,0001, P > 0,0001

Tabelle A29: Geschlechtsspezifische Korrelationskoeffizienten zwischen geschätzten Futteraufnahmeparametern und regionalen Zottenparametern.

Zottenparameter	Korrelationskoeffizient r der geschätzten Futteraufnahmemenge von					
	MT	TW	MAT-TS	KF-TS	Heu-TS	SG
Zottendichte (männlich)						
RB	0,6568	-0,5097	0,6494	-0,8387	-0,3897	-0,6379
RC	0,6090	-0,4590	0,6004	-0,8137	-0,3327	-0,5784
RD	0,6085	-0,4673	0,6063	-0,7566	-0,3387	-0,5948
RE	0,6164	-0,4680	0,6101	-0,7940	-0,3502	-0,6034
LB	0,5903	-0,4355	0,5831	-0,7908	-0,3323	-0,5767
LC	0,6121	-0,4624	0,6051	-0,7749	-0,3168	-0,5783
LD	0,5627	-0,4098	0,5566	-0,7572	-0,2856	-0,5471
LE	0,5855	-0,4221	0,5793	-0,7738	-0,3027	-0,5669
Zottendichte (weiblich)						
RB	0,1799	-0,6106	0,1796	-0,3616	-0,5157	-0,5556
RC	0,2239	-0,6283	0,2235	-0,5002	-0,5209	-0,6028
RD	0,5865	-0,5154	0,5865	-0,7902	-0,4616	-0,5769
RE	0,4065	-0,6440	0,4063	-0,6735	-0,5776	-0,6541
LB	0,1093	-0,5736	0,1089	-0,3028	-0,4586	-0,5124
LC	0,2704	-0,5247	0,2703	-0,5798	-0,3645	-0,5210
LD	0,1110	-0,5808	0,1106	-0,3259	-0,4633	-0,5245
LE	0,3998	-0,6878	0,3995	-0,6682	-0,5803	-0,6828
Zottenlänge (männlich)						
RB	-0,8206	0,6704	-0,8185	0,6742	0,5838	0,7670
RC	-0,4676	0,4212	-0,4648	0,4364	0,2592	0,4055
RD	-0,8251	0,7786	-0,8222	0,7191	0,6791	0,8593
RE	-0,7719	0,7153	-0,7690	0,6855	0,5666	0,7527
LB	-0,6956	0,6488	-0,6918	0,6542	0,4795	0,7317
LC	-0,6778	0,5778	-0,6753	0,6440	0,3271	0,5984
LD	-0,7732	0,7496	-0,7699	0,7019	0,4766	0,7342
LE	-0,7526	0,7103	-0,7495	0,6935	0,5108	0,6941
Zottenlänge (weiblich)						
RB	-0,6042	0,8974	-0,6042	0,7819	0,6375	0,8521
RC	-0,5955	0,8133	-0,5959	0,7019	0,4338	0,7393
RD	-0,4378	0,7664	-0,4379	0,6411	0,4787	0,7054
RE	-0,6473	0,8533	-0,6469	0,7930	0,8217	0,8527
LB	-0,6064	0,8265	-0,6067	0,6988	0,4642	0,7510
LC	-0,3448	0,6191	-0,3451	0,5469	0,3025	0,5525
LD	-0,7065	0,9527	-0,7064	0,8323	0,7312	0,9139
LE	-0,6850	0,9328	-0,6849	0,8553	0,7473	0,9102
Zottenbreite (männlich)						
RB	-0,8546	0,8249	-0,8526	0,7829	0,7009	0,9115
RC	-0,6485	0,6422	-0,6448	0,6756	0,4846	0,7219
RD	-0,7852	0,8098	-0,7820	0,7420	0,6605	0,8821
RE	-0,8152	0,8234	-0,8130	0,7467	0,5917	0,8306
LB	-0,7354	0,7272	-0,7314	0,7527	0,5306	0,7773
LC	-0,6610	0,6695	-0,6596	0,5964	0,3348	0,6440
LD	-0,7860	0,7669	-0,7830	0,7871	0,5103	0,8044
LE	-0,7649	0,7750	-0,7622	0,7021	0,5457	0,7834
Zottenbreite (weiblich)						
RB	-0,8852	0,9370	-0,8850	0,8926	0,9240	0,9419
RC	-0,8190	0,8958	-0,8190	0,8516	0,7567	0,8693
RD	-0,7372	0,8666	-0,7373	0,8115	0,6871	0,8304
RE	-0,8362	0,8957	-0,8359	0,8868	0,9127	0,9118

LB	-0,9356	0,8697	-0,9355	0,8767	0,8376	0,8695
LC	-0,7705	0,8079	-0,7705	0,8345	0,6922	0,7943
LD	-0,8150	0,8849	-0,8146	0,8476	0,9672	0,9104
LE	-0,8058	0,8248	-0,8053	0,8555	0,9641	0,8762

P < 0,0001, P > 0,0001

Tabelle A30: Korrelationskoeffizienten zwischen geschätzten Futteraufnahmeparametern und regionalen Zottenparametern.

Zottenparameter	Region	Alter	Korrelationskoeffizient r der geschätzten Futteraufnahmemenge von					SG
			MT	TW	MAT-TS	KF-TS	Heu-TS	
Dichte	RB	-0,583	0,580	-0,536	0,574	-0,729	-0,420	-0,628
	RC	-0,556	0,555	-0,483	0,547	-0,738	-0,360	-0,574
	RD	-0,561	0,587	-0,458	0,585	-0,707	-0,343	-0,561
	RE	-0,586	0,596	-0,508	0,591	-0,769	-0,399	-0,624
	LB	-0,521	0,521	-0,467	0,515	-0,686	-0,361	-0,570
	LC	-0,543	0,573	-0,469	0,567	-0,721	-0,327	-0,561
	LD	-0,497	0,505	-0,435	0,499	-0,667	-0,313	-0,538
	LE	-0,563	0,569	-0,481	0,565	-0,754	-0,362	-0,604
Länge	RB	0,751	-0,793	0,710	-0,791	0,699	0,596	0,784
	RC	0,542	-0,455	0,502	-0,454	0,494	0,280	0,481
	RD	0,777	-0,767	0,770	-0,764	0,706	0,644	0,824
	RE	0,728	-0,760	0,735	-0,758	0,712	0,608	0,773
	LB	0,689	-0,673	0,689	-0,671	0,674	0,474	0,740
	LC	0,558	-0,646	0,574	-0,644	0,621	0,334	0,588
	LD	0,773	-0,756	0,794	-0,754	0,746	0,530	0,786
	LE	0,736	-0,710	0,753	-0,708	0,735	0,552	0,748
Breite	RB	0,885	-0,864	0,841	-0,862	0,801	0,736	0,912
	RC	0,743	-0,669	0,694	-0,667	0,718	0,534	0,753
	RD	0,821	-0,784	0,811	-0,781	0,745	0,665	0,862
	RE	0,792	-0,824	0,828	-0,823	0,770	0,640	0,840
	LB	0,762	-0,773	0,753	-0,770	0,774	0,582	0,794
	LC	0,599	-0,680	0,677	-0,679	0,623	0,382	0,656
	LD	0,777	-0,798	0,780	-0,795	0,794	0,581	0,820
	LE	0,779	-0,768	0,782	-0,766	0,750	0,632	0,810
Oberfläche/Zotte	RB	0,826	-0,825	0,809	-0,825	0,709	0,691	0,872
	RC	0,567	-0,459	0,531	-0,458	0,477	0,310	0,507
	RD	0,824	-0,775	0,838	-0,774	0,692	0,690	0,877
	RE	0,768	-0,800	0,826	-0,799	0,690	0,662	0,834
	LB	0,725	-0,714	0,746	-0,713	0,672	0,535	0,785
	LC	0,523	-0,623	0,580	-0,622	0,546	0,302	0,566
	LD	0,782	-0,769	0,824	-0,768	0,727	0,557	0,831
	LE	0,764	-0,724	0,806	-0,723	0,681	0,617	0,797
Oberfläche/cm²	RB	0,757	-0,807	0,685	-0,806	0,689	0,582	0,782
	RC	0,521	-0,409	0,460	-0,408	0,438	0,233	0,451
	RD	0,774	-0,697	0,723	-0,695	0,665	0,635	0,815
	RE	0,732	-0,762	0,738	-0,761	0,686	0,606	0,772
	LB	0,633	-0,643	0,625	-0,641	0,614	0,411	0,675
	LC	0,513	-0,599	0,526	-0,598	0,566	0,324	0,558
	LD	0,764	-0,737	0,757	-0,736	0,727	0,533	0,788
	LE	0,703	-0,632	0,716	-0,631	0,659	0,579	0,715

P < 0,0001, P > 0,0001

Tabelle A31: Vergleich der Futteraufnahmeparameter der vorliegenden Untersuchung mit HEPOLA et al. (2006) [88].

	HEPOLA et al. (2006) [88]	Vorliegende Untersuchung
n, Geschlecht	5 männliche Kälber	6 bis max. 33 männliche Kälber
Rasse	Frisian, Ayrshire	Holstein Frisian
Fütterungsregime	7 Wochen Tränke (6 l/d), KF (max. 2,5 kg/d), Gerste <i>ad libitum</i> , Heu <i>ad libitum</i>	10 Wochen Tränke (max. 8 l/d), KF (max. 2 kg/d), Heu <i>ad libitum</i>
Versuchszeitraum 2.-8. Lebenswoche		
Milchtränke [kg TS/d]	0,79	0,72
KF [kg TS/d]	0,26	0,42
Heu [kg TS/d]	0,07	0,07
GTS [kg TS/d]	1,12	1,21
Zunahmen [kg/d]	0,88	0,59
Versuchszeitraum 9.-12. Lebenswoche		
KF [kg TS/d]	2,04	1,73
Heu [kg TS/d]	0,51	0,69
GTS [kg TS/d]	2,61	2,51
Zunahmen [kg/d]	1,19	1,05

Tabelle A32: Vergleich der Futteraufnahmeparameter der vorliegenden Untersuchung mit ABE et al. (1999) [1]

	ABE et al. (1999) [1]	Vorliegende Untersuchung
Rasse, Geschlecht	Hostein, männlich	Holstein Frisian, männlich
Fütterungsregime	MAT, KF, Sudangras-Heu	10 Wochen Tränke (max. 8 l/d), KF (max. 2 kg/d), Heu <i>ad libitum</i>
Versuchszeitraum	17.-24. LT	17.-24. LT
Gewicht am 17. LT [kg]	51,9	49,8
Gewicht am 24. LT [kg]	56,4	52,7
Zunahme [kg/d]	0,64	0,42
GTS-Aufnahme [kg/d]	1,110	0,786
MAT-TS-Aufnahme [kg/d]	0,482	0,714
KF-TS-Aufnahme [kg/d]	0,555	0,045
Heu-TS-Aufnahme [kg/d]	0,073	0,027
GW-Aufnahme [l/d]	5,879	6,601